

平成29年度
水力発電の導入促進のための事業費補助金
(水力発電事業性評価等支援事業)のうち
人材育成等を行う事業

事業報告書

(概要版)

平成30年2月

一般社団法人 電力土木技術協会

目 次

1. 事業目的	1
2. 事業内容	2
2.1 一般コース	
2.1.1 研修開催実績	2
2.1.2 研修開催案内	2
2.1.3 研修時間割	2
2.2 専門コース	
2.2.1 研修開催実績	7
2.2.2 研修開催案内	7
2.2.3 研修時間割	7
3. 研修成果（一般コース）	11
3.1 アンケート内容・様式	11
3.2 アンケート結果	17
3.2.1 受講者	17
3.2.2 研修内容（座学）	20
3.2.3 研修内容（現地研修）	23
3.2.4 研修会全体について	25
4. 研修成果（専門コース）	27
4.1 アンケート内容・様式	27
4.2 アンケート結果	33
4.2.1 受講者	33
4.2.2 研修内容	37
4.2.3 研修会全体について	38

1. 事業目的

水力エネルギーは、国産1次エネルギーの中で質・量とも最も安定的に供給が期待できるエネルギー源であり技術的熟度も高い。しかしながら、再生可能エネルギーの導入が叫ばれる中であって、水力発電所の開発に顕著な活発化は認められず、一部の事業者等にあっては建設はもとより維持・運営管理に係る技術の継承も危ぶまれるような事態となっている。

我が国における水力開発のピークは昭和30年代で、当時の旺盛な電力需要増に対応するため大規模水力の建設が相次いだ。以降、火力発電ユニットの大容量化と、水力開発の適地が次第に枯渇化したことが相俟って、火力発電所の建設が主流となった。昭和48年の石油危機を契機として、石油代替エネルギーの開発が重要政策となり、一般水力の開発が再び見直され「中小水力開発費補助金」などの支援策により経済性を確保できる水力地点の開発は継続されたものの、原子力発電の台頭により、むしろ夜間余剰電力の有効化、あるいは系統予備力としての揚水発電の開発が中心となって進められてきた。

平成23年の東北地方太平洋沖地震以降においては、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（平成24年7月1日施行）」により、太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入量が飛躍的に伸展したが、「長期エネルギー需給見通し（平成27年7月政府決定）」において標榜されている平成42年度における水力発電の電源構成比率（8.8～9.2%程度）の達成に向けては、関係者がより一層努力していく必要がある。

一方、水力発電の調査・計画にあたっては、地域の社会環境はもとより、自然環境（地形・地質、気象、植生、林相、貴重動植物、河川流況等）を十分に把握したうえで、適切な開発計画を策定することが肝要であり、そのための工夫や配慮は必須である。また、再開発においても、建設時とは社会環境や自然環境、あるいは電力事情が変容していることを十分に意識したうえで、水力発電に求められる機能や価値評価に則することは勿論、所要の安全性が維持できるように配慮する必要がある。

近年、水力開発に係わってきた技術者の大量退職により、絶対的な技術者不足と技術継承とが懸念されているところであり、水力発電をより強力に促進するためには、技術者の育成を重点的に実施していく必要があるものと考えられる。

本事業では、平成28年度水力発電事業性評価等支援事業（人材育成等を行う事業に係る業務）において、全国10個所で開催した水力発電所の調査・計画に係る基礎的知識から事業性評価に至る技術研修の実績（アンケート結果を含む）を踏まえ、カリキュラムと教材に更なる改良・改善を加えたコース「一般コース」と、高度な図上計画策定能力（経済性・事業性評価を含む）を身につけるためのコース「専門コース」の双方を実施した。

2. 事業内容

2.1 一般コース

水力発電技術に関する一貫した基礎的知識をベースに、概略計画の策定ならびに事業性評価の概略が把握できるまでのレベルを習得することを目指したもので、新たに全分野をカバーした「概論」を設定するとともに、「地域主体の小水力開発手法」を一つの軸として講義を行った。

現地研修としては、好事例と考えられる水力発電所の現場、又は測水所等において、基礎研修の更なる理解増進を図るための実務的な研修を行った。

2.1.1 研修開催実績

研修は平成 29 年 9 月から平成 30 年 1 月にわたり全国 4 地域で開催し、総受講者数は 140 名であった。各地域での開催都市、会場、受講者数などの詳細は表 2-1 のとおりである。

表 2-1 研修開催実績

回	開催年月日	地域	開催都市	会場	予定人員	受講生	現地研修先
1	H29. 9. 26-29	東北	盛岡市	岩手県民会館	40	34	北上川水系 松川
2	H29. 10. 3- 6	関東	甲府市	山梨県立男女共同参画センター	40	44	富士川水系 早川
3	H29. 10. 24-27	近畿	京都市	京都教育文化センター	40	38	淀川水系 琵琶湖疏水
4	H30. 1. 16-19	九州	熊本市	くまもと県民交流館パレア	40	24	緑川水系 緑川
計					160	140	

2.1.2 研修開催案内

研修開催案内は、「一般コース」と「専門コース」の全 6 地域の開催予定を記載した全体版、および各地域を対象にした地域版を作成し、電力土木技術協会ホームページにより行った。

地域版では座学・現地研修の構成および各講義の内容について紹介を行った。

全体版案内は P3、地域版案内例は P4～P5 のとおりである。

2.1.3 研修時間割

各講義の時間帯、内容、講師を記載した時間割を作成し、研修第一日目に受講生に配布した。時間割例は P6 のとおりである。

平成 29 年度 水力発電に係る人材育成のための研修会開催について (全体版)

平成 29 年 8 月 14 日
一般社団法人 電力土木技術協会

今般、経済産業省の展開するエネルギー政策のうち、水力発電開発促進施策の一翼を担う表記の研修会を一般財団法人新エネルギー財団から受託して、当協会が全国計 6 か所において開催することとなりました。

本年度は、計画に係る基礎的な知識等を網羅した「一般コース」(平成 28 年度の実績を踏まえ、カリキュラム、教材を改善・充実)と、高度な図上計画策定能力(経済性・事業性評価を含む)を身につけるための「専門コース」の双方を実施します。

参加費はいずれも無料で、一般コースについては部分的な受講も可能ですので、水力開発に熱意や興味を有する方多数の参加を歓迎致します。

開催地、日程、定員は下表に示すとおりですが、それぞれ開催日の 30 日前を予定している募集開始に合わせ、詳細な実施要領等は HP に掲示致します。

開催計画 (開催地、日程及び定員)

回	実施期間	所轄 経済産業局	開催地	現地研修 /演習地	定員(人)	備考
(一般コース)						
1	平成 29 年 9 月 26 日(火) ～29 日(金)	東北	盛岡市	北上川水系 松川	40	
2	平成 29 年 10 月 3 日(火) ～ 6 日(金)	関東	甲府市	富士川水系 早川	40	
3	平成 29 年 10 月 24 日(火) ～27 日(金)	近畿	京都市	淀川水系 琵琶湖疏水	40	
4	平成 30 年 1 月 16 日(火) ～19 日(金)	九州	熊本市	緑川水系 緑川	40	
(専門コース)						
1	平成 29 年 11 月 13 日(月) ～17 日(金)	中国	鳥取市	千代川水系 佐治川	20	
2	平成 29 年 12 月 4 日(月) ～ 8 日(金)	関東	伊豆市	狩野川水系 大見川	20	

(現地研修/演習については、都合により変更する場合がある。)

申込は電力土木技術協会ホームページ (URL: <http://www.jepoc.or.jp>) を開き、トップページの News に掲示中の本研修の紹介欄右端の「申込」を開いてお申し込みください。

(お問い合わせ先)

〒105-0011 東京都港区芝公園 2 丁目 8-2 小貝ビル 4F
一般社団法人電力土木技術協会
電話 03-3432-8905
FAX 03-3435-1778
担当: 人材育成研修 担当

平成 29 年度水力発電に係る人材育成のための研修会(関東地域)の 開催について<一般コース>

平成 29 年 9 月 1 日
一般社団法人 電力土木技術協会

今般、経済産業省の展開する「平成 29 年度水力発電の導入促進のための事業費補助金(水力発電事業性評価等支援事業)のうち人材育成等を行う事業」に係る表記研修会を、昨年度に引き続き、一般財団法人新エネルギー財団から受託し、当協会が下記の要領で開催することとなりました。

研修は、基礎的で平易なものをベースに、ある程度実務面も重視しており、「地域主体の小水力開発手法」を一つの軸として行います。

座学研修を 3 日間、近傍の水力発電所における現地研修を半日、計 4 日間の日程で研修会を行いますので、水力開発に熱意や興味を有する方多数の参加を歓迎致します。

記

<一般コース実施要領>

日時 平成 29 年 10 月 3 日(火) 9:30~17:00(座学研修)
4 日(水) 9:30~17:00(#)
5 日(木) 9:30~17:00(#)
6 日(金) 8:00~13:00(現地研修)

場所 (座学研修) 山梨県立男女共同参画推進センター(びゅあ総合) 中会議室
〒400-0862 山梨県甲府市朝気 1-2-2 電話:055-235-4171
会場案内図 別紙 1 をご参照ください。

(現地研修) 富士川水系早川の水力発電所

参加料 無料

対象者 ・水力発電所の開発を予定する企業、団体等に属する者、若しくは個人
・地方公共団体、公的支援・融資機関等で地域振興のツールとして興味のある者
・その他、水力発電の開発に興味を有する者
(いずれも、水力発電に関する知識・経験は不問)

募集人員 40 名(応募者の総数が定員を上回った場合は、入場を制限する場合があります)

受付開始 平成 29 年 9 月 1 日(金)

応募期限 平成 29 年 9 月 25 日(月)

申込先 一般社団法人 電力土木技術協会 ホームページのニュース欄をご覧の上、申し込み欄に必要事項を記入して申し込みください。URL: <http://jepoc.or.jp>

なお、都合で 4 日間すべての研修に参加できない方であっても、部分的な参加は可能ですので、その旨備考欄にご記入ください。

(記入例:初日の座学研修は不参加、最終日の現地研修は不参加等)

留意事項

- ① 駐車場は主催者側では準備いたしません。
- ② 筆記用具及び電卓を持参して下さい。
- ③ 昼食の用意はございません。
- ④ 服装は、通常の執務時に着用する服装で差支えありませんが、現地研修の際は多少足場の悪いところがある模様なので、それを考慮した服装・靴の着用等をお願いいたします。

・研修の構成とカリキュラム

(座学研修)

水力発電技術に関する一貫した基礎的知識をベースに、計画の策定ならびに事業性評価の概略が把握できるレベルを習得することを目指したもので、「地域主体の小水力開発手法」を一つの軸として研修を行います。

座学の第1日目は、初心者の方でも水力発電のしくみから、計画、関係法令まで一貫して理解できる基礎的な学習レベルに設定しています。

第2日目は、具体的な水力発電計画を作成する上で必要となる実務的な内容の教材を用いて、専門的な知識も会得できるレベルに設定しています。

第3日目は、水力開発のポイントや、総合的なQ&A、意見交換の場も用意しております。

(現地研修)

- ・目的：研修内容の理解増進を図るため、水力発電所等を対象に現地で実務的な研修を行うものです。
- ・対象：富士川水系早川の水力発電所を予定しています。随時、質疑・応答ならびに「補講的解説」を行います。

(教材)

全国共通のテキストのほか、当該地域の特徴を考慮した付属テキストを配布します。

一般コース研修カリキュラム

時間帯	講義テーマ	内 容	講 師
(第1日目)			
9:30～ 9:35	開会あいさつ		電力土木技術協会
9:35～ 9:40	1.オリエンテーション		電力土木技術協会
9:40～10:10	2.水力をとりまく状況と施策		電力土木技術協会
10:10～12:00	3.水力発電概論	発電原理、歴史、計画、設計、関係法令、保守管理	電力土木技術協会
12:00～13:00	(昼休み)		
13:00～15:00	4.概略計画と事業性評価(1)	計画策定手順、机上検討、現地踏査、最適規模の検討	電力土木技術協会
15:10～16:20	5.土木設備・電気設備の設計	土木・電気設備の設計	電力土木技術協会
16:20～17:00	6.環境保全(1)	環境影響評価、環境保全対策	電力土木技術協会
(第2日目)			
9:30～9:50	6.環境保全(2)	地域環境保全対策例	地元コンサルタント
9:50～10:50	7.地形・地質	地形・地質	電力土木技術協会
11:00～12:00	8.関係法令・手続き(1)	電気事業法、河川法等	電力土木技術協会
12:00～13:00	(昼休み)		
13:00～13:30	8.関係法令・手続き(2)	森林法	電力土木技術協会
13:30～14:20	9.開発事例		地元電力 地元コンサルタント
14:30～17:00	10.概略計画と事業性評価(2)	工事費積算演習	電力土木技術協会
(第3日目)			
9:30～11:30	10.概略計画と事業性評価(3)	事業性評価	電力土木技術協会
11:30～12:00	11.運転・保守、主任技術者の実務(1)	運転、保守管理	電力土木技術協会
12:00～13:00	(昼休み)		
13:00～13:40	11.運転・保守、主任技術者の実務(2)	ダム水路・電気主任技術者	地元電力
13:40～14:10	12.電力系統と運用	電力系統、運用、系統連系	電力土木技術協会
14:20～16:30	13.水力開発のポイント	阻害要因、地域主体の開発モデル	電力土木技術協会
16:30～16:50	Q & A		電力土木技術協会他
16:50～17:00	現地研修の要領説明		電力土木技術協会
(第4日目)			
8:00～13:00	現地研修		電力土木技術協会

2.2 専門コース

水力計画の策定に係る実践的な演習を中心とした研修を行うもので、座学で修得した詳細な手順・手法をベースに、地形図を用いて受講者自らが流れ込み式（水路式）発電計画を策定した。

現地調査では、各自が策定した計画地点において、実際に現地の環境（自然・社会）、地形・地質、他の利水施設との関係等を詳細に把握し、当該計画の実現可能性を評価した。なお、地形・地質調査では、クリノメーターやハンマーを用い河川流量を実測した。さらに、現地調査の成果を踏まえた見直し等の作業を通じて、計画・設計のポイントを学んだ。

2.2.1 研修開催実績

研修は平成 29 年 11 月から平成 29 年 12 月にわたり全国 2 地域で開催し、総受講者数は 34 名であった。各地域での開催都市、会場、受講者数などの詳細は表 2-2 のとおりである。

表 2-2 研修開催実績

回	開催年月日	地域	開催都市	会場	予定人員	受講生	現地調査先
1	H29. 11. 13-17	中国	鳥取市	鳥取県立生涯学習センター	20	19	千代川水系 佐治川
2	H29. 12. 4- 8	関東	伊豆市	東京発電(株) 三島事業所	20	15	狩野川水系 大見川
計					40	34	

2.2.2 研修開催案内

研修開催案内は全 6 地域の開催予定を記載した全国版、および各地域を対象にした地域版を作成し、電力土木技術協会ホームページにより行った。

地域版では座学・演習項目および現地調査の内容について紹介を行った。

全国版案内は P3、地域版案内例は P8～P9 のとおりである。

2.2.3 研修時間割

各講義の時間帯、内容、講師を記載した時間割を作成し、研修第一日目に受講生に配布した。時間割例は P10 のとおりである。

平成 29 年度水力発電に係る人材育成のための研修会(中国地域)の 開催について<専門コース>

平成 29 年 10 月 6 日
一般社団法人 電力土木技術協会

今般、経済産業省の展開する「平成 29 年度水力発電の導入促進のための事業費補助金(水力発電事業性評価等支援事業)のうち人材育成等を行う事業」に係る表記研修会を、昨年度に引き続き、一般財団法人エネルギー財団から受託し、当協会が下記の要領で開催することとなりました。

「専門コース」研修会とは、本年度新たに設定されたコースで、水力計画の策定に係る実践的な演習を中心とした研修を行うもので、座学で修得した詳細な手順・手法をベースに、地形図を用いて自らが流れ込み式(水路式)発電計画を策定するコースとなります。

座学研修を 4 日間、現地調査を 1 日、計 5 日間の日程で研修会を行いますので、水力開発の経験を有する方多数の参加を歓迎致します。

記

<専門コース実施要領>

日 時	平成 29 年 11 月 13 日 (月) 13:00～17:00 (座学研修)
	14 日 (火) 9:30～17:00 (〃)
	15 日 (水) 9:30～17:00 (〃)
	16 日 (木) 8:30～17:00 (現地調査)
	17 日 (金) 9:30～16:00 (座学研修)
場 所	(座学研修) 鳥取県立生涯学習センター (愛称：県民ふれあい会館) 中研修室 〒680-0846 鳥取市扇町 21 番地 電話：0857-21-2266 (現地調査) 千代川水系佐治川
参加料	無料
対象者	・平成 28 年度本研修会、平成 29 年度本研修会(一般コース)の受講者、若しくは同等の経験を有する者 (望ましい技術レベル) ・水力発電所の計画について経験を有するか、若しくは、計画に必要な基礎的技術力(流域面積の計測や概略工事費の積算等)を備えている者
募集人員	20 名 (応募者の総数が定員を上回った場合は、受付を制限する場合があります。)
受付開始	平成 29 年 10 月 6 日(金)
応募期限	平成 29 年 11 月 7 日(火)
申込先	一般社団法人電力土木技術協会 ホームページのニュース欄をご覧の上、申し込み欄に必要事項を記入して申し込みください。 (URL : http://jepoc.or.jp)

留意事項

- ① 研修初日は、午後 0 時 30 分から受付を開始します。
- ② 駐車場は主催者側では準備しません。
- ③ 筆記用具及び電卓を持参して下さい。(エクセル入りの PC 持参が望ましい。)
- ④ 昼食の用意はございません。
- ⑤ 服装は、通常の執務時に着用する服装で差支えありませんが、現地調査の際は、それを考慮した服装・靴の着用等をお願いいたします。
- ⑥ 後日、研修の効果を定量的に把握するためのフォローアップ調査等をお願いすることがあります。
- ⑦ 専門コースは部分的な受講はできません。

・研修の構成とカリキュラム

(座学研修)

水力計画の策定に係る実践的な演習を中心とした研修を行います。

研修第1日目は、「水力発電計画に係る復習」について講義を行います。

第2・3日目は、専用テキストを用いて「図上計画策定演習」を行います。

第5日目(最終日)は、現地調査の成果を踏まえた見直し等の作業を通じて、計画・設計のポイントを学びます。

(教材)

「図上計画策定演習」に特化したテキスト、一般コース用テキストを配布します。

(現地調査)

- ・ 目的：研修4日目は各自が策定した計画地点において、実際に現地の環境、地形・地質、他の利水施設との関係等を詳細に把握し、当該計画の実現可能性を評価します。
- ・ 対象：千代川水系佐治川を予定しております。

専門コース研修カリキュラム

時間帯	講義テーマ	内 容	講 師
(第1日目)			
13:00～13:05	開会あいさつ		電力土木技術協会
13:05～13:10	1.オリエンテーション		電力土木技術協会
13:10～13:40	2.水力をとりまく状況と施策		電力土木技術協会
13:40～17:00	3.水力発電計画に係る復習	・計画策定手順 ・机上検討 ・現地踏査 ・流量資料 ・出力 ・電力量 ・工事費積算 ・事業性の評価他	電力土木技術協会
(第2日目)			
9:30～12:00	4.図上計画策定のポイント	・計画策定手順（留意点講義） ・流域面積の計測（プランメーター） ・流量資料の整理（流況曲線図、流量設備利用率等） ・落差（取水位、放水位、損失落差） ・水路ルートの検討（トンネル土被り、地形変状地、L/H、CA/L等） ・最適ルートの選定	電力土木技術協会 地元コンサルタント
12:00～13:00	（昼休み）		
13:00～17:00	5.図上計画策定演習（1）	・水路ルートの検討（1河川取水案、複数河川取水案等）	電力土木技術協会 地元コンサルタント
(第3日目)			
9:30～12:00	5.図上計画策定演習（2）	・発電諸元の検討（使用水量、有効落差、出力、電力量）	電力土木技術協会 地元コンサルタント
12:00～13:00	（昼休み）		
13:00～18:30	5.図上計画策定演習（3）	・計画策定（工事費、経済性等） ・最適計画案の選定	電力土木技術協会 地元コンサルタント
18:30～17:00	8.現地調査の留意点		電力土木技術協会
(第4日目)			
8:30～17:00	7.現地調査	・計画全体範囲踏査（地形、計画ルート、アプローチ等） ・流量測定（浮子） ・地質調査（クリノメーター、ハンマー） ・自然・社会環境 ・近傍参考事例等の視察他	電力土木技術協会 地元コンサルタント
(第5日目)			
9:30～12:00	8.再検討（1）	・現地調査を踏まえた発電計画の見直し（ルート、使用水量、有効落差、出力、電力量、工事費）	電力土木技術協会
12:00～13:00	（昼休み）		
13:00～14:00	8.再検討（1）続き	同 上	
14:00～16:00	8.再検討（2）	・事業性評価の演習（発電原価、IRR） ・総合評価	電力土木技術協会
16:00	解散		

3. 研修成果（一般コース）

研修成果は受講者アンケート結果から判断することとし、内容の理解および研修受講前後の向上度が把握できるように工夫した。

3.1 アンケート内容・様式

アンケートは前記したこと等を目的に、次の内容に関して3段階または5段階数値評価、および記述評価により行った。アンケート様式はP12～P16のとおりである。

(1) 受講者

- ①職種 ②水力発電に係る経験年数 ③所属 ④所属する学協会 ⑤年齢 ⑥性別
- ⑦過去に受講した水力発電に関する研修 ⑧今回の受講動機

(2) 講習内容（座学全科目）

- ①時間配分 ②理解度 ③能力向上度 ④さらに必要な内容

(3) 現地研修

- ①時間配分 ②参考度 ③今後希望する見学箇所

(4) 研修会全体について

- ①受講満足度 ②全体を通じての感想 ③水力開発促進に必要と思われるポイント・意見
- ④今後の研修の必要性

水力発電人材育成研修会（一般コース：〇〇地域）

アンケート票

平成〇〇年〇〇月〇〇日～〇〇日

一般社団法人電力土木技術協会

今後の研修会の企画・運営に際し、参加した皆様のご意見を参考にしたいと考えておりますので、お手数とは存じますが、本研修会に対するご意見、ご希望などを下記様式にご記入お願いいたします。

I. 受講者について（該当箇所に○をお付けください）

- (1) 職 種 （土木，農業土木，電気，機械，建築，環境，経済，その他
（.....））
- (2) 水力発電に係る経験年数 （なし，1年未満，1年～5年未満，5年～10年未満，
10年以上（.....年））
- (3) 所 属 （官公庁（国，県，市町村等（.....），教育・学校関係
（.....），電力・関連会社，コンサルタント，建設業，製造業，
金融機関，NPO，その他（.....））
- (4) 所属する学協会 （土木学会，ダム工学会，電気学会，電力土木技術協会，技術士，
その他（.....））
- (5) 年齢 （10代，20代，30代，40代，50代，60歳以上（.....歳）
- (6) 性別 （男性，女性）
- (7) 過去に受講した水力発電に関する研修 （電土協 H28 本研修会，NEF 実務研修会，NEF
水力発電に関する基礎研修会，
その他（.....））
- (8) 今回の受講動機をご記入ください。

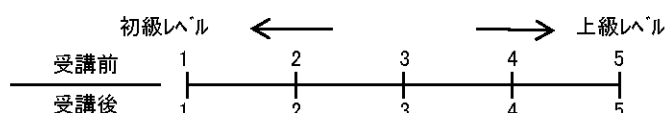
II. 講習内容について（座学）

【1. 水力発電概論】

- (1) 時間は適当でしたか。
- | 1 | 2 | 3 |
|----|----|----|
| 短い | 適当 | 長い |
- (2) 理解できましたか。
- | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|-----------|----|--------|-------|
| できなかった | あまりできなかった | 普通 | かなりできた | 良くできた |

理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

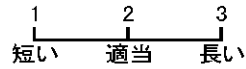
- (3) 受講後の能力向上について該当番号
に○を付けてください。



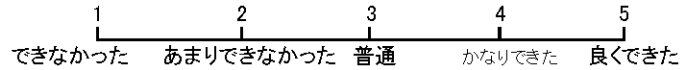
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【2. 概略計画と事業性評価(1)】

(1) 時間は適当でしたか。

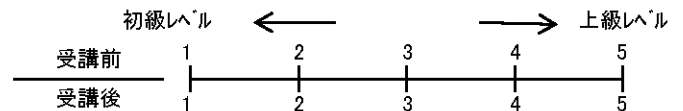


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

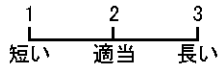
(3) 受講後の能力向上について該当番号に○を付けてください。



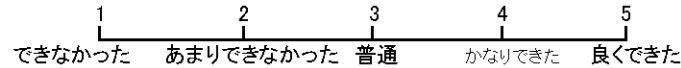
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【3. 土木設備・電気設備の設計】

(1) 時間は適当でしたか。

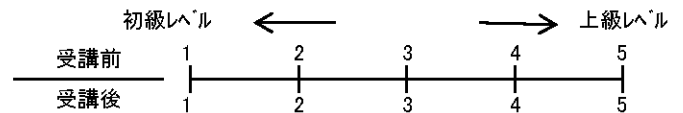


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

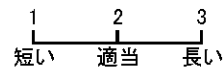
(3) 受講後の能力向上について該当番号に○を付けてください。



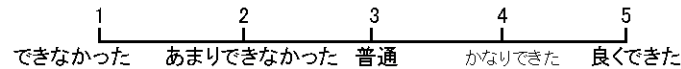
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【4. 環境保全(1), (2)】

(1) 時間は適当でしたか。

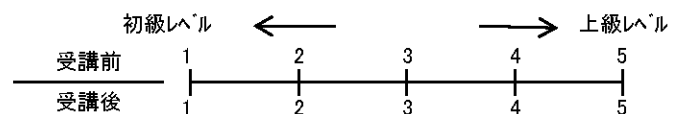


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

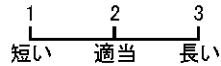
(3) 受講後の能力向上について該当番号に○を付けてください。



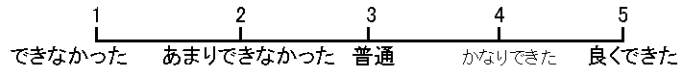
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【5. 地形・地質】

(1) 時間は適当でしたか。

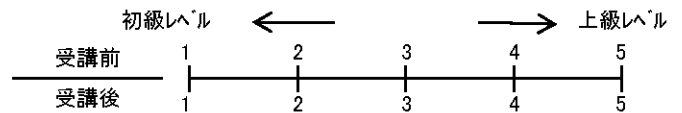


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

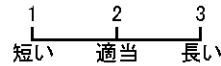
(3) 受講後の能力向上について該当番号
に○を付けてください。



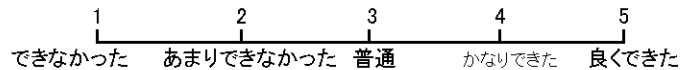
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【6. 関係法令・手続き(1), (2)】

(1) 時間は適当でしたか。

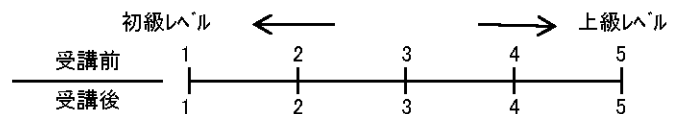


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

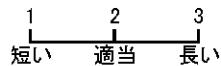
(3) 受講後の能力向上について該当番号
に○を付けてください。



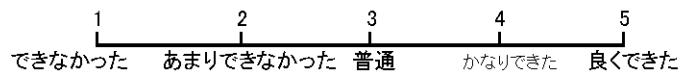
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【7. 開発事例(1), (2)】

(1) 時間は適当でしたか。

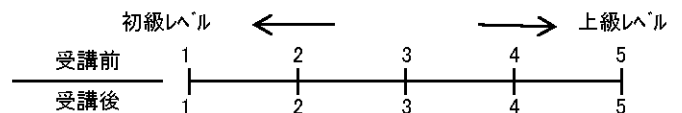


(2) 理解できましたか。



理解できなかった
ことまたは理解できたことをご記入ください。

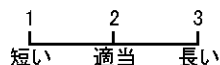
(3) 受講後の能力向上について該当番号
に○を付けてください。



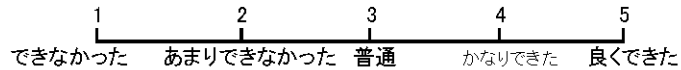
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【8. 概略計画と事業性評価(2)：工事費積算演習】

(1) 時間は適当でしたか。

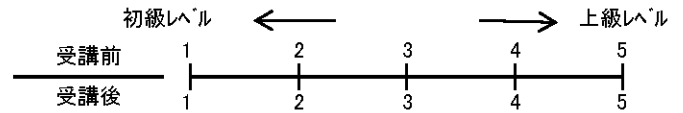


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

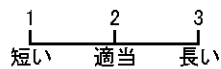
- (3) 受講後の能力向上について該当番号に○を付けてください。



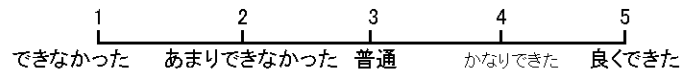
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【9. 概略計画と事業性評価(3)：事業性評価】

- (1) 時間は適当でしたか。

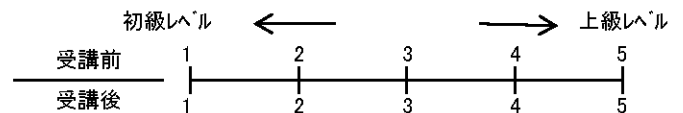


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

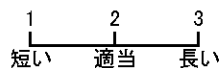
- (3) 受講後の能力向上について該当番号に○を付けてください。



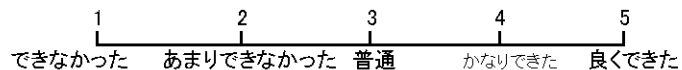
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【10. 運転・保守管理、主任技術者の実務、電力系統運用】

- (1) 時間は適当でしたか。

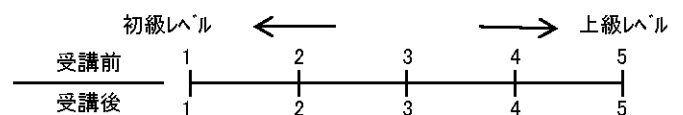


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

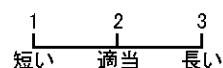
- (3) 受講後の能力向上について該当番号に○を付けてください。



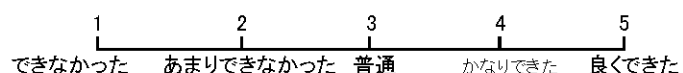
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【11. 水力開発のポイント】

- (1) 時間は適当でしたか。

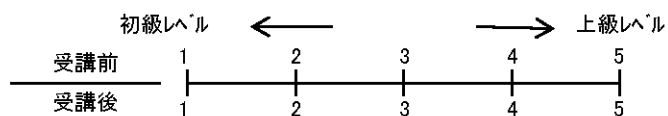


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

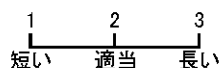
- (3) 受講後の能力向上について該当番号に○を付けてください。



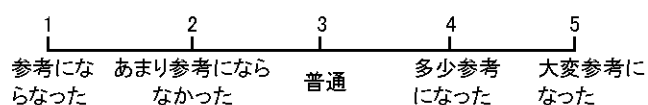
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

Ⅲ. 現地研修について

- (1) 時間は適当でしたか。



- (2) 見学や解説は参考になりましたか。

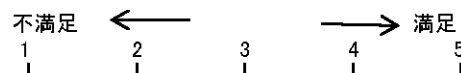


参考になったことをご記入ください。

- (3) 今後希望する見学箇所をご記入ください。

Ⅳ. 研修会全体について

- (1) 今回受講されて受講動機は満足されましたか。



- (2) 満足できなかった点または満足できた点をご記入ください。

- (3) 研修会全体を通じての感想をお書きください。

- (4) 今後の水力開発促進に必要と思われるポイントやご意見をお聞かせください。

- (5) 今後このような研修は必要だと思いますか。

ご協力ありがとうございました。

3.2 アンケート結果

アンケートは全受講者 140 名のうち、114 名から回答を得ることができた(表 3-1 参照)。総ての研修会を集約した実績は以下のとおりである。

表 3-1 アンケート回答実績

地域	東北	関東	近畿	九州	合計
受講者	34	44	38	24	140
アンケート回収数	24	36	34	20	114
同 回収率	71%	82%	89%	83%	81%

3.2.1 受講者

(1) 職種

土木職が 34%であり、次に電気職 29%、機械職 10%であった(その他は 18%：表 3-2 および図 3-1 参照)。

表 3-2 職種

	土木	農業 土木	電気	機械	建築	環境	経済	その他	合計
合計(人)	40	1	35	12	5	5	0	21	119
比率	34%	1%	29%	10%	4%	4%	0%	18%	100%

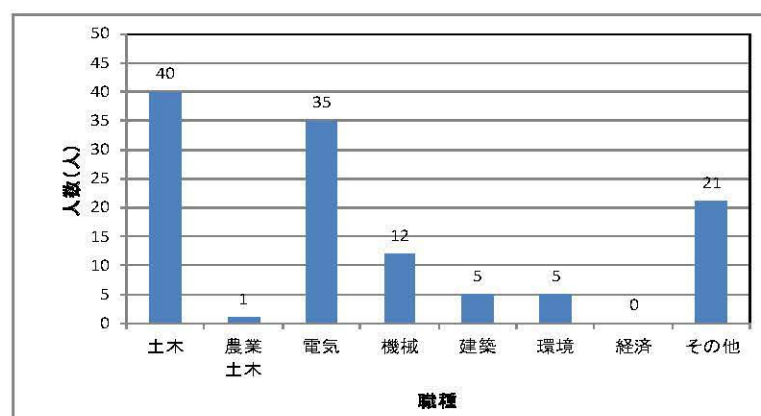


図 3-1 職種

(2) 水力発電に係る経験年数

表 3-3 および図 3-2 に示すとおり 5 年未満が大多数を占めている。

表 3-3 水力発電に係る経験年数

	なし	1年未満	5年未満	5年～10年未満	10年以上	合計
合計(人)	33	29	33	9	6	110
比率	30%	26%	30%	8%	5%	100%

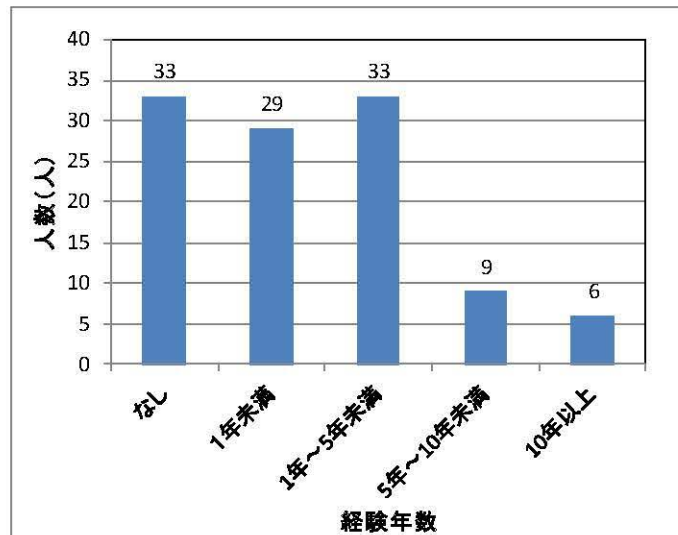


図 3-2 水力発電に係る経験年数

(3) 所属

電力・関連会社が 20%であり、次に建設業が 19%、コンサルタントが 16%であった（表 3-4 および図 3-3 参照）。

表 3-4 所属

所属	国	県	市町村	教育・学校関係	電力・関連会社	コンサルタント	建設業	製造業	金融機関	NPO	その他	合計
合計	1	14	3	3	22	18	21	15	0	0	15	112
比率	1%	13%	3%	3%	20%	16%	19%	13%	0%	0%	13%	100%

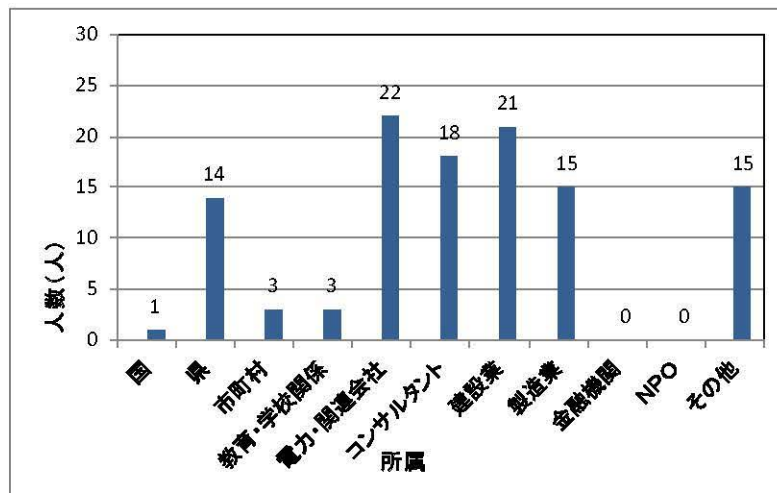


図 3-3 所属

(4) 所属する学協会

土木学会が 37%であり、次に電力土木技術協会（以下、電土協と記す）が 17%であった（その他は 29%：表 3-5 および図 3-4 参照）。

表 3-5 所属する学協会

学協会	土木学会	ダム工学会	電気学会	電力土木技術協会	技術士会	その他	合計
合計	13	0	3	6	3	10	35
比率	37%	0%	9%	17%	9%	29%	100%

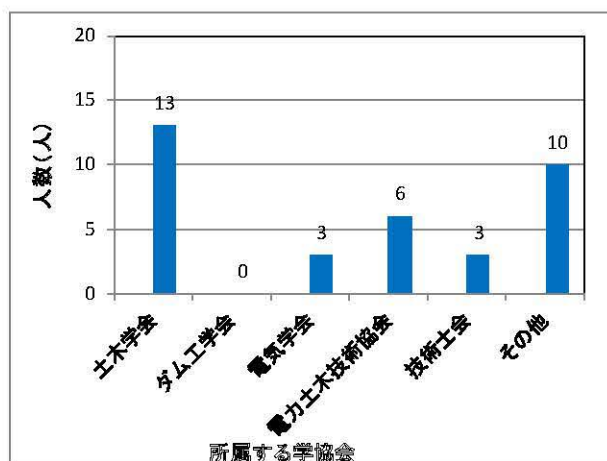


図 3-4 所属する学協会

(5) 年齢・性別

年齢は 20 代が 28%であり、30 代、40 代、50 代とも約 20%であった。また、女性の受講者は 14%であった（表 3-6 および図 3-5 参照）。

表 3-6 年齢・性別

	10代	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
合計	1	32	22	22	25	12	114
比率	1%	28%	19%	19%	22%	11%	100%

	男性	女性	合計
東北	23	1	24
関東	33	3	36
関西	27	7	34
九州	15	5	20
合計(人)	98	16	114
比率	86%	14%	100%

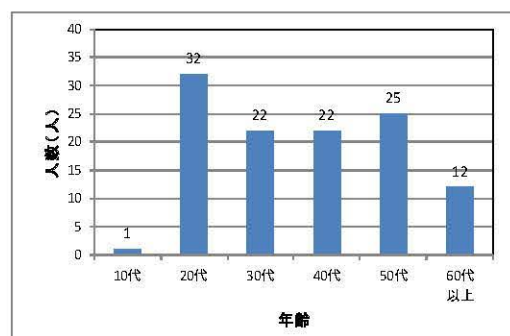


図 3-5 年齢分布

(6) 過去に受講した水力発電に関する研修

過去に受講した水力発電に関する研修は、昨年度から実施した電土協による人材育成研修会が10%であり最も多い（表 3-7 および図 3-6 参照）。

表 3-7 過去に受講した水力発電に関する研修

	電土協 H28研修会	NEF実務研修会	NEF基礎研修会	その他	未記入	合計
合計	12	10	6	6	87	121
比率	10%	8%	5%	5%	72%	100%

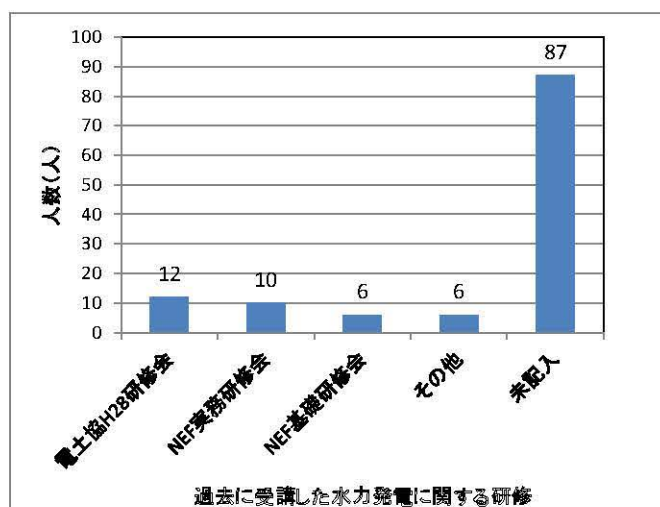


図 3-6 過去に受講した水力発電に関する研修

(7) 今回の受講動機

さまざまな動機があげられている。各地域で共通している動機は、水力発電事業を起業するため、また新しく水力業務に携わるために基礎知識を習得したいことである。また水力発電経験者では技術力向上や現業務以外に幅広く知見を有したいとする動機があげられている。主な具体例を以下に示す。

- ①水力発電事業を新しく始めるにあたって基礎知識を取得するため。
- ②水力開発に係る検討、諸手続きに関するスキルアップのため。
- ③業務で発電所の管理に携わっており、総合的な知識を身につけたい。

3.2.2 研修内容（座学）

各科目の結果概要は次のとおりである。

【1. 水力発電概論】

・水力発電の経験年数が少ない初心者は、水力発電の歴史と今後の流れや発電に関する基礎が理解できたとしている。一方で専門用語が多く、初心者には理解できにくかったとしている。

【2. 概略計画と事業性評価(1)】

・概略計画の大まかな流れが理解できたとされ、また策定にあたって流量調査と現地調査の重要性が認識できたとしている。一方で地形図を用いた流域面積の計測が難しかったようである。

【3. 土木設備・電気設備の設計】

・土木設備の特徴や設計に際しての留意点は理解できたとし、さらに必要な内容として最適設計や材料選定手法があげられている。

・電気設備は比速度など理解不足があげられている。さらに水車・発電機の原理や選定方法についての内容が必要としている。

【4. 環境保全(1), (2)】

・減水区間の環境保全や景観への配慮などが重要であり、実例からさまざまな対策方法が理解できたとしている。さらに希少動物保全など水力開発によって生じる環境影響に対する具体的な対策の指針やガイドラインの制定が必要としている。

【5. 地形、地質】

・地質調査の重要性や岩盤分類について理解できたとする一方、専門用語が理解できなかったとしている。今後は既設堰堤や農業水路利用の地質調査や器具を用いた岩盤区分についての演習が必要としている。

【6. 関係法令・手続き(1), (2)】

・関係法令の種類が多岐にわたり、手続きに時間を要することから早い段階での準備が必要であることが認識されている。

・改正 FIT 法についてその内容を理解できたとしている。そして業者にまかせるだけでなく、自らが良く理解し、チェックする必要があることが認識されている。

【7. 開発事例(1), (2)】

・事例を通して水力発電の計画から工事内容・手順および注意点などが理解できたとしている。また既設設備や補助金を活用する工夫、PFI の具体的事例が参考になったとしている。さらに民間主体の開発事例や計画の失敗事例についても学びたいとしている。

【8. 概略計画と事業性評価(2)：工事費積算演習】

・実際に計算することにより工事費積算の手法を理解するとともに、概算レベルにおける比較検討の考え方が理解できたとしている。さらにコスト低減するための着眼点や複数案による比較検討が必要としている。

【9. 概略計画と事業性評価(3)：事業性評価】

・演習を通して現在価値、IRR について理解できたとする一方で、計算はできるが何を求めているのかが理解不足ともしている。今後は限られた時間の中でキャッシュフロー・IRR への特化または単純化した演習が必要としている。

【10. 運転・保守管理、主任技術者の実務、電力系統運用】

・保安規程や主任技術者の役割が理解できたとしている。さらに主任技術者としての 1 日～1 年間における具体的活動内容や諸機械のメンテ内容が必要としている。

・電力系統運用については、さらに系統連系の規程や申請手順の詳細が必要としている。

【11. 水力開発のポイント】

・水力開発には地域社会への貢献およびコミュニケーションが重要であることが認識できたとしている。さらにそれらの具体的な成功・失敗事例が必要としている。

3.2.3 研修内容（現地研修）

(1) 研修時間

研修時間は、大多数が適当と回答している（表 3-8、図 3-7 参照）。

表 3-8 現地研修時間

	短い	適当	長い	合計
人数	16	76	0	92
比率	17%	83%	0%	100%

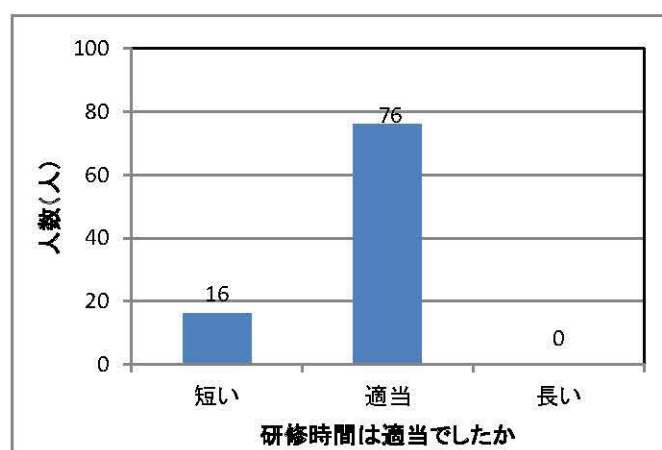


図 3-7 研修時間

(2) 研修内容

78%の受講者が「多少参考になった」および「大変参考になった」と回答している（表 3-9 および図 3-8 参照）。

表 3-9 研修内容

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
参考にならなかった	あまり参考にならなかった	普通	多少参考になった	大変参考になった
1	1	17	31	40
1%	1%	19%	34%	44%

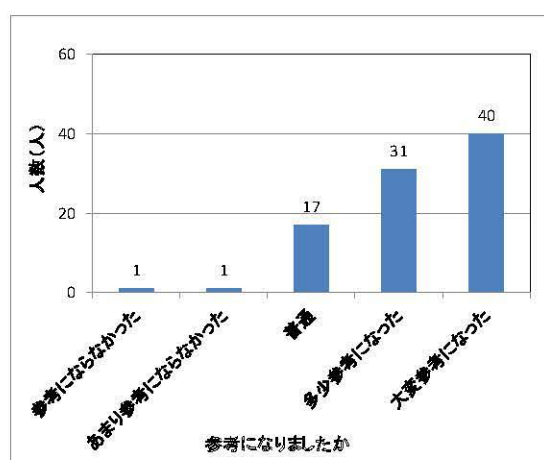


図 3-8 研修内容

「参考」になったことの各地域共通点は、実際の発電諸設備を見学してそのサイズ感、作動状況、全体構成等が理解できたことである。地域別にみると関東地域では着工準備中の保地点において取水口や発電所予定地が見られたこと、関西地点では蹴上発電所が100年以上現役として稼働していること、九州地域では工事中の鴨猪発電所において限られた用地での施工方法などについて参考になったとしている。

(3) 今後希望する見学箇所

ほとんどの地域で小水力発電施設の見学が希望されていた。特に地域で活用している発電所や、砂防堰堤、農業用水路、水道設備など既設設備を利用した発電設備見学があげられていた。

3.2.4 研修会全体について

(1) 研修日程

研修日程は、大多数の受講者が適当としている（表 3-10 および図 3-9 参照）。

表 3-10 研修日程

	短い	適当	長い	合計
人数	16	76	0	92
比率	17%	83%	0%	100%

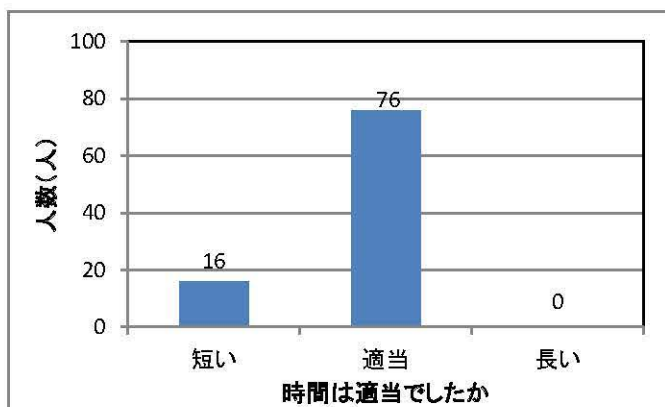


図 3-9 研修日程

(2) 受講動機に対する満足度

受講動機に対する満足度は、かなり高い（表 3-11 および図 3-10 参照）。

表 3-11 受講動機に対する満足度

	1	2	3	4	5	合計	加重平均点
人数	0	5	15	44	34	98	4.1
比率	0%	5%	15%	45%	35%	100%	—

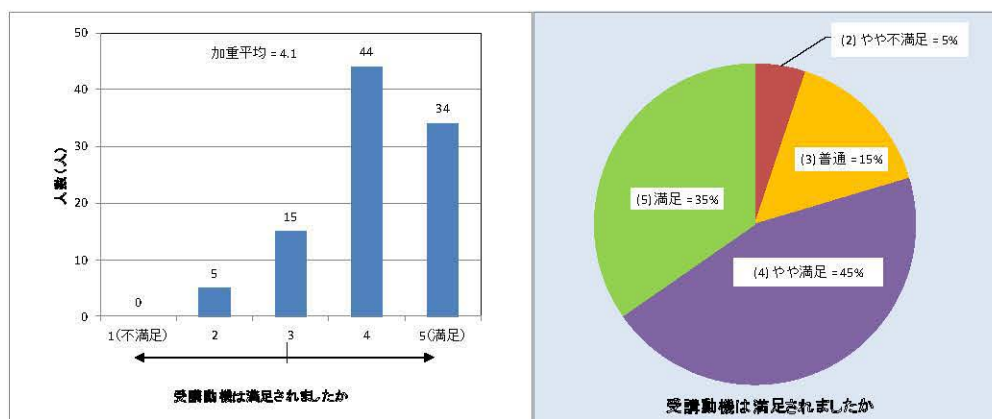


図 3-10 受講動機に対する満足度

(3) 満足できた点、満足できなかった点

- ・ 初心者は水力発電に関わる必要な基礎知識が理解されたとしている。

特に演習や事例紹介が理解促進に有益であったとされている。ある程度の経験者は事業性評価や関係法令手続きなど、普段なじみのない内容について新たな知見が得られたとしている。

- ・ 一方初心者にとって専門用語が理解しづらいとされており、もう少し丁寧な説明が求められていた。また全体的に時間が短いことも理解しづらい要因にあげられていた。ある程度の経験者は1ランク上の研修を望まれていた。

(4) 研修会全体を通じての感想

- ・ 水力発電未経験者または経験が浅い受講生は、本研修により水力開発に一步踏み出すことができたとされている。一方で水力開発にはさまざまな要素が関係していることから難しいと捉えた受講生もいた。

- ・ 研修内容については講義に加え実習、動画、現地見学など、聞いて・見て・考えてと工夫されており有意義であったとされている。さらに手を動かす演習を増やすことも望まれている。一方で内容に対し時間が短いとする感想もあった。

(5) 今後の水力開発促進に必要と思われるポイント、意見

- ・ FIT 終了後の制度、環境保全をはじめとする法令手続きの簡素化、開発の目安となる規模別「指標」の提示、水力開発に関して自治体と企業を連繋する機関。
- ・ 流量マップの整備とその一般公開、ルーチン的に設計できる設計基準。
- ・ 水力開発に対する地域への理解度向上と連帯の促進。そのためのわかりやすい情報提示。

(6) 今後このような研修の必要性について

当項目回答者全員が必要であると回答している。

- ・ 研修の必要性については技術継承の観点、水力開発に取り組む入口として、また研修小水力開発を行うために必須な内容となっているなどがあげられている。
- ・ 研修レベルについては中級、上級レベルの継続が求められており、さらに設計コースについても期待している。
- ・ 研修運営については全国各地での開催、回数の増加、また交流会の希望などをあげている。

4. 研修成果（専門コース）

研修結果は演習結果および受講者アンケート結果から判断することとし、一般コースと同様に内容の理解および研修前後の向上度が把握できるようにした。

4.1 アンケート内容・様式

アンケートは前記したこと等を目的に、次の内容に関して３段階または５段階数値評価、および記述評価により行った。アンケート様式は P28～P32 のとおりである。。

(1) 受講者

- ①職種 ②水力発電に係る経験年数 ③水力計画に関する経験年数 ④所属
- ⑤所属する学協会 ⑥年齢 ⑦性別 ⑧過去に受講した水力発電に関する研修
- ⑨今回の受講動機

(2) 講習内容（座学全科目）

- ①時間配分 ②理解度 ③実務向上度 ④さらに必要な内容

(3) 現地調査

- ①時間配分 ②参考度 ③実務向上度 ④さらに必要な内容 ⑤現地調査全体について感想・要望

(4) 研修会全体について

- ①受講満足度 ②研修日数 ③グループ制 ④今後希望する専門コース内容
- ⑤全体を通じての感想 ⑥水力開発促進に必要と思われるポイント・意見
- ⑦今後の研修の必要性

水力開発人材育成研修会(専門コース：〇〇地域)

アンケート票

平成〇〇年〇〇月〇〇日～〇〇日

一般社団法人電力土木技術協会

今後の研修会の企画・運営に際し、参加した皆様のご意見を参考にしたいと考えておりますので、お手数とは存じますが、本研修会に対するご意見、ご希望などを下記様式にご記入お願いいたします。

I. 受講者について(該当箇所に○をお付けください)

- (1) 職 種 (土木, 農業土木, 電気, 機械, 建築, 環境, 経済, その他())
- (2) 水力発電の経験年数 (1年未満, 1年～5年未満, 5年～10年未満, 10年以上(年))
- (3) 水力計画に関する経験年数 (1年未満, 1年～5年未満, 5年～10年未満, 10年以上(年))
- (4) 所 属 (官公庁(国, 県, 市町村等()), 電力・関連会社, コンサルタント, 建設業, 製造業, NPO, その他())
- (5) 所属する学協会 (土木学会, ダム工学会, 電気学会, 電力土木技術協会, 技術士会, その他())
- (6) 年齢 (10代, 20代, 30代, 40代, 50代, 60歳以上(歳))
- (7) 性別 (男性, 女性)
- (8) 過去に受講した水力発電に関する研修 (電土協 H28 本研修会, 電土協 H29 本研修会(一般コース), NEF 実務研修, NEF 水力発電に関する基礎研修, その他())
- (9) 今回の受講動機をご記入ください。

II. 研修内容について

【1. 水力発電計画に係る復習】

- (1) 時間は適当でしたか。

1 2 3
短い 適当 長い

- (2) 理解できましたか。

1 2 3 4 5
できなかった あまりできなかった 普通 かなりできた 良くできた

理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。

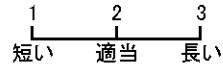
初級レベル ← 上級レベル

	1	2	3	4	5
受講前					
受講後					

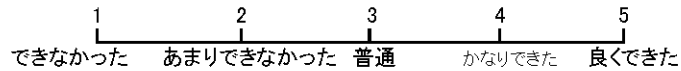
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【2. 図上計画策定のポイント】

(1) 時間は適当でしたか。

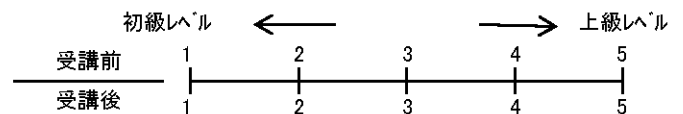


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

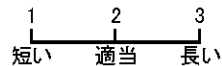
(3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



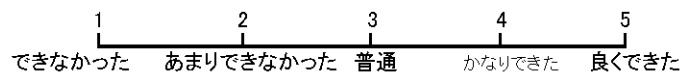
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【3. 図上計画策定演習(1)】水路ルート of 検討

(1) 時間は適当でしたか。

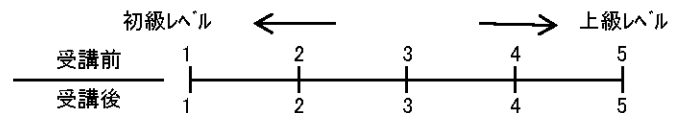


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

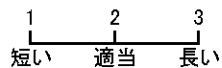
(3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



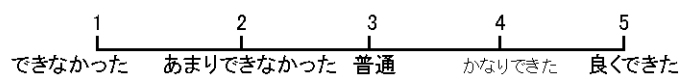
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【4. 図上計画策定演習(2)】発電諸元の検討

(1) 時間は適当でしたか。

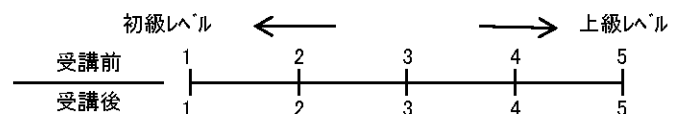


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

(3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



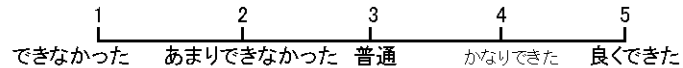
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【5. 図上計画策定演習(3)】工事費の検討、最適計画案の選定

(1) 時間は適当でしたか。

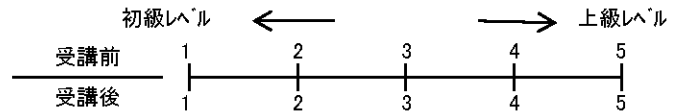


(2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

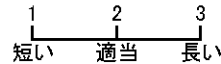
(3) 受講後の実務向上について該当番号に
○を付けてください。



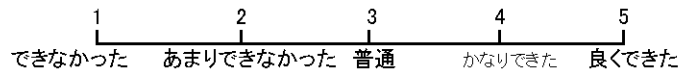
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【6. 現地調査の留意点】

(1) 時間は適当でしたか。

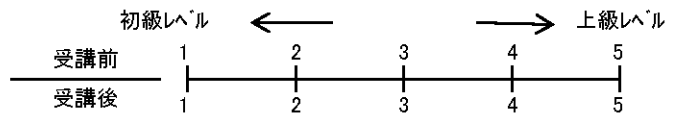


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

(3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【7. 現地調査】

(1) 時間は適当でしたか。

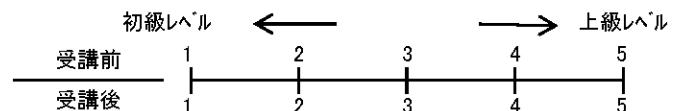


(2) 調査は参考になりましたか。



参考にならなかったことまたは参考になったことをご記入ください。

(3) 受講後の実務向上について該当番号に○
を付けてください。



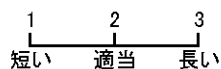
(4) さらに必要と考えられる内容についてご

記入ください。

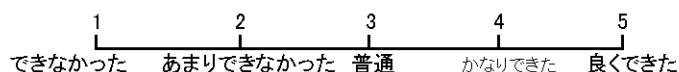
(5) 現地調査全体について感想・要望をご記入ください。

【8.再検討(1)】発電計画の見直し

(1) 時間は適当でしたか。

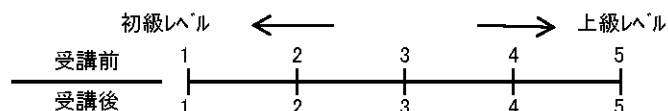


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

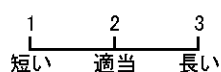
(3) 受講後の実務向上について該当番号に
○を付けてください。



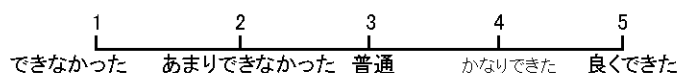
(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【8.再検討(2)】事業性評価の演習、総合評価

(1) 時間は適当でしたか。

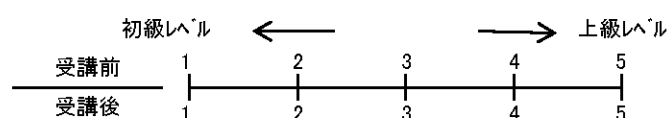


(2) 理解できましたか。



理解できなかったことまたは理解できたことをご記入ください。

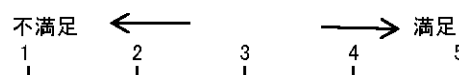
(3) 受講後の実務向上について該当番号に
○を付けてください。



(4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

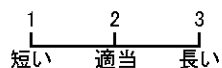
Ⅲ. 研修会全体について

(1) 今回受講されて受講動機は満足できましたか。



(2) 満足できなかった点、満足できた点をご記入ください。

(3) 研修日数は適当でしたか。



(4) グループ制による進め方、グループ編成について感想をお書きください。

(5) 専門コースとして今後希望する内容をお書きください。

(6) 研修会全体を通じての感想をお書きください。

(7) 今後の水力開発促進に必要と思われるポイントをお聞かせください。

(8) 今後このような研修は必要だと思いますか。

ご協力ありがとうございました。

4.2 アンケート結果

アンケートは全受講者 34 名から回答を得ることができた（表 4-1 参照）。両地域での研修会を集約した実績は以下のとおりである。

表 4-1 アンケート回答実績

地域	関東	中国	合計
受講者	15	19	34
アンケート回収数	15	19	34
同 回収率	100%	100%	100%

4.2.1 受講者

(1) 職種

土木職が 47%であり、次に電気職 15%であった（その他は 18%）。
（表 4-2 および図 4-1 参照）。

表 4-2 職種

職種	土木	農業 土木	電気	機械	建築	環境	経済	その他	合計
人数	16	2	5	2	1	1	1	6	34
比率	47%	6%	15%	6%	3%	3%	3%	18%	100%

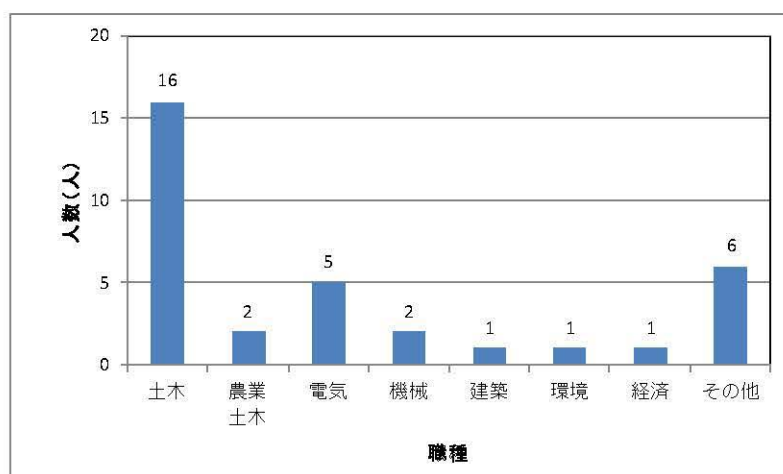


図 4-1 職種

(2) 水力発電の経験年数

“1年～5年未満”が 52%であり、次に“1年未満”が 42%であった（表 4-3 および図 4-2 参照）。

表 4-3 水力発電の経験年数

	なし	1年未満	1年～5年未満	5年～10年未満	10年以上	合計
合計(人)	0	14	17	1	1	33
比率	0%	42%	52%	3%	3%	100%

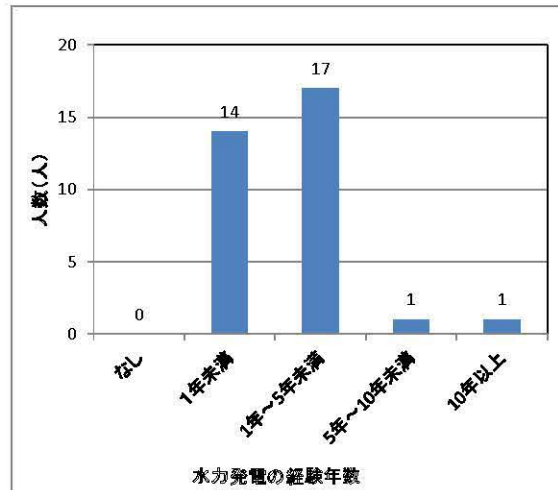


図 4-2 水力発電の経験年数

(3) 水力計画に関する経験年数

表 4-4 および図 4-3 に示すとおり、5 年未満が大多数である。

表 4-4 水力計画に関する経験年数

	1年未満	1年～5年未満	5年～10年未満	10年以上	合計
合計(人)	14	18	1	0	33
比率	42%	55%	3%	0%	100%

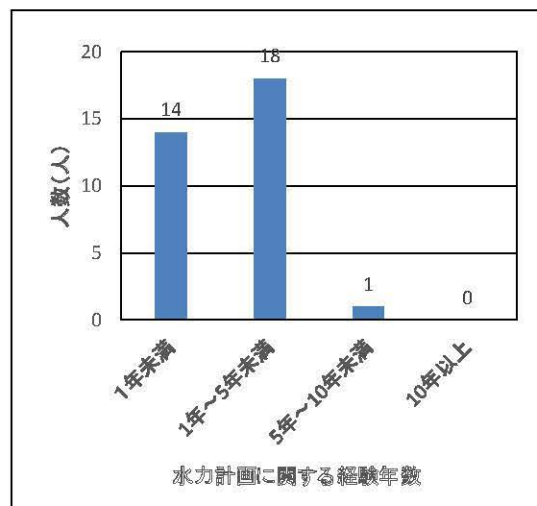


図 4-3 水力計画に関する経験年数

(4) 所属

コンサルタントが 36%、次に電力・関連会社および建設業が各々 12%であった（その他は 24%：表 4-5 および図 4-4 参照）。

表 4-5 所属

所属	国	県	市町村	教育・学 校関係	電力・関 連会社	コンサル タント	建設業	製造業	金融 機関	NPO	その他	合計
合計	0	3	0	0	4	12	4	0	0	2	8	33
比率	0%	9%	0%	0%	12%	36%	12%	0%	0%	6%	24%	100%

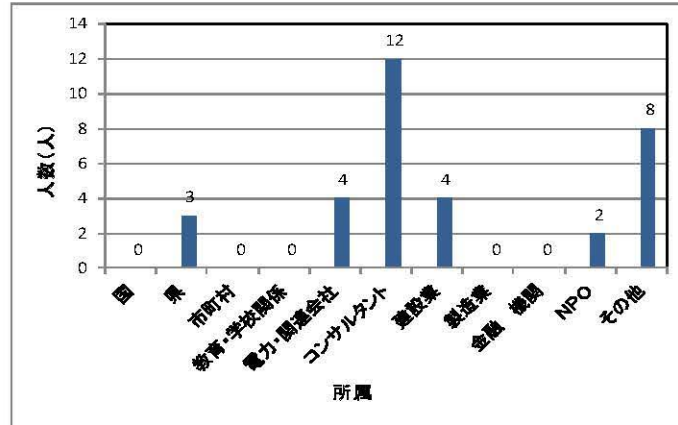


図 4-4 所属

(5) 所属する学協会

土木学会が 39%であり、次に電力土木技術協会（以下、電土協と記す）が 17%であった（その他は 22%：表 4-6 および図 4-5 参照）。

表 4-6 所属する学協会

学協会	土木学会	ダム工学会	電気学会	電力土木技術協会	技術士会	その他	合計
合計	7	1	1	3	2	4	18
比率	39%	6%	6%	17%	11%	22%	100%

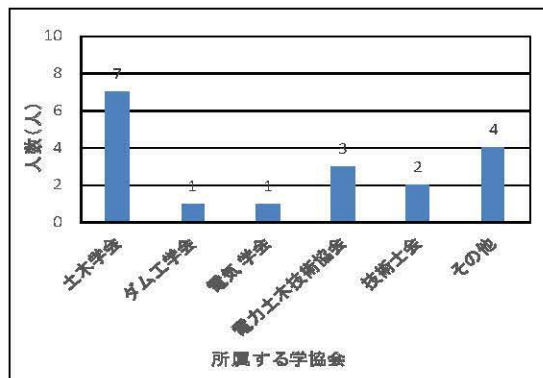


図 4-5 所属する学協会

(6) 年齢・性別

年齢は40代が30%であり、次に30代が27%であった。また、また、女性の受講者は12%であった（表4-7および図4-6参照）。

表 4-7 年齢・性別

	10代	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
合計	0	7	9	10	4	3	33
比率	0%	21%	27%	30%	12%	9%	100%

	男性	女性	合計
関東	15	0	15
中国	14	4	18
合計(人)	29	4	33
比率	88%	12%	100%

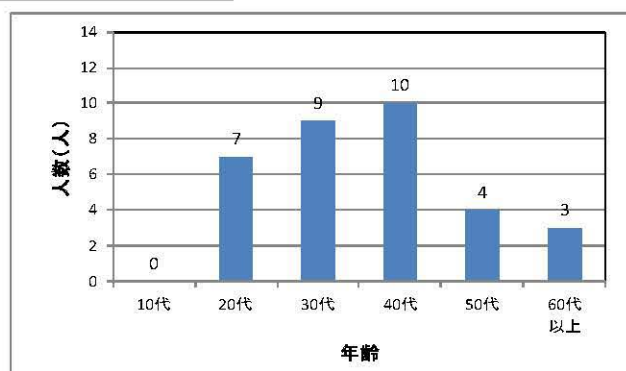


図 4-6 年齢分布

(7) 過去に受講した水力発電に関する研修

過去に受講した水力発電に関する研修は、昨年度から実施した電土協による人材育成研修会が多い（表4-8および図4-7参照）。

表 4-8 過去に受講した水力発電に関する研修（重複あり）

	電土協 H28 研修会	電土協H29 研修会 一般コース	NEF実務研修会	NEF基礎研修会	その他	未記入	合計
合計	14	8	3	6	1	7	39
比率	36%	21%	8%	15%	3%	18%	100%

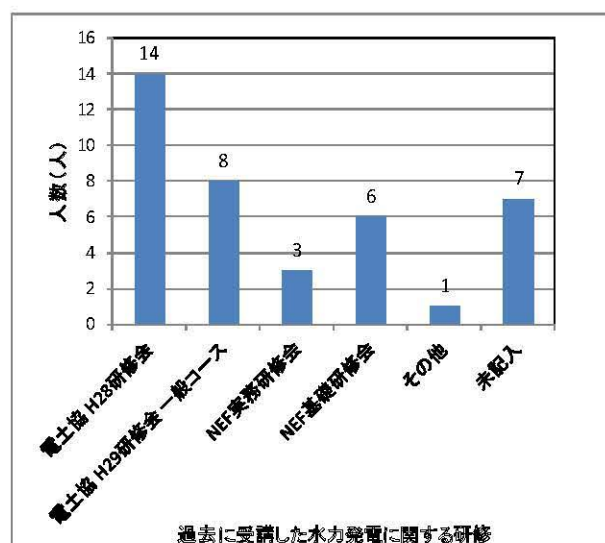


図 4-7 過去に受講した水力発電に関する研修

(8) 今回の受講動機

両地域とも水力計画策定の業務に携わっている受講生が多く、専門技術の向上および知見の拡大により実務に活かしたいとする動機が多く見受けられた。この他に水力発電事業化や海外での新規地点開拓に資するため、水力開発に係る知識を習得したいとする動機があげられている。全般的に受講の目的が明確であった。

4.2.2 研修内容

各科目の結果概要は次のとおりである。

【1. 水力発電計画に係る復習】

・復習を通して理解不足な点が把握できたとしている。また主要土木設備位置の決め方や流量資料の重要性が再確認できたとしている。

【2. 図上計画策定のポイント】

・等高線の見方、ヘッドタンクの位置、土被りなど何もない地形図上に計画策定するポイントが理解できたとし、さらに地質や施工性に関するポイントが必要としている。

【3. 図上計画策定演習(1)】水路ルートの検討

・実際に手を動かすことによりルート選定上のポイントがより習得できたとしている。さらに上～下流を通したシリーズ計画案(マスタープラン)の着目点が必要としている。

【4. 図上計画策定演習(2)】発電諸元の検討

・使用水量の設定から年間発電電力量まで一連の流れが理解できたとされている。一方で現状に合わせた構造物形式の選択(開渠 or 暗渠)が理解できないとされている。

【5. 図上計画策定演習(3)】工事費の検討、最適計画案の選定

・概算工事費を手計算で行ったので理解できたが、複数案を検討するためにはエクセルの使用が必要としている。また時間不足が指摘されている。

【6. 現地調査の留意点】

・危険な地質・地質構造など地図だけでは把握できないことがあり、現地調査の重要性を認識していた。さらに野帳や現地調査票の活用方法を希望していた。

【7. 現地調査】

・実際に川や尾根の様子を確認することで図上のイメージが明確になり、水路ルート・発電所位置の適・不適が理解できたとしている。グループごとの調査も望むなど、受講生は積極的に取り組んでいた。流量測定の実験なども希望している。

【8. 再検討(1)】発電計画の見直し

・実際の現地を見て(川幅、尾根の状態など)、位置・諸元を修正し、最適化することができたとしている。さらに工事費を低減する工夫を取り込んだ検討を希望している。一方で検討時間が短いことが指摘されている。

【9. 再検討(2)】事業性評価の演習、総合評価

・事業性評価の概要および自グループ結果は理解できたとし、さらに数例実施することを希望している。

4.2.3 研修会全体について

(1) 研修日程

研修日程は、大多数の受講者が適当としている（表 4-9 および図 4-8 参照）。

表 4-9 研修日程

短い	適当	長い	合計
2	29	1	32

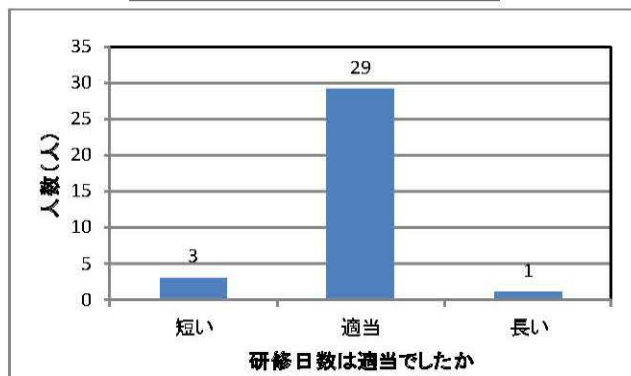


図 4-8 研修日程

(2) 受講動機に対する満足度

受講動機に対する満足度は、かなり高いと評価できる（表 4-10 および図 4-9 参照）。

表 4-10 受講動機に対する満足度

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	合計	加重平均
人数	0	0	1	14	18	33	4.5
比率	0%	0%	3%	42%	55%	100%	—

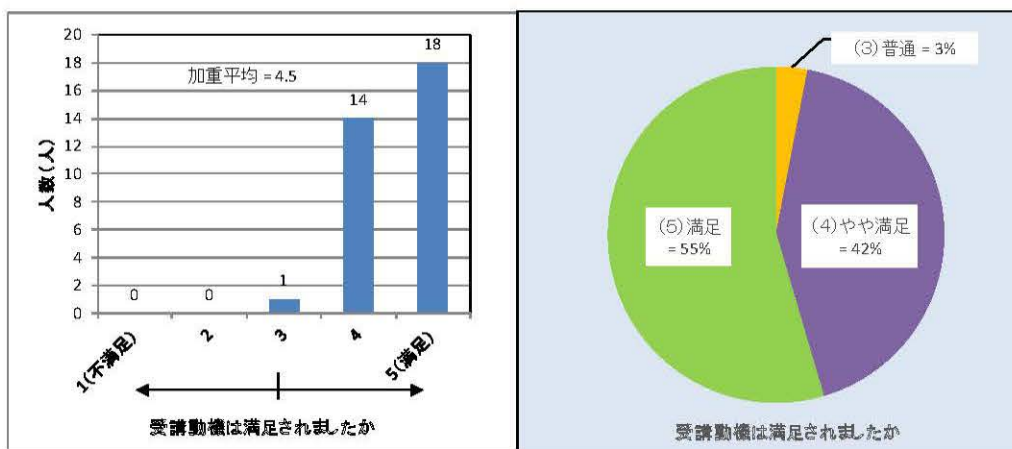


図 4-9 受講動機に対する満足度

(3) 満足できた点、満足できなかった点

- ・満足できた点として、i)計画策定の手順が明確になったこと、ii)水路ルート・工事費積算などの検討を、実際に手を動かし、現地を見て計画をブラッシュアップできたことなどをあげている。

- ・満足できなかった点として、工事費を低減させるための工夫やいろいろな導水路方式での検討を行いたいということがあげられている。

(4) グループ制について

- ・グループ制でさまざまな職種・経験の人と意見交換をしながら計画を策定していくことに、大半の受講生が有益としている。グループ制にすることで、理解できない点、できる点が共有でき、より理解が深まったとしている。

(5) 今後希望する内容

- ・環境に配慮した計画、設計や小水力（数十～数百kW）に特化した内容など、本研修よりも一歩踏み込んだ内容を希望している。また流量測定など実践的な内容も希望している。

(6) 全体を通じての感想

- ・水力発電を計画から事業性評価まで一連の流れを学ぶことができたこと、座学と現地調査の組み合わせ、また自分で手を動かして作業したことが大変勉強になったとしている。

- ・講義内容に加え講師陣の対応も評価されており、受講者も自信がついたとしている。

(7) 今後の水力開発促進に必要と思われるポイント

- ・FIT 以降の制度、高圧系統の余力確保、さらなる規制緩和、資金調達などに対する国の施策また長期間での水力価値評価や設計基準の整備の必要性があげられている。

- ・エネルギーの地産地消を進めるための小エリアネットワーク構築の必要性、また計画を実施に移すための自治体各部署におけるスムーズな手続き方策があげられている。

(8) 今後このような研修の必要性について

当該項目回答者全員が必要としている。

- ・新規参入者や経験が少ない若手にとって、技術継承の点からも経験ある講師による研修は必要であるとしている。

- ・再生可能エネルギーが注目される中、まだ開発可能な地点はあるので研修の継続は必要であり、さらにレベルに応じた研修内容が求められている。

水力発電人材育成研修会

テキスト

一般財団法人 新エネルギー財団

一般社団法人 電力土木技術協会

目 次

1. はじめに	1- 1
2. 水力発電概論	2- 1
2.1 発電原理と分類	2- 1
2.2 わが国の水力の歴史	2- 2
2.3 日本の包蔵水力	2- 7
(1) 理論包蔵水力	2- 7
(2) 包蔵水力	2- 7
2.4 開発目標	2- 8
3. 概略計画と事業性評価	3- 1
3.1 水力発電計画の策定手順	3- 1
3.2 机上検討	3- 2
(1) 水路ルートのご検討	3- 2
(2) 取水地点の流域面積	3- 4
(3) 地点選定	3- 5
(4) 減水区間	3- 6
(5) 河川維持流量	3- 7
(6) 自然および社会環境	3- 7
3.3 現地踏査	3- 8
(1) 現地踏査の目的	3- 8
(2) 計画地点の地形および地質確認	3-10
(3) 地質踏査	3-12
(4) 工事条件	3-20
(5) 自然・社会環境条件	3-20
3.4 流量資料	3-21
(1) 流量資料の基本事項	3-21
(2) 流量資料の調査に関する諸法規	3-22
(3) 流量調査に関わる用語および定義	3-24
(4) 測水所の設置	3-26
(5) 河川流量の測定	3-26

(6) 水位流量図	3-48
(7) 水位流量年表、流況表および流況曲線図	3-48
3.5 最適規模の検討	3-53
(1) 総落差、損失落差、有効落差	3-53
(2) 使用水量の決定	3-55
(3) 発電力の算定	3-60
(4) 発電電力量の算定	3-63
(5) 最適発電規模	3-67
(6) 水車・発電機の選定	3-67
3.6 概算工事費、経済性評価および事業性評価	3-70
(1) 工事費の積算	3-70
(2) 経済性の評価	3-74
(3) 事業性の評価	3-81
3.7 工事費積算および事業性評価の演習	3-84
4. 地形・地質	4- 1
4.1 「土砂災害」からみた地形・地質について	4- 1
(1) わが国における「土砂災害」について	4- 1
4.2 地形・地質の基礎知識	4- 5
(1) 土質地盤と岩盤	4- 5
(2) 地質年代	4- 5
(3) 地盤の構成物	4- 7
(4) 岩石の種類と特徴	4- 8
(5) 風化と変質	4-12
(6) 地質構造	4-13
(7) 地形判読	4-16
4.3 ダムの地質調査	4-19
(1) 調査の区域	4-19
(2) 調査の方法	4-20
4.4 ダムの安定と事故事例	4-21
(1) ダムの安定	4-21
(2) ダムの事故事例	4-24

5. 環境保全	5- 1
5.1 水力発電所の環境問題	5- 1
5.2 環境影響評価制度	5- 1
(1) 環境影響評価法	5- 2
(2) 発電事業に係る環境影響評価制度	5- 3
(3) 環境影響評価の実施と手続き	5- 3
(4) 電気事業法による特例	5- 6
(5) 環境影響評価の項目	5- 6
5.3 減水区間に対する環境保全対策	5-11
(1) 減水区間に対する維持放流	5-11
(2) 減水区間における魚道・水生生物対策	5-16
(3) 減水区間に対する河川景観対策	5-37
5.4 水力発電設備の環境保全対策	5-39
(1) 魚類の迷入防止対策	5-39
(2) 魚道	5-40
(3) 水力発電設備の景観対策	5-41
5.5 新たな環境の創造	5-44
6. 関係法令・手続き	6- 1
6.1 関係法令・基準	6- 1
6.2 電気事業法	6- 4
(1) 電気事業法の体系および目的	6- 4
(2) 電気工作物	6- 4
(3) 電気工作物に係る主要な条項	6- 5
(4) 各開発段階における手続き	6- 6
(5) 発電設備の実態に応じた要否	6- 6
6.3 河川法	6- 8
(1) 河川法の体系および目的	6- 8
(2) 河川法に係る主要な条項	6- 8
(3) 小水力発電に係る許認可手続きの簡素化	6-10
6.4 固定価格買取制度	6-11
(1) 固定価格買取制度の概要	6-11

(2) 改正 FIT 法における新固定価格買取制度	6-12
6. 5 森林法	6-14
(1) 森林法とは	6-14
(2) 保安林とは	6-14
(3) 保安林の種類	6-14
(4) 保安林の面積	6-21
(5) 保安林における制限	6-22
(6) 転用に係る保安林解除申請	6-23
(7) 林地開発許可制度（普通林）	6-25
7. 土木設備・電気設備の設計	7- 1
7. 1 土木設備の設計	7- 1
(1) 取水ダム	7- 1
(2) 取水口	7- 5
(3) 沈砂池	7- 7
(4) 導水路	7- 8
(5) 水槽（ヘッドタンク）	7-10
(6) 余水路	7-11
(7) 水圧管路	7-13
(8) 発電所	7-22
(9) 放水路・放水口	7-22
7. 2 電気設備の設計	7-23
(1) 水車の種類	7-23
(2) 水車の選定方法	7-23
(3) 水車型式の選定における留意事項	7-24
(4) 水車の特性	7-26
(5) フランシス水車の機械計画	7-31
(6) 水車・発電機効率	7-34
(7) 発電機の種類と特徴	7-38
(8) スクリーン	7-40
(9) 送変電設備	7-41
8. 運転・保守管理および主任技術者の実務	8- 1
8. 1 運転・監視制御	8- 1

(1) 運転制御方式の種類	8- 1
(2) 監視制御方式の分類	8- 2
8.2 保守管理	8- 4
(1) 保安規程に基づく保守管理	8- 4
(2) 保守業務	8- 4
(3) 報告	8- 4
8.3 主任技術者の実務	8- 5
(1) 主任技術者の職務	8- 5
(2) ダム水路主任技術者	8- 5
(3) 電気主任技術者	8- 6
9. 電力系統と運用	9- 1
(1) 電力系統	9- 1
(2) 運用	9- 1
(3) 系統連系	9- 1
(4) 誘導発電機	9- 2
10. 水力開発のポイント	10- 1
10.1 水力発電の価値および開発の隘路	10- 1
(1) 水力発電の価値	10- 1
(2) 水力開発の隘路	10- 1
(3) 隘路の解決に向けて	10- 2
10.2 制度・政策における地域貢献の要素	10- 2
(1) 制度・政策における地域社会への貢献のねらい	10- 2
(2) 地域社会への貢献の要素	10- 4
10.3 水力発電の地域貢献事例	10- 5
(1) 農協による小水力発電	10- 5
(2) 土地改良区による小水力発電	10- 6
(3) 自治体による小水力発電の普及啓発	10- 7
(4) 特定電気事業による集落への電力供給	10- 8
(5) 電力会社によるダム湖の観光利用への協力と環境保全	10- 9
(6) 電力会社による国の治水ダムと連携した洪水対策	10-10
(7) 電力会社による被災水力発電所の復旧と河川の再生	10-11
(8) 民間企業による環境と調和した小水力発電	10-12

(9) 温泉事業者による小水力発電	10-13
10.4 水力発電の地域貢献の可能性と課題	10-14
(1) 地域経済の活性化	10-14
(2) 地域インフラの整備	10-14
(3) 地域へのエネルギー供給	10-16
(4) 地域環境の保全・改善	10-16
(5) 地域社会の活性化	10-17
(6) 地域への定着	10-17
10.5 地方創生に資する水力開発の考え方	10-18
(1) 地域社会に永続的に貢献する総合的な水力開発の実現に向けて	10-18
(2) 地域が主体となった水力開発の推進体制	10-19
(3) 地域が主体となった総合的な水力開発事業モデルの構築に向けて	10-21
[参考文献]	10-24
[参考] 再生可能エネルギーとしての水力の価値	10-26

巻末資料

参考資料 1	「水力発電事業性評価等支援事業」（人材育成等を行う事業に係る業務）に関する「地域環境等の概観」について
参考資料 2	環境保全関連
参考資料 3	電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン
参考資料 4	全国の代表的な流況
参考資料 5	現地調査野帳例

1. はじめに

水力発電は再生可能なエネルギーであり、エネルギー源の大半を海外からの輸入に頼っているわが国にとって、貴重な純国産エネルギーである。また他の電源に比べ CO₂ の排出量が非常に少ないクリーンなエネルギーでもある。

経済産業省は、平成 28 年度に引き続き平成 29 年度においてもこのような水力発電を促進する施策の一環として「水力発電に係る人材育成のための研修会」を実施することになった。研修会の目的は有望と目される水力開発地点（再開発を含む）に関し、必要な調査（地形・地質、流況および水利や送配電系統の状況等）を計画・実施するとともに、その成果に基づいて、概略計画の策定ならびに事業性評価が実行でき、さらに効率的・経済的な水力発電の促進を進める上で必要な技術を有する人材等の育成を図ることである。

本テキストは上記研修会のために作成したものであり、開発計画から保守運営まで、今後新たに水力開発を始める人が理解できるよう入門書的な性格としている。また今後の水力開発は中小規模になることから流れ込み式発電（1,000kW 程度）を主体とし、河川維持流量発電等他の既設構造物を利用する発電方式についても述べている。

本テキストが水力開発に携わる多くの人材に活用され、わが国の水力開発の促進、さらにはエネルギーセキュリティに寄与できれば幸いである。

2. 水力發電概論

2. 水力発電概論

2.1 発電原理と分類

水力発電は、水が高いところから低いところに流れ落ちる性質を利用し、水の流れ落ちるエネルギーを水車によって機械エネルギーに変換し、発電機によって電気エネルギーを作るものである。

すなわち、高い位置にある河川等の水を低い位置にある水車に導き、この高低差（落差）を利用して水車で発電機を回し、電気を発生させる（図2-1-1参照）。

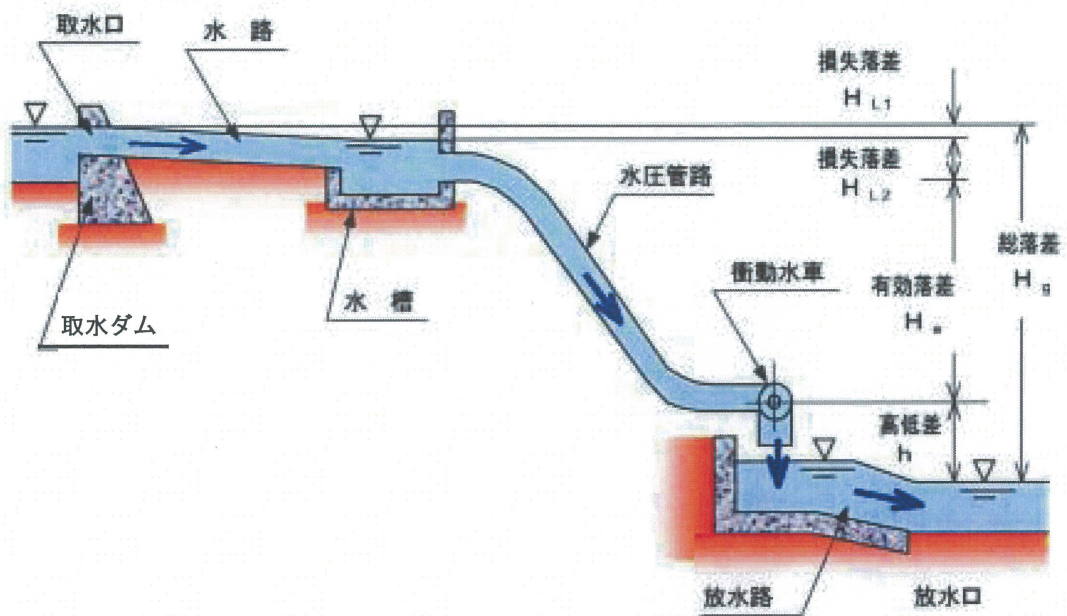


図2-1-1 水力発電の原理

出典) ハイドロバレー計画ガイドブック 平成17年3月 P3-1

注) “JEC-4001-1992”に基づく 衝動水車および反動水車 における総落差、静落差、有効落差 の関係は、後述する「3. 概略計画と事業性評価」の図3-5-5および図3-5-6に示す。

水力発電は、落差を得る方法（発電形式）、並びに水の利用方法（発電方式）によって分類される。

(1) 発電形式による分類（落差を得る方法）

- ア. 水路式：川の上流に低い堰を造って水を取り入れ、長い水路により落差が得られるところまで水を導き発電する形式
- イ. ダム・水路式：ダムの貯水位、圧力導水路及び水圧管路により落差を得る形式
- ウ. ダム式：ダムの貯水位及び水圧管路により落差を得る形式

(2) 発電方式による分類（水の利用方法）

- ア. 流れ込み式：河川水を調整せずに発電する方式。
- イ. 調整池式：日あるいは週単位の調整を行う方式。
- ウ. 貯水池式：季あるいは年単位の調整を行う方式。
- エ. 揚水式：上池と下池を結ぶ発電所によって、電力の需給状況に即応して発電、又は揚水を行う方式。
上池の流域面積が非常に狭く、発電運転は下池から揚水して行う純揚水と、流域面積が大きく年間流量の多い貯水池を上池に持ち、上池の自然流量と下池から揚水した流量で発電を行う混合揚水とがある。

本テキストは、これらのうち、今後も多く開発されるであろう流れ込み式発電を主な対象としている。

2.2 わが国の水力の歴史

(1) 明治～第二次世界大戦

明治維新以降におけるわが国の産業動力は水車・人力・汽力であったが、明治中期になると、主要都市で電灯需要が急速に増加してきた。当時電灯は、すべて石炭を燃料とした汽力発電であったが、内陸部では、交通が不便で石炭輸送に費用がかかったため、水力電源地帯に近い地方都市から殖産興業用として水力発電が始まった。

わが国における水力発電は、紡績業自家発電用として1888年（明治21年）三居

沢発電所（宮城県：5 kW）が始まりとされており、1890年（明治23年）には鉱山業として足尾銅山間藤発電所（栃木県）が開発され、その後、殖産興業用として出力が数百kW程度の小規模な水力発電所が日本各地で開発された。一般電気事業用としては、1891年（明治24年）に京都市が琵琶湖疏水を利用した蹴上発電所（160 kW）が始まりとされている。

日清戦争（1894年～1895年）・日露戦争（1904年～1905年）を経て、日本の工業化が促進され、工場動力も蒸気力から電力へと転換される動力革命が進展した。また、一般家庭へ電灯が普及し、電気市場は拡大した。1899年（明治32年）広発電所（広島県：750kW）、沼上発電所（福島県300 kW）において高電圧で長距離送電が始まると、地方都市への電灯供給を目的として多数の電気事業者が誕生した。さらに、1907年（明治40年）駒橋発電所（山梨県：15, 000 kW）の完成を契機として、送電圧が高められ、送電距離が延長されて、遠隔地大型水力開発が本格化した。この結果、出力規模が数万kWの発電所開発が行われるようになり、1911年（明治44年）には火主水従から水主火従に電気事業が転換した。国では技術的に信頼できる水量、落差に基づいて水力開発の促進を図るため、水路式で渇水量（年間355日流量）を標準とした第1次発電水力調査（1910年～1913年）を全国規模で実施した。これによりわが国の包蔵水力の概況が初めて明らかにされた。

第一次世界大戦（1914年～1918年）期に産業用電力の需要が増大し、長距離送電による大規模水力の開発が可能となったことから、日本各地で水力開発が活発に行われた。1914年（大正3年）に竣工した猪苗代第一発電所（福島県：37, 500 kW）は、日本初の送電圧115kVで東京まで225. 3kmの送電に成功した。

発電方式も従来は水路式であったが、ダム式やダム水路式が採用されるようになり、また、使用水量も渇水量程度から平水量（年間185日流量）程度まで拡大される傾向となってきた。1918年（大正7年）野花南発電所（北海道：5, 100 kW）は、日本で最初のダム式の水力発電所であり、1924年（大正13年）には大井発電所（木曽川：ダム水路式42, 900 kW）が、わが国初のダム高53mを有する本格的ダム式水力発電所として建設された。これらを契機として1920年代中期（大正末期）から出力規模数万kWの大容量水力開発が全国で行われた。国でもこの時期に水路式で

平水量を標準とした第2次発電水力調査（1917年～1921年）を実施した。

昭和初期から第二次世界大戦前までは使用水量を平水量程度とする開発が継続され、各地で水路式に加え、ダム式・ダム水路式による発電所が相次いで建設された。1934年（昭和9年）には日本初の揚水式発電として池尻川発電所（関川：2,340 kW）が運転開始した。また、水力技術の進展に伴い、1931年（昭和6年）に当時世界最高の落差621.1mを有する小口川第三発電所（富山県：14,000 kW）が運転開始した。

一方、1920年代初期に、大都市への人口集中や産業活動の進展に伴って、上水道や工業用水道など新しい水需要が発生し、利水用の高ダムが建設されるようになってきた。また河川流域の土地の高度化利用によりダムによる洪水防御の考えが登場し、利水と治水の整合性を図る河水統制の思想が提唱され始めた。そして高ダムを利用して、河川を治水・利水両面から総合的に開発しようとする河水統制事業に基づく地点調査および計画検討が第3次発電水力調査（1937年～1941年）として実施された。第二次世界大戦中は国が電力を管理することとなり、各地で数万kW規模の発電所が多数開発された。

（2）第二次世界大戦～オイルショック

戦後の急増する電力需要に対処するには、電源開発の量的確保が必要であり、国家的見地に基づく大規模電源開発の早期着工が要望された。電気事業体制は1951年（昭和26年）に戦時中の国家管理から9電力会社に再編成され、また1952年（昭和27年）に「すみやかに電源開発及び送電変電施設の整備を行うことにより、電気の供給を増加し、もってわが国産業の振興及び発展に寄与する」（第1条）ことを目的として、電源開発促進法が公布された。そして定められた地点の電源開発をすみやかに行うため、同年9月に電源開発株式会社が設立され、豊富で貴重な水力資源を有効に活用するため、貯水池式あるいは調整池式発電所の開発が進められた。

1950年代半ばから1960年代にかけて、神武景気や岩戸景気により、わが国資本主義の高度成長が本格的に開始され、電力需要も急増した。これに対応するため

建設期間が水力よりは短期で、規模によるコストメリットを有する高能率大容量火力発電所の開発が促進されることになった。火力発電所は設備の特性上、負荷の変動に対する即応性に乏しく、また、設備が大容量化するにしたがって万一の事故の場合、送電系統への影響が甚大になる。一方、水力開発における貯水池は、電気エネルギーを水のかたちで備蓄できる特性がある。そこで水力はピーク供給力としての新しい役割をになうことになり、大容量火力と見合った大規模貯水池式発電所の開発が促進されることになった。この時期は設計、施工技術の発達によって、高さ100m以上のコンクリートダムやロックフィルダムによる大規模貯水池・調整池式およびそれに連なる大型の流込み式発電の開発が全国各地で展開された。この時期、国では貯水池・調整池を計画し、水系一貫開発による河水の有効利用、河川総合開発事業への参画を図ること等を基本方針とした第4次発電水力調査（1956年～1959年）を実施した。

1960年代はベース供給力としての大容量火力発電の急速な進展に対し、ピーク供給大規模貯水池式発電に加えて揚水式発電の開発が要請されるようになった。

日本で最初の揚水式発電所は、1934年（昭和9年）に運転開始した池尻川発電所（出力2,300kW）であるが、当時は豊水期の余剰水力を利用して揚水し、渇水期にその貯えられた水を利用して発電するという河水の季節調整を目的としたものであり、その当時は開発地点も少なかった。1960年代に入り、前述の揚水発電の開発要請を受け、上部貯水池（上池）の河水の流量も多く、一般水力としても発電可能な混合揚水式発電所が多く建設された。一方、高能率大容量火力発電所の開発が急ピッチで進められた結果、1962年（昭和37年）には火力設備が水力設備を上回り、1911年（明治44年）から続いていた水主火従は火主水従に転換された。

一方、1968年（昭和43年）を境にして、電力需要量の年間ピークが冬から夏に移行した。これは家庭用クーラー、ビルなどの冷房空調設備の急速な普及により冷房需要量が急増したことが要因となっている。この傾向は年をおって顕著になるとともに、夏期の電力需要量ピークは、ますます尖鋭化していった。電力需要量の急増に対応するため大型火力発電所の建設が進む中で、尖鋭化するピークに対し、新たに大規模な揚水式発電所の開発が要請された。

電力需要量のピーク対応供給力として、1960年代には混合式揚水発電所の開発が進められたが、1970年代から経済的な地点が少なくなってきた。その結果、上池への河水流入が全くないか、極めて少ない流入量でも発電可能な純揚水式発電所が建設されるようになった。すなわち、水圧鉄管、ポンプ水車の技術や経済性の向上により、落差が500m以上の超高落差の純揚水式発電所の開発が進められた。

(3) オイルショック～現在

1973年(昭和48年)および1979年(昭和54年)の2度にわたる石油危機により、日本政府は石油依存度の高い電力供給構造を改革するため、1980年(昭和55年)から「石油代替エネルギーの開発および導入の促進に関する法律」を施行した。

一般水力の開発は停滞していたが、この法律の中で水力は非枯渇性の国産エネルギーとして位置づけられた。そして石油代替エネルギーとしての観点から発電電力量(kWh)の開発に重点をおき、自然・社会環境との調和に配慮した第5次発電水力調査(1980年～1986年)が実施された。この結果、大規模な開発地点が少なく、数千～数万kWの中小規模の開発が中心となり、スケールメリットが得られにくくなることから、国も交付金制度の確立、中小水力用の技術開発など各種の開発促進体制の整備を開始した。

一方、脱石油化の中で石油代替エネルギーとして原子力発電や天然ガス発電の増強が進められた。そして電力需要量が尖鋭化する夏期のピークに対応するため、1,000,000kW級の大規模な純揚水式発電所の開発が1970年代から引き続き進められることになった。

近年では、地球温暖化防止対策としてクリーンな再生可能エネルギーとして位置づけられ、2003年(平成15年)に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)により、出力1,000kW以下の中小水力発電が新エネルギーに含まれることになり、農業用水・水道用水などを利用した数十～数百kW程度が開発が行われるようになった。また、2012年(平成24年)から再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で買い取る「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT制度)が開始され、水力も30,000kW未満が

対象となっている。

2.3 日本の包蔵水力

(1) 理論包蔵水力

地表に降った雨や雪が、蒸発、浸透などで失われることなくすべて海に注ぐものとしたとき、海面に対して持っている位置エネルギーの総和を「理論包蔵水力」といい、我が国の理論包蔵水力は、7,176億kWhと推計されている（出典：中小水力発電ガイドブック（新訂5版）新エネルギー財団 水力地熱本部 P24）。

(2) 包蔵水力

理論包蔵水力のうち技術的・経済的に開発可能なものが、一般にいわゆる「包蔵水力」である。具体的な個別地点を積み上げて求めたものであることから、その値は技術の進歩、経済尺度の変化に応じて変動するものである。

平成28年度現在の我が国の包蔵水力を、経済産業省 資源エネルギー庁のホームページから引用して、表2-3-1 に示すが、現時点での包蔵水力（1,354億kWh）は理論包蔵水力（7,176億kWh）の約19%に相当する。

表2-3-1 全国の包蔵水力

出典）資源エネルギー庁 HPを参考とし加筆

区 分		地点数	最大出力 (kW)	年間可能発電電力量 (MWh)	平均出力 (kW)	設備利用率
既開発	一般水力	1,969	22,368,615	92,865,559	11,360	47%
	混合揚水	17	5,624,690	2,378,974		
工事中	一般水力	60(4) -3	383,274 -167,255	1,241,407 -565,607		
	混合揚水	—	—	—		
未開発	一般水力	2,698 -254	11,945,430 -990,222	45,249,466 -6,739,917	4,428	43%
	混合揚水	18 -10	6,916,000 -97,550	1,651,500 -647,132		
一般水力計		4,723 -257	33,539,842	132,050,908		
混合揚水計		35 -10	12,443,140	3,383,342		
合計		—	—	135,434,250	—	—

1. 「既開発」は平成28年3月31日現在において運転中のものであり（一部が工事中である発電所に係る運転未開始分の出力、電力量については「工事中」の該当欄に各々計上した。）、一般電気事業、卸電気事業及び卸供給事業用の全発電所

並びに最大出力100kW以上の自家用発電所について集計した。

2. 「工事中」は第4回電源開発分科会（平成14年7月12日）までに決定されたもの、及び電気事業法に基づき、平成28年3月31日までに工事計画事前届出が受理されたものについて集計した。
3. 「混合揚水」の年間可能発電電力量は自流分発電電力量のみを集計した。
4. 「工事中」及び「未開発」の計画に伴う「既開発」への影響については、各々の数値の下段に外数として示した。なお、地点数については廃止となる発電所数を示した。
5. 「工事中」のうち、既開発地点の増設、改造中地点数を（）内数で示した。

出典) http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan002/

2.4 開発目標

わが国エネルギー政策の枠組みとなる長期エネルギー需給見通しは、経済産業大臣の諮問機関である総合資源エネルギー調査会によって策定され、これまで数次にわたって改訂されてきた。平成27年（2015年）7月には、エネルギー情勢の変化、地球温暖化対策や新エネルギーの導入状況等を踏まえ、中長期的な視点から、2030年のエネルギー需給見通しが公表された。

これによれば、まず、経済成長や電化率の向上等による電力需要の増加を見込む中、徹底した省エネルギー（節電）の推進を行い、2030年度時点の電力需要を2013年度とほぼ同レベルまで抑えることを見込んでいる。

次に、重要な低炭素の国産エネルギー源である再生可能エネルギーについては、2013年から3年程度、導入を最大限加速していき、その後も積極的に推進していくこととしており、我が国の自然条件等を踏まえつつ、各電源の個性に応じた再生可能エネルギーの最大限の導入を行う観点から、自然条件によらず安定的な運用が可能な地熱・水力・バイオマスにより原子力を置き換えるものとしている（図2-4-1参照）。

これによって、東日本大震災後の原子力発電所の運転停止によって約6%にまで大きく低下した我が国のエネルギー自給率は24%程度に改善し、エネルギー起源CO₂排出量は、2013年度総排出量比約22%減を目指している。

以上を踏まえ、「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について 平成27年3月 資源エネルギー庁」によれば、以下のとおりとしている。

- ・ 現在進行中の案件又は経済性のある案件のみ開発が進む場合、大規模 19 万 kW、中小規模 16 万 kW の導入が見込まれ、既導入量と合計すれば 4,780 万 kW（825 億 kWh）の導入が見込まれる。なお、2020 年までには 23 万 kW を見込む（大規模のうち、既に建設が進められており 2020 年までに運転開始する 17 万 kW と中小規模の年数按分 6 万 kW の合計）
- ・ また、既存発電所の設備更新による出力増加、未利用落差の活用拡大等が進んだ場合、2030 年までに大規模 35 万 kW、中小規模 42 万 kW が導入されると見込まれ、既導入量と合計すれば、4,822 万 kW（845 億 kWh）となる。
- ・ さらに、自然公園法や地元調整等自然・社会環境上の障害があるが解決可能とされる地点の開発等が進んだ場合、大規模 91 万 kW、中小規模 206 万 kW が導入されると見込まれ、既導入量と合計すれば 5,041 万 kW（953 億 kWh）の導入が見込まれる。

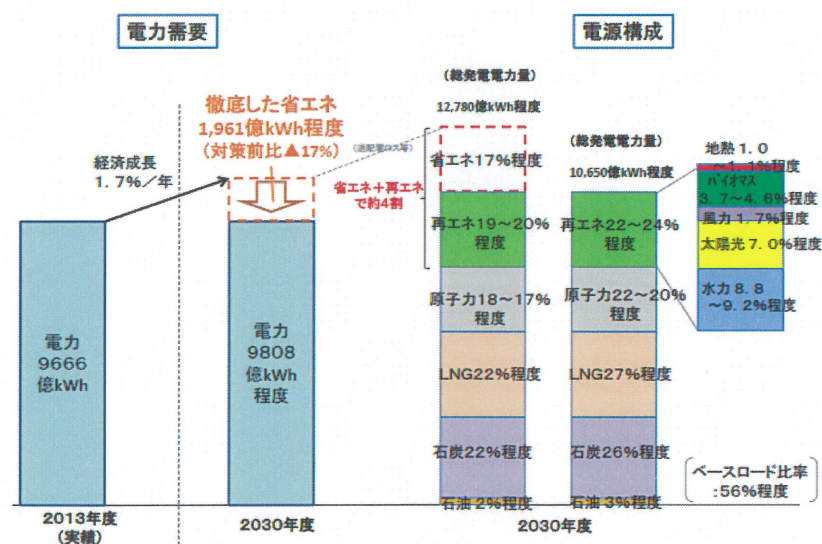


図 2-4-1 電力需要・電源構成

出典) 再生可能エネルギー各電源の導入の動向について
平成 27 年 3 月 資源エネルギー庁

- ・ http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/004/pdf/004_06.pdf
- ・ http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/011/pdf/011_07.pdf

3. 概略計画と事業性評価

3. 概略計画と事業性評価

3.1 水力発電計画の策定手順

水力発電計画は、取水ダム、取水設備、導水路、水槽、水圧管路、発電所及び発電機器、放水路、放水口といった主要設備の設計はもとより、それらを実際に施工するのに必要な仮設備も慎重に検討し、工事費節減に努めるとともに工事全体として最も合理的なものとする必要がある。

実際に発電計画の検討を進める場合、作業開始前にあらゆる資料、情報を収集しておくということは作業能率上得策ではないので、通常は、実現性の見通しに応じて徐々に精度を高めた計画策定作業を重ねていく方法がとられている（表 3-1-1 参照）。

ここでは、「可能性調査」と「概略設計」の一部に係る「机上検討」として、以下にそのポイントを述べる。

表 3-1-1 水力発電計画の策定手順

設計段階	地形図	検討内容
可能性調査	1/50,000～1/25,000	- 多数の発電計画を策定し、有望地点を抽出する。（経済性の相対比較）。 - 概略の発電諸元、概略の水路ルートを検討する。
概略設計	1/5,000程度	- 発電諸元及び水路ルートを検討する。 - 測量範囲を設定する。 - 地質調査範囲を設定する。
基本設計	1/500程度 (実測図)	- 主要構造物の設計 - 概略設計の妥当性の検証 - 関係者との合意形成 - 関係機関との事前協議
実施設計	1/500～1/200程度 (実測図)	- 構造物・機器類の設計 - 官庁手続き - 工事の発注 - 電気関係設備の発注
詳細設計 (細部設計)		電気関係の機器が決定したことで追加して必要となる細部の設計 等

3.2 机上検討

(1) 水路ルートの特検討

- ① 水路ルートとは、取水設備、導水路、水圧管路、発電所及び放水路のルートを総称したものをいう（図3-2-1 参照）。

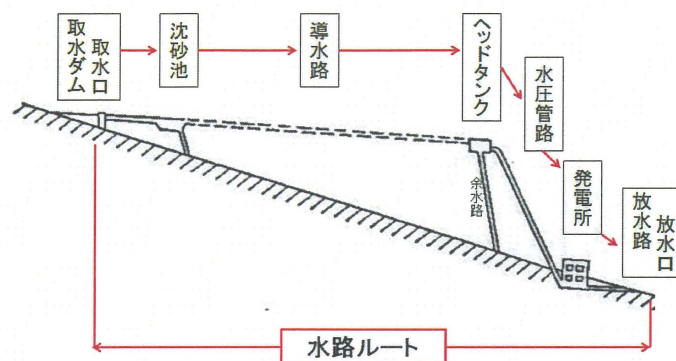


図 3-2-1 水路ルート

- ② 流れ込み式（水路式）発電計画では、取水地点における流域面積を大きく損ねない範囲で、できるだけ短い水路で高落差が得られるルートを選定する。
図 3-2-2 に水路ルートの比較案を例示する。

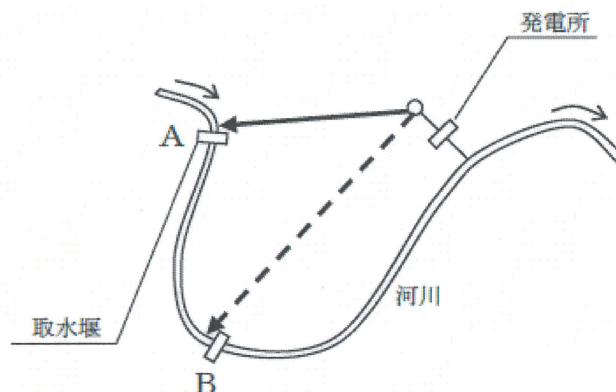


図 3-2-2 水路ルートの比較検討

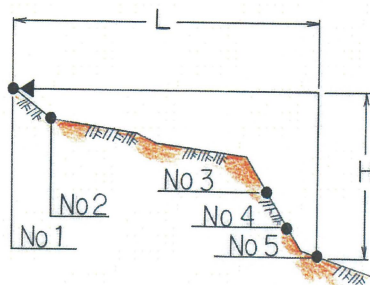
- ③ 農業用水を既設水路落差工部等で利用する発電計画では、いくつかの連続した落差工の区間に対して、比較的短い水路で大きな落差が得られる地点に発電設備を設置するのが得策である。

- ④ 具体的には、計画初期段階では水路効率（ L/H ）、及び CA/L 等を判断指標となる。

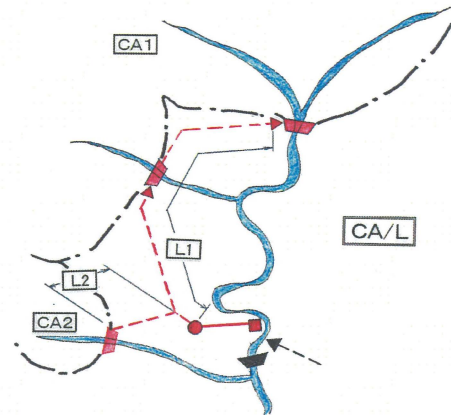
ここに、

L/H = 水路延長／落差：極力小さな地点が有利（水路効率の良い地点）

CA/L = 流域面積／水路延長：極力大きな地点が有利



L/H

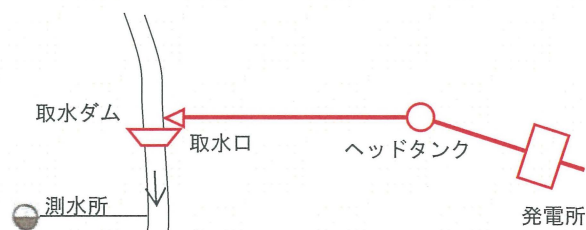


CA/L

- ⑤ 本川以外の溪流取水など、他流域から取水の可否は、 L/H 、 CA/L 等の指標の他、増分工事費と増分発電電力量の比(kWh当たり増分建設単価)により判断する。
- ⑥ 水圧管路は、極力地山の尾根部に計画する。

【 参考：水路ルートของシンボル 】

発電計画における水路ルートは朱書きとし、通常、下記のシンボルを使用する。



(2) 取水地点の流域面積

取水地点の流域面積は、設計洪水流量の算定や既存の測水所流量を計画地点の流量に流域比で換算するためなどに用いる重要な資料であり、計画初期段階から把握しておかなければならない。

流域面積は、国土地理院の1/50,000、又は1/25,000地形図を用い、流域の境界（分水嶺、分水界）を明らかにした上で、その面積をプランニメーターで計測する。

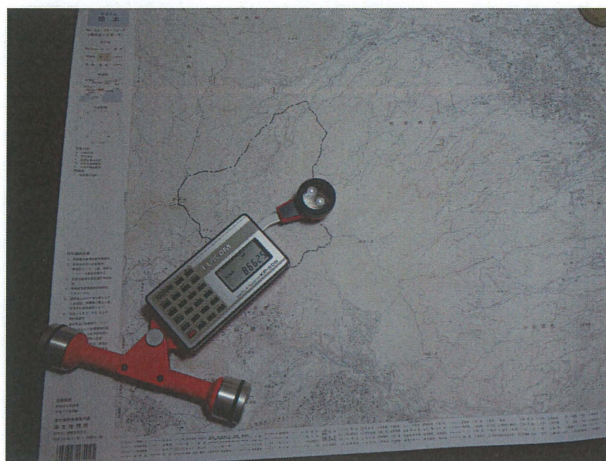


写真 3-2-1 1/25,000地形図とプランニメーター

注) プラニメータ (Planimeter) とは、地図など平面上の図形の輪郭をなぞることにより、その面積を計測する装置である。面積計ともいう。

流域面積の計測は、プランニメーターを用いることが原則であるが、計画初期段階で複数の地点を比較するような場合では、参考値として国土地理院が公表しているウエブ地図の利用も考えられる（図3-2-3 参照）。

参考：河川の計画規模

河川の重要度と計画規模は、表3-2-1に示すとおりである。

表3-2-1 河川の重要度と計画の規模

河川の重要度	計画の規模（計画降雨の降雨量の超過確率年）*
A 級	200 以上
B 級	100～200
C 級	50～100
D 級	10～ 50
E 級	10以下

＊）年超過確率の逆数

出典）河川砂防技術基準（案）・同解説 計画編 P12

(4) 減水区間

- ① 水力発電所を設置することにより図 3-2-4 に示すように、取水地点下流において河川に減水区間が生じる場合がある。このような場合は、河川環境保全の目的で減水区間の河川流量を確保するために、取水地点より下流へ河川維持流量分を放流する必要がある。
- ② 河川環境保全のひとつとして、取水ダムには魚道の設置が必要となる場合がある。
- ③ かんがい用水等の取水が行われている場合は、これら必要水量の放流も必要となる。
- ④ これらの放流量、すなわち河川維持流量は発電に利用できないので、流量資料からあらかじめ差引いておく。

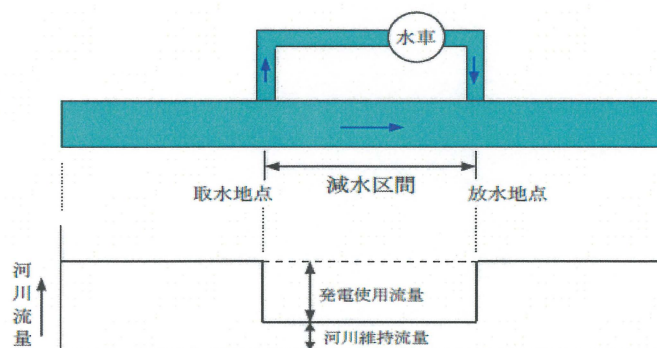


図 3-2-4 河川維持流量と発電使用流量の関係

出典）ハイドロバレー計画ガイドブック P5-5

(5) 河川維持流量

前述のとおり、取水地点と発電所の放水口までの減水区間には、通常、河川維持流量を放流する。

河川維持流量は、「正常流量検討の手引き(案)平成19年9月 国土交通省河川局 河川環境課」において、必要流量の検討項目として①動植物の生息地又は生育地の状況、②漁業、③景観、④流水の清潔の保持、⑤舟運、⑥塩害の防止、⑦河口の閉塞の防止、⑧河川管理施設の保護、⑨地下水位の維持の9項目を挙げている。

また、「発電ガイドラインについて 平成15年7月18日 国土交通省河川局」では、発電取水口等における集水面積(流域面積)が200km²以上の既設発電所の水利権の許可更新時における河川維持流量として、流域面積100km²当たり概ね0.1～0.3m³/s程度とするものとしているが、近年開発された流れ込み式発電所では、計画地点の環境条件等を踏まえ、発電ガイドラインでの値よりも多い100km²当たり0.5～0.6 m³/s程度を河川維持流量とする例もある。

したがって、計画の実施に際しては、地元関係者や河川管理者との十分な協議を行って、河川維持流量を決定する必要がある。

(6) 自然および社会環境

自然環境保全に係る法規制等(自然公園法等)に留意する。例えば、自然公園法で定められている特別保護地区(及び第1～3種特別地域)や鳥獣保護区など貴重な動植物の認められる地域では、水力開発が困難となる場合もあるため、計画初期段階にあってもこれらを把握しておくことが望ましい。

3.3 現地踏査

(1) 現地踏査の目的

現地踏査は、計画段階、調査・設計段階および施工段階など各ステップでの調査対象や目的・内容・精度に応じた方法が要求される。そのねらいは次のとおりである

1) 計画段階

計画初期の計画段階では、机上の検討を補完するためにも現地調査を実施し、計画の精度向上を図ることが必要である。現地調査を実施するに当たっては、以下に示す項目等に着目し、その調査結果を計画の精査にフィードバックさせることが必要である。

- ① 既存道路の状況や土地所有者区分を把握する。
- ② 既設電力系統の状況を把握する（既設系統の有無、電圧・容量・発電所からの距離等）。
- ③ 河川水の利用状況を把握する（既得水利権、河川を利用したマス釣り場やキャンプ場などレクリエーション施設等の有無）。
- ④ 河川の取水地点を挟む上下流の転石状況などから、出水時の河道状況を推測する。
- ⑤ 取水地点の河床および左右岩の地質状況（例えば岩盤露頭など）を確認する。
- ⑥ 取水地点上流近傍の既設の橋梁の有無を確認する。
- ⑦ 取水地点上下流部の既設の取水設備の有無を確認する。
- ⑧ 水質によって機器の腐蝕や構造物の劣化が懸念されるため、河川水のpH（水素イオン濃度）を把握する。
- ⑨ 法規制を把握する（河川法、自然公園法、自然環境保全法、国有林野法、森林法、砂防法他）。
- ⑩ その他の開発計画を把握する（宅地開発、道路計画、観光開発等の有無）。
- ⑪ 入手した地形図や地質図などから、計画した水路ルートおよびその近傍の地質状況を推定する。また、既設の切土のり面の状況（掘削勾配、変状の有無）は今後の有用な情報となる。

なお、上下水道、工場内水利用の発電方式では、既施設内での発電計画となる場合が多く、これら現地調査項目の全てが必ずしも必要にはならない。

2) 調査・設計段階

調査・設計段階では、計画地点を含む広範囲の地形・地質・土質・水理・災害現象などを巨視的に観察し、既存情報の確認や新たな現地情報を収集する。また、現地観察をもとに完成後のイメージを構築し、とりわけ土工に対する将来予測などを総合的に判断して、(a) 土工上の問題点、(b) 土工地点の条件の良否、(c) 今後の調査や施工計画立案に対する所見などを得る（図 3-3-1 参照）。

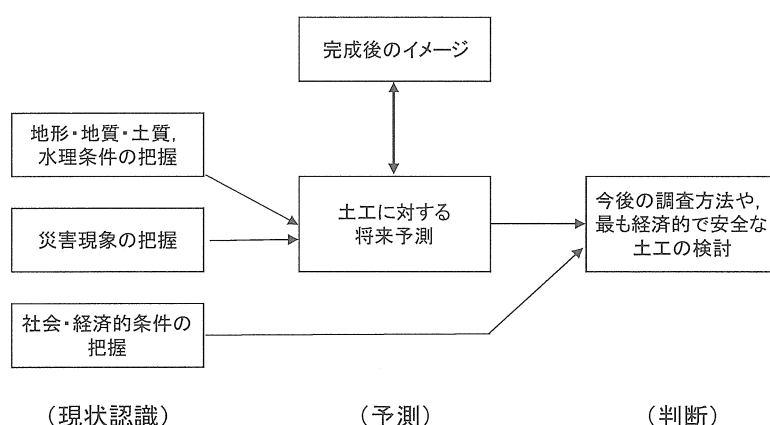


図 3-3-1 現地踏査の目的

出典) 土木技術者のための現地踏査 鹿島出版会 P2

3) 施工段階

切土や盛土など土工作业が進むにつれ、設計時の想定と現場の実態が一致しているかどうかを常に確認する。特に、地すべりや斜面崩落の予想される箇所は入念に確認・点検して事故防止を図る。また、施工中の切土のり面や擁壁などの変状、湧水の変化などに注意する。

施工中に地すべりや斜面崩落が起きたら、直ちに踏査して発生機構を推定し発生したメカニズムを推定し、変位状況の把握、ボーリング調査などによる地下構造や地下水位の確認などを行い、その結果にもとづいて恒久対策を検討する。

以上のとおり、現地踏査は計画初期段階（可能性調査）から施工段階まで連続性を保ちながら継続して行われる極めて重要な作業であるが、ここでは、計画初期段階で行われる現地踏査について、その留意事項を記載する。

(2) 計画地点の地形および地質確認

1) 地形および地質情報

地形情報は、国土地理院発行の1/25,000又は1/50,000地形図、地質情報は地質調査総合センター発行の1/25,000 地質図、又は各都道府県別にまとめている1/50,000 地質図の利用が挙げられる。

2) 地形や地質分布と植生の関係

地形や地質の分布と植生の間には、ある程度の相関が認められることが知られている。例えば、「湿潤した崖錐堆積物の厚いところにはスギ林が発達し、やせて乾燥したところには松が多い。」、「含水比が高い未固結堆積物が厚いところに竹林が発達する。」などと言われている。また、スギやヒノキは、一般的に根の深さは地上からの木の高さの $1/5 \sim 1/7$ に達するといわれており、これを目安に表層（表土厚）を推定することもある（表 3-3-1 参照）。

表 3-3-1 関東地方山岳地の土被りと代表的な樹木

土被り	代表的な樹木
薄い	アカマツ，シャクナゲ，ツツジ
中間	クヌギ，ナラ，クリ
厚い	スギ，ヒノキ

出典) これだけは知っておきたい斜面防災100のポイント
奥園誠之 著 鹿島出版会



写真3-3-1山間部における植林（杉）の事例

写真3-3-1は、山間部の杉植林の状況を示している。写真から、常緑針葉樹である杉は沢沿いあるいは緩傾斜部にみられ、当該地盤は前述のように湿潤した厚い崖錐堆積物が分布しているものと判読できる。その他の落葉している広葉樹林帯は尾根や急傾斜部に発達しており、乾燥した、すなわち保水を許容しない比較的硬質地盤であることが推定される。

その他として、根曲りや木の立ち枯れも重要である。

根曲りは積雪の圧力による場合と地層が移動した場合に見られる。両者の見分け方は難しいが注意を要する現象である。

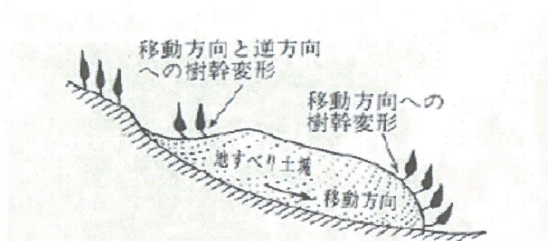


図 3-3-2 地すべり土塊上の樹幹変形

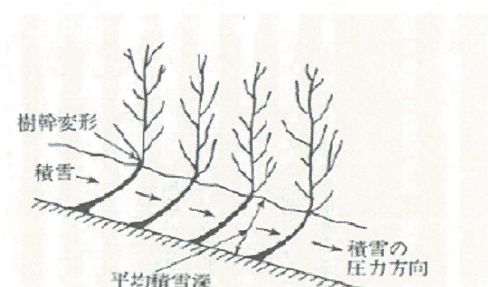


図 3-3-3 積雪の圧力による樹幹変形

連続して見られる木の立ち枯れは、地すべり箇所を疑ってみる必要がある。地面に亀裂（テンションクラック）があると、木の根の発達が不十分となり立ち枯れを起こすことがあるからである（図 3-3-4 参照）。

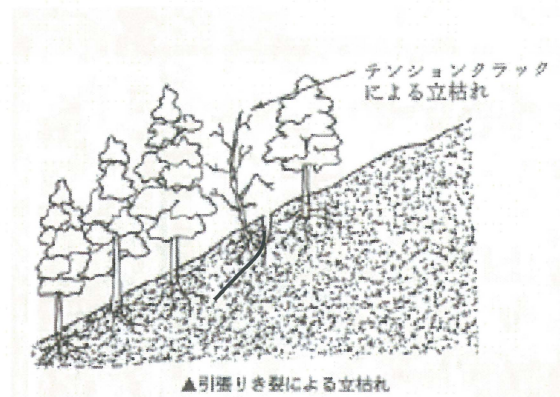


図 3-3-4 引張り亀裂（テンションクラック）による立枯れ

出典) これだけは知っておきたい斜面防災100のポイント 奥園誠之 著 鹿島出版会

以上のような関係が、地形・地質と植生の間に認められている。ただし、植生の生育には広域的な気候や地域特性、湿地などの局所的な地形要素、あるいは人工的な改変による影響があらわれていることがあり、植生がその地点の地質のみに支配されているものではないことに留意しなければならない。

(3) 地質踏査

現地踏査のひとつとして行う地質踏査について、注意すべきポイントについて以下に記す。

1) 事前準備

調査地点の地質踏査を安全かつ効率的に進めるためには、事前の準備が重要である。

- ① 調査地点が含まれる既往の地質図や文献などをできるだけ読んでおき、大まかな地形・地質の特徴を頭に入れておく。
- ② 衛星写真や、さらに精度が高い空中写真が入手できれば、写真判読によって地形の特徴を把握しておく。
- ③ $S = 1/25,000 \sim 1/50,000$ 地形図を使って、現地までのアクセスを確認しておく。
- ④ 調査地点周辺では、一般道路のほか林道や農道、あるいは沢沿いや尾根筋の

踏査ルートを、 $S=1/5,000$ 程度のスケールの地形図であらかじめ確認しておく。必要に応じて、入山許可を得ておくこと。

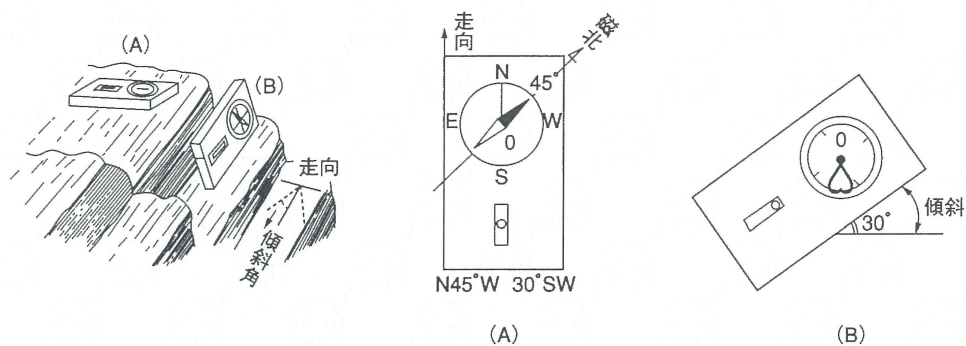
- ⑤ 地質調査用の道具を点検、準備する。・・・岩検ハンマー、たがね、クリノメーター、スケール、高度計、双眼鏡、ルーペ、カメラ、野帳、筆記具、地形図（ $S=1/5000$ ）、サンプルケース、調査袋、温度計、pH 試薬、ヘルメット、防寒服、懐中電灯など。



写真 3-3-2 岩検ハンマーの例



写真 3-3-3 クリノメーターの例



- 注1. 走向傾斜の走向とは、地層の面が水平と交わる線の方角のことで、北を基準として表現する。たとえば (A) では、北から西方 45° を指しているのので、 $N45^\circ W$ と書き表わす。なお、クリノメーターの E (東) と W (西) は、読み取りの関係で逆になっているので注意すること。
- 注2. 走向傾斜の傾斜とは、水平線と直角報告の地層面の傾斜角度のことで、走行が N-W の場合は傾斜が NE または SW 方向か、また走向が N-E の場合は傾斜が NW または SE 方向かを、明確に記録する。たとえば (B) では、南方に 30° 傾斜しているのので、 $30^\circ SW$ と書き表わす。
- 注3. 以上から、図の地層面の走向傾斜は、 $N45^\circ W30^\circ SW$ と書き表わす。なお、走向が NS の場合の傾斜は E か W の方向を、また走向が EW の場合の傾斜は N か S の方向を記録する。

図 3-3-5 クリノメーターの測定方法

2) 地質踏査

- ① 地質踏査の前に、対岸や尾根の高位標高部から対象地点を概観し、目印や調査順序などをあらかじめ決めておく。
- ② 地形は、地質構造や地質現象を反映している場合が多い。地すべりの滑落崖地形はその典型である。また、不自然な鞍部地形は、断層の存在が推定されるので注意を要す。
- ③ 斜面地形を調査する場合は、地盤の傾斜や沈下・隆起・段差などの微地形に注目する必要がある。
- ④ 植生は、風化して軟質化した堆積物の層厚を反映する場合がある。岩盤の上盤に存在する軟質層の被りを推定するのに役立つ。
- ⑤ あらかじめ決めておいた踏査ルート沿いの露頭を探す。露頭が見つからない場合は沢沿いを歩き、河床露頭を調査する。
- ⑥ 地質踏査で得たデータは、スケッチやルートマップ、あるいは $S=1/5,000$ 程度のスケールの地形図に詳細に記録する。これらは、最終的に必要な地質図の重要な基礎資料となる。
- ⑦ とくに必要な地質情報は、地質・岩質（岩種名・色・硬軟・割れ目の頻度・風化の度合い等）・地質構造・断層および破碎帯・特徴的な亀裂（異方性をもつ亀裂）の分布と走向傾斜・岩盤分類（表 3-3-2 参照）などで、できるだけ詳しく記録しておく。
- ⑧ 必要に応じて代表的な岩石のサンプルを採取し、岩相の同定や岩石鑑定に使用する。
- ⑨ 水力発電に関する地質踏査を行う上で、沢の流水の有無や湧水箇所などの水利地質情報を得ておくことは重要なポイントである。とくに地山の透水性、地下水の分布、透水層や不透水層の分布、水みちの有無等を把握しておく。なお、沢水の流量を目測で測って記録しておけば、役に立つケースがある。
- ⑩ 地形図に記載されていない構造物や崩壊地、あるいは山道などは、できるだけ詳細にルートマップ等書き込んでおく。

表 3-3-2 電力中央研究所式岩盤分類

名 称	特 徴
A	・極めて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。節理はよく密着し、それらの面にそって風化の跡はみられないもの。 ・ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	・岩質堅硬で開口した（たとえ1mmでも）きれつあるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質がみられる。 ・ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _H	・造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。 ・一般に褐鉄鉱などに汚染され、節理あるいはきれつの間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目にそって岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。 ・ハンマーによって打診すればすこし濁った音を出す。
C _M	・造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。 ・節理あるいはきれつの間の粘着力は多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目にそって岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質の層が残留することがある。 ・ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
C _L	・造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。 ・節理あるいはきれつ間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目にそって岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質が残留する。 ・ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	・造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。 ・節理あるいはきれつの間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。 ・剝脱面には粘土物質が残留する。 ・ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

※引用 改訂新版「建設工事と地盤地質」古今書院（2013年10月）pp.42

3) 簡易測量

地質踏査を行う場合、現地で得たデータは、スケッチやルートマップ、あるいは $S = 1/5,000$ 程度のスケールの地形図に記録することが必要であることは前述した。たとえば、数10メートル規模の地層の幅は巻尺などを使えば測定は可能であるが、数百メートル規模になると容易ではない。この場合は、自分の1歩の歩幅をあらかじめ知っておくと、歩測で測定できて便利である。

さらには、斜面の高所に存在する断層の位置（標高）等を測量する場合、仰

角を使った簡易測量技術を知っておけば、容易に求めることができる。

① 歩測

図 3-3-6 に示すように、50m～100m の巻尺を直線道路に伸ばし、この長さを何歩で歩くかを数える。これを数回繰り返し、平均の歩数を求める。たとえば、100m に対する平均歩数が 160 歩であれば、1 歩の歩幅は 62.5 cm と計算される。

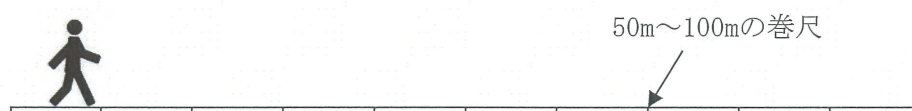


図 3-3-6 歩幅の図り方

② 仰角を使った簡易測量

図 3-3-7 に示すように、A 点（斜面上に露出している断層の位置と仮定する）の高さ H_0 を求める。この場合、C 点からの仰角 α と、10m 離れた D 点からの仰角 β を求める。

ここで、 $\triangle ABC$ では、次式が成立する。

$$H_0 = X \cdot \tan \alpha$$

また、 $\triangle ABD$ では、次式が成立する。

$$H_0 = (X + 10) \cdot \tan \beta$$

$$\therefore X \cdot \tan \alpha = (X + 10) \cdot \tan \beta$$

$$\therefore X = 10 \cdot \tan \beta / (\tan \alpha - \tan \beta)$$

仮に、 $\alpha = 20^\circ$ 、 $\beta = 10^\circ$ 、とすると、 $X \approx 9.4\text{m}$ となる。

よって、 $H_0 = 3.4\text{m}$ が導かれる。

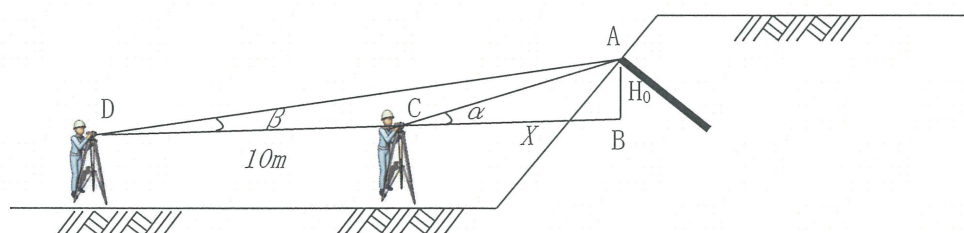


図 3-3-7 仰角を使った簡易測量

4) 安全上の留意点

- ① 地質踏査の時期は、下草が少ない降雪前の冬季がもっとも適している。
- ② 天候や道路工事の状況（通行止めの有無など）、あるいは林道沿いの伐採状況に注意する。
- ③ 長袖・長ズボン・帽子などを着用し、直接の皮膚の露出を少なくする。
- ④ 狩猟期間に地質踏査を実施する場合は、目立つ色の服装に心がける。
- ⑤ 非常事態を想定し、当日の行程・ルートは関係者に周知しておく。さらに緊急連絡先等をあらかじめ決めておく。
- ⑥ 落石が予想される危険個所ではヘルメットを着用する。斜面に背を向けて休憩しないこと。雪融け時期や降雨後は、とくに注意を払う必要がある。
- ⑦ 沢沿いを歩くときはすべりやすいので、足元にとくに注意が必要。斜面の上り下りでは、浮石など不安定な足場にはとくに注意を払う必要がある。
- ⑧ 坑道や堅穴・井戸は酸欠や有毒ガス発生の危険があるので、単独では絶対に入らないこと。
- ⑨ マムシやハブなどの毒蛇やスズメバチなどには特段の注意を払う。クマが出没する地域では、鈴やラジオを鳴らすなどして警戒する。
- ⑩ タバコの投げ捨ては絶対に行わない。火の後始末は確実に行うこと。

5) 湧水

たいていの地すべり発生には地表水や地下水が関与している。既存の地すべり地でみると、高所から流下してきた水が、地すべり塊のところで伏流していたり、その両側又は片側を流下しているケースが多い。すなわち、地下水が湧出している箇所付近は、地すべりの可能性を検討してみる必要がある。

6) 林道の利用計画

山間部の計画では、既設の林道に導水管路や水圧管路を埋設しようとする計画がある。新たに地山を掘削して水路を建設するよりは容易に思えるが、この場合も、地質的にいくつか留意すべき事項がある。

林道は岩盤でできている場合がある。また、既設の切土のり面には、ガレ場など岩塊が不安定に堆積している箇所がある。既設の林道に水路を埋設する場合には、基準で定められた土被りを確保する深さで掘削することになるが、掘削箇所が岩盤の場合、通常はブレイカー掘削（図 3-3-8、写真3-3-5 参照）や発破掘削など、強い振動を与える工法を採用することになる。このような場合、頭上の落石防止など安全対策を行ってからの掘削施工となり、この安全対策の工事費も考慮しなければならない。

さらに、掘削部に強い振動を与えることで林道自体を壊してしまうことも有り得るので、計画の初期段階でも慎重に検討しておくことが必要である。

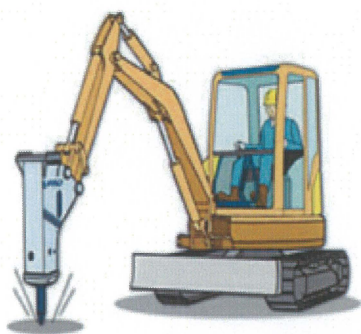


図 3-3-8 ブレイカー掘削機



写真3-3-4 ガレ場



写真3-3-5 ブレイカー掘削機を使った掘削状況

(4) 工事条件

工事のために現地踏査で確認すべき主な事項は、以下のとおりである。

- ① アクセス道路の有無
- ② 既設道路の規格（幅員構成）
- ③ 既設道路トンネル断面（建築限界^{注）}）
- ④ 既設橋梁の規格（建築限界、許容荷重）
- ⑤ 工事用電力事情
- ⑥ 工事用水・飲料水事情
- ⑦ 法規制
- ⑧ 生コン工場の有無
- ⑨ 地下埋設物の有無（水道管等）
- ⑩ 地上障害物の有無（電柱の位置、配電線の高さ等）

注）建築限界とは

道路において、構造物等により車両や歩行者の交通の安全性・円滑性に支障をきたすことを防ぐため、構造物を配置してはならない一定の幅、一定の高さの範囲をいう。

また、上記“⑤ 工事用電力事情”と重複するが、発電した電力を連系するためにも、既設電力系統の状況を把握しておく必要があることは前述のとおりである。

(5) 自然・社会環境条件

- ① 自然環境保全に係る法規制等（自然公園法等）に留意する。
- ② 例えば、自然公園法で定められている特別保護地区（および第1～3種特別地域）や鳥獣保護区など貴重な動植物の認められる地域では、水力開発が困難となる場合もあるため、計画初期段階にあってもこれらを把握しておくことが望ましい。

3.4 流量資料

(1) 流量資料の基本事項

出力規模の大小にかかわらず、水力発電計画にとって流量資料は、落差と同様、極めて重要である。また、流量資料の精度は、事業収益計画の精度に直結しており、発電規模の大小にかかわらず極めて重要である。

以下に流量資料に係る基本事項を記す。

- ① 流量資料があっても、かなり離れたほかの河川流域のものであったり、短期間のものであったり、欠測の日が入っていたりするものでは、確実な発電計画は望めない。
- ② 流量資料は、原則として「発電水力流量測定規則 最終改正：平成12年10月31日通商産業省令第310号」に基づき測定することになっており、具体的測定方法は「発電水力流量調査の手引き（2001年版）一般社団法人 電力土木技術協会」に詳述されている。
- ③ 原則として、取水口地点直近の至近10ヶ年以上の実測流量（日平均流量）であること。
- ④ 取水口地点直近に測水所の無い場合は、近傍測水所から流域比により算定する。この換算については流域比が0.5～1.5の範囲を原則とするよう指導されている（出典：発電水力流量調査の手引き（2001年版） P45）。取水地点流量は、下記のとおり算定する。
$$\begin{aligned} \text{[取水地点流量]} &= \text{[測水所流量データ]} \times \text{[流域比C]} \\ \text{[流域比C]} &= \text{[計画地点の流域面積]} / \text{[測水所地点の流域面積]} \end{aligned}$$
- ⑤ 流域比が上記の範囲外となる場合は、あらためて取水口付近に測水所を新設すること。
- ⑥ 取水口付近への測水所の新設が困難な場合は、取水口地点流域面積の2/3～2倍の範囲に測水所を新設すること。
- ⑦ 新設測水所の観測期間が10ヶ年に満たない場合は、少なくとも1～2年程度の流量観測を行い、近傍測水所との相関解析により相関があると認められた場合に、回帰式により不足期間を補完する。

- ⑧ 流量資料は上記を原則とするが、図上計画の段階では、流域比を0.5～1.5の範囲内とすることができない場合がある。このような場合は、適宜近くの測水所の記録を流域面積換算するなりして発電計画を概略策定し、開発可能と判断した時点で、当該取水サイトで1年～2年測水を行い、計画に使用した既存の流量資料との照合を行うという手順を踏むことが多い（中小水力発電ガイドブック（新訂5版）新エネルギー財団 水力地熱本部 P38）。
- ⑨ 農業用水を利用する場合には、農業用水に従属した発電が基本となる。すなわち、農業用水として取水している実際の流量が発電の対象となる。

(2) 流量資料の調査に関する諸法規

水力発電計画においては、前述のとおり河川流量資料が最も重要な基礎資料であり、さらに長期間の継続性を必要とするところから、電気事業法によりその旨を定めている。

電気事業法第101条においては、水力発電所建設の前提となる発電水力調査を国自らがを行い、その開発を推進することを規定している。

また、電気事業法第102条においては、経済産業大臣は、発電水力の開発上必要があると認めるときは、水力発電所を設置している者に対し、その設置している河川の流量を測定し、その結果を報告するように命ずることができるものと定められている。

『測水所の指定、流量測定の設備、流速計の検定、測定方法さらに測定結果の報告方法』等については、経済産業省令「発電水力流量測定規則」により規定されている。

また、「規則の解釈」は、『規則に定める技術的要件を満たすべき技術的内容について、この解釈に限定されるものではなく、規則に照らして適切な流量の測定が行われると認められる場合は、規則に適合するものと判断するものである』と新技術、新開発機器の導入等について考慮したものとなっている（平成11年4月1日の改正から導入）。

流量調査に関する諸法規の構成を図3-4-1に示す。

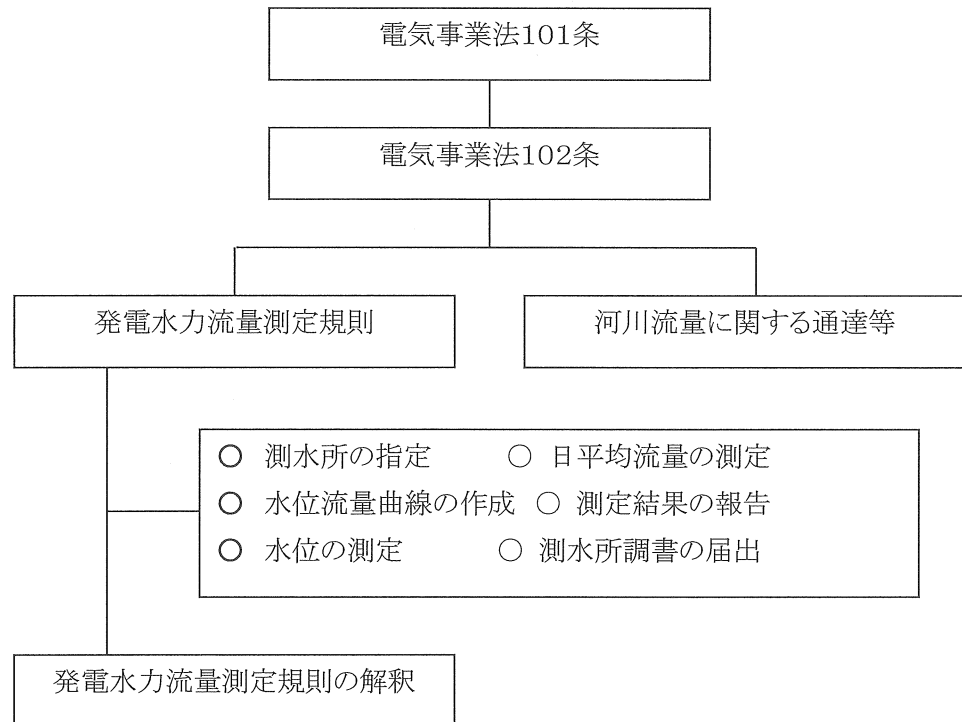


図 3-4-1 流量調査に関わる関係法令の構成

【電気事業法第101条】

経済産業大臣は、発電水力の開発上必要な調査を行わなければならない

【電気事業法第102条】

経済産業大臣は発電水力の開発上必要があると認めるときは、水力を原動とする発電用の電気工作物を設置している者に対し、その電気工作物を設置している河川について、経済産業省令で定めるところにより、その流量を測定し、その測定の結果を報告すべきことを命ずることができる。

経済産業省令「発電水力流量測定規則」は、『全 1 1 条』の規則と『全 8 条』の規則の解釈から構成されている。

規則「全 1 1 条」は、第 1 条～第 5 条および第 1 3 条～第 1 8 条（第 6 条～第 1 2 条は平成 1 1 年 4 月 1 日の改正から削除）からなり、規則の解釈「全 8 条」は、規則を満たすための技術的要件について規定されている。

(3) 流量調査に関わる用語および定義

1) 水位測定

測水所地点の河川水位を測定し、流量算定の基礎とする。

2) 流量算定

測水所の河川横断面を通過する水量を算定するもので、水位流量曲線の整定を目的とする。

なお、流量は、流路において横断面を単位時間中に通過する水の量をいい、流水横断面積と平均流量との相乗積で下式により表される。

$$Q = A \times V_m$$

ただし、 Q ; 流量 (m^3/s)

A ; 流水横断面積 (m^2)

V_m ; 平均流速 (m/s)

3) 用語の定義（「規則の解釈 第一条用語の定義」参照）

流量測定に関わる用語の定義は表 3-4-1 のとおりである。

表 3-4-1 流量測定に関わる用語の定義

用語	内容
水位測定	当該測水所の水位測定横断面における河川水位を測定し、流量算定の基礎とする。基準面は東京湾中等潮位(T.P)を用い、水位は基準面からの高さで測定し、ある時刻の瞬時値で求められる。
流量測定	測水所の河川横断面を通過する水量を測定するものであり、水位流量曲線の整定を目的とする。
流量算定	流量は1秒間に当該測水所の水位測定横断面を通過する水の量で定義される。流量は計測された時刻の値であり、連続した流量値は水位流量曲線式を用いて、水位の連続測定値から求められる。
測水所	流量の測定を行う場所をいう。
測定義務者	「規則」第1条で規定する水力を原動とする発電用の電気工作物を設置している者であって、経済産業大臣が指定する者をいう。
渇水量	1年のうち355日以上発生する流量を言う。
低水量	1年のうち275日以上発生する流量を言う。
平水量	1年のうち185日以上発生する流量を言う。
豊水量	1年のうち95日以上発生する流量を言う。
35日流量	1年のうち35日以上発生する流量を言う。
高水量	1年のうち発生した最高水位および2、3番目の出水時の流量を言う。
既往最大洪水量	現在までに発生した最大の流量を言う。
渇水位	水位流量曲線から求めた渇水量に相当する水位をいう。
低水位	水位流量曲線から求めた低水量に相当する水位をいう。
平水位	水位流量曲線から求めた平水量に相当する水位をいう。
豊水位	水位流量曲線から求めた豊水量に相当する水位をいう。
洪水位	水位流量曲線または洪水の跡から求めた洪水量に相当する水位をいう。

4) 測定記録の単位および数字取り方

測定の記録に用いる単位および数字の取り方は、原則として表 3-4-2 のとおりである。

表 3-4-2 記録表の単位および数字の取り方

項目	単位	数字の取扱
水位	m	小数点以下第3位を四捨五入する。
平均流速	m/s	小数点以下第4位を四捨五入する。
断面積	m ²	小数点以下第3位を四捨五入する。
流量	m ³ /s	有効数字は3桁以上とし、小数点以下第3位に及ぶ場合は、小数点以下第3位を四捨五入する。

(4) 測水所の設置

「測水所」とは、河川の水位や流量を測定する場所、すなわち河川流量の測定を行う場所のことを言い、発電水力の開発上必要と認められる地点において、要求される測定精度の測定が行える場所に設置する。

測水所設置位置における具体的な設置場所の選定に当たっては、下記事項を考慮する。

- ① 流路が直線で流水が急流または緩慢でなく、流量が変化しても流れの状態が著しく変化しない場所。
- ② 流心の移動または河床が岩盤等で変化が少ない場所。
- ③ 流水が整流であり、逆流、溜水または潜流がない場所。
- ④ 支川の合流または派川の分流によって、水位に著しく不規則な変化を生じない場所。
- ⑤ 観測の際、危険が少なく観測しやすいこと。
- ⑥ 洪水時にも観測に支障のない場所。

(5) 河川流量の測定

1) 流量測定の手順

「発電水力流量測定規則」における流量測定は、“毎日の平均の流量”を測定することと規定されているが、直接流量を常時測定することは困難であるため、流量測定方法の概要としては、以下の要領で実施するものである。

- ① 水位計により河川水位のみを1時間毎に測定する。
- ② その地点において、原則的に毎月3回以上の流量測定を行う。
- ③ 流量測定を行った時の「水位」と「流量」を基に「水位流量曲線式(2次方程式)」を整定する。
- ④ 水位計により得られた水位記録を基に、「水位流量曲線式」により毎日の平均流量を算出する。
- ⑤ 表3-4-3 に主要な流量観測手法を示す。

表 3-4-3 主要な流量観測手法の種類
(河川砂防技術基準(調査編)第2章4.2.1項)

分類			名 称	直接の 測定対象	説 明	
流速断面積法	トレーサーによる 流速計測法		浮子測法	吃水部 平均流速	直線上に一定の区間を定め、浮子をその区間の上流から流し、その下流までの距離を流下時間で除して流速を求める方法である。	
			色素投入法・希釈法等	ある代表的な流速	水深が浅く表面浮子が使用できない場合等に、フルオレッセン等の色素や化学物質を投入して代表的な流速を測定する方法である。	
	流水にセンサを接触させる流速計測法	可搬式 流速計	回転式 流速計測法	横断面内 点流速 分布	回転する測定部を流水中に水没させ、その回転数から流速を測定する方法である。水車やプロペラを回転部に持つ横軸型（広井式流速計等）と円すい型のカップを回転部に持つ縦軸型（プライス流速計）に分類される。	
			可搬式電磁 流速計測法		水中に電磁式の測定部を持つ流速計で、人工的に発生させた磁界の中を水が動くときに生じる起電圧から流速を測定する。	
	船搭載		ADCP（超音波ドップラー流向流速計）計測法	横断面内 流速分布	超音波のドップラー効果を応用することによって、断面内の三次元流向・流速分布を測定する機器である。この測定器を橋上係留船等に搭載し、移動しながら測定することによって大水面、大水深領域の通過断面内流量を短時間で測定できる。また、河床等に固定した場合は、流速分布の時間変化を測定できる。	
	水中固定		超音波流速計測法 （パルス伝播時間差法）	代表深さにおける 平均流速	超音波の伝播速度が流れの方向では増加し、流れと逆方向には減少することを利用して、その差を測定して流速を求めるものである。送受信装置を測定箇所の上流・下流に設置し、水中に送波して測定する。	
			H-ADCP 法		ADCP を水平方向に設置し、横断方向の流速分布を超音波の反射波におけるドップラー効果から測定する。片岸のセンサだけで測定システムを構成することが可能。	
				開水路電磁流量計測法	断面平均 流速	兩岸に設置した電極間に生じる起電力が断面平均流速に比例する原理により流量を算出するシステムである。
	非接触型 流速計測法		連続式観測可能	ドップラー型 （電波式、超音波式）	表面流速	流れの表面に橋桁等に設置したセンサから電波もしくは超音波をある角度をもって水面に向けて発射し、その反射波の周波数変化から表面流速を測定するシステムである。現状では、高水流量観測のみに利用可能。
				画像処理型 （PIV 法等）		洪水時に流下する流木やゴミあるいは波紋を河岸に設置したビデオカメラにより撮影し、画像解析から表面流速を測定するものである。局所的な流況分析に優れるが、天候・日照変化等の影響を受けやすい。
水理構造物法			堰測法等	水深	三角堰や台形堰を自由越流する際の越流水深を測定し、実験等により求められた流量公式により流量換算する方法である。	
水面勾配断面積法			非固定式観測法	勾配断面積法	水面勾配等	河川断面の粗度を仮定し、洪水痕跡等から推定される水位、水面勾配から流量を算出する方法である。

以上が流量測定方法の概要であり、この算出された“毎日の平均流量”
1 年単位で所定の書式に取りまとめ、この 1 年毎のデータ 10 年分が、
水力発電計画の策定に必要な流量資料となる。

通常行われている流量測定の手順を図 3-4-2 に示す。

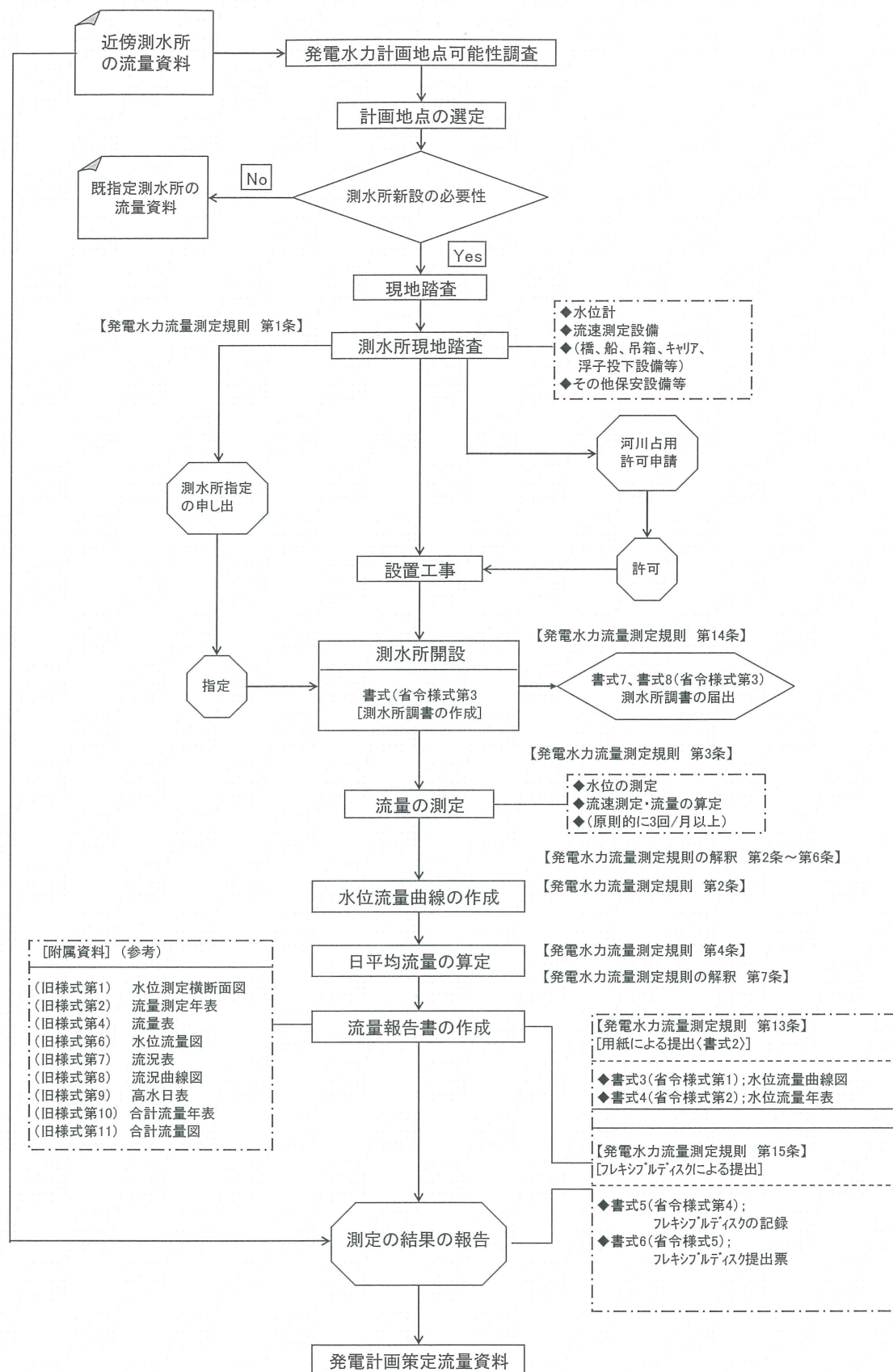


図 3-4-2 流量測定実施フロー

- 2) 水位流量曲線（出典：発電水力流量測定規則）
水位流量曲線は、以下のとおり作成する。

（水位流量曲線の作成）

- 第 1 条 測定義務者は、日平均流量にあたり、前条の測水所の水位測定横断線拠標を含む横断面（以下「水位測定横断面」という）における水位と流量の関係を示す曲線を（以下「水位流量曲線」という）を作成するものとする。
- 2 測定義務者は、洪水その他の原因により水位測定横断面に変化が生じたと認められるときには、水位流量曲線を修正するものとする。

〔解説〕

- 第 1 項；河川の流量測定は、前述のとおり水位のみ 1 時間毎に測定し、流量を測定したときの水位との関係から水位流量曲線を含めて、毎日の水位から流量を算出する方法を用いている。
- 第 2 項；水位と流量との関係は、水位測定横断面（水面勾配含む）が同一の場合に成立し、この断面が変化すれば水位流量曲線は当然変化するものであるので、水位測定横断面（水面勾配含む）が変化したと認められるときは、水位流量曲線を修正しなければならない（図 3-4-3 参照）。

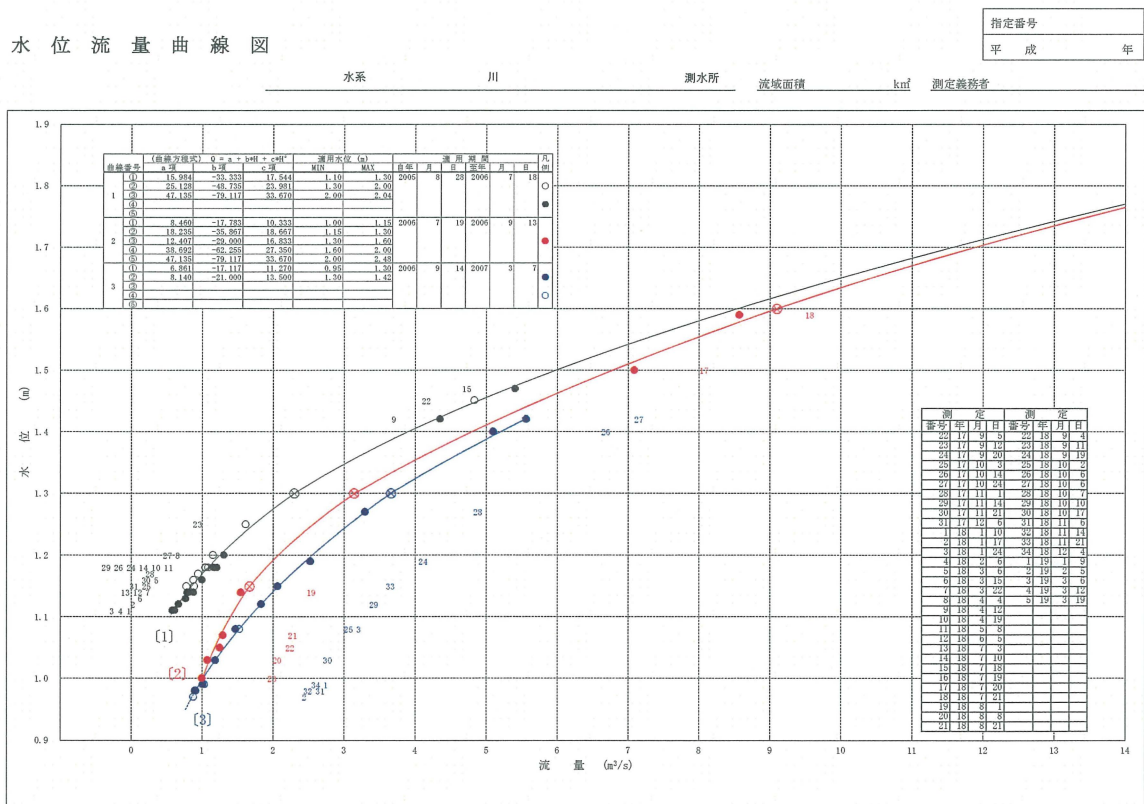


図 3-4-3 水位流量曲線図

3) 水位の測定（出典：発電水力流量測定規則）

水位は、以下のとおり測定する。

（水位の測定）

第3条 測定義務者は、水位測定横断面における水位の測定を毎日1時間ごとに行うものとする。ただし、結氷その他やむを得ない理由がある場合には、この限りではない。

（規則の解釈 第6条 水位の測定）

第6条 規則第3条に規定する水位の測定は、次の各号に定めるところにより行うものとする。

- 一 測定は、次に適合する自記水位計により行うこと。
 - イ 1センチメートル以下の水位の変動を記録できるものであること。
 - ロ 過去の最高水位から最低水位が記録できる特性を有するものであること。
- 二 自記水位計に記録用紙を取り付けたときは、取り付けた日時および次に適合する水位標による当該日時における水位を記録用紙に記入すること。
 - イ 最小の目盛が2センチメートル以下のものであること。
 - ロ 目盛の零点が過去における最低の水位以下になるように設置されたものであること。
- 2 自記水位計の故障その他やむを得ない理由がある場合は、前項の規定にかかわらず、同第2号イおよびロに適合する水位標により水位を測定することができる。この場合において、規定は、毎日6時および18時（多量の降雨その他の原因により水位が著しく高くなっている場合は1時間をこえない時間ごと）に行うよう努めること。

〔解説〕

＜規定の解釈第6条第1項第一号＞

水位計は、1cmの水位変動の記録が可能であって、過去の最低水位から最高水位まで記録できる性能を有するものであれば型式はいずれでもよい。

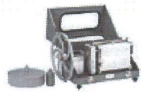
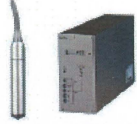
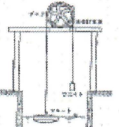
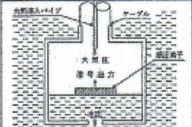
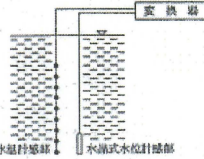
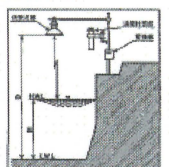
＜同条第1項第二号＞

記録用紙を使用しない水位計を用いる場合には、後日報告書作成時にチェックが可能となるよう、別途その測定日時および水位を記録しておくこととする。

表3-4-4に自記水位計の形式を示す。

表 3-4-4 自記水位計の型式とその概要

出典) 平成26 年度中小水力開発促進指導事業基礎調査(発電水力調査(流量資料整備に関する調査)) 報告書
平成27 年2 月一般財団法人 新エネルギー財団(経済産業省 資源エネルギー庁 委託調査)

水位計	フロート式	フロート柱式	水圧式	電極式	超音波式
外 観					
原理・構造	下図に示すように、ワイヤー端部のフロートの上下がブリーロー回転となり、ギアを介して機械的往復動作に替わり、ペンにより水位を記録する。 	河川の流水断面に支柱で保護されたレーンを、磁石付フロートが上下運動することにより、1cm 刻みに設置したリードスイッチを On-Off することで電気信号に替える。 	水圧式水位計とは、水圧を感圧素子(水晶、半導体、シリコン)で直接検出して、電気信号に変換する方式の水位計である。 	電極(センサー)が水面に接触することにより、ブザーとランプで表示する。 	水面上方より超音波パルスを発射し、水面からの反射時間を測定し水位を検出する。 
主な仕様	測定範囲：0～10,20,50,100m 精 度：±1cm 以内 フロート径：約φ250mm 電 源：電池(内蔵/外付/充電) 外形寸法：W553×H375×D332 重 量：約18kg	測定範囲：0～1,1.5,2,2.5,3,3.5m 精 度：±1cm 以内 出力方式：デジタル信号 電 源：DC12V 外形寸法：約φ267×L(測定範囲)	測定範囲：0～10,20,50m 精 度：フルスケールの±0.1%以内 出力信号：DC0～1V および 5V 電 源：DC12V, 約25mA 外形寸法：感部φ36×L215 変換器：W115×H117×D127	測定範囲：0～10m 精 度：±1cm 以内 電 極 径：約φ40mm 記録方式：カートリッジペン 電 源：電池(内蔵/外付/充電) 外形寸法：感部φ36×L215 変換器：W540×H327×D340 重 量：約25kg	測定範囲：0～13.5m 精 度：±1cm 設置高さ：15m 以内 出 力：デジタル・アナログ 電 源：AC100V, 20VA または DC12V, 約10W 外形寸法(重量)： 送受波器φ239×H281(3.5kg) 温度計184×580×354(7.6kg) 変換器 約312×362×150(10kg)
特 徴	①最小目盛1cmで読み取り可能 ②測定範囲 0～10,20,50,100m ③シンクロ機器、A/D 変換器等を組み込むことで、隔測指示器やテレメータ等に信号出力可能	①観測井を作る必要がなく、フロート塩ビ管またはH鋼などに添わせる ②保護管内に設置したリードスイッチの On-Off により、水位を電気信号に変えるデジタル式 ③商用電源の無い所でも使用可	①観測井を必要とせず、トータルコストが比較的安価 ②河床変動しても移設が容易 ③商用電源の無い所でも使用可	①観測井が直径φ100mm程度で設置可能 ②斜面上でも設置可能	①観測機器が水面に非接触で測定することができる ②送信器(送受波器)はほぼ全天候で使用できる
取扱い上の注意	①記録紙・電池・ペンは決められた期間内に交換する ②水位計と測水所水位標のゼロ点の位置を確認(明示)する	①河川の流水中に塩ビ管を設置するので、流木対策が必要 ②流速の速い場所ではH鋼の上下で水位差が出るので注意 ③河床変動の激しい所では支柱設置状況をよく確認する	①流速が速い場所では、流水が感部に直接当たらないように注意 ②大気導入パイプの設置は曲げに気を付ける ③感部の感圧素子は、極端な振動には弱いので、注意する	①紅物質を多量に含む水質は電極の劣化の可能性があり不向き ②フロートに代わる電極は細く長いので、観測井の曲がり等の設置方法に十分留意する	①送受波器の設置高さは水面から1.5mが必要 ②送受波器は水面に対し、鉛直上に設置する ③浮遊物の多い水面には不向き

代表的な水位計の設置方法を、図 3-4-4 に示す。

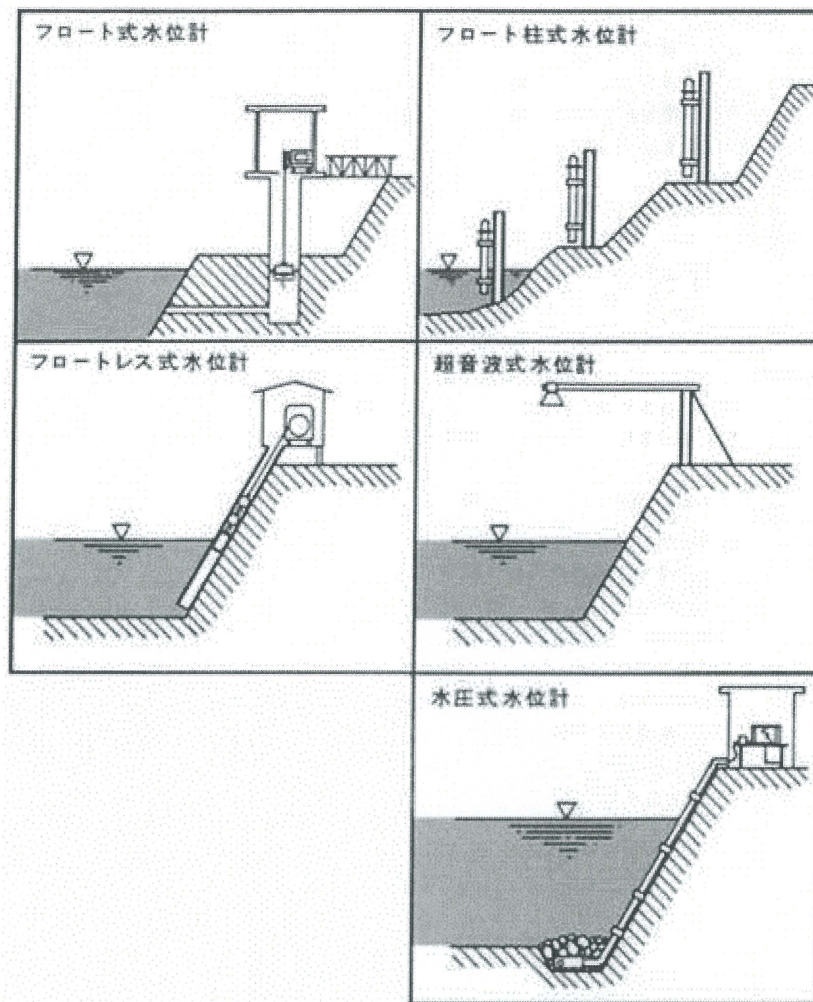


図 3-4-4 代表的な水位計の設置方法

4) 流速計測法による流量の測定

① 回転式流速計の場合

回転式流速計は最も一般的に使用されている流速計である。流速や水深によって流速計を使い分ける。

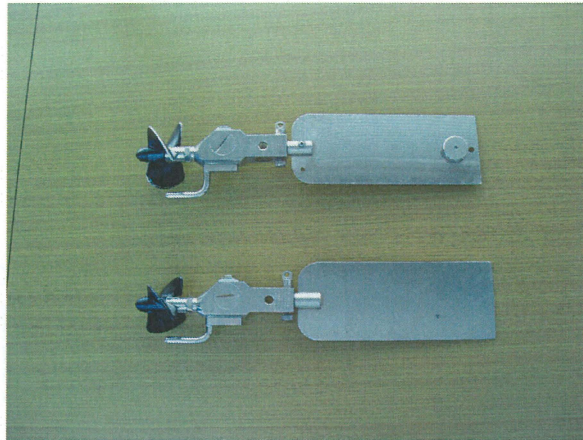


写真 3.4.1 回転式流速計の種類

上段の回転計は1型といい、流速が $0.15\text{m/s} \sim 3.3\text{m/s}$ 程度で使用する。

下段は2型といい、水深が浅く流速が遅い場合に使用し、流速が $0.04\text{m/s} \sim 0.65\text{m/s}$ 程度で使用する。

流水の運動を回転体に伝え、その回転数あるいは回転力により流速を測定する。回転輪（又は回転翼）の回転数は、ブザーやカウンター又は照明具の点滅等で表示できる。また、時計機能内蔵のデータログ等により、流速値を確認できるものもある。

7. 流速測定間隔

河川横断面の水平方向および水深の鉛直方向の流速測定間隔については、原則として河川の流速分布を考慮するものであり、その河川の流速分布は、一般的に図 3-4-5 のような流速分布を示す。

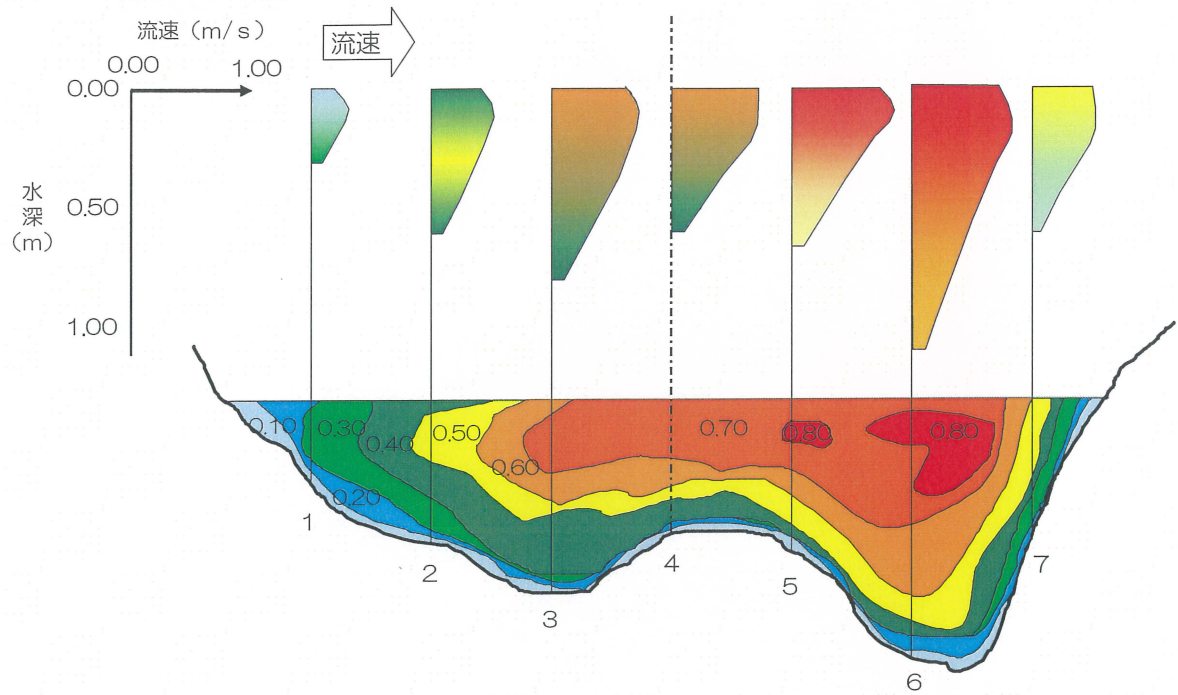


図 3-4-5 河川横断面における等流速曲線図

イ. 河川横断面における流速分布

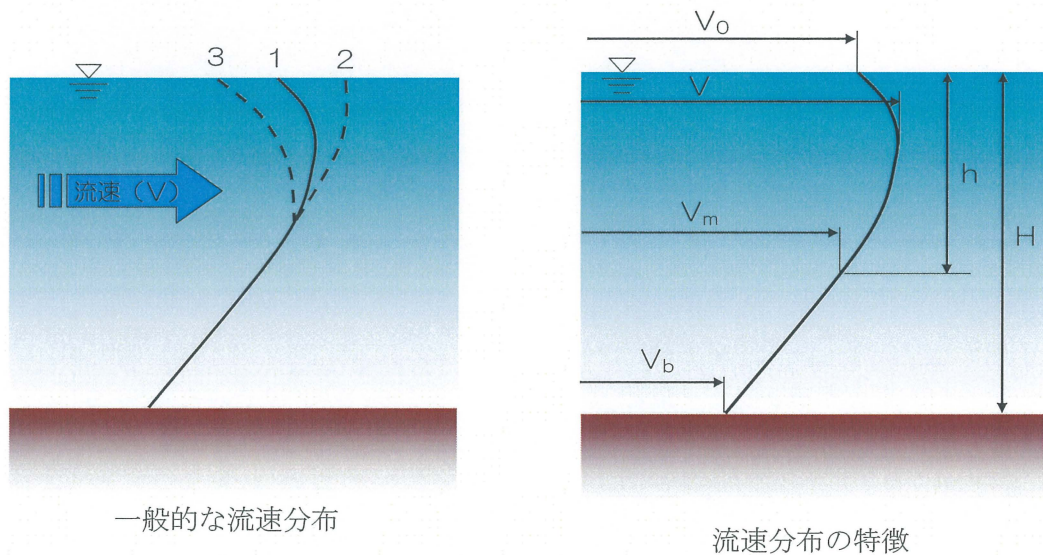
前掲図 3-4-5 のように流速が位置によって異なるのは、主として河川潤辺との摩擦と流水の粘性によるものである。

したがって、最大流速は、この影響の最も少ない位置、即ち河川潤辺から最も遠い中央水面に生じることになるが、水面には表面張力の影響があるため、風等の影響が無ければ、中央の水面から少し下がった位置に生じる。

ウ. 河川における鉛直流速分布

鉛直流速分布は、側壁や底面の粗度、水面幅と水深との関係、その他いろいろな状況によって異なるが、一般的な流速分布は、図 3-4-6（左図）の 1 曲線に示すような放物線であらわされる。しかし、風が上流から吹くときは 2 曲線のように、また、下流から吹くときは 3 曲線のように変化するが、平均流速の大きさと、その生じる位置は殆ど変わらない。

図 3-4-6 に示すように、 V ; 最大流速、 V_0 ; 表面流速、 V_b ; 水底流速、 V_m ; 全体の平均流速、 H ; 水深、 h ; 平均流速までの水深] とすれば、通常の場合の各流速は以下のとおりとされている。



V ; $0.1H \sim 0.4H$

V_b ; 最小流速

V_m ; $0.2H$ と $0.8H$ との2箇所の流速の平均 $0.8V_0$

図 3-4-6 河川における鉛直流速分布曲線図

エ. 流速測定間隔を決めるときの留意事項

- 河川状況が「転石等の影響により鉛直方向の流速が一様ではない」場合は「精密法」が適しており、流水状況が比較的安定している場合は、作業効率の良い「精密2点法」が望ましい。
- 河川横断面の水平方向の測定間隔は、原則として等間隔とするが、河川状況が「転石等の影響により水平方向の流速分布が一様でない」場合は、その流速分布を考慮して不等間隔にした方が精度向上する場合がある。

オ. 流速測定間隔の目安および流速の測定方法

流速測定間隔の目安および流速の測定方法は、以下のとおりである。

- ① 河川横断面の水平方向の「流速測定間隔」または「流速側線数」
 - 精密法・簡単法；4m以下の適切な間隔[水面幅の10%程度を目安]
 - 精密2点法；11側線以上[最小側線間隔は50cmとすることができる]
- ② 鉛直方向の「流速測定間隔」または「流速測定位置」
 - 精密法；表面から水深の2割間隔（5等分）を目安
 - [最小間隔は10cm程度、最大間隔は50～60cm程度]
 - [河床部の流速は、上部の流速分布より想定して算出]
 - 3点法；表面から水深の2割・6割・8割の点
 - 2点法；表面から水深の2割・8割の点（精密2点法も同様）
 - 1点法；表面から水深の6割の点
 - 表面法；表面
- ③ 流速測定時間
 - 精密法・簡単法；40秒以上
 - 精密2点法；30秒以上

[測定間隔の具体的な設定例]

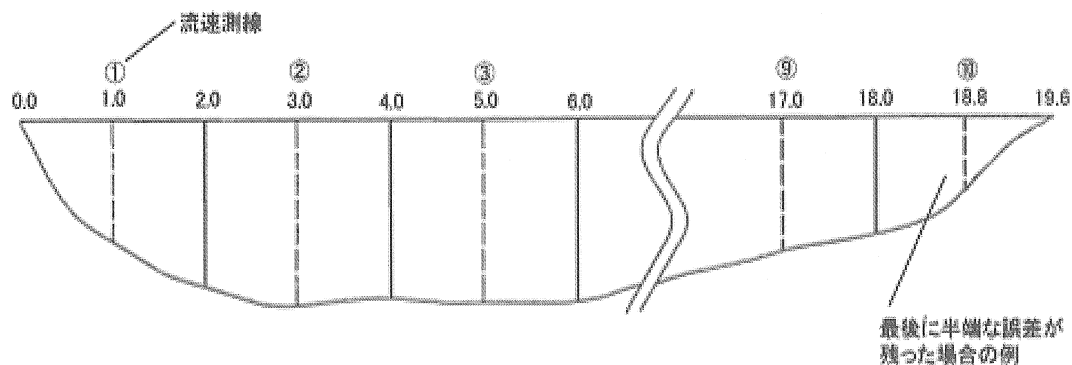
① 水面幅に対する水深・流速測定間隔（水平方向）

<精密法・簡単法（水面幅の10%）>

水面幅が10mの時；水深測定間隔0.5m、流速測定間隔1.0m
水面幅が20mの時；水深測定間隔1.0m、流速測定間隔2.0m
水面幅が30mの時；水深測定間隔1.5m、流速測定間隔3.0m
水面幅が40mの時；水深測定間隔2.0m、流速測定間隔4.0m

➤ 水面幅に対する流速測定間隔は、原則的に4mを越えてはいけないことになっており、たとえ水面幅が100mあっても、水面幅が40mの時と同様に4m間隔流速測定を行い、その半分の2m間隔の点でそれぞれ水深測定を行なう。

➤ 最後に半端な距離が残った場合、川岸の部分を長めにするか、または短めにして測線数を増やす。



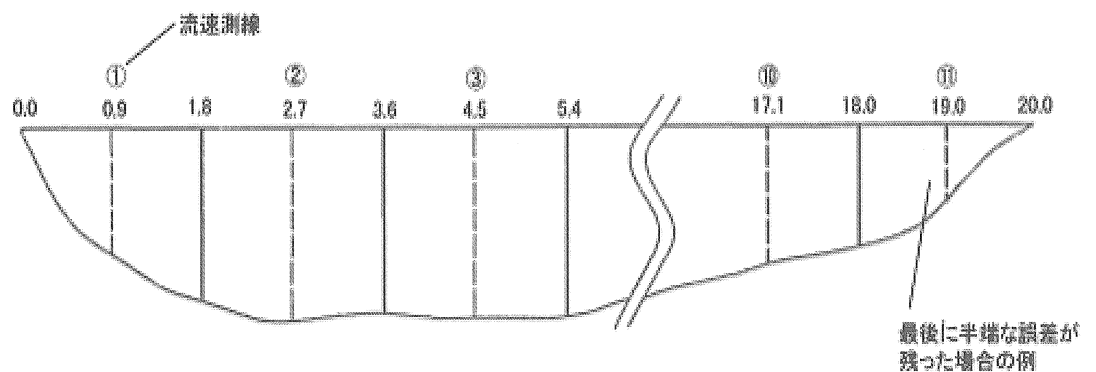
水面幅に対する水深・流速測定間隔の設定例(水面幅 19.6m)

<精密法・簡単法の場合(水面幅の10%)>

<精密 2 点法（11 測線以上）>

水面幅が4mの時	水深測定間隔0.25m、流速測定間隔0.5m、測線数 8
水面幅が5.5mの時	水深測定間隔0.25m、流速測定間隔0.5m、測線数11
水面幅が10mの時	水深測定間隔0.45m、流速測定間隔0.9m、測線数11
水面幅が20mの時	水深測定間隔0.90m、流速測定間隔1.8m、測線数11～12
水面幅が50mの時	水深測定間隔2.25m、流速測定間隔4.5m、測線数11～12
水面幅が100mの時	水深測定間隔4.50m、流速測定間隔9.0m、測線数11～12

➤ 最後に半端な距離が残った場合、川岸の部分を長めにするか、または短めにして測線数を増やす。



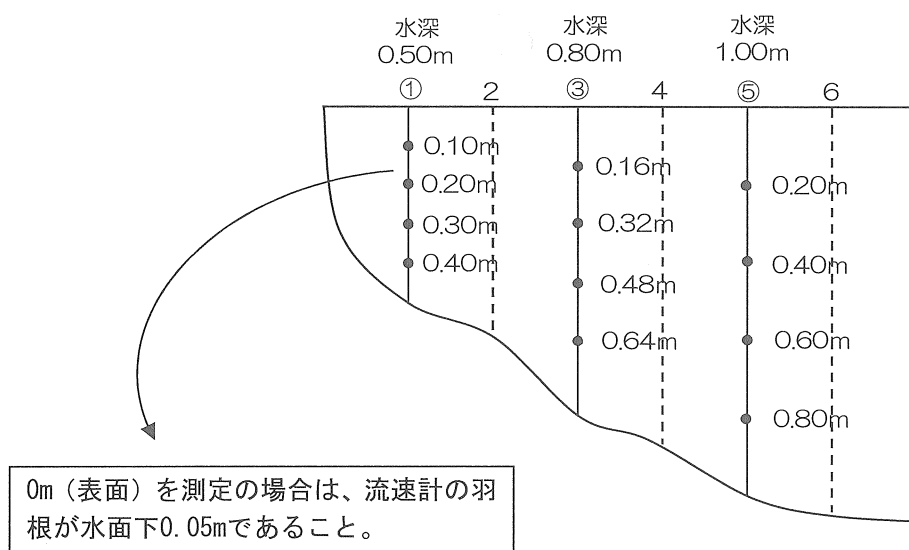
水面幅に対する水深・流速測定間隔の設定例（水面幅 20m）

<精密法 2 点法の場合（11 測線）>

② 水深に対する流速測定間隔

<精密法の場合>

水深が0.30mの時	流速測定間隔0.10m	、測点数 4
水深が0.45mの時	流速測定間隔0.09m	、測点数 6
水深が0.50mの時	流速測定間隔0.10m	、測点数 6
水深が0.80mの時	流速測定間隔0.16m	、測点数 6
水深が1.00mの時	流速測定間隔0.20m	、測点数 6
水深が2.00mの時	流速測定間隔0.40m	、測点数 6
水深が3.00mの時	流速測定間隔0.50～0.60m	、測点数 6～7
水深が5.00mの時	流速測定間隔0.50～0.60m	、測点数 9～11



精密法における水深に対する流速測定間隔の設定例

カ. 最近の流速計

これまで流量調査を自然河川で行う場合、回転式の流速計を用いた手法が精度よくデータを得るうえで最も多く用いられてきた。また、出水時等水位が高い際には、安全面を考慮して浮子式が用いられてきた。その他の測定機器を用いた手法については、実績が少ないこともあり積極的に使用されてこなかったのが現状である。しかし、近年では、回転式に加え、電磁式、電波式、超音波式の流速計も使用されるようになってきた。表 3-4-5 にこれら流速計の概要を対比した。

【参考】

河川砂防技術基準 調査編（国土交通省水管理・国土保全局 平成 24 年 6 月）では、表 3-4-5 に示す測定方法に加え、ADCP（Acoustic Doppler Current Profiler：超音波式測定器の一種）計測法、画像処理型（ビデオカメラを用いた表面流速測定）、堰測法（流量公式換算）、断面勾配面積法（河川断面の粗度を仮定し水位と水面勾配から流量を算定）が併記され、各手法の特性を踏まえたうえで様々な手法により流量を測定する旨が記載されている。

表 3-4-5 流速計の型式とその概要（その 1）

出典）平成26 年度中小水力開発促進指導事業基礎調査（発電水力調査（流量資料整備に関する調査））報告書
平成27 年2 月一般財団法人 新エネルギー財団（経済産業省 資源エネルギー庁 委託調査）

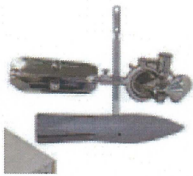
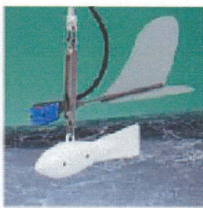
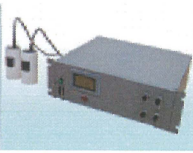
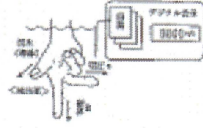
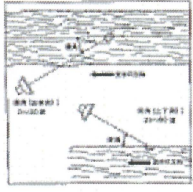
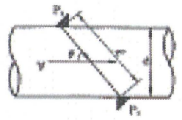
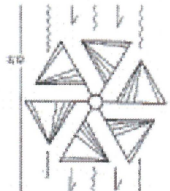
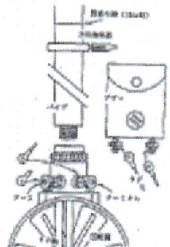
流速計	回転式（バケット式）	回転式（プロペラ式）	回転式（スクリュー式）	電磁式	電波式	超音波式
外 観						
原理・構造	【ブライス電気式】 流水の方でバケット式回転翼を回転させて、その回転数から流速を算出する。	【広井電気式】 流水の方でプロペラ式回転翼を回転させ、その回転数から流速を算出する。横軸に 6 枚の矢羽根型プロペラを付け円筒の中に格納してあるので、川底などの測定に最適である。	【4 型 TF 電気式】 流水の方でスクリューを回転させ、その回転数から流速を算出する。横軸の回転数をギアで 1/20 に落とし、20 回転 1 音としている。	【TK-105DH 型】 電磁式の原理は、下図に示すように検出器内部の電磁コイルによって検出器内部の周囲に磁界が作られ、その磁界中を電導体である水が通過することにより検出部の電極間に電圧が発生する（ファラデーの電磁誘導の法則）。 	下図のように、ヘッドから発射された電波は、流水表面に生じる波で反射され、一部の電波が再びヘッドに戻る。このときの反射波は、波の速さで周波数に変化が生じている（ドップラー効果）。この周波数の変化を捉え、表面流速を測定する。 	【管路用】 管路の外側に取り付けられた 2 個の検出器 PLP2 から超音波を流水中に交互に発射したとき、音波の伝播速度を t、水中速度を C、流速 V、電極間距離を ℓ、超音波が流水中を上流方向に伝播する時間を t_1 とすると $V = \frac{C^2}{2\ell \cdot \cos \theta} \cdot \Delta t$ 
主な仕様	測定範囲：0.20～2.00m/s 精 度：±1%以内 通知方式：普通ブザー 電 源：単一電池 2 本 外形寸法：W375×H123×D105 重 量：1070g(本体)	測定範囲：中高速用 0.20～2.00m/s 低速用 0.03～0.70m/s 精 度：±1%以内 通知方式：普通ブザー 電 源：単一電池 2 本 外形寸法：W142×H100×D58 重 量：650g(本体)	測定範囲：0.30～3.00m/s 精 度：±1%以内 通知方式：普通ブザー 電 源：単一電池 1 本 外形寸法：W150×H70×D70 重 量：900g(本体)	測定範囲：0.01～4.00m/s 精 度：±1%+0.005m/s 電 源：単二電池 8 本 外形寸法：W36×H25×D65（検出電極） 重 量：500g(尾翼含) コード：φ8×10m(1.1kg)	測定範囲：0.5～2,4,7,10m/s 計測距離：20m 以下 測定角度：(俯角) 20～60 度 (偏角) 0～20 度 出 力：アナログ DC0～5V デジタル BCD3 桁 外形寸法：φ325×320(ヘッド) 重 量：4.6kg(ヘッド)	測定周期：0.04 秒 サンプリング：3,10,30,100 秒 精 度：±1%FS(1m/s 以上) 電 源：AC100V,200V, DC10～30V(選択) 電源変動：電圧±10%, 周波数±2Hz 消費電力：約 45VA

表 3-4-5 流速計の型式とその概要（その2）

出典）平成26 年度中小水力開発促進指導事業基礎調査（発電水力調査（流量資料整備に関する調査））報告書
平成27 年2 月一般財団法人 新エネルギー財団（経済産業省 資源エネルギー庁 委託調査）

流速計	回転式（バケット式）	回転式（プロペラ式）	回転式（スクリュー式）	電磁式	電波式	超音波式
特 徴	①回転部は6 個のバケットからなり、回転輪の回転数を電氣的に伝える。 ②適用範囲は中速用である。 ③流速計のほとんどが横軸であるが、当器械は縦軸である。 ④バケットの回転数を毎回転 1 音、または 5 回転 1 音でブザーを鳴らすことが可能。 ⑤接点は摩擦式である。 ⑥吊り下げコードはクレー入りで 50cm 毎に目盛りがある。 ⑦適用河川は中・大河川の中・下流域向け。	①円筒の中に 6 枚のプロペラ式回転翼を入れたもので、回転数を電氣的に伝えて軽量小型化している。 ②適用範囲は微速用と中・高速用とに分けられる。 ③プロペラの回転数から流速を算出する。 ④通常は 10 回転 1 音の単用であるが、微速用は 5 回転 1 音の単用となっている。 ⑤適用河川は小河川・用水路向きである。	①回転部は 3 枚羽のスクリュー型で、プラスチック製。 ②適用範囲は中速度である。 ③横軸で、前部をベアリング、後部をセンターで受ける。 ④20 回転に 1 回接点し、接点は摩擦式である。 ⑤おもりに方向矯正用尾翼が付いている。 ⑥適用河川は中・大河川の中下流域。	①測定範囲が広いので、微流速から中・高流速まで 1 機種で測定可能。 ②可動部分がないので、耐久性および長期的な精度の安定性に優れている。ゴミ等の流下物による障害が少ない。 ③水深 3cm 以上の水路から測定可能。 ④尾翼の受圧面積に比べ検出本体の流圧抵抗が小さく軽量であるので、流水に対する指向性に優れている。 ⑤電磁流速計としては、検出部および指示部ともに軽量である。 ⑥適用河川は上流から下流域まで広範囲である。	①測定機器が水面に非接触で、流速を測定できる。 ②機器を固定し、連続測定が可能である。 ③電圧信号や BCD 信号で出力され、記録計が接続可能。	①超音波が透過する流体であれば、導電性、非導電性に依わず、どんな流体でも測定可能。 ②流体中に障害物を挿入する必要が無いので、流体に損失が生じない。また、既設の管路にも取付可能。 ③流量と出力信号は広範囲にわたり直線的な関係にあり、小流量の測定も可能。 ④管径が大きくても測定可。 ⑤流体の圧力や温度が変化しても誤差を生じにくい。 ⑥測定範囲の変更は極めて容易である。
取扱い上の注意	回転翼を上から見て左側はバケットが開いて水を受けて回転を促し、右側はバケットの背中で回転を停止させるように水圧が作用する。そのため、下図のように右岸側に接近すると実際の流速より遅く表示される可能性がある。左岸側は反対に速くなるので、測定時は注意を要する。 	円筒が流水方向に対して 90° になるように固定する必要がある。濁水などで目視できない場合に備え、測桿に方向指示器を装備し計測を行う。 	簡便法としては、測桿の先端に本体のみを固定し使用する。通常は、付属のおもり中央に突き出た丸棒に本体を前向きに固定する。	①鉄骨・鉄筋コンクリート構造物等の磁性体付近での測定では、検出部をあまり接近させないように注意する。 ②無線機（トランシーバ）の影響を受ける場合があるので注意する。 ③電極面が油膜で汚れると、測定に支障が出るので注意する。 ④使用後は検出部を洗浄・乾燥させ、指示部の電池は抜き取る。	①電波法の規制を受ける計測器である。 ②ヘッドは水面に対し、一定の角度以内に設置する必要がある。 ③ヘッドは風による影響を考慮する。	①超音波流速計の性能を最大限に発揮させるために、次の条件を満たす設置場所を選定する。 ①周囲温度・10～+50 度以内 ②連続的に湿度が高くない所 ③腐食性雰囲気がない所 ④気泡の混入がない所 ⑤おぼりの少ない所 ⑥検出器の設置付近に流れを乱す要素がある場合には、できるだけ遠く離し、一般的には自然流下の場合は上流側に 10D、下流側に 5D 以上の直管部をとる。 ⑦同軸ケーブルは妨害波を受ける恐れがあるので留意する。

キ. 渡渉による流量測定

河川の水深が浅く河川内への進入が可能な場合は、特に測定設備を設けず徒渉により測定を行う。



写真 3.4.2 徒渉による流量測定状況

5) 表面流速法による流量の測定

表面流速法とは、河川の表面流速の測定値からその断面の平均流速を算定する方法である。洪水時のように回転式流速計による流量の測定が困難な場合に流量を測定する方法であり、その測定方法も流量測定規則で明確に定められている。

ア. 浮子は、水面幅および流水の状況を考慮して、流心と平行な区分ごとに投下し、上流の見通線を通して下流の見通線に至るまでの流下時間を測定すること。

イ. 水深の測定は、浮子流下区間の両端における流水断面において行うこと。

ウ. 流量の算定は、各区分の平均流量速度と、その部分断面積との積をすべて合計することとし、各区分の平均流下速度は以下により求めること。

$$V_m = \alpha \cdot L / T$$

ここに、 V_m : 平均流下速度 (m/s)

L : 浮子流下区間距離 (m)

T : 流下時間 (秒)

α : 係数 (=0.8) ただし、河川の状況により別の係数を用いることが適切と判断される場合はその係数

エ. 浮子流下区間の河川形状

横断面がほぼ一様である直線部

オ. 流速測線

上流域の小河川のような場合には、浮子が流心に寄ったり、岸に寄ったりする恐れがあるので測線数を少なくするが、このような傾向のない河川については、測線数を増やした方が良い。

浮子がほぼストレートに流れ水位変動が少ない時は、流速測線数を「標準」とし、その目安は表 3-4-6 に示すとおりである。

表 3-4-6 水面幅と測線数

水面幅	20m未満	20～100m	100～200m	200m以上
測線数	5	10	15	20

カ. 流下時間の計測

浮子が上流の見通線を通過するときに時間計測をスタート、浮子が下流の見通線を通過するときに時間計測をストップし、この浮子流下時間を測定する。

キ. 流水断面積の測定

以下のいずれかの断面積を測定する。

- 上流見通線および下流見通線における断面積の和の平均
- 上流見通線と下流見通線の間横断線の断面積
- 浮子流下区間の平均的な断面積

ク. 表面流速法の誤差

浮子を用いた表面流速法は、洪水時のように回転式流速計による流量の測定が困難な場合に流量を測定する方法であるが、簡易的に流量を計測しようとする場合にも用いられる。

しかし、河道の断面形状や水深によって流速が変化するため測定精度は低く、得られた結果は参考程度にとどめておくべきである。

6) 公式測法による流量の測定

流水の状況により前記「(4)流速計測法による流量の測定」の項で記載の方法が困難な場合、又は横断面に変化が生ずるおそれが少ない河川、若しくは水路に設置された測水所の流量を測定する場合は、マニング公式、又はクッター公式によって流量を測定するものとする。

マニング公式

$$V_m = I/n(R^{2/3} \cdot I^{1/2})$$

クッター公式

$$V_m = \frac{(23+1/n+(0.00155/I) \cdot (RI)^{1/2})}{I+(23+0.00155/I)n/R^{1/2}}$$

ここに、 V_m ：平均流速 (m/s) n ：粗度係数

I ：水面勾配 R ：径深 (m)

河川および構造物の粗度係数は次表に定めるもの又は観測若しくは模型実験により算定されるものを用いること（表 3-4-7 表 3-4-8 参照）。

表 3-4-7 河川の粗度係数

潤 辺 の 状 態	n の 範 囲	平 均 値
線形、断面共に規則正しく水深が大きいもの	0.025～0.033	0.030
同上、ただし礫床草岩	0.030～0.040	0.036
蛇行線形、淵瀬あるもの	0.033～0.045	0.040
蛇行、多少石礫および草あるもの	0.035～0.050	0.042
同上、水深が小さいもの	0.040～0.055	0.050
同上、石礫床、水深が小さいもの	0.045～0.060	0.055
蛇行および淵瀬の変化が甚だしく、水草が多いもの	0.050～0.080	0.070
同上、水草が繁茂し流勢が鈍いもの	0.075～0.150	0.080
桑笹等が茂っている洪水敷 (水深が草木の高さの2倍以上)	0.050～0.080	0.070
同上、(水深が草木の高さ以下)	0.080～0.150	0.100
急な谷川	0.060～0.080	0.070

表 3-4-8 構造物の粗度係数

潤 辺 の 状 態	n の 範 囲
自由表面をもって流れる暗渠	
平滑な鋼表面(塗装なし)	0.011~0.014
セメント(モルタル)	0.010~0.015
木材	0.013~0.018
コンクリート(コテ仕上げ)	0.011~0.015
コンクリート(グナイト、良好断面)	0.014~0.023
アスファルト	0.014~0.018
人工水路	
鋳鉄(塗装なし)	0.011~0.016
コンクリート(仕上げたもの)	0.011~0.014

7) 日平均流量の算定

1 時間ごとに測定した水位と水位流量曲線との関係から 1 時間ごとの流量を求め、これら合計の $1/24$ としたものを日平均流量とする。

8) 流量測定における留意事項

① 年間を通じて正確な水位記録を取れるよう配慮する。

- 流量測定時の河川水位と自記水位と一致していることの確認。
- 水位計の自記紙取り替え時の日時、水位の確認とその記入を的確に行う。
- 測水所現況を常に把握して、水位の欠測を防止し、河床変動、河川改修等による曲線適用変更期を適確に捉える。

② 精度の高い水位流量曲線図の作成（前掲 図 3-4-3 参照）

- 河川横断方向の流速測定間隔の広狭は流量測定精度に大きく影響する。したがって、鉛直（水深）方向の流速測定点を多くして作業に時間をかけるより、河川横断方向の流速側線数を多くして作業に時間をかける方が有効である。
- 測定点が低水位部に集中する傾向があるため、流量測定時期を適切に選定し、最低水位付近から最高水位付近までの異なった水位時において実施することが望ましい。

- 流速測定後直ちに流量を算出し、水位流量曲線図に記入して、過去の実測点で形成される曲線から逸脱していれば、直ちに再測定を実施してその原因を追究する。
- 再度測定を行っても、なおその結果が正しいと確認された場合は、以下の測量を実施し、水位測定横断面の変化または上下流の河床状態を確認して記録しておく。
 - 水位測定横断面の横断測量
 - 水位測定横断面を中心とした水面勾配の流量
- 上流のダム、或いは発電放流による放流量変動中の測定は避ける。

(6) 水位流量図

縦(Y)軸を水位・流量、横軸(X)を日付(1月1日～12月31日)とし、水位流量年表の水位と流量について、1年間単位で経時図を作図する(図 3-4-7 参照)。

(7) 水位流量年表、流況表および流況曲線図

水位流量年表(表 3-4-9 参照)より同一流量の起こった度数を求め、これを最少流量から順次大なる流量へと配列記載し、1年の総日数(365日)より順次度数の累計を減じて各流量に対する日数を算出したものを流況表(表 3-4-10 参照)といい、これを流量と日数との関係に図示したものを流況曲線図(図 3-4-7 参照)という。

【参考 流況曲線の描き方】

出典) 発電水力演習 千秋信一著 学研社)

① パラレル法

1年 365 日間の毎日の平均流量を大きい順にならべて各年の流況曲線を描き、それらの平均をとる方法。これは洪水や渇水が過小評価される危険がある。

② 標準年法

各年の流況曲線を描き、その中で平均的であると思われる年の流況曲線を選んで、それを標準年流況曲線とする方法。一般的な計画には便利であるが、洪水対策に用いるには不適當である。

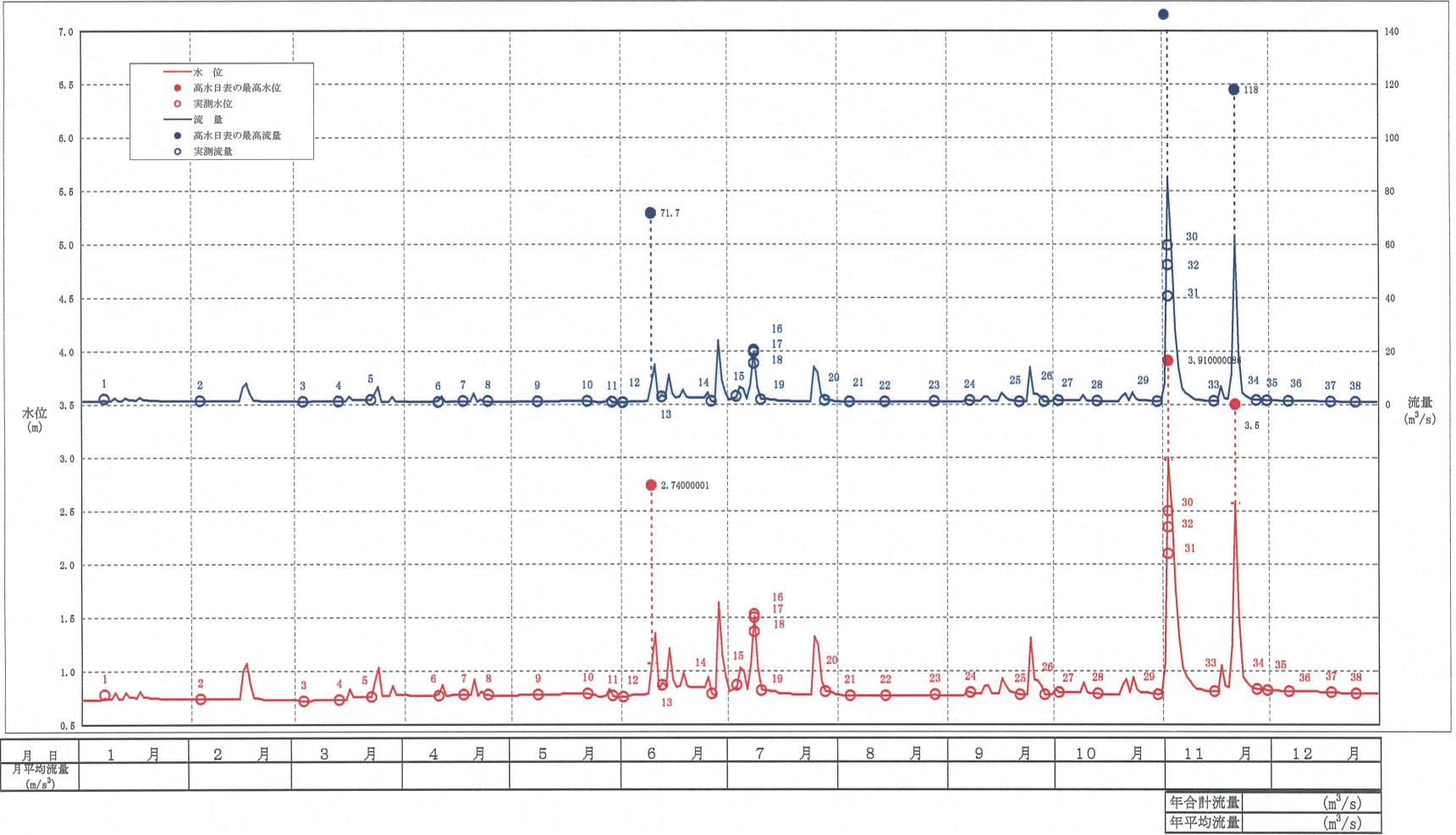
図 3-4-7 水位流量図

水位流量図

「水位流量図」の作成例

指定番号
平成 年

川水系 川 測水所 流域面積 km² 測定義務者



水 位 流 量 年 表

指定番号	
平 成	年

表 3-4-9 水位流量年表

川水系				川				測水所				流域面積				km ²		測定義務者									
月 日	1 月		2 月		3 月		4 月		5 月		6 月		7 月		8 月		9 月		10 月		11 月		12 月		月 日		
	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)	水位(m)	流量(m ³ /s)					
1	0.73	1.26	0.74	1.43	0.73	1.26	0.78	1.21	0.77	1.01	0.76	0.82	0.81	1.81	0.78	1.21	0.77	1.01	0.83	2.22	1.07	7.60	0.82	1.57	1		
2	0.73	1.26	0.74	1.43	0.72	1.10	0.77	1.01	0.77	1.01	0.76	0.82	0.83	2.22	0.77	1.01	0.77	1.01	0.80	1.61	2.98	85.20	0.82	1.57	2		
3	0.73	1.26	0.74	1.43	0.72	1.10	0.77	1.01	0.78	1.21	0.77	1.01	0.85	2.63	0.77	1.01	0.77	1.01	0.80	1.61	2.52	60.00	0.82	1.57	3		
4	0.73	1.26	0.74	1.43	0.72	1.10	0.77	1.01	0.78	1.21	0.78	1.21	1.03	6.64	0.77	1.01	0.77	1.01	0.80	1.61	1.77	28.30	0.81	1.36	4		
5	0.73	1.26	0.74	1.43	0.72	1.10	0.77	1.01	0.78	1.21	0.78	1.21	1.00	5.94	0.77	1.01	0.77	1.01	0.80	1.61	1.31	13.60	0.81	1.36	5		
6	0.73	1.26	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.78	1.21	0.78	1.21	0.83	2.22	0.77	1.01	0.81	1.81	0.80	1.61	1.03	6.28	0.81	1.36	6		
7	0.75	1.60	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.78	1.21	0.78	1.21	1.06	7.36	0.77	1.01	0.80	1.61	0.80	1.61	0.95	4.40	0.81	1.36	7		
8	0.74	1.43	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.78	1.21	0.79	1.41	1.51	19.80	0.77	1.01	0.79	1.41	0.80	1.61	0.91	3.50	0.81	1.36	8		
9	0.74	1.43	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.78	1.21	1.07	7.60	1.03	6.64	0.77	1.01	0.79	1.41	0.89	3.48	0.86	2.41	0.81	1.36	9		
10	0.80	2.48	0.74	1.43	0.73	1.26	0.79	1.41	0.78	1.21	1.35	15.00	0.83	2.22	0.77	1.01	0.79	1.41	0.80	1.61	0.83	1.77	0.81	1.36	10		
11	0.74	1.43	0.74	1.43	0.73	1.26	0.87	3.05	0.78	1.21	0.83	2.22	0.82	2.01	0.77	1.01	0.86	2.84	0.79	1.41	0.83	1.77	0.81	1.36	11		
12	0.74	1.43	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.78	1.21	0.89	3.48	0.82	2.01	0.77	1.01	0.86	2.84	0.79	1.41	0.82	1.57	0.81	1.36	12		
13	0.80	2.48	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.78	1.21	0.86	2.84	0.81	1.81	0.77	1.01	0.79	1.41	0.79	1.41	0.81	1.36	0.81	1.36	13		
14	0.76	1.78	0.74	1.43	0.73	1.26	0.78	1.21	0.78	1.21	1.21	11.20	0.81	1.81	0.77	1.01	0.79	1.41	0.78	1.21	0.81	1.36	0.81	1.36	14		
15	0.76	1.78	1.00	6.45	0.73	1.26	0.78	1.21	0.79	1.41	0.92	4.13	0.79	1.41	0.77	1.01	0.79	1.41	0.78	1.21	0.81	1.36	0.80	1.15	15		
16	0.75	1.60	1.07	8.00	0.83	3.03	0.78	1.21	0.79	1.41	0.85	2.63	0.79	1.41	0.77	1.01	0.93	4.35	0.78	1.21	0.81	1.36	0.80	1.15	16		
17	0.81	2.66	0.88	3.98	0.76	1.78	0.78	1.21	0.79	1.41	0.86	2.84	0.79	1.41	0.77	1.01	0.86	2.84	0.78	1.21	1.05	6.76	0.80	1.15	17		
18	0.76	1.78	0.75	1.60	0.76	1.78	0.78	1.21	0.79	1.41	0.98	5.48	0.79	1.41	0.77	1.01	0.81	1.81	0.78	1.21	0.86	2.41	0.80	1.15	18		
19	0.76	1.78	0.75	1.60	0.76	1.78	0.78	1.21	0.79	1.41	0.86	2.84	0.78	1.21	0.77	1.01	0.80	1.61	0.78	1.21	0.85	2.20	0.80	1.15	19		
20	0.75	1.60	0.74	1.43	0.76	1.78	0.92	4.13	0.79	1.41	0.85	2.63	0.78	1.21	0.77	1.01	0.79	1.41	0.87	3.05	1.23	11.40	0.80	1.15	20		
21	0.75	1.60	0.73	1.26	0.76	1.78	0.77	1.01	0.79	1.41	0.85	2.63	0.78	1.21	0.77	1.01	0.78	1.21	0.92	4.13	2.57	62.60	0.79	0.95	21		
22	0.75	1.60	0.73	1.26	0.76	1.78	0.81	1.81	0.79	1.41	0.85	2.63	0.78	1.21	0.77	1.01	0.78	1.21	0.80	1.61	1.50	19.30	0.79	0.95	22		
23	0.74	1.43	0.73	1.26	0.91	3.91	0.78	1.21	0.78	1.21	0.85	2.63	0.78	1.21	0.77	1.01	0.78	1.21	0.94	4.57	0.95	4.40	0.79	0.95	23		
24	0.74	1.43	0.73	1.26	1.03	6.64	0.78	1.21	0.78	1.21	0.85	2.63	0.78	1.21	0.77	1.01	1.31	13.90	0.83	2.22	0.90	3.28	0.79	0.95	24		
25	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.77	1.01	0.76	0.82	0.94	4.57	1.32	14.20	0.77	1.01	0.92	4.13	0.80	1.61	0.86	2.41	0.79	0.95	25		
26	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.77	1.01	0.76	0.82	0.79	1.41	1.25	12.20	0.77	1.01	0.91	3.91	0.80	1.61	0.84	1.98	0.79	0.95	26		
27	0.74	1.43	0.73	1.26	0.77	1.01	0.77	1.01	0.77	1.01	0.77	1.01	0.91	3.91	0.77	1.01	0.86	2.84	0.80	1.61	0.83	1.77	0.79	0.95	27		
28	0.74	1.43	0.73	1.26	0.86	2.84	0.77	1.01	0.83	2.22	1.64	23.90	0.81	1.81	0.78	1.21	0.78	1.21	0.79	1.41	0.83	1.77	0.79	0.95	28		
29	0.74	1.43	0.73	1.26	0.78	1.21	0.77	1.01	0.77	1.01	1.14	9.34	0.81	1.81	0.77	1.01	0.78	1.21	0.79	1.41	0.83	1.77	0.79	0.95	29		
30	0.74	1.43			0.78	1.21	0.77	1.01	0.76	0.82	0.94	4.57	0.80	1.61	0.77	1.01	0.78	1.21	0.78	1.21	0.82	1.57	0.79	0.95	30		
31	0.74	1.43			0.78	1.21			0.76	0.82			0.78	1.21	0.77	1.01			0.79	1.41			0.79	0.95	31		
合計		48.89		54.42		52.02		38.46		37.76		127.11		114.77		31.71		66.67		55.92		345.46		37.02	合計		
平均		1.58		1.88		1.68		1.28		1.22		4.24		3.70		1.02		2.22		1.80		11.50		1.19	平均		
最高	0.81	2.66	1.07	8.00	1.03	6.64	0.92	4.13	0.83	2.22	1.64	23.90	1.51	19.80	0.78	1.21	1.31	13.90	0.94	4.57	2.98	85.20	0.82	1.57	最高		
最低	0.73	1.26	0.73	1.26	0.72	1.01	0.77	1.01	0.76	0.82	0.76	0.82	0.78	1.21	0.77	1.01	0.77	1.01	0.78	1.21	0.81	1.36	0.79	0.95	最低		
																年最高流量		85.20		(m ³ /s)		年合計流量		1010.21		(m ³ /s)	
																年最低流量		0.82		(m ³ /s)		年平均流量		2.78		(m ³ /s)	

流 況 表 「流況表」の作成例

指定番号
平 年

川水系			川			測水所			流域面積			km ²			測定義務者		
流 量 (m ³ /s)	度 数	日 数	流 量 (m ³ /s)	度 数	日 数	流 量 (m ³ /s)	度 数	日 数	流 量 (m ³ /s)	度 数	日 数	流 量 (m ³ /s)	度 数	日 数	流 量 (m ³ /s)	度 数	日 数
6.67	1	366	8.36	2	326	9.14	1	255	(9.70)	1	185	12.10	2	103	16.50	2	26
7.08	1	365	8.37	1	324	9.16	4	254	9.73	1	184	12.20	4	101	16.70	1	24
7.11	1	364	8.41	3	323	9.18	1	250	9.74	2	183	12.30	1	97	17.00	1	23
7.23	1	363	8.42	3	320	9.19	1	249	9.75	3	181	(12.40)	5	96	17.40	1	22
7.25	2	362	8.47	2	317	9.20	2	248	9.77	1	178	12.50	3	91	17.60	1	21
7.34	1	360	8.48	1	315	9.22	3	246	9.79	1	177	12.60	2	88	17.70	1	20
7.35	1	359	8.49	3	314	9.23	2	243	9.80	4	176	12.70	4	86	17.90	1	19
7.45	1	358	8.55	5	311	9.24	2	241	9.81	2	172	12.80	2	82	18.00	1	18
7.47	1	357	8.59	1	306	9.26	1	239	9.82	1	170	12.90	5	80	19.00	1	17
7.48	1	356	8.60	3	305	9.28	5	238	9.83	1	169	13.00	2	75	20.30	1	16
(7.62)	1	355	8.61	3	302	9.29	1	233	9.86	1	168	13.10	4	73	20.40	2	15
7.65	3	354	8.66	2	299	9.30	1	232	9.87	2	167	13.20	2	69	20.60	1	13
7.67	1	351	8.71	1	297	9.32	3	231	9.89	1	165	13.30	4	67	21.80	1	12
7.69	1	350	8.72	4	296	9.34	1	228	9.93	2	164	13.40	3	63	22.10	1	11
7.76	2	349	8.74	1	292	9.36	6	227	10.00	7	162	13.50	1	60	22.20	1	10
7.82	1	347	8.77	1	291	9.38	1	221	10.10	3	155	13.70	1	59	24.20	1	9
7.84	2	346	8.78	2	290	9.39	2	220	10.20	5	152	13.90	3	58	24.90	1	8
7.85	1	344	8.81	1	288	9.41	2	218	10.30	2	147	14.00	2	55	28.30	1	7
7.88	1	343	8.82	1	287	9.42	4	216	10.40	4	145	14.10	2	53	31.20	1	6
7.90	1	342	8.83	1	286	9.44	1	212	10.50	5	141	14.20	1	51	31.70	1	5
7.95	1	341	8.84	3	285	9.45	2	211	10.60	1	136	14.30	5	50	35.20	1	4
8.00	1	340	8.86	2	282	9.47	1	209	10.70	2	135	14.40	1	45	66.80	1	3
8.02	1	339	8.91	3	280	9.49	1	208	10.80	4	133	14.50	3	44	68.50	1	2
8.04	1	338	8.92	1	277	9.51	6	207	10.90	4	129	14.70	1	41	90.60	1	1
8.05	3	337	8.93	1	276	9.55	2	201	11.00	2	125	14.80	3	40			
8.07	1	334	(8.97)	3	275	9.56	1	199	11.20	1	123	14.90	2	37			
8.14	1	333	8.98	3	272	9.58	2	198	11.30	1	122	(15.20)	1	35			
8.17	1	332	9.00	1	269	9.61	1	196	11.40	6	121	15.30	1	34			
8.29	1	331	9.03	3	268	9.62	3	195	11.50	4	115	15.40	1	33			
8.31	1	330	9.04	2	265	9.63	1	192	11.60	3	111	15.50	1	32			
8.32	1	329	9.07	1	263	9.67	3	191	11.70	2	108	15.70	1	31			
8.34	1	328	9.09	3	262	9.68	2	188	11.80	1	106	16.30	2	30			
8.35	1	327	9.10	4	259	9.69	1	186	11.90	2	105	16.40	2	28			

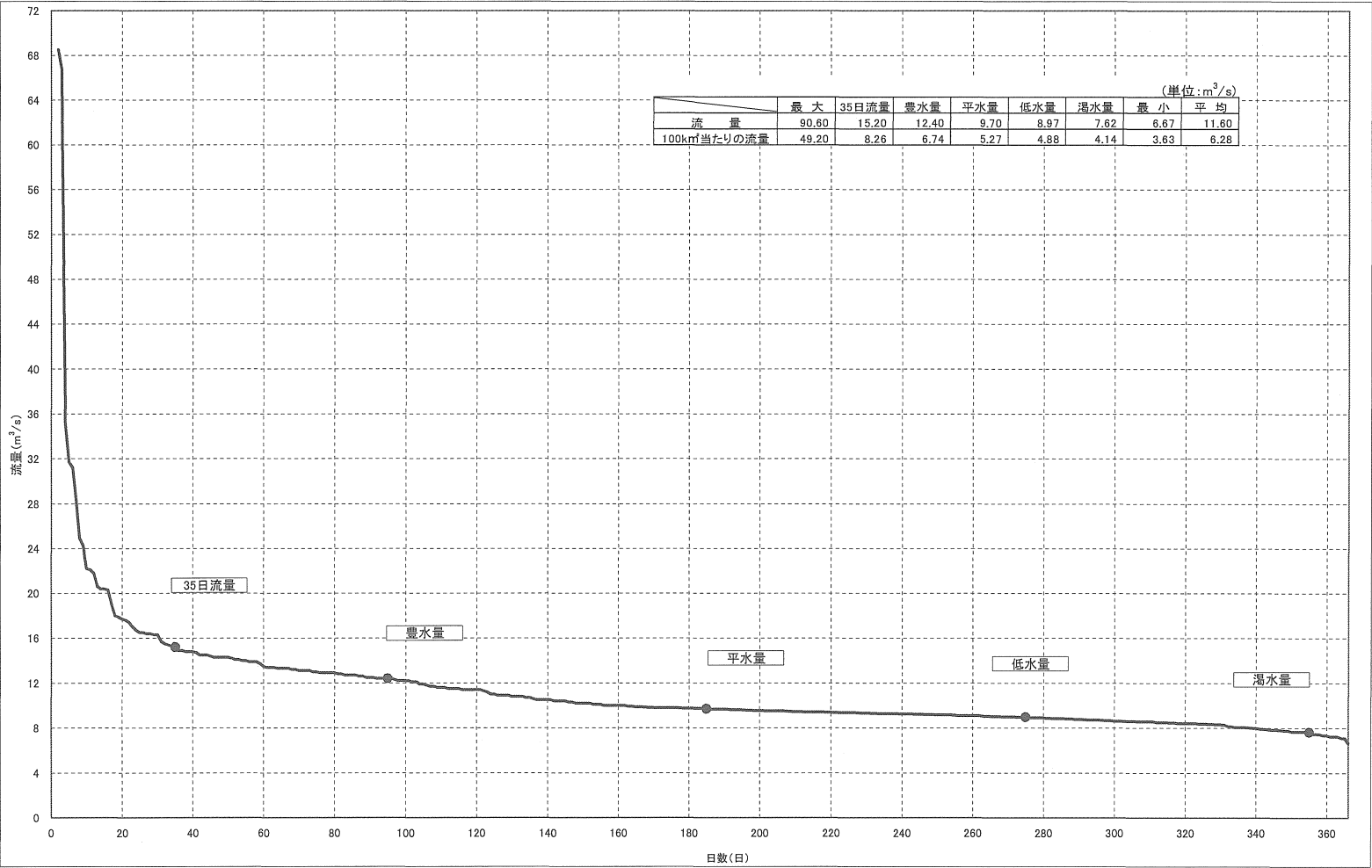
表 3-4-10 流況表

流 況 曲 線 図

指定番号	
平	年

川水系 川 測水所 流域面積 km² 測定義務者

図 3-4-7 流況曲線図



3.5 最適規模の検討

(1) 総落差、損失落差、有効落差

1) 総落差

総落差とは、発電所の取水口水面（取水位）と放水口水面（放水位）との標高差をいう（JEC-4001-1992）。

2) 流れ込み式発電における取水位・放水位

取水位 : 取水ダム越流天端標高

放水位 : 最大使用水量時の河川水位、又は最大使用水量時の放水口出口の限界水位のうち高い方の水位
(計画初期段階では、放水地点の河川における平水時の標高とする)

3) 損失落差、及び有効落差

- ① 損失落差は、水路工作物の構造に応じて水理計算により算定する。損失落差の基本式は、下記のとおり Q の二乗に比例する。

$$h_l = f \frac{V^2}{2g} \propto Q^2$$

ここに、 h_l : 損失水頭 (m)

f : 損失係数

V : 管内平均流速 (m/s)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

Q : 流量 (m³/s)

② 水理計算によって求める損失落差は、衝動水車、反動水車にかかわらず以下の区間を対象とする。

ア. 水車の上流側：取水口～水車入口弁まで

イ. 水車の下流側：放水庭から放水口まで

③ 可能性調査段階では、略算式（中小水力発電ガイドブックP-81～82又はP-147）を用いる場合が多い。

ア. 最大使用水量時の損失落差及び有効落差

最大使用水量時の有効落差は、総落差（取水位－放水位）から損失落差を差し引く。

損失落差は、以下のとおり算定する。

$$h_l = a \cdot L_1 + b \cdot L_2 + c \cdot L_3 + \Delta h_l$$
$$= \frac{1}{1,000} \cdot L_1 + \frac{1}{200} \cdot L_2 + \frac{1}{1,000} \cdot L_3 + (0.5 + \alpha)$$

ここに、 h_l : 損失落差（m）

L_1 : 導水路延長（m）

L_2 : 水圧管路延長（m）

L_3 : 放水路延長（m）

Δh_l : その他損失（m） $= 0.5 + \alpha$
 α は $+0.1\text{m}$ の範囲で端数調整。
損失落差は 0.1m 単位でまとめる。

$a = c =$: 圧力水路 $= 1/700$
無圧水路 $= 1/1,000$

$b =$: $1/200$ （水圧管路）

最大使用水量時の有効落差は、（取水位－放水位）から最大使用水量時の損失落差を控除して算定する。

イ. 常時又は任意の使用水量時の損失落差、及び有効落差

損失落差は、 Q の二乗に比例する。したがって、常時又は任意の使用水量時の有効落差は、(水槽水位－放水水位) から次式で算定される損失落差を差し引く。

ここに、水槽水位は取水水位－導水路の損失落差である。

$$h_{lf} = \left(b \cdot L_2 + \Delta h_l \right) \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right)^2 + c \cdot L_3$$
$$= \left(\frac{1}{200} \cdot L_2 + 0.5 + \alpha \right) \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right)^2 + \frac{1}{1,000} \cdot L_3$$

ここに、 Q_{max} : 最大使用水量 (m^3/s)
 Q_i : 常時、又は任意の使用水量 (m^3/s)
 h_{lf} : 常時、又は任意の損失落差 (m)

常時又は任意の使用水量時の有効落差は、(水槽取水水位－放水水位) から常時、又は任意の使用水量時の損失落差を控除して算定する。

(2) 使用水量の決定

1) 流れ込み式における基本的な考え方

- ① 発電計画の取水可能量 (すなわち、発電計画の対象となる流量) は、取水地点の河川流量から河川維持流量あるいは減水区間の責任放流量を控除した流量となる。
- ② 使用水量は、最大使用水量と常時使用水量の2つがある。最大使用水量は発電所で使用する最大の水量であり、最大出力はこれによって定まる。常時使用水量は1年中を通じて常時使用する流量 (流れ込み式にあつては355日流量) であり、常時出力はこれによって定まる。

- ③ 使用水量の決定は、原則として発電コスト（kWh当たり建設単価）を最低とする発電規模の最大使用水量を選定する（図 3-5-1 参照）。ただし、発電コストの差が僅かならば、その単価と代替電源単価とを比較しながら若干規模を大きくする場合もある。

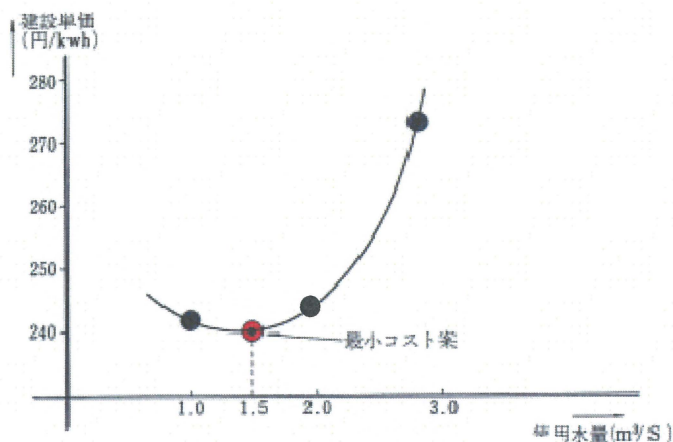


図 3-5-1 最適規模の選定

2) 使用水量検討時における留意点

- ① 最適な発電規模は、発電方式に応じて表3-5-1 に示す流量設備利用率の範囲内に最適値（最大使用水量）が求められる場合が多い。すなわち、この範囲を目安として複数の発電規模（最大使用水量）を検討する。

表3-5-1 比較検討における流量設備利用率の目安

（中小水力発電ガイドブックP-56）

発電方式	流量設備利用率
流れ込み式	40～60%

② 水車には、その特性（型式、比速度等）に応じて発電を可能とする範囲（中小水力発電ガイドブックP-124～P-126参照）がある。図 3-5-2 に横軸フランシス水車の相対構成効率カーブを示すが、最大使用水量に対し使用水量が少なすぎると水車にキャビテーションが発生し損傷を与えることになるため、このような水量のときは発電を停止することになる

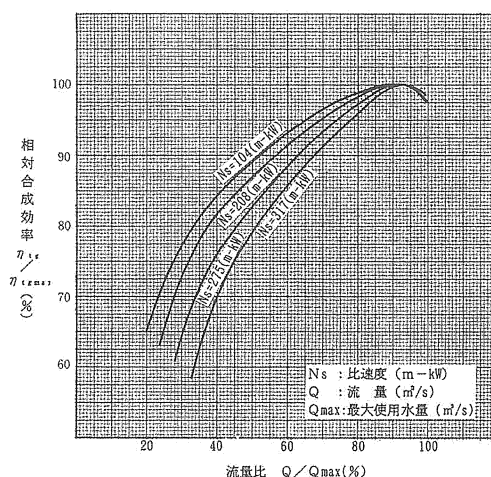


図 3-5-2
横軸フランシス水車の相対合成効率

（図 3-5-3 参照）。すなわち、この範囲を考慮して、後述する水車・発電機の合成効率を用いて発電電力量を算定する。

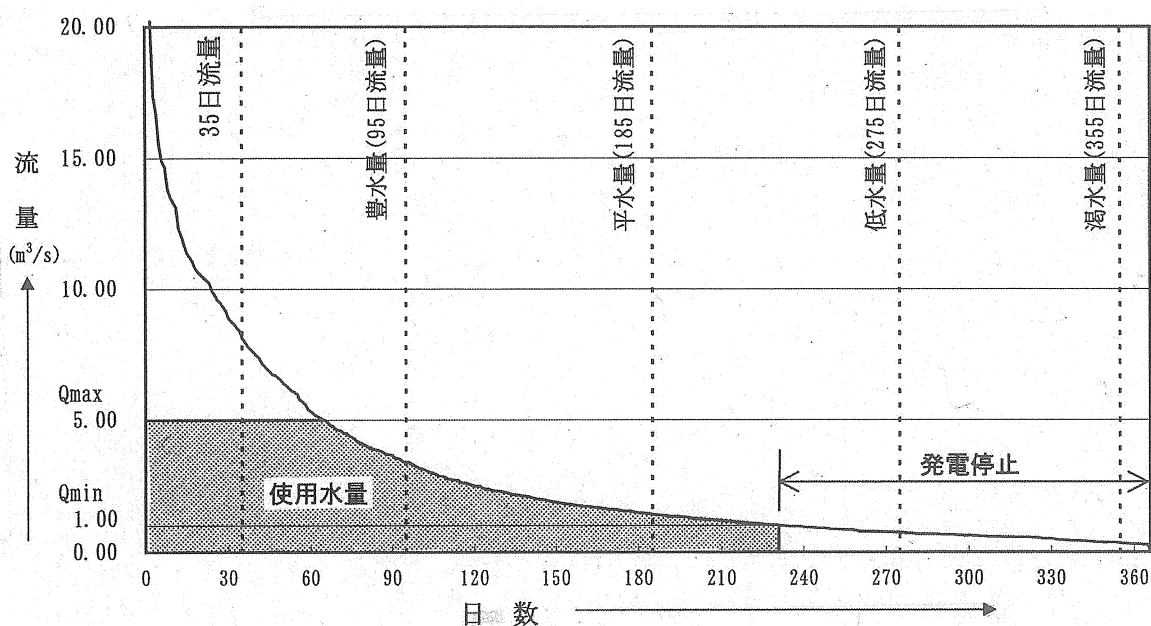


図 3-5-3 使用水量と流況（維持流量控除後）

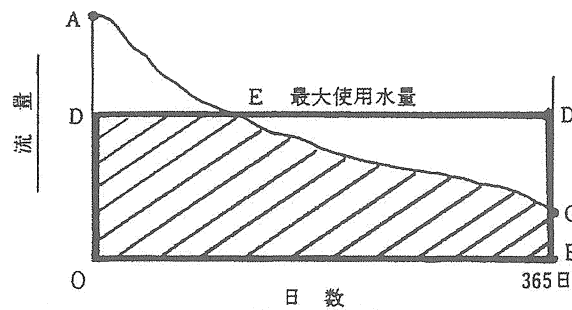
3) 流量設備利用率、設備利用率及び河水利用率

出典) 中小水力発電ガイドブックP-58～60

① 流量設備利用率

流量設備利用率とは、年間を通じて最大使用水量で使えるとした場合の水の総量に対し、河川の変動する流量の中で実際に取水できる水の総量が占める割合をいう。

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{面積DOBC E}}{\text{面積DOBD'}} = \frac{\text{面積DOBC E (m}^3/\text{s-day)}}{\text{DO} \times 365 (\text{m}^3/\text{s-day})}$$



注) “ $\text{m}^3/\text{s-day}$ ” の説明

河川の年間総流入量を $100,000,000\text{m}^3$ とした場合の日平均流量は、
 日平均流量 $= 100,000,000\text{m}^3 / (365\text{日} \times 86,400\text{秒}) = 3.17 \text{ m}^3/\text{s}$
 年間総流入量 ($100,000,000\text{m}^3$) を “ $\text{m}^3/\text{s-day}$ ” で表すと、
 年間総流入量 $= 3.17\text{m}^3/\text{s} \times 365\text{日} = 1,157.05\text{m}^3/\text{s-day}$
 ここに、1日 $= 24\text{時間} = 86,400\text{秒}$

② 設備利用率

設備利用率とは、発電設備が年間を通じてフル (100%) に運転できたとした場合の電力量総量 (最大出力 (kW) $\times 24\text{時間} \times 365\text{日}$) に対し、実際に発電可能な電力量 (年間可能発電電力量) が占める割合をいう。電力量は水路の損失及び水車・発電機の合成効率が影響するため、設備利用率は、通常、流量設備利用率より5～10%程度低くなり、発電最小流量に対し最大使用水量の比を大きくするほどその差が大きくなる。

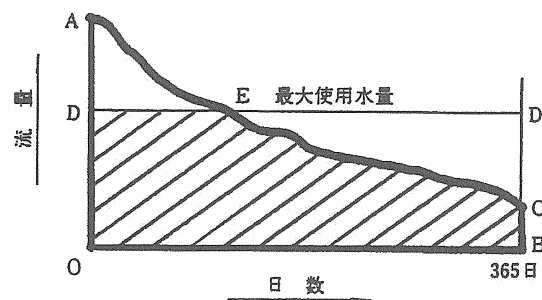
$$\text{設備利用率} = \frac{\text{年間可能発電電力量}}{\text{最大出力 (kW)} \times 8,760 \text{ (hr)}}$$

$$\text{設備利用率} = (95\% \sim 90\%) \times \text{流量設備利用率}$$

③ 河水利用率

河水利用率とは、取水地点の河水流量（総流量）に対し、実際に取水し使用できる流量の合計量が占める割合をいう。

$$\text{河水利用率} = \frac{\text{面積DOBC E (m}^3/\text{s-day)}}{\text{面積AOBC (m}^3/\text{s-day)}}$$



(3) 発電力の算定

① 理論水力

流量 Q (m^3/s) の水が落差 H_e (m) を落下して単位時間 (1秒間) になす仕事を理論水力 (P_o) という。1 m^3 の水の重量を1,000kgとすると、理論水力 (P_o) は以下のとおり算定される。

$$P_o = 1,000QH \text{ (kgm/s)}$$

ここに、1kgm/s=9.8 (J/s) であり1kWs=1,000 (J) であるから、上式は以下のとおり表すことができる。

$$P_o = \frac{1,000QH \times 9.8}{1,000} = 9.8QH \text{ (kW)}$$

したがって、理論最大水力及び理論常時水力は、下式のとおり表せる。

$$\text{理論最大水力} = 9.8 \times Q_{\max} \times H_{\max}$$

$$\text{理論常時水力} = 9.9 \times Q_f \times H_{ef}$$

② 発電力

$$\text{最大発電力 (kW)} : P_{\max} = \text{理論最大水力} \times \text{水車} \cdot \text{発電機合成効率}$$

$$= 9.8 \times Q_{\max} \times H_{\max} \times \eta \text{ (最大使用水量時)}$$

$$\text{常時発電力 (kW)} : P_f = \text{理論常時水力} \times \text{水車} \cdot \text{発電機合成効率}$$

$$= 9.8 \times Q_f \times H_{ef} \times \eta \text{ (常時使用水量時)}$$

③ 5出力

水力発電所の発生電力を評価するための出力で、発電方式により多少定義が異なるが、“流れ込み式”では最近10ヶ年の流量資料を基に計算した各月の最低5日平均日出力の平均値をいう。

【参考 1】

ア. 調整池式発電所の L 5 出力

最近10か年以上の流量資料を基に計算した各月の最低 5 日の尖頭出力（尖頭時間 4 時間以上）の平均値から停止出力を差し引いたものの年間平均値とする。

イ. 貯水池式発電所の L 5 出力

最近10か年以上の流量資料を基に計算した各月の最低半月の平均尖頭出力の平均値から停止出力を差し引いたものの年間平均値とする。

出典) 廃止発電所補償基準運用要領 補償問題研究会
平成11年5月31日改定

④ 有効出力

発電計算では、年間365日フル稼働した場合の計算値が得られるが、現実の発電所においては、事故や補修のため運転できない日時が生じる。そのため、その停止により損失する出力や電力量を差し引いて評価する必要がある、L 5 出力から停止出力を差し引いた後の出力の年間平均値を有効出力という。

$$\text{有効出力} = \text{L 5 出力} \times (1 - \text{停止率})$$

$$= \text{L 5 出力} \times \text{利用率}$$

$$\text{ここに、}(1 - \text{停止率}) = \text{利用率}$$

$$\text{流れ込み式の利用率} \simeq 0.95$$

$$\text{貯水池式の利用率} \simeq 0.97 \sim 0.98$$

出典) 中小水力発電ガイドブック P-91

【参考2：水圧管路延長が長い場合の出力】

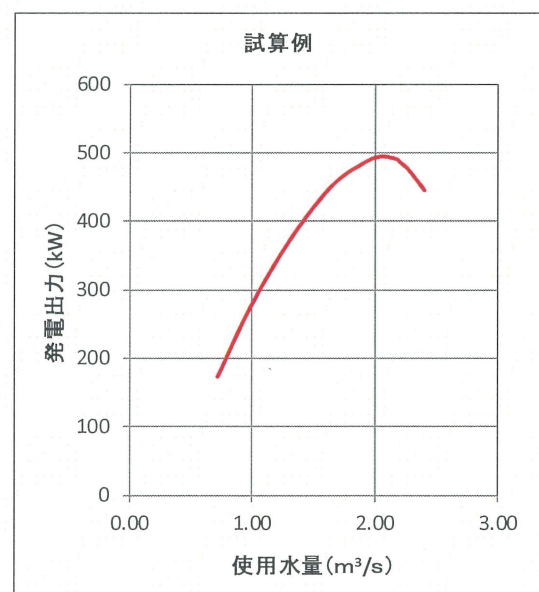
水道用水路、あるいは農業用水路を利用するような場合、水圧管路の延長が相当長い場合は、最大使用水量よりも少ない使用水量時点で最大出力を発電する場合があるので注意を要する。

以下に、試算値を示すが、試算例では、延長3 km、内径1.0 mの圧力管路において、最大使用水量を $2.40 \text{ m}^3/\text{s}$ とした場合である。表 3-5-2 に示すとおり、使用水量は最大時よりも少ない $2.04 \text{ m}^3/\text{s}$ とした場合のほうが、損失落差が小さくなるため発電出力は大きくなる。

すなわち、水圧管路延長が相当に長い場合は、使用水量と有効落差の関係に留意する必要がある。

表3-5-2 水圧管路が長い場合の出力特性

項 目	単位	諸 元	
使 用 水 量 : Q	m^3/s	2.40 (100%)	2.04 (85%)
水 圧 管 内 径 : D	m	1.00	
管 路 延 長 : L	m	3,000.00	
水圧管断面積 : A	m^2	0.785	
流 速 : V	m/s	3.057	2.599
粗 度 係 数 : n		0.012	
f		0.017928	
損 失 水 頭 : hf	m	25.70 m	18.60 m
総 落 差 : H	m	50.00	
有 効 落 差 : He	m	24.30 m	31.40 m
合 成 効 率 : η		0.78	0.8
出 力 : P	kW	450	500



(4) 発電電力量の算定

- ア. 発電電力量は、 Σ 〔発電力；P (kW)〕×〔発電時間；(h)〕で算定され、単位はkWhである。
- イ. 発電電力量の算定は、物価の変化に影響を受けないため、一般に工事費算定精度よりも高い精度の結果が当初より得られるように心掛ける必要がある。
- ウ. 発電電力量は、年間可能発電電力量と年間発電電力量に分けられる。

① 年間可能発電電力量

年間可能発電電力量とは、発電所が年間を通じて事故停止もせず、点検維持補修停止も生じないものと仮定した場合に、1ヶ年に発電が可能な電力量をいう。経済性の指標となるkWh当たり建設単価は、建設費を年間可能発電電力量で除して算定する。

② 年間発電電力量（有効電力量）

年間発電電力量は、有効電力量あるいは発電端電力量ともいい、点検停止、補修停止あるいは事故停止などによって生じた損失電力量を控除した、実際に発電する電力量をいう。発電原価は、1ヶ年間に必要な発電所の総経費を実際に発電する電力量、すなわち年間発電電力量で除して算定する。年間発電電力量は、下記の利用率（出典：中小水力発電ガイドブックP-91）、又は地域別・月別利用率（出典：中小水力発電ガイドブックP-214）により算定する。

$$\text{年間発電電力量} = \text{年間可能発電電力量} \times \text{利用率}$$

$$\text{流れ込み式の利用率} \approx 0.95$$

$$\text{貯水池式の利用率} \approx 0.97 \sim 0.98$$

出典）中小水力発電ガイドブック P-91

【参考 3：年間可能発電電力量の算定方法】

年間可能発電電力量の算定方法は、中小水力発電ガイドブック（P-85～P-91）に記載のとおり各種あるが、その求める精度に応じ流量～効率法、あるいはパソコンなどによる日単位計算を行う。なお、平均電水比法は最も単純な算定方法であり、短時間で概略の値が算定できる。

以下に、平均電水比法、及び流量～効率法を示す。

1) 平均電水比法

年間可能発電電力量の算定方法は、中小水力発電ガイドブック（P-85～P-91）に記載のとおり各種あるが、その求める精度に応じ流量～効率法、あるいはパソコンなどによる日単位計算を行う。

電水比とは、発電力（kW）と使用水量（ m^3/s ）の比をいい、

$$\text{最大電水比} = \frac{\text{最大発電力}}{\text{最大使用水量}} \quad [\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\text{常時電水比} = \frac{\text{常時発電力}}{\text{常時使用水量}} \quad [\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\begin{aligned} \text{平均電水比} &= \frac{1}{2} [(\text{最大電水比}) + (\text{常時電水比})] \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\text{最大発電力}}{\text{最大使用水量}} + \frac{\text{常時発電力}}{\text{常時使用水量}} \right] \end{aligned}$$

で表される。すなわち電水比は、使用水量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 当たりの発電力（kW）を表すものであるから、使用水量にこれを乗ずると、それによる発電力が得られることとなり、ある発電計画での年間合計使用水量； ΣQ （ $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{day}$ ）がわかれば、年間可能発電電力量； E （kWh）は、

$$E = \Sigma Q \text{ (}\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{day}\text{)} \times \text{平均電水比 (kW}/\text{m}^3/\text{s}\text{)} \times 24 \text{ (hr)}$$

として求められる。

なお、平均電水比法は最も単純な発電電力量の算定方法であり、短時間で概略の値が算定できる。表 3-5-3 に同方法の算定方法を例示する。

表 3-5-3 平均電水比法

項 目	諸 元	算定式
① 有効落差	45.00 m	与条件
② 最大使用水量	3.00 m ³ /s	与条件
③ 常時使用水量	0.60 m ³ /s	与条件
④ 最大出力	1,100 kW	$9.8 \times ② \times ① \times \eta$ ($\eta = 0.84$)
⑤ 常時出力	158 kW	$9.8 \times ③ \times ① \times \eta$ ($\eta = 0.60$)
⑥ 最大電水比	367 kW/m ³ /s	④/②
⑦ 常時電水比	263 kW/m ³ /s	⑤/③
⑧ 平均電水比	315 kW/m ³ /s	$[(⑥ + ⑦)] / 2$
⑨ 発電使用水量総量	650 m ³ /s-day	与条件
⑩ 年間可能発電電力量	4,914,000 kWh	⑧ × ⑨ × 24時間
⑪ 年間発電電力量	4,668,000 kWh	⑩ × 利用率 (利用率 = 0.95)
⑫ 設備利用率	51 %	$⑩ / [(④ \times 24時間 \times 365日)] \times 100$

2) 流況～効率法による年間可能発電電力量の計算

- ① 年間可能発電電力量は、1年間あたりの最大使用水量以下の使用水量で発電される電力量（図3-5-4のa d b c d）をいい、区分された使用水量（一般的には最大・豊水・平水・低水・渇水・最小流量で区分）ごとに水車発電機の合成効率を考慮して電力量（図3-5-4のⅠ～Ⅵ）を求める。
- ② 区分された使用水量ごとの発電電力量は、近似計算して求め、図 3-5-4 においては次式となる。
- ③ Ⅲ面積（A B C D）の計算例： $(P_i + P_{i-1}) / 2 \times (C - B) \times 24$

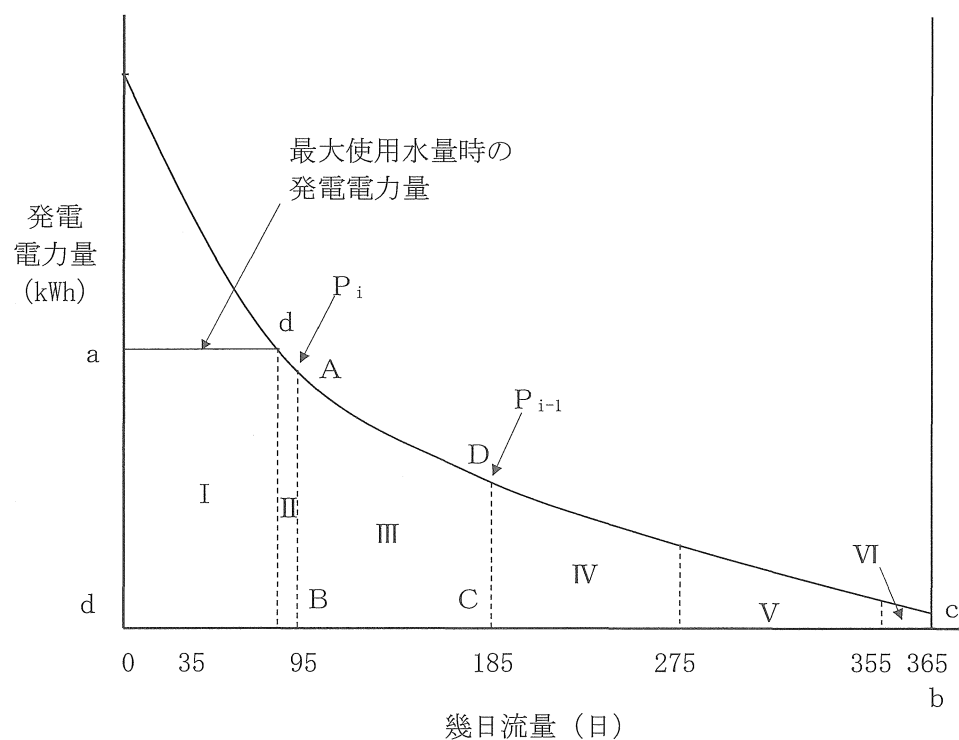


図 3-5-4 区分された使用水量ごとの発電電力量の計算方法

表 3-5-4 流況～効率による年間可能発電電力量計算要領

最大使用水量＝〇.〇〇m³/s

最大使用水量時の有効落差＝〇〇.〇〇m

番号	① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④負荷率 (%) *1 ③ /最大使用水量 ×100	⑤ 合成効率	⑥ 発電力 (kW) *1 $9.8 \times Q \times H \times \eta$	⑦ 平均発電力 (kW) *1 ・ i=1の時 : ⑥ _i ・ i=2～7の時 : (⑥ _i + ⑥ _{i-1}) / 2	⑧ 発電電力量 (kWh) ⑦ × ② × 24
i								
1	最大頭切日順							
2	95	95 -						
3	185	185 - 95						
4	275	275 - 185						
5	355	355 - 275						
6	365	365 - 355						
合 計		365	—	—	—	—	—	

*1：負荷率，発電力，平均発電力は、小数点第一位を四捨五入する。

*2：解答は、表中の太字である。

(5) 最適発電規模

出典) 中小水力発電ガイドブック P-150～P-152

発電規模は、主に最大使用水量、有効落差及び水車の型式によって決定されるため、これに関するパラメータを変化させた比較検討を行う。

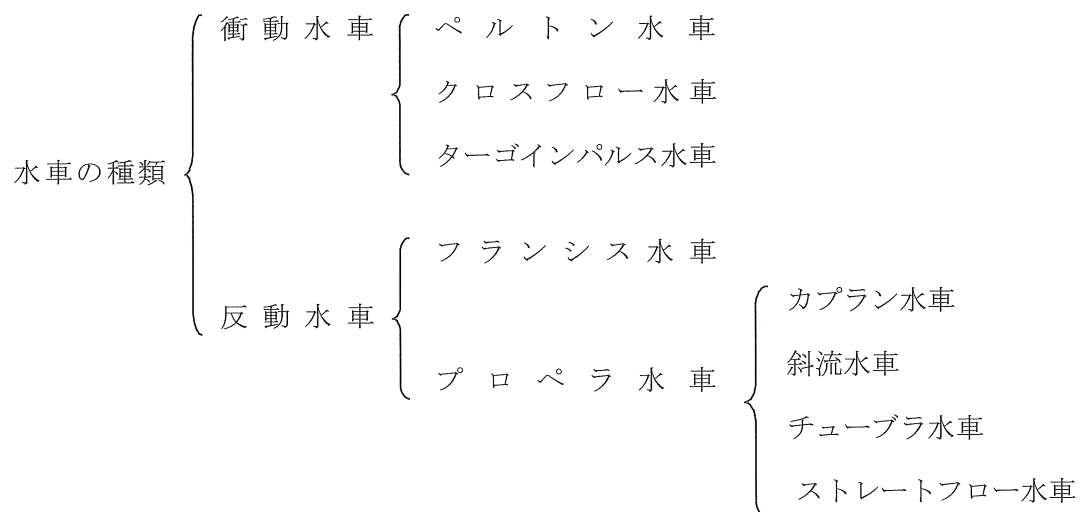
流れ込み式発電計画では、パラメータごとに概算工事費及び年間可能発電電力量を求め、kWh当たり建設単価が最小となる案を最適発電規模とする。以下に流れ込み式発電計画における比較項目を示す。

- ① 取水ダム位置及び発電所位置を変化させた代替案（水路ルートを選定）
- ② 最大使用水量を変化させた代替案（前掲(2) 使用水量の決定の項参照）
- ③ 水車型式を変化させた代替案
- ④ 水車台数を変化させた代替案

（注）④は、必要に応じて検討する。

(6) 水車・発電機の選定

1) 水車の種類



衝動水車 : 圧力水頭を持つ水をノズルから噴出させて、すべて速度水頭にかえ、噴出水の衝動によりランナを回転させる構造の水車
(図 3-5-5 参照)。

反動水車 : 圧力水頭を持つ流水の水圧をランナに作用させる構造の水車
(図 3-5-6 参照)。

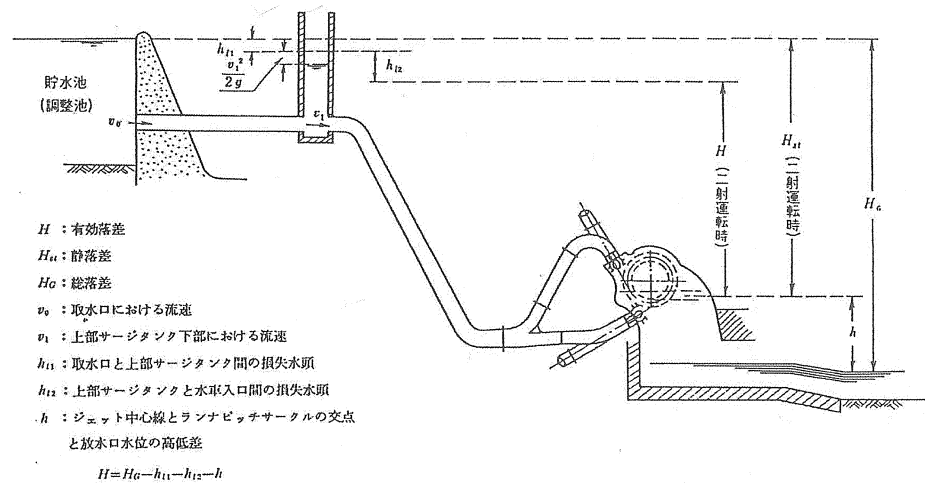


図 3-5-5 衝動水車の例（ペルトン水車）（出典：JEC-4001-1992）

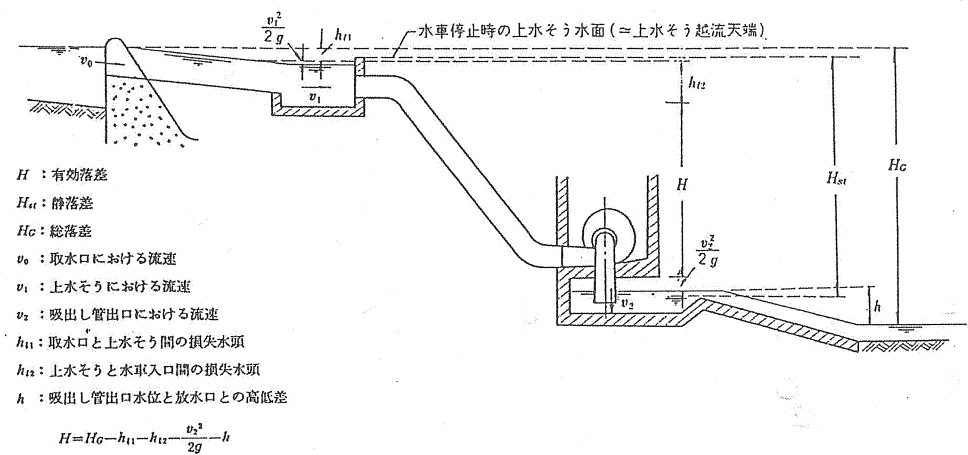


図 3-5-6 反動水車の例（横軸フランシス水車）（出典：JEC-4001-1992）

2) 水車の選定

水車は、使用水量の大小や落差の大小によってその適用機種が異なるため、その地点に合った最も経済的な水車を選定する。

水車の型式は、最大使用水量と有効落差の適用範囲によって定まり、一般的には、「中小水力発電ガイドブック (P-108)」、あるいは「中小発電計画導入の手引き 平成26年2月 経済産業省 資源エネルギー庁 (P4-16)」記載の水車型式選定図が参考となる。

図 3-5-7 に「中小水力発電ガイドブック」記載の水車型式選定図を示す。

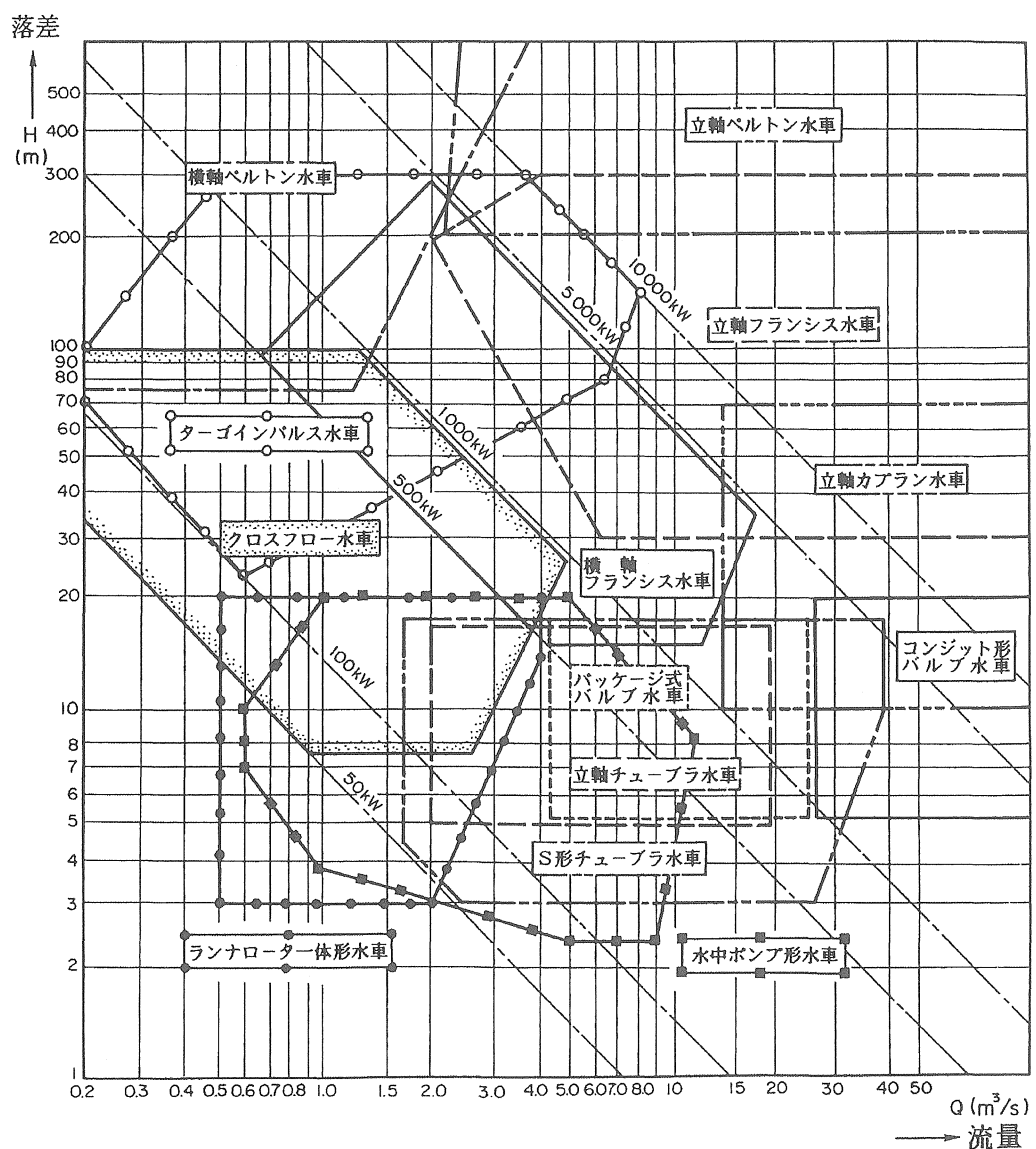


図 3-5-7 水車形式選定図

出典) 中小水力発電ガイドブック (新訂5版) P108

(1) 工事費の積算

水力発電所の建設工事は、直接現場で工事するものだけでも、土木、建築、電気と分かれ、しかも土木工事一つとっても、ダム、取水設備、水路（トンネル）、水槽、水圧鉄管、発・変電所基礎、放水路、並びにそれに伴う仮設備工事といったように、正に総合土木工事の観を呈することになり、実際に着工するためには、経験豊富な技術者による合理的かつ経済的な施工法に基づく積算が要求される。施工法如何によって同じ地点でも経済性が随分異なる場合があるので、特に仮設備計画を中心に入念な検討が必要となる場合が多い。更に、用地関係、建設所運営関係、建設中の工事資金の金利や発電所の直接的な建設をバックアップする事業所の事務経費も含まれてくる。

表 3-6-1 水力発電所建設工事に係わる工事項目

3-70

	水槽 水圧鉄管 余水路 発・変電所基礎 放水路 放水口	スクリーン、ゲート等。 サージタンクで、鉄管で内張する場合の鉄管工事。 鉄管工事。 地下埋設の場合はグラウト工事も含む。 鉄管工事。 基礎グラウト。 ゲート、トンネルの場合はグラウト工事を含む。 角落し又はゲート等。
電気	主要機械 機械装置 諸装置	水車、発電機およびそのコントロールをする配電盤・開閉装置。 主要変圧器、制御装置、屋外鉄構主機内コントロールに関係のない配電盤・開閉装置等。 通信電灯電気装置および発電所周辺町雑施設、（地下発電所の場合には地下空洞やアクセストンネル、ケーブルトンネルもここに含まれる）。
機械装置 基礎		水車廻りケーシングバレル周辺のでん充コンクリート等、機械装置の基礎周辺工事。
仮設備		発注者側の建設所として必要な仮建物（事務所、合宿、倉庫等）、通信、電灯、電力用の変電、配電、通信設備の工事、および発注者側が設けるケーブルクレーンやプラント等仮設備や、工事に必要な道路、橋りょう工事、トランシット等各種計測器具を含む工事に用備品並びに請負者に支給する工事用電力に関する一切の費用。
総係費		発注者側の建設所人員の給与、厚生費、出張費用、事務用品、消耗品、当地点の開発のための調査費用等一切の運営関係費用。
建設中 利子		当工事的資金を全額又は一部借入れた場合の建設中期間の利子。
分担 関連費		当工事をバックアップする発注者側の本・支店内関連事務経費。
予備費		工事中における出水対策費用や物価変動（特に高騰時）の工事費増額に対処するための費用。
転出		仮建物や工事用備品は当工事完了後、未償却額分相当を次の工事に転用できる場合にはその分を減額する。

電源開発に伴う工事費の項目分類の概要は、以上のとおりであるが、その詳細については、電気事業会計規則によって厳密に管理されており、工事資金の合理的並びに明朗な運営が義務づけられている。

このような詳細な積算は、開発の前段階ではどうしても必要となる業務であるが、図上計画段階（最適ルートおよび最適規模の検討時）では、後述するとおり、一般にはより簡略化した方法がとられる。

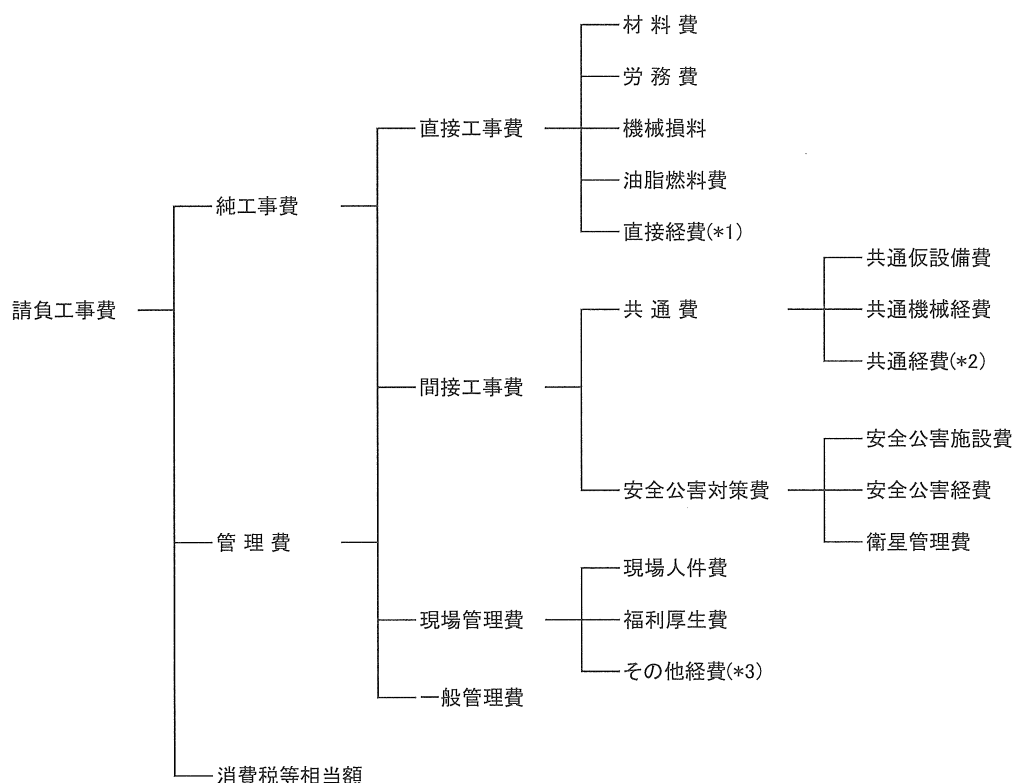
この簡略化した方法としては、「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月 経済産業省資源エネルギー庁、一般財団法人新エネルギー財団」があげられる。この手引きは、ある程度の精度を保持し、簡便かつ迅速な作業によって効率的な積算が行えるよう基本的に数量と単価を分けずに計画諸元から直接、項目別工事費が算定出来る方式である。この積算の手引きは以下の適用範囲を対象としている。

- ・ 新設および既設設備を利用した発電所工事を対象とする。
- ・ 最大出力は 50,000kW 程度までを対象とする。
- ・ ダムはローダムを対象とする（高さが 15m を超えるハイダムは対象外）。

なお、当該手引き平成 25 年度に作成されており、工事単価設定年度は平成 23 年度時点であり、使用する時点の工事費は、補正が必要である。

2) 工事費の構成

表 3-6-2 譜負工事費の構成例



(*1) 工事に伴う現場での材料の小運搬、軽微な仮設機器損料、用水・光熱費、雑消耗品費等。

(*2) 請負者側の仮建物、仮設備の供用に伴う維持修繕費、地代家賃、用水・光熱費等。

(*3) 請負者側の労務管理費、租税公課、保険料、事務用品費等。

3) 概算工事費の積算方法

図上計画段階における工事費の積算方法は、一般的には中小水力発電ガイドブック (P160) に参考として記載されている平成 6 年 3 月に示された「未開発地点開発最適化調査規模選定工事費積算基準」があげられるが、これは平成 5 年度に作成されたものであることから、最近は、「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月 経済産業省 資源エネルギー庁 一般財団法人 新エネルギー財団」が利用されている。

「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月」は、“1 規模選定工事費積算の手引き”、“2 発電計画工事費積算の手引き”および“3 電気設備選定の手引き”の 3 部で構成されている。

1 規模選定工事費積算の手引きについて

ア 本手引きは、中小水力開発調査で策定する発電計画のうち、発電計画の検討（最適ルート、最適規模の検討）における工事費の積算に用いる。

イ 発電計画の検討における最適ルートおよび最適規模の検討は、複数のケースを選定し、発電電力量計算、工事費積算を行って経済性の比較検討をすることから、本積算の手引きは、ある程度の精度を保持し、簡便かつ迅速な作業によって効率的な積算が行えるよう基本的に数量と単価を分けずに計画諸元から直接、項目別工事費が算定できる方式としている。

ウ 工事費は最大使用水量、取水ダムの高さなどの諸元から図表で工事費が算定できる。水圧管路や余水路は、1/25,000 地形図などから延長を求め、最大使用水量から求まる水圧管路の単位当たり単価を図表から求め、両者を乗じて工事費を算定する。

2 発電計画工事費積算の手引きについて

ア 本手引きは、前述の“1 規模選定工事費積算の手引き”を用いて発電計画の検討（最適ルート、最適規模の検討）で選定した最適計画案に基づいて発電計画の策定を行う際に用いるものである。工事費の算定は工種ごとに数量、単価を算定して積算を行う方式であり、より精度の高い積算を行うことができる。

イ 本手引きでは計画精度に応じ、次のように分類している。

「発電計画Ⅰ」：1/5,000 より詳細な地形図による計画。数量は設計図から算定、単価は単価算定図表から算定。

「発電計画Ⅱ」：1/25,000 より詳細な地形図による計画。数量は数量算定図表から算定、単価は単価算定図表から算定。

3 電気設備選定の手引きについて

「電気設備選定の手引き」は、小水力発電の概略設計などに対応できる水車・発電機効率の算定図などについてとりまとめ、1,000kW 以下の小水力発電所に対応できるように作成されている。

(2) 経済性の評価

発電所建設に係わる経済性評価の方法は、種々用いられているが、大きく分けて総合経済性評価法と個別経済性評価法がある。

総合経済性評価は、既設の設備（水力、火力、原子力、地熱）を含む電力系統全体を考慮して、新規の設備の経済性を評価するものであるが、この方法は極めて複雑であり、電力会社単位或はもっと広い広域運営の場での将来の電源構成のあり方をめぐる議論に適する方法である。

一方、電源構成から見た水力の占める割合は、発電電力量で約 10%と低く、このようななかで特定の中小水力地点の開発効果を系統の中で評価することは適当でない。

したがって、水力開発を行う前提で経済性評価を行う場合、とにかく発電原価を最低とする原則を基本とする個別経済性評価法が優先し、費用便益法（いわゆる「C/V法」）、建設単価法、及び限界建設単価法の 3 種類が通常よく用いられる。以下にその概要を示す。

1) 費用便益法（C/V法）

計画している水力地点がそれと同等の電力を供給する水力以外の代替電源、主として大規模火力との比較で経済性を評価しようという手法であり、まず基準となる代替電源を想定し、計画水力地点が受け持つ負荷をこの代替電源（基準火力）で代替した場合の年経費を算出し、この値を計画水力地点の便益（V）とする。

便益（V）の算出に当たっては、水力と基準火力との代替関係を明確にするため、水力の有効出力（年間最低 5 日間の渇水時でも起しうる出力に事故、修繕等による停止率を考慮した出力）と水力の年間有効発電電力量（年間可能発電電力量に利用率を考慮した電力量）に着目し、基準火力の年経費を固定費（主として建設資金にかかる金利、減価償却費、固定資産税等の資本費と運転時間に係わりなく維持・修繕に要する費用、人件費等）と可変費（主として燃料費）に区分し、

$$\text{便益 (V)} = \text{kW 価値 (水力の有効出力} \times \text{基準火力の附当たり固定費)} \\ + \text{kWh 価値 (水力の有効電力量} \times \text{基準火力の kWh 当たり可変費)}$$

ただし、

1. 水力・火力の事故率差、停止率の差を考慮して基準火力固定費を割増す。
2. 水力・火力の比較する系統上のポイントにおいては、送変電経費、ロス率の差を修正する。
3. 各電源とも耐用年均等経費（水力で約 35～40 年、火力で 15 年程度）で算出する。

一方、計画水力地点の年経費（C）を計算し、費用（年経費：C）と便益（V）との比較を行うことになる。水力の年経費はそのほとんどが固定費である。

水力、火力とも年経費は一つ一つの項目について積み上げることになるが、大略水力は総建

設費の 12%～13%位、火力の固定費で 15%～17%位である。

算出した費用（C）と便益（V）との比、すなわち $C/V \leq 1$ であれば基準火力に対して計画水力地点が等価ないしは優れた経済性を有していることになり、 $C/V > 1$ ならば基準火力より経済性が劣るという判断になる。

この方法は、戦後貯水池式の水力によるピーク発電が求められたときに、kW 価値をうまく織り込んだ手法として考案され、第 4 次発電水力調査以後全国的に利用されてきた。昭和 30 年代から 40 年代にかけて建設された水力発電所は、C/V 評価による所産である。開発の順位は C/V の小さいものを優先し、個別地点的には設備規模として C/V 最小をねらうとともに、 $(V - C)$ 最大となるよう検討を加えていくわけである。

もっとも、流れ込み式の場合、kW 価値が極めて小さいため、便益 $\div$ kWh 価値となってしまう、これは計画水力地点の発電電力量が、火力ならば単に燃料のたき増しで対応可能ということとなり、C/V 法の前提を否定することになってしまう。貯水池式や調整池式或は揚水のようにピーク対応供給力の評価には適しているが、最近のように流れ込み式を主体とする水力開発の傾向にあっては、C/V 法を活用するまでに至っていないのが現状である。

しかし、定性的には、中小水力発電といえども供給電力の一部を担っているものであり、設備投資の有利、不利あるいは投資効率を判定する C/V 法は、対象とする代替電源の検討とともに、今後とも経済性評価のひとつになるであろう。

2) 建設単価法

個別の電源の経済性を厳密に求めるには、その発電所から生まれる電力の発電原価を検討するわけであるが、水力の場合、その年間経費のほとんどは資本費であり、計画地点が異なっても大きく経費率に差はでないので、主として計画段階では建設単価による評価を行うのが一般的である。

建設単価には、出力（kW）当たりの建設単価と発電電力量（kWh）当たりの建設単価の 2 種類がある。前者は

$$\text{出力 (kW) 当たり建設単価} = \text{建設費} / \text{最大出力 (円/kW)}$$

で求められ、ピーク発電をする貯水池、調整池あるいは揚水式のようなものは、kW 当たり建設単価が安いことが要求される。特に、揚水式の開発規模の決定に当たっては、代替火力の kW 当たり建設単価が見合いとされる。

一方、発電電力量（kWh）当たりの建設単価は、

$$\text{発電電力量 (kWh) 当たり建設単価} = \text{建設費} / \text{年間可能発電電力量 (円/kWh)}$$

で求められ、最も良く用いられる指標である。原価主義による電気料金と密接な関係を持つ評価である反面、水力の kW 需給バランスへの貢献が全く入っておらず、単に輸入エネルギーの代替エネルギーとしての観点しか評価されていないうらみがあるが、計画段階では、一般水力

の経済性の概略を簡便に示す指標といえる。

3) 限界建設単価法

C/V法の場合であれば $C/V \leq 1$ なら開発の可能性有りとの判断が下せるわけであるが、kWh 当たり建設単価を用いた場合の判断基準はどうするかの問題が残る。

限界建設単価法とは、一般水力に極力 kW 価値を併せもたそうという観念から検討されたものである。

ここでは、経済性ランクを第5次発電水力調査と同様に a、b、c と区分し、それぞれ発電型式ごとに kWh 当たり建設単価の限度を決める方法を紹介するとともに、最近の状況を踏まえ限界建設単価を試算した。

① 試算の条件

モデル火力として表 3-6-3 に示す諸元の LNG 火力を想定し、その代替電源としての水力について表 3-6-4 に示す水力関連諸元を設定した。

水力及び火力の比較ポイントは、表 3-6-5 に示すとおり、モデル火力から 500kV、275kV の流通設備をとおり、275kV/154kV 又は 275kV/66kV の変電所で水力発電所からの送電線と接続されるものとし、更に当該水力発電所用に 154kV または 66kV の送電線が 1 回線 10km 新設されるものとした。

表 3-6-3 モデル火力

電源種別		LNG 火力
ユニット容量		1,400 MW
建設単価		120,000 円/kW
燃料費	条 件	年率 10 %up (15 年)
	初年度価額	6.56 円/Mcal
	15 年均等価額	12.14 円/Mcal
所 内 率		(kW) 2.8 % (kWh) 3.0 %
kW 補正率		(年間バランス) 20 %
経 費 率 (ただし、今回試算値)		16.61 % (利子率=8%)
		13.49 % (利子率=4%)
		12.09 % (利子率=2%)
熱 効 率		52.0 %

表 3-6-6 参照

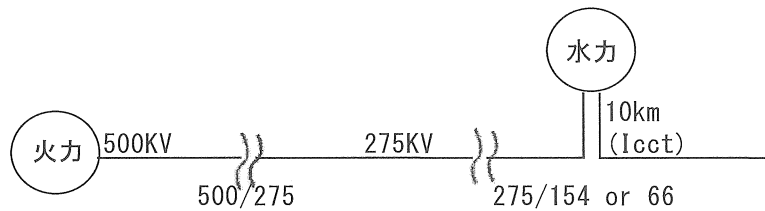
出典) 資源エネルギー庁：「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告（平成 27 年 5 月）」に記載されている発電所データを参考とした。

表 3-6-4 水力関連諸元

発電経費率 (ただし、今回試算値)		12.92 % (利子率=8%) 9.07 % (利子率=4%) 7.20 % (利子率=2%)	} 表 3-6-6 参照
送電経費率 (ただし、今回試算値)		12.72 % (利子率=8%) 8.99 % (利子率=4%) 7.19 % (利子率=2%)	
有効出力	流れ込み式	各月 L5 出力の年平均	
	調整池式	各月最低 5 日平均流量をベースに 7 時間ピーク 相当の年平均	
	貯水池式	7 時間ピーク化し月別出力の年平均	
有効電力量		ロス率、停止率を考慮して、年間可能発電電力量の 95%	

表 3-6-5 送変電諸元

送電	建設単価	(500kV) 29,800 円/kW, (275kV) 4,400 円/kW		
	経費率	12.32%		
	ロス率	(kW)	(kWh)	
変電	ロス率	(500kV)	4.4%	3.5%
		(275kV)	1.0%	0.8%
比較ポイント	建設単価	(500/275) 9,200 円/kW, (275/66) 11,400 円/kW		
	経費率	14.23%		
	ロス率	(kW)	(kWh)	
比較ポイント	ロス率	(500/275)	0.3%	0.2%
		(275/66)	0.5%	0.4%



次に、前記（表 3-6-3～表 3-6-5）の条件で水力の限界建設単価（kW 価値及び kWh 価値）を試算した。

試算では、割引率及び物価上昇率を、比較のため表 3-6-6 のとおり設定した。

表 3-6-6 経済指標

割 引 率	年率 8%、4%、2% up
物価上昇率	年率 8%、4%、2% up

比較のために複数条件設定。

② 試算結果

原価の算定に当たっては、前掲表 3-6-6 に示す経済指数の下に 15 年間で均等化した。

その結果、表 3-6-7 に示すように各利子率と物価上昇率による kW 価値（円／kW）と kWh 価値（円／kWh）は以下のとおりとなる。

表 3-6-7 kW 及び kWh 当たり価値

利子率 物価上昇率	8%	4%	2%
8%	35,400 円／kW 22.2 円／kWh	29,100 円／kW 23.7 円／kWh	26,300 円／kW 24.5 円／kWh
4%	34,300 円／kW 22.2 円／kWh	27,800 円／kW 23.7 円／kWh	24,900 円／kW 24.5 円／kWh
2%	33,800 円／kW 22.2 円／kWh	27,300 円／kW 23.7 円／kWh	24,400 円／kW 24.5 円／kWh

【参考】

kW 価値、kWh 価値の算出例（ただし、利子率=8%、物価上昇率=8%）

$$\text{KW価値: } \frac{(\text{火力建設単価} \times \text{経費率} + \text{送変電建設単価} \times \text{経費率})}{(1 - \text{火力側KWロス率})} \times (\text{KW補正率}) - (\text{水力側送電線経費})$$

$$= \frac{120,000 \times 0.1661 + 29,800 \times 0.1272 + 9,200 \times 0.1485 + 4,400 \times 0.1272 + 11,400 \times 0.1485}{1 - 0.028 - 0.044 - 0.01 - 0.003 - 0.005}$$

$$\times 1.2 - 640 = 35,415 \text{ 円} \rightarrow 35,400 \text{ 円/KW}$$

$$\text{KWh価値: 対比電源燃料費} = \frac{(\text{燃料価額}) \times 0.86 \text{ Mcal/KWh}}{(\text{熱効率}) \times (1 - \text{火力KWh所内率})} \times (1 + \text{事業税})$$

$$= \frac{6.56 \times 0.86}{0.52 \times (1 - 0.03)} \times 1.01523 = 11.4 / \text{円kwh}$$

$$\begin{aligned} & \text{15年均等化してさらに火力側kwhロス率補正をする} \\ & 21.1 \text{ 円/kwh} / (1 - 0.035 - 0.002 - 0.008 - 0.004) = 22.2 \text{ 円/kwh} \end{aligned}$$

次に、kW価値を織り込んで対比電源発電原価を

$$\frac{\text{kW 価値} \times \text{kW 有効化率}}{\text{年間発電時間}} + \text{kWh 価値} \quad \text{ただし kW 有効化率} = \text{有効出力} / \text{最大出力}$$

で求め、これを水力発電経費率で割ると、一般水力の開発限界単価を計算できる。

例えば、設備利用率 50%、kW 有効化率 30%の流れ込み式発電所の場合の開発限界単価（割引率 8%、物価上昇率 8%）は

$$\frac{\frac{35,400 \times 0.3}{0.760 \times 0.5} + 22.2}{0.1308} = 191 \text{ 円/kWh}$$

となり、この方式で kW 有効化率、設備利用率を種々与えて開発限界単価のマトリックスをつくると、表 3-6-8 のようになる。表中破線で囲んだⅠ、Ⅱ、Ⅲのゾーンは、ほぼ貯水池式、調整池式、流れ込み式に相当するゾーンであり、これらより平成 27 年 5 月時点の工事費で kWh 当たりの限界単価は、

貯水池式の開発限界建設単価 = 300 円/kWh

調整池式の開発限界建設単価 = 250 円/kWh

流れ込み式の開発限界建設単価 = 200 円/kWh

と判断される。

表 3-6-8 開発限界単価マトリックス (ただし、利子率=8%, 物価上昇率=8%)

		設備利用率				
		20%	30%	40%	50%	60%
kW有効化率	100%	328	276	250	234	224
	90%	313	266	242	228	219
	80%	297	255	234	222	214
	70%	281	245	227	216	208
	60%	266	234	219	209	203
	50%	250	224	211	203	198
	40%	234	214	203	197	193
	30%	219	203	195	191	187
	20%	203	193	187	184	182
	10%	187	182	180	178	177

ここに、kW 有効化率＝有効出力／最大出力

一方、これをC/V手法的にみると、これらの価額はC/V＝1に相当するので、前掲表 3-6-6 の経済指標のうち、利子率＝割引率＝8%とすれば、20 年後には現在C/V＝2 の地点も、将来C/V＝1 相当になりうるので、C/V＝2（すなわち、開発限界単価の2倍）でも一線を画くことにし、表 3-6-9 のような経済性ランク分けとなった。

もっとも、この考え方の中には、水力のkW 価値を十分に織り込もうという意図があるため、種々議論の的になるところである。kW 価値を見なければ、発電型式ごとに限界単価は変わらないし、しかも限界単価自体 170 円/kWh に低下する。仮に kW 価値を織り込むとしても、前掲表 3-6-3 のようにモデル火力に新設火力ではなく、既設の火力をとればやはり限界単価は下がってくる。

このように、限界単価を求める前提条件が変われば直ちに限界単価が変動することになり、経済性の判断基準がその時点での経済動向、或は水力の位置付けに対する考え方次第で大きく変動するものである。

表 3-6-9 発電方式別基準値（経済性ランク）

（単位：円／KWh）

級 発電方式	a ($C/V < 1.0$)	b ($1.0 < C/V \leq 2.0$)	c ($2.0 < C/V$)
流れ込み式	200 以下	200 をこえて 400 以下	400 をこえるもの
調整池式	250 以下	250 をこえて 500 以下	500 をこえるもの
貯水池式	300 以下	300 をこえて 600 以下	600 をこえるもの

（平成 27 年 5 月時点）

（3）事業性の評価

事業性の評価は、計画した発電計画について、事業の収益性、継続性、資金計画などを評価するものであり、キャッシュフロー、及び内部収益率などが代表的な評価手法として挙げられる。

1) キャッシュフロー

キャッシュフローとは、開発する発電所における費用（経費）と収益のことであり、その差が純益となる。

キャッシュフロー計算は、発電所運転開始後何年間で資本回収ができるか、あるいは想定する期間内でどの程度純益が期待できるか予測する経済性の評価手法である。水力発電所の法定耐用年数を念頭におきつつも、固定価格買取期間である経過20年時点や、さらに発電を継続するものとして20年以降も運転を継続した場合、どの程度の純益が見込めるのかを予測し、経営計画を検討する手法である。

2) 内部収益率（IRR）

事業期間中に発生する費用の現在価値の累計と便益の現在価値の累計が等しくなる割引率を内部収益率という。すなわち、純現在価値（NPV）が 0 となる割引率のことで、IRR が大きければ投資する事業は経済性が優れている。さらに、事業者がどのプロジェクトに投資するのが有利かを判断するのに利用可能である。

内部収益率は、事業自体の収益性を評価するプロジェクト内部収益率（Project IRR）と、事業の出資金（資本金等）のみを対象として収益性を評価する自己資本内部収益率（Equity IRR）に分類される。それぞれの収益率の概要や事業実施の判断基準については以下に記す。

✓ プロジェクト内部収益率（PIRR：Project IRR：Project Internal Rate of Return）

事業期間を通じた事業に投じられる投資額全体に対する内部収益率で、事業を行うことでどれ位の収益性を得られるかを評価する指標。事業に必要な建設費等の投資額に対して当該事業から得られる内部収益率を求めるもの。事業に投じられる投資額には自己資金に加えて銀行等からの融資も含まれる。

✓ 自己資本内部収益率（EIRR：Equity Internal Rate of Return）

事業期間を通じた自己資本（出資金等）に対する内部収益率で、投資家が投資した資金に対してどれだけの収益が得られるかを判断するための指標。プロジェクト IRR と異なり金融機関等からの借入に相当するものは含めないものであることから、100%自己資金で事業を行った場合のプロジェクト IRR と等価となる。出資者が求める最低限の自己資本 IRR の水準は、事業のリスク等に応じて異なる。

事業の実施に関係する主な参加者として、「事業主体」、「株主」、「金融機関」を考えた場合、それぞれの立場で事業への参画の目的が異なる。株主は、出資に対する配当金等の利益を得ることを目的とし、金融機関は事業への融資債権の保全を図りつつ適切な利息収入を得ることが目的となる。また、当然に事業主体では、安定した収入・利益を得ることによる事業安定性を担保することが目的となる。この中で、「事業主体」及び「株主」について、事業の採算性を判断する材料として使用されている指標が PIRR と EIRR である。事業参加者の事業参画目的と判断指標の考え方を表 3-6-10 に示す。

表 3-6-10 事業参加者の事業参画目的と判断指標

事業参加者	目的	目的に適する指標	評価基準
事業主体	事業全体の安定性、収益性の確保	プロジェクト内部収益率（PIRR）	PIRR＞資本コスト
株主	出資に対する収益性の向上	自己資本内部収益率（EIRR）	EIRR＞株主の期待する利回り

内部収益率の計算式、項目については以下のとおりである。

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

項目	要素
便益 (B _t)	各年の電力販売額
費用 (C _t)	設備投資額＋運転資金＋燃料費＋修繕費＋人件費＋固定資産税＋電気税＋事業税＋法人税等
割引率 (i)	市場の利子率以上

注) 割引率とは

割引率は、各年の経費を現在価値に換算する時に用いられるもので、投資に対する期待収益率をいう。企業が達成すべき投資利回りの基準となる数値であり、少なくとも限界的な運用金利以上の割引率でなければ、他の投資機会を選好すると仮定し、市場の利子率以上とする。

✓ 電気料金

内部収益率を計算する際に便益の要素として初期設定すべき項目が電気料金である。水力発電のような再生可能エネルギーで発電した電気の場合、一定価格で買い取る事を国が約束する制度があり、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」と呼ばれている(後述「6. 関係法令・手続き 6.4 固定価格買取制度」の項参照)。

3.7 工事費積算および事業性評価の演習

本項では、架空の発電計画地点を設定し、規模選定段階における工事費を積算するとともに、その結果を用いて事業性評価を行うものである。

工事費積算は「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月」（経済産業省資源エネルギー庁、一般財団法人新エネルギー財団）にもとづいて算定することとし、算定に必要な計画諸元および関連資料は研修当日に配布する（表 3-7-1 参照）。

表3-7-1 積算項目

積 算 項 目			摘 要
(1)	土 地 補 償 費		水没家屋、田畑、山林、付替道路、鉄道、漁業、公共補償、無形固定資産等
(2)	建 物 関 係		発電機床面以上の発電所本館建物（半地下式、地下式の場合は内装を含む）、付属建物（本館以外）。
(3)	土 木 関 係		
① 水 路	a. 取 水 ダ ム		土砂吐き、排砂ゲート、護岸工、護床工、魚道を含む。
	b. 取 水 口		ゲート、スクリーンを含む。既設堤体穴開け方式の場合は、堤体穴開け工事費を含む。サイフォン方式の場合は、真空ポンプ工事費のみとし、サイフォン管は水圧管路に計上する。
	c. 沈 砂 池		排砂ゲート、スクリーンを含む（露出式を対象）。
	d. 排 砂 路		沈砂池（水槽）で排砂ゲートを設置できない場合の代替設備として設置する。
	e. 導 水 路		
	f. 水 槽		ヘッドタンク又はサージタンクのどちらかを示す。排砂ゲート、スクリーンを含む。
	g. 余 水 路		
	h. 水 圧 管 路		既設管路との分岐管、バルブ室、バルブ、流量計室、流量計、グラウト、法面保護工等を含む。
	i. 放 水 路		
	j. 放 水 口		ゲートを含む。
	k. 代 放 流 設 備		既設ダム of 放流設備途中に発電設備を設置し、バイパス放流設備が必要な場合の放流バルブ
	l. 雑 工 事		土捨場、水路に係わる緑化工事、自記量水設備等。
	② 貯水池 又は調整池		（ダム高15m 以上の）ダム本体、洪水吐、雑工事
	③ 機 械 装 置	m. 基 礎	発電機床面以下（半地下式、地下式の場合は、床面以上を含む）の土木工事
		n. 諸 装 置	取水道路、構内整備、機械装置に係わる緑化工事等
(4)	電 気 関 係		水車、発電機、主要変圧器、配電盤開閉装置等
(5)	仮 設 備 費		工事用道路・橋梁、仮建物、工事用電力、備品等
(6)	総 係 費		人件費、調査委託費、事務関係費等
(7)	（ 小 計 ）		Σ 1)～6)
(8)	建 設 中 利 子		建設工事期間中の工事資金に係わる利子
(9)	分 担 関 連 費		発注者の現場以外の組織全体に係わる事務経費
(10)	送 配 電 設 備 費		架空又は地中送電設備
(11)	（計）		Σ 7)～10)

出典)「水力発電計画工事費積算の手引き 平成25年3月 P3」(経済産業省資源エネルギー庁、一般財団法人新エネルギー財団)

概 算 工 事 費 集 計 表

単位: 百万円

積 算 項 目			工事費	備 考
(1)	土地補償費			$[(2)+(3)+(4)+(5)] \times 5\%$
(2)	建物関係			
(3)	土木関係			①+②+③
	①水路			$\Sigma(a \sim j)$
		a.取水ダム	—	
		b.取水口		
		c.沈砂池	—	
		d.導水路	—	
		e.水槽		
		f.余水路	—	
		g.水圧管路		
		h.放水路		
		i.放水口	—	
		j.雑工事		$\Sigma(a \sim i) \times 10\%$
	②貯水池または調整池		—	
	③機械装置			k+l
		k.基礎		
		l.諸装置		$[(1)+(2)+k] \times 10\%$
(4)	電気関係			
(5)	仮設備費			$[(2)+(3)+(4)] \times 5\%$
(6)	総係費			$[(2)+(3)+(4)+(5)] \times 7\%$
(7)	(小計)			$\Sigma[(1) \sim (6)]$
(8)	建設中利子			$(7) \times 0.4 \times \text{利子率}2\% \times T/12$
(9)	分担関連費			$(7) \times 1\%$
(10)	送配電設備費			
(11)	(計)			
最大出力(kW)				
年間可能発電電力量(kWh)				
kW当たり建設費(千円/kW)				
kWh当たり建設費(円/kWh)				

4. 地形・地質

4.地形・地質

4.1 「土砂災害」からみた地形・地質について

水力発電事業を推進する過程で地域のさまざまな自然環境条件を調査することは、電源開発の初期段階ではもっとも重要なことである。その中でも開発地点においてとりわけ重視されるのは、地形・地質条件であることはいうまでもない。安定した強固な地盤上に電源施設を建設することが、電力の安定供給には必要不可欠の条件と考えられるからである。本章では、電源開発における地形・地質条件に注目し、我が国でもっとも多い災害の一つである「土砂災害」の見地から、この分野の現状や基礎知識を紹介する。

(1) 我が国における「土砂災害」について

山間部が国土の約 70%を占める我が国では、台風や大雨、地震等が引き金となって、がけ崩れや土石流、地すべりなどの土砂災害が発生しやすい自然環境にある。土砂災害は一瞬にして、尊い生命や家屋などの貴重な財産を奪うなど、甚大な被害をもたらすことはいうまでもない。

過去 10 年間の土砂災害発生件数をみると、平均して 1 年間におよそ 1,000 件もの土砂災害が発生している。平成 28 年の土砂災害の発生件数は 1,492 件であり、図 4-1-1 に各都道府県別の発生件数を示す。この図からも分かるように、ほとんどの都道府県で土砂災害が発生している。

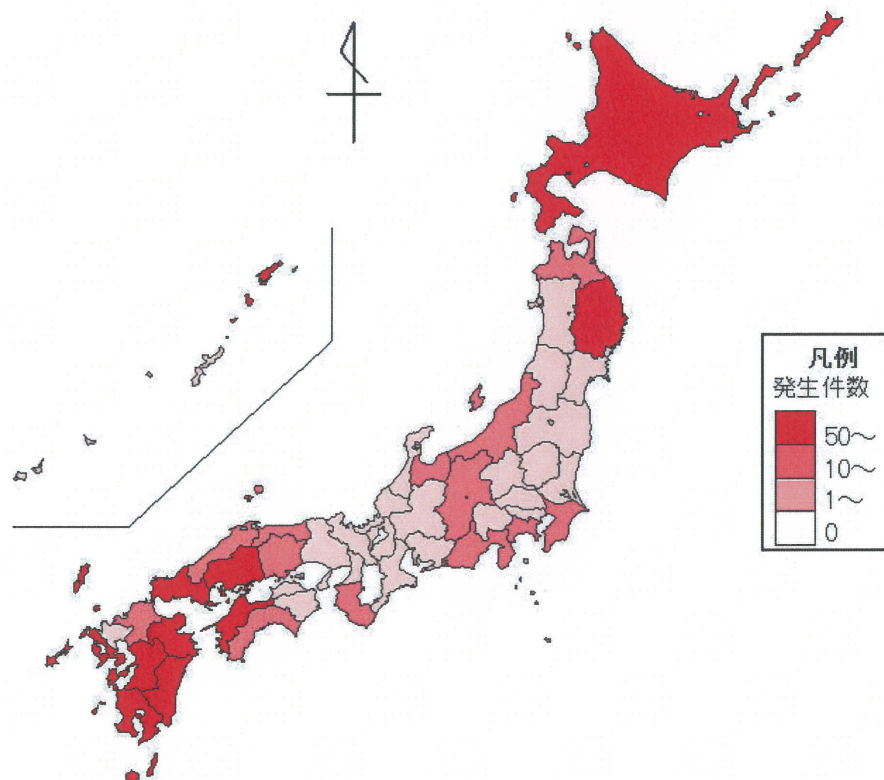


図 4-1-1 平成 28 年の各地の土砂災害発生件数（政府広報オンラインから引用）

さらに特筆されるのは、土砂災害が発生するおそれのある危険箇所は、日本全国で約 67 万区域以上も存在することである。（平成 28 年度末時点の推計値）

国土交通省や都道府県では、土砂災害による被害を防ぐため、砂防えん堤などの施設整備や警戒避難体制の整備などの対策を実施しているが、これらと併せて私たち一人ひとりが土砂災害に対して日頃から備えておくことも重要である。加えて、ここでは知っておくべき次の 3 点のポイントを紹介する。

① 当該地点が「土砂災害危険箇所」にあるかどうか確認する。

土砂災害発生のおそれのある地区は「土砂災害危険箇所」とされている。当該地点が土砂災害危険箇所にあるかどうか、国土交通省・都道府県が公開している情報で確認することができる。

※ 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部の HP
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link_dosya_kiken.html

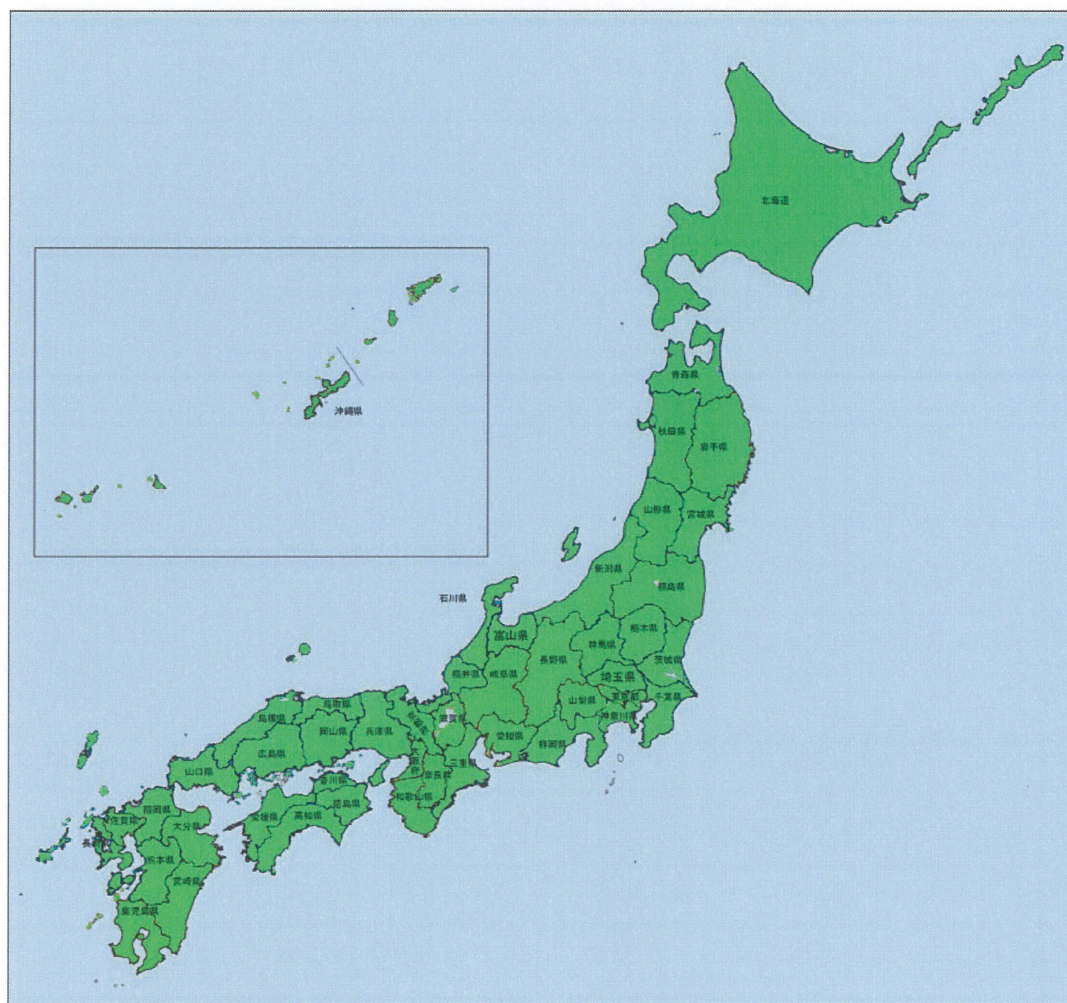


図 4-1-2 都道府県別土砂災害危険箇所（国土交通省資料から引用）

※ 図 4-1-2 の都道府県をクリックすると、図 4-1-3 のような土砂災害危険箇所マップが示される。

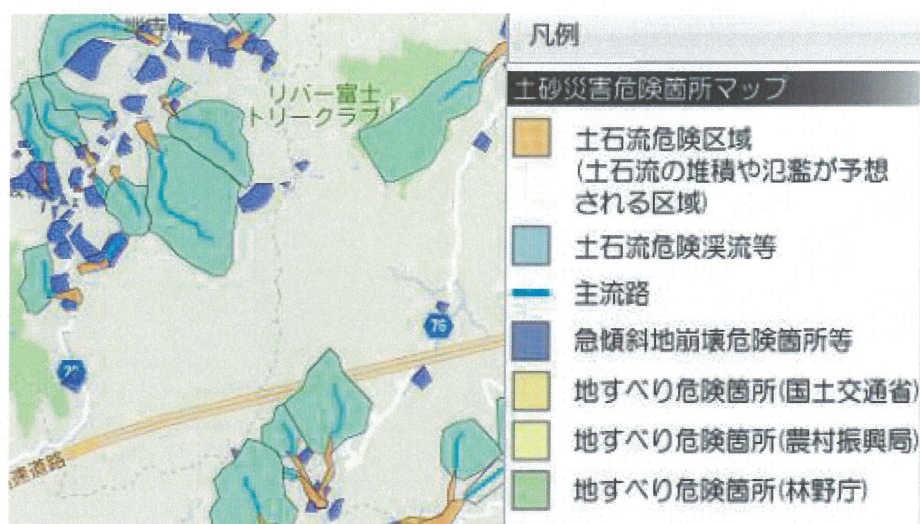


図 4-1-3 土砂災害危険箇所マップの事例

② 雨が降り出したら「土砂災害警戒情報」に注意する。

雨が降り出したら、「土砂災害警戒情報」に注意する。「土砂災害警戒情報」は、大雨による土砂災害発生の危険度が高まったときに、市町村長が避難勧告などを発令する際の判断や住民の自主避難の参考となるよう、都道府県と気象庁が共同で発表する防災情報である。気象庁ホームページや各都道府県の砂防課などのホームページで確認できるほか、テレビやラジオの気象情報でも発表される。大雨による電波障害や停電など、いざというときのために携帯ラジオを持っておくとよい。都道府県や市町村によっては、携帯電話などに自動的に土砂災害警戒情報を教えてくれるサービスもある。さらに、土砂災害警戒判定メッシュ情報など、1～5km のメッシュ単位のきめ細かな情報が気象庁や都道府県のホームページで確認できる。

※ 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jp/dosha/>

※ 土砂災害警戒判定メッシュ情報 <http://www.jma.go.jp/jp/doshamesh/>

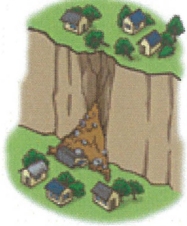
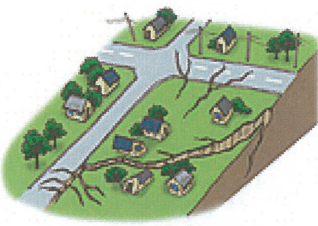
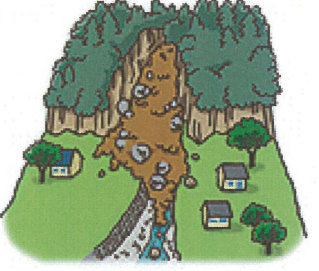
土砂災害警戒判定メッシュ情報は、土砂災害警戒情報及び大雨警報・注意報を補足する情報である。5km 四方の領域（メッシュ）ごとに土砂災害発生の危険度を5段階に判定した結果を表示している。避難にかかる時間を考慮して、危険度の判定には2時間先までの土壌雨量指数等の予想が用いられている。土砂災害警戒情報や大雨警報（土砂災害）が発表されたときには、土砂災害警戒判定メッシュ情報により、対象市町村内で土砂災害発生の危険度が高まっている詳細な領域を把握することができる。

③ 「土砂災害警戒情報」が発表されたら、早めに避難する。

当該地域に土砂災害警戒情報が発表されたら、早めに近くの避難場所など、安全な場所に避難すること。また、強い雨や長雨のときなどは、市町村の防災行政無線や広報車による呼びかけにも注意が必要である。

一方、土砂災害には、がけ崩れや地すべり、土石流などの種類がある。表 4-1-1 に、これらの特徴や前兆現象を示す。当該地点でこうした前兆現象がみられたら、電源施設建設の再検討が必要である。

表 4-1-1 土砂災害の種類とそれぞれの特徴・前兆現象

土砂災害 の種類	がけ崩れ	地すべり	土石流
模式図			
特徴	斜面の地表に近い部分が、雨水の浸透や地震等でゆるみ、突然、崩れ落ちる現象。崩れ落ちるまでの時間がごく短いため、人家の近くでは逃げ遅れも発生し、人命を奪うことが多い。	斜面の一部あるいは全部が地下水の影響と重力によってゆっくりと斜面下方に移動する現象。土塊の移動量が大きいため甚大な被害が発生。	山腹や川底の石、土砂が長雨や集中豪雨などによって一気に下流へと押し流される現象。時速 20～40km という速度で一瞬のうちに人家や畑などを壊滅させてしまう。
主な前兆現象	- がけにひび割れができる - 小石がパラパラと落ちてくる - がけから水が湧き出る - 湧き水が止まる・濁る - 地鳴りがする	- 地面がひび割れ・陥没 - がけや斜面から水が噴き出す - 井戸や沢の水が濁る - 地鳴り・山鳴りがする - 樹木が傾く - 亀裂や段差が発生	- 山鳴りがする - 急に川の水が濁り、流木が混ざり始める - 腐った土の匂いがする - 降雨が続くのに川の水位が下がる - 立木が裂ける音や石がぶつかり合う音が聞こえる

(政府広報オンラインから引用)

なお、毎年、6月1日～30日は「土砂災害防止月間」である。(6/1～7は、がけ崩れ防災週間)

月間中は、「みんなで防ごう土砂災害」を運動のテーマとして、土砂災害危険箇所や砂防設備などの点検や避難訓練、土砂災害防止に関する講習会、現場見学会などが実施される。土砂災害防止月間を機に、自分の地域の危険な場所を確認したり、避難場所までの経路を歩いてみたりするなど、万が一の事態に備えておくことも必要である。

4.2 地形・地質の基礎知識

(1) 土質地盤と岩盤

建設工事において対象となる地盤は、土質地盤と岩盤とに分けられる。土質地盤は沖積世や洪積世に属する新しい地質年代の堆積物で、主に低地の都市部に分布し、土木との関係では都市土木が対象となる。また岩盤は地質年代にかかわらず、山岳土木の主な対象となる。両者の中間的なもので岩盤が風化して土砂状になったものがあるが、問題に応じて土質地盤にしたり、岩盤として扱われたりする。

建設技術に関する地盤地質を理解するうえでのポイントは、次のような内容に関する知識を身につけることである。

土質地盤では、構成粒子の大きさとそれに伴う性質の違いや水との関係がポイントとなる。例えば砂礫層と粘土層とが互層している場合、前者は地下水を胚胎する層となるし、後者はそれを遮断する層となり、施工上まず重要視すべきことになる。

また岩盤では、次のような知識を持てば大半の問題には対処できる。

- ① 堆積岩、火成岩、変成岩各々に特有な構造と性状
- ② 堆積岩における地質年代や原材料から推定される性状
- ③ 火成岩における産状、成分から推定される性状
- ④ 割れ目や不連続面（断層、層理、片理、節理など）からくる異方性
- ⑤ 岩石の違いによる風化、変質などの特徴

建設工事では、岩盤の問題を硬岩、中硬岩、軟岩というように硬さ主体で考える傾向がもっとも一般的である。これは誰にでもわかりやすいこと、積算に反映させやすいことなどが理由であろう。しかし発生する種々の問題をみると、硬さよりも岩盤の有する地質構造（断層、層理、片理、節理などの割れ目や不連続面）に起因するものが多い。岩盤に特有な地質構造の知識を持ち、その構造を読み取って、構造物との関係を理解できれば、大半の問題とその解決策を見つけることができると考えてもよい。

岩石は大きく火成岩・堆積岩・変成岩に分けられ、さらに火成岩は地下のマグマが冷却して岩石になった場所によって、深成岩・半深成岩（脈岩）・火山岩（噴出岩）に分けられる。そして深成岩の代表的な岩石として花こう岩、また噴出岩の代表として安山岩が一般的に知られている。

ここでは、各土木構造物の地盤地質に共通し、かつこれだけは知っておいてほしいと考える基礎的な内容について解説する。

(2) 地質年代

宇宙のチリが集まって地球が太陽系の中に誕生したのは、約 46 億年前といわれている。その後表面が冷え固まり、水や大気などが出現し、さらにさまざまな変遷をした結果が現在の地球の姿である。したがって、現在われわれがみている地盤地質は場所によって生成された時代が異なり、その歴史を表現するために地質年代（相対年代）が命名されている。その地質年代は、生物の歴史上大変革のあった時期を区切りとしている。人間生活の歴史は遺跡や古文書などで推定・解明されるのに対し、地質の歴史は化石や放射性炭素などによる年代測定によって前後関係が明らかにされる。

地質年代の区分は次のような単位で示される。左側ほど大きな単位で、例えば中生代の

中に白亜紀などの紀があるという関係である。

代 era ・ ・ ・ ・ 紀 period ・ ・ ・ ・ 世 epoch ・ ・ ・ ・ 期 age

(界 erathem) (系 system) (統 series) (階 stage)

それぞれの地質年代の地層のことを呼ぶ場合には、厳密には()内のような表現となる。
例えば地質年代は古生代で、その地層は古生界というようにである。ただし建設工事の場面で地層をいう場合には、単に古生層としていることも多い。

表 4-2-1 に地質年代区分を示すが、地質調査で必要な地盤の性状に関しては、同表に示すようなおおまかな地質年代でとらえて構わない。ただしこの性状は堆積岩についていえるもので、火成岩では地質年代はあまり関係ないと考えてよい。

表 4-2-1 地質年代区分

代	紀		世	年代 (百万年)
新生代	第四紀		沖積世	0.012
			洪積世	2.58
	第三紀	新第三紀	鮮新世	5.33
			中新世	23.00
		古第三紀	漸新世	33.90
			始新世	55.80
			晚新世	65.50
中生代	白亜紀		後期	145.50
			前期	
	ジュラ紀		後期	199.60
			中期	
			前期	
	三疊紀		後期	251.00
			中期	
			前期	
古生代	二疊紀			299.00
	石炭紀			359.20
	デボン紀			416.00
	シルル紀			443.70
	オルドビス紀			488.30
	カンブリア紀			542.00
原生代・始生代	先カンブリア紀			4,600.00

(3) 地盤の構成物

地質技術者が岩石の名前を付けるときには、野外で見られる岩盤露頭のような大きいスケールの中で産状その他の情報から判定するものであり、小さな岩片だけでは顕微鏡鑑定でもしない限り難しいことがある。また、岩石図鑑でもわかるケースは少ない。

大ざっぱではあるが、岩石の名前を付ける時のポイントは次のようなことである。

- ・堆積岩、火成岩、変成岩の何に相当するかを見極めること

堆積岩：水の作用により粒子が円形をしていたり、堆積した時の構造が見える

火成岩：粒子が角張っている

変成岩：変性作用のための縞状構造が見える

- ・鉱物の種類、粒子の粒径の大きさ、色、縞模様などによる判定

ここではすでに調査が行われていて岩石名がわかっている場合に建設工事の設計・施工計画に際しての注意するポイントは何かを解説する。

建設工事の場面で問題となる地盤の性状は、次のような内容で決まる。

① その岩石を構成する物質が何であるか、ということ

例えば堆積岩で、砂が固まってできた砂岩と粘土が固まってできた泥岩や粘板岩とは性状が異なる。もっとも、性状の違いは岩石名だけで決まるのではなく、例えば強度で評価すると新しい地質年代では（砂岩＜泥岩）であることが多いのに対し、古い地質年代では（砂岩＞粘板岩）となることが多い。また火成岩では、例えば白っぽい石英・長石などからなる花崗岩と、有色鉱物が優勢な玄武岩とでは、比重が異なることや、風化生成物が前者は砂状、後者は粘土状となる、などの違いがある。

② その岩石がいつ、どのような場所で、どのようにしてできたかというような生成条件

堆積岩の場合の、地質年代による特徴は表 4-2-2 に記した。火成岩では、その生成場所および生成時の状況が、その岩石の性状に影響している。すなわち、花崗岩のように地下深所でゆっくり冷え固まった深成岩は密実であるが、安山岩のように火山からの噴出岩では節理が顕著であったり、ガスが抜けたため多孔質であることが多い、などの違いを生じる。

③ 破碎・風化・変質など岩石生成後に被った変化

これは、上記①②のような状況で生成された岩石が、その後に被った破碎・風化・変質などの変化の程度に応じて性状が変化するということである。

表 4-2-2 地質年代からの岩盤性状のイメージ（堆積岩の場合）

中生界・古生界	古い時代にできたものなので、それだけ固結度がよく硬質である。反面、何回もの地殻運動を被ったキャリアを有するので、それによるキズ（断層、割れ目など）も多い。
新生界古第三系	固結度がよく硬質なもの（例えば砂岩）と、やや軟質なもの（例えば泥岩や頁岩）とが混在（互層）することが多い。
新生界新第三系	一般に軟質であるが、断層や割れ目などのキズは、時代が新しいだけに少ない。
新生界第四系洪積統	未固結である。一般には段丘と呼ばれる砂礫層が特徴的である。

(4) 岩石の種類と特徴

①堆積岩

堆積岩の工学的性質は、それが生成された地質年代との関連が強い。一般に古生代・中生代などの時代が古い岩石ほど硬質であるが、反面それだけ破砕や変質を被る機会も多く、断層破砕帯や割れ目の発達が顕著となる。新生代の新第三紀以降の堆積岩は、固結度が低く軟岩と呼ばれるが、断層破砕帯などは少ない。

・砕屑岩

河川などの流下によって浸食・運搬された砕屑物が、海底や湖底に堆積し、固結したものである。この砕屑岩の分類は砕屑物の粒径によるが、土木工学的意味においては礫岩・砂岩・泥岩の区別で十分である。このうち泥岩については、その生成年代によって表 4-2-3 のように使い分けされている。ただし、純粋地質学の立場で命名する場合には、頁岩・粘板岩という名称は使わず単に泥岩とすることがある。関東地方で実務上「土丹（どたん）」と称せられる地盤があるが、これは新第三紀～第四紀洪積世の砂岩、泥岩などの砕屑岩の総称である。

表 4-2-3 年代による泥岩の使い分け

	泥岩	頁岩	粘板岩
新生代	○	○	—
中生代	—	○	○
古生代	—	—	○

・化学的沈殿岩・生物岩

この分類によく出てくるのは、石灰岩とチャートである。石灰岩は中・古生層中にレンズ状（数 km 規模）に分布することが多く、地下水中の酸の作用で溶解されて空洞が生じていることがしばしばある。これがいわゆる鍾乳洞である。沖縄に分布する石灰岩は琉球石灰岩と呼ばれ、新しい時代（第四紀洪積世）のもので空隙が多く、本土の一般の石灰岩とは異なる。

チャートは非常に硬質であるが、層理面が発達していて異方性が顕著であることが多い。

・火山砕屑岩

新第三紀は、とくに東日本を中心に火山活動が活発であったが、この時代の火山灰を起源とする凝灰岩類をグリーンタフと呼ぶ。緑泥石の含有による緑色が特徴的なための名称であるが、すべてが緑色系という訳ではない。

中生代より古い地質年代の凝灰岩類は、純粋地質学では緑色岩類と称されるが、建設工事の地盤地質の分野では慣例的に輝緑凝灰岩と呼ばれる。濃緑色、黄緑色、紫赤色などを呈することが多い。名称は似ているが、その工学的性質は第三紀の軟質な凝灰岩とは異なる。

って、一般に硬質の岩盤である。また、やはりよく似た名称の熔結凝灰岩は、高熱の火山灰が堆積後に自らの熱で再溶融・固結したもので、火成岩の中の火山岩の性状に類似する。硬質ではあるが節理の発達が著しく、透水性が高い場合が多い。

②火成岩

火成岩の分類は、表 4-2-4 に示す通りである。基本的には産出状態（表の縦軸）と造岩鉱物の量比（表の横軸）の組合せにより岩石名が決定される。

産出状態とは、その岩石が固化したときの状況を意味している。すなわち深成岩は、マグマと呼ばれる地球内部の岩石溶融体が地下深部でゆっくり冷え固まったもので、鉱物結晶は大きく成長しており肉眼で確認できる。花崗岩は深成岩の代表的な岩石である。火山岩はマグマが火山活動により地上（あるいは海底）に運ばれて急冷された岩石である。鉱物粒子は肉眼で確認できないほど細かく、安山岩や玄武岩などがこれに属する。これらは、急冷されたために生じる節理が一般に顕著である。半深成岩は、既存の岩盤の割れ目の中にマグマが貫入してできたものであり、深成岩と火山岩の間隔的な場所での生成物である。したがって岩脈状の産出が一般的である。以上のような産出状態の差が、鉱物粒子の大きさや節理の発達形態などの違いとなる。

一方、造岩鉱物量比とは、その岩石を構成している鉱物の組合せを表している。表 4-2-4 の左側にいくにつれて石英、長石類が多く含まれて酸性岩と呼ばれ、色調が白い。右側は、鉄やマグネシウムなどを多く含む雲母、角閃石、輝石（これらを有色鉱物と呼ぶ）の含有量が多くなり塩基性岩と呼ばれ、色調は黒っぽく、また比重も大きくなる。超塩基性岩とは、珪酸分の含有量が非常に少なく、かんらん石や輝石を主要構成鉱物とする岩石のことを指し、かんらん岩がその代表的岩石である。またこのかんらん岩が変質作用を受けると、膨張性岩石で有名な蛇紋岩となる。この造岩鉱物の量比の差は、比重、色調のほか、風化生成物が酸性岩の場合は砂状であったり、塩基性岩では粘性土状である、というような違いにもなる。

地質学的な火成岩の分類は表 4-2-4 に示すが、これを建設工事の工学的な性状で見ると表 4-2-5 のように 6 タイプを考えておけば十分である。工学的性状の違いは産状（火山岩・半深成岩・深成岩）が大きく関連するのでこれを優先し、次いで組成で意味を持つ境界が引かれている。

表 4-2-4 火成岩の分類

産出状態	造岩鉱物				
	石英 Quartz	カリ長石 Potassium	斜長石 Plagioclase アルカリ長石・准長石 (Alkali feldspar・ Feldspathoid)	輝石 Pyroxene	かんらん石 Olivine
深成岩的 Plutonic	花崗岩 Granite	花崗閃緑岩 Granodiorite	閃緑岩 Diorite (閃長岩 Syenite)	斑れい岩 Gabbro (アルカリ斑れい岩 Alkali gabbro)	超塩基性岩類 Ultrabasic rock
半深成岩的 Hypabyssal	花崗斑岩 Granite-Porphyry		ひん岩 Porphyrite	輝緑岩 Diabase (粗粒玄武岩 Dolerite)	かんらん岩 Peridotite
噴出岩的 Effusive	流紋岩 Rhyolite	石英安山岩 Dacite	安山岩 Andesite (粗面岩 Trachite) (響岩 Phonolite)	玄武岩 Basalt (霞石玄武岩 Nepheline basalt)	蛇紋岩 Serpentine
SiO ₂ (%)	66%		52%		45%
色指数 (有色鉱物の量)	10%		40%		70%

岩石名の()内はアルカリの多い岩石の場合の名前。その時は造岩鉱物の斜長石の所に、()内の鉱物が出現する。

表 4-2-5 土木工学的に意味のある火成岩の分類

	酸性岩	中性岩	塩基性岩	超塩基性岩
火 成 岩	流紋岩 石英粗面岩	安山岩	玄武岩	
半 深 成 岩	花崗斑岩	ひん岩	輝緑岩	
深 成 岩	花崗岩	閃緑岩	はんれい岩	
				蛇紋岩

③ 変成岩

変成岩は、原岩の堆積岩や火成岩が生成後に受けた高い圧力や温度条件によって、もとの組織や鉱物に変化して生じた岩石であり、その変性作用のタイプによって表 4-2-6 に示すように大きく3つに分類される。

広域変成岩は、山地などを形成する際の地殻の運動により高い圧力を受けて生成されたものであり、片岩類や片麻岩類がこのグループに属する。片岩類は、片理面と称する規則的な板状の割れ目が発達しており、工学的に異方性を呈する岩盤の代表的なものである。一般に総称として結晶片岩と呼ばれるほか、含有鉱物を冠して石英片岩・石墨片岩・緑泥石片岩や、あるいは色調をとって黒色片岩・緑色片岩などとも称される。片麻岩は花崗岩に類似しているものが多く花崗片麻岩と称されることが多い。有色鉱物の多い部分と石英、長石の多い部分の黒白の縞状配列が見られるのが特徴的である。

接触変成岩は、地下深部のマグマが地表付近に上昇してできる火成岩体の周辺部でその熱によって変成した岩石であり、ホルンフェルスが代表的なものである。ホルンフェルスは原岩である砂岩や泥岩が熱変成を受けてできた岩石で、一般に塊状・硬質である。

このほか、動力変成作用という断層運動に関連して生成される変形作用がある。著しく破碎された岩片や鉱物の集合体であるが、固結したものもある。ミロナイト（マイロナイ

ト、圧破岩ともいう)はこの過程を経た岩石である。この種の岩石の分布範囲は、地域が限定される。

表 4-2-6 変成岩の分類

変成作用の タイプ	原 岩	変 成 度 → 上 昇		
広域変成作用 Regional metamorphism	泥質岩	黒色片岩 Black schist	黒雲母片岩 Biotite schist	片麻岩 Gneiss
	塩基性岩	緑泥石緑色片岩 Chlorite green schist	角閃石片岩 Hornblende schist	透輝石角閃石片麻岩 Diopside -hornblende gneiss
接触変成作用 Contact metamorphism	泥質岩		黒雲母ホルンフェルス Biotite hornfels	黒雲母堇青石ホルンフェルス Biotite-cordierite hornfels
	塩基性岩		角閃石ホルンフェルス Hornblende hornfels	透輝石角閃石ホルンフェルス Diopside -hornblende hornfels
	炭酸塩岩		大理石 Marble	
堇変形作用 Dislocation metamorphism	各種岩石		ミロナイト Mylonite	ブラスト・ミロナイト Blast mylonite

④ 岩種から推定される問題点

ある程度の地盤地質の知識があり、かつ施工におけるトラブルを経験した者であれば、岩石の名前からそれが有する問題点を列挙することができる。これは岩石の成因、組成、経歴などに関する理解があると、定量的ではないにしろ工学的な問題の予測がある程度可能となるからである。例えば玄武岩と聞けば硬質で節理が多く、ダム基礎の場合には漏水に要注意とか、石灰岩なら鍾乳洞の存在を考えねばならないということなどである（表 4-2-7）。

表 4-2-7 岩種から推定される性状・問題点

凡例 ●可能性大 ○可能性あり ×可能性小 ※可能性なし ※類似の現象	岩 種	火 成 岩						堆 積 岩										岩				変成岩	
								中・古生層				古第三紀層				新第三紀層				四紀			
		花崗 崗緑 岩岩	花ひ 崗 はん 岩岩	流石 英 紋粗 面 岩岩	安玄 山武 岩岩	輝はん 緑れ い 岩岩	蛇 紋 岩	礫砂 板 岩岩	粘頁 板 岩岩	輝 緑 凝 灰 岩	チャ ート 岩	石 炭 灰 岩	礫砂 岩	頁 岩	泥凝 灰 岩	角集 凝塊 灰 岩	礫砂 岩	泥凝 灰 岩	角集 凝塊 灰 岩	熔結 凝塊 灰 岩	結 晶 片 岩	花 崗 片 麻 岩	
予測される 性状・問題点	岩 種																						凡例 ●可能性大 ○可能性あり ×可能性小 ※可能性なし ※類似の現象
岩 硬 石 の 軟	新鮮部は硬岩である	●	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●				○	×	×	○	●	○	●	施工対象
	新鮮部は中硬岩である			○				●				○	●	○	●		○	○	○	●		○関連が強い △やや関連する ×関連しない	
岩 盤 状 況	新鮮部は軟岩である	×	×		×	×	○	×		×	×	×	○	○	○		●	○	○		×		
	層理・片理が発達している	×	×	○*	×	×	×	○	●		●		○	●	○					●	○*		
	節理が発達している	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				●	○	○	
	断層が発達している	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				●	○	○	
	塊状を呈する	●	○	○	○	○		●	○	○	○	○		○	○		●	●	●	●	○	○	
	破砕している	○	○	○	○	○	○		○	○	○				○				○	○	○	○	
施 工 上 の 問 題 点	深層まで風化している	●	○	○		●		○				○							○	○	○	○	
	新鮮部でもコンクリート骨材として不向きである		○	○	○		●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	基礎としての強度・変形性が低い						●	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	空洞が存在する				○						○*	○*	○*	○*	○*	○*	○*	○*	○*		○	○	
	漏水する		○		●			○							○				○	○	○	○	
	グラウチングの限界圧力が低い						○		○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	切羽が自立しない		○			○		○		○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	
	山はねを起こす	●				○		○		○										○	○	○	
	湧水が多い	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	膨潤性・スレーキング性を有する	×	×		×	○	○	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	
盛土材として不安定である	有毒ガスが存在する	×	×		×	×			×	×	×		○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	
	余掘りが大きくなる	●		○	○			○	○	○	○	○				○		○	○	○	○	○	
	掘削ずりが大塊となる	●			○			○	○	○	○				○	×	×	○	○	○	○	○	
	火薬量が多くなる					○	○									○	×	×				○	
	路盤が泥ねい化する					○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	地すべりを起こす				○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	流れ盤すべり・トップリングを起こす	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	リッピングが困難である	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

<表 4-2-7 から類推できること>

- ・鍾乳洞があり、ダム基礎としては不適合・・石灰岩
- ・硬質で冷却節理が発達し、ダム基礎の場合には漏水に要注意・・安山岩、玄武岩、熔結凝灰岩
- ・層理や片理等が発達し地すべりを起しやすい・・蛇紋岩、粘板岩・頁岩、泥岩・凝灰岩、結晶片岩
- ・層理や冷却節理が発達し流れ盤すべり・トップリングを起しやすい・・流紋岩、安山岩・玄武岩、粘板岩・頁岩、チャート・ホルンフェルス、頁岩、熔結凝灰岩、結晶片岩

(5) 風化と変質

風化は、岩石が主として地表面からの熱、大気（酸素）、水などの影響により物理的・化学的变化をする現象で、一般には長期にわたる変化をいう。新第三紀の泥岩などの岩盤掘削面が空気にさらされてボロボロになる現象を「風化が早い岩」などと称しているが、これは水侵あるいは吸水によって岩石組織が壊れて泥土化するスレーキングである場合が多く、厳密には風化とはいわない。

風化現象を説明するうえで、最も代表的なものは花崗岩や閃緑岩の風化産物のマサである。このマサは元の岩石の組成鉱物が等粒状でかつ各鉱物の熱膨張係数が異なることから、結合が崩れ砂状になったものである。深成岩では、鉱物粒子が大きいことが深部まで風化が進む現象につながっている。

また原岩の組成鉱物の違いによって、風化したものが砂質となるか、粘性土質となるかというような違いにもなる。花崗岩のマサは砂状であるのに対し、はんれい岩や輝緑岩の風化生成物は粘性土となる。

風化が地表からの作用による現象であるのに対し、変質は地球内部からの熱、化学的物質などの作用による変化である。変質の結果、建設工事の分野で問題となる性質として、水分によって岩石が堆積膨張する膨潤がある。この現象には変質によって生成された粘土鉱物（モンモリロナイトなど）が関係しており、トンネル工事や法面掘削、構造物基礎などで問題となる。また変質で代表的なものとして温泉余土があるが、これは凝灰岩や玄武岩などが温泉ガスなどによって変質し粘性土状になったもので、地すべりや膨張性トンネルなどの問題を起す。

※熱水変質作用は、高温のガスや水蒸気が岩盤の割れ目や断層に沿って上昇することによって発生する。このような現象の過程で、まわりの岩石中に粘土鉱物が生成されることが多い。このようにしてできた粘土を温泉余土と呼んでいる。とくにスメクタイトを主成分とする粘土は膨潤性が大きく、岩石が非常に脆くなることがある。さらには、岩盤中の割れ目に沿ってみられることから、斜面の変状を引き起こすなど問題になりやすい。

(6) 地質構造

地盤の構造には、地盤ができるときに生成されたものと、できあがってから以降に種々の外力が加えられたことによるキズとがあり、その大きさには大陸規模のものから顕微鏡対象のものまである。

建設工事の分野で対象となるような地質構造を規模の順に並べると、次のようになる。地質学的用語としては並べるのに不適当なものもあるが、イメージとしてこのような規模の順であると考えてよい。

大規模：構造線、褶曲（背斜軸・向斜軸）整合・不整合

中規模：断層あるいは破碎帯、シーム、層理（堆積構造）

小規模：片理、節理、葉理、片麻状構造

このような地質構造は、岩石・岩盤に異方性を与える。異方性とは、強度・変形性・透水性などの性状が方向によって異なることで、とくに強度については力のかかる方向との関係で大きな差を示すことがあり、建設工事の調査・設計・施工では見逃せない性質である。

① 大規模な地盤構造

構造線とは、地質構造区を区画するような大規模な断層のことである。図 4-2-1 に日本列島の主要な大構造線を示すが、糸魚川・静岡構造線（フォッサマグナ）や中央構造線（中部・紀伊・四国・九州）がとくに有名である。これらの構造線沿いには地すべり地帯が多く分布し、地盤が脆弱である。

褶曲とは、層状構造をもつ岩石が曲げられた状態をいう。圧縮による変形と考えられる。褶曲は、図 4-2-2 に示すように、上に凸な形の背斜と凹な形の向斜とがあり、一般に対になって出現することが多い。

褶曲軸の近傍では変形時のひずみが集中して亀裂の多い傾向があり、脆弱で高透水性となりやすい。広域な褶曲は全体を一目で見るのが難しいが、ごく小規模のものはしばしば観察される。

整合・不整合は岩盤の場合には地下水の経路や被圧などに影響するので考慮することが必要になることがある。



図 4-2-1 日本列島の主要な大構造線（土木学会¹⁾）

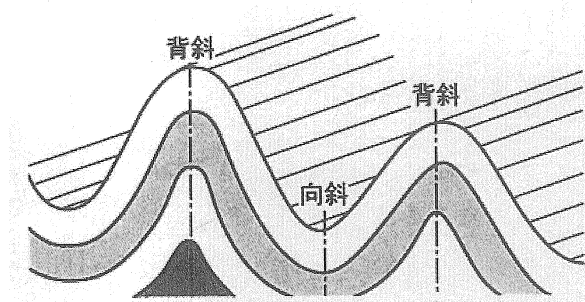


図 4-2-2 褶曲の背斜と向斜

② 断層

地盤がせん断されることによって、ある面を境にして両側の岩盤が相対的に変位している場合、この不連続面を断層という。

断層に沿ってせん断時の破碎・劣化や、その後の風化などによってある幅の脆弱なゾーンが形成されるが、これを断層破碎帯と呼んでいる。また、いくつかの断層が集まってひ

とまとめにできるゾーンの場合にも断層破碎帯という。断層破碎帯の内部は、図 4-2-3 に示すように粘土化した部分、破碎されて礫状になった部分、破碎を免れた部分などで構成される。

断層破碎帯は、力学的には低強度・高変形性が問題となるため、岩盤における建設工事での設計・施工に際して大きな関心事となる。また、地下水を滞留させやすい部分と、遮断する部分とが混在するため、トンネル工事などでは大量突発出水の原因となることがある。

主に原子力関連の施設（最近はダムも）で問題視される「活断層」については、地質年代の第四紀（およそ 150～200 万年前以後）に入ってから活動した痕跡のある断層という定義が一般的であり、「第四紀断層」とか「地震断層」とも呼ばれる。前述の糸魚川・静岡構造線や中央構造線はこれに該当し、1995 年 1 月に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では野島断層が脚光を浴びた。

シームは、規模の小さい断層のことで一般に数 cm 幅の粘土で構成されているものを指す土木用語である。断層との区分が不明なこともある。

なお断層に関連した「鏡肌」とか「スリッケンサイド」は断層が変位したときにできた面やひっかき傷のことで、平滑で粘土が付着しておりきわめて滑りやすいため、トンネル切羽や法面で問題となることがある。

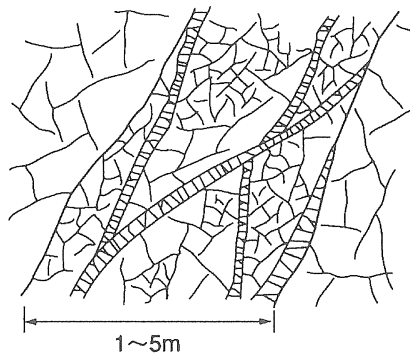


図 4-2-3 断層破碎帯のイメージ

③ 片理・層理・節理などの割れ目・不連続面

岩盤中に見られる亀裂や分離しやすい面のことを、「割れ目」または「不連続面」と呼ぶ。これらの割れ目・不連続面は、生成原因によって片理・層理・節理などの種類がある。

片理とは、変成岩に特有の不連続面で、圧力変成の結果生じたものである。とくに結晶片岩と呼ばれる岩石の片理面は薄い板状を呈することが多く、異方性が著しい。

層理は、堆積岩の堆積面を示す不連続面である。チャート・粘板岩・頁岩などでは、層理面によって異方性を呈することが多い。

節理とは、一般に規則性のある分布をした比較的平滑な割れ目をいうが、そのような特徴をもたない単なる亀裂を含めることもある。火成岩では、その岩石生成時の温度変化によって生じた節理があり、安山岩・玄武岩での柱状節理や板状節理、花崗岩の方状節理などがある。堆積岩・変成岩では、断層と同じく地殻運動の結果生じた割れ目を節理と呼ぶ。

以上をまとめると、表 4-2-8 となる。

表 4-2-8 岩盤中の不連続面

種類	火成岩	堆積岩	変成岩	特 徴
断層・シーム	○	○	○	規模によって構造線・断層破碎帯・シームなど
片理			○	結晶片岩
層理		○		チャート・粘板岩・頁岩
節理	○	○	○	火成岩では安山岩・玄武岩での柱状節理や板状節理、 花崗岩の方状節理

(7) 地形判読

自然地形には、地盤の構成物や地質構造などの地盤地質性状が反映されたものがあり、建設工事の問題点を予測するうえでヒントを得られることがある。地形図や空中写真を判読したり、現地視察によって地形ができた根拠を判断することが重要である。

① 地形図の入手

地形図は、施工箇所に範囲を限定した大縮尺（例えば千分の1）のものだけでなく、次のような小縮尺の地形図も入手したほうがよい。地すべりをはじめ特徴ある地形は、この程度の縮尺のほうが読み取りやすいことが多いからである。

- ・5 万分または 2.5 万分の 1 地形図：国土地理院の発行で大きな書店で販売
- ・1 万分または 5 千分の 1 地形図：市町村で都市計画用などに作成されており、一般に購入可能

また空中写真は（一財）日本地図センターで購入でき、重複部を有する 2 枚の写真から立体視することができる。

② 特徴のある地形

調査および設計業務や建設工事に関する特徴ある地形としては次のものがある。

・地すべり地形

図 4-2-4 のように、上部に急崖をなす滑落崖があり、下部にはこんもり盛りあがったような緩斜面がある場合、地すべり地形である可能性が高い。小段差の繰返しのような形状のこともある。山間部で見られる棚田は地すべり地である箇所が多い。地すべり地のような場所の利用は、人は避けると思いがちであるが、緩い傾斜と土砂地盤であるため人力での造成が容易で、しかも地下水が豊富という条件もあり、変動が大きくなければ実際には水田等に利用されていることも多い。

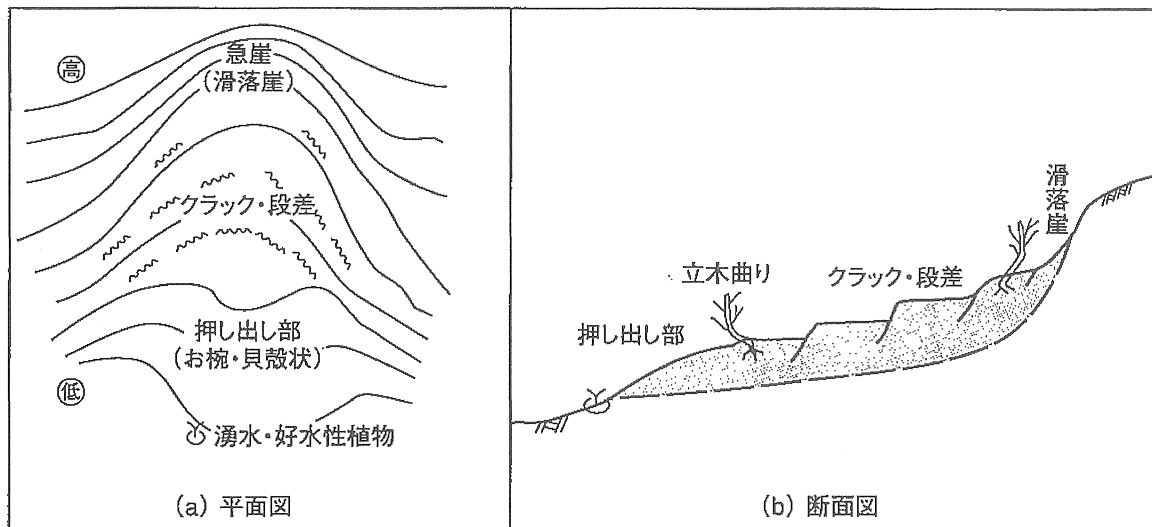


図 4-2-4 地すべり地形

・崖錐地形

図 4-2-5 のように、崖錐は斜面上部からの崩壊物が山裾や斜面上に堆積したもので、上部の山腹斜面を構成する地盤地質の破碎物から成る。

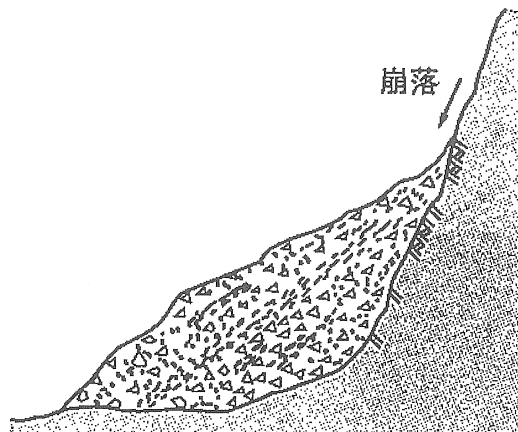


図 4-2-5 崖錐地形

・断層地形

断層の存在が推定される地形には図 4-2-6 のケルンコル・ケルンバットや、図 4-2-7 に示す断層崖などがある。地形図や空中写真によるリニアメント（連続する線構造）の抽出からも推定できる。

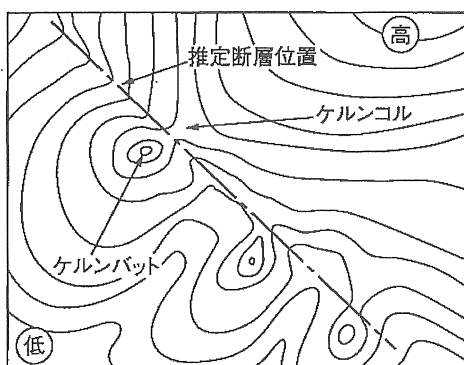


図 4-2-6 ケルンコルとケルンバット

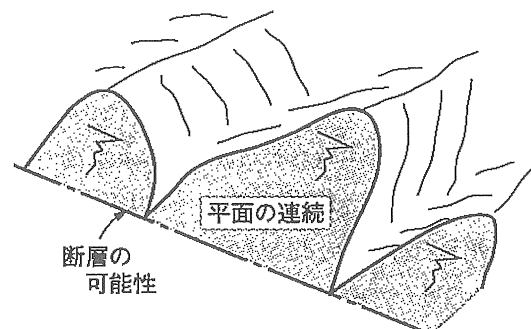


図 4-2-7 断層崖

- ・ 段丘地形

図 4-2-8 に示すように、過去の河床堆積面が隆起して、現在中位標高に平坦面を形づくっている地形である。段丘堆積物と下部の基岩との境界に地下水が集まりやすい。

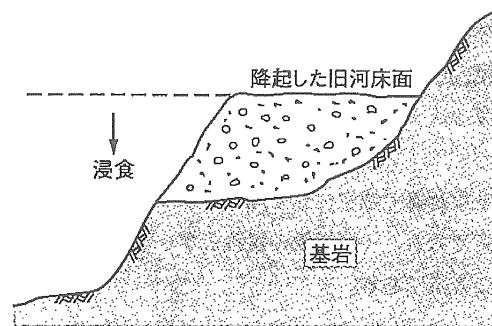


図 4-2-8 段丘地形

- ・ 異常な緩斜面地形

周辺に比べて異常に緩い傾斜の地形である場合、そこを構成する地盤地質が、緩斜面でしか安定できないような弱い地盤地質性状であることがある。地すべり地であることもある。

- ・ 遷急線付近

図 4-2-9 に示すように、地形勾配の変化部である遷急線より上では風化層が厚く、不安定であることがある。

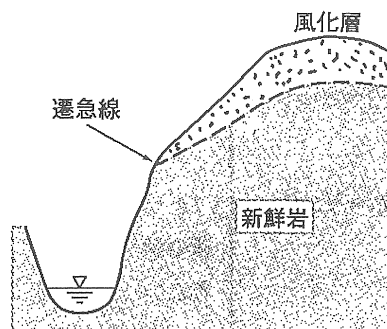


図 4-2-9 地形の遷急線

- ・ 集水地形

図 4-2-10 に示すように、明確な水系であればその処理がなされるが、あまり明確でないため見逃した場合、集中豪雨などにより問題となることがある。とくに法面上部に広範囲の山腹が存在するときには、その表面水の経路を調べておく必要がある。

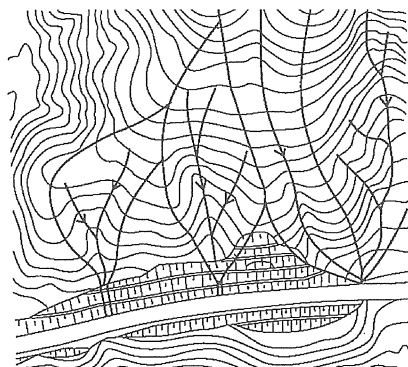


図 4-2-10 背後の集水地形

・ケスタ地形

図 4-2-11 に示すように、左右が非対称の傾斜を持つ斜面が繰り返す場合、緩斜面側の掘削が要注意である。このような地形をケスタ地形と呼ぶ。これは、堆積岩の地層の傾きを反映したものであることが多い。

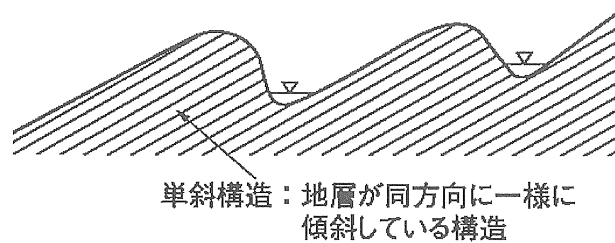


図 4-2-11 ケスタ地形

・崩壊地形

現地においては、比較的最近の崩壊は植生の剥げた部分で簡単に見分けられる。規模が大きいものは地形図にも表現がなされている。これらが建設工事箇所の上部にあるときには、防護を検討する必要がある。

※出典 改訂新版「建設工事と地盤地質」古今書院（2013 年 10 月）pp.1～21

4.3 ダムの地質調査

本項では、水力発電設備においてもっとも代表的な土木構造物であるダムについて、計画に必要な地質調査の概要を紹介する。

ダムを計画する場合は、一般に 2 地点以上の候補地点が予め選定され、予備調査と設計調査の 2 つの調査が行われる。

予備調査は、ダムを建設することの実現性ならびに建設可能なダムの形式および高さ、ならびに工事の難易、その他ダム建設計画策定のため必要な地質資料を得るための調査である。

設計調査は、予備調査の結果から策定されたダム建設計画に基づき、ダムの高さ、形状および座取り、その他ダムの設計条件を決定するために必要な地質資料を得るための調査である。

以降、予備調査について概説する。

(1) 調査の区域

調査の区域は、予備調査の目的とする地質資料を適格に得ることのできる範囲でなければならない。

調査の区域は、地形・地質・ダムの型式および規模によって影響されるので、画一的に決めることはできない。一般的には、次のように考えられている。すなわち、地形平面図上において、想定ダム頂の中心線と両岸との交点を結ぶ直線の延長上に、その交点からそれぞれ予定ダム高の 2 倍の距離の点をとる。この 2 点を結ぶ直線から、これに直

角に上流下流方向にそれぞれ予定ダム高の4倍の距離の範囲を調査区域とする。ただし、地形・地質が特異な場合は、その状態に応じて調査区域に修正を加える必要がある。

上記によって定められる範囲の外側に、ダム建設に影響を及ぼす恐れがある地質的問題点の存在が推測される場合は、その部分も調査の区域範囲に含める。

(2) 調査の方法

調査は、地表地質踏査によって行い、必要ある場合は、掘削調査または物理探査を併用しなければならない。

予備調査で行う地表地質踏査は、前述した区域内を踏査し、路頭について簡易な器具を用いて観測し、地質概要図を作成するために必要な地質資料を収集する。観測は、表土を除いた岩層、岩体または土層について行う。ただし、表土が厚いと推測される場合は、その分布についても調べる。

地盤の地質的特性は、地形に反映されることがしばしばあるから、実地形、地形図および空中写真を観察して、崖錐・段丘・流れ盤・地すべり・崩壊・溶岩流・節理系・断層・破碎帯および表土その他地形に反映されていると考えられる地質資料を収集する。

なお、調査区域に露頭が全くない場合、または露頭が少なく、地質状態の推定が困難な場合等は、ダム規模に応じて、次のように数本の試掘坑、トレンチまたはボーリング孔を掘削して地質資料を得る。

① 試掘坑

観測が容易に行える幅と高さを確保し、発破によって過度の緩みが生じないように注意する。なお、坑道の支保工に矢板を必要とする場合は、安全上支障のない限り、地質状態を観察できるように配慮する。

坑道の掘削が完了後、坑口基点からの距離を坑壁に明示する。坑壁は観測を容易にするため洗浄する。また、坑道の位置、勾配および方位ならびに坑口標高を明示しておく。

② トレンチ

坑道の場合に準じて措置する。

③ ボーリング

全掘削長にわたってコアを採取する。採取したコアは、調査項目に関する地質的観測を容易にできるように、孔口から孔底に至るまで採取順序に従って配列し、掘進長 5m 毎にコア箱に収納し、箱毎に写真を撮影して保存する。ただし、棒状コア採取が困難な箇所はスライムを採取する。また、コアを抜き取った箇所は、その旨を当該箇所に明記しておく。なお、削孔時には掘進深度に対応する岩質、掘進速度、送水量、排水量、排水色、孔壁の崩壊、孔内水位、ケーシングの位置、その他地質状態の判定に役立つと考えられる事柄をその都度記録する。ボーリングの孔径は、一般に 46 mm ないし 86 mm が用いられるが、66 mm 以上が多い。透水試験用にも利用する場合は、孔壁の透水性に影響を与える工法に注意する。孔壁崩壊防止のため、セメンテーションを行う場合は、その位置を明示する。土層の調査において貫入試験を行う場合は、試験器具が挿入可能な大きさとする。粘土質土層でコア採取が難しい場合は、無水掘り、シンウォールサンプリングその他の適当な方法により、コア採取に努める。ボーリングが完了したときは、孔の位置、方向、孔口の標高を明らかにしておく。物理探査は、想定ダム基礎面およびその周辺の地質状態の概要を知る手段として用いる。探査は、平面的に互いに交差して設定

した数本の測線に沿って行う。ダム地点の物理探査には、弾性波探査を主に用いる。弾性波探査を行う場合は、受信機の間隔は 5m または 10m、起震点の間隔は 25m ないし 110m とし、測線長は探査深度の 5 倍以上とする。

④ 地盤を構成する岩石の名称または土層の分類名

地盤を構成する岩石および土層の物理的および化学的性質は、地盤の性質に影響を及ぼす要因であるので、その名称を判定する必要がある。岩石には、岩石学的名称を与える。名称の判定は、主として肉眼観察による。ただし、肉眼判定が困難な場合は、岩石グループ名で表示してもよい。なお、変成岩の岩質および割れ目の特徴は、その属する変成帯によってそれぞれ異なるから、変成帯が命名されている場合は、その名称も明らかにしておくことが望ましい。

※ダム地質調査基準：日本大ダム会議 第 2 章を参照

4.4 ダムの安定と事故事例

本項では、地形・地質の観点から、ダムの安定性評価について紹介する。さらに、近代的ダムの建設技術の発展に大きく寄与したとされるダムの事故事例について紹介する。

(1) ダムの安定

貯水を目的とするダム本体に要求される地質に関する機能は、表 4-4-1 に示すように強度・変形性・遮水性が重要である。このうち強度については、岩盤せん断試験で得られる値である。また変形性については、載荷試験の値で解析される。ただし、これらの試験はあくまでサンプリングされた地点でしか実施されず、それを基礎地盤全体に適用するために、岩盤分類という手法が用いられる。なお、透水性については、ルジオン値で評価する。

表 4-4-1 ダム基礎の要求機能

箇所	必要条件	地質に関連する事項	
		コンクリートダム	フィルダム
ダム本体	・破壊しないこと	コンクリート骨材	すべり（盛立材料の強度）
	・大きく変形しないこと	—	盛立材の締固度
	・多量の漏水をしないこと	—	遮水材料
ダム基礎	・破壊しないこと	岩盤強度	パイピング
	・大きく変形しないこと	岩盤の変形性	
	・多量の漏水をしないこと	岩盤の遮水性	
貯水池周辺	・周辺環境に悪影響がないこと	周辺地域の地すべりなど	
	・多量の漏水をしないこと	石灰岩・火山岩・砂礫層など	
	・堆砂量が少ないこと	上流部でも土石流・崩壊地など	
	・地すべりを起こさないこと	貯水池内地すべり	

① コンクリート重力式ダム基礎地盤の安定

コンクリート重力式ダムの基礎地盤に関する安定解析は、次のヘニーの式が用いられる。

ヘニーの式：

$$\frac{\tau_0 \cdot L + f \cdot V}{H} \geq n$$

τ_0 ：基礎地盤の純せん断強度

L ：ダム底面の長さ

(堤体基本三角の底辺)

f ：基礎地盤の内部摩擦係数 ($\tan \phi$)

V ：ダム底面に作用する鉛直力

(主に堤体の重量)

H ：ダム底面に作用するせん断力 (主に水圧) n ：安全率 (4.0 以上)

基礎地盤内またはダム堤体と基礎地盤の接触部に沿ったすべり破壊に対する力学的安定性についてはヘニーの式で安全率 4.0 を満足させなければならない。これを簡単な計算事例で示すと次のような方法である。

図 4-4-1 のような基本三角 (底辺 40m、高さ 50m の直角三角形) と貯水面 (ダム底面から 45m) のコンクリート重力式ダムがあるとして、基礎地盤のせん断強度等は仮に $\tan \phi = 0.7299$ 、 $\tau_0 = 807 \text{ kN/m}^2$ としてヘニーの式により安全率を求める。堤体の単位体積重量は 23 kN/m^3 とし、動的な力 (地震による力) および揚圧力 (底面からの水圧により浮き上がらせる力) は考慮しないものとする。

ヘニーの式で、

$$\tau_0 = 807 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 40 \text{ m}$$

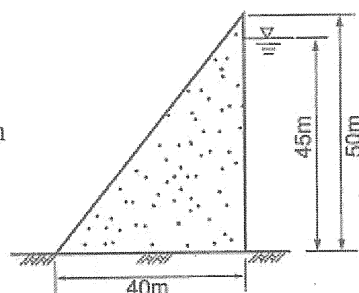
$$\tan \phi = f = 0.7299$$

$$V = 50 \times 40 \times 1/2 \times 23 = 2.3 \times 10^4 \text{ kN/m}$$

$$H = 45 \times 45 \times 1/2 \times 9.8 = 9.9 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

として、

$$n = \frac{807 \times 40 + 0.7299 \times 2.3 \times 10^4}{9.9 \times 10^3} = 4.96$$



となり、安全率が 4.0 以上となる。

図 4-4-1 コンクリート重力式ダムの安定計算例

実際のダムの安定解析では、ダム上流面に傾きがあって V に水の重量が加わったり、基礎地盤が一様でなく複数の τ_0 、 f ($\tan \phi$) を組み合わせたり、動的な力や揚圧力などを考慮するケースもあるが、基本的には上述の考え方に従う。

なお、安全率 4.0 以上と計算されても、FEM (Finite Element Method：有限要素

法) 解析によって局所安全率の分布を求めると局所的に安全率の低い部分が存在することがあるので、ヘニーの式での安全率4.0 というのは必ずしも大きな値とはいえない、とされている。ヘニーの式は一般に堤体と基礎地盤の境界面で検討するが、安定上別の箇所が問題となる場合もある。

コンクリート重力式ダムの方学的安定性が問題となるケースとして、図4-4-2のような場合にはとくに注意が必要である。この図中の(a)は、一般には下流上がり断層などと称される地質構造の場合である。これはダムに水圧がかかって水平方向の外力が生じた場合、その断層面（一般には低強度）に沿って破壊する可能性を示唆している。したがって断層ではなくても、低強度となる層理面や、片理面でも同じことが指摘される。ただし地質構造の傾斜が急角度である場合には問題とならない。(b)のような水平地質構造はもっとも注意を要する。一般にダムの下流側の地形は低くなっており、水平の断層が下流で地表に飛び出すからである。また(c)のように下流下がり断層であれば一般には問題ないとされるが、下流側の地形が断層の傾斜以上に下がっていると同一問題がある。要はダム基礎下に存在する地質構造が下流側地表に飛び出す形となるか、否かがポイントである。さらに(d)のようにダム下流端（堤趾部）には大きな力が作用するため、そこが脆弱な基礎地盤であることも問題となる。

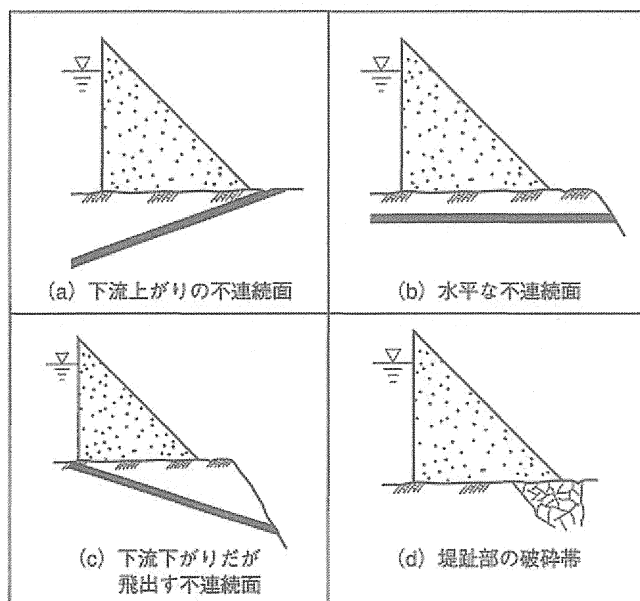


図4-4-2 コンクリート重力式ダムで問題となる基礎地盤

② コンクリートアーチ式ダムの基礎地盤の安定

コンクリートアーチ式ダムは貯水池の水圧荷重などを堤体のアーチ作用を利用して両岸に伝え、これを両岸の基礎地盤のせん断強度で支持する。コンクリート重力式ダムのように堤体自重による摩擦力 ($\tan \phi$) を期待できないので、コンクリート重力式ダムに比較して純せん断強度 (τ_0) が大きい基礎地盤が求められる。すなわちコンクリートアーチ式ダムの基礎地盤の方学的安定性は、堤体と基礎地盤との接触面および基礎地盤内の弱点と考えられる面において、せん断力によるすべり破壊に対して安定であることが必要である。

コンクリートアーチ式ダムの方学的安定性が問題となるケースとして、図 4-4-3 のような場合にはとくに注意が必要である。

③ フィルダムの基礎地盤の安定

フィルダムはコンクリートダムに比べて堤体の底面積が大きいため、その基礎地盤に作用する単位面積当たりの荷重が小さいことから高い方学的特性は要求されず、良好でない基礎地盤の上でも建設が可能である。ただしロックフィルダムのコアおよびフィルターゾーンの基礎は、沈下による悪影響を考えてコンクリート重力式ダム並みの地盤が要求される。

フィルダムの方学的安定性の検討においては、一般に堤体斜面での円弧すべり安定解析が行われ、安全率 1.2 以上が必要とされる。これは、基礎地盤がよほど脆弱なものでない限り、盛立材料の強度に左右される安定解析となる。

フィルダムの基礎地盤では、強度特性よりも変形性（過大な変形や不等沈下を起こさないこと）や透水性（パイピングを起こさないこと）が重要である。

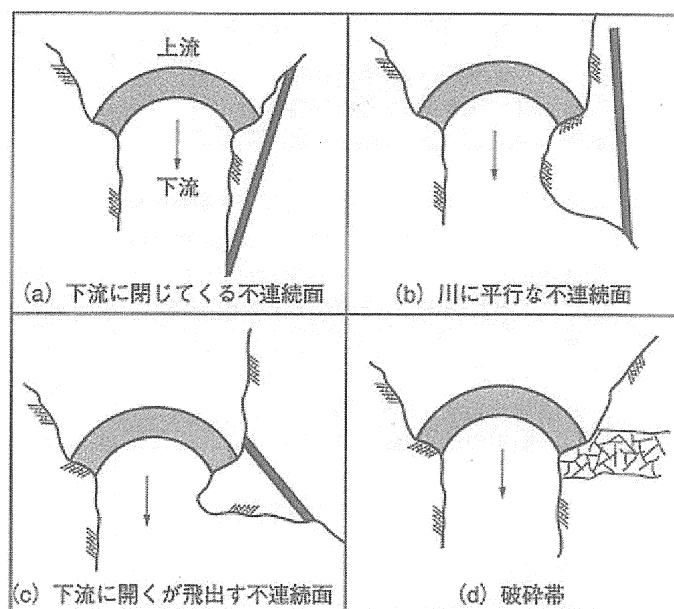


図 4-4-3 コンクリートアーチ式ダムで問題となる基礎地盤

(2) ダムの事故事例

近代的なダムの建設は、表 4-4-2 に示すように、1800 年代末に米国で始まり、いくつかの事故も経験しながら技術的な発展をしてきた。表中に紹介した事故例は、ダムの安定性において基礎地盤との関係がいかに関係かが読み取れる。

表 4-4-2 近代ダムの事故と技術の発展

1889 年	San Meteo ダム (アメリカ)	世界初のコンクリートダム
1928 年	St. Francis ダム (アメリカ)	H = 62.5m のアーチ重力式コンクリートダムで、満水時に基礎地盤(礫岩)不良により決壊し、犠牲者 450 人。反省として基礎地盤の検査の制度化など。
1933 年	Henny の式発表	コンクリートダムの設計公式
1935 年	堤高 221 m の Hoover ダム (アメリカ)	ダム技術史の金字塔
1959 年	Malpasset ダム (フランス)	H = 61m のアーチ式コンクリートダムで、満水状態で基礎岩盤滑動により決壊し、犠牲者 421 人。反省として設計技術者と地質技術者の共同作業の必要性など。
1961 年	Fraysse ダム (ペルー)	基礎の揚圧力増大による崩壊
1963 年	Vajont ダム (イタリア)	H = 265m のアーチ式コンクリートダムで、初期湛水最終段階に貯水池上部の山体が地すべり(事前兆候あり)を起こし、ダムの越流によって、犠牲者 2600 人。反省として広範囲の調査の必要と監視・連絡体制など。(当時日本では黒部・川俣ダム等の建設中)
1976 年	Teton ダム (アメリカ)	H = 93m の中央遮水壁型ロックフィルダムで、初期湛水の満水時にコア材のパイピングを引き金として決壊し、犠牲者 146 人。反省として基礎処理の重要性やコア材の強度など。

＜マルパッセダムの決壊事故例＞

マルパッセダム (Malpasset Dam) は、フランス南部のレイラン川に建設されたコンクリートアーチ式ダムである。高さ 66.5m、堤頂長 222m、貯水容量 5,000 万 m³ の規模で、主として水道・灌漑用水用のダムである。

1959 年 12 月 2 日に、堤体が完成してから初の大雨が降り満水状態になって、16 時間後の 21 時 13 分に左岸の基礎地盤が下流側へ移動することにより崩壊し、ダムが決壊した。ダムの決壊に伴い大量の貯留水が下流に流出し、地中海へ至るまでに 2 つの村を呑みこみ、400 名以上の人命を奪う大災害となった。

当時は、ダム基礎岩盤の評価法が十分に確立されていなかったために、急激な水量増加に耐え切れず岩盤が崩壊、次いでダム堤体も崩壊する結果となった。

図 4-4-4 は、マルパッセダムのダム基礎地盤の構造を示しているが、ダム直下流に存在する断層が、下流の地表部に飛び出す構造になっており、不安定な地質構造であることが分かる。

マルパッセダムの決壊事故後、ダムの設計に必要な構造力学等が飛躍的に進歩した。その契機となった事故として、現在も事例に挙げられることが多い。

フランスでは、マルパッセダムを工学的な教訓として、ダム決壊後もそのまま保存している。この事故を受けて、当時は施工中であった黒部ダムの設計が見直された。

写真 4-4-1 と写真 4-4-2 は、マルパッセダムの決壊後を筆者が撮影したものであるが、ダム堤体が崩壊した状況がそのまま残されていることが分かる。

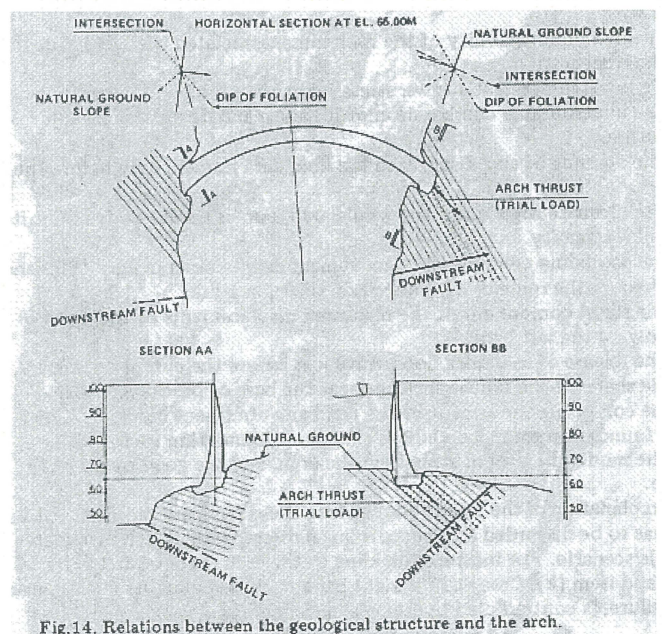


Fig.14. Relations between the geological structure and the arch.

図 4-4-4 基礎地盤構造とアーチダムの関係



写真 4-4-1
マルパッセダムの下流河床～右岸側の状況

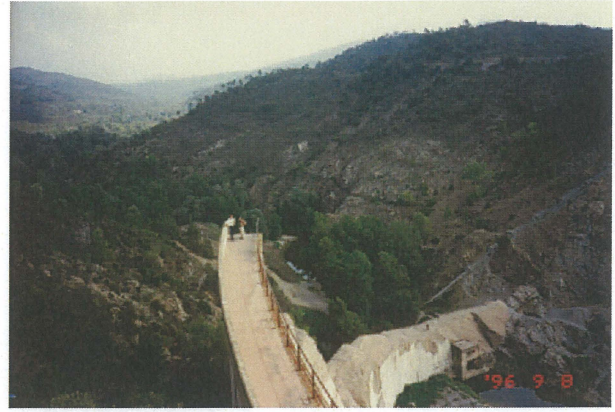
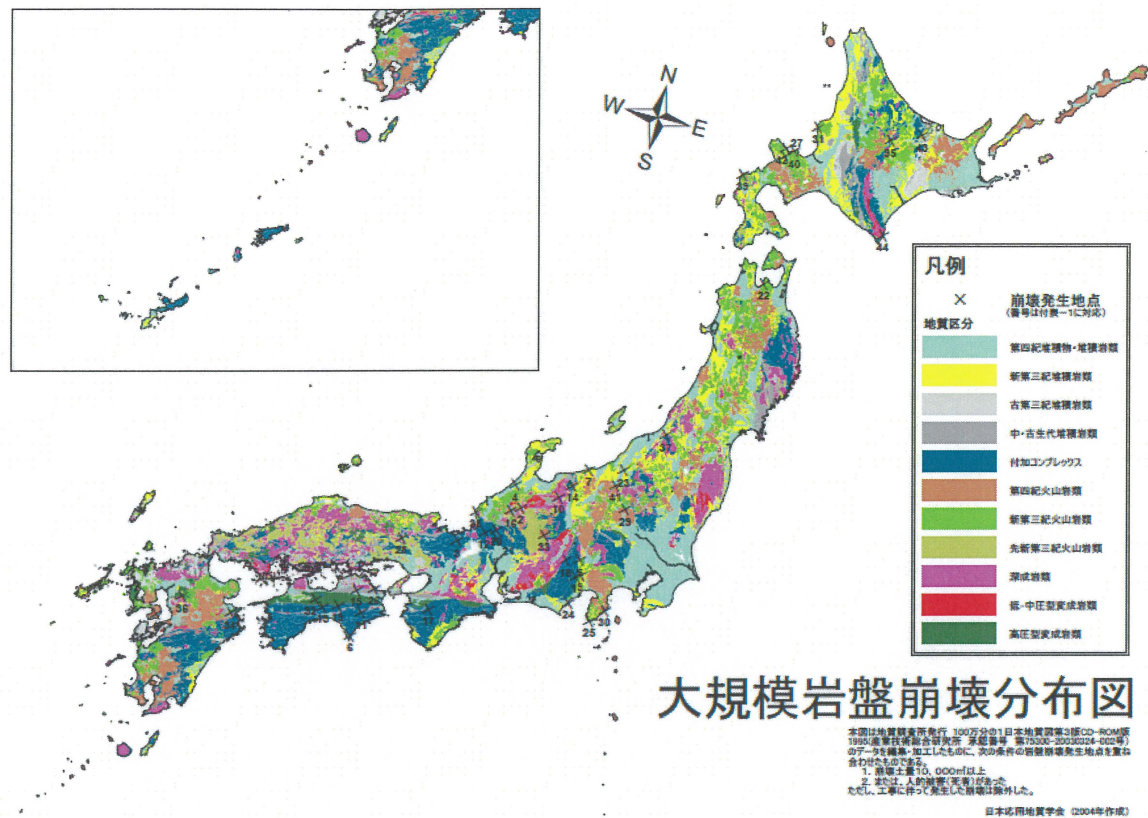


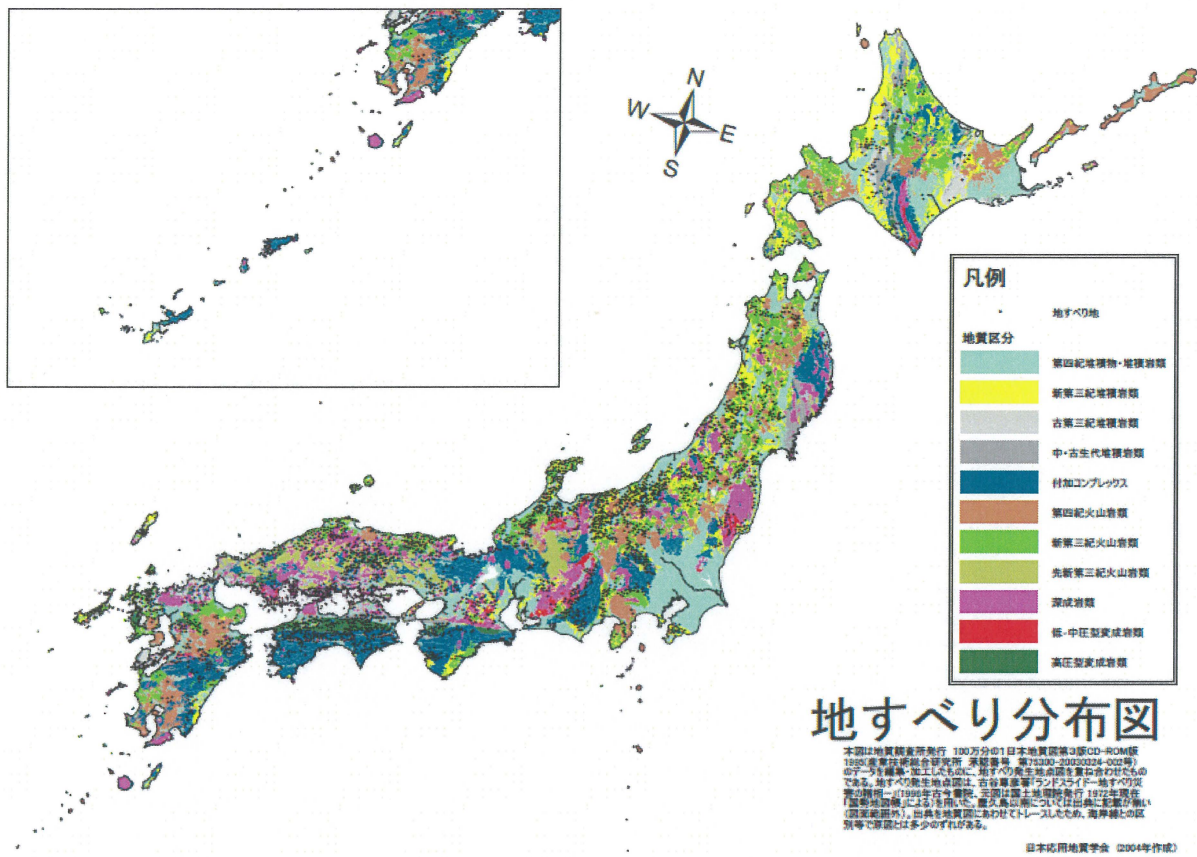
写真 4-4-2
右岸天端～左岸側の状況

※出典 改訂新版「建設工事と地盤地質」古今書院（2013 年 10 月）pp.44～63



※ 出典 一般社団法人日本応用地質学会 応用地質用語集

図 4-4-5 日本の大規模岩盤崩壊分布図



※ 出典 一般社団法人日本応用地質学会 応用地質用語集

図 4-4-6 日本の地すべり分布図

5. 環境保全

5 環境保全

5.1 水力発電所の環境問題

水力発電は、自然に循環する水を利用して発電を行い、その発電過程で有害な物質を創出、排出するようなことがないため、基本的にはクリーンエネルギーであるが、立地する位置が自然豊かな環境で行われることも多く、自然との関わりあいなどで問題視されることがある。

水力発電所の設置、運用に伴う環境問題として次のようなことが挙げられる。

- ・ ダム、発電所など大規模の土木構造物の設置、ダム・貯水池の設置による土地の改変、水没による植生の消滅、動物の生息域に及ぼす影響。
- ・ 貯水池、調整池等の設置に伴う停滞水域の発生による水質への影響。
 - ： 流入水の貯留に伴う中低層水の水温が低下し、その放流による、下流域の魚類、稲作等に及ぼす影響。
 - ： 洪水時等に大量に流入してくる濁水を貯留し、これを順次放流することによる下流域の濁水の長期化を招き魚類、かんがい、都市用水等に及ぼす影響。
 - ： 貯水池に流入するチッソ、リン等の栄養塩類が停滞域の発生によって蓄積濃縮化され、淡水赤潮、藻類の発生など富栄養化し水質の悪化を招くこと。
- ・ ダム、取水堰等の設置により遡上、流下する魚類への障害が生ずること。
- ・ 水路式発電所の設置、運用に伴い、取水口から放水口までの間の河川区間が減水することによる河川景観、水生生物、水質等に及ぼす影響。
- ・ 水車、発電機等の回転等による騒音、振動、低周波振動等が発生することがある。
- ・ 発電所及び調圧水槽、水圧鉄管など発電用設備の設置による自然景観への影響。
- ・ 発電所の設置工事に伴う濁水、騒音、振動等発生、工事用資機材、発生土の運搬による地域の生活環境、交通等に及ぼす影響。

現実には、設置地点の地形、自然環境、地域社会等の状況、特性等で影響の程度、範囲、性質が異なるものの周辺環境に対して何らかの影響を与えることは避けられない。

水力開発は環境保全上特に配慮が求められる自然環境が豊かな山間部で行われることが多く、自然環境の保全、調和には十分な配慮が必要とされる。また、最近では、開発地点も上流山間部から中下流域に広がり人の生活圏の近傍で開発されることも多くなり、地域社会、生活圏に及ぼす影響、対策も必要となってきた。

5.2 環境影響評価制度

(1) 環境影響評価法

環境影響評価とは、環境影響評価法（平成9年6月13日 法律第81号—以下「環境法」という。）2条第1項で、「事業（特定の目的のために行われる一連の土地の形状の変更（これと併せて行うしゅんせつを含む。）並びに工作物の設置及び増改築をいう。以下同じ）の

実施が環境に及ぼす影響（当該事業の実施後の土地又は工作物において行われることが予定される事業活動その他の人の活動が当該事業の目的に含まれる場合には、これらの活動に伴って生ずる影響を含む。以下単に「環境影響」という。）について環境の構成要素に係る項目ごとに調査、予測及び評価を行うとともに、これらを行う過程においてその事業に係る環境の保全のための措置を検討し、この措置が講じられた場合における環境影響を総合的に評価することをいう。」と規定されている。

対象となる発電所は、電気事業法（昭和 39 年 7 月 11 日 法律第 170 号—以下「電事法という。—）第 38 条に規定されている事業用電気工作物であって発電用のものの設置又は変更の工事業で、環境法第 2 条第 2 項及び第 3 項に規定されている下記に示す条件、規模以上のものとなっている。第 1 種事業と第 2 種事業の要件を表 5-2-1 に示す。

第 1 種事業 規模（改変面積、工作物の大きさ等）が大きく、環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるもの。

第 2 種事業 規模が第 1 種事業に準ずる程度であっても、環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるかどうかの判定が必要なもの。

表 5-2-1 発電所の第 1 種、第 2 種区分（環境影響評価法施行令別表第一）

発 電 所 区 分	第 1 種事業	第 2 種事業 (簡易なアセスメントで十分か 個別に判断する事業)
水力発電所	出力 3 万 kW 以上 出力 2.25 万 kW 以上 3 万 kW 未 満（大規模ダムの新築、大規模 堰の新築、大規模堰の改築のい ずれかを伴う事業	出力 2.25 万 kW 以上 3 万 kW 未 満
火力発電所（地熱発電 所を除く）	出力 15 万 kW 以上	出力 11.25 万 kW 以上 15 万 kW 未満
地熱発電所	出力 1 万 kW 以上	出力 7500kW 以上 1 万 kW 未満
原子力発電所	すべて	
風力発電所	出力 1 万 kW 以上	出力 7500kW 以上 1 万 kW 未満

環境影響評価は、第 1 種事業はすべて行う必要がある。

第 2 種事業について環境影響評価を実施させるかどうかは、当該事業を所管する行政機関の長が都道府県知事の意見を聴き事業内容、地域特性に応じて判定を行うが、加えて簡易な影響評価を実施してその結果を踏まえて環境アセスメントの要否の判断を行うこととなっている。

(2) 発電事業に係る環境影響評価制度

発電所に係る主務省令としては、「発電所の設置又は変更の工事に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令」（平成 10 年 6 月 12 日 通商産業省令第 54 号、以下「省令」という。）があり、省令の第 3 条に「特定対象事業」について方法書に記載すべき内容が規定されている。ここでいう「特定対象事業」とは、全ての第 1 種事業と、第 2 種事業のうち環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあると認められたものである。（環境法第 4 条第 3 項第 1 号）

省令第 2 条の各号に判定の基準を定めており、そのうち水力発電所においてはおおむね以下のような場合に「環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるもの」としている。

- ・ 周囲 1 キロメートルの範囲内に工事時期が重なる水力又は地熱発電所があり、それらを合わせた規模が第 1 種事業規模に達する場合。
- ・ 当該水域における水質の汚濁に係る環境上の条件が、環境基本法における規定を超える場合。
- ・ 取水地点が存在する水域が第 2 種事業の実施により減水区間となる場合において、取水地点における BOD の予測値が環境基本法に定める基準を超える場合。
- ・ 水際線が人工改変を受けていない河岸、野生動植物の重要な生息生育の場が、事業が実施される区域の周囲 1 キロメートルの範囲内に存在し減水区間となる場合。

(3) 環境影響評価の実施と手続き

環境影響評価法に基づく環境影響評価（環境アセスメント）を行う必要がある発電所は、図 5-2-1（第 1 種事業）、図 5-2-2（第 2 種事業）に示すような手続きフローにより環境アセスメントを行わなければならない。

1) 計画段階環境配慮書

第 1 種事業については、事業者は当該事業の実施が想定される区域における当該事業に係る環境の保全のために配慮すべき事項についての検討を行い、「計画段階環境配慮書」を作成し主務大臣に届けるとともに、関係地方公共団体への送付、公表して一般の意見の聴取を行わなければならない。

第 2 種事業については、簡易な環境影響評価を実施しその結果を主務大臣に届け、主務大臣が関係都道府県知事の意見の聴取をしたうえで、環境影響評価を実施すべきか否かを判定することとなっている。

2) 環境影響評価方法書の作成

環境影響評価を実施することとなった事業者は、事業の名称、原動力の種類、出力、実施区域、設備の配置計画、既に決定されている事項の内容の変更により環境影響が変化するものの等の事項、及び対象事業に係る環境影響評価の項目、並びに調査・予測及び評価の手法等についての方法を記載した環境影響評価方法書（以下「方法書」という。）を作成し、関係

地域を管轄する都道府県知事及び市町村長に送付されるとともに、それらの協力を得て公告・縦覧に供する。

環境の保全の見地からの意見を有する者は、環境保全上の意見を提出する。意見の概要は、関係の都道府県知事及び市町村長に送付する。都道府県知事は、市町村長の意見を聴いた上で、事業者に対し、環境保全上の意見を提出する。

3) 環境影響評価の実施

事業者は、都道府県知事の意見や環境の保全の見地から意見を有するものの意見を踏まえ、環境影響評価の項目並びに調査、予測及び評価の手法を選定し、これに基づいて環境影響評価を実施する。またそれらの選定に当たり、必要があれば主務大臣の技術的助言を受けることができる。

環境影響評価の項目並びに調査、予測及び評価の手法を選定するための指針、環境保全のための措置に関する指針については、環境庁長官が基本的事項を定め、これに基づき主務大臣が環境庁長官に協議して省令で定められている。

実際に水力発電所の環境影響評価を行う場合の実務的な手法についての解説書として、次のものがあり、いずれも経済産業省のホームページで公開されている。

- ・「環境影響評価方法書、環境影響評価準備書及び環境影響評価書の審査指針」

(平成 26 年 1 月 24 日－最終改正:平成 27 年 6 月 1 日－経済産業省大臣官房商務流通保安審議官名)

- ・「発電所に係る環境影響評価の手引」(平成 29 年 5 月 経済産業省)

4) 環境影響評価準備書の作成、公告・縦覧

事業者は、環境影響評価の結果について、環境影響評価準備書(以下「準備書」という。)を作成し、関係地域を管轄する都道府県知事及び市町村長に送付されるとともに、準備書を公告・縦覧し、説明会を開催する。

環境の保全の見地からの意見を有する者は、環境保全上の意見を提出し、その意見の概要及びそれに対する事業者の見解を関係都道府県知事及び市町村長に送付する。都道府県知事は、市町村長の意見を聴いた上で、事業者に対して環境保全上の意見を提出する。

5) 環境影響評価書の作成、届出、公告・縦覧

事業者は、環境影響準備書の手続きを踏まえ、環境影響評価書(以下「評価書」という。)を作成して許認可権を持つ者へ送付する。評価書について、環境庁長官は、必要に応じて許認可権を持つ者に対して環境の保全上の意見を提出し、許認可権者は、その意見を踏まえて事業者に環境保全上の意見を提出する。

事業者は、環境庁長官の意見や許認可権者の意見を受け、評価書を再検討し、必要に応じて追加調査等を行った上で評価書を補正し、この最終的な評価書を公告・縦覧する。

1. 第1種事業

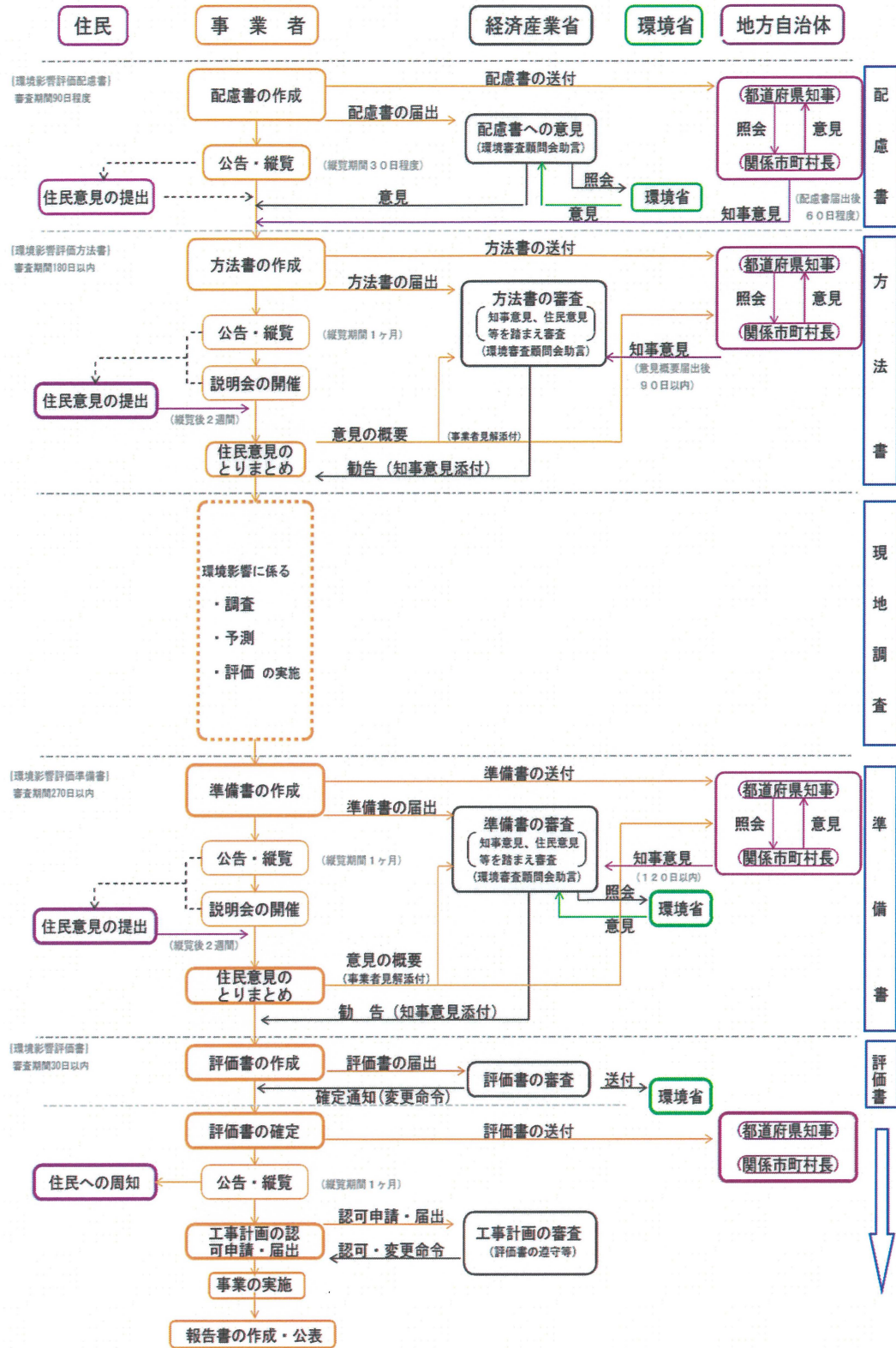


図 5-2-1 環境影響評価の手続きフロー（第1種事業）

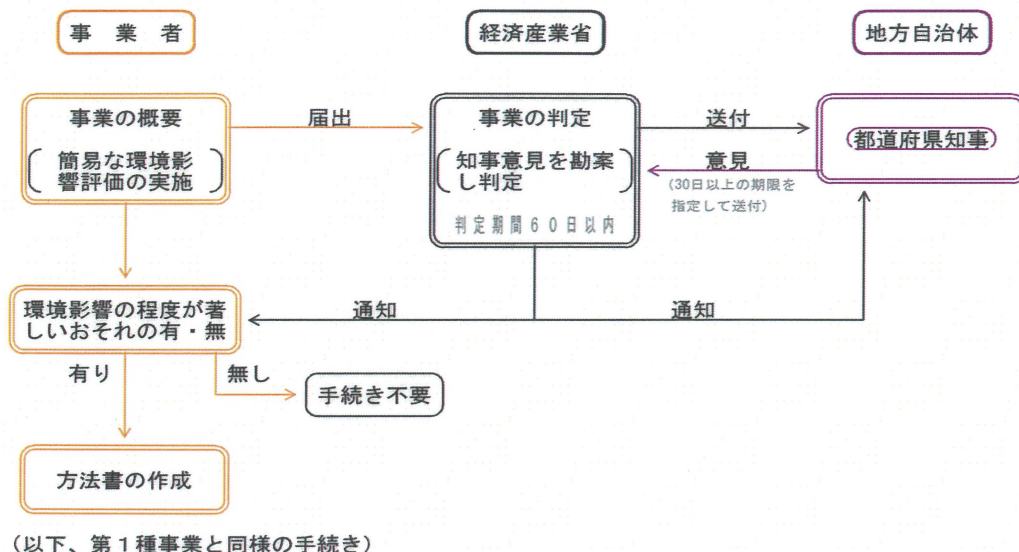


図 5-2-2 環境影響評価の手続きフロー（第 2 種事業）

(4) 電気事業法による特例

現在、水力発電所の環境影響評価は、環境影響評価に関する特例として電事法第 46 条の 3（第 2 種事業）及び第 47 条第 3 項第 4 号の規定により、環境法及び関係政省令の規定に従い、一定要件以上の発電所の設置に際し義務づけられ実施されている。

また、電気事業法による上乘せとして、経済産業大臣の「方法書」に対する勧告（電事法第 46 条の 8）、「準備書」に対する勧告（電事法第 46 条の 14）、「評価書」に対する変更命令（電事法第 46 条の 17）、発電所の設置又は変更の工事、維持運用における環境保全についての適正な配慮（電事法第 46 条の 20）評価書の結果の工事計画認可の要件化（電事法第 47 条第 3 項第 3 号及び第 4 号）が規定されている

(5) 環境影響評価の項目

水力発電所に係る環境影響評価を行うべき項目、手法については、「発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に係る指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測、及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成 10 年通商産業省令第 54 号）」（通称「環境アセス省令」）等に一般的な参考項目、手法規定が示されているが、これらは発電所の事業特性、立地場所の地域特性等を勘案した一般的な参考項目、参考手法であり、実際に環境影響評価を行う発電所の地域の特性等に応じて選定する必要がある。

以下に、環境影響評価の審査対象となる項目(*)を表 5-2-2 に示す。

(*) 「環境影響評価方法書、環境影響評価準備書及びの環境影響評価書の審査指針」(平成 26 年 1 月 24 日－最終改正平成 27 年 6 月 1 日－) 経済産業大臣官房商務流通保安審議官

環境影響評価項目及び手法の選定については、発電所アセス省令に基づいて行うこととされ、その中で一般的に選定されるものを参考項目及び参考手法として定められている。

これは、発電所の一般的な事業特性および立地特性等を踏まえ、発電所の種類ごとに定められたもので、その中で参考項目の選定についての考え方については、巻末の＜参考資料 2.1 「環境影響評価の項目の参考項目の設定根拠（水力発電所）」＞に収録している「改定・発電所に係る環境影響評価の手引（平成 27 年 7 月 経済産業省）」の「第 4 章 環境影響評価項目及び手法の選定」を参考とされたい。

表 5-2-2 水力発電所に係る環境影響評価項目

影響要因の 区分	環境要素の区分				審査の指針
工事の実 施	環境の自然的構成要素の良好な状態の保持に区分される環境要素	大気環境	大気質	窒素酸化物	工所用資材等の搬出入に使用する自動車から排出される窒素酸化物に係る環境影響が当該自動車の運行の予定される路線の周辺地域における生活環境の保全に支障を及ぼすものでないこと。
				粉じん等	イ 工所用資材等の搬出入に使用する自動車から発生する粉じん等に係る環境影響が当該自動車の運行の予定される路線の周辺地域における生活環境の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 建設機械の稼働に伴って発生する粉じん等に係る環境影響が工事場所の周辺地域における生活環境の保全に支障を及ぼすものでないこと。
			騒音	騒音	イ 工所用資材等の搬出入に使用する自動車から発生する騒音に係る環境影響が当該自動車の運行の予定される路線の周辺地域における環境基本法第16条第1項の規定による騒音に係る環境上の条件についての基準（基準が設定されていない場合は、地域の状況を踏まえ基準の類型あてはめによる。）の確保に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 建設機械の稼働に伴って発生する騒音に係る環境影響が法令等で定める規制基準（基準が設定されていない場合は、地域の状況を踏まえ基準の区域の区分のあてはめによる。）に適合しないものでないこと。 ハ 工事場所の付近に住居等がある場合においては、建設機械の稼働に伴って発生する騒音に係る環境影響が当該地域における生活環境の保全に支障を及ぼすものでないこと。
		水環境	水質	振動	イ 工所用資材等の搬出入に使用する自動車から発生する振動に係る環境影響が当該自動車の運行の予定される路線の周辺地域における生活環境の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 建設機械の稼働に伴って発生する振動に係る環境影響が法令等で定める規制基準（基準が設定されていない場合は、地域の状況を踏まえ基準の区域の区分のあてはめによる。）に適合しないものでないこと。 ハ 工事場所の付近に住居等がある場合においては、建設機械の稼働に伴って発生する振動に係る環境影響が当該地域における生活環境の保全に支障を及ぼすものでないこと。
				水の濁り 水素イオン濃度	造成等の施工による一時的な影響による水の濁り及び水素イオン濃度に係る環境影響が工事の場所及びその周辺における水域の水質の保全に支障を及ぼすものでないこと。
				その他特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に配慮する必要がある環境要素	特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がなされているものであること。
	生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全に区分される環境要素	動物	重要な種及び注目すべき生息地		イ 造成等の施工に係る一時的な環境影響が対象事業実施区域の周辺区域及び当該河川における重要な種及び注目すべき生息地の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 造成等の施工において、対象事業実施区域における重要な種及び注目すべき生息地の保全について適正な配慮がなされているものであること。
		植物	重要な種及び重要な群落		イ 造成等の施工に係る一時的な環境影響が対象事業実施区域の周辺区域における重要な種及び重要な群落の保全に支障を及ぼすものでないこと。

影響要因の 区分	環境要素の区分			審査の指針
工事の実 施	生物の多 様性の確 保及び自 然環境の 体系的保 全に区分 される環 境要素	植物	重要な種及び重要な群 落	ロ 造成等の施工において、対象事業実施区域における重要な 種及び重要な群落の保全について適正な配慮がなされている ものであること。
		生態系	地域を特徴づける生態 系	イ 造成等の施工に係る一時的な環境影響が対象事業実施区域の 周辺区域における地域を特徴づける生態系の保全に支障を及 ぼすものでないこと。 ロ 造成等の施工において、対象事業実施区域における地域を特 徴づける生態系の保全について適正な配慮がなされているも のであること。
		その他特定対象事業特性又は特定対 象地域特性により環境保全上特に配 慮する必要がある環境要素		特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に 配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がなさ れているものであること。
	人と自然 との豊か な触れ合 いに区分 される環 境要素	人と自然 との触れ 合いの活 動の場	主要な人と自然との触 れ合いの活動の場	工事用資材等の搬出入に用いる自動車の運行に係る環境影響が 当該自動車の運行の予定される路線の周辺区域における主要な 人と自然との触れ合いの活動の場の保全に支障を及ぼすもので ないこと。
		その他特定対象事業特性又は特定対 象地域特性により環境保全上特に配 慮する必要がある環境要素		特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に 配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がなさ れているものであること。
	環境への 負荷に区 分される 環境要素	廃棄物等	産業廃棄物	イ 造成等の施工による一時的な影響により発生する産業廃棄物 が事業者の実行可能な範囲内において可能な限り低減されて いること。 ロ 法令等の定めるところにより保管、運搬、処分等が行われる ものであること。
		その他特定対象事業特性又は特定対 象地域特性により環境保全上特に配 慮する必要がある環境要素		特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に 配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がなさ れているものであること。
土地又は工 作物の存在 及び供用	環境の自 然的構成 要素の良 好な状態 の保持に 区分され る環境要 素	水環境	水質	水の汚れ 富栄養化 水の濁り 溶存酸素 量 水温
		その他の 環境	地形及び地 質	重要な地 形及び地 質
		その他特定対象事業特性又は特定対 象地域特性により環境保全上特に配 慮する必要がある環境要素		特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に 配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がな されているものであること。
		イ 貯水池における水の汚れ、水の濁り及び溶存酸素量に係る環 境影響が当該水域における環境基本法第16条第1項の規定 による水質に係る環境上の条件についての基準（基準が設定 されていない場合は、水域状況を踏まえ基準の類型あてはめ による。）の確保に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 貯水池における富栄養化、水温に係る環境影響が当該水域の 水質の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ハ 河水の取水による当該河川の水の汚れに係る環境影響が当該 水域における環境基本法第16条第1項の規定による水質に 係る環境上の条件についての基準（基準が設定されていない 場合は、水域状況を踏まえ基準の類型あてはめによる。）の 確保に支障を及ぼすものでないこと。		
		イ 地形改変及び施設存在に係る環境影響が対象事業実施区域 の周辺区域における重要な地形及び地質の保全に支障を及ぼ すものでないこと。 ロ 貯水池の存在に係る環境影響が貯水池の周辺区域における重 要な地形及び地質の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ハ 地形改変及び施設存在又は貯水池の存在において、対象事 業実施区域における重要な地形及び地質の保全について適正 な配慮がなされているものであること。		
		特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に 配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がな されているものであること。		

影響要因の区分	環境要素の区分			審査の指針
土地又は工 作物の存在 及び供用	生物の多 様性の確 保及び自 然環境の 体系的保 全に区分 される環 境要素	動物	重要な種及び注目す べき生息地	イ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水に係る環境影響が対象事業実施区域の周辺区域及び当該河川における重要な種及び注目すべき生息地の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水において、対象事業実施区域における重要な種及び注目すべき生息地の保全について適正な配慮がなされているものであること。
		植物	重要な種及び重要な群 落	イ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水に係る環境影響が対象事業実施区域の周辺区域及び当該河川における重要な種及び重要な群落の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水において、対象事業実施区域における重要な種及び重要な群落の保全について適正な配慮がなされているものであること。 ハ 対象事業実施区域内において、発電設備の設置に必要な部分以外は、可能な限り緑化が図られるものであること。 ニ 緑化計画は、地形、表層の土壌、気候等植物の生育条件を考慮し、周辺の環境と調和するよう留意されるものであること。
		生態系	地域を特徴づける生態 系	イ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水に係る環境影響が対象事業実施区域の周辺区域及び当該河川における地域を特徴づける生態系の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水において、対象事業実施区域における地域を特徴づける生態系の保全について適正な配慮がなされているものであること。
		その他特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に配慮する必要がある環境要素		特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がなされているものであること。
	人と自然 との豊かな 触れ合いに 区分され る環境要素	景観	主要な眺望点及び景観 資源並びに主要な眺望 景観	イ 地形改変及び施設の存在又は貯水池の存在に係る環境影響が対象事業実施区域の周辺区域における主要な眺望点及び景観資源並びに主要な眺望景観の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 地形改変及び施設の存在又は貯水池の存在において、対象事業実施区域における主要な眺望点及び景観資源並びに主要な眺望景観の保全について適正な配慮がなされているものであること。
		人と自然 との触れ 合いの活 動の場	主要な人と自然との触 れ合いの活動の場	イ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水に係る環境影響が対象事業実施区域の周辺区域における主要な人と自然との触れ合いの活動の場の保全に支障を及ぼすものでないこと。 ロ 地形改変及び施設の存在、貯水池の存在又は河水の取水において、対象事業実施区域における主要な人と自然との触れ合いの活動の場の保全について適正な配慮がなされているものであること。
		その他特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に配慮する必要がある環境要素		特定対象事業特性又は特定対象地域特性により環境保全上特に配慮する必要がある環境要素の保全について適正な配慮がなされているものであること。

5.3 減水区間に対する環境保全対策

水力発電所の設置、運用による自然環境、社会環境に対する影響について、「5.1 水力発電所の環境問題」で挙げた諸問題のうち、中小水力発電所の場合にも該当する主な問題に対する環境影響緩和対策についての実態、調査・研究の成果、実例等を紹介する。

(1) 減水区間に対する維持放流

1) 維持放流の実態

河川から取水する水力発電所では、放水地点までの間、取水した分だけ流量が減ずる「減水区間」が生じ、その環境影響と対策が水力発電所の環境問題の中では最大のものとなっている。そのため水利権設定の際に許可の条件として、一定量の放流が義務付けられるケースがほとんどである。

全国の電気事業用水力発電所における減水区間に対する維持流量等の放流、河川環境の形態維持等について、平成 15～16 年に電力土木技術協会が事業用の全水力発電所 1,603 箇所を対象に悉皆調査を行っている。それ以降、実態についての悉皆調査は行われていないので、この調査結果と、その後に行った減水区間等に対する環境対策に関する諸調査の成果等を交え、実態、対応策について述べてみることにする。

減水区間がある発電所は 1,349 箇所あり、そのうち維持放流を行っているのは 558 箇所、放流の目的についての回答は 635 件（複数回答）あった。

維持放流を行っているという回答があった 558 件の放流量を 100 k m^2 当たりの比流量で比較すると、表 5-3-1 及び図 5-3-1 に示すとおり、 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 台が卓越していて多く 155 件あり全体の約 28% を占め、その前後 $0.25 \sim 0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ まで含めると約半数がこの範囲に入る。1988 年に当時の建設省から出された「ガイドライン*」（以下、「ガイドライン」という。）による数値による影響が顕れ、このような結果になったものと思われる。

*「発電水利権の期間更新時における河川維持流量の確保について（河川維持流量確保のガイドライン）」

1988 建設省（現国土交通省）河川局長通達

許可水利権の更新年代別を回答してきた所が 400 箇所あり、これらについて維持放流の比流量を見てみると表 5-3-2、及び図 5-3-2 に示すとおり 1980 年代以前の方がむしろ高くなっていて、1981 年以降に更新のものは平均して $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 前後を中心にそれ以下のものが多いとなっている。

表 5-3-1 100 km² 当り維持流量（比流量換算）

比流量 (m ³ /s/100km ²)	件数	件数比 (%)	比率累計 (%)
0.05 以下	20	3.6	3.6
0.05 を超え ～ 0.1 以下	38	6.8	10.4
0.1 ～ 0.15	35	6.3	16.7
0.15 ～ 0.2	44	7.9	24.6
0.2 ～ 0.25	56	10.0	34.6
0.25 ～ 0.3	155	27.8	62.4
0.3 ～ 0.35	59	10.6	73.0
0.35 ～ 0.4	28	5.0	78.0
0.4 ～ 0.5	33	5.9	83.9
0.5 ～ 0.6	33	5.9	89.8
0.6 ～ 0.7	20	3.6	93.4
0.7 ～ 0.8	9	1.6	95.0
0.8 ～ 0.9	6	1.1	96.1
0.9 ～ 1.0	8	1.4	97.5
1.0 を超えるもの	14	2.5	100.0
計	558	100.0	

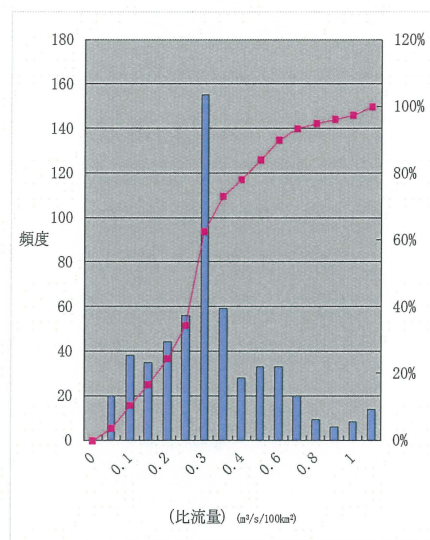


図 5-3-1 100 km² 当り維持流量
（比流量換算）

表 5-3-2 更新年代別比流量 (m³/s/100km²)

更新年代	箇所数	比流量
1966 ～ 1970	5	0.35
1971 ～ 1975	10	0.42
1976 ～ 1980	23	0.90
1981 ～ 1985	35	0.23
1986 ～ 1990	46	0.23
1991 ～ 1995	100	0.21
1996 ～ 2000	123	0.24
2001 ～	49	0.23
平 均	400	0.29

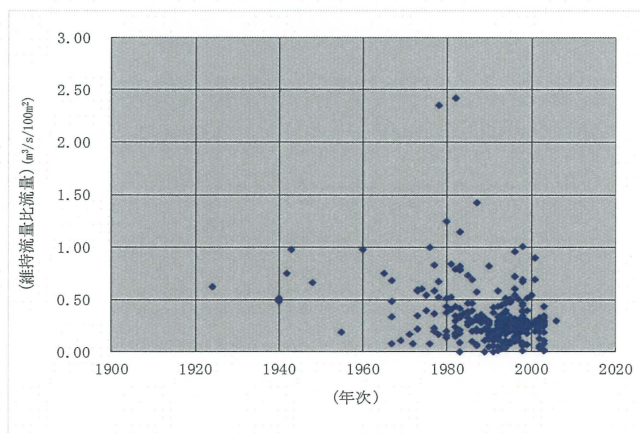


図 5-3-2 維持放流比流量年代別分散

維持放流を行う目的の約半数を「動植物の保護」、「景観」が占めており、それらの目的のために設定された水深、流速の規模別設定件数を、表 5-3-3、及び図 5-3-3 に示す。

水深については、最小の 10cm から最大 40cm まであり、20 cm が約半数の 74 件、次いで 30 cm が 19 件となっており、20 cm から 30 cm に範囲が全体の約 8 割に当たる 111 件となっている。

流速については、最小 10cm/s から最大 41cm/s までで、30 cm/s というのが一番多く約 6 割を占める 24 件、次いで 20 cm/s が 11 件となっている。

表 5-3-3 水深、流速の現状

水 深 (cm)		流 速 (cm/s)	
水 深	件 数	流 速	件 数
10	13	10	1
11	1	15	1
15	11	20	11
20	74	30	24
22	4	40	2
24	1		
25	4		
29	9		
30	19		
40	1		
計	137		39

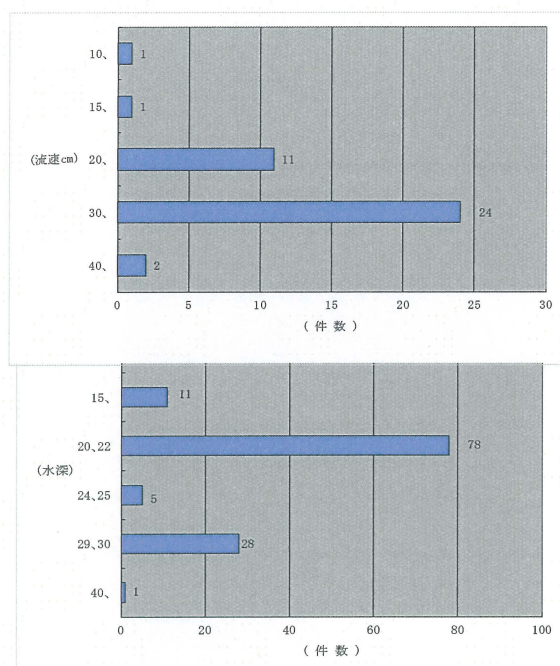


図 5-3-3 流速、水深設定状況

2) 維持放流の目的

維持放流を行っている目的別の内訳・根拠は、表 5-3-4 及び図 5-3-4 に示す。

「魚類等の水生動植物類の保護」を目的とするものが約半数を占める 317 件あり、対象魚種としては、東日本ではオシロコマ、カジカ、ヤマメ、イwana、アメマス等が多く、西日本ではアマゴ、カワムツ、ハゼ等が多く挙げられている。そのほかウグイ、オイカワ、ヨシノボリなどは全国的に挙げられている。

続いて「景観の保持、観光対策」とするものが約 26% の 165 件で、この二つで全体の 4 分の 3 を占めている。

その外、維持放流設定の根拠として「比流量」、「基準流量」、「渇水量」等の流量がらみ、「水利使用規則」、「地元との協定」、「ガイドライン」準拠等の約束ごと、「かんがい用水等既得水利権」、「内水面漁業」対応と続いている。

一方、慣習放流については 232 箇所で行われているが、そのうち 111 箇所から目的を特定して回答が得られ、回答件数は 123 件（複数回答）あった。「かんがい用水」に対するも

のが一番多く 51 件で全体の 41.5%を占め、続いて「動植物の保護」が 42 件で 34.2%となっている。そのほかは維持放流量と同様の傾向を示している。

慣習放流量は「動植物の保護」、「景観、観光」など利用権とは結びつかない自然環境対策等の要請から放流されるものもあるが、本来の利用権に対し義務的に放流されている「かんがい用水」等に対するものが一番多いのは権利外の特別の放流を地元の要請、かんがい組合等との協定等で行っている実態等が顕れているものと思われる。続いて多い「魚類など動植物の保護」42 件の多くは魚道放流である。

表 5-3-4 維持放流の目的（複数回答）

放 流 の 目 的 ・ 根 拠	維 持 放 流		慣 習 放 流	
	件数	比率 (%)	件数	比率 (%)
魚類など動植物の保護	317	49.9	42	34.2
景観、観光	165	26.0	10	8.4
流水の清潔の維持、水質保全	10	1.6	1	0.8
農業、かんがい用水	5	0.8	51	41.5
内水面漁業	7	1.1	3	2.4
各種利水権、河川利用	14	2.2	8	6.5
水利使用規則、協定、ガイトライン等	16	2.5	6	4.6
河川機能の維持、事故防止、基準流量	32	5.0	1	0.8
渇水流量	5	0.8		
比流量	36	5.7	1	0.8
その他（特定できず、不明等）	28	4.4		
計	635	100.0	123	100.0

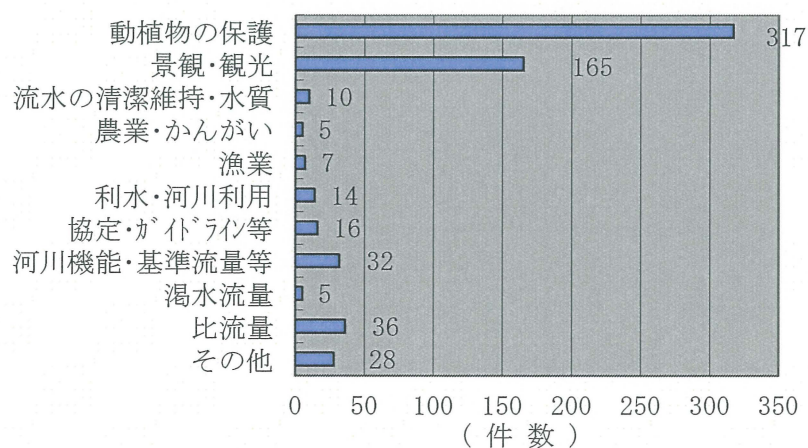


図 5-3-4 維持放流の目的

3) 維持放流の事例

減水区間に対する維持放流の主な事例を 表 5-3-5 に示す。

表 5-3-5 減水区間に対する維持放流の実例

No.	水系名	発電所名	形式	事業主体	出力 (kW)	流域面積 (km ²)	減水区間 (km)	維持放流 (m ³ /s)	対象項目	概 要	結 果
1	十勝川	富村	ダム水路式	北海道電力	40,000	330.0	11.4	1.300	動植物（生態全体）	維持放流の実施と年1回の状況調査	以後毎年1回調査、結果は良好
2	十勝川	本別	ダム水路式	電源開発	25,000	2,463.8	19.0	2.500	河川環境（流量不足）	維持流量放流設備設置 通年2.58m ³ /s	一定の効果があつた
3	早川	北山	水路式	東北電力	7,100	52.0	7.2	0.127	動植物（イフナ）	4/20-4/30 0.127m ³ /s 5/1-8/31 0.017m ³ /s 9/1-11/30, 4/1-4/19 0.00m ³ /s 12/1-3/31 0.086m ³ /s	良好
4	最上川	朝日川第一	ダム水路式	山形県	9,000	73.8	7.5	0.200	河川環境（流量不足）	維持放流0.2m ³ /s	環境改善した
5	日向川	草津	水路式	東北電力	7,200	58.1	4.4	0.240	動植物（ヤマメ）	5-11月 0.24m ³ /s 12-4月 0.17m ³ /s	経過良好
6	相模川	道志第二	ダム水路式	神奈川県	1,050	112.5	3.6	0.300	河川環境（動植物）	0.3m ³ /sの下流維持放流量	十分な効果あつた
7	酒匂川	生土	水路式	東京電力	6,200	175.0	2.9		観光（祭開催時の景観）	祭開催期間に一時的な放流	ゴムボート川下り、マス釣り大会が可能になる
8	早川	早川	水路式	神奈川県	2,900	17.2	3.7	0.051	景観（流量不足）	洪水吐きゲート1門の開度調整 4-11月まで朝昼0.22m ³ /s夜0.10m ³ /s放流	下流維持流量上回っており十分効果あつた
9	早川	山崎	水路式	東京電力	1,500	49.9	3.0	0.149	景観（観光放流）	観光放流の実施	結果は良好
	早川	塔の沢	水路式	東京電力	3,800	42.0	4.7	0.125	景観（観光放流）	観光放流の実施	結果は良好
	早川	川久保	水路式	東京電力	1,800	30.0	1.4	0.087	景観（観光放流）	観光放流の実施	結果は良好
10	大井川	川口	水路式	中部電力	58,000	1,025.8	22.0	3.200	河川環境（流量不足）	維持流量の放流	景観改善
11	木曽川	桃山	水路式	関西電力	25,600	1,059.6	5.0	2.700	河川環境（流量不足）	維持放流として通常2.7m ³ /s冬季2.0m ³ /s放流	周辺地域とも友好な関係保持
12	九頭竜川	新薬師	水路式	日本海発電	5,000	59.8	4.5	0.357	内水面漁業（動植物）	魚道設置 流速10水深20 カジカ産卵期は水深22	効果あり
13	手取川	白山	水路式	北陸電力	1,470	741.3	4.5		河川環境（流量不足）	農業用水減量相当分の流量を増量	効果あり
	手取川	鶴来	水路式	北陸電力	1,600				河川環境（流量不足）	農業用水減量相当分の流量を増量	効果あり
	手取川	明島	水路式	北陸電力	4,500				河川環境（流量不足）	農業用水減量相当分の流量を増量	効果あり
14	神通川	下小島	ダム水路式	関西電力	142,000	186.1	17.7	0.611	河川環境（流量不足）	維持流量放流設備設置	河川環境改善
15	神通川	新熊野川	水路式	日本海発電	5,000	13.0	3.2	0.085	動植物（イフナ・ヤマメ・カジカ）	水深20流速20 維持流量 0.085m ³ /s/100km ²	効果あり
16	黒部川	音沢	ダム水路式	関西電力	124,000	461.2	14.0	3.650	河川環境	維持流量放流 3.65m ³ /s	風致保護が図られている
17	仁淀川	岩屋川	水路式	四国電力	1,800	21.6	3.2	0.030	景観	通年0.03m ³ /s	視覚的に良好な景観を確保
18	渡川	佐賀	水路式	四国電力	15,300	377.7	110.0	3.400	景観、動植物（魚類）	1.13~3.40m ³ /s	視覚的に良好な景観を確保、アユ等の生息環境が改善された
19	大野川	竹田	ダム水路式	九州電力	7,000	457.0	8.7	1.216	河川環境（流量不足）	通年平均 0.651m ³ /s	観光価値の回復
20	筑後川	柳又	ダム水路式	九州電力	61,900	558.1	24.6	4.339	河川環境（景観）	非観光期1.8m ³ /s 観光期4.5m ³ /sの放流	観光、アユ釣りが回復

(2) 減水区間における魚類・水生生物対策

1) 河川流量と魚類対策

表 5-3-4 で見る通り、既設発電所における維持放流を行う目的のうち、かんがい用水など各種水利権等に対する義務的放流以外で一番多いのは「魚類など動植物の保護」である。

「魚に優しい水力発電所に関する調査」（電力土木技術協会）の調査結果では、魚類に配慮した対策を要望する内容として、「減水区間での維持流量放流・増量」、「取放水口への迷入防止対策」、「魚道設置・改修」等が多い結果となり、減水区間に対する維持放流の目的の中で一番多く、ほとんどの河川で要望される問題であった。

維持放流は定常的に行われるため、河川流況の低水量の領域に当たり、水力発電にとっても貴重な流量であり、特に中小水力発電にとってその多寡は計画の可否、存亡を決する重要な問題でもある。そこで必要最小限の水量で減水区間における河川環境を保持、特に魚類など水生動植物の生息環境を維持、回復する方策について様々な調査、対策が行われている。

2) 河川環境保全対策（ワンド）

河川における生物のうち食物連鎖の最上位に位置するのが魚類であり、親水活動や水産上の人間生活との関わり合いにおいても重要な生物でもある。

鳥類も河川と関わり合いのある種については、餌場、営巣の場、休息の場などで河川が重要な役割を果たしており、特に餌となる魚類との関係が最も強いと考えられる。

河川流量の増加を図ることなく、出水の利用し、自然の営力による魚類に取って良好な河川環境保持するためには、これまでの観察、調査によると、連続する瀬（流れ）、淵（淀み）の連なりによって、僅かな水量でも魚類の生息環境を保持できるのではないかと考えられる。特に“淀み”は魚類にとって絶好の隠れ場、休息、営巣の場となり得ることからこの形成を自然の形で行うことが有効な方策となる。このような“淵 = 淀み”を「ワンド」と呼び「湾処」とも書かれる。

ワンドは淀川にあるものが有名で、ワンドとしての形、効用が認められた最初のものである。水制工と水制工の間に挟まれた場所に淀みが生じ周りに砂が堆積し、その上の水際には草木が茂り現在のワンドとなったものである。

ワンドの効用については、国土交通省木曽川工事事務所が調査を行った「木曽川」の例、姫路河川国道工事事務所が 2003 年から 2015 年にかけて行った例などがある。の中の代表的な事例として以下のようなものがある。

中小河川におけるワンドの調査例としては国立研究法人士木研究所が 2007 年から 2008 年にかけて庄内川水系谷田川で行った例があり、参考資料 2.2 にその内容を示す。

3) 水力環境回復技術最適化調査

水力発電所の減水区間問題は、ダム式発電所、他目的ダム、砂防ダム、農業用水路、上水道など他の施設等に付着して設置する発電所等を除き、規模の大小を問わず大方の水路式、ダム水路式発電所では避けて通れない課題である。

ここでいう「環境回復技術」とは“河川流量が減じた河川の環境（魚類の生息場）の質を回復する技術”を指し、要望の多い河川流量の増加を図ることなく、出水を利用し、自然の営力により新たな瀬・淵構造を創出する技術、隠れ家等の機能（稚魚の生育場、洪水時の避難場、夜間の休息場）を創出し影響を緩和する技術等のことである。

本調査で目指したのは、河川上、中流部に位置する水路式発電所の減水区間で生ずる魚類等の生息環境の質を緩和、回復する実用的な技術の確立である。

水力発電所の減水区間では、出水時には自然河川状況となるため、自然の営力を期待することが可能であり、これを利用しつつ環境影響を回復、緩和する技術、工法を目指した。

電力土木技術協会では国からの委託を受け平成 13 年から 16 年にかけて、減水区間における魚類等水生生物への影響緩和策についての技術を確立することを目的とした「環境回復技術最適化調査（いわゆる「ミチゲーション（Mitigation＝緩和）調査）」を以下の 3 発電所の減水区間で実施した。この調査で実施した内容と成果は次のとおりである。

（適用試験地点）

東日本：北上川水系迫川 山内発電所（東北電力）、P:2,000kW Q:2.78m³/s

中日本：新宮川水系川原樋川 川原樋川発電所（関西電力）P:11,400kW Q:8.00m³/s

西日本：斐伊川水系深野川 川手発電所（中国電力）P:900kW Q:3.00m³/s

それぞれの試験地点の位置を図 5-3-5～7 に示す。

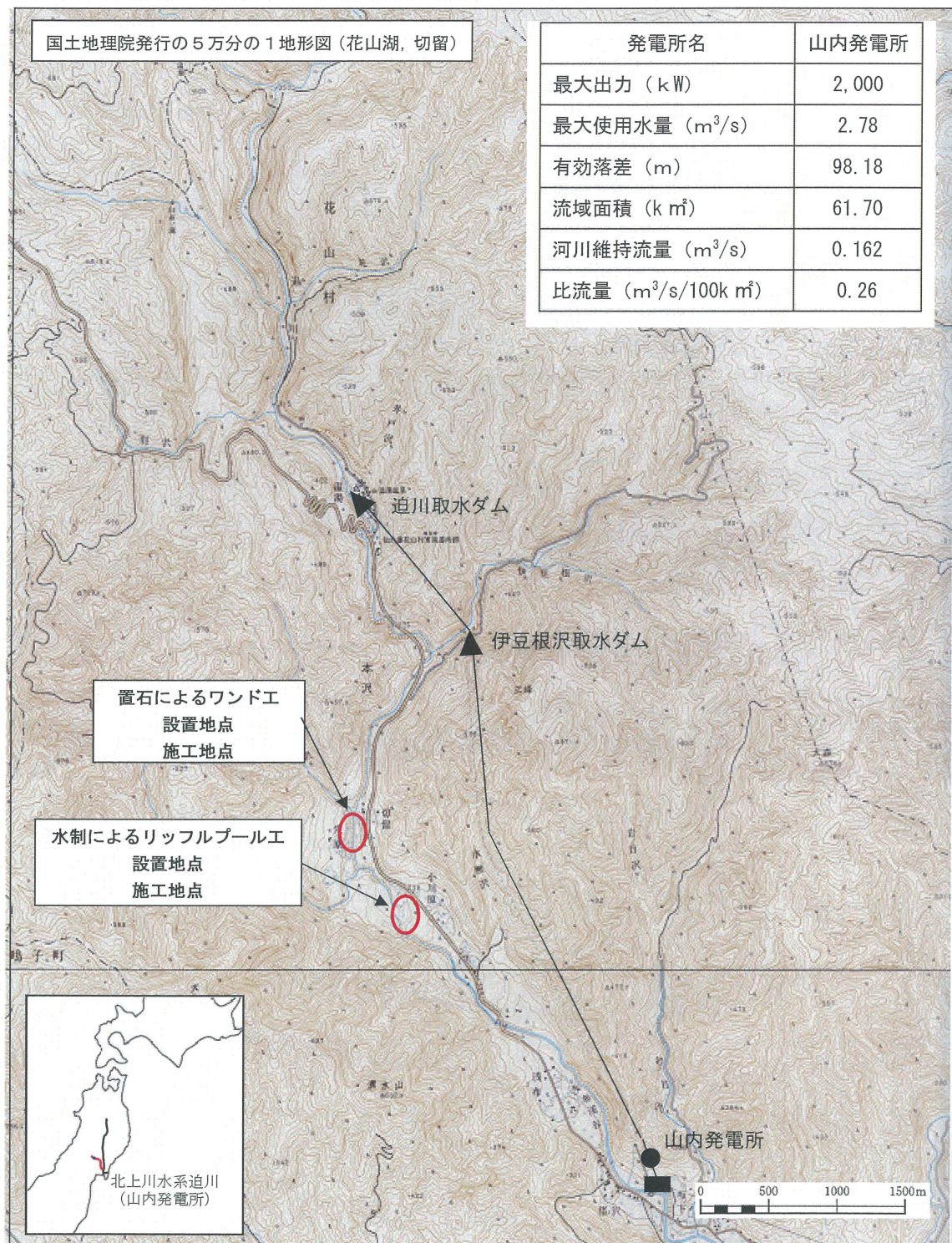


図 5-3-5 北上川水系迫川 調査地点

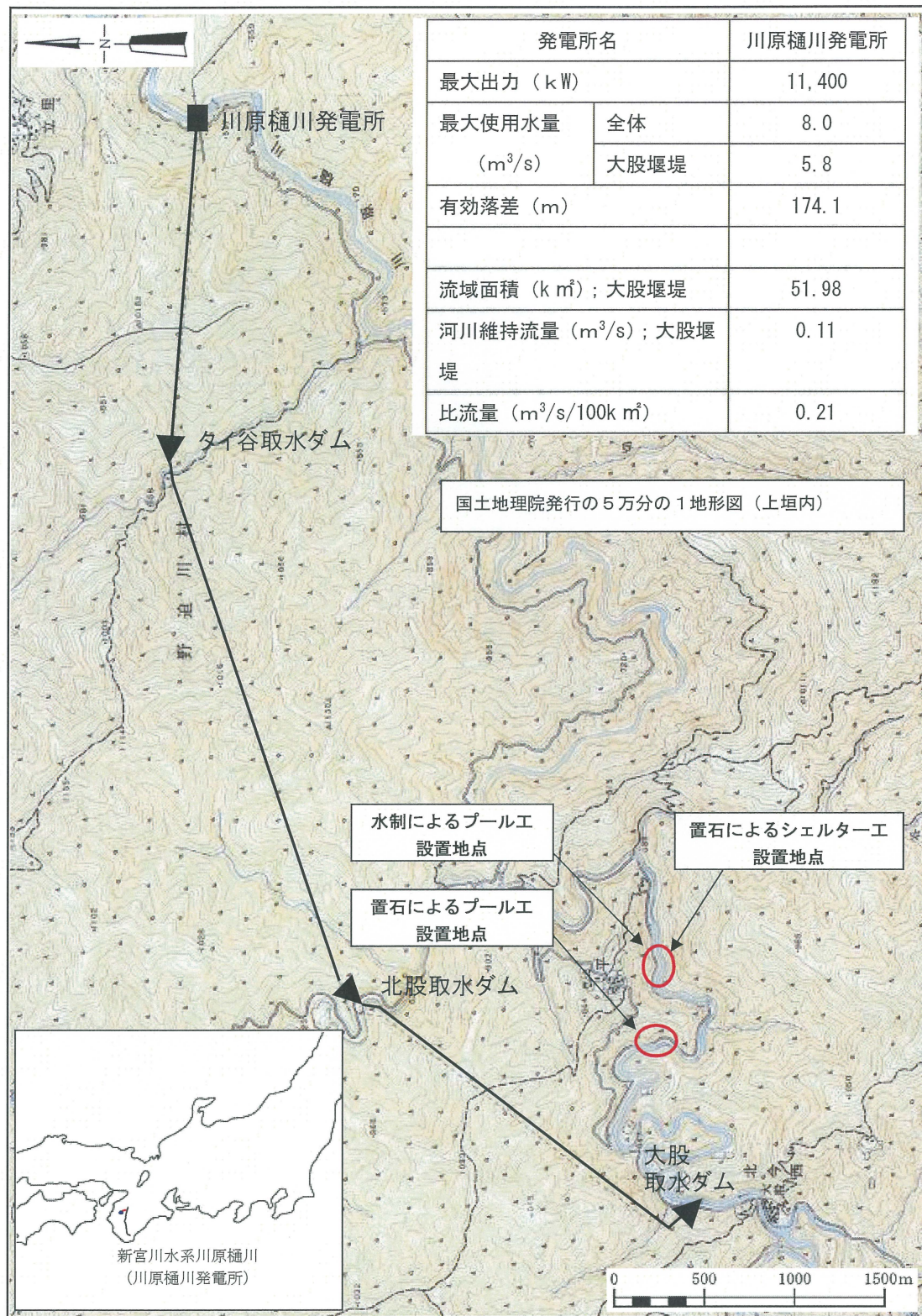


図 5-3-6 新宮川水系川原樋川 調査地点

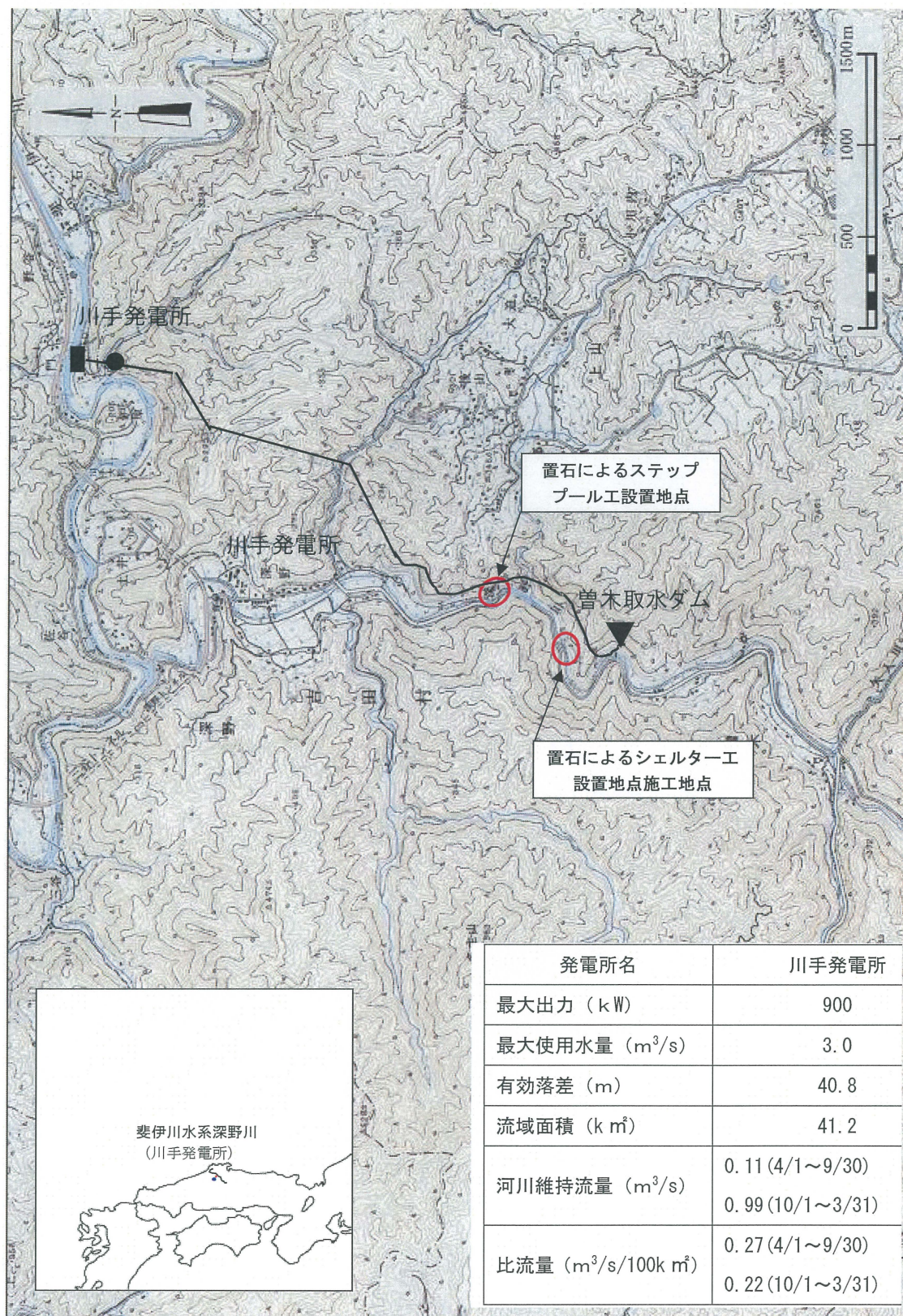


図 5-3-7 斐伊川水系深野川 調査地点

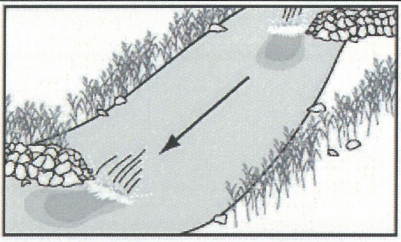
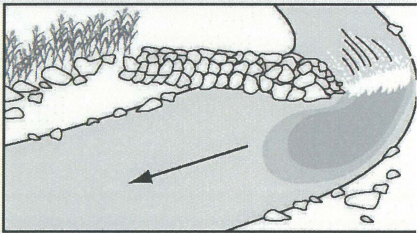
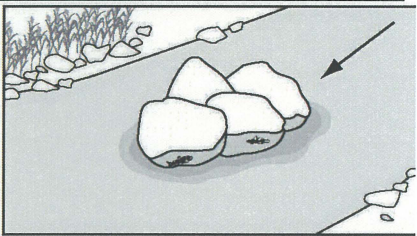
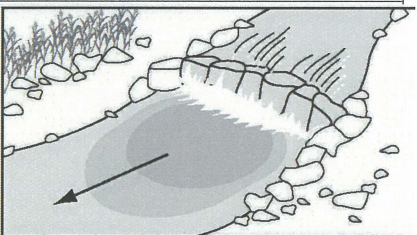
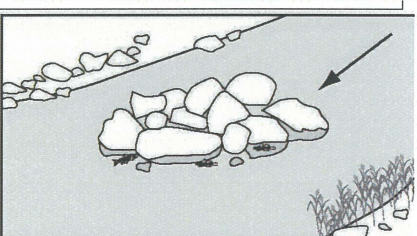
① 技術・工法の選定及び調査方法

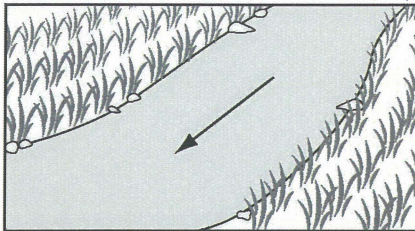
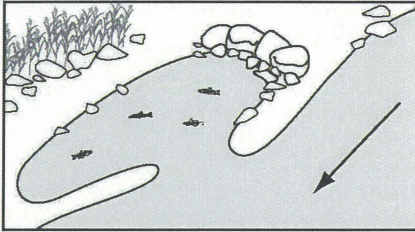
7. 検討対象の技術・工法

検討の対象とした技術・工法は7種あり、それらの技術内容と構造の概略図を表5-3-6に示す。

それらの中から調査対象河川の地形的特性、流況、魚種とその生態等を考慮し、調査の対象として適用する技術・工法を選定した。その概要と目的を表5-3-7に示す。

表 5-3-6 河川環境回復技術の概要

河川環境回復技術		技術の説明	概略図
隠れ家等の機能を創出する技術	瀬・淵構造を創出する技術	水制による リップルプール工(*)	
		水制による プール工	
		置石による プール工	
		置石による ステッププール工	
		置石による シェルター工	

	水際植生工	水際に植生工を施工し、水際に魚類の隠れ家を創出する。	
	置石によるワンド工	川原に置石を行い、出水時に置石の周囲を深掘れさせることによりワンドを創出する。	

(*)： リップルプール (Riffle Pool) とは、Riffle (瀬、早瀬、急流など) と Pool (淵、水た溜まりなど) を組合わせたもの。

表 5-3-7 各工法の概要と目的

置石によるワンド工	概要	低水路に置石をして、出水時に置石の周囲を深掘れさせることにより緩流域であるワンドを創造する。
	目的	ワンド(緩流域)という環境の創造により、魚類、底生生物および両生類の新たな生息環境を付加し、単調となった環境を多様な環境とするものである。例えば「稚魚の生育場」、「止水性の底生生物の生息環境」が出現することになる
水制によるリップルプール工	概要	低水路に置石をして水制を施工し、出水時に水制の周囲を深掘れさせ、また、水制により流路を蛇行させることにより、周辺に早瀬を創造する。
	目的	深みや強調された早瀬という環境の創造により、水深変化を増加させ、流速を増大させることで、魚類、底生生物の生息環境を多様な環境とし、さらに付着藻類の生育環境を改善するものである。例えば「魚類の行動範囲の増大」、「底生生物・付着藻類の現存量の増大」などにつながる。
擬岩によるプール工	概要	景観的にも配慮して低水路に擬岩で構造物を施工し、出水時に構造物の周囲を深掘れさせることにより、周辺に淵を創造する
	目的	規模の大きい淵:という環境の創造により、魚類等の生息環境を多様な環境とするものである。例えば「魚類の隠れ場・餌場の増大」につながる。
置石によるシェルター工	概要	低水路の浅瀬化した場所に置石を組み合わせることにより、石と石の間の空間を創造する。
	目的	石と石の間の空間という環境の創造により、魚類の生息環境を多様な環境とするものである。例えば「魚類の隠れ場の増大」につながる。
置石によるステッププール工	概要	低水路に置石をして帯工を施工し、階段状の早瀬を創造する
	目的	深みや強調された早瀬という環境の創造により、水深変化を増加させ、流速を増大させることで、魚類、底生生物の生息環境を多様な環境とし、さらに付着藻類の生育環境を改善するものである。例えば「魚類の行動範囲・隠れ場・餌場の増大」、「底生生物・付着藻類の現存量の増大」などにつながる。

イ. 設計の基本方針

- ・自然の力の利用
- ・天然材料の利用
- ・安定性の確保
 - ： 想定される以下の破壊形態に対し置石が出水時に流されないための必要粒径を求める。対象とする河川流量は、過去 10 箇年の最大規模とする。
 - ： 掃流：石が流体力の作用により転がり移動する現象に対する検討。
 - ： めくれ：流体力の作用により石がめくれる現象に対する検討。

ウ. 対象生物及び評価方法

- ・魚類
 - ： ミティゲーション技術適用前後で、種類数、個体数（密度）、全長、多様性指数等の生物指標を比較する。また、出現種の変化や行動様式の変化については、生態的知見からミティゲーション技術適用の変化かどうかを考察する。
 - ： Physical Habitat Simulation System/Model (PHABSIM) (*)によりミティゲーション技術適用前後の重みつき生息可能面積 Weight Usable Area (WUA) を全体・河床型ごとに比較し、魚種ごとに効果のある物理環境が創造できたのかを評価するとともに、メッシュごとの合成適正值 Composite Suitability Index (CSI) の分布を比較し、適正な物理環境の分布がミティゲーション技術適用後の変化予測との整合性について検討する。
 - ： 魚種ごとの適正曲線は当該河川が減水する前の状態に近いと推測される自然度の高い地点での調査結果から作成する。
- ・底生生物
 - ： ミティゲーション技術適用前後で、種類数、個体数、湿重量、多様性指数等の生物指標を比較する。
 - ： 出現種の変化については、生態的知見からミティゲーション技術適用による変化かどうかを考察する。
- ・流下昆虫
 - ： ミティゲーション技術適用前後で、供給される流下昆虫の総数が変化するかどうかを比較する。
- ・付着藻類
 - ： ミティゲーション技術適用前後で、種類数、細胞数、多様性指数等の生物指標を比較する。
 - ： 出現種の変化については、生態的知見からミティゲーション技術適用による変化かどうかを考察する。
- ・両生類
 - ： ミティゲーション技術適用前後で、種類数、個体数等の生物指標を比較する。

： 出現種の変化については、生態的知見からミティゲーション技術適用による変化かどうかを考察する。

・物理環境

： 変化する物理量について、ミティゲーション技術適用後の変化予測との整合性について検証する。

(*) Physical Habitat Simulation System/Model (PHABSIM)

「PHABSIM」とは、“Physical Habitat Simulation System/Model”の略で、ピーハブシムと呼ぶ。アメリカで開発された魚類の定量評価ツールで、日本語では「生息場の物理環境評価法」と訳されている。

PHABSIM解析は、物理環境のデータからどの程度まで対象魚種が生息可能であるか評価するもので、その手順は以下のとおりである。

- 1) 河川の対象区間をメッシュ群に分け、各メッシュごとの物理特性値を（水深、流速、底質、隠れ家）を測定する。
- 2) 各メッシュごとの出現魚種の個体数を確認することにより、各物理特性値 (SI: Suitability Index) を評価し、0~1の範囲内で数値化した各物理特性値に対応する適正曲線を作成する。
- 3) 各適正值 (SI) を掛け合わせて各メッシュごとの合成適正值 (CSI: Composit Suitability Index) を求め、この合成適正值 (CSI) に対象面積を乗じたものが「重み付き生息可能領域 (WUA: Weighted Usable Area)」となる。
- 4) 合成適正值 (CSI) から生息可能個体数を推定し、以下のように区分する。

$CSI \geq 0.85$	最適な場所 (a)
$0.25 \leq CSI < 0.85$	利用可能な場所 (c)
$CSI < 0.25$	不適当な場所 (b, d)

以上により求められた値の独立性について Thomas & Bover による「 χ^2 検定法」により、以下の二つの仮説を立てて検定基準値を計算して検定を行い、次々に棄却されることで独立性の検定結果を求めている。

第1仮説 (a) も (c) も同じ割合で魚に利用されている。これが棄却されると→第2仮説

第2仮説 {(a) + (c)} と {(b) + (d)} も同じ割合で魚に利用されている。これが棄却されると→結論へ。

結論は、魚が利用する可能性は「利用可能な場所 (c)」より「最適な場所 (a)」の方が高い、

魚が利用する可能性は「不適当な場所 (b) + (d)」より「適した場所 (a) + (c)」の方が高い。

② 調査の成果

置石によるワンド工（北上川水系迫川 山内発電所）

（河川概況）

調査箇所は、減水区間の丁度中間に位置する穴の原地点に設定した。調査範囲の河床は、上流から早瀬、淵、早瀬、平瀬と連続し、上流側は右岸岩盤を水衝部とする最大水深 3.0m 程度の淵が形成され、その下流は平瀬、早瀬が短い区間で連続していた。

平均勾配は 10/1,000 程度で、水面幅は約 20m と比較的広い。

（地点選定と設計・施工）

対照地点として右岸側の水たまりに着目し、このたまりの部分に置石をして出水時に置石の周囲を深堀させることにより「ワンド」という緩流域を創出することを目的とした。

置石の状態は出水でも変形、移動がなくワンド部分は出水時の流水で目的どおり掘れていた。ワンド部分は流況により水没したり、本流と切り離されて「溜まり化」したりするが、稚魚の成育の場、隠れ家としての機能を発揮するためには、稚魚が孵化・孵出する春季又は秋季にはワンド部分が本流と繋がり緩流域を形成するよう、流況、設置（置石）場所等を考慮した。



写真 5-3-1 着工前



写真 5-3-2 竣工後

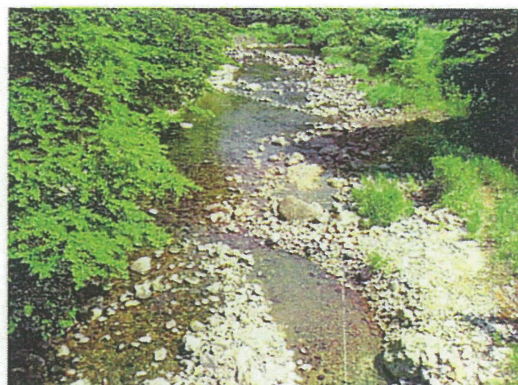
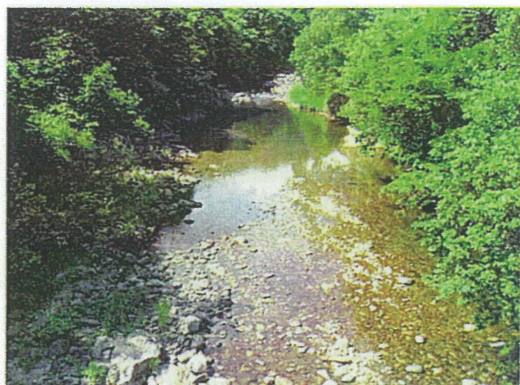


写真 5-3-3 発生した穴の原地点の淵
(効果)

写真 5-3-4 発生した穴の原地点の早瀬

迫川で確認された魚類は季節を通じてイワナ、ヤマメ、カジカの 3 種のみであった。その効果を比較するため近辺の標準的な観測地点で観測値と比較した魚類の密度率の結果は表 5-3-8 に示す通り、効果が確認された。

表 5-3-8 施工前後の季節を考慮した魚類密度変化率（迫川）（単位：倍）

地点		区分	イワナ		ヤマメ		カジカ
			未成魚	成魚	未成魚	成魚	成魚
対照地点	増減率	春季	∞	0.50	0.45	0.23	2.35
		夏季	0.00	1.90	0.00	0.61	1.09
穴の原 調査対象 区間	増減率	春季	0.85	1.00	1.05	0.25	0.23
		夏季	∞	1.96	2.80	2.11	1.49
	相対 増減率	春季	—	2.00	2.33	1.09	0.10
		夏季	∞	1.03	∞	24.13	1.37

- 1) 「対照地点」とは、河川環境回復技術の適用による変化か自然変化かを判別するために減水区間に設けた何ら手を加えない地点である。
- 2) 「増減率」は施工前の平均密度を 1 とした時の施工後の値を、「相対増減率」は対照地点の増減率を 1 とした時の値を示す。
- 3) 「相対増減率」の数値で太字表記のものは効果があったもの、イタリック体表記のものは効果がなかったもの、を示す。また「—」は判定できないもの、「∞」は当該季節に対象魚種が出現せず比較できなかったことを示す。

置石によるプール工（新宮川水系川原樋川 川原樋川発電所）

（河川概況）

調査範囲内の上流地点の河床型は、瀬、淵、平瀬、R型淵(*)と連続し、その後は右岸、左岸に流路が分かれている。左岸側の流れはM型淵(**)、平瀬となる。右岸側は連続した早瀬、平瀬と続き、合流後は平瀬、早瀬と続いている。

上流の淵尻から最下流の早瀬までの平均勾配は $15/1,000$ 程度で、水面の幅は 20～30m となっている。

* R型淵 (R=Rock) : 巨大な岩の周りに形成される淵。また、岩盤の大きな凹みや突出部の回りにも形成される。

**M型淵 (M=Meander) : 流路の屈曲部、蛇行部にできる淵。中流部では、流れが突き当たる側に岩盤のある所が多く、反対側には氾濫原の川原となっていることが多い。

（地点選定と設計・施工）

設計では、土砂が堆積した河床、変化に乏しい平瀬、早瀬となっている点と、大岩により小規模なR型淵となっている点を利用し、平瀬、早瀬の流水部分に置石をして深堀させ、小規模なR型淵を創造しようとするものである。

置石は出水時に流出しないようにするため、付近の転石の大きさを見定め大きさを決めた。また流出しないよう自然石相互を金具等で連結し自然石連結ブロックとした。

この調査地点では、台風による出水で最上流部の置石が洗堀により沈下した。中流部、下流部では移動や沈下は生じなかったが、若干変形した。河床が堆積した土砂で洗堀されやすい河川では、ある程度根入れ深さが必要である。

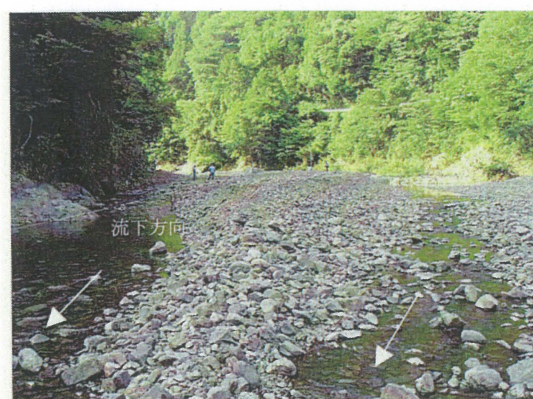


写真 5-3-5 施工前

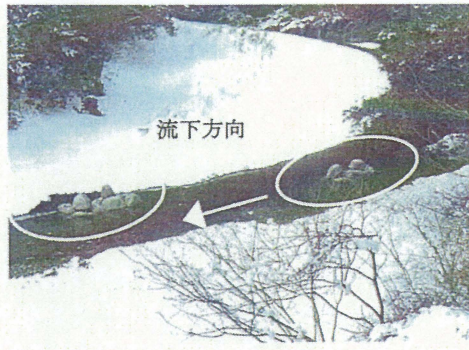


写真 5-3-6 竣工後

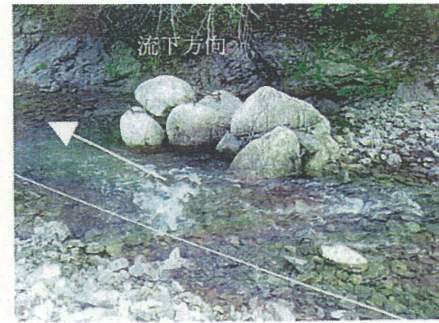


写真 5-3-7 置石の状態

(効果)

調査対象区間のける魚類密度率の相対増減率は表 5-3-9 に示すとおり、アマゴ成魚、アマゴ未成魚では春季、夏季とも効果があった。タカハヤ成魚、カワヨシノボリは春季には効果あり、夏季には効果はなかった。タカハヤ未成魚は春季には効果なし、夏季には効果ありという結果になった。

特にアマゴは成魚が春季に 3.53 倍、未成魚が夏季に 3.67 倍と顕著な効果があった。

表 5-3-9 施工前後の季節を考慮した密度変化率（川原樋川）（単位：倍）

地点		区分	アマゴ		タカハヤ		カワヨシノボリ
			未成魚	成魚	未成魚	成魚	成魚
対照地点	増減率	春季	3.67	0.17	0.40	0.25	0.63
		夏季	0.03	1.20	1.69	0.68	0.29
上流地点 調査対象 区間	増減率	春季	∞	0.60	0.09	0.33	0.78
		夏季	0.11	2.40	1.08	0.30	0.27
	比較 増減率	春季	∞	3.53	0.23	1.32	1.24
		夏季	3.67	2.00	∞	0.44	0.93

注書き 1)～3) 前出「表 5-3-8」注記参照

置石によるシェルター工（斐伊川水系深野川 川手発電所）

(河川概況)

中流地点の調査範囲内の河床は、上流から淵、早瀬、淵、平瀬、淵、早瀬、淵と短い区間で河床型が変化し、水面幅は 5～6m と狭い。比較的平坦な形状で、勾配は 10/1,000 となっている。左右岸とも岩盤帯が張り出し、河床にも岩盤が露出していて滞筋の変化はなく、上流側の淵はトロ状で水深も浅いが、下流側の淵は比較的規模が大きい。

左岸側は道路でコンクリート護岸が直立し、右岸側は岩盤又は砂礫で、両岸とも水際の植生は乏しい。

(地点選定と設計・施工)

設計は、トロ状で水深が浅い淵にを選びこの部分に置石を組み合わせることにより、魚類の隠れ家となる石と石との間の空間（シェルター）を創造することとした。

置石は自然石を大小取り混ぜて設置し、出水時に流出しないよう自然石すべてを金具で連結するとともにアンカーで河岸部と固定した。



写真 5-3-8 着工前



写真 5-3-9 竣工後

(効果)

ここでのシェルター工の効果は、表 5-3-10 に示す密度変化率では春季、夏季のカワムツ未成魚以外は効果がみられなかった。ただし、礫間の空隙部分にはカワムツやウグイの未成魚が多数利用していることも観測され、隠れ家としての機能は果たしていると思われる。

表 5-3-10 施工前後の季節を考慮した密度変化率（深野川）（単位：倍）

地点		区分	カワムツ		ウグイ		カワシノボリ
			未成魚	成魚	未成魚	成魚	成魚
対照地点	増減率	春季	0.14	0.28	2.50	2.14	0.92
		夏季	0.63	0.97	1.35	1.68	0.69
上流地点 調査対象 区間	増減率	春季	0.83	0.04	1.53	0.12	0.50
		夏季	1.08	0.28	1.15	0.53	0.52
	比較 増減率	春季	5.93	0.14	0.61	0.06	0.54
		夏季	1.71	0.29	0.85	0.32	0.75

注書き 1)～3) 前出「表 5-3-8」注記参照

水制によるリップルプール工（北上川水系迫川 山内発電所）

（河川概況）

調査を行った小川原地点の河床型は、上流側から平瀬、早瀬、淵、平瀬と連続し、点在する転石等により部分的に流速が速くなる部分と平瀬状の部分が横断的に混在している。

水面幅は 20～30m と比較的広く、平均勾配は 10/1,000 程度となっている。

（地点選定と設計・施工）

調査対象範囲の上流側の平瀬から早瀬に変わる部分は、川幅が広く流速が比較的緩やかで、縦断方向の地形変化が少ないため、この短調な部分に瀬・淵（Riffle Pool）構造を創出することとした。

この技術は、流水部に複数の水制を施工することで流路を蛇行させるとともに出水時に水制の周辺を深堀させて瀬・淵を創出しようとするものである。

水制に利用する石は、周辺に点在する転石の大きさを参考に選定し、出水時に流出しないよう石を金具で連結して一体化させることとした。



写真 5-3-10 着工前



写真 5-3-11 竣工後



写真 5-3-12 水制竣工後



写真 5-3-13 小川原地点に発生した淵



写真 5-3-14 小川原地点に発生した瀬

(効果)

小川原地点の調査対象区間における魚類密度の相対的な増減率では、表 5-3-11 に示す通り季節を通じてカジカ成魚は効果なし、イワナ未成魚及び成魚、ヤマメ未成魚及び成魚では効果がありという結果になった。

表 5-3-11 施工前後の季節を考慮した魚類密度変化率（迫川）（単位：倍）

地点		区分	イワナ		ヤマメ		カジカ
			未成魚	成魚	未成魚	成魚	成魚
対照地点	増減率	春季	∞	0.50	0.45	0.23	2.36
		夏季	0.00	1.90	0.00	0.61	1.09
小川原 調査対象 区間	増減率	春季	0.70	0.75	0.69	0.58	0.25
		夏季	5.40	2.77		4.15	0.94
	相対 増減率	春季	—	1.50	1.53	2.43	0.11
		夏季	∞	1.46	—	6.80	0.86

注書き 1)～3) 前出「表 5-3-8」注記参照

また、竣工後に出現した淵に図 5-3-9 に示すような魚類の新たな生息域が発生したのが観測された。

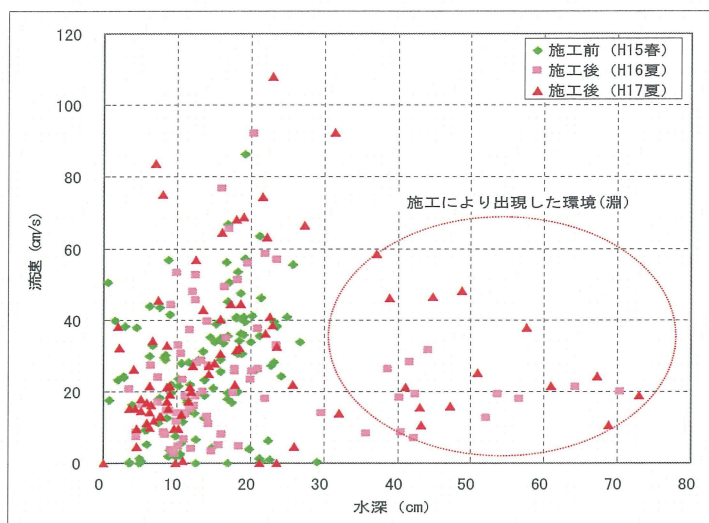


図 5-3-9 流速／水深グラフ

③ 河川環境回復技術・工法の選定、施工、維持管理

河川環境回復技術・工法については、河川の形態、減水区間の状況、魚種の生態等を勘案して瀬・淵構造を創出するため最も適したものを選定する必要がある。その際の一般的な留意点（問題点）などを表 5-3-12(1)、表 5-3-12(2)に示す。

また、工法の設計、施工に際して、河川環境影響緩和の趣旨をよく理解し、できるだけ当該施工区間内の河川域に点在する土石等を利用するよう心掛け、域外からの資材の利用は最小限に抑えるような創意、工夫も必要である。

維持管理に入ってから、出水等で創成された淵や瀬が流出、損傷を受けることも考慮し修復についての方策も検討しておく必要がある。

施工、維持管理上の留意すべきこと等を表 5-3-13 に示す。

表 5-3-12(1) 瀬・淵構造を創出する技術の選定条件及選定上の留意点（問題点）

瀬・淵を創出する技術	選定条件	選定上の留意点（問題点）
水制によるリップルプール工	・川幅が広く、単調な河川に瀬・淵構造を創出する地点。 ・河床勾配がやや急である地点。 ・川幅が比較的広く、比較的流量が多い地点。	・河道変化を利用した瀬・淵構造であるため、上下流を含めた周辺への影響を考慮する必要がある。

水制によるプール工	・ 流下断面積を縮小する事により瀬・淵構造が創出できる地点。 ・ 河床に砂礫が堆積し、洪水時の掃流力により淵が創出できる地点。 ・ 河床変動が比較的大きく、河床材料が、主に砂利、粗砂である地点。	・ 河道変化が生じるため、水制工の上下流の流心変化を予測しておく必要がある。 ・ 水制による流下断面積の縮小により洪水時の衝撃力の増大に注意しておく必要がある。
置石によるプール工	・ 単調な河川に、小規模な瀬・淵構造を創出できる地点。 ・ 出水時に主流部となる地点。	・ 河床に岩盤が存在し、出水時に河床砂礫が掃流され淵が創出できる場所を選定する。 ・ 給砂量により、置き石が陸化、埋没する心配のない場所を選定する。
置石によるステッププール工	・ 河川勾配が急で、単調な河川に瀬・淵構造を創出できる地点。 ・ 河床勾配が急であり、射流状態である地点。 ・ 河川幅が比較的狭い、もしくは縮小が可能な地点。	・ 河川勾配が急であるため、洪水時の転石等による構造物の安定性を考慮する必要がある。 ・ 給砂量の多い地点では、設備の埋没について事前に検討しておく必要がある。

表 5-3-12(2) 隠れ家等の機能を創出する技術の選定条件及び選定上の留意点（問題点）

隠れ家機能を創出する技術	選定条件	選定上の留意点（問題点）
・水制によるリップルプール工 ・水制または置き石によるプール工 ・置き石によるステッププール工 （これらの技術により創出される淵は隠れ家としての機能も併せ持つ。）	・隠れ家となる淵を創出する必要がある地点。 ・リップルプール工、ステッププール工については、瀬・淵構造創出の選定条件を参考とする。	・河床に岩盤が存在し、洪水時の大流量によって河床砂礫が掃流され岩盤が露出する必要がある。 ・給砂量が多い場合は、置き石等が陸化、または埋没する可能性がある。
置き石によるシェルター工	・稚仔魚の生息場を確保する必要がある地点。 ・河辺林等魚類の隠れ家がない地点。 ・河原にワンド等の稚仔魚の隠れ家がない地点。	・河床に岩盤が存在し、シェルター工が沈下しない場所を選定する。 ・給砂量に対し、埋没、陸化の心配のない地点を選定する。
水際植生工	・水際に稚仔魚の生息場を創出できる地点。 ・水際が緩勾配になっている地点。	・洪水時に水際植生の着層部が流出する恐れがない場所を選定する。 ・水位変動に対応した水際植生を選定する。
置き石等によるワンド工	・河原が存在し、稚仔魚の生息場ができる地点。 ・洪水時に緩流域を創出する必要がある地点。	・水位変化に対し、干上がり又は水没の影響がない流況の地点を選定する。

表 5-3-13 施工・維持管理上の留意点

河川環境回復技術	施工・維持管理上の留意点
・水制によるリップルプール工及び水制によるプール工	①水制工は先端部が洗掘されるため、路床工等を検討する必要がある。 ②連結ブロックを使用する場合は水制全体を一体化するようチェーン等連結金具で連結する必要がある。 ③特に先端部については、大きな力が加わり洗掘される部分であり、補修など維持管理が必要となる場合がある。
置石によるプール工	①河床に岩盤が存在し、構造物が沈下しない場所を選定する必要がある。 ②出水により構造物が流失しないよう、チェーンやアンカー等で岩着させる必要がある。 ③砂防河川等給砂量が多い河川では構造物が陸化、または埋没する可能性がある。
置石によるステッププール工	①河川勾配が急であるため、洪水時に転石等が衝突し構造物が流失しないよう固定する必要がある。 ②出水により流下してきた土砂がプール内に堆積することもあり、砂防河川等、土砂の供給量の多い河川では、流下してくる土砂により埋没しないような場所を選定する必要がある。
置石によるシェルター工	①河床に岩盤が存在し、構造物が沈下しない場所を選定する必要がある。 ②出水により構造物が流失しないよう、チェーンやアンカー等で岩着させる必要がある。 ③砂防河川等給砂量が多い河川では構造物が陸化、または埋没する可能性がある。
置石によるワンド工	①年間の出水の状況によりワンド部分は水没したり、本流と切り離されて、溜まり化したりする。稚仔魚の生育場、隠れ家としての機能を発揮させるため、特に稚仔魚がふ出する春季、または秋季に、ワンド部分が本流とつながり緩流域が形成されるよう、流況、設置場所等を考慮して施工する必要がある。また、湧水箇所への設置が有効である。
水際植生工	①実証試験では実施していないが、植物を植栽する際には出水により流失しないような植栽基盤を検討する必要がある。 ②水位変動に対応した水際植生を選定する必要がある。

④ 河川法上の手続き

減水区間の河川環境を回復するためワンド、リップル・プール等を形成する作業を行う場合、作業域は河川区域内となるため河川法の規定に留意する必要がある。河川法で関係する条項と、留意すべき点を以下に示す。

第 24 条（土地の占用の許可）

第 26 条第 1 項（工作物の新築等の許可）

第 27 条（土地の掘削等の許可）

河川区域内に点在する土石等を利用したワンド、リップル（瀬）、プール（淵）などを形成する作業は、河川流水の減水による河川環境への影響を緩和、回復することを目的に行うものであり、形成された瀬や淵は河川そのものを構成するものである。また、人為的な掘削等はできるだけ避け、河川流水の作用による掘削、堆積等に期待して施工するものであることから、上記各条項の適用、手続きの要否については、具体的な作業内容に照らし十分な検討が必要である。

いずれにせよ、関係各条項の適用の有無などについては河川管理者への問い合わせ、相談、協議等が必要である。

なお、施工後出水等で形状が変わり、これを回復する作業を行う場合、又はその後河川管理上の支障が生じた場合等対応についても検討を行っておく必要がある。関係する条項としては次のようなものがある。

第 20 条（河川管理者以外の者が施工する工事等）

第 29 条（河川の流水等について河川管理上支障を及ぼすおそれのある行為の禁止、制限又は禁止）

また、参考資料として次のようなものがあり、いずれも国土交通省のホームページで公開されているので参考にされたい。

- ・「小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」（平成 26.6 国土交通省）
- ・「小水力発電設置のための手引き」（平成 26.6 国土交通省）

特に後者の「小水力発電設置のための手引き」には、河川区域内に設置する場合のみならず農業用水路、砂防施設、ダム、堰等の施設を利用した水力発電所の事例も紹介されている。

(3) 減水区間に対する河川景観対策

1) 河川流量と景観

減水区間に対する維持流量の目的として「魚類など動植物の保護」に次いで 2 番目に多いのが「景観対策」であった。

眺望・景観については、河川空間を構成する河川水面や河川岸、堤防、橋や栈橋などの河川構造物、さらに遠景や逆さ風景などを含む、様々な要素が関係する。また、河川流量変動や季節毎の風景なども関係する。

河川流量との関係については、河川横断では河川空間に占める水面幅が支配要因である

が、植生や岩の露頭形状なども考慮する必要がある。縦断では、蛇行形状や早瀬、淵の構成を考慮する必要がある。

滝など一部の観光資源を除いて、眺望・景観と流量の関係が重要となる地点は限られている。局所的な地点における、早瀬部分の水面幅を確保するための必要流量が最も支配的になることが多い。

2) 減水区間における景観対策

河川区間の景観については、「ガイドライン」(*)では以下のように記されている。

(3) 景観

視覚的に満足を与える程度の流量と水質が要求される。なお、川下りの観光船がある河川においては、1.(舟運)に対すると同様の考慮が必要となる。

(*) p 5-11 参照

ガイドラインでは、景観保持については、上記のとおり簡単な抽象的な記述がなされているが、観光放流が行われている所では、それぞれの観光の状況に応じて季節的、時間的等の変化を持たせるなど、地域特性を考慮した運用が行われている所が多い。

定められた視点からの河川眺望に支障を来すような所では、周辺の景観と調和した河川景観が保てる程度の水量を確保するための一定量の放流が必要であるが、河川景観として違和感が生じないならば、流水に限ることなく、必要な一定区間の止水域を形成できるよう工夫を施し、止水域を保持しつつ止水域間をつなぐ滞筋ができる程度の補充的放流についても検討すべきであろう。

景観保持のためからは川幅の確保が考慮されている所が多く、通常の川幅の20%程度を保持できるよう維持放流量を設定している所が多い。

減水区間全体が景観の対象となる所はまれであり、観光的スポットなど視点を確定し、限定する必要がある。少なくとも、観光客が入り込むことが少ない場所、又は全く入り込まない所等は検討の必要はないと思われる。

減水区間における景観対策のための維持放流を行っている主な事例を参考資料 2.7 に示す。また、そのほかの景観対策、評価手法等については、「5.4(3) 水力発電設備の景観対策」で詳述する。

5.4 水力発電設備の環境保全対策

(1) 魚類の迷入防止対策

水力発電所の取水口、放水口に迷入してくる魚類も多くみられ、これまでも多くの水力発電所で多種の迷入防止対策が講じられている。

1) 迷入防止対策の分類

取放水口などにおいて魚類の迷入に対し、どの段階で対応するかという観点から基本的な考え方を分類する場合、以下の4種類に分類することができる。(図5-4-1)

① 取放水口接近防止対策

取放水口に近づかないように河川、湛水池内において迷入防止対策を行う。

迷入防止装置例としては、スクリーンやネット等を取放水口前面に設置し魚類を取水口に向かわないように誘導する施設が挙げられる。また、取水流速を河川流速より遅くすること、河川の滞筋を取水口から遠ざける等の本体施設の設計に接近防止対策を織り込む場合もある。

② 取放水口侵入防止対策

魚類が取放水口に接近しても侵入できないよう迷入防止対策を行う。

迷入防止装置例としては、スクリーン・ネットの設置、赤色板・赤色照明、気泡カーテン、電気スクリーンなど魚類の忌避反応を促す装置、落差の創出や水噴流などにより魚類の遊泳力を超える流況を発生させることにより侵入できないようにするものがある。

③ 自力帰還による迷入防止対策

魚類が取水口に侵入した場合に、行動習性や忌避反応により方向を転じ、自らの遊泳力により河川に戻ることを可能とする迷入防止対策である。

この対策では、行動習性や忌避反応を促す装置が取放水口内にあり、取放水口流速が対象魚の遊泳速度以下であることが必要である。

④ 強制帰還による迷入防止対策

取放水口に侵入した魚類を、強制的に河川に戻す迷入防止対策である。

迷入防止装置としては、トラベリングスクリーンなどのように除塵装置を用い、塵芥と魚類を分離し帰還水路を通じて河川に戻すものがある。沈砂池などにおいて魚類の走光性を利用して水面付近に仔魚を集め、河川に戻す方法もある。

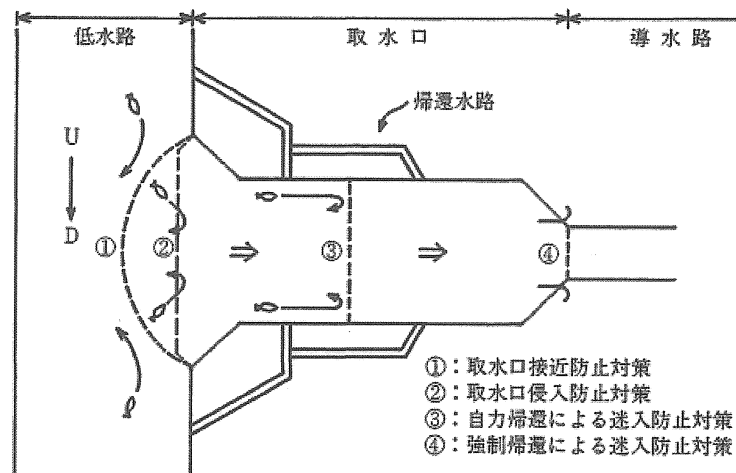


図 5-4-1 魚類迷入対策概念図

2) 迷入防止対策の手法と概要

水力発電所の取放水口における迷入防止対策は、減水区間と並んで魚類保護のための施策としてこれまで各地の水力発電所で対策が行われてきている。

対策法は音波や電磁力の利用、気泡の発生など高度な手法から、迷入口の壁に魚類が忌避する色彩をペインティングする、網目の細かいスクリーンを設置する、ビニール製の吹き流しを設置するなど単純な手法まで様々な方法が講じられている。

これまで行われた事例では、後者の単純な手法を講じている発電所が多いが、中小規模の水力発電所でもその経済性を考慮しながら、これまでの事例を参考に何らかの方策を講ずることが魚類保護上、地元対策上必要と思われる。

魚類の取水口、放水口への迷入対策のための、主な手法の概要について参考資料 2.3 に示す。

(2) 魚道

ダム、取水堰等の設置により、河川が縦断方向に分断され、それまでに生息していた魚類の環境を維持できなくなる可能性がある場合には魚道の設置が必要となってくる。

また、魚道設置後についても、その効果を確認しながら維持・管理、改良等の管理を必要に応じて行っていく必要がある。魚道設置及び改良の効果は、地元住民や漁協などの地元関係者も注目するところから、特に慎重な対応が求められる。

1) 魚道の分類

魚道は、形状、水理メカニズムにより次のような種類に分類される。

- ・ プールタイプ魚道（階段式、潜孔式、アイスハーバー式等）
- ・ 水路タイプ魚道（緩勾配水路、バイパス水路、斜路等）
- ・ 阻流板（壁）式魚道（導流壁、阻流式等、デニール式等）

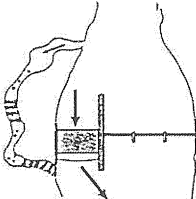
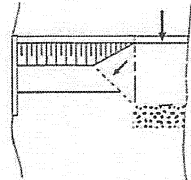
- ・ロック式魚道（閘門式、ポーランド式等）
- ・エレベーター式魚道（エレベーター式、リフト式等）
- ・シャフト式魚道（シャフト式等）

以上のうちプールタイプ魚道として、「アイスハーバー型魚道」を設置している北海道尻別川水系尻別川の「昆布、蘭越発電所(北海道電力)」の事例を参考資料 2.4 に示す。

2) 多自然型魚道

最近は、「多自然型魚道」が提唱され、設置されることが多くなってきた。その種類として表 5-4-1 に示す 3 種類の構造に分類されている。

表 5-4-1 多自然型魚道の種類

①早瀬状床止め斜面及び緩勾配床止め斜面	②近自然迂回水路	③フィッシュ・スロープ (粗石付き斜路式)
河床の段差を埋めるために出来るだけ川を緩やかな勾配にして、川の全幅に凹凸を付けた落差工である。さらに、これらと同様に本体が緩やかな勾配を持ち、目の粗い工法で作られている場合は、固定堰もこれに含む。	堰をバイパスして、自然に近い姿に作られた小川である。堰は何の変更もなく維持されるので、堰の水理的役割には影響を及ぼさない。堰に影響を受ける川の全範囲をこの迂回水路によって迂回させることができる。	魚の遡上を確保するために、できる限り緩やかな勾配で堰に直接一体化された工作物である。これは川幅の一部のみを占める。勾配とは無関係にスロープと呼ばれ、通常は流速を弱めるための阻流石や石固めが必要である。
		

(「多自然型魚道マニュアル」(社)ドイツ水資源・農業土木協会原著, (財)リバーフロント整備センター 翻訳・編集) による。

多自然型魚道の代表例として、複数の魚道を組み合わせた兵庫県武庫川水系青野川「青野ダム」の事例を参考資料 2.4 に示す。

(3) 水力発電設備の景観対策

景観については、減水区間における景観対策はで述べていているので、ここではそれ以外の水力発電所設備の景観対策について検討を行うこととする。

1) 景観についての一般概念

景観という言葉は、一般的には「風景、外景、景色、眺めまたはその美しさ」等に主に可視的事象として使われているが、風景、景色という可視事象に加えて、土地、地方という空間的概念が含まれており、ここから景観は「風景の示す像」、「地域的広がり」の二つの概念を持つと考えられる。

景観を構成する要素について見ると、景観は眺められる対象（モノ）としての＜景＞と眺める（ヒト）としての＜観＞が密接に絡み合って形成されるものであり、人間の評価を離れては意味を持たない。このことから、景観は「人間という観察者の存在を前提とした環境系において、人間の視覚によってとらえられる地域での形象、色彩、質感、雰囲気等の視覚的事象」と理解され、眺められる対象空間が都市地域の場合を「都市的景観」、自然地域の場合を「自然的景観」等として言い表すことができる。

また、景観構成要素とは景観資源とも呼ばれ、自然景観構成要素（自然景観資源）と人文景観構成要素（人文景観資源）と自然人文景観構成要素（自然人文景観資源）に大別される。

「自然景観構成要素」とは、空、山、岩石、海、河川、湖沼、水辺、田園、広葉樹林、針葉樹林、動物、植物、ふるさとの風景などの自然物をいう。

「人文景観構成要素」とは、歴史的建物、橋梁、ダム、道路、港湾、鉄塔、電柱、電線、造成地、裸地、草地、耕地、集落、寺、神社、教会、塔、城跡、庭園、船舶、列車、自動車、看板などの人工物をいう。

「自然人文構成要素」とは、溪谷を背景にした橋梁、丘陵と集落、海と航行中の船舶、道路と走行中の自動車、森林と神社、山岳と史跡、田園と城跡などのように、自然要素と人文要素が一体になったものをいう。

2) 水力発電所の景観要素

水力発電所に関連した自然河川について、景観構成要素を整理すると以下ようになる。

・自然景観構成要素

空、山、河川、森林、湖沼 等

・人文景観構成要素

ダム堤体（ゲート、取水塔、管理棟等を含め）、貯水池・調整池、調圧水槽、水圧鉄管、発電所、放水口・逆調節ダム、公園、駐車場、護岸 等

・自然人文景観構成要素

自然地形の形状によるスカイラインの見え方やダム、発電所等の人工的工作物見え方や配置、自然景観と人工物との相対的な見え方

周辺交通から視認される水圧鉄管、発電所建屋等の景観は、周辺住民等の視覚的イメージを左右することから、魚類保護等の河川環境と同様に重要である。設備の色彩や形状の決定に際しての判断材料は地点によって異なるが、設備が自然公園内に位置している場合には事業者の自主判断により茶色等の目立たない色彩が施され、自治体の整備地域に含まれる

場合のような公共性が高い問題については、主に地方自治体の意向が反映されることが多いようである。発電所施設については電気工作物があり、一般者の立ち入りを制限せざるを得ない側面があるが、地元住民に設備を開放し、発電所自体を公園化するとともに、設備のデザインを公募する等、要望への応答にとどまらず、地元に関わり掛けていく姿勢が、地元で愛着をもたれる発電所の実現につながる可能性がある。

発電所施設や土捨場の存在が地域住民に違和感を与える恐れがある場合には、緑化等による修景を実施する必要がある。植栽自体が違和感を与えないために、植栽においては地域特性に合った品種を選ぶ必要がある。また土捨場自体の形状についても、現状地形を大きく変化させることなく地形なりの形態に盛土するとともに、主たる視点場である林道沿い等に植樹を行うことも有効である。

これまで、水力発電所で実施された景観対策の代表的事例として、発電所景観に趣向を凝らした2例を以下に示す。

そのほか水力発電設備に係る景観対策の事例を参考資料2.5に示す。



写真 5-4-1 柏台発電所（岩手県）

（景勝地にあり人通りも多く、集落や生活場にも近接していて常に人の視野に入る。）



写真 5-4-2 荒谷発電所（関西電力）

（森林が景観資源となっていて、レクリエーション、余かなどの人通りが多い。）

5.5 新たな環境の創造

水力発電所、ダム・貯水池、調整池等の出現で新たな環境が生まれ、周辺環境と合わせて新たな価値を生み出している例は全国各地の水力発電所周辺で多く見られる。新たに生じた自然環境、社会的機能等の主な事例と地点としては以下のようなものがある。

- ・ 貯水池、調整池等の新たな水域環境の出現で、魚類を始めとした水生動物、渡り鳥、留鳥等の鳥類等の生息、繁殖の場が創生された。

(雨竜、小諸、神流川、有峰第一、黒部川第四、大河内、新帝釈川、一ツ瀬、天山)

- ・ 発電所、ダム・貯水池等が、新たな景観、観光のポイントとなり、観光地、保養地、スポーツ、レクリエーション、学習・教養等の場が生まれた。

また、発電所、ダム・貯水池等の施設、構内を利用した地域のコミュニケーションの場が生まれ、イベント、祭りの会場等として利用されるようになった。

(奥清津、井川、黒西第一・第二・第三、黒東第三、津賀)

以上のような、ダム・貯水池、水力発電所周辺が魚類や鳥類の生息・繁殖の場となり、新たな河川景観の創造と観光スポットの誕生、地域社会に開かれたコミュニティの場として利用されている。

また、新たな環境の創造とは多少異なるが、障害に対する対策の効果が発揮されている次のような事例も見られる。

- ・ 発電所、ダム・貯水池等の用地として一部分の植生等は消失したものの、これを契機に、残された周辺の植生、動物の成育環境の保護、監視が行われるようになり、従前の機能の回復、さらに新たな自然環境の保全が行われるようになった。

(富村、藻岩、滝里、奥只見、沼原)

- ・ 発電所、ダム・貯水池等が、周辺環境に配慮したデザイン、色彩で構築された人工美を産み出し、新たな景観が生まれた。

新たに創造された環境、景観等の価値について、これを経済価値に算定し評価する手法が検討されるようになってきた。そこで、それらの手法を基に具体的な算定方法、算定資産の結果等を参考資料 2.6 で紹介する。

6. 関係法令・手続き

6. 関係法令・手続き

6.1 関係法令・基準

水力発電開発には、自然河川を利用する場合（一般発電）と農業用水路など既設構造物の遊休落差を利用する場合（従属発電）があげられる。水力発電は水を利用することから開発にあたって関係する主要な法令は電気事業法および河川法であり、その他関係する法令は下記のとおりである。なお、地点特性および発電施設の設置位置によっては、適用のない法令もあるため、個別の検討に当たっては、どの法令の制約を受けるかについて、当該所管官公庁の指導を受けることが必要である。

【電気事業法】（昭和 39 年法律第 170 号）

【河川法】（昭和 39 年法律第 167 号）

【その他関連法令】

- ① 自然公園法（昭和 32 年法律第 161 号）
- ② 自然環境保全法（昭和 47 年法律第 85 号）
- ③ 森林法（昭和 26 年法律第 249 号）
- ④ 砂防法（明治 30 年法律第 29 号）
- ⑤ 建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）
- ⑥ 道路法（昭和 27 年法律第 180 号）
- ⑦ 国有林野の管理経営に関する法律（昭和 26 年法律第 246 号）
- ⑧ 文化財保護法（昭和 25 年法律第 214 号）
- ⑨ 消防法（昭和 23 年法律第 186 号）

これらのほか、鳥獣保護及び狩猟の適正化に関する法律（昭和 25 年法律第 108 号）、土地収用法（昭和 26 年法律第 219 号）、農地法（昭和 27 年法律第 229 号）、農業振興地域の整備に関する法律（昭和 44 年法律第 518 号）、水産資源保護法（昭和 26 年法律第 313 号）、国土利用計画法（昭和 49 年法律第 92 号）、国有財産法（昭和 23 年法律第 73 号）、地すべり等防止法（昭和 33 年法律第 112 号）等が挙げられる。

表 6-1-1 に各法令の手続き内容を示す。

また、主な基準類としては、次のものがあげられる。

- | | |
|------------------------|------------|
| ① 発電用水力設備に関する技術基準及び同解説 | （経済産業省） |
| ② 電気設備技術基準 | （経済産業省） |
| ③ 土地改良事業計画設計基準 | （農林水産省） |
| ④ 鋼構造物計画設計技術指針 | （農林水産省） |
| ⑤ 電気設備計画設計技術基準 | （農林水産省） |
| ⑥ 日本工業規格（J I S） | （経済産業省） |
| ⑦ 河川管理施設等構造令・同施行規則 | （国土交通省） |
| ⑧ 労働安全衛生規則 | （厚生労働省） |
| ⑨ 水門鉄管技術基準 | （電力土木技術協会） |

- | | |
|-----------------------|-----------|
| ⑩ 河川砂防技術基準 | (国土交通省) |
| ⑪ 電気規格調査会標準規格 (J E C) | (電気学会) |
| ⑫ 日本電機工業会規格 (J E M) | (日本電気工業会) |

許認可と届出

【許可】法令に基づき一般的に禁止されている行為について、一定の「要件」が具備した場合、その禁止を解く法律上の措置

【認可】行政機関が第三者の行為に同意を与え、その行為を法律上有効に完成させる行為

【届出】行政機関に対し一定の事項の通知をする行為であって、法令により直接に当該通知が義務付けられているもの

表 6-1-1 水力発電事業に係る主な関係法令

法 令	手 続	所 管
環境影響評価法	環境影響評価手続	環境省
急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律	急傾斜地崩壊危険区域内の行為許可	国土交通省
建築基準法	建築確認申請	国土交通省
国土利用計画法	土地売買届出手続	国土交通省
砂防法	砂防指定地内行為許可手続	国土交通省
森林法	林地開発許可等手続 伐採及び伐採後の造林の届出手続	農林水産省
地すべり等防止法	地すべり防止区域の開発前許可申請手続	国土交通省
自然公園法	行為許可申請等手続	環境省
自然環境保全法	自然環境保全地域内での開発許可申請手続等	環境省
消防法	消防法に基づく申請等	総務省
振動規制法	振動規制に関する届出手続	環境省
水質汚濁防止法	水質汚濁に関する施設設置の届出手続	環境省
水産資源保護法	保護水面での工事許可	農林水産省
絶滅のおそれがある野生動植物の種の保存に関する法律	国内希少野生動植物種の捕獲等の許可手続 生息地等保護区の管理地区内等における行為許可等手続	環境省
騒音規制法	騒音規制に関する届出手続	環境省
鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律	特別保護地区内における行為許可手続	環境省
土地改良法	土地改良財産の他目的への使用、収益等の承認手続	農林水産省
都市計画法	開発許可手続	国土交通省
道路法	道路の占用許可手続等	国土交通省
農地法	農地転用許可手続等	農林水産省
農業振興地域の整備に関する法律	農用地区域からの除外手続	農林水産省
文化財保護法	埋蔵文化財包蔵地土木工事等届出手続 史跡・名勝・天然記念物指定地の現状変更の許可手続等	文部科学省

(「事業計画策定ガイドライン (水力発電)」平成 29 年 3 月資源エネルギー庁より)

6.2 電気事業法

(1) 電気事業法の体系および目的

電気事業法は次のように体系づけられている。

第一章 総則 第二章 電気事業 第三章 電気工作物 第四章 土地等の使用 第五章 電力・ガス取引監視等委員会 第六章 登録安全管理審査機関、指定試験機関及び登録調査機関、第七章 卸電力取引所 第八章 雑則 第九章 罰則

また、電気事業法の目的は第1条で次のように定められている。

第1条（目的）

この法律は、電気事業の運営を適正かつ合理的ならしめることによって、電気の利用者の利益を保護し、及び電気事業の健全な発達を図るとともに、電気工作物の工事、維持及び運用を規制することによって、公共の安全を確保し、及び環境の保全を図ることを目的とする。

(2) 電気工作物

電気工作物は、以下のとおり、「事業用電気工作物」と「一般用電気工作物」に分類されている。また、電圧 30 V 未満の発電は、電気工作物から除外される（電気事業法第 38 条）。

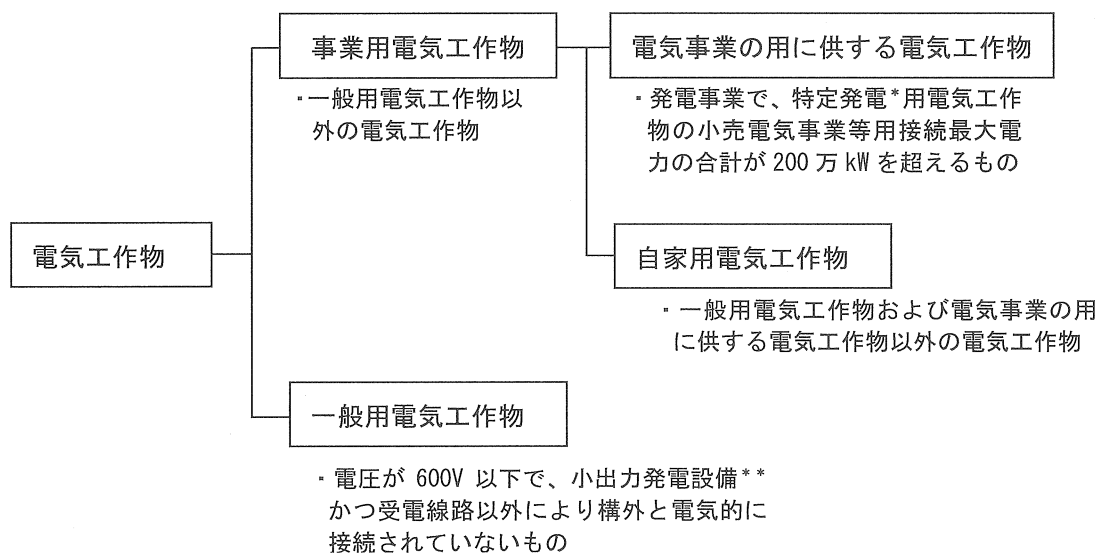


図 6-2-1 電気工作物の分類

* 特定発電

①出力が 1,000kW 以上であること、かつ②出力の値 (kW) に占める小売電気事業用等接続最大電力の値が 50%を超えること、かつ③1 年間の発電電力量 (kWh) に占める小売電気事業等の用に供する電力量が 50%を超えると見込まれること

** 小出力発電設備

出力が 20kW 未満で、特定施設（土地改良法、水道法、下水道法、工業用水道事業法に掲げられる施設）内に全ての水力設備が設置されるもの

(3) 電気工作物に係る主要な条項

事業用電気工作物に係る主要な項目は技術基準への適合、自主的な保安、工事計画及び検査である。

[技術基準への適合]

技術基準への適合については下記のとおり第 39 条で定められており、技術基準に適合していないと認められているときは適合命令を受ける。

第 39 条（事業用電気工作物の維持）

事業者は自主保安体制の整備を図るため・常に技術基準に定めるところにしたがい、電気工作物を正常な状態に維持しておかなければならない。

第 40 条（技術基準適合命令）

主務大臣は、事業用電気工作物が前条一項の主務省令で定める技術基準に適合していないと認めるときは、事業用電気工作物を設置する者に対し、その技術基準に適合するように事業用電気工作物を修理し、改造し、若しくは移転し、若しくはその使用を一時停止すべきことを命じ、又はその使用を制限することができる。

[自主的な保安]

自主的な保安を行うために、設置者は保安規定を定めるとともに主任技術者を選任しなければならない。

第 42 条（保安規程）

事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安を確保するため、主務省令で定めるところにより、保安を一体的に確保することが必要な事業用電気工作物の組織ごとに保安規程を定め、当該組織における事業用電気工作物の使用（第 51 条第 1 項の自主検査又は第 52 条第 1 項の事業者検査を伴うもの）にあつては、その工事の開始前に、主務大臣に届け出なければならない。

⇒保安規程に定めるべき事項については 8.2 保守管理を参照のこと。

第 43 条（主任技術者）

事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の監督をさせるため、主務省令で定めるところにより、主任技術者免状の交付を受けている者のうちから、主任技術者を選任しなければならない。

* 水力発電では「電気主任技術者」と「ダム水路主任技術者」の選任、届出が必要である。

** 主任技術者免状の種類

「電気主任技術者」第 1 種、第 2 種、第 3 種

「ダム水路主任技術者」第 1 種、第 2 種

⇒各免状の監督範囲については「8.3 主任技術者の責務」別表 8-3-1, 8-3-2 を参照のこと。

[工事計画]

事業用電気工作物設置者は工事計画を作成して認可または事前届出しなければならない。

第 47 条（工事計画）

事業用電気工作物の設置又は変更の工事であつて、公共の安全の確保上特に重要なものとして主務省令で定めるものをしようとする者は、その工事の計画について主務大臣の認可を

受けなければならない。ただし、事業用電気工作物が滅失し、若しくは損壊した場合又は災害その他非常の場合において、やむを得ない一時的な工事としてするときには、この限りでない。

第 48 条

事業用電気工作物の設置又は変更の工事（前条第一項の主務省令で定めるものを除く。）であつて、主務省令で定めるものをしようとする者は、その工事の計画を主務大臣に届け出なければならない。その工事の計画の変更（主務省令で定める軽微なものを除く。）をしようとするときも、同様とする。

2 前項の規定による届出をした者は、その届出が受理された日から三十日を経過した後でなければ、その届出に係る工事を開始してはならない。

(4) 各開発段階における手続き

事業用電気工作物については、各開発段階において、次のような手続きが必要である。

○計画段階（設置の工事の場合）

- ・保安規定届出 ・電気主任技術者の選任・届出 ・ダム水路主任技術者の選任・届出
- ・工事計画届出

○工事段階

- ・使用前自主検査 ・使用前自己確認（及び結果の届出） ・安全管理審査の受審

○運用管理

- ・保安規定に従った運営管理→巡視・点検及び検査による技術基準適合の確認
- ・事故報告

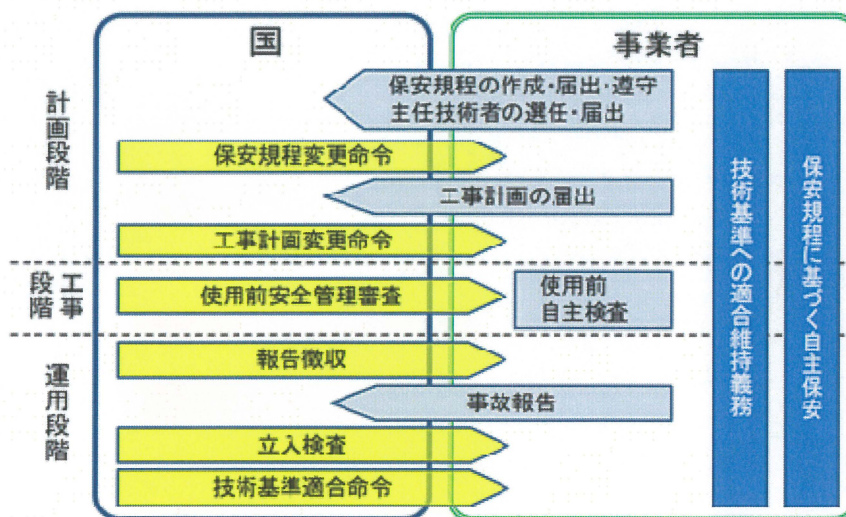


図 6-2-2 事業用電気工作物の手続き

(5) 発電設備の実態に応じた要否

発電設備の実態（出力条件等）に応じた手続きの要否は表 6-2-1 のとおりである。

表 6-2-1 発電設備の実態に応じた要否

出力等条件	保安規程	主任技術者選任		工事計画届
		電気	ダム水路	
ダムを伴う 又は最大出力200kW以上 又は最大使用水量1m ³ /s以上	要	要	要	要※
【小型のもの】 ダムを伴うものを除き かつ最大出力20kW～200kW未満 かつ最大使用水量1m ³ /s未満	要	要	不要	不要
【特定の施設内に設置されるもの】 ・農業用排水施設(ダムを除く。)に設置されるもの ・水道法、工業用水法に定める導水施設、浄水施設又は送水施設に 設置されるもの *ダムは有しない ・下水道法に定める終末処理場に設置されるもの *ダムは有しない	要	要	不要	不要
<一般用電気工作物> ダムを伴うものを除き かつ最大出力20kW未満 かつ最大使用水量1m ³ /s未満又は特定の施設内に設置されるもの	不要	不要	不要	不要

特定の施設：土地改良法、水道法、下水道法、工業用水事業法に係る施設

6.3 河川法

(1) 河川法の体系および目的

河川法は次のように体系づけられている。

第一章 総則 第二章 河川の管理 第三章 河川に関する費用 第四章 監督 第五章 社会資本整備審議会の調査審議等及び都道府県河川審議会 第六章 雑則 第七章 罰則

また、河川法の目的は第1条、河川管理の原則については第2条で次のように定められている。

第1条（目的）

この法律は、洪水、津波、高潮等による災害の発生が防止され、河川が適正に利用され、流水の正常な機能が維持され、及び河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより、国土の保全と開発に寄与し、もつて公共の安全を保持し、かつ、公共の福祉を増進することを目的とする。

第2条（河川管理の原則等）

河川は公共用物であつて、その保全、利用その他の管理は、前条の目的が達成されるように適正におこなわなければならない。

2 河川の流水は、私権の目的となることができない。

表 6-3-1 河川管理区分

管理区分	区 分 内 容	管 理 者
一級河川	国土保全上または国民経済上特に重要な水系	(直轄区間) 国土交通大臣 (指定区間) 都道府県知事
二級河川	一級河川以外で公共の利害に重要な関係があるものに係る河川	都道府県知事
準用河川	一級河川および二級河川以外で河川法の規定の一部を準用する河川	市町村長
普通河川	上記以外の小河川	市町村長

(2) 河川法に係る主要な条項

水力発電に係る主要な項目は流水の占有、土地の占有、工作物の新築等である。

[流水の占有]

河川の流水を発電の目的のために新たに利用するためには河川管理者の許可を（水利権の取得）、また農業用水等を利用する場合は河川管理者の登録を受けなければならない

第23条（流水の占有の許可）

河川の流水を占有しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。ただし、次条に規定する発電のために河川の流水を占有しようとする場合は、この限りではない。

* 水利権の分類

特定水利使用：最大 1,000kW 以上、準特定水利使用：最大 200 kW 以上、

その他：最大 200Kw 未満

第 23 条の 2（流水の占用の登録）

前条の許可を受けた水利使用（流水の占用又は第 26 条第 1 項に規定する工作物で流水の占用のためのものの新築若しくは改築をいう。以下同じ。）のために取水した流水その他これに類する流水として政令で定めるもののみを利用する発電のために河川の流水を占用しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の登録を受けなければならない。

＊慣行水利権を利用した従属発電用水利権への登録制の適用

慣行水利権を利用した従属発電用水利権については、その従属関係が確認できれば、登録制を適用できるとされている。従属関係を確認する方法については、国土交通省より「慣行水利権に係る小水力発電の水利使用手続の簡素化について」（平成 25 年 12 月 11 日付け国土交通省水管理・国土保全局水政課水利調整室長）により通知されている。

http://www.mlit.go.jp/river/riyou/syosuiryoku/131211_kankou_kansoka.pdf

〔土地の占用〕

第 24 条（土地の占用の許可）

河川区域内の土地（河川管理者以外の者がその権原に基づき管理する土地を除く。以下次条において同じ。）を占用しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。

〔工作物の新築〕

第 26 条（工作物の新築等の許可）

河川区域内の土地において工作物を新築し、改築し、又は除却しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。河川の河口附近の海面において河川の流水を貯留し、又は停滞させるための工作物を新築し、改築し、又は除却しようとする者は、同様とする。

〔その他〕

工事において河床掘削、掘削土石を捨てる行為などが発生する場合には、次の許認可手続きが必要である。

・土砂等の採取（第 25 条）　・土地の掘削等（第 27 条）　・河川保全区域における行為の許可（第 55 条）

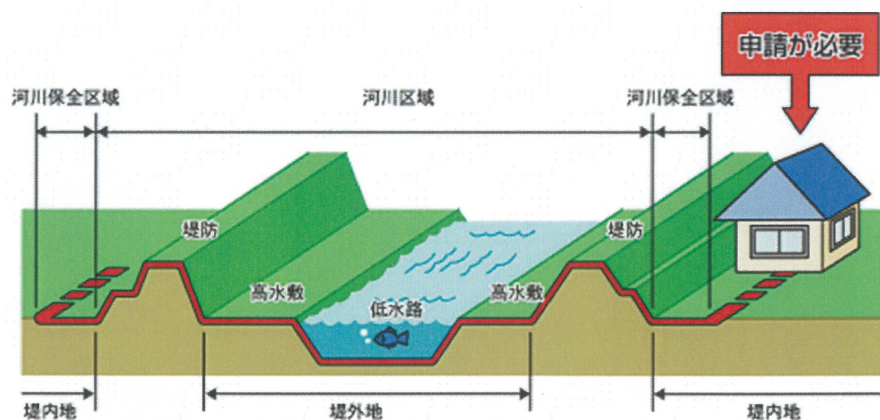


図 6-3-1 河川区域・同保全区域

(3) 小水力発電に係る許認可手続きの簡素化

国土交通省は、小水力発電（1,000kW）のために行う水利使用について、一級河川の指定区間では従来大臣許可としていたものを、より地域に身近な都道府県知事等の許可で足りること等とし、許可期間の短縮および申請者の負担の軽減を図っている。具体的な手続きは表6-3-2のとおりである。

表 6-3-1 水利使用区分ごとの手続き（国土交通省 HP より）

区分	特定水利使用 (最大出力1,000kw以上)			準特定水利使用 (最大出力200kw以上1,000kw未満)			その他 (最大出力200kw未満)
	処分権者	認可等	協議等	処分権者	認可等	意見聴取	処分権者
一級河川	指定区間	国土交通大臣 〔整備局長〕	—	関係行政機関の長の協議 関係都道府県知事意見聴取	都道府県知事	—	都道府県知事
				指定都市の長	整備局長認可	指定都市の長が 関係都道府県知事意見聴取	指定都市の長
区分	特定水利使用 (最大出力1,000kw以上)			特定水利使用以外 (最大出力1,000kw未満)			
	処分権者	認可等	協議等	処分権者	認可等	意見聴取	
一級河川	直轄区間	国土交通大臣 〔整備局長〕	—	関係行政機関の長の協議 関係都道府県知事意見聴取	整備局長	—	—
	二級河川	都道府県知事	国土交通大臣 同意付協議 〔整備局長 同意付協議〕	(大臣が)関係行政機関の長の協議 (知事が)関係市町村長意見聴取	都道府県知事	—	—
	指定都市の長		(指定都市の長が)関係都道府県知事 及び関係市町村長意見聴取	指定都市の長			

 : 発電について新たに水利使用区分が設けられたところ

[一級河川の指定区間]

・準特定水利使用

許可等の処分の権限を国土交通大臣から都道府県知事等へ委譲。

関連手続きは、関係行政機関の長（経済産業大臣等）との協議や関係地方公共団体の長からの意見聴取の手続きを不要とし、国土交通大臣による認可のみ（指定都市の長が許可する場合は、関係都道府県知事への意見聴取有）。

・その他の水利使用

許可等の処分の権限を国土交通大臣から都道府県知事等へ委譲。

協議、意見聴取及び国土交通大臣による認可手続きは不要。

[一級河川の直轄区間]

・特定水利使用以外

協議及び意見聴取の手続きは不要。

[二級河川]

・特定水利使用以外

協議、意見聴取及び国土交通大臣による同意付協議の手続きは不要。

6.4 固定価格買取制度

(電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法：FIT 法)

(1) 固定価格買取制度の概要

平成 24 年 7 月 1 日に施行された「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」は、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスによって発電した電力を、電気事業者に一定の期間、価格で買い取ることを義務づけるとともに、再生可能エネルギーを買い取る費用を、電気を使用する者がそれぞれの使用量に応じて、「賦課金」という形で電気料金の一部として負担するというものである。

FIT 法の導入により、再生可能エネルギーの導入は飛躍的に伸びたが、安全性の確保や発電能力の維持のための十分な対策が取られない、防災・環境上の懸念等をめぐり地域住民との関係が悪化する等、種々の問題が顕在化してきた。そこで、適切な事業実施の確保を図るため、資源エネルギー庁は平成 28 年 6 月に FIT 法を改正し、平成 29 年 4 月から施行されている。

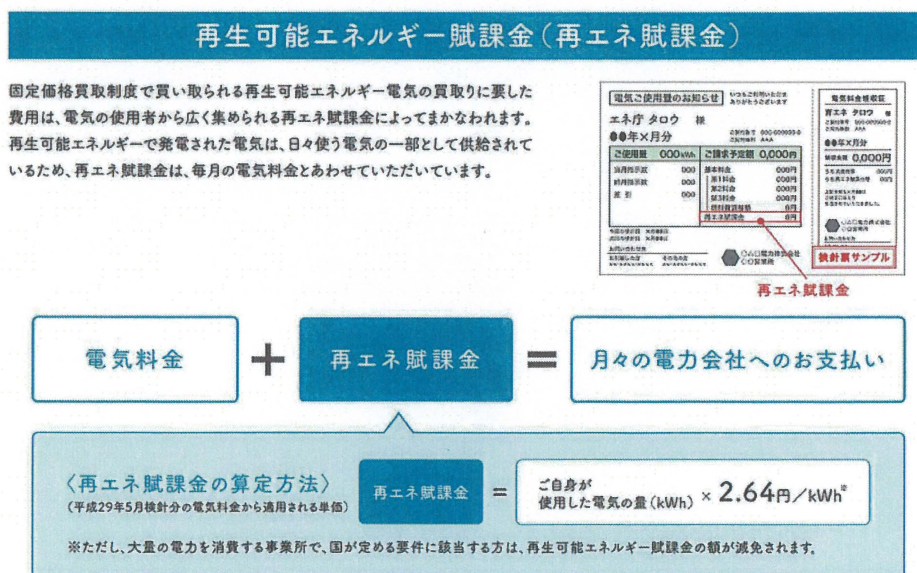


図 6-4-1 再生可能エネルギー賦課金

(「再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック」2017 (平成 29) 年度版資源エネルギー庁)

電気事業者が買い取る価格・期間については、再生可能エネルギー源の種類や設置形態、規模等に応じて、中立的な第三者委員会（調達価格等算定委員会）が公開の場で審議を行い、経済産業大臣がその委員会意見を尊重して、買取価格・買取期間を毎年度告示することが定められている。

平成 29 年度～31 年度の 3 ケ年における水力発電に係る買取価格・買取期間は表 6-4-1 のとおりである。

表 6-4-1 発電電力量ごとの買取価格及び期間（平成 29 年度時点：税抜）

調達区分	5,000 kW 以上 30,000kW 未満	1,000kW 以上 5,000kW 未満	200kW 以上 1,000kW 未満	200kW 未満
買取価格	20 円/kWh	27 円/kWh	29 円/kWh	34 円/kWh
買取期間	20 年間	20 年間	20 年間	20 年間

(2) 改正 FIT 法における新固定価格買取制度

FIT 法の改正により、固定価格買取制度も新しく見直された。主な新しい内容は次のとおりである。

1) 設備認定から事業計画認定へ

従来は発電設備に対する基準に基づいて設備認定していたが、新制度では①事業内容の適切性（運転開始後も含めて）、②事業実施の確実性、③設備の適切性に関する基準を加えて事業計画を認定することになった。

2) 認定基準

新制度による認定基準は改正 FIT 法第 9 条第 3 項および同施行規則第 5 条に規定されている。水力発電に係る主な認定基準は次のとおりである。

【事業の内容が基準に適合すること】

- ①適切に保守点検及び維持管理するために必要な体制を整備し、実施するものであること
- ②系統安定化等について適切に発電事業を行うこと
- ③外部から見やすいように事業者名等を記載した標識を掲げるものであること
- ④設置に際し要した費用、運転に要する費用、発電量等に関する情報について経済産業大臣に提供するものであること
- ⑤発電設備の廃棄その他事業を廃止する際の設備の取扱いに関する計画が適切であること

【事業が円滑かつ確実に実施されると見込まれること】

- ①接続することについて電気事業者の同意を得ていること
- ②設置する場所について所有権その他の使用の権原を有するか、またはこれを確実に取得することができることと認められること

【設備が基準に適合すること】

- ①発電設備に関する法令（条例を含む）の規定を遵守していること
- ②発電量を的確に計測できる構造であること

3) 買取義務者の見直し

電力を買い取る主体は、従来は小売電気事業者であったが、新制度では送配電事業者へ移行する。すなわち、従来は買取義務があるのは小売電気事業者であり、接続義務があるのは送配電事業者であったが、買取と接続の両方とも送配電事業者が担うことになる。そして送配電事業者は買い取った電力を小売電気事業者に供給する義務を負う。

4) 事業計画策定ガイドライン（水力発電）

再生可能エネルギー発電事業者における適切な事業実施の確保を図るため、認定基準として規定される保守点検及び維持管理の実施や関係法令遵守等について具体化した考え方を示すとともに、法令の規制がかからない事項について適切な実施を促すものを記載している。

（目次と内容）

第1章 総則

- ・本ガイドラインに記載する事項については、全て再生可能エネルギー発電事業者の責任において実行すべきものである
- ・水力発電事業者の他に、機器メーカー、設計事業者、施工事業者、保守点検及び維持管理を行う事業者及びコンサルタント事業者等についても本ガイドラインを参考にすること

第2章 適切な事業実施のために必要な措置

第1節 企画立案

- ・地域と共生した形で事業を実施することが重要であり、電気事業者は自治体や地域住民と積極的にコミュニケーションを図ること

第2節 設計・施工

- ・長期的な安全の確保及び発電の継続に留意した設計を基本とし、防災、環境保全、景観保全に配慮した設計、施工を適切に実施すること

第3節 運用・管理

- ・発電を継続して行うために、発電設備を適切に保守点検及び維持管理すること

第4節 撤去及び処分（リサイクル、リユース、廃棄）

- ・計画的な積立等により、事業終了後の撤去及び処分費用の適切な確保に努めること

6.5 森林法

(1) 森林法とは

森林法（昭和 26 年 6 月 26 日施行）とは、第一章 総則 第 1 条で「この法律は、森林計画、保安林その他の森林に関する基本的事項を定めて、森林の保続培養と森林生産力の増進とを図り、もって国土の保全と国民経済の発展とに資することを目的とする。」と明示されている。つまり森林法の目的は、『森林の公益的機能の保全』と『林業の活性化』に大きく区分され、森林は、水源かん養、山地災害の防止、レクリエーションの場の提供などをはじめ、多大な公益的な機能を果たしている。

また、森林法における「森林」とは、

① 木竹が集団して生育している土地及びその土地の上にある立木竹

② ①のほか、木竹の集団的な生育に供される土地

と定義されており、土地と立木竹を一体とする概念である。（法第 2 条第 1 項⇒通称 2 条森林）

そのため、②のように、伐採跡地で立木竹が生育していない場合や、産生地（立木竹がまばらに生えている土地）の場合等であっても、「供される土地」ならば「森林」となる。

このように、森林法における「森林」は現況主義であるため、不動産登記規則第 99 条に規定されている地目の「山林」とは必ずしも一致しない。

森林には、地域森林計画の対象となる民有林（森林法第 5 条対象森林）と国有林で構成され、保安林指定された保安林とそうでないもの（普通林）に区分される。

(2) 保安林とは

保安林とは、水源の涵養、土砂の崩壊その他の災害の防備、生活環境の保全・形成等、特定の公益目的を達成するため、農林水産大臣又は都道府県知事によって指定される森林のこと。保安林では、それぞれの目的に沿った森林の機能を確保するため、立木の伐採や土地の形質の変更等が規制される。

(3) 保安林の種類

保安林の種類は、その指定の目的により 17 種類に分類される。

①水源かん養保安林

流域保全上重要な地域にある森林の河川への流量調節機能を安定化し、その他の森林の機能とともに、洪水・渇水を防止したり、各種用水を確保したりする。



写真 6-5-1 石川県加賀市



写真 6-5-2 熊本県菊池市

②土砂流出防備保安林

下流に重要な保全対象がある地域で土砂流出の著しい地域や崩壊・流出のおそれがある区域において、林木及び地表植生その他の地被物の直接間接の作用によって、林地の表面侵食及び崩壊による土砂の流出を防止する。

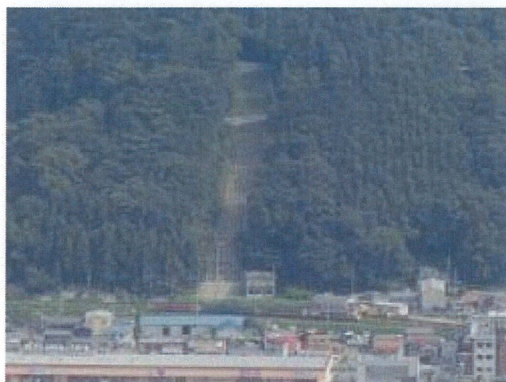


写真 6-5-3 徳島県三好市

③土砂崩壊防備保安林

崩落土砂による被害を受けやすい道路、鉄道その他の公共施設等の上方において、主として林木の根系の緊縛その他の物理的作用によって林地の崩壊の発生を防止する。

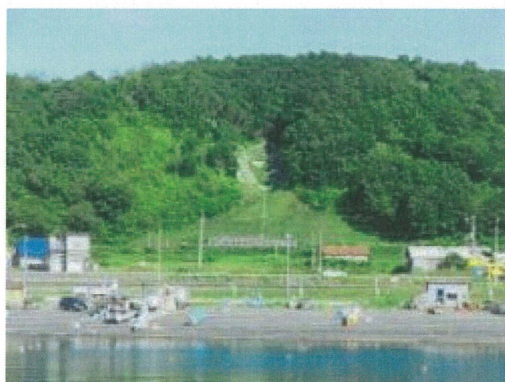


写真 6-5-4 北海道増毛町

④飛砂防備保安林

海岸の砂地を森林で被覆することにより飛砂の発生を防止し、飛砂が海岸から内陸に進入するのを遮断防止することにより、内陸部における土地の高度利用、住民の生活環境の保護を図る。



写真 6-5-5 秋田県由利本荘市

⑤防風保安林

林冠をもって障壁を形成して風に抵抗してそのエネルギーを減殺し、これを防止攪乱することにより風速を緩和して風害を防止する。



写真 6-5-6 長野県南牧村

⑥水害防備保安林

河川の洪水時における氾濫にあたって、主として樹幹による水制作用及びろ過作用並びに樹根による侵食防止作用によって水害の防止軽減を図る。



写真 6-5-7 京都府福知山市

⑦潮害防備保安林

津波又は高潮に際して、主として林木の樹幹によって波のエネルギーを減殺するほか、空気中の海水塩分を捕捉して被害を防止する。



写真 6-5-8 沖縄県石垣市

⑧干害防備保安林

洪水・渇水を防止し、又は各種用水を確保する森林の水源涵養機能により、局所的な用水源を保護する。

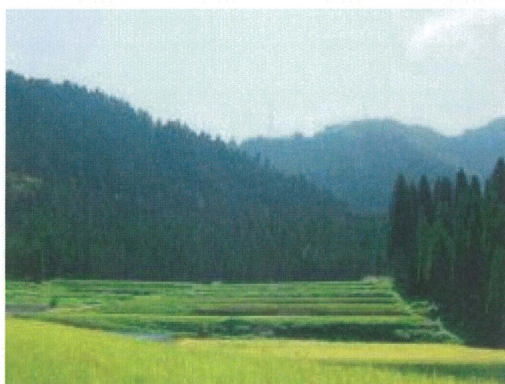


写真 6-5-9 福井県池田町

⑨防雪保安林

飛砂防備や防風保安林と同様の機能によって吹雪（気象用語では「飛雪」と呼ぶ）を防止する。



写真 6-5-10 北海道稚内市

⑩防霧保安林

森林によって空気の乱流を発生させて霧の移動を阻止したり、霧粒を捕捉したりすることで霧の害を防止する。

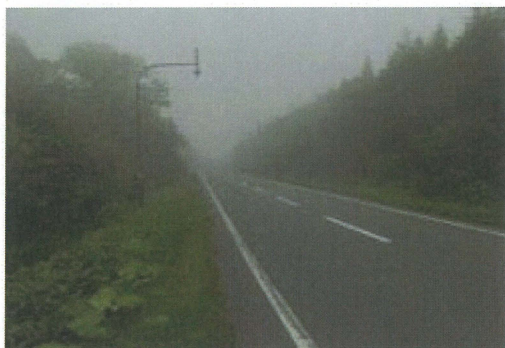


写真 6-5-11 北海道厚岸町

⑪なだれ防止保安林

森林によって雪庇の発生や雪が滑り出すのを防いだり、雪の滑りの勢いを弱めたり、方向を変えたりする等により雪崩を防止する。



写真 6-5-12 新潟県魚沼市

⑫落石防止保安林

林木の根系によって岩石を緊結固定して崩壊、転落を防止したり、転落する石塊を山腹で阻止したりすることで、落石による危険を防止する。



写真 6-5-13 岐阜県白川町

⑬防火保安林

耐火樹又は防火樹からなる防火樹帯により火災に対して障壁を作り、火災の延焼を防止する。

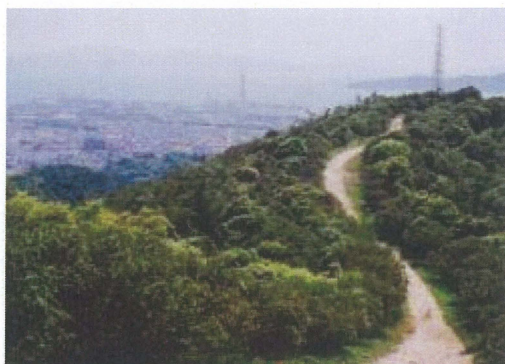


写真 6-5-14 兵庫県赤穂市

⑭魚つき保安林

水面に対する森林の陰影の投影、魚類等に対する養分の供給、水質汚濁の防止等の作用により魚類の棲息と繁殖を助ける。



写真 6-5-15 愛媛県愛南町

⑮航行目標保安林

海岸又は湖岸の付近にある森林で地理的目標に好適なものを、主として付近を航行する漁船等の目標となって航行の安全を図る。

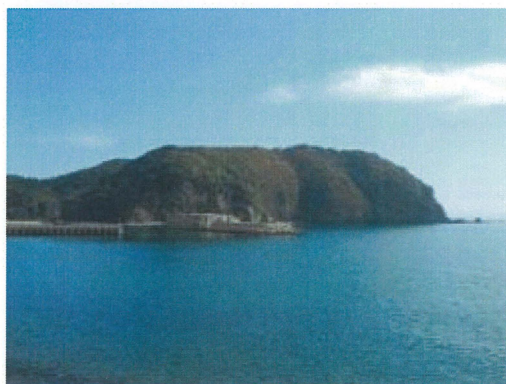


写真 6-5-16 長崎県対馬市

⑩保健保安林

森林の持つレクリエーション等の保健、休養の場としての機能や、局所的な気象条件の緩和機能、じん埃、ばい煙等のろ過機能を発揮することにより、公衆の保健、衛生に貢献する。



写真 6-5-17 群馬県みなかみ町

⑪風致保安林

名所や旧跡等の趣のある景色が森林によって価値づけられている場合に、これを保存する。



写真 6-5-18 山口県岩国市

(4) 保安林の面積

保安林の面積は、我が国の森林面積の約 5 割、国土面積の約 3 割を占めている。図 6-5-1 に保安林面積の推移を示す。さらに図 6-5-2 に保安林の種類別面積（延べ面積）を示す。

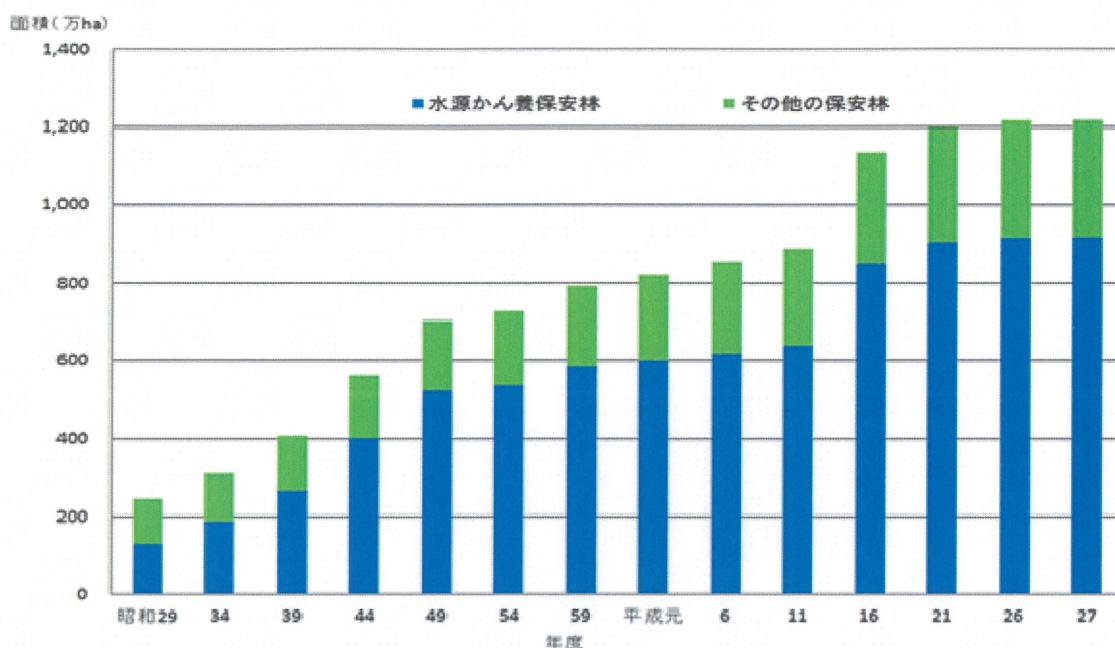


図 6-5-1 保安林面積の推移（実面積）

注：実面積とは、複数の保安林種が同一の森林に重複して指定されている場合に、重複関係を排除して算出したもの。

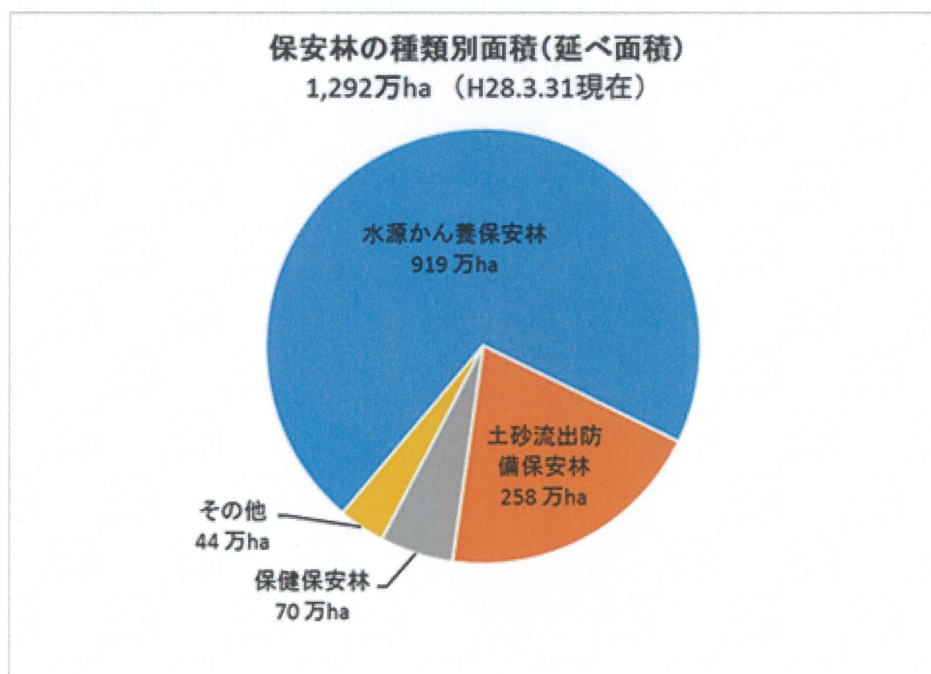


図 6-5-2 保安林の種類別面積（延べ面積）
1,292 万 ha（平成 28 年 3 月 31 日現在）

(5) 保安林における制限

1) 保安林内作業許可

森林法第 34 条第 2 項に定める保安林内における立木の伐採、流木の損傷、家畜の放牧、下草・落葉・落枝の採取、土砂又は樹根の採掘、開墾その他の土地の形質を変更する行為は、都道府県知事の許可が必要である。

【土地の形質の変更行為許可基準】

森林の管理に必要な施設（林道等）、森林の保健機能の増進に資する施設や森林の有する機能を維持代替する施設以外の目的で、

- ① 施設等の幅が 1m 未満の線的なものを設置する場合（Ex. 水路、へい、柵等）
- ② 変更行為に係る区域の面積が 0.05ha 未満で、切土又は盛土の高さがおおむね 1.5m 未満の点的なものを設置する場合（Ex. 標識、電柱、送電用鉄塔、水道施設、簡易な展望台等）
- ③ 一時的な行為であって次の 5 つのすべての要件を満たす場合（ただし、一般廃棄物又は産業廃棄物を堆積する場合は除く）
 - ア 変更行為の期間が原則として 2 年以内のもの
 - イ 変更行為の終了後には植栽され確実に森林に復旧されるものであること
 - ウ 区域面積が 0.2ha 未満のものであること
 - エ 土砂の流出または崩壊を防止する措置が講じられているもの
 - オ 切土又は盛土の高さがおおむね 1.5m 未満のものであること

* 国有保安林において行為を行う場合、土地の売払いを要しないときは作業許可の手続き、土地の売払いを要するときには解除手続きが必要となる。

参考：保安林の指定・解除の権限者

保安林の指定及び解除の権限は、表 6-5-1 に示すように、民有林のうち国土保全の根幹となる重要流域にある流域保全のための保安林（水源かん養保安林、土砂流出防備保安林、土砂崩壊防備保安林）及び国有林の保安林にあっては農林水産大臣、その他の民有保安林にあっては都道府県知事となっている。

表 6-5-1 保安林の指定・解除の権限者

所有区分	保安林の種類	流域区分(注)	指定・解除の権限者
国有林	全ての保安林	全流域	農林水産大臣
民有林	水源かん養保安林	重要流域内	
	土砂流出防備保安林	重要流域外	都道府県知事 (法定受託事務)
	土砂崩壊防備保安林		
	その他の保安林	全流域	都道府県知事 (自治事務)

(注)重要流域：2以上の都府県の区域にわたる流域その他の国土保全上又は国民経済上特に重要な流域で農林水産大臣が指定したもの

(6) 転用に係る保安林解除申請

1) 保安林級地区分

保安林解除審査の対象地として、①第1級地と、②第2級地に区分される。

① 第1級地

ア 事業施工後10年以内の治山事業施工地及び保安林整備事業、防災林造成事業等により森林の整備を実施した区域は事業施工後20年以内のもの

イ 傾斜度が25°以上のもの（25°以上の部分が局所的に含まれるものを除く）その他地形、地質等からして崩壊しやすいもの

ウ 人家、校舎、農地、道路等国民生活上重要な施設等に近接して所在する保安林であって、当該施設等の保全又はその機能の維持に直接重大な関係があるもの

エ 海岸に近接して所在するものであって、林帯の幅が150m未満（本州の日本海側及び北海道の沿岸にあっては250m未満）であるもの

オ 保安林の解除に伴い残置し、又は造成することとされたもの

②第2級地

第1級地以外の保安林

第1級地については、「公益上の理由」による解除のうち、転用の様態、規模等からみて国土の保全等に支障がないと認められるものの除き、原則として解除は行わない。

2) 保安林解除の理由

保安林解除の理由として、森林法で定められている要件は、保安林の指定理由が消滅したとき、公益上の理由により必要が生じたときの二つの場合であり、これ以外の理由で保安林の解除が行われることはない。

「指定理由の消滅」による解除とは、

- ① 受益の対象が消滅したとき
- ② 自然現象等により保安林が破壊され、かつ、森林に復旧することが著しく困難と認められるとき
- ③ 当該保安林の代替する機能を果たすべき施設等（代替施設）が設置されたとき又はその設置が極めて確実と認められるとき
- ④ 森林施業を制限しなくても受益の対象を害するおそれがないと認められるとき

「公益上の理由」による解除とは、

- ① 土地収用法その他の法令により土地を収用し又は使用できるとされている事業のうち、国等（国、地方公共団体、地方公共団体の組合、独立行政法人、地方独立行政法人、地方住宅供給公社、地方道路公社及び土地開発公社）が実施するもの
- ② 国等以外の者が実施する事業のうち、特定の事業に該当するもの（Ex. 特定規模電気事業者による電気工作物の設置）
- ③ ①又は②に準ずるもの

3) 保安林解除の要件

- ① 指定理由の消滅による解除（森林法第 26 条の 2 第 1 項）

ア 用地事情等：他に適地が求められない（公的土地利用計画に合致）

イ 面積：必要最小限の解除面積であること（期別実施計画）

ウ 実現の可能性：事業等を行うことが確実であること（用地の確保、他法令許認可、資金等）

エ 利害関係者の意見

オ その他：保安林の有する機能の代替施設の設置（技術基準）、残置又は造成する森林の確保、代替保安林の指定

- ② 公益上の理由による解除（森林法第 26 条の 2 第 2 項）

ア 前記アと同じ

イ 前記イと同じ

ウ 前記ウと同じ

エ 前記オと同じ

(7) 林地開発許可制度（普通林）

1) 林地開発許可制度の趣旨

森林は、水源の涵養、災害の防止、環境の保全といった公益的機能を有しており、国民生活の安定と地域社会の健全な発展に寄与している。また、これらの森林は、一度開発してその機能が破壊されてしまった場合には、これを回復することは非常に困難なものとなる。従って、これらの森林において開発行為を行うに当たっては、森林の有する役割を阻害しないよう適正に行うことが必要であり、なおかつ、それが開発行為を行う者の権利に内在する当然の責務でもある。林地開発許可制度は、このような観点から、これらの森林の土地について、その適正な利用を確保することを目的としている。

2) 林地開発許可制度の内容

①許可制の対象となる森林

林地開発許可制度の対象となる森林は、森林法第5条の規定により都道府県知事がたてた地域森林計画の対象民有林（保安林、保安施設地区、海岸保全区域内の森林を除く。）である。

②許可制の対象となる開発行為

許可制度の対象となる開発行為は、土石又は樹根の採掘、開墾その他の土地の形質を変更する行為であって、次の規模をこえるものとする。

ア 専ら道路の新設又は改築を目的とする行為でその行為に係る土地の面積が1haを超えるものにあつては道路（路肩部分及び屈曲部又は待避所として必要な拡幅部分を除く。）の幅員3m

イ その他の行為にあつては土地の面積1ha

③許可権者

開発行為をしようとする者は、農林水産省令で定める手続に従い、都道府県知事の許可（自治事務）を受けなければならない。

④許可基準

都道府県知事は、許可の申請があった場合において、次のいずれにも該当しないと認めるときは、これを許可しなければならないとされている。

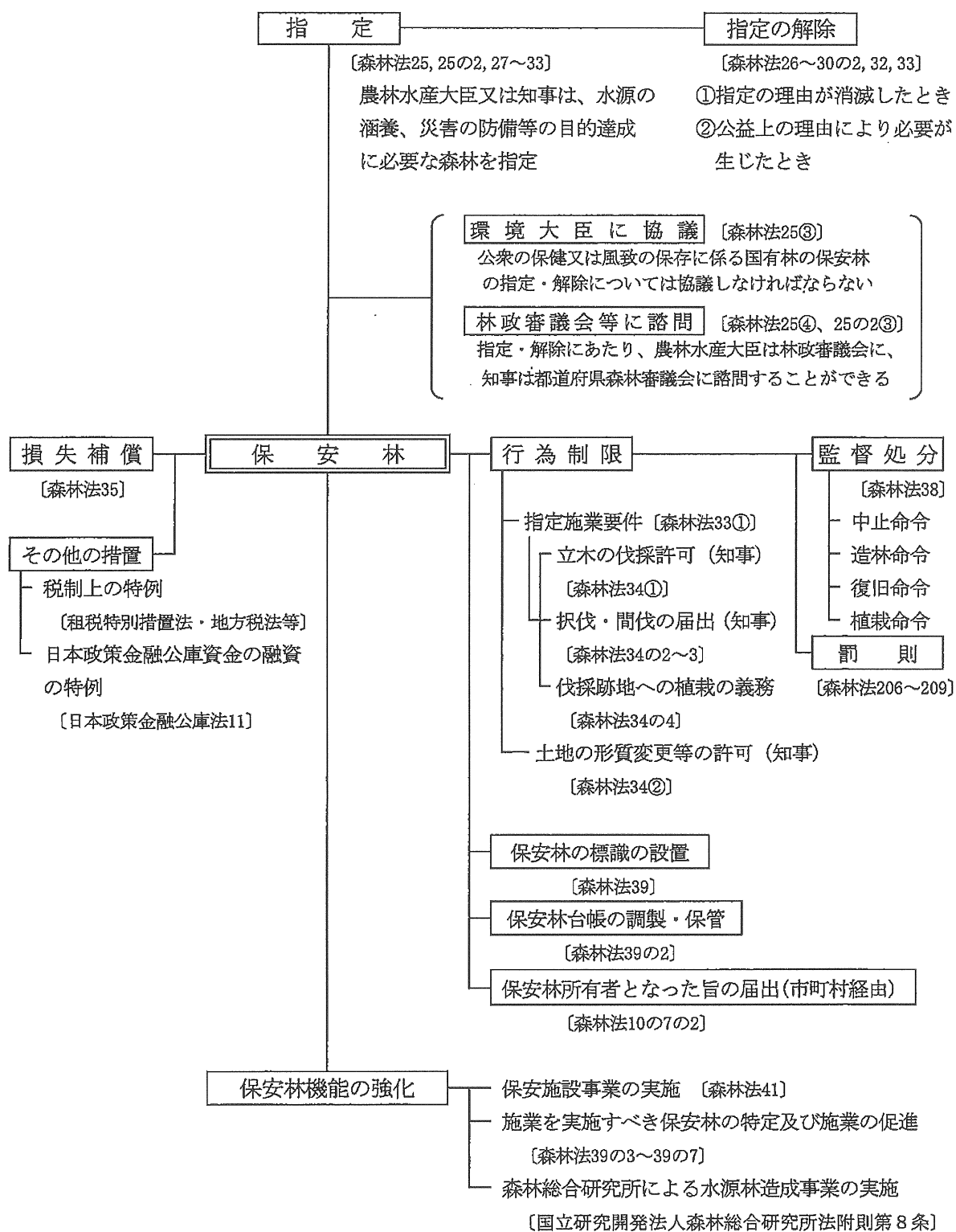
ア 当該開発行為をする森林の現に有する土地に関する災害の防止の機能からみて、当該開発行為により当該森林の周辺の地域において土砂の流出又は崩壊その他の災害を発生させるおそれがあること（災害の防止）

イ 当該開発行為をする森林の現に有する水害の防止の機能からみて、当該開発行為により当該機能に依存する地域における水害を発生させるおそれがあること（水害の防止）

ウ 当該開発行為をする森林の現に有する水源の涵養の機能からみて、当該開発行為により当該機能に依存する地域における水の確保に著しい支障を及ぼすおそれがあること（水の確保）

エ 当該開発行為をする森林の現に有する環境の保全の機能からみて、当該開発行為により当該森林の周辺の地域における環境を著しく悪化させるおそれがあること（環境の保全）

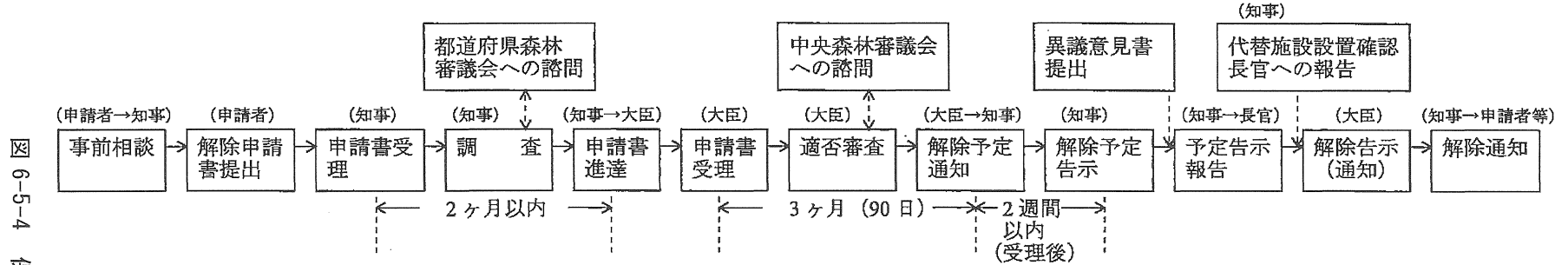
※出典 林野庁 HP http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/con_2.html



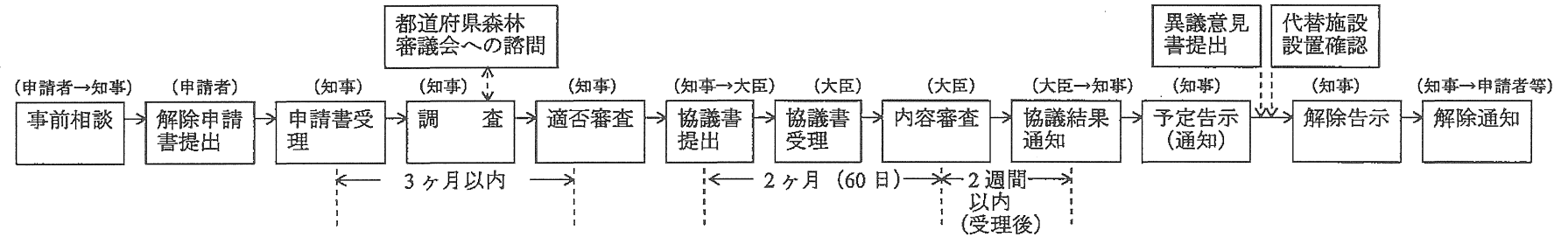
注：〔 〕は根拠法及び規定条文

図 6-5-3 保安林制度の体系

1 農林水産大臣の権限に係る保安林の指定の解除（重要流域内に存する1号～3号民有保安林、国有保安林（森林管理局長の上申及び都道府県知事の認定による解除を除く））

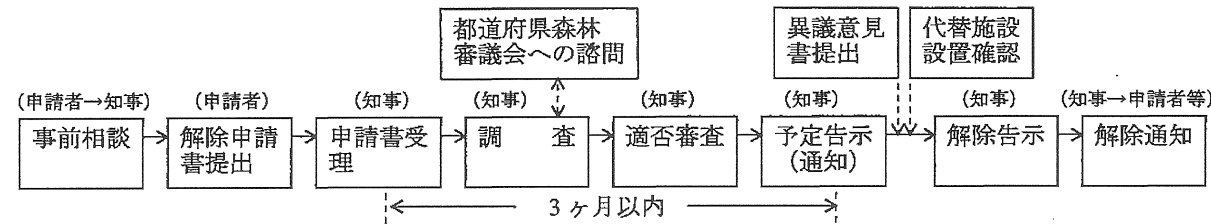


2 都道府県知事の権限に係る保安林の指定の解除が行われるもののうち、法第26条の2第4項の規定による大臣協議を必要とするもの
 (1)重要流域以外の1号～3号民有保安林であって、①法第26条の2第1項による指定の解除（指定理由の消滅による場合は1ha以上）、②法第26条の2第2項による指定の解除（公益上の理由による場合は5ha以上）であるもの。
 (2)重要流域以外の1号～3号民有保安林又は4号以下の民有保安林であって、法第26条の2第4項第2号による保安施設事業等の施行に係る土地の区域内にある保安林の指定の解除であるもの。



3 都道府県知事の権限に係る保安林の指定の解除（法第26条の2第4項の規定による大臣協議を必要とするものを除く）

- (1)重要流域以外の1～3号民有保安林であって、上記2の(1)及び(2)に該当しないもの。
 (2)4号以下の民有保安林であって、上記2の(2)に該当しないもの。



保安林以外の普通林における林地開発許可制度とは

- 森林は、保安林以外の森林（普通林）であっても水源の涵養、災害の防止、環境の保全などの公益的機能を有しており、国民生活の安定と地域社会の健全な発展に寄与しています。
- このため、普通林の開発に当たってはこうした森林の持つ機能が損なわれないよう適正に行うための一定のルールが定められています。

■林地開発許可の対象となる森林

都道府県知事が立てた**地域森林計画の対象となる民有林**

※国有林と保安林以外の森林はほとんどが対象

■林地開発許可の対象となる開発行為

土石の採掘や林地以外への転用などの土地の形質の変更を行うことによって**1haを超えての開発行為**

例)住宅造成、別荘地、ホテルなどの宿泊施設、ゴルフ場やスキー場、遊園地などのレジャー施設、工場、採石場、土捨て場、道路 など

こんな場合も林地開発許可が適用されます。

- ・**道路の幅員が3mを超え**、面積が1haを超える場合
- ・**何人かの森林所有者が共同で**1haを超える開発を行う場合
- ・**何回かに分けて少しずつ**合計で1haを超える開発を行う場合

■林地開発許可の基準

災害の防止

開発行為により、周辺地域において土砂の流出又は崩壊その他の災害を発生させるおそれがないこと

水の確保

開発行為により、周辺地域の水質・水量などに影響を与え、水の確保に著しい支障を及ぼすおそれがないこと

水害の防止

開発行為により、下流域において水害を発生させるおそれがないこと

環境の保全

開発行為により、周辺地域において環境を著しく悪化させるおそれがないこと

図 6-5-5 保安林以外の普通林における林地開発許可制度の概要

林地の開発を行うには

- 地域森林計画対象民有林で開発行為を行う場合は、都道府県知事の許可が必要です。
- 不正な手段で開発を行ったり、違反行為があった場合には、森林法に基づき「中止命令」や「復旧命令」の監督処分を受け、また、処分に従わない場合は罰則が適用されます。

■林地開発許可の手続き

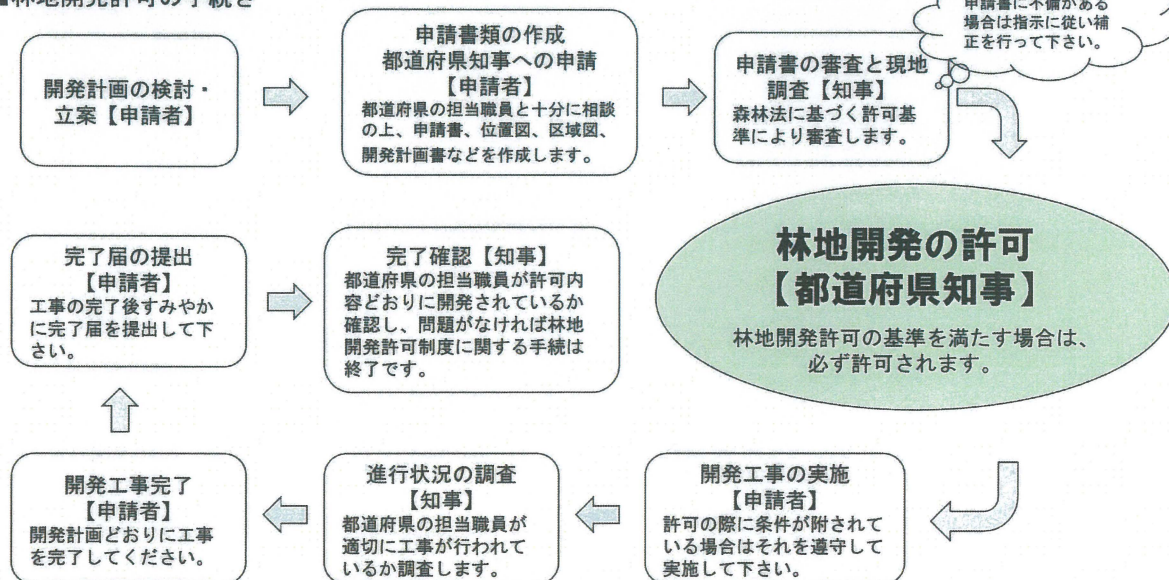
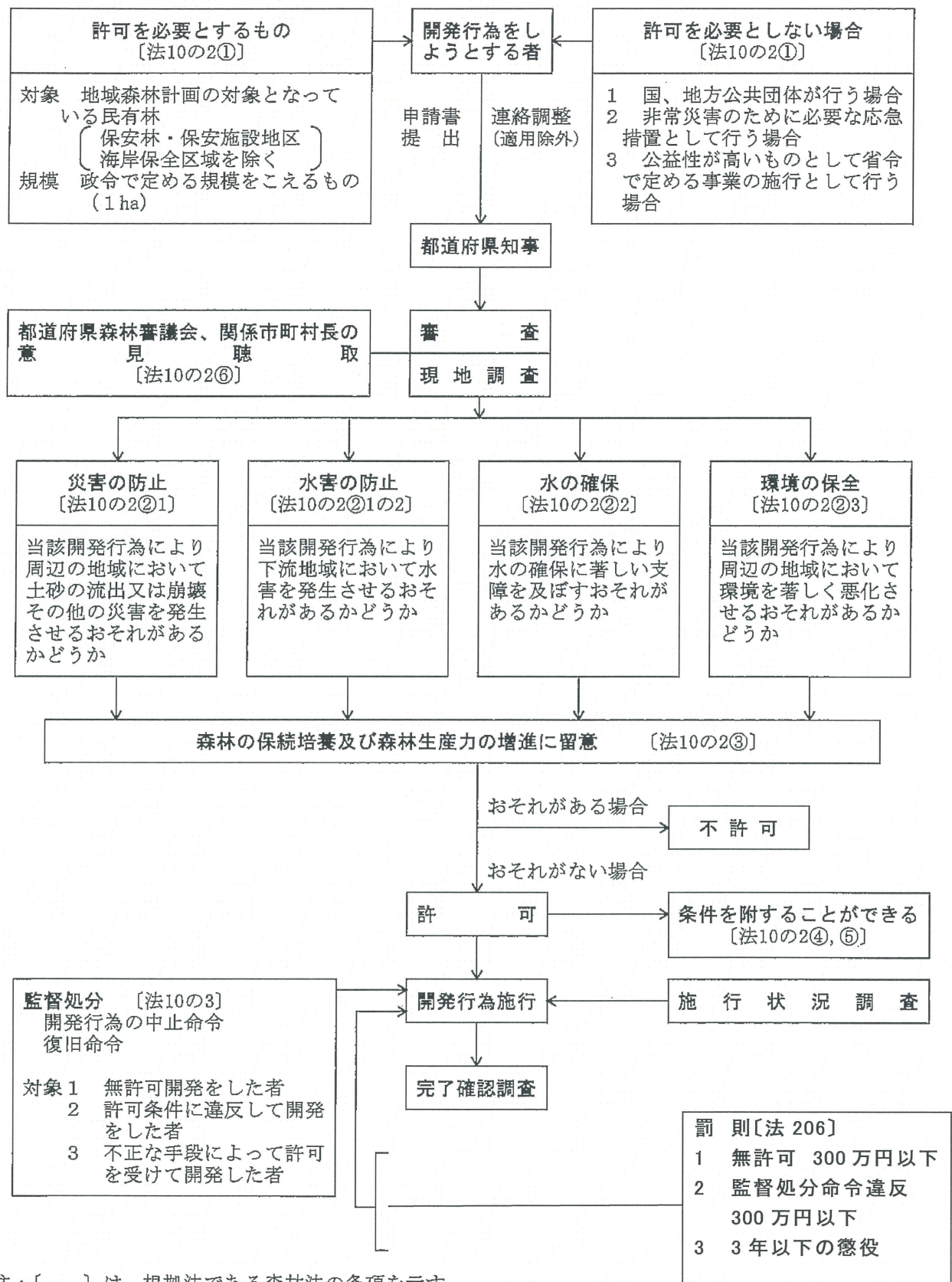


図 6-5-6 林地開発許可制度の概要

林地開発許可制度の体系図



注：〔 〕は、根拠法である森林法の条項を示す。

図 6-5-7 林地開発許可制度の体系図

表 6-5-2 林地開発許可処分の推移表

開発行為の目的 区分 年度	件 数 (件)										
	S49～ H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	計
工場・事業場用地の造成	3,117	84	75	72	61	43	46	70	175	302	4,045
住宅用地の造成	2,089	19	29	15	9	8	6	10	10	9	2,204
別荘地の造成	281	0	2	2	1	0	0	0	0	0	286
ゴルフ場の設置	1,760	1	1	2	0	1	1	0	0	0	1,766
レジャー施設の設置	1,167	11	8	6	7	5	4	4	4	2	1,218
農用地の造成	11,164	41	61	58	44	48	53	38	18	23	11,548
土石の採掘	10,218	119	108	111	82	94	85	79	103	109	11,108
道路の新設又は改築	156	6	15	18	11	21	19	10	13	12	281
その他	3,803	47	34	27	23	27	24	17	35	28	4,065
計	33,755	328	333	311	238	247	238	228	358	485	36,521

開発行為の目的 区分 年度	面 積 (ha)										
	S49～ H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	計
工場・事業場用地の造成	15,687	407	518	465	297	213	128	489	869	1,934	21,007
住宅用地の造成	20,045	72	111	34	38	36	35	28	-14	-37	20,348
別荘地の造成	1,776	0	10	12	1	0	0	-1	0	0	1,798
ゴルフ場の設置	78,339	-1	9	9	0	1	3	8	0	-29	78,339
レジャー施設の設置	7,211	59	23	-33	9	22	11	53	29	13	7,397
農用地の造成	44,769	211	292	231	223	184	195	205	126	128	46,564
土石の採掘	49,926	1,054	1,009	899	788	879	784	720	1,066	1,144	58,269
道路の新設又は改築	1,644	47	249	87	146	170	215	133	89	66	2,846
その他	14,299	253	181	186	102	84	87	146	169	90	15,597
計	233,696	2,102	2,402	1,890	1,604	1,589	1,458	1,781	2,334	3,309	252,165

- 注1 面積は、土地の形質の変更に係る面積であって、開発区域に残置する森林は含まない。
 2 件数は、新規許可処分に係るものであって、面積は、当該年度の新規許可処分面積に当該年度の変更許可処分による増減面積を加えたもの。
 3 「その他」の項には産業廃棄物処理場、残土処理場、福祉施設、墓地等が含まれる。

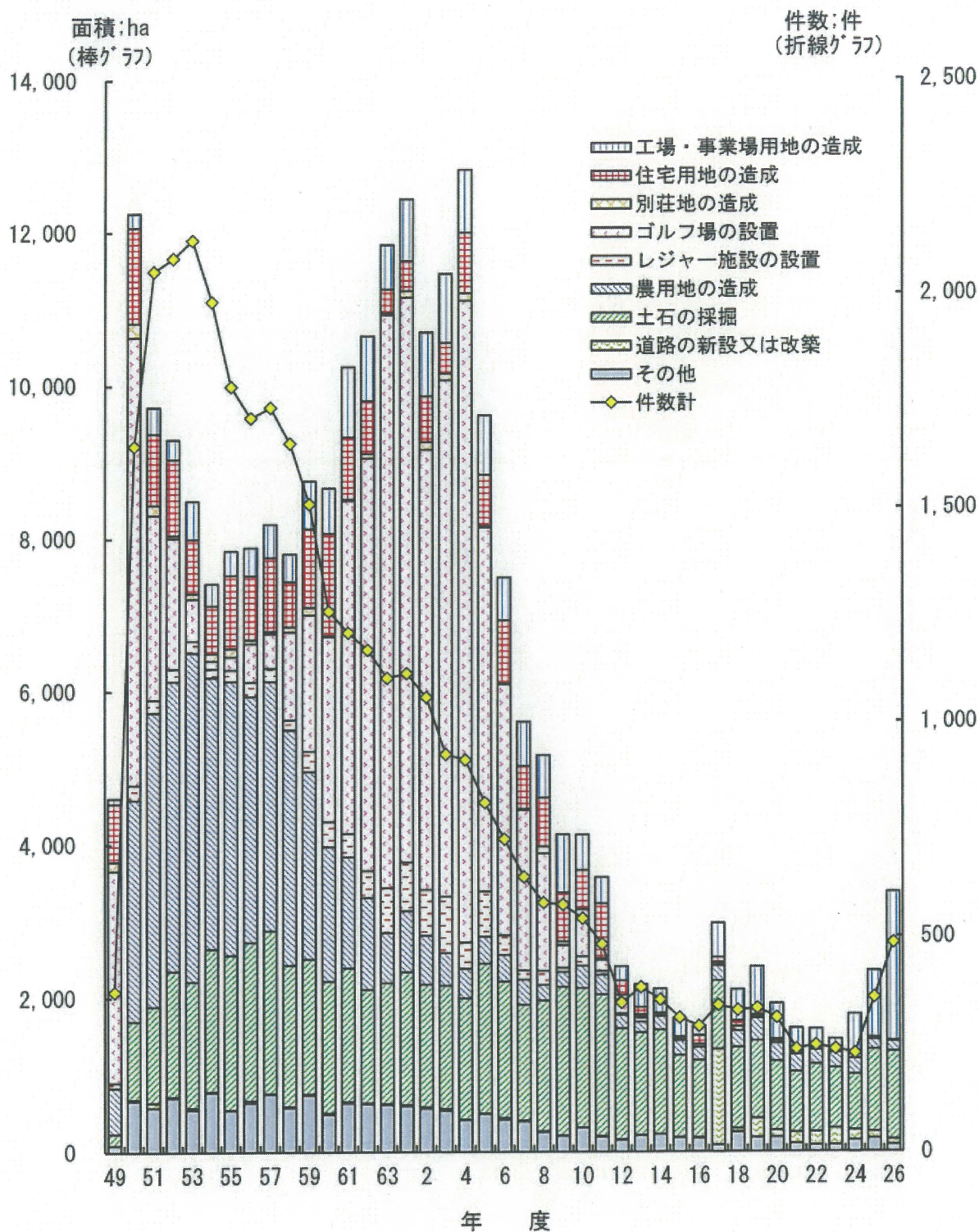


図 6-5-8 林地開発許可処分の推移

※出典 林野庁 HP http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/con_2.html

7. 土木設備・電気設備の設計

7. 土木設備・電気設備の設計

7.1 土木設備の設計

(1) 取水ダム

- 1) 取水ダムとは、水路式（流れ込み式）の発電所において、河水の水を取り入れるために設置する堤高の低いダムであり、高さ15m以上のものをハイダム、未満のものをローダムと通称している。取水ダム（ローダム）を 図 7-1-1 に例示する。

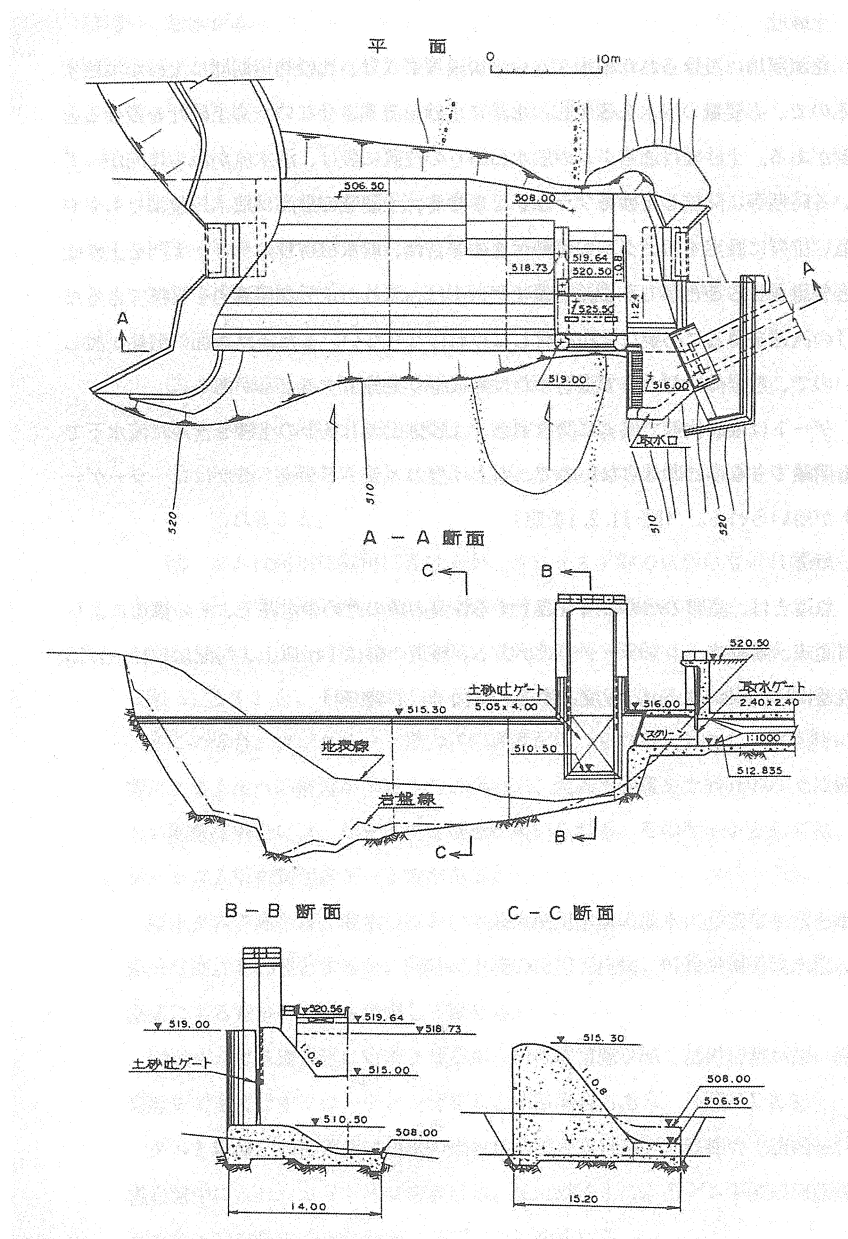


図 7-1-1 取水ダムの例（固定ダム）

出典) 水力開発ガイドマニュアル P11-26 財団法人 新エネルギー財団

- 2) 「ダムの高さ」とは、基礎地盤（カットオフがある場合はカットオフ直下流の堤体と接触部、カットオフがない場合は堤体の上流端との接触部）から堤頂までの高さをいう。この場合において、堤頂とは非越流部がある場合は非越流部頂をいい、非越流部がない場合は越流部頂をいう。

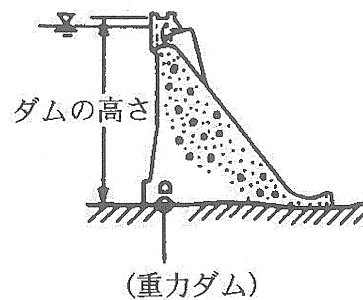


図 7-1-2 ダムの高さ

出典) 平成 23 年改訂版 発電用水力設備の技術基準と官庁手続き
(一社) 電力土木技術協会 P218

参考として、非越流部のないダムのひとつとして、砂防ダムの例を図 7-1-3 に示す。

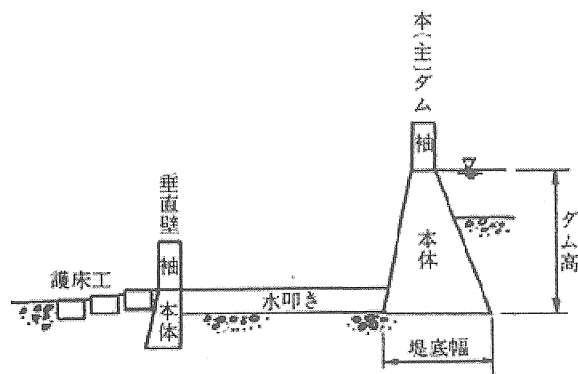


図 7-1-3 非越流部のないダムの例（砂防ダム）

出典) 改訂新版 建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編〔Ⅱ〕 P4

- 3) 電気事業法における「ダム」は、発電用として河川の流水を貯留又は取水するための土木工作物のことをいい、堤高は問わない。

出典) 電気事業法における「ダム」の取扱いについて 平成 24 年 11 月
経済産業省商務流通保安グループ電力安全課

- 4) 取水ダムの設置位置は、一般的には、基礎岩盤が浅いこと、ダムによる上流部への背水（堰上げ）の影響が少ないこと、維持管理が容易なことなどを勘案して計画する。また、河道のわん曲部などでは偏流により取水が不安定となる場合があること、及び洪水時の流勢で河岸の損傷を誘発する危険性があるため、極力河道の直線区間を選定することが望ましい。
- 5) 取水ダムの体積を少なくするためには河川幅が狭いことが望ましいが、狭すぎると設計洪水位（堰上げ水位）が高くなり、護岸やゲートピア高、並びに上流に既設橋梁がある場合は桁下高などに支障を及ぼす可能性がある。
- 6) 取水ダムの設計洪水位は、「水力設備に関する技術基準を定める省令、同技術基準の解釈及び解説 第 1 章総則 第 2 条」で“ダムの直上流の地点において、①200 年につき 1 回の割合で発生するものと予想される洪水の流量、②当該地点において発生した最大の洪水の流量、③当該ダムに係る流域と水象若しくは気象が類似する流域のそれぞれにおいて発生した最大の洪水に係る水象若しくは気象の観測の結果に照らして当該地点に発生するおそれがあると認められる洪水流量のうちいずれか大きい流量の流水が、ダムの洪水吐きを流下する場合におけるダムの非越流部の直上流における最高の水位をいう”としている。

ただし、高さ15m未満の流量調節を目的としないダム及び河川管理施設等構造令第五章の規定の適用を受けるダムにあつては、“当該ダムに係る流域の水象又は気象の観測結果により求めた当該ダムの直上流の地点における洪水の流量の流水がダムを流下する場合におけるダムの直上流における最高の水位をいう”としている。

出典) 平成 23 年改訂版 発電用水力設備の技術基準と官庁手続き
(一社) 電力土木技術協会 P167

- 7) 設計洪水流量及び洪水位は前記のとおりであるが、計画実施に際しては、取水地点の流域面積及び周囲の開発状況等を踏まえ、河川管理者と協議して決定する。

- 8) 構造的には、ダムに作用する「自重」、「静水圧」、「動水圧」、「泥圧」、「地震力」及び「揚圧力」による合力の作用点が、常時においては中央 1 / 3 以内、地震時においては中央 2 / 3 以内でなければならない。

出典) 平成 23 年改訂版 発電用水力設備の技術基準と官庁手続き
(一社) 電力土木技術協会 P177

- 9) 取水ダムには取水口寄りの位置に土砂吐（排砂門）を設ける。
- 10) 取水ダムに魚道を設ける場合は、河川維持流量放流設備を兼用させる場合が多い。
- 11) 一般的には、ダムは堅固な岩盤に設けるが、流れ込み式発電所の高さの低いダムにおいても、ハイダムと同様の基礎岩盤の調査、試験、及び基礎処理等が必要となる場合もあり、経済性を比較するとフローティングダムとする方が有利となる場合がある。フローティングダムの例を図 7-1-3 に示す。

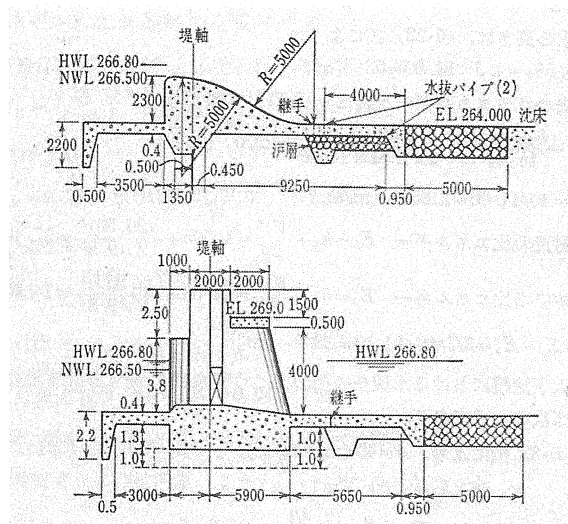


図 7-1-3 フローティングダムの例

出典) 発電水力演習 千秋信一著 学献社 P244)

注) フローティングダムとは、砂礫層上に設けられた越流型コンクリートダムをいう。フローティングダムの設計では、「転倒」「地耐力」「滑動」の安定性に加えパイピング(基礎砂礫層内の浸透流によって引き起こされる基礎の破壊現象)を防止するために必要なクープ長(構造物と基礎との接触面に沿う流線の長さ)を十分に確保した形状のダムをいう。

(2) 取水口

- 1) 取水口は、一般に川の流れが直線的な所で、土砂や漂流物が流入しないように、河川に直角か、やや上流向きに設ける。
- 2) 取水口入口は、幅を広くして流入流速が $0.3\text{m/s} \sim 1.0\text{m/s}$ 程度となるように設計するが、スクリーンに付着する塵芥を勘案すると、流入流速は 0.5m/s 程度が目安となる。
- 3) 取水口の前面には、スクリーン及び制水ゲートを設ける。
- 4) 入口の敷高は、土砂の流入防止のため、取水ダムの上砂吐高よりも 1m 程度高くする（図 7-1-4 参照）、あるいは入口前面にもぐり堰を設ける。

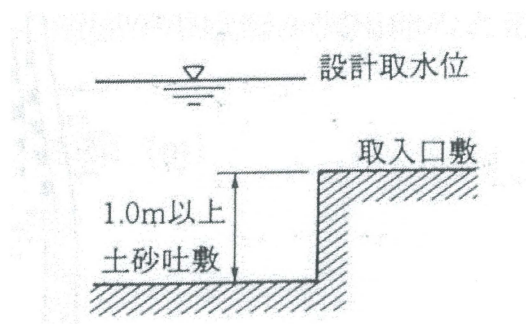


図 7-1-4 取水口の縦断形状

出典) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「頭首工」P193

- 5) 溪流での取水方法のひとつとして、堤頂部から取水する型式（チロリアン方式）も挙げられる。なお、既設の砂防ダムにチロリアン方式の取水設備を設置する場合は、砂防ダムにかかわる各種技術基準に抵触しないような配慮が必要である（写真7-1-1、写真7-1-2 参照）。



写真 7-1-1 チロリアン方式による取水設備の例（その 1）

http://h-2a-go.sakura.ne.jp/benri/damu_3/cina.html



写真 7-1-2 チロリアン方式による取水設備の例（その 2）

既設砂防ダムを利用した
梶並発電所（岡山県企業局）の取水設備

(3) 沈砂池

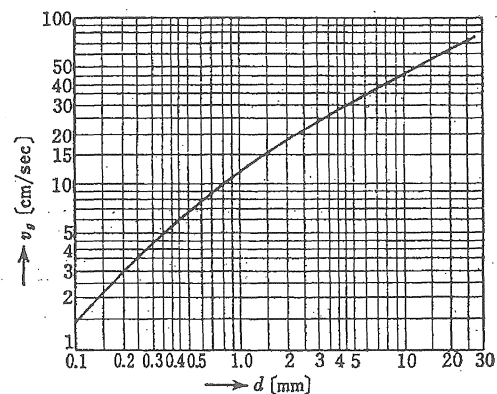
- 1) 取水ダム直近には沈砂池を設置する。沈砂池はコスト及び施工性から地上式で計画するが、やむを得ない場合にはトンネル内に設置する場合もある。
- 2) 沈砂池は、取水とともに流入した掃流砂を沈殿させ、導水路内への土砂流入を防ぐものである。沈砂池内に堆積した土砂を掃流力で排除できる敷勾配とすることが得策である。
- 3) 沈砂池の必要長の計算は、次式による。この式は理論式であり、実際の設計では算定された長さの2～3倍とするのが一般的である。

$$L \geq \frac{H}{v_g} V = \frac{Q}{B \cdot v_g}$$

$$L' = L \times (2 \sim 3)$$

$$L' = L \times (2 \sim 3)$$

ここに、
 L : 沈砂池の最小所要長 (m)
 L' : 設計時の沈砂池の長さ (m)
 H : 沈砂池の水深 (m)
 B : 沈砂池の幅 (m)
 V : 沈砂池内の平均流速 (m/s)
 (0.3m/s以内とする)
 v_g : 沈降すべき最小粒径の限界沈殿速度 (m/s)
 (v_g の値は、通常砂粒径 $d = 0.5 \sim 1\text{mm}$ に対する値0.1m/sec程度をとる)
 Q : 流量 (m^3/s)



砂粒子の平均径 d と
限界沈降速度 v_g との関係

出典) 発電水力演習 千秋信一著 学献社

(4) 導水路

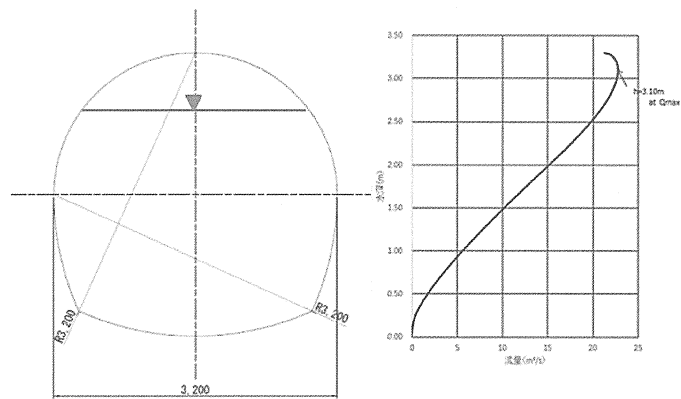
- 1) 水路式発電所における導水路は、特殊な箇所（サイフォン工等）を除き無圧水路が一般的である。
- 2) 導水路の勾配は、急過ぎると有効落差を減じ、また、流速が速くなるため水路内の摩耗が懸念され、逆に緩やか過ぎると土砂が水路内に堆積しやすいなどの支障を及ぼす。導水路勾配の目安を以下に示す。

施工可能最小断面の場合 : $i = 1/1,000 \sim 1/3,000$

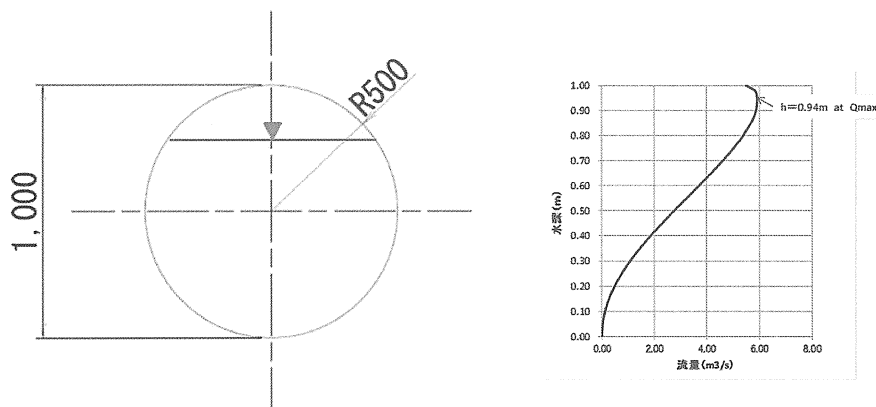
$Q_{\max}$ で決まる断面の場合 : $i = 1/800 \sim 1/1,000$

- 3) 山岳地帯における導水路トンネルの施工方法としては、発破工法とTBM工法が挙げられる。発破工法における最小施工断面は幅1.8m×高1.8m程度であるが、最近はこのような小断面トンネルの施工技術者の不足が顕在化しつつある。
- 4) TBM工法の最小施工断面は、掘削径2.6m程度である。なお、TBM工法は施工速度が速いが機械設備費が嵩むため、一般的には延長が2.5～3km程度以上の場合にその採用が浮上してくる。
- 5) 開渠による導水路は、以下の事項に留意する。
 - ① 側壁高は、水槽余水吐越流水位からの背水上昇を考慮した余裕高を設定する。
 - ② 導水路終端に接続する水槽の水面に、ハンチング（波打ち現象）などの悪影響を与えない導水路線形や流速とする。
 - ③ 地下水位による浮力に対し、安全な躯体重量とする。
 - ④ 降雪地帯では積雪が水路を閉塞しないように、あるいは山岳地帯では枯葉が多量に流入しないように蓋渠とするなどの配慮が必要である。
- 6) 馬蹄形及び円形断面水路の水利特性曲線

馬蹄形や円形断面の水路で開水路流を流下させた場合の水利特性曲線を図7-1-5に示す。同図に示すとおり、天端付近に水位があるときは通水能力が減少するため、この特性を踏まえた上で通水時の設計水位及び余裕高を設定する必要がある。



標準馬蹄形における水理特性曲線



円形断面における水理特性曲線

図 7-1-5 馬蹄形及び円形断面水路の水理特性曲線

(5) 水槽（ヘッドタンク）

- 1) 水槽は、極力地山の安定した尾根部を選定する。
- 2) 水槽の水位調整器がハンチング現象を起こさないために必要な水面積（ $A = 5 \sim 10 \times Q_{\max}$ ）を確保する（図 7-1-6 参照、出典：中小水力発電ガイドブック P300）。

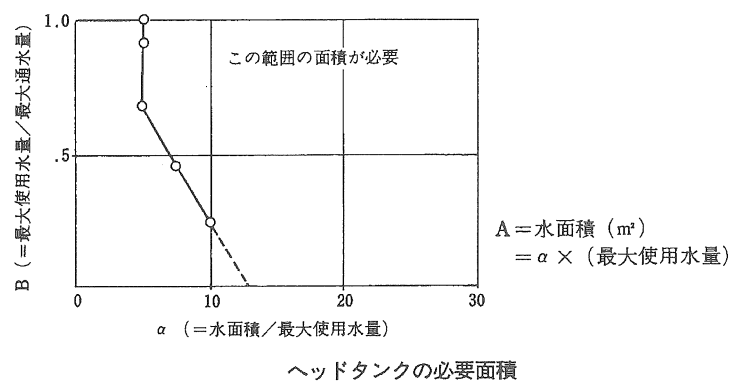


図 7-1-6 ヘッドタンクの必要面積

- 3) 水車ランナ等にゴミや夾雑物が絡まることによる水車性能低下やランナの損傷を防ぐ目的で、水槽にはスクリーンを設ける。
- 4) 水槽には、取水口からの流入量と水車を通過させる流量を一致させるためなどに必要な容量（水調運転容量）を確保する（図 7-1-7 参照）。

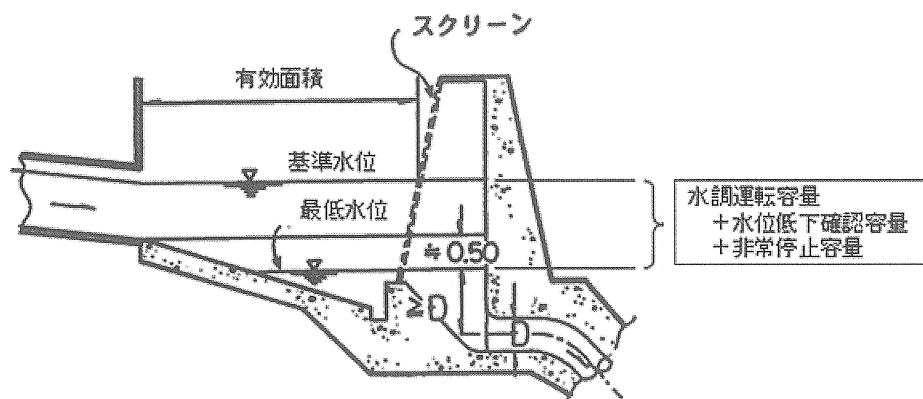


図 7-1-7 水槽模式図

出典) 中小水力発電ガイドブック P300

- 5) 水圧管の呑口は、渦が発生して空気が水圧管内へ連行されることがないように、常時の水位に対し $2 \sim 3 \times D$ (D = 水圧管呑口の直径) のかぶり水深を確保する (図 7-1-8 参照)。

出典：水力発電所取水口における渦防止対策

https://www.chuden.co.jp/resource/corporate/news_88_N08815.pdf

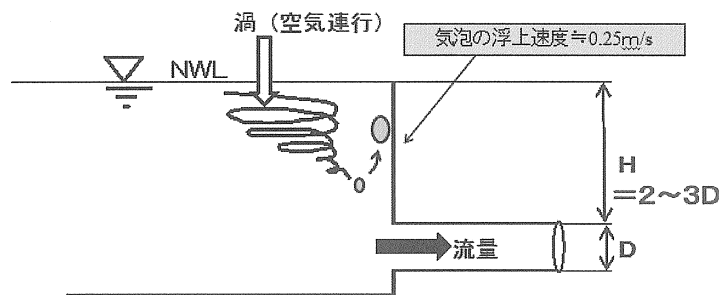


図 7-1-8 被り水深

気泡の浮上速度：出典：発電水力演習 P268

(6) 余水路

1) 余水路の配置

- ① 水槽の余水路は、水車が急に停止した場合（負荷遮断、水車急停止時）に水槽の余水吐きから越流した流水を河川に放流させる設備である。
- ② 余水路を流下する流れは、高速の射流となるのが通例であり、水路の屈曲部では衝撃波や空洞現象（負圧）を生じる恐れがあるため、できる限り直線的な配置が望ましい。
- ③ 余水路が管路の場合、呑口部や屈曲部には十分な給気が必要であることから空気を設けることを前提として、流水中に空気の混入を考慮した管径を確保する。空気混入水流の空気混入量及び見かけの水深（空気の混入によってふくれ上がった水深）の算定は、例えば、Gumensky（ガメンスキー）の式が挙げられる（出典：発電水力演習 千秋信一著 学献社 P-263）。

- ④ 余水路の終端部には、流水のエネルギーを十分に減殺する減勢工を設置する。
- ⑤ 減勢工の設計に当たっては、減勢前の流速を適切に設定しないと期待した減勢効果が得られない。

2) 余水路の省略

水力発電所のコストダウン方策として、余水路の省略が挙げられる。余水路省略のための代表的な方法を以下に示す。

① 導水路の空容量を利用する方法

導水路断面に余裕がある場合は、この余裕を利用して取水地点（沈砂池余水吐き）から余水を放流させる。

② デフレクタ^{注1)}を利用する方法

「デフレクタ放流」と呼称されるもので、ペルトン水車などデフレクタを装備する水車では、急負荷遮断時に即応したニードルバルブ操作を行うことを避けられ、緩やかな操作でニードルバルブを閉止することが可能となり、水槽水位の上昇を抑えることができる。

注1) デフレクタとは

ノズルとランナバケットの間にあって、ジェット水流の向きを変えてそのエネルギーが水車に作用しないようにする装置をいう

(7) 水圧管路

1) 水圧管路と動水勾配線

水圧管路は、いかなる場合でも、上流端の呑口水位を始点とする動水勾配線以下に水圧管路全体があるように設計しなければならない。動水勾配線以下に水圧管路を設計すれば、始点から終点までの縦断線形に凹凸があっても流水は流下する。ただし、設計に当たっては、水圧管路からの抜水も配慮した縦断線形としなければならない。

動水勾配線とは、流下方向にピエゾ水頭 ($E_p = p / (\rho g) + z$) の高さを連ねた線をいう。

また、ピエゾ水頭に速度水頭 ($\alpha \cdot u_m^2 / 2g$) を加えた線をエネルギー線という。

ここに、 ρ = 水の密度、 g = 重力加速度、 α = エネルギー係数 (一般的には 1.1)、 u_m = 管内平均流速、 d = 管の直径、 z = 位置水頭、 ℓ = 管路の延長、 h_f = 摩擦損失水頭である (図 7-1-9 参照)。

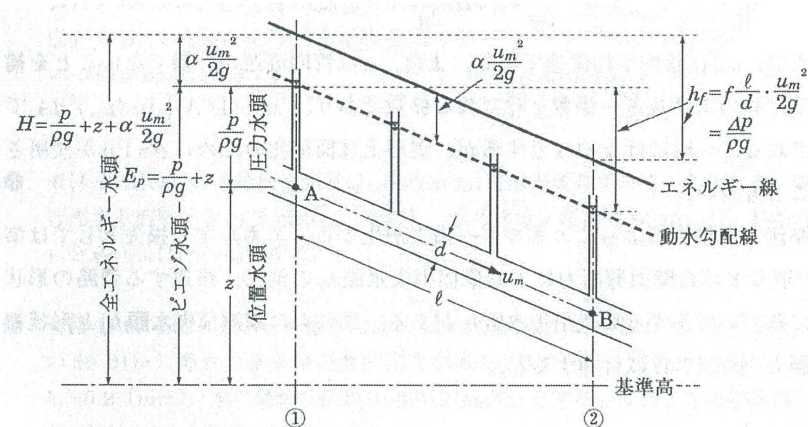


図 7-1-9 動水勾配線、及びエネルギー線

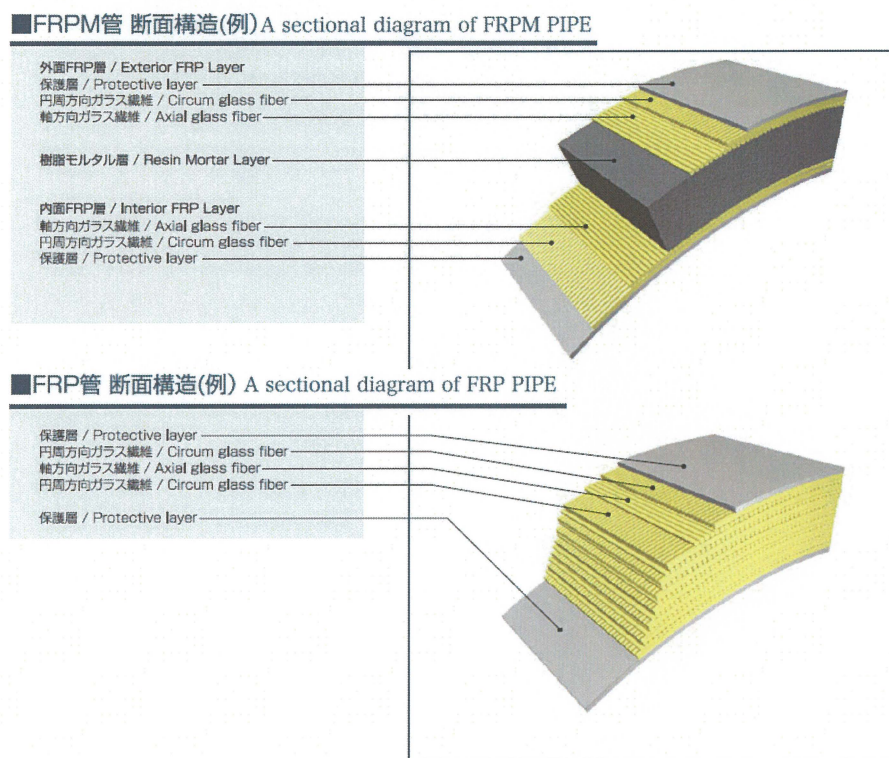
2) 管種及び管径

① 管種

発電用水圧管は、一般に鋼管、ダクトイル鋳鉄管及びFRPM管^{注2)}が採用されている。

注2) FRPM管及びFRP管（強化プラスチック複合管）

FRPM管は、強化プラスチック複合管（Fiberglass Reinforced Plastic Mortar Pipes）の略称で、ガラス長繊維及び不飽和ポリエステル樹脂からなる「FRP層」と、珪砂及び不飽和ポリエステル樹脂からなる「樹脂モルタル層」を複合的に配置した構造となっている。また、外圧荷重が少ない場合には、「樹脂モルタル層」を含まない高圧用FRP管を採用する場合もある。



FRP（M）管の断面構造図

出典）水力発電用クリモトFRP（M）管（株栗本鐵工所 カタログ）

また、発電用水圧管の管種のひとつとして、平成 22 年 9 月に「水力発電設備の樹脂管（一般市販管）技術規程（社）日本電気協会 JEAC2601-2010」が制定された。同技術規程は、農業、上水道、下水道等において使用されている硬質塩化ビニル管等の安価で施工性の良い樹脂管を、水力発電設備の水圧管路に適用する場合の、計画・設計・施工・保守管理について示した民間規定である。

水圧管の管種は、前記に加え表 7-1-1 に示す樹脂管も比較することが望ましい。

表 7-1-1 管胴本体の材料

管 種		規 格
塩ビ管	硬質塩化ビニル管	JIS K 6741 (2004)
	水道用硬質塩化ビニル管	JWWA K 127 (2004)
	水道用ゴム輪形硬質ビニル管	JWWA K 129 (2004)
	水道用ゴム輪形衝撃性硬質ビニル管	JIS K 6741 (2004)
	水道用ゴム輪形硬質ビニル管	AS 31 (2001)
	水道用ゴム輪形衝撃性硬質ビニル管	AS 33 (2001)
	農業用水用厚肉硬質塩化ビニル管	AS 60 (2000)
押出ポリ管	一般用ポリエチレン管	JIS K 6761 (2004)
	水道用ポリエチレン二層管	JIS K 6762 (2004)
	農業用高密度ポリエチレン管	農水ポリエチレン管協会規格 ISO 4427-2 (2007)
リブ管	耐圧ポリエチレンリブ管	JIS K 6780 (2003)
	内圧用高耐圧ポリエチレン管 (ハウエル管)	高耐圧ポリエチレン管協会規格 (HIPPAS-P01)

出典) 水力発電設備の樹脂管（一般市販管）技術規程 P9

② 管径

水圧管の内径は、管に応じた建設費と損失落差への影響を考慮して発電力及び発電電力量を求め、最も経済的な管径を選定する。普通、管内流速は約 2～4m/s 程度としているが、低落差の場合には管径を大きくし損失落差を少なくするほうが有利である。一方、高落差の場合には、ある程度有効落差を犠牲にしても、管径を小さくするほうが有利となる。

3) 露出管路

水圧管路は、露出管路と埋設管路に分けられる。

露出管路は、以下のとおり計画する。

- ① 水圧管路は、極力地山の安定した尾根部を選定する。また、平面線形は、施工性を考慮して極力直線で計画する。
- ② わん曲部（勾配変化部）では、水圧管をコンクリート製のアンカーブロックで固定する。写真 7-1-3 に露出管路の例を示す。



写真 7-1-3 真加子発電所（岡山県企業局）の
水圧管路、及び余水管路（露出管路）

- ③ アンカーブロック間の直線区間（図 7-1-10 参照）は、コンクリートサドル（一般的には 6m 間隔 図 7-1-11 参照）、又はリングガーター（一般的には 18m 間隔 図 7-1-12 参照）で支持する。
- ④ これらの支持間隔は、現地までの輸送条件や仮設条件などを考慮しなければならない。

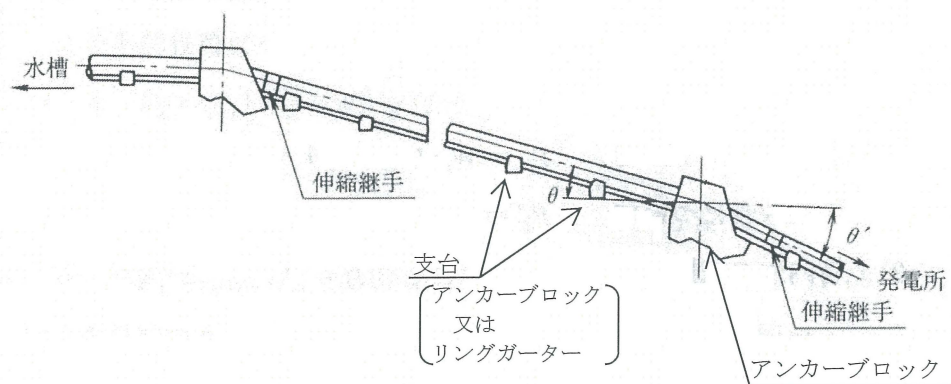


図 7-1-10 水圧管路のアンカーブロック及び支台

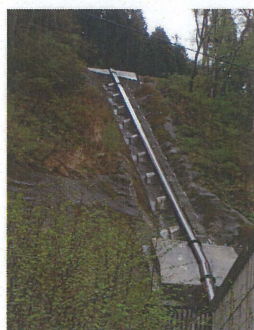
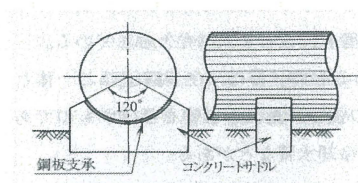


図 7-1-11 コンクリートサドル

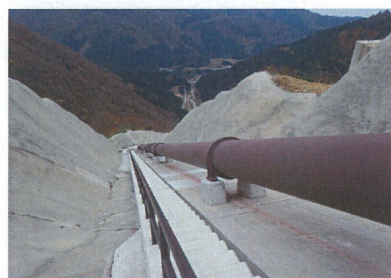
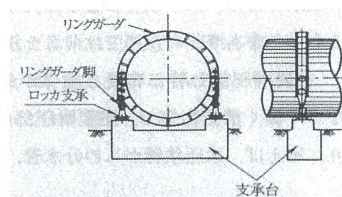


図 7-1-12 リングガーター

- ⑤ アンカーブロックは、水圧管に作用する荷重を確実に基礎に伝達しなければならない。そのため、十分な支持力をもつ基礎地盤の上に設けなければならない。これが困難な場合は適切な基礎工を施工し、十分な支持力を確保しなければならない（出典：水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鉄鋼構造物編 P204）。

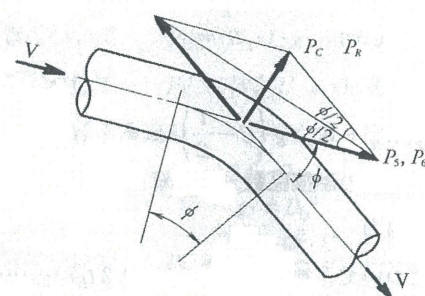
- ⑥ 小口径でわん曲部の不平衡力が小さい場合に、わん曲部以外の位置にアンカーブロックを設け、その間を曲管を含む連続梁として取扱い、わん曲部にアンカーブロックを設けない場合もある（出典：水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鉄鋼構造物編 P203）。
- ⑦ アンカーブロックの安定計算に考慮する荷重は、表 7-1-2 のとおりである。

表 7-1-2 アンカーブロックの安定計算に考慮する荷重

荷 重	アンカブロック の安定計算
(1) アンカブロックの質量	○
(2) アンカブロックが支承する管及び水の質量	○
(3) 管軸方向の推力	
1) 管の自重による推力	○
2) 管内水の摩擦による推力	○
3) 漸縮管に作用する内圧による推力	○
4) 伸縮継手に作用する内圧による推力	○
5) 支承部摩擦力	○
6) 伸縮継手摩擦力	○
7) わん曲部に作用する遠心力による推力	○
8) わん曲部に作用する不平衡力による推力	○
(4) 地震力	○

出典) 水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鉄鋼構造物編 P209)

- ⑧ アンカーブロックの安定計算に考慮する荷重のうち、わん曲部に作用する推力を図 7-1-13 に示す。同図に示すとおり、遠心力 (P_c) 及び不平衡力 (P_R) はわん曲部の外側方向へ働く。遠心力は管内流速 (V) の 2 乗に比例し、不平衡力はわん曲部に働く水圧 (P) に比例する。



P_c : わん曲部の遠心力
 P_R : わん曲部の不平衡力
 P_5 : わん曲部に作用する遠心力による推力
 P_6 : わん曲部に作用する不平衡力による推力
 ϕ : わん曲部の合成角

図 7-1-13 わん曲部に作用する力

4) 埋設管路

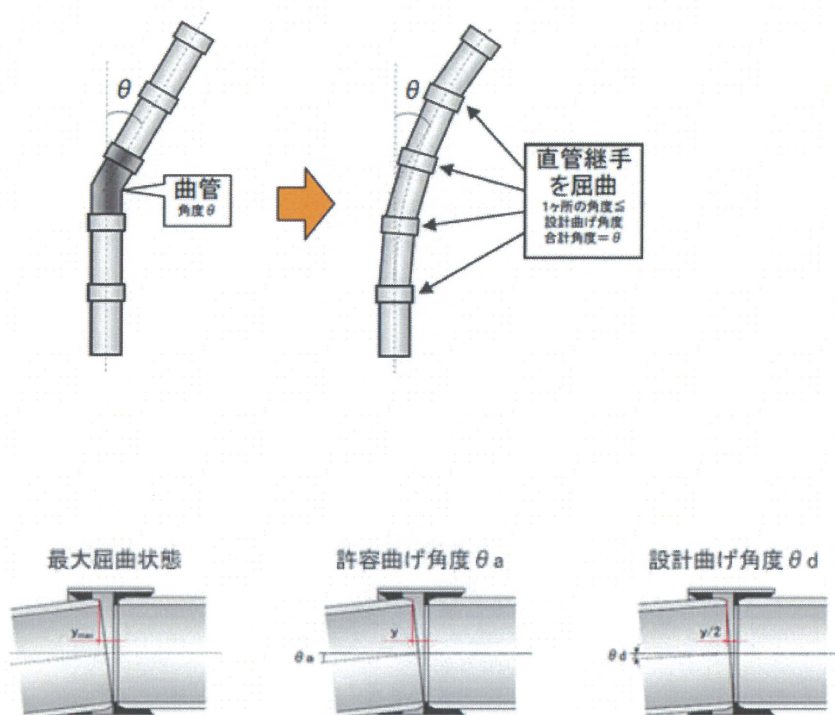
埋設管路は、以下のとおり計画される。

- ① 水圧管路を既設の道路に埋設することができるならば、地形の改変もほとんど不要であり、経済的となる場合が多い。
- ② 延長が長い埋設管路は、水中の浮遊土砂等が管内に沈殿することを避けるため、管内流速の最少限度は、設計時流量で 0.3m/s 以上とする（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」P174）。
- ③ 埋設管路は、前掲表 7-1-1 に示す一般市販管の採用事例が増えてきている。これらの管は直線配管が原則であるが、継手部の設計曲げ角度内の曲げ配管も可能である。当該角度については、強化プラスチック複合管協会の資料を示すが（図 7-1-14 参照）、計画実施に際しては管種に応じ製造メーカーの技術資料等を確認されたい。

【参考 FRPM管の曲げ配管工法】

出典) 強化プラスチック複合管協会

<http://www.kyopla.com/magehaikan.html>



呼び径	許容曲げ角度 θ_a	設計曲げ角度 θ_d
200~400	6° 00'~4° 30'	3° 00'~2° 15'
450~800	4° 00'	2° 00'
900~1000	3° 30'	1° 45'
1100	3° 00'	1° 30'
1200	2° 50'	1° 25'
1350	2° 40'	1° 20'
1500~3000	2° 30'	1° 15'

図 7-1-14 FRPM管の曲げ配管工法

- ④ 傾斜部管路の勾配の上限は、土と管の摩擦係数（ μ ）と管路勾配（上限）の関係は表 7-1-3 のとおりである。この角度以上の場合は上流管路の滑動力を埋設固定台などで受けるものとしている（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」P422）。

表 7-1-3 土と管の摩擦係数 μ と管路勾配（上限）の関係

基礎の種類	管の種類	μ	上限管路勾配の目安
土基礎	コンクリート管 鋼管 ダグタイル・铸铁管	0.5	0.5/1.5=0.33→18°
	硬質ポリ塩化ビニル管 ポリエチレン管 強化プラスチック複合管	0.3	0.3/1.5=0.20→11°
コンクリート基礎		$\tan \delta$	$\tan 25^\circ \rightarrow 0.47/1.5=0.31 \rightarrow 17^\circ$
			$\tan 30^\circ \rightarrow 0.58/1.5=0.38 \rightarrow 21^\circ$

注1) コンクリートと土の摩擦係数は、 $\mu = \tan \delta$ （ δ ：摩擦角）とする。

2) 場所打ちコンクリートの場合は、 $\delta = \phi$ （基礎地盤の内部摩擦角、 $25^\circ \sim 30^\circ$ ）とする。

- ⑤ 埋設深さは、地質、地盤の状況、載荷重、地下水位、及び凍結深などを考慮して決定する。道路や農地では埋設深さの設計基準が定められており、当該基準に準拠しなければならない。
- ⑥ 地下水位が高く管内空虚時に浮力が作用する恐れがある場合には、管上部の土かぶりを深くし、寒冷地では凍結深度^{注3)}より深く埋設する。

注3) 凍結深度とは、地盤の凍結が起こらない地表面からの深さをいう。地面が凍結すると膨張して地盤が押し上げられるため、埋設している水圧管は凍結深度より深いところに設置する必要があり、凍結深度より浅く敷設すると水圧管が破裂するおそれがある。凍結深度は、地域によって異なり、定められた基準（例えば、道路土工 排水工指針 社団法人 日本道路協会）によって各々算定する。

(8) 発電所

- 1) 発電所の計画地点は、以下の事項に留意して計画する必要がある。
 - ① 基礎地質が良い所
 - ② 洪水により被害を受けず、河流の衝突しない所
 - ③ 山崩れや、雪崩の恐れのない所
 - ④ 屋外変電所や、送電線設置に取り合わせの良い所
 - ⑤ 建設資材や、機器の運搬が容易で将来の維持・管理が容易な所
- 2) 発電所の平面寸法は、機器の配置、及び分解点検時の部品仮置スペースを考慮して決定する。
- 3) 小規模な発電所では、近年建屋の簡素化や省略など行われてきている。また、民家等に近接して発電所が計画されることも増えてきている。このような場合は、発電所から生じる騒音についても十分な配慮が必要である。

(9) 放水路・放水口

- 1) 放水路の流速は、 $1\text{m/s} \sim 2\text{m/s}$ 程度を目安として断面積を計画する。
- 2) 放水口の位置は、以下の事項に留意して計画する必要がある。
 - ① 河流中の土砂の堆積によって放水口が閉塞される恐れのない所
 - ② 河流が直接衝突しない所
 - ③ 洪水時に水面が著しく上昇せず、また洪水による被害の恐れのない所
 - ④ 放水口河流近くで川幅が狭くなる部分がない所

7.2 電気設備の設計

(1) 水車の種類

水車の種類は、前掲「3.5 (6) 水車・発電機の選定」の項に記すとおり、衝動水車と反動水車に大別される。

(2) 水車の選定方法

水車は、型式によって適用範囲が異なる。設計初期段階においては、「中小水力発電ガイドブック (P-108)」、あるいは「中小発電計画導入の手引き 平成25年3月 経済産業省 資源エネルギー庁 一般財団法人 新エネルギー財団 3 電気設備選定の手引き編 P8」記載の「水車型式選定図」が参考となる。

ここに、前掲「図 3-5-7」に示した水車型式選定図を図7-2-1として再掲する。

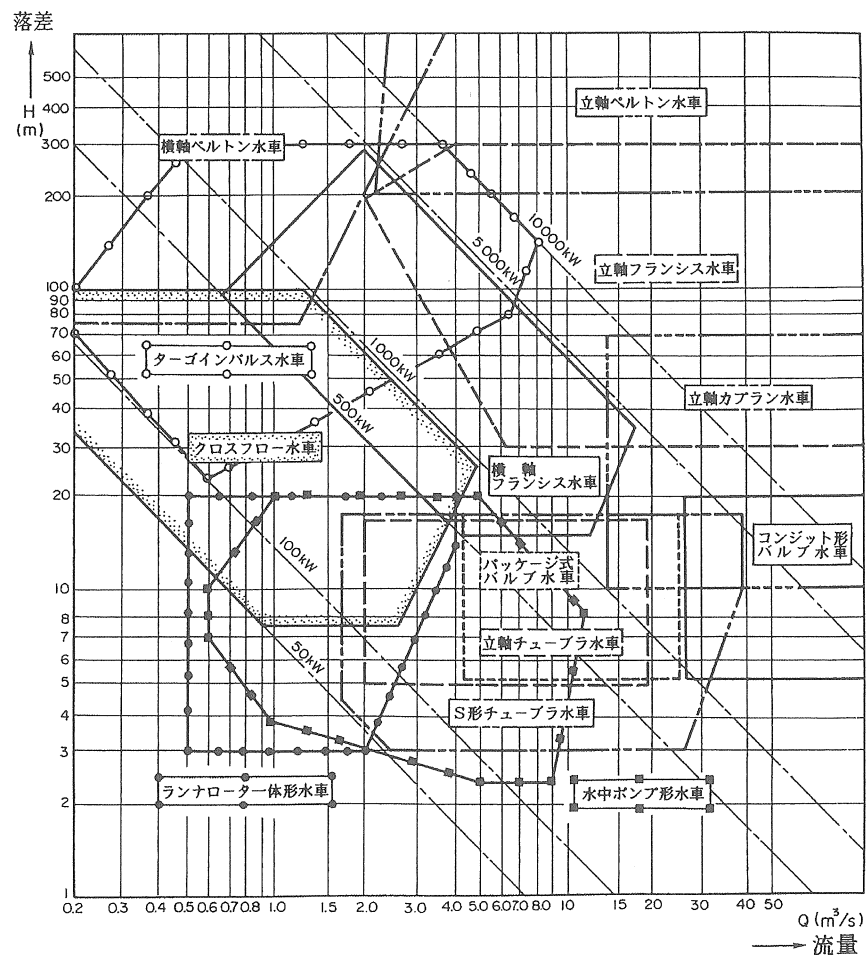


図7-2-1 水車形式選定図 (再掲)

出典) 中小水力発電ガイドブック (新訂5版) P108

(3) 水車型式の選定における留意事項

水車型式適用範囲が重なる場合の選定方法は、下記の事項が参考となる。

- ① 水車の出口圧の有無（衝動水車のランナは、構造・原理上水没状態にできない）
- ② ペルトン水車とフランシス水車の比較
 - ア 部分負荷で運転する時間が多い場合は、軽負荷時に効率のよいペルトン水車が有利である。
 - イ 水圧管路の勾配が比較的緩やかで長いときは、水圧管路の経済性を考え、負荷遮断時の水圧上昇率を少なくできるペルトン水車が有利となる。
 - ウ 発電所地点の洪水位が高いときや直接貯水池・調整池に放水路がつながっている場合などは、フランシス水車が有利である。
 - エ 比速度（ N_s ）は、フランシス水車の方が高くとれるので、発電機器価格及び建物等の工事費が軽減できる。
 - オ 水質の悪い河川や浮遊砂が多い場合では、摩耗・侵食に対する保守の容易なペルトン水車が有利である。
- ③ フランシス水車とクロスフロー水車（ガイドベーン分割型）の比較
 - ア 放水位の変動が大きい場合、及び洪水位が高い場合は、フランシス水車が有利である。
 - イ 効率は、低負荷領域ではクロスフロー水車の方が高く、全負荷領域ではフランシス水車の方が高くなるため、流量変化の少ない場合にはフランシス水車が有利である。
 - ウ 保守管理については、ガイドベーン枚数の多い複雑なフランシス水車よりガイドベーン枚数が2枚で分離の容易なクロスフロー水車の方が簡単である。
 - エ クロスフロー水車は、高落差になるほど N_s は小さくなり、極度に N_s が小さくなるとランナ幅が小さくなることから、ガイドベーンの分割が困難になる。
- ④ ポンプ逆転水車
 - ア ポンプ逆転水車とは、反動水車の一種で、一般的に使用されているポンプ（渦巻きポンプあるいは軸流ポンプ）を逆方向に回転させることで発電に使用する水車である。
 - イ ランナの羽根形状以外はポンプと同じ部品を使うことが可能であるため安価である。また寸法、質量なども小さく、設置が容易であり、維持管理についても通常のポンプと同様である。出力10～200kW程度、落差6～80m程度、流量0.02～1.0m³/sが適用範囲とされている。
 - ウ 最高効率は75～80%未満と低く、ガイドベーンを有せず、流量や落差が常時安定している箇所への設置が要求される。
 - エ ポンプ逆転水車の採用に当たっては、価格面のメリットと効率面とのデメ

リットを総合的に考慮する必要があるが、水道施設やかんがい施設のパイプライン等で採用実績が多い。

代表的な水車を次に示す。

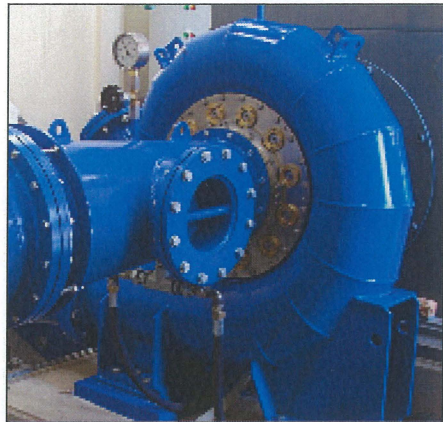


写真7-2-1 横軸フランシス水車

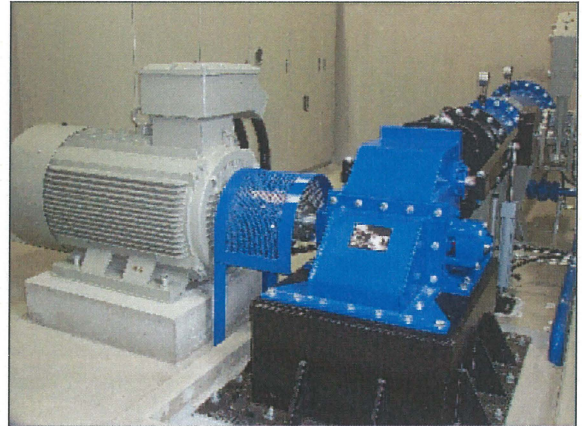


写真7-2-2 クロスフロー水車

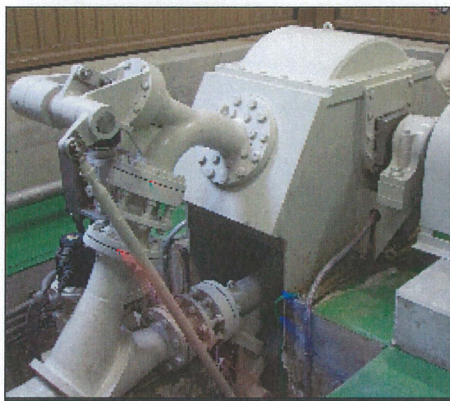


写真7-2-3 ペルトン水車



写真7-2-4 ポンプ逆転水車



写真7-2-5
S型チューブラ水車（プロペラ水車）

(4) 水車の特性

出典) 中小水力発電ガイドブック P-105

1) 比速度 (N_s)

比速度とは、ランナの形状を幾何学的に相似な状態で小さくして、1 mの落差で1 kWの出力を発生する水車を作った場合の回転速度である。落差と出力を一定とした場合には、回転速度の高低を表すことから比速度といわれる。

$$N_s = N \times \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

ここに、 N_s : 比速度 (m-kW)

N : 定格回転速度 (r/min)

H : 有効落差 (m)

P : 有効落差Hにおける出力 (kW)

比速度のとり得る上限値は次のとおりである。

$$\text{ペルトン水車} \quad N_s \leq \frac{4,300}{H+200} + 14$$

$$\text{フランシス水車} \quad N_s \leq \frac{23,000}{H+30} + 40$$

$$\text{斜流水車} \quad N_s \leq \frac{21,000}{H+20} + 40$$

$$\text{プロプラ水車} \quad N_s \leq \frac{21,000}{H+16} + 50$$

$$\text{クロスフロー水車} \quad N_s \leq \frac{4,000}{H+14} + 16$$

注) 比速度の算出に用いる出力は、フランシス水車、射流水車及びプロペラ水車ではランナ1個当たり、ペルトン水車ではノズル1個当たりの出力をとるものとする。

2) 回転速度

水車発電機の回転数（N）は接続する送電系統の周波数（Hz）と磁極（ポール）数によって次式で算定される。

$$N = \frac{120 \times f}{P}$$

ここに、 N : 回転数（r/min）

f : 系統の周波数（Hz）

P : 発電機の磁極（ポール）数

ここで、回転数（N）は、主として発電機制作上から表7-2-1 に示すように標準回転速度が決められている。

水車の採り得る回転速度の上限値： N_{ℓ} は、採り得る比速度の上限値： $N_{s\ell}$ から次式でもとめられるが、これ以下でもっともこれに近い標準回転速度を選択するのが一般的である。

$$N_{\ell} = N_{s\ell} \times \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}}$$

表7-2-1 標準回転速度（JEC-4001）

（単位 r/min）

極 数	50Hz	60Hz	極 数	50Hz	60Hz	極 数	50Hz	60Hz
4	1,500	1,800	28	214	257	60	100	120
6	1,000	1,200	30	200	240	64	94	113
8	750	900	32	188	225	70	86	103
10	600	720	36	167	200	72	83	100
12	500	600	40	150	180	80	75	90
14	429	514	42	143	171	84	71	86
16	375	450	48	125	150	88	68	82
18	333	400	50	120	144	90	67	80
20	300	360	54	111	133	96	63	75
24	250	300	56	107	129	100	60	72

3) 吸出し高さ (H_s)

吸出し高さとは、反動水車の吸出し管出口水位から水車ランナ基準面(図7-2-2参照)までの高さをいい、ランナの基準面が吸出し管出口水位より高い場合には正号 (+) をとり、低い場合は負号 (-) をとる。

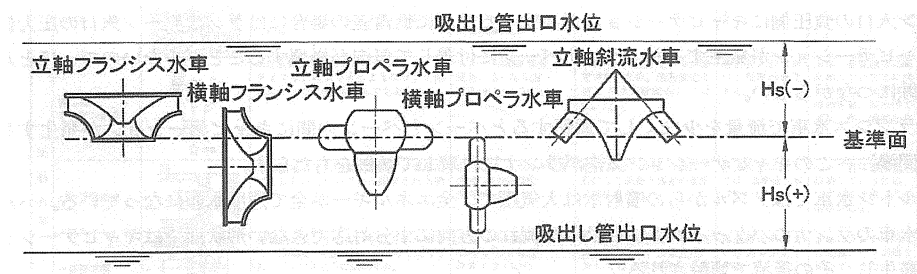


図7-2-2 吸出し高さ

出典：鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月

4) 無拘束速度

水車が定格出力運転中に負荷が急遮断されると回転速度が急上昇し、水力の入力と水車、発電機の機械的な回転力の釣合いがとれるまで回転速度が上昇する（図 7-2-3 参照）。この回転速度を無拘束速度という。通常の状態では無拘束速度となることはないが、事故などにより無拘束速度となる可能性があるので、水車・発電機は、一定時間はこれに耐えられる設計を要求するのが通例である。

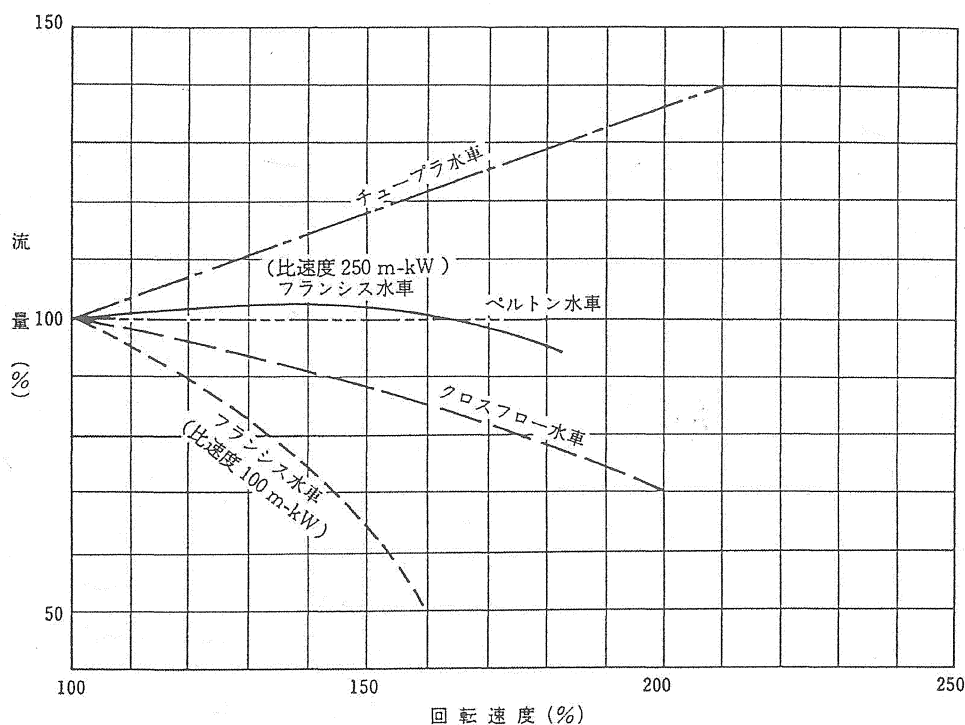
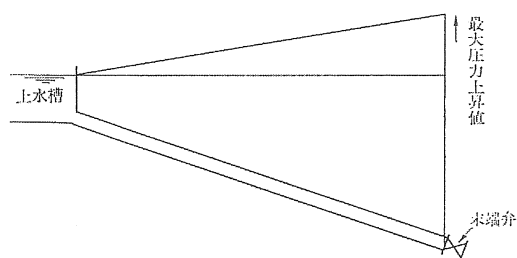


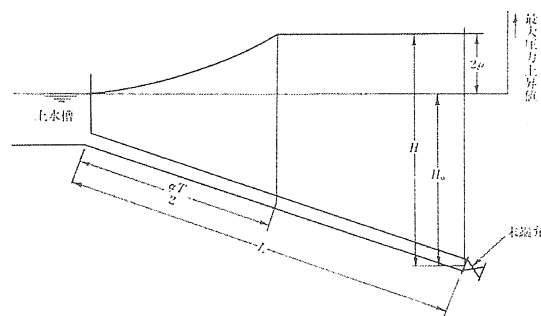
図7-2-3 各種水車の速度に対する流量特性図

出典：鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 P-71

以下に、水車が負荷遮断した時に水圧管路に働く最大圧力分布を、緩閉塞時（通常の場合）と、急閉塞時（クロージングタイムが水圧管路を伝搬する圧力波の往復時間より短い場合）を模式図で対比する。



緩閉塞領域の最大圧力上昇



急閉塞領域の最大圧力上昇

出典：水撃作用と圧力脈動 秋元徳三著 日本工業新聞社 P-22, P-24

緩閉塞とは 水車のガイドベーン閉塞時間 $>$ 水圧管路を往復する圧力波の時間

急閉塞とは 水車のガイドベーン閉塞時間 $<$ 水圧管路を往復する圧力波の時間

また、水圧管路の延長が相当に長い場合、ガイドベーンのクロージングタイムを長くとしたとしても、負荷遮断時において水車の特性上、急激な流量変化が水圧管路に生じ、大きな水撃圧（急閉塞に類似の水理的挙動）が生ずる場合もある。このような場合は水車・発電機の回転軸に質量を付けることで「はずみ車効果： GD^2 」の増加を図り急激な回転上昇、すなわち急激な流量変化を抑制する。

5) 比速度 (N_s) と効率 (η) の関係

比速度 (N_s)
出力規模 ($H_e \times Q$) } 効率は異なる。

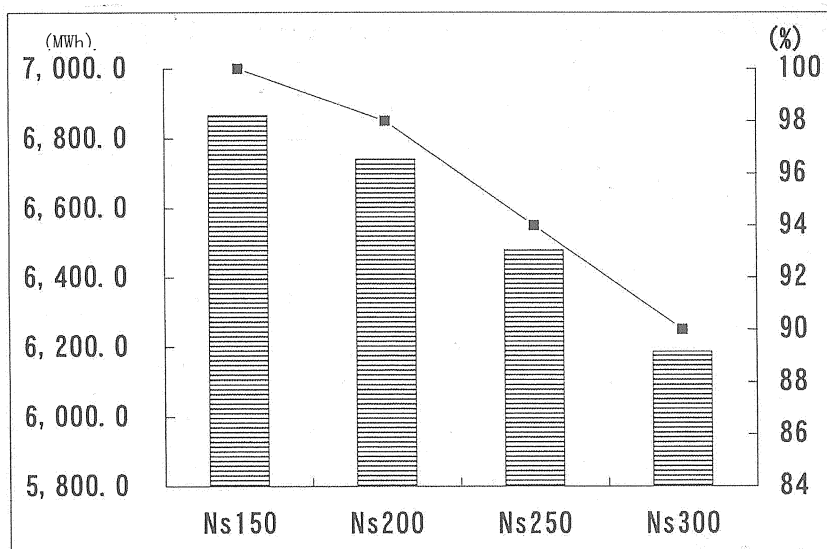
参考としてある発電計画 ($P_{\max}=1,500\text{kW}$) に係る N_s と年間可能発電電力量の関係を次に示す。

なお、流量資料は実測の日流量資料を使用した。

以下に示すとおり、計画段階であっても比速度の選定を誤ると、発電電力量ひいては経済性の評価を誤りかねないことになる。

N_s と発電電力量の関係 (参考例: $P_{\max}=1,500\text{kW}$)

N_s	発電電力量 (MWh)	比 率 (%)
N_{s150}	6,867.7	100
N_{s200}	6,742.1	98
N_{s250}	6,480.3	94
N_{s300}	6,187.3	90



(5) フランシス水車の機械計画

1) フランシス水車の製作限界

ランナ径 : $D_1 < 0.80\text{m}$ 程度 $\rightarrow$ 立軸機不可

ランナ径 : $D_1 < 0.40\text{m}$ 程度 $\rightarrow$ 横軸機不可

なお、近年 $D_1=0.30\text{m}$ の横軸フランシス水車も製作されている。

2) 水車諸元の計算例 (中小水力発電ガイドブック P-110)

条 件 最大使用水量 : $Q_{\max}=3.00\text{m}^3/\text{s}$

有 効 落 差 : $H_{e\max}=45.00\text{m}$

規定周波数 : $f=50\text{Hz}$

$$\begin{aligned}N_{s\ell} &= \frac{23,000}{H_{e\max}+30}+40 \\&= \frac{23,000}{45.00+30}+40 = 347 \text{ (m-kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{i\max} &= 9.8 \times Q_{\max} \times H_{e\max} \\&= 9.8 \times 3.00 \times 45.00 = 1,323 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_t &= 0.8137 + 0.0192 \cdot \log P_{i\max} \\&= 0.8137 + 0.0192 \cdot \log 1,323 = 0.874\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_t &= P_{i\max} \times \eta_t \\&= 1,323 \times 0.874 = 1,156 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{lim} &= N_{s\ell} \times \frac{H_{e\max}^{1.25}}{P_t^{0.5}} \\&= 347 \times \frac{45.00^{1.25}}{1,156^{0.5}} = 1,188 \text{ (r/min)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N &= \frac{120 \times f}{P \text{ (6ポール)}} \\&= \frac{120 \times 50}{6} = 1,000 \text{ (r/min)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_s &= N \times \frac{P_t^{0.5}}{H_{e\max}^{1.25}} \\&= 1,000 \times \frac{1,156^{0.5}}{45.00^{1.25}} = 291 \text{ (m-kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_s &= 9.7 - 0.048 \left(\frac{N_s}{100} \right)^{1.5} \times H_{e\max} \\&= 9.7 - 0.048 \left(\frac{291}{100} \right)^{1.5} \times 45.00 = -1.06 \text{ (m)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_u &= 10^{-0.9171 - \log N_s (0.1004 \log N_s - 0.5798)} \\&= 10^{-0.9171 - \log 291 (0.1004 \log 291 - 0.5798)} = 0.798\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_1 &= 84.6 \cdot K_u \cdot \frac{H_{e \max}^{0.5}}{N} \\
&= 84.6 \cdot 0.798 \cdot \frac{45.00^{0.5}}{1,000} = 0.45 \text{ (m)}
\end{aligned}$$

ここで、 $N=1,000 \text{ r/min}$ とした場合、 $H_s < 0$ となるため
回転数を1段下げ 750 r/min とする必要がある。

$$N = 750 \text{ r/min} = \frac{120 \times f}{P} \quad (8 \text{ ポールの発電機を採用する})$$

$$\begin{aligned}
N_s &= N \times \frac{P_t^{0.5}}{H_{e \max}^{1.25}} \\
&= 750 \times \frac{1,156^{0.5}}{45.00^{1.25}} = 291 \text{ (m-kW)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_s &= 9.7 - 0.048 \left(\frac{N_s}{100} \right)^{1.5} \times H_{e \max} \\
&= 9.7 - 0.048 \left(\frac{219}{100} \right)^{1.5} \times 45.00 = +2.70 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_u &= 10^{-0.9171 - \log N_s (0.1004 \log N_s - 0.5798)} \\
&= 10^{-0.9171 - \log 291 (0.1004 \log 291 - 0.5798)} = 0.776
\end{aligned}$$

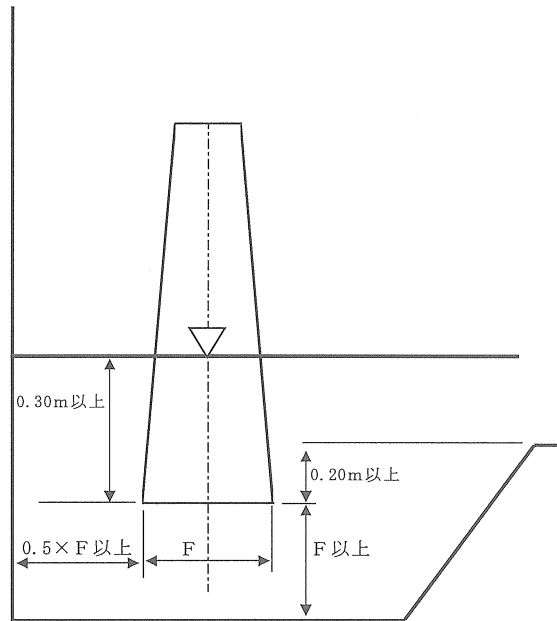
$$\begin{aligned}
D_1 &= 84.6 \cdot K_u \cdot \frac{H_{e \max}^{0.5}}{N} \\
&= 84.6 \times 0.776 \times \frac{45.00^{0.5}}{750} = 0.587 \text{ (m)}
\end{aligned}$$

すなわち、採用する水車は、次の諸元となる。

$$\begin{aligned}
P_t &= 1,156 \text{ kW} \\
N_s &= 291 \text{ (m-kW)} \\
H_s &= +2.70 \text{ m}
\end{aligned}$$

3) 吸出し管（コーン型ドラフトチューブ）に対する放水庭の基本形状

反動水車のドラフトチューブ（吸出し管）は先端を水没させなければならない。横軸フランシス水車では一般的なコーン型ドラフトチューブにおける放水庭の基本形状を、図 7-2-4 に示す。



出典) 昭和 6 1 年度ダム管理用発電設備設置計画の手引き P93

図7-2-4 コーン型ドラフトチューブの場合の
放水庭の基本形状

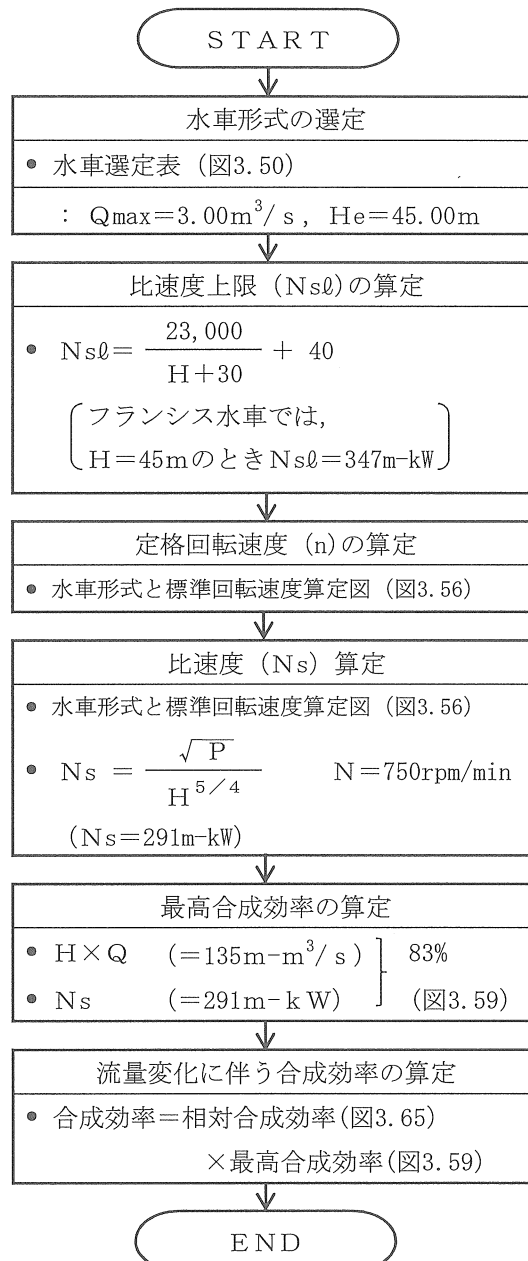
(6) 水車・発電機効率

1) 水車の変流量効率（中小水力発電ガイドブック P-108～P-126）

水車・発電機効率（合成効率）は、流量の変化（変流量効率）及び落差の変化（変落差効率）を考慮する必要がある。

ここに、合成効率 = 水車効率×発電機効率

使用水量の変化に伴う水車・発電機効率は、概略検討時は通常以下のとおり算定する。



2) フランシス水車の等効率曲線図（中小水力発電ガイドブック P-127）

図7-2-5 は、フランシス水車の等効率曲線図といわれるもので、通称“目玉カーブ”とも呼ばれているものである。横軸は流量，縦軸は有効落差を示し，A－A断面は基準有効落差^{注1)} 時における変流量効率である。

ちなみに，B－B断面は基準有効落差を挟む変落差効率である。

注1) 基準有効落差とは

水車を設計する場合の基準となる落差をいい，一般的には，日々変動する流量の頻度などを勘案して，最も効率良く発電できる落差として定める。

変流量効率，変落差効率

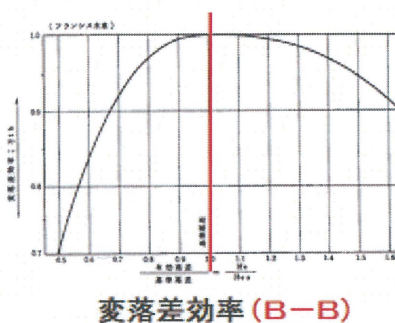
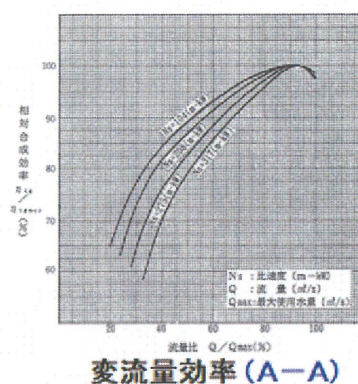
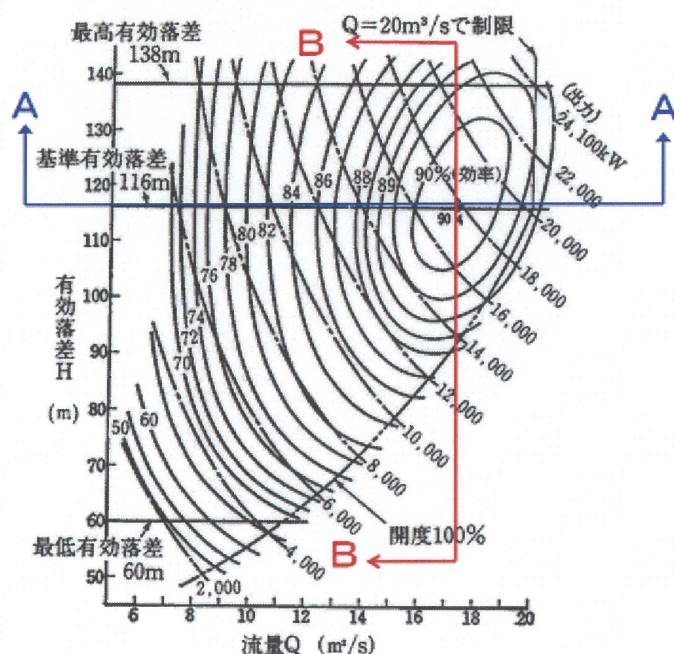


図 7-2-5 フランシス水車の等効率曲線図

注2) ペルトン水車、クロスフロー水車等の効率曲線図は割愛するが、必要に応じ中小水力発電ガイドブック（P120～126）を参照されたい。

3) 発電機効率

定格出力時における発電機効率の目安を図 7-2-6 に示す。同図は、定格電圧、定格力率（95%時）、及び最大出力時（100%出力）の効率である。

同図に示すとおり、発電機出力が小さくなるにしたがい、発電機効率は低下する。

図 7-2-6 から発電機の定格出力時の効率を求め、図 7-2-7 により同期発電機と誘導発電機の部分負荷効率の概算値を求めることができる。

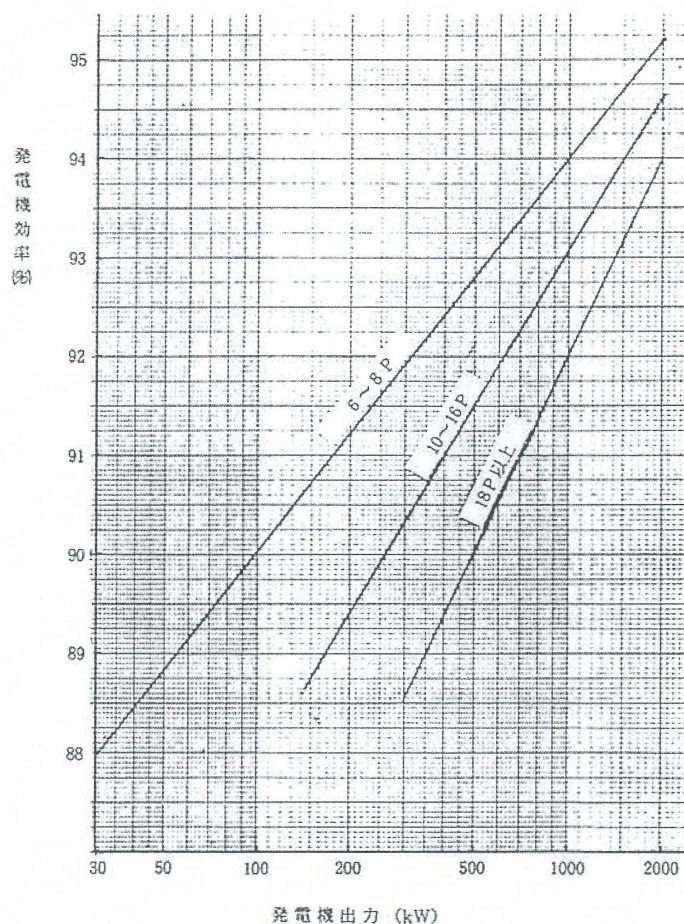


図7-2-6 発電機定格出力時の効率（目安値）

出典：鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 P-79

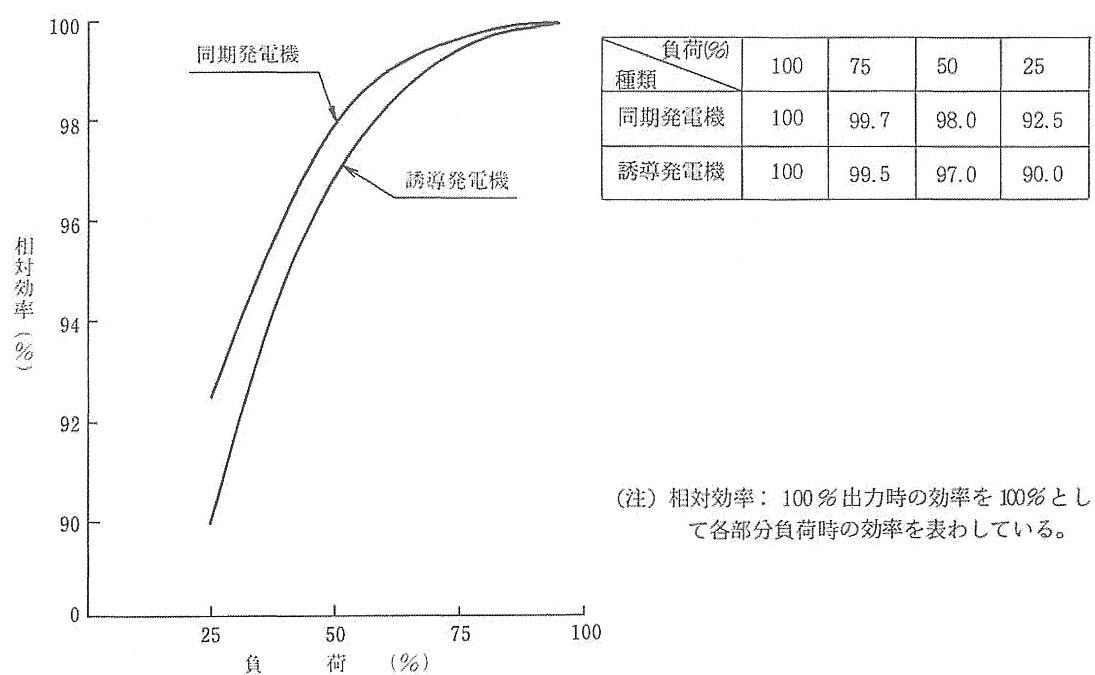


図7-2-7 発電機部分負荷効率（目安値）

出典：鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 P-80

(7) 発電機の種類と特徴

1) 誘導発電機と同期発電機の比較

発電機には、同期発電機と誘導発電機が代表的であり、一般には前者のものが使用されるが、しっかりした電力系統に接続される小容量の水力発電には後者が使用される場合も増えてきている。誘導発電機と同期発電機の比較を表 7-2-2 に示す。

なお、誘導発電機の採用の可否は、連系する送電系統における保安の確保等を前提として、地元電力会社との協議により決定すべき事項である。

表7-2-2 誘 導 発 電 機 と 同 期 発 電 機 の 比 較

	誘 導 発 電 機	同 期 発 電 機
回 転 子 の 構 造	かご形回転子で簡単。	界磁巻線や交流励磁機（又はスリップリング）をもち複雑。
励 磁 装 置	不要。	必要。
保 守	構造が簡単で励磁装置もなく保守が容易。	界磁巻線や励磁装置等の保守点検を要す。
価 格	安価であるが低速機は割高。	誘導発電機よりは高価。
効 率	良いが低速機は悪くなる。	良い。
容 量	大容量機は製作困難、数千kW以下が適当。	大容量機でも問題ない。
並列時の同期合せ	不要。	必要。
並列時の突入電流	強制並列なので大きな過渡電流が流れる。系統の電圧降下を抑えるためにリアクトルの必要な場合がある。	同期を合わせて並列に入れるので過渡電流は小さく系統の電圧降下に問題ない。
無 効 電 力	負荷に供給できないうえに励磁電流分を系統から取り込む。	定格力率以内は負荷に合わせて供給可能。
力 率	力率が悪い場合、力率改善コンデンサが必要となる場合が多い。	通常、定格力率 0.90～0.98（遅れ）とする。
単 独 運 転	通常できない。	常に可能。

出典）中小水力発電ガイドブック P-102

2) 誘導発電機の運転上の問題

① 並列時の突入電流による電圧降下

誘導発電機を系統に並列する時は、回転速度を系統の周波数に対応する同期速度にできるだけ近づけ発電機用遮断器を投入するが、この場合定格電流の約5～10倍の突入電流が数サイクル程度流れたのち定格電流以下まで減衰する。系統の容量によっては、この突入電流により系統の電圧降下が大きく他の設備に影響を与えることもあるので、あらかじめその影響を検討する必要がある。

② 力率の改善

誘導発電機は接続される系統から励磁電流を取って運転するので、単独運転はできず力率も調整できない。

この励磁電流の分だけ系統に無効電力の負担を及ぼす。力率を改善する場合には発電機に並列にコンデンサを接続する必要がある。

③ 自己励磁現象

誘導発電機の力率改善用コンデンサなどが接続され発電機と並列に接続されるコンデンサ容量が大きな状態で負荷遮断が行われると、コンデンサの進み電流により発電機が励磁され、高い電圧を誘起する自己励磁現象が発生する場合がある。

これを防止するため発電機の無負荷飽和特性とコンデンサの電圧、負荷特性を十分検討し、コンデンサの容量を適切に選定する必要がある。

自己励磁現象を検討する際の静電容量としては、力率改善コンデンサ、他需要家及び線路に設置されているコンデンサ、配電線及び発電機回路に使用されているケーブル等がある。したがって、線路停止時に自動的に発電機を解列する装置が必要となる。

誘導発電機と同期発電機の比較は、前掲表 7-2-2 に示すとおりである。

(8) スクリーン

水車ランナにゴミや夾雑物が絡まることによる水車性能低下やランナの損傷を防ぐ目的で、取水口及び水圧管の呑口にスクリーンを設ける。

スクリーンの有効間隔（目幅）は、水車の種類や寸法、及びゴミ等の量や質を考慮して決定する必要があるが、入口弁口径が $\phi 200\text{mm}$ ～ $\phi 800\text{mm}$ 程度でのスクリーンの有効間隔は20～30mm程度である（図 7-2-8 参照）。

なお、実際には、各機器により要求もあるため、メーカー技術資料等を参考とすることも必要である。

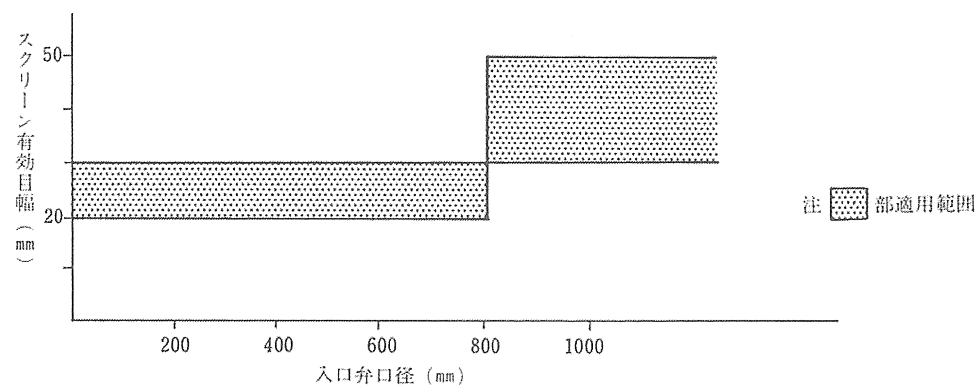


図7-2-8 スクリーンの有効間隔（目幅）参考値

出典) 鋼構造物計画設計技術指針

(小水力発電設備編 農水省構造改善局 昭和61年 P43)

また、フランシス水車の場合、経験的に水車ランナ径の5%程度を目安とする場合もある（中小水力発電ガイドブック P-65）。

ここに、水車ランナ径の概算値は、中小水力発電ガイドブック P-110 記載のフランシス水車諸元算定手順によって概略値（ D_1 の値）が算定できる。

(9) 送変電設備

本項については、「鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 例えば技術参考資料 P115を参考とした。

1) 発電規模と系統電圧

発電機の電圧は、接続される系統電圧及び主変圧器の有無等の主回路接続方式並びに変圧器、遮断器、開閉装置及びケーブル等による経済性を検討して決定されることになるが、2,000kW以下の小規模な水力発電では、次の容量区分が一般的である。

発電機容量	発電機電圧
2,000～300kVA	6,600又は3,300V
300kVA以下	440又は220V

注）系統とは、電気事業者が電気の需要に応じるため電源（水力、火力及び原子力発電所など）から電力輸送設備（変電所、送電線及び配電線）を経て負荷にいたるまでの全ての要素が有機的に密接に連系され、電力の発生から消費まで行っているものを総称したものである。

系統連系規程では、電圧階級と1つの系統構成について、以下のとおり定めている。

低圧とは	600V以下
高圧とは	600Vを超えて7,000V以下
特別高圧とは	7,000Vを超えるもの

2) 系統電圧の変動

配電線の電圧は、需要家に影響を与えないよう電気の供給地点において維持すべき変動の幅が法規で規定されている。したがって、発電所を接続することにより、この規定値を超過しないように考慮しなければならない。

このため、最も大きな電圧変動が予想される並列投入時については、線路特性も含めて検討し、同期発電機の場合には同期投入装置の設置、誘導発電機の場合には突入電流を抑えるためのリアクトルの設置を考慮する必要がある。電気事業者によってはリアクトルの設置を要求される場合がある。

3) 系統力率の保持

誘導発電機の場合は、系統より無効電力の供給を受けるため系統の力率を低下させる。

力率低下の程度は、発電機が低速機となるほど大きい。系統によっては、この力率低下を改善するため発電機に並列に電力用コンデンサを設置することを電気事業者より要求される場合がある。

なお、このコンデンサを設置した場合は、解列時自己励磁現象により高電圧を発生することがあるので、その容量の決定に当たっては十分注意する必要がある。

4) 負制動現象

同期発電機の場合、発電機を含めた線路のリアクタンス X と抵抗 R の関係 X/R が大きくなると発電機が乱調を起こすことがある。特に、配電線に接続される制動巻線なしの発電機によく生じるので、接続される配電線の特性を調査の上、発電所側の対策が必要となる場合がある。

5) 保護方式

発電所内の故障による配電線に影響を及ぼさぬようにすることや、配電線故障に対する対応方法、発電機の単独運転防止等、電気事業者と保護方式について協調をとる必要がある。保護装置の種類については、ここでは割愛するが「系統連系規程（社）日本電気協会」等を参照されたい。

6) 配電盤及び制御盤

① 盤の構成

盤構成（7面構成）の1例を表 7-2-3 に示す。

表7-2-3 標準的な盤構成

	盤名称
高圧盤	V C T 盤
	送電遮断器盤
	発電機遮断器盤
	所内盤
低圧盤	発電機盤
	保護継電器盤
	A V R 盤
	自動制御盤
	直流電源盤

高低圧配電盤配置図（7面構成）及び概略寸法・概略重量を図 7-2-9 に示す。

② 配置図

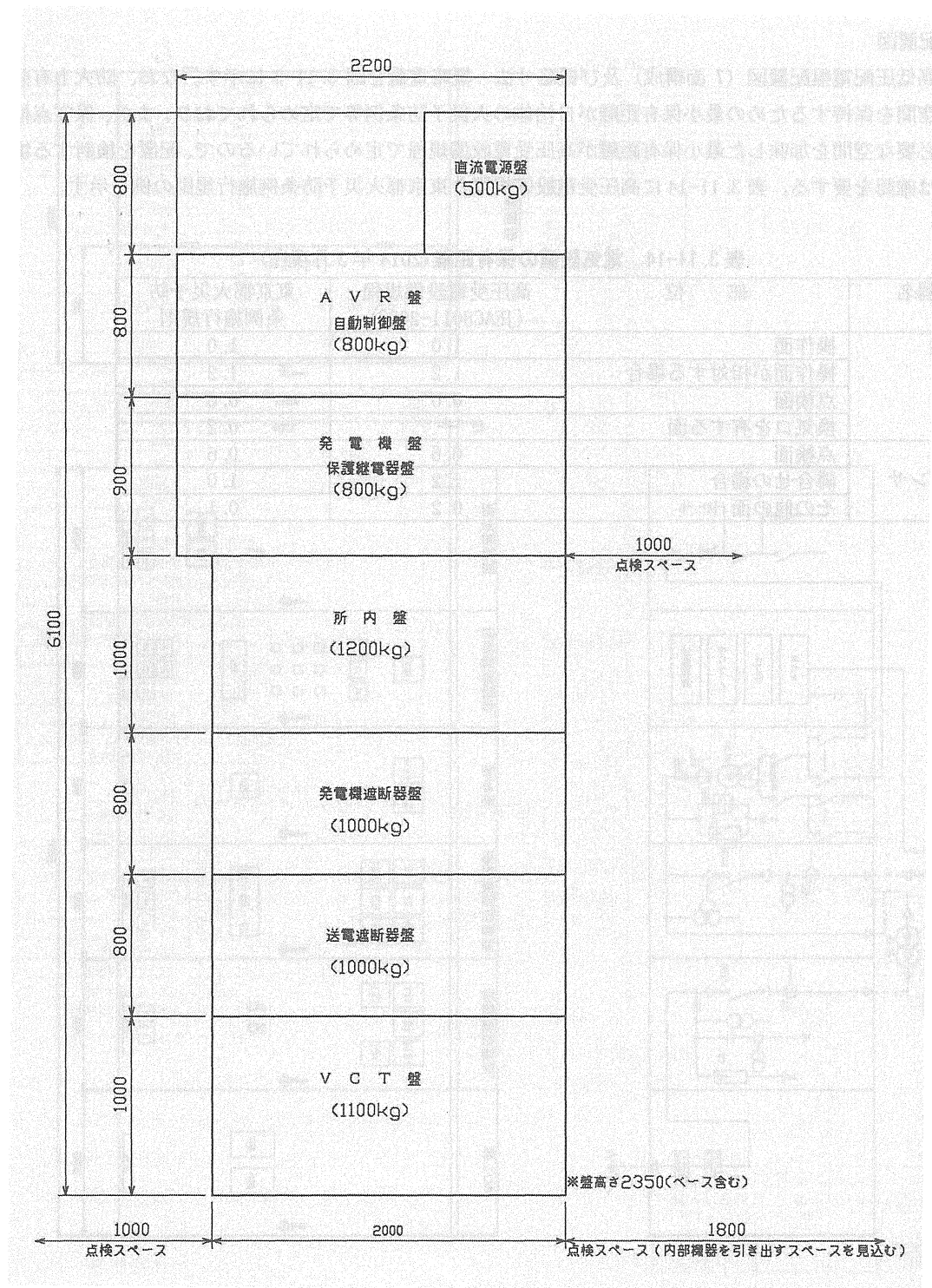


図7-2-9 高圧配電盤配置図 (7面構成)

出典) 「鋼構造物計画設計技術指針 (小水力発電設備編) 平成26年12月
技術参考資料 P279

8. 運転・保守管理

および主任技術者の実務

8. 運転・保守管理および主任技術者の実務

8.1 運転・監視制御

従来の大規模水力発電所では高度な制御ならびに保護を行っている場合が多いが、中小規模の発電所は電力系統に対する重要度が低いので、系統運営の障害とならない範囲で、制御、保護方式の簡略化を図ることが必要である。

(1) 運転制御方式の種類

出典)「鋼構造物計画設計技術指針(小水力発電設備編) 平成 26 年 12 月
技術参考資料 P228

1) 操作場所による運転制御方式

(ア) 機側操作方式

水車、発電機、補機等を直接監視することのできる場所で操作する方式で、一般に配電盤が主機の単独操作によって行われることが多く、運転員が各種器の正常な動作を確認しながら、各機器を単独に操作（手動制御）することになる。

(イ) 遠隔操作方式

水車、発電機、補機等を配電盤室等から遠隔に操作する方式で、監視制御盤が主機の位置から離れた配電盤室に設備される場合に採用される。この操作方式は、水車等の運転状態を監視制御盤上に表示して、これらの計器を目視しながら水車等を連動操作（一人制御）によって行うものである。

(ロ) 遠方操作方式（遠方制御方式）

発電所から離れた制御所から水車等を運転操作する方法で、通常故障の場合には自動停止して、制御所に警報するように設備された自動運転方式である。

操作方法による分類		監視制御の方法による分類	操作場所による分類
手動制御方式		常時監視制御方式	機側操作方式
自動制御方式	一人制御方式	随時監視制御方式	遠隔操作方式
	全自動制御方式	遠隔常時監視制御方式	遠方操作方式 (遠方制御方式)

(注) ----- は監視制御方式と、他分類による方式との関連を示す。

2) 操作方法による運転制御方式

(ア) 手動制御方式（単独操作方式）

水車、発電機の始動・運転・停止並びに諸制御を機側で運転員の判断と操作によって行う方式である。水車、発電機及び附属機器等が直接監視できる場所で、換作する配電盤が主機の近くに設置される場合に採用される。この方式の場合には、各機器の操作手順はそれぞれ単独操作によって行われることが多く、運転員が各機器

の正常な動作を確認しながら、それぞれの機器を単独に操作することになる。

(イ)一人制御方式（連動操作方式）

この方式は水力発電所の自動制御方式の基本形であり、多くの発電所で採用されている。配電盤室で、運転員が操作スイッチを操作することによって補機類の始動を行い、始動条件が満足されると水車の始動、発電機の電圧発生、並列など電力の発生に必要な操作が順序よく自動的にできるようになっている。配電盤上の主制御スイッチを「運転」に操作し、運転条件が満足されると水車が自動的に始動する。

(ロ)全自動制御方式

運転員が操作しなくても、あらかじめ定められた条件（例えば水位が規定値、始動の設定時刻、送電線が規定電圧など）により、水車、発電機を自動始動させて系統に並列に入れる。出力調整は水位調整器や予定のスケジュール（プログラム運転）などにより、自動的に行われ、事故時やあらかじめ定められた条件（例えば水位が規定値以下、停止の設定時刻、送電線が無電圧など）で自動停止を行う方式である。

(2) 監視制御方式の分類

監視制御方式は「電気設備に関する技術基準」第 46 条（常時監視をしない発電所等の施設）に基づき定められた発電電規程第 2-1 条（日本電気協会）に、次の 4 種類に分類されている。

- ① 常時監視制御方式
- ② 遠隔常時監視制御方式
- ③ 随時監視制御方式
- ④ 随時巡回方式

すなわち、常時監視しない発電所の監視制御方式は、上記②から④である。近年は、電力用機器の信頼度の向上、保護装置の充実により、ほとんどの発電所が、常時人がいない発電所となっている。

表 8-1-1 に水力発電所の監視制御方式を分類して示す。各監視制御方式の適用条件は、発電電規程で表 8-1-2 のとおり規定されている。

水車及び発電機の運転・停止を監視操作する装置、水車及び発電機の負荷を調整する装置、運転操作に常時必要な遮断器の開閉を監視する装置については、監視制御方式の種類に応じて施設する場所が、発電電規程で規定されている（表 8-1-3 参照）。

表 8-1-1 水力発電所の監視制御方式

区 分	種 類	定 義
発電所において常時監視をするもの	常時監視制御方式	技術員が発電所に常駐し、発電所の監視及び機器の操作をその発電所において行うものをいう
発電所において常時監視をしないもの	遠隔常時監視制御方式	技術員が制御所に常時駐在し、発電所の監視及び機器の操作を制御所から行うものをいう。
	随時監視制御方式	自動電圧調整装置又は自動負荷制限装置を施設する発電所であって、技術員が発電所又はその構外にある技術員駐在所に常時駐在し、必要に応じて発電所に出向き、発電所の監視及び機器の操作を制御所から行うものをいう。
	随時巡回方式	自動負荷調整装置又は自動負荷制限装置を施設する発電所であって、技術員が適当の間隔においてその発電所に出向き、発電所の監視及び機器の操作をその発電所において行うものをいう。

表 8-1-2 水力発電所の監視制御方式の適用条件

(発電電規程第 2-2 条)

項 目	常時監視 制御方式	遠隔常時監視 制御方式	随時監視 制御方式	随時巡回方式
発電所の出力	制限なし	制限なし	制限なし	2,000kW 未満
発電所に施設する変圧器の使用電圧	制限なし	制限なし	170kV 以下	170kV 以下
切替操作頻度	制限なし	制限なし	送電系統の切替操作頻度が少ないこと。ただし、制御所又は技術員駐在所から切替操作を監視し、かつ、操作する装置を施設する場合はこの限りではない。	送電系統の切替操作が非常に少ないこと。

表 8-1-3 水力発電所の監視操作装置等の施設箇所

(発電電規程第 4-15 条)

項目 \ 種類	常時監視 制御方式	遠隔常時監視 制御方式	随時監視 制御方式	随時巡回方式
水車及び発電機の運転・停止を監視及び操作する装置	当該発電所	当該発電所 制御所	当該発電所	当該発電所
水車及び発電機の負荷を調整する装置	当該発電所	当該発電所 制御所	当該発電所	当該発電所
運転操作に常時必要な遮断器の開閉を監視する装置及び操作する装置	当該発電所	当該発電所 制御所	当該発電所	当該発電所

8.2 保守管理

(1) 保安規程に基づく保守管理

保守管理にあたっては次のような事項について保安規程を定め、主任技術者の責任監督のもとに運営管理する。

保安規程に定めるべき事項（施行規則第 50 条第 3 項）

- ①電気工作物の工事、維持、又は運用に関する業務を管理する者の職務及び組織に関すること
- ②電気工作物の工事、維持、又は運用に従事する者に対する保安教育に関すること
- ③電気工作物の工事、維持、又は運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関すること
- ④電気工作物の運転又は操作に関すること
- ⑤発電所の運転を相当期間停止する場合における保全の方法に関すること
- ⑥災害その他非常の場合に採るべき措置に関すること
- ⑦電気工作物の工事、維持、又は運用に関する保安についての記録に関すること
- ⑧電気工作物の法定事業者検査又は使用前自己確認に係る実施体制及び記録の保存に関すること
- ⑨その他事業用工作物の工事、維持及び運用に関する保安に関し必要な事項

(2) 保守業務

保守業務は設備の機能を保ち、劣化・損傷等から守ることであり、主とした日常的な業務は次のようなものである。

表 8-2-1 保守業務の主な内容

種 類	内 容
巡 視	設備を巡回して異常の有無、補修の要否を把握する (定期、臨時、細密)
点 検	設備の状態把握及び機能確認を行う（定期、臨時、細密）
計測試験	設備の安全性及び性能確認を把握するため点検等に合わせて行う
補修作業	発見された設備及び関連構造物の不具合を補修する

土木設備の保守管理にあたっては、構成する各設備の構造、特徴を熟知し、日常の巡視ならびに点検、手入れを入念に行うとともに、ゲート等の適切な操作によって、事故を未然に防止し、発電が支障なく行われるよう努めなければならない。

電気機械設備の保守点検においては、設備の性能、構造及び部品の異常の有無を調査し、その傾向を把握することで設備の健全な維持につなげていくことが大切である。

(3) 報告

電気事業者は電気関係報告規則により、定期報告（第 2 条）、事故報告（第 3 条）および必要な報告をすることが定められている。

定期報告：発受電月報（電気事業者）

自家用発電所運転半期報（自家用電気工作物（出力千 kW 未満の発電所を除く）を設置する者）

事故報告：感電、電気工作物の破損、電気工作物の誤操作、電気火災事故、社会的に影響を及ぼした事故等

8.3 主任技術者の実務

(1) 主任技術者の職務

主任技術者は、通常の業務執行における指揮・監督関係とかかわりなく、電気工作物の工事、維持および運用に関する保安監督の責任と権限を有し、保安規程に基づいて次のような職務を誠実に行う。

- ① 保安のための諸計画の立案にあたり、関係責任者に指示、指導・助言を行う。
- ② 保安上必要な場合には、関係責任者に指示、指導・助言を行う。
- ③ 保安活動の実施状況の記録内容を点検・確認する。
- ④ 使用前自主検査等において、検査の指導、監督を行う。
- ⑤ 所管官庁が行う立入検査に立会う。

(2) ダム水路主任技術者

1) ダム水路主任技術者の選任

水力発電所（小型のもの又は特定の施設内に設置されるものであって別に告示されるものを除く）であって、高さ 15m 以上のダムもしくは圧力 392kPa 以上の導水路、サージタンクもしくは放水路を有するものまたは高さ 15m 以上のダムの設置工事を行うものはダム水路主任技術者の選任を行う。（電気事業法施行規則第 52 条）

2) ダム水路主任技術者の監督範囲および資格要件

監督範囲および資格要件は別表 8-3-1 のとおりである。

3) ダム水路主任技術者の選任形態

主任技術者免状を有する者を自社の従業員から選任することが原則である。ただし、一定の条件を満たせば、以下の例外制度の利用が可能である。

【外部選任制度】

設置者は、主任技術者の保安上の意見を尊重する旨の契約を締結するなどを条件に、主任技術者を自社の従業員以外（派遣労働者等）から選任できる制度

（根拠規程）規則第 52 条第 1 項「主任技術者制度の解釈及び運用（内規）」

【統括事業場制度】

主任技術者が「水力発電所そのもの」に常駐するのではなく、保安人員とともに「水力発電所を統括する事業場」に常駐し、近接の複数の水力発電所を統括して管理できる制度（ダムの高さが 15m 未満等の水力発電設備に限る）

（根拠規程）規則第 52 条第 1 項、*運用内規を明確化（平成 28 年 3 月）

【兼任制度】

大臣の承認を受けて、近隣の複数事業場を兼任できる制度

（根拠規程）規則第 52 条第 3 項「主任技術者制度の解釈及び運用（内規）」

【外部委託承認制度】

小規模な電気工作物であれば、外部の主任技術者や保安法人（主任技術者を擁し、保安サービスを提供する法人）へ保安管理業務を委託できる制度

（根拠規程）規則第52条第2項（電気）、＊外部委託制度を創設（平成28年3月）

【許可選任制度】

大臣の許可を受けて、主任技術者免状を持たない者から主任技術者を選任できる制度

（根拠規程）法第43条第2項、「主任技術者制度の解釈及び運用（内規）」

表 8-3-1 対象施設等の実態に応じたダム水路主任技術者選任等の要否

		自家用電気工作物			電気事業の用に供する事業用電気工作物
		500kW未満	2,000kW未満	2,000kW以上	
免状保有者	外部選任制度（自社・派遣労働者）	○（※1）	○（※1）	○（※1）	×
	統括事業場制度（自社）	（※2） ＊ダムの高さ15m未満又は導水路の圧力が392kPa未満等のものに限る			
	兼任制度（自社）	○	○	○	○
	外部委託承認制度（他社）	（※2） ＊水路式かつダムの高さ15m未満のものに限る		×	×
免状を保有しない者	許可選任制度	○	○（※3） ＊対象は2,000kW以下。水路式かつダムの高さ15m未満、経済産業省の要件に適合する講習会修了者。	×	×

※1 平成24年3月30日付けで改正（発電所に常時勤務）

※2 平成28年3月22日付けで改正（原則2時間以内に到達体制）

※3 平成28年12月26日付けで改正

4) ダム水路主任技術者に求められること

水力発電設備に事故・トラブルがあった際、急激な溢水、相当量の漏水、土砂崩れ等による人的傷害、公共施設の損壊等が懸念される。また、水力発電設備の構造は、設置地点ごとに設計仕様が異なることもあり、ダム水路主任技術者には、現場に応じて次のようなことが求められる。

- ・技術基準に適合していることを判断する
- ・定常運転時における設備の異常を発見する
- ・自主点検等において設備の健全性を判断する
- ・事故・トラブル時において適切に対応する
- ・発電所の運転操作を指導する

(3) 電気主任技術者

1) 電気主任技術者の選任

水力発電所（小型のもの又は特定の施設内に設置されるものであって別に告示されるものを除く）、変電所、送電線路又は需要設備の設置工事を行う事業場、又はそれらを管理する事業場を直接統括する事業場は電気主任技術者の選任を行う。（電気事業法

施行規則第 52 条)

2) 電気主任技術者の監督範囲および資格要件

監督範囲および資格要件は別表 8-3-2 のとおりである。

3) 電気主任技術者の選任形態

【選任届出】(電験有資格者を 1 事業場に)

原則として、自家用電気工作物である事業場に、そこに常時勤務している電気主任技術者免状の有資格者を選任する形態

*監督する事業場が掛け持ちの事業場ではないため、「専任」ともいう

【選任許可】(免状がない者を 1 事業場に)

自家用電気工作物である事業場に、そこに常時勤務している電気主任技術者免状を有していない者を選任することの許可を受けた形態

【兼任承認】(電験有資格者を複数事業場に)

自家用電気工作物である事業場に、すでに別の事業場に選任している電気主任技術者免状の有資格者を兼任させることの承認を受けた形態

【外部委託承認】(委託して選任しない事業場)

中小規模の自家用電気工作物である事業場に、保安管理業務を所定の条件を満たす外部の法人(電気保安法人)又は個人(電気管理技術者)に委託して、自らの役員や従業員等から電気主任技術者を選任しないことの承認を受けた形態

表 8-3-2 自家用電気工作物に係る電気主任技術者の選任形態

選任形態	主な条件	需要設備の最大電力			
		100kW未満	100kW以上 500kW未満	500kW以上 2000kW未満	2000kW以上
選任	電気主任技術者免状	○	○	○	○
選任許可	第1種電気工事士又は認定校卒	○	○	×	×
	第2種電気工事士等	○	×	×	×
兼任	電気主任技術者免状	○	○	○	×
外部委託承認	保安業務委託	○	○	○	○

*外部委託については、電圧 7 千 V 以下で受電するものに限る

*発電所、配電所等は、それぞれの選任形態により設備規模の上限が異なる

【主任技術者の監督範囲および資格要件】

別表 8-3-1 ダム水路主任技術者

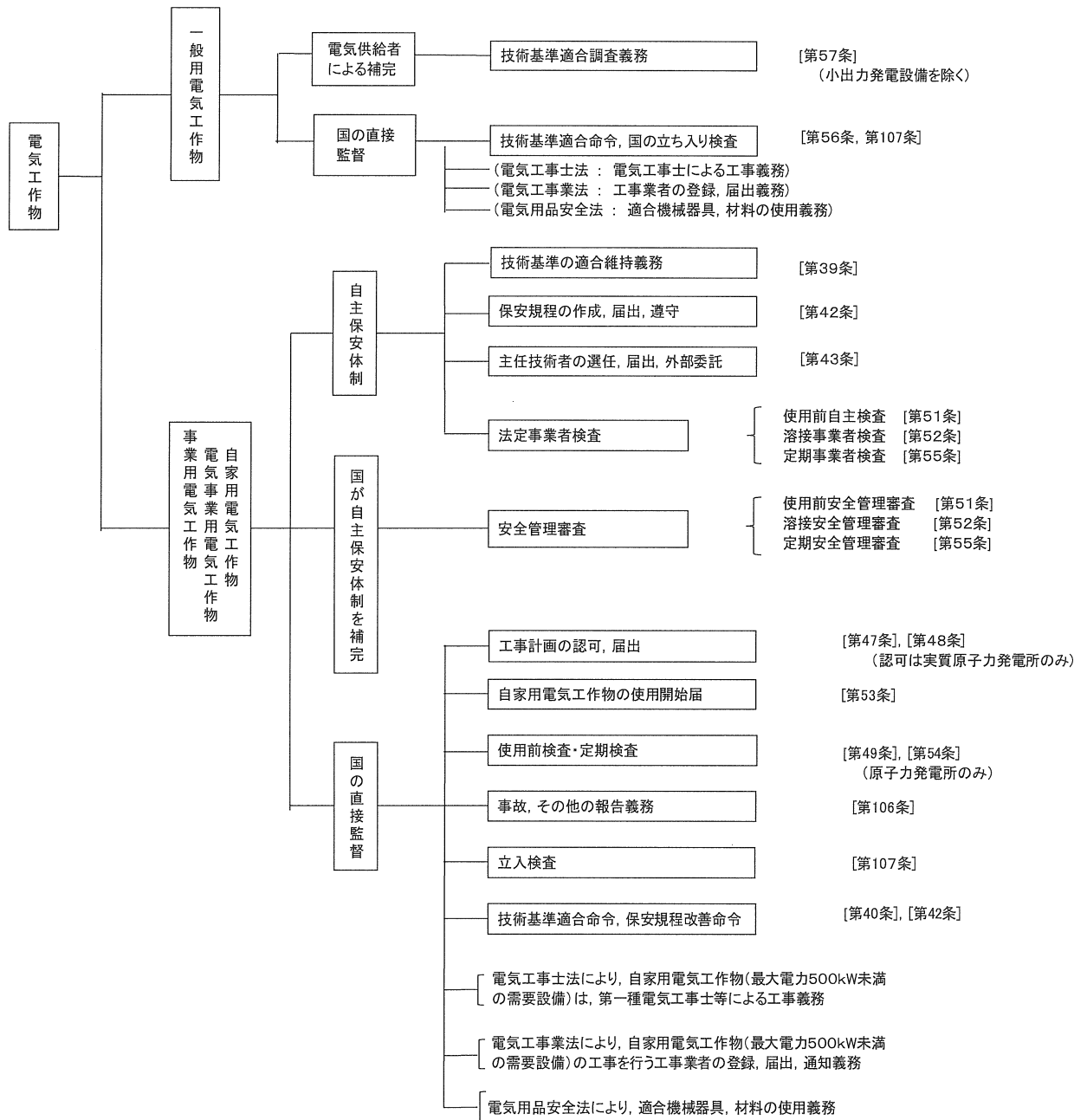
	第一種ダム水路主任技術者	第二種ダム水路主任技術者
監督範囲	水力設備の工事、維持及び運用	水力設備（ダム、導水路、サージタンク及び放水路を除く）、高さ 70m 未満のダム並びに圧力 588kPa 未満の導水路、サージタンク及び放水路の工事、維持及び運用
資格要件	・大学（土木工学） 5〔3〕年 ・大学 9〔3〕年 ・短大、高専（土木工学） 6〔4〕年 ・短大、高専 1 0〔4〕年 ・高等学校（土木工学） 1 0〔5〕年 ・高等学校 1 4〔5〕年 ・中学 2 0〔1 0〕年 []は、高さ 15m以上のダムの工事、維持又は運用の経験年数	・大学（土木工学） 3〔3〕年 ・大学 5〔3〕年 ・短大、高専（土木工学） 3〔3〕年 ・短大、高専 5〔3〕年 ・高等学校（土木工学） 5〔3〕年 ・高等学校 7年〔3〕年 ・中学 1 2〔1 0〕年 []は、水力設備の工事、維持又は運用の経験年数

別表 8-3-2 電気主任技術者

	第一種電気主任技術者	第二種電気主任技術者	第三種電気主任技術者
監督範囲	事業用電気工作物の工事、維持及び運用*	電圧 17 万ボルト未満の事業用電気工作物の工事、維持及び運用*	電圧 5 万ボルト未満の事業用電気工作物(出力 5 千 kW 以上の発電所を除く)の工事、維持及び運用*
資格要件	【実務経験】電圧 5 万ボルト以上の電気工作物の工事、維持又は運用 〈大学〉（経済産業大臣認定の電気工学で規定の科目） ・・・卒業前の経験の 1/2 と卒業後の経験の和が 5 年以上 〈第二種電気主任技術者〉 ・・・免状交付後の経験が 5 年以上	【実務経験】電圧 1 万ボルト以上の電気工作物の工事、維持又は運用 〈大学〉（同左） ・・・卒業前の経験の 1/2 と卒業後の経験の和が 3 年以上 〈短大、高専〉（同上） ・・・卒業前の経験の 1/2 と卒業後の経験の和が 5 年以上 〈第三種電気主任技術者〉 ・・・免状交付後の経験が 5 年以上	【実務経験】電圧 500 ボルト以上の電気工作物の工事、維持又は運用 〈大学〉（同左） ・・・卒業前の経験の 1/2 と卒業後の経験の和が 1 年以上 〈短大、高専〉（同上） ・・・卒業前の経験の 1/2 と卒業後の経験の和が 2 年以上 〈高等学校〉（同上） ・・・卒業前の経験の 1/2 と卒業後の経験の和が 3 年以上
	第一種電気主任技術者試験合格者	第二種電気主任技術者試験合格者	第三種電気主任技術者試験合格者

* 第一種ダム水路主任技術者に係る範囲は除く

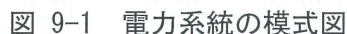
【参考】電気保安体系



9. 電力系統と運用

(1) 電力系統

また、基幹送電網については、50c/s と 60c/s を仲介する周波数変換所(F/C:Frequency Converter) や海峡を接続する直流送電線を介して、沖縄電力を除くすべての電力会社を連系している (図 9-2 参照)。



<http://www.fepec.or.jp/library/data/infobase/>

電力会社は、それぞれ中央給電指令所を中心にネットワークの運用を図っており、需要の調整、事故時の対応、ならびに周波数の維持等を図っている。

水力発電所を設置した場合、全量を自家消費する場合を除いて、電力系統へ接続することになる。概して出力が大きい場合は送電線が対象となるが、規模の小さい場合は配電線へ直接つなぎ込むことになる。実際には、当該時点の系統の状況や後述する誘導発電機の系統保護上の問題等により、委細は電力会社と十分な調整が必要である。本件に関しては平成28年度7月に資源エネルギー庁が「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン 平成28年度7月28日」を定めているので、巻末に「参考資料1」として示す。

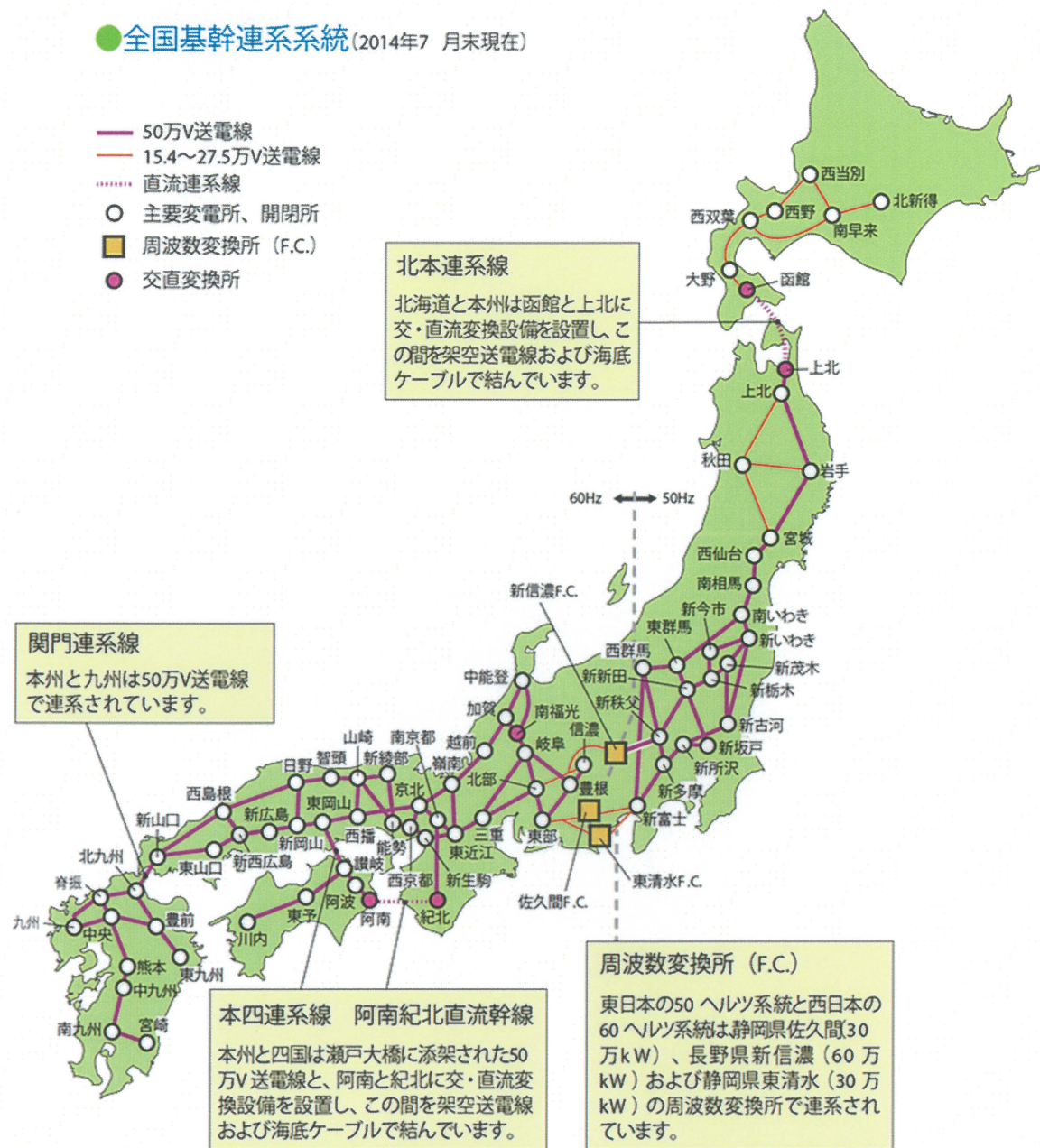


図 9-2 全国基幹連系系統

出典) 電気事業連合会 HP

<http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/>

(4) 誘導発電機

通常、電力系統に接続されている発電機は同期発電機であるが、500kW 程度以下の発電所（システム）では、構造がシンプルで価格の安い誘導発電機が有利となることが多い。

ただし、誘導発電機を採用した場合には、励磁装置が不要なものの、系統並列時の突入電流（ラッシュカレント）対策、力率改善用コンデンサの要否等の問題がある。

10. 水力開発のポイント

10. 水力開発のポイント

水力開発の主要な隘路である地域の合意形成に注目して、その要となる地域貢献の要素と貢献事例について調査し取りまとめるとともに、事業者と地域が利益背反となる従来の関係から脱却し、地域が主体となって専門家や外部資本との協働で地域に公益をもたらす水力開発を推進するための考え方をとりまとめた。なお、本資料は公益財団法人河川財団による河川基金の助成を受けた研究成果（代表者井上素行）を利用している。

10.1 水力発電の価値および開発の隘路

（１）水力発電の価値

水力は CO₂や大気汚染物質の排出が非常に少ないクリーンなエネルギーである。太陽光や風力と異なり安定した発電が可能で、長期的な持続性や経済性に優れている。調整池式や貯水池式の水力は出力変動が激しい再エネ導入に対して系統の安定にも寄与し、これからの我が国の電力供給に大切な役割を果たす再生可能エネルギーである。地域のくらしや経済への貢献、防災や環境の改善などと一体的に開発することによって多様な価値を創出することが可能である（P10-26 参照）。しかし、このような水力の価値と可能性については十分に理解されておらず、総合的に価値を生かすための方法論が確立されてない状況である。

（２）水力開発の隘路

全国の水力開発経験者および水力に強い関心を有する個人を対象として、水力開発の隘路および解決策に関するアンケート調査を行った（「再生可能エネルギーとしての水力の価値の評価と開発推進方策に関する調査研究（平成 26 年度河川財団助成研究）」¹⁾）。

アンケート調査において水力開発が十分進まない理由について尋ねた結果、主な要因として「経済性が低い」、「地元の合意が得られにくい」および「総合的な水力開発の推進戦略・推進体制が不十分」があげられた。また、「規制緩和」、「支援制度・水力利用技術」および「ダム式水力」についても様々な課題があることが明らかになった。

特に、水力開発の地元合意については回答者の約 2/3 が水力開発の進まない理由にあげており、地域の共有財産である河川水を発電利用する際の大きな課題となっている。対策・要望の主な内容は以下のとおりであった。

１） 地域貢献

地場産業や観光振興等による地域の活性化・持続的な収益につながる地元のメリット、災害時の電気供給等の防災・減災面での地元への貢献、地域と共生する地域参加型の水力開発事業スキームなどが不足している。

２） 環境との調和

国・自治体等による支援・調整、漁協や用水組合、住民等の地域社会との調和、自然環境の保全対策などが不十分である。

３） 水力の価値の理解と活用

水力の電力価値や地域貢献の先進事例の理解・活用、地元の推進リーダーの育成、地域の問題や要望への事業者の対応力などが不足している。

（３）隘路の解決に向けて

開発現場で生じている主な隘路は経済性と地元合意であるが、この背景原因を追究すると、水力の特性をふまえた総合的な開発戦略・推進体制と水力関係者への専門的な支援の弱さがある。さらに、これらの背景には、関連情報を分析し政策につなげるための専門家や研究者、実務者などからなる推進支援体制の弱さがある。これらを分析すると、図 10.1 に示す相互に関連する 4 つの主要な隘路に整理することができる。

今後、再生可能エネルギーとしての水力の優れた電力価値、環境価値、および社会的価値を生かして、永続的に地域と共存し、電力の安定供給に貢献するための水力開発を実現するためには、相互に関連している 4 つの隘路を総合的に解決する必要がある。

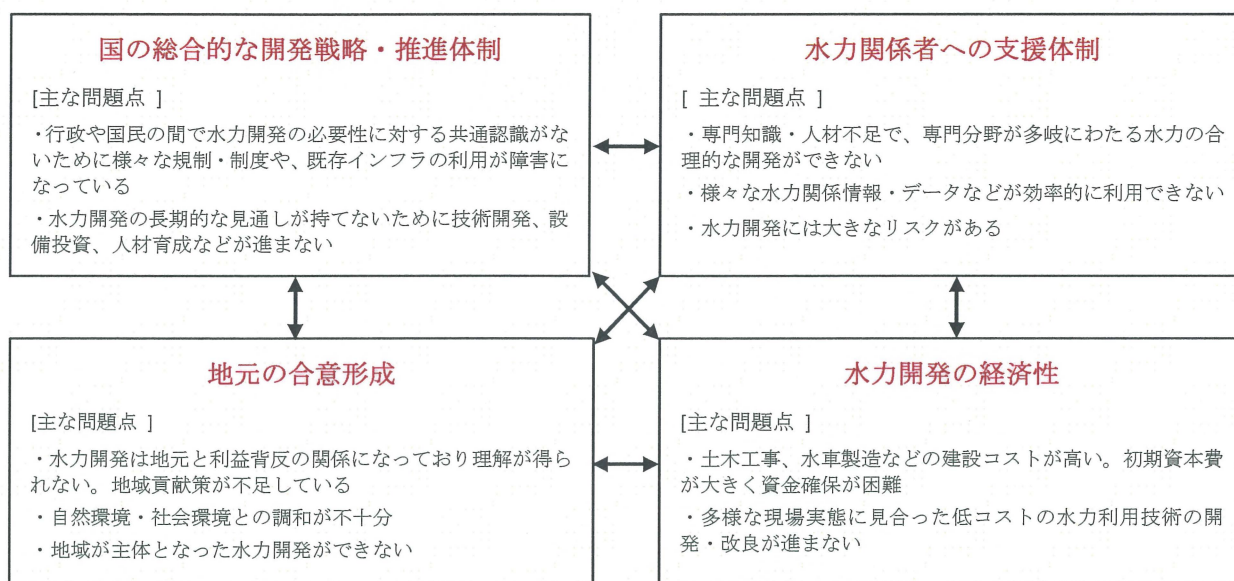


図 10.1 相互に関連している水力開発に係る 4 つの主要な隘路

10.2 制度・政策における地域貢献の要素

（１）制度・政策における地域社会への貢献のねらい

発電設備等の設置、運用による地域社会への貢献については、これまでも国のエネルギー政策や地域政策に盛り込まれてきた。それらは、電源立地促進のための地元対策の考え方から、地域資源を活用した立地地域の活性化、すなわち再生可能エネルギープロジェクトの便益を立地地域が共有し、発電所と地域の持続的な共生を図る考え方に変化している。表 10. 1 は、これまでの主な制度・政策における地域社会への貢献の狙いを、経済的効果と社会的効果に分けて整理したものである。

第一次石油危機直後の 1974 年に創設された電源三法（「電源開発促進税法」「電源開発促進対策特別会計法」「発電用地域周辺施設整備法」）交付金は、非化石燃料電源として、原子力・水力・地熱の各発電施設の立地促進と運転の円滑化を図るために、立地地域の自治体に交付されるもので、当初は用途が公共用施設の整備事業等に限定されていたが、2003 年以降は、「電源立地地域対策交付金」として、地域振興や地域活性化に資する様々な事業に拡充されている²⁾。

2009 年創設の「グリーンニューディール基金」は、温暖化対策として、地域主導による再生可

表 10.1 地域社会とエネルギーに関わる国の主な制度・政策とその狙い

制度・政策	主管官庁	経済的効果	社会的効果
電源三法交付金 (1974～)	経済産業省	- 産業振興施設の整備 - 地場産業の支援	- 公共用施設等の整備 - 地域の魅力向上 - 福祉サービス提供 - 環境維持・保全・向上 - 生活利便性向上 - 人材育成
電源地域振興事業 (1985～)	経済産業省	- 産業育成ビジョン策定 - マーケティング調査 - 技術導入	- 人材育成 - 地域活性化イベント
地域再生制度 (2005～)	内閣府	- 地域経済基盤の強化 - 地域再生計画・事業の支援 -地場産業創造 -地場産品のブランド化 -農水産物の6次産業化 -観光・宿泊施設の整備	- 再生可能エネルギーを活用したまちづくり - 生活環境の整備 - 中山間地や農山漁村における地域活力の維持向上
グリーン電力証書需要創出 (2009～)	環境省	住宅用太陽光発電のグリーン電力市場の形成・維持支援	自治体・市民・企業の参加
地域グリーンニューデール基金 (2009～)	環境省	- 地域の環境保全 -省エネ改修 -エネルギーインフラ整備 - 地域主導の自立・分散型エネルギーの導入 -風力・地熱発電の導入 - 売電収入の維持管理への還元	- 地域の環境保全 -公共交通機関の利便性向上 -廃棄物処理 - 地域主導の自立・分散型エネルギーの導入 -防災拠点となる公共施設等への再生エネ導入
地域創造施策 (2010～)	総務省	- 地域資源の活用・事業化 -再生エネ事業化 -森林と林業再生 -農業再生と6次産業化 - 歴史・文化等の観光資源化 - 地域内循環の促進 -地産地消 -地域ファンド、市民出資 -企業・NPO等との協働	- 定住自立圏の形成 - 過疎地域の医療・交通の確保 - 人材育成・交流の促進 - 地域情報化の推進
地域主導による再生可能エネルギー等導入事業化推進 (2011～)	環境省	- 地域資源や資金の活用・循環 - 地域経済と一体の持続的な低炭素事業の実現	- 地域主導の低炭素・循環・自然共生社会づくり - 事業化組織・人材の育成
再生可能エネルギー発電事業による地域活性化 (2012～)	経済産業省	- 事業収益性の確保 - 自治体施策ツールや地域資源の活用	地域整備や人的交流の促進
農山漁村への再生可能エネルギー導入推進 (2012～)	農林水産省	- 農山漁村の地域資源の活用 - 地域主導の再生可能エネルギーの導入 - 地域への利益還元 6次産業化の促進 - 雇用・所得の創出	- 農林地等の適正な利用 - 農林漁業者等の参加 - 人材・後継者育成
分散型エネルギーインフラプロジェクト (2013～)	総務省	- 電気と熱の分散型エネルギーインフラ整備による産業振興 - FIT活用による利益の地域還元	- 災害に強いまちづくり - 官民連携による地域活性化

能エネルギー導入を促進するための基金で、2011 年以降は、東日本大震災被災地域の復興支援も含めて拡充されている。単に設備の導入を促進するだけでなく、エネルギーインフラ整備や売電収入による地域への経済的効果、防災拠点づくりなどの社会的効果も狙っている³⁾。

一方、2005 年の「地域再生法」に基づく支援制度は、地域経済基盤の強化と住みよい生活環境の整備を図るために、地域が主体となって行う様々な事業を支援するもので、その対象に、再生可能エネルギー事業や省エネ事業も含まれている。さらに、2010 年からの地域創造成策では、「緑の分権改革」⁴⁾を中心に、再生可能エネルギー等の地域資源を活用した地域活性化事業が進められている。

また海外でも、IEA 水力実施協定が「水力発電と環境に関わるガイドライン」(2000 年)⁵⁾において、水力プロジェクトの便益を立地地域が共有することの重要性を勧告している。さらに同協定は、各国の水力プロジェクトにおける地域との便益の共有事例を調べ、地域への主要な便益として、発電(地域への電力供給)、ダム機能(多目的ダム)、地域インフラ整備、地域産業振興の 4 つを挙げ、水力開発における地域社会への貢献の実例を示している⁶⁾。この考え方は、「発電所立地のための地元対策」ではなく、「発電所と地域との持続可能な共生策」を示している点が重要である。

地域主導で再生可能エネルギーを開発する場合には、事業リスクが低く導入が容易であることや、エネルギーインフラとして長期持続性が確保されることも重要な要素と考えられる。

(2) 地域社会への貢献の要素

上述した制度・政策等に関する調査結果を踏まえ、再生可能エネルギーの地域社会への貢献として検討する要素を、地域経済の活性化、地域インフラの整備、地域へのエネルギー供給、地域環境の保全・改善、地域社会の活性化、地域への定着の 6 つに分け、表 10.2 のように整理した。貢献内容は事業主体、開発の形態・規模および地域の特性によって異なるものになる。

表 10.2 地域社会への貢献要素

分類	貢献要素		分類	貢献要素	
I 地域経済の活性化	A	税・交付金等の収入	IV 地域環境の保全・改善	A	森林・生態系保全
	B	事業収益の地域還元		B	水環境保全
	C	投資・生産誘発、雇用・産業創出		C	廃棄物削減・リサイクル
II 地域インフラの整備	A1	道路・公園等の整備、土地の活用	V 地域社会の活性化	A	地域の魅力・知名度の向上
	A2	河川・水路・ダム湖等の整備		B	観光・レクリエーション・文化資源
	B	設備の防災機能		C	教育・研修・人材育成、イベント・交流
III 地域へのエネルギー供給	A1	事業所電力・公共施設・街路灯・鳥獣害対策・農業電化・充電インフラ・非常用電源等	VI 地域への定着性	A	事業リスクの低さ、導入の容易さ
	A2	熱利用など		B	事業の長期持続性
	B	自家発電、局地配電・単独供給などによる地域への電力供給			

10.3 水力発電の地域貢献事例

水力発電は地域社会に対して様々な社会的・経済的価値をもたらすことが可能であり、具体的な事例を以下に示す。使用したデータは2014年～2016年時点のものである。

(1) 農協による小水力発電

－売電収益による農村の振興（中国地方の農協等）⁷⁾－

1) 概要

自家用発電を除いて電力会社以外には発電事業が認められなかった時代に、1952年の「農山漁村電気導入促進法」の下で、中国地方の農業協同組合や電化農業協同組合を事業主体とする小水力発電の売電事業が活発に進められ、約20年間に90ヵ所計12.2MWの小水力発電所が建設された。これは、農業電化のためではなく、地域の資源である水力を利用して、その売電収益を農協等の活動を通じて地域に還元し、農村地域の発展を図ることが目的で、中国電力株式会社出身の織田史郎氏が、小水力発電の計画から機器製造、建設、保守までを一貫して行うイーメル工業株式会社を1950年に設立し開発を主導した。

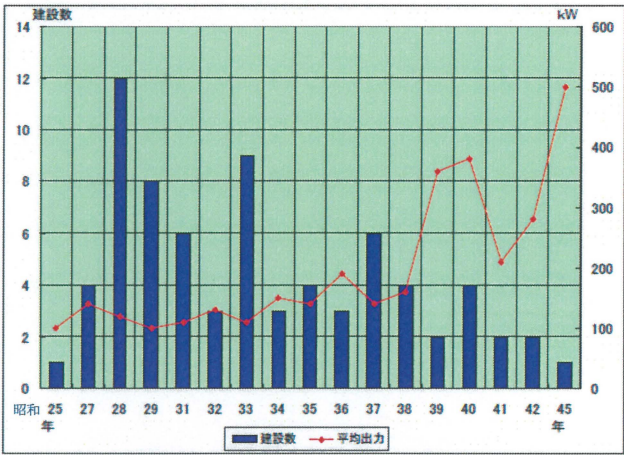
2) 事業による地域への貢献

- 発電所建設により、建設期間中1ヵ所当たり数百人の雇用が発生。
- 発電所運転要員は交代制で農家が兼業。
- 売電収益は農協による農業施設整備等を通じて地域経済に大きく寄与。

3) 課題と今後の展開

多くの発電所が建設開始から50年以上経過しており、設備の老朽化、維持管理費用の増大、豪雨・土砂災害からの復旧などで採算性が悪化した発電所は廃止されたが、現在も半数以上の53発電所が運用されている。

今後これらの発電所を長期的に維持・運用していくためには、低コスト維持管理技術の開発や改修・更新の財政的補助等の支援制度が必要である。



中国地方の小水力発電所建設の推移
(沖武宏「中国地方の小水力発電」)



所在地	広島県東広島市
河川	太田川水系関川
事業者	志和堀電化農業協同組合
発電方式	水路式
有効落差	25.76m
最大使用水量	0.5m³/s
最大出力	95kW
運転開始	1954.10

志和堀発電所の建屋および諸元

(2) 土地改良区による小水力発電

—売電収益の農家への還元（那須野ヶ原土地改良区連合）⁸⁾—

1) 概要

那須野ヶ原は栃木県北東部の那珂川と箒川に挟まれた約 4 万 ha の広大な複合扇状地であり、1995 年に総延長 340km の那須野ヶ原用水が完成。農業用水路を利用した発電事業は 1992 年から開始され、2014 年 3 月現在、6 発電所・合計出力 1.5MW が稼働している。売電による事業収益は、受益農家の賦課金軽減、施設の維持管理費軽減、用水路や遊水地の整備等に充てられている。地域の自然エネルギーの更なる活用に向けて、EV 充電インフラの設置や、畜産廃棄物のバイオガス化利用による環境負荷低減を目指した実証試験等も行っており、地域資源の活用や環境保全への取り組みにより、地域の知名度と観光価値の向上や、環境・エネルギー教育・研修にも貢献している。

2) 事業による地域への貢献

- 売電収益を農家や土地改良施設整備に還元。
- 地域資源を活用した人と環境にやさしい那須野ヶ原の地域ブランドと観光価値の向上。
- 那珂川からの取水調整や扇状地内の水循環の管理による環境保全型農業の実践。
- 設備見学等による環境・エネルギー教育・研修の推進。

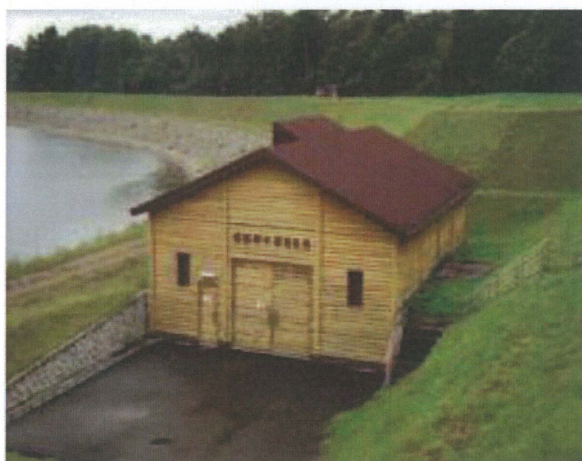
那須野ヶ原土地改良区連合の水力発電所

発電所名	有効落差 (m)	最大使用 水量(m ³ /s)	最大出力 (kW)	運転開始
那須野ヶ原	28	1.6	340	1992.3
百村第一	2	2.4	30	2006.4
百村第二	2	2.4	90	2006.4
墓沼第一	29	1.6	360	2009.2
墓沼第二	16	1.6	180	2009.2
新青木	44	1.4	500	2014.3
合 計	—	—	1000	—

3) 課題と今後の展開

那須野ヶ原用水路の未利用落差を利用した採算性が見込まれる小水力賦存量は、那須塩原市の 2010 年度の調査で 560 ヲ所、5.9MW、31GWh と推定され、今後、電力の自家消費とともに、公共施設や農産物直売所、EV 充電スタンド等への電力供給も可能とするさらなる小水力開発が期待される。

従属発電については、水利使用許可手続きの簡素化や、売電収入を発電施設だけでなく土地改良施設全体の維持管理にも充当できるなど、規制緩和が進んでいる。しかし現在、農水省補助事業では、売電収入がこれらの支



那須野ヶ原発電所の建屋

出を上回る場合、国庫返納が義務付けられており、今後さらに従属発電を拡大するには、売電収入を地域のその他の公益的事業にも還元できるようにするなど、一層の規制緩和が望まれる。

(3) 自治体による小水力発電の普及啓発

—小水力による町おこし（山梨県都留市）^{9) 10)}—

1) 概要

山梨県都留市は、2004年4月の市制50周年を記念して、水のまち都留市のシンボルとして、豊富な水資源を活用した小水力発電の普及・啓発を図ることを目的に、市役所を供給先とする水車方式による小水力発電所を市民参加型で導入することとした。

山梨県都留市の家中川小水力市民発電所

発電所名	有効落差 (m)	最大使用 水量(m ³ /s)	最大出力 (kW)	水車	運転開始
元気くん1号	2.0	2.0	20	開放型下 掛け水車	2006.4
元気くん2号	3.5	1.0	19	開放型上 掛け水車	2010.5
元気くん3号	1.0	1.0	7.3	開放型ら せん水車	2012.3
合 計	—	—	46.3	—	—

市内を流れる相模川水系家

中川に、2006年以降、出力7.3～20kWの異なる3タイプの水車発電機を設置した。大きな効果として、3タイプの運用や維持管理等の実績データを公開することにより、全国の自治体や民間企業等の関心を集め、毎年多数の見学者が来訪し、「小水力発電のまち」というイメージを定着させたことが挙げられる。その他、設備建設費の市民公募債による調達や、グリーン電力証書の販売などの先進的取り組みも、市の知名度を高めている。

2) 事業による地域への貢献

- ・ 「小水力発電のまち」としての都留市の知名度・魅力の向上。
- ・ 運用実績データの公開や設備視察・見学等による環境・エネルギー教育・研修の推進。
- ・ 自治体や学術機関との連携，研究会の開催等による人材交流・育成の促進。
- ・ 自家発電による市役所の電気代削減および余剰電力の売電収入。



(3) 課題と今後の展開

家中川は、農業用水に利用されるため流量の季節変動が大きく、また生活河川としてゴミの流入も多い。この

ため、「元気くん1号」には、流量変動に応じた効率的な発電をするための可変速水車や、自動除塵システムなどが導入されている。1号はすでに約10年の運転実績があるが、タイプの異なる2号と3号を含め、さらに長期間の運転・維持管理を実証することにより、今後のわが国における小水力発電の普及に大きく貢献することが期待される。また、「小水力発電のまち」として確立した都留市の地域ブランドを、地域の発展につなげていくことも重要な課題である。

開放型下掛け水車「元気くん1号」
<http://www.city.tsuru.yamanashi.jp>

(4) 特定電気事業による集落への電力供給

ー過疎地域の生活を支えるエネルギーインフラ（住友共同電力）¹¹⁾ー

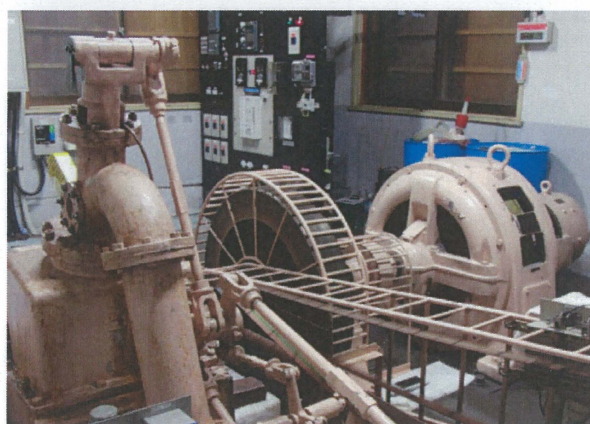
1) 概要

愛媛県新居浜市別子山地区(旧・別子山村、現在の人口約 200 人)では、古くから別子銅山事業に伴う地域電力供給が行われており、1957 年から森林組合により、電力会社の系統とは独立した約 1MW の小水力発電による地域電力供給が行われ、2003 年以降は住友共同電力株式会社により、特定電気事業として継続されている。水車発

住友共同電力の特定電気事業用水力設備

発電所名	別子山	小美野
発電方式	水路式	水路式
運用開始	1955.1	1959.10
有効落差(m)	103	96.9
最大使用水量(m ³ /s)	0.1	1.3
最大出力(kW)	71	1000

電機は、現在まで約 60 年間更新されることなく、低コストかつ適切な維持管理により安定して運用されてきた。運用する住友共同電力は、別子山地区の設備以外に、水力・火力計約 659MW の発電設備を保有し、新居浜地区の住友グループ企業への電力供給や、電力会社等への卸供給も行っている電気事業者であり、別子山地区の事例は、地産地消的な地域電力供給というよりも、長年行ってきた小集落への電力供給を特定電気事業として継続しているもので、他に例のない珍しい事例といえる。



別子山発電所の建屋(上)と水車発電機(下)

2) 事業による地域への貢献

- 別子山地区という山間の集落に、約 60 年にわたり安価で安定した電力供給を継続し、現在は過疎化が進む同地域にとって、不可欠のエネルギーインフラとなっている。

3) 課題と今後の展開

別子山地区の水力発電所は約 60 年にわたって運転されてきたが、設備の大規模な更新が必要となっており、別子山発電所では更新工事が行われている。これまでと同様に小水力発電による地域電力供給が継続されるかどうかは、単に事業の採算性だけでなく、過疎化による電力需要の減少、国のエネルギー政策の見直し、2016 年度からの電力小売り全面自由化の影響等、様々な不確実な要因が関係する。この地域において、小水力発電の低コストで安定した電力品質、環境適合性、長期持続性などの価値が総合的に評価され、事業の継続につながるかどうか注目される。

（５） 電力会社によるダム湖の観光利用への協力と環境保全

—地域の観光資源と自然環境に配慮した再開発（中国電力）^{12) 13)}—

1) 概要

中国電力株式会社の帝釈川ダム周辺は、比婆道後帝釈国定公園第1種特別地域内に位置し、ダム湖は釣りや観光船などに利用され、地元の貴重な観光資源となっている。流域から生活排水や畜産排水などの汚濁負荷があるため、ダム湖の水質は必ずしも良好とは言えず、中国電力は水質の継続的なモニタリング等により水質保全に努めている。また、2003～2006年の新帝釈川発電所新設工事(4.4MW→11MWへの再開発とダムの大規模改修)では、地元の湖面利用に配慮して利用水深を設定し、また構造物の色や形状を周辺景観と調和させるなど、地元や環境に配慮して事業を推進した。技術的には、完成後約80年と老朽化した既設帝釈川ダムの堤体の構造補強と洪水処理能力の向上によるダムの再生が主な特徴である。

2) 事業による地域への貢献

- 地元の貴重な観光資源であるダム湖の利用、および周辺環境に配慮した再開発により、観光価値の維持と自然環境保全を図った。
- 発電所が立地する広島県神石高原町には電源立地地域対策交付金が交付され、町道の舗装工事や法面保護工事等に充当されている。

新帝釈川発電所の計画諸元

	既設	再開発後	
発電所名	帝釈川	新帝釈川	帝釈川
発電方式	ダム水路式	ダム水路式	水路式
流域面積(km ²)	213	120	92
有効落差(m)	95.2	129	95.2
最大使用水量(m ³ /s)	5.7	10	3.1
最大出力(MW)	4.4	11	2.4
運用開始	1924	2006.6	2006.6



帝釈川貯水池(神竜湖)
水源地環境センター「ダム湖百選」



帝釈川ダム

3) 課題と今後の展開

ダム湖を観光資源として活用している事例は全国に数多くあり、水力発電の重要な社会的価値の一つである。帝釈川ダムの場合は、水力発電の長期持続性と環境保全によって、ダム湖の観光利用が可能になっている。しかし、流域からの汚濁負荷の流入による水質悪化は、ダム管理者だけでは解決できないため、行政や地域住民と連携した継続的な取り組みが必要である。

また、水力発電の長期持続性という点で、本事例の再開発のように、既存の堤体を活かしつつ、

異常出水への対応と耐震強化を図った先進的技術は、今後の既設ダムの有効活用や長寿命化に大きく貢献することが期待される。

(6) 電力会社による国の治水ダムと連携した洪水対策

－発電用ダムの空き容量を治水に活用（東京電力）¹⁴⁾－

1) 概要

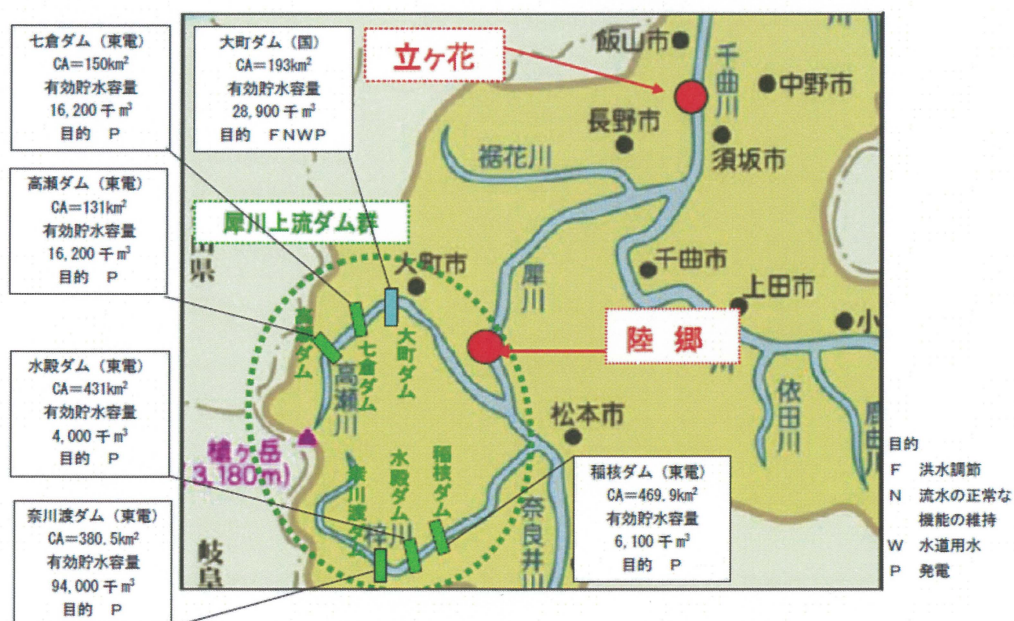
東京電力株式会社は、信濃川水系高瀬川に高瀬ダムと七倉ダム、同水系梓川に奈川渡ダム、水殿ダム、稲核ダムの、計5カ所の発電専用ダムを保有しており、これらのダムには本来治水機能は義務付けられていない。近傍で治水機能を持つのは、高瀬川中流の国土交通省の大町ダムのみである。しかし、2006年7月の豪雨により下流の犀川で氾濫の恐れが生じた際、河川管理者からの要請を受け、東京電力は大町ダムと連携して、発電用5ダムの空き容量を利用した特例的な洪水調節運用を行い、犀川での氾濫を防いだ。こうした特例的な運用には当然限界があるが、発電用ダムでも、運用の範囲内で、ある程度の治水効果を発揮できるという実例である。

2) 事業による地域への貢献

- 信濃川水系犀川の出水時に、上流域にある本来は治水義務のない東京電力の発電用ダム（混合揚水式）の空き容量を利用して、国の治水ダムと連携した特例的な洪水調節運用により、下流危険箇所（陸郷地点）での氾濫を防いだ。

3) 課題と今後の展開

発電用ダムの治水機能は、再生可能エネルギーの中でも水力発電だけが持つ重要な社会的価値である。近年の異常出水の増加により、今後ますます発電用ダムの治水機能の活用への期待が高まることが予想される。一方で、水資源の有効活用の観点から、治水ダムの発電への活用など、貯水容量の多面的活用が期待される。



ダム(■)および水位観測所(●)位置図

水源環境センター「ダム・堰危機管理業務顕彰」平成15～21年度

(7) 電力会社による被災水力発電所の復旧と河川の再生

－水力発電所を核とする地域防災と河川の再生・維持（九州電力）¹⁵⁾－

1) 概要

九州電力株式会社は、宮崎県の耳川水系に7ヵ所計340MWの水力発電所を保有しているが、2005年9月の台風14号による豪雨で同水系の発電所・集落などに甚大な被害が出たため、同社は、宮崎県・漁業者・地域住民と連携して、被災した発電所の復旧と防災、および出水時のダムの通砂運用を柱とする総合土砂管理による地域の安全・安心確保と、多様な生物との共生に配慮した耳川の上流～河口域までの再生を目指した事業を、2007年から開始した。まずは、下流の山須原ダムと西郷ダムに通砂のための大型ゲートを設置する改造工事を行い、2016年以降に運用を開始することとしている。この事業は、単に電力会社の発電所の復旧に止まらず、地域の防災や流域の環境保全を含めた先進的取り組みであることが注目される。



耳川水系の水力発電所

(加来他：平成23年度中小水力発電技術に関する実務研修会，2011.7.)

発電所	ダム高さ (m)	有効落差 (m)	最大使用 水量(m³/s)	最大出力 (MW)	運転開始
上椎葉	110	144	73	93	1955
岩屋戸	58	80.4	75	51	1942
塚原	87	100.1	74.7	63	1938
諸塚	59	226.4	27	50	1961
山須原	29	40.8	120	41	1932
西郷	20	27.3	120	27	1929
大内原	26	16.2	120	16	1956
合計	—	—	—	340	—

2) 事業による地域への貢献

- ・ 洪水対策の強化による地域住民の安全・安心確保。
- ・ 地域社会にとって重要な河川である耳川の総合土砂管理による河川の機能の再生。
- ・ 発電所が立地する宮崎県日向市、椎葉村など4市町村には電源立地地域対策交付金が交付され、町道や林道の舗装工事、公共施設の整備、公園整備など、地域の様々な事業に活用されている。

3) 課題と今後の展開

本事業のように、水力発電所を核として、河川の上流から河口、海岸域までの再生を目指す本格的な取り組みは、わが国初の試みである。ダムの通砂運用、森林・斜面の保全、河川生態系の保全など、個別には他の地域でも先例はあるものの、技術的、経済的な課題も多く、それらを解決して河川の再生につなげていくためには、事業者と地域社会が連携した長期的かつ継続的な取り組みが必要と考えられる。

(8) 民間企業による環境と調和した小水力発電

— 地域環境保全と観光・産業振興（日本工営）¹⁶⁾ —

1) 概要

日本工営株式会社は、鹿児島県伊佐市にある観光名所「曾木の滝」の落差と流量を利用した国内初となる490kWの小水力発電事業に参入した。事業の実施に当たり、伊佐市と協定を結び、曾木の滝の観光振興や発電所周辺の環境保全に配慮する他、伊佐市が進める地域資源を活用した学習型観光・教育啓発活動にも協力することとしている。具体的には、滝の景観を守るために河川流量が少ない時に発電取水を制限する他、竣工後に工事用道路を公園の遊歩道として提供し、伊佐市の環境教育施設への展示や地域の自然環境の紹介、明治時代に建設された旧曾木発電所遺構の保全などに協力している。また、建設工事や保守業務等の地元企業への委託により、地域の雇用・産業の創出にも貢献している。

2) 事業による地域への貢献

- ・ 地域の観光名所である曾木の滝の景観を守るため、発電所を地下式とし、河川流量が $20\text{m}^3/\text{s}$ を下回った場合は発電を停止。
- ・ 伊佐市が進める旧発電所遺構等と組み合わせた学習型観光・教育啓発活動への協力。
- ・ 車椅子の利用者も滝の観光ができるように、工事用道路をバリア振りの遊歩道として整備。
- ・ 発電所建設や機器の設置、運開後の保守業務等を地元企業に委託し、地域の雇用・産業創出に貢献。

3) 課題と今後の展開

民間企業が自治体と連携して主導する、地域の観光振興や自然環境保全に配慮した公益的小水力発電事業の一つのモデルとして注目される。旧曾木発電所設備の一部の活用と固定価格買取制度(FIT)による売電収入で事業性を確保しているが、維持管理コストの低減や観光振興等を通じた地域社会とのつながりの強化によって、FIT 期間終了後も長期的に地域貢献型発電事業として定着することが期待される。

新曾木発電所

所在地	鹿児島県伊佐市
河川	川内川水系川内川
事業者	(株)工営エナジー*
発電方式	水路式
有効落差	11.6m
最大使用水量	$5.5\text{m}^3/\text{s}$
最大出力	490kW
運転開始	2013.4

* 日本工営株式会社が100%出資する発電事業会社



曾木の滝(奥)と新曾木発電所の取水口(手前)

（９） 温泉事業者による小水力発電

－売電収益による温泉町の復興（つちゆ清流エネルギー）¹⁷⁾－

1) 概要

福島県土湯温泉町は、東日本大地震による原子力発電所事故の風評被害により、旅館の休廃業など地域の衰退の危機に瀕したことから、町全体で復興再生に取り組み、その中核事業として、地域資源である水力や地熱を活用した再生可能エネルギー発電を、2015年度から行っている。既設の砂防堰堤を利用した水力発電事業は、地元が設立した SPC が運営し、売電収益は土湯地区のまちづくりに活用される予定である。地域が主体となった地域の発展のための事業であることから、地元の合意形成や許認可手続きは円滑に進められ、また、推進体制の迅速な構築や、過去に国交省が行った水力発電事業の可能性調査結果の活用、建設資金への国の補助金の活用等により、事業の経済性も高められている。

2) 事業による地域への貢献

- ・ 地域主体の再生可能エネルギー事業により、地域の活性化、雇用・産業創出に貢献。
- ・ 発電設備を利用した環境・エネルギー体験学習による交流人口の増加、地域の知名度の向上。
- ・ 温泉熱を利用した農水産物の栽培・養殖事業（実証試験中）。
- ・ 電気バス導入や再生可能エネルギーの地産地消など、環境保全と防災に取り組む先進的なまちづくり事業（構想中）。

東鴉川発電所

所在地	福島県土湯温泉町
河川	阿武隈川水系東鴉川
事業者	つちゆ清流エネルギー(株)*
発電方式	水路式
有効落差	44.4m
最大使用水量	0.45m ³ /s
最大出力	140kW
運転開始	2015.4

* 地元の温泉組合や NPO 等が間接出資する発電事業会社

3) 課題と今後の展開

地域の温泉事業者ら地元の関係者が主体となり、地域の復興と発展を目的として実施された本事業は、推進体制や合意形成、資金調達などの事業スキームが、我が国の従来型の水力開発とは様々な面で異なっている。地元関係者の強い決意と知識の蓄積は目を見張るものがあつた。一方で水力開発に関する専門知識・経験の乏しさが懸念材料の一つだったが、設計・施工を担う専門業者との密接な連携を図ったことで、事業を円滑に推進できた。今後、地域が主体となった地方創生に資する新たな水力開発のモデルとして、全国各地への展開が期待される。



東鴉川発電所の取水に利用した既設砂防堰堤

10.4 水力発電の地域貢献の可能性と課題

10.3 で紹介した地域貢献事例と 10.2 に示した地域貢献要素の関係をまとめると、表 10.3 のようになる。これらも参考に水力発電の地域貢献の可能性と課題を整理した。

(1) 地域経済の活性化

表 10.2 に示した貢献要素 A(税・交付金等)では、設備の固定資産税等が自治体の収入になる。また、出力 1MW 以上・年間発電電力量 5GWh 以上で運用開始後 15 年以上経過した水力発電は、「電源立地地域対策交付金」の対象となり、水力の場合は交付期間が最長 30 年と長く、立地地域とその周辺自治体への経済的貢献が大きい^{2) 18)}。

貢献要素 B(事業収益の地域還元)、C(投資・生産・雇用・産業)では、地域が主体となった取り組みや事業者が協力することによって貢献が可能となる。収益の地域還元については、単に発電所の収益金の一部を提供するのではなく、収益金を使って地域の伝統・文化の保存や環境改善、地域の未来を考える活動などを、地域と一緒に支援する取り組みに活用することが大切である。水力開発にあたっては、専門能力を最大限生かして、リスクが少なく採算性がよいものとし、地銀等の融資を最大限活用することが求められる。また、調査・設計や建設工事については最大限地元業者を活用して行うとともに、水力開発に関わる土木建築や水車発電機関係等の技術を地元に移転し、これからの水力開発とメンテナンスを地元中心で行えるようにすることが大切である。巡視点検や取水口の塵芥処理などのメンテナンスについても安易に自動化するのではなく、地元の高齢者の活用等によりトータルでの発電コストの低減と雇用の確保を目指すべきである。山間地域が衰退が進行する中で、水力開発が地元との共生を図るためには地域外の企業や金融機関等が行う事業においても B、C の貢献への配慮が重要である。

(2) 地域インフラの整備

貢献要素 A(道路・公園等、土地の活用、河川・水路・ダム湖等)では、水力開発に伴う工事用の仮設道路や将来の発電所の運転保守に必要な管理用道路を地元の林業や観光用に活用できるように配慮して建設すれば地域に大きな貢献を果たす可能性がある。また、ダム湖や水路の巡視路などは、IV. B(水環境保全)、V. B(観光・レクリエーション・文化資源)との関連で、公園や遊歩道等への利用が考えられる。ダム湖では、水力発電設備の周辺を含めて地域のインフラとして利用できるようにしている実績も多い¹²⁾。既存水力発電所の増出力などの再開発にあたっては、設備の安全性の向上、河川環境との調和を図るとともに、地域の特性をふまえて発電所と地域の持続可能な共生策を考える機会とすべきである。

貢献要素 B(設備の防災機能)では、本来治水機能が義務付けられていない水力発電用ダムでも運用によって、出水時に洪水調節効果を発揮し、渇水時に下流への利水補給等にご貢献することが可能である¹⁹⁾。このことは、近年地球温暖化の影響によって洪水や渇水現象が激甚化する傾向にある中で、下流域の防災・減災のために万が一の場合は発電用の貯水池を総合的に活用することが望まれる。このためには、ダムを弾力的に運用するための出水予測技術、運用システムの高度化や制度の改善が必要である。また、洪水時に上流域から流出する土砂をダムで適切に制御する技術と制度が必要である。土砂をダム貯水池に貯め込まずに下流へ流す運用をすれば、堆砂によるダムの寿命が延伸するとともに、ダム上流の河床が上昇することによる氾濫を防止し、下流の河

表 10.3 水力発電による地域貢献と貢献要素の関係

カテゴリー	貢献要素	好 事 例			事例 NO.
		概 要	地 域	事業主体	
地域経済の 活性化	事業収益の 還元	売電収益を土地改良施設の維持管理費や受益農家の賦課金軽減に充当	栃木県 那須塩原市	那須野ヶ原土地改良区連合	(2)
		売電収益を温泉町のまちづくり事業に活用	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー（株）	(9)
	地域雇用の 創出	地域による小水力発電事業の運営保守	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー（株）	(9)
	地域産業振 興	「農山漁村電気導入促進法」で開発された小水力の売電収益により農業振興に貢献	中国地方	電化農業協同組合等	(1)
		地元の重要な観光資源であるダム湖の環境保全や貯水位の安定化に貢献	広島県比婆郡	中国電力(株)	(5)
		地元の重要な観光資源である滝の景観に配慮した取水運用で観光振興に貢献	鹿児島県 伊佐市	新曾木水力発電(株)	(8)
地域インフラの整備	防災機能	国交省の多目的ダム治水容量と発電用 5 ダム空き容量を活用して下流の氾濫防止に貢献	長野県 千曲川	東京電力(株)	(6)
		水害で被災した発電所群の水系総合土砂管理により河川の洪水・土砂災害対策を強化	宮崎県 耳川	九州電力(株)	(7)
地域へのエネルギー供給	単独供給	水力発電で過疎地の集落にかけがえがない安価な電力を特定供給	愛媛県 新居浜市	住友共同電力(株)	(4)
地域環境の 保全・改善	水環境・景観 保全	ダム周辺が国定公園内に位置することから構造物の景観やダム湖の水質保全に配慮	広島県比婆郡	中国電力(株)	(5)
	河川環境保 全	発電所群の水系総合土砂管理により河川の上流～河口までの環境・生態系の再生を図る	宮崎県 耳川	九州電力(株)	(7)
地域社会の 活性化	地域資源の 創出	市民参加型の小水力発電に先進的に取り組む自治体として地域の魅力・知名度を向上	山梨県 都留市	都留市	(3)
		地域が主体となった地域の復興・発展のための小水力開発のモデル事業として全国に発信	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー（株）	(9)
	地域交流促 進	自治体が運営する小水力発電設備の視察・教育・研修	山梨県 都留市	都留市	(3)
		土地改良区が運営する農業用水を利用した水力発電設備の視察・教育・研修	栃木県 那須塩原市	那須野ヶ原土地改良区連合	(2)
		地元 SPC が運営する小水力発電設備視察・教育・研修	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー（株）	(9)
地域への 定着	事業の持続 性	農協等により 1950～75 年に開発された約 90 の小水力のうち現在も 53 ヲ所が稼働	中国地方	電化農業協同組合等	(1)
		約 60 年にわたり安価で安定した電力供給を過疎地の集落に継続	愛媛県 新居浜市	住友共同電力(株)	(4)

床環境の回復や堤防・橋脚の侵食防止、さらに海岸侵食を緩和することにもつながる²⁰⁾。また、災害発生時に、ダムや水力発電所の監視・通信システムを災害情報の提供に利用することや、管理用道路を物資の輸送に利用することも考えられる。また、Ⅲ．A1(地域電力需要)との関連で、災害時等の非常用電源としての貢献が考えられる。農水省は、停電時に自立運転可能な小水力発電による重要施設への電力・熱供給や、マイクロ水力発電による避難時・停電時の安全確保、緊急車両(EV)への充電機能の確保など、いくつかのモデルを設定して、非常用電源として利用するための課題と解決策を検討している³⁰⁾。現状では、需要地に近い水路等に設置される小規模水力発電設備にそのような役割が期待されているが、今後は更に、ディーゼル発電機等の通常の非常用電源に比べてリスク管理面(故障や燃料不足への対応等)での効用や系統連系から単独供給への切り換えに要するコストなどの課題を総合的に捉えて、水源地域への貢献策を検討する必要がある。

(3) 地域へのエネルギー供給

ここでの「地域供給」とは、分散型電源・熱供給源などの「地産地消」への貢献である。

貢献要素 A1(事業所電力等)では、太陽光発電や風力発電は単独では出力変動が大きく、安定供給のためには蓄電池や他の電源との併用が必要であるが²¹⁾、水力は安定した発電が可能で制御性にも優れている。比較的消費電力の少ない街路灯などの電源や、災害時に避難場所となる道の駅などの非常用電源として、小水力発電が使われている例も見られる。

貢献要素 A2(熱利用など)では、水力は古くから水車小屋や農業水路のらせん水車などで粉ひきや脱穀などの動力源として利用されてきた歴史があるが、近年はほとんど見られなくなっている。熱利用については地熱発電やバイオマス発電において熱併給等が行われているが、水力についても電力供給源として利用するだけでなく、地域の特性をふまえて、直接、熱源として利用することが考えられる。水力による圧縮空気を用いて断熱条件で温熱・冷熱を作り、温室栽培や食料の保存に利用するとともに、圧縮空気のエアレーションによって水質の浄化や生物環境を改善する研究も行われている²²⁾。また、水力発電で水を電気分解し水素を製造・利用することも考えられる。

貢献要素 B(地域電力供給)では、かつては水力発電の電源地帯で局配用の設備が整備されていたが、近年では電力系統と配電網が整備されたことによってほとんどその機能は消滅している。近年、発電が不安定な太陽光や風力と、安定性が期待できる水力、地熱、バイオマスを組み合わせて利用するスマートグリッドの研究が始まっており、貯水池を有する水力は発電の制御性と系統を安定化させる負荷追随性を有しているために魅力的な電源である。ただし、このようなローカルで需給バランスを考える場合は、供給の信頼性やコスト面での課題が残っている。

(4) 地域環境の保全・改善

貢献要素 A(森林・生態系)では、森林整備で発生する未利用間伐材等を有効利用するバイオマス発電では森林の保全に貢献することが可能になるが²³⁾、水力発電にとっても水源の涵養や土砂・流木の流出防止の観点から水源林の保全は有益であるため、事業者や地域の協力を得て積極的に水源林の維持管理や植林、水源地の環境保全などの形で地域に貢献することが大切である。

24)25)。森林保全は地域環境の保全に止まらず、CO₂の固定促進による地球環境の保全という意義も大きい。

貢献要素 B(水環境)では、Ⅱ．A2(河川・水路・ダム湖等の整備)との関連で、水力発電所周辺の水環境が改善される可能性がある¹⁸⁾。

貢献要素 C(廃棄物削減・リサイクル)では、大量に発生する鶏糞や建物の解体廃材、庭木の選定材などの廃棄物を利用するバイオマス発電が該当するが、水力発電では、ダム堆砂の掘削・浚渫土砂を建設材料等に利用することにより、川砂利や山砂利の代替資源として国土の環境保全に貢献している。その他、取水口のスクリーンに漂着した塵芥を除去することによって河川のごみ掃除を行っている実態がある。

(5) 地域社会の活性化

貢献要素 A(地域の魅力・知名度)では、発電施設そのものや、事業モデルの独自性・先進性などをアピールすることで注目され多くの人を訪れるようになる。

貢献要素 B(観光・レクリエーション・文化資源)では、自然環境が豊かな中山間地に設置される水力発電所では、自然・文化資源や周辺施設を活用したレクリエーション、スポーツ、エコツアー、ビュースポット等の提供の場として貢献可能と考えられる。これまで大規模水力はダム湖が環境資源として活用されることが多く、年間 100 万人以上の観光客が来訪する富山県の黒部ダムを始めとして、地域経済・社会の活性化に貢献している例も多い¹⁸⁾。

また、C(教育・研修・人材育成、イベント・交流)も、再生可能エネルギーに対する社会の関心が高いことから、環境教育や研修、イベント等の場としての貢献が可能である。

(6) 地域への定着

貢献要素 A(事業リスクの低さ、導入の容易さ)では、太陽光発電が設備の設置や資金調達が比較的容易で、開発のリードタイムが大規模集合型でも 1 年以内と短い、最近では景観破壊が問題となって開発が難航するケースが見られるようになっている。風力発電も陸上部では、低周波騒音や猛禽類のバードストライク、景観影響などの環境問題から開発が難航するようになっている。地熱発電は資源探査の不確実性や厳しい環境規制、地元温泉事業者の反対などで開発のリードタイムが 10 年以上と長い⁸⁾。また、建築廃材等を燃料とするバイオマス発電は、すでに原材料の国内流通量が限界に近く、海外からの輸入も法的規制があること、さらに今後は国内の木材利用との関係も懸念材料である。いずれの再生可能エネルギー発電も地域の環境影響と合意形成が導入の鍵になっている。水力発電は、河川の流量調査や地元の合意形成、許認可のためにこれまでは開発にかなりの時間を要しているが、既存の流量資料データを有効活用し、地域と一体になって地域に総合的に貢献する水力発電を目指すように変われば、開発はさらに容易になるものと考えられる。

貢献要素 B(事業の長期持続性)では、水力発電設備の実際の寿命が水車発電機 50～60 年、土木設備 100 年以上と長く、初期投資回収後も設備を継続して運用できることから長期的には非常に経済性が高く¹⁸⁾、他の発電方式に比べて長期的な持続性が高い特徴がある。

地域の共有財産である河川水を利用する水力開発は、地域の自然・社会環境と調和するととも

に低廉なエネルギーを生み出し、地域と地球の未来に永続的に貢献するものとなるように、地域自らが考え、水力の多様な価値を総合的に生かすように推進する必要がある。地域に不足している技術・知識・経験・資金などについては地域外の専門家や企業等と協働で事業を進めることも考慮すべきである。

このような認識を国レベルで共有し、省庁横断の連携体制で地域に貢献する総合的な水力開発を推進することが必要である。「エネルギー基本計画」では、原子力の推進についてのみ立地地域との共生が謳われているが、再生可能エネルギー発電についても地域との持続可能な共生について明記することが必要である。主な注目点は以下のとおりである。

- ① 利益を地域に還元し、地域の活性化に貢献する
- ② 地域の防災と環境の保全・改善に貢献する
- ③ 水力発電の長期持続性を確保する維持管理
- ④ 既設水力施設の性能を高め、設備の安全と河川環境の改善、地域活性化に貢献する再開発
- ⑤ ダム貯水容量の柔軟かつ多面的な活用

10.5 地方創生に資する水力開発の考え方

我が国の水力開発は、自然・社会環境の変化に対する合意形成の難しさなどから、技術的に可能な地点は多くあっても実際に開発できる地点は非常に限られていると考えられてきた。このような状況を打破し、水力の優れた電力価値、環境価値、社会的価値を総合的に生かすためには、地域と開発主体が利益背反の関係になっている従来型の水力開発から脱却する必要がある。

水力が低廉な電力の安定供給に貢献し、かつ地域から愛されるものとなるための水力エネルギー利用・地域の活性化・防災・環境改善を含めた新たな環境調和型の総合的な水力開発事業モデルと国民全体の共通認識が必要である。

（１） 地域社会に永続的に貢献する総合的な水力開発の実現に向けて

水力発電は地域の共有財産である河川水を利用するものであり、かつ設備の寿命が非常に長いために地域のインフラの一部として将来にわたって超長期に地域とともに歩み続ける特徴がある。このために、開発にあたっては地域の自然環境や暮らしの実態と調和がとれたものとなるように十分配慮することが必要である。水力開発の立地地点となる農山村地域では、農林水産業が衰退して人口の減少や高齢化が進み、若い世代の雇用場が確保できない状況になっている。このため、地域の文化や伝統を継承し、地域の将来を見通すことが非常に難しくなっており、水力の開発にあたっては地域に永続的に貢献する新たな役割が求められるようになっている。

１） 地域貢献の充実

設備の形態や規模、それぞれの地域の実情などによって異なるが、水力の売電収益や地場産業育成による地域経済の活性化、水力開発に伴うインフラ施設の整備や維持管理費低減、地域へのエネルギー供給、治水機能の充実、河川環境の改善、観光資源の充実、さらに、収益を地域の伝統・文化の継承や地域の将来像を模索する活動への支援などがあげられる。このために、それぞれの地域の特色を生かした水力開発を地域の問題として捉え、地域の関係者が主体となって公益をもたらす取り組みを推進する。（「地域が主体となった水力開発」は地域単独の開発だけでなく地域外の関係者と協働で取り組む事業を含んでいる）

2) 自然・社会環境との調和

これからの水力は長年に亘る設備の運用・保守の経験や技術の蓄積を生かして、地域の自然・社会環境に調和した持続可能なものとして安価でクリーンな純国産エネルギーの増大に寄与する必要がある。このために、地域の住民や漁協なども事業に参画し、行政・研究者等の協力を得て、環境の保全と水力利用の両立を図るための減水区間での維持流量の評価や、ダム式水力の活用と水質や堆砂に対する環境保全対策のあり方について自ら考え判断する活動を推進する。合意形成にあたっては地域の開発推進リーダーの存在と理解の促進が重要であり、そのための支援体制を構築する。また、これらの取り組みを通じて我が国の水源地域の環境を守る。

3) 地域が主体となった水力開発の推進支援

身近なエネルギーである水力の利用を広げるためには、それぞれの地域の特色を生かして水力以外の水利用、観光などの様々な用途と共存できるような開発を自治体や地域住民が主体となって推進することが重要である。しかし、地域の関係者には水力開発の経験や知識、資金が不足している場合が多い。このために、水力設備の規模や形態によって後述する技術・人材の支援体制や財政支援の仕組みを充実させるとともに、モデル地点での成功事例を全国大で共有化し地域が主体となった水力開発の事業スキームを確立する。

(2) 地域が主体となった水力開発の推進体制

水力発電を通じた地域貢献を実現するためには、地域の人々が自ら、エネルギーの利用と環境、そして地域のくらしと水力開発を結び付けて考え、地域のためのかけがえがない水力利用となるように取り組む必要がある。地域が水力開発に主体的に取り組むことによって様々な経済的利益と社会的利益を地域にもたらすことが可能になる。

前述したように地域の関係者は水力開発に関する知識・経験と技術が不足しており、事業リスクが高いことから資金の調達も難しく、地域への利益の還元を可能とする収益を確保することの不確実さ等の様々な課題がある。地域の人々による水力開発は自らの力だけでは不十分なことが多い。このため、開発全体にわたって、自然・社会環境との調和、経済設計、地域貢献等の課題を共に考え解決する専門家などの支援体制・協働事業化体制が必要である。また、地域と共生する水力開発を進める上で、事業の立ち上げ段階から自治体による公的な支援も必要である。水力資源を活用した地方創生事業の構成要素と開発ステップの関係の例を表 10.4 に示す。これは、最近の開発事例や各地の取り組み状況を分析して、開発地点の発掘から開発基本構想の策定、基本設計・許認可の取得、設備の建設、運用保守の各段階の構成要素の関わりを示したものである。個別地点ごとにそれぞれの特性をふまえて各要素が果たす役割を具体化する必要がある。図 10.2 に開発基本構想の検討体制例を示す。

自治体の支援に関しては、長野県飯田市が 2013 年 4 月に施行した「再生可能エネルギー導入による持続可能な地域づくりに関する条例」²⁶⁾ が、地域住民による地域の再生可能エネルギー資源の活用を自治体が支援する先進的な取り組みとして注目される。同条例は、地域の再生可能エネルギー資源を市民の総有財産と捉え、市民がそれらを優先的に利用する権利として「地域環境権」を保障し、市民による「地域公共再生可能エネルギー活用事業」を市が協働事業化して支援することを定めたものである。具体的には、法務・環境経済・金融・再生可能エネルギー等の専門家で構成する「再生可能エネルギー導入支援審査会」を設けて、事業計画の指導・助言や適格

表 10.4 水力資源を活用した地方創生事業の構成要素例

構成要素	開発ステップ				
	計画・調査・設計段階			建設段階	運用保守段階
	開発地点の発掘	開発基本構想の立案・実施判断	基本設計・許認可取得		
地元住民・地元企業	◎ (地元のやる気)	◎ (環境保全、地域貢献、合意形成、実施判断)	◎ (環境対策、地元の正式合意)	◎ (地元企業による工事の実施)	◎ (運転保守の実務、地方創生活動)
自治体	○	○ (推進主体への支援)	○ (推進主体・発電事業者への支援)	△	○
地方創生水力ファンド	○	◎ (地方創生事業への参画判断)	○	○	△
発電事業者	—	—	◎ (地元の発電会社設立、設計・許認可申請)	◎ (建設工事、地元対応)	◎ (運転保守・地域貢献の推進)
専門家・研究者	◎ (水力の価値の啓発、開発候補地点の発掘)	◎ (事業構想の立案、情報提供)	◎ (基本設計、許認可支援)	○	○
備考 (キーワード)	地元のやる気、リーダーの存在 水力の価値の理解 経済性が高い地点 自然・社会環境との調和 地域貢献の方向性の明確化 地元の合意形成 水力開発の全体観がある専門家の支援 地元・ファンド・専門家の三位一体の取組		行政・電力会社の理解・支援 大手の建設・メーカー・電力等は事業者として参加しノウハウ・経営資源を活用 環境調和とコストダウン 地方創生に資する持続的な貢献策 設計・工事に地元企業の活用・育成		地元住民・企業の活用・育成 計画・調査・設計・施工・運用保守、地域貢献の PDCA サイクルの確立 モデルの全国展開

◎ 中心的な役割 ○ 重要な役割 △ 支援、監理

* 「地域が主体となった環境調和型水力開発研究会（代表者京都大学井上素行）」作成資料

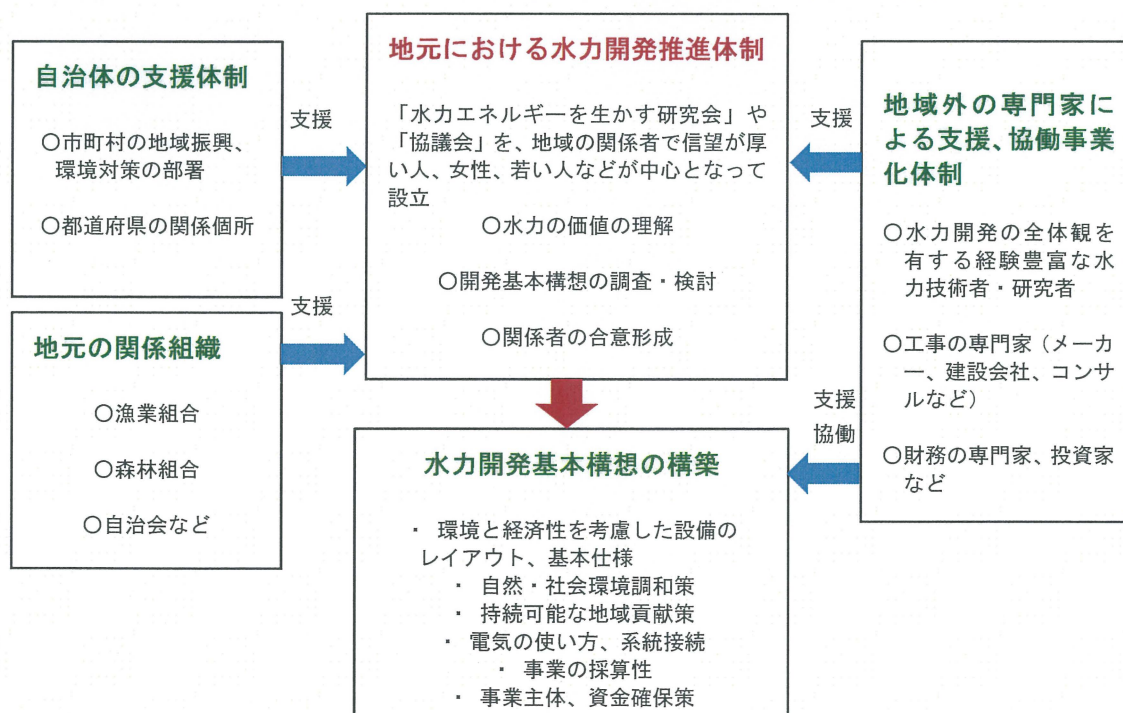


図 10.2 水力の多様な価値を生かす開発基本構想の検討体制例

* 「地域が主体となった環境調和型水力開発研究会（代表者京都大学井上素行）」作成資料

性認証等を行うことや、基金を設けて事業化調査後の基本設計費用を補助することなどが規定されている。これにより、事業に対する公共的な信用付与が可能になり、金融機関による融資など資金調達の安定化や許認可手続き等の円滑化が期待される。栃木県は、2012年11月に計画が認定された「地域活性化総合特別区域計画」²⁷⁾において、地域の活性化を図るため、総合特区における規制の特例措置等を活用し、農業用水路水利権協議の簡素化や主任技術者要件の緩和により小水力発電事業の促進を目指している。また、長野県では部局を横断して「地域密着型小水力発電事業」²⁸⁾を積極的に推進支援する取り組みが行われている。このように、各自治体で地域による水力開発を積極的に推進支援する活動が始まりつつある。

その他、栃木県が民間事業者に委託して、2013年5月から開始した県営寺山ダムにおける日本初の「ダムESCO事業」²⁹⁾は、BOT(建設・運営・譲渡)方式により、自治体と民間事業者の双方が利益を共有できる事業モデルの1つと考えられる。

(3) 地域が主体となった総合的な水力開発事業モデルの構築に向けて

水力開発地点の発掘から、計画策定、許認可申請、設計、施工、運用保守のすべての段階において、外部の専門家や企業と協働して地域が水力開発について自ら考え、地域に貢献する水力を実現するための総合的な水力開発事業モデルを構築する必要がある。このため、開発推進体制の構築、基礎資料の収集、現地の確認調査、設備計画の基本構想、自然環境の保全と地域貢献策の調査、合意形成のプロセス、建設コストの低減、運転保守管理体制の基本構想、事業の採算性の評価、事業主体と資金確保策、建設、運転保守などの水力開発全体のプロセスについて具体的な地点で課題解決のための実践研究を行う。

水力発電の計画は広範な専門分野にまたがっていること、また近年開発が進んでいなかったことから経験豊かな人材が乏しい現状にある。このため、電力、建設、コンサル、大学、行政、小水力推進組織等のOBおよび現役の実力者の力を結集して取り組む必要がある。

1) 開発地点の発掘段階

○ 開発推進体制の構築

地域の関係者による水力開発推進体制をつくる。最初は水力発電の勉強会や研究会の形でもよい。地域の人々に信望が厚い人、若い世代や女性層の参加を得て、水力発電の環境面、電力供給面、地域への貢献などの社会的な面での価値と可能性の理解を共有する。自治体の理解を得た協議組織ができれば様々な協力や支援を受けることも可能になる。

地元のやる気と推進リーダーの存在が不可欠であり、水力開発の多様な価値を理解している専門家が地域の理解啓発やリーダーの育成に支援する必要がある。

○ 開発地点の発掘

水源の涵養や土砂・流木の流出、斜面崩壊などに関連する流域の地形・地質、降雨や積雪などの気候条件、道路や堰堤などの既存インフラ、水利用・土地利用の状況、動植物、景観、地域の歴史・文化、規制による制約条件などを踏まえて、開発候補地点を発掘する。出力・設備利用率、災害リスク、系統連系などを考慮して採算性が取れる地点を選定するために、水力開発の全体観を有する専門家の支援が不可欠である。

2) 基本構想の検討段階

○ 現地調査

取水箇所、水路ルート、発電所・放水箇所、減水区間の河川の流況・動植物・景観・水利用、上流域からの土砂や流木の流出、周辺の民家、地域の暮らし・文化・歴史などを調査する。これによって、複数の発電所案の中から最適な発電所レイアウトを抽出する。

また、現地の関係者と協働で河川および周辺環境を調査し、水力開発による利水、治水、漁業、生態系、暮らしや景観への影響を考えるとともに、将来の水力設備を利用した観光資源の充実、建設やメンテナンス、発電収益の活用などを通じた地域産業・雇用の活性化などの地域貢献策について総合的な議論を行い、地域の自然・社会環境に調和した水力開発の在り方を検討する。

○ 水力開発基本構想の策定

環境と経済性を考慮した取水口、水路構造物、発電所、放水口などのレイアウトと設備の基本仕様、施工方法、系統接続、発電所の運転保守などに関する発電設備基本構想とともに、自然・社会環境保全策と地域貢献策の基本方針を立案する。地元の建設・製造業の活用、メンテナンスを考慮した簡素な設備、海外製品の導入と技術移転などのコスト低減策、河川や暮らしの環境保全と地域貢献、農業・観光などと一体的に捉えた開発など、総合的な水力開発の基本方針をとりまとめる。また、地域が主体となった持続可能な水力発電の事業主体と資金確保策を固めて、地域貢献を考慮した総合的な水力開発事業の採算性の評価を行う。事業主体には個人、漁協、農協、企業などの地元関係者が参加するとともに、開発の趣旨に賛同し地方創生を支援する外部企業、金融機関などの協働事業者（地方創生水力ファンド）を考慮する必要がある。そしてこれらについて関係者への合意形成を図る。これらの課題を合理的に解決するためには、地元の関係者と総合的な水力開発に知見を有する水力専門家、地方創生水力ファンドの三位一体の取り組みが必要である。また、このような取り組みを通じた次世代の人材育成が重要である。

3) 基本設計・許認可取得段階

○ 基本設計

計画地点の自然・社会条件と調和した合理的な設計・施工計画を策定する。低コストで地域の自然・社会環境と調和した総合的な水力開発を合理的に進めるためには、流域の水文特性や地形・地質、施設の設計・施工、運用保守、環境保全、許認可、系統接続、地域貢献・合意形成、資金調達などについて水力開発全体にわたる経験と専門知識が不可欠である。専門家の知識と経験をフルに活用して現場プロジェクトの全体を後押しする明確な支援体制の構築が必要である。これからの水力開発にあたっては、建設会社・メーカー・コンサルタント会社等も水力開発に事業者として参加し、設計・施工や環境・安全等に関するノウハウを合理的な水力開発の実現に生かすとともに、地元の建設会社や工事会社、コンサルタント、測量会社等の育成に貢献することが望まれる。

○ 許認可取得等

地球環境と国のエネルギーセキュリティに貢献する地域による地域のための水力開発を実現するための各種許認可や系統接続には、手続きに精通した専門家の支援とともに自治体

による理解と積極的な協力・支援が重要である。

4) 建設段階

○ 工事の実施

地元の建設会社や工事会社等が主体となって建設工事を実施する。地元業者を育成するための支援が必要であり、大手の建設会社やメーカーなどは事業者として参画して地域に貢献することが望まれる。

○ 工事の管理

地域が主体となった発電事業者が工事の品質・安全・環境および資金の管理を適切に行うためには工事等の専門家による支援が必要である。

5) 運用保守段階

○ 運転保守

地域が主体となった運転保守管理体制について検討を行う。設備の点検保守や改良工事に高齢者や地元業者を積極的に活用するとともに、水力発電の建設から運用保守にわたる改善サイクルを回す方策を検討する。また、地域における電力関係会社などの既存の保守体制との連携についても検討する。

○ 地域貢献

地域が主体となった発電会社は、水力発電所の運転・保守・会計管理を行うだけでなく、地元の公益要望を把握し、収益の一部を地域に還元するなど、地域の活性化の取り組みを支援する地域貢献センター的な役割も果たす。

○ 総合的な水力開発モデルの展開と支援

成功モデルの全国への紹介や全国の水力開発の関係者への啓発や支援活動を実施する。

6) 全体を通じて

○ 水力開発に対する支援の在り方

モデル地点の実践研究を通じて、地域が主体となった水力開発に対する開発現場と行政への支援の在り方を検討する。個別地点の結果を全国で共有し、次期地点に生かすとともに、水力開発の制度・技術の改善提言につなげるための仕組みについても検討が必要である。

○ 水力開発の総合的な価値評価

地域が主体となった環境調和型水力開発における電力・環境・社会的側面の全体から見た総合的な価値評価基準について考察する。

以 上

【参考文献】

- 1) 井上素行, 再生可能エネルギーとしての水力の価値の評価と開発推進方策に関する調査研究、河川財団助成研究報告書, 2015 年: <http://www.kasenseibikikin.jp/promotion/>
- 2) 電源地域振興センター: 電源立地制度の概要, 2010. 3.
- 3) 環境省: 地域グリーンニューディール基金の創設, 2009. 7.
- 4) 椎川忍: 緑の分権改革, 学芸出版社, 2011.
- 5) IEA: Hydropower and the Environment, Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes Annex III, 2000.
- 6) IEA: Hydropower Good Practices: Environmental Mitigation Measures and Benefits, Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes Annex VIII, 2006.
- 7) 藤本穰彦・皆田潔・島谷幸宏: 中国地方の小水力エネルギー利用に観る自然エネルギーに基づく地域づくりの思想, 中山間地域研究センター, No. 8, 2012.
- 8) 農林水産省: 「立ち上がる農山漁村」平成 18 年度選定事例.
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 新エネ百選, 2009. 6.
- 10) 経済産業省九州経済産業局: 九州における環境・エネルギー・リサイクル産業の現状とビジネスモデル調査報告書, 2011. 2.
- 11) 駒宮博男: 小水力を核とした脱温暖化の地域社会形成, 社会技術研究開発事業 平成 20 年度研究開発実施報告書.
- 12) 水源地環境センター: ダム湖百選,
<http://www.wec.or.jp/library/100selection/index.html>
- 13) 沖田俊治・吉岡一郎・市原昭司: 新帝釈川発電所建設工事の概要, 電力土木, No. 309, 2004. 1.
- 14) 水源地環境センター: 大町ダム, 高瀬ダム, 七倉ダム, 奈川渡ダム, 水殿ダム, 稲核ダム 平成 18 年 7 月豪雨時の直轄ダムと利水 5 ダムによる下流水位上昇の抑制, ダム・堰危機管理業務顕彰, 平成 20 年度.
- 15) 加来睦宏・市丸義次・江藤公彦: 耳川水系の災害と整備計画、並びに上椎葉発電所水車・発電機更新工事等の計画, 設計, 施工について, 平成 23 年度中小水力発電技術に関する実務研修会, 新エネルギー財団, 2011. 7. 14.
- 16) 全国小水力利用推進協議会: 新曾木発電所, 小水力発電事例集 2013.
- 17) つちゆ清流エナジー株式会社: 土湯温泉町東鴉川水力発電所事業概要, 2015. 5.
- 18) 資源エネルギー庁: 水力発電に関する研究会中間報告, 2008. 7.
- 19) 水源地環境センター: ダム・堰危機管理業務顕彰, 平成 15~21 年度.
- 20) Morris, G. L. and Fan, J. (Reservoir Sedimentation 研究会翻訳, 角哲也・岡野眞久監修): 貯水池土砂管理ハンドブック, 技報堂出版, 2010.
- 21) 山家公雄: 迷走するスマートグリッド, エネルギーフォーラム, 2010.
- 22) 榎田真也, 石田啓, 富澤洋介, 安田成夫, 川崎秀明, 開水路流れにおけるクロスフロー水車を用いた圧縮空気生産実験, ダム工学 17(2), 2007.
- 23) 山家公雄: 再生可能エネルギーの真実, エネルギーフォーラム, 2013.
- 24) 東京電力: 尾瀬戸倉山林, 森林認証 FSC 取得, 2010. 2. 25.

- 25) 九州電力：社有林の適切な管理，環境アクションレポート，2008.
- 26) 長野県飯田市：飯田市再生可能エネルギー導入による持続可能な地域づくりに関する条例，2013. 3. 25.
- 27) 栃木県：「栃木発再生可能エネルギービジネスモデル創造特区」総合特別区域計画，2012. 11. 30 認定.
- 28) 長野県：地域密着型小水力発電事業の進め方，
<http://www.pref.nagano.lg.jp/ontai/kurashi/ondanka/shizen/susumekata.html>
- 29) 栃木県砂防水資源課：ダム ESCO 事業，2012. 10.
- 30) 農水省「平成 23 年度災害対応バイオマス有効活用モデル策定調査事業」
[http:// www.maff. go. jp/ j/ biomass/ saigai_ taio/](http://www.maff.go.jp/j/biomass/saigai_taio/)

[参考] 再生可能エネルギーとしての水力の価値

*平成 26 年度河川財団助成研究（代表者井上素行）による作成資料

価値の分類		内 容
環境価値	CO ₂ 排出量	設備の製造・建設から運用、廃棄までを含めたライフサイクルにおいて、発電電力量当たりの CO ₂ 排出量が化石燃料発電に比べて極めて少ない低炭素電源であり、水力発電は再生可能エネルギー発電の中でも排出量が最少レベルである。
	大気汚染物質排出量	ライフサイクルにおける発電電力量当たりの大気汚染物質排出量が、化石燃料発電に比べて大幅に少ないクリーンな電源であり、水力発電は再生可能エネルギー発電の中でも排出量が最少レベルである。
	河川環境負荷	水路式発電による河川の流況変化や減水区間の発生、ダムによる魚類の移動阻害、堆砂と下流域の流砂の減少、ダム湖の濁水長期化・富栄養化等があげられる。近年、このような問題に対して河川維持流量の放流や堰への魚道の設置、ダムへの選択取水設備や排砂設備の設置などの対策が取られ改善されてきている。今後の開発においては、減水区間における適切な河川維持流量の設定およびダムからの排砂を含めた総合土砂管理が重要な課題である。
電力価値	量	第 5 次包蔵水力調査結果によれば、未開発地点は 2706 地点、約 1,207 万 kW、456 億 kWh である。また、既設構造物の未利用落差を利用する発電包蔵水力として 1389 地点、33 万 kW、16.6 億 kWh が抽出されている。さらに、既存ダムを水力発電に徹底活用した場合には 324 億 kWh の新たな発電量が試算され、これらを合わせると合計で約 800 億 kWh に及ぶ非常に大きな賦存量がある。
	経済性	初期投資が高いが、耐用年数が長くほぼ計画通りの発電量を安定して得られるため、長期的に見れば最も安価な電源である（図表 1-1）。しかし、短期的に見れば、経済性が既存の火力発電より劣る場合があり、更なる建設コストの低減が必要である。但し、再生可能エネルギーの中では最も経済性に優れている。
	品質	太陽光や風力と異なり、安定した発電が可能であり制御性に優れている。このために、系統の安定に寄与し、系統安定化の費用は不要である。さらに、調整池式や貯水池式水力は負荷調整が容易であり、電力系統の周波数および電圧の安定維持に貢献する。このため、貯水池を有する水力は出力変動が激しい再エネ導入に対して調整力を持った再生可能エネルギーである。
社会的価値	地域の経済・産業	地域が水力事業経営を行うことによる収益の地域への還元、地場産業の育成と活用による雇用の創出、ダム湖等の水力施設を観光資源として活用などが行われており、さらに水力発電を活用した 6 次産業などの取り組みが考えられる。
	インフラの整備	水力発電用水路と農業用水路を共同利用する総合開発、ダムの総合的な活用による河川環境・エネルギー・洪水調節機能の改善、水力発電の収益を多目的ダムや農業用施設等のインフラの維持・整備に活用、建設工事に伴う河川・水路・道路の整備、地域電力供給などが行われている。
	環境・防災機能の改善	再開発によって発電所の設備・運用を環境調和型に改良し安全性も向上、ダム排砂によって山地から海域までの流砂系環境を改善、環境教育の推進、発電用ダム貯水池を洪水時の治水に活用などが行われている。
	持続性	他の再エネと異なり、設備の寿命が非常に長く、設備の部分改修や機能向上により、半永久的に設備が持続し地域に定着することが可能である。

【参考資料 1】

平成 28 年度

「水力発電事業性評価等支援事業」（人材育成等を行う事業に係る業務）」に関する「地域環境等の概観」について

平成 28 年度

一般社団法人 電力土木技術協会

《目次》

1. 自然・社会環境概況.....	1
(1) 地形・地質（特殊土を含む）	
(2) 月別降水量（県庁所在地 1981 年－2010 年平均：気象庁 HP 参照）	
(3) 一級河川・二級河川	
2. 自然環境規制状況.....	6
(1) 自然公園概況（環境省・各県 HP 参照）	
(2) 自然環境保全区域概況（環境省・各県 HP 参照）	
(3) 鳥獣保護地区概況（各県 HP 参照）	
(4) 特別天然記念物概況（環境省・各県 HP、既存文献参照）	

1. 自然・社会環境概況

(1) 地形・地質（特殊土を含む）

① 北海道

当地域は千島弧と東北日本弧の会合部に当たり、地形・地質の特徴から、西部・中央部・東部に区分して説明される。

西部は、山地と小規模な丘陵、山間盆地、海岸平野などが火山地形と混在して分布している。地質的には、中生代の堆積岩類や白亜紀の花こう岩類を基盤として、古第三紀末から第四紀にかけての火山岩類と堆積岩類が主に分布している。

中央部には、本道の背骨にもたとえられるほぼ南北に伸びる山地や丘陵地からなる山地帯が分布している。地質的には南北の帯状配列を示す複雑な地質帯が分布する。すなわち、日高変成岩類・深成岩類、蛇紋岩体・高圧型の神居古潭変成岩類、さらには白亜紀層や古第三紀層、新第三紀層が複雑な褶曲構造をつくりながら分布している。

東部は、阿寒－知床火山列の標高 1,500m 前後の火山山地を中軸として、その北側には比較的小規模な平野が分布し、南側では釧路平野や根釧台地など広大な低地帯が発達する。地質的には白亜紀～釧路炭田の炭層を含む古第三紀層が地域で最も古い地層として分布する。

【特殊土壌】

一方、北海道には、かつては特殊土壌と呼ばれた重粘土・火山性（灰）土・泥炭土の 3 種類の土壌が分布している。

② 東北

当地域には、太平洋に面して非火山性古期岩類からなる北上・阿武隈両山地が雁行配列し、その西側にグリーンタフ地域と称される新第三紀の火山性堆積盆がある。グリーンタフ地域の奥羽山脈と出羽丘陵は 2 つの隆起帯で、その間には山間盆地が南北に配列する。

地質の構成からみると、北上・阿武隈山地は、第三紀以降の非活動域となっており、中・古生層と貫入する花崗岩類から構成され、北西－南東方向のほぼ並列した多くの断層によって分割されている。西側のグリーンタフ地域は、新第三系中新統下部の厚い緑色凝灰岩類と、その上位に連なる堆積層の構成によって特徴づけられる堆積盆である。

③ 北陸

富山県の地質構成は、大きく第四紀堆積物、新第三紀堆積物、白亜紀末－古第三紀火成岩類、中生界、中生代以前の火成岩類・変成岩類に分類される。これらはほぼ帯状に配列し、富山湾を中心にほぼ同心円状の起伏を示す。

石川県は、飛騨変成岩類と船津花崗岩類からなる飛騨帯に位置し、その上盤に中生代や新生代の火山岩類等がみられる。

福井県は、北から飛騨帯・飛騨外縁帯・美濃帯・丹波帯・超丹波帯の地質帯が分布している。飛騨帯には飛騨変成岩類がみられる。飛騨外縁帯には中・古生代の地層が含まれる。美濃帯・丹波帯にはジュラ紀の緑色岩や層状チャート・砂岩・頁岩、あるいは石灰岩が含まれる。超丹波帯は緑色砂岩や石灰質砂岩などを含む。

④ 関東

当地域は本州弧の中央部にあって、西南日本弧と東北日本弧の会合部にあたっている。そして、関東地方の西部にある関東山地は西南日本の外帯の延長であり、北部の三国山脈や足尾～

八溝山地は地形的には東北日本の奥羽山脈へつながる山地である。これらの山地にいだかれて、その南東側にわが国でもっとも広い関東平野が広がっている。

足尾および三国山地の周辺には、那須火山帯の諸火山がある。また関東山地の南～西部には富士火山帯にぞくする火山群がある。さらに、関東地方の北西隅は上記の2つの火山帯と鳥海火山帯とが会合する地域にあたり、そこでは浅間火山と草津白根火山がそびえたっている。

当地域の地質系統は、前述の地形にほぼ対応している。すなわち、関東・足尾・帝釈・三国・八溝の各山地と日立地域には、地向斜で堆積した地層を主とする中・古生界とその変成相およびこれらにともなう各種の火成岩類が分布している。そのほか、ところによっては前者を基盤とした非海成～浅海成の中生界などが分布している。このほか、那珂湊には白亜系、銚子や関東平野下には中・古生界がある。また、丹沢・関東・三国・足尾・八溝の各山地および関東平野などの縁辺部、房総半島南端部や三浦半島、関東平野の北西部の地下などには、新第三系が分布している。

⑤ 中部

⑥ 関西

当地域の地形は、中央構造線を境に大きく異なっているのが特徴である。この南部域は紀伊半島の南部に相当し、比較的高い山々とリアス式海岸で特徴づけられる。地質学的には西南日本外帯と称され、中生代の付加体が分布している。中央構造線の北部域は、南北方向の断層によって山地と盆地が混在している。地質学的には西南日本の内帯と呼ばれ、花こう岩が広く分布している。

⑦ 中国

当地域の地形は、1,000～1,500m程度の高度をもつなだらかな脊梁山地が東西に走り、その南北に標高400～700mを中心とした高度に吉備高原や世羅台地などの低平な侵食性台地が数段分布している。さらにその南北外側には海岸平野が分布する。

一方、中国地方の構成地質は多様であり、付加体として形成された地層が、南西部を中心に分布している。砂岩、泥岩、チャート等に加えて、変成岩や石灰岩体が含まれている。中国山地の大半は花崗岩類およびそれと前後する後期中生代の火砕岩類が占めるが、一部には中生代～古第三紀の浅海成ないし湖成の地層群―成羽層群や美祢層群のような地層が断片的に分布しており、これらは砂岩、泥岩とともに一部には石炭層が含まれている。

【特殊土壌】

特殊土（施工に際して不良な土、あるいは厄介な土）の観点からみると、中国地方は花崗岩類が多いことが特徴で、いわゆるまさ土といわれる砂状風化物に変化している地域が多い。

⑧ 四国

当地域の中央部には四国山地が東西方向に伸びており、四国の脊梁を形成している。四国の地質は、中央構造線や御荷鉾構造線・仏像構造線をはじめとする大規模な構造線を境にして多種多様な地質構成になっている。

⑨ 九州

九州中部の阿蘇火山の南には、非火山性の高く大きな山地（九州山地）が連なり、火山を含む台地・丘陵をなす地域との間に明瞭な境界線が走っている。これが四国の中央構造線の続きとみられる臼杵―八代線である。そのすぐ北方には大分―熊本線がほぼ平行に走っている。これによって九州は大きく北部と南部に区分できる。

九州の土台をなす第三紀より前の基盤岩類の構造は、基本的には西南日本弧の帯状構造の続きである。中国・四国地方とほぼ同様、九州では主に古生代・中生代の秋吉帯、三郡帯、領家帯、秩父累帯、四万十累帯(第三紀層を含む)の堆積岩・変成岩および白亜紀の花崗岩などが基盤を構成している。基盤岩類はいくつかの構造線(断層)によって切断され転位し、帯状構造は乱れあるいは屈曲し琉球弧に続く。九州はほぼ九州中部を斜めに横断する臼杵一八代構造線によって二分されている。その北側が西南日本弧の内帯であり、南側(南部九州)が西南日本弧の外帯である。なお、北側地域の南部は火山や断層で特徴づけられる特異な地帯であり、中部九州と呼ぶ。

【特殊土壌】

当地域の特殊土は、地質条件によって大きく分類すると、火山成岩土：温泉余土・島原焼土・ぼく・赤ぼく・赤ほや・よな・灰土・阿蘇溶岩・しらす・ぼら・こら、河成土：そうら層、海成土：有明粘土である。

⑩ 沖縄

沖縄本島北部では、中生代白亜紀の泥岩が変成した泥質（黒色）千枚岩を主体とする名護層と、新生代第三紀の砂岩、砂岩泥岩互層及び粘板岩を主体とする嘉陽層が大部分を占めている。このうち嘉陽層は、複雑な褶曲構造を成している特徴がある。沖縄本島中・南部は、新生代第三紀の海成堆積岩類である島尻層群および新生代第四紀（主に更新世）の石灰岩である琉球層群が大部分を占めている。

久米島には新生代第三紀の安山岩溶岩を主体とする火山岩類が広く分布する。

石垣島では於茂登岳周辺に新生代第三紀の花崗岩の貫入岩が分布し、また平久保崎周辺に県内で最も古いとされているトムル層（泥質片岩、苦鉄質片岩）が分布している。

西表島では、中生代第三紀の八重山層群（泥岩・砂岩互層）が広く分布している。

【特殊土壌】

沖縄県では上記の母材を基質とした国頭マージ、島尻マージ、ジャーガル、沖縄土壌と呼ばれる特殊土壌が分布する。

(2) 月別降水量（県庁所在地 1981 年－2010 年平均：気象庁 HP 参照）

① 北海道

札幌管区気象台における至近の 30 年(1981～2010 年)統計による降水量の平均値は 1,106.5mm となっており、全国平均と比較すると少雨傾向である。

② 東北

年平均降水量で比較すると、日本海側の秋田・新潟では全国平均とほぼ同等であるが、その他の都市では下回っている。

③ 北陸

いずれの都市においても年間平均降水量は約 2,300 mm で、全国平均である約 1,700 mm を大きく上回っている。これは、冬季の降雪が影響しているものと考えられる。

④ 関東

年平均降水量で比較すると、いずれの都市においても概ね 1,100～1,600 mm で、全国平均とほぼ同等か、やや下回っている。

⑤ 中部

⑥ 関西

年平均降水量で比較すると、いずれの都市においても概ね 1,200~1,600 mm で、全国平均とほぼ同等か、やや下回っている。

⑦ 中国

山陰に位置する松江市と鳥取市は、年間を通して平均的に降水があり、年間降水量は瀬戸内海側より多く、全国平均と同等程度の 1,700~1,900 mm。瀬戸内海側に位置する 2 県及び山口県は夏季に降水量が多く冬季に少なく、特に岡山県は 1,100 mm 程度と降水量が少ない。

⑧ 四国

当地域は四国山地を境に著しく異なっており、降水量の上でも、瀬戸内側では年平均 1,000~2,000 mm、太平洋側は 2,500~3,000 mm とその差が顕著に現れている。

⑨ 九州

当地域は梅雨期の 6、7 月の降水量が多く、次に台風の影響を受ける 8、9 月が多い。年間降水量では、福岡県が最も少なく 1,612mm、宮崎県が最も多く 2,508 mm を示す。

⑩ 沖縄

沖縄県では、5~6 月に梅雨前線の影響を受け、8~9 月に台風の接近数が多いことから、降水量が多くなっている。年降水量は 2040.8mm で、国内では降水量の多い区域である。

(3) 一級河川・二級河川

① 北海道

石狩川、天塩川、十勝川などの 13 水系 1,129 の一級河川、新川などの 230 水系 467 の二級河川、78 水系 429 の準用河川、そのほかに多くの普通河川がある。この内もっとも流域面積が広いのは石狩川で、14,330km²である。

② 東北

国内有数の流域面積をもつ北上川 (10,150km²) をはじめ、多くの一級河川・二級河川がある。

③ 北陸

富山県：2,720km²の流域面積をもつ神通川をはじめ、5 水系の一級河川と 29 水系の二級河川がある。

石川県：809km²の流域面積をもつ手取川をはじめ、2 水系の一級河川と 60 水系の二級河川がある。

福井県：2,930km²の流域面積をもつ九頭竜川をはじめ、2 水系の一級河川と 22 水系の二級河川がある。

④ 関東

国内最大の流域面積をもつ利根川 (16,840km²) をはじめ、多くの一級河川・二級河川がある。

⑤ 中部

⑥ 関西

当地域は、8,240km²の流域面積をもつ淀川をはじめ、15 の一級河川がある。当地域には 232 の二級河川がある。

⑦ 中国

中国地方には一級河川が 13 水系あり、このうち江の川 (島根県、広島県) は、幹川流路延長、流域面積ともに、規模が最も大きい。一方、二級河川は各県に多く存在し、最も多いのは山口

県で 108 水系である。

河川の分布を見ると、山口県を除く 4 県は、県中央部の中国山地から沿岸部にかけて一級河川が流れており二級河川は沿岸部に短い河川が分布しているが、山口県は沿岸部に河川延長の短い二級河川が分布するほか、二級河川の多くは河川延長が長く、県中央部から沿岸部にかけて流れている。

⑧ 四国

四国の瀬戸内海側に流れる河川は一般に流路が短いのに対し、太平洋側は吉野川、四万十川など比較的長い流路を持つ河川が多いのが特徴である。

⑨ 九州

九州には 20 水系の一級河川がある。筑後川が 2,863 km² の流域面積を有し、最大となっている。二級河川の水系数・河川数は長崎県が最も多い。流域面積・河川総延長では鹿児島県が一番となっている。

⑩ 沖縄

沖縄県には一級河川は無い。地理的条件から、いずれの河川も流域面積および流路延長が小さく、急勾配となっている。

2. 自然環境規制状況

(1) 自然公園概況

自然公園とは、すぐれた自然の風景地を永久に保護し、その中でだれでも自由に風景を楽しみ、休養し、レクリエーションを行い、また動植物や地質などの自然を学べるように「自然公園法」に基づいて指定、管理されるもので、国立公園、国定公園及び都道府県立自然公園をいう。

【国立公園】

わが国の風景を代表するに足りる傑出した自然の風景地で、環境大臣が指定し、国が管理する。

【国定公園】

国立公園に準ずる自然の風景地で、都道府県の申し出を受けて環境大臣が指定し、都道府県が管理する。

【都道府県立自然公園】

国立・国定公園に次ぐ、都道府県を代表する自然の風景地。都道府県が指定し、自ら管理する。

それぞれの自然公園には、その自然景観の特色に応じた保護の方法や利用の仕方が、「公園計画」として定められている。そして、この計画に基づいて、木竹の伐採、建築物の設置など、自然環境に影響を及ぼす行為が規制される。

特別地域

公園の風致を維持するための地域。用途に応じて、第一種から第三種まで区別がある。以下の行為には、許可が必要となる。

工作物の新築・改築、樹木の伐採、鉱物の採取、河川・湖沼の取水・排水、広告の掲示、土地の埋立・開墾、動植物の捕獲・採取、本来の生息地でない動物の放鳥獣、本来の生育地でない植物の植栽、施設の塗装色彩の変更、指定区域内への立入、指定区域内での車の使用など

第一種特別地域

特別保護地区に準ずる景観を有し、特別地域のうちでは風致を維持する必要性が最も高い地域であって、現在の景観を極力保護することが必要な地域

第二種特別地域

特に農林漁業活動については努めて調整を図ることが必要な地域

第三種特別地域

特に通常の農林漁業活動については原則として風致の維持に影響を及ぼすおそれが少ない地域

特別保護地区

特別地域の内、特に重要な地区。以下の行為には、許可が必要となる。

特別地域で許可を要する行為、樹木の損傷、動物の放鳥獣（家畜の放牧を含む）、植物の植栽・播種、物の集積・貯蔵、たき火

海域公園地区

海域の景観を維持するための地区。1970 年（昭和 45 年）の改正で、「海中公園地区」として設定された。以下の行為には、許可が必要となる。

工作物の新築・改築、鉱物の採取、広告の掲示、動植物の採取、埋立・干拓、海底の形状の変更、物の繫留、排水、環境大臣が指定する区域・期間内の動力船の使用

普通地域

特別地域や海域公園地区に指定されていない自然公園の地域。以下の行為には、届出が必要となる。

工作物の新築・改築、特別地域の河川・湖沼へ影響を及ぼすこと、広告の掲示、水面の埋立・干拓、鉱物の掘採、土地や海底の形状の変更

① 北海道

【国立公園】阿寒・大雪山・支笏洞爺・知床・利尻礼文サロベツ・釧路湿原の 6 か所。

【国定公園】網走・大沼・ニセコ積丹小樽海岸・日高山脈襟裳・暑寒別天売焼尻の 5 か所

【道立自然公園】厚岸・富良野芦別ほか全 13 か所

【世界遺産】知床

② 東北

【国立公園】複数の県に属するが、十和田八幡平国立公園ほか全 8 か所。

【国定公園】青森県：下北半島・津軽の 2 か所、岩手県：栗駒・早池峰の 2 か所、秋田県：男鹿ほか全 4 か所、宮城県：蔵王・栗駒の 2 か所、山形県：鳥海・蔵王・栗駒の 3 か所、福島県：越後三山只見の 1 か所、新潟県：2 か所

【県立自然公園】青森県：浅虫夏泊ほか全 7 か所、岩手県：花巻温泉郷ほか全 7 か所、秋田県：八森岩館ほか全 8 か所、宮城県：松島ほか全 8 か所、山形県：庄内海浜ほか全 6 か所、福島県：霊山ほか全 11 か所、新潟県：13 か所

【世界遺産】白神山地

③ 北陸

【国立公園】複数の県に属するが、白山国立公園がある。

【国定公園】複数の県に属するが、越前加賀海岸国定公園がある。石川県：能登半島、福井県：若狭湾がある。

【県立自然公園】富山県：朝日・有峰・五箇山の 3 か所、石川県：山中大日山・獅子吼手取・碁石ヶ峰・白山一里野・医王山の 5 か所、福井県：奥越高原の 1 か所

④ 関東

【国立公園】複数の県に属するが、日光・尾瀬・秩父多摩甲斐・小笠原・富士箱根伊豆・南アルプスの 6 か所の国立公園がある。

【国定公園】群馬県：妙義荒船佐久高原、茨城県：水郷筑波、山梨県：八ヶ岳中信高原、千葉県：水郷筑波ほか全 2 か所、神奈川県：丹沢大山、東京都：明治の森高尾

【県立自然公園】茨城県：奥久慈ほか全 9 か所、栃木県：益子ほか全 8 か所、山梨県：県立南アルプス巨摩ほか全 2 か所、埼玉県：狭山ほか全 10 か所、千葉県：養老溪谷奥清澄ほか全 8 か所、神奈川県：丹沢大山ほか全 4 か所、東京都：滝山ほか 6 か所

【世界遺産】小笠原諸島

⑤ 中部

⑥ 関西

【国立公園】複数の県に属するが、山陰海岸・瀬戸内海・吉野熊野がある。

【国定公園】京都府：京都丹波高原ほか全 4 か所、大阪府：明治の森箕面ほか全 2 か所、滋賀県：琵琶湖ほか全 2 か所、奈良県：金剛生駒紀泉ほか全 4 か所、兵庫県：氷ノ山後山那岐山、和歌山県：金剛生駒紀泉ほか 2 か所がある。

【府県立自然公園】京都府：笠置山ほか 3 か所、大阪府：北摂ほか全 2 か所、滋賀県：三上・田上・信楽ほか全 3 か所、奈良県：矢田ほか全 3 か所、兵庫県：多紀連山ほか全 11 か所、和歌山県：高野山町石道玉川峡ほか 11 か所がある。

⑦ 中国

【国立公園】複数の県に属するが、当地域には山陰海岸・瀬戸内海・大山隠岐の 3 か所の国立公園がある。

【国定公園】複数の県に属するが、当地域には氷ノ山ほか 5 か所の国定公園がある。

【県立自然公園】鳥取県：西因幡ほか全 3 か所、島根県：断魚溪・観音滝ほか全 11 か所、岡山県：高梁川上流ほか全 7 か所、広島県：南原峡ほか全 6 か所、山口県：豊田ほか全 4 か所、

⑧ 四国

【国立公園】1 府 10 県にまたがる「瀬戸内海国立公園」、四国西南部（愛媛県、高知県）に属する「足摺宇和海国立公園」の 2 か所がある。

【国定公園】徳島県と高知県に属する剣山と室戸阿南海岸国定公園、愛媛県と高知県に属する石鎚国定公園がある。

【県立自然公園】香川県：大滝川の 1 か所、徳島県：箸蔵ほか全 6 か所、高知県：手結住吉ほか全 18 か所、愛媛県：四国カルストほか全 7 か所

⑨ 九州

【国立公園】福岡県や大分県に一部が属している 1 府 10 県にまたがる「瀬戸内海国立公園」がある。長崎県には、雲仙天草と西海の 2 か所がある。熊本県や大分県には、阿蘇・くじゅう国立公園がある。宮崎県や鹿児島県には、霧島錦江湾や屋久島国立公園がある。

【国定公園】福岡県：北九州ほか全 3 か所、佐賀県：玄海国定公園、長崎県：壱岐対馬、熊本県：耶馬日田英彦山ほか全 2 か所、大分県：祖母傾ほか全 3 か所、宮崎県：日南海岸ほか全 4 か所、鹿児島県：甕島ほか全 3 か所、

【県立自然公園】福岡県：筑豊ほか全 5 か所、佐賀県：黒髪山ほか全 6 か所、長崎県：多良岳ほか全 6 か所、熊本県：金峰山ほか全 7 か所、大分県：国東半島ほか全 5 か所、宮崎県：尾鈴ほか全 6 か所、鹿児島県：吹上浜ほか全 8 か所

⑩ 沖縄

【国立公園】西表石垣国立公園がある。

【国定公園】沖縄海岸・沖縄戦跡の 2 か所がある。

【県立自然公園】久米島の 1 か所。

(2) 自然環境保全区域概況

ほとんど人の手が加わっていない原生の状態が保たれている地域や優れた自然環境を維持している地域については、自然環境保全法及び都道府県条例に基づきそれぞれ、原生自然環境保全地域、自然環境保全地域、または都道府県自然環境保全地域として指定し、自然環境の保全に努めている。

【原生自然環境保全地域】

人の活動の影響を受けることなく原生の状態を維持している地域(1,000ha 以上、島嶼は 300ha 以上)

【自然環境保全地域】

ア. 高山・亜高山性植生(1,000ha 以上)、すぐれた天然林(100ha 以上)

イ. 特異な地形・地質・自然現象(10ha 以上)

ウ. 優れた自然環境を維持している湖沼・海岸・湿原・河川・海域(10ha 以上)

エ. 植物の自生地・野生動物の生息地のうち、ア～ウと同程度の自然環境を有している地域(10ha 以上)

【都道府県自然環境保全地域】

自然環境保全地域(上記)に準ずる自然環境を維持している地域(ただし、海域を除く)

【保全のための規制】

原生自然環境保全地域	自然生態系に影響を与える行為は原則禁止 立入制限地区:原則立入禁止
自然環境保全地域 及び 都道府県自然環境保全地 域	特別地区:各種行為は一定の基準に合致するもののみ許可
	野生動植物保護地区:特定の野生動植物の捕獲、採取は原則 禁止
	普通地区:各種行為は届出

【行為の許可・届出】

- ・原生自然環境保全地域・自然環境保全地域:環境大臣、各地方環境事務所長
- ・都道府県自然環境保全地域:都道府県知事

① 北海道

【原生自然環境保全地域】遠音別岳など 2 か所が指定。

【自然環境保全地域】大平山の 1 か所が指定。

【道自然環境保全地域】大千軒岳など 7 か所が指定。

さらに、北海道自然環境等保全条例に基づき、環境緑地保護地区等及び記念保護樹木を指定している。

② 東北

【県自然環境保全地域】青森県:然ヶ岳ほか全 9 か所、岩手県:県内 14 か所、秋田県:県内 18 か所、宮城県:県内 16 か所、山形県:今神山ほか全 5 か所、福島県:県内 47 か所、新潟県:県内 23 か所

③ 北陸

【県自然環境保全地域】富山県：沢杉ほか全 11 か所、石川県：杉の水ほか全 7 か所、福井県：池河内ほか全 2 か所

④ 関東

【県自然環境保全地域】栃木県：大佐飛山、群馬県：利根川源流部の 2 か所。

⑤ 中部

⑥ 関西

【府・県自然環境保全地域】京都府：男山ほか 12 か所、大阪府：本山寺ほか全 6 か所、奈良県：玉置山、兵庫県：阪神北ほか全 15 か所、和歌山県：立神社寺林ほか全 7 か所

⑦ 中国

【県自然環境保全地域】鳥取県：菅野ほか 15 か所、島根県：西谷川オオサンショウウオ繁殖地ほか全 6 か所、岡山県：塩滝地域ほか全 3 か所、広島県：龍頭峡ほか全 27 か所

⑧ 四国

愛媛県と高知県に属する笹ヶ峰自然環境保全地域がある。地域全体 537ha が特別地域に指定されており、そのうち 259ha が「野生動植物保護地区」となっている。

⑨ 九州

【県自然環境保全地域】福岡県：猪野ほか全 4 か所、佐賀県：檜原湿原、長崎県：虚空蔵山ほか全 15 か所、熊本県：染岳ほか全 4 か所、大分県：武多都ほか全 6 か所、宮崎県：檜葉ほか全 2 か所、鹿児島県：稲尾岳ほか全 4 か所

⑩ 沖縄

【県自然環境保全地域】嘉津宇岳・安和岳・八重岳の 3 か所。

(3) 鳥獣保護地区概況

鳥獣保護区は、鳥獣の保護の見地から「鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律」に基づき指定されている。鳥獣保護区は、環境大臣が指定する国指定鳥獣保護区と、都道府県知事が指定する都道府県指定鳥獣保護区の 2 種類があり、環境大臣又は都道府県知事は、鳥獣保護区の区域内で鳥獣の保護又はその生息地の保護を図るため特に必要があると認める区域を特別保護地区に指定することができる。鳥獣保護区内においては、狩猟が認められないほか、特別保護地区内においては、一定の開発行為が規制される。

① 北海道

【国指定鳥獣保護区】大規模生息地 1 か所、集団渡来地 8 か所。

【道指定鳥獣保護区】森林鳥獣生息地 193 か所、大規模生息地 3 か所、集団生息地 20 か所、集団渡来地 4 か所、希少鳥獣生息地 2 か所、身近な鳥獣生息地 76 か所。

② 東北

【県指定鳥獣保護区】青森県・岩手県・秋田県・新潟県の各ホームページに掲載されている。

③ 北陸

【国指定鳥獣保護区】複数の県に属するが、白山や片野鴨池など 7 か所がある。

【県指定鳥獣保護区】富山県：ねいの里ほか全 38 か所、石川県：キゴ山ほか全 47 か所、福井県：永平寺ほか全 31 か所

④ 関東

【国指定鳥獣保護区】複数の県に属するケースもあるが、浅間や渡良瀬遊水地など 11 か所がある。

⑤ 中部

⑥ 関西

【国指定鳥獣保護区】京都府：冠島沓島の 1 か所、兵庫県：浜甲子園・円山川下流域の 2 か所

【府県指定鳥獣保護区】京都府：笠置ほか全 63 か所、大阪府：箕面勝尾寺ほか全 18 か所、奈良県：大台山系ほか全 21 か所、兵庫県：伊丹ほか全 92 か所、和歌山県：友ヶ島ほか全 98 か所

⑦ 中国

【国指定鳥獣保護区】鳥取県：大山ほか 2 か所、島根県：中海ほか全 2 か所

【県指定鳥獣保護区】鳥取県：20 か所、島根県：80 か所、岡山県：65 か所、広島県：101 か所、山口県：81 か所

⑧ 四国

【県指定鳥獣保護区】香川県：阿弥陀越ほか全 13 か所、徳島県：剣山山系ほか全 53 か所等

⑨ 九州

【国指定鳥獣保護区】長崎県：1 か所、宮崎県：2 か所

【県指定鳥獣保護区】福岡県：46 か所、佐賀県：42 か所、長崎県：20 か所、熊本県：105 か所、大分県：66 か所、宮崎県：107 か所、鹿児島県：132 か所

⑩ 沖縄

【国指定鳥獣保護区】沖縄本島：国頭村のやんばる（安田）ほか全 4 か所、石垣島：名蔵アンバルの 1 か所、西表島：西表の 1 か所

【県指定鳥獣保護区】沖縄本島：国頭村の西銘岳ほか全 9 か所、久米島：仲里・具志川の 2 か所

(4) 特別天然記念物概況

① 北海道

野幌原始林、大雪山、昭和新山、アポイ岳高山植物群落、阿寒湖のマリモ、タンチョウ

② 東北

青森県：小湊のハクチョウおよびその渡来地、岩手県：夏油温泉の石灰華・根反の大珪化木・焼走り溶岩流・早池峰山および薬師岳の高山帯・森林植物群落

秋田県：玉川温泉の北投石、

宮城県：鬼首の雌釜および雄釜間歇温泉

山形県：羽黒山の杉並木・東根の大ケヤキ

③ 北陸

富山県：薬師岳の圈谷群、ホタルイカ群遊海面、ライチョウ、カモシカ、魚津埋没林、白馬連山高山植物帯

石川県：カモシカ、岩間の噴泉塔群

福井県：オオサンショウウオ、カモシカ、コウノトリ、タンチョウ

④ 関東

栃木県：日光杉並木街道附並木寄進碑、コウシンソウ自生地

群馬県：浅間山溶岩樹型、尾瀬

山梨県：鳴沢溶岩樹型

埼玉県：牛島のフジ、田島ヶ原サクラソウ自生地、御岳の鏡岩

東京都：大嶋のサクラ株、アホウドリ

千葉県：鯛ノ浦タイ生息地

⑤ 中部

⑥ 関西

滋賀県：長岡のゲンジボタルおよびその発生地

奈良県：春日山原始林

⑦ 中国

鳥取県：大山町のダイセンキャラボク純林

島根県：松江市の大根島の溶岩隧道

山口県：美祢市の秋吉台

山口県：美祢市の秋芳洞

山口県：周南市・下松市の八代のツルおよびその渡来地

⑧ 四国

香川県：宝生院のシンパク

徳島県：加茂の大クス

高知県：ミカドアゲハ・杉の大スギ

愛媛県：八釜の甕穴群

定めず：土佐のオナガドリ

⑨ 九州

福岡県：古処山ツゲ原始林・立花山クスノキ原始林

熊本県：相良のアイラトビカズラ

宮崎県：青島亜熱帯性植物群落・内海のヤッコソウ発生地・都井岬ソテツ自生地

鹿児島県：ツルおよび渡来地・枇榔島亜熱帯性植物群落・蒲生のクス・喜入のリュウキュウコウガイ山地・鹿児島県のソテツ自生地・屋久島杉原生林

⑩ 沖縄

コウノトリ、ノグチゲラ、イリオモテヤマネコ、カンムリワシ、アホウドリ

【参考資料 2】

環境保全関連

目 次

2.1	「環境影響評価の項目の参考項目の設定根拠（水力発電所）」	1
2.2	「中小河川におけるワンドに関する調査、工事事例」	5
2.3	「魚類迷入防止対策の手法と概要」	7
2.4	「魚道の事例」	13
2.5	「水力発電設備の景観対策事例」	17
2.6	「水力発電所の新たな環境の創出と価値評価」	23
2.7	「減水区間における環境保全対策の事例」	42

2.1「環境影響評価の項目の参考項目の設定根拠（水力発電所）」（本編 5.2）

（改定・発電所に係る環境影響評価の手引き第4章環境影響評価項目及び手法の選定）

環境要素の区分				参考項目 の設定	理 由
大気環境	大気質	硫黄酸化物		×	工事中の建設機械の稼働、資材の搬出入において硫黄分の多い重油系燃料を燃焼する重機は使用せず、環境保全上の支障が生じることは想定しにくいことから、参考項目として設定しない。
		窒素酸化物	工事用資材等の搬出入	○	工事中の資材等の搬出入に伴う影響については、広域に及ぶものとは考えられない。しかし、輸送経路の近傍に民家等が存在する場合は想定されることから、参考項目として設定する。
			建設機械の稼働	×	工事中の建設機械の稼働において使用される燃料の燃焼により排出されることが想定されるが、環境影響は一過性で軽微であると想定されることから、参考項目として設定しない。
		粉じん等	工事用資材等の搬出入	○	工事中の資材等の搬出入に使用する車両から、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その影響は広域に及ぶものとは考えられない。しかし、輸送経路の近傍に民家等が存在する場合は想定されることから、参考項目として設定する。
			建設機械の稼働	○	工事中の建設機械の稼働に伴い、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その環境影響は工事場所の近傍に限られる。しかし、工事場所の近傍に民家等が存在する場合は想定されることから、参考項目として設定する。
	騒音	騒音	工事用資材等の搬出入	○	工事中の資材等の搬出入に使用する車両より騒音が発生するが、その影響は輸送経路の近傍に限られる。しかし、輸送経路の近傍に民家等が存在する場合は想定されることから、参考項目として設定する。
			建設機械の稼働	○	工事中の建設機械の稼働に伴い、騒音が発生するが、その影響は工事場所の近傍に限られる。しかし、工事場所の近傍に民家等が存在する場合は想定されることから、参考項目として設定する。
			供用時	×	水車発電機等からの騒音が想定されるが、一般的に発電所は地下に設けられることが多く、影響は軽微であると想定されることから、参考項目として設定しない。
	振動	振動	工事用資材等の搬出入	○	工事中の資材等の搬出入に使用する車両より振動が発生するが、その環境影響は輸送経路の近傍に限られる。しかし、輸送経路の近傍に民家等が存在する場合は想定されることから、参考項目として設定する。
			建設機械の稼働	○	工事中の建設機械の稼働に伴い、騒音が発生するが、その影響は工事場所の近傍に限られる。しかし、工事場所の近傍に民家等が存在する場合は想定されることから、参考項目として設定する。

環境要素の区分				参考項目 の設定	理 由
大気環境	振動	振動	供用時	×	水車発電機等からの振動が想定されるが、一般的に発電所は地下に設けられることが多く、発電所近傍に民家等がない山間部に立地し、影響は軽微であると想定されることから、参考項目として設定しない。
	悪臭	悪臭物質		×	水力発電事業においては、悪臭物質を取り扱わないことから、参考項目として設定しない。
	その他	低周波音		×	低周波音の発生は、ダムからの放水、水車・発電機の稼働等が想定されるが、これまでの実績並びに全国における低周波音の苦情件数を踏まえれば、一般的には環境保全上の支障は想定しにくいことから、参考項目として設定しない。
水環境	水質	水の汚れ	貯水池の存在	○	貯水池、調整池に貯留した場合には、貯留水の汚れが発生することが想定されることから、参考項目として設定する。
			河水の取水	○	流れ込み式発電を行う場合には、取水地点と放水地点の区間で流況が変化し、河川水の汚れが発生することが想定されることから、参考項目として設定する。
		富栄養化	貯水池の存在	○	貯水池、調整池に貯留した場合には、貯留水の富栄養化が発生することが想定されることから、参考項目として設定する。
		水の濁り	造成等の施工による一時的な影響	○	工事中の掘削、コンクリート工事等に伴い高濁度の工事用水が発生することが想定されることから、参考項目として設定する。
			貯水池の存在	○	貯水池、調整池に濁水が流入・貯留した場合には、貯留水の濁りの長期化が想定されることから、参考項目として設定する。
		溶存酸素量	貯水池の存在	○	貯水池、調整池に貯留した場合には、貯留水の一部で溶存酸素量が低下することが想定されることから、参考項目として設定する。
		水素イオン濃度	造成等の施工による一時的な影響	○	工事中のコンクリート工事に伴い高アルカリ性工事用水が発生することが想定されることから、参考項目として設定する。
		水温	貯水池の存在	○	貯水池、調整池に貯留した場合には、貯留水の一部で河川水と比べて水温が低下することが想定されることから、参考項目として設定する。
		大腸菌群数		×	一般排水による影響が想定されるが、これまでの実績から環境基準の達成状況や自然浄化作用等を勘案すると、一般的には環境保全上の支障は想定しにくく、また、水の汚れについては、COD/BODにより評価することから、参考項目として設定しない。
	底質	底質		×	一般的に自然湖沼への排水や埋立を行う事業は想定されないことから、参考項目として設定しない。
	地下水	地下水		×	一般的に地下水の取水は想定されないことから、参考項目として設定しない。

環境要素の区分				参考項目 の設定	理 由
水 環 境	そ の 他	湖沼		×	一般的に自然湖沼の形態を大きく変更したり、埋立を行うような事業は想定されないことから、参考項目として設定しない。
そ の 他 の 環 境	地 形 及 び 地 質	重要な地形及び地質	地形改変及び施設 の存在	○	工事を実施する区域内に重要な地形及び地質が存在する場合には、地形改変及び施設の設置により重要な地形・地質を喪失することが想定されることから、参考項目として設定する。
			貯水池の存在	○	貯水池内に重要な地形及び地質が存在する場合には、湛水により重要な地形、地質を水没させることが想定されることから、参考項目として設定する。
	地 盤	地盤沈下		×	一般的に地下水の取水は想定されないことから、参考項目として設定しない。
	土 壌	土壌汚染		×	土壌汚染を生じるような物質を取り扱うことは想定されないこと、また、立地地点の特性から土壌が汚染されていることも想定されないことから、参考項目として設定しない。ただし、土地掘削等により土壌汚染物質が発生し、明らかに環境への影響が予想される場合は除く。
	そ の 他	日照阻害		×	一般的に周辺に民家は存在しないことから参考項目として設定しない。
動 物	重要な種及び注目すべき 生息地	造成等の施工による一時的な影 響		○	工事中においては一般的な事業の内容により、土地の造成等の工事実施時の影響が考えられることから、参考項目として設定する。
		土地又は工作物の存在及び供用		○	地形改変、施設の設置、貯水池の湛水による重要な動物種の生息範囲や注目すべき生息地の縮小や、取水地点と放水地点の区間における流況の変化による重要な動物種及び注目すべき生息地の環境の変化が想定されることから、参考項目として設定する。
植 物	重要な種及び重要な群落	造成等の施工による一時的な影 響		○	土地の造成等の実施により、重要な種及び重要な群落の生育環境への影響が考えられることから、参考項目として設定する。
		土地又は工作物の存在及び供用		○	地形改変、施設の設置、貯水池の湛水による重要な植物種及び重要な群落の生育区域の縮小や、取水地点と放水地点の区間における流況の変化による重要な植物種及び重要な群落の環境の変化が想定されることから、参考項目として設定する。
生 態 系	地域を特徴づける生態系	造成等の施工による一時的な影 響		○	工事中においては一般的な事業の内容により、土地の造成等の工事実施時の影響が考えられることから、参考項目として設定する。
		土地又は工作物の存在及び供用		○	地形改変、施設の設置、貯水池の湛水、取水地点と放水地点の区間における流況の変化により生態系の変化が想定されることから、参考項目として設定する。
景 観	主要な眺望点及び景観資源並びに主要な眺望景観	地形改変及び施設 の存在		○	景観資源の削減又は縮小、眺望点及び眺望景観への影響が想定されることから、参考項目として設定する。
		貯水池の存在		○	貯水池の存在により主要な眺望点及び景観資源並びに主要な眺望景観への影響が想定されることから、参考項目として設定する。

環境要素の区分			参考項目 の設定	理 由
人と自然との 触れ合いの活動の場	主要な人と自然との触れ 合いの活動の場	工事用資材等の 搬出入	○	工事用の資材等の搬出入により輸送経路の近傍への影 響が想定されることから、参考項目として設定する。
		地形改変及び施 設の存在	○	人と自然との触れ合いの活動の場の消滅又は縮小、施設 の存在による影響が想定されることから、参考項目とし て設定する。
		貯水池の存在	○	貯水池周辺に主要な人と自然との触れ合いの活動の場 がある場合には、影響を与えることが想定されることか ら、参考項目として設定する。
		河水の取水	○	流れ込み式発電を行う場合で、取水地点と放水地点の区 間に主要な人と自然との触れ合いの活動の場がある場 合には、その区間の流況の変化により触れ合いの活動の 場へ影響を与えることが想定されることから、参考項目 として設定する。
廃 棄 物 等	産業廃棄物	造成等の施工に よる一時的な影 響	○	工事中にコンクリート殻等の産業廃棄物の発生が想定 されることから、参考項目として設定する。
	残土		×	切土工事に伴う発生土砂が発生することが想定される が、発生土砂は土捨場に捨土処分される。土捨場につい ては、「地形改変及び施設の存在」として影響評価を行 うことから、参考項目として設定しない。
温 室 効 果 ガ ス 等	二酸化炭素		×	工事中の建設機械の稼働、資材の搬出入において使用さ れる燃料の燃焼により排出されることが想定されるが、 工事中の影響は一過性で軽微であると想定されること から、参考項目として設定しない。

2.2「中小河川におけるワンドに関する調査、工事事例」(本編 5.3(2))

中小河川におけるワンドの調査例としては国立研究法人土木研究所が 2007 年から 2008 年にかけて庄内川水系谷田川で行った例があり、その一部は以下のとおり。(同所 H P)

(背景と目的)

ワンドは生物のホットスポットとして機能しており、稚仔魚や淡水二枚貝の生息場所として、流水環境の本川とは異なる生態系が成立していることが知られています。いままで我が国では、低水護岸を設置して直線化する河川改修が多く行われて来ましたが、そうすることで流速と水深が短調な環境だけが残し、ワンド域のような緩流域は消失し、そこに特徴的な生物も姿を消していきました。現在、多自然川づくりにおいてワンド造成は有効な修復工法としての可能性を秘めていますが、安易な造成については注意が必要です。本報告では名古屋市内を流下する直線改修河道で実施したワンド造成工事とその効果について紹介します。

(方法)

複断面直線河道(低水路幅:約 30m)を呈する庄内川支流の矢田川において、右岸側の高水敷を縦断方向約 100m(開口部距離)にわたり本川河床高まで掘り下げ、ワンドの造成を行いました(写真 2-2-1)。また、事前調査において、本河川の河床材料は砂が卓越しており、わずかにみられる間隙(石の隙間)に魚類がよく生息していたことを鑑み、約 30cm 径の巨礫群を設置しました。さらに、河川全体にわたる平瀬環境を改善するために、水制工を用いてワンド上流部に瀬を創出しました。これらの修復工法が水生生物に対する影響を把握するために、水際部に 8 地点の調査地を設け、エレクトリックショッカーを用いて魚介類の捕獲を行いました。調査は工法導入前の 2007 年 9 月と導入後の 2008 年 9 月に行いました。

(資料:国立研究開発法人 土木研究所自然共生研究センター)

(結果と考察)

工法導入後、数回の中小出水を経て砂州が発達し(写真 2-2-1)、7 ヶ月後にはワンド上流部を閉塞するに至りました。水生生物は、2007 年には 13 分類群 1.6 個体/m² 確認されていたのに対して、2008 年には、23 分類群 9.3 個体/m² に増加しました。これらの増加にはアユやニゴイ等の在来種やコイ科稚仔魚の増加が大きく寄与しており、前者は瀬において、後者はワンドにおいて多く確認されました(図 2-2-1)。しかし一方で外来種であるカダヤシの突出やブラックバスおよびブルーギルの定着も確認されました。これら外来種の出現場所はワンド域に集中しており、統計モデルを用いた解析からは、ワンド閉塞による流水環境の消失がこれらの定着に強く関わっていることが示唆されました。また、夏季には高水温、低溶存酸素の劣悪な滞留止水環境が成立しており、親水空間としても不適な状況がみられました。現在、庄内川河川事務所と協力して、以上を改善すべく流水もしくは伏流水確保のための試みを行っています。



写真 2-2-1 工法導入後半年が経過した施工地（ワンド造成区）の様子

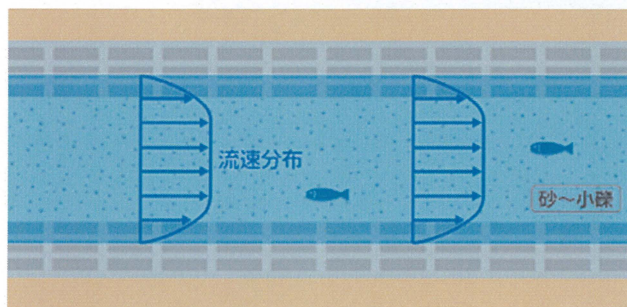


図 2-2-1 導入前

(流速が一様に単調であり、水生生物相が貧弱)

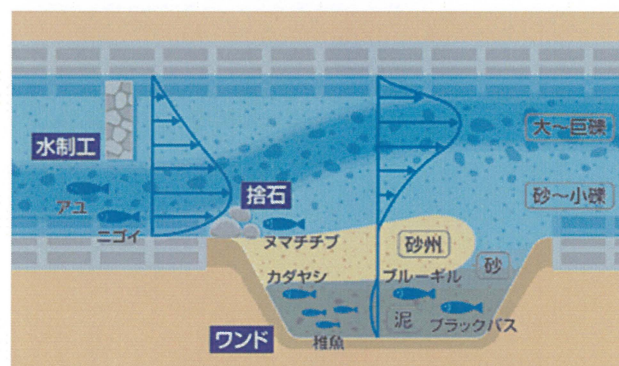
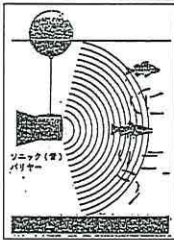


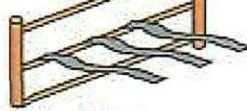
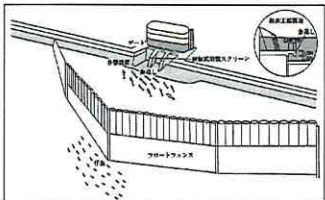
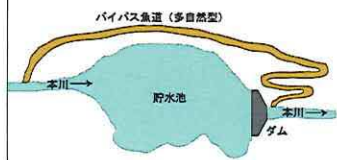
図 2-2-2 導入後

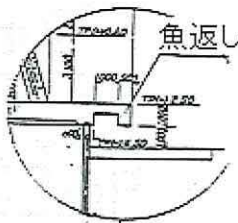
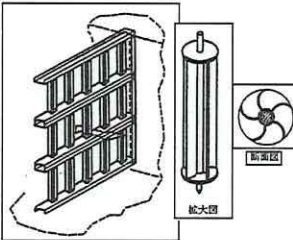
(環境が多様になり、生息生物が増加)

2.3 「魚類迷入防止対策の手法と概要」(本編 5.4. (1))

迷入防止対策の長所・短所

対策	対策施設	概要	概要図	長所・効果	短所	備考
① 取放水口接近防止	(1) 取水流速制限	・取水口に魚類が接近または迷入しても、自らの遊泳力により河川に戻れるよう、取水流速を抑える方法。		・遊泳力のある全魚種への適用が可能。 ・自力帰還を期待する全ての迷入防止対策の前提条件となる。	・取水口の規模が大きくなりやすい。	
	(2) 選択取水施設	・流下、降下する魚類の主要な流下位置（鉛直または平面）を避け取水する方法。		・特に遊泳力のない流下仔魚に効果がある。	・通常の取水口に比べ高コストとなる。	
	(3) 音響装置	・超音波を水中に発射し、魚体に通電状態に似たショックを与え、これにより取放水口への接近を防止する。	 出典：魚の迷入の実態とその対策へのアプローチ，全国内水面漁業協同組合連合会，1996	・対象魚にあった音（周波数，音圧等）を選択し、複数の音種を用い、単発音（無音間隔）とすることで“慣れ”を防止することができる。	・同一の音色を一定に鳴らすと“慣れ”が生じ、効果が低減するとの報告もある。	

対策	対策施設	概要	概要図	長所・効果	短所	備考
	(4)吹き流し	・赤色や銀色のテープ状の吹き流しを流水中に漂わせることで、魚類の忌避行動を促す対策。	吹き流し（銀色光沢色）  は 発電所取水口へのアユ稚魚の迷入防止	・低コストで簡易に設置できる。	・出水等による流失、付替等のメンテナンスが必要。 ・慣れが生じるとの報告がある。	
	(5)フロートフェンス	・ダム湖の取放水口前面に設置する「網場」のように水面にフロートを浮かべ、その下にスクリーンを垂らし、物理的に魚類を取水口に近づけない方法。	 出典：最新魚道の設計， (財)ダム水源環境整備センター	・特に、遊泳力がなく、取水量比で迷入する流下仔アユへの効果が期待できる。	・設計対象魚の鉛直方向の密度を把握する必要がある。 ・河川内に大規模な施設を設置することとなる。	
	(6)降下バイパス（含む放流管）	・遡上・降下する魚類を取放水口以外の呑口から取り込み、これを経由して上流または下流に導く方法。 ・バイパス水路，洪水吐によるバイパス，捕獲・輸送によるバイパスがある。	 バイパス魚道（多自然型） 本川 → 貯水池 → ダム → 本川 ダム直下流～貯水池末端河川まで魚道をつなげる 図－11 バイパス魚 出典：ダム魚道の現状と改良点， ダム技術，2002	・バイパス水路（放流管）の場合、魚類が取放水口付近および貯水池を通過しないため、非常に効果的な方法である。	・降下バイパス水路の場合、魚道上流端における降下魚のバイパスへの誘導が課題となりやすい。また、ダムを迂回させる場合、水路延長が長くなり設置コストが高い。	

対策	対策施設	概要	概要図	長所・効果	短所	備考
	(7)光誘導	・魚類は一般的にはある程度の照度範囲では、光に集まる正の走光性がある。この性質を利用し、特に遊泳力の弱い仔魚などを迷入防止施設に誘導したり、取放水口から遠ざけたりする方法。	 写真-12 魚道内魚灯点灯状況 出典：ダム貯水池におけるサクラマス等の光誘導 ダム技術、1998	・サクラマスおよび仔アユの流下魚への適用・実験事例がある。	・仔アユについては光集魚性が確認された文献が多いが、サクラマス（スモルト）については忌避行動が確認されたとの文献もある。	
②取放水口侵入防止	(1)魚返し	・武者返しとも言われ、主に取放水口の壁沿いに上がってくる底生魚の迷入を防止するものである。		・忌避行動を促す対策との併用により、より高い効果が得られる。		
	(2)回転羽根スクリーン	・流水中で回転するスクリーンの視覚刺激により忌避行動を促す対策。	 出典：最新魚道の設計、 (財)ダム水源環境整備センター	・物理的に侵入させないスクリーンに比べ目合いが大きく、効果も高い。	・後付の場合、通水面積が減少により所定の流量が取水できない場合が生じる可能性がある。	—

対策	対策施設	概要	概要図	長所・効果	短所	備考
	(3)エアカーテン	・取放水口前面の底部から水面にかけて空気でカーテンを作り、魚類の侵入を防止する対策。 ・水噴流との併用策もある。	出典：最新魚道の設計， (財)ダム水源環境整備センター	・気泡で形成されるカーテンの視覚・聴覚刺激によって魚類の忌避反応を促す。	・濁水時に効果が薄れるとの報告あり。 ・魚種または地点によっては効果がないとの報告もある。	
	(4)電気スクリーン	・交流方式(AC)と直流方式(DC)があり、さらに後者は常時通電方式とパルス方式に分類される。電気スクリーン方式は、魚類の体内を電気が通過することにより忌避行動を促すものである。	出典：電気スクリーンによる 水力発電所取水口への魚類迷入防止， 関西電力㈱総研報告，No.50	・対策地点の形状や流況に左右されにくい。	・高電圧による死亡や骨折等魚体の損傷が報告されている。	
	(5)磁力ネット	・アユは磁場の影響により母川に帰ると考え開発された磁力を利用した迷入防止装置。	出典：水力発電所取水口用磁力ネットの開発， 中部電力㈱技術開発ニュース，No.71	・効果が報告されている。		

対策	対策施設	概要	概要図	長所・効果	短所	備考
	(6)塗装・色彩 ライト	・魚類は赤色や白色を嫌う性質が報告されており、取放水口付近を塗装、色彩ライトの投光、塗装された板を張る方法等が用いられている。		・仔アユは一定量以上の光量を投光すると忌避する反応が報告されている。	・藻類の付着などにより効果が低下することがある。 ・慣れにより効果が低下する。	
	(7)スクリー ン、ネット	・目合いの細かいバースクリーやネットにより強制的に侵入を防止する		・物理的に侵入を阻止するため効果が高い。 ・可動式により除塵を図るケース報告されている。	・魚類の遊泳力以上の箇所に設置すると、河川に戻ることが出来ない。 ・目合いが細かいため目詰まりを生ずる。	

対策	対策施設	概要	概要図	長所・効果	短所	備考
	(8)ルーバー スクリーン	・河川流下方向に対しある角度で おかれた一連の垂直平板により 構成され、ルーバー内で生ずる渦 により魚の迷入を回避しスクリ ーン下流へ誘導する。	出典：北米魚類施設調査報告書 (財)ダム水源環境整備センター	・物理的に侵入を阻止する 目合の細かいスクリーン に比べ、取水ロスが少な くてすむ。	・別途バイパス水路(帰還水 路)を設ける必要が生じ るケースが多い。	
③自力帰還 による迷入防止		・取放水口に侵入した魚類を行動 忌避により反応により自ら遊泳 力を利用して河川に戻す。 ・取放水口内の流速が対象魚類の 遊泳速度以下であること。			・取放水口内に忌避反応を 起こす装置が必要。	
④強制帰還 による迷入防止	(1)トラベリ ングスク リーン	・回転式のスクリーンで、ダムの発 電用水路内で降下魚がタービン へ向かうのを阻止し、降下用水路 へ誘導するために用いられる。	出典：ダム環境北米調査報告書, (財)ダム水源環境整備センター	・コロンビア川では使用例 が多い。	・後付は不可能であること。	

2.4 「魚道の事例」(本編 5.4(2))

中小水力発電所で比較的堰高が低い取水堰等を設置する場合に、魚類への影響が比較的少なく環境にやさしいタイプの魚道の事例を以下に紹介する。

青野ダム (兵庫県)

青野ダムは武庫川水系青野川に設置されているダム（兵庫県三田市）で、726m という日本有数の延長を誇る多自然型魚道を設置し、魚道を中心に公園化している。

青野ダムおよび魚道諸元を図 2-4-1 及び表 2-4-1 に示す。多自然型魚道の分類としては、近自然迂回水路に相当する。

魚道の構造は、上流部・中流部・下流部に分かれている。

上流部は生物の生息環境を意識し、かつ景観に配慮することにより、自然石等を用いた石張りの階段式魚道を基本構造としている。

中流部は、多自然型河道として周辺の自然環境との調和を図っている。

下流部は、急勾配の条件下で、あらゆる生物に対応できる魚道として透水性隔壁魚道を採用している。



図 2-4-1 青野ダム魚道平面図

表 2-4-1 青野ダム・魚道諸元

魚道形式	上流部：階段式魚道（自然石張り） 中流部：多自然型魚道 下流部：透水性隔壁魚道
延長	726m
魚道落差	18m
魚道勾配	上流部：1/20～1/30 中流部：約 1/150 下流部：約 1/15



写真 2-4-1 上流部魚道全景



写真 2-4-2 隔壁・側壁の粗石張



写真 2-4-3 中流部魚道



写真 2-4-4 下流部魚道

（出典：青野ダム魚道パンフレット）

昆布発電所・蘭越発電所（北海道電力）

尻別川水系には、同社4箇所、他事業者2箇所、計6箇所の取水堰があり、これまではいずれの堰にも魚道が設置されていなかったため、最上流の寒別取水堰から最下流の蘭越取水堰までの延長約47kmにわたり、河川が分断された状態であった。

同水系の魚道設置については、昔から地元町村・自然保護関係者等からの設置要望が強く、既設水力発電所についても自然環境との調和を求める社会的要請が高まっていることから、1989年から河川生態調査を開始し、1993年度に蘭越取水堰に階段式（アイスハーバー式）魚道を設置、その後の遡上調査及び魚類生態調査により魚道設置の有効性が確認され、昆布取水堰のほか、他事業者の2取水堰にも魚道が設置されることとなったため、1998年度に昆布取水堰に階段式（アイスハーバー式）魚道を設置した。



写真 2-4-5 アイスハーバー式魚道

表 2-4-2 蘭越、昆布発電所及びゲート諸元

区 分	諸 元	単位	蘭 越	昆 布
発 電 所	出力	kW	5,700	9,000
	最大使用水量	m ³ /S	54	43
	落差	m	13	25.76
	発電型式		水路式	水路式
	発電方式		流込み式	流込み式
取 水 堰	堤高	m	8.6	3.47
	堤頂長	m	108.0	147.4
	ゲート型式		ローラー式	スライド式
	門数	門	4.0	12.0
	径間	m	4.5	2.2

蘭越取水堰の魚道形状の選定にあたっては、当初、魚道設計指針(北海道水産部制定)に基づき国内で多数の実績がある階段式として計画した。しかしその後、階段式魚道は全面越流となりプール内の流れが乱れやすい等の理由から、水流の安定が良いとされ米コロンビア川のダム群で実績を挙げている階段式の変形型であるアイスハーバー式を採用することとした。昆布取水堰の魚道形式は、蘭越取水堰で効果を確認できた同タイプとした。

蘭越取水堰・昆布取水堰両魚道の運用は、魚の非活動期である冬期間は行っていない。運用開始は春先の融雪開始時からであり、運用前には魚道内に堆積した土砂を出来るだけ排除している。魚道下流部は水中に没していることから排砂作業は困難であるが、機能上問題ない。また、昆布取水堰魚道では殆ど堆砂は見られない。

その後地元住民からの反応は見られないが、蘭越取水堰設置後の1995年度に遡上調査を実施し、その結果魚道の効果が十分であることが確認できたことから、尻別川水系の同社残りの取水堰にも魚道を設置することとした。蘭越上流の昆布取水堰魚道についても設置後の2000年に遡上調査を実施し魚道効果が十分であることが確認できた。

(参考)

近年、国内でもアイスハーバー式の魚道を取り入れるダム、堰が多くなった。参考に構造がよく分かる利根大堰に設置されたアイスハーバー式魚道の写真を示す。



写真 2-4-6 利根大堰（水資源機構）
（アイスハーバー型魚道）

2.5「水力発電設備の景観対策事例」(本編 5.4(3))

これまで、水力発電所で実施された水力発電設備の主な景観対策事例を以下に示す。

<ダム、貯水池>

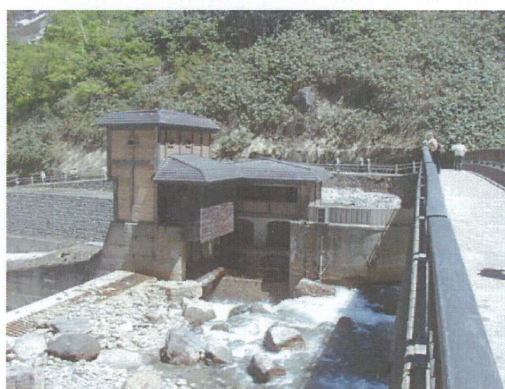
鷹の巣ダム (東北電力)

背面巻上式のラジアルゲートを採用し、地上部の露出を極力抑えた構造とした。また、ゲート塗装色は周辺環境に合ったこげ茶を採用した。



称名川ダム (北陸電力)

景観対策として、取水設備上屋を山小屋風にアレンジし、外壁に擬木、腰の部分に石積みを使用した。また、屋根の色彩は「こげ茶」とした。



只見ダム（電源開発）

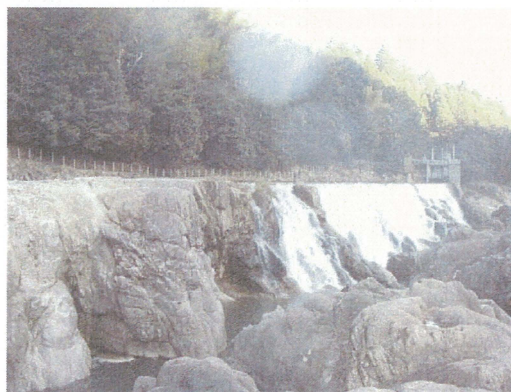
ダム(下流面)、ダム・発電所周辺、土取・土捨て場等の修景緑化を実施した。



長篠堰堤（中部電力）

長篠堰堤は、その構造から越流水がナイアガラの滝のようにも見えることから観光客が訪れる。

なお、これまで横軸式発電所であったわが国の発電所の中で、長篠発電所は初の立軸式発電所を採用したことで知られている。



沼原調整池上池（電源開発）

沼原ダムは、日光国立公園内に有り、一部は特別地域に入っている。ダム北側は、沼原湿原という美しい景勝地があり、ダムを建設するに当り、湿原をそのまま残すために現在の位置にて施工することとなった。また、形状についても周囲の自然景観に相応した趣のある形状としてすり鉢式のプール形状とした。



<水槽>

坂上発電所（関西電力）

水槽外面に魚、花の絵を描いた。



平穩第一発電所（中部電力）

発電所の水圧鉄管及び水槽（コンクリート製サージタンク）を環境に配慮した色彩（こげ茶）を採用した。



<水圧鉄管>

瀬戸発電所（中部電力）

外面の塗り直し時に、景観に配慮した色彩（こげ茶）を採用した。



実川発電所（東北電力）

湯川発電所（東京電力）

国立公園内での開発行為に対する平成9年再開発により鉄管取替
行政指導により、水圧鉄管を自然景観に配慮してこげ茶で塗装した



< 発電所 >

黒東第三発電所（北陸電力）

既設発電所は、大正ロマンを感じさせるデザインで入善町が資料館、工房として使用する
ことから、既設発電所に合わせた雰囲気を出すよう切妻屋根、レンガ造り風とした。

（グッドデザイン賞受賞）



久婦須川発電所（日本海発電）

発電所建屋屋根形状を半円筒形とし、色は「こげ茶」、外壁をレンガ造り風にした。



滝上芝ざくら発電所（北海道電力）

発電所の本館を、この地の景勝「芝桜」の景観に合わせ、洋風な建物にし、名称も「滝上芝ざくら発電所」と改名した。



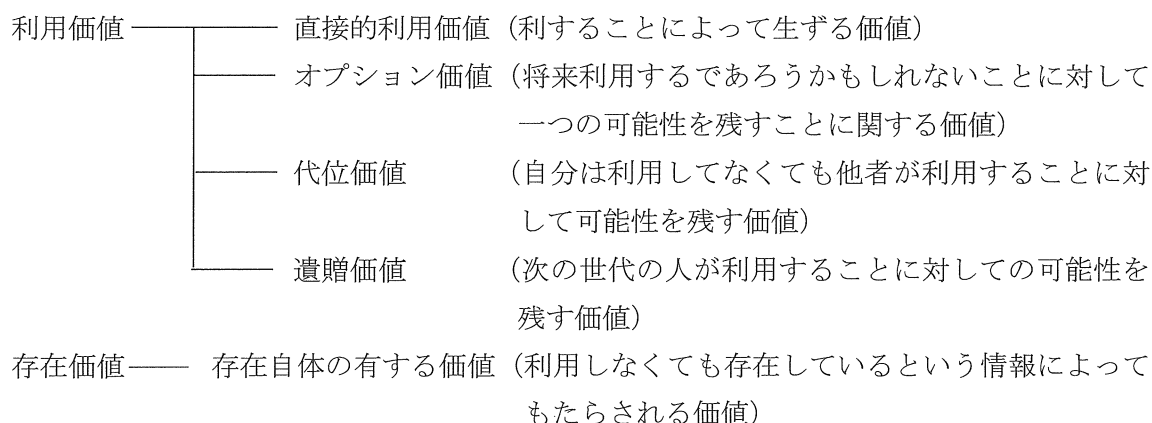
2.6 「水力発電所の新たな環境の創出と価値評価」

2.6.1 環境価値の分類と便益

(1) 環境価値の分類

ダム・貯水池、水力発電施設等の環境整備による波及効果（価値評価）を考える場合、その価値を得る消費者（世帯部門）が自らの財を投入する必要があるかないか、その有無で分類する方法が考えられ、この視点から分類すると「存在価値」と「利用価値」の二つの価値概念がある。（*1）

さらに利用価値は、利用の形態で以下のように細分できる（*2）



（*1）肥田野登「環境と行政の経済評価 CVM(仮想市場法)マニュアル」(勁草書房)

（*2）森杉壽芳著「社会資本整備の便益評価・一般般均衡理論によるアプローチ」(勁草書房)

「存在価値」は、景観のように、直接利用しなくても存在するだけで得られる便益で、機能別では公益的機能による効果がこれに相当する。存在価値を貨幣価値に換算した概念を「存在便益」とする。

「利用価値」は、公園のようにその施設を利用することによって得られる便益で、機能別では社会的機能による効果がそれに相当する。利用価値を貨幣換算したものが利用便益である。

ダム、貯水池等水力発電施設の周辺環境改善の効果の計測方法をこれらで分類すると、自然環境の効果が「存在便益」に、観光資源の創出効果は「利用便益」に相当する。

(2) 自然環境の効果（存在便益）

水力発電施設の周辺環境はそれが存在するだけでも自然環境としての公益的效果を発揮するが、新たな環境の創出によってその効果は増大することも期待される。そこで、自然環境の効果は「自然環境の公益的效果の変化」と、「自然環境の創出効果」に分けて考える必要がある。

① 自然環境の公益的效果の変化

森林や宅地等がダム、貯水池等に変化することによる公益的機能の変化、具体的には、もともと森林や原野だったものが湖水面等に変化したことにより、森林や原野本来の公益的機能として発揮していた便益が、湖水面としての公益的機能に変化する効果を対象としている。

事業の結果として、変化する環境の状態の変化に伴い発生する便益が存在便益である。森林の機能の評価で指摘されている効果は、その内訳まで個別の機能単位で算定する方法が提示され、水資源貯留機能、洪水緩和機能、水質浄化機能、土砂流出防止機能、表面浸食防止機能、保健・レクリエーション機能、二酸化炭素吸収機能、化石燃料代替機能、野生鳥獣保護機能で整理される。河川環境や湖水環境の自然環境効果はこれらの一部をピックアップして計上する方法によっている。

② 自然環境の創出効果

森林や宅地等がダム、貯水池等に変化することによる自然環境の変化のうち、魚類、鳥類、その他生物などを中心とした生物種の生活環境の変化による効果である。この効果は事業の結果として発生する環境の状態の変化に伴って継続的に波及する。

森林環境には「野生鳥獣保護機能」が含まれているが、貯水域からはこの機能を除いている。これに代わる形でそれぞれの生物種単位でこの効果を計測する。

③ 自然環境の効果

上記2種の効果をあわせ、自然環境の効果を以下のように定義する。

自然環境の効果＝（事業後の自然環境の公益的效果）－（事業前の自然環境の公益的效果）＋（自然環境の創出効果）

自然環境の公益的效果を考える場合、もともとダム・貯水池、水力発電所等に整備される前にどのような土地利用をされていたかを調査し、その状態からの変化でとらえる必要がある。

新たな水力発電施設等の整備によって、森林などが湖水面に変化するが、森林は湖水面と比べて自然環境としての存在の効果が高いため、自然環境の公益的效果だけを抽出すると、その便益は負となることも多い。自然環境の創出効果も合わせて、自然環境の効果とすることが必要である。

(3) 観光資源の創出効果（利用便益）

ダム・貯水池等を設置したことにより、周辺環境に特徴的な変化が生じ、これによって新

たな価値が創出される効果である。

黒部ダムのように、水力発電施設に固有の観光価値が生まれる場合、観光資源としての価値はきわめて大きくなる例もある。

利用便益は、存在便益と異なり、観光資源としての価値を引き出すための社会活動あるいは企業活動を経てはじめて便益となる点に留意する必要がある。

様々な事業の効果が複合して効果を発生している場合、どこまでが「ダム、貯水池等」による効果なのかを分離することは、一般には困難であり、その点で一定の限界がある。

2.6.2 環境価値の評価方法

自然環境等の効用を貨幣価値に換算する手段として、最近では、公共事業等で行われている「政策評価」、「費用対効果」で、環境価値、政策効果等を貨幣価値に換算するための「代替法」、「ヘドニック法」等の各種の手法が用いられるようになってきた。水力発電所、ダム・貯水池等の設置前後の外部コストとしての環境価値、公益的機能等の定量的な計測、比較を行う方策について、これらの手法を参考に、開発前後の環境価値比較、開発後の効果の計量的な測定方法が各方面で検討されている。

自然環境、自然本来が持つ公益的機能の価値は市場価値が存在しない非市場財であるため、直接、その価値評価を行うことができず、代わって市場価値、貨幣価格等を評価する様々な手法が考え出されている。現在、用いられている各種の評価手法は以下のようなものがある。

(アンソニー・E・ボートマンほか「費用・便益分析(公共プロジェクトの評価手法の理論と実践)」

表明選好法 (stated preferences)

CVM (仮想市場法) Contingent Valuation Method

コンジョイント分析 Conjoint Analysis

顕示選好法 (revealed preferences)

ヘドニック法 Hedonic Method

TCM (旅行費用法) Travel Cost Method

その他：代替法、原単位法

(1) 表明選好アプローチによる便益の計測

表明選好アプローチとは、計測しようとする効用について、「その効用を得るため、あるいは失わないために支払う意志額」をアンケートなどによって収集し、これを分析することで直接計測する手法である。

最も代表的な表明選好法の手法は仮想市場法 (CVM) である。

CVMでは、計測対象となる「事業による効用」そのものについて、直接、アンケートに

よって直感的に問うため、回答者がバイアスに強い影響を受けるなど計測精度の問題はあるものの、計測された便益は、目的とする効用を金銭価値化したそのものである。

コンジョイント法も基本的な概念はほぼ同じである。

(2) 顕示選好アプローチによる便益の計測

顕示選好アプローチとは、計測しようとする効用に対し、「その効用によって波及した経済効果」を定量的に把握することによって、これを、元の効用に遡及して適用しようとする取り組みである。代表的な顕示選好アプローチとして、ヘドニック法、トラベルコスト法(TCM)がある。

ヘドニック法では、「地域の魅力による効用」を地価などの関数として把握しようとする方法であり、トラベルコスト法は「地域の魅力による効用」を、地域を訪れる旅行者の支出で把握しようとする方法である。このように、顕示選好アプローチでは、計測しようとする効用を、「効用が波及した結果」としての市場財の価格や支出の変化で計測している。

(3) その他の方法による便益の計測

代替法は、当該の事業が実施されなかった場合に、代替となる行動に必要なコストとの差で便益を計測する方法である。計算が容易なメリットがあるが、消費者の行動の選択肢を一方的に限定せざるを得ないなどモデルとしての完成度は低いため、その他の概念が確立されているモデルが適用しにくい場合を中心に適用される。

原単位法は類似の便益計測結果を当てはめるもので、本質的には上述した様々な計測手法の成果を引用する方法である。適用元の便益の精度の制約に当てはめ、精度の制約が上乘せされるなどのため厳密さには欠けるものの、便益を考える上での制約が小さく、実用上使いやすいことが最大の利点である。

今回の調査では原単位法を用いているが、これらの原単位はさかのぼれば、代替法、トラベルコスト、支払い意志額法などの方法で計測されているので、投入の考え方はそれぞれの計測手法に従って決めることとする。

(4) 主な計測法の特徴

以上の、各計測法のうち、主に使われている代表的な手法の特徴、長所と欠点等を表 2.6.1 に示す。

表 2.6.1 環境に係る経済性評価の代表的な手法の特徴

手法	内容	各手法の一般的な特徴	
		長所	短所
仮想的市場評価法 (CVM)	アンケート調査により事業の効果に対する回答者の支払意思額を尋ね、これをもとに便益を計測する方法	適用範囲が広く、歴史的・文化的に貴重な施設の存在価値をはじめとして、原則的にあらゆる効果を対象にできる。	- アンケートにおいて価格を直接的に質問するため、適切な手順、アンケート内容としないとバイアスが発生し推計精度が低下する。 - 仮想的な状況に対する回答であるため、結果の妥当性の確認が難しい。 - 回答者の予算に制約があることを認識してもらう必要がある。 - 負担の支払意思額を推計することができない。
旅行費用法 (TCM)	施設を訪れる人が支出する交通費や、費やす時間をもとに便益を計測する方法	- 客観的なデータ（来訪者数、旅行費用など）を用いて分析を行うため、分析方法や効果の妥当性を確認しやすい。 - レクリエーション行動に基づく分析手法であるため、観光地などのレクリエーションに関する価値の分析に適する。	- 利用実態に関するデータ（事業がある場合とない場合の出発地別の来訪者数等）の入手が困難な場合がある。 - レクリエーション行動に結びつかない価値（歴史的・文化的に貴重な施設の存在価値）の計測は困難。 - 複数の目的地を有する旅行者や長期滞在者の扱い、代替施設の設定などの分析が困難
代替法	評価対象とする事業と同様の便益をもたらす他の市場財の価格をもとに便益を計測する方法	計算方法が理解しやすく、比較的簡易に分析が可能。	適切な代替財が設定できない場合は適用できない。

出典：「河川に係る環境整備の経済性評価の手引き（国土交通省河川局河川環境課）H19.9」

2.6.3 価値評価の算出方法

(1) 水力発電所の外部コストと外部便益

森林、田畑等それぞれの土地が持つ公益的な機能は、数値的な価値の計測が難しく、理論的には価値を認識していても、これらの価値評価が本格的に行われることはなかった。しかし、近年では、自然環境、公益的機能等の価値を貨幣価値に換算する各種手法として前述したような手法が開発され、環境価値の貨幣価値換算が容易になってきた。

これまで社会資本の整備に伴って発生する公益的機能、社会経済等の外部不経済は、概念的には社会全体で負担してきたものを、公共事業の効果を判定する「費用・便益比」の算定において、これも費用に組み入れた総合的な費用を算定し、当該事業の効果と比較して採否を判定されるようになってきた。

（「政策評価に関する基本方針（平成 17. 12. 13 閣議決定、平成 19. 3. 30 一部改正）

事業者以外の経済主体（国、地方公共団体、住民、企業、諸団体・組合等）の財産、権利を侵害する場合、通常は、土地買収等の所有権の移転、地役権の設定、賃貸等の売買、補償という形で相手方の損害、不利益の解消が図られ、この補償額は当該事業の実施に要する調査設計費、工事費等とともに事業投資額の一部として、当該事業に要する「内部コスト」として算入されていたが、さらに、間接的、波及的に発生する不利益（消失、滅殺される森林、原野、田畑、湖沼、河川、海岸、農村集落地等の土地本来の属性として有している「公益的機能」、動植物、生態系、地下水、自然景観等の「環境資源」等）で相手を特定することはできない社会全体に帰する不利益についても「外部コスト」として、「費用便益比」算定上では費用に加えて比較されることとなった。

以上の考え方の例として森林に当てはめた場合の概念を図 2-6-1 に示す。また、事業の政策評価に用いられる費用便益の比較と、コストの構成内容を図 2-6-2 に示す。

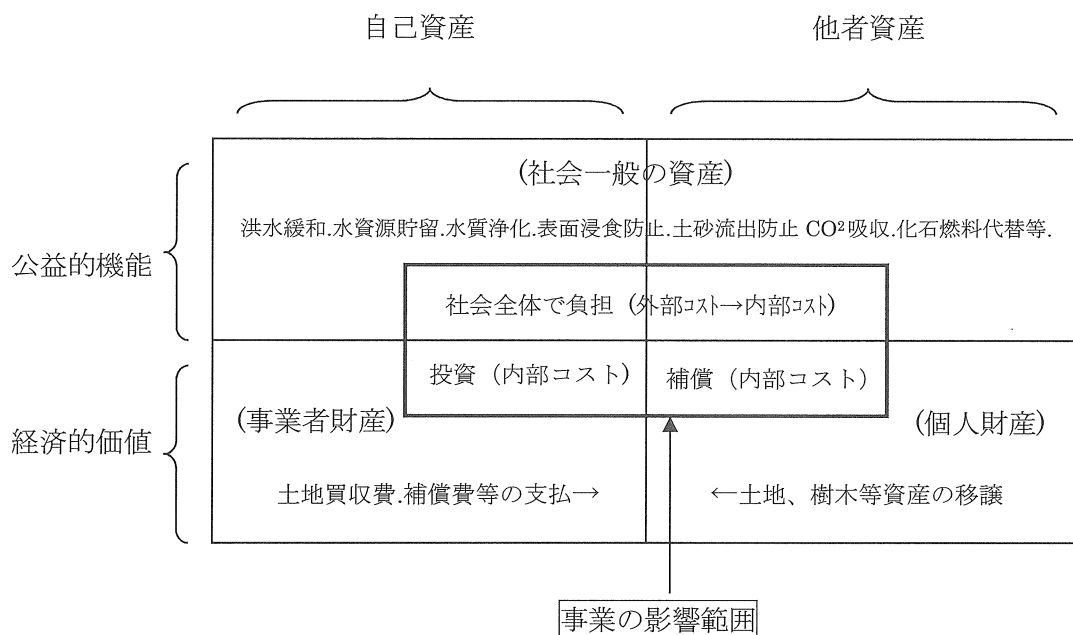


図 2-6-1 外部コスト、内部コスト負担の概念（森林の例）

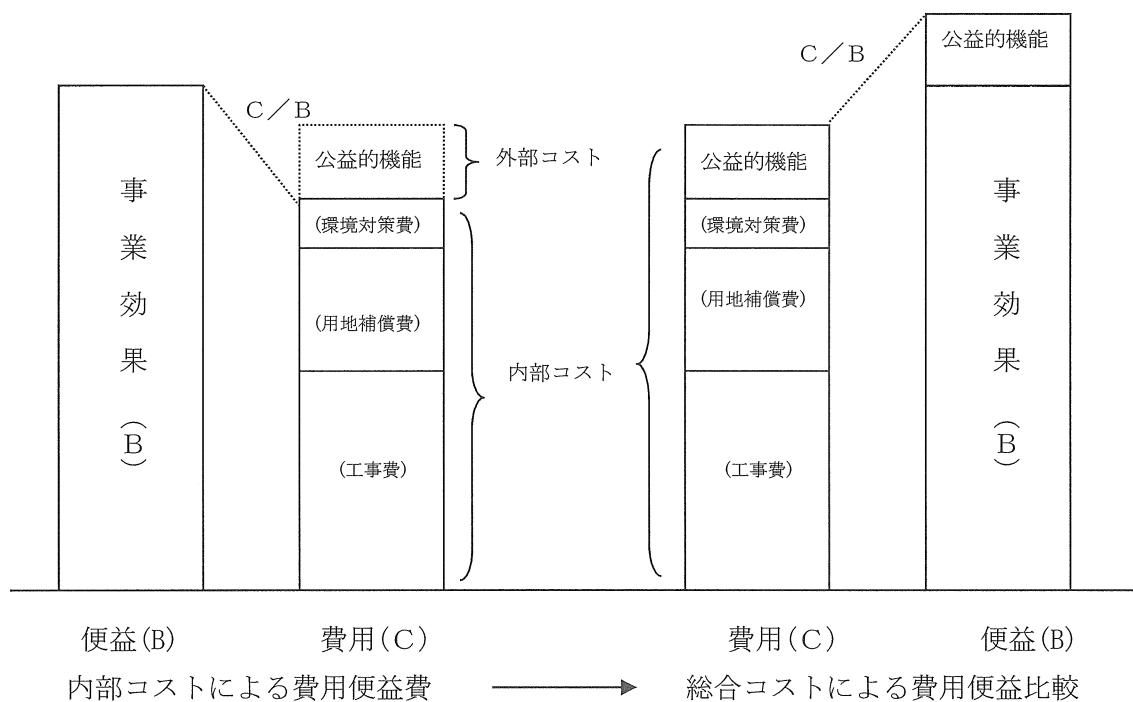


図 2-6-2 公共事業における費用便益分析

水力発電所、ダム・貯水池等の水力発電施設の設置に際しても、これまで外部不経済として算入されていなかった公益的機能、社会的機能等の外部不経済、開発後の創生された新たな環境、社会的機能等の外部経済も取り入れた総合的な費用対効果の判定を行い、経済、社会的に効果的な開発、運用を行うことも必要となってくるものと考えられる。

また、図 2-6-3 に示すように、設置前後の自然環境、社会環境の変容を定量的に推計し、両者の価値を比較することで、新たな環境の創造の価値を評価できれば、今後新規に建設を行う場合のみならず、既設水力発電所の運用においても周辺住民、国民の理解と協力を得る材料として大いに役立つものと考えられる。

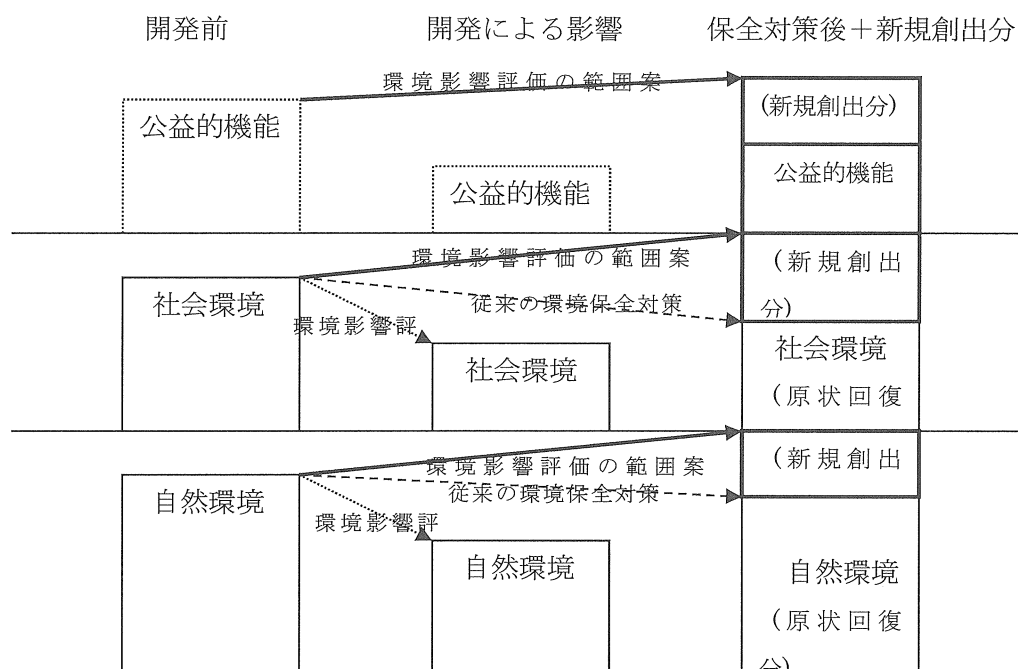


図 2-6-3 環境種別・機能別 便益評価比較方法

(2) 貨幣価値換算の一例 (環境経済の計量)

代表的な 24 箇所の水力発電所を抽出してその開発に伴う環境経済の変化を貨幣価値に換算して比較した試算例を以下に紹介する。

水力発電所、ダム・貯水池等の水力発電施設を新たに設置した場合、新たに出現した環境が、従前の土地が有していた公益的機能、自然環境等より勝っている事例が全国各地で多く見られる。前項で紹介した中から典型的な事例をモデルとして、仮定条件の下に開発以前の状態 (Without) と、開発後の状態 (With) を比較し、開発による効果を求めることとした。

効果は、直接的な効果 (1 次便益)、波及的に発生する間接的な効果 (2 次便益、3 次便益等) が考えられるが、最初はこれらの効果すべてを含めた便益額を推計してみる。

なお、ここで取り上げる各発電所の推計値は、典型的なモデル発電所として取り上げたもののすべてを同一の原単位を用いて算出したものであり、当該発電所地点における実態の数値を表しているものではないことに留意しておく必要がある。

対象として取り上げたモデル発電所は 24 地点で、出力規模では、1 万 kW 未満が 1 地点、1 万 kW 以上 10 万 kW 未満が 10 地点、10 万 kW 以上 50 万 kW 未満が 5 地点、50 万 kW 以上

100 万 kW 未満が 4 地点、100 万 kW 以上が 4 地点と大小様々な規模が含まれる。

形式別では「ダム式」が 4 地点、「ダム水路式」が 9 地点、「揚水式」が 8 地点、「水路式」が 3 地点で水力発電所の形式すべてを網羅している。

算出する項目は、大きく分けて、土地、水域等が本来持っている公益的機能、自然環境として有する属性、本来の公益的機能や自然環境等の属性を利用して成り立つ社会環境等の各項目とし、以下に今回試算した具体的項目を示す。

公益的機能－土地の属性－（森林、農地、原野、住宅地、集落地、市街地等）

自然環境（魚類生息環境、鳥類生息環境、野生動物生息環境、植生、景観等）

社会環境（観光、保健、レクリエーション、スポーツ、イベント・祭り等）

モデル発電所として、それぞれの立地場所、諸元等を当てはめた 24 の発電所を選び、それぞれに同じ原単位を用いて 1 次便益額としての直接効果額を算出した。

24 地点全体の開発前の公益的機能便益額の年額を表 2-6-2 に、期間中総額を表 2-6-3 に示す。公益的機能に係る便益額は、開発前の年額約 178 億円、耐用年数間総額では約 4,090 億円と算出された。これに対し開発後の公益的機能便益額は年額で約 197 億円、耐用年数間総額で約 4,541 億円と見積もられ、平均で約 1.11 倍と増加している。これにさらに社会的機能としての便益額として年額約 85 億円、耐用年数間総額約 1,950 億円が加わり、便益額総額は年額で約 282 億円、耐用年数間総額で 6,491 億円となり、開発前に対し約 1.59 倍となっている。

表 2-6-2 発電形式別開発前後の便益額（年額）（単位：千円）

発電形式	件数	開発前	開 発 後			対比
		公益的機能	公益的機能	社会的機能	計	
ダム式	4	1,771,295	1,841,946	77,250	1,919,196	1.12
ダム水路式	9	15,148,812	16,739,058	8,151,438	24,890,496	1.64
揚水式	8	894,112	1,103,547	236,619	1,340,166	1.50
水路式	3	32,330	65,351	17,042	82,393	2.55
計	24	17,786,549	19,749,902	8,482,349	28,232,251	1.59

表 2-6-3 発電形式別開発前後の便益額（期間中総額）（単位：千円）

発電形式	件数	開発前	開 発 後			対比
		公益的機能	公益的機能	社会的機能	計	
ダム式	4	39,347,806	42,351,848	1,776,209	44,128,057	1.12
ダム水路式	9	348,316,635	384,881,145	187,426,013	572,307,158	1.64
揚水式	8	20,558,318	25,373,881	5,440,580	30,814,461	1.50
水路式	3	743,371	1,502,624	368,832	1,871,456	2.52
計	24	408,966,130	454,109,498	195,011,634	649,121,132	1.59

ダム式、ダム水路式、揚水式などダム・貯水池を有する発電所では、新たに生まれた水域により創造された自然環境の価値が大きく、加えて、観光、景観、保養、レクリエーション、スポーツ、学習等の社会的機能が付加され、訪れる人も多くなり、便益額の前後比較ではすべての地点でプラスとなっている。

また、ダム・貯水池を持たない水路式発電所でも、発電所構内にPRを兼ねた資料館を設け、施設を公開する、水路敷等を整備して緑地帯や小規模の公園を設けるなど、社会的公益機能を付加しているところでは、便益額の前後比較ではプラスとなっている。

個別のモデル発電所ごとの便益額で、開発前後の差が大きいもの、特色のあるものとして2、3地点を挙げると以下のようなところがある。

「小諸発電所」については、開発前が河川敷と原野で公益的機能はそれほど大きくなかったのに対し、開発後は調整池湛水域として、特に鳥類の生息環境が整備されたことによる評価額が大きくなって6.2倍となり、それに観測、休養等で訪れる人が多くなったため社会的機能が加わり、全体では8.8倍の効果が生まれている

「黒東第三発電所」は、隣接する旧発電所棟が地元町に譲渡され、美術館として活用されているため、この入場料収入が社会的便益額としてカウントされ、もともと農地としての公益的機能のみであったところに社会的機能が大きく加わり、15.3倍の効果が生まれている。

「黒部川第四発電所」は、黒部ダムが全国的に有名な観光スポットとなっていて全国から年間約100万人もの観光客が訪れ、ダムまで簡単に入り込めるようになり便益額を大きく押し上げて、8.9倍となっている。

(3) 便益額の分析

ダム・貯水池等水力発電所を設置した場合、新たに発生する公益的機能、社会的機能等の便益額試算結果をベースに、直接的効果（1次便益額）、経済波及効果としての間接的効果（2次便益額、3次便益額）の関連性、便益の波及配分過程について、設置前後を比較した、表4-2-5の年便益額（28,232,251千円－17,786,549千円＝10,445,702千円）について分析してみる。

全24モデル発電所の外部経済上の効果額として、価値の区分け（存在価値と利用価値）による便益額、直接効果（1次便益額）、間接効果（2次、3次便益額）を算定した結果を価値の種類別で見ると、

「存在価値」は、ダム・貯水池を持たない水路式発電所を除き全地点に発生している。貯水池面積が大きいほど便益額も大きくなり、年額ベース（以下、すべて年額とする）で、最大は貯水池面積が2,373haの雨竜ダムで約10億円、そのほか大型貯水池を有する有峰、一ツ瀬、御母衣、黒部、帝釈川の各ダムが続いている。

「利用価値」の方では、観光地として名を馳せている黒部ダムが飛び抜けて大きく、約 71 億円、続いて雨竜、有峰、帝釈川、奥清津、奥只見など全国ブランドの観光地となっている各ダムが名を連なっている。

全 24 地点合計値では、「存在価値」19 億 6,335 万円、「利用価値」が 84 億 8,235 万円で比率としてはそれぞれ 19%、81%と「利用価値」が「存在価値」の約 4.3 倍と圧倒的に大きくなっている。

(4) 産業連関分析による 1 次、2 次、3 次別効果

環境改善による効果が、2 次的に波及していく過程について具体的に算定する方法としては、経済波及効果を算定するツールとしての「産業連関分析」の適用が考えられる。産業連関分析は、外生部門（最終需要部門と粗付加価値部門）を定めることで、内生部門の値が算出され、これが生産誘発効果として算出される。さらに、労働分配率などの係数を適用することで、生産誘発効果を部門別に算定するなど、波及効果を把握することができる。

産業連関分析の諸表は、国レベルでの取り組みによる調査を通じて使いやすい形で公開されており、前提条件としての制約を受け入れる限り、その利用と算出が極めて容易である点が大きなメリットである。

しかし、産業連関分析は、実経済における経済活動による投入と算出の波及の状態を示すモデルであって、価格と財の投入の関係を根拠とした分析を行うものである。これに対して、今回計測しようとする環境改善による便益は、経済活動の外的効果、すなわち、価格と財の投入の関係では完全には説明できない部分を取り扱っていることもあり、互いに関係しあう概念であるものの、その適用に限界がある。言い換えれば、外部経済による便益の波及過程を算出する過程で必要となる便益と需要、価格の関係については、十分に一般化、かつ客観的に合理化されたデータは存在せず、個別の研究によらざるを得ないのが現状である。

そこで、このような状況を念頭に、「産業連関分析」により便益の発生と波及の過程を相応的に把握、評価するための方法を探るべく、以下のような考え方、手順で検討を行った。

- ・ 便益の算定という調査目的にかんがみ、各種の産業連関表のうち最も使いやすいものとして、総務省統計局の提供する平成 17 年度、108 部門表を活用することとする。
- ・ 水力発電施設による周辺環境の変化によって生じうる経済波及効果の算定に投入するデータは便益の評価値になるため、便益の計測法の違いに合わせて適切な投入の計算法を工夫する。
- ・ 水力発電施設の整備による社会的便益の波及過程のモデルを示し、「便益帰着構成表」の形で表現する方法を検討する。
- ・ 便益帰着構成表による波及効果の計測には、本来、社会における便益の波及状況を計測した実測データが必要であるが、現時点で得られているサンプルデータから可能な範囲での試算とし、概念を提示することを目指すものとする。

2次便益額及び3次便益額については、ここでは建設補修、公共事業、道路輸送、観光を含む娯楽サービスの4業種の産業連関表の係数から割り出した値を使用しているため、直接効果額に対する間接的な波及効果額の割合は、環境の構成比率による違いはあるものの大きな差ではなくおおむね同じであるため、直接効果額が大きいほど波及効果も大きくなる。

全24モデル発電所の合計値から算出した直接効果額に対する波及効果額とその平均的な割合は、直接効果額の1次便益額1.0に対し、波及効果額の2次便益額の割合が最大0.96から最小0.45で平均0.55、3次効果額は最大0.70から0.60で平均は0.68となっていて、2次、3次合わせた波及効果全体では1.56から1.15で平均は1.23倍となっている。この中には雇用者所得の割合0.64が含まれている。

以上のことから、本調査対象の24モデル発電所の平均値を見る限りでは、水力発電所の設置に伴う公益的機能、自然環境、社会環境の価値を貨幣価値換算額で評価した値は、直接的な1次便益額に対し、1.23倍の波及的な便益額を生み出したと評価される。

以上をまとめると

開発前後の年間便益額の比較では公益的機能では0.87倍で低下するが、新たに創出された自然環境（魚類、鳥類等の生息環境）が加わり1.11倍と向上し、さらにダム湖等の社会的機能が加わり、トータルでは1.59倍となった。

	開発前(Without)	開発後(With)	効果(影響)額	倍率
公益的機能	17,786,549 千円	15,463,566 千円	-2,322,983 千円	0.87
新規出現自然環境		4,286,336	4,286,336	
自然環境計	17,786,549	19,749,902	1,963,353	1.11
社会環境		8,482,349	8,482,349	
計	17,786,549	28,232,251	10,445,702	1.59

効果の発生、波及効果の分析結果はについて、上記試算された便益額を分析した結果、直接効果（1次便益額）は44.8%、波及効果（2次、3次便益額）56.2%で、1次便益額に対し2次便益額段階で1.55倍、3次便益まで加えると2.23倍となった。

便益額（比率）	1次便益額に加えた倍率	
1次便益額	4,681,874 千円（44.8%）	↓ 1.55 倍 ↓
2次便益額	2,595,273 千円（24.9%）	
3次便益額	3,168,555 千円（30.3%）	
計	10,445,702 千円	2.23 倍

なお、上記便益額 104 億 4,570 万円に含まれる、雇用者所得の合計額は 29 億 7,575 万円と算定され、波及効果額全体の 28.5%に当たる。

便益帰着表による部門別の効果額の分析結果は、地域資源として蓄積された分が 48.8%を占め、世帯部門が 46.9%、産業部門は 4.3%と算出された。

2.6.4 新たな環境創出の事例

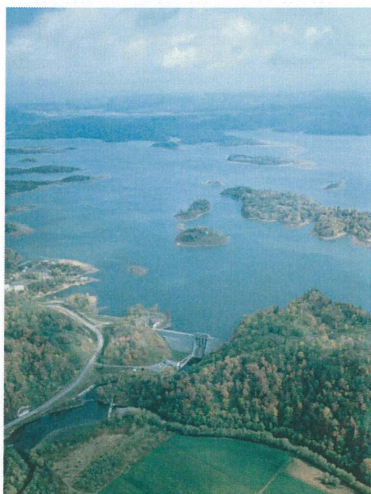
水力発電所、ダム・貯水池、調整池等が、周辺環境と合わせて新たな価値を生み出している例が全国各地の水力発電所周辺で多く見られる。それらのうち、新たな環境の創造の代表的な事例を以下に紹介する。

雨竜発電所（北海道電力株式会社）

雨竜第一ダム、第二ダム及び雨竜発電所は、雨竜電力㈱によって 1928 年から 16 年間、測量、調査、工事が行われ、1943 年から運転を開始、1951 年に北海道電力㈱に引き継がれたもので、現在、最大出力 51,000kW の発電が行われている。

雨竜第一ダム（朱鞠内湖）と雨竜第二ダム（宇津内湖）は、連絡水路によって結ばれている。中心となる朱鞠内湖は、標高 284m、水深約 40m、湖面積 23.7 km² で人造湖としては日本最大の湛水面積を有し、周辺を原生林に囲まれ、北海道大学の演習林が展開している。1974 年には湖全体が「朱鞠内道立自然公園」に指定され、ピッシリ山とその山麓の原生林を映す雄大な景観が最大の魅力となっていて訪れる人も多く、朱鞠内湖観光、キャンパー、遊漁等を目的に年間約 8 万 2,000 人程度が訪れている。

電 所 概 要	水系・河川名	石狩川・大釜別川、宇津内川
	ダム名（貯水地名）	雨竜第一、第二ダム（朱鞠内湖・宇津内湖）
	発電所形式	ダム水路式
	出力	51,000 k W
	運転開始年月	1943 年 8 月
	所在市町村	北海道 名寄市
事 例	対象施設	雨竜ダム貯水池
	創出環境	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	



雨竜ダム朱鞠内湖全景（雨竜）



朱鞠内湖畔キャンプ場付近図

小諸発電所（東京電力株式会社）

小諸発電所第一調整池では、1993年から1995年にかけて、自然との共存を目指し、生き物の新たな生存環境の創出「地域に親しまれる設備」をテーマに調整池周辺の水辺や雑木林などの複合した多自然型環境の創造に取り組み、調整池の中に浮島を設け、周辺には野鳥のエサになるような樹木、ねぐらとなるような植物等の植栽を配し、野鳥、小動物の生息の地として整備され、また、周辺は地域に親しまれる様な公園、アメニティ空間として整備され、「来訪者が安全に自然に親しめる施設」、「野鳥、小動物の生育環境が向上する施設」として一般に開放されている。

（調整池水面）

約7.4ヘクタールの調整池湖面には、ヤシ繊維や電柱などの古材を利用した浮島を設け、周辺に自生するアシなどと合わせ水鳥の休息の場、ねぐらとなるように配置されている。また、浮島には、小魚や水生昆虫などの小動物など浅瀬を好む生物のために水中には浅瀬が設けられている。

調整池周りのうち自然が残されている部分を「エコロジーエリア」として、雑木や、小鳥が好む木の実をつける樹木を配し、野鳥や昆虫、カエルなどの小動物が生息するエリアが設けられている。

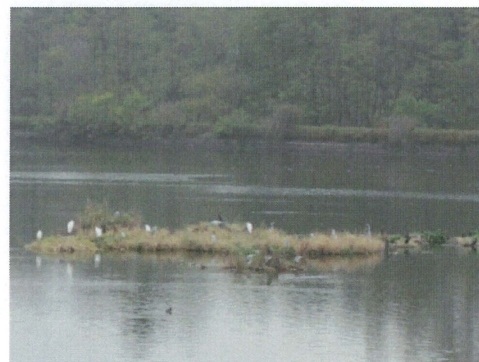
飛来する野鳥等を観察するためのスペースとして、調整池の周りには、あずまや、バードウォッチングの場等の景観、野鳥観測の場を配置した「アメニティ空間」が整備され、現在では136種の野鳥の生息、飛来が確認されるようになった。

以上のような整備が図られたことにより、地元を始め遠くからも年間約13,000人の人々が訪れるようになっている。

発電所概要	水系・河川名	信濃川・千曲川、湯川、繰谷川
	ダム名（貯水地名）	第一調整池
	発電所形式	水路式
	出力	16,200 kW
	運転開始年月	1927 年 9 月
	所在市町村	長野県 小諸市
事例	対象施設	第一調整池
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	公園整備
	効果	多自然型環境の創造、地域社会への貢献
	備考	



第一調整池全景（小諸）



第一調整池内の浮島（小諸）

黒部川第四発電所（関西電力株式会社）

黒部川第四発電所の中核をなす黒部ダムは、1956 年に着手、世紀の難工事と言われた苦闘の末、7 年の歳月を掛け、1961 年に完成した。中でも、長野県大町市から現場に入り込む資材ルートとして開削された大町トンネルは、大破碎帯に遭遇して大量の出水に悩まされながらの難工事であった。この工事に要した総工費は当時の金額で約 513 億円、延べ 1,000 万人の人手によって完成したものである。

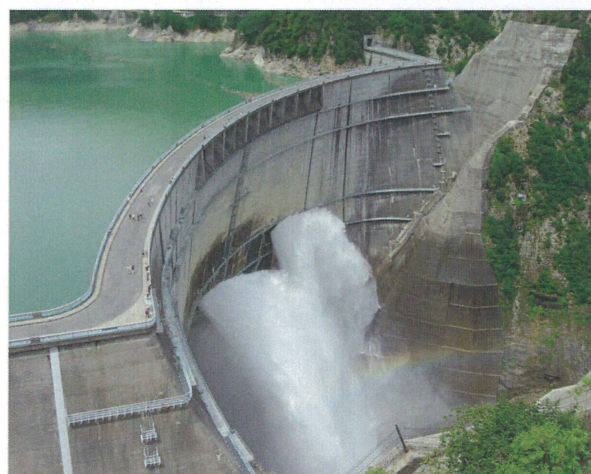
黒部ダムは、高さが 186m と国内最高の高さで、堤頂長は 496m に及ぶアーチ式ダムである。付近は中部山岳国立公園となっているため、発電所は地下 140m の山中に設けられた地下式発電所で、最大出力は 335,000kW、年間の発電量は約 10 億 kWh となっている。

黒部ダムによって堰き止められてできた貯水池－黒部湖－は、総貯水量約 2 億 m^3 、湛水

面積は 349 ha となっている。観光シーズンには黒部ダムから最大 10m³/秒という大量の放流が行われ、その圧巻な様子は黒部観光の目玉となっている。

黒部ダムの完成によって、それまで人を寄せ付けなかった秘境に、誰でも簡単に入れるようになり、訪れる観光客は年間約 100 万人に及び、観光で入れるようになった 1964 年以来これまでに延べ約 4,000 万人が訪れている。

発電所概要	水系・河川名	黒部川・黒部川
	ダム名（貯水地名）	黒部ダム（黒部湖）
	発電所形式	ダム水路式
	出力	335,000 kW
	運転開始年月	1961 年 1 月
	所在市町村	富山県 黒部市
事例	対象施設	黒部ダム貯水池
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	



黒部ダム放流状況（黒部川第四）

奥清津発電所（電源開発株式会社）

奥清津発電所は、電源開発(株)が 1972 年に着工し 1978 年から運転を開始、続いて奥清津第二発電所が 1996 年から運転が開始された。奥清津発電所が最大出力 1,000,000kW、奥清津第二発電所が同じく 600,000kWの出力を持つ純揚水式発電所である。二居調整池はその下池で、上池のカッサ調整池との間で揚水、発電が繰り返されている。二居調整池の周辺は広

葉樹を中心とした国有林が展開しており、緑豊かな自然環境となっている。

電源開発(株)では、下池の二居調節池と発電所付近を解放し「OKKY」と名付けて一般に公開している。解放されている部分は、「ダムゾーン」と「のびのび広場」と命名された二つのゾーンがあり、また発電所内にも解放施設が設けられていて、4月から11月までの毎日（月曜日は休館、屋外施設はオープン）、無料で開放されている。

発電所概要	水系・河川名	信濃川・清津川
	ダム名（貯水地名）	二居ダム
	発電所形式	純揚水式
	出力	1,600,000 kW
	運転開始年月	第一 1978 年 7 月、第二 1996 年 6 月
	所在市町村	新潟県 湯沢町
事例	対象施設	ダム・貯水池、発電所
	創出環境の種別	観光、教養・学習
	対策・対応	発電所施設の開放、資料館公開
	効果	地域社会への貢献、学習効果
	備考	



二居ダムと発電所（奥清津）



発電所資料館OKKY（奥清津）

井川発電所（中部電力株式会社）

井川発電所は、南アルプスの山肌に囲まれた大井川の上流部にあるダム式の水力発電所で、最大出力は 62,000 kW となっている。井川ダムは我が国では珍しいコンクリート中空式重力ダムであり、観光客はアプト式鉄道を利用して訪れることができる。

井川ダムには展望サロンが設けられ、ダム湖が一望できる。また「井川展示館」には周辺の自然、ダム開発の歩み等のパネル、ビデオが用意されている。

また、井川貯水池湖畔では毎年秋に「井川もみじマラソン」、「井川ダム祭り」等が開催され、その外、アユ、ヤマメ等の釣り大会など年間を通じてイベントが開催されている。

発電所概要	水系・河川名	大井川・大井川
	ダム名（貯水地名）	井川ダム
	発電所形式	ダム式
	出力	62,000 k W
	運転開始年月	1957 年 9 月
	所在市町村	静岡県 静岡市
事例	対象施設	ダム、貯水池、発電所
	創出環境の種別	観光、レクリエーション、教養・学習
	対策・対応	発電所施設の開放、資料館公開
	効果	地域社会への貢献、学習効果
	備考	



ダム展示館（井川）



展示館内部（井川）

【参考資料 3】

電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン

平成 2 8 年 7 月 2 8 日

資源エネルギー庁

目次

第1章 総則	1
1. ガイドラインの必要性	1
2. 適用の範囲	1
3. 用語の整理	2
4. 連系の区分	5
5. 協議	6
第2章 連系に必要な技術要件	6
第1節 共通事項	6
1. 電気方式	6
2. 発電出力の抑制	6
第2節 低圧配電線との連系	7
1. 力率	7
2. 電圧変動	7
3. 不要解列の防止	9
第3節 高圧配電線との連系	9
1. 力率	9
2. 自動負荷制限	10
3. 逆潮流の制限	10
4. 電圧変動	10
5. 不要解列の防止	12
6. 連絡体制	12
第4節 スポットネットワーク配電線との連系	13
1. 力率	13
2. 自動負荷制限	13
3. 電圧変動	13
4. 不要解列の防止	14
5. 連絡体制	15
第5節 特別高圧電線路との連系	15
1. 力率	15
2. 単独運転時における適正電圧・周波数の維持	16
3. 自動負荷制限・発電抑制	17
4. 電圧変動	17
5. 不要解列の防止	18
6. 発電機運転制御装置の付加	18
7. 連絡体制	19

第1章 総則

1. ガイドラインの必要性

系統連系技術要件ガイドラインの整備は、コージェネレーション等の分散型電源を電力系統に連系する場合の技術要件として、昭和61年8月に策定され、その後数次の改定を行ってきた。同ガイドラインは、分散型電源の導入に向けた環境整備の観点から、電力系統への連系を可能とするための商用電力系統（以下「系統」という。）側の電気事業者と発電設備等設置者の間における技術的指標を提示してきたものである。

元来、発電設備等の系統連系については、系統運用者である一般送配電事業者と発電設備等設置者の両者間で、その条件について個別に協議を行い設定されるものである。しかしながら、

- ① 発電設備等設置者は、系統運用を日常的に行っているわけではないので、系統に係る情報が不足しがちであること
- ② 系統運用者には、系統を運用する上で系統内の発電設備等に係る情報を把握する必要があること

から、連系に係る協議が円滑に行われるようにするためには、系統連系に係る情報の透明性及び公平性が確保されることが必要である。

かかる観点を踏まえ、本ガイドラインは、系統に連系することを可能とするために必要となる要件のうち、電圧、周波数等の電力品質を確保していくための事項及び連絡体制等について考え方を整理したものである。系統連系に際しての一般送配電事業者の対応についての考え方については、電気事業法に基づく広域的運営推進機関においても、一般送配電事業者がルールとして定めるべき事項として、系統を利用する者等による議論も踏まえ送配電等業務指針が策定されているが、本ガイドラインは、当該指針とも相まって、分散型電源等の系統連系に係る環境整備を図ろうとするものである。

2. 適用の範囲

このガイドラインは、一般送配電事業者がその供給区域内で設置する発電設備等以外の発電設備等を系統と連系する場合に適用する。この場合、系統連系時間の長短にかかわらず、原則として適用する。また、既設の発電設備等で系統と連系しないで運転していたものを新たに改造して連系する場合にも適用する。

ここで、系統と発電設備等との連系は、電氣的に交流回路で接続している状態を指し、整流器等を介して直流回路を接続する状態は除かれる。ただし、発電

そのものは行っていない設備であっても、二次電池などで放電時の電气的特性が発電設備と同等である場合、系統に与える影響を考慮しなければならないため、本ガイドラインの適用範囲に含まれる。

なお、発電設備等の系統への連系に当たっては、感電の防止等の電気工作物の安全に関する対応も必要となる。これについては、電気事業法第39条及び第56条に基づく電気設備に関する技術基準を定める省令（通商産業省令第52号）により、公共の安全の確保の観点から設置者及び一般送配電事業者及び送電事業者が遵守すべき基準として定められている。

3. 用語の整理

（1）系統の種類

①低圧配電線

低圧需要家に電力を供給する低圧の配電線をいう。一般には、単相2線式：100V、単相3線式：100V／200V、三相3線式：200V、及び三相4線式：100／200Vの方式がある。

②高圧配電線

高圧需要家に電力を供給する役割と、配電用変電所から柱上変圧器等を介して低圧需要家に電力を供給するまでの送電を行う役割を兼ね備えた高圧の配電線をいう。一般には、三相3線式：6.6kV。また、特定の一需要家への電力供給を目的に施設される専用線もある。

③スポットネットワーク配電線

2回線以上の22kV又は33kV特別高圧地中電線路から需要家がそれぞれの回線ごとに施設した変圧器の2次側母線で常時並行受電する配電線をいう。

④特別高圧電線路

7kVを超える特別高圧の電線路であって、特別高圧需要家に電力を供給する役割と変電所まで電気を送電する役割とがある。なお、電圧が35kV以下の場合は、配電線扱いもある。また、特定の一需要家への電力供給を目的に施設される専用線もある。

（2）系統の状態等

①並列

発電設備等を系統に接続すること。なお、本ガイドラインにおいては、発電設備等を系統への接続を交流回路で行うものについて記述している。

②解列

発電設備等を系統から切り離すこと。

③連系

発電設備等が系統へ並列する時点から解列する時点までの状態。

④逆潮流

発電設備等設置者の構内から系統側へ向かう有効電力の流れ（潮流）。

⑤単独運転

発電設備等が連系している系統が、事故等によって系統電源と切り離された状態において、連系している発電設備等の運転だけで発電を継続し、線路負荷に電力供給している状態。

⑥再閉路

系統の事故等が発生した場合、配電用変電所等において、通常、当該系統を系統電源から切り離すが、早期復旧を図るために、一定時間経過後に、自動的に当該系統と系統電源とを接続して再送電を行うことをいう。

（３）装置

①逆変換装置（インバータ）

電力用半導体素子のスイッチング作用を利用して、直流電力を交流電力に変換する装置。転流の方法によって、転流電圧がインバータの構成要素から与えられる自励式とインバータの外部から与えられる他励式とがある。

②転送遮断装置

変電所遮断器の遮断信号を専用通信線や電気通信事業者の専用回線で伝送し、発電設備等設置者の連系用遮断器を動作させる装置

③自動同期検定装置

同期発電機を用いた発電設備等の系統への並列に際して、系統側と発電設備等側との周波数、電圧及び位相を自動的に合わせて投入する装置。

④保安通信用電話設備

電気工作物の保安のために発電設備等設置者と系統運用者との間等に施設される通信用電話設備。

⑤専用回線電話

通信事業者の電話交換機を介さない電話

⑥スーパービジョン

発電機の運転情報、遮断器の開閉情報、保護継電器の動作などの情報を遠方へ伝送・表示する装置。

⑦テレメータ

電圧、電流、電力などの計測値を遠方へ伝送・表示する装置。

(4) 機能・方式

①進相無効電力制御機能

逆変換装置を用いる場合、自動的に発電設備等の電圧を調整する対策の一つとして用いられる機能。発電装置から系統に向かって、電圧より電流の位相が進んだ無効電力（進相無効電力）を制御することにより、自動的に電圧を設定値に調整する機能。

②出力制御機能

逆変換装置を用いる場合、自動的に発電設備等の電圧を調整する対策の一つとして用いられる機能。逆潮流がある場合には、発電装置の出力を制限することにより電圧を調整する機能となる。逆潮流がない場合には、受電電力を常時監視し、発電装置の出力を自動的に設定値に制御する機能。

③自動同期検定機能

系統側と発電設備側との周波数、電圧及び位相を自動的に合わせて投入する機能。

④スポットネットワーク受電方式

一般送配電事業者の変電所から、スポットネットワーク配電線（通常3回線の22kV又は33kV配電線）で受電し、各回線に設置された受電変圧器（ネットワーク変圧器をいう。）を介して二次側をネットワーク母線で並列接続した受電方式をいう。

電気方式には、一次側は22kV（又は33kV）三相3線式、二次側200～400V級三相4線式（低圧スポットネットワーク方式）と二次側6.6kV三相3線式（高圧スポットネットワーク方式）とがある。

(5) その他

①発電設備等の一設置者当たりの電力容量

受電電力の容量又は系統連系に係る発電設備等の出力容量のうちいずれか大きい方。なお、「受電電力の容量」とは、契約電力であり、契約電力は常時の契約電力と予備の契約電力（自家発補給電力等）の合計をいう。また、「発電設備等の出力容量」とは、交流発電設備を用いる場合にはまずその定格出力を指し、直流発電設備等で逆変換装置を用いる場合には、逆変換装置の定格出力をいう。

②再閉路時間

系統の事故等が発生した場合であって、事故復旧の迅速化のために、系統運用者側が遮断器を開放した時点から当該遮断器を自動投入（再閉路）するまでの時間。

③発電抑制

連系された系統の事故時（例えば、2回線の系統で1回線事故時）に、健全な系統の過負荷を回避するため、系統側に必要に応じて過負荷検出装置を設置して、発電設備等の出力を抑制させること。

④二次励磁制御巻線形誘導発電機

二次巻線の交流励磁電流を周波数制御することにより可変速運転を行う巻線形誘導発電機

4. 連系の区分

（1）低圧配電線との連系

発電設備等の一設置者当たりの電力容量が原則として50kW未満の発電設備等は、第2章第1節及び第2節に定める技術要件を満たす場合には、低圧配電線と連系することができる。ただし、同期発電機・誘導発電機・二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いた発電設備の連系（逆変換装置を介した連系を除く。）は、原則として逆潮流がない場合に限る。

（2）高圧配電線との連系

発電設備等の一設置者当たりの電力容量が原則として2,000kW未満の発電設備等は、第2章第1節及び第3節に定める技術要件を満たす場合には、高圧配電線と連系することができる。

（3）スポットネットワーク配電線との連系

発電設備等の一設置者当たりの電力容量が原則として10,000kW未満の発電設備等は、第2章第1節及び第4節に定める技術要件を満たす場合には、スポットネットワーク配電線とスポットネットワーク受電方式により連系することができる。

（4）特別高圧電線路との連系

第2章第1節及び第5節に定める技術要件を満たす場合には、発電設備等を特別高圧電線路（（3）に定めるスポットネットワーク配電線を除く。）と連系することができる。ただし、35kV以下の特別高圧電線路のうち配電線扱いの電線路と連系する場合に限り、高圧配電線との連系に係る技術要件に準拠することができる。また、この場合、連系できる発電設備等の一設置者当たりの電力容量は原則として10,000kW未満とする。

（5）下位の電圧連系区分に準拠した連系

発電設備等の出力容量の合計が契約電力に比べて極めて小さい場合には、契約電力における電圧の連系区分より下位の電圧の連系区分（一段下の連系区分に限定するものではない。）に準拠して連系することができる。

ここで、発電設備等の出力容量の合計が契約電力に比べて極めて小さい場合の

考え方としては、個々のケースにより異なるのでケースごとに考えるべきではあるが、発電設備等の出力容量の合計が契約電力の5%程度以下であることが一般的な目安と考えられる。

5. 協議

このガイドラインは、系統連系において電力品質を確保するための技術要件についての標準的な指標であり、実際の連系に当たっては、発電設備等設置者及び系統側電気事業者は誠意を持って協議に当たるものとする。

第2章 連系に必要な技術要件

第1節 共通事項

1. 電気方式

(1) 発電設備等の電気方式は、(2)に定める場合を除き、連系する系統の電気方式と同一とする。

(2) 発電設備等の電気方式は、次のいずれかに該当する場合には、連系する系統の電気方式と異なってもよいものとする。

- ① 最大使用電力に比べ発電設備等の容量が非常に小さく、相間の不平衡による影響が実態上問題とならない場合。
- ② 単相3線式の系統に単相2線式200Vの発電設備等を連系する場合であって、受電点の遮断器を開放したときなどに負荷の不平衡により生じる過電圧（中性線に対する両側の電圧を監視し、そのどちらか120Vを超える場合をいう。）に対して逆変換装置を停止する対策、又は発電設備等を解列する対策を行う場合。

2. 発電出力の抑制

逆潮流のある発電設備のうち、太陽光発電設備、風力発電設備及びバイオマス発電設備には、一般送配電事業者からの求めに応じ、発電出力の抑制ができる機能を有する逆変換装置やその他必要な装置を設置する等の対策を行うものとする。

第2節 低圧配電線との連系

1. 力率

低圧配電線との連系については以下のように考えるものとする。

① 逆潮流がない場合の受電点の力率は、適正なものとして原則85%以上とするとともに、系統側からみて進み力率（発電設備等側からみて遅れ力率）とはならないようにする。ただし、逆潮流がない発電設備等のうち、逆変換装置を介して連系する発電設備等については、受電点での力率調整を行うために、発電設備等設置者全体の負荷、家電機器の増減に対応した無効電力の調整を発電設備等に負わせることは困難である。したがって、発電設備等自体の運転力率で判断することとし、力率を系統側からみて遅れ95%以上とすればよいものとする。

② 逆潮流がある場合の受電点の力率は、適正なものとして原則85%以上とするとともに、電圧上昇を防止するために系統側から見て進み力率（発電設備等側から見て遅れ力率）とならないようにする。ただし、次のいずれかに該当する場合には、受電点における力率を85%以上としなくともよいものとする。

ア. 電圧上昇を防止する上でやむを得ない場合（この場合、受電点の力率を80%まで制御できるものとする。）

イ. 逆変換装置を用いる場合であって、その定格出力が低圧配電線との連系の場合の連系実績を踏まえ、単相2線式では2kVA以下、単相3線式では6kVA以下、三相3線式では15kVA以下を目安とした小出力である場合、又は、一般住宅の負荷のように、負荷の使用状態にかかわらず、負荷力率が極めて1に近く、発電設備等を連系している状態でも受電点の力率が適正と想定できる場合（この場合、発電設備等の力率を、無効電力を制御するときには85%以上、無効電力を制御しないときには95%以上とすればよいものとする。）

2. 電圧変動

（1）常時電圧変動対策

発電設備等を低圧配電系統に連系する場合においては、電気事業法第26条及び同法施行規則第38条の規定により、低圧需要家の電圧を標準電圧100Vに対しては 101 ± 6 V、標準電圧200Vに対しては 202 ± 20 V以内に維持する必要がある。

発電設備等設置者から逆潮流を生じることにより、低圧配電線各部の電圧が上昇し、適正値を逸脱するおそれがある場合は、当該発電設備等設置者が

他の需要家を適正電圧に維持するための対策を施す必要がある。なお、構内負荷機器への影響を考慮すれば、設置者構内も適正電圧に維持することが望ましく、特に、一般家庭等に小出力発電設備等を設置する場合には、設置者の電気保安に関する知識が必ずしも十分でないため、電圧規制点を受電点とすることが適切である。しかし、系統側の電圧が電圧上限値に近い場合、発電設備等からの逆潮流の制限により発電電力量の低下も予想されるため、他の需要家への供給電圧が適正值を逸脱するおそれがないことを条件として、電圧規制点を引込柱としてもよい。

電圧上昇対策は、個々の連系ごとに系統側条件と発電設備等側条件の両面から検討することが基本となるが、個別協議期間短縮やコストダウンの観点から、あらかじめ対策について標準化しておくことが有効である。発電設備等からの逆潮流により低圧需要家の電圧が適正值（ $101 \pm 6\text{V}$ 、 $202 \pm 20\text{V}$ ）を逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において、進相無効電力制御機能又は出力制御機能により自動的に電圧を調整する対策を行うものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強等を行うものとする。

（２）瞬時電圧変動対策

発電設備等の連系時の検討においては、発電設備等の並解列時の瞬時電圧低下は、コンピュータ、OA機器、産業用ロボット等の情報機器が、定格電圧の10%以上の瞬時電圧低下により機器停止等の影響を受ける場合があることも勘案し、常時電圧の10%以内（100V系では90Vが下限値）とすることが適切である。瞬時電圧低下対策を適用する時間は2秒程度までとすることが適当である。これは、落雷等により発生した故障点を除去するまでの間、故障点を中心として電圧が低下することがあるが、配電系統において、この電圧低下状態が継続する時間は、一般的には0.3～2秒程度となっていることにかんがみたものである。このような前提の下、以下のような対策を行うものとする。

- ① 自励式の逆変換装置を用いる場合には、自動的に同期がとれる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強を行うか、自励式の逆変換装置を用いるものとする。
- ② 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの（制動巻線を有しているものと同等以上の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発

電機を含む)とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。

- ③ 風力発電設備等を連系する場合であって、出力変動や頻繁な並解列による電圧変動(フリッカ等)により他者に影響を及ぼすおそれがあるときは、発電設備等設置者において電圧変動の抑制や並解列の頻度を低減する対策を行うものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強等を行うか、一般配電線との連系を専用線による連系とするものとする。

3. 不要解列の防止

(1) 保護協調

連系された系統以外の短絡事故やループ切替時の瞬時位相ずれなどによる系統側で瞬時電圧低下等が生ずることがあるが、この場合に極力不要な解列を防ぐため、電圧低下時間が不足電圧継電器の整定時限以内の場合は発電設備等は解列せず、運転継続又は自動復帰できるシステムとする。系統の電圧低下の継続時間が不足電圧継電器の整定時限を超える場合は、発電設備等を解列する。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

第3節 高圧配電線との連系

1. 力率

高圧配電線との連系のうち、逆潮流がない場合の受電点の力率は、標準的な力率に準拠して85%以上とし、かつ系統側からみて進み力率とはならないこととする。逆潮流がある場合の受電点の力率は、低圧配電線との連系の場合と同様に取り扱う。

2. 自動負荷制限

発電設備等の脱落時等に連系された配電線路や配電用変圧器等が過負荷となるおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

3. 逆潮流の制限

配電用変電所におけるバンク単位で逆潮流が発生すると、系統運用者において系統側の電圧管理面での問題が生ずるおそれがあることから逆潮流のある発電設備等の設置によって、当該発電設備等を連系する配電用変電所のバンクにおいて、原則として逆潮流が生じないようにすることが必要である。

ただし、当該発電設備等の設置によって、当該バンクに逆潮流が生じる場合は、系統側の電圧管理面で問題が生じないように、当該発電設備等を連系する配電用変電所に設置されている電圧調整装置が逆潮流に対応できるような措置を講じることや、配電線に電圧調整装置を設置するなどの対策を行うものとする。

4. 電圧変動

(1) 常時電圧変動対策

発電設備等を一般配電線に連系する場合においては、電気事業法第26条及び同法施行規則第38条の規定により、低圧需要家の電圧を標準電圧100Vに対しては 101 ± 6 V、標準電圧200Vに対しては 202 ± 20 V以内に維持する必要がある。

しかし、発電設備等が連系された場合には、解列による電圧低下等により系統側の電圧が適正値を維持できなくなる場合も考えられる。また、逆潮流有りの発電設備等が連系された場合には、系統側の電圧が上昇し適正値を維持できない場合も考えられる。

電圧変動の程度は、負荷の状況、系統構成、系統運用、発電設備等の設置点や出力等により異なるため、個別に検討することが適切であるが、需要家への電気の安定供給を維持していくため、電圧変動対策が必要な場合には、以下に示す電圧変動対策のための装置を発電設備等設置者が設置するものとし、これにより対応できない場合には、配電線新設による負荷分割等の配電線増強を行うか、又は専用線による連系を行う。

- ① 一般配電線との連系であって、発電設備等の脱落等により低圧需要家の電圧が適正値（ 101 ± 6 V、 202 ± 20 V）を逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

- ② 発電設備等からの逆潮流により低圧需要家の電圧が適正值($101 \pm 6 \text{ V}$ 、 $202 \pm 20 \text{ V}$)を逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に電圧を調整する対策を行うものとする。

(2) 瞬時電圧変動対策

発電設備等の連系時の検討においては、低圧の場合と同様、発電設備等の並解列時の瞬時電圧低下は常時電圧の10%以内とし、瞬時電圧低下対策を適用する時間は2秒程度までとすることが適当であることを前提として、以下のような対策を行うものとする。

- ① 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの(制動巻線を有しているものと同様以上の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発電機を含む。)とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。
- ② 自励式の逆変換装置を用いる場合には、その構成(変圧器、フィルタ等)や並列方法によっては変圧器の励磁突入電流が流れ、また、系統と逆変換装置出力が同期していないと、並列時に大きな突入電流が流れる。したがって、この場合には、自動的に同期が取れる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であっては、逆変換装置自身に突入電流を抑制する機能がない。したがって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、自励式の逆変換装置を用いるものとする。
- ③ 風力発電設備等を連系する場合であって、出力変動や頻繁な並解列による電圧変動により他者に影響を及ぼすおそれがあるときは、発電設備等設置者において電圧変動の抑制や並解列の頻度を低減する対策を行うものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強等を行うか、一般配電線との連系を専用線による連系とするものとする。

5. 不要解列の防止

(1) 保護協調

連系された系統以外の短絡事故等により系統側で瞬時電圧低下等が生ずることがあるが、連系された系統以外の事故時には、発電設備等は解列されないようにするとともに、連系された系統から発電設備等が解列される場合には、逆電力継電器、不足電力継電器等による解列を自動再閉路時間より短い時限、かつ、過渡的な電力変動による当該発電設備等の不要な遮断を回避できる時限で行うものとする。ここで、「不要な遮断を回避できる時限」とは、発電設備等を継続的に安定運転させるため、単独運転時の逆潮流と単独運転以外の一時的な逆潮流（構内の急激な負荷変動や連系された系統の電圧・周波数の変動によって起きる一時的な逆潮流）を判別できる時限のことをいう。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

6. 連絡体制

発電設備等設置者の構内事故及び系統側の事故等により、連系用遮断器が動作した場合等には、一般送配電事業者と発電設備等設置者との間で迅速かつ的確な情報連絡を行い、速やかに必要な措置を講ずることが必要である。このため、系統側電気事業者の営業所等と発電設備等設置者の技術員駐在箇所等との間には、保安通信用電話設備を設置するものとする。ただし、保安通信用電話設備は次のうちのいずれかを用いることができる。

①専用保安通信用電話設備

②電気通信事業者の専用回線電話

③次の条件を全て満たす場合においては、一般加入電話又は携帯電話等

ア. 発電設備等設置者側の交換機を介さず直接技術員との通話が可能な方式（交換機を介する代表番号方式ではなく、直接技術員駐在箇所へつながる単番方式）とし、発電設備等の保守監視場所に常時設置されているものとする。

イ. 話中の場合に割り込みが可能な方式（キャッチホン等）とすること。

ウ. 停電時においても通話可能なものであること。

エ. 災害時等において当該電気事業者と連絡が取れない場合には、当該電気事業者との連絡が取れるまでの間発電設備等の解列又は運転を停止するよう、保安規程上明記されていること。

第4節 スポットネットワーク配電線との連系

1. 力率

スポットネットワーク配電線との連系については、高圧配電線との連系の逆潮流がない場合と同様に扱う。なお、線路の作業等で1回線停止後、再送電したときに、発電設備等の出力状態によっては、ネットワーク継電器の差電圧投入ができない場合が生じるので、この場合は、発電設備等の出力・力率制御を行って、差電圧投入を促すこととする。

2. 自動負荷制限

発電設備等の脱落時等に主として連系された配電線路や配電用変圧器等が過負荷となるおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

3. 電圧変動

(1) 常時電圧変動対策

スポットネットワーク配電線の電圧は、後述の特別高圧電線路への連系の場合と同じ管理基準が用いられるので、常時電圧変動の適正值は常時電圧の概ね $\pm 1 \sim 2\%$ 以内とする。

また、スポットネットワーク配電線には、特別高圧需要家のほか、変圧器室やレギュラーネットワークによる低圧需要家も存在する。このため、発電設備等をスポットネットワーク配電線に連系する場合には、系統に連系する低圧需要家の電圧を、電気事業法第26条及び同法施行規則第38条の規定に基づき、標準電圧100Vに対しては $101 \pm 6\text{V}$ 、標準電圧200Vに対しては $202 \pm 20\text{V}$ 以内に維持する必要がある。

しかし、発電設備等が連系された場合には、発電設備等の解列による電圧低下等により系統の電圧が適正值を維持できないおそれがある。

電圧変動の程度は、負荷の状況、系統構成、系統運用、発電設備等の解列点や出力等により異なるため、個別に検討するものとするが、発電設備等の脱落等により系統の電圧が適正值を逸脱するおそれがある時は、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

(2) 瞬時電圧変動対策

本受電方式の需要家では高度な情報機器が用いられることが多く、これら機器は、定格電圧の10%以上の瞬時電圧低下で機器停止等の影響を受ける場合

があるため、発電設備等の並解列時の瞬時電圧低下は10%以内とすることが適切である。

① 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの（制動巻線を有しているものと同等以上の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発電機を含む。）とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれのあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。

② 自励式の逆変換装置を用いる場合の取扱は、「第3節 高圧配電線との連系」における要件に準ずる。すなわち、自励式の逆変換装置を用いる場合には、その構成（変圧器、フィルタ等）や並列方法によっては変圧器の励磁突入電流が流れ、また、系統と逆変換装置出力が同期していないと、並列時に大きな突入電流が流れる。したがって、この場合には、自動的に同期がとれる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であっては、逆変換装置自身に突入電流を抑制する機能がない。したがって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれのあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、自励式の逆変換装置を用いるものとする。

4. 不要解列の防止

（1）保護協調

発電設備等の故障又は系統の事故時に、事故範囲の局限化を行い、需要家への電気の安定供給を維持していくためには、以下の考え方を基本とするものとする。

- ① 連系された系統の事故及びプロテクタ遮断器までの事故に対しては、事故回線のプロテクタ遮断器を開放し、健全回線との連系は原則として保持して、発電設備等は解列しないこと。
- ② 連系された系統以外の事故時や系統側の瞬時電圧低下等に対し、発電設備等は解列されないこと。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

5. 連絡体制

発電設備等設置者の構内事故及び系統側の事故等により、連系用遮断器が動作した場合等には、電力会社と発電設備等設置者との間で迅速かつ的確な情報連絡を行い、速やかに必要な措置を講ずることが必要である。このため、系統側電気事業者の営業所等と発電設備等設置者の技術員駐在箇所等との間には、保安通信用電話設備を設置するものとする。ただし、保安通信用電話設備は次のうちのいずれかを用いることができる。

①専用保安通信用電話設備

②電気通信事業者の専用回線電話

③次の条件を全て満たす場合においては、一般加入電話又は携帯電話等

ア. 発電設備等設置者側の交換機を介さず直接技術員との通話が可能な方式（交換機を介する代表番号方式ではなく、直接技術員駐在箇所へつながる単番方式）とし、発電設備等の保守監視場所に常時設置されているものとする。

イ. 話中の場合に割り込みが可能な方式（キャッチホン等）とすること。

ウ. 停電時においても通話可能なものであること。

エ. 災害時等において当該電気事業者と連絡が取れない場合には、当該電気事業者との連絡が取れるまでの間発電設備等の解列又は運転を停止するよう、保安規程上明記されていること。

第5節 特別高圧電線路との連系

1. 力率

特別高圧電線路に連系する場合には、高圧配電線との連系に準ずる。ただし、逆潮流がある場合には、発電設備等設置者の受電点における力率は、系統の電圧を適切に維持できるように定めるものとする。

2. 単独運転時における適正電圧・周波数の維持

特別高圧電線路との連系時においては、低圧・高圧配電線との連系と異なり、逆潮流有りの場合に対して原則として単独運転は可能である。これは、特別高圧電線路には、発電事業者の発電設備等が連系される状況となっており、特別高圧電線路へ連系される発電設備等に対して系統安定・維持に資することが期待されるようになったためである。

上位系統事故や連系された系統の事故等により電圧や周波数の維持に資する大規模な電源が喪失した場合であって、発電設備等設置者が単独運転を実施する場合にも、適正な系統電圧・周波数を維持することが必要である。そこで、以下の対策を講ずることとする。なお、単独運転時における適正な電圧や周波数の値については、系統構成等が影響し、一義的に決めることはできないため、一般送配電事業者と発電設備等設置者との協議によることとする。

(1) 保護装置の設置

- ① 逆潮流有りの条件で連系する場合、適正な電圧・周波数を逸脱した単独運転を防止するため、周波数上昇継電器及び周波数低下継電器、又は転送遮断装置を設置する。なお、周波数上昇継電器及び周波数低下継電器の特性は、単独運転の結果、系統電圧が定格電圧の40%程度まで低下した場合においても、周波数を検知可能なものとする。周波数上昇継電器又は周波数低下継電器が上記特性を有しない場合は、単独運転状態になった場合に系統等に影響を与えるまでに低下した系統電圧を検知可能な不足電圧継電器と組み合わせ、補完しながら使用すること。
- ② 逆潮流無しの条件で連系する場合、単独運転を防止するため、周波数上昇継電器及び周波数低下継電器を設置する。ただし、発電設備等の出力容量が系統の負荷と均衡する場合であって、周波数上昇継電器又は周波数低下継電器により検出・保護できないおそれがあるときは、逆電力継電器を設置するものとする。

(2) 保護装置の設置場所

- (1) の保護継電器は、受電点又は故障の検出が可能な場所に設置する。ここで、「故障の検出が可能な場所」とは、具体的には、発電設備等の引出口、受電点と発電設備等との間の連絡用母線、受電用変圧器二次側等のことである。

(3) 解列箇所

- (1) の保護装置が動作した場合、次の箇所のいずれかで発電設備等を系統から解列する。なお、解列にあたっては、発電設備等を電路から機械的に切り離すことができ、かつ、電氣的にも完全な絶縁状態を保持しなければならない

め、原則として、半導体のみで構成された電子スイッチを遮断装置として適用することはできない。

- ① 受電用遮断器
- ② 発電設備等出力端遮断器
- ③ 発電設備等連絡用遮断器
- ④ 母線連絡用遮断器

(4) 保護継電器の設置相数

(1) の継電器のうち、周波数低下継電器、周波数上昇継電器及び逆電力継電器は一相設置とする。また、不足電圧継電器は、三相設置とする。

3. 自動負荷制限・発電抑制

発電設備等の脱落時等に主として連系された電線路や変圧器等が過負荷となるおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。また、原則として100kV以上の特別高圧電線路と連系する場合には、必要に応じて過負荷検出装置を設置し発電抑制を行うものとする。

4. 電圧変動

(1) 常時電圧変動対策

電圧階級、負荷の軽重、負荷の力率、系統の線路定数、系統側の短絡容量、系統運用等の要因により、連系しようとする電線路個別の条件によって電圧変動の程度は変化するが、特別高圧電線路への連系においては、発電設備等の連系による電圧変動は、常時電圧の概ね $\pm 1 \sim 2\%$ 以内を適正值とし、この範囲を逸脱するおそれがある場合には、発電設備等設置者において自動的に電圧を調整するものとする。

(2) 瞬時電圧変動対策

発電設備等の並解列時において、瞬時的に発生する電圧変動に対しても、常時電圧の $\pm 2\%$ を目安に適正な範囲内に発電設備等設置者においてこの瞬時電圧変動を抑制するものとする。

- ① 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの（制動巻線を有しているものと同様以上の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発電機を含む。）とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを

用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から $\pm 2\%$ 程度を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。

- ② 自励式の逆変換装置を用いる場合には、自動的に同期が取れる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から $\pm 2\%$ 程度を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、自励式の逆変換装置を用いるものとする。

5. 不要解列の防止

(1) 保護協調

発電設備等の故障又は系統の事故時に、事故範囲の局限化等を行い、需要家への電気の安定供給を維持していくためには、安全確保上の対応を講じることが前提として、

- ① 連系された系統以外の事故時には、原則として発電設備等は解列されないこと。
- ② 連系された系統から発電設備等が解列される場合には、逆電力継電器、不足電力継電器等による解列を自動再閉路時間より短い時限、かつ、過渡的な電力変動による当該発電設備等の不要な遮断を回避できる時限で行うこと。

が適切である。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

6. 発電機運転制御装置の付加

原則として 100 kV 以上の特別高圧電線路と連系する場合であって、系統安定化、潮流制御等の理由により運転制御が必要な場合には、発電設備等に必要運転制御装置を設置する。

7. 連絡体制

(1) 発電設備等設置者の構内事故及び系統側の事故等により、連系用遮断器が動作した場合等には、系統運用者と発電設備等設置者との間で迅速かつ的確な情報連絡を行い、速やかに必要な措置を講ずることが必要である。このため、系統側電気事業者の給電所等と発電設備等設置者の技術員駐在箇所等との間には、保安通信用電話設備（専用保安通信用電話設備又は電気通信事業者の専用回線電話）を設置するものとする。ただし、保安通信用電話設備は、35kV以下の特別高圧電線路と連系する場合には、次のうちのいずれかを用いることができる。

①専用保安通信用電話設備

②電気通信事業者の専用回線電話

③次の条件を全て満たす場合においては、一般加入電話又は携帯電話等

ア. 発電設備等設置者側の交換機を介さず直接技術員との通話が可能な方式（交換機を介する代表番号方式ではなく、直接技術員駐在箇所へつながる単番方式）とし、発電設備等の保守監視場所に常時設置されているものとする。

イ. 話中の場合に割り込みが可能な方式（キャッチホン等）とすること。

ウ. 停電時においても通話可能なものであること。

エ. 災害時等において当該電気事業者と連絡が取れない場合には、当該電気事業者との連絡が取れるまでの間発電設備等の解列又は運転を停止するよう、保安規程上明記されていること。

(2) 60kV以上の特別高圧電線路と連系する場合には、系統側電気事業者の給電所と発電設備等設置者との間に、必要に応じ、系統運用上等必要な情報が相互に交換できるようスーパービジョン及びテレメータを設置するものとする。なお、このような機器を設置することは、発電設備等設置者の過度の負担となりにかねないので、逆潮流の有る場合に限定することとする。また、このための伝送路は保安通信用電話設備回線と兼用することを前提とする。

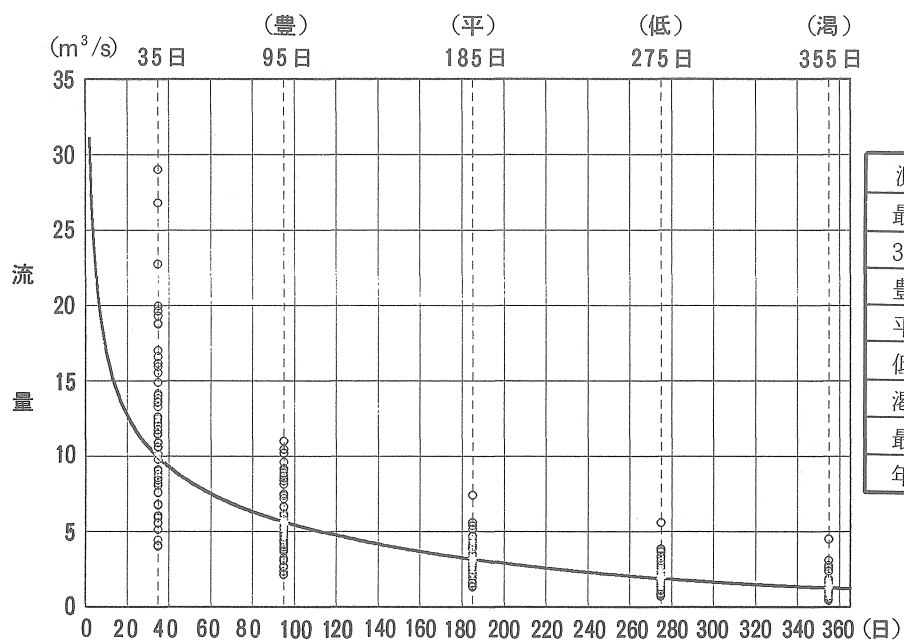
【参考資料 4】

全国の代表的な流況

出典) 第 5 次発電水力調査報告書 資料編

2. 地域別流況 (100km²当たり)

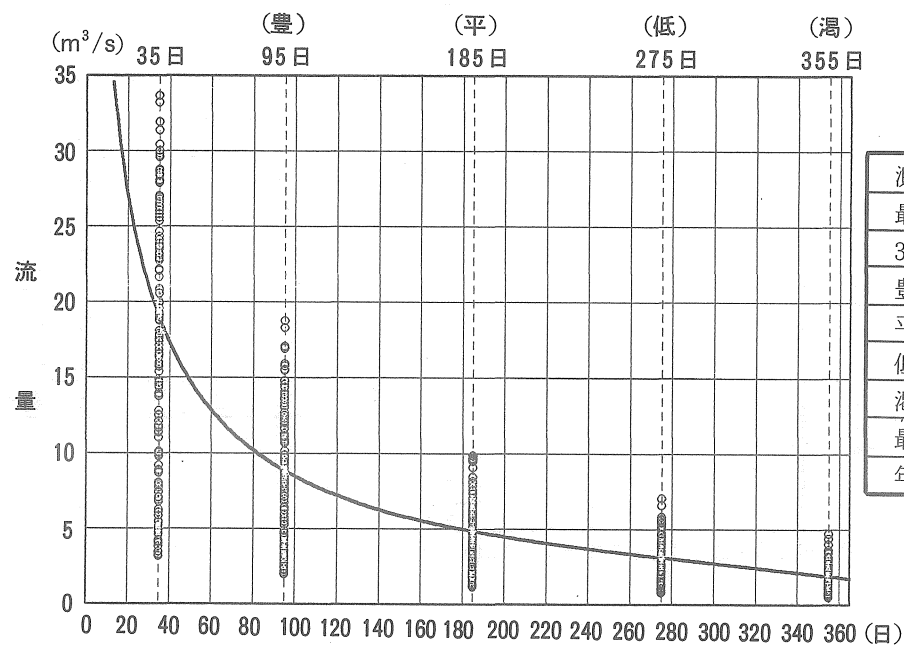
(札幌通産局)



測 水 所 数	66
最 大	48.75m ³ /s
35 日 流 量	11.72 "
豊 水 量	5.66 "
平 水 量	3.17 "
低 水 量	1.89 "
渇 水 量	1.26 "
最 小	1.10 "
年 平 均	5.12m ³ /s

図—6.8(1)

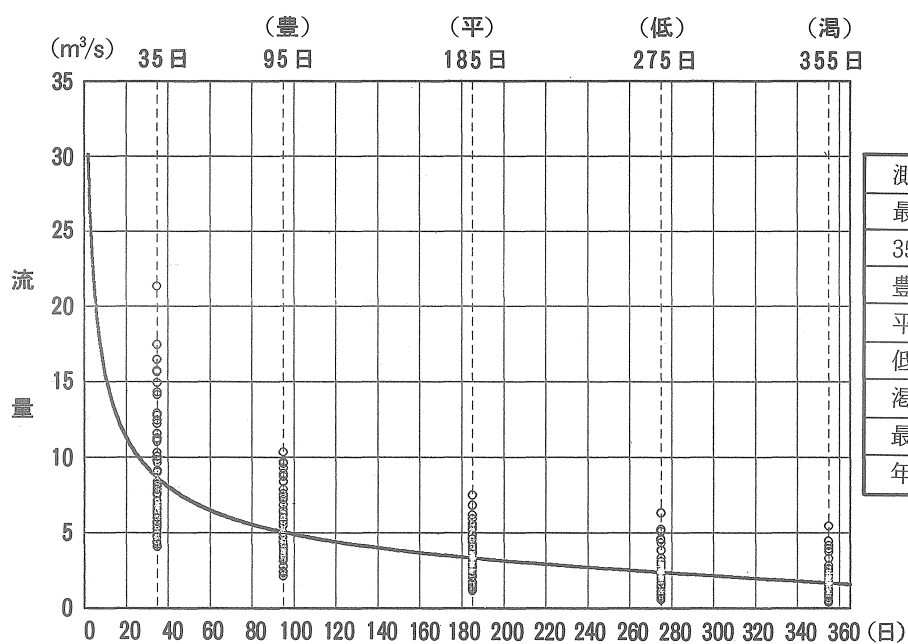
(仙台通産局)



測 水 所 数	168
最 大	64.10m ³ /s
35 日 流 量	18.20 "
豊 水 量	8.85 "
平 水 量	4.84 "
低 水 量	3.11 "
渇 水 量	1.89 "
最 小	1.59 "
年 平 均	7.80m ³ /s

図—6.8(2)

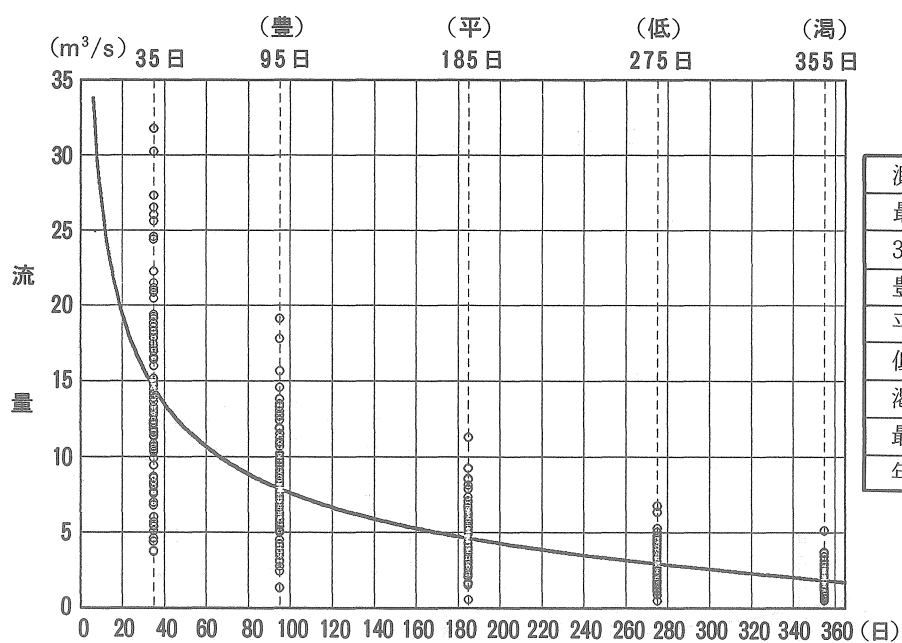
(東京通産局)



測 水 所 数	80
最 大	46.84m³/s
35 日 流 量	8.41 "
豊 水 量	5.05 "
平 水 量	3.34 "
低 水 量	2.40 "
渴 水 量	1.69 "
最 小	1.43 "
年 平 均	4.58m³/s

図—6.8(3)

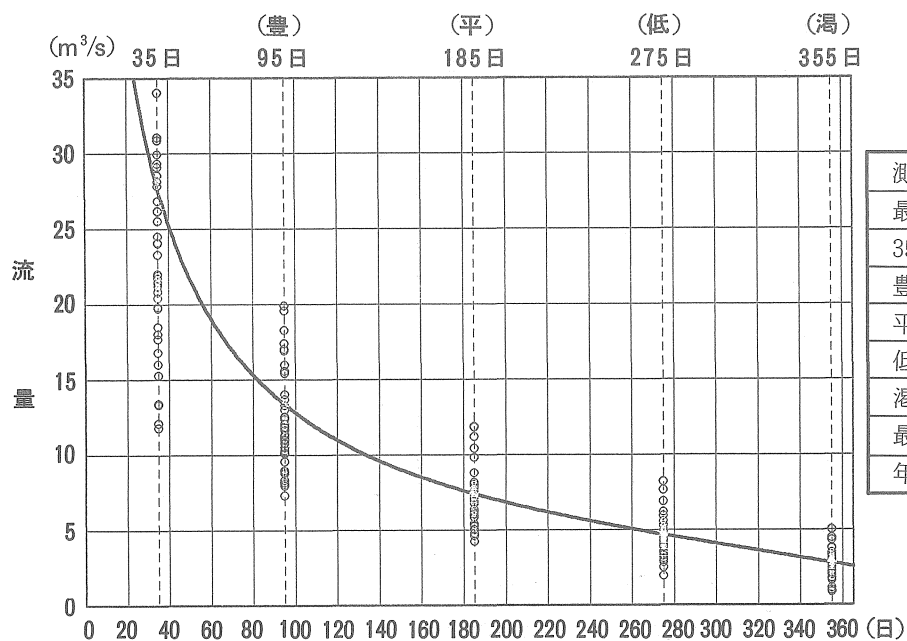
(名古屋通産局)



測 水 所 数	115
最 大	97.66m³/s
35 日 流 量	14.41 "
豊 水 量	7.89 "
平 水 量	4.62 "
低 水 量	2.92 "
渴 水 量	1.82 "
最 小	1.59 "
年 平 均	7.30m³/s

図—6.8(4)

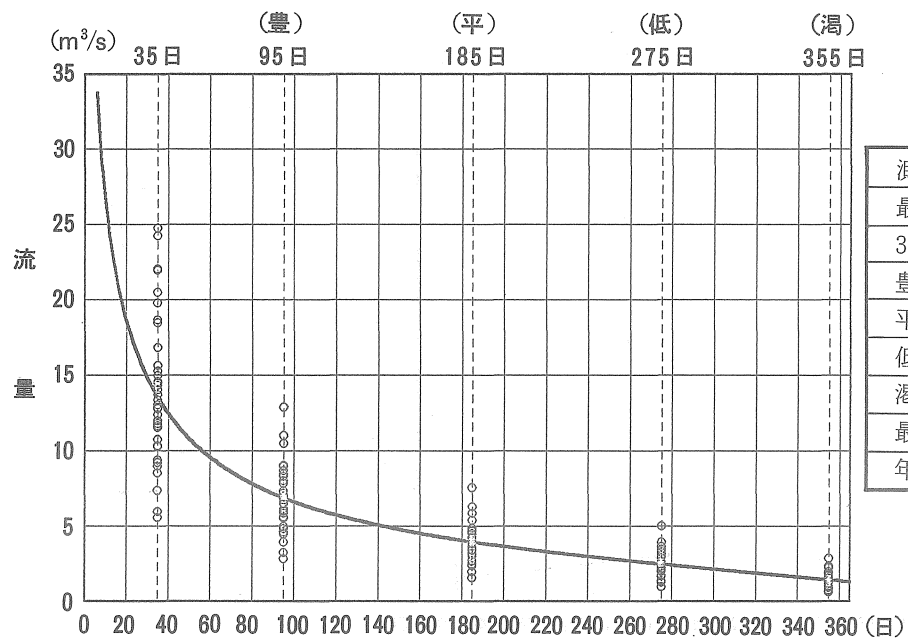
(富山支局)



測 水 所 数	49
最 大	105.88m³/s
35 日 流 量	25.08 "
豊 水 量	13.34 "
平 水 量	7.40 "
低 水 量	4.67 "
渴 水 量	2.77 "
最 小	2.31 "
年 平 均	11.21m³/s

図—6.8(5)

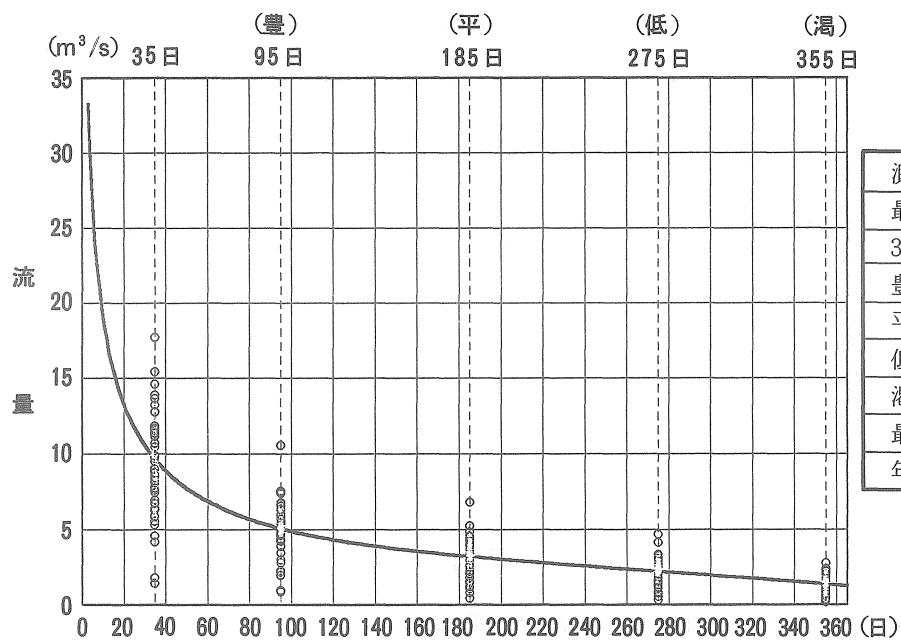
(大阪通産局)



測 水 所 数	38
最 大	147.15m³/s
35 日 流 量	14.02 "
豊 水 量	6.90 "
平 水 量	3.95 "
低 水 量	2.48 "
渴 水 量	1.44 "
最 小	1.16 "
年 平 均	7.14m³/s

図—6.8(6)

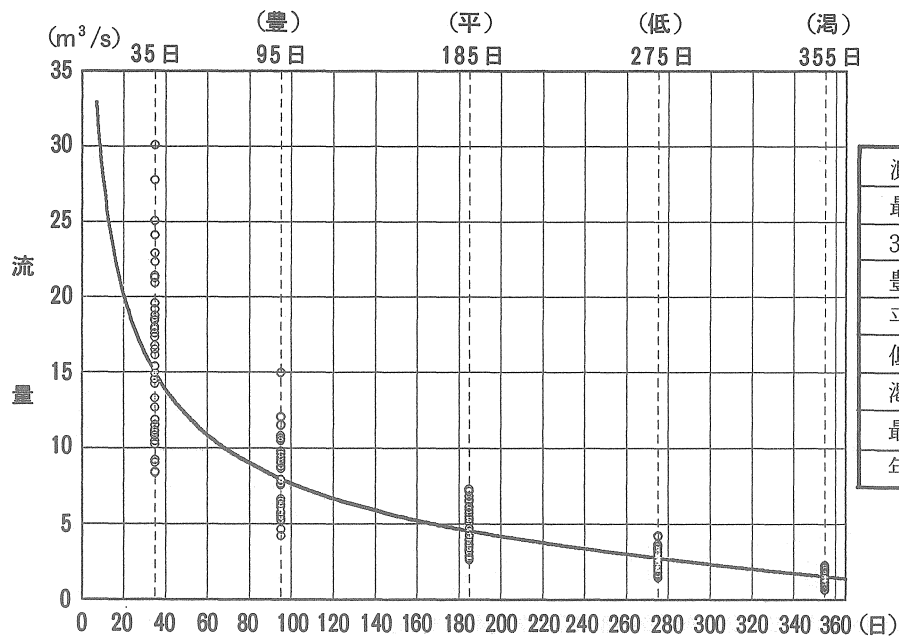
(広島通産局)



測 水 所 数	67
最 大	72.45m³/s
35 日 流 量	9.23 "
豊 水 量	5.06 "
平 水 量	3.19 "
低 水 量	2.21 "
渴 水 量	1.36 "
最 小	1.10 "
年 平 均	4.90m³/s

図—6.8(7)

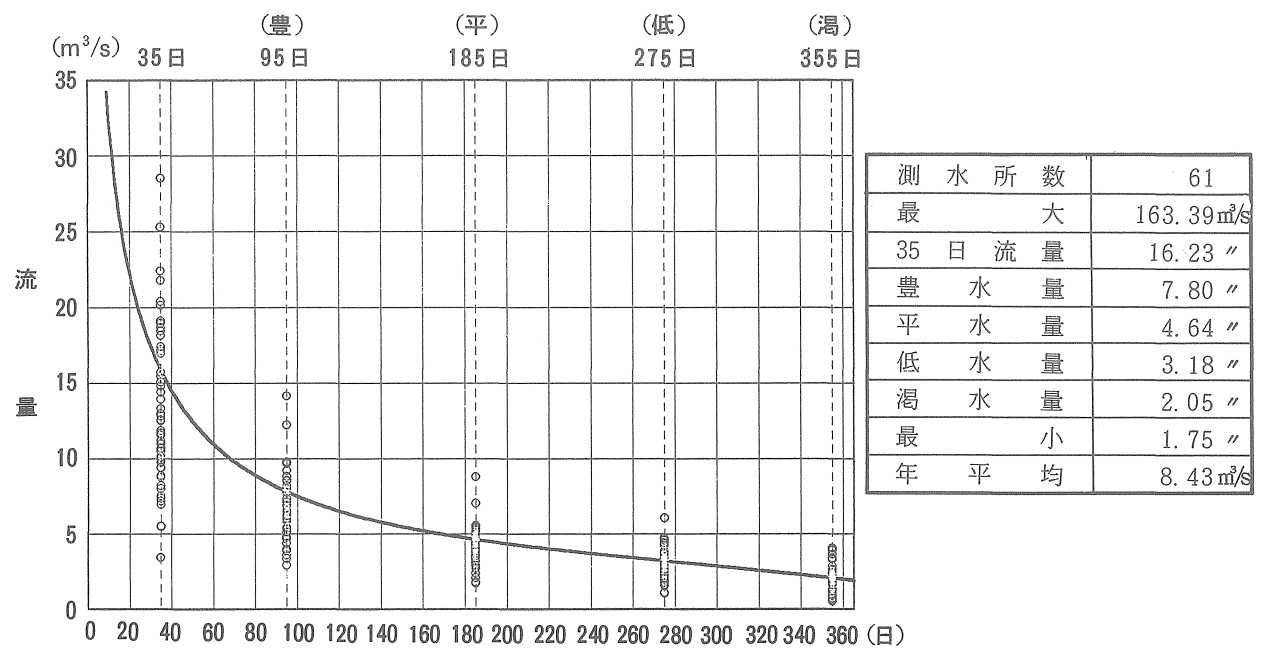
(四国通産局)



測 水 所 数	40
最 大	230.15m³/s
35 日 流 量	16.48 "
豊 水 量	7.97 "
平 水 量	4.53 "
低 水 量	2.73 "
渴 水 量	1.51 "
最 小	1.29 "
年 平 均	8.92m³/s

図—6.8(8)

(福岡通産局)



図一6.8(9)

【参考資料 5】

現地調査野帳例

平成29年度 水力発電人材育成研修会
(専門コース)

演習用テキスト

一般財団法人 新エネルギー財団
一般社団法人 電力土木技術協会

目 次

1. 図上計画策定演習の進め方

2. 流量設備利用率の計算

3. 各種集計表

4. 地形・地質図

5. 地質演習問題

(添付資料)

工事費積算資料

1. 図上計画策定演習の進め方

図上計画策定演習の進め方

図上計画策定演習はおおむね次の流れによって進めることとする。

1. 水路ルート of 検討

1/50,000 地形図を用い合理的なルート案を検討する。

(例) ①上～下流を通したシリーズ計画案(マスタープラン)、②単独計画案など。

またそれぞれ、水路近傍の溪流を取水することも検討すること。

2. 検討手順

①取水地点、導水路ルート、水槽、水圧管路ルート、発電所地点および放水路ルート of 選定

②取水地点 of 流域面積 of 計測

③取水地点 of 流況表と流況図 of 作成

④最大使用水量 of 検討

⑤有効落差 of 算出

⑥最大出力、年間可能発電電力量 of 算定

⑦工事費 of 積算

⑧経済性 of 検討(kWh 当たり建設単価)

なお、本演習では河川維持流量は考慮しないものとする。

3. 最適規模 of 決定

選定した水路ルートについて最大使用水量を変化させ、最適規模を決定する。検討は最低でも 4 ケースについて行う。

4. 代替案 of 検討

現地調査の結果、取水地点や発電所地点等が不適切であるか、またはより設置上有利なサイトが特定できることも想定し、代替地点を準備しておくこと。

5. 作業 of 進め方

- ・作業はリーダーを中心に進める。
- ・基本的に作業はまず個人で行い、その後グループで評価・検討し、その結果をグループ最適計画案としてまとめる。
- ・グループ最適計画案は、研修 3 日目午後に策定根拠などを含めて発表する。
- ・グループ内での議論は自由とする(他グループに迷惑をかけない範囲で)。

図上計画策定の手順

1. 等高線の読み方

等高線間隔

縮 尺	主曲線	計曲線	補助曲線①	補助曲線②
1/25,000	10m	50m	5m	2.5m
1/50,000	20m	100m	10m	5m

2. 水路ルート選定の留意点

(1) 取水地点

- ・流域面積をより大きく確保しつつ、できるだけ短い水路で高落差が得られる地点を選定する。
- ・溪流の合流点付近に着目する。
- ・溪流取水による経済性向上に留意する(水路ルート上近傍に比較的大きな流域が確保できる地点がある場合)。

(2) 取水ダム

- ・洪水の流下断面を確保する。
- ・河川縦断面に留意する(緩やかな勾配から急勾配に変化する直上流に着目)。
- ・これらの条件を満足できる範囲でできるだけ川幅の狭い地点が望ましい。
- ・取水口、沈砂池のスペース確保に留意する。

(3) 導水路

- ・水路効率 L/H および CA/L を考慮する(テキスト P3-3)。
- ・トンネルの場合、必要な土被り(30m 以上)の確保および坑口、中間作業坑までのアクセスに留意する(テキスト P3-5)。

(4) 水槽(ヘッドタンク)

- ・取水水位に対応する標高に選定する。
- ・水压管路が尾根を通過する位置となるように選定する。
- ・できるだけ水压管の長さが短くなるような位置を選定する。

(5) 発電所

- ・洪水時の河川水位の上昇、重量物搬入・管理用道路の確保もしくはコスト低減を考慮する。

(6) 放水口

- ・水衝部は避ける。

3. 流域界の決定

取水ダム左右岸における「最大傾斜線」の連続として地形図上に記入する(尾根、峠、鞍部、三角点、独立標高点、行政境界などにも着目)。

4. 流域面積の計測

プラニメーターを用いて流域面積を計測する(テキスト P3-4)。

5. 取水地点の流況曲線作成

測水所流量のうち、主に最大流量(1日流量)、35日流量、豊水量(95日流量)、平水量(185日流量)、低水量(275日流量)、渇水量(355日流量)に流域面積比(取水地点/測水所)を乗じて取水地点の流況曲線を作成する。

6. 最大使用水量の決定

最大使用水量は5. で作成した流況曲線に基づいて決定する。決定にあたっては最大使用水量以下の年間取水可能量から求められる流量設備利用率(テキスト P3-58) 40%を目安として決定する。

7. 有効落差の算出

有効落差＝総落差(取水水位－放水水位)－損失落差

損失落差＝ $1/1,000L_1 + 1/200L_2 + 1/1,000L_3 + (0.5 + \alpha)$

ここで L_1 : 導水路延長(m)、 L_2 : 水圧管路延長、 L_3 : 放水路延長(m)

α は+0.1m の範囲で端数調整⇒損失落差は 0.1m 単位でまとめる

(テキスト P3-54)

8. 水車選定

テキスト図 3-5-7(P3-69)から水車型式を選定する。

9. 最大出力の算定

$$P = 9.8 \times Q_{\max} \times H_{e\max} \times \eta_{GT}$$

ここで η_{GT} : 水車発電機合成効率 0.83 とする。

10. 年間可能発電電力量

6. で求めた流量設備利用率を用いて次式から算出する。

$$E = 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \times \text{最大出力} \times \alpha \times \beta$$

ここに E: 年間可能発電電力量(kWh)

α : 流量設備利用率

β : 効率低下を考慮した係数 0.9 とする

11. 工事費積算

「工事費積算資料」を使用して工事費を積算し、「概算工事費集計表」としてまとめる。

12. 合理的な水路ルートを選定

複数の水路ルート案について検討を行い、経済性はもとより、社会・自然環境への影響、技術的成立性さらには種々のコストダウン方策の採用なども考慮して、合理的な水路ルートを選定する。

13. 発電計画の決定

合理的な水路ルートを選定後、当該案について最大使用水量を変化させ(最低でも4ケース)、工事費単価(kWh 当たり建設単価)が最低となる最大使用水量を選び、それによる発電計画を最終案とする(テキスト P3-56)。

【有効数字の取り方】

(1)使用水量(単位: m^3/s)

- ・小数点以下2位までとする(3桁目4捨5入)
- ・ $1\text{m}^3/\text{s}$ より小さい場合には、有効数字2桁(3桁目4捨5入)とする

(2)有効落差(単位: m)

- ・0.1mとする

(3)発電所出力(単位: kW)

- ・1万kW未満の場合…有効数字2桁(3桁目4捨5入)
- ・1万kW以上の場合…有効数字3桁(4桁目4捨5入)

(4)発電電力量(単位: 10^3kWh)

- ・有効数字3桁(4桁目4捨5入)

以 上

2. 流量設備利用率の計算

流況の整理ならびに流量設備利用率算定の演習

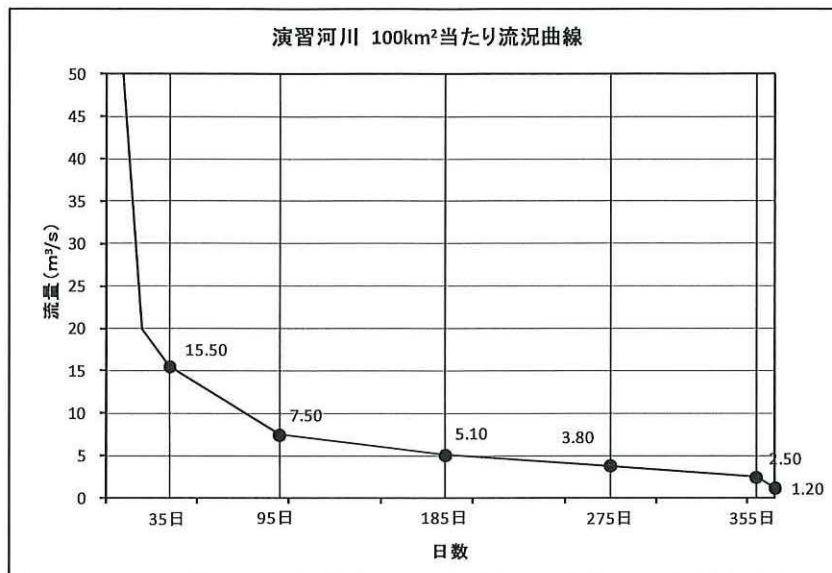
流況

CA = 100.0 km²

(単位: m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年	75.00	15.50	7.50	5.10	3.80	2.50	1.20
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量	75.00	15.50	7.50	5.10	3.80	2.50	1.20

CA = 100.0 km²



流域比換算後の流況

CA = 30.0km² 地点を例とする。

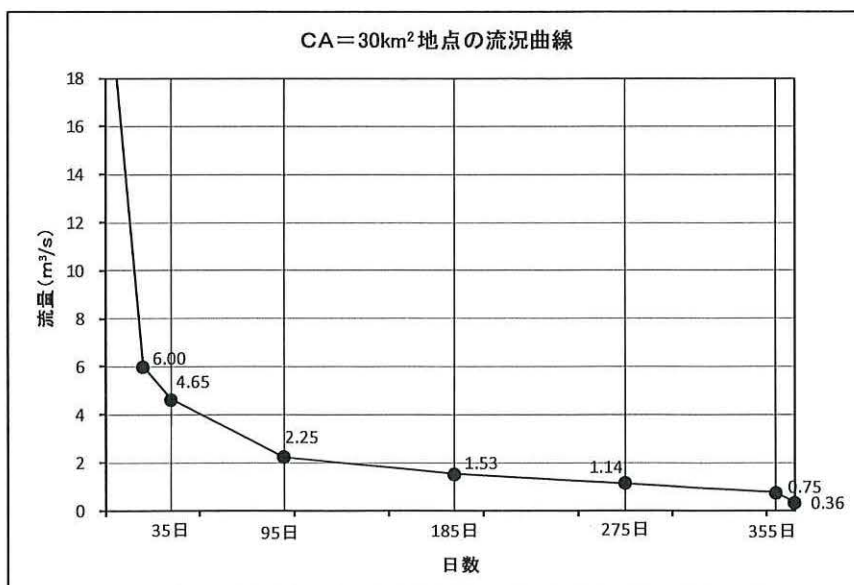
CA = 30.0 km²

流域比 = 30.0 km² / 100 km² = 0.30 (単位: m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年	22.50	4.65	2.25	1.53	1.14	0.75	0.36
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量	22.50	4.65	2.25	1.53	1.14	0.75	0.36

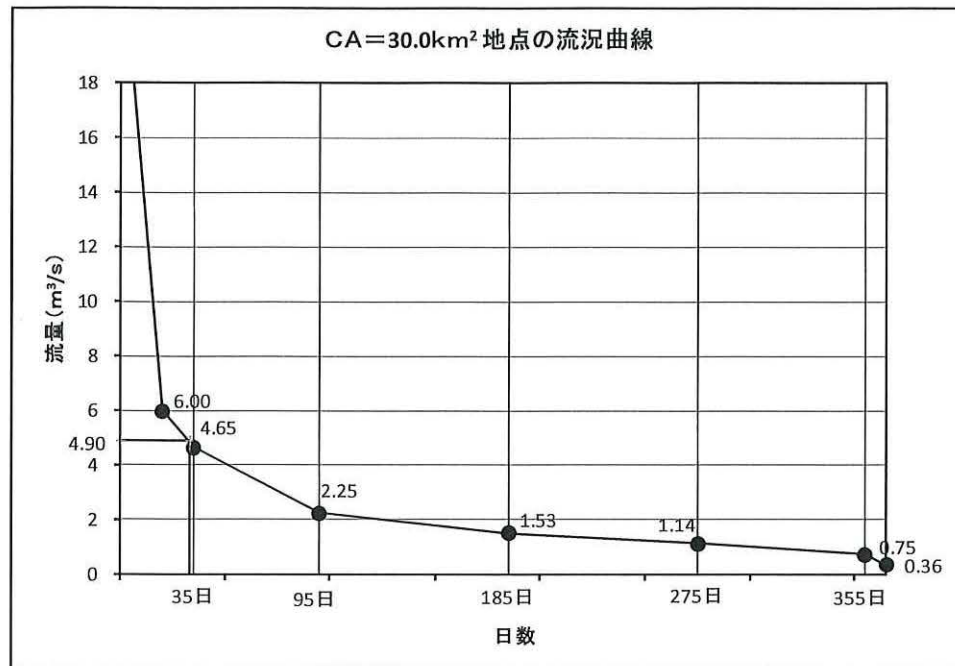
CA = 30.0 km²

流域比 = 30.0km² / 100km² = 0.3



流量設備利用率の計算例

CA = 30.0 km²



最大使用水量 4.90 m³/s

幾日 33 日

流量設備利用率 = 42.0%

$Q_{max} > 35$ 日流量

流量設備利用率の計算

最大使用水量 (Q_{max}) = 4.90 m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/ Q_{max}	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ = ② × ⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)		
33	33	4.90	1.00	4.90	33 日 ×	4.90 m ³ /s	= 161.7
35	2	4.65	0.95	4.78	2 日 ×	4.78 m ³ /s	= 9.6
95	60	2.25	0.46	3.45	60 日 ×	3.45 m ³ /s	= 207.0
185	90	1.53	0.31	1.89	90 日 ×	1.89 m ³ /s	= 170.1
275	90	1.14	0.23	1.34	90 日 ×	1.34 m ³ /s	= 120.6
355	80	0.75	0.15	0.95	80 日 ×	0.95 m ³ /s	= 76.0
365	10	0.36	0.07	0.56	10 日 ×	0.56 m ³ /s	= 5.6
計	365				365 日		750.6
流量設備利用率							42.0%

$$\begin{aligned}
 \text{流量設備利用率} &= \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{ 日}} \\
 &= \frac{750.6 \text{ m}^3/\text{s-d}}{4.90 \text{ m}^3/\text{s} \times 365 \text{ 日} \quad (= 1,788.5 \text{ m}^3/\text{s-d})} = 42.0\% \\
 \text{設備利用率} &= \alpha (\text{流量設備利用率}) \times \beta (\text{本演習では } \beta = 0.9 \text{ とする}) = 37.8\%
 \end{aligned}$$

100km² 当たり流況表CA = 100.0 km²(単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年	75.00	15.50	7.50	5.10	3.80	2.50	1.20
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量	75.00	15.50	7.50	5.10	3.80	2.50	1.20

検討ケース別流況表

ケース _____

CA = _____ km² 流域比 = _____ / 100 km² = _____ (単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年							
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量							

ケース _____

CA = _____ km² 流域比 = _____ / 100 km² = _____ (単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年							
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量							

ケース _____

CA = _____ km² 流域比 = _____ / 100 km² = _____ (単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年							
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量							

ケース _____

CA = k m² 流域比 = / 100 k m² = (単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年							
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量							

ケース _____

CA = k m² 流域比 = / 100 k m² = (単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年							
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量							

ケース _____

CA = k m² 流域比 = / 100 k m² = (単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年							
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量							

ケース _____

CA = k m² 流域比 = / 100 k m² = (単位 : m³/s)

項 目	最大流量	35日	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量 (365日)
平均年							
河川維持流量	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電対象流量							

流量設備利用率

流量設備利用率の計算

ケース , CA = km^2 , 最大使用水量 (Q_{max}) = m^3/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m^3/s)	④ 入力負荷率 ③/ Q_{max}	⑤ 平均使用水量 (m^3/s)	⑥ = ② × ⑤ 発電流量 ($\text{m}^3/\text{s-d}$)
					日 × m^3/s =
					日 × m^3/s =
95					日 × m^3/s =
185	90				日 × m^3/s =
275	90				日 × m^3/s =
355	80				日 × m^3/s =
365	10				日 × m^3/s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA = km^2 , 最大使用水量 (Q_{max}) = m^3/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m^3/s)	④ 入力負荷率 ③/ Q_{max}	⑤ 平均使用水量 (m^3/s)	⑥ = ② × ⑤ 発電流量 ($\text{m}^3/\text{s-d}$)
					日 × m^3/s =
					日 × m^3/s =
95					日 × m^3/s =
185	90				日 × m^3/s =
275	90				日 × m^3/s =
355	80				日 × m^3/s =
365	10				日 × m^3/s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km² , 最大使用水量 (Qmax) = m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km² , 最大使用水量 (Qmax) = m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km² , 最大使用水量 (Qmax)= m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km² , 最大使用水量 (Qmax)= m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km² , 最大使用水量(Qmax)= m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km² , 最大使用水量(Qmax)= m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km^2 , 最大使用水量 (Qmax)= m^3/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m^3/s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m^3/s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 ($\text{m}^3/\text{s-d}$)
					日 × m^3/s =
					日 × m^3/s =
95					日 × m^3/s =
185	90				日 × m^3/s =
275	90				日 × m^3/s =
355	80				日 × m^3/s =
365	10				日 × m^3/s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース , CA= km^2 , 最大使用水量 (Qmax)= m^3/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m^3/s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m^3/s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 ($\text{m}^3/\text{s-d}$)
					日 × m^3/s =
					日 × m^3/s =
95					日 × m^3/s =
185	90				日 × m^3/s =
275	90				日 × m^3/s =
355	80				日 × m^3/s =
365	10				日 × m^3/s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

ケース _____ , CA= _____ km² , 最大使用水量 (Qmax)= _____ m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流量設備利用率の計算

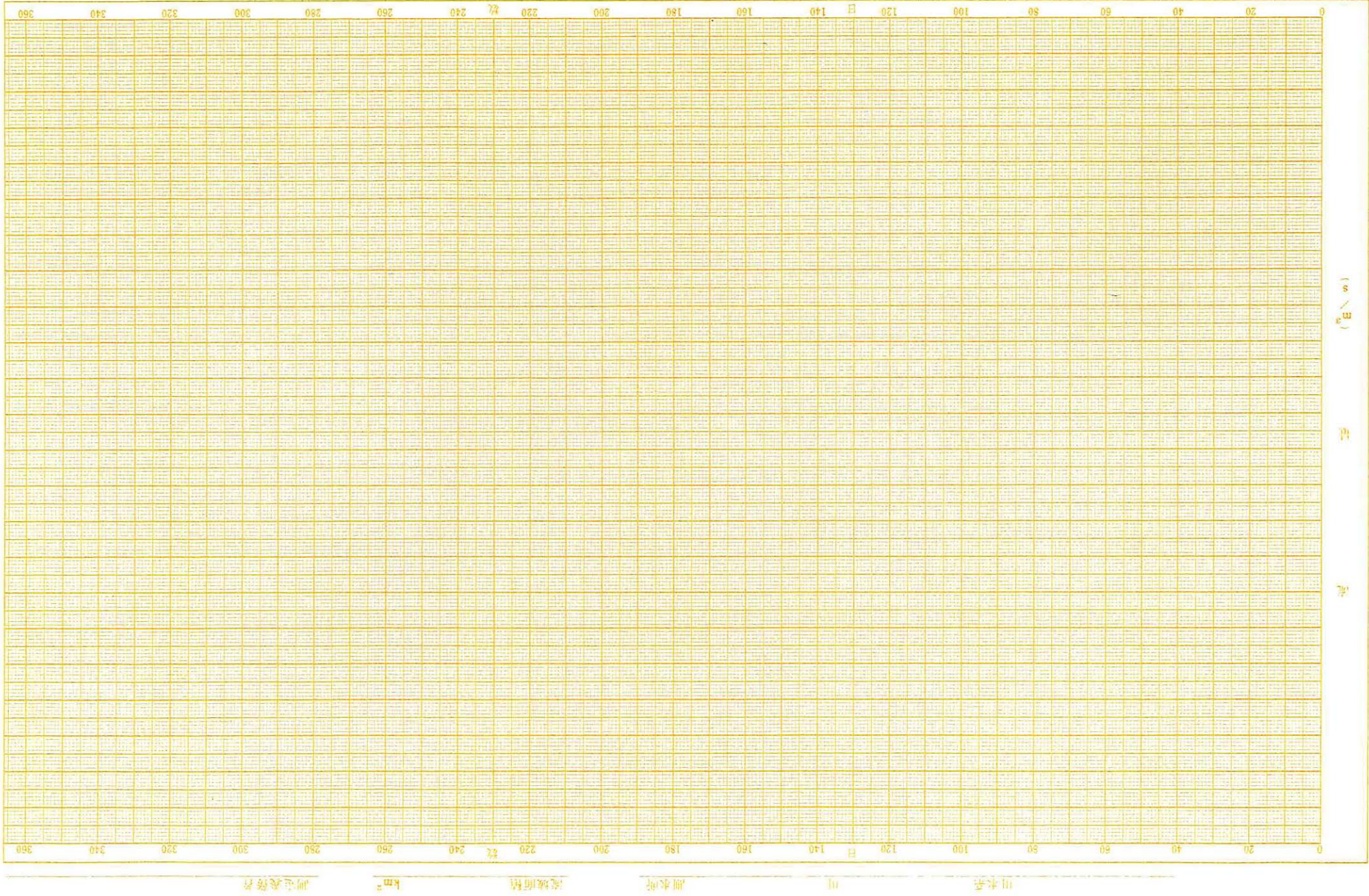
ケース _____ , CA= _____ km² , 最大使用水量 (Qmax)= _____ m³/s

① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m ³ /s)	④ 入力負荷率 ③/Qmax	⑤ 平均使用水量 (m ³ /s)	⑥ =②×⑤ 発電流量 (m ³ /s-d)
					日 × m ³ /s =
					日 × m ³ /s =
95					日 × m ³ /s =
185	90				日 × m ³ /s =
275	90				日 × m ³ /s =
355	80				日 × m ³ /s =
365	10				日 × m ³ /s =
計	365				
流量設備利用率					

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{発電流量合計}}{\text{最大使用水量} \times 365 \text{日}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

流況曲線図

指定番号
年



備考 1. 35日流況、需水量、平水期、雨水期以上の雨水量を記載すること、それ以外の流況は1日単位で記入すること
2. 流況は、有効数字3桁とし、小数点以下第3位は四捨五入し、小数点以下第2位まで記入すること

3. 計画諸元一覧表 概算工事費集計表

計画諸元一覧表

検討ケース					
流域面積	(km ²)				
取水位	(EL.)				
放水位	(EL.)				
総落差	(m)				
有効落差	(m)				
最大使用水量	(m ³ /s)				
最大出力	(kW)				
年間可能発電電力量	(MWh)				
流量設備利用率	(%)				
取水ダム(H、L)	(m)				
導水路	延長	(m)			
	内径	(m)			
水圧管路	延長	(m)			
	内径	(m)			
余水路	延長	(m)			
	内径	(m)			
放水路	延長	(m)			
水車型式	—				
送電線延長	(km)				
総工事費(送電線費用を除く)	(百万円)				
kW当たり建設費(送電線費用を除く)	(千円/kW)				
kWh当たり建設費(送電線費用を除く)	(円/kWh)				

概算工事費集計表

単位:百万円

積算項目			工 事 費	備 考
1.本工事				
(1)	土地補償費			$[(2)+(3)+(4)+(5)] \times 5\%$
(2)	建物関係			
(3)	土木関係			①+②+③
	①水路			$\Sigma(a \sim j)$
		a.取水ダム		
		b.取水口		
		c.沈砂池		
		d.導水路		
		e.水槽		
		f.余水路		
		g.水圧管路		
		h.放水路		
		i.放水口		
		j.雑工事		$\Sigma(a \sim i) \times 10\%$
	②貯水池または調整池			
	③機械装置			k+l
		k.基礎		
		l.諸装置		$[(1)+②+k] \times 10\%$
(4)	電気関係			
(5)	仮設備費			$[(2)+(3)+(4)] \times 5\% + \alpha$
(6)	総係費			$[(2)+(3)+(4)+(5)] \times 7\%$
(7)	(小計)			$\Sigma[(1) \sim (6)]$
(8)	建設中利子			$(7) \times 0.4 \times \text{利子率}2\% \times T/12$
(9)	分担関連費			$(7) \times 1\%$
(10)	(計)			
2.送電設備建設費				
年間可能発電電力量(kWh)				
設備利用率(%)				
kW当たり建設費(千円/kW)				送電設備建設費を除く
kWh当たり建設費(円/kWh)				送電設備建設費を除く

4. 地形・地質図

【地形図】

(1)中国地域

(国土地理院)

1/5 万地形図	1/2.5 万地形図
・鳥取南部 ・智頭	・岩坪 ・用瀬 ・加瀬木 ・智頭

(2)関東地域

(国土地理院)

1/5 万地形図	1/2.5 万地形図
・伊東 ・修善寺	・湯ヶ島 ・天城山 ・伊東 ・修善寺

【地質図】

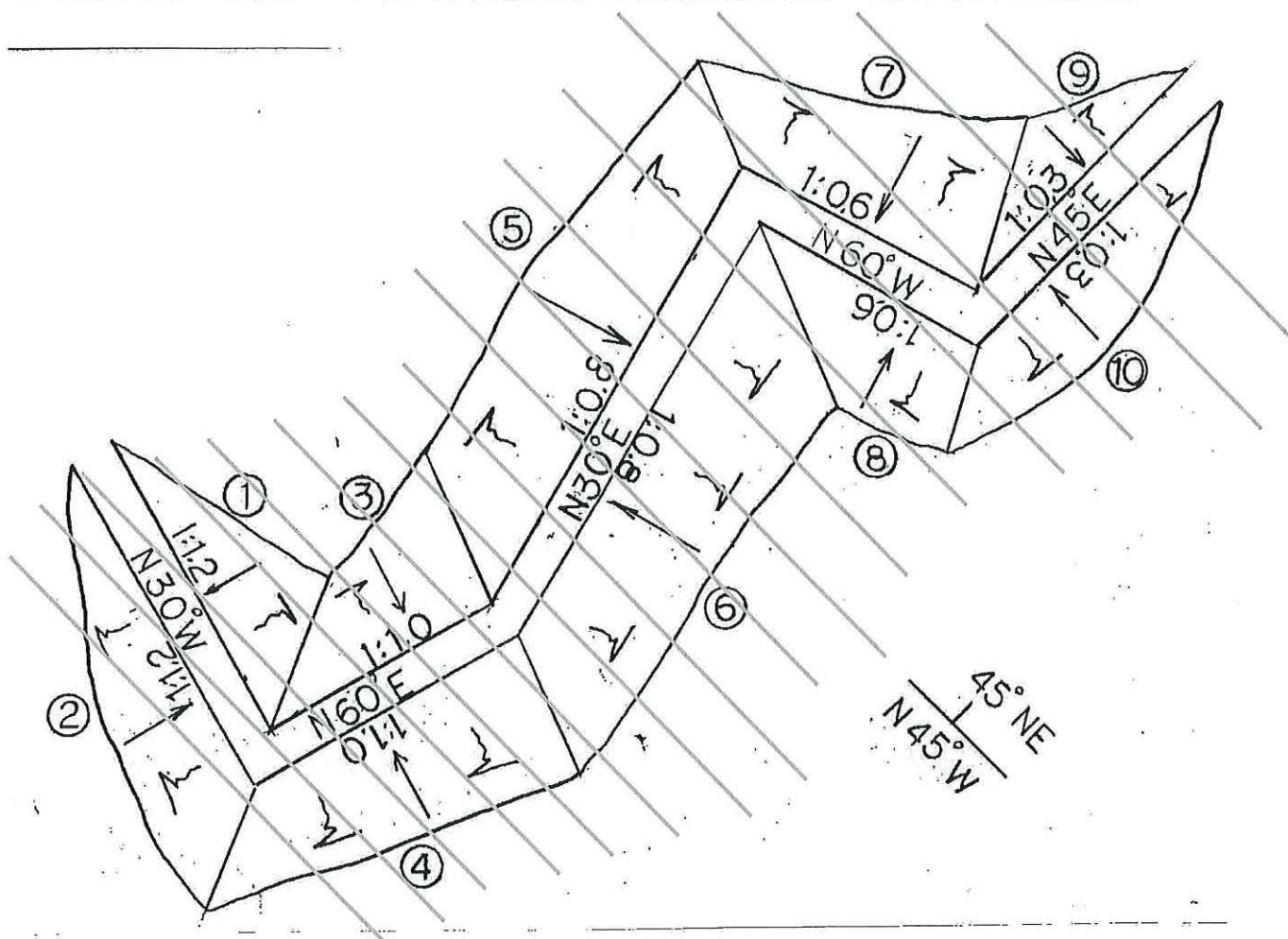
(工業技術院地質調査所：現産業技術総合研究所)

中国地域	関東地域
・鳥取南部 ・智頭	・伊東 ・下田

5. 地質演習問題

演習 流れ盤すべりの判定

下図のような走向・傾斜の片理面を有する結晶片岩の分布地域に、屈曲する道路を施工するため、10面の法面が計画されている。流れ盤すべり判定フローに従って、各法面で考えられる崩壊(流れ盤すべり、トップリング)を判定せよ。



チェック項目	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
流れ盤すべりを起こすような岩石か？										
その地質構造と法面との交差角は 40° 以内か？										
地質構造の傾斜方向は法面のそれと一致しているか？										
地質構造の傾斜は法面勾配より緩か？										
地質構造の傾斜は 30° 以上か？										
考えられる崩壊形態 (流れ盤すべり、トップリングのみ記入)										

YES:○ NO:×

番号 _____ 氏名 _____

工事費積算資料

「水力発電計画工事費積算の手引き」

平成 25 年 3 月

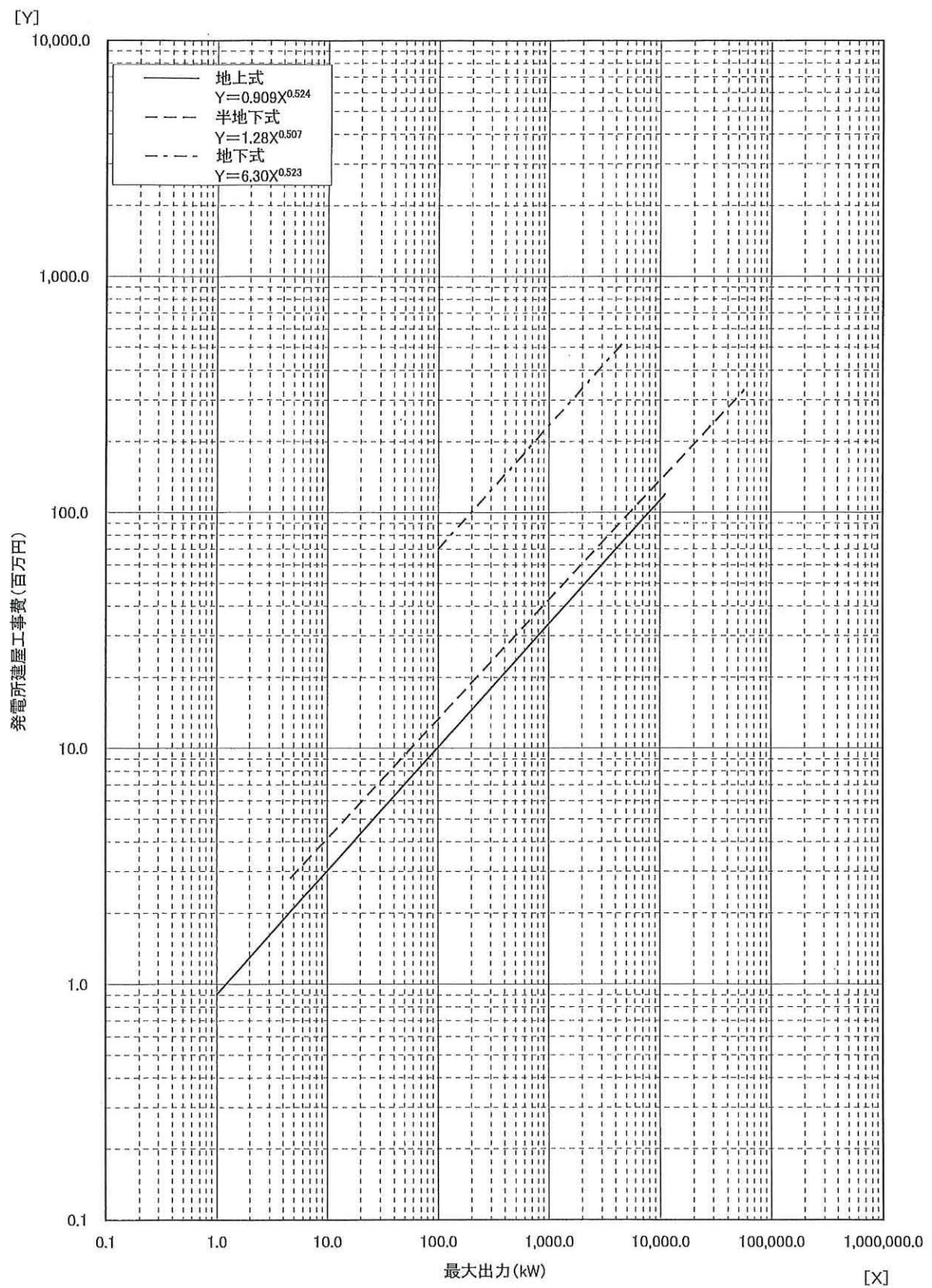
経済産業省 資源エネルギー庁

一般財団法人 新エネルギー財団

目 次

図-1.1	発電所建物工事費	添 1-1
図-1.2	取水ダムコンクリート量 (ダム基準)	添 1-2
図-1.3	取水ダムコンクリート量 (堰基準)	添 1-3
図-1.4	取水ダム工事費	添 1-4
図-1.5	魚道工事費	添 1-5
図-1.6	水路内径	添 1-6
図-1.7	取水口工事費 (無圧式)	添 1-7
図-1.8	取水口工事費 (圧力式)	添 1-8
図-1.9	取水口工事費 (チロリアン式)	添 1-9
図-1.10	取水口工事費 (堤体穴開け式)	添 1-10
図-1.11	堤体部工事単価	添 1-11
図-1.12	取水口工事費 (サイフォン式 真空ポンプ工事費)	添 1-12
図-1.13	沈砂池工事費	添 1-13
図-1.14	トンネル工事単価	添 1-14
図-1.15	暗きょ・開きょ断面寸法	添 1-15
図-1.16	暗きょ工事単価	添 1-16
図-1.17	開きょ工事単価	添 1-17
図-1.18	ヘッドタンク工事費	添 1-18
図-1.19	サージタンク工事費	添 1-19
図-1.20	余水路内径	添 1-20
図-1.21	余水路鉄管単位長重量	添 1-21
図-1.22	余水路工事単価<鉄管除く>	添 1-22
図-1.23	余水路鉄管単価	添 1-23
図-1.24	水圧管路内径	添 1-24
図-1.25	水圧管路鉄管単位長重量	添 1-25
図-1.26	水圧管路工事単価 (露出式) <鉄管除く>	添 1-26
図-1.27	水圧管路工事単価 (埋設式) <鉄管除く>	添 1-27
図-1.28	水圧管路鉄管単価	添 1-28
図-1.29	分岐管工事費	添 1-29
図-1.30	水道等パイプライン分岐管 (通常工法) 工事費	添 1-30

図-1.31	水道等パイプライン分岐管(不断水工法)工事費	添 1-31
図-1.32	バルブ工事費 (バルブ室を含む)	添 1-32
図-1.33	水道等パイプラインバルブ設置(通常工法)工事費	添 1-33
図-1.34	水道等パイプラインバルブ設置(不断水工法)工事費	添 1-34
図-1.35	流量計工事費 (流量計室を含む)	添 1-35
図-1.36	放水口工事費 (無圧式)	添 1-36
図-1.37	放水口工事費 (圧力式)	添 1-37
図-1.38	代替放流設備工事費	添 1-38
図-1.39	機械装置基礎工事費	添 1-39
図-1.40	電気関係工事費	添 1-40



図一.1 発電所建物工事費

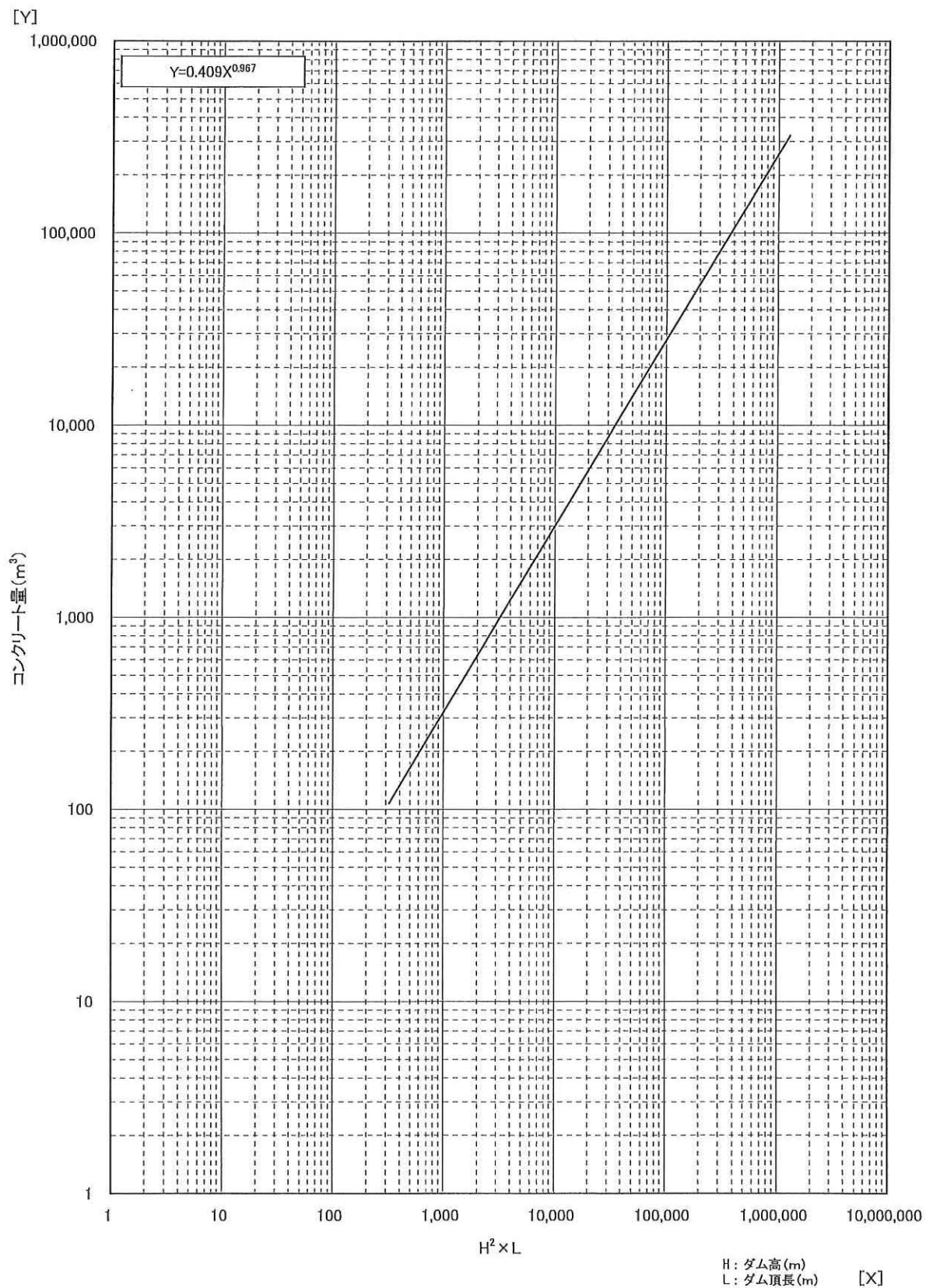


図-1.2 取水ダムコンクリート量 (ダム基準)

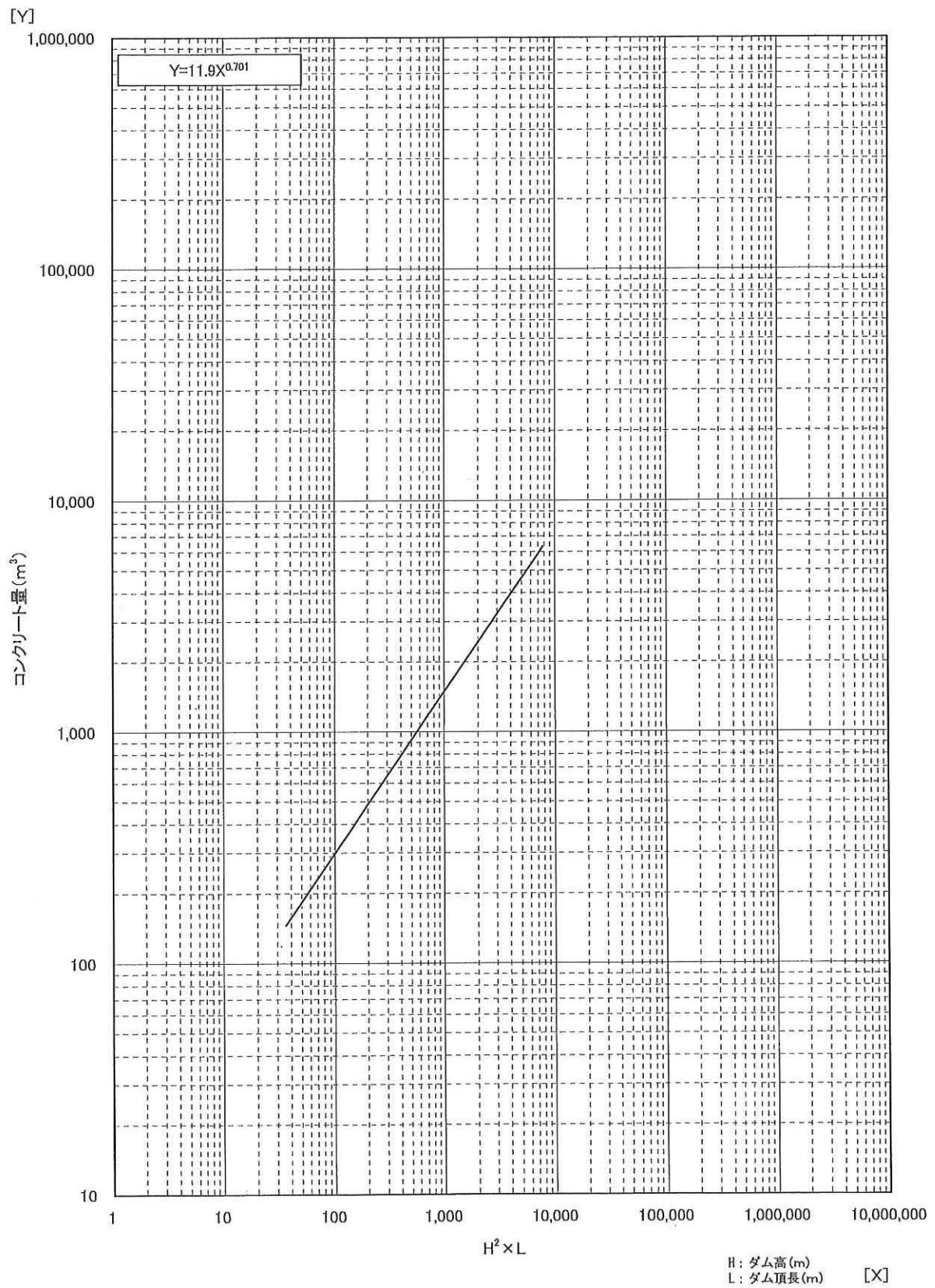
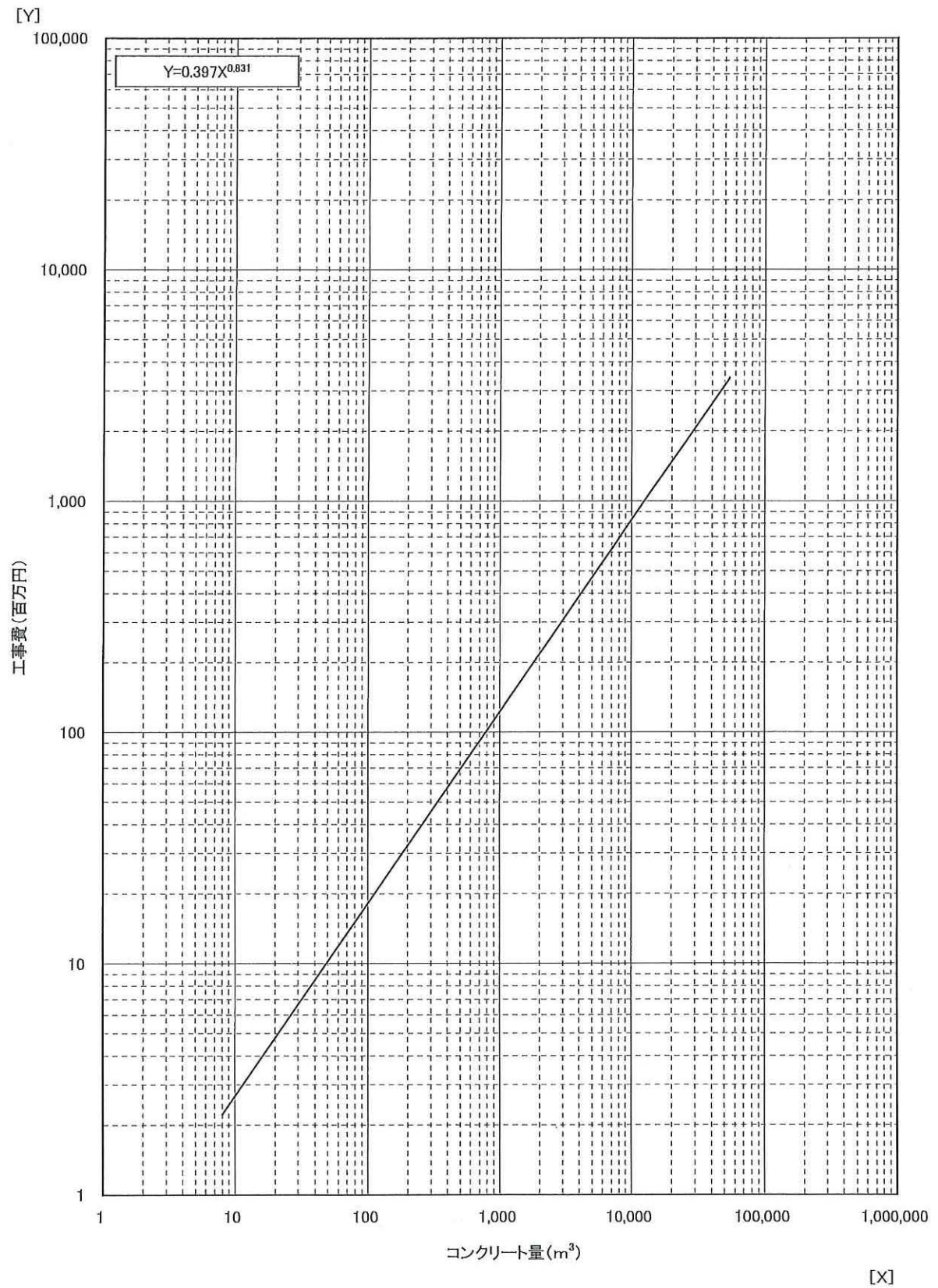


図-1.3 取水ダムコンクリート量 (堰基準)



図一1.4 取水ダム工事費

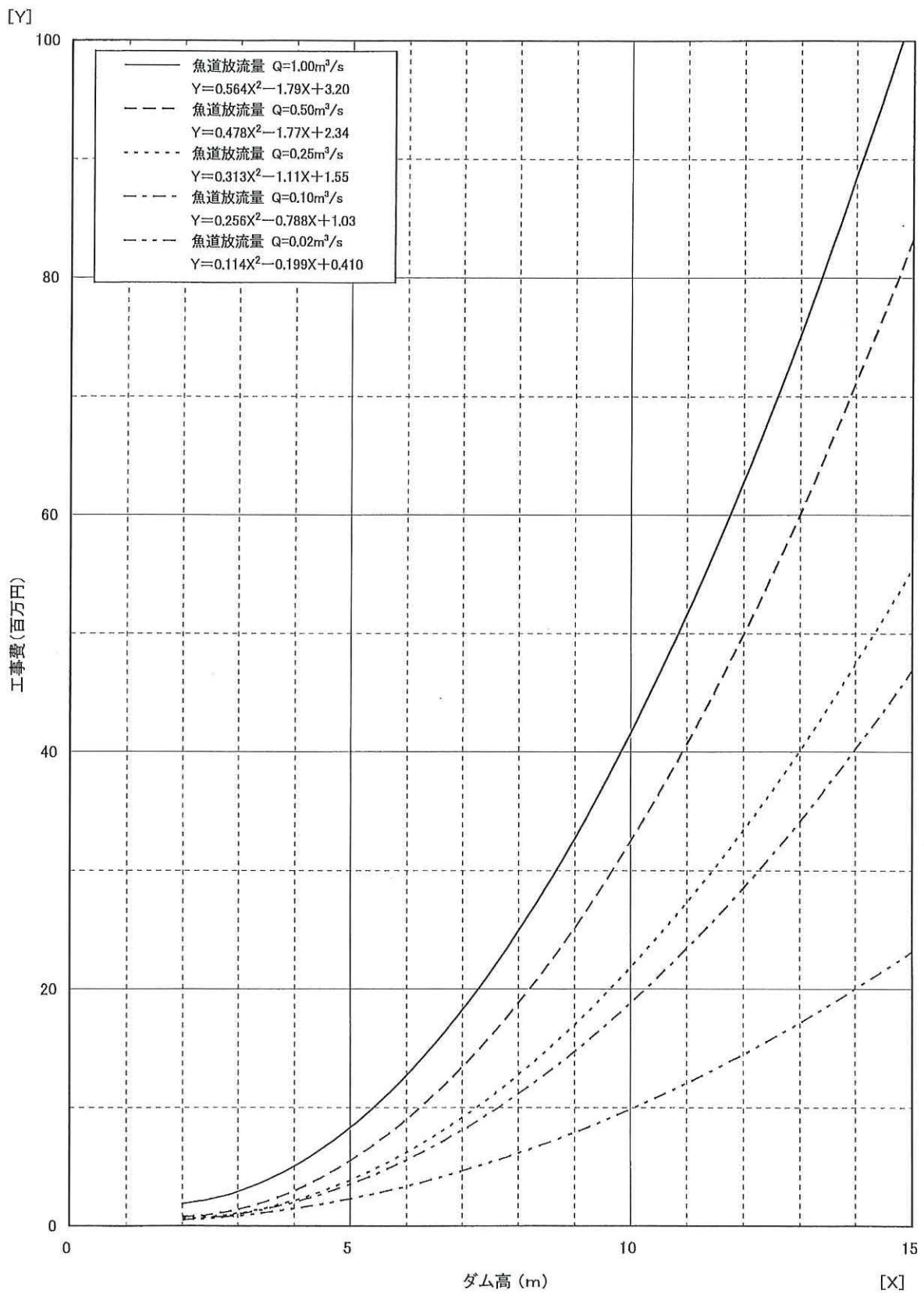
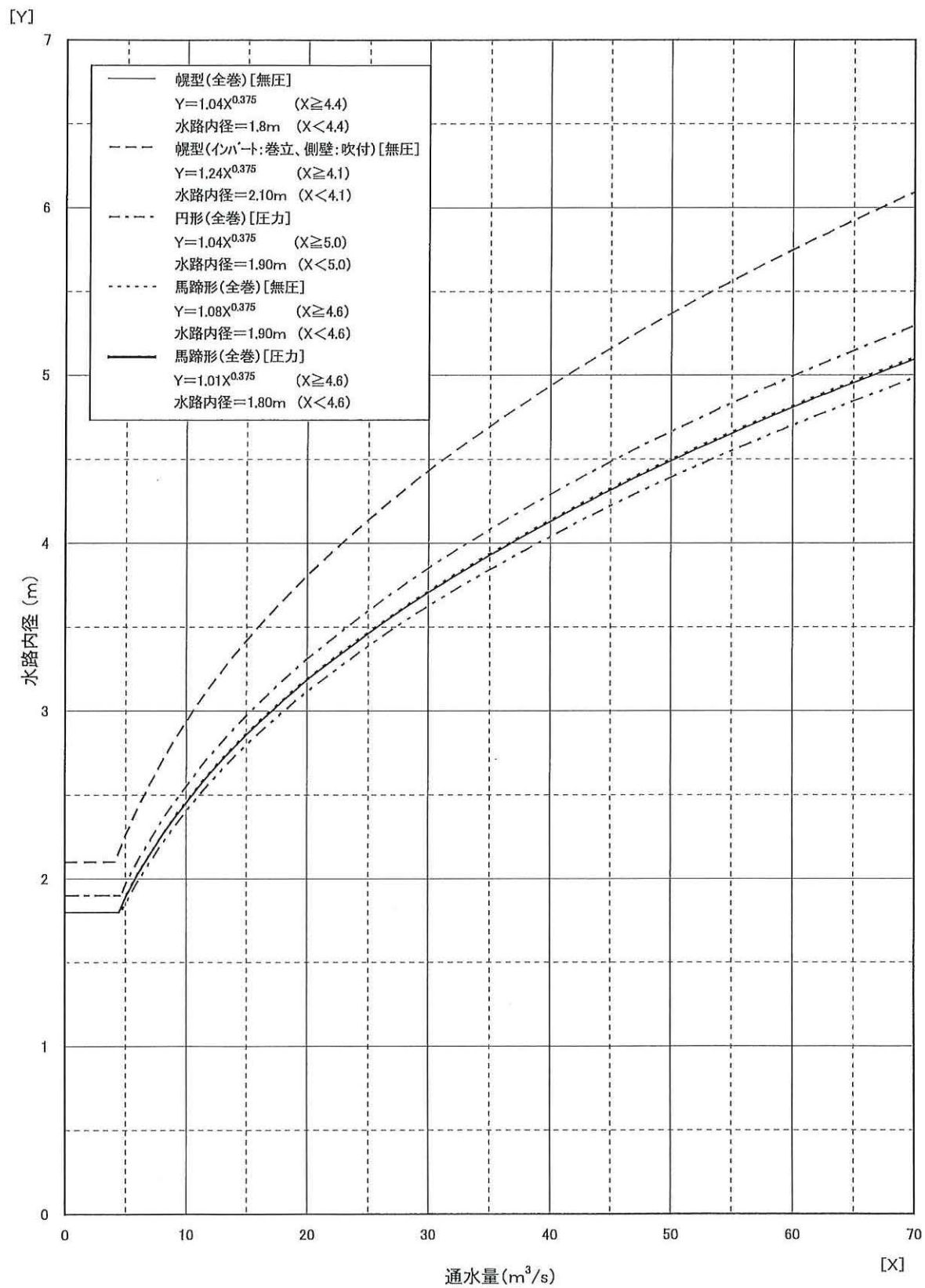
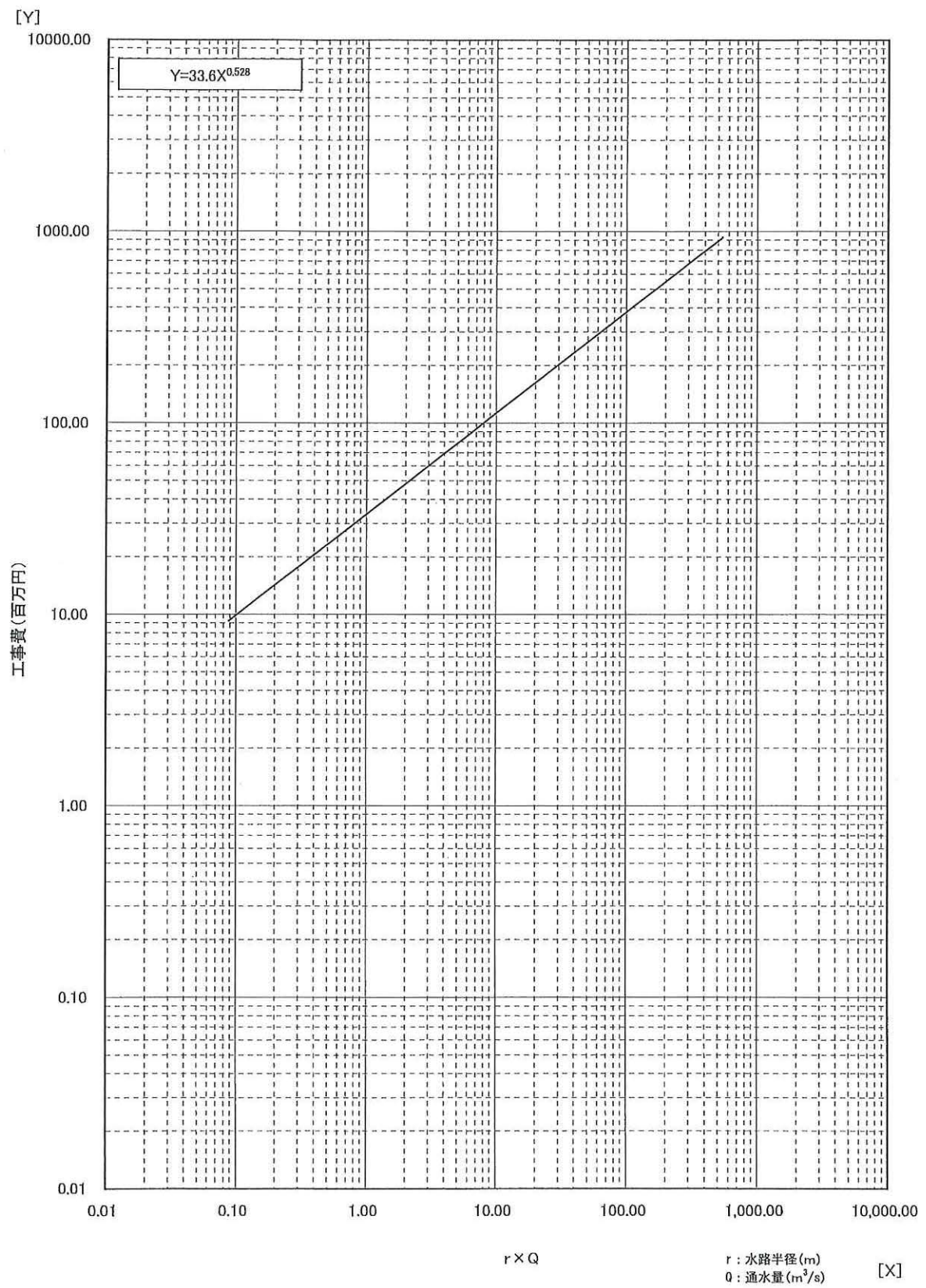


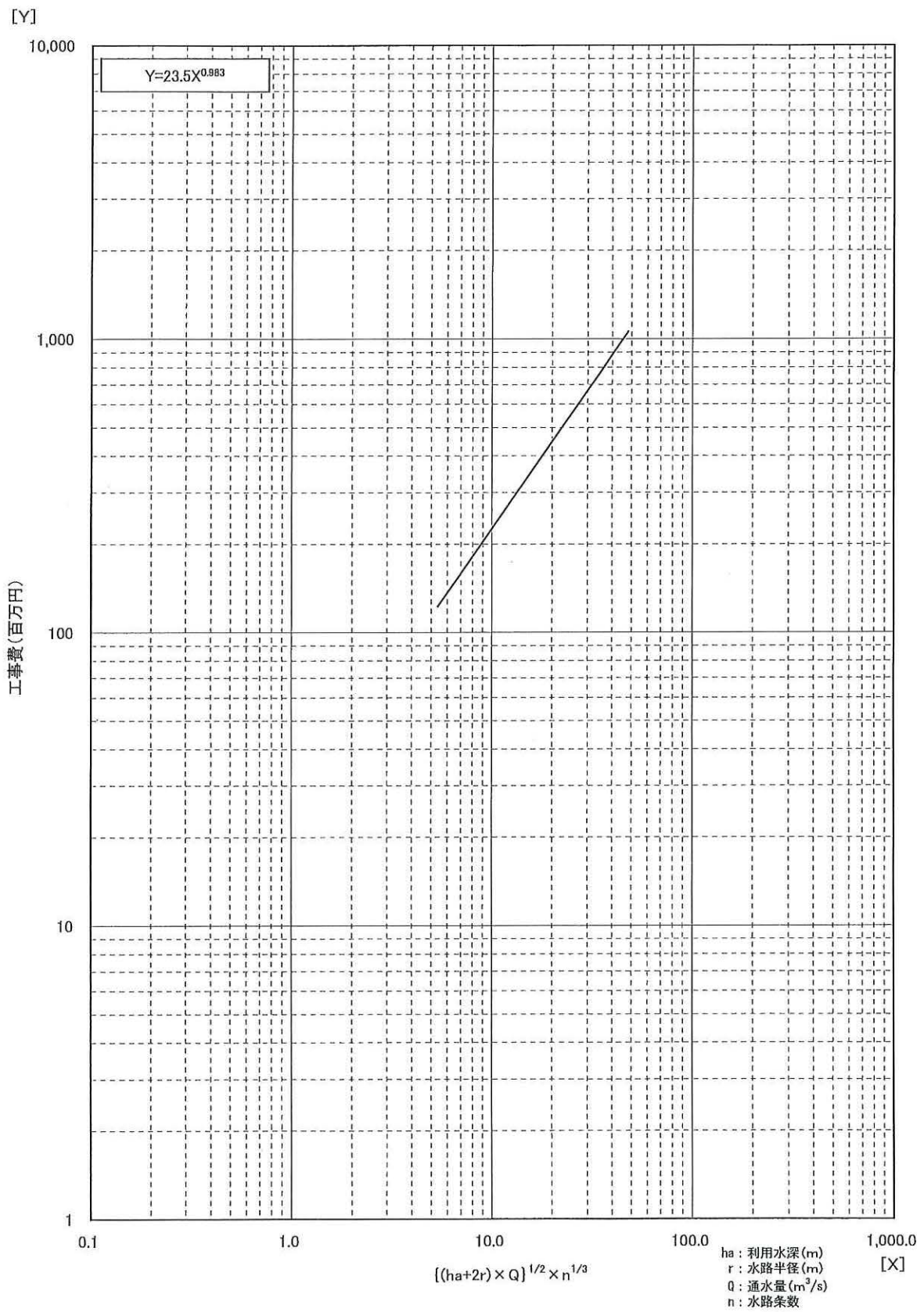
図-1.5 魚道工事費



図一1.6 水路内径



図一.7 取水口工事費(無圧式)



図一.1.8 取水口工事費 (圧力式)

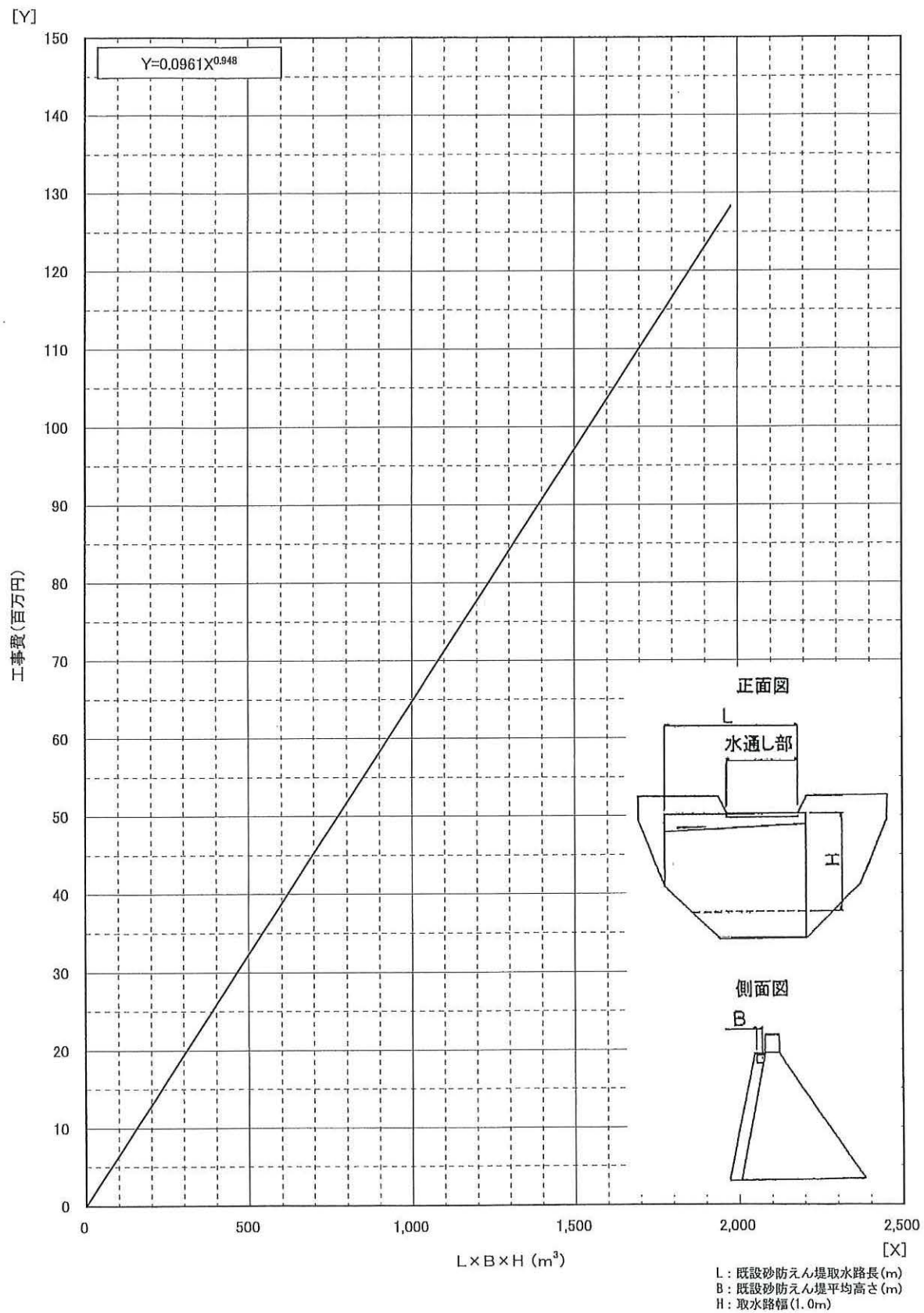


図-1.9 取水口工事費 (チロリアン式)

[Y]

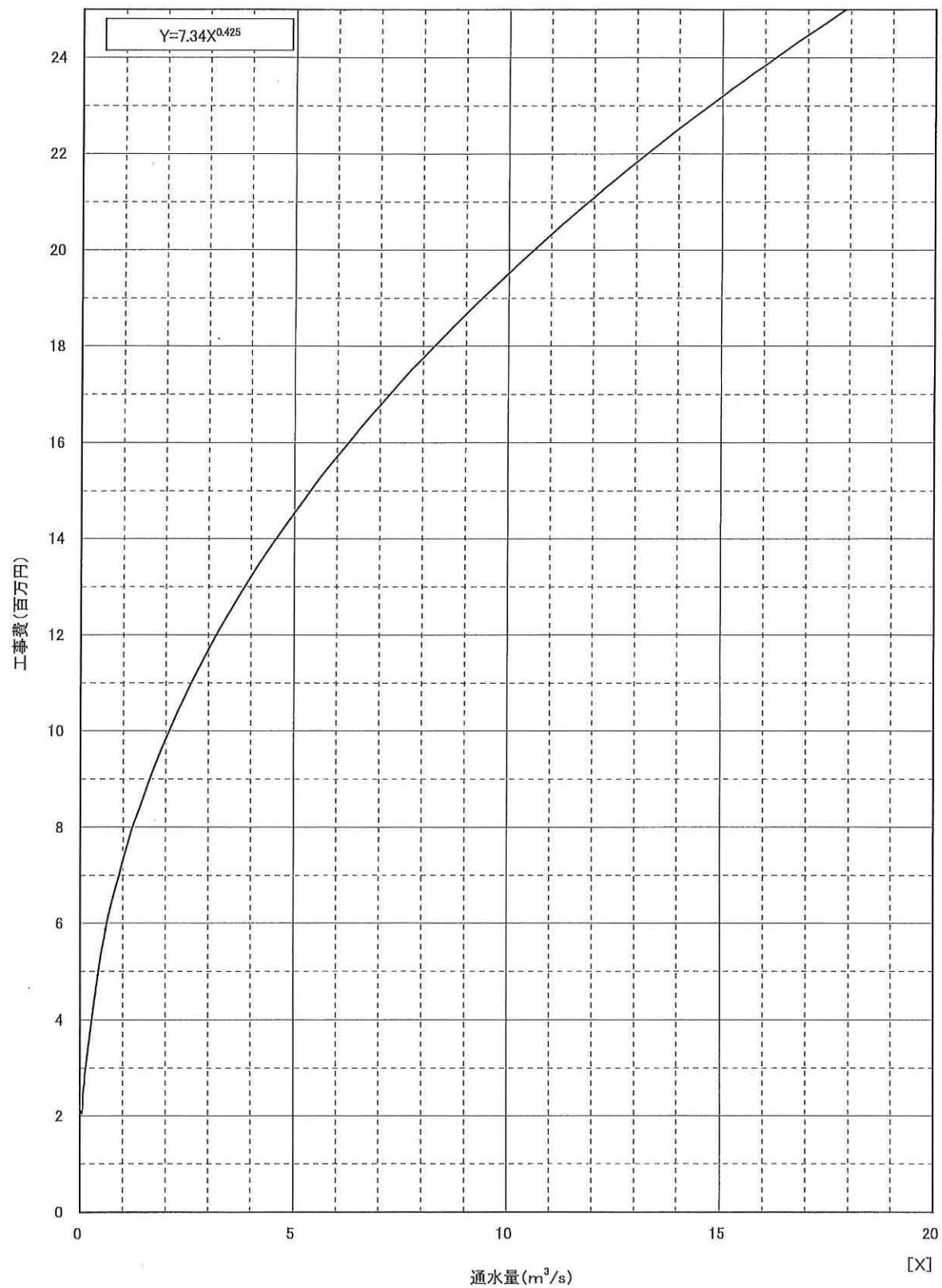
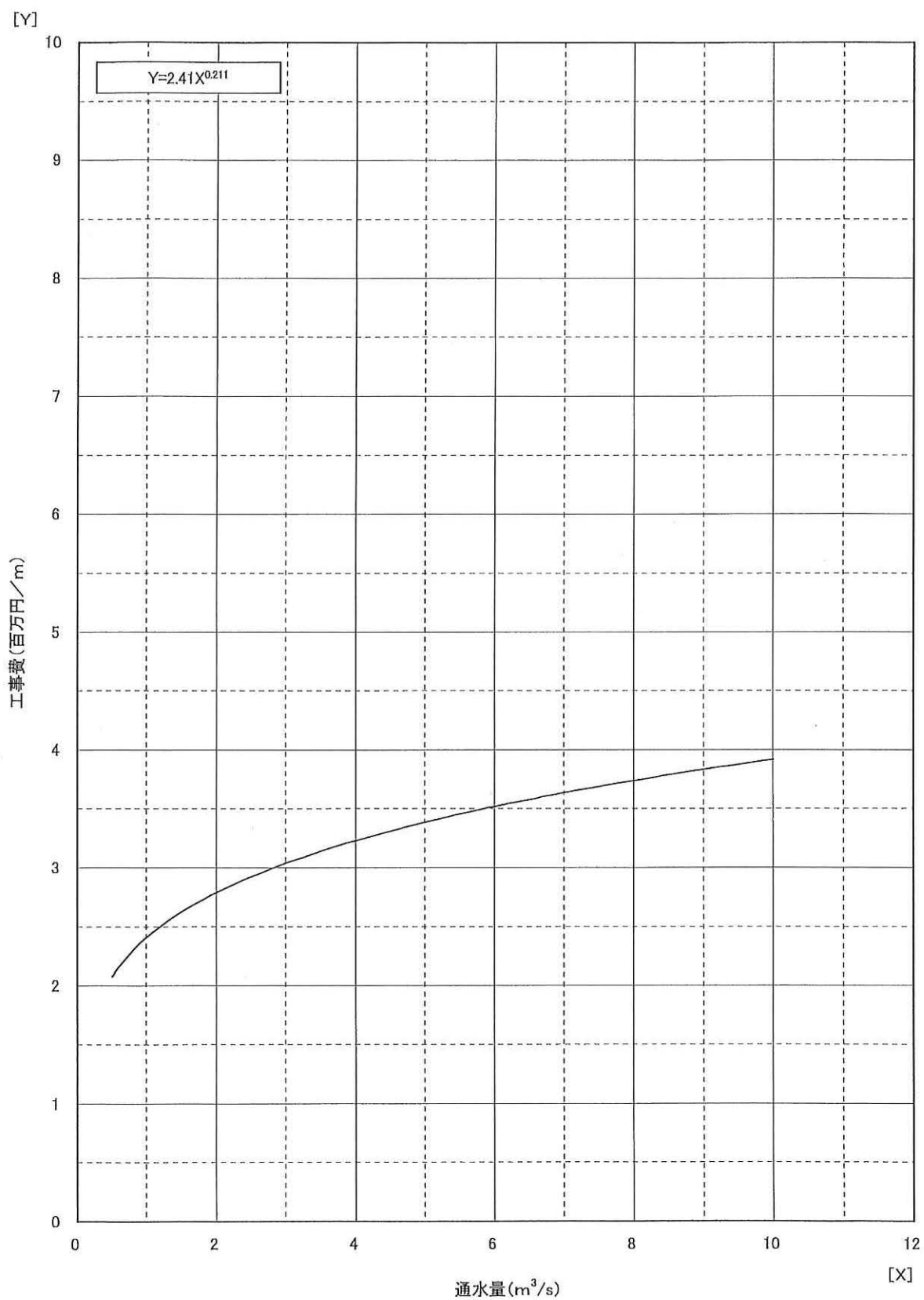


図-1.10 取水口工事費（堤体穴開け式）



図一.11 堤体部工事単価

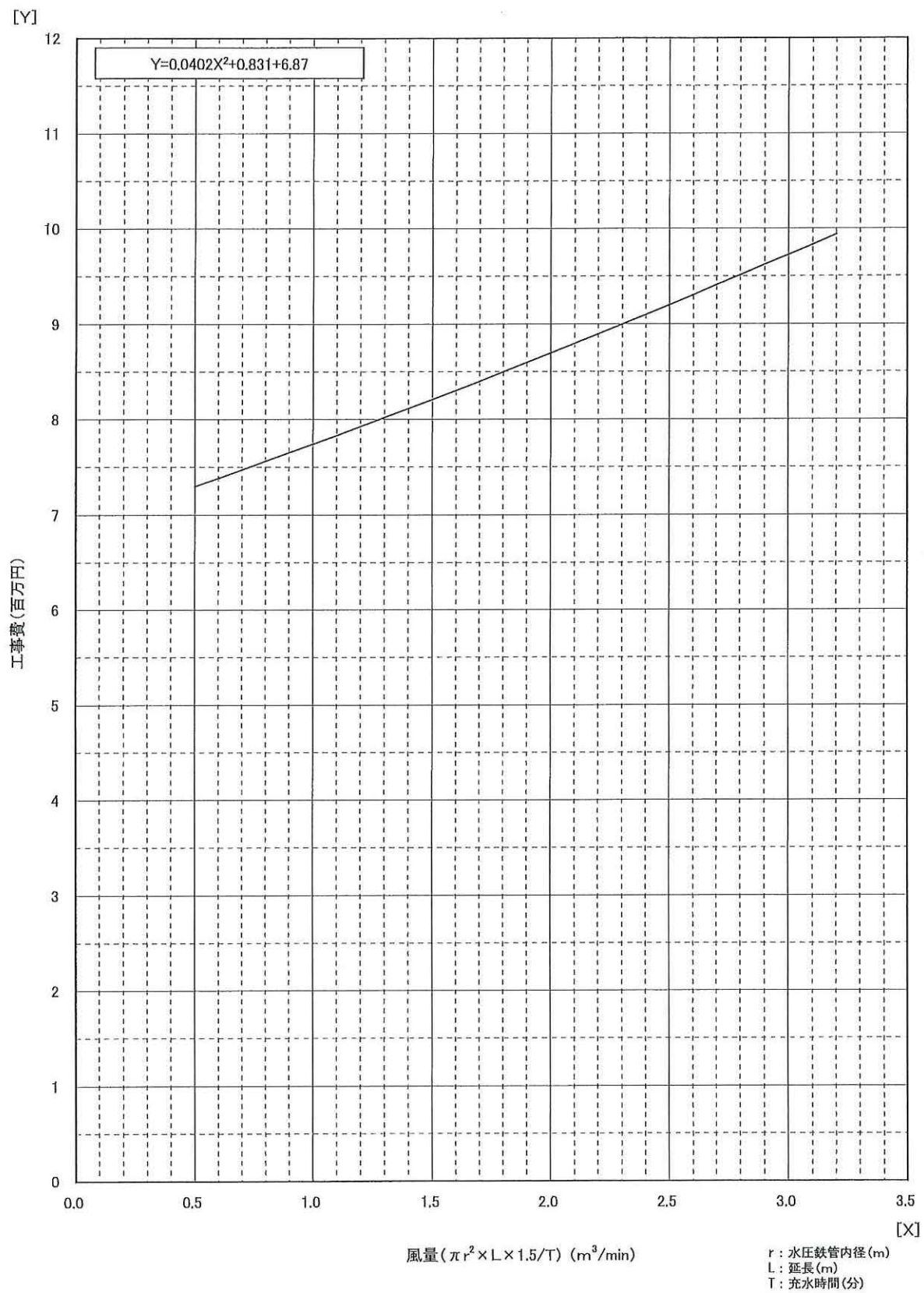
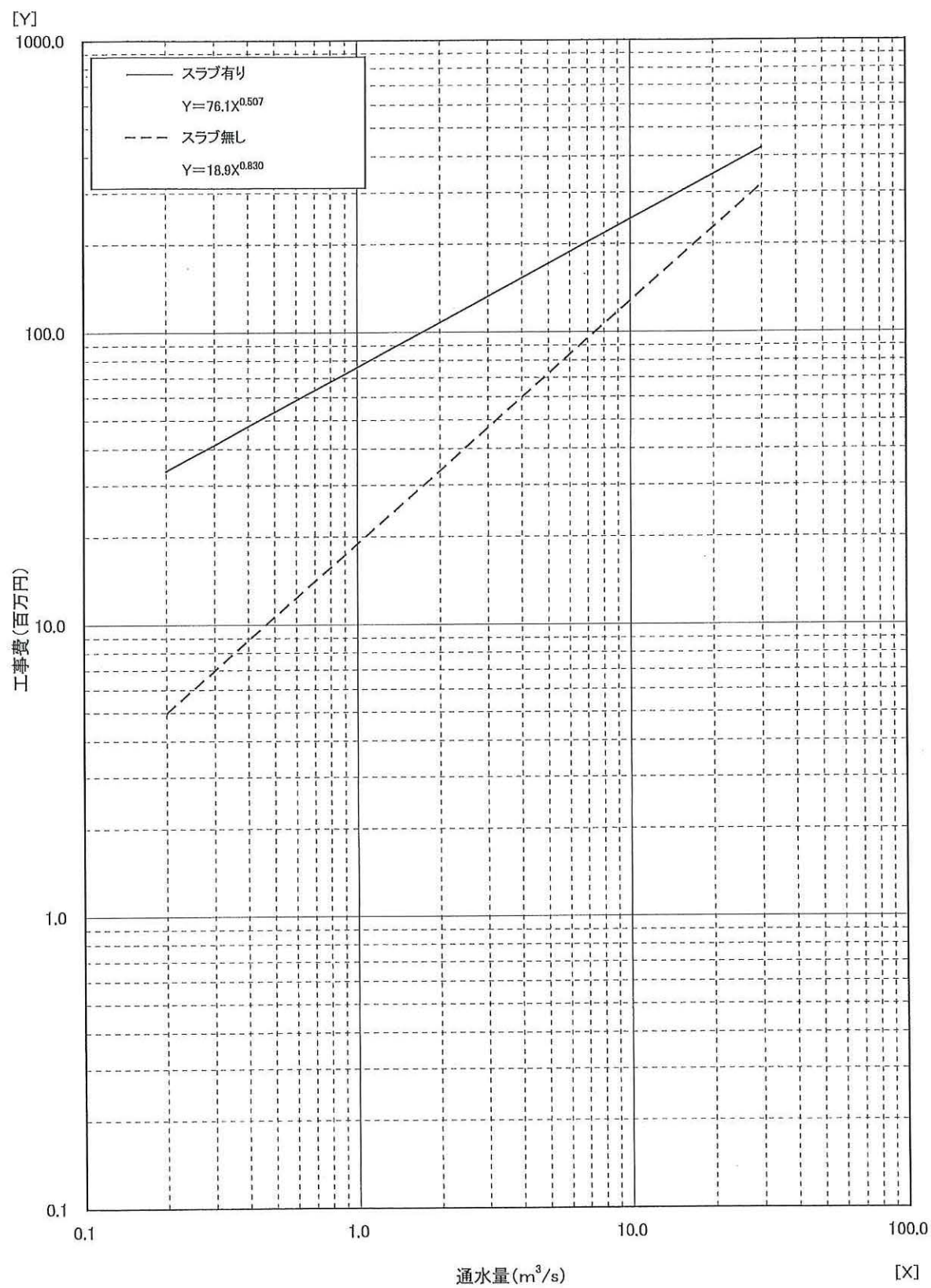


図-1.12 取水口工事費(サイフォン式 真空ポンプ工事費)



図一.13 沈砂池工事費

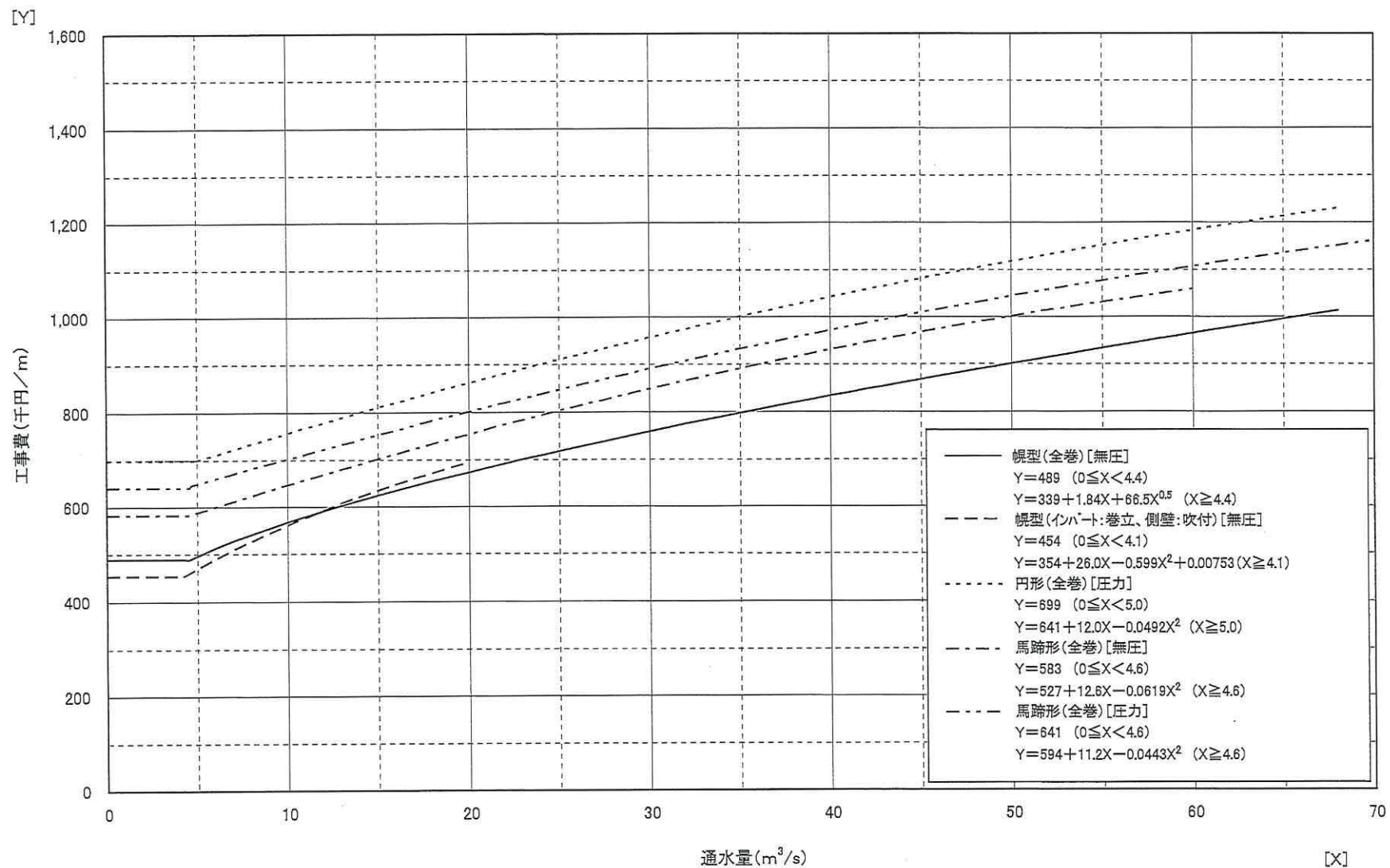
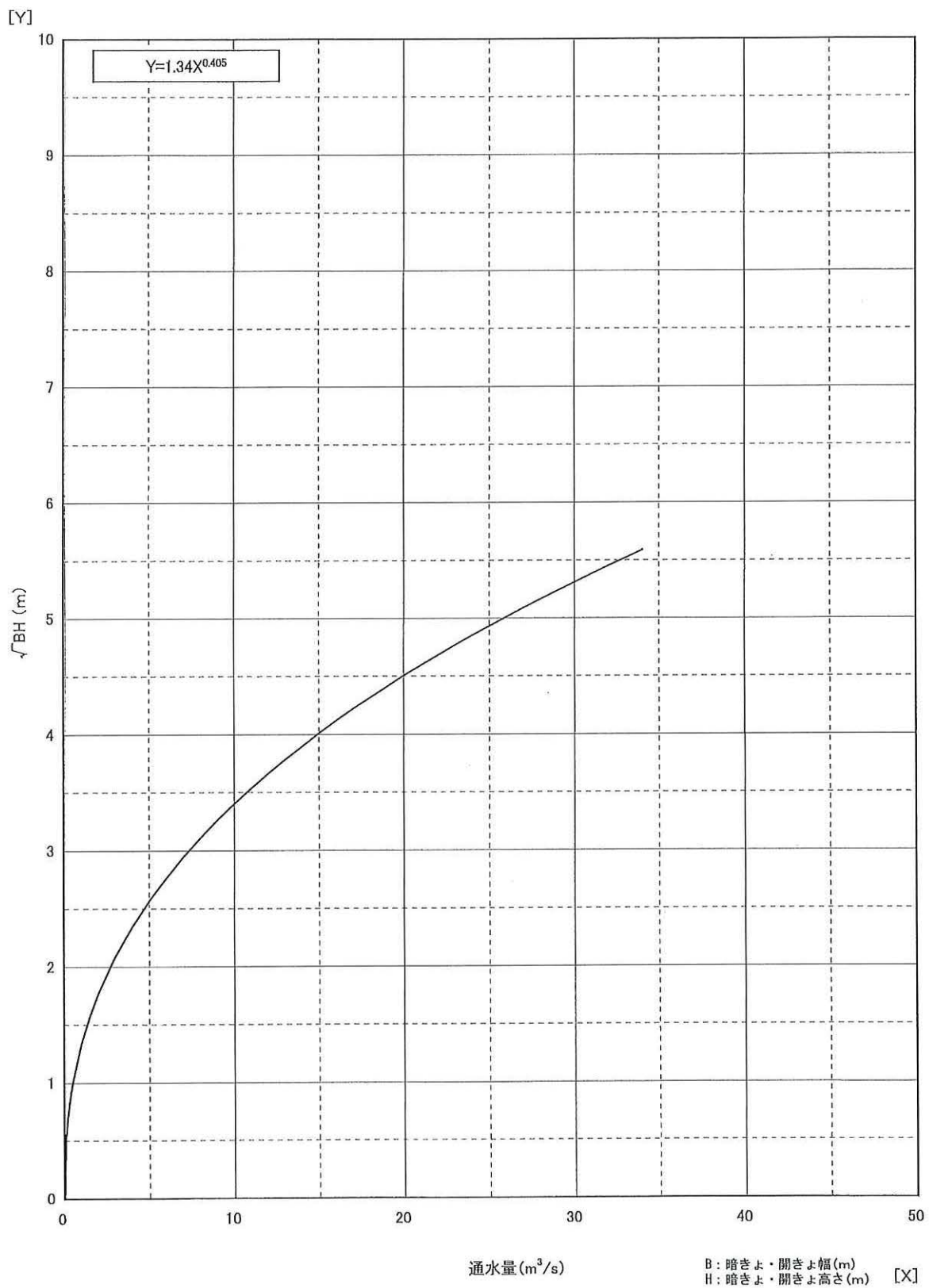


図-1.14 トンネル工事単価



図一1.15 暗きよ・開きよ断面寸法

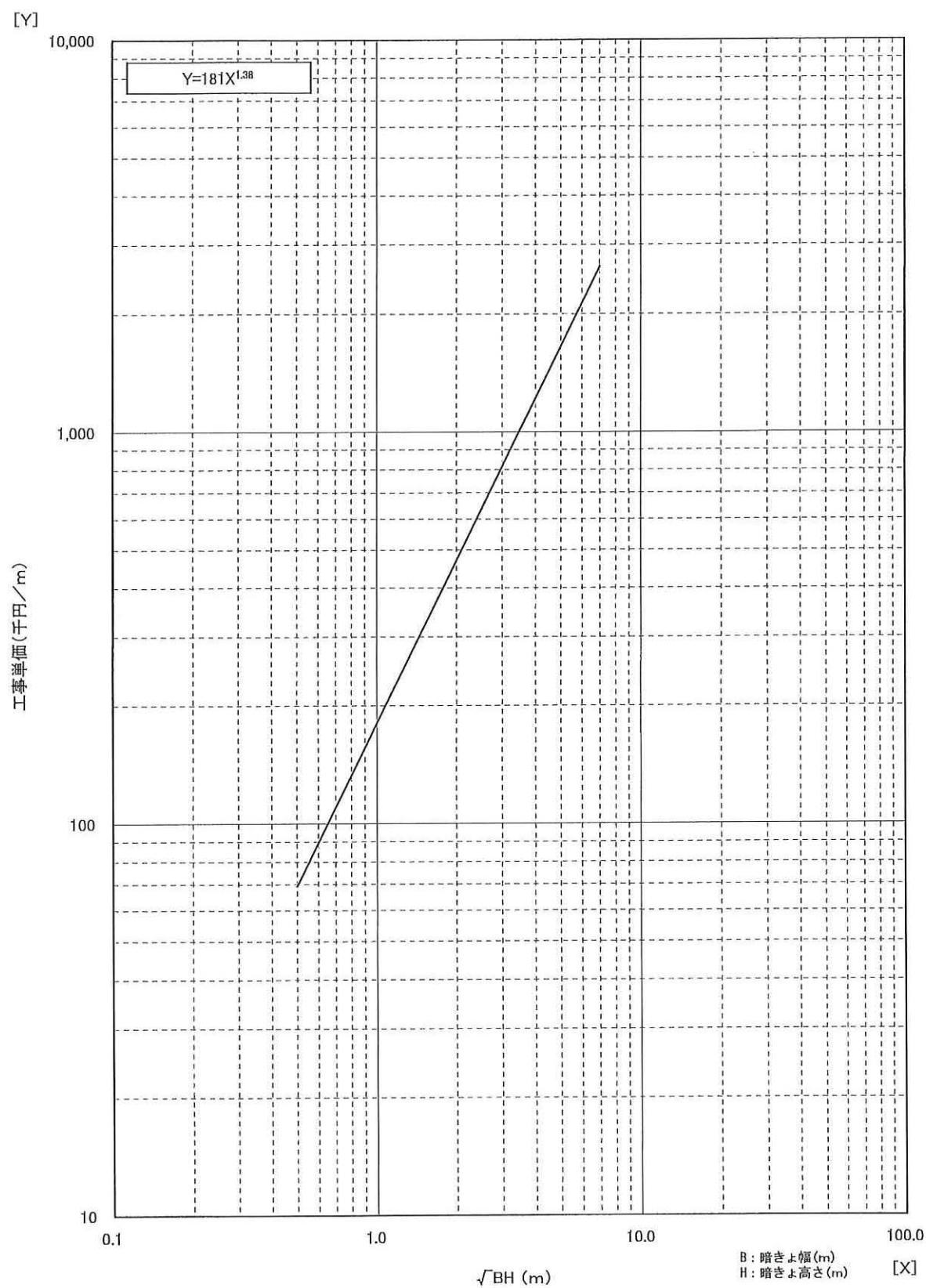


図-1.16 暗きよ工事単価

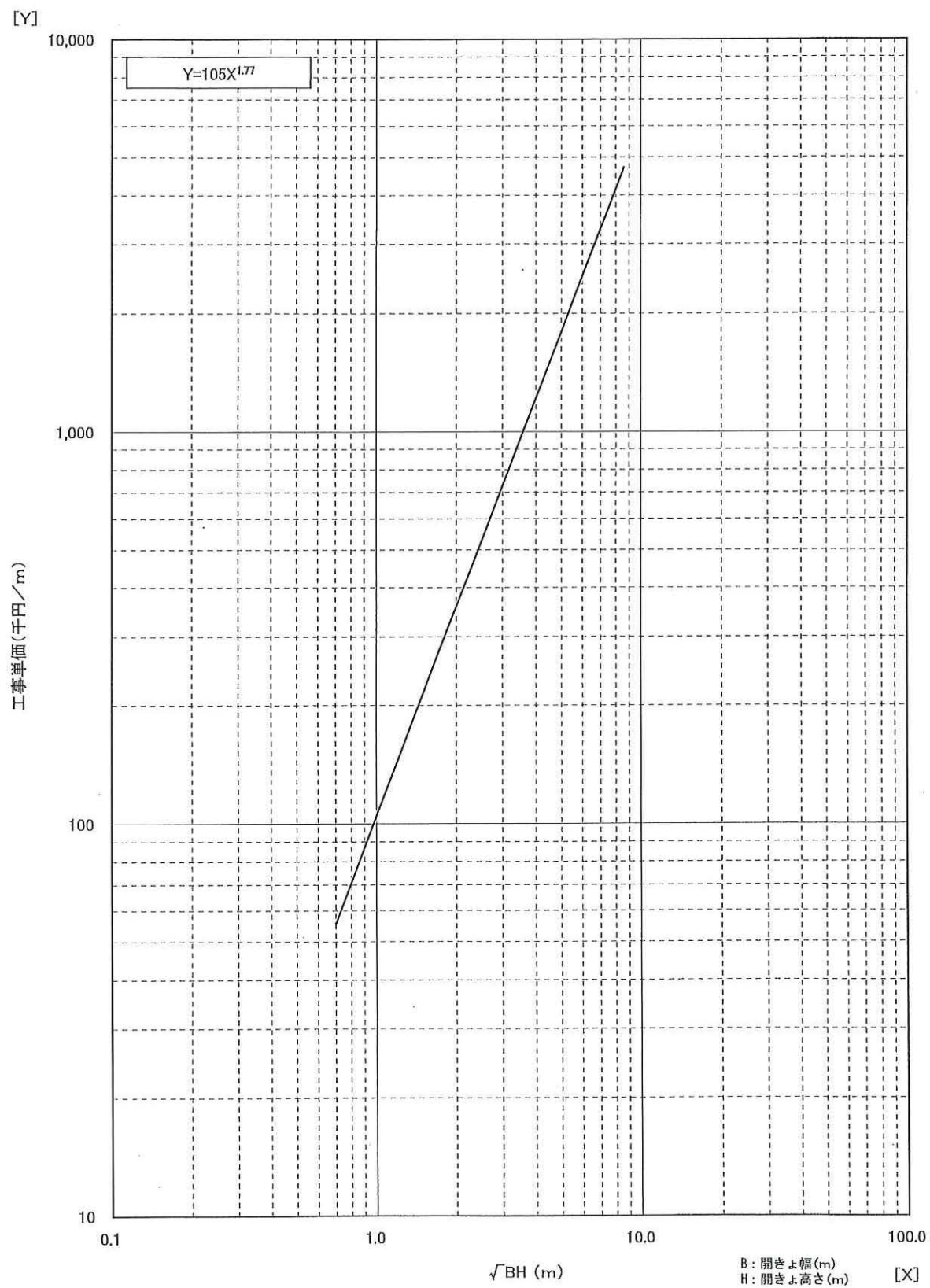


図-1.17 開きよ工事単価

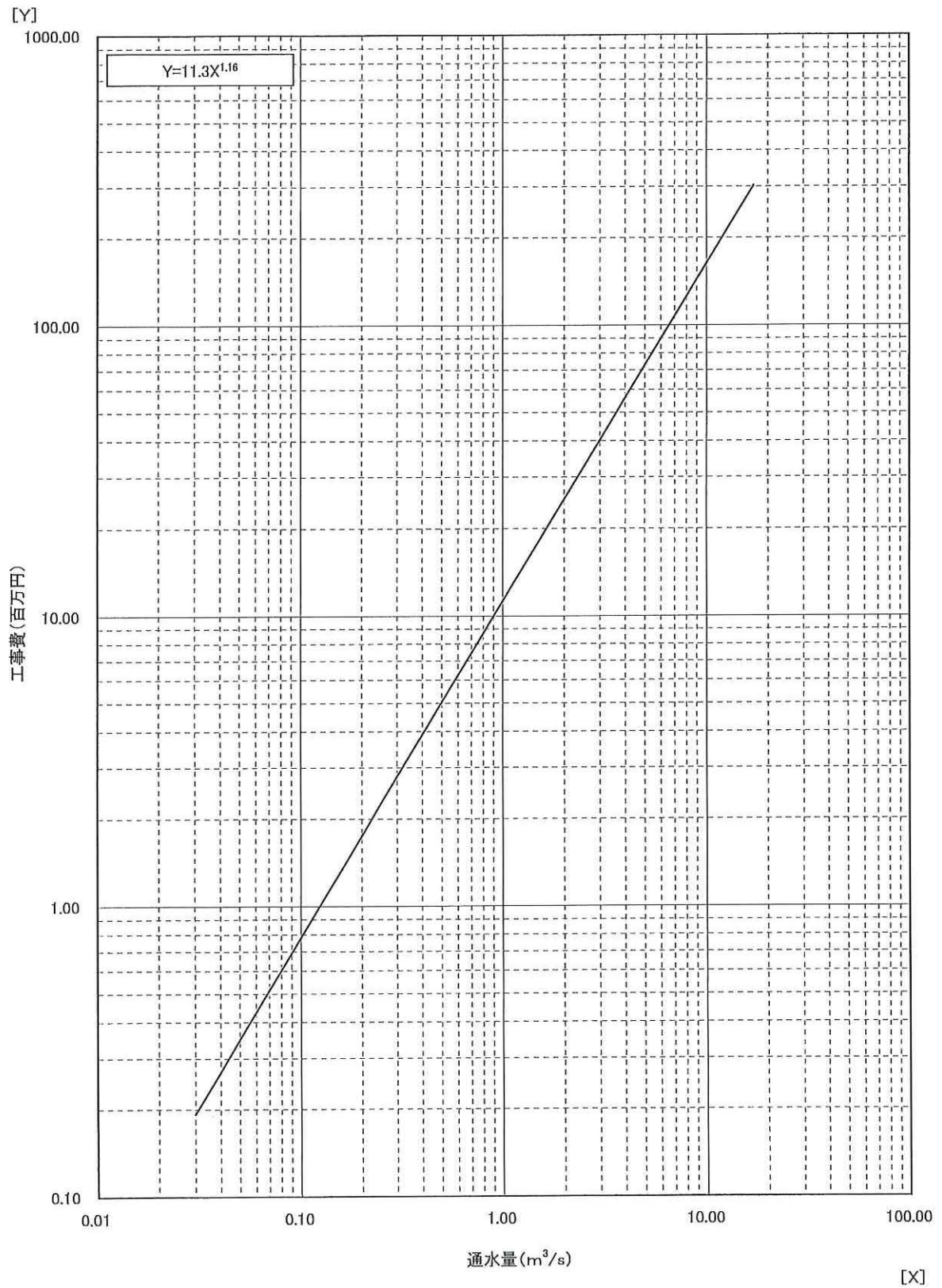


図-1.18 ヘッドタンク工事費

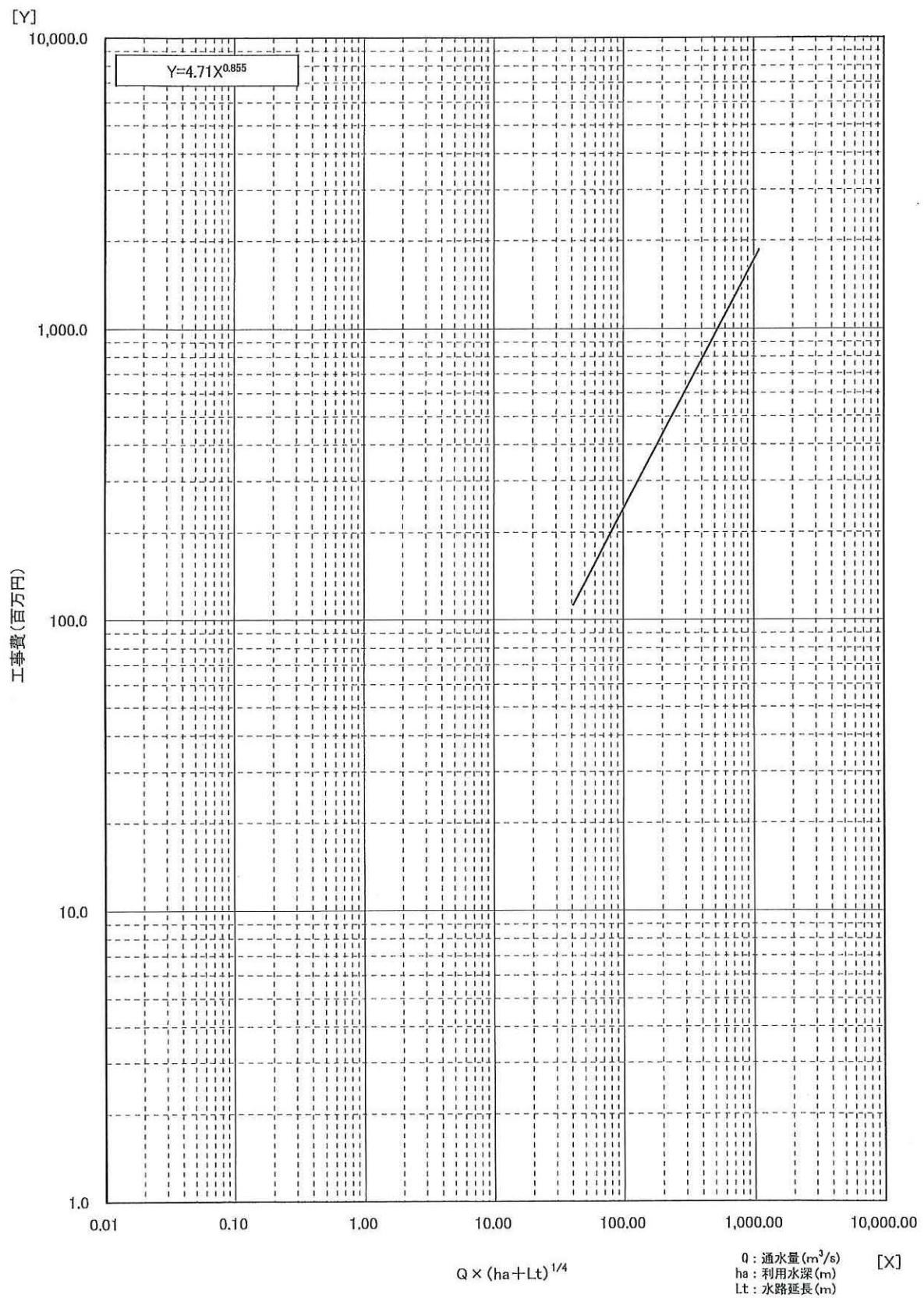
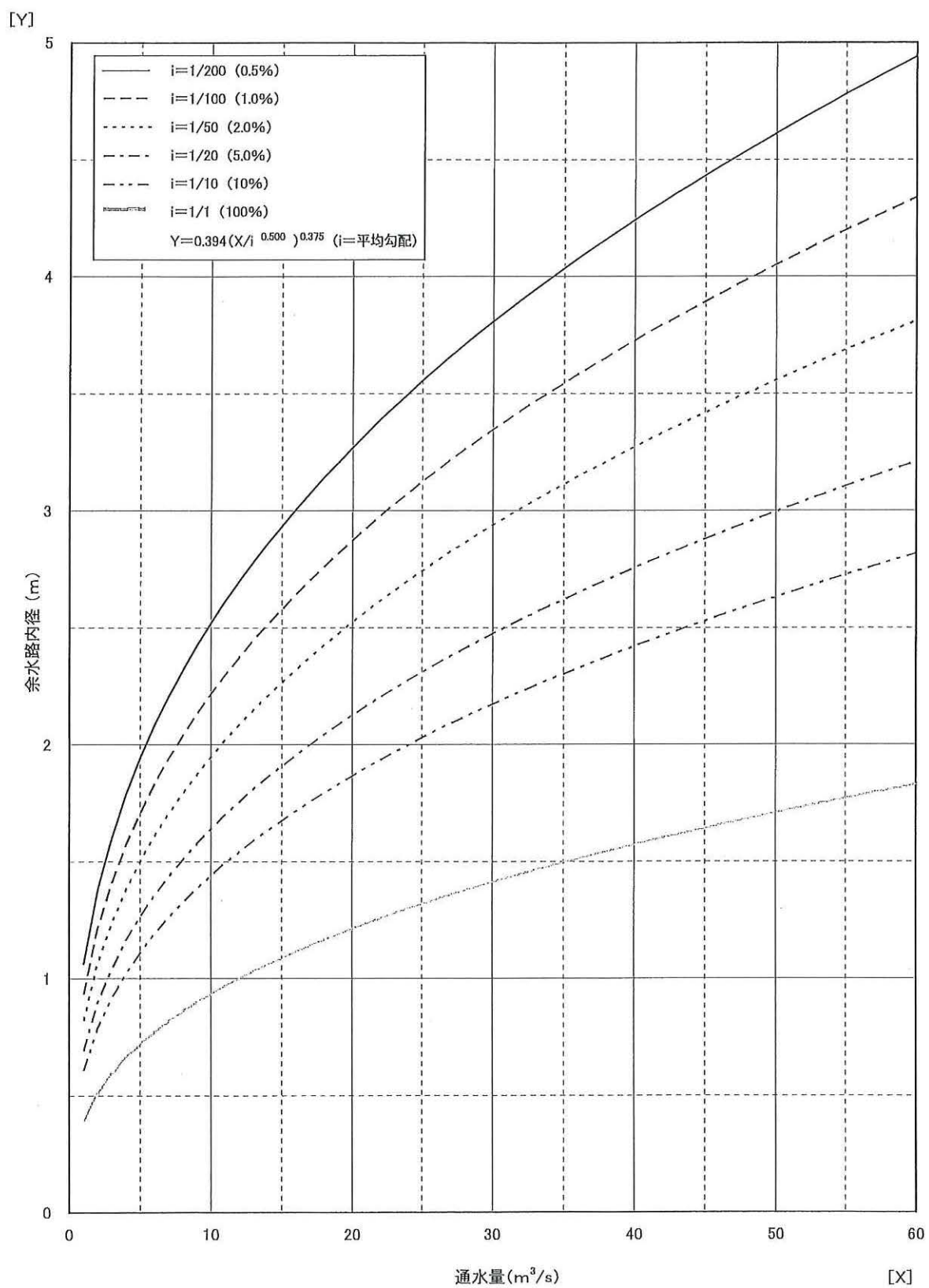
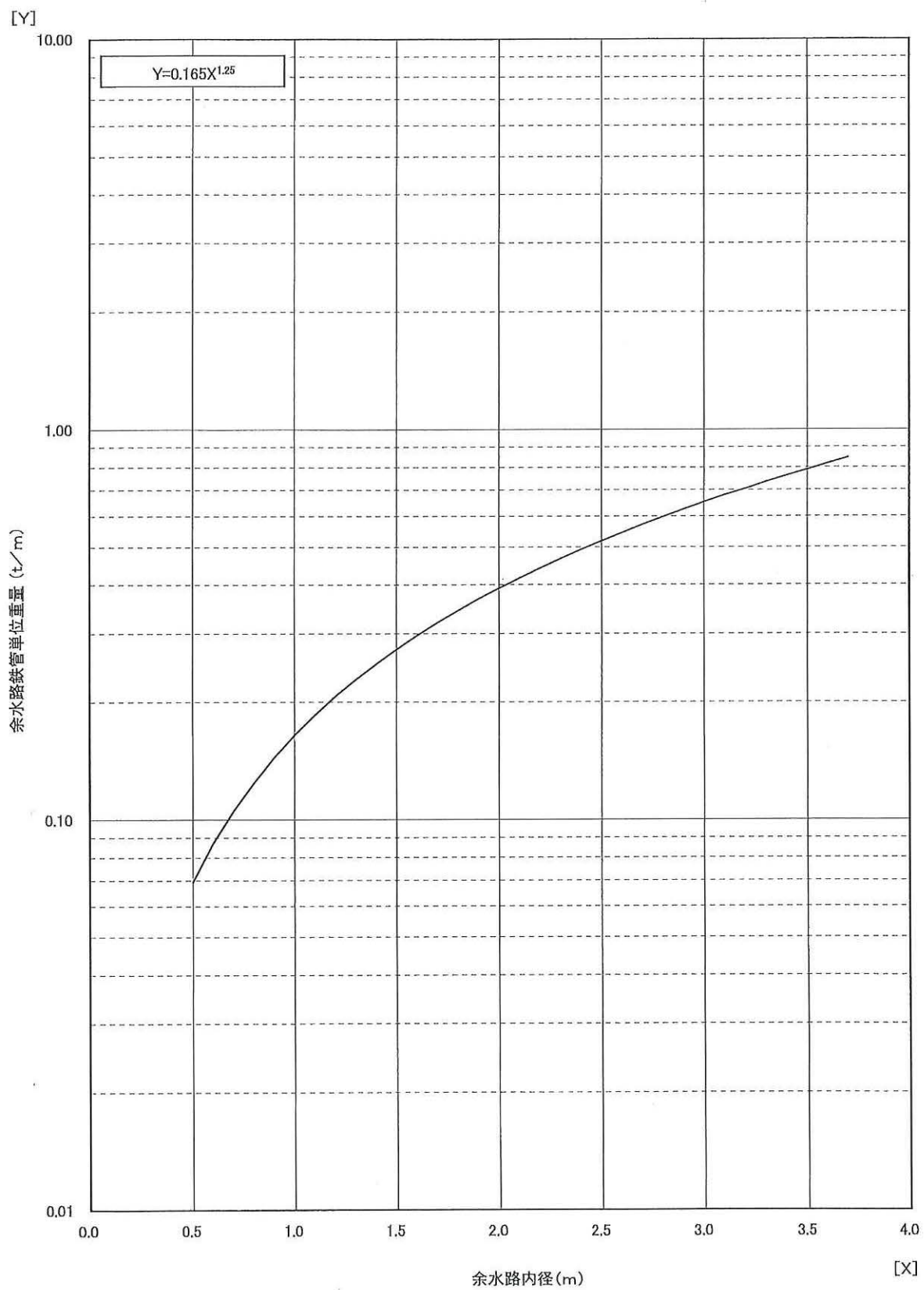


図-1.19 サージタンク工事費



図一.20 余水路内径



図一.21 余水路鉄管単位長重量

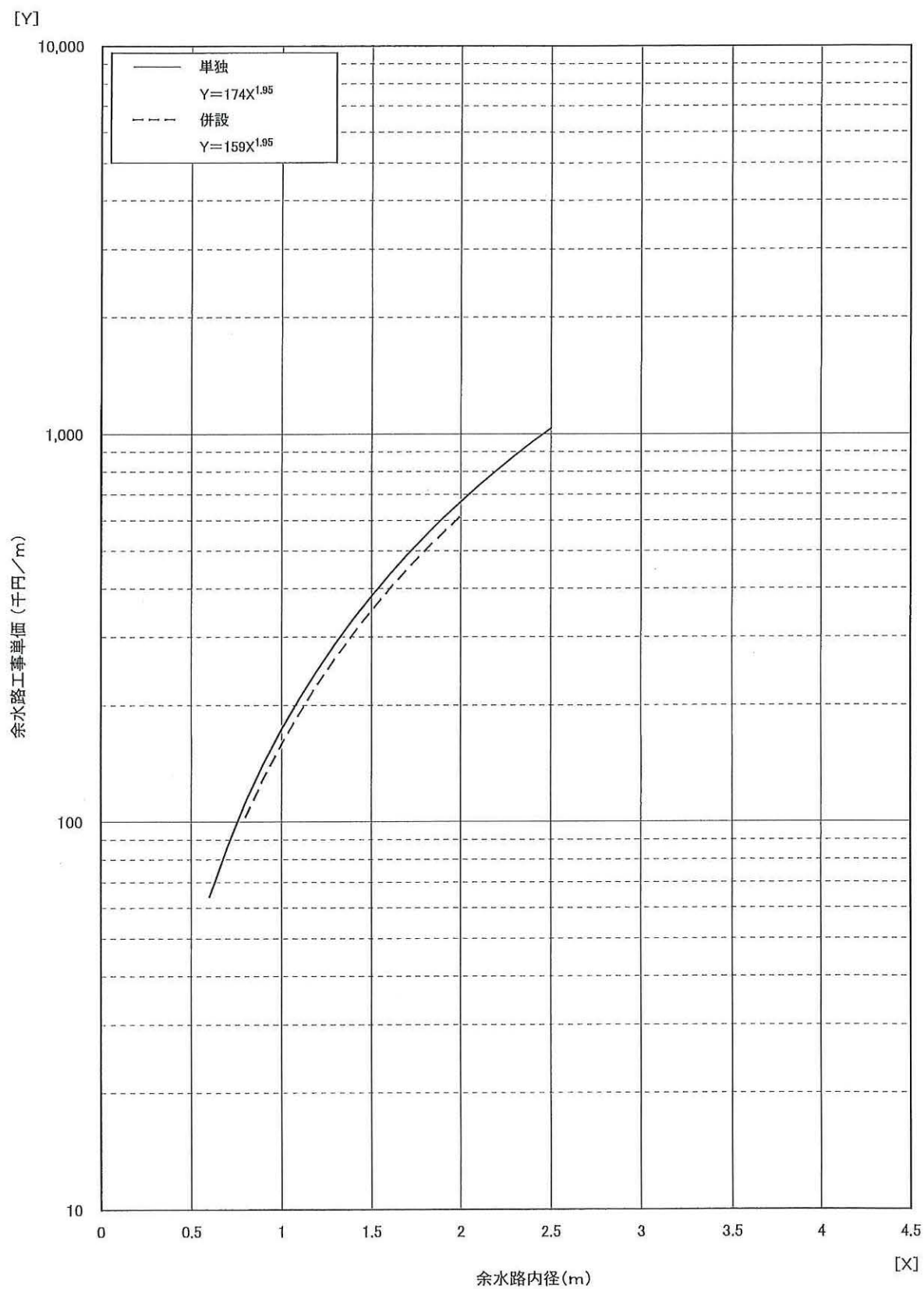
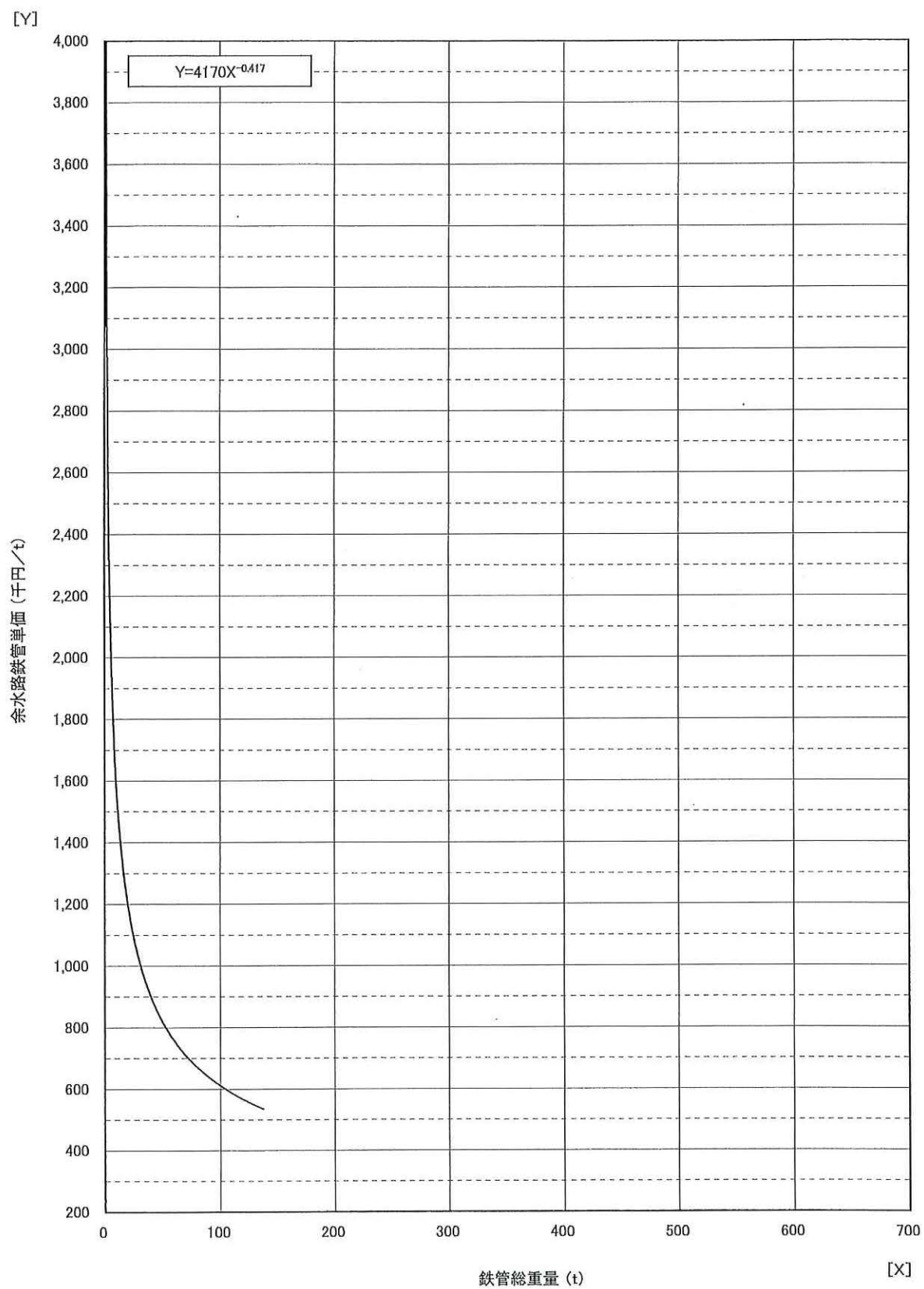


図-1.22 余水路工事単価<鉄管除く>



図一.23 余水路鉄管単価

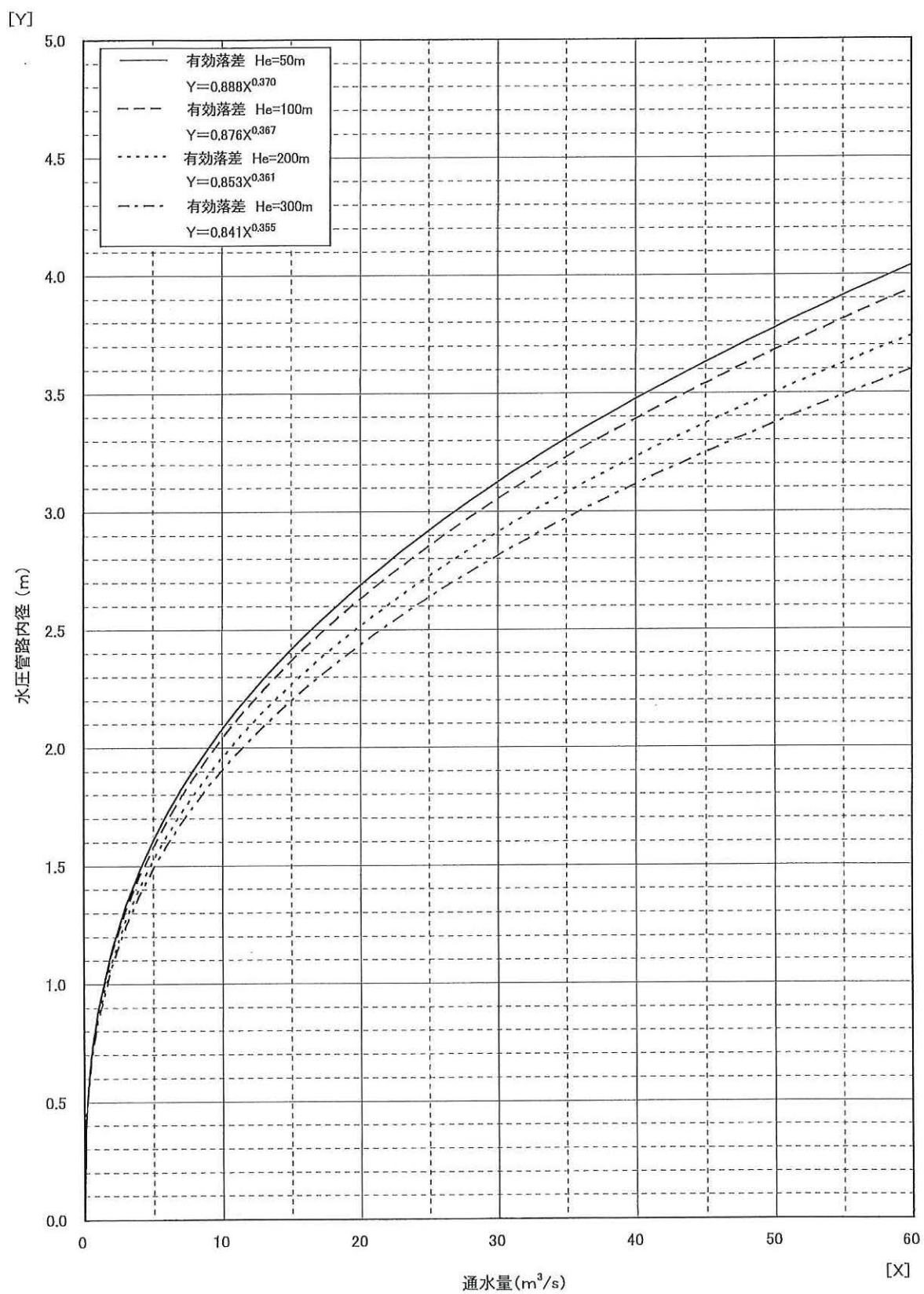


图-1.24 水压管路内径

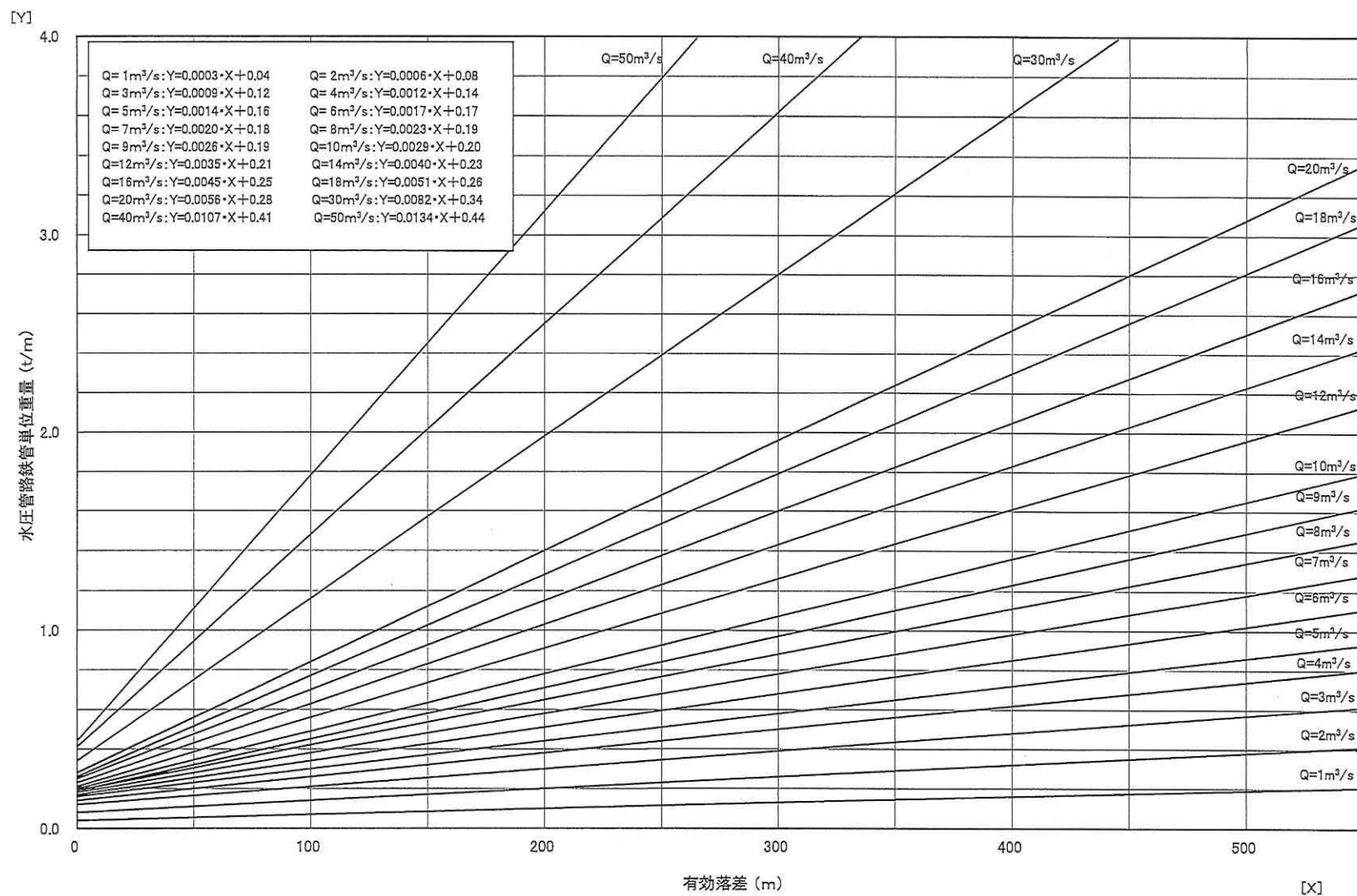
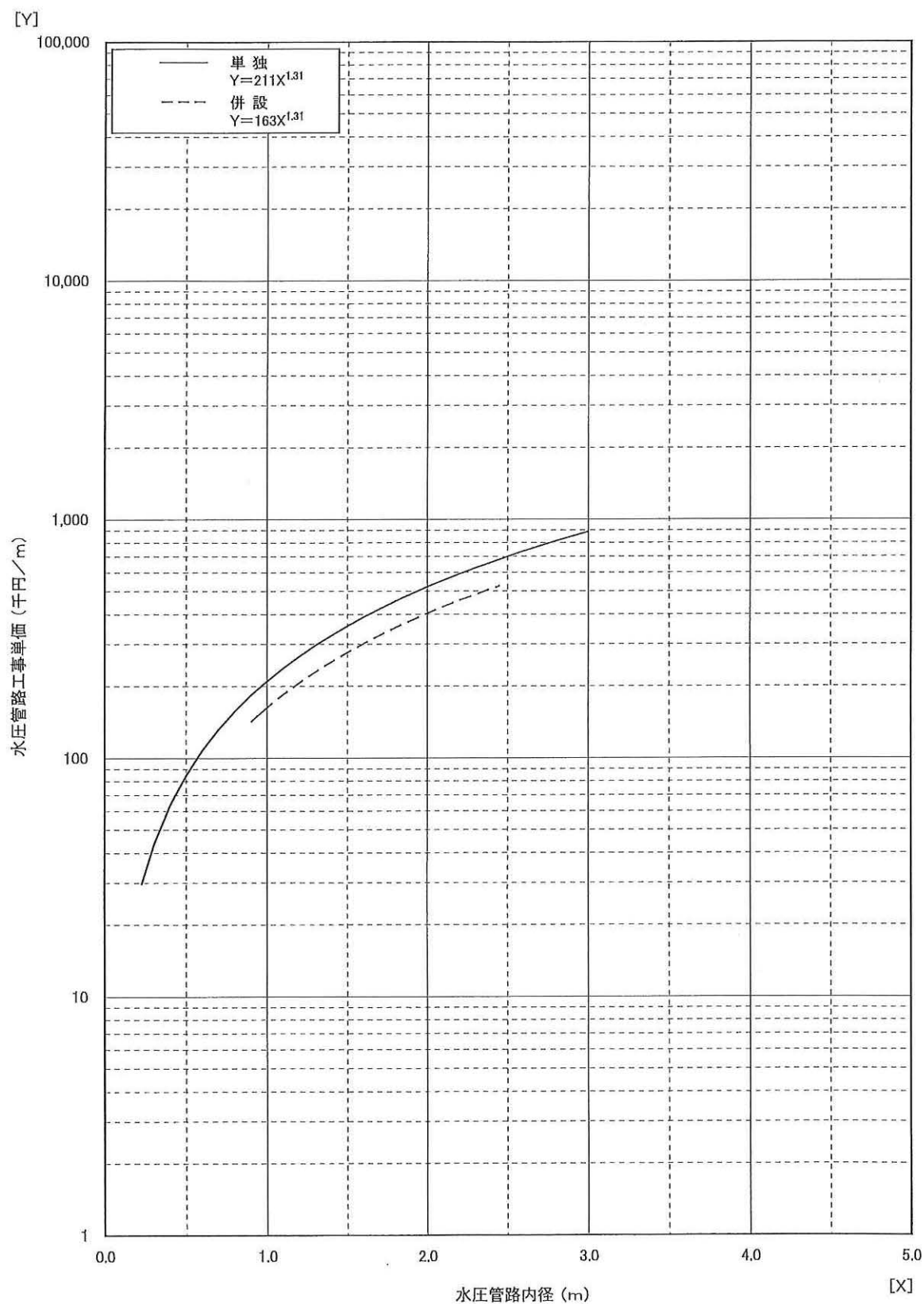


図-1.25 水压管路鉄管単位長重量



図一1.26 水圧管路工事単価（露出式）＜鉄管除く＞

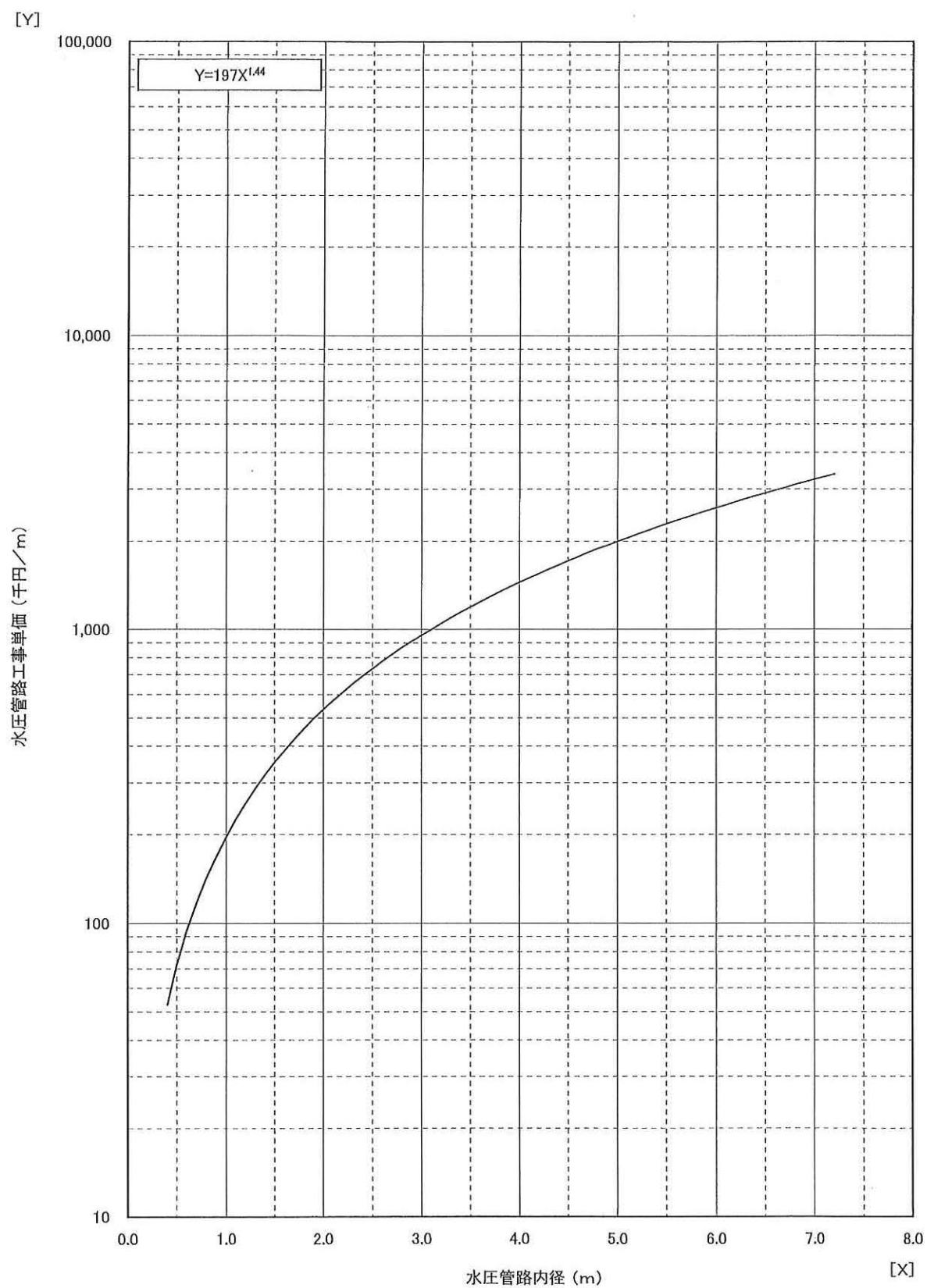


図-1.27 水圧管路工事単価 (埋設式) <鉄管除く>

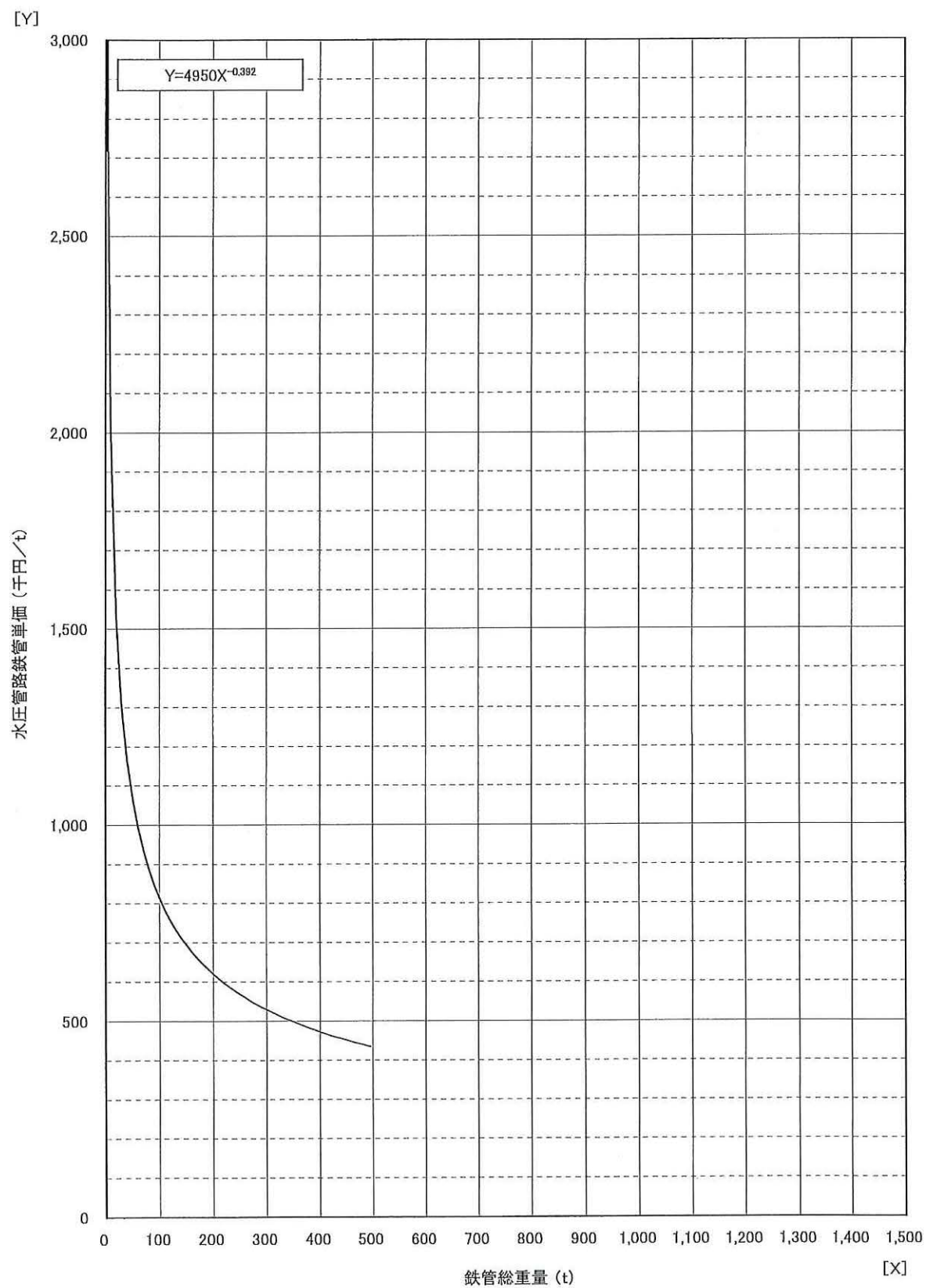
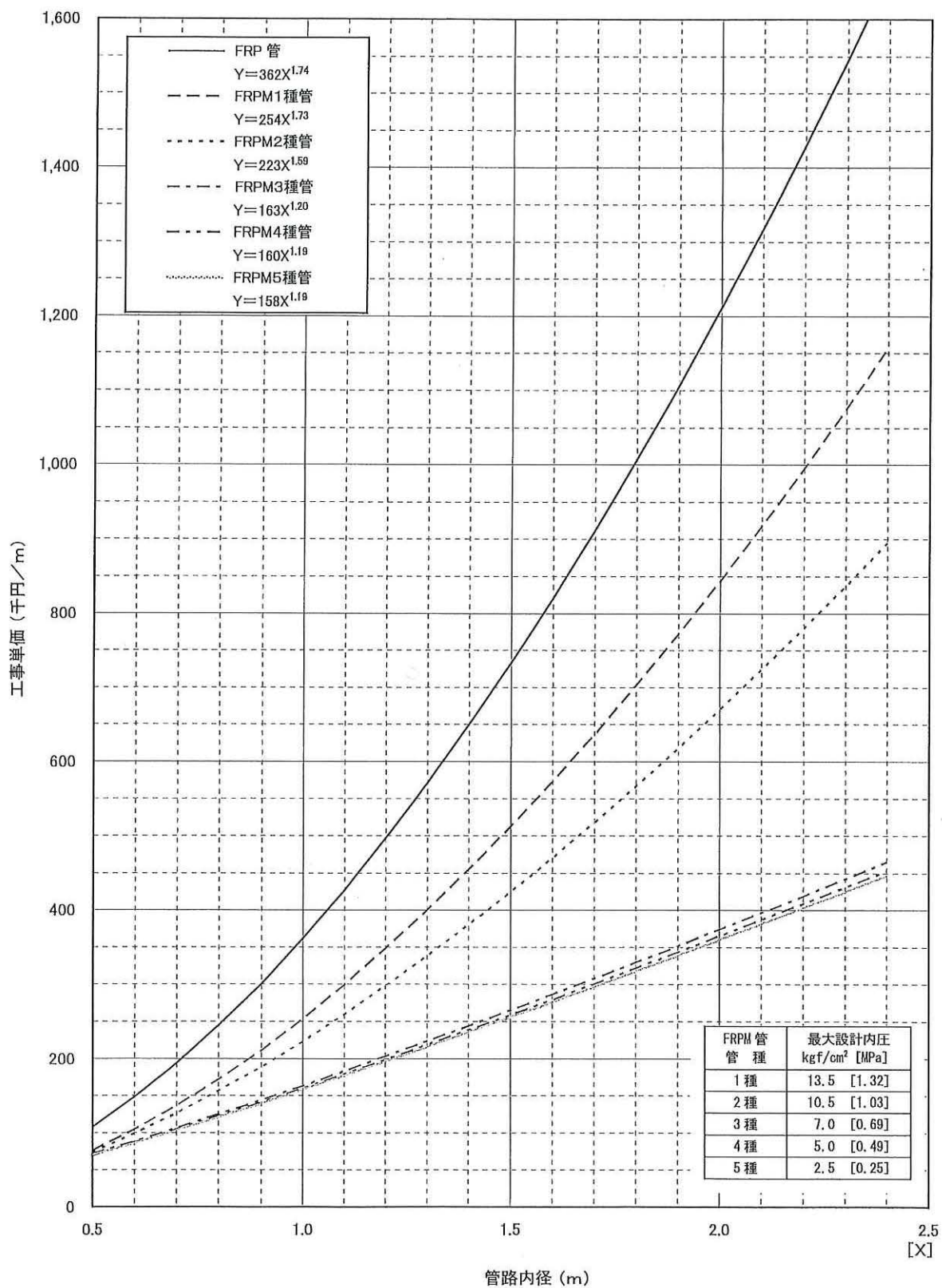


図-1.28 水压管路鉄管単価

[Y]



図一2. 58 FRP (M) 管工事単価 (露出式)

[Y]

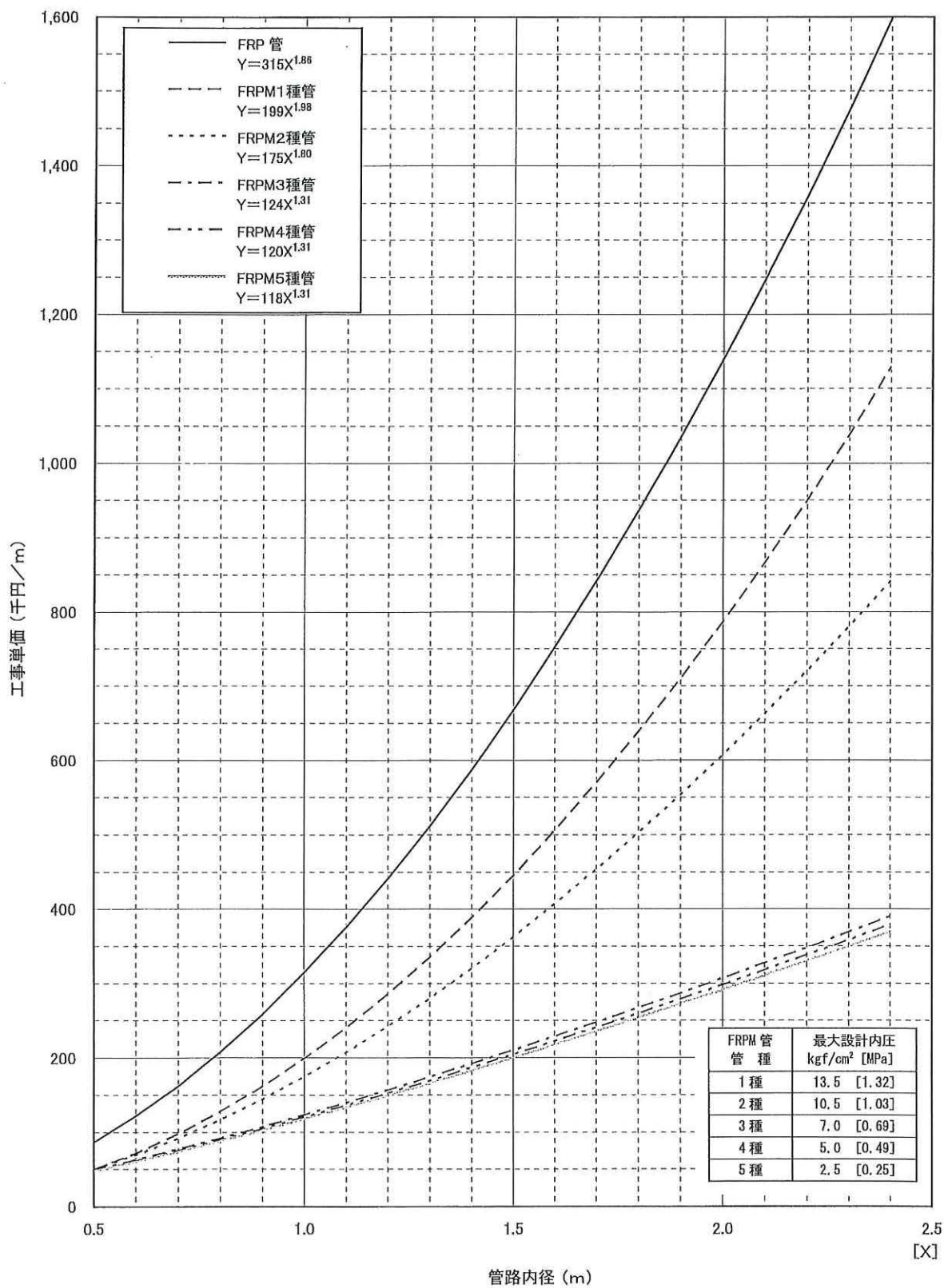


図-2.59 FRP(M)管工事単価(埋設式)

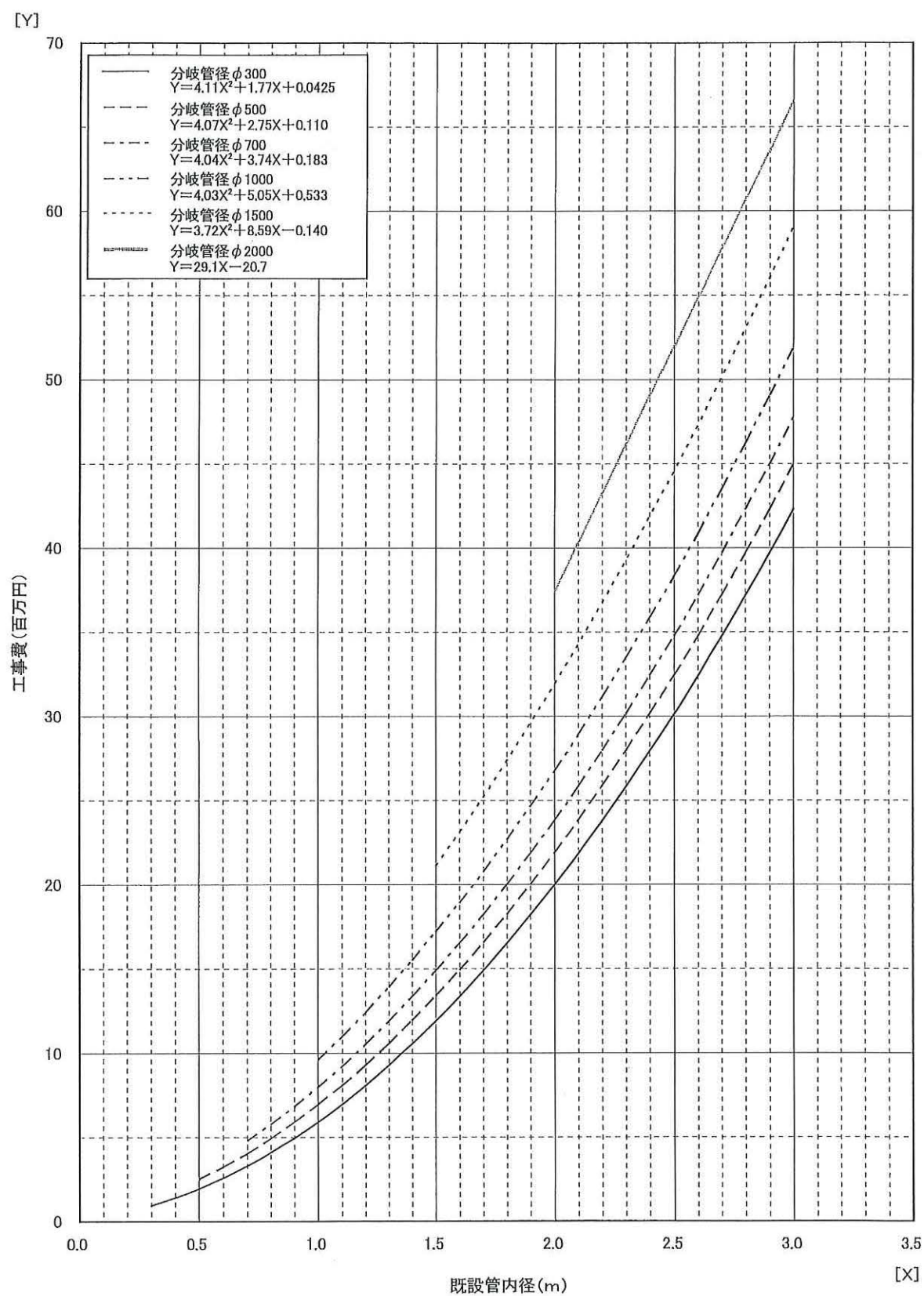
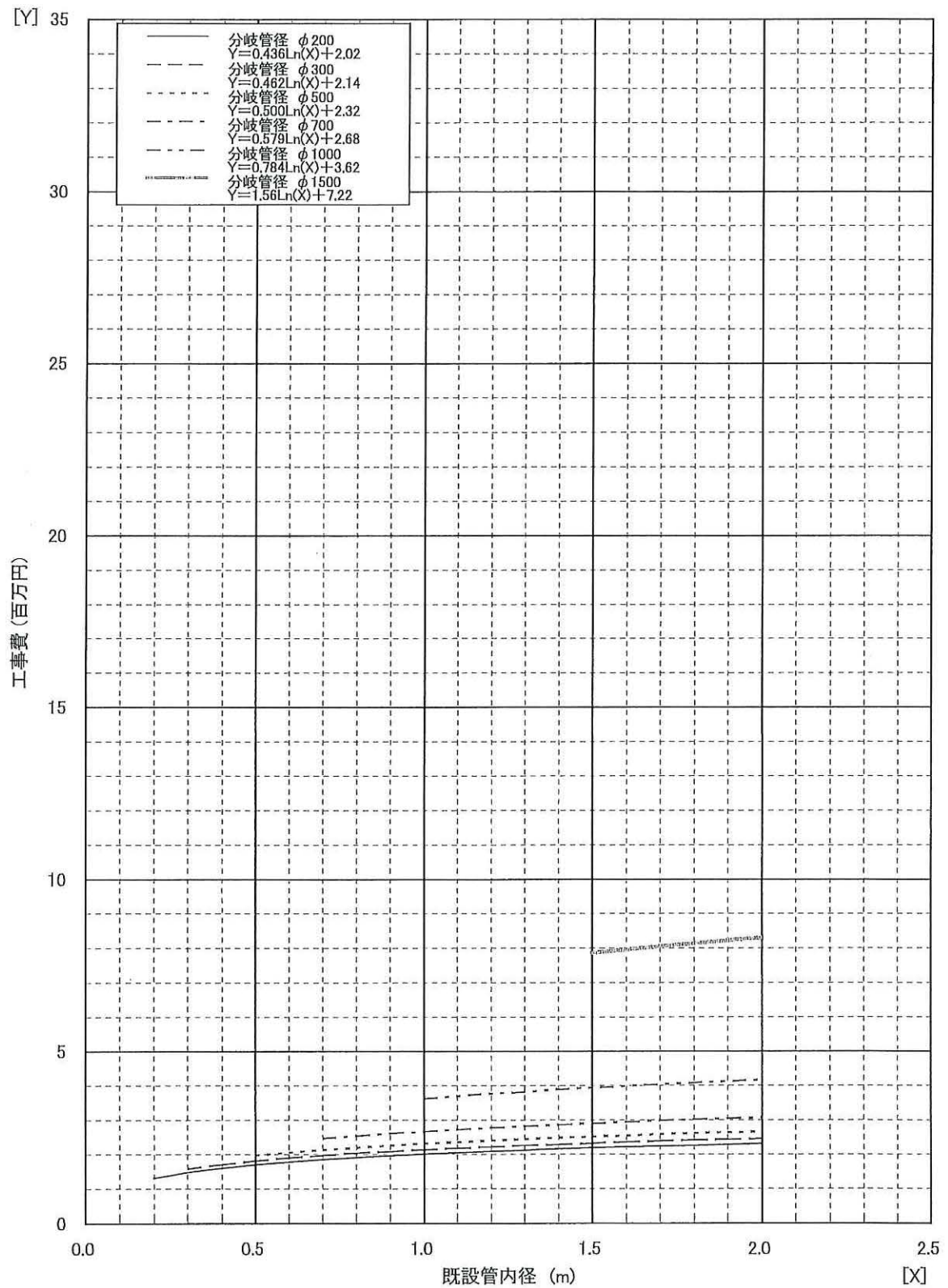
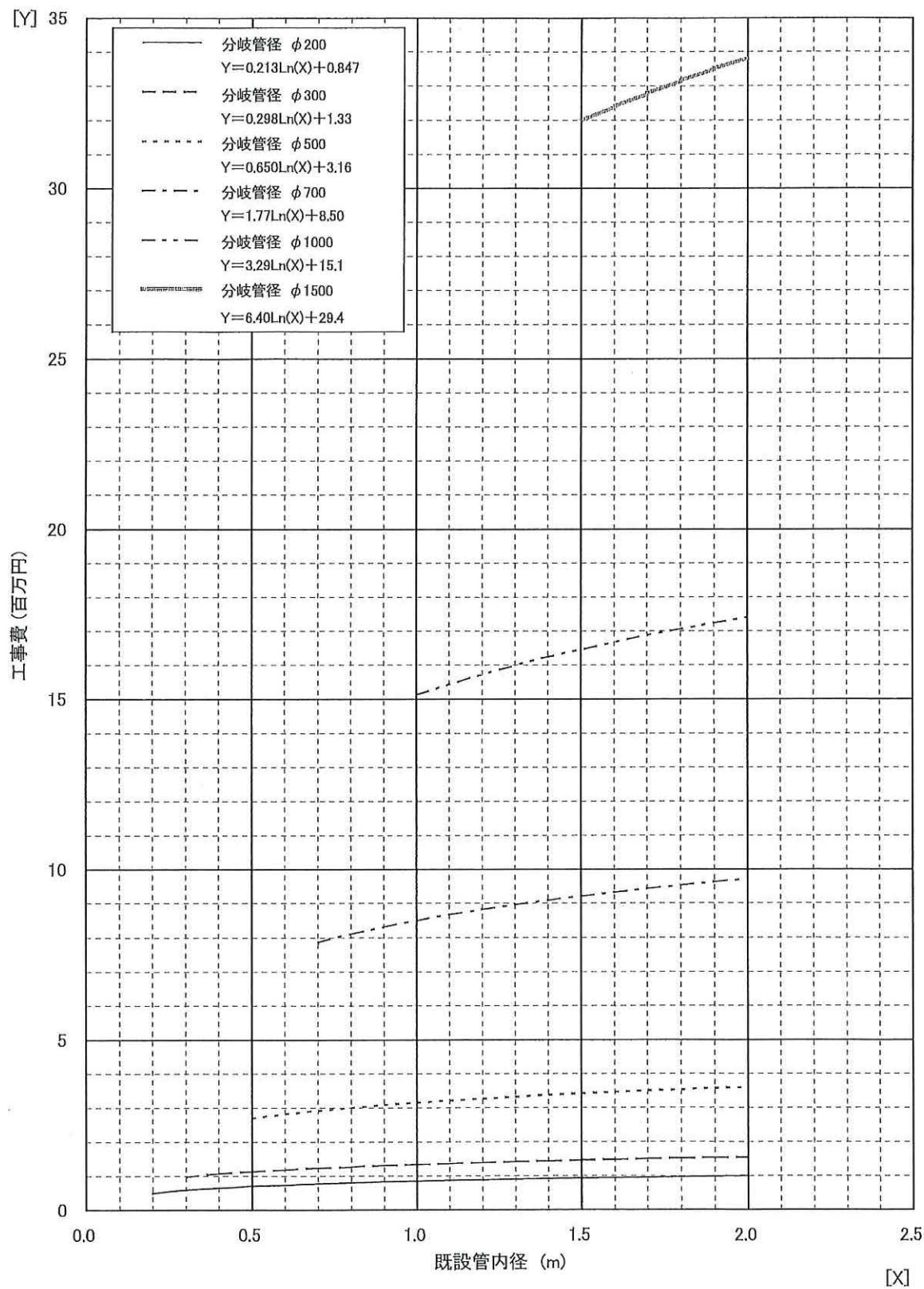


図-1.29 分岐管工事費



図ー1.30 水道等パイプライン分岐管(通常工法)工事費



図ー1.31 水道等パイプライン分岐管(不断水工法)工事費

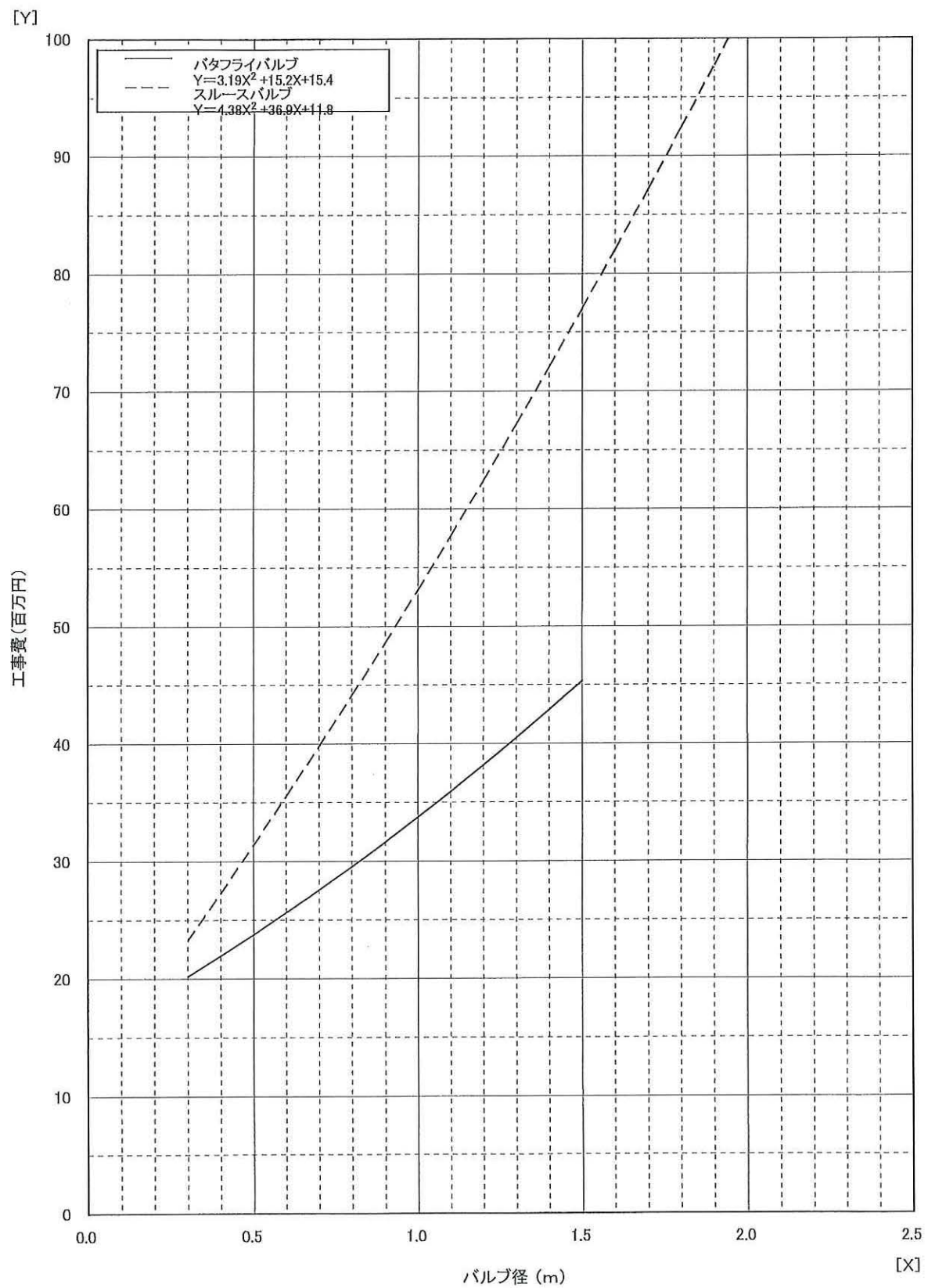
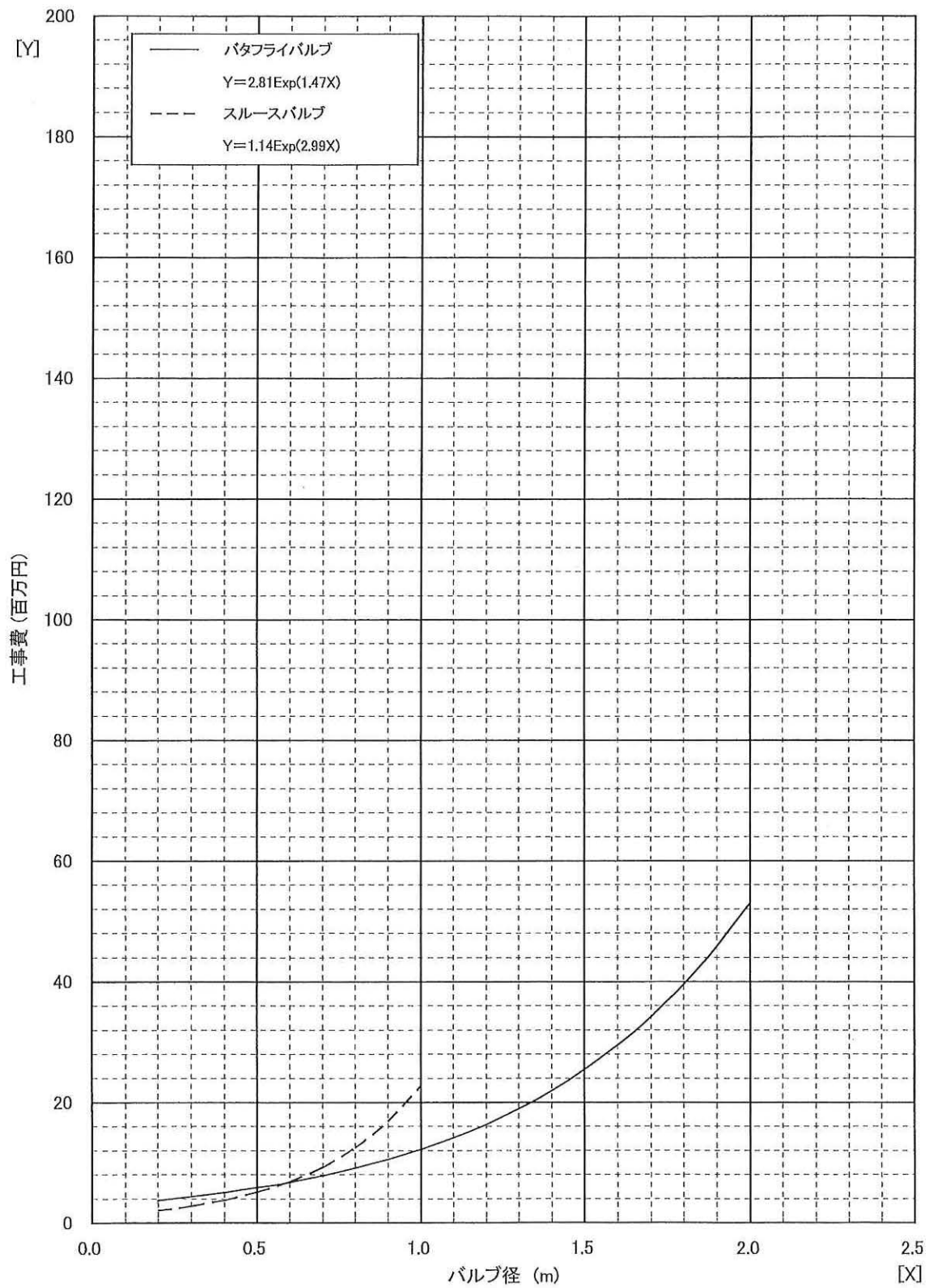
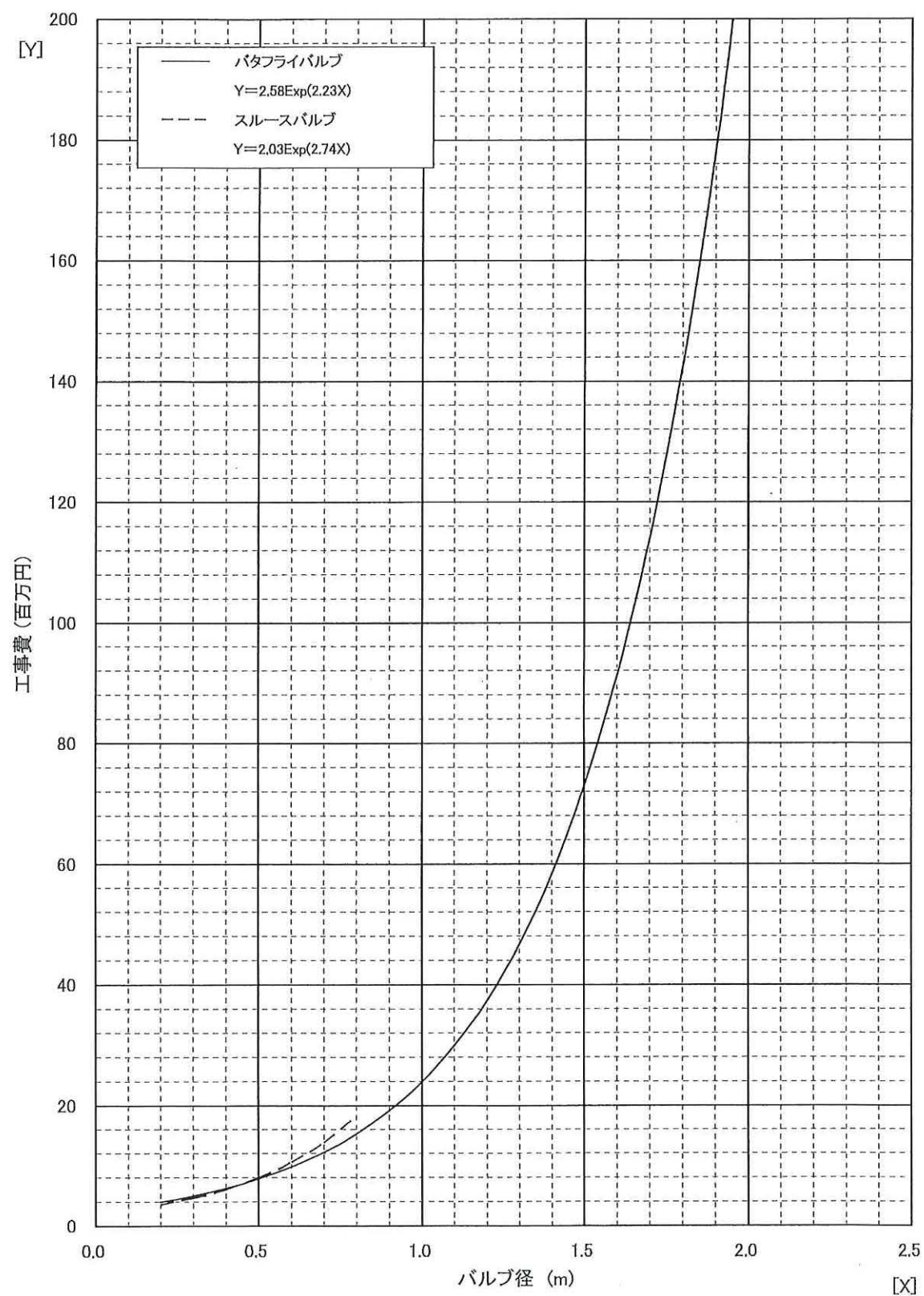


図-1.32 バルブ工事費 (バルブ室を含む)



図ー1.33 水道等パイプラインバルブ設置(通常工法)工事費



図ー1.34 水道等パイプラインバルブ設置(不断水工法)工事費

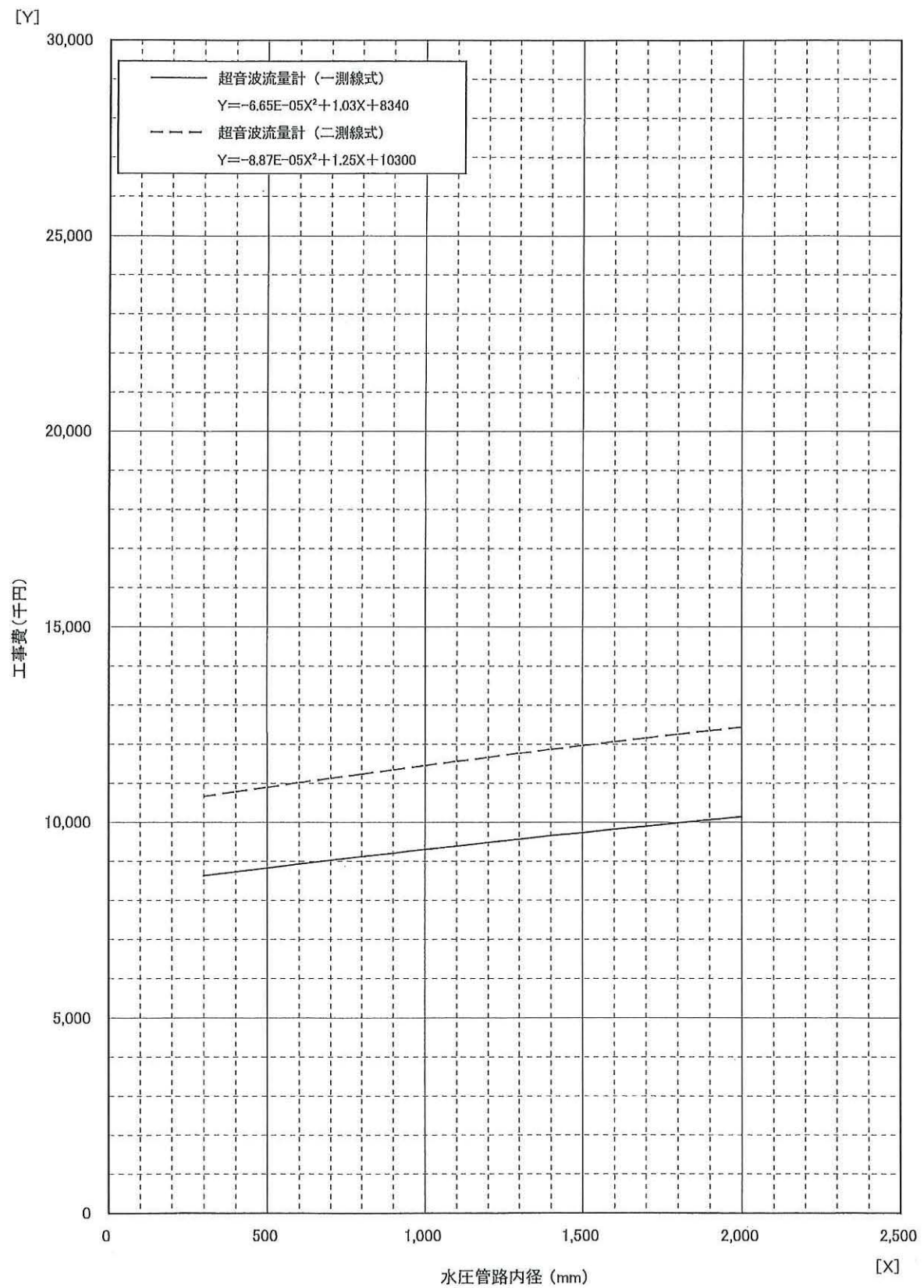
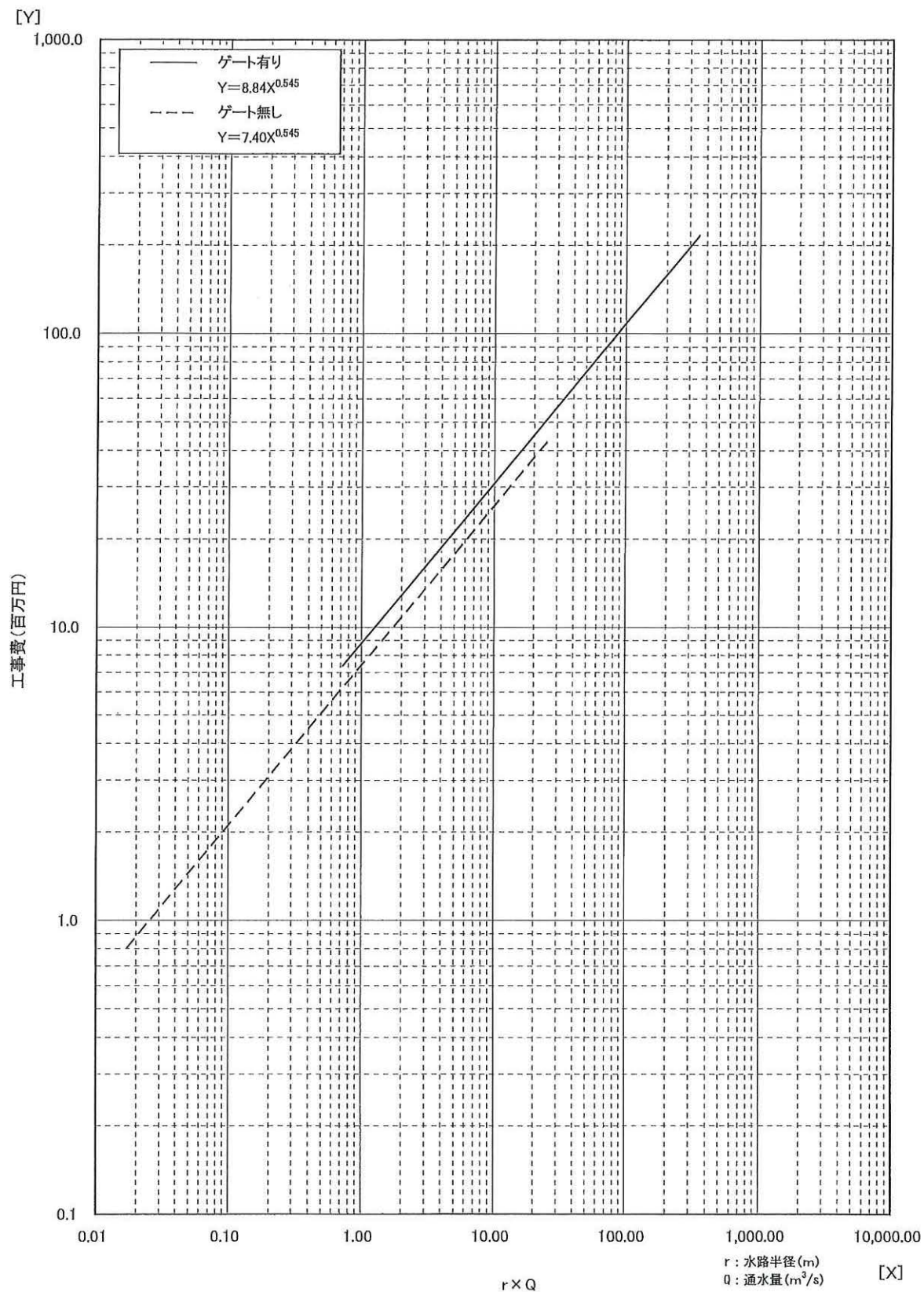
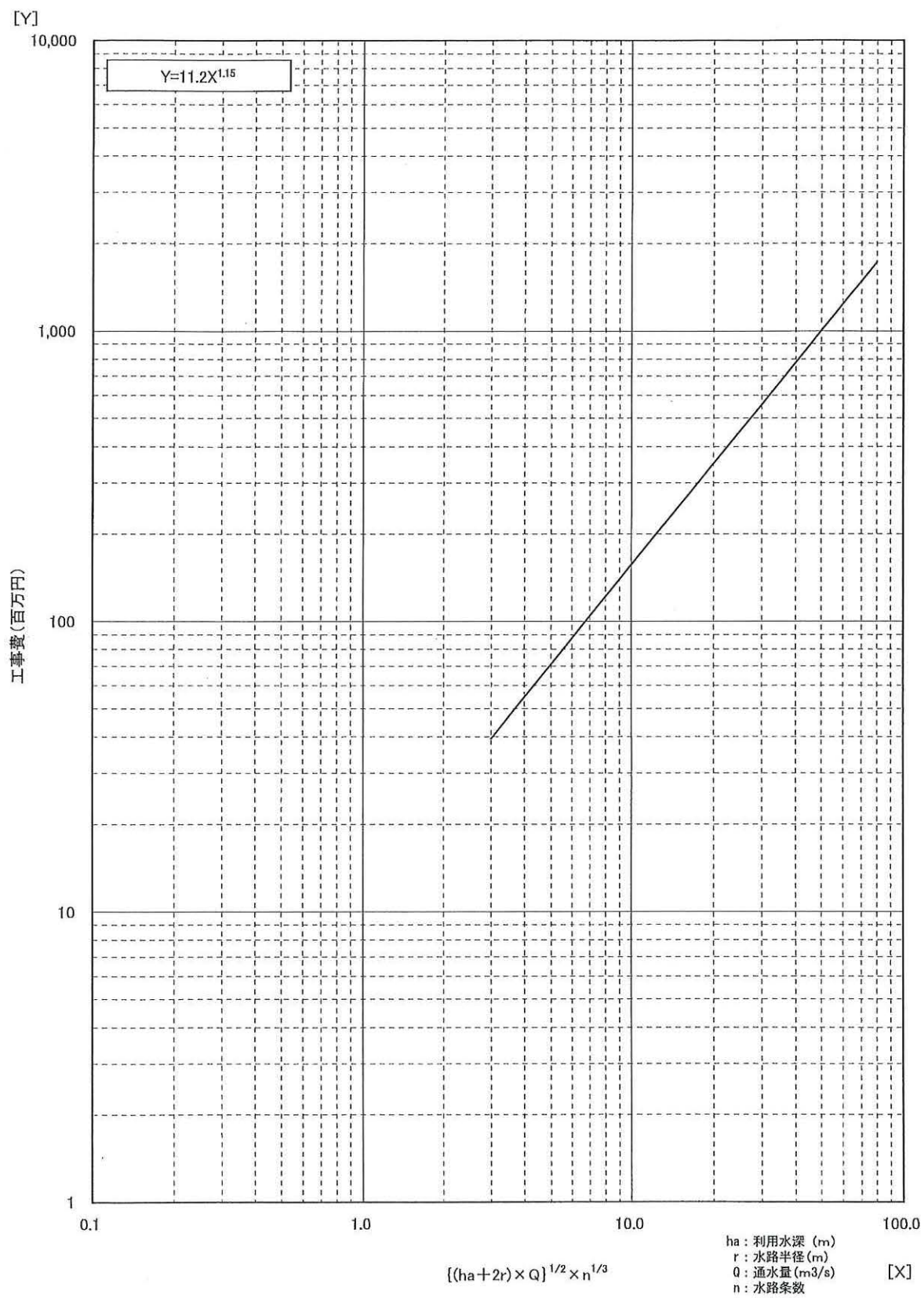


図-1.35 流量计工事費 (流量计室を含む)



図一.36 放水口工事費（無圧式）

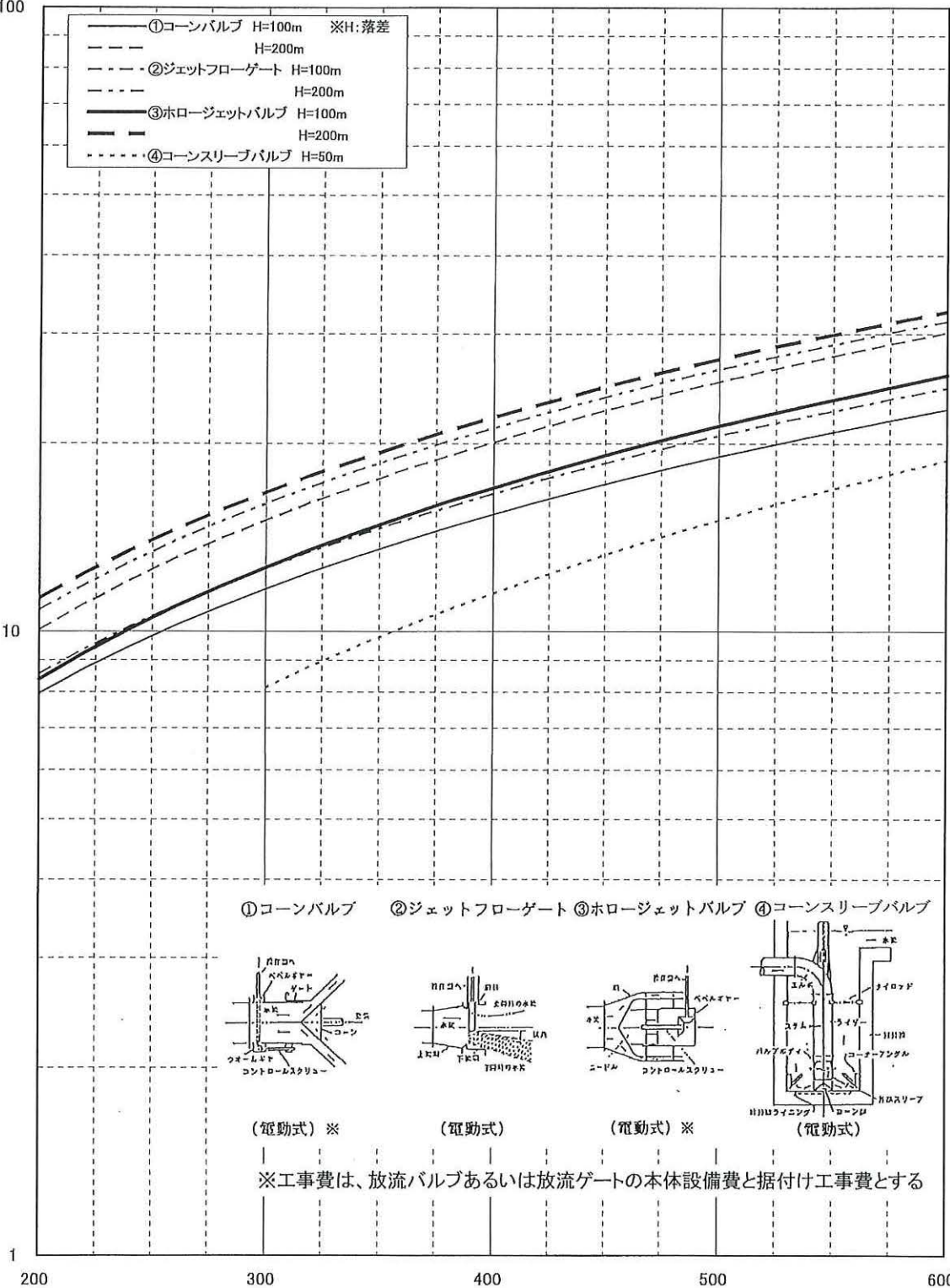


図一.37 放水口工事費 (圧力式)

[Y]
100

工事費(百万円)

- ①コーンバルブ H=100m ※H:落差
H=200m
②ジェットフローゲート H=100m
H=200m
③ホロージェットバルブ H=100m
H=200m
④コーンスリーブバルブ H=50m



200

300

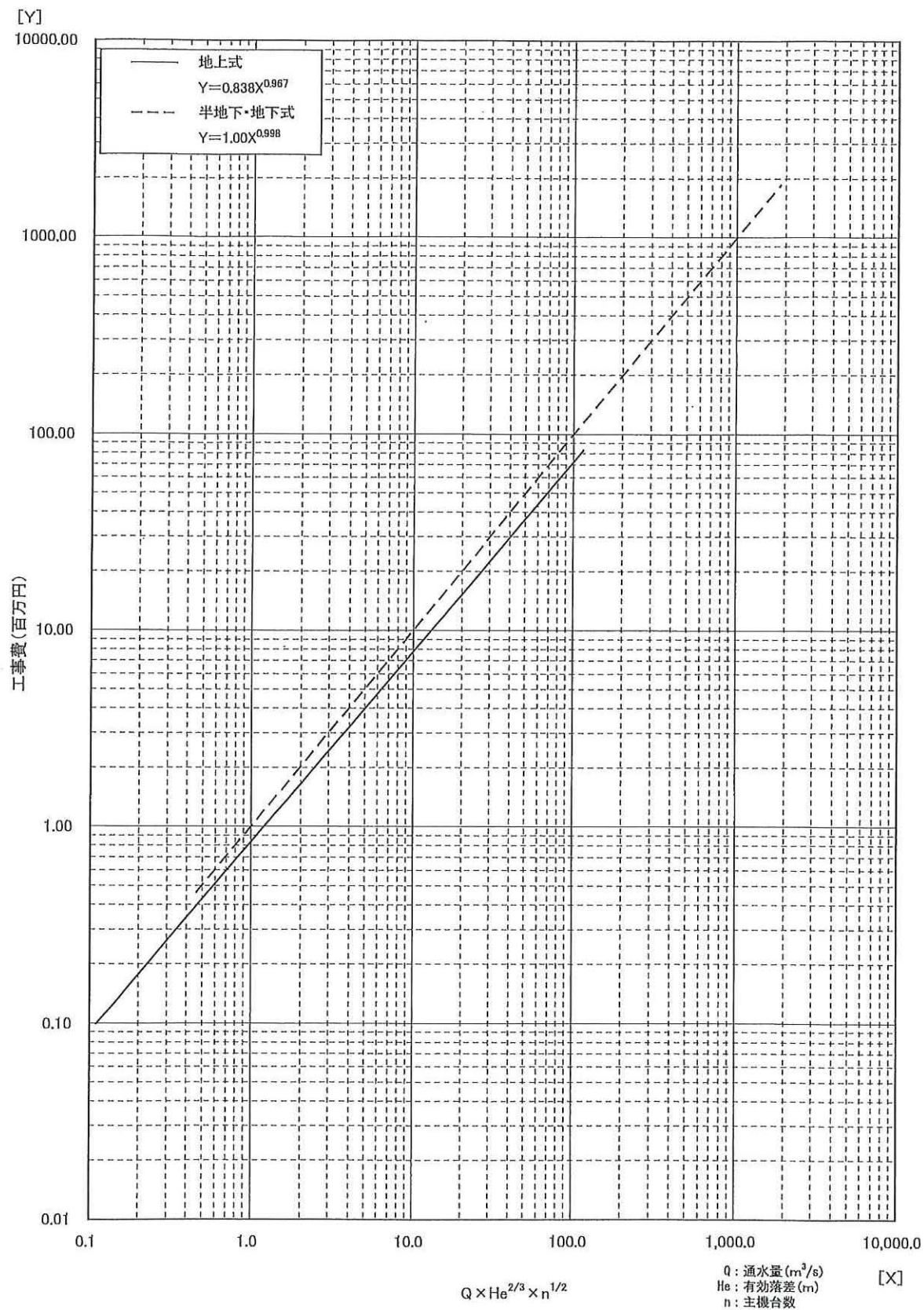
400

500

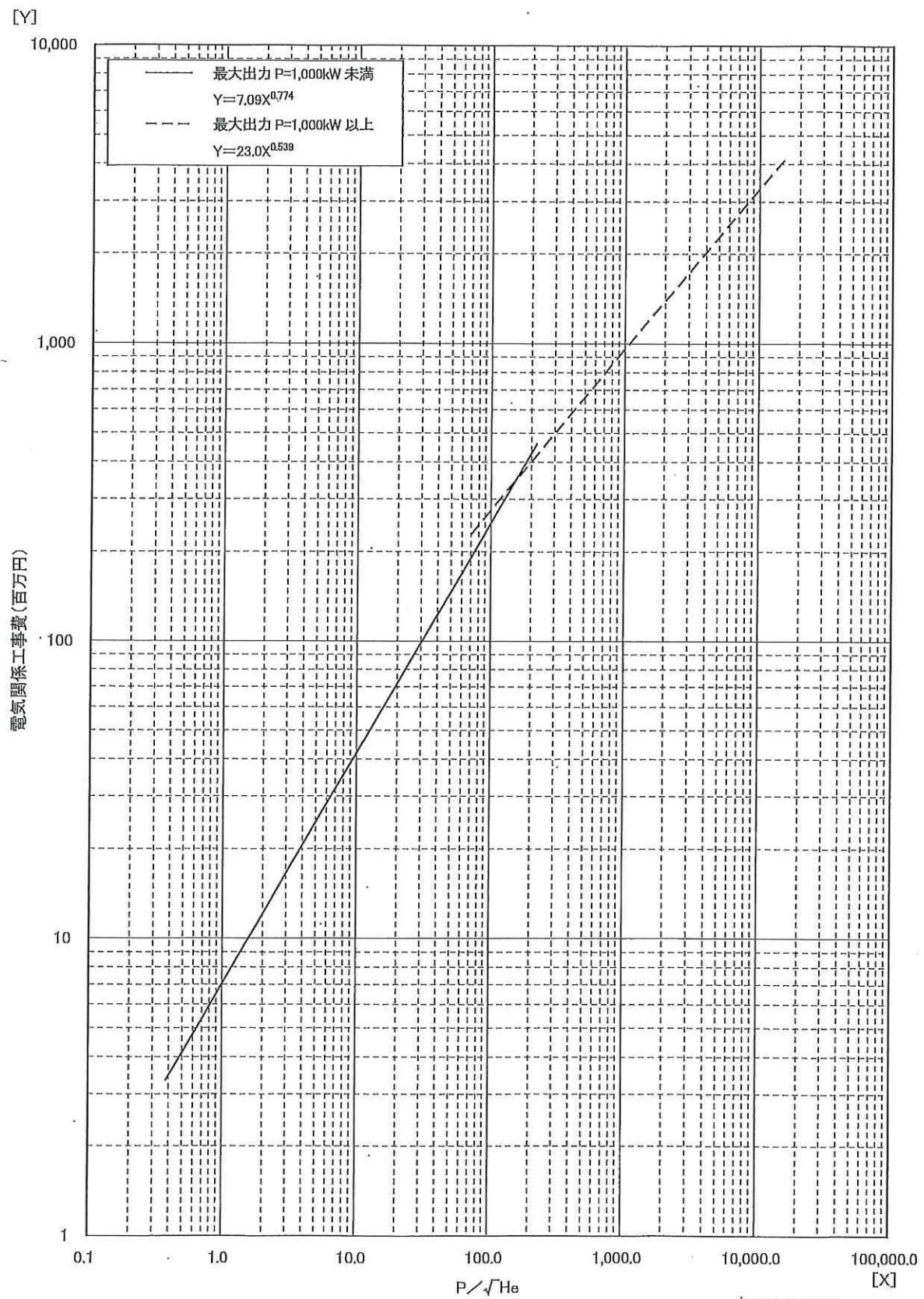
600

口径(mm)

[X]



図一.39 機械装置基礎工事費



図一.40 電氣関係工事費