

中小水力標準化モデルプラント設計調査報告書

中小水力標準化モデルプラント設計調査総括

平成 13 年度

平成 14 年 3 月

経済産業省 資源エネルギー庁

財団法人 新エネルギー財団

第1章 目的及び概要

1.1. 中小水力標準化モデルプラン「設計調査」

一次エネルギーの大部分を輸入に依存している我が国の脆弱なエネルギー構造の是正並びに国際的に対応が迫られている地球温暖化対策の一つとして、純国産のクリーンエネルギーである「未開発水力」の早期開発が期待されている。しかしながら、第5次発電水力調査によれば我が国の未開発包蔵水力は約1,300万kWにのぼるものの、各地点の平均出力は約4,600kWと小規模で必ずしも経済性の良い地点ばかりではない。また、電気事業の規制緩和により比較的安価なIPP電源の参入が相次ぎ、新規電源にはより一層の価格競争力が求められるなど、水力開発にとって厳しい環境が生じてきている。したがって、この環境下で水力開発を促進するためには、発電原価の低減に資する各種施策の開発・普及が必須かつ急務である。

このような状況を踏まえ、経済産業省（通商産業省）は、水力発電所建設コスト低減のための技術開発として、「中小水力標準化モデルプラン「設計調査」」を昭和56年より開始し、今年度（平成13年度）までの21年間にわたり、発電設備の合理化、新材料及び新工法の技術開発、実証プラントの設計及び信頼性の実証試験に係る分析・評価など、多岐にわたる調査・検討を実施してきた。調査・検討項目、調査工程、実証試験箇所等は、**表1-1**のとおりであり、作成した報告書の一覧を**添付資料-1**に示す。また、本報告書においては、これらの調査・検討により開発した新技術を略称で用いている場合があり、その名称を**表1-1**の調査項目欄の（ ）内に示す。

1.2. 本調査の目的及び概要

本調査は、今年度、21 年間にわたる中小水力標準化モデルプラン I 設計調査を終了するに当たり、開発された新技術が今後の水力開発計画においてシステムティックに検討され、効果的に適用されることを指向し、計画検討の参考となるよう、これまでの調査・検討成果の集大成を行なったものである。

以下の第 2 章においては、18 件に及ぶ新技術の理解の一助とするため、各々について調査・検討の目的や内容、ケース・スタディや実証試験の結果、マニュアルの内容などの概要を取りまとめた。

第 3 章では、新技術の個別地点への適用性検討に当たり、考慮すべき特徴や適用範囲並びに比較検討すべき事項を整理するとともに、既往の採用事例の適用範囲等も併せて示した。

第 4 章においては、既に新技術が採用された事例におけるコストダウン効果、技術開発後の発展状況や寄与程度などのアンケート調査結果等を取りまとめた。

第 5 章では、本総括報告書の検索システムについて、特徴やシステム構成などを記述した。

1.3. 本調査報告書における注意事項

本調査報告書を参照するにあたっては、以下の事項に注意する必要がある。

- ・新技術に関連する法令、基準等については、各々の調査時点のものから改正されている場合があり、適用検討に当たっては最新のものと照合する必要がある。
- ・ケース・スタディ等における工事費やアンケート調査結果の建設費低減額などについても同様に、調査時点あるいは検討（計画）時点のものであり、算定時期が相違しているので注意が必要である。
- ・以降の実証試験結果の紹介等では、諸数値が元の報告書において SI 単位系で表記されていない場合は、特に SI 単位に換算せずにそのまま表記している。

表1-1 中小水力標準化モデルプラント設計調査 調査工程・実証試験実施箇所

調査項目及び(新技術略称)	中小水力標準化モデルプラント設計調査工程																							実 証 試 験			
	56	57	58	59	60	61	62	63	元	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	発電所名	最大出力(kW)	所在地	事業主体		
一体形水車発電機の開発 (一体形水車発電機)	■		■																			天狗岩発電所	540	群馬県北群馬郡吉岡村	群馬県企業局		
中高落差用新型軽負荷ランナの開発 (軽負荷ランナ)	■	■		■																		奈良田第三発電所	2,500	山梨県南巨摩郡早川町	山梨県企業局		
水圧鉄管代替製品FRPM管等の技術 開発 (FRPM管)				■				■	■													新内川第二発電所	3,000	石川県金沢市	金沢市企業局		
余水路省略等土木設備の合理化 (余水路省略・水槽小規模化)				■	■			■	■	■												新内川第二発電所 大鹿発電所	3,000 10,000	石川県金沢市 長野県下伊那郡大鹿村	金沢市企業局 長野県企業局		
発電所の無人管理化 (発電所無人化)				■	■	■	■																				
NATM・吹付コンクリートによるトンネル 施工の合理化 (小断面NATM)					■	■																					
TBM工法によるトンネル施工の 合理化 (TBM)					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	駒込発電所 新内川第二発電所 新大長谷第一発電所	4,000 3,000 7,500	青森県青森市 石川県金沢市 富山県婦負郡八尾町	東星興業(株) 金沢市企業局 富山県企業局		
ゴム引布製起伏堰の利用技術の確立 (ゴムダム)				■	■	■	■	■	■	■	■			■	■							黒谷発電所	19,600	福島県南会津郡只見町	電源開発(株)		
低落差水力発電所ダム基礎処理の 合理化 (ダム砂礫層基礎処理)					■	■	■	■	■	■												只見発電所	65,000	福島県南会津郡只見町	電源開発(株)		
地下構造物の建設に関する技術開発 (地下発電所)						■	■	■	■	■	■																
超低落差水力発電設備に関する技術 開発 (超低落差用水車)								■	■	■	■	■															
一体型水力発電システムに関する技 術開発 (一体型システム)									■	■	■	■	■	■		■						加地発電所	1,100	鳥取県八頭郡若桜町	鳥取県企業局		
地下深部岩盤圧力管路に関する技術 開発 (岩盤圧力管路)										■	■	■	■	■	■	■	■										
水力発電効率向上に関する技術開発 (発電効率向上)											■	■	■	■	■	■	■	■									
水圧管路等自動システム施工に關す る技術開発 (水圧管路自動施工)											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		柏台発電所	2,600	岩手県岩手郡松尾村	岩手県企業局		
超小断面トンネル掘削に関する技術開 発 (超小断面)											■	■	■	■	■	■	■	■	■								
分散型小水力発電モデルプラントの開 発 (分散型小水力)															■	■	■	■	■	■							
海外資機材の調達・導入技術の確立 (海外資機材調達)																		■	■	■							

第2章 新技術等の概要

2.1. ゴム引布製起伏堰の利用技術の確立

ゴム引布製起伏堰の利用技術の確立

(昭和 60 年度～平成7年度調査)

概 要

ゴムダムは、ゴム引布製の袋体に空気又は水を注入して膨らませたものを扉体とする可動堰である。洪水時の自動倒伏機能を有しているため、湛水池内に堆積又は流入する土砂の流水による自然排除が可能であり、その結果ダム上流の河床及び洪水位の上昇防止、湛水池容量の維持が期待できる。

このゴムダムを水力発電設備として利用した場合、湛水池容量の維持により沈砂効果が期待できることによる沈砂池の省略、ダム高の利用による落差の拡大、湛水容量を利用した調整運転による発電電力量やL5出力の増加、操作機構が単純で信頼性が高いことによる倒伏・起立操作の自動化・遠隔化、優れた耐久性による維持管理の省力化、などが可能となる。

本技術開発は、ゴムダムのこれらの機能を高度に利用し、中小水力地点の経済性を高めようとするものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

ゴムダム、可動堰、ゴム引布製起伏堰、自動倒伏、資機材合理化、設備合理化、施工性向上、保守管理省力化、電力量増加、堆積土砂排除、沈砂池省略、落差拡大、洪水位上昇防止、湛水池容量維持

適用範囲

最大扉体高さ 6m、最大径間長 50m程度

2.1.1. 新技術の概要

(1) 目的

ゴムダムの自動倒伏機能を水力発電に利用することにより、取水ダムの湛水池容量の維持、その結果としての沈砂効果による沈砂池の省略、ダム高の利用による落差の拡大、湛水容量を利用した調整運転による発電電力量やL5出力の増加、操作機構が単純で信頼性が高いことによる倒伏・起立操作の自動化・遠隔化、優れた耐久性による維持管理の省力化などが期待できる。

本技術開発は、ゴムダムのこれらの機能を高度に利用し、中小水力地点の経済性を高めようとするものである。

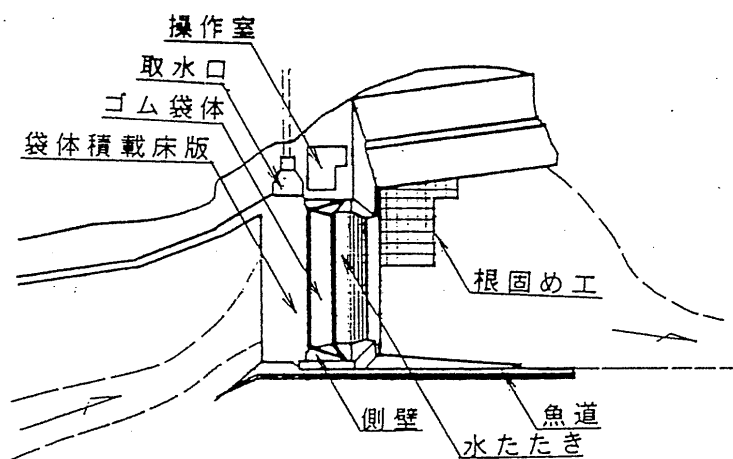


図2-1-1 ゴムダム概要図(平面)

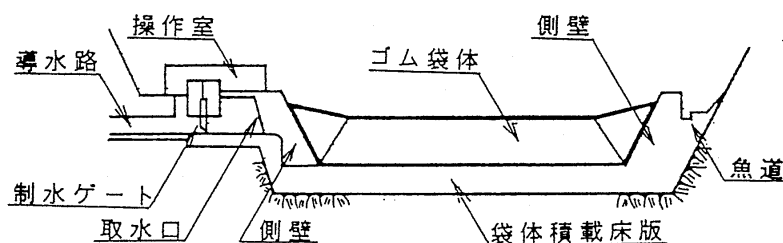


図2-1-2 ゴムダム概要図(正面)

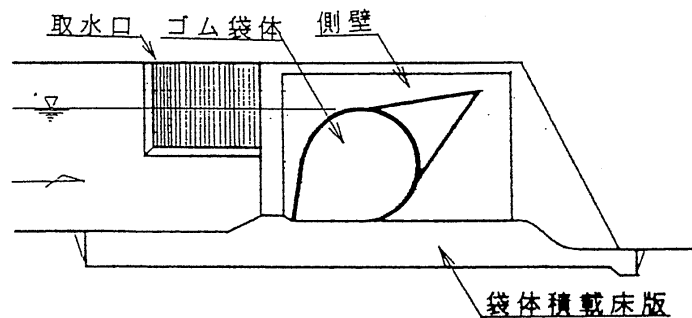


図2-1-3 ゴムダム概要図(断面)

(2) 適用上の基本条件

ゴムダムを流れ込み式水力の取水ダムとして適用する場合の基本条件は、以下のとおりである。ダム高及び径間長の決定については、現地河川の諸条件を十分に検討してその限界が決定されなければならないが、現時点では現地における袋体の接着等の実績がなく、工場で完成体まで製作されてから現地に搬入され下部工に取付けられるので、工場から現地までの運搬条件(最大積載重量)をも考慮する必要がある。

a. ダム高(ゴム袋体高さ)

ゴムダムの高さの限界は、洪水時の土砂竹木等による倒伏阻害に対する影響を考慮して決定される。技術的には10m程度まで作成可能と考えられるが、実質的には6m程度が限界であるとされている(黒谷大型ゴムダム検討委員会((社)ダム・堰施設技術協会))。

b. 径間長(河川横断方向の長さ)

1基のゴムダムの径間長の限界は、技術的には100mを越えるものも製作可能(実際にアメリカにおいては100mを越えるものも存在する)であるが、我国の河川の状況を考えると、効率的に土砂等を排除するためには50m程度が限界と考えられている。

(3) 採用に当たっての検討事項

ゴムダム採用に当たっては、以下の基本事項について検討を実施し、ゴムダムを採用するうえでの基本構想(目的)を明確なものとする必要がある。

a. 堆砂形状

沈砂池省略の可能性、上流河床の上昇抑制効果、利用落差拡大の検討を行うための基礎資料を得ることを目的として、堆砂形状(平衡河床形状)の推定を行う。

b. 湛水池内の沈砂効果

沈砂池省略の可能性について検討するために、浮遊砂濃度の縦断、鉛直分布及び掃流砂の移動層厚を推定することによって湛水池の沈砂効果を評価する。

c. 河川への治水的影響

ゴムダム操作は、ダム上・下流の河道に対して治水上問題の生じない条件の下で行なわなければならない。このため、ゴムダムの起伏による下流河道ネック断面の水位変動量及び上流河道の洪水水位を検討し、治水上の制約条件を満足するようにゴムダムの操作条件を設定しなければならない。

d. 沈砂池の省略の可能性

湛水池内の沈砂効果及び取水口流入許容土砂条件などを考慮して、沈砂池省略の可能性を判断する。

e. 上流河床の上昇抑制効果

堆砂形状(平衡河床形状)の検討結果及び上流洪水位の計算結果より、上流河床の上昇抑制効果を評価する。

f. 利用落差の拡大効果

洪水時の浸水問題等により、上流断面の洪水位あるいは河床高が制限される地点においては、固定ダムの場合に比べて利用落差の拡大を図ることができるため、その効果を検討しなければならない。

g. 運転管理の省力化

倒伏・起立機構の自動(遠隔操作)化、維持管理の容易性など、運転管理の省力化の効果について評価する。

h. 関連法規との関係

関連諸法規を熟知し、マニュアルの趣旨を十分に考慮して検討する。

(4) 期待し得る効果

ゴムダムは、流れ込み式水力の取水ダムとして用いた場合、以下のような効果を期待することができる。

- ・ 1基当りの径間長が長い(最大50m程度)ため、多くの場合中間にピアーが必要なく河道のほぼ全幅を1径間とすることが可能である。さらに、敷高を河床に近い高さとすることにより、ゴムダム倒伏時の通水断面を従前の河川横断面に近づけることができるため、河道の従前の洪水疎通能力をほとんど阻害しない。したがって、湛水池内に堆積する土砂及び流入する土砂を流水により自然に排除することが可能であり、その結果、ダム上流の河床及び洪水位の上昇防止、湛水池容量の維持が期待できる。
- ・ 上記の効果により、浸水問題等によりダム高が制限されるような地点においては、固定堰に代えてゴムダムを用いることにより、洪水位を抑えたうえ、ダム高相当分の利用落差の拡大を図ることができる。
- ・ 上記の効果により、湛水池は常時ある程度の池容量を維持でき、一定の沈砂効果を持つと考えられることから、沈砂池を省略できる可能性がある。

- ・ 操作機構が単純で信頼性も高く、操作の無人化が可能となるため、運転・操作・管理に関わる経費節減を図ることができる。
- ・ ゴム袋体は、工場製品であり現場では据付工事のみとなることから、工期の短縮が期待できる。また、軽量であるため搬入・据付が容易である。
- ・ なお、水位変化による袋体の変形、Vノッチ現象の発生など、ゴムダムの柔構造に起因する現象から、水位制御や放流量制御などの機能については従来の形式の取水ダムに比べてやや劣る。

(5) 検討経緯

本技術開発の検討経緯は、以下のとおりである。

- 新利用構想の技術的検討(昭和 60 年度)
- ケース・スタディ地点及び検討項目の選定(昭和 60 年度)
向山計画地点、丹波計画地点、只見第二計画地点を対象に検討
- 問題の抽出・対策の評価(昭和 60 年度)
- 基本設計・経済性評価(昭和 60 年度)
- 技術基準(案)の作成(昭和 61～63 年度)
技術基準(案)概成の検討
- 実証プラント設計(昭和 62 年度)
実証地点(黒谷計画地点)を選定し、基本設計を実施
- 実証試験要領(案)作成(昭和 62～平成元年度)
- 模型実験(昭和 63 年度)
マニュアル内容の充実を図るために模型実験を実施
- 実証試験(平成 2～6 年度)
電源開発・黒谷発電所取水ダム(径間長 34.5m、ダム高 6.0m、出力 19,600kW)にて実施された。
- 実証試験データの分析・評価(平成6～7年度)
- 設計・運転操作管理に関するマニュアル(案)の作成(昭和 61～平成7年度)
設計基準等の充実

2.1.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

(1) ケース・スタディ対象地点の概要

ケース・スタディは、向山地点（日置川水系日置川）、丹波地点（多摩川水系多摩川）、只見第二地点（阿賀野川水系只見川）の3地点を対象として、ゴム堰案と固定堰案などとの経済性を比較した。対象地点の概要は、表2-1-1のとおりである。

表 2-1-1 ケース・スタディ対象地点の概要

	向山地点	丹波地点	只見第二地点
流域面積	163.0(km ²)	119.7(km ²)	1,802(km ²)
比堆砂量 (近傍ダム実績)	450m ³ /Y/km ²	353m ³ /Y/km ²	140m ³ /Y/km ²
平均河床勾配	1/170	1/80	1/130（本川） 1/240（伊南川）
河道幅	40～80m	40～80m	150～300（本川） 80～100（伊南川）
代表粒径 d ₆₅ * ¹⁾	10cm（ア-マ・コ-ト* ²⁾ ） 8.5cm（ア-マ・コ-ト、 下層細粒砂）	12cm（ア-マ・コ-ト） 10cm（ア-マ・コ-ト、 下層細粒砂）	15cm（ア-マ・コ-ト） 1.3cm（ア-マ・コ-ト、 下層細粒砂）
河道状況	- 堰計画地点上流に屈曲部があり、特異な平面形状を呈しており、その区間に大規模な砂礫堆が発達している。 - 両岸には、巨石、露岩が多くみられる。	両岸には、岩が多く露出しており、湾曲部内側に砂洲が発達している。	- 本川には、大規模な砂洲はみられず、河床には部分的に岩盤が露頭している。 - 土砂はほとんど伊南川より供給されると思われる。

*1) d₆₅：65%粒径、平均的な粒径と考えられる。

*2) ア-マ・コ-ト：細粒砂の流送によって現われる河床材料表層の粗粒子化した砂礫の状態。

(2) ケース・スタディの検討手順

ケース・スタディは以下の手順に従い、対象地点ごとに実施した。

- ① 現地調査結果より、堆砂シミュレーションモデルを用いてゴム堰に対する堆砂形状の経年変化を予測する。
- ② ゴム堰による湛水池内の沈砂効果を浮遊砂濃度分布計算により確認し、沈砂池省略の可能性を判断する。また、Saltation（掃流砂の移動形式のひとつで、河床面を跳躍しながら流送されるものをいい、跳躍高さを掃流砂の移動層厚と考えることができる。）計算により、取水口敷高の検討を行なう。
- ③ ゴム堰上流の河床上昇から、既設道路、家屋などの洪水時浸水の可能性を判断して、利

用落差拡大の可否を判断し、拡大可能な場合についてはそれにもなう増分発電電力量を計算する。

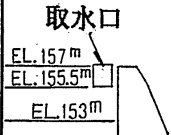
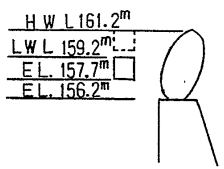
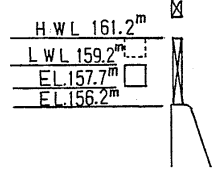
- ④ 湛水池内の有効容量を利用した調整運転(高効率運転)を検討し、発電電力量を計算する。
- ⑤ 以上の検討項目を総合し、さらに固定堰、ゴム堰、鋼製ゲート堰について比較検討ケースを設け、経済性を比較し、その効果を把握する。
- ⑥ ゴム堰のゴム部高さは、全て実証試験により安全が確認された5mとして検討する。

(3) 経済性の比較結果

a. 向山地点

向山地点については、検討ケースとして固定堰案、ゴム堰案(流れ込み式、調整池式)、鋼製ゲート堰案(流れ込み式、調整池式)の5ケースについて検討を行なった。各ケースの条件は、表2-1-2のとおりである。

表 2-1-2 向山地点の検討ケースと条件

ケース	A. 固定堰	B. ゴム引布製起伏堰		C. 鋼製ゲート堰		備 考
		B-1 流れ込み式	B-2 調整池式	C-1 流れ込み式	C-2 調整池式	
模式図						B, Cのケースについては、流れ込み式、調整池式に応じて取水口位置を変えている。
取水位	EL.157m	EL.161.2m	EL.159.2m	EL.161.2m	EL.159.2m	
沈砂池	有	無		無		
利用落差の拡大	He=29.6m (0m)	He=33.8m (4.2m)	He=31.8m (2.2m)	He=33.8m (4.2m)	He=31.8m (2.2m)	調整池式の場合、無圧トンネルとするため、利用水深分(2m)の落差が減少する。
高効率運転(調整容量)	無	無	有 (160×10³ m³)	無	有 (160×10³ m³)	

経済性比較の結果は表2-1-3のとおりであり、検討ケースの内kWh当り建設単価で最も経済的となるのはB-1のゴム堰案(流れ込み式)のケースであり、沈砂池の省略、利用落差の拡大(4.2m)の効果により固定堰A案と比較して、建設単価を約6%低減することが可能となる。

なお、表2-1-4に向山地点の工事費の内訳を示す。

表 2-1-3 向山地点の経済性比較結果

		A.固定堰	B.ゴム引布製起伏堰		C.鋼製ゲート堰	
			B-1 流れ込み式	B-2 調整池式	C-1 流れ込み式	C-2 調整池式
工事費 (百万円)		4,135	4,435	4,405	4,485	4,455
内 容	沈砂池省略効果	－	△185 百万円		△185 百万円	
	取 水 堰 増 分	－	365 百万円		399 百万円	
	電気工事費増分	－	62 百万円	32 百万円	62 百万円	32 百万円
P (kW)		2,700	3,100	2,900	3,100	2,900
E (MWh)		14,377	16,356	15,864	16,356	15,864
L5 (kW)		903	1,029	1,317	1,029	1,317
建設単価 (円/kWh)		288	271	278	274	281

(昭和 60 年度作成)

表 2-1-4 向山地点の工事費内訳

単位：百万円

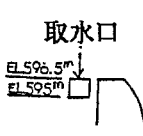
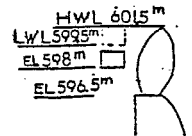
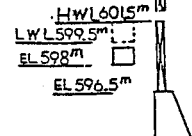
項 目	工 事 費 (向山地点)		
	固 定 堰	ゴ ム 起 伏 堰	鋼製ゲート堰
土 地 補 償 関 係	182	182	182
土 地	60	60	60
一般補償	122	122	122
建 物 関 係	79	79	79
本 館	59	59	59
附属建物	20	20	20
土 木 関 係	2,284	2,508	2,552
水 路	1,711	1,889	1,923
取水ダム	426	791	825
取 水 口	95	81	81
沈 砂 池	185	—	—
導 水 路	643	655	655
水 槽	169	169	169
余 水 路	46	46	46
水压管路			
放 水 路	—	—	—
放 水 口	56	56	56
雑 工 事	91	91	91
機械基礎	124	124	124
基 礎	65	65	65
諸 設 備	59	59	59
仮 設 備	449	495	505
電 気 関 係	888	950	950
建設所運営関係	443	443	443
小 計	3,876	4,162	4,206
建 設 中 利 子	217	233	236
分 担 関 連 費	39	40	43
計	4,135	4,435	4,485

(昭和 60 年度作成)

b. 丹波地点

丹波地点については、向山地点と同じく検討ケースとして固定堰案、ゴム堰案(流れ込み式、調整池式)、鋼製ゲート堰案(流れ込み式、調整池式)の5ケースについて検討を行なった。各ケースの条件は、表2-1-5のとおりである。

表 2-1-5 丹波地点の検討ケースと条件

ケース	A. 固定堰	B. ゴム引布製起伏堰		C. 鋼製ゲート堰		備 考
		B-1 流れ込み式	B-2 調整池式	C-1 流れ込み式	C-2 調整池式	
模式図						B, Cのケースについては、流れ込み式、調整池式に応じて取水口位置を変えている。
取水位	EL.596.5m	EL.601.5m	EL.599.5m	EL.601.5m	EL.599.5m	
沈砂池	有	無		無		
利用落差の拡大	He=60.4m (0m)	He=71.4m (5.0m)	He=69.4m (3.0m)	He=71.4m (5.0m)	He=69.4m (3.0m)	調整池式の場合、無圧トンネルとするため、利用水深分(2m)の落差が減少する。
高効率運転(調整容量)	無	無	有 (59x10³ m³)	無	有 (59x10³ m³)	

経済性比較の結果は表2-1-6のとおりであり、検討ケースの内kWh当り建設単価で最も経済的となるのはB-2のゴム堰案(調整池式)のケースであり、沈砂池の省略、利用落差の拡大(3m)、高効率運転の効果により、固定堰A案と比較して、建設単価を約22%低減することが可能となる。なお、表2-1-7に丹波地点の工事費の内訳を示す。

表 2-1-6 丹波地点の経済性比較結果

		A. 固定堰	B. ゴム引布製起伏堰		C. 鋼製ゲート堰	
			B-1 流れ込み式	B-2 調整池式	C-1 流れ込み式	C-2 調整池式
工事費 (百万円)		4,905	4,895	4,885	5,020	5,010
内 容	沈砂池省略効果	—	△162 百万円		△162 百万円	
	取水堰増分	—	109 百万円		215 百万円	
	電気工事費増分	—	21 百万円	11 百万円	21 百万円	11 百万円
P	(kW)	4,400	4,800	4,600	4,800	4,600
E	(MWh)	19,068	20,495	24,254	20,495	24,254
L5	(kW)	1,443	1,550	3,034	1,550	3,034
建設単価 (円/kWh)		257	238	201	245	207

(昭和 60 年度作成)

表 2-1-7 丹波地点の工事費内訳

単位：百万円

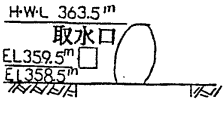
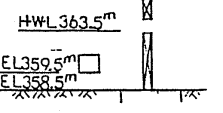
項 目	工事費（丹波地点）		
	固 定 堰	ゴム起伏堰	鋼製ゲート堰
土 地 補 償 関 係	211	211	211
土 地	—	—	—
一般補償	—	—	—
建 物 関 係	85	85	85
本 館	67	67	67
附属建物	18	18	18
土 木 関 係	2,989	2,960	3,080
水 路	2,333	2,309	2,372
取水ダム	229	338	444
取 水 口	49	70	70
沈 砂 池	162	—	—
導 水 路	1,412	1,420	1,420
水 槽	143	143	143
余 水 路	32	32	32
水圧管路	84	84	84
放 水 路	4	4	4
放 水 口	64	64	64
雑 工 事	111	111	111
機械基礎	156	156	156
基 礎	83	83	83
諸 設 備	73	73	73
仮 設 備	500	495	505
電 気 関 係	568	589	589
建設所運営関係	580	580	580
小 計	4,433	4,425	4,541
建設中利子	426	425	436
分担関連費	46	45	43
計	4,905	4,895	5,020

(昭和 60 年度作成)

c. 只見第二地点

只見第二地点については、有効容量に対して最大使用水量が大きいため高効率運転は期待できないこと、および上流家屋の洪水時の浸水を考慮すると固定堰案は成立し難く、有効落差拡大の意義はないことから、これらについての検討は省略し、検討ケースとしてはゴム堰案(調整池式)、鋼製ゲート堰案(調整池式)の2ケースについて検討を行なった。各ケースの条件は、表2-1-8のとおりである。

表 2-1-8 只見第二地点の検討ケースと条件

ケース	B. ゴム引布製起伏堰	C. 鋼製ゲート堰	備 考
	B-1 調整池式	C-1 調整池式	
模式図			
取水口	EL.363.5 m	EL.363.5 m	
沈砂池	無	無	
利用落差 の拡大	He= 8.0 m (0m)	He= 8.0 m (0m)	
高効率 運転(調 整容量)	無	無	

経済性比較の結果は表2-1-9のとおりであり、鋼製ゲート堰案と比較してゴム堰案の方が、建設単価が約8%低い結果となった。なお、表2-1-10に只見第二地点の工事費の内訳を示す。

表 2-1-9 只見第二地点の経済性比較結果

	B.ゴム引布製起伏堰	C.鋼製ゲート堰
工事費 (百万円)	22,240	24,190
P (kW)	26,000	26,000
E (MWh)	64,700	64,700
L5 (kW)	25,000	25,000
建設単価 (円/kWh)	344	374

(昭和 60 年度作成)

表 2-1-10 只見第二地点の工事費内訳

単位：百万円

項 目	工 事 費（只見第二地点）	
	ゴ ム 起 伏 堰	鋼製ゲート堰
土 地 補 償 関 係	973	973
土 地	—	—
一般補償	—	—
建 物 関 係	1,024	1,024
本 館	1,024	1,024
附属建物	—	—
土 木 関 係	11,747	13,352
水 路	4,004	4,004
取水ダム	—	—
取 水 口	1,200	1,200
沈 砂 池	—	—
導 水 路	—	—
水 槽	—	—
余 水 路	—	—
水圧管路	—	—
放 水 庭	600	600
放 水 路	2,100	2,100
雑 工 事	104	104
貯水池または調整池	4,300	5,905
ダム本体	3,536	5,141
洪 水 吐	—	—
雑 工 事	764	764
機械基礎	2,303	2,303
基 礎	1,944	1,944
諸 設 備	359	359
仮 設 備	1,140	1,140
電 気 関 係	3,450	3,450
建設所運営関係	1,156	1,156
小 計	18,350	19,955
建設中利子	2,055	2,235
分担関連費	1,835	2,000
計	22,240	24,190

(昭和 60 年度作成)

2.1.3. 実証試験

(1) 実証試験の目的

本実証試験は、ゴムダム採用に伴うメリットとしての沈砂池の省略、運転管理の省力化などを把握するとともに、ゴムダムが確実に機能を発揮するために製作・据付時に必要となる試験項目についても検討することを目的として、実施された。

(2) 実施期間

平成2～6年度

(3) 実証地点の概要

黒谷発電所は、阿賀野川水系黒谷川の上流に取水ダムを設け、途中2ヶ所の溪流取水を合わせ最大12m³/sを取水し、約8kmの無圧トンネルで導水して、福島県只見町黒谷に設けた発電所で最大出力19,600kWの発電を行うものである。

黒谷発電所の特徴は以下のとおりであり、また、基本諸元は表2-1-11に示すとおりである。

- ・高さ6mの大型ゴムダムを採用し、洪水時の自動倒伏による土砂の自動排出、沈砂池・土砂吐ゲートの省略、排砂など維持管理の省力化、及び工期の短縮を図った。
- ・TBMを、導水路約8kmのうち4.7km区間に採用し、工期の短縮を図った。
- ・余水路を省略し、その代替として発電所直上流の水圧鉄管から分岐して放流バルブを設置した。
- ・水圧鉄管を地中埋設式とし、表面を緑化することにより周辺景観との調和を図った。
- ・渇水時の河水の有効利用と高効率運転のため、水車を最大使用水量8m³/sと4m³/sの大小水車として、発電電力量の増大を図った。

表2-1-11 実証地点の基本諸元

名 称	黒谷発電所
水 系 名	阿賀野川水系
河 川 名	黒谷川
流 域 面 積	83.0km ²
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	19,600kW
最大使用水量	12m ³ /s
有 効 落 差	194.30m
年間発電電力量 (計画/実績平均)	69,600×10 ³ kWh
運 開 年 月	平成 6年 4月

(4) 対象取水ダム(黒谷取水ダム)諸元

流域面積 : 52.8km²
 ゴムダム型式 : ゴム引布製起伏式
 取水ダム全体規模 : 高さ 11.60m × 長さ 52.19m
 ゴムダム規模 : 高さ 6.00m × 径間長 41.58m
 ゴムダム膨張媒体 : 空気膨張式
 倒伏開始越流水深 : 0.8m

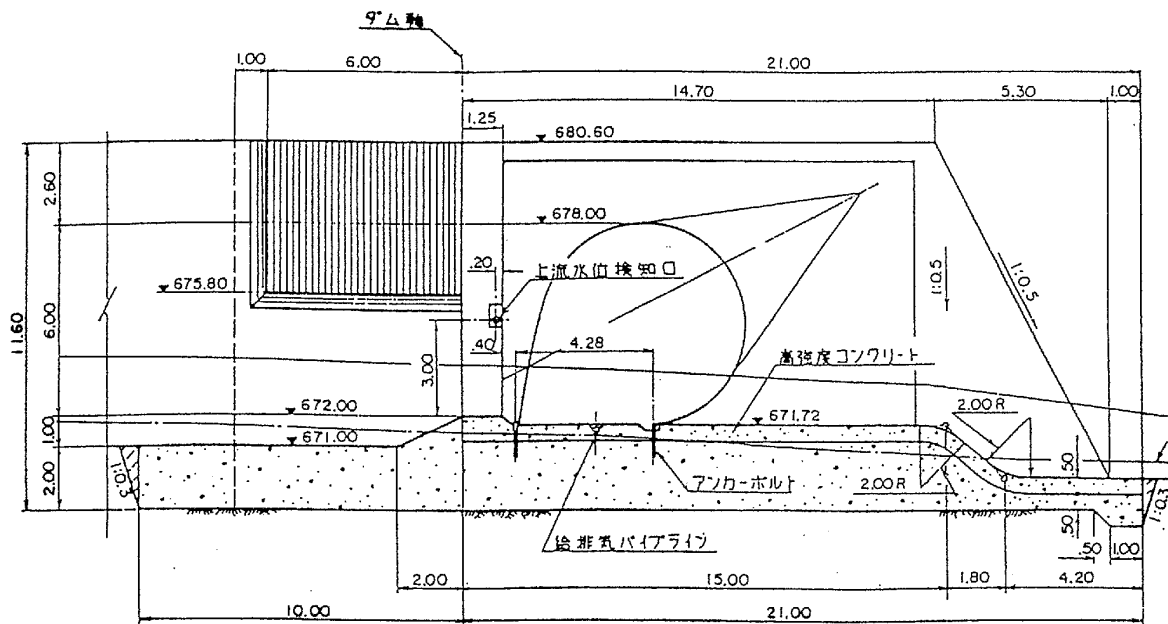


図2-1-4 黒谷取水ダム断面

(5) 実証試験結果

主な実証試験項目及び試験結果は以下のとおりである。

a. 上部工設備機能試験

本試験の目的は、袋体が支障なく起伏することの確認、起立・倒伏時の流量係数の推定、下流ネック断面の水位変動量の測定などを実施して、ゴムダムの機能評価と河川への治水的影響を調査することにある。平成7年9月に実施された黒谷発電所の定期検査に伴う起立・倒伏状況によれば、袋体が支障なく、かつ、所定時間内に起立・倒伏することが確認され、また、ゴムダムから約900m下流のネック断面における水位上昇量も、規制値30cm/30分を満足していた。

しかし、起立・倒伏時の放流量と流量係数の関係については、今後の試験の結果を待つことになる。

b. 流入土砂状況の調査

本調査の目的は、取水口ピット内への流入土砂量と粒度分布を調査して、貯水池内粘土分布調査の結果と勘案して、沈砂池省略に関する実証を行うことにある。

湛水池内4ヶ所、取水口内ピット、水槽内ピットの計6ヶ所から採取した土砂の粒度試験の結果では、取水口内ピットの採取物はほとんどが有機物(木の葉、木の根など)であって、流入土砂分は非常に少なかったと考えられる。また、湛水池内の取水口から約30m上流の粒度分布を見ると、80%以上が水車に影響を与える可能性がある0.3mmの細砂より小さい粒径のものであり、取水口地点においては更にこの割合が大きくなると考えられる。

さらに、湛水池内の取水口からの距離の異なる各地点の粒度分布を比べると、取水口に近いほど細粒分の割合が多くなっており、湛水池の沈砂効果が確認された。

以上の調査結果と発電運転において何等問題が生じなかった事実より、沈砂池の省略可能性が実証されたと考えられる。

c. 排砂機能調査

本調査の目的は、湛水池内の横断測量結果と設置前の断面及びシミュレーション結果との比較を行い、ゴムダム設置による堆砂の状況と倒伏による排砂機能の状況を把握することにある。

黒谷のゴムダムは、倒伏開始流量が $31.8\text{m}^3/\text{s}$ (有効流量は $35\text{ m}^3/\text{s}$)と設定されているが、運開以来の約2年間の間にこれを越える洪水は発生しておらず、ゴムダムの倒伏は定期点検時の手動操作によるもののみである。この時の流量はシミュレーションの条件とは異なっているので直接比較はできないが、倒伏後の最深河床断面におけるデルタ肩の位置がダム上流200m程度の地点にあるので、想定とおおり年3回程度の洪水によってゴムダムが自動倒伏すれば、湛水池内の堆砂は計画(ほとんど堆砂は無い)に近いものになると考えられる。

d. 運転管理の省力化調査

本調査の目的は、ゴムダムの利用による省力化を調査し、その効果を確認することにある。

黒谷取水ダムにおいては、これまで洪水による倒伏は発生していないが、堆砂処理や倒伏操作などを現地で実施する必要は生じていない。また、ITV等による遠隔監視の実施により、常時のパトロール等の要員も必要としないなど、運転管理の省力化効果はほぼ確認されたと判断できる。

2.1.4. マニュアルの概要

(1) 名 称

「ゴム引布製起伏ダムの設計・運転操作管理に関するマニュアル(案)」
(平成8年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、発電用取水を目的とするゴムダムの計画、調査、設計、施工、及び運転操作管理に関する手法を示し、中小水力発電の開発促進に資することを目的とする。

(3) 適用範囲

本マニュアル(案)は、流れ込み式発電所における取水施設として採用されるゴムダムに適用する。

(4) マニュアルの構成

本マニュアル(案)は、平成3年度までの検討によりまとめられた「設計・運転操作管理に関するマニュアル(案)の概成」を基礎にして、実証プラント(電源開発(株)黒谷発電所)における実証試験の結果と、発電用取水ダムにゴムダムを採用している18地点の発電所に対するアンケート調査の結果等を考慮して、とりまとめたものである。

本マニュアルの作成に際しては、ゴムダムの、①沈砂池の省略、②運転管理の省力化、③利用落差の拡大、の機能及び効果を解説するとともに、電力用施設としての条件の下で合理的な設計・施工・運転操作管理が行われるように配慮した。以下は、目次構成である。

ゴム引布製起伏ダムの設計・運転操作管理に関するマニュアル(案)

目 次

第1章 総 則

- 1.1 目 的
- 1.2 適用範囲
- 1.3 ゴムダムの特性
- 1.4 マニュアルの構成
- 1.5 用語の定義
- 1.6 特殊設計施設許可申請
- 1.7 河川法関係

第2章 基本構想

- 2.1 基本方針

2.2	基本構想(目的)
2.3	関連諸法令
第3章	ゴムダム採用のための検討
3.1	項目
3.2	手順
3.3	当該流域の土砂水理的条件等
3.4	ゴムダムの起伏条件
3.5	採用可否の検討
3.6	ゴムダム採用に係る詳細検討
第4章	設計総論
4.1	設計一般
4.2	ダム機能の設定
4.3	設計条件
4.4	模型実験
第5章	上部工設計
5.1	一般
5.2	各部材質
5.3	設計
第6章	下部工設計
6.1	一般
6.2	下部工各部の構造
6.3	安定計算
6.4	下部工各部の設計
第7章	操作設備・取水口等の設計
7.1	操作設備一般
7.2	操作設備の設計
7.3	取水口の設計
7.4	通信制御装置の設計
7.5	その他の施設の設計
第8章	製作及び施工
8.1	施工計画
8.2	下部工施工
8.3	袋体製作据付け
8.4	諸検査

第9章 運転・操作・管理

- 9.1 一般
- 9.2 基本操作
- 9.3 点検
- 9.4 保守・修理
- 9.5 管理体制

第10章 仕様書

- 10.1 仕様書一般
- 10.2 仕様書条項

添 付 資 料

- I. 参考文献
- II. 参考資料
- III. 概略データに基づくシミュレーション結果
- IV. 関連法令

(5) 仕様書

本マニュアル(案)に記述する仕様書は、発電取水用のゴムダムの製作及び設置を対象としている。したがって、仕様書の作成に当っては、発電取水用ゴムダムに関する工事内容その他必要な事項について統一的な解釈が得られ、契約の適正な履行の確保が図れるよう留意しなければならない。ゴムダム設置工事の仕様書には、以下のような諸条件を明示することが必要である。

- ・ 設計・製作などについての留意事項
- ・ 輸送・据付けなどについての留意事項
- ・ その他の条件等

2.1.5. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

国内における中小水力発電所では、取水ダム本体またはそのゲートとしての採用事例が最も多いが、取水口の土砂流入防止堰や水槽の排砂ゲートとしての採用事例もある。(第3章 表3-1参照)

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、ゴムダムに関する技術開発後の発展状況については、最大堰高が開発当時以降変わっていないことなどのためか「開発当時と変りなし」が最も多かったが、ゴム素材強度の向上や補強繊維などの開発が行われ、改良が進んでいるとの評価も次いで多かった。

普及状況については、採用事例の多い新技術の一つであることを反映して比較的高い評価であったが、長期的耐久性の検証が必要、適用河川が限定されるなどの意見もあった。

建設費、保守管理費、建設工期、安全面への寄与程度についても比較的高い評価であったが、補機類の動力費・点検整備費がかかる、損傷時の補修面が問題などの意見もあった。

ゴムダムの採用実績については、水力発電所の取水ダム等の扉体として既に42件、採用発電所の合計出力は約19万kW(既設・工事中地点)に上っており、これに伴う建設費低減額は約19億円と見込まれる(表4-2、4-3参照)など、本技術開発は大きな成果を上げている。

コストダウン以外の効果としては、ダム背水区域の洪水位上昇が防止できる、洪水時の自動倒伏によるフラッシュ効果により堆砂管理が省力化できる、維持管理が容易であるなどの評価が寄せられている。

ゴムダムが採用された発電所及び当該設備の主要諸元は、添付資料-4-1に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 採用事例における指摘事項

アンケート調査の結果によれば、実際に採用した結果におけるゴムダムに関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 長期的な耐久性、耐摩耗性の評価が必要
- ・ 出水時のゴム裂傷防止対策、品質改良
- ・ ダム放流量制御の正確性確保
- ・ 特殊技術を要求される袋体損傷・劣化時の補修方法の改善

また、マニュアルの改訂が望まれる事項として、以下の点が挙げられている。

- ・ 「ゴム引布製起伏堰技術基準(案)」(通称「三次案」)に準拠した見直し
- ・ 保守管理(点検他)に関する事項の充実

b. 不採用事例について

アンケート調査の結果、ゴムダムの採用が検討されたものの採用に至らなかったケースが1例回答されている。その主な不採用の理由としては、経済性が挙げられており、今後同様なケースにお

いて採用が見送られないための改善課題として、設置後のメンテナンス費用を含めた更なるコストダウンや耐久性の向上を指摘している。(詳細は第4章参照)

c. 最近の技術動向

他機関等におけるゴムダムに関する技術開発等としては、平成12年建設省(国土交通省)は、前述の「ゴム引布製起伏堰技術基準(案)」(通称「三次案」)を策定した。この三次案は、昭和58年の二次案策定後における大規模なゴムダムの施工実績、技術進歩や知見の集積、大規模化に伴う新たな課題の出現などを踏まえて、見直しが行なわれたものである。

また、ゴムダムを応用したものとして鋼・ゴム合成起伏堰が開発され、国内の電力設備としての採用も検討されはじめている。これは、鋼製扉体とゴム引布製袋体を組み合わせたもので、鋼製扉体が転石や流木の直撃によるゴム袋体の損傷から保護するほか、鋼製扉体の起立角度の設定により任意の水位・流量の調整が可能であるとともに、Vノッチ現象がないため安定した水位・流量制御が期待できる。

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)のほかに参照すべきものとしては、前出の「ゴム引布製起伏堰技術基準(案)」((財)国土開発技術研究センター、平成12年10月)のほか、以下のものが挙げられる。
「ゴム引布製起伏堰の保守管理について」(電力土木、No.229、平成2年11月)

2.2. 低落差水力発電所ダム基礎処理の合理化

低落差水力発電所ダム基礎処理の合理化

(昭和 61 年度～平成2年度調査)

概 要

河川中下流部の水力地点は、一般に川幅が広く砂礫層が厚いために、ダムの基礎処理費用が嵩む関係上、未開発地点が多く残されている。本技術開発は、この基礎処理費のコストダウンにより中下流における未開発水力地点の経済性を高めるとともに、低落差地点のみならず高中落差地点への適用も可能にしようとするものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

ダム基礎処理、連続地中壁、ベントナイト混入コンクリート、WMC グラウチング、セメントスラリー、微粒子化技術、河床堆積層、設備合理化

適用範囲

河床堆積層上に築造されるダムの基礎処理

2.2.1. 新技術の概要

(1) 目的

従来の我が国の水力開発は、河川の中上流部の立地条件の良好な高落差地点を中心に行われてきた。これに対し、河川の中下流部の低落差大流量が得られる地点については、未開発地点が多く残されている。この理由としては、地質・地形条件など多々あるが、技術的には河川中下流部は一般に川幅が広く河床堆積層が厚いためにダム基礎処理が困難で費用が嵩むことや、低落差用の発電機器の開発が遅れていたことなどが理由として挙げられる。

本新技術は、河川中下流部の厚い砂礫層を、従来工法のように岩盤まで掘削して不透水性の土質材料に置き換えることなく、「ベントナイト混入コンクリート地中壁」及び「WMCグラウチング」を併用したダム基礎処理工法により砂礫層を直接に遮水処理し、砂礫上にダムを構築することによって建設費のコストダウンを図り、未利用であった中下流における水力地点の経済性を高めるとともに、低落差地点のみならず高中落差地点への適用も可能にすることを目的としている。（図2-2-1参照）

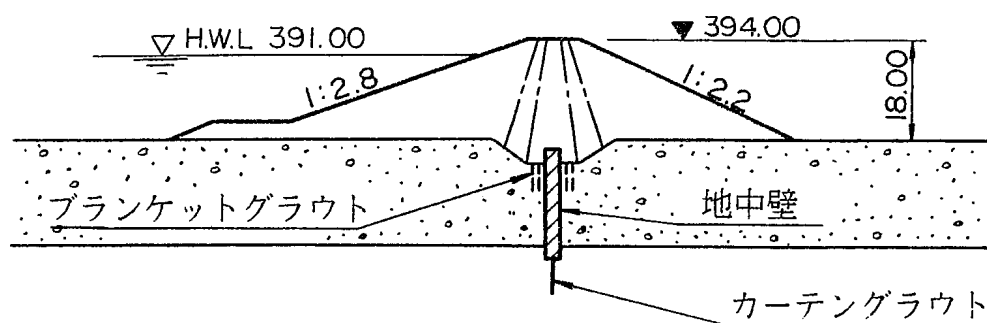


図2-2-1 ダム砂礫層基礎処理技術の概念

(2) 設計・施工上のコンセプト

a. ベントナイト混入コンクリート地中壁

基礎処理の対象とする砂礫地盤を連続地中壁により遮水し、従来工法のような砂礫層の大規模な掘削並びに土質遮水壁及びロックによる置き換えを省略することによって、コストダウンを実現しようとするものである。この地中壁は、砂礫地盤に近い変形性を持った材料（ベントナイト混入コンクリート）を用いることにより、ダム築造及び湛水に伴う砂礫地盤の変形（沈下）に追従可能なものである。

b. WMC グ라우チング

河川中下流部の河床堆積層は、一般に砂礫粒子の間隙が微細である。 10^{-3}cm/s オーダーの透水係数を有する良く締まった砂礫層をグラウチングにより遮水処理する場合、普通セメントを注入材料として用いると粒径の点で注入性に限界があり、所要の改良効果が得られないケースが多い。

本工法は、この点の克服を目的として、セメントをスラリー状態にしたうえ、セメント粒子を可能な限り小さくする微粒子化技術を開発したものであり、ベントナイト混入コンクリート地中壁による基礎処理工法と併せて適用することによって、同工法の信頼性をより高めようとするものである。

注) WMC:Wet Milled Cement、湿式細粒化セメント

(3) 技術開発における主な検討課題とその対策

a. ベントナイト混入コンクリート地中壁

一般にコンクリート系の地中壁は周辺地盤に比べて剛性が大きいために、地中壁と周辺地盤を含むダム基礎全体が不均一な変形や挙動を示すことが多い。この点が設計・施工上の課題で、実際の適用においても使用目的や規模などに制約があったのが実状である。本工法は、コンクリートにベントナイトを混入して周辺地盤に近い変形特性を持たせ、これを地中壁材料として用いることにより、このような問題点を解決したものである。

また、コア内浸透流量の抑制及び地中壁頭部の浸透流速低減のため、地中壁頭部をコア内に一定長さ突き出すことが必要であるが、その結果地中壁頭部に応力集中が生じ、構造上の安定性を損なう恐れがある。したがって、浸透流解析及び構造解析を実施し、水理上必要十分、かつ構造上・施工上問題のない地中壁頭部の形状・突き出し長さを選定した。(図2-2-2参照)

本工法は、将来的に低コストの基礎処理工法として、地中壁の適用拡大につながるものと考えられる。

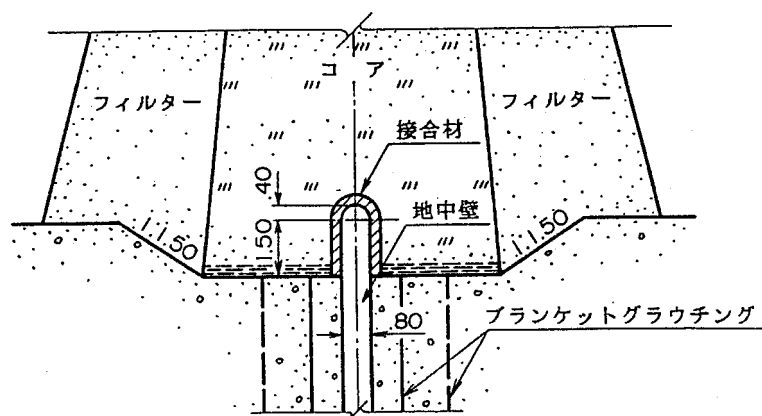


図2-2-2 地中壁頭部詳細

b. WMC グ라우チング

一般に河床堆積層は微細な間隙を多量に包含しており、従来より注入材料として用いられている普通セメントでは粒径的に注入性に限界があり、設計上あるいは施工上で苦慮することが多かったのが実情である。

このような従来の材料による問題点を解決するために、セメント粒子を可能な限り小さくし、注入

性を向上させることを目的として、セメントのスラリー状態での微粒子化技術を開発し、低コストの基礎処理工法としてグラウチングの適用範囲の拡大を図ったものである。

(4) 検討経緯

本技術開発の検討経緯は、以下のとおりである。

- a. 新止水処理工法の現状の調査・物性などの基礎試験(昭和 60 年度)
「基礎処理合理化技術検討委員会」の技術検討結果を報告書に取りまとめた。
- b. 実証プラントの設計(昭和 61 年度)
原位置試験を実施し、設計・施工計画を取りまとめた。
- c. 実証試験要領の作成(昭和 61 年度)
実証試験実施要領(案)を作成した。
- d. 設計・施工マニュアル(案)の作成(昭和 61～平成 2 年度)
当初マニュアル(案)概成を作成の後、実証試験結果を踏まえて、他地点の施工例を含むマニュアル(案)を作成した。
- e. 実証試験(昭和 62～平成元年度)
阿賀野川水系只見地点において実証試験が実施された。
- f. 実証試験データの分析及び試験(昭和 62～平成 2 年度)
全実証試験結果の総合的な分析評価を行なうとともに、湛水開始後の状況の確認も実施した。

2.2.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

(1) ケース・スタディ対象地点の概要

a. 概 要

ケース・スタディの対象とした只見地点は、阿賀野川水系只見川の既設田子倉ダムの下流に位置し、田子倉発電所と既設滝発電所間の遊休落差の一部約20mを有効に利用するために計画されたものである。

只見発電所は、田子倉ダムの下流約3km地点に高さ29mのロックフィルダムを築造し、そこにできる有効貯水量200万 m^3 の調整池を利用して、最大 420 m^3/s の田子倉発電所の発電放流量と残流量を日間調整し、ダム直下の発電所において最大 375 m^3/s の使用水量と 19.8mの有効落差により、最大出力 65,000kWの発電を行うものである。

只見地点の基本諸元は表2-2-1に、また、ダムの概要は図2-2-3、2-2-4 に示すとおりである。

表2-2-1 ケース・スタディ対象地点の基本諸元

名 称	只見発電所
水 系 名	阿賀野川水系
河 川 名	只見川
発 電 方 式	ダム式・調整池式
最 大 出 力	65,000kW
最大使用水量	375 m^3/s
有 効 落 差	19.8m
運 開 年 月	平成元年 7月

b. 設計上の特徴

只見地点の設計上の特徴としては以下の点が挙げられる。

- ・ 主ダムの大部分は只見川の河道部に位置し、河床砂礫が約20mの厚さに堆積しているので、建設費の削減を図るため砂礫層を残置するいわゆるフローティングダムとした。基礎処理としては、ベントナイト混入コンクリート地中壁とWMCグラウチングを採用した。
- ・ 水車・発電機は、低落差・大流量に最も適し、建設費が低廉であることなどの理由により、現在では世界最大の横軸円筒可動羽根プロペラ水車を採用した。

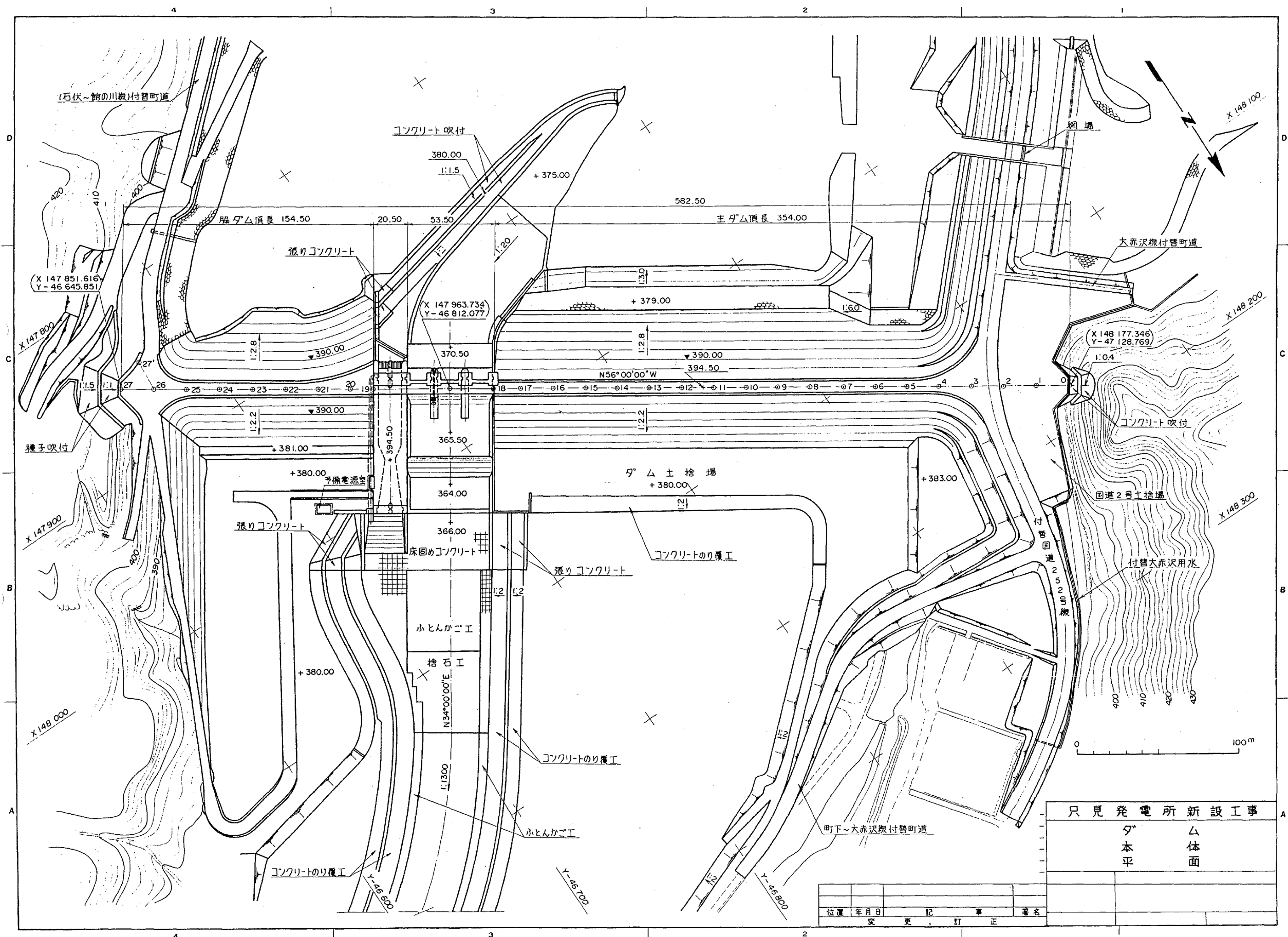


図2-2-3 只見ダム平面

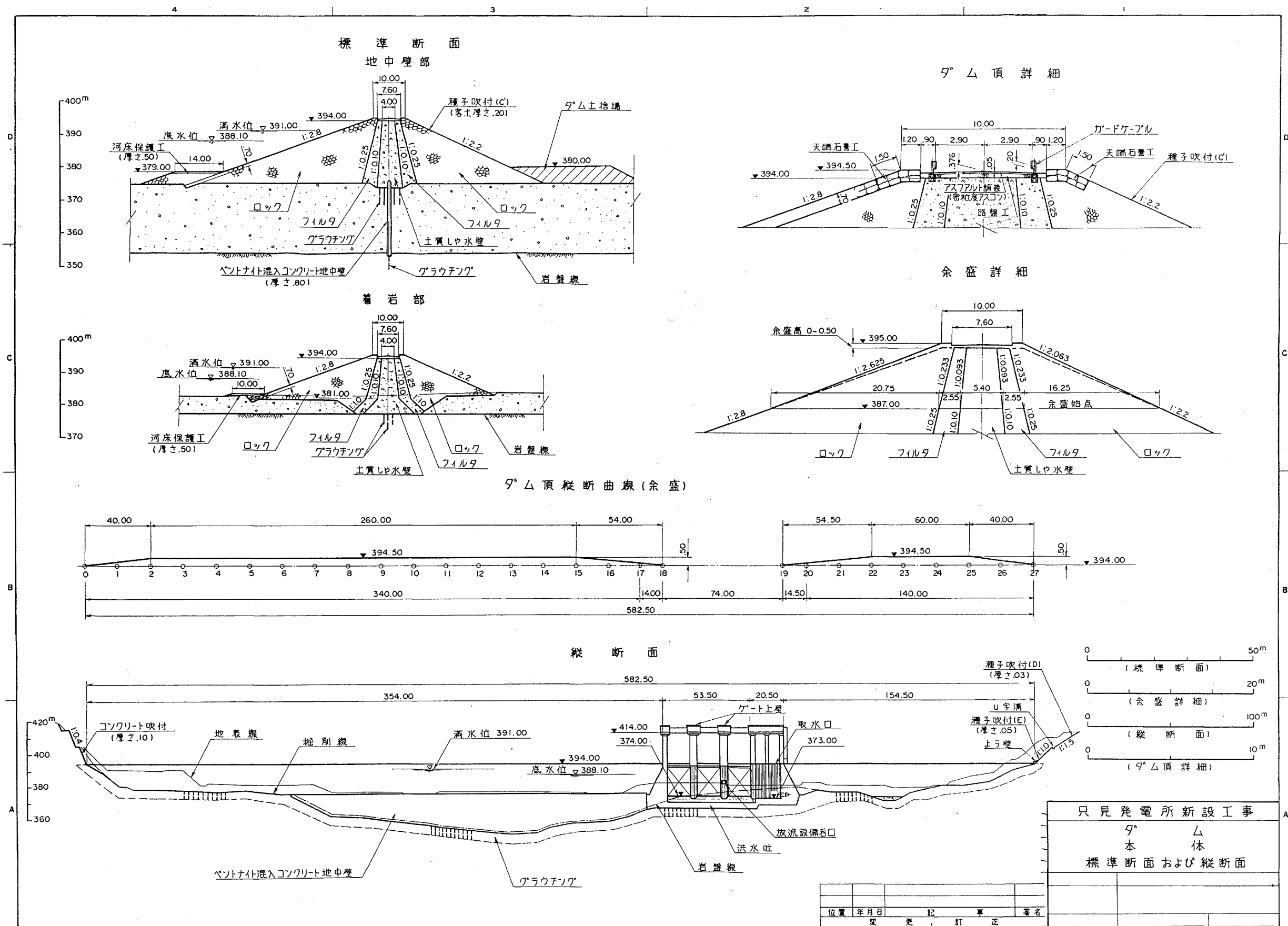


図2-2-4 只見ダム断面

(2) ケース・スタディ結果

只見ダムの内、実際に地中壁を施工した主ダムの延長218mの部分を対象として、以下の3種類の基礎処理工法についてケース・スタディを実施した。工事費(ダム着岩工法の工事費を100としたときの百分率)を算出した結果は表2-2-2のとおりであり、①の工法が最も経済的であるとの結果となった。

- ① ベントナイト混入コンクリート地中壁(B C)+ WMC グ라우チング
- ② 鉄筋コンクリート地中壁(RC)+ WMC グ라우チング
- ③ ダム着岩工法

表2-2-2 基礎処理工法の経済比較(百分率)

		ベントナイト混入コンクリート地中壁+WMC グ라우チング	コンクリート地中壁+WMC グ라우チング	ダム着岩工法
工 事 費	ダ ム	17	17	56
	基礎処理	56	65	31
	河流処理	4	4	13
	計	77	86	100

(注) 表中の数値は、ダム着岩工法の工事費の計を100とした場合の数値である。

表2-2-2に見られる主な特徴は以下のとおりである。

- ・「ベントナイト混入コンクリート地中壁+WMCクラウチング工法」は、「ダム着岩工法」に比べ、基礎処理は割高となるが、ダム工事の掘削、盛立の数量及び河流処理工事のシートパイル数量が少なくて済むため、全体としては、「ダム着岩工法」の77%の工事費で仕上がっている。
- ・「ベントナイト混入コンクリート地中壁+WMCクラウチング工法」は、「RCコンクリート地中壁+WMCクラウチング工法」と比べると、ダム及び河流処理の工事費は同じであるが、キャップコンクリート及び鉄筋が必要ないこと、ならびにブランケットグラウチングの数量減により経済的に仕上がっている。
- ・以上から、「ベントナイト混入コンクリート地中壁+WMCクラウチング工法」は、他の2工法と比べて最も経済的な工法であると言える。

2.2.3. 実証試験結果

(1) 実証試験の目的

実証試験は、河床堆積層の物性値と基礎処理工法の関連性の明確化、ダム堤体盛立時及び湛水時の堤体及び地中壁の挙動の把握、WMCグラウチングによる河床堆積層の改良効果の確認などを目的として実施された。

(2) 実施期間

昭和62年度～平成元年度

実証試験の実施期間は上記の3ヶ年であり、昭和62年度は地中壁の構築、ブランケットグラウチング、及び河床堆積層の物性値と基礎処理工法の関連を明確にするための河床堆積層を対象とする各種の調査試験が実施された。昭和63年度はWMCグラウチングによる河床堆積層の改良効果確認試験並びにダム堤体盛立時の地中壁及び堤体の挙動を把握するための諸計測が実施された。平成元年度は、湛水時の堤体及び地中壁の挙動を把握するための諸計測が実施された。

(3) 実証地点の概要

実証地点は、経済性に関するケース・スタディの対象地点と同じ只見地点であり、地点概要については 2.2.2. を参照されたい。

実証プラントに指定した範囲は、河床堆積物上に中央遮水壁型ロックフィルダムを直接構築する区間で、その基礎処理はベントナイト混入コンクリート地中壁及びWMCグラウトによるブランケットグラウチングにより行う設計となっている。

実証試験の対象としたダム、地中壁、WMCグラウチングの概要は、以下のとおりである。

a. 対象ダム(只見ダム)の概要

只見ダムの基本諸元は、以下のとおりであり、実証試験はダムの旧河床部218m区間の河床堆積層の基礎処理を対象として実施した。

主ダム

型 式 : 中央遮水壁型ロックフィルダム

規 模 : 高さ 29.0m × 堤頂長 354.0m

堤体積 : 310,000m³

脇ダム

型 式 : 中央遮水壁型ロックフィルダム

規 模 : 高さ 19.0m × 堤頂長 154.5m

堤体積 : 90,000m³

b. ベントナイト混入コンクリート地中壁の概要

ベントナイト混入コンクリート地中壁は、中央遮水壁型ロックフィルダムの土質遮水壁直下に配置

する設計とし、浸透流抑制のため地中壁頭部は土質遮水壁内へ突出す構造とした。また、地中壁と河床堆積層間の不等沈下に対処するため頭部を半円形状に整形すると共に、塑性指数の高い土質材料を突出し部に配置した。岩盤への根入れは1m以上を確保するものとした。(表2-2-3参照)

表2-2-3 ベントナイト混入コンクリート地中壁諸元

材 料	ベントナイト混入コンクリート
厚 さ	80 cm
延 長	218 m
深 さ	1～ 23 m
面 積	3,944 m ²

c. WMC グ라우チングの概要

WMCグラウチングによるブランケットグラウチングは、土質遮水壁直下の堆積層内の浸透流の抑制、並びに地中壁と河床堆積層間の不等沈下の低減を目的としている。(表2-2-4参照)

表2-2-4 WMCグラウチング諸元

注入材料	WMCグラウト
注入方法	スリーブパイプ方式
改良区間	地中壁施工部 210m区間
改良範囲	土質遮水壁全幅
改良深さ	5 m
注入孔数	336 孔
改良目標	5×10^{-5} cm/s程度

(4) 実証試験等の結果

只見ダム地点で実施された実証試験のほか、各種の原位置試験、実証プラントの基本設計における技術的、経済的検討などの結果を総合すると、以下の事項が結論づけられる。

a. ベントナイト混入コンクリート地中壁について

- ・ベントナイト混入コンクリートは、配合を適切に選定することにより、砂礫層に近い変形性を有する施工性に優れた地中壁材料となる。
- ・この大きな変形性によって、普通コンクリートによる地中壁工法で問題となる砂礫層とコンクリート地中壁の相対変位を、大幅に小さくすることができる、

- ・ ベントナイト混入コンクリート地中壁は、常時（満水時）および地震時においても、地中壁として十分な構造的安定性を有すると評価される。
 - ・ ベントナイト混入コンクリート地中壁は、壁体及び継手部の両方とも十分な遮水性を持たせ得ることが確認された。
- b. WMC グ라우チングについて
- ・ $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ のオーダーの透水性を有する只見地点の砂礫層は、WMC グ라우チングを行うことにより所要の 10^{-5}cm/s オーダーまで遮水性を高めることができた。
 - ・ 電気探査による見かけの比抵抗分布からみると、砂礫層はWMC グ라우チングにより均質化が図られたと判断できる。
 - ・ 注入終了後のトレンチ掘削による目視観察によれば、WMC グラウトの注入範囲はコア全面に十分亘っており、注入パターンが適切であることが確認された。
 - ・ 砂礫層は注入性が悪く、粘土系やセメント系グラウトにより基礎処理を経済的に行うことが、従来困難とされてきたが、WMC グ라우チングは注入性が良く、締まった砂礫層でも経済的なグラウチングが可能であることが明らかとなった。
 - ・ WMC グ라우チングは、砂礫層の水密性を十分に改良でき、かつ均質化を図ることが可能である。

2.2.4. マニュアル(案)の概要

(1) 名 称

「低落差水力発電所ダム基礎処理の合理化 設計・施工マニュアル(案)」
(平成3年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、河床堆積層上に建設されるダムの基礎処理工法としてのベントナイト混入コンクリート地中壁及びWMCグラウチングが、安全かつ経済的に設計・施工されることを目的として、只見ダム地点での実証試験結果を基に作成したものである。

(3) 適用範囲

a. ベントナイト混入コンクリート地中壁

河床堆積層(以下、堆積層と呼ぶ)上に築造されるダムの基礎処理工法としてのベントナイト混入コンクリート地中壁の調査、設計、施工、計測、仕様書および積算に適用する。

b. WMC グ라우チング

堆積層上に築造されるダムの基礎処理工法としてのWMCグラウチングの調査、設計、施工、仕様書および積算に適用する。なお、注入はスリーブ注入とする。

(4) 設計・施工マニュアル(案)の構成

設計・施工マニュアル(案)は、ベントナイト混入コンクリート地中壁編及びWMCグラウチング編に大別されており、以下はそれぞれの目次構成である。

設計・施工マニュアル(案)目次

I. ベントナイト混入コンクリート地中壁

第1章 目的及び背景

第2章 基本方針

2.1 適用範囲

第3章 調 査

3.1 調査の目的

3.2 調査の範囲

3.3 調査の項目

3.4 調査の方法

第4章 設 計

- 4.1 基本事項
- 4.2 地中壁の設計
- 4.3 構造解析
- 4.4 浸透流解析
- 4.5 地中壁材料の配合

第5章 施 工

- 5.1 施工計画
- 5.2 施工設備
- 5.3 施 工

第6章 計 測

- 6.1 計測の目的
- 6.2 計測の項目

第7章 仕様書

- 7.1 仕様書一般
- 7.2 仕様書条項

第8章 積 算

- 8.1 積算一般
- 8.2 積算条件
- 8.3 施工設備
- 8.4 サイクルタイム
- 8.5 工事費算定

用語の定義

II. WMCグラウチング

第1章 目的及び背景

第2章 基本方針

- 2.1 適用範囲
- 2.2 WMCグラウチング

第3章 調 査

- 3.1 調査の目的
- 3.2 調査の項目
- 3.3 調査の方法

第4章 設 計

- 4.1 基本事項
- 4.2 注入設計

第5章 施 工

5.1 施工計画

5.2 施工設備

5.3 施 工

第6章 仕様書

6.1 仕様書一般

6.2 仕様書条項

第7章 積 算

7.1 積算一般

7.2 積算条件

7.3 施工設備

7.4 サイクルタイム

7.5 工事費算定

用語の定義

(5) 仕様書

仕様書の作成にあたっては、工事内容その他必要な事項について統一的な解釈が得られ、契約が適正に履行されるよう留意し、以下のような諸条件や特記事項を明示し、規定することが必要である。

a. ベントナイト混入コンクリート地中壁

(a) 諸条件

- ・ 事前調査に基づく施工条件
- ・ 掘削工法
- ・ その他の条件

(b) 特記事項

- ・ 岩盤線確認方法などの掘削に関する事項
- ・ 掘削用安定液
- ・ ベントナイト混入コンクリートの品質、打ち込み方法など

b. WMC グラウチング

(a) 諸条件

- ・ 事前調査に基づく施工条件
- ・ WMCグラウト注入の注入順序および注入基準
- ・ その他の条件

(b) 特記事項

- ・ 穿孔に関する事項
- ・ シールグラウト充填に関する事項

- ・ スリーブパイプ設置に関する事項
- ・ クラッキングに関する事項
- ・ WMCグラウト製造に関する事項
- ・ 注入に関する事項
- ・ 透水試験に関する事項
- ・ 仮設備に関する事項

(6) 積算関係

a. ベントナイト混入コンクリート地中壁

設計・施工マニュアル(案)では、積算の適用条件として、只見ダムで採用されたバケット式掘削方式、インターロッキングパイプ方式の継手形式を前提としている。したがって積算に当たっては、一般的事項のほか、この適用条件に適合する施工設備、サイクルタイムなどを十分に踏まえて行なう必要がある。(図2-2-5、2-2-6参照)

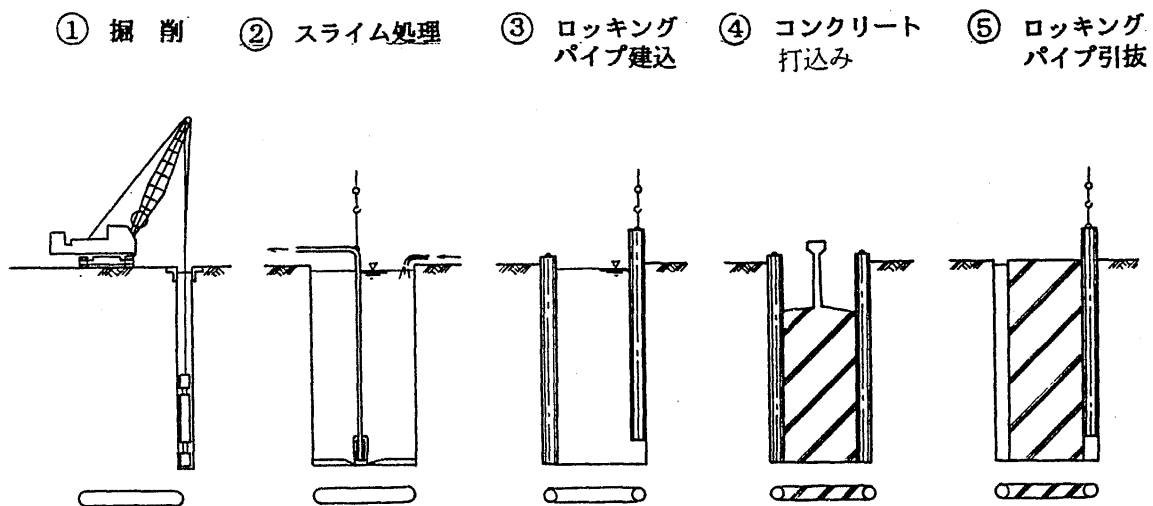


図2-2-5 先行エレメントの施工順序

- ① 掘削 ② ジョイント清掃 ③ スライム処理 ④ コンクリート打込み

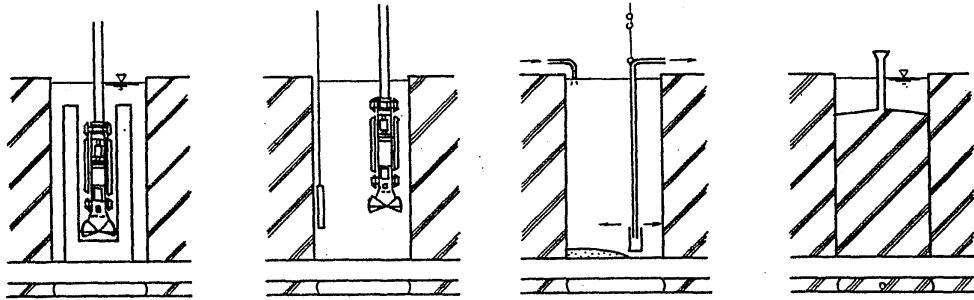


図2-2-6 後行エレメントの施工順序

b. WMC グラウチング

WMCグラウチングを用いて基礎処理を行う場合、地盤は転石を含む堆積層が主体となるため、通常のボーリング機械を用いて自立する注入孔を穿孔することは困難であり、スリーブ注入工法が採用される。したがって積算に当たっては、一般的事項のほか、スリーブ注入工法を前提とした作業手順、施工設備、サイクルタイムなどを十分に考慮して行なう必要がある。(図2-2-7参照)

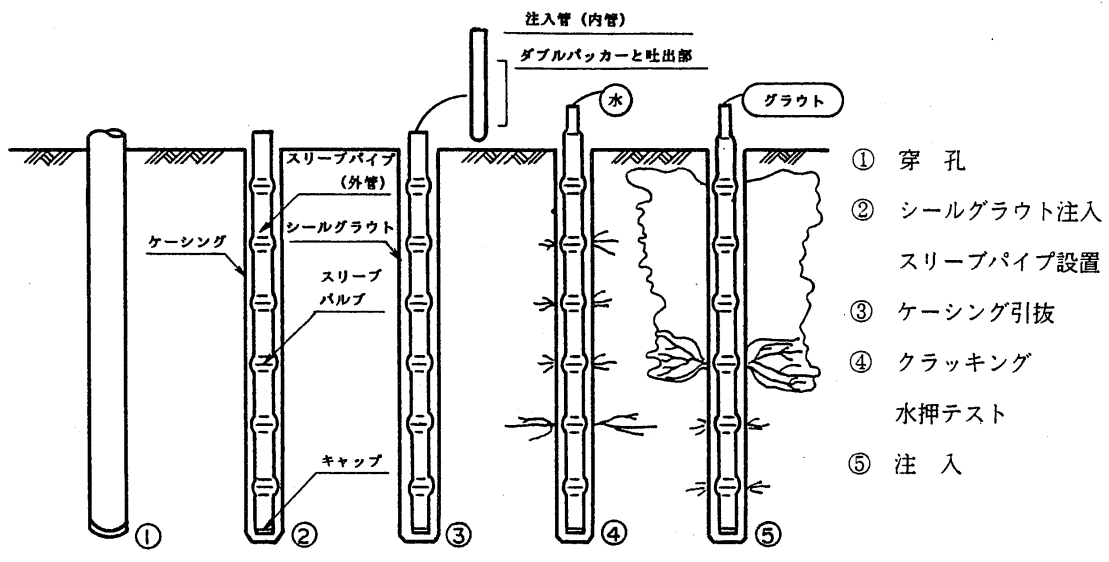


図2-2-7 WMCグラウチングの施工順序(スリーブグラウチング)

2.2.5. 採用実績、課題など

(1) 新技術の採用実績、効果など

新技術の採用実績などに関するアンケート調査結果によれば、ダム基礎処理に関する技術開発後の発展状況については、適用事例が少ない(2地点)ことを反映して「開発当時と変りなし」が最も多かった。

普及状況についても、上記と同様の理由により、「どちらとも言えない」が最も多かった。

建設費低減・工期短縮への寄与については「どちらかと言えば大きい」との評価が大勢を占め、本新技術を採用した事業者は建設費低減効果が「大きい」としている。

本新技術の採用実績については、水力地点の適用事例としては上記のとおり2地点に留まっているが、採用2発電所の合計出力は約8万kW(既設・工事中地点)であり、これに伴う建設費低減額は約1億円と見込まれる(表4-2、4-3参照)など、本技術開発は相当な成果を上げている。

コストダウン以外の効果としては、WMCグラウチングについて、シルト質砂層など微細な間隙まで注入領域が拡大できる、ブリージングが少なく安定性が高い、粘性が高く不必要な範囲に注入材料が流出しない、などの評価が寄せられている。

本ダム基礎処理工法が採用された発電所及び当該設備の主要諸元は、添付資料-4-2に示すとおりである。

(2) 今後の課題など

a. 今後の課題

只見地点での実績により、ダム高20m、地中壁深度23m程度の規模については、ベントナイト混入コンクリート地中壁工法およびWMCグラウチング工法は実用化されたと考えられる。今後の課題としては、これらの実績を踏まえてどの程度の規模にまでこれらの工法が運用可能かという点の解明及びより一層の経費節減を図るための方策が挙げられる。

規模拡大については、各地点の条件により一概に言えないが、只見地点において実施した手法により検討することにより、地点毎に可能性の有無を判断可能であると思われる。また、経費節減については、例えば地中壁上下流部のWMCブラケットグラウチングを50%程度に削減することができれば、さらに数%の経費節減が可能となり、経済効果は非常に大きなものとなる。このため、ベントナイト混入コンクリート地中壁による基礎処理の設計においては、WMCグラウチングをどの程度まで省略できるかが今後の課題となると思われる。

b. 採用事例における指摘事項

また、アンケート調査の結果によれば、ダム砂礫層基礎処理技術に関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 実績の積み重ねによる長期的安全性の確認が必要
- ・ WMCについては、注入の障害となる粗粒分、細粒分の割合が高く、粒度分布をより均質に

することが必要

- ・ 製造時の摩擦熱の影響をできるだけ取り除く工夫が必要
- ・ 粘性を低減する効果的な流動化剤の開発

また、マニュアルの改訂が望まれる事項として、以下の点が挙げられている。

- ・ 施工実績などの記載

c. 最近の技術動向

他機関などにおけるダム砂礫層基礎処理に関する技術動向としては、国土交通省により石狩川水系に建設中の忠別ダムにおける類似技術の採用事例が挙げられる。本ダムは、幅約600m、最大約40m厚の砂礫層を一部開削し、残りの砂礫層を連続地中壁及びグラウトにより処理し、その上に約80mのフィルダムを築造したものである。（岸信久ほか：忠別ダムのソフトコンクリートによる連続地中壁の試験施工、ダム技術、Vol.5、No.1、1987、芳賀敏二：多様化する地中連続壁、基礎工、Vol.27、1999、村椿健治ほか：忠別ダム砂礫基礎部のグラウティングについて、ダム技術、No.176、2001.5、など参照）

なお、独立行政法人土木研究所では、この忠別ダムを事例として「砂礫基礎上のフィルダムの設計施工に関する調査」が実施されている。（平成11年度～13年度）

2.3. TBM 工法によるトンネル施工の合理化

TBM工法によるトンネル施工の合理化

(昭和 60 年度～平成 13 年度調査)

概 要

未開発水力地点の大半は流れ込み式発電であり、かつ、その多くは山間僻地にある。また、中小規模の開発が主体となることから、建設費が割高となり、中でも水路トンネルの工事費は水力発電所総工事費の 30～40%を占めている。このため、TBM工法によるトンネル施工の合理化を図り、水路トンネル工事費のコストダウンを指向するものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

TBM、全地質対応型 TBM、掘削・覆工一体型 TBM、岩盤掘削機、ベルコン輸送方式、流体輸送方式、施工性向上、安全性向上、トンネル掘削機械化

適用範囲

中小水力発電所の小口径水路トンネルを対象とし、全地質対応型 TBM の適用径及び覆工ロボットの適用径ともに約 3m 以下とする。

2.3.1. 新技術の概要

(1) 目的

第5次発電水力調査結果によると、未開発地点の大半は流れ込み式水力発電で、かつ多くの地点が山間僻地にある。また、中小規模の開発が主体となることから建設費が割高となり、中でも水路トンネルの工事費は中小水力発電所総工事費の30～40%を占めている。

これら中小規模の水力発電を短期間に、かつ経済的に開発するためには、水路トンネル工事費のコストダウンを図ることは重要な課題であり、トンネル掘削機として広範な地質変化に対応できる全地質対応型TBMを開発し、これを用いたTBM工法の設計・施工について取りまとめたものである。

また、これらの従来のTBM工法(「従来型TBM工法」)に加えて、掘削と覆工(吹付けコンクリート)を同時に施工する掘削・覆工一体型TBM工法(「一体型TBM工法」)の開発も行い、更なるコストダウンを指向している。

(2) 概要

本技術開発において対象とする全地質対応型TBMは、中小水力に適応した小規模断面の施工で、かつ硬岩から断層破碎帯を含む軟弱層まで広範囲の地質に適合可能なものとして開発したものであり、TBM本体をシールドシェル構造とし、硬岩部における主推進システム(グリッパー、スラストジャッキ)並びに軟弱部における補助推進システム(セグメントを反力受けとしたシールドジャッキ)を有するものである。

一方、掘削・覆工一体型TBMは、掘削と吹付覆工を同時に行なうための小断面水路用高性能ロボットをTBM本体直後に装備したものである。

TBM工法においては、従来の発破工法と比較し、経済性及び安全性において以下の有利性があり、本技術はこれらの特徴を生かして、中小水力発電用としてのTBM工法の開発を行ったものである。

- ・掘削作業を連続的に行うことができ、掘進速度が速く工期の短縮が可能となる。
- ・掘削に伴う岩盤の緩みが少ないことから、支保工及び覆工の簡素化が図れるとともに、作業の安全性が高い。
- ・掘削壁面が滑らかであり、無巻区間及び吹付区間においても粗度係数が小さく、通水能力が高い。
- ・余掘りが少なく、覆工に無駄が生じない。
- ・機械施工であり、作業の省力化が図れるだけでなく、粉塵の発生や振動及び騒音も小さく、坑内における作業環境が良い。また、火薬を使用しないので、爆破に伴う危険性が皆無である。

(3) 設計・施工上のコンセプト

水路トンネルにおけるTBM工法の設計・施工に関する基本コンセプトは、以下のとおりとした。

a. TBM の型式

TBM工法のシステムは、現地の地質条件に適応し、掘削、ずり出し及びその他の作業が効率よく行えるよう構成するとともに、安全かつ経済的なシステムを選定する必要がある。

TBMの形式は、一般的にはオープン型とシールド型に大別されており、「掘削部」、「グリッパー部」及び「推進部」の基本機構から構成されている。

オープン型TBMは、中央部に設けたメインビームにこれらの基本機構部を配置したタイプのTBMを指し、推進力はグリッパーからのみ得ることができる。

これに対し、全地質対応型TBMとして開発したシールド型TBMは、TBM本体をシールドシェル構造とし、グリッパーによる推進に加え、セグメントを使用するシールド掘進も可能なタイプのTBMである。

b. ずり処理

ずり処理は、TBMの掘進能力、並びに破碎されるずりの大きさ、硬さ、吸水による変化および容積の増加などずりの性状を考慮のうえ、輸送機械を比較検討し、安全かつ効率的なずり処理計画を立てる必要がある。

また、ずり処理はトンネルの掘削速度に影響する重要な要素であることから、地山条件(地質、湧水など)、立地条件(周辺の環境、土捨場、運搬路など)、トンネル断面の大きさ、延長、平面線形、勾配及びずりの性状などを考慮して、ずりの輸送設備及び排出処理設備などを定める必要がある。

一般的なずり処理方式には、流体輸送方式とベルトコンベヤ輸送方式とがあり、各々の特徴は以下のとおりである。

(a) 流体輸送方式(スラリー方式)

流体輸送方式は、掘削したずりを切羽からパイプラインにより直接坑外に搬送し、坑外の土砂分離設備等を経て、土捨場に掘削ずりを処理するものであり、掘削とずり搬出が同時かつ連続的に行え、ずり処理システムとしては、流体輸送システムと土砂分離システムの2つのシステムにより構成される。

(b) ベルトコンベヤ輸送方式(レール方式)

ベルトコンベヤ輸送方式は、掘削したずりを切羽から TBM 後方の所定位置までベルトコンベヤにより輸送し、ずり鋼車等の車両に積込んで坑外へ輸送するものである。全体システムとしては、掘削機、掘削したずりを一次輸送するベルトコンベヤ、二次輸送する車両、及び坑外でのずり排出処理設備から構成される。

c. 支保工

支保工は、地山の状態を考慮し、適切なパターンと施工時期を選択して施工する必要がある。TBM工法は、掘削断面形状が円形で緩み領域も小さいことから、在来工法に比べ地山自身の支保能力が高い。これより、TBM工法では、在来工法に比べて小規模な支保工パターンを選択する

ことができ、これによって掘進速度及び経済性の向上が可能となる。一体型TBM工法では、掘進と併進して吹付けコンクリートを施工し、掘削地山の早期安定を図ることによって、支保工パターンのより一層の軽減を指向している。

支保工としては、施工実績から以下のものが挙げられる。

(a) 金 網

多少の肌落ちが予想される区間では、吹付けコンクリートのせん断補強としてアーチクラウン部に金網を設置する。この場合、金網は地山を緩めないように、10～30cm のホールインアンカーで定着させる。

(b) 鋼製リング支保工

掘削時に肌落ちがあり、長期的には崩落のおそれがある区間では、通常鋼製リング支保工が設置される。

鋼製リング支保工は、矢板(鉄矢木、エキスパンドメタル矢板など)を併用して TBM テール後方で設置するが、地山と密着させることが必要であり、矢板及びくさびなどは重要である。くさびは掘削等の振動で緩みや肌落を生ずることがあり、緩みや肌落が生じたものは、直ちに締付け補強しなければならない。

一般に、鋼製リング支保工には形鋼(L形鋼、H形鋼)を使用するが、肌落ちは認められるものの地圧はかからない区間では、形鋼の代わりに、軽量で施工性が良く、材料費も安い鋼管パイプを支保工材として使用する場合もある。

(c) セグメント

壁面の崩落が鋼製リング支保工でおさえることが困難な区間、メイングリッパー反力が得られない区間及び長期的には地圧がかかる区間などではセグメントを設置する。セグメントの種類は、材質から鋼材、コンクリート及びこれらを合成した製品などに分けられるが、TBM 工法では通常鋼製セグメントが使用される。

(d) ファイバーモルタル吹付け

前記支保工のほか、節理が多い箇所の肌落ち防止等の支保として、掘削後直ちに 2～3cm 程度のファイバーモルタル吹付けを行う場合がある。これは、風化防止及び緩みの抑制の面から効果的である。

ファイバーモルタルは、粉じん及びはね返りが非常に少なく、かつプレミックスモルタルを使用することから吹付け設備が小さく、狭い作業空間でも施工が可能である。また、吹付け量も少ないためサイクルタイムに与える影響も比較的少ないことから、一体型 TBM 工法においてはより効果的である。

d. 覆 工

覆工は、掘削作業が完了後、速やかに行うものとする。また、一体型TBM工法では、掘削直後に実施することになる。

覆工は、一般的には吹付により施工され、吹付材料としてはコンクリートまたはファイバーモルタ

ルが採用される。

また、インバート部については、保守性を考慮してコンクリートが打設されるのが一般的である。

e. その他

膨張性地山、押し出し性地山あるいは切羽の自立が困難な軟弱層など、地山の特殊現象によりTBMの掘進が困難となる場合には、施工上問題となる地質の分布、性状及び延長などを掌握し、その対策を行う必要がある。

このトラブル対策としては、TBMのみによる対応及び補助工法を併用したTBMの対応が挙げられる。TBMのみによる対応としては滑材注入やオーバーカットが、補助工法としては人力拡幅掘削や薬液注入がある。

また、トラブルを回避するため、TBM掘進に伴って、地質不良予測個所における切羽前方探査の活用も有効である。

(4) 技術開発における主な検討課題とその対策

a. 調 査

TBM工法の採用において不可欠となる地形・地質調査は、その段階に従い計画段階調査、設計段階調査、施工段階調査に区分するものとした。

(a) 計画段階調査

計画段階調査は、概略のトンネルルートを選定するとともに TBM 工法導入の可能性を検討するために必要な資料を得ることが目的であり、文献・既存資料調査、空中写真判読、地表踏査(概査)を行うほか、必要に応じて弾性波探査、ボーリング調査を実施する。

(b) 設計段階調査

設計段階調査は、TBM 工法導入の可否を判断するとともに、トンネルルートを決定し、実施設計を行うために必要な資料を得ることが目的であり、TBM の掘削が困難となるような特殊地山が想定される場合には、目的に応じて必要な調査を行うことが望ましい。

調査項目としては、地表踏査(精査)を主体とし、必要に応じて弾性波探査、ボーリング調査及び室内岩石試験、電気探査、電磁波探査を行うものとする。

(c) 施工段階調査

施工段階調査は、主として坑内調査により設計段階で把握した地質状況を検証し、施工中に生ずる問題点の予想及び確認、設計変更、施工管理、並びに後日のための資料を得ることが目的であり、坑内観察、シュミットロックハンマー反発度測定などが主体となる。

その他、内空変位測定、坑内簡易弾性波速度測定、供試体試験などを必要に応じて実施し、更に、トラブル回避を目的とした切羽前方探査や先進ボーリング調査も行う必要がある場合がある。

b. 切羽前方探査

TBM工法は掘進速度が速いことから、他のトンネル工法以上に切羽前方の地質状況を事前に

予測しておくことが、工期短縮及び安全確保において重要である。また、切羽前方探査では、以下の内容が求められることになるため、これらの要求事項を勘案し、TBM工法に用いる切羽前方探査における探査方法としては、反射法地震探査を選定した。

- ・断層破碎帯、未固結地盤、風化岩盤、低強度岩盤などに対する情報を得られる機能を有していること。
- ・掘進に影響を与えない程度の探査所要時間であること、また、探査結果を施工に反映できる程度の探査距離であること。
- ・探査が容易であり、かつ、探査結果の判読も容易なこと。
- ・探査に用いる機器が小規模で、振動などに対する耐久性を有していること。

c. 支保工・覆工パターンの早期判定手法

掘進速度の速いTBM工法では、掘削の進行に伴って早期に支保工・覆工パターンを定める必要があり、特に一体型TBM工法ではより重要なテーマとなる。

地山の変化に応じた適切な支保工・覆工パターンを採用するためには、地山状況の的確な把握が要求され、TBM工法ではTBMの運転状況を示す機械データの活用が有意義であり、一体型TBM工法では十分な坑壁観察ができないため、特にその役割は大きくなる。

選定した支保工・覆工パターン種別と当該区間における機械データの関連を分析し、以後の施工に役立てることが可能と判断され、常にこれらの関連を施工にフィードバックするため、リアルタイムで機械データを集積し、それらを迅速に解析して支保工・覆工パターンの早期判定に用いることが有用である。

(5) 検討経緯

TBM工法によるトンネル施工の合理化としては、全地質対応型TBM工法の導入促進のための調査検討(PhaseⅠ)と、掘削と吹付覆工を同時に施工する一体型TBM工法の導入促進のための調査検討(PhaseⅡ)とについて検討を行った。各々の検討経緯は以下のとおりである。

a. PhaseⅠ

(a) 関連技術の調査検討及び実証試験地点の設計(昭和60年度)

既存の工事事例を集約するとともに、関連技術についても資料を収集し調査した。また、これと併行して実証試験地点である新内川第二地点(金沢市企業局)と駒込地点(東星興業㈱)の設計を行った。

(b) 実証試験及び分析評価(昭和61年度～平成元年度)

上記2地点において実施された実証試験について、試験データの分析評価を行い、計画との対比等について検討した。

(c) 課題に関する調査検討(昭和61年度～平成元年度)

TBM工法における掘削・支保工・覆工の合理化及びシステム化について検討するとともに、地質調査手法とその結果による岩盤評価方法についても検討した。また、TBM工法の設計・積

算ケース・スタディを実施し、概略工程及び概算工事費の算定について取りまとめた。

(d) 設計・施工マニュアル(案)の作成(昭和63年度、平成3年度)

関連技術に関する調査結果及び実証試験結果を整理検討し、昭和63年度に「TBM工法設計・施工マニュアル(案)」を概成し、平成3年度には実証試験に関する分析評価結果及び他地点における施工実績を取り入れたマニュアル(案)を作成した。

b. Phase II

(a) 基本構想の検討及び関連技術の調査検討(平成2年度～7年度)

掘削・覆工一体型TBM工法の基本構想を確立し、基本システムを立案した。また、これに関連する技術について調査を行うものとし、特に、切羽前方探査については、適用性及び調査手法などを総合評価した。

また、基本システムを取り入れたケース・スタディを行い、その経済性について確認した。

(b) 設計・施工マニュアル(案)の第1回改訂(平成8年度)

TBM工法を採用した近年の施工実績及び関連技術を集約し、平成8年度にマニュアル(案)の第1回改訂を行った。

(c) 実証試験地点の設計(平成8年度～9年度)

実証試験地点である新大長谷第一地点(富山県企業局)を対象に、一体型TBM工法を採用した設計を行った。また、実証試験要領についても検討し、試験実施に備えるものとした。

(d) 一体型 TBM 工法に関する諸検討(平成9年度～10年度)

マニュアル(案)に対する要望等をとりまとめて整理するとともに、一体型TBM工法の具体的システム化について検討し、また、これを取り入れたマニュアル(案)の構成等についても検討した。

(e) 実証試験及び分析評価(平成11年度～12年度)

新大長谷第一地点において実施された実証試験の結果について分析評価を実施し、当初の目的である早期覆工効果、工期短縮効果、作業環境の向上の達成度について検討した。また、実証試験結果及び一体型TBM工法を、マニュアル(案)に対して如何に反映させるかについても検討した。

(f) 設計・施工マニュアル(案)の第2回改訂(平成13年度)

一体型TBM工法を取り込んだマニュアル(案)として、第2回改訂を実施した。

2.3.2. 実証試験結果

実証試験は、従来型 TBM 及び一体型 TBM の 2 工法に関して行われ、従来型 TBM 工法については新内川第二地点(金沢市企業局)及び駒込地点(東星興業(株))で、一体型 TBM 工法については新大長谷第一地点(富山県企業局)で実施された。

以下に、地点別の実証試験結果の概要を述べる。

(1) 新内川第二地点の実証試験結果

a. 実証地点の概要

実証試験の対象とされた新内川第二地点は、犀川水系内川の上流部に位置し、内川の東谷と西谷の合流点付近及びキヤ谷、カクレ谷、イヤ谷、ムネド谷の各溪流に取水設備を設け、最大 $3.70\text{m}^3/\text{s}$ を取水し、延長約 4.7km (うち支水路延長約 1.1km) の導水路及び延長約 144m の水圧管路により、内川ダム貯水池末端部右岸側に新設する発電所に導水し、有効落差 100.60m を得て、最大出力 $3,000\text{kW}$ の発電を行った後、約 14m の放水路により内川に放流するものである。実証地点の計画諸元を表2-3-1に示す。

表2-3-1 新内川第二地点の基本諸元

名 称	新内川第二発電所
水 系 名	犀川水系
河 川 名	内川
発 電 方 式	流れ込み式
最 大 出 力	$3,000\text{kW}$
最大使用水量	$3.70\text{m}^3/\text{s}$
有 効 落 差	100.60m
運 開 年 月	平成元年3月
TBM掘削径	2.30m
TBM施工延長	$3,524\text{m}$
ずり処理方式	流体輸送方式(スラリー方式)
地 質 区 分	凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩

b. 地形・地質の概要

本実証地点は、金沢市街地の南方約 20km に位置し、犀川水系内川の中流～上流域にあたる。実証地点周辺の地形は、標高 $400\sim 600\text{m}$ の尾根が南東～北西あるいは南北に伸長し、斜面の平均傾斜は $30\sim 45^\circ$ とかなり急峻であるが、北へ向かうにつれて次第になだらかとなり、丘陵性地形へと移化する。本地域の溪流は、北東－南西系および東西系が卓越し、本地域に分布する火山碎屑岩類の走向と概ね一致する傾向にある。

本地域に分布する地質は、新第三紀中新世北陸層群の下部層である岩稻累層を基盤とし、安山岩、流紋岩などの貫入岩類がこれを貫いて分布する。

岩稻累層は、主として火山碎屑岩類からなり、火山礫凝灰岩、火山円礫岩、凝灰角礫岩、軽石

凝灰岩、砂質凝灰岩などの岩相変化に富んでいる。本地点では、各々の岩相の特徴から、軽石凝灰岩・火山礫凝灰岩層(P_{tf1})、火山礫凝灰岩・火山円礫岩を主とする層(L_{p1})、火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩層(L_{p2})、軽石凝灰岩・火山礫凝灰岩および砂質凝灰岩層(P_{tf2})、砂質凝灰岩主体層(T_f)の5つに区分される。なお、各地層の地質境界は漸移的である。

貫入岩類は、ヒン岩、安山岩、流紋岩及び花崗斑岩からなり、取水地点に分布する岩脈(幅約30m)を除けば、いずれも貫入幅5m程度と小規模である。

本地域の地質構造は、上流からカクレ谷にかけては、 $N75W\sim10W\cdot10\sim35N$ 、カクレ谷から下流では、 $N50E\sim80E\cdot15\sim20N$ の走向・傾斜を示し、トンネル経過地では概ね北傾斜の単斜構造を呈している。断層は、幅2m程度の破碎帯が数箇所認められ、カクレ谷～イヤ谷間には安山岩の貫入面に沿い、幅7～8mの角礫・粘性土からなる破碎帯が認められ、NW－SE系の断層が推定される。本地域の地質および層序は、**表2－3－2**のとおりである。

表2－3－2 地質層序表

地質	時代	地 層 名	記号	岩 相
第四紀	沖積世	現河床堆積物	r_d	礫・砂・シルト
		崖錐堆積物	d_t	礫・砂・粘性土
		氾濫原堆積物	t_e	礫・砂・シルト
新第三紀	中新世	貫入岩類	R_h	流紋岩質岩脈
			A_n	安山岩質岩脈
			P_o	ヒン岩岩脈
			G_p	花崗斑岩岩脈
		岩 稜 累 層 火山碎屑岩類	T_f	砂質凝灰岩・礫岩・軽石凝灰岩
			P_{tf2}	軽石凝灰岩・火山礫凝灰岩・凝灰岩
			L_{p2}	火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩
			L_{p1}	火山礫凝灰岩・火山円礫岩
			P_{tf1}	軽石凝灰岩・火山礫凝灰岩

c. TBM の概要

本実証試験で使用されたTBMは、従来のTBMにシールドを装着した形式であり、流体輸送方式により掘削ずりを搬送するものである。その特長は以下のとおりであり、主要諸元は**表2－3－3**に示すとおりである。

(a) TBM 本体

- ・カッターヘッドの面板に工夫を加え、更にシールド構造の採用によって硬岩層から破碎帯を含む軟弱層までの幅広い地質で掘削ができる。
- ・本体が 2 ヶ所で中折れできる構造となっているため、シールド構造であるが、容易にカーブ掘進ができる。
- ・カッターは、切羽前面に出ることなく、機内より安全に交換できる。
- ・カッターヘッドは油圧駆動方式としているため、地質に応じた回転数が選定できる。

表2-3-3 TBMの主要諸元

機 械 形 式	KTB230S-J05 (川崎重工業㈱)
掘 削 径	2,300 mm
本 体 長 さ	7,250 mm
機 械 全 長	約 75 m
装 備 電 動 機 総 出 力	435 kW
カッターヘッドトルク	最大 30 tf-m
カッターヘッド回転数	0~9 r.p.m
主 推 進 力	260 tf
主 推 進 ス ト ロ ーク	1,000 mm
補 助 推 進 力	400 tf
補 助 推 進 ス ト ロ ーク	450 mm
グ リ ッ パ 推 力	600 tf
流 体 輸 送 能 力	1.7 m ³ /min

(b) ずり出し方式

- ・流体輸送方式を採用
- ・掘削とずり搬出が同時に連続的に行えるので能率がよい。
- ・ずり輸送は、中央制御室の監視員 1 名で行え、省力化が図れる。
- ・切羽は隔壁によって密閉され、掘削ずりは水と共にパイプ内を流れるため、粉塵の発生がなく、坑内の空気は清浄に保たれる。
- ・ズリトロの運行がなく、資材搬入用の運搬車のみであるので、坑内通行は安全である。
- ・比較的大量の切羽湧水に対応できる。
- ・機内の有効スペースが大きくとれ、メンテナンス性が良い。

d. 実証試験結果

本実証試験工事は、昭和61年12月22日の掘進開始から昭和62年11月23日までの約11ヶ月間に、トンネル延長約3,524mを、平均月進356m(現状のTBMで対応不可能な地質的要因によるトラブル損失時間を除いた月進)で掘進され、当初の目標月進354mを上廻る成果が収められたことは、本TBMの合理性と信頼性を十分に実証するものであった。

この実証試験において種々のデータを収集し、分析した結果は、以下のとおりである。

(a) 地質について

地質構成及び地質構造などについては、当初の予測と基本的相違は認められていない。但し、破碎帯や湧水状況の推定には、不十分な点もあり、例えば、TBM捕捉地点(KTD.780m付近)の地質性状については、計画時の調査での把握はかなり困難なものと考えられる。原則としては、充実した地表地質踏査の結果を基に、調査精度(調査項目と範囲)を決めるべきものと考えられる。

本地点の地質は、基本的に凝灰岩類と安山岩類とに大別される。両岩とも中硬質岩に分類されるもので、力学特性や物理特性の差異は比較的小さい。しかし、個々の要素を慎重に分析す

ることにより、その特性の違いを把握することができる。特に、TBM工法において、例えば純掘進速度の推定や支保工・覆工選定基準の作成においては、上記の地質特性がかなり重要であることが、今回の地質の分析結果で明らかとなった。

(b) 設計について

① トンネルルート

トンネルルートは、TBMを溪流取水地点毎に明りに出す案と、全線トンネルで掘進する案について比較した結果、工事期間が短く、経済的な全線トンネル案を採用した。本地点における約3.5kmのトンネル全線を掘進した実績及び土被りの浅い溪流部を通過した経験から、トンネルルートの選定においては、以下の点について配慮すべきと考えられる。

- ・ トンネル延長が3.5km程度であれば、特に明りに出す必要はない。但し、掘削ずり輸送上経済的であれば、この限りではない。
- ・ 基本的に安定な岩体においては、5～10m程度の地山被りを確保することにより、TBM掘削は可能である。本地点においては、溪流直下を5～10m程度の被りで掘進し、湧水も少なく無事通過することができた。
- ・ 最小曲率半径は100mとする。ただし、制約がない限り大きくする方が、掘進効率が良くなり、トンネル延長も短くなる。
- ・ 突発湧水に備え、TBM発進位置はヘッドタンク側に設ける。

② 支保工・覆工

TBMによって施工される円形断面は、平滑度の高い掘削断面となるため、応力集中による岩盤の劣化が少なく、また発破による地山の損傷がないため緩み領域が小さく、緩み層の弾性係数の低下(弾性波速度値から推定)も比較的少ない特徴がある。

これにより、壁面がなめらかで節理が密着している良好な箇所では、安全性を損なうことなく無支保(区間比率61%)で施工できた。その他の箇所では、掘削壁面の状況に応じ、金網＋アンカーボルト、リング支保工、セグメントの3種類の支保工で対応した。その区間比率は、各々2%、34%、3%であった。

覆工は、地山の保護、漏水の防止及び粗度係数の改善を目的とし、4～14cmの吹付コンクリート及び内張鉄板で対応した。しかし、風化の恐れがなく、節理が新鮮で密着している箇所では無覆工(区間比率36%)で施工した。

このように、かなりの区間を無支保・無覆工で施工できたことは、TBM工法の特徴であり、発破工法と大きく異なる点である。

支保工の選択にあたっては、岩盤の節理性状、即ち節理の密着性及び粘土の挟在の有無が、基本的な判断要素となっている。これに加え、堆積性中硬質岩の凝灰岩類では地山強度比が、節理性岩盤である安山岩類では弾性波速度及びQ値が、それぞれ重要な要素として抽出できる。これらの要素の概略は、計画時に岩石試験や弾性波探査などから導かれるものと考えられる。

また、施工時においては、坑内地質観察の諸データを基に、計画時の支保工選定基準と実績とを対比し、さらに計画時の調査結果との対比を行いながら、未掘削区間の予測を立てることが、安全及び経済的施工につながると考えられる。

以上の実証試験結果を踏まえ、支保工・覆工に関して以下の改善案や対応策を提案する。

- ・ 地質不良で、はだ落ちの多い箇所においてリング支保工を用いる場合、矢板の送り作業や支保工間隔の変更が容易にできるよう、エキスパンドメタル矢板の代わりに、簡易鋼矢板を使用する。
- ・ 掘進に必要な反力は地山から得られるが、崩落が激しく、リング支保工での対応が難しい箇所では、通常のセグメントを使用せず、安価で軽量のライナープレート等を使用する。
- ・ 掘削後、はだ落ちや軽微な地山の押し出しが見受けられる箇所では、早期にロックボルトやリング支保工で補強する必要がある。本地点においては、掘削直後、節理が密着していても粘土の挟在や湧水が伴う箇所では、覆工までの間にこのような現象が一部に見受けられた。
- ・ 支保工・覆工の妥当性を把握するうえで、内空変位を管理基準値に利用することは、かなり効果的である。
- ・ 吹付コンクリートは、巻立コンクリートのように型枠を使用しないため、慎重な施工管理を行ったとしても、設計厚を確保しようとすれば過剰吹付けとなり、通水断面が計画より小さくなる傾向にあるため、通水計算上の断面を別途設ける方が望ましい。(最小巻厚線と設計線の設定)

③ 水理特性

TBM工法により施工する導水路における水理上の問題として、無巻き部(岩盤)及び吹付コンクリート面の粗度係数の推定の難しさや、断面種別による内空断面変化のため、正確な通水能力や水面勾配が把握できないことが挙げられる。そこで、本地点ではこれらを以下のように推定し計画した。

- ・ 粗度係数は、実証値がほとんどないので、文献等を参考にして無巻き部を0.014、吹付コンクリート部を0.015とした。
- ・ 計画水位及び水面勾配は、最も通水能力の小さい断面の等流水深を確保し、導水路全長にわたり同一水面勾配(1/1700)となるように設定した。
- ・ これに対し、実証試験結果は以下のとおりであった。
- ・ 粗度係数は、通水時の水位及び流量測定結果を用い、不等流の背水計算により算定したところ、無巻き部(岩盤)が0.014～0.022、吹付コンクリート部が0.015～0.017の範囲にあった。
- ・ 水面勾配は、ほぼ1/1700であり、その水深は最小断面の等流水深より低かった。

ただし、これらの値は本地点における測定値であり、他地点の設計に使用する場合は、今後の測定実績により検証されるまで、若干の余裕を加味すべきと考えられる。

(c) 施工について

① 掘進

本地点のTBM掘進は、地質の特殊性からTBMの能力とずりの流体輸送能力とがバランスしておらず、また、掘進途中にいくつかの問題にも直面し、TBMや設備の改良・改善が必要となり、必ずしも満足できるものではなかった。しかし、先に述べたように約3,524mを平均月進356mと、当初の目標月進354mを上回る成果をおさめたことは、TBMの信頼性を十分に実証するものであった。

掘削作業時間の構成を見ると、全作業時間5,366.5時間のうち、TBMの純掘進時間は1,915時間で、盛替・リセットを含めた運転(稼働)時間は2,275.8時間となり、全体の42.4%であった。その他の主な作業は、配管電気関係10.1%、支保工関係4.8%、機器点検整備13.1%、入退坑・打合せ11.3%となっている。

純掘進速度は、機械特性、地質特性及び運転特性などから導き出されるものであるが、機械特性としてスラストジャッキ推力、地質特性として岩の硬さ(例えば一軸圧縮強度)、節理分布に伴う岩盤の劣化度(例えば弾性波速度)、節理性状(例えばQ値の中の J_r/J_a)などを把握することにより、純掘進速度が推定できる。

また、掘削に伴うずりの細粒化が純掘進速度に影響するような本地点の特殊性は、それぞれの地点で加味して検討する必要がある。

② 覆工

覆工は、掘削終了後にインバート清掃(基盤清掃)、インバートコンクリート工、吹付コンクリート工、リバウンド処理及び坑内清掃の手順で行われた。これらの1方当たり作業量は、基盤清掃73.4m、インバートコンクリート工82.0m、吹付コンクリート14.8mであり、いずれも計画値をほぼ満足するものであった。

本地点の吹付けは、小断面のため人力吹付けが困難であり、粉塵発生を極力おさえ、品質のばらつきを少なくするなどの理由から、吹付ロボットを用いた湿式によるポンプ圧送式工法を採用した。しかし、小断面であるため種々の問題が発生し、これに対し諸対策(吹付ロボットの改良、余吹防止対策、はね返し低減対策)が講じられた。この結果、概ね満足できる成果がおさめられたが、より一層施工性・経済性を高めるためには、以下のような改善策が必要である。

- ・ 吹付ロボットの伸縮に伴うホース類の切り廻し装置の開発
- ・ 坑内における資材運搬の効率化
- ・ リバウンド処理装置の開発
- ・ 吹付装置(設備全体)の消音機構の開発
- ・ 小断面用吹付ロボットの充実(機器の汎用性)

(d) トラブルについて

掘進中のトラブルは、地質的要因、機械及び地質的要因(機械と地質要素が複合したもの)、

機械的要因並びにその他の要因によるものに分類され、対策等に要した時間は以下のとおりであった。

① 地質的要因によるもの(損失時間 206.5 時間)

発進坑口から約780m地点における地山の押し出しによるTBM捕捉に対する調査・復旧(拡幅掘削、再発進準備)及び、湧水に対する処置

② 機械及び地質的要因によるもの(損失時間 233.9 時間)

掘削ずり取り込み不良に対するTBMの改良、及び掘削ずり中の細粒分の過剰発生による土砂分離設備の増設

③ 機械的要因によるもの(損失時間 198.4 時間)

流体輸送経路中の閉塞・復旧や機器の故障・修理

④ その他の要因によるもの(損失時間 17.3 時間)

後続台車の脱線や支保工との接触

これらトラブルによる損失時間は656.1時間で、全作業時間に対し約12%に相当するものであった。しかし、作業日当り平均日進は、これら損失時間を含めても13.30m(平均月進332.5m)と、過去の実績と比較してもかなりの高速掘進性を示し、TBMを含めた掘削システム全体については、今後問題となるような改良課題は、特にないと判断される。

また、トラブルのうち地質要因によるものは、TBMの能力を上廻る地山の特殊性によるもので、TBMの能力アップを図ることもさることながら、適切な補動工法を早期に採用することが重要であると考えられる。

(e) 発注特記仕様書の評価

実証地点の事業者及び施工者から聞き取りのうえ、仕様書運用上の問題点について修正(案)を示した。以下に、本地点の実績を踏まえ、仕様書作成にあたり特に配慮すべき点について示す。

① 設計変更について

TBM工法は施工例が少なく、設計変更枠を限定することが困難な状況である。したがって、地質性状に起因する不可抗力による仮設備の変更や、工法の変更なども対象枠内とし、対応できるようにする。

② カッターについて

カッターリング等は、岩質により消費量が大きく変化するので、取替え基準を定め、実績数量で精算できるようにする。

③ 施工管理基準について

掘削高や覆工厚の許容値を提示し、通水能力の確保に努める。

(f) 積算及び歩掛りの分析

カッターリング消費量は、計画時、掘削1m³当たり0.02個と想定していたが、実績はその5分の1で0.004個であった。今回、この消費量について地質特性との関係の分析を試みたが、明瞭な

結果は得られず、今後のデータ蓄積に期待したい。

電力消費量は、計画時、掘削用で2,090MWh(595kWh/m)、覆工も含めて2,403MWh(684kWh/m)と想定していたが、実績は掘削で2,430MWh(690kWh/m)、覆工を含めると3,274MWh(928kWh/m)であった。これは、流体輸送や土砂分離設備の運転時間が予想に反しかなり長かったこと及びトンネル勾配が緩く、トンネル湧水をすべて強制排水したことによるものである。

最後に、TBM工法の経済性を評価するため、本導水路を従来の発破工法で掘削し、コンクリート巻立てしたものとの工事費比較を行った。比較するにあたり、地点特性により工事費が大きく異なる工事用道路や土捨場などの費用と、工事用配電線の費用を除くと、TBM工法の方が全体工事費で約14%安価であり、経済的にもかなり有利であることが確認された。

以上の分析・評価は、新内川第二地点の実績データに基づくものであり、本地点の特異性をかなり反映したものであるが、今後の他地点におけるTBM工法の導入において設計や施工計画などを立案する場合、有効な資料になるものと考えられる。

(2) 駒込地点の実証試験結果

a. 実証地点の概要

本実証地点は、青森県堤川水系駒込川の中流部に位置し、東北電力(株)嘉瀬子内発電所直下流から最大使用水量 $8.15\text{m}^3/\text{s}$ を取水し、駒込川右岸側を延長約3.1kmのトンネル及び約127m(斜距離)の水圧管路により、嘉瀬子内発電所下流約4.0kmの同川右岸側に新設する発電所に導水し、有効落差60.60mを得て、最大出力4,000kWの発電を行った後、延長約185mの放水路を経て駒込川に放流するものである。

発電計画の主な諸元は表2-3-4に示すとおりである。

表2-3-4 駒込地点の基本諸元

名 称	駒込発電所
水 系 名	堤川水系
河 川 名	駒込川
発 電 方 式	流れ込み式
最 大 出 力	4,000kW
最大使用水量	$8.15\text{m}^3/\text{s}$
有 効 落 差	60.60m
運 開 年 月	平成元年9月
TBM掘削径	2.80m
TBM施工延長	2,616m
ずり処理方式	ベルトコンベア輸送方式 (ずり搬出:レール方式)
地 質 区 分	流紋岩、粗粒凝灰岩

b. 地形・地質の概要

実証地点は、青森県青森市の南々東約10kmの青森市大字駒込字深沢地内に位置し、梨の木平と呼称されている台地上である。

本地域は、八甲田山北麓に位置するため新第三紀の地質を被い、田代平溶結凝灰岩が広く発達しており、これらの地質状況を反映して広大な緩斜面～台地を形成している。すなわち、田代平カルデラを形成した火山活動による溶結凝灰岩(粗粒凝灰岩)が厚く堆積し、梨の木平と呼ばれる台地地形を呈している。当台地は、標高150～200m程度で北方へと順に高度を下げ、青森平野へと続いている。駒込川は、この台地を深く下方浸食し流下しており、台地上面と河床との比高差は150～200mに達している。

地質は、第三紀中新世の中～下部(西黒沢階)に相当する四ツ沢層を基盤とし、**表2-3-5**に示す地質層序をなしている。

表2-3-5 地質層序表

地質	時代	地 層 名	記号	岩 相
第 四 紀	沖 積 世	現 河 床 堆 積 物	r _d	砂礫及び粘土
		崖 錐 堆 積 物	d _t	粘土混じり礫～礫混じり粘土
		段 丘 堆 積 物	t _r	砂礫
	洪 積 世	八甲田火山噴出物 (岩渡火山岩)	ash	火山灰及びローム
		田代平溶結凝灰岩 (粗粒凝灰岩)	C-t _f	石英安山岩質粗粒凝灰岩(一部溶結)
		泥 流 堆 積 物	m _d	玄武岩の活動を伴う
		田代平溶結凝灰岩 (粗粒凝灰岩～ 溶結凝灰岩)	C-t _f	石英安山岩質粗粒凝灰岩 ～同質溶結凝灰岩
		古 期 段 丘 堆 積 物	O _{tr}	粘土混じり砂礫
	新 第 三 紀	和 田 川 層	W	安山岩質凝灰角礫岩、流紋岩類、玄武岩、泥岩など
		四 っ 谷 層	R _{hy}	流紋岩(鉍化変質)
			R	貫入流紋岩(変質帯を伴う)
			B _a	貫入玄武岩

c. TBM の概要

本実証試験で使用されたTBMは、従来のTBMにシールドを装着した形式であり、ベルトコンベヤ輸送方式により掘削ずりを搬送するものである。TBM本体の特長は以下のとおりであり、主要諸元は**表2-3-6**に示すとおりである。

(a) 崩落を防ぐカッターヘッド

一体型ドーム形カッターヘッドとし、その全面に山留めリングを設け、切羽の崩落を機械的に抑える構造とし、崩落性地質でも掘進が可能であることを目指した。

(b) 岩盤破碎に適するディスクカッター

カッターリングはすべてディスクカッターを使用し、効率良く岩盤を破碎することができる。また、摩耗したカッターはカッターリングのみの交換で再生可能である。

(c) 機械内部からカッターの交換可能

カッター交換は、切羽前面に出ることなく機械内部から作業できるので、安全に短時間で行える。

(d) 一定回転の電動駆動

カッターヘッドの駆動は、電動モーターを採用し、一定回転となっている。また、後続台車の簡素化を図っている。

(e) 3折式のシールドを装備

崩落地質で機械を保護するため、機械全長にわたってシールドを装備している。曲線部の施工のためシールドは3分割とし、中央部はテレスコピック方式となっている。また、テールシールド内でセグメントの巻立も可能である。

(f) 低接地圧形ピンジ式グリッパ採用

グリッパシューは大型とし、接地圧を低減すると共に円形のグリッパフレームにピンで取り付けられているので、張り出し時着力点が坑壁の最も安定しているトンネル下方となり、グリッパによる肌落ちや軟弱地盤でのすべりが少ない。

(g) 操作の容易なステアリング機構

方向の修正は、独立したステアリングシリンダーで操作するので、微操作も容易で掘進中でも任意に行える。また、マイコンを組み込んだ方向検出指示装置を装備しており、高精度施工が可能である。

(h) その他

機械の運転性能の向上、機材の搬入設備など作業の安全化、容易化を図っている。

表2-3-6 TBMの主要諸元

機 械 形 式	TG280-2 (株)小松製作所)
掘 削 径	2,800 mm
本 体 長 さ	6,800 mm
機 械 全 長	約 42 m
装 備 電 動 機 総 出 力	241.2 kW
カッターヘッドトルク	最大 31 tf-m
カッターヘッド回転数	6.1 r.p.m
主 推 進 力	360 tf
主 推 進 ス ト ロ ーク	1,050 mm
補 助 推 進 力	300 tf
補 助 推 進 ス ト ロ ーク	650 mm
グ リ ッ パ 推 力	200 tf

d. 実証試験結果

本実証試験工事は、昭和 62 年 6 月 29 日の掘進開始から昭和 63 年 11 月 10 日の TBM 掘進完了までの約 16.5 ヶ月のうち、現状の TBM で対応不可能な未固結軟弱層 103.7m 間を補助工法で掘削するのに要した約 8.5 ヶ月を除く約 8 ヶ月間で、トンネル延長 2,616.3m を平均月進 322m で掘進された。努力目標月進 350m には及ばなかったものの、300m を超える優れた成果がおさめられた。更には、昭和 62 年 9 月 10 日には日進 44.88m と、このクラスの掘削径では日本屈指の日進が記録され、同年 9 月の月進は 538.8m にも達した。

また、TBM 掘進工事中の安全面での事故は皆無であった。

以上の実績は、TBM の合理性と信頼性を実証するとともに、将来に向ってより一層進歩する可能性について大きな期待を抱かせるものであった。

この実証試験において種々のデータを収集し、分析・評価を試みた結果は、項目別に以下のとおりである。

(a) 地質について

地質構成及び地質構造などについては、当初の予測と基本的相違はなかった。ただし、泥流堆積物層及びその下部の石英安山岩質粗粒凝灰岩の未固結層が予想以上に下流側に伸びており、しかもトンネルの位置まで下降していたこと(TD.1,100m 付近)並びにトンネルに出現した流紋岩が予想を上回って全体に亘り熱変質を受けており、しかも掘削後の剥離、肌落が著しかった点など、詳細性状についての差異はあった。

本地点の地質は、大別して粗粒凝灰岩と流紋岩(変質)とに 2 分される。両者とも軟岩に位置づけられるものが大半で、節理の非常に少ない岩盤である。流紋岩は、熱変質を受けたため、粗粒凝灰岩に比して全般的に岩盤物性値どうしの相関が低い。粗粒凝灰岩、流紋岩(変質)の両者とも節理の非常に少ない岩盤であるためか、Q 値、地山弾性波速度、SH 反発度、節理本数、湧水量、及び粘土挟在の有無が、支保工形式の選定に関係するところはほとんどない。

しかし、純掘進速度の推定上は両岩盤とも地質特性の複合したものが関係することが、今回の地質の分析で明らかとなった。

(b) 設計について

① トンネルルート

本地点の場合、ルート選定上最も重要視しなければならなかったのは、青森市清掃工場の水源に与える影響であった。そこで A、B、C3つのルート案が検討されたが、3案ともトンネル延長については差異はなく、ほぼ直線的な B ルート案に対し、他の 2 案は約 20m 前後長くなるのみで、土被りも 100~150m もあり地表に与える影響はないものと判断された。

問題は上記工場水源に与える影響のみであり、3案のうち最も下流側で非透水層である流紋岩中に入ることができ、最も水源から離れたところを通る C ルート案が一番有利として選ばれた。しかしながら実績としては、流紋岩に入る以前に清掃工場水源池に通じる水脈に遭遇し、この水を引込んでしまった。このため清掃工場水源池の水量が大幅に低下し、その対策として

代替水源から供給している。

この結果から、上記3ルート案のいずれを選定しても清掃工場の水源を枯渇させることは避けられなかったと考えられる。当地点の場合、結果論的には問題のないルートを選定することが難しく、抜本的な案は考えられない。

② 支保工・覆工

TBMによって施工される断面は、平滑度の高い円形断面であるため、応力的に安定しており、また、発破による地山の損傷がないため緩み領域が小さく、粗粒凝灰岩のような軟岩であっても、安全性を損なうことなく無支保で粗粒凝灰岩区間の92.6%を施工することができた。

粗粒凝灰岩のその他の個所は、H形鋼リング支保工と金網支保工(同比率7.1%及び0.3%)であった。しかし、流紋岩(変質)区間では緩み領域は小さく地圧もかからないが、風化による剥離、肌落が著しいため、全長に亘ってパイプリング支保工を設置した。

古期段丘堆積物区間71.5mの中に無支保31.4mがあるが、H形鋼リング支保工15.1m、セグメント25mが設置された。

覆工は地山の保護、漏水の防止を目的とし、無支保区間では4cm厚さのポリマーセメントコンクリート吹付を行った。

H形鋼リング支保工区間及びパイプリング支保工区間では、大半が流紋岩(変質)区間であり、PIC版組立て及び内部填充モルタル工を施工した。

セグメントの内側は、鉄板内張をやめてポリマーセメントコンクリート吹付及びポリマーモルタルコテ塗りを行い、その上に合成樹脂ライニングを行った。

軟質な地山ではあるが、TBM工法全延長のうち結局53.7%を無支保で掘削し、また、その覆工もわずか4cmの吹付ですますことができたことは、TBM工法の特長であり、発破工法と大きく異なる点である。

「(a)地質について」で述べたように、当地点の岩盤は軟岩でかつ節理が少ないためかQ値、地山弾性波速度、SH反発度、節理本数、湧水量及び粘土挟在の有無が支保工形式の選定に関係する所はほとんどない。支保工形式の選定は、肌落ちや崩落の実態及びその恐れの実情に左右されているものと考えられる。

実証試験結果を踏まえ、支保工・覆工に関して、以下の改善案や対策案を提案する。

- ・ TBM本体直後での金網支保工施工を容易にするような空間と足場を含めて、TBMシステムとして設計する。
- ・ 経済的な新素材混入を考慮したモルタル及びコンクリート吹付機能をTBMシステムに導入し、TBM本体直後での金網支保工区間の吹付工を可能とするほか、地山の状態によっては、サイクルタイムを短縮できるよう、TBM本体直後での金網支保工作業と並行して若干後方で吹付作業が可能であるような、粉塵対策を含めた機構を開発する。これらの改良により、リング支保工に依存せずに風化傾向の強い地山に対処し、覆工厚さを小さくすることが可能となり、同時に通水断面の確保上も有利となる。

- ・リング支保工鋼材は、もっと軽量なもので十分目的が達せられる区間がほとんどであるので、外径60.5～48.6mm、厚さ3.2～2.3mm程度の構造用鋼管パイプリングを支保工材料の主体としてよいと考える。パイプリング支保工を使用することにより、H形鋼リングのような吹付時にコンクリートの回り難い部分は、はるかに減ずることができる。また、軽量化することにより、施工速度が早まることが期待できる。今後、駒込地点と同様な岩盤の地点では、パイプリング支保工の使用を推奨したい。
- ・坑壁の肌落ちや崩落に対処するのみで、掘進反力をセグメントに求めない場合、スキンプレートは外周側には張りつけず、内面側に張りつける。酸性河川水取水の場合はスキンプレートの代わりにPIC版を張りつける。また、内空断面の減少を極力さけるため、セグメントの厚さ(主桁高)をできるだけ少なくする。

③ 水理特性

TBM工法により施工する導水路での水理上の問題として、駒込地点では、吹付コンクリート面の粗度係数及びPIC型枠工法区間のPIC版面の粗度係数を実測により求め、今後のTBM工法導水路トンネルの設計に反映するための試験を行った。その結果は以下のとおりであった。

吹付コンクリート $n=0.014\sim0.015$

PIC 版 $n=0.009\sim0.010$

なお、当然のことながら粗度係数は壁面仕上りの精粗により相当の開きが生ずるものであるから、工事仕様の内容にもよるが、通水容量不足を来すことのないよう、ある程度余裕をみた計画とするのが望ましい。

(c) 施工について

① 掘 進

本地点のTBM掘進においては、途中で土砂状の未固結軟弱地山に遭遇したため、その対応として、すばやくTBM工法から補助工法へと切り替えた。補助工法としては、薬液注入工法による人力掘削(103.7m)を実施した。その間の約8.4ヶ月を含めて約16.4ヶ月を要して貫通した。

この補助工法区間を除くTBM工法区間(2,616.3m)についてみると、湧水やずりの粘土化によるスクレーパーの目詰まりなどに悩まされながらも、平均月進322m(昭和63年8月の清掃工場水源の渇水対策の影響4.5日を除けば、平均月進329m)と、300mを超える優秀な成果を実証した。

掘削作業の時間構成を見ると、全作業時間4,168.3時間のうちTBMの純掘進時間は1,077.4時間で、盛替・リセットを含めた運転(稼働)時間は1,559.6時間となっており全体の37.4%であった。その他の主な作業は、測量2.5%、カッター交換・TBM調整11.5%、支保工関係3.4%、配管及び電気関係9.7%、ずり搬出5.9%、入退坑7.8%、始業打合せ3.5%、機器点検整備4.6%、TBM修理、各種トラブルその他13.7%となっている。

② 覆工

覆工は掘削終了後に上口側、下口側の両方向から行われた。本地点の覆工には、PIC型
枠工法、吹付コンクリート工、基盤清掃及びインバートコテ塗り工がある。これらの1方当たり作
業量は、PIC型枠工法(モルタル填充を含む)6.35m、吹付コンクリート21.3m、基盤清掃
40.5m、インバートコテ塗り34.5mであった。

吹付コンクリートは、計画時吹付断面が上部3/4円であったのに対し、実績では全断面吹付
でかつアーチ・側壁部分とインバート部分を2回に分けて吹付けたことにより、手間が多くなっ
たことが主原因で1方当たり作業量が計画に比べ減少した。また、基盤清掃は切羽湧水により
ずりが泥土化してベルトコンベヤから流出したことなどにより、インバートに堆積したずりが予想
以上に多くなったために、1方当たり作業量が計画に比べ減少する結果となった。

一方、インバートコテ塗りは、1方当たり人員の増員及びコンクリートポンプを使用したことな
どにより、1方当たり作業量が計画に比べ増加している。なお、PIC型枠工法は計画時にはな
かった覆工方式である。

本地点での吹付は、当初ロボットによる吹付を計画していたが、実際にロボットによる吹付を
行った結果様々な問題点が生じ、手吹きによる人力吹付へと変更された。

試験吹付段階における問題点及び対策は以下のとおりであった。

- ・ ブーム操作でノズル先端が吹付壁面に対し同心円を描くようにするためには、吹付面とノズ
ルとの距離が70cmと短くなり、吹付コンクリートが壁面に拡散せず集中的となるので、ノズ
ルを短くして1m程度の離れを取れるようにした。
- ・ ホースの折れ曲がりをなくすため、ロボット台車と吹付機台車の一体化を図った。
- ・ 急結剤添加装置の圧力が少ないため、急結剤がうまく混入しなかったので、吹付機(アリバ
280)の空気圧より0.5kgf/cm²高めた。

以上のように改良後実際に吹付施工が行われたが、なお以下の問題点があった。

- ・ 吐出量を3 m³/hr以下にすると脈動してホース内に詰まる。
- ・ ブームが油圧操作なので、吐出量と合わせた早い動きができないため、吹付密度が一定と
ならない。

これらの結果から総合的に判断し、ロボットによる吹付から人力吹付へと変更されたが、人
力吹付の場合ロボット吹付と異なった点は以下のとおりである。

- ・ 作業空間に余裕ができて、ホースの折れ曲がりもなくなった。
- ・ 吹付面とノズルとの距離を1.2～1.4m程度として作業し得るので、コンクリートを拡散し吹付
密度を一定化することができた。
- ・ 吐出量に合わせて手早くノズル操作ができるので、表面の仕上がりが良い。

ただし、ロボットの場合、運転席からノズルまで3～5m程度離れていても相当な粉塵を受け
るが、人力吹付の場合はね返り粉塵を直接体に受けるという大きな欠点もあった。したがって、
人体に対する粉塵の影響を極力少なくするとともに、平滑な吹付面が得られるようなロボット吹

付機構の改善が望まれる。

(d) トラブルの分析

掘進中のトラブルとは、掘進中に予測しえない機械的、地質的、及びその他の要因(蛇行修正、シャトルカー脱線など)により、掘進を停止せざるを得なかった作業時間をいう。ただし、地質性状に関するずりの取込み効率の低下は、トラブルという範ちゅうには属さないと考えられるので、低下分の抽出等を行わなかった。

トラブル時間を要因ごとに整理すると、以下のようになる。

① 機械的要因(84.9 時間、29.2%)

計測機器、電気系機器、TBM本体及びずり搬出系機器の故障発生のため修理を終えるまで掘進停止となった時間。

② 地質的要因(84.1 時間、29.0%)

工場水源渇水対策、突発的大量湧水処理及び軟質地山に起因するグリッパ反力対策のため掘進停止となった時間。

③ その他の要因(121.5 時間、41.8%)

蛇行修正作業、シャトルカー脱線、給排水・風管・照明破損修理及び過負荷トラブルなどのため掘進停止となった時間。

これらの中で、蛇行修正作業が最も多くの時間を占めており、次に湧水処理に多くの時間を費やしている。機械的要因の中では、ベルトコンベヤ関係のトラブルが最も多くなっている。また、地質的要因の工場水源渇水対策は、本地点での特殊事情によるものである。しかし、本地点における作業日当たり平均日進は、これらトラブルによる損失時間を含めても 12.86m(平均月進 321.5m)と、過去の実績と比較してもかなりの高速性を示しており、TBM を含めた掘削システム全体については、今後問題となるような改良課題は特にないと判断される。

なお、本地点の実証試験において、掘進距離 1,085m から 103.7m 間、未固結な軟弱層に遭遇し、この間は TBM 工法を変更し、補助工法として主として「人力掘削方式の薬液注入上半先進ショートベンチ交互併進縫地工法」により掘削を行い、この間約 8 ヶ月を要した。この期間は、TBM 工法とは別個なものであり、TBM 工法上のトラブルではない。TBM 工法から補助工法に切り替える時の手順を前もって策定しておけば、対策に費やす時間の軽減に資することができると考えられる。

(e) 発注特記仕様書の評価

実証地点の事業者及び施工者から聞き取りしたうえ、仕様書運用上の問題点について修正(案)を作成した。以下に、本地点の実績を踏まえ、仕様書作成にあたり特に配慮すべき点について示す。

① カッターについて

カッターリング等は、岩質により消費量が大きく変化するので、取替え基準を定め、今回の実証試験工事で実施されたように実績数量で精算できるようにする。しかし、今後実績を勘案

しながら、本来の請負工事のあり方に従って一式請負の方向(掘削単価に含める等)に変えていくことが可能になるものと考えられる。

② 施工管理基準について

一般仕様書に施工管理基準が明示されていない場合には、掘削高や覆工厚の許容値を提示し、通水能力の確保に努める。

(f) 積算及び歩掛りの分析

TBM による 1 方当たりの掘進長は、地質特性や支保工形式ごとに算定する方が望ましい。

表 2-3-7は、計画時に推定した断面種別ごとの 1 方当たり掘進長と実績値を対比したものである。

また、TBM 掘進の平均的な 1 方当たりの作業人員構成は**表 2-3-8**のとおりであった。

表 2-3-7 1方当たり掘進長と実績値の対比 (単位:m)

断面種別	支保工形式	実績値	計画値	増 減
第 2 種(a)	無 支 保	8.34	7.97	0.37
第 2 種(b)	金 網	6.34	7.60	△ 1.26
第 2 種(c1)	リング支保工	5.65	5.46	0.19
第 2 種(c2)	//	8.37	—	—
第 3 種	セグメント	2.61	1.25	1.36

注) 第 2 種(c1)は、H 形鋼(H-100×100×6×8)、第 2 種(c2)は、鋼管(φ76.3mm、t=3.2mm、一部φ89.1mm、t=4.2mm)である。なお、第 2 種(c2)は計画時にはなかったものである。

表 2-3-8 1方当たり平均作業人員構成

職 種	員 数
トンネル世話役	1
トンネル特殊工	3
トンネル作業員	3
特 殊 作 業 員	1
電 工	1
計	9 人

カッターリング消費量は、計画時、掘削 1m³当たり 0.020 個と想定していたが、実績では 0.014 個と計画の約 70%の消費量であった。今回この消費量について地質特性との関係分析を行った結果、粗粒凝灰岩、流紋岩(変質)とも一軸圧縮強度との関係において、強度が増大すると摩耗量も増加するような正の相関関係が認められた。しかし今回使用したデータは本地点だけのものであり、今後他地点のデータを加味した分析が行われ、より明瞭なものとなることを期待したい。

電力消費量は、計画時、掘削で 857MWh(315kWh/m)、覆工を含めて 1,089 MWh (400 kWh/m)と想定していたが、実績は掘削で 891 MWh (341 kWh/m)、覆工を含めると 1,617 MWh (618kWh/m)であった。これは、濁水処理設備の放水方法を自然流下方式で計画してい

たものをポンプ放水方式としたこと及び切羽湧水が予想外に多くポンプ排水に多くの電力を費やしたことなどによる。

最後に、TBM 工法の経済性を評価するため、本導水路を従来の発破工法で掘削し、コンクリート巻立したものとの工事費比較を行った。比較するにあたり、地点特性により工事費が大きく異なる工事用道路、仮設用地整備及び仮設橋梁などの諸工事費用を除くと、TBM 工法の方が全体工事費で約 20.8%安価となった。さらに無事故で工事を完了したことも加えて、TBM 工法が経済性にも安全性にも優れていることが確認された。

以上の分析・評価は、駒込地点の実績データに基づくものであり、本地点の特異性をかなり反映したものであるが、今後の他地点における TBM 工法の導入に対して、本工法の設計や施工計画を立案する場合、有効な資料になるものと考えられる。

(3) 新大長谷第一地点の実証試験結果

a. 実証地点の概要

実証試験の対象とした新大長谷第一地点は、富山県婦負郡八尾町の南南西約12～16kmの、神通川水系井田川支流大長谷川の中流域左岸に位置する。大長谷川に取水設備を新設し、既設大長谷第五発電所の放水とを合わせて最大 6.00m³/sを取水し、延長約 5.3kmの導水路にて有効落差152.00mを得て、最大出力7,500kWの発電を行うものであり、発電後は既設仁歩発電所の中山調整池上流に放流する。本計画は、既設大長谷第一発電所の老朽化に伴う再開発計画であり、計画諸元を表2-3-9に示す。

表2-3-9 新大長谷第一発電所の基本諸元

名 称	新大長谷第一発電所
水 系 名	神通川水系
河 川 名	井田川支川大長谷川
発 電 方 式	流れ込み式
最 大 出 力	7,500kW
最大使用水量	6.00m ³ /s
有 効 落 差	152.00m
運 開 年 月	H13年9月
TBM掘削径	2.80m
TBM施工延長	4,925m
地 質 区 分	凝灰角礫岩、花崗岩質片麻岩

b. 地形・地質の概要

実証地点一帯は、飛騨山脈の西縁に接する飛騨高地の北端部に位置しており、周辺の地形は比高差600～1000mの急峻な山地からなっている。

発進横坑と導水路トンネルとの交点付近においては、地すべりによる特異地形が発達するほか、

山頂部付近には小規模な崩壊地形が頻繁に発達している。

地形の特徴としては、水槽～発電所の計画地の背後(西側)に馬蹄形の滑落崖が明瞭に発達しており、滑落崖の下端部付近を源とする沢が発達している。また、滑落したブロックには二次的な滑落も生じており、水槽付近にまで及んでいる。

調査地の地質は、飛騨変成岩類と船津花崗岩類を基盤岩とし、北陸層群最下部の楡原累層が不整合に基盤岩を覆う。また、楡原累層は北陸層群の岩稲累層に整合関係で覆われている。さらにこれらの上に、第四紀の段丘堆積物、崖錐堆積物、河床堆積物が部分的に分布する。(表2-3-10参照)

表2-3-10 地質構成表

時 代			地 層 名		岩 相
新 生 代	第 四 紀	完新世	現河床堆積物		礫、砂、粘土
			崖錐堆積物		角礫、砂、粘土
		更新世	段丘堆積物		円礫、砂、粘土
	新 第 三 紀	中新世	北 陸 層 群	岩稲累層	凝灰角礫岩 火山礫凝灰岩 火山角礫岩
					凝灰岩、火山礫凝灰岩
					安山岩溶岩
					泥岩～凝灰質泥岩
					楡原累層
中 古 生 代	未 詳		貫 入 岩		安山岩
	ジュラ紀 ～ カンブリア紀	船津花崗岩類		花崗岩、細粒花崗岩	
		飛騨変成岩類		片麻岩(花崗岩質片麻岩、縞状片麻岩)	
				晶質石灰岩	

c. 導水路トンネルルート

導水路トンネルは、延長約 5.3kmのうちの9割以上を一体型TBM工法(掘削径2.80m)により施工するものであり、その諸元は図2-3-1に示すとおりである。

なお、ヘッドタンク地点には既設道路が無かったため、林道終点より工事用道路を新設し、TBMを搬入する計画としたが、ヘッドタンク周辺は地形が急峻であることから、林道終点とヘッドタンクの間に発進横坑の坑口を設けるものとした。

中間横坑については、経済性比較を行なった結果、ずり出しの利便性が大きいと判断して設置するものとし、将来的なトンネルの保守を考慮して最終的には巻立して残すものとした。

また、TBM施工区間における曲がり3箇所については、TBM工法の場合には測量を自動化しており曲線区間でも比較的容易に測量ができること、トンネル全線に互って軌条を複線化したことなどから、曲率半径を 200mとした。

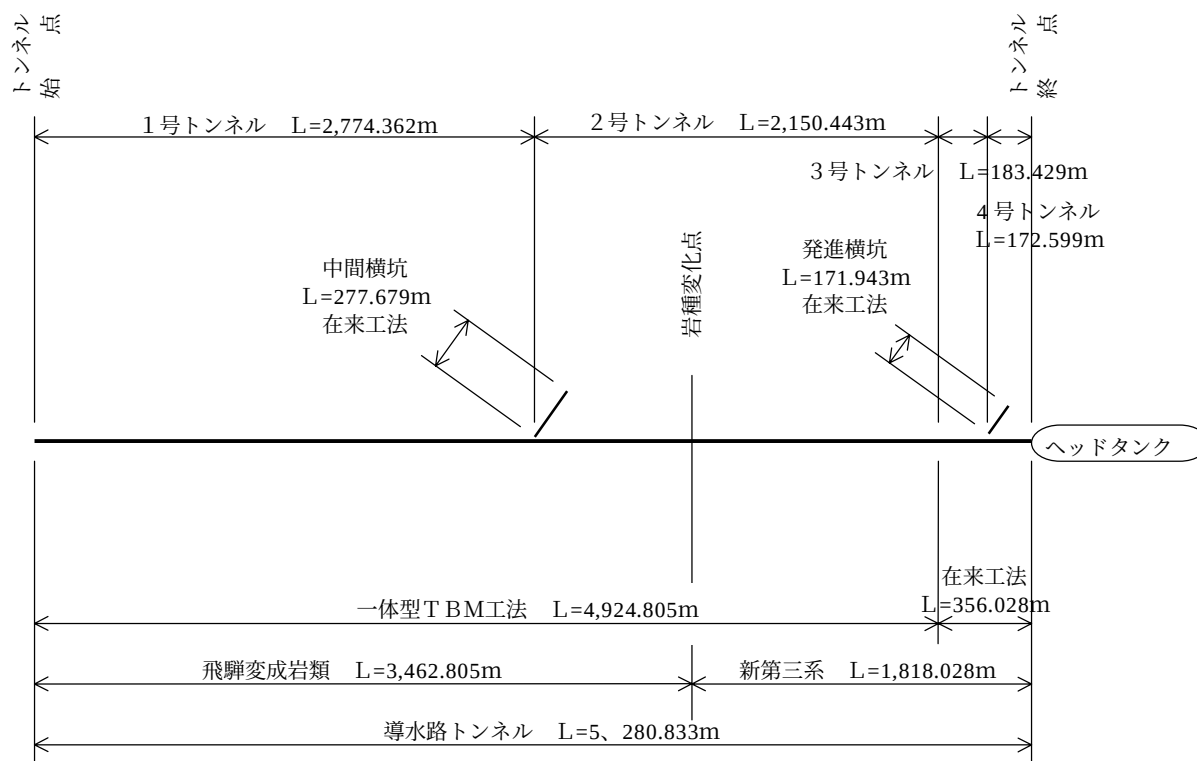


図2-3-1 導水路トンネルルート

d. 支保工・覆工パターン

支保工・覆工パターンは表2-3-11のとおりであり、地山の状況に対応するものとして1種～5種の施工断面を設定したが、無支保・無覆工断面である1種断面は、予想よりも地山が脆弱であったことからその採用実績は皆無であった。

また、5種断面は、地山が脆弱で通常の支保工及び覆工が困難な場合を想定したものであり、安全の確保並びにシールド掘進時の反力受けを考慮し、TBM後胴内でスチールセグメントを組立てる断面である。

表2-3-11 支保工・覆工パターン

種 別			リング支保工の種別	ファイバーモルタル 設計吹付厚 (cm)	
				支保工位置	支保工中間
(1 種)			—	—	—
2 種			—	—	2
3 種			—	—	4
4 種	4種①	4種a	溝形鋼 75×40×5×7	4	4
		4種b		6	6
	4種②	4 種	溝形鋼 150×75×6.5×10	8	4
		4種c		8	6
		4種d		8	8
	5 種			スチールセグメント	—

e. 一体型 TBM の仕様

実証試験に使用したTBMの仕様は表2-3-13、その概要は図2-3-2のとおりであり、また、TBMに搭載した吹付機の仕様は表2-3-12、その施工要領は図2-3-3に示すとおりである。

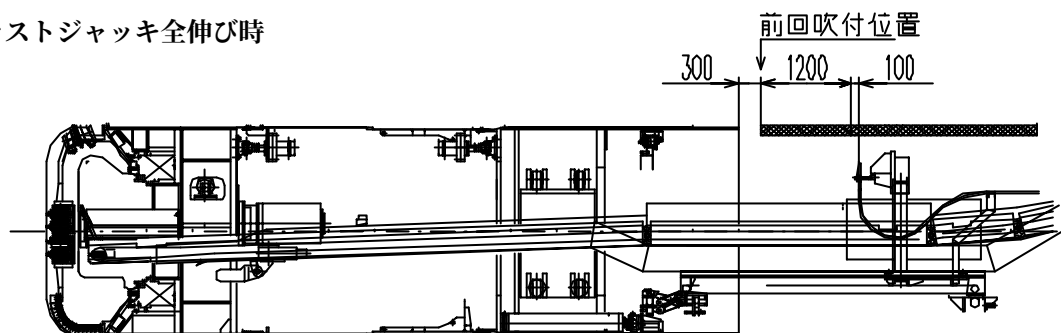
表2-3-12 吹付機の仕様

No	項 目	主 要 諸 元	備 考
1	一軸ミキシングポンプ	吐出能力 2.2m ³ /h 圧送圧力 0.6Mpa 動 力 φ 3AC200V60Hz 6kW 圧送ホース 1インチ、耐圧 3Mpa	
2	液体急結材添加ポンプ	吐出能力 2.5ℓ/min 動 力 φ 3AC200V60Hz 0.75kW 圧送ホース 4/8 インチ、耐圧 0.7Mpa	
3	吹付ノズル	ノズル形式 特殊ノズル エア圧力 0.45Mpa 吹付距離 450mm エアホース 4/8 インチ、耐圧 0.7Mpa	ノズル先端～壁面

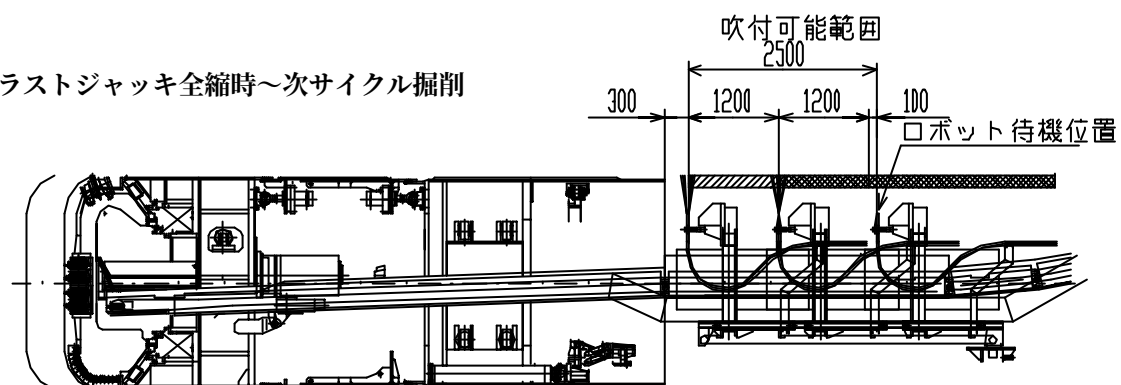
表2-3-13 一体型TBMの仕様

NO	項 目	主 要 諸 元	備 考
1	形式	全断面トンネル掘進機(ダブルシールド型)	
2	掘削径	φ 2.80m	2.79～2.81m
3	機長	7.91m	本体のみ
4	全長	約 95m	台車後端
5	総重量	約 146t	本体:98t 台車:48t
6	総出力	約 495kW	
7	電源	AC 6,600V・3φ・60Hz	
8	カッタ 取付方式 カッタ径 材質 カッタ数	カッタヘッド内取付 φ 330mm(13") ダイス鋼 22 個	
9	カッタ駆動装置 カッタ用電動機出力 カッタヘッド総出力 カッタヘッドトルク カッタ回転数	150kw×2 台 300kw 358kNm(37tfm) 3.4rpm～10.0rpm	8.0rpm 以下時 インバータ制御
10	スラスト装置 総推力 スラストジャッキ 推進ストローク 伸長速度	3,822kN(390tf) 1,176kN(120tf)×4 組 1,200mm MAX 6.0m/h(10cm/min)	ラチスジャッキ
11	補推進装置 総推力 補推進ジャッキ 推進ストローク	4,704kN(480tf) 960kN(98tf)×4 本 1,150mm	
12	グリッパ装置 グリッパ形式 総押付力 シュー張出力 シューの大きさ シューの数 シューの面圧	リンク式 8,232kN(840tf) 左右各 90mm 1,000mm×1,300mm 2 基 3.2MPa(32.3kgf/cm ²)	(片側 420tf) 基準掘削径 (φ 2.8m)
13	プロテクタ装置 型式 カッタシールド テレスコシールド外筒 テレスコシールド内筒 グリッパシールド	ダブルシールド式 φ 2,760mm φ 2,760mm φ 2,700mm φ 2,720mm	
14	後続台車	9 台	
15	ベルトコンベア ベルト幅×容量 台数	400mm×77m ³ /h 3 条	
16	集塵装置	湿式 150m ³ /min×1 台	ロトベント

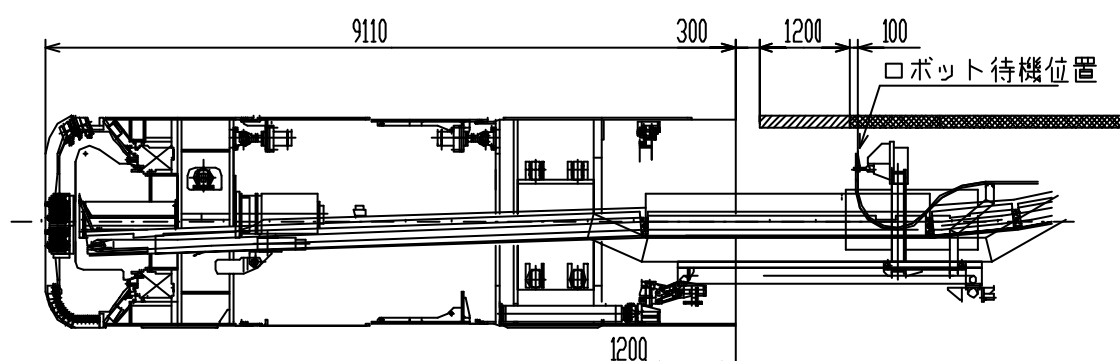
1. スラストジャッキ全伸び時



2. スラストジャッキ全縮時～次サイクル掘削



3. スラストジャッキ全伸び時



4. スラストジャッキ全縮時～次サイクル掘削

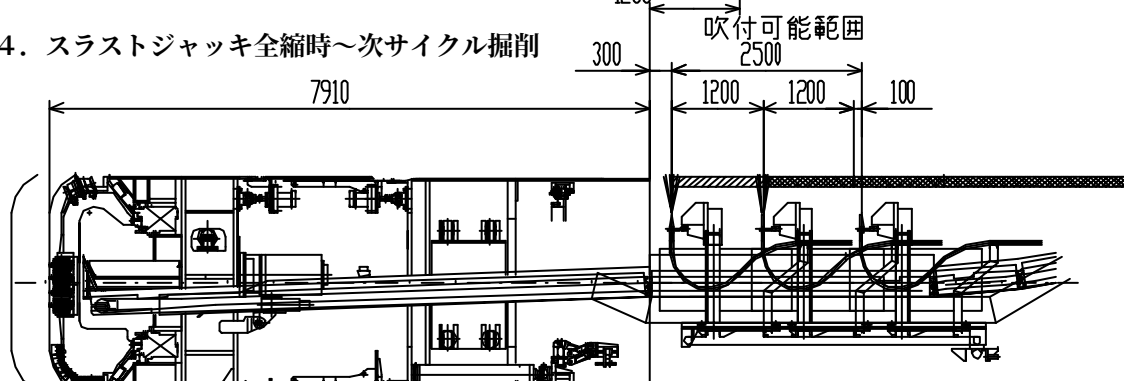


図2-3-3 吹付機の施工要領

f. 実証試験結果

(a) 掘進速度

導水路トンネル工事は、既設林道の改良、工事用道路の新設、在来工法による発進横坑、導水路3号、4号トンネル掘削の後、平成11年4月よりTBMの搬入及び組立が開始され、5月より一体型TBM工法による掘削が開始された。途中3回の地山トラブル等はあったものの、月進785mの国内におけるTBM最大月進も記録しつつ計画より約4ヶ月早く全トンネルの掘削が完了した。

掘削進行としては、表2-3-14に示すとおり平均進行が 8.05m/方であり、トラブルを含む値としてはかなり大きなものとなっている。1ヶ月当たりの作業日数を23日、作業方数を46方とすると、平均月進は370m/月となる。

また、掘進実績からTBMの純掘進速度を各地層別に算定した結果、岩稗累層、楡原類層では2.75m/h、飛騨変成岩類では 2.54 m/hであった。(ただし、TBM拘束トラブル区間を除く)

表2-3-14 TBM掘削実績

掘 削 月	作業方数		掘進距離(m)		平均進行(m/方)	
	当 月	累 計	当 月	累 計	当 月	累 計
1 月目	32	32	64.2	64.2	2.01	2.01
2 月目	50	82	349.9	414.1	7.00	5.05
3 月目	52	134	406.6	820.7	7.82	6.12
4 月目	34	168	164.1	984.8	4.83	5.86
5 月目	49	217	476.4	1,461.2	9.72	6.73
6 月目	53	270	284.9	1,746.1	5.38	6.47
7 月目	50	320	355.1	2,101.2	7.10	6.57
8 月目	20	340	195.5	2,296.7	9.78	6.76
9 月目	25	365	164.5	2,461.2	6.58	6.74
1 0 月目	49	414	612.3	3,073.5	12.50	7.42
1 1 月目	54	468	700.7	3,774.2	12.98	8.06
1 2 月目	47	515	296.8	4,071.0	6.31	7.90
1 3 月目	41	556	377.9	4,448.9	9.22	8.00
1 4 月目	49	605	450.1	4,899.0	9.19	8.10
1 5 月目	7	612	25.8	4,924.8	3.69	8.05

(b) 支保工・覆工パターン早期判定用データ

従来型TBM工法においては、掘削に伴い支保工種別の判定は必要ではあるが、覆工パターンについては、トンネル全線の掘削が完了した段階で決定すればよい。これに対して一体型TBM工法では、TBMテール直後における吹付によって覆工を行なうため、掘削後早期に最終的な支保工・覆工パターンを決定する必要がある。

この支保工・覆工パターン決定のために得られる施工データとしては、本実証試験の場合には表2-3-15に示すものがある。

表2-3-15 支保工・覆工パターン決定用採取データ

NO	採取データの種別	切羽からの距離
①	切羽前方探査	+100 m
②	機械データ(TBM 運転状況)	0 m
③	掘削ずり観察	0 m
④	観察用小窓における坑壁観察	-4 m
⑤	TBM テール部直後における坑壁観察	-8 m

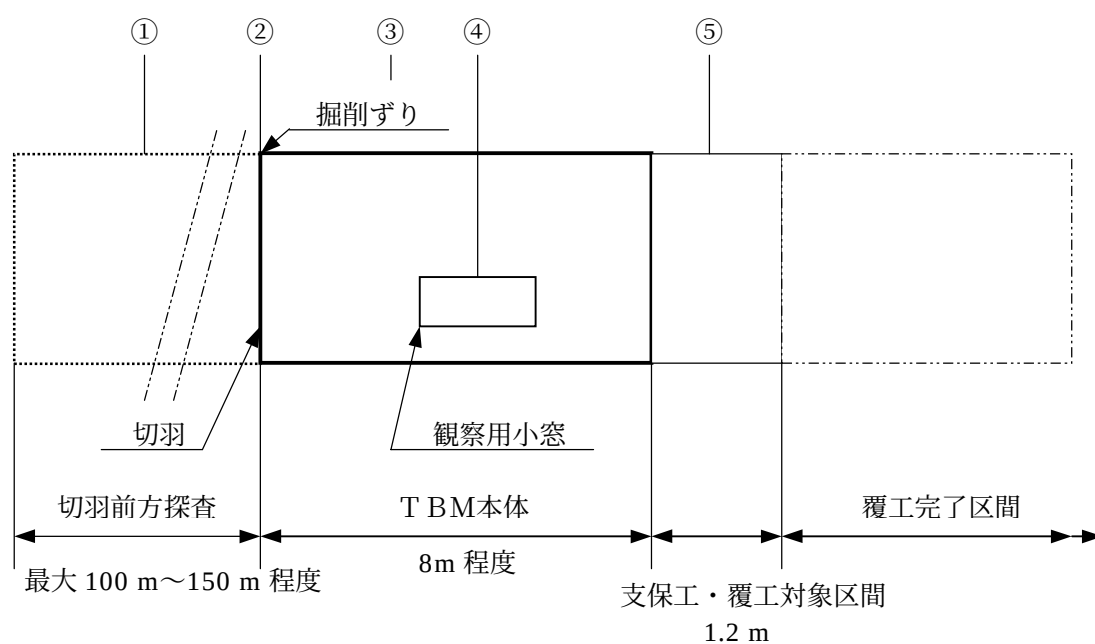


図2-3-4 データ採取位置

表2-3-15のうち、本実証試験で支保工・覆工パターンの判定の主データとなったものは以下の2つであり、機械データにより支保工・覆工パターンを推測し、TBMテール部直後における坑壁観察において決定した。これは、ファイバーモルタル吹付及び複線軌条を採用したことにより、比較的容易に吹き付け材料の搬入が可能であり、TBMテール部直後での判定結果を採用することに、時間的な支障がなかったためである。しかしながら、より施工断面が小さい場合にはテール部直後での坑壁観察が容易でなく、更なる高速掘進を指向するためには、機械データを用いてできるだけ早く支保工・覆工パターンを決定することが必要と考えられる。

- ・ 機械データ(カッターヘッドトルク、スラストジャッキ総推力などのTBM運転状況)
- ・ TBMテール部直後における坑壁観察

なお、切羽前方探査は、ある程度は支保工・覆工パターンの推測データとなりうるものの、探査による掘削作業への影響を考慮すると、高速掘進性を期する場合にはトンネル全線において探査を実施することは困難である。

掘削ずり観察については、テレビカメラで監視を行い、地山の大きな変化を捉えることで掘削作業性の向上には役立ったものの、単独データとして支保工・覆工パターンの決定を行うには無理がある。

また、観察用小窓は、一体型TBM工法のために特別に設けたものであり、この観察結果はTBMテール部直後における坑壁観察にかなり近いデータを得ることができる。ただし、掘進に影響を与えずに随時観察を行うことは困難である。

g. 工法別の経済性等の比較

(a) 一体型 TBM 工法と従来型 TBM 工法との比較

一体型TBM工法と従来型TBM工法の比較では、一体型の有利性として検討した工期短縮効果及び早期覆工効果を取り入れ、これによって経済性が向上したか否かについて検討するものとした。

工期短縮効果としては、実証試験の実績を用いて算定した一体型サイクルタイムと、これより推定した従来型サイクルタイムを使用するものとした。この比較においては、実証試験地点では中間横坑を設けていることから、下流の2号トンネルの掘削に、上流の1号トンネルの掘削及び吹付をプラスした工期について算定し比較することとした。(従来型における2号トンネルの吹付は、1号トンネルの施工に併行して実施できる。)

また、早期覆工効果については、一体型TBM工法で施工した実績の支保工・覆工パターンより、従来型TBM工法の支保工・覆工パターンを推定した結果を用いて比較するものとした。

ただし、実施工においてはインバートコンクリート施工時に各種の補修がなされており、これを考慮して実績パターンの修正を考慮するものとした。

① 工期の比較

計算の結果、本地点のトンネル工事においてクリティカルである2号トンネルの掘削+1号トンネルの施工(掘削、吹付)では、作業日数の合計は各工法でそれぞれ以下になった。

一体型TBM工法 : 345日(186+159)

従来型TBM工法 : 395日(249+146)

このように実作業日数にして50日の差が生じることとなったが、これは1ヶ月当たりの作業日数を23日とすると、約2.2ヶ月の差に相当する。また、従来型TBM工法の工期を基準にすると、一体型TBM工法とすることによって約13%の工期短縮効果があったことが認められる。ただし、この値にはインバートコンクリート工や仮設備などの工期は含んでおらず、掘削開始から吹付完了までの工期の比較である。

中間横坑を設けている本地点の場合であっても、工期的には一体型TBM工法の方がかなり有利となったが、中間横坑を設置しない場合を想定すると、この差は数段大きくなるものと予想される。

② 工事費の比較

工事費の比較においては、一体型TBM工法と従来型TBM工法の違いとして、特に以下の点を考慮するものとした。

- ・ 一体型TBM工法と従来型TBM工法の工期は、前述の作業日数とする。
- ・ 従来型TBM工法では、早期覆工効果が無いことを考慮し一体型TBM工法より重めの支保工・覆工パターンとする。
- ・ TBM掘進1日当たりの労務費は、一体型TBM工法の方が編成人員に覆工要員も含むため、高価である。
- ・ TBM本体価格を比べると、吹付設備を有していることから一体型TBM工法の方が高価である。
- ・ TBM消耗品費、基盤清掃を含むインバート工については、両者とも基本的に同じである。
- ・ 両工法に共通する在来工法分の工事費(3号トンネル、4号トンネル、中間横坑、発進横坑)やTBMトラブル対策工などについては、比較の対象から除外する。

直接工事費の算定結果を表2-3-16に示すが、従来型TBM工法に比べて一体型TBM工法の方が約4%程度安価となった。これは、本地点における地点特性を含む値であり、中間横坑を設けていることから、工期短縮効果は1号トンネル分のみが反映された結果である。中間横坑を設けない場合には、更に一体型TBM工法の有利性が発揮され、コストダウン率は大きくなるものと考えられる。

表2-3-16のTBM工法区間の直接工事費の比較において、従来型TBM工法を基準とした場合の一体型TBM工法の主な差は、以下のとおりである。

・支保工・覆工パターンの違い	－36百万円
・TBM損料の単価及び日数の増	＋24 〃
・吹付単独機損料の減	－35 〃

このほか、掘進工と吹付工を合わせた工期は一体型TBM工法の方が短いことから、濁水処

理費、給排水設備及び換気設備などの損料も安価であった。

また、トンネルの片押し延長が長くなるにつれ、ほぼ比例して工期の差も大きくなることから、本地点において中間横坑が無い場合には、更に一体型TBM工法の有利性が大きくなったものと考えられる。

表2-3-16 直接工事費の比較

種 別		一体型 TBM 工法	従来型 TBM 工法
直 接 工事費 (百万円)	TBM 工法区間	1,540	1,607
	雑工事	331	349
	仮設備	485	499
	計	2,356	2,455
指 数 (%)		96.0	100.0

注：平成 12 年度作成。雑工事は、ヘドロ処理及び濁水処理など。

以上より、本地点と支保工・覆工パターン・区分が似た地点においては、一体型TBM工法の方が従来型TBM工法に比べ、経済的にかなり有利であるものと考えられる。

(b) 一体型 TBM 工法と在来工法 (NATM) との比較

一体型TBM工法と在来(NATM)工法とを比較する場合、TBM工法のトンネルルートそのままを在来工法に適用すると工期がかなり長くなり不経済になることから、横坑を追加した新たなトンネルルートを想定し、これを在来工法の設計に用いて比較するものとした。また、一体型TBM工法との比較であることから、実績の3号トンネル、4号トンネル、発進横坑については両工法で同一とし、これらのトンネルと他の2つの横坑は矢板工法とし、一体型TBM工法に相当する区間のみをNATM工法に変更した場合を想定して比較するものとした。

① 在来工法 (NATM) の工事費算定条件

在来工法のトンネルルートの設定では、既設導水路トンネルとの離隔距離として40m以上を確保すること、土被りを30m以上とすること、片押し掘削距離が 1,500m以下となることを条件とし、発進横坑を含む3本の作業横坑を設けるものとした(図2-3-5参照)。この結果、一体型TBM工法に比べると、導水路トンネル延長で約45m、横坑延長で約260m、計305mの延長増となる。

また、トンネルの施工は取水口及びヘッドタンク側からは行わず、全て3個所の作業横坑を用いて施工するものとした。

トンネルの断面形は、規模及び施工性の点から幌形とし、一体型TBM工法の場合と同じ落

差を維持することを条件として、トンネル勾配を定め断面規模を決定した。その結果、内空幅及び内空高ともに、2.70mとなった。

NATM工法の支保工・覆工パターンの区分については、一体型TBM工法の場合と同じく掘削直後に吹付を実施することから、一体型TBM工法に準じた区分とした。

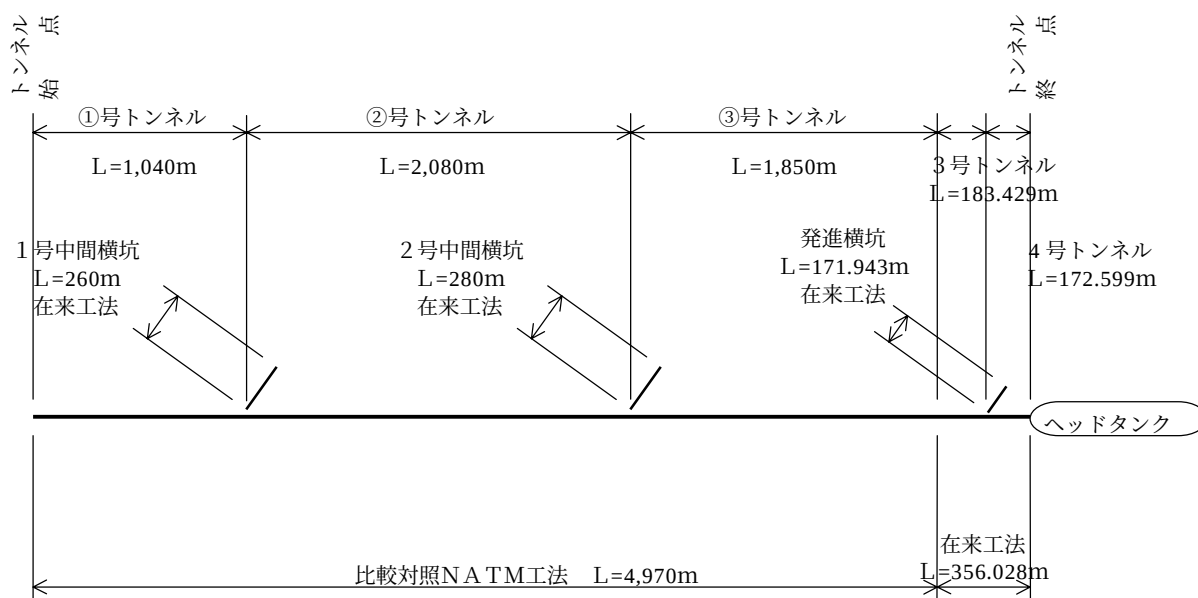


図2-3-5 在来工法のトンネルルート延長

② 工事費の比較

工事費は、導水路トンネルの比較対象区間と作業横坑分を合せた直接工事費ベースで算定した。その結果は、**表2-3-17**のとおりである。

導水路トンネルの直接工事費では、NATM工法の支保工・覆工パターンを軽めに設定したことから、一体型TBM工法の方が高くなったが、作業横坑を加えると逆転するとともに、雑工事及び仮設備も坑口数の差(2箇所対3箇所)により、一体型TBM工法の方が安くなった。

工期的には、NATM工法は3箇所の作業横坑からそれぞれ導水路トンネルの上下流へと掘削するものとしたことから、切羽数が6箇所となり、最も施工延長が長い②号トンネル下口においても、一体型TBM工法に比べて約半年の工期短縮が認められた。しかしながら、1箇所の横坑から上下流への掘削を行う場合には、これに伴う交点処理及び掘削作業効率の低下が予測され、前述の工期の差はより小さくなるものと推察される。

また、本発電計画においては、トンネル工事がクリティカルと考えていたが、工事着手後においては一体型TBM工法によるトンネル施工が順調であったことから、水圧管路・発電所工事の進捗がネックとなった。

表2-3-17 直接工事費の比較

種 別		一体型 TBM 工法	NATM 工法
比較対象延長 (m)	導水路トンネル	4,925	4,970
	作業横坑	451	721
	計	5,376	5,691
直 接 工事費 (百万円)	導水路トンネル	1,540	1,490
	作業横坑	122	193
	雑工事	331	354
	仮設備	485	593
	計	2,478	2,630
指 数 (%)		94.2	100.0

注:平成 12 年度作成。雑工事は、ヘドロ処理及び濁水処理など。

以上より、本地点においては、在来工法としては最も安価である NATM 工法と比較しても、一体型 TBM 工法の経済的優位性が認められ、コンクリート巻立を施す場合には、更にその差は大きくなることが予想される。

2.3.3. マニュアルの概要

(1) 名 称

「TBM工法の設計・施工マニュアル(案)」

(平成14年3月 経済産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

第5次発電水力調査結果によると、未開発地点の大半は流れ込み式水力発電で、かつ多くの地点が山間僻地にある。また、中小規模の開発が主体となることから建設費が割高となり、中でも水路トンネルの工事費は中小水力発電所総工事費の30～40%を占めている。

これら中小規模の水力発電を短期間に、かつ経済的に開発するためには、水路トンネル工事費のコストダウンを図ることは重要な課題である。

本マニュアルは、中小水力開発用のトンネル掘削機として、広範な地質変化に対応できる全地質対応型TBMを開発し、早木戸発電所(電源開発㈱)及び安蔵川発電所(中国電力㈱)の導水路工事における検証試験、新内川第二発電所(金沢市企業局)及び駒込発電所(東星興業㈱)における実証試験、更には新大長谷第一発電所(富山県企業局)における一体型TBM工法の実証試験結果を踏まえ、小断面水路トンネルにおけるTBM工法について、その採用を実務的に検討する立場にある技術者が本工法を正しく理解し、中小水力発電所の水路を安全かつ経済的に施工し、TBM工法の普及を図ることを目的として取りまとめたものである。なお、TBM工法の選定については、**図2-3-6**に示すTBM工法選定フローに従って実施するものとする。

(3) 適用範囲

通商産業省(経済産業省)による「未開発地点開発最適化調査」によれば、至近年(2010年を開発目標)に開発可能と判断される中小水力発電所として約350地点を抽出している。

同開発地点のうち、TBM工法の導入が可能と判断される地点は約210地点と想定され、そのうち約160地点は5km以下の水路トンネルで計画されている。

TBMの導入が可能と判断される地点における最大使用水量からすると、TBM掘削内径としては約3m以下($Q=10\text{m}^3/\text{s}$ 以下)の水路トンネルが90%以上を占めており、本マニュアルは、これら中小水力発電所の水路トンネルを主眼としたものである。

(4) マニュアルの構成

TBM工法設計・施工マニュアルとしては、昭和63年度に概成して実証試験に備え、平成3年度には実証試験に関する分析評価結果等を取り入れたマニュアル(案)を作成した。

その後、TBM工法を採用した施工実績を集約し、また、マニュアル(案)に対する要望等を取りまとめ、平成8年度にマニュアル(案)の第1回改訂を行った。

また、更なる技術開発として一体型TBM工法の検討及び実証試験を実施し、その分析評価結果についても反映した第2回改訂版を平成13年度に作成した。

以下は、第2回改訂版の目次構成である。

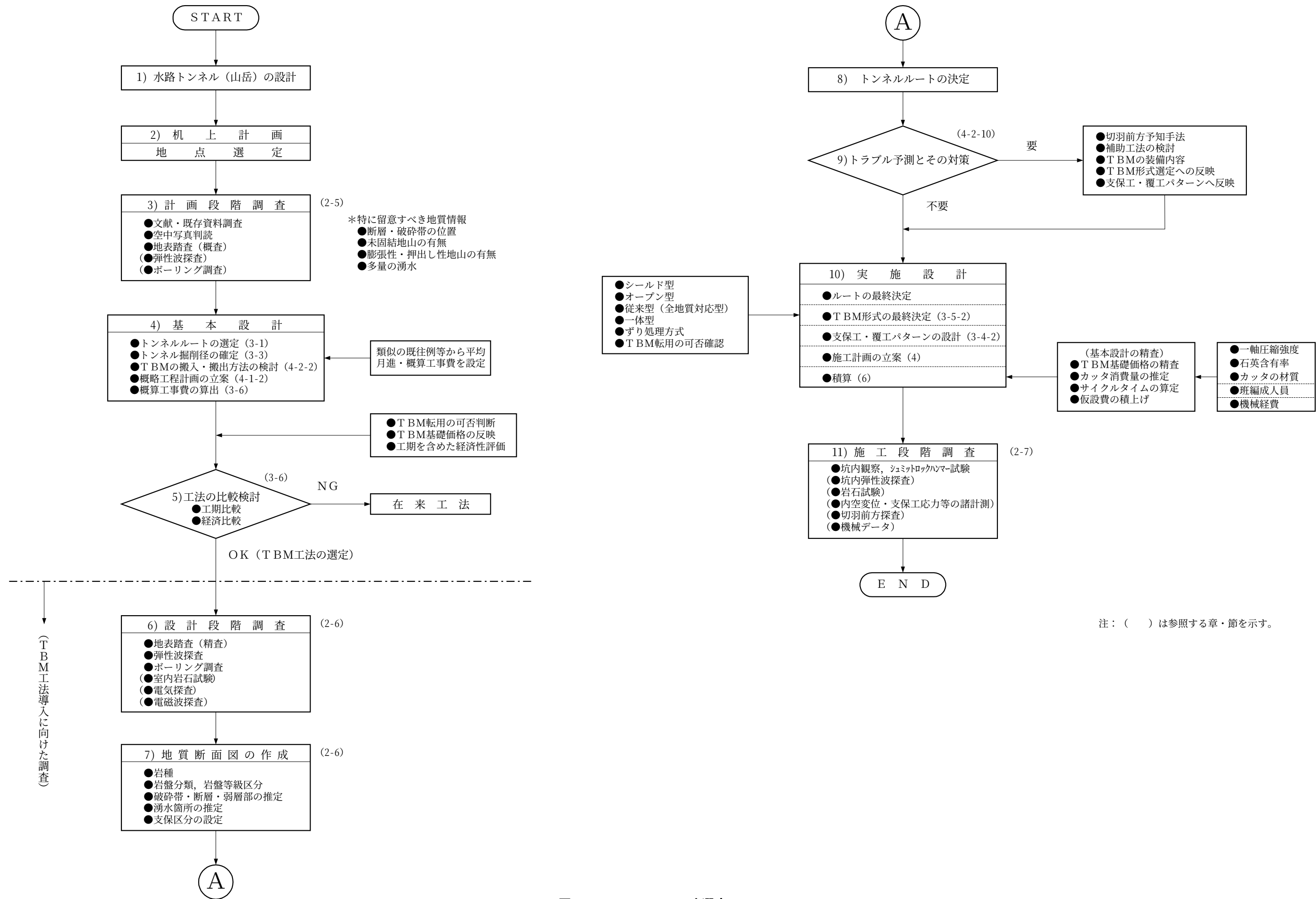


図2-3-6 TBM工法選定フロー

設計・施工マニュアル(案)目次(平成13年度第2回改訂版)

第1章 一 般

- 1-1 目的及び背景
- 1-2 適用範囲
- 1-3 TBM工法の選定

第2章 調 査

- 2-1 調査の目的
- 2-2 調査範囲
- 2-3 調査の項目
- 2-4 調査の区分
- 2-5 計画段階調査
- 2-6 設計段階調査
- 2-7 施工段階調査

第3章 計画・設計

- 3-1 トンネルルート
- 3-2 トンネルの掘進勾配
- 3-3 トンネルの掘削径
- 3-4 支保工、パターン
 - 3-4-1 支保工、覆工一般
 - 3-4-2 支保工、覆工パターンの設計
- 3-5 TBMの仕様
 - 3-5-1 一 般
 - 3-5-2 TBMの形式選定
 - 3-5-3 TBMの基本仕様
- 3-6 経済性評価

第4章 施工計画

- 4-1 一 般
 - 4-1-1 施工計画一般
 - 4-1-2 全体工程
- 4-2 施 工
 - 4-2-1 仮設備
 - 4-2-2 搬入、搬出
 - 4-2-3 発進、到達
 - 4-2-4 掘 進
 - 4-2-5 掘進に付帯する作業

- 4-2-6 ずり処理
- 4-2-7 支保工
- 4-2-8 覆 工
- 4-2-9 湧水処理
- 4-2-10 トラブル対策
- 4-2-11 カッター及びスクレーパーの交換
- 4-2-12 ずり輸送設備の消耗部品の交換
- 4-2-13 測 量

第5章 仕様書

- 5-1 発注特記仕様書

第6章 積 算

- 6-1 積算体系
- 6-2 基本条件
- 6-3 工事工程
 - 6-3-1 掘進サイクルタイム
 - 6-3-2 純掘進速度
 - 6-3-3 初期掘進
- 6-4 労務費
- 6-5 材料費
- 6-6 機械経費
- 6-7 消耗品費

第7章 施工管理

- 7-1 施工管理
 - 7-1-1 一 般
 - 7-1-2 TBMの保守点検及び整備
 - 7-1-3 転用時の点検及び整備
- 7-2 安全衛生管理

- 資 料 編
 - 資料-1 一体型TBM工法の分析・評価
 - 資料-2 工程計画
 - 資料-3 実証地点における支保区分及び純掘進速度の実績
 - 資料-4 トラブル事例
 - 資料-5 切羽前方予知
 - 資料-6 TBM本体標準損料率
 - 資料-7 TBM見積仕様書
 - 資料-8 TBM施工実績

2.3.4. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、TBMに関する技術の発展状況については、性能向上や弱層部を考慮した装置類の充実などの点から「改良されている」が最も多く、(アンケート調査時点で技術開発中であったこともあり)一体型TBMの採用等を挙げて「新しい技術に発展」との回答が次いで多かった。

普及状況については、多くの施工実績等を例に「大きい」と「どちらかと言えば大きい」が大半を占め、経済性の向上や汎用品の普及によりさらに期待できるとの意見もあった。

工期短縮の評価は「大きい」が最も多く、建設費低減及び建設保守の安全面についても「どちらかと言えば大きい」が大半を占め、全体に本新技術への評価は高かったが、現場条件に適合する汎用性に富む機械の開発を求める声等もあった。

TBMの採用実績については、中小水力発電所の導水路等において既に22件、採用発電所の合計出力は約100万kW(既設・工事中地点)に上っており、これに伴う建設費低減額は約50億円と見込まれる(表4-2、4-3参照)など、本技術開発は大きな成果を上げつつある。

コストダウン以外の効果としては、複合地質式TBMの採用により、中硬岩から軟岩まで1台で施工可能、シールド式TBMにより地山崩落等が防止できた、騒音振動、粉塵が少なく周辺環境への影響及び作業環境が改善される、地山の緩みが無いことから良質岩盤区間については覆工の軽減が可能など、高く評価されている。

TBM工法が採用された発電所及び工法などの主要諸元は、添付資料-4-3に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 今後の課題

TBM工法の将来的な課題や実証試験結果から考えられる課題は、以下のとおりである。

(a) TBMの自動化の推進

シールド工事と異なり、TBMを用いた山岳トンネルの掘削工事では、亀裂や破碎帯の存在など均一でない岩盤における掘進精度は、オペレータの技量に大きく依存しているのが現実であり、常に一定以上の掘進精度を確保し、かつ更なる高速化や作業環境、安全性の向上を図るためには、機械データ等を基とした掘進速度、カッターヘッド回転数などの自動制御化の推進が不可欠である。

(b) 調査手法と実施例の充実

先進ボーリング(地質性状を確実に把握できるが時間と費用がかかる)、反射法地震探査(比較的時間をかけずに断層・破碎帯の位置や規模が予測できるが地質性状までは把握し得ない)などの得失を踏まえ、精度と有効性からこれらの手法の必要かつ十分な調査量などを判断する

ための実施事例の充実が望まれる。

(c) TBM マシンの機構の改善等

掘進の更なる高速化についてはカッター、ずり搬出装置などの改良、対応地質の拡大のためには膨張性地山でカッターリングの交換を行わずにオーバーカットできる構造の開発、シールド径を自在に拡張できる機構の開発などが望まれる。

(d) 自動覆工システムの信頼性向上

自動吹付機には、吹付け厚の自動計測機能が装備されているが、これは所定の吹付け厚が確保されているかどうかを確認するためのものであり、余吹きを含めた吹付け量やリバウンド量の算定には利用できない。また、増吹きが必要な崩落断面では、計測精度が低下するため、凹凸部の吹付け厚の確保は熟練作業者の勘に頼り、手吹きを併用せざるを得ない。これらの点の改善や劣悪な環境における耐久性の向上などのための計測機器の改良が必要である。

(e) 坑壁観察の合理化

坑壁観察は、支保工・覆工パターンの決定に際して実施されるが、その記録作業は、掘削・同時覆工のサイクルにおいて高速掘進の阻害要因となることから、手法の合理化により時間短縮することが重要である。

(f) 支保工・覆工パターンの早期判定

前述のとおり、一体型TBM工法では最終的な支保工・覆工パターンを掘進に伴い即時に決定する必要がある。特に、高速掘進を指向すればするほど地質観察時間が限られ、支保工・覆工パターンを判定するための地質データの取得が困難となる。このため、地点特性に応じた掘削地山の評価と適切な支保工・覆工パターンの早期判定手法の確立が不可欠である。

b. 採用事例における指摘事項

アンケート調査の結果によれば、実際の採用事例における施工上、保守運用上のTBMに関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 精度の高い地質調査、地質情報の適正な評価、地質に整合したTBMの機種選定、カッターなど損耗量の精度の高い推定方法などの検討
- ・ TBMの流用・転用の可能性の検討

また、マニュアルの改訂が望まれる事項として、以下の点等が挙げられている。

- ・ 機種選定、サイクルタイム算定事例、カッター損耗量など積算方法・資料の追加
- ・ 合理的な地質調査方法のあり方(調査精度の向上と適確な岩盤等級などの設定)
- ・ 各種実績データ(カッター消耗量、岩種・岩級別掘削速度など)、最新技術(連続ベルコン排土方式、ジオシャトル等々)の紹介・追記
- ・ トラブル遭遇時の具体的対処方法の検討

c. 不採用事例について

アンケート調査の結果、TBMの採用が検討されたものの採用に至らなかったケースが4例回答されている。それらの主な不採用理由や今後同様なケースにおいて採用が見送られないための改善

課題として指摘された事項は、以下のとおりである。（詳細は第4章参照）

- ・ 地質が複雑なため工期短縮にリスクがあり、途中で断念した場合のコストを考えると見送らざるを得なかった。
- ・ TBM搬入・搬出用道路が無い、発進基地のスペースの確保に問題があった、などにより経済性が良くなかった。
- ・ TBM本体価格等が高額で、在来工法に比べ経済性に劣った。価格の低減が必要。
- ・ 機械の全長、単体重量の低減が必要。
- ・ 地質変化に対応できるTBMの開発が必要。

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)以外にTBM工法に関する基準等はないが、参照すべき図書として以下のものが挙げられる。

- ・ 「TBMハンドブック」((社)日本トンネル技術協会、2000年2月)
- ・ 「TBM工法による施工事例調査」((社)日本電力建設業協会、平成13年3月)

また、トンネル一般として参照すべきものでは、

- ・ 「トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(平成8年版)」((社)土木学会、平成9年6月)
- がある。

2.4. 超小断面トンネル掘削に関する技術開発

超小断面トンネル掘削に関する技術開発

(平成 4 年度～平成 11 年度調査)

概 要

在来工法によるトンネル最小掘削径は $\phi 2.0\text{m}$ 程度であり、通水容量に比べ取水量が少ない場合、単位取水量当りの単価が割高となる。このため、超小口径岩盤掘削機の技術開発を行い、取水量が少ない地点におけるトンネル工事費の低減を図ろうとするものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

超小断面トンネル、シールド型 TBM、全地質対応型 TBM、水密シール、TBM、岩盤掘削機、流体輸送方式、施工性向上、安全性向上、トンネル掘削機械化

適用範囲

掘削径 1.0～1.8m、連続掘削距離 1～3 km程度

2.4.1. 新技術の概要

(1) 目的

第5次発電水力調査によると、未開発水力地点の多くは山間僻地にあり、中小規模の開発が主体となっていることから、建設費が割高となっている。また、約9割の地点は、水路式及びダム水路式発電であり、トンネル工事費が総工事費に占めるウエイトが高く、地点の経済性に大きな影響を持つことから、その削減に資する技術開発が強く求められている。

使用水量の面からみると、未開発水力地点の1/3は最大使用水量 $2\text{m}^3/\text{s}$ 以下の小流量地点であるが、在来工法によるトンネル最小掘削径は 2.0m 程度であり、使用水量に比べ断面積が大きすぎることから、単位使用水量当りのトンネル単価が割高となっている。

このため本技術開発は、掘削径 1.8m 以下、 $1\sim 3\text{km}$ 程度の長距離掘削が可能な超小口径岩盤掘削機の開発等、超小断面トンネル掘削工法を開発するための調査・検討を行い、小流量地点のトンネル工事費の低減を図ることを目的としている。

(2) 全体システムの基本条件

超小断面トンネル掘削工法の全体システムの基本条件は以下のとおりである。

- ・ 対象掘削径は、最大使用水量 $0.5\sim 2.0\text{m}^3/\text{s}$ に相当する $1.0\sim 1.8\text{m}$ の範囲とする。(ただし、実証試験における掘削径は現状での工法全般の諸条件を考慮に入れ、 $1.6\sim 1.8\text{m}$ 程度としている。)
- ・ 掘削距離は、連続して $1\sim 3\text{km}$ 程度とする。
- ・ 支保工は無支保を基本とする。覆工はコンクリート吹付けを原則とするが、インバート部については場所打ちコンクリート以外でプレキャスト化を図ったものが望ましい。

(3) 設計・施工上のコンセプト

超小断面トンネル掘削工法の設計・施工上のコンセプト等は、以下のとおりである。(図2-4-1参照)

a. 掘削機

超小断面トンネル掘削機は、シールド機及びTBM掘削機の利点を組み合わせた全地質対応型とし、小断面に対応した設計とする。掘削機本体は、推進機構とサイドグリップを併せ持つ自走可能な機械とし、曲線施工も可能なものとする。掘削機後部に接続される後続台車の走行は、内空断面の制約上、従来の軌条設備を省略して、タイヤ方式を採用することが考えられる。

b. ずり出し

超小断面トンネル掘削工法のずり出しは、作業スペース、作業性、トロ待ち時間の問題、地山不良部における泥水加圧が可能となる点などを考慮すると、ベルコン方式に比べ流体輸送方式が有利であるため、水中クラッシャを切羽直近に設け、スラリーポンプにより排泥するシステムとしている。

岩盤との間に直接水密シールを設けた事例はないため、以下のような構造のシールを考案し、模擬試験によりシール性能、交換方法などを検討し、十分な水密性、交換作業性を有することを確認した。

a. 水密シールの構造

シール材にワイヤーブラシを用い、泥水を止めるための外シールとこれを坑壁に密着させるための内シールで構成し、これらの内側にグリスを充填する構造とした。(図2-4-2参照)

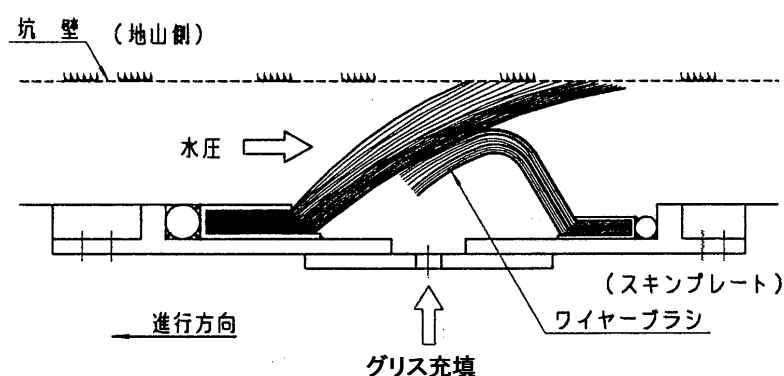


図2-4-2 水密シールの構造

b. シールの交換方法

シール取付け部のスキンプレートを搬入出が可能な大きさまで円周方向に分割し、各パーツを掘削機本体内部から取り外し交換できる構造とした。

(5) 検討経緯

a. 関連技術調査と基本構想の検討(平成4～5年度)

既存の小断面掘削工法の施工能力と経済性を評価し、超小断面トンネル施工システムの基本方針を設定した。

b. 基本システムの技術的検討(平成5～8年度)

基本システムに関する調査、設計及び施工方法などの検討、類似断面における実態調査、模擬空間での作業性試験による検証、アンケート調査による検討などを踏まえ、掘削機、付属設備の基本設計、支保工覆工の設計・施工方法、保守管理対策などの検討を実施した。

c. 技術的課題の検討(平成9～10年度)

室内試験及び分析評価も行なってシール機構を検討し、掘削機外周シール機構を選定した。

また、超小断面トンネル施工特有の留意事項に関する検討により、施工上の諸課題と安全性を検討した。

d. 設計・施工マニュアル(案)の作成(平成 7～11 年度)

積算方法を整理検討し、ケース・スタディにより経済性評価を行ない、調査検討結果を総括的に説明したマニュアル(案)を作成した。

e. 実証試験実施要領(案) の作成(平成 11 年度)

実証試験の条件、施工計画上の留意事項、調査試験計画と分析評価方法などを取りまとめ、実証試験にあたってのガイドラインを策定した。また、設計・施工に関する課題についてさらなる検討を行ない、その結果を反映させて設計・施工マニュアル(案)を改訂した。

2.4.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

掘削距離 3,070m、2,000m、1,160m の3地点を対象に、超小断面トンネル掘削工法(掘削径1.62m)、流体輸送式TBM工法(掘削径2.30m)及び発破工法(仕上り断面幅1.80m、高さ1.80m)の3工法についてケース・スタディを実施し、各工法の工事費、工期などを比較した結果は表2-4-1、図2-4-3のとおりであり、これより以下の特徴が挙げられる。

表2-4-1 超小断面トンネル掘削工法、TBM工法及び発破工法の工事費・全体工期比較表

工 法	掘削距離 (m)		工事費 (千円/m)	全体工期 (ヶ月)
超小断面トンネル 掘削工法 (φ1.62m)	1,160		556	9.5
	2,000		464	13.4
	3,070		425	18.5
TBM 工法 (φ2.30m)	1,160		609	9.2
	2,000		512	13.2
	3,070		470	18.5
発破工法	1,160	片押し	577	16.9
		両押し	697	平均 9.1
	2,000	片押し	536	29.0
		両押し	576	平均 15.0
	3,070	片押し	501	42.7
		両押し	522	平均 21.2

(平成8年度作成)

- ・ 超小断面トンネル掘削工法は、いずれの掘削距離においても3工法中最も経済的である。
- ・ 超小断面トンネル掘削工法とTBM工法を比較すると、いずれの掘削距離においても超小断面トンネル掘削工法がTBM工法より1割程度経済的であるが、全体工期はほぼ同程度である。
- ・ 超小断面トンネル掘削工法と発破工法(片押し)を比較すると、掘削距離によって超小断面トンネル掘削工法が発破工法と同程度～2割程度経済的であり、全体工期は約1/2である。
- ・ 超小断面トンネル掘削工法と発破工法(両押し)を比較すると、経済性はいずれの掘削距離においても超小断面トンネル掘削工法が2割程度経済的であり、全体工期は同程度(掘削距離1,160m)～15%程度(掘削距離3,070m)短い結果となった。

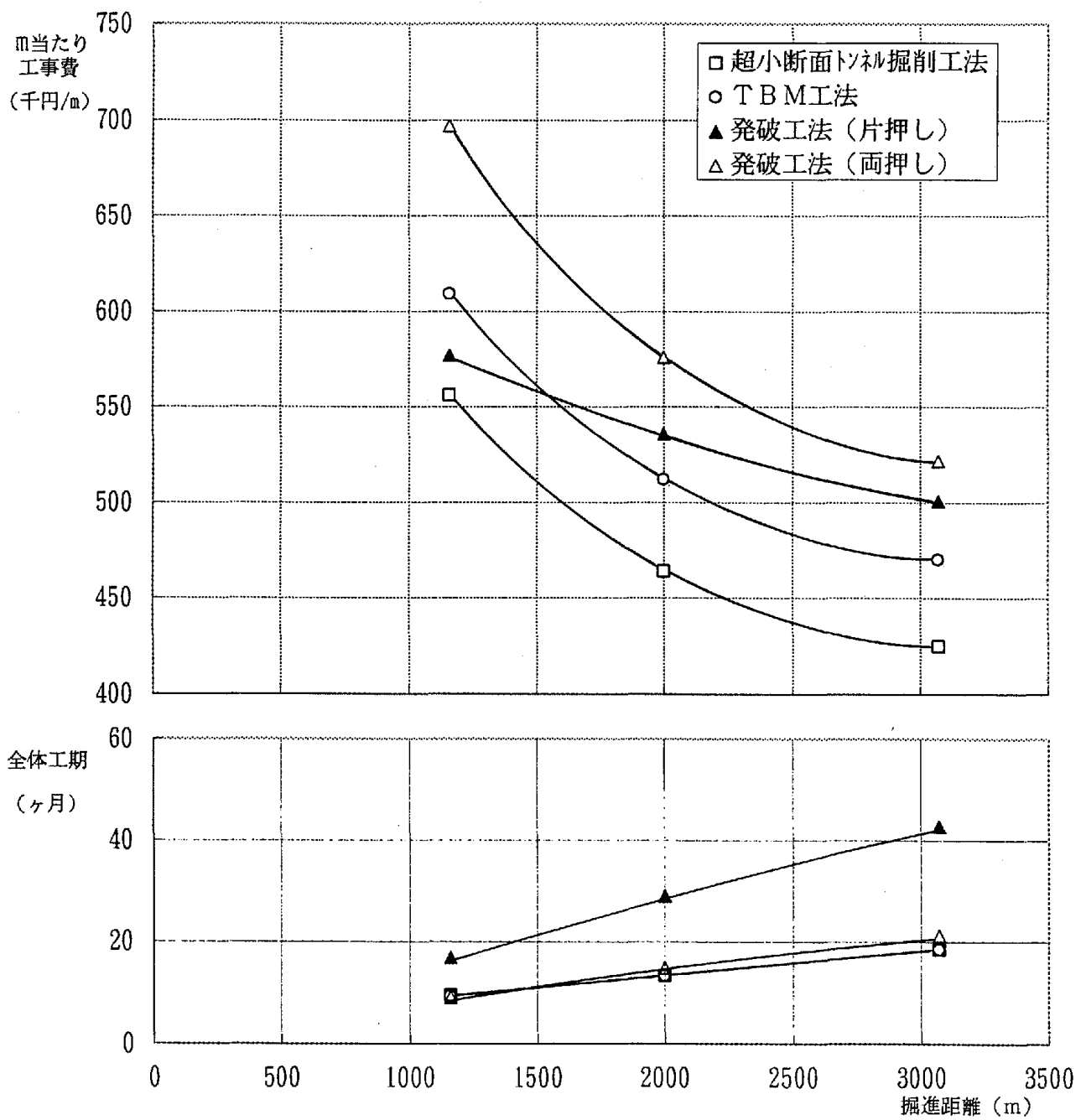


図2-4-3 各工法の工事費・全体工期の比較(平成8年度作成)

2.4.3. 実証試験

(1) はじめに

本技術開発に関する実証試験は実施されていないが、坑内作業の安全性や従来型TBMとの比較などを検証する必要があるため、今後適当な実証地点があった場合に備え、既に実証試験を行っている従来型TBM工法の内容に準拠して、以下のとおり実証試験実施要領(案)を策定したものである。

(2) 実証試験の目的

実証試験は、従来型TBM工法との比較検討を基本として、坑内作業の安全性の検証を重点目標とし、支保パターンごとの設計サイクルタイム及び掘削・ずり出し・覆工の各システムの検証も行うものとする。

a. 坑内作業の安全性の検証

超小断面トンネル掘削工法は従来型TBM工法よりも小断面であるため、同じ地質区間で比較した場合、坑壁がより安定しやすく、軽微な支保で施工可能であると考えられることから、支保工による作業スペースの削減率が少ない。しかし、従来型TBM工法よりも小断面であるため、坑内における人力作業を安全に行うための対策がより重要となる。よって、机上及び室内試験で検討した作業性及び作業環境が想定どおり十分に確保されているかを検証する必要がある。

b. 支保パターンごとの設計サイクルタイムの検証

超小断面トンネル掘削工法における覆工を含めた全体工期は、ケース・スタディによれば従来型TBM工法とほぼ同程度であることから、断面の縮小に伴う工事数量減の効果が期待できる。

しかし、想定した掘進速度が確保できない場合には、工期延長と工事費増加につながる恐れがあることから、各種サイクルタイムが妥当な時間でかつ所要の工期が守られるかを検証する必要がある。よって、吹付を含む支保パターンごとのサイクルタイムを調査分析することにより、超小断面トンネル掘削工法のサイクルタイムを確立するものとする。

c. 掘削・ずり出し・覆工システムの検証

超小断面トンネル掘削工法によれば、小流量の場合にも最適断面の水路トンネルが施工可能である。しかし、岩盤坑壁対応水密シーลを用いた掘削・ずり出しシステムにおいて、この水密シーลによる切羽の止水性能によっては地山不良部での掘削に制約を来すことから、この水密シーลの性能を検証する必要がある。また、覆工においては、プレキャストインバートブロックの敷設方法や吹付ロボットの作業性能を検証する必要がある。

(3) 対象水路諸元

掘削径:1.6～1.8m程度(本工法が対象とする掘削径は1.0～1.8mの範囲であるが、現状での工法全般の諸条件を考慮したものである)

掘削距離:連続して1～3km程度

(4) その他の実証試験の条件

- ・ 掘削機本体は、推進機構とサイドグリップを併せ持つ自走可能な機械とし、曲線施工も可能なものとする。また、泥水加圧も可能とする。
- ・ ずり出しは、流体輸送方式を原則とする。
- ・ 支保工は無支保を基本とする。覆工はコンクリート吹付けを原則とするが、インバート部については場所打ちコンクリート以外でプレキャスト化を図ったものが望ましい。

実証試験の趣旨から、試験は (3)、(4) のすべての条件を満足することを原則とする。

2.4.4. マニュアル(案)の概要

(1) 名 称

「超小断面トンネル掘削 設計・施工マニュアル(案)(改訂版)」※

(平成12年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

※ 報告書名「超小断面トンネル掘削に関する技術開発 実証試験実施要領(案)の作成(平成11年度)」に収録されている。

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、超小断面トンネルの長距離掘削が可能な超小口径岩盤掘削機の技術開発等、新工法を開発するための調査及び技術的検討を行った成果を取りまとめたものであり、水路トンネル工事費のコストダウン等により小流量未開発水力地点の開発を促進させることを目的としている。

(3) 適用範囲

超小断面トンネルの掘削径、掘削距離の対象範囲は、以下のとおりである。

a. 掘削径

第5次発電水力調査の結果、掘削径が 1.0～1.8mに相当する最大使用水量 0.5～2.0m³/sの地点が約750地点と未開発水力地点の64%を占めていることを踏まえ、在来工法の掘削断面の限界(掘削幅1.8m幌形)、トンネル完成後の維持管理、及びTBM工法におけるφ2.0m掘削機の開発状況を考慮して、超小断面トンネルの掘削径の適用範囲は 1.0～1.8m程度とした。

b. 掘削距離

掘削距離については、上記の約750地点のうち導水路延長が 1～3kmの地点が約480地点と約64%を占めている(1km以下は 13%、3km以上は23%)ことを勘案し、適用範囲を 1～3km程度とした。

(4) 設計・施工マニュアル(案)(改訂版)の構成

超小断面トンネル掘削工法の設計・施工マニュアル(案)については、これまでの超小断面トンネルに関する設計手法、施工方法、掘削機械システムなどについての検討結果を踏まえ、超小断面トンネル掘削のニーズから施工実績等の調査による課題ごとの詳細検討及び総括的な説明を網羅したものを平成10年度に作成し、平成11年度に追加検討成果を取り入れた改訂版を作成した。以下は、改訂版の目次構成である。

設計・施工マニュアル(案)目次(平成11年度改訂版)

第1章 一般

- 1.1 目的及び背景
- 1.2 基本構想
- 1.3 マニュアル(案)の適用範囲

第2章 超小断面トンネル掘削機

- 2.1 設計の基本事項
- 2.2 掘削システムの仕様

第3章 計画

- 3.1 トンネルの線形
- 3.2 トンネルの掘削径

第4章 調査

- 4.1 調査の目的
- 4.2 調査の範囲
- 4.3 調査の項目
- 4.4 調査の区分
- 4.5 計画段階調査
- 4.6 設計段階調査
- 4.7 施工段階調査

第5章 設計

- 5.1 支保工、覆工一般
- 5.2 支保工、覆工パターンの設計

第6章 施工及び施工設備

- 6.1 一般
- 6.2 測量
- 6.3 施工
- 6.4 施工設備
- 6.5 施工管理

第7章 仕様書

- 7.1 発注特記仕様書

第8章 工程計画

- 8.1 工程計画

第9章 積算及び班編成人員

- 9.1 労務費、機械経費、掘削機消耗品
- 9.2 班編成人員

(5) 仕様書

超小断面トンネル工事の発注特記仕様書には、土木工事仕様書及び追加仕様書に加え、当該トンネル工事のうち超小断面トンネル掘削機による機械掘削を行う区間について、掘削機の仕様等請負者が遵守しなければならない仕様を規定する。

(6) 積算関係

a. 労務費、機械経費、掘削機消耗品

労務費及び機械経費の算定は「TBM工法の設計・施工マニュアル(案)」に準拠し、労務費には超小断面トンネル施工に当たり必要な労務の費用を、機械経費にはトンネル掘削に必要な各機械設備の損料を計上する。また、掘削機消耗品についても基本的には同マニュアル(案)に準拠し、カッターリング及びカッターハブなどを計上する。

b. 班編成人員

班編成人員は地質状況やトンネル延長などによって異なるため、標準値は設定できないが、並行する作業及び頻度などを勘案し、以下により適正な人員配置を決定する。

- ・ 班編成人員は、高速施工、品質保持及び安全性の確保を前提として、適正な人員配置を決定する。
- ・ 掘削時の作業員構成は、純掘進のみならず、支保工建込み、カッタ交換、配管延長及びインバート施工などの作業内容から決定する。

2.4.5. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、超小断面トンネル掘削に関する技術開発後の発展状況については、適用実績がないことや保守管理・経済性の面などから「開発当時と変りなし」が最も多かったが、小流量地点が多いので発展を期待しているとの意見もあった。

普及状況については、上記と同様、適用事例が無いため判断できないとした意見が多く「どちらとも言えない」との回答が多かった。

建設費低減に関しては比較的高い評価であった。

採用実績はまだ無いが、さらに小断面の超小口径断面トンネル掘削工法(弧状推進工法)による計画が1地点あり、その発電計画及び工法などの主要諸元は、**添付資料－4－4**に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 今後の課題

今後の課題としては、水密シールに関する以下の事項が挙げられる。

(a) シールの交換方法

掘削機内部からのシール交換については、交換ピースがかなりの重量(100～200kg)となるため、掘削機内部の狭い空間における交換ピースの取付方法については、実機における検討が必要である。また、湧水時における、掘削機底部のシール交換についても検討する必要がある。

(b) 坑壁への追従性

坑壁に段差がある場合に、この窪みをシールが通過する過程において水密ロスが見られることから、強化型シールによる更なる検証が必要である。

(c) 予備シールの設計

外周シールの設計が固まった段階で、予備シールの詳細検討が必要である。

(d) グリスに替わる止水材の検討

クレーサンド系の高粘性材料について、室内試験による止水性能等の検証が必要である。

b. 最近の技術動向

超小断面トンネル掘削技術に関する最近の動向としては、前述の「弧状推進工法」が挙げられる。本工法の適用範囲は、口径が超小断面トンネル掘削技術が対象としている最小掘削径の 1.0m 以下、掘削延長は 800m～1,500m 程度以下(口径によって異なる)であり、水力への適用事例はまだ無いが、油井掘削や上下水道、工水・農水路などでの実績がある。

アンケート調査結果でも、今後さらに技術開発が必要と考えられる事項として、超超小断面掘削技術を挙げる声が多く、本工法について適用性や経済性などを検討のうえ、水力分野での実用化が図られれば、小水力地点の経済性向上に貢献するものと思われる。

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)のほかに参照すべき基準等としては、以下のものが挙げられる。

- ・「TBM工法の設計・施工マニュアル(案)」(経済産業省資源エネルギー庁、(財)新エネルギー財団、平成14年3月)
- ・「トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(平成8年版)」((社)土木学会、平成9年6月)
- ・「トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説(平成8年版)」((社)土木学会、平成8年7月)

2.5. NATM・吹付コンクリートによるトンネル施工の合理化

NATM・吹付コンクリートによるトンネル施工の合理化

(昭和 60 年度～61 年度調査)

概 要

今後の水力開発は小規模なものがほとんどとなるため、小断面トンネルを経済的に施工することが重要な課題の一つである。NATM は、地山そのものを支保部材として活用でき、吹付けコンクリートを永久覆工に利用できるなど、経済的に有利な特長があるため、これを発電用小断面トンネルに適用し、安全で経済的な工事が行われるよう、小断面トンネルの特殊性を十分考慮した NATM・吹付コンクリートによるトンネルの合理化施工法を確立したものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

小断面 NATM、小断面トンネル、吹付け永久覆工、施工性向上、安全性向上、覆工節約

適用範囲

発電用の無圧水路で、断面積が 10m² 程度以下の小断面トンネルに適用する。

2.5.1. 新技術の概要

(1) 目的

第5次発電水力調査結果によれば、一般水力の未開発地点数は約2,800箇所で、このうち90%以上が流れ込み式発電所であり、最大使用水量から水路トンネルの断面積を推定すれば、ほとんどが10 m²以下の小断面である。このように、今後の水力開発は小規模なものがほとんどとなるため、小断面トンネルを経済的に施工することが重要な課題の一つである。

NATMは、地山そのものを支保部材として活用でき、吹付けコンクリートを永久覆工に利用できるなど、経済的に有利な特長を有するため、これを発電用小断面トンネルに適用し、安全で経済的な工事が行われるよう、小断面トンネルの特殊性を十分考慮したNATM・吹付けコンクリートによるトンネルの合理化施工法を確立することを目的としている。

(2) 概要

NATMは、従来の“地山の緩みを支保部材で支持する”考え方に対して、“地山を緩ませず地山そのものでトンネルを保持させる”考え方を基本とした合理的なトンネル工法であり、1962年(昭和37年)、第13回国際岩盤力学会議ではじめて新オーストリア工法(New Austrian Tunnelling Method、略してNATM)と名づけられたものである。

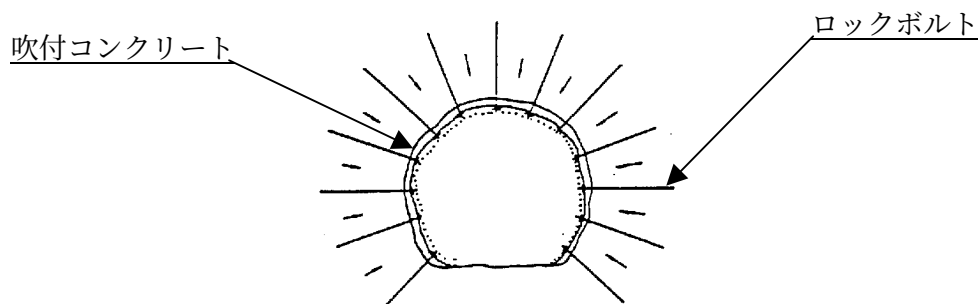


図2-5-1 NATM工法の概念

我国では、1974年の本工法に関する論文の紹介が契機となり、その後急速に各方面の注目を集めるようになった。1976年には膨張性土圧に悩む上越新幹線中山トンネルにおいて初めて本格的に適用され、その効果と合理性が確認されるや、わずか数年間に多くのトンネル建設で採用されるに至り、今やNATMは我国におけるトンネル工法の主流となっている。

発電用水路トンネルにおいては、中山トンネルとほぼ同時期の1977年、奥矢作の導水路トンネルの一次支保としてNATMが初めて用いられ、また、小断面トンネルでも1981年小坂川で二次支保として用いられたのをはじめとして、各地点で次第に用いられるようになった。

これらの趨勢を踏まえるとともに、前述のとおり、今後の水力開発においては小断面トンネルを経済的に施工することが重要であり、NATMは経済的に有利な特長を有することから、NATM・吹付けコンクリートによる小断面トンネルの合理化施工法の技術開発を行なった。

具体的には、断面積を10 m²程度以下の水路トンネルを対象とした、調査方法、支保工・覆工などの設計関係、施工方法・機械、計測、仕様、積算などに関する指針、留意事項、既往実績の紹介などを盛り込んだマニュアルを整備したものである。

(3) 技術開発における基本方針

技術開発における主要な方針は、以下のとおりである。

a. 施工中の観察・計測を重視する。

小断面水路トンネルの事前調査は、一般に既存の資料調査、地表地質踏査が主体であり、原位置の地山の特性を計画段階で的確に予測するのは困難なことが多い。それゆえに、施工中の観察・計測に基づいて周辺地山の実際の挙動や支保部材の効果を正しく把握し、それに基づいて設計、施工法を修正することが不可欠である。

b. 観察・計測は、坑内観察及び内空変位測定を主とする。

小断面トンネルでは、掘削直後の地山の挙動が重要である点に留意して、坑内観察および内空変位測定を主とするが、破碎帯等、地山条件が悪い場合は、必要に応じてロックボルト軸力測定等その他の計測を追加するものとした。

c. 岩盤分類は、電研式分類(田中の分類)を適用する。

調査結果を設計・施工に活用するためには、工学的な地山評価を行なう必要があるため、発電用水路トンネルで主に用いられている電研式の岩盤分類を適用するものとした。

d. 一次支保は、吹付けコンクリート、ロックボルト及び鋼製支保工を基本とする。

土木学会トンネル標準示方書(山岳編)に準じ、吹付けコンクリート、ロックボルトあるいは鋼製支保工等を、地山の状況に応じて単独もしくは組合せて支保工とする工法を標準とした。

e. 永久覆工は、吹付けコンクリートを基本とする。

この場合、切羽で施工した一次支保をそのまま永久覆工とする場合と、一次支保とは別に施工する場合があるが、いずれにしても施工性や経済性の面で巻立てコンクリートに比べて有利であることから、小断面水路トンネルでの永久覆工は原則として吹付けコンクリートによるものとした。

(4) 検討経緯

- ・発電用トンネルの NATM 施工事例調査、文献調査等(昭和 60 年度)
- ・小断面水路トンネル NATM 設計、施工マニュアル(案)の作成(昭和 61 年度)

2.5.2. マニュアル(案)の概要

(1) 名 称

「小断面水路トンネルNATM設計・施工マニュアル(案)」

(昭和62年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、10 m²以下の発電用小断面水路トンネルに携わる技術者が、NATMを正しく理解し、安全で経済的な工事ができるように作成したものである。なお、10 m²を若干上廻る断面のトンネルにおいても適用可能である。

(3) 適用範囲

発電用の小断面水路トンネル工事においてNATMを用いる場合の、調査、設計、施工、品質管理、観察・計測および仕様、積算に適用する。

なお、掘削方法には発破工法と機械工法があるが、本マニュアル(案)は原則として発破工法で施工する無圧水路トンネルに適用する。

(4) 構 成

本マニュアル(案)の目次構成は、以下のとおりである。

小断面水路トンネルNATM設計・施工マニュアル(案)目次

第1章 目的および背景

1.1 目的および背景

1.2 マニュアル作成のための基本方針

1.3 適用範囲

第2章 調 査

2.1 調査の目的

2.2 調査の計画

2.3 調査の実施

2.4 調査結果のまとめ

2.5 地山評価および岩盤分類

第3章 設 計

3.1 設計一般

3.2 断面の形状

- 3.3 設計手段一般
- 3.4 支保の選定
- 3.5 一次支保の設計
- 3.6 永久覆工の設計

第4章 施 工

- 4.1 施工計画一般
- 4.2 掘削一般
- 4.3 一次支保の施工
- 4.4 永久覆工

第5章 品質管理

- 5.1 品質管理一般
- 5.2 吹付けコンクリート
- 5.3 ロックボルト
- 5.4 鋼製支保工
- 5.5 巻立てコンクリート
- 5.6 出来形管理

第6章 観察・計測

- 6.1 観察・計測の意義
- 6.2 観察・計測の計画と実施
- 6.3 観察・計測結果の活用

第7章 仕様書

- 7.1 仕様書一般
- 7.2 仕様書条項

第8章 積 算

- 8.1 積算一般
- 8.2 労務配置
- 8.3 サイクルタイム
- 8.4 余掘り
- 8.5 吹付け数量
- 8.6 機械設備費
- 8.7 仮設備費
- 8.8 品質管理、観察、計測費

(5) 仕様書

仕様書の作成にあたっては、工事内容その他必要な事項について統一的な解釈が得られ、契約が適正に履行されるよう留意しなければならない。

なお、現在のNATMの設計では、地山固有の性状や物性を完全に把握し、解析に取り入れることは不可能であり、そのほとんどは推測によらざるを得ない。したがって、設計時の条件と施工時の計測結果を比較検討し、施工に反映させることが前提条件となるので、この観点にたって設計変更が円滑に行なえるよう、仕様書に諸条件を明示することが必要である。

(6) 積算関係

一般に工事費は、工事の規模、地山条件、立地条件等に応じて修正を加えて算出される必要があり、積算にあたっては、工事の実情を十分反映しなければならない。

2.5.3. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、小断面NATM工法に関する技術開発後の発展状況については、「開発当時と変りなし」が最も多かったが、ITにより解析技術が進歩した点等を挙げ「改良されている」とした回答も少なくなかった。

普及状況については、NATM 工法が一般化している現状を反映し、「どちらかと言えば大きい」との評価が大勢を占めた。

建設費低減、工期短縮、及び建設・保守の安全面についての評価は「どちらかと言えば大きい」が大半を占めたが、水路点検時の作業性が悪い等の理由により保守管理に関しては「どちらとも言えない」が多かった。

採用実績については、既に23件、採用発電所の合計出力は約33万kW(既設・工事中地点)に上っており、これに伴う建設費低減額は約27億円と見込まれる(表4-2、4-3参照)など、本技術開発は大きな成果を上げている。

コストダウン以外の効果としては、在来工法に比べ施工性が向上し工期の短縮が図れる、地山の変化に伴う支保の変更が容易、地山緩みを低減でき地山に密着したライニングが施工できることから耐久性で有利、などの評価が寄せられている。

小断面NATM工法が採用された発電所及び当該設備の主要諸元は、添付資料-4-5に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 今後の課題

アンケート調査の結果によれば、小断面NATM工法に関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 地質に応じた各工種判定基準の確立が必要
 - ・ 小断面トンネルのため、作業の安全確保に努めることが必要
 - ・ 小断面であることから、機械の入替えに時間を要することやロックボルトが人力打設になるためサイクルタイムロスが多い。
 - ・ 保守面では、湧水箇所等における吹付コンクリートの剥離が懸念される。
- また、マニュアルの改訂が望まれる事項として、以下の点が挙げられている。

- ・ 施工機械、作業手順等に関する記載
- ・ 積算に関する記述の充実

b. 最近の技術動向

技術開発後の小断面NATM工法に関する動向の主なものとしては、数値解析手法の発展、コンピュータ技術の進歩などが挙げられるであろう。

数値解析手法については、本工法の開発当時、有限要素法(FEM)が代表的なものであったが、近年は個別剛体要素法(DEM)等の亀裂などによる不連続性の取扱に適した手法が導入されており、必要に応じてより実態に近い解析が可能になってきている。

また、コンピュータ技術等については、本工法の開発当時、現場計測結果に基づく支保の適性度評価のための数値解析には大型汎用コンピュータが必要であり、現場から計測データを送り、本社に置かれた大型コンピュータにより計算し、結果を送り返すなどの方法により支保の管理が行なわれていたが、近年のパーソナルコンピュータの飛躍的な進歩により、現在ではすべての作業を現場で手軽に行なえるようになっている。

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)以外には、小断面に限定したものはないが、NATM工法に関する基準等としては、以下のものが挙げられる。

- ・「トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(平成8年版)」((社)土木学会、平成9年6月)
- ・「道路トンネル技術基準(構造編)・同解説」((社)日本道路協会、2000年3月)
- ・「NATM設計施工指針」(日本鉄道建設公団、1996年2月)
- ・「NATM工法の調査・設計から施工まで」((社)土質工学会((社)地盤工学会)、1986年12月)
- ・「NATMにおける予測と実際」((社)地盤工学会、1999年11月)

2.6. 地下深部岩盤圧力管路に関する技術開発

地下深部岩盤圧力管路に関する技術開発

(平成3年度～9年度調査)

概要

本技術は、導水路及び水圧管路を一体として地下深部の良好な岩盤内に配置し、掘削にTBMを用いて基本的に無巻とし、覆工資材を節約するとともに、トンネル延長の短縮も図ることをコンセプトとしている。これらにより、建設コストが低減可能な、合理的な圧力管路を開発導入したものである。

分類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

岩盤圧力管路、深部岩盤、TBM、無巻、環境調和、設備合理化、覆工節約、水路短縮

適用範囲

中小水力発電の流れ込み式発電所における水路トンネル

水路延長 : 3～10km程度

最大使用水量 : 3～15m³/s程度

水路径 : 2～3m程度

2.6.1. 新技術の概要

(1) 目的

第5次発電水力調査によると、未開発水力地点の多くは山間僻地に位置し中小規模の開発が主体であることから、建設費が割高となっている。また、約9割の地点は、水路式又はダム水路式であるため総工事費に占めるトンネル工事費のウエイトが高く、地点の経済性に大きな影響を持つことから、トンネル工事費の削減に資する技術開発が強く求められている。

本技術開発は、導水路及び水圧管路を一体として地下深部の良好な岩盤内に配置し、掘削にTBMを用いて基本的に無巻として覆工資材を節約するとともに、トンネル延長も短縮するものであり、これらにより建設コストの低減を図ることを目的としている。

(2) 概要

岩盤圧力管路とは、導水路及び水圧管路を一体として地下深部の良好な岩盤内に配置し、岩盤の持つ耐圧性、耐久性及び水密性を有効に活用することにより、管路を極力無巻による圧力トンネルとして、取水地点から発電所を結ぶ方式である。(図2-6-1参照)

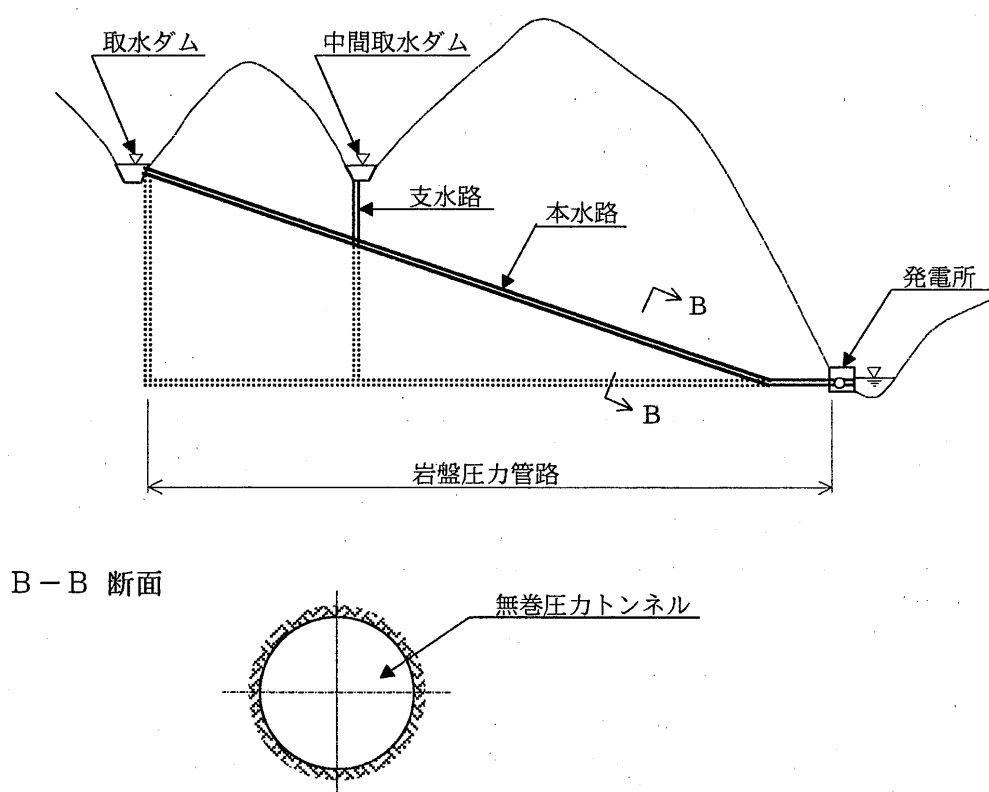


図2-6-1 岩盤圧力管路の模式図

本技術により、覆工省略によるコストダウンを始め、水路レイアウトの自由度が高まる結果、延長の短縮も可能となり、水路工事費の低減及び電力量の増加が期待できる。さらに、構造物の地下化により工事用道路等の地形・環境改変の最小化が可能となる。

また、TBM等機械化施工の導入により、水路断面の安定性の向上、工期短縮、及び施工時の安全性の向上も期待できる。(表2-6-1参照)

表 2-6-1 岩盤圧力管路の基本概念

水路レイアウトの合理化 水路巻立構造の選定	採用による効果		最終目的
○ 地下深部良好岩盤の活用 (無巻断面の採用) ○ 圧力トンネルの採用 ○ 機械化施工の積極的導入 (TBM工法の導入) ○ 構造物の地下化	⇒	経済性の向上・環境保全 ○ トンネル覆工の省略 ○ 電力量の増加 ○ 工期の短縮 ○ 施工安全性の向上 ○ 地形制約からの解放 ○ 水路延長の短縮 ○ 工事用道路等の最小化 ○ 地形・環境改変の低減	⇒ 電源立地の促進

(3) 評価・検討事項

岩盤圧力管路の採用に際しては、主に以下の項目について評価・検討を行うことが必要である。

a. 最適水路レイアウトの選定

岩盤圧力管路の場合には、取水地点から発電所までのトンネルルートを一直線で結ぶことが可能であれば、トンネル延長は最短となり、最も経済的となる。しかし、地形・地質条件や、複数の取水地点を有する場合には一直線で結ぶことが必ずしも経済的とはならない。したがって、トンネルルートは、トンネル延長、地形・地質条件、施工性などを総合的に検討し、最適なルートを選定する。

b. 負荷変動に対する対策

圧力管路部の延長が長い岩盤圧力管路では、負荷変動に伴う水路内過渡現象について十分な検討が必要となる。特にフランシス水車等を用いる場合には、負荷遮断時のサージング圧や水撃圧の軽減対策として制圧設備を設けることとなる。この場合には、レイアウトの検討に際して制圧設備の形式と設置位置を考慮する必要がある。

また、ペルトン水車のように負荷変動時の水圧変化が比較的小さい場合でも、サージング現象による水路及び取水設備への影響をチェックする必要がある。

c. トンネルからの漏水予測

岩盤圧力管路は、基本的に無巻とし水密性は地山自体で確保することとしている。しかし、地山の地下水位が低い場合や透水性が高く水密性が保たれない場合には漏水量が多くなり、所要の出力が得られなかったり、トンネルの安定性を損なったりする他、地表に流出した漏水が斜面の安定や周辺環境などに悪影響を及ぼすことが懸念される。したがって、地山の透水性について十分に把握し漏水量、トンネルの安定性及び周辺環境などへの影響について検討しておくことが重要である。

d. 無巻区間の選定

管路を無巻とするか覆工を行うかは、計画、設計及び施工の各段階で得られる地形・地質情報をもとに、地質・岩盤条件や地山被りから決定する。

計画段階では、主として地質条件と設計内水圧に対する必要地山被りから検討する。設計段階では、地質調査結果から得られる岩盤の強度・変形特性や透水特性に関する情報を基に、掘削時及び内水圧作用時の断面の安定性と水密性の検討を行う。施工段階では、原位置で実際の岩盤状況を調査し、最終的に覆工型式を決定する。

e. サンドトラップの構造形式と土砂排出方法

無巻部を有する水路トンネルにおいては、運転中に無巻部の一部が崩落した場合に、崩落土石がトンネル内を流下し水車に悪影響を及ぼすことが懸念される。このため、岩盤圧力管路を採用する場合には、トンネル内に崩落土石を堆積させるサンドトラップを設置するものとする。サンドトラップの規模、構造形式及び設置位置は、無巻区間の延長、地質状況、排出頻度、搬出方法などを総合的に検討して決定する。

f. 環境保全

岩盤圧力管路の場合には、取水ダムや発電所の一部を除き殆どの構造物が地下に設置されるため、在来方式に比べ自然保護や自然景観に及ぼす影響等は少なくなる。しかし、無巻トンネルに高内水圧を作用させるため、地質条件や地下水条件によってはトンネルからの漏水が地下水位を上昇させ、地上環境に影響を及ぼすことが懸念される。このため事前の調査により、地山の透水性、地下水位、断層や破碎帯の有無やその規模、地上における湧水箇所について確認し現状の地下水の流れをある程度把握しておくとともに、施工中及び完成後の地下水位について事前に予測し、地上環境に大きな影響を及ぼさないことを確認しておかなければならない。また、必要に応じて運転開始後も継続して地下水観測を行うなどの検討も必要となる。

(4) 検討経緯

- ・ 基本構想の検討、関連技術の現状調査、適用可能地点の選定(平成3～4年度)
- ・ 深部岩盤性状の調査、調査・解析・設計・施工手法などの検討(平成4～9年度)
- ・ ケース・スタディ地点の選定、スタディの実施(平成5～8年度)
- ・ 実証地点の選定、基本設計、試験要領案の作成(平成9年度)
- ・ 設計・施工マニュアル案の作成(平成5～9年度)

2.6.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

ケース・スタディは、戸蔭別第一、中ノ岐、祖父谷、粟生川の4地点について実施したが、このうち地質調査及び詳細技術検討を実施した戸蔭別第一地点のケース・スタディ結果を以下に示す。

(1) ケース・スタディ対象地点の概要

ケース・スタディを実施した戸蔭別第一地点は、北海道帯広市八千代町の、十勝川水系札内川支流戸蔭別川の上流部に位置している。戸蔭別川の上流部は日高襟裳国定公園となっているが、戸蔭別第一発電計画は、取水地点が公園区域外となる戸蔭別川と右岸小支流エサオマントツタベツ川が合流する直下流付近に取水ダムを設け、右岸側を無圧導水路トンネルにより引水し、途中、小支流ピリカペタヌ沢川及びオピリネツ川から溪流取水し、戸蔭別川本流の戸蔭別第1号(砂防)堰堤の下流400m地点に設置する発電所に導水するものである。そして、その間に得られる有効落差233.70m、最大使用水量10.00m³/sを利用して、最大出力19,200kW、年間可能発電電力量66,000MWhの発電を行い、同河川に放流する流れ込み式の発電計画である。計画諸元は、**表2-6-2**に示すとおりである。

表 2-6-2 実証地点の基本諸元(在来方式)

流域面積 (km ²)		79.0
取水地点数		3
発電計画	取水位 (WL.m)	622.0
	放水位 (WL.m)	372.3
	総落差 (m)	249.7
	損失落差 (m)	16.0
	有効落差 (m)	233.7
	最大使用水量 (m ³ /sec)	10.0
	最大出力 (kW)	19,200
	年間可能発電電力量 (MWh)	66,000

(2) 経済性の比較

地下深部岩盤圧力管路の経済性は、概算工事費と年間可能発電電力量から求めたkWh当たりの工事費を、在来方式水路案(277円/ kWh)と比較することにより検討した。また、岩盤圧力管路案の基本ケース(無巻率83%)とともに、無巻率を変化させた場合についても比較検討した。結果は以下のとおりである。

a. 岩盤圧力管路案の基本ケース

岩盤圧力管路案の基本ケース(無巻率83%)は、kWh当たりの工事費で在来方式水路案に比べ12%程度経済的な結果となった。これは、年間可能発電電力量が損失水頭の低下に伴い約1%増加したことと、工事費が水槽、水圧鉄管路などの明かり設備や工事用道路などの仮設備の省略により約11%減少したことによる。

b. 岩盤圧力管路案の無巻率が変化した場合

施工段階において地質的不良箇所や透水性の高い箇所が判明した場合には、巻立区間が増加し無巻率は減少することも予想されるため、無巻率を変化させた場合の経済性についても検討した。

図2-6-2は、在来案に対する岩盤圧力管路案の、無巻率とkWh単価比率及び損失水頭との関係を示したものであり、無巻率の減少(巻立率の増加)によって、摩擦損失水頭の増加による年間可能発電電力量の減少、覆工区間の増大による水路工事費の増加、工期延長による建設中利子の増加などが生じる結果、kWh当たり単価が上昇し、経済性は低下する傾向が見られる。なお、kWh当たり単価が在来方式水路案と同等となるのは、無巻率が30%前後である。

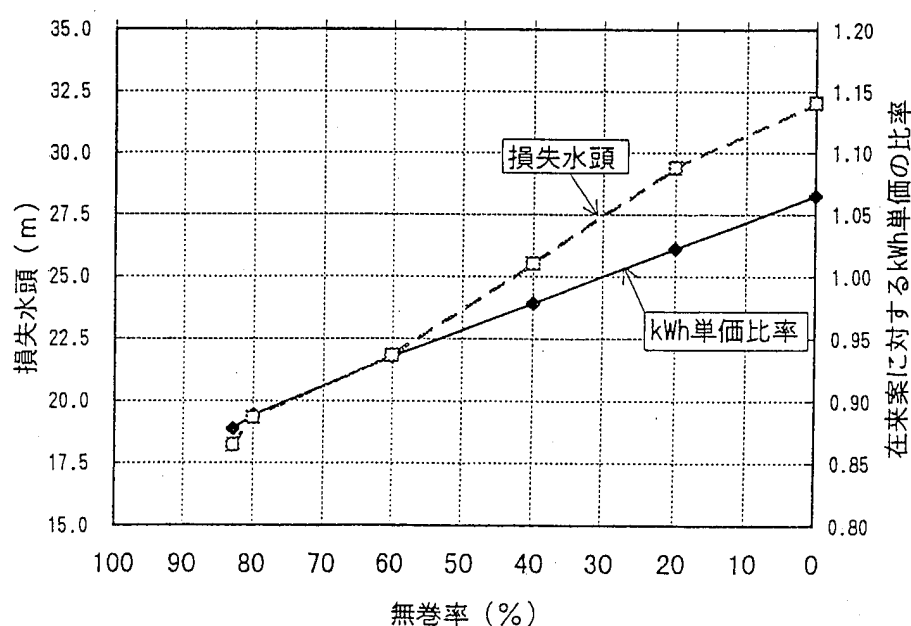


図2-6-2 無巻率とkWh単価比率及び損失水頭との関係

(3) ケース・スタディ結果のまとめ

ケース・スタディの結果、戸蔭別第一地点では地下深部岩盤圧力管路の採用によって以下の効果があり、その結果建設単価が12%下がるという経済性の向上が期待できることが明らかとなった。また、環境保全全面でも、水槽、水圧鉄管路などの省略により景観の向上が図られ、立地上も有利となるものと考えられる。

- ・ 管路を地下深部の良好な岩盤内に配置することにより無巻率が上昇し、覆工区間が減少する。
- ・ 明かりの水槽、水圧鉄管路が不要になり、発電所上流部の水路平面レイアウトが合理化される。

- ・ 水槽、水圧鉄管路工事のための工事用道路等仮設備が不要となる。
- ・ 坑口部を除きトンネルのほぼ全区間でTBMの導入が可能となる。
- ・ 有効落差の減少により最大出力は僅かに減少するものの、使用水量が少ない期間の損失水頭が減り、年間可能発電電力量が増加する。
- ・ 圧力トンネルとすることによって、TBM掘削径が在来案のφ 3.00mに対し、φ 2.60mに縮小可能となる。

2.6.3. マニュアル(案)の概要

(1) 名 称

「地下深部岩盤圧力管路 設計・施工マニュアル(案)[概成版]」※

(平成10年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

※ 報告書名「地下深部岩盤圧力管路に関する技術開発 調査・解析・設計・施工の技術的検討
及び設計・施工マニュアル(案)概成(平成9年度)」に収録されている。

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、岩盤圧力管路の計画、調査、設計、施工及び維持管理に関する手法を示し、中小水力発電の開発促進に資することを目的とする。

(3) 適用範囲

本マニュアル(案)の適用範囲は、岩盤圧力管路を採用する中小水力発電の流れ込み式発電所における水路トンネルと、岩盤圧力管路を採用することにより必要となる全ての土木構造物を対象とする。

水力発電設備の規模による適用範囲は以下を目安とするが、これは第5次発電水力調査結果及びTBM工法などによる機械化施工の効率を考慮したものである。

- ・ 水 路 延 長 :3～10km程度
- ・ 最大使用水量:3～15m³/s程度
- ・ 水 路 径:2～3m程度

なお、ここで言う土木構造物とは、水路トンネルの他に以下に示す構造物を指す。

- ・ 取水設備から水路トンネルへ接続するための構造物(空気混入対策等の設備を含む)
- ・ サンドトラップ
- ・ 制圧設備(制圧バルブ、エアークッションサージチャンバーなど)
- ・ その他岩盤圧力管路として必要な構造物

(4) 構 成

本マニュアル(案)の目次構成は、以下のとおりである。

地下深部岩盤圧力管路 設計・施工マニュアル(案)概成版 目次

第1章 総 則

1.1 目 的

1.2 定 義

1.3 適用範囲

1.4 用語の定義

第2章 基本概念と検討課題

2.1 基本概念

2.2 評価・検討課題

第3章 計画

3.1 計画手順

3.2 計画地点の選定

3.3 概略検討

3.4 岩盤圧力管路採用の可否

第4章 調査

4.1 目的

4.2 調査範囲

4.3 調査計画

4.4 調査項目及び方法

4.5 調査結果のまとめ

4.6 地山評価

第5章 設計

5.1 設計一般

5.2 水路ルート決定

5.3 管路設計

5.4 管路以外の主要構造物設計

第6章 施工

6.1 TBM工法による掘削

6.2 無巻区間の決定と施工管理基準

6.3 運転開始前の対策

第7章 維持・管理

7.1 一般

<参考資料>

参考－1：TBM掘削による緩み量、変形量の実績

参考－2：解析による掘削時の塑性領域、変形量の推定方法

参考－3：水圧破碎に対する無巻圧力トンネルの設計・検討事例

参考－4：周辺岩盤への漏水量の推定手法

参考－5：海外における無巻圧力トンネルの実績

参考－6：海外におけるサンドトラップの設置事例

参考－7：制圧バルブの型式とガイドベーンの接続方式

参考－8：エアークッションサージチャンバーの基本原理及び設置実績

2.6.4. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、岩盤圧力管路に関する技術開発後の発展状況については、国内では適用事例がないことを反映して「開発当時と変りなし」が最も多く、分からないとしたコメントも多かった。

普及状況についても、同様の事情により低い評価であり、我国では岩盤圧力管路に適した良好な岩盤は極めて少ない等のコメントもあった。

建設費低減については「どちらかと言えば大きい」が大半を占めたが、その他の項目は「どちらとも言えない」が多かった。

採用実績については、前述のとおり現在のところ国内では無いが、海外では無巻トンネルは特にヨーロッパにおいて発達し、多くの国で実績があり、現在も建設や計画が進められている。

(2) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)のほかに参照すべき基準等としては、以下のものが挙げられる。

- ・「TBM工法の設計・施工マニュアル(案)」(経済産業省資源エネルギー庁、(財)新エネルギー財団、平成14年3月)
- ・「トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(平成8年版)」((社)土木学会、平成9年6月)

2.7. 余水路省略等土木設備の合理化

余水路省略等土木設備の合理化

(昭和 59 年度～平成 2 年度調査)

概 要

従来、ヘッドタンクから余水路を通じて放流されることが一般的であった負荷遮断等に伴う余水を、余水路を省略し、取水地点から直接河川に放流する合理的かつ経済性の高い方式を確立するとともに、ヘッドタンクについても安全性を確保したうえ小規模化するためのより合理的な設計法を確立したものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

余水路省略、ヘッドタンク小規模化、バルブ放流、デフレクタ放流、取水設備自動化、設備合理化、保守管理省力化

適用範囲

ペルトン水車の場合は、全地点で適用可能性がある。
フランシス水車の場合は、土木設備のみで対応可能な場合には全地点において、放流バルブの設置が必要な場合には、落差 100m 以上で最大使用水量 10m³/s 未満又は落差 100m 未満で最大使用水量 3m³/s 未満の地点で適用可能性がある。

2.7.1. 新技術の概要

(1) 目的

負荷遮断等に伴う余水を、取水口沈砂池から河川に放流する方式の採用により、余水路を省略するための合理的かつ経済性の高い設計技術を確立するとともに、ヘッドタンクについても、安全性を確保したうえ経済性を高めるための、より合理的な小規模化設計法を確立したものである。

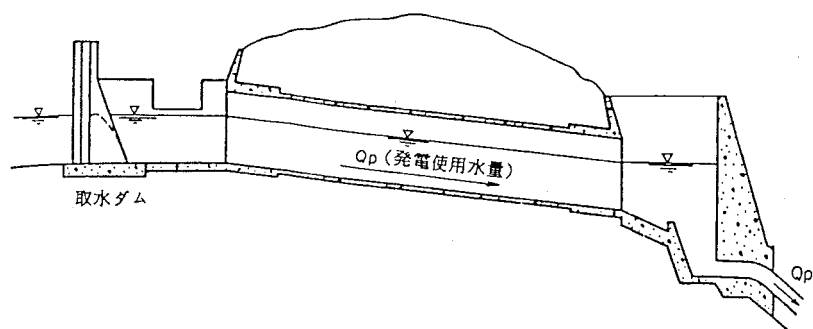
(2) 新技術のコンセプト

a. 余水路省略

従来、負荷遮断等による余水は、ヘッドタンクから余水路を通じて放流されることが一般的であったが、余水を沈砂池余水吐から河川に放流する方式として余水路を省略し、建設費の低減を図ろうとするものである。ただしこの場合、①沈砂池からの余水の放流による河川水位の急上昇、②内水圧によるトンネルの被圧、③ヘッドタンク水位の上昇などの問題が生ずる恐れがあるため、a.取水口制水ゲートの自動閉鎖による余水の段階放流、b.トンネルライニングの補強、c.ヘッドタンクの嵩上げなどの対策を行う必要がある場合がある。(図2-7-1 参照)

また、これらの土木設備の対策のみでは、河川水位の上昇を規制値(30分間に30～50cm)以下にすることができない場合は、放流バルブ(フランシス水車地点の場合)又はデフレクタ(ペルトン水車地点の場合)による放流を併用する。

発電時の水面



発電停止時の水面

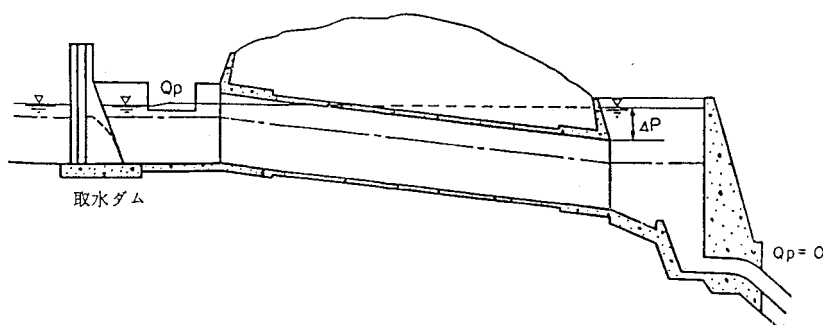


図 2-7-1 余水路省略の概念

余水路省略等による工事費の低減額は、一般にヘッドタンクと水圧管路工事費の15～20%程度であり、個々の発電所の諸元の違いによって多少の差はあるが、概ね全建設工事費の2%程度の低減効果が期待できる。またこのほか、余水路省略では取水設備の完全自動化を行う場合もあり、これによる保守人件費の低減、洪水後の自動取水再開による発電電力量の増加なども考えられ、発電原価上もメリットがある。

b. ヘッドタンクの小規模化

ヘッドタンクの設計に際しては、発電所の運転の安定性、発電所事故や機器の故障時の安全性、渦の発生防止などについて考慮する必要があるが、これらの事項に対する検討手法や対策を見直し、必要に応じ実証試験による確認も行なって、より合理的な手法等を確立したものであり、その結果従来に比べて小規模かつ経済的なヘッドタンクの設計が可能となった。

また、余水路省略に伴いヘッドタンクの嵩上げが必要な場合にも、本設計手法により容量増加を最小限のものとすることができる。

まず、水面積については、ヘッドタンクの水位変化に伴う導水路トンネルからの流水の補給と、ガイドベーンなどの機器系の最適動作速度等を考慮した水理プログラムを用いてシミュレーションを行い、ヘッドタンク水位がハンティング現象を起こさないだけの概略水面積として、**図 2-16-7**に示す範囲を求めた。

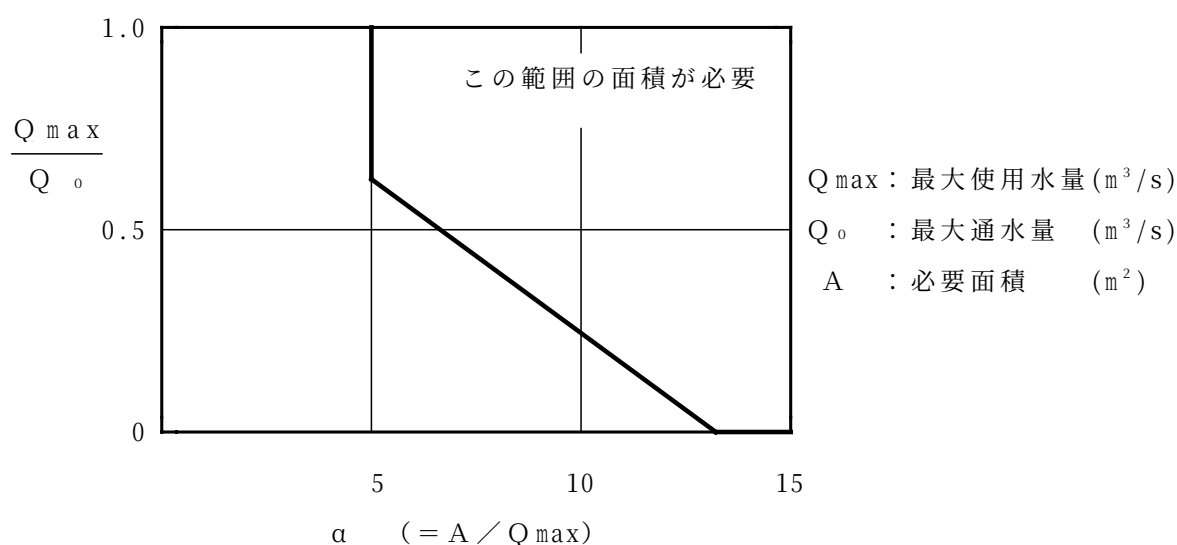


図 2-7-2 ヘッドタンクの必要水面積図

また、水位調整機能の故障により、ヘッドタンク内に異常な水位低下が生じる運転が行われたことを想定した時に、発電所の機器がこれらの異常現象に応答して停止操作を開始し、操作が完了するまでに必要なヘッドタンクの容量(基準水位より、最低水位までのヘッドタンクの内容容量。**図 2-7-3 参照**)については、最も危険な状況を想定して最低水位を求める不定流計算のケース・スタディを行った結果、**表 2-7-1**の値を用いてよいことが分かった。

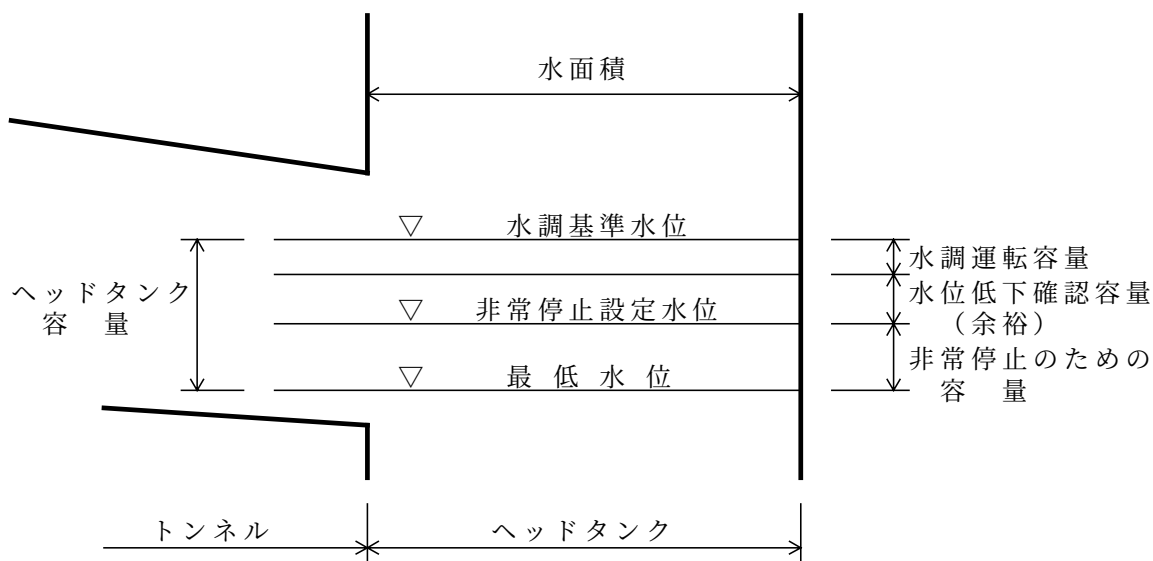


図 2-7-3 ヘッドタンク容量の概念図

表 2-7-1 ヘッドタンクの必要容量

水 調 方 式	ヘッドタンク容量
垂 下 率 水 調 ^{*1}	1 1 $Q_{\max}$
定 水 位 水 調 ^{*2}	7 $Q_{\max}$

^{*1} 垂下率水調

水調バンドをもたせる運転で、最大運転時はNWLであるが、軽負荷時はそれより30cm程度低い水位で運転する。したがって定水位水調よりヘッドタンク必要容量が若干大きくなる。

^{*2} 定水位水調

高精度の制御機器を用い、常に水位を一定に保とうとする運転であり、以下のような発電所で採用する水調方式である。

- ① ヘッドタンクから用水等の分水があり、水位を一定に保つ必要がある。
- ② 落差が小さくかつ軽負荷の運転日数が多い発電所で、約 30cm の有効落差減が経済性に影響を及ぼす発電所。

(3) 余水路省略に伴う主な現象とその対策

a. 余水路省略に伴う主な現象

余水路省略により生じ得る主な現象や問題点は、以下のとおりである。

(a) ヘッドタンク水位の上昇

発電機の負荷遮断により水車が停止すると、余水路がないためヘッドタンク水面が上昇し、最終的には沈砂池余水吐きの越流水位と等しくなる。

(b) 沈砂池余水吐きからの放流による河川減水区間における水位の上昇

上記によりヘッドタンク水面が上昇すると、余水が押込み段波となって導水路トンネルの上流に遡上する。段波が沈砂池余水吐きに到達すると、ここから越流して河川に流下し、その越流量は徐々に増加して最終的には発電取水量の全量となる。

この河川への越流により下流の減水区間の水位が上昇するが、その速度は越流量の増加速度及び河川の縦横断形状などの条件によって異なる。

(c) トンネル内の水圧によるライニングの被圧

ヘッドタンク水面が上昇し、最終的に沈砂池余水吐きの越流水位と等しくなった状態では、多くの場合導水路トンネルは水没し、ライニングが被圧する。

b. 対 策

余水路省略により生じる上記の現象等への対策については、種々検討のうえ、以下のものを立案した。個々の場合の対策は、地点の諸条件やこれらの現象により生じる影響の程度によって異なるが、すべての場合に必要な対策としては、ヘッドタンクの嵩上げ、トンネル下流端の補強などが挙げられる。

それ以外の対策としては、土木設備のみで対応できる場合と機械設備の併用が必要な場合とがあり、影響の程度別に対策を分類すると以下のとおりである。

- ・ 河川水位の上昇が規制値以下かつトンネルライニングの安全性が確保できる場合
⇒ その他の対策は、特に必要なし。
- ・ 河川水位の上昇は規制値以下だが、ライニングの安全性が確保できない場合
⇒ ライニングの補強
- ・ 河川水位の上昇が規制値を超えるが、取水口ゲート操作時間が段波到達時間より短い場合
⇒ 取水口ゲート段階閉操作 + ライニングの補強(安全性が確保できない場合のみ)
- ・ 河川水位の上昇が規制値を超え、かつ取水口ゲート操作時間が段波到達時間より長い場合
⇒ 取水口ゲート段階閉操作 + バルブ放流(フランシス水車使用の場合)
又は + デフレクタ放流(ペルトン水車使用の場合)
- ・ トンネルライニング補強費が機械設備(バルブ/デフレクタ)対策費より高い場合
⇒ 取水口ゲート段階閉操作 + バルブ放流(フランシス水車使用の場合)
又は + デフレクタ放流(ペルトン水車使用の場合)

(4) 適用可能性の見極め

余水路の省略によって全ての地点で建設費が低減するとは限らないので、あらかじめ簡単な方法で余水路省略の可能性を見極めることが効率的である。この場合、ペルトン水車採用地点であれば放流バルブを付加する必要がないため、全地点で余水路を省略できる可能性が大きい。

一方、フランシス水車採用地点にあっては、落差及び流量の条件によって余水路省略による経済性が異なるが、**図2-7-4**が検討要否の判断の参考になる。

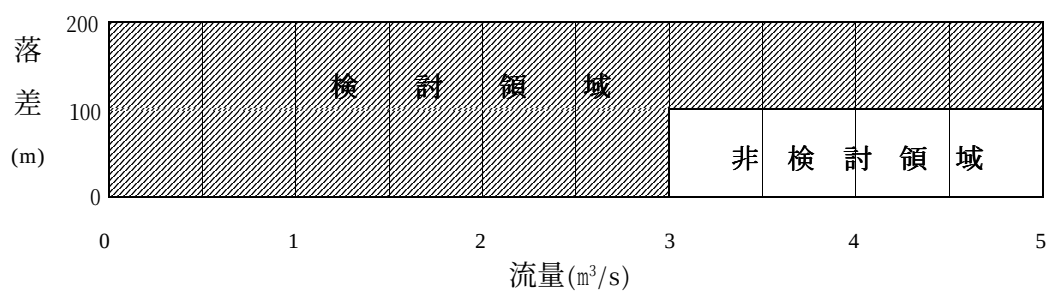


図 2-7-4 フランス水車採用地点における余水路省略の検討要／否領域

(5) 検討経緯

- a. 基本構想及び関連一般事項の技術的検討(昭和 59 年度)
余水路省略、ヘッドタンクの小規模化などについて検討した。
- b. ケース・スタディ(昭和 59 年度)
問題点の抽出、その対策、経済性評価を実施した。
- c. 実証プラントの基本設計及び実証試験実施要領(案)の作成(昭和 60 年度)
新内川第二、大鹿発電所の基本設計を実施した。
- d. 余水路省略設計マニュアル(案)の作成(昭和 60～平成 2 年度)
ヘッドタンクの小規模化の設計を含むマニュアルを作成した。
- e. 実証試験(昭和 63～平成 2 年度)
新内川第二発電所(昭和 63 年度)、大鹿発電所(平成 2 年度)で実施された。
- f. 実証試験データの分析及び評価(昭和 63～平成 2 年度)

2.7.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

実証試験が実施された大鹿発電所及び新内川第二発電所を対象として、実証プラントの実績事業費と在来設計の推定工事費を比較した。(両発電所の概要及び基本諸元については、2.7.3 を参照)

(1) 大鹿発電所のケース・スタディ結果

設計、工事費などについて、以下の考え方で在来設計の事業費を算出し、余水路省略・ヘッドタンク小規模化の実績事業費と比較した結果は表2-7-2のとおりであり、事業費で約289百万円(在来設計事業費の2%)低減される結果となった。

a. 余水路等の設計の基本的考え方

実証プラント : 余水路無し、ヘッドタンクは小規模化

在来設計 : 余水路有り、ヘッドタンクは通常規模

b. 在来設計の工事費増減額の考え方

在来設計の工事費は、実証プラント実績事業費を基準として、以下のような考え方で増減額を推定し、総額を算出した。

(a) 土地補償関係

・ 土 地

ヘッドタンク及び水圧鉄管路の面積が増加

水 槽(増分)	2,000m ² (余水路あり)	－	1,385m ² (余水路省略)	620 m ²
水圧鉄管路(増分)	664m	×	2.0m	1,330 m ²
計				1,950 m ²

・ 一般補償費

ヘッドタンク及び水圧鉄管路の買収面積の変更に伴い、立木補償費が増加

(b) 建物関係

発電所建屋、付属建屋とも変更無し

(c) 土木関係

① 取水堰

取水ゲート、操作設備の自動制御装置は、余水路省略に伴うシステムの複雑化等による増分を除外

② 沈砂池

当地点は、流出土砂が著しい河川であるため、導水路への土砂流入防止対策として実証プラントでは第 2 沈砂池等を設けたが、これらは大鹿発電所に不可欠の施設であるので、在来設計にも計上した。従って、事業費は同額である。

③ 導水路

導水路の漏水対策、内圧補強対策としてのカーテングラウト、鉄筋工、裏込めグラウト工の

一部、及びトンネル内余水吐の施設費を除外した。

④ ヘッドタンク

ヘッドタンクは、通常規模($V=26.8Q$)として積算した。

⑤ 水圧鉄管路

余水管($\phi 1.40 \sim 1.15\text{m}$)ありとして積算した。

⑥ 放水路

余水管から放水路への減勢工部を追加

⑦ 雑工事

掘削土量の増、水圧鉄管路工の増に伴い、土捨場取付工が増加する。

⑧ 機械装置

変更なし

⑨ 仮設備

変更なし

(d) 電気関係

① 水車発電機

余水路省略に伴う、水車本体強化分、直流電源装置増強分を除外

② 諸設備

余水路省略に伴う施設である取水口予備電源装置を除外

(e) 建設所運営関係

① 雑 係

土地補償関係、工事費増の比率で増額計上した。

② 備 品

変更なし

③ 委託料

余水路省略等実証試験委託料を除外

(f) 建設中利子

各項目の増減額を実績資金繰表に割振り、建設中利子を算出した。

表2-7-2 余水路省略・ヘッドタンク小規模化の経済性評価総括表(大鹿発電所)

(単位:百万円)

項 目	事 業 費			摘 要
	余水路あり(A)	余水路省略(B)	増減(B)-(A)	
(1) 土地補償関係	475.3	474.1	▲ 1.2	
a. 土地	7.6	7.1	▲ 0.5	
b. 一般補償費	467.7	467.0	▲ 0.7	
(2) 建物関係	157.1	157.1	0	
c. 発電所建屋	91.2	91.2	0	
d. 付属建屋	65.9	65.9	0	
(3) 土木関係	9,388.7	8,986.2	▲ 402.5	
① 水路	8,399.4	7,996.9	▲ 402.5	
e. 取水堰	1,231.1	1,232.2	1.1	
f. 沈砂池	810.1	810.1	0	
g. 導水路	4,031.6	4,121.2	89.5	
h. 水槽	399.0	311.1	▲ 87.9	
i. 水圧鉄管路	1,581.6	1,227.9	▲ 353.7	
j. 放水路	88.1	63.4	▲ 24.7	
k. 雑工事	257.9	231.0	▲ 26.9	
② 機械装置	369.0	369.0	0	
l. 基礎	320.7	320.7	0	
m. 諸装置	48.3	48.3	0	
③ 仮設備	620.3	620.3	0	
(4) 電気関係	1,520.1	1,648.6	128.5	
n. 水車発電機	1,278.7	1,382.0	103.3	
o. 諸設備	241.4	266.6	25.2	
(5) 建設所運営関係	922.4	918.4	▲ 4.0	
p. 雑係	673.8	654.2	▲ 19.6	
q. 備品	7.9	7.9	0	
r. 委託料	240.7	256.3	15.6	
小 計	12,463.6	12,184.4	▲ 279.2	
(6) 建設中利子	540.6	530.2	▲ 10.4	
計	13,004.2	12,714.6	▲ 289.6	

(平成2年度作成)

(2) 新内川第二発電所のケース・スタディ結果

設計、工事費などについて、以下の考え方で在来設計の各ケースの事業費を算出し、余水路省略・ヘッドタンク小規模化の実績事業費と比較した結果は表 2-7-3 のとおりであり、実証プラントの実績工事費と比較すると、同表に示すとおり、在来設計ケース 1 では約 36 百万円(ケース 1 事業費の 1%)、ケース 2 では約 81 百万円(ケース 2 事業費の 2%)、在来設計の方が高い結果となった。

a. 余水路等の設計の基本的考え方

実証プラント : 余水路省略、ヘッドタンクは小規模化

在来設計ケース1 : 余水路省略、ヘッドタンクは在来規模

在来設計ケース2 : 余水路有り、ヘッドタンクは在来規模

b. 在来設計の工事費算出の考え方

在来設計では、対象設備の考え方を、以下に示すように想定した。

(a) 取水設備

ゲート操作用電源である内燃力発電装置は、取水地点に配電線が無い本地点の特性上、余水路の有無に関係なく必要な設備である。ただし、内燃力発電装置の起動用蓄電池及び制御用蓄電池を常時充電するための取水設備～ヘッドタンク間のトンネル内敷設電源ケーブルは、取水設備の電源二重化の意味合いがあるため、余水路が有る場合には不要とする。

また、ゲート自動制御装置(取水口制水ゲート、ダム排砂ゲート)及び取水設備～ヘッドタンク間に設けたトンネル内敷設の通信ケーブルについては、近年の発電所は無人化されており、集中管理としているため、余水路が有る場合であっても、必要な設備とする。

(b) ヘッドタンク

在来のヘッドタンクの容量は、最大使用水量の 1～2 分間分程度、すなわち、60Q～120Q とされているため(中小水力発電の新技术の手引き(新エネルギー財団)参照)、在来設計の容量は、60Q とする。

また、在来設計におけるヘッドタンクの形式は、本地点の地形地質条件より、水圧管路の上部で大規模なオープン掘削を行うことが不利なため、実証プラントと同様に立坑方式とし、容量が大きくなる分は導水路側へトンネル方式で延長するものとする。

ヘッドタンクの水面積は、10Q～30Q 程度が在来では一般的とされているが、必要な余水吐き(越流頂)の長さや容量さえ満足すればよいことから、実証プラントのヘッドタンクの高さを変えないものとし、水面積は約 33Q とする。

(c) 水圧管路

余水路を設ける場合には、水圧管と平行して設置するものとする。本発電所は水圧管として FRP 管を使用しており、余水管も FRP 管とする。

(d) 発電所

余水路省略の場合には、実証プラントと同様の放流バルブ及び水調機能、直流電源装置を持つものとし、余水路が有る場合には、それらの代替として、バッフル型の減勢工を設けるものと

する。ただし、直流電源装置については、発電所の主要機器にとっても必要なため、その容量を見直すものとする。

(e) 土地補償費

在来設計ケース 2 の場合鉄管路の幅が増えるため、増分面積について土地補償費を計上した。

土地買収費 $2\text{m} \times 110\text{m} \times 650 \text{ 円/ m}^2 = 143 \text{ 千円}$
 補償費(立木補償) 買収に比例して算出 $= 230 \text{ 千円}$

(f) 仮設備費

仮設備として特に必要となるものはなく、余水路を有する場合の管据付用のケーブルクレーンにおける運転損料の増加等については、余水管の請負工事費の中で評価している。このため、仮設備費は全てのケースにおいて、同等とする。

(g) 総係費

建設所の運営に係る費用のみ、工事費等に比例して、その増減額を計上する。

(h) 建設中利息

本発電所においては、導水路工事が発電所全体工事にとってクリティカルであり、水圧管路工事は工期的に余裕があった。このため、工事費の増減に対する建設中利息の増減額のみを計上するものとし、建設中利息以外の金額に比例するものとして算定する。

表2-7-3 余水路省略・ヘッドタンク小規模化の経済性評価総括表(新内川第二発電所)

(単位：百万円)

項 目	実証プラント	在来設計ケース 1		在来設計ケース 2	
	① 事業費	② 事業費	増減(②-①)	③ 事業費	増減(③-①)
土 地	40.3	40.3	—	40.4	0.1
建 物	86.6	86.6	—	86.6	—
水 路	2,054.1	2,088.4	34.3	2,175.9	121.8
機 械 装 置	546.4	546.4	—	513.4	▲ 33.0
諸 装 置	118.9	118.9	—	107.0	▲ 11.9
備 品	3.8	3.8	—	3.8	—
仮 設 備 費	152.7	152.7	—	152.7	—
工事用動力費	74.3	74.3	—	74.3	—
補 償 費	135.2	135.2	—	135.4	0.2
総 係 費	413.3	414.6	1.3	416.2	2.9
建 設 中 利 息	30.9	31.2	0.3	31.6	0.7
計	3,656.5	3,692.4	35.9	3,737.3	80.8
可能発電電力量(MWh)	12,103	12,103	—	12,103	—
建設単価(円/kWh)	302.1	305.1	3.0	308.8	6.7

(平成元年度作成)

2.7.3. 実証試験

(1) 実証試験の目的

大鹿発電所及び新内川第二発電所は、余水路省略及びヘッドタンク小規模化の技術を適用したモデルプラントとして建設された。このため、それぞれの発電所の運転開始に当たり、技術の安全性、信頼性などを確認・実証するため、両発電所において各種試験が行なわれたものである。

発電所別の基本諸元、実証試験結果は、以下のとおりである。

(2) 大鹿発電所の実証試験結果

a. 実証地点の概要

大鹿地点は、長野県南部の南アルプスを形成する赤石山地の西側山麓に位置し、下伊那郡松川町から南東に約15kmの距離にある。発電所は、小渋川と上沢との合流点より約0.4km上流地点(国土交通省七釜砂防第2副ダム直下)及び右支川小河内沢、寺沢合流点直下流の御所平地点の2ヶ所から最大使用水量4.5m³/sを取水し、小渋川の右岸区域の6,917.1mの導水路により上蔵地点まで導水し、有効落差266.4mを得て、最大10,000kWの発電を行ったのち、87.2mの放水路によって、小渋川に放流する水路式発電所である。大鹿地点の基本諸元は、**表2-7-4**のとおりである。

表 2-7-4 実証地点の基本諸元

名 称	大鹿発電所
水 系 名	天竜川水系
河 川 名	小渋川
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	10,000kW
最大使用水量	4.50m ³ /s
有 効 落 差	266.4m
水 車 型 式	立軸単輪四射ペルトン水車
発 電 機 型 式	立軸回転界磁型同期発電機
運 開 年 月	平成2年4月

b. 試験実施期間

平成2年4月

c. 実証プラントの設計基本方針

大鹿発電所は、以下の事項を基本方針として、余水路を省略し、ヘッドタンクを小規模化する設計としている。また、余水路省略にあたっては、土木設備とデフレクタ放流を併用する方法を用いている。

(a) 土木設備

取水設備は、河川水位上昇速度30cm/30分を満足する河川放流制御を行うものとする。

- ・ 河川流量変化の対応は、すべて取水設備で制御する。
- ・ 外部故障により水車発電機の停止が5分以上となる場合、並びに内部故障の場合は、取水停止するものとする。
- ・ トンネルの補強は基本的には行わないものとする。但し、トンネル被圧区間の破砕帯等、地山が脆弱な区間については、補強を行う他、漏水対策を行う。
- ・ ヘッドタンク天端標高は、洪水時(100年確率)に取水ロゲート不動作の場合の取水口沈砂池余水吐の越流水位＋余裕高(0.50m)とする。

(b) 機械設備

- ・ 余水路省略に当たり、土木設備(トンネル空容量の有効利用、導水路調節門緩閉鎖)だけで対応できない場合、デフレクタによる全量放流(最大使用水量=4.50 m³/s)を併用する。
- ・ 5分以内に外部故障が回復した場合、自動再並列を行なえるものとする。
- ・ 長時間のデフレクタ放流に対しては、デフレクタ強度及びハウジングの補強により対処する。
- ・ 負荷遮断後、デフレクタは確実に作動するものとする。

d. 実証試験等の結果

実証試験は、「大鹿発電所・余水路省略等実証試験実施要領(平成元年度)」に基づき、約1週間に亘って実施された。試験期間中の使用水量は、2.6 ～ 4.4 m³/s(最大使用水量Q_{MAX}=4.5 m³/s)であった。

実証試験は、10項目について実施され、その結果は項目ごとに以下のとおりである。

(a) 取水設備自動動作試験

発電所からの指令により、沈砂池調節門、取水口制水門および排水門が、予め定めた動作パターンどおり自動動作することを検証するために実施された。

発電所からの取水開始指令及び取水停止指令によって、取水設備の各ゲートを動作させた結果、開閉速度に許容誤差程度の違いはあったが、ほぼ予め定めた動作パターンどおりに自動動作させることができた。

また、商用電源の遮断によって内燃力発電装置が起動／電圧確立し、商用電源の復帰によって停止することが確認された。

余水路の省略による取水設備側の制御は確実に行われる必要があるが、これに対しては、各ゲートの自動制御装置・非常用電源および発電所との間の通信設備によって対応できることが確認された。

(b) 河川水位上昇試験

取水停止に伴う取水設備の自動動作によって、減水区間の水位上昇値が河川の規制指導値30cm/30分以内であることを検証するため、取水設備の自動動作試験の取水停止と同時に実施された。

試験は、川幅が狭く水位上昇が著しい断面において行われ、取水停止に伴う河川水位変動

が測定された。測定は、測定断面に量水標(スタッフ)を設置して目視により行われた。

試験当日の流量は最大使用水量を下回っていたが、水位変動の測定結果を最大使用水量時に換算すると、河川水位上昇速度の規制値 30cm/30 分を超えることが判明した。

(c) 水車自動起動・停止試験

水車が取水開始に伴うヘッドタンクへの流入により自動起動し、取水停止に伴う減水により自動停止することを検証するため、取水設備の自動動作試験の取水開始と同時に実施された。

自動起動については、水車・発電機の準備完了後、発電所において取水開始指令を出し、御所平取水開始指令から約 56 分後にヘッドタンク水位が上昇を始め(トンネルへの流入開始から約 27 分後)、水調水位(EL.1,031.846m)で水調運転にはいり、その後 5 分 45 秒後に運転条件が成立し、「水車起動→並列→発電運転」となった。試験時の使用水量は $0.80\text{m}^3/\text{s}$ (最大使用水量の 18%)であった。

次に、小渋川取水指令から約 108 分後よりヘッドタンク水位がさらに上昇を始め(トンネルへの流入開始から約 51 分後)、発電運転をしながら「1 射運転→2 射運転→4 射運転」となった。この時の使用水量は $2.95\text{m}^3/\text{s}$ (最大使用水量の 66%)であった。

自動停止は、水車・発電機が安定した状態で運転中に、取水停止(普通停止リレー)を動作させ、徐々にトンネル流入量及びヘッドタンク流入量が低下し、停止水位(EL.1,031.146m)で水車・発電機が自動停止するまでが測定された。取水停止指令から約 11 分後に、ヘッドタンク流入量が徐々に低下し始め、水調運転をしながら「4 射→2 射→1 射」とニードルを閉動作し、取水停止指令から約 109 分後にニードルが最小開度 10%となり、ヘッドタンク水位が低下し始めた。そして、取水停止指令より約 185.5 分後に停止水位(EL.1,031.146m)となり、ニードルが全閉した。自動停止前の使用水量は、 $2.90\text{m}^3/\text{s}$ であった。

余水路を省略した場合には、ヘッドタンクへの流入により確実に水車が起動できることが重要であり、また、取水停止に際しては、ヘッドタンク水位の維持が必要であるが、これらについては水車の運転制御方法により対応が可能である。

(d) 発電所故障時のデフレクタ動作試験

発電所故障時に水車を非常停止すると、水車のニードル及びデフレクタが並行制御方式で確実に制御され、デフレクタのみで余水が放流されることを検証するために実施された。

水車のニードル及びデフレクタの並行制御については、各故障時に無水試験によって確認された。

非常停止については、試験当日、使用水量が約 $2.9\text{m}^3/\text{s}$ (最大使用水量の 64%)であったため、試験は 4 射で行われた。非常停止リレーの動作後、デフレクタは直ちに全閉し、水車回転数は 451rpm まで上昇後徐々に下降し、同リレー動作より約 7 分後に水車は停止した。一方、ニードルは水調運転を継続しているため、ヘッドタンク水位は水調の不感帯程度の誤差はあったが水調設定水位(EL.1,031.846m)で安定していた。

デフレクタの自己閉鎖試験については、使用水量を約 $0.55\text{m}^3/\text{s}$ (最大使用水量の 12%)とし、

1 射運転で行われた。安定運転状態で外部故障停止リレーを動作させ、無負荷無励磁運転(デフレクタ開度=46%、水車回転数=425rpm)にした状態で危急閉鎖用電磁弁を手動操作させ、デフレクタがスプリングで全閉することが確認された。

余水路を省略しデフレクタ放流運転を行う場合、デフレクタの役割は大変重要である。この場合、デフレクタとニードルを独立して制御できる並行制御方式を採用することによって、デフレクタ放流が可能となる。さらに油圧低下時においても、自己閉鎖機能を付することによって、ヘッドタンク水位の上昇を押さえることができる。

(e) 再並列確認試験

発電所外部故障により水車が非常停止した後、5 分以内に外部故障が復旧した場合には、デフレクタのみで再並列及びヘッドタンクの水位が安定することを検証するために実施された。

発電所外部故障を想定して停止リレーを動作させ、その後リレーを復帰させ、デフレクタのみで再並列することが確認された。試験は、1 射、2 射、4 射運転のケースについて行ない、各運転時とも、リレー動作後水車回転速度は 12～14%上昇し、その後デフレクタのみで水車回転速度を定格速度よりやや高めに保持し、約 2 分後に自動再並列した。一方、ニードルは水調運転を行い、ヘッドタンク水位は水調設定水位で安定していた。

余水路省略によりデフレクタ放流を行うペルトン水車では、必然的にデフレクタによる再並列が必要となる。従って当発電所では、ニードルは水調運転とし、デフレクタで水ジェットを調整して、定格回転速度よりも若干高い回転速度で保持し、リレー復帰後は、デフレクタの揃速制御で定格回転速度まで減速した時点で再並列を行う方式が採用された。1 射、2 射、4 射運転の場合でも、デフレクタのみによる制御で水車・発電機の揃速、並列運転が可能である。

(f) デフレクタ確認試験

発電所故障時の長時間のデフレクタ放流による、デフレクタ・ハウジングの異常の有無および振動、騒音に問題がないことを検証するために実施された。

非常停止リレーを動作させて水車を非常停止させ、ヘッドタンク水位が停止水位になるまでの間約 170 分のデフレクタ放流を行い、デフレクタ・ハウジングおよび振動、騒音に問題がないことが確認された。試験当日の使用水量は、最大使用水量($4.50\text{m}^3/\text{s}$)にほぼ近い $4.4\text{m}^3/\text{s}$ であった。騒音は、デフレクタ放流中に 5 ヶ所で測定された結果、発電運転時とデフレクタ放流時ではほぼ変わらない値を示し、発電所外に対しても影響はなかった。

振動は 3 ヶ所において、垂直および水平方向の値が測定されたが、最大でも数 μm 程度で非常に小さい値であり、デフレクタ放流中でも問題ないことが分かった。

また、試験後、デフレクタ・ハウジングに異常は見られなかった。

余水路省略に伴いデフレクタ放流を行う場合、特に当地点のように導水路トンネルが長い(約 6.7km)場合は、デフレクタ放流時間が長時間に亘るが、デフレクタ放流に対応するバッテリー容量は放流時間に多少余裕を見込めば十分対処できる。また、デフレクタチップおよびハウジング壁面については、「昭和 60 年度余水路省略等標準設計マニュアル(案)」に基づき、不銹鋼による

補強対策を施すことで十分対応可能であると現時点では判断される。

(g) 水調運転試験

ヘッドタンクへの流入量変動及びヘッドタンク水位の変動に応答して、水車ニードルが自動開閉し、ヘッドタンク水位が設定水位で維持されることを検証するために実施された。

流入量の変動については、使用水量 $2.65\text{m}^3/\text{s}$ において御所平調節門を全閉操作し、一時的に流入量を減少させ、その後試験前の状態に復帰させられたところ、水面変動は水調設定水位に対して $+3\text{cm} \sim -3\text{cm}$ と大きな変動は認められなかった。

水位変動に対しては、水調運転中に水位調節器により $\pm 10\text{cm}$ の水位変動を与えた場合、当日の流入量 ($2.65\text{m}^3/\text{s}$) において、それぞれ約 30 分、約 22 分で設定水位となり安定した。

発電所の運転においてもハンティング現象は見られず、流入量変動及び水位変動に対して十分に対応できることが確認された。

(h) ヘッドタンク容量試験

ヘッドタンク水位が低下し、急停止となる場合やノズルの切替えを含む起動時においても、水圧管路への空気混入がなく、水車の運転に支障がないことを検証するために実施された。

急停止試験については、御所平からの取水量約 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ の使用水量で行われ、安定運転状態で水位調整器を除外し、ヘッドタンク水位を EL.1,032.136m に上げて実施された。急停止水位までの水位低下量は 0.31cm/s 程度であり、試験開始から約 6.5 分で急停止リレーが動作した。それまでの水位低下の状況をヘッドタンクで目視したが、一時スクリーン上流部に堰上げが生じた程度で、渦の発生は認められなかった。

また、起動試験については、水車自動起動試験と同時に実施されたが、流入量の増加に応じてノズル切替え (1 射→2 射→4 射) をした場合でも、ヘッドタンク水位は $2 \sim 3\text{cm}$ の変動しか見られず、渦の発生も全く認められなかった。

以上より、本発電所においては、今回のヘッドタンク容量で十分に安全であると判断された。

(i) 総合試験

水車・発電機及び取水設備などの個々の機能が、定められた一連のシーケンスにより、発電プラントとして確実に作動することを検証するために実施された。

試験の手順は、**図 2-7-5** のフローのとおりであり、個別試験の結果と総合試験の結果は同様の傾向となっており、一連のシーケンスに支障はなく、個々の設備は確実に作動した。

以上より、ペルトン水車採用地点において余水路を省略した場合、取水設備及びデフレクタの運転操作により、発電所故障に対応することができ、また、ヘッドタンクの小規模化を図った場合においても、水調制御方式により対応は可能であると考えられる。

(j) 導水路内抜水点検

実証試験運転による導水路及び水車内部の異常の有無を確認するため、試験の前後で点検が実施された。その結果、運転のために発生したクラックおよび異常は認められず、導水路内の堆砂もほとんど見られなかった。また、水車まわりの点検でも、デフレクタおよびランナー共に異

常は認められなかった。

e. 実証試験結果のまとめ

実証試験の結果は、以上のように試験の目的をおおむね満足するものであった。この中で特筆すべき点は、以下のとおりである。

- ・ 河川水位上昇試験当日は流量が最大使用水量を下回っていたが、試験の結果河川水位上昇速度が、最大使用水量時に換算すると規制値30cm/30分を超えることが判明したので、規制値内となるようゲート操作パターンの見直しが行われた。(図2-7-6、2-7-7参照)
- ・ 従来、ペルトン水車の場合の流量はニードルにより揃速制御を行っているが、余水路を省略した場合はデフレクタに揃速制御機能をもたせる必要が生じる。ペルトン水車では、デフレクタの微調整による揃速制御が難しいと考えられていたが、再並列確認試験の結果、デフレクタによる揃速制御は、予想よりスムーズで、従来と同様の運転が可能であった。これは、流入量がほぼ一定であったため、ニードル開度が一定で水圧の変化がほとんどなく、水理的にデフレクタがハンチングすることなく制御できたためと考えられる。

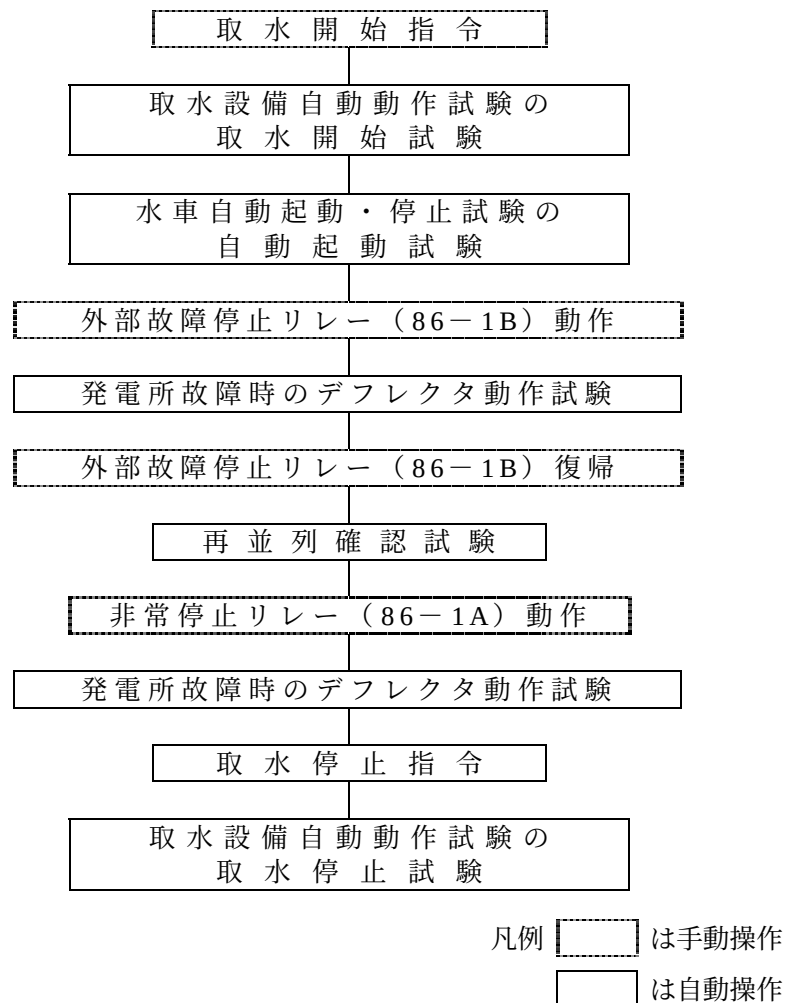
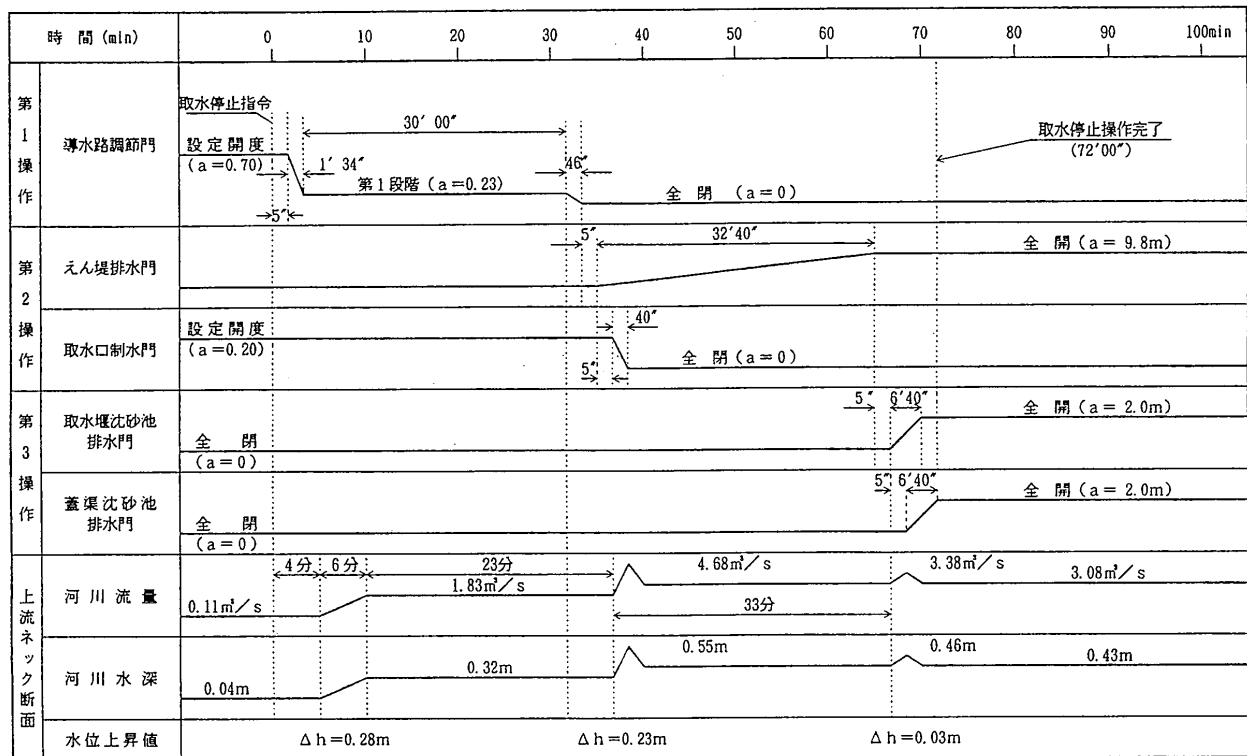


図 2-7-5 総合試験フロー

(変 更 前)



(段階操作を含む)

(変 更 後)

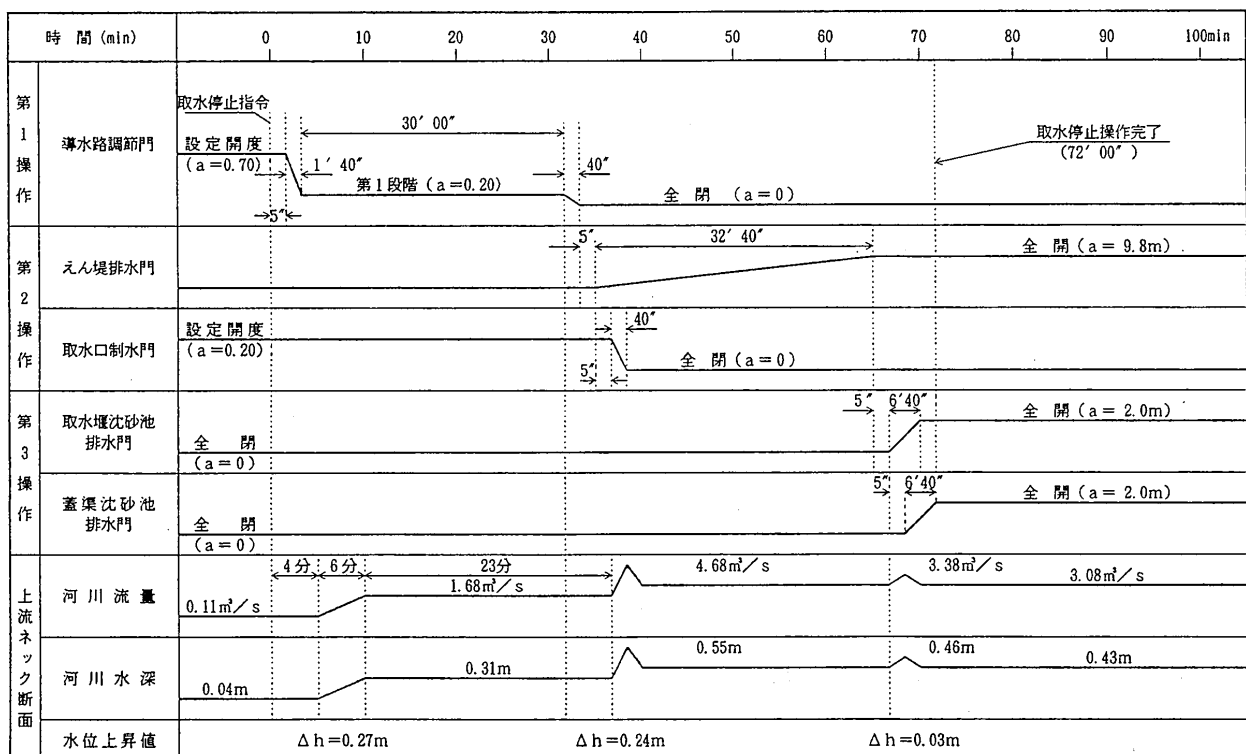
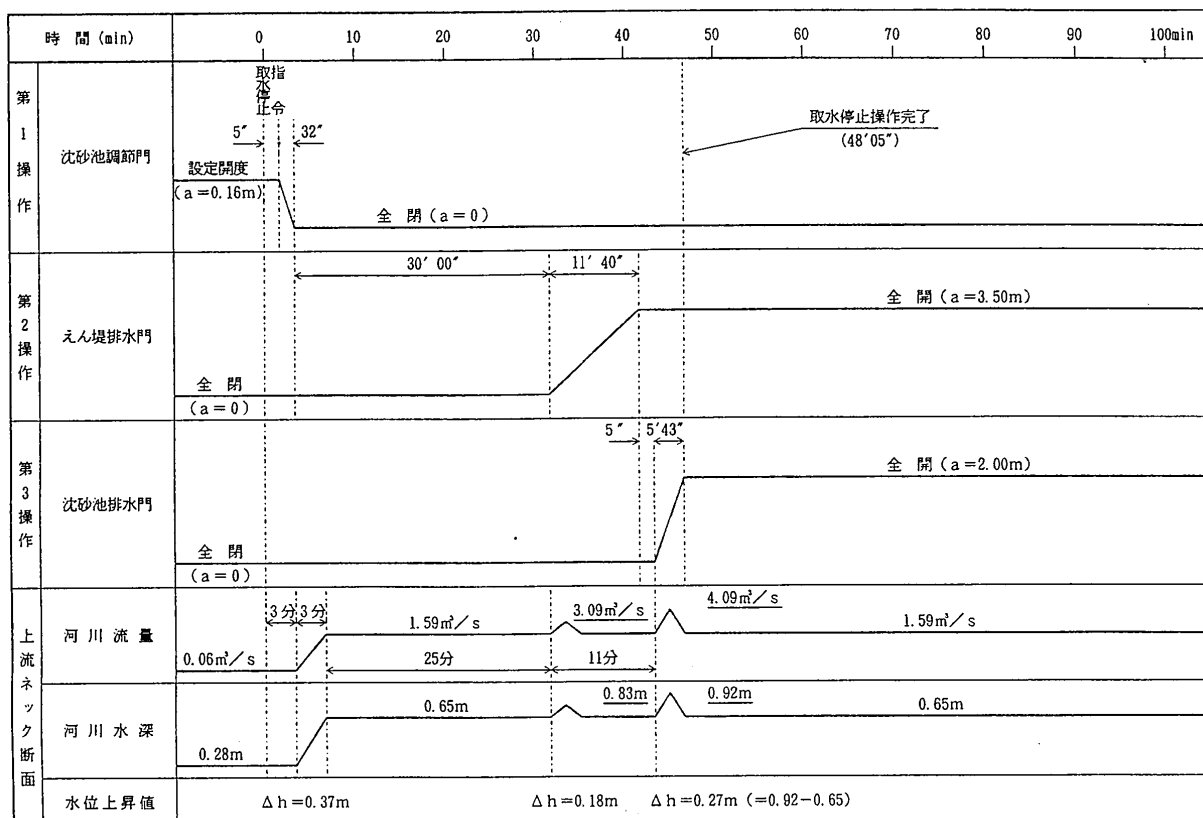


図 2-7-6 小洪川取水設備取水停止パターン

(変 更 前)



(変 更 後)

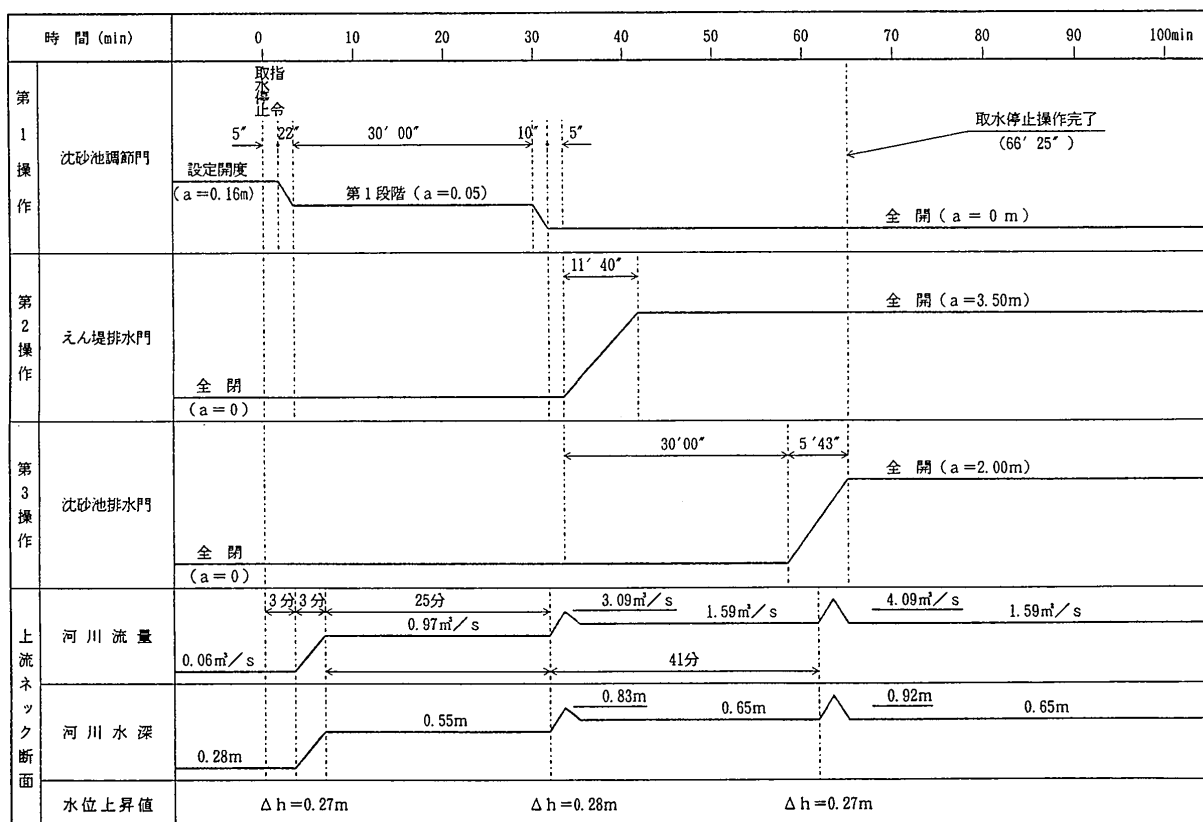


図 2-7-7 御所平取水設備取水停止パターン試験結果

(3) 新内川第二発電所実証試験結果

a. 実証地点の概要

新内川第二地点は、石川県金沢市南部の山間部に位置し、金沢市市街地から約20kmの距離にある。発電所は、犀川水系内川の上流部に位置し、内川の東谷と西谷の合流点付近及びキヤ谷、カクレ谷、イヤ谷、ムネド谷の各溪流に取水設備を設け、最大 $3.70\text{m}^3/\text{s}$ を取水し、延長4.7km(うち支水路延長約1.2km)の導水路及び延長約144mの水圧管路により、内川ダム貯水地末端右岸側に新設された発電所に導水し、有効落差100.60mを得て、最大出力3,000kWの発電を行った後、約14mの放水路により内川に放流する水路式発電所である。新内川第二地点の基本諸元は、表2-7-5のとおりである。

表2-7-5 実証地点の基本諸元

名 称	新内川第二発電所
水 系 名	犀川水系
河 川 名	内川
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	3,000kW
最大使用水量	$3.70\text{m}^3/\text{s}$
有 効 落 差	100.6m
水 車 型 式	横軸フランシス水車
発 電 機 型 式	三相交流同期発電機
運 開 年 月	昭和63年12月

b. 試験実施期間

昭和63年11月24日～12月14日

c. 実証プラントの設計基本方針

新内川第二発電所は、余水路を省略しヘッドタンクを小規模化する設計であり、余水路省略にあたっては、フランシス水車採用地点であるため土木設備と放流バルブを併用する方法を用いている。そこで、ヘッドタンクの小規模化を含む主要事項に対して、以下のような基本構想に基づき検討及び設計を行った。

- ・ 負荷遮断時に本川取水口から放流すると、河川の指導規制値(水位上昇速度 $30\text{cm}/30\text{分}$)を守ることが困難なので、放流バルブによる全量放流とした。また、取水停止を行う場合にも、河川の規制値を遵守するためのゲート放流パターンを決定した。
- ・ 発電所外部事故による水車発電機の停止が5分以上となる場合、並びに内部事故の場合は、取水停止するものとし、これらは発電所が無人のため自動操作で行う必要があり、取水口にゲートの自動制御装置を設けるものとした。
- ・ ヘッドタンクの最高水位は、100年確率洪水時に取水ゲート不動作の場合とし、ヘッドタンク天端の高さは、最高水位＋余裕高(0.5m)以上とした。
- ・ トンネル内水圧に対する内部応力について検討を行った。ただし、放流バルブを設備してい

るため、トンネルの補強は行わないものとした。

- ・ 放流バルブによる放流パターンは、最大使用水量 $3.70\text{m}^3/\text{s}$ 時の負荷遮断において、許容内水圧以下であればトンネル天端に着水してもよいものとし、水車ガイドベーンと放流バルブとの連動操作機構については、ヘッドタンク水位による間接操作方式を採用し、水車ガイドベーンと放流バルブとは、別々の制御系により制御操作を行うものとした。
- ・ 放流バルブによる放流時のエネルギー(最大流量 $3.70\text{m}^3/\text{s}$)は、放流バルブ及び減勢工により減勢させるものとした。

d. 実証試験等の結果

実証試験は、「昭和60年度余水路省略に関する実証プラントの設計調査報告書(新内川第二発電所計画地点)」に基づいて11項目について実施され、その結果は項目ごとに以下のとおりである。

(a) 取水設備自動動作試験

発電所からの取水停止又は取水開始指令により、内燃力発電装置、ダム排砂ゲート及び取水口制水ゲートが、予め定めた動作パターンどおりに自動動作することを検証するために実施された。

取水口に設けた自動制御装置により各設備を動作させた結果、自動制御装置に内蔵されたタイマーの許容誤差と考えられる程度の誤差はあったが、ほぼ定めた動作パターンどおりに自動動作させることが可能であった。

以上より、無人発電所であつた余水路を省略した場合であっても、取水口に自動制御装置を設けることにより、取水開始及び取水停止時における取水設備の段階操作に対処できると考えられる。

(b) 河川水位上昇試験

取水停止に伴い取水設備が自動動作した場合でも、減水区間の水位上昇値が河川の規制指導値 $30\text{cm}/30$ 分以内であることを検証するため、取水設備の自動動作試験の取水停止と同時に実施された。

試験は、川幅が狭く水位上昇が著しい3断面に量水標(スタッフ)を設置し、目視により取水停止に伴う河川水位変動が測定された。試験時の取水ダム地点の河川流量は $2.52\text{m}^3/\text{s}$ であり、測定3断面においては指導規制値以内の水位上昇速度であったが、この値を基に最大使用水量時の水位上昇速度を推定したところ、B断面において任意の30分をとると、水位上昇値が 33cm となり、規制値 30cm を越える結果となった。

この対策としては、取水停止時の排砂ゲートの開度を小さくする方法と、段階放流の時間間隔を長くする方法が考えられたが、ゲート開度を小さくした場合ゲート下部の水密ゴム等の損傷の恐れがあるため、本地点においては段階放流の時間間隔を長くする方法で対処することとされた。すなわち、排砂ゲートの寸開(開度 6cm)時間を30分から45分に変更した結果、余水路を省略した場合であっても、発電所事故時の取水停止に対し、取水設備の段階操作を行うことによ

り、水位上昇速度の規制指導値 30cm/30 分を守ることが可能であった。

(c) 水車自動起動・停止試験

水車が、取水開始に伴うヘッドタンクへの流入により自動起動し、取水停止に伴う減水により自動停止することを検証するため実施されたものである。

自動起動については、水車・発電機の準備完了後、取水設備の自動動作によって取水を開始することにより行ったところ、取水開始から約 44 分後よりヘッドタンク水位が上昇を始め、応水起動設定水位 EL331.70m に達した時点で水車自動起動条件が成立し、「水車起動→応水運転→水調運転(水位 EL331.80m)」となった。取水開始初期にはダム水位が高いため、トンネル流入量も安定時と比べると多く、水調運転初期は河川流量から算定した場合よりも高い出力となり、その後徐々に低下し安定する傾向となった。

自動停止は、水車運転中において、取水設備の自動動作によって取水を停止させることにより行われたが、徐々にトンネル流入量及びヘッドタンク流入量が低下し、発電機出力が減少した。取水停止より 1 時間 36 分後に、水車停止設定条件のうちの発電電力の低下により、緩停止となった。

余水路を省略した場合には、ヘッドタンクへの流入に対して確実に水車が起動できることが重要であり、また、取水停止に際してはヘッドタンク水位の維持が必要とされる。これらについては、水車の運転制御方法を考慮することにより対応が可能であると考えられる。

(d) 発電所故障時の放流バルブ動作試験

発電所事故時に水車が非常停止した場合、ヘッドタンクの水位上昇により放流バルブが自動で確実に開くこと、及びその水位上昇値が構造物に損傷を与えない範囲に抑えられることを検証するため実施された。

最大使用水量で安定した状態の時に、非常停止リレーを動作させたところ、ヘッドタンク水位は最高で 79cm 上昇し、EL332.59m となった。導水路トンネル末端における天端高は EL332.316m であるため、トンネル天端に着水する結果となり、その時間は約 22 秒間であった。

また、放流バルブは負荷遮断より 15 秒程度後から開動作を始め、その最大開度は 67%であった。ヘッドタンク水位が放流バルブの基準水位である EL331.900m を越えるのは、負荷遮断より約 5 秒後であり、これより放流バルブにおいては、約 10 秒の不動作時間が認められた。この原因としては、静止摩擦が動摩擦に比べて非常に大きいためと推定され、要因としては以下のものが考えられた。

- ・ 放流バルブ全閉時には、モータから常時閉方向のトルクを与えている。このためシーリング部の噛み込みがある。
- ・ 放流バルブ駆動装置からメインシリンダーまで動力を伝達するために多くのギヤが介在しており、相当のバックラッシュ及び摩擦力、噛み込みがある。

このほか、ヘッドタンク水位を介しての水調制御であることによる開指令の遅れも、大きな要因のひとつとして考えられる。

本発電所においては、試験後に行われたトンネル内点検等により、負荷遮断による水位上昇によって構造物に損傷が無かったことが確認されたため、放流バルブにおけるハード面の改造は行わないものとされたが、今後のフランスス水車地点での余水路省略における放流バルブの採用にあたっては、動力伝達方法や制御方法について上記を踏まえ十分に検討する必要があると考えられる。

(e) 再並列確認試験

発電所外部事故により水車が非常停止した後、5 分以内に送電線が復旧した場合には水車が自動起動し、放流バルブから水車に自動で切り替わり、再並列することを検証するために実施された。

水車運転中に、再起動可能停止リレーを動作させ、4 分後にリレーを復帰させたが、水車の停止動作中であり、動作が完了しないと自動起動条件が成立しないため、再起動開始は約7分後、再並列は約10分後であった。

余水路を持つ発電所においては、外部事故の場合には水車を無負荷有励磁または無励磁運転し、残流量は余水路から放流することとなる。これに対して、余水路を省略したフランスス水車採用発電所では、水車を無負荷有励磁または無励磁運転として待機させた場合には、残流量は放流バルブで放流することにより、ヘッドタンク水位の上昇を抑えることとなる。本発電所は比較的小規模であることから、無負荷運転は設定せず、受電電圧が低下した場合(外部事故)には、水車発電機を停止させる設定としている。このため、本発電所における再並列確認試験は、むしろ再起動確認試験の意味合いとなっている。

外部事故に対しては、通常の場合すみやかに発電が再開できるよう遠方制御所でもリレー復帰ができる設定としており、フランスス水車を用いた発電所で余水路を省略した場合であっても、水車と放流バルブの連動操作機構を考慮することにより、その対応は可能と考えられる。

(f) 水調運転試験

ヘッドタンクへの流入量変動及びヘッドタンク水位の変動に応答して、水車ガイドベーンまたは放流バルブが自動開閉し、ヘッドタンク水位が設定水位で維持されることを検証するために実施された。

流入量の変動に関しては、水調運転中に取水口制水ゲートを操作し、一時的に流入量を半減させ、その後試験前の状態に復帰させたところ、水調設定水位に対して、水車水調運転の場合は水面変動が $-2\text{cm} \sim +2\text{cm}$ 、放流バルブ水調運転の場合は水面変動が $-5\text{cm} \sim +1\text{cm}$ であった。

全体的な傾向として、水車ガイドベーンの方がより細かな動作であり、ヘッドタンク水位も安定度が高い。一方、放流バルブは動作がやや大きすぎる傾向にあり、ヘッドタンクに1cm程度の波動が出ている。また、流入量が安定している状態でも、放流バルブでは開閉動作を繰り返す様子がみられたが、これは静止摩擦が動摩擦に比べて非常に大きく、このため位置制御が不安定となり、水位調整器の開度指令値が一定であるにも関わらずパルス状の動作を繰り返すため

ある。

水位変動に関しては、水調運転中に水位調節器により±10cm の水位変動を与えた場合、水車、放流バルブとも、当日の流入量において約 5 分で設定水位となり安定した。

以上、全体として、流入量変動及び水位変動の場合とも、水車水調でも放流バルブ水調でも、ヘッドタンクに大きな水面変動は認められず、発電所の運転に関しては今回のヘッドタンク規模 5Q(Q は最大使用水量)でも支障はなく、十分に対応できることが確認された。

(g) ヘッドタンク容量試験

ヘッドタンク水位が低下し非常停止となる場合においても、水圧管路への空気混入がなく、水車の運転に支障がないことを検証するために実施された。

試験は、水車運転中に取水口制水ゲートを全閉し、ヘッドタンク流入量が減少した時に水位調整器を除外して、手動操作により水車を最大出力とする方法で行なわれた。

試験開始前の取水量は発電機出力から換算すると約 $3.3\text{m}^3/\text{s}$ 程度であり、取水停止後 16 分で発電機出力が低下し始めた。その 4 分後に水位調整器を除外し、水車を最大出力としたところ、ヘッドタンク水位が低下を始め、8 分間で非常停止リレーが動作する EL330.75m まで低下した。

この間の水位低下の状況をヘッドタンクにて目視したところ、基準水位より 50cm 下がり付近の水位で比較的小さく不連続な渦が発生したが、水圧管路に空気が混入される程ではなく、また、それ以外の水位においては、渦の発生は全く認められなかった。

以上より、本発電所においては、今回のヘッドタンク容量で十分に安全であると判断された。

(h) 減勢工の減勢効果試験

放流バルブからの放流水が減勢され、放水路水位が安定であることを検証するために、負荷遮断試験と同時に実施された。

試験は、非常停止リレーを動作させて水車を停止し、自動動作により放流バルブから放流する。放流された水は、2 段の格子により減勢されて放水路に流出する。この状態において、放流バルブ前、格子の前後、中間及び放水路の水圧、水位を測定する方法で行なわれた。

圧力変動が測定された結果、水車運転時の圧力と比較して最も大きな圧力差が認められたのは、格子中間においてであり、最大負荷遮断時で $+0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度であった。また、バルブ放流中の放水路の水位変動は、最大負荷遮断時でも最大 5cm 程度であった。

放流バルブの騒音、振動については、開度が 10%程度の時に最も著しく、それ以外の時には非常に少なかった。

今回、余水路省略の対策として、水車がフランシスタイプであることから放流バルブを設けるとされたが、減勢タンク付のコーンバルブを用いることにより、減勢についても対処が可能であり、放水路水位も安定であった。

(i) 導水路ライニングコンクリート内部応力試験

最大負荷遮断に伴う水位上昇時に、導水路ライニングコンクリートにかかる内部応力が、許容

値以内であることを検証するために実施された。

内部応力の測定は、作用内圧の大きい TBM 施工区間の下流端付近の 2 ヶ所とし、それぞれ断面の上下に小型歪み計 BS-8F を埋設して行なわれた。また、同時に各断面とヘッドタンクの水位についても測定された。

最大使用水量時に負荷遮断を行い測定したところ、導水路トンネル内で天端への着水が認められ、水圧は天端で約 0.04kg/cm^2 であった。着水の時間は 22～23 秒程度で、それ以後は次第に水位が低下していき、水位上昇開始より約 2 分後には安定した。

歪み計の測定結果によれば、吹付コンクリートの背面水圧がヘッドタンク水位の影響を受け、その水撃作用によって歪み計が作用したような傾向が見られたが、歪み計の据付方法(吹付コンクリート施工時に据付)や計器自体の信頼性を考えると、本発電所の試験データだけではライニングコンクリートの内部応力について推論することには無理がある。今後、同様の試験を行う場合においては、計器の据付方法について、十分に留意する必要があるものと考えられる。

なお、導水路トンネルライニングコンクリートの安全性については、試験完了後の抜水点検により確認されたところ、異常は認められなかった。

(j) 総合試験

水車、発電機、取水設備などの個々の機能が、定められた一連のシーケンスにより、発電プラントとして確実に作動することを検証するために実施された。

取水設備の自動動作試験、発電所における水車自動起動・放流バルブ動作・再並列確認の各試験が行われ、水車及び放流バルブの水調機能についても、ヘッドタンク水位の安定性により検証された。試験の手順は、**図 2-7-8** のフローのとおりであり、個別試験の結果と総合試験の結果は同様の傾向となっており、一連のシーケンスに支障はなく、個々の設備は確実に作動した。

以上の結果より、フランス水車採用地点において余水路を省略する場合、取水設備及び放流バルブとの連動操作機構を考慮することにより、発電所事故に対応することができ、またヘッドタンクの小規模化を図った場合においても、水調制御方式により対応は可能であると考えられる。

(k) 導水路内抜水点検

実証試験運転による導水路及び放流バルブ廻りの異常の有無を確認するため実施された。

その結果、導水路内においては新たに発生したクラックや損傷等はなかったが、無巻き区間において堆砂がみられた。これは、初通水により吹付コンクリート面に付着していた砂が洗われ、無巻区間に移り流速が遅くなった結果、沈降したものと考えられる。

放流バルブ廻りの点検では、放流バルブ及び減勢工ともに損傷はなく、その後の水圧管路充水時においても、放流バルブからの漏水は認められなかった。

余水路省略により、負荷遮断時に一時的にトンネル内水位が上昇するが、構造物に損傷はなく、本発電所においては特別の補強は必要なかった。

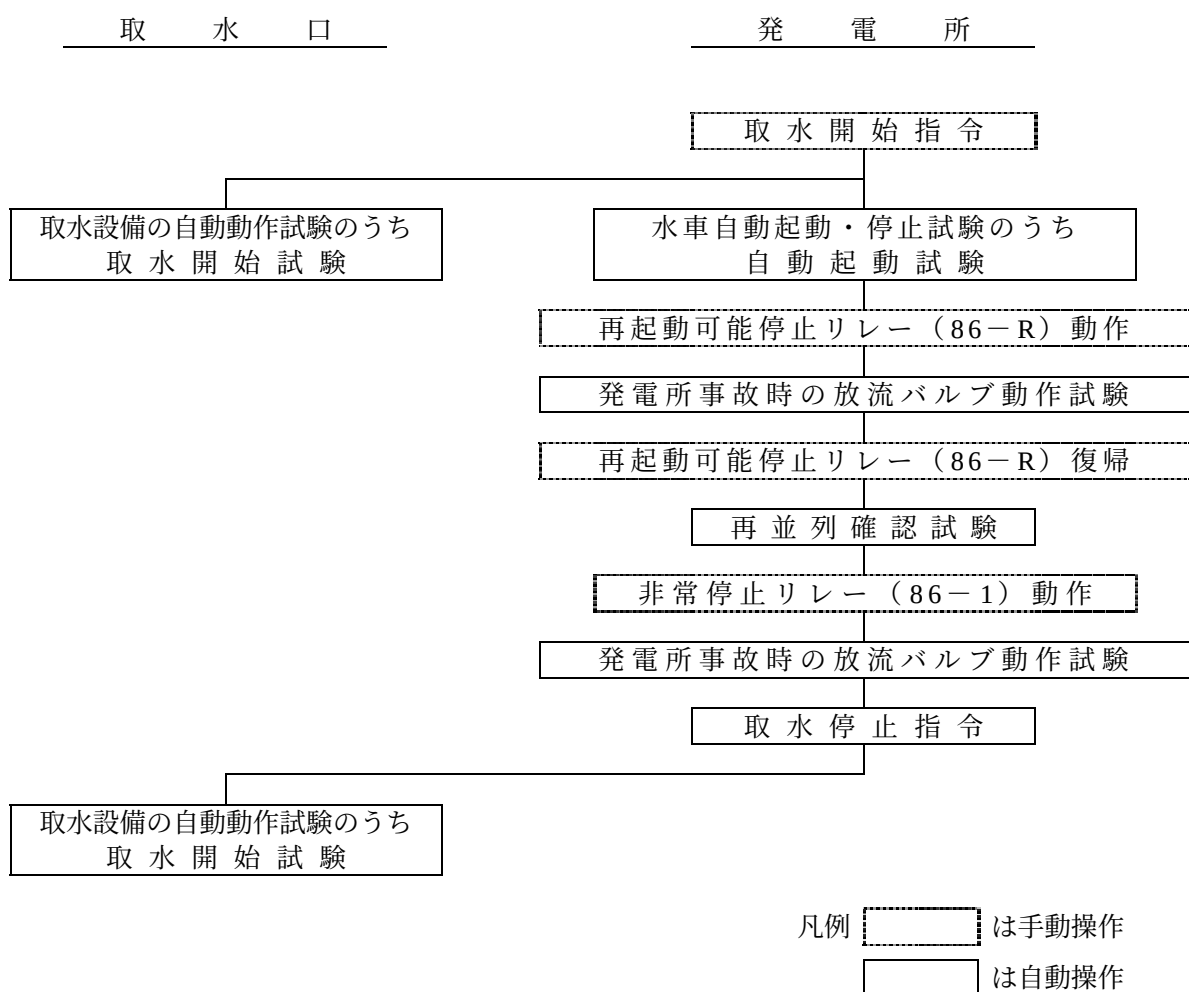


図 2-7-8 総合試験フロー

注) 上記の試験のほか、水車及び放流バルブとも、水調運転についてはヘッドタンク水位の安定性により確認する。

e. 取水設備の段階操作方法の見直しについて

実証試験の結果は、以上のように試験の目的をおおむね満足するものであったが、河川水位上昇試験において、一部の河川断面(B 断面)の水位変動測定結果を基に最大使用水量時の水位上昇速度を推定したところ、ある 30 分間において水位上昇値が 33cm となり、規制値 30cm を越える結果となった。

この対策としては、取水停止時の排砂ゲートの開度を小さくする方法と、段階放流の時間間隔を長くする方法が考えられたが、ゲート開度を小さくした場合ゲート下部の水密ゴム等の損傷の恐れがあるため、本地点においては段階放流の時間間隔を長くする方法で対処することとされた。すなわち、排砂ゲートの寸開(開度 6cm)時間を 30 分から 45 分に変更した結果、余水路を省略した場

合であっても、発電所事故時の取水停止に対し、取水設備の段階操作を行うことにより、水位上昇速度の規制指導値 30cm/30 分を守ることが可能であった。(図 2-7-9 参照)

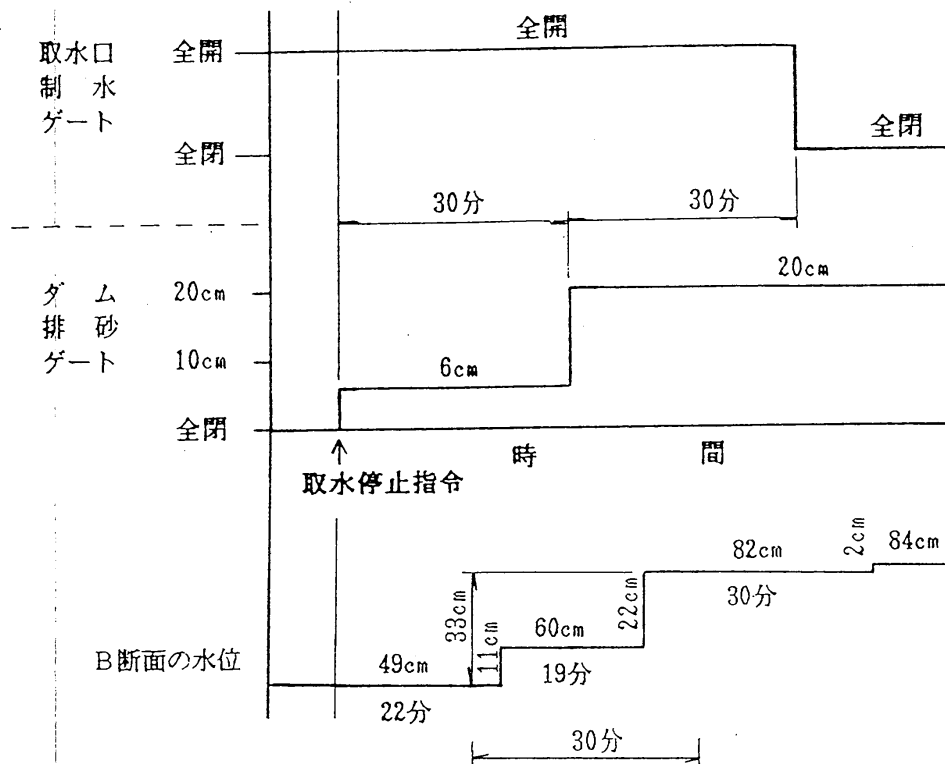
f. 実証試験結果のまとめ

以上のとおり種々の実証試験が行われ、機器の安全性、河川水位上昇速度、ヘッドタンクの小規模化及び運転制御について検証され、一部操作方法等が変更された結果、余水路を有するプラントと同様の安全性が確認された。

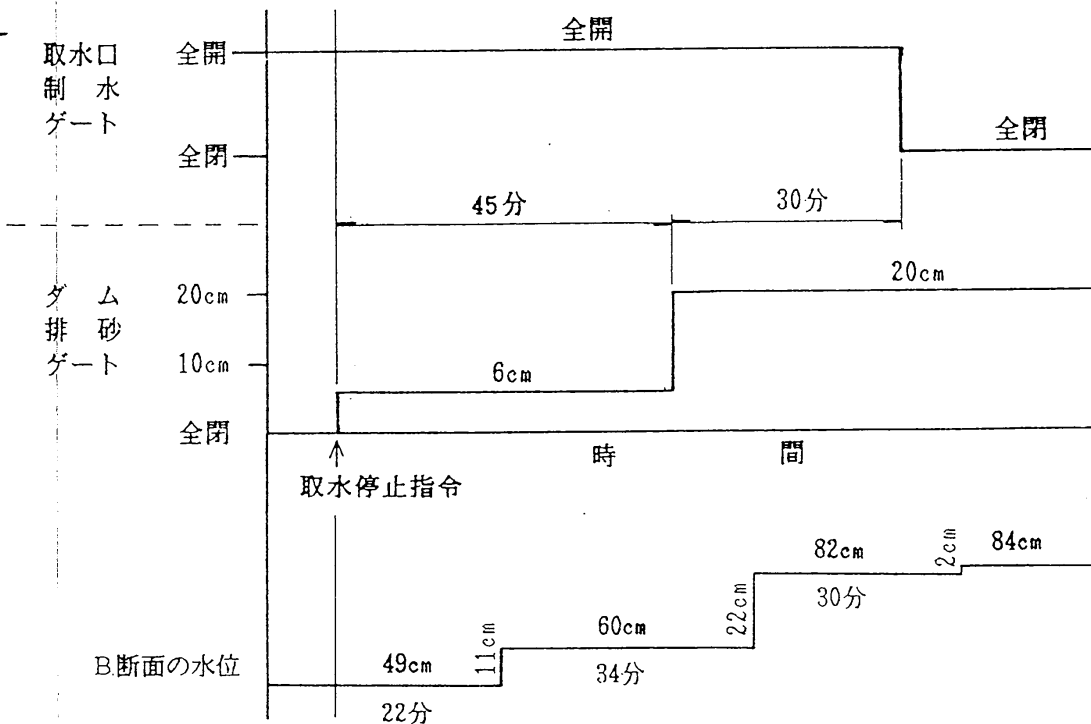
実証試験結果の要点をまとめると、以下のとおりである。

- ・ 河川水位に関しては、放流バルブの採用及び取水設備の自動動作機構の採用により、下流の水位上昇に対する安全性が十分に確保できる。
- ・ 水車の自動起動・停止などの制御運転については、余水路が省略されたプラントであっても、流入量及びヘッドタンク水位を的確にとらえることにより、安全に運転が可能である。
- ・ 放流バルブにおいては、機械本体の摩擦や動力伝達方式におけるバックラッシュなどによりやや動作遅れがあり、ヘッドタンク水位の上昇値が大きく、一時的にトンネル天端に着水するが、着水は当初から予想されており、構造物の安全性には支障はなかった。
- ・ 放流バルブの減勢効果については、バルブ本体に付属の減勢装置の採用により、放水路水位は安定である。
- ・ ヘッドタンクの小規模化においては、余水路が省略された場合でも、制御運転により水面変動も少なく安定して運転が可能であり、水面積 $5Q$ (Q は最大使用水量)で十分である。
- ・ ヘッドタンク水位が異常に低下し、非常停止水位に下がった場合であっても、渦の発生や水圧管路への空気の混入は無く、ヘッドタンク容量は今回の容量で安全である。

変更前



変更後



取水ダム地点の河川流量 $Q = 3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (最大使用水量時)

図 2-7-9 取水設備動作パターンの変更とB断面における水位変化

2.7.4. マニュアル(案)の概要

(1) 名 称

「余水路省略等標準設計マニュアル(案)」

(平成 3 年 3 月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

昭和60年度に「余水路省略等標準設計マニュアル(案)」を作成後、新内川第二及び大鹿両発電所を実証地点として設計・建設が行なわれ、余水路省略及びヘッドタンクの小規模化に関する検証が実施された。本マニュアル(案)は、この実証試験結果をフィードバックさせて、上記のマニュアル(案)を見直したものである。

本マニュアル(案)により、余水路省略及びヘッドタンクの小規模化の技術が広く普及し、今後の水力開発の促進に寄与することを期待するものである。

(3) 適用範囲

ペルトン水車の場合は、全地点で適用可能性がある。

フランシス水車の場合は、土木設備のみで対応可能な場合には全地点において、放流バルブの設置が必要な場合には、落差100m以上で最大使用水量10 m³/s未満又は落差100m未満で最大使用水量3m³/s未満の地点で適用可能性がある。

(4) 設計・施工マニュアル(案)の構成

本マニュアル(案)の目次構成は、以下のとおりである。

余水路省略等標準設計マニュアル(案)目次

[I] 目的及び背景

[II] 余水路省略

第1章 余水路省略の基本構想

1.1 余水路省略の分類

1.2 余水路省略の可能性の見極め

第2章 余水路省略のための検討

2.1 項 目

2.2 手 順

2.3 対 策

第3章 各構造物の設計指針

3.1 取水設備

3.2 導水路

3.3 ヘッドタンク

3.4 放流バルブと減勢工(フランシス水車地点)

3.5 ペルトン水車

第4章 運転操作マニュアル

4.1 基本操作

4.2 操作フロー

第5章 余水路省略の参考事例

5.1 余水路省略の事例

5.2 発電所諸元

5.3 工事費節減資料

5.4 設計概要図

[Ⅲ] ヘッドタンクの小規模化

第1章 ヘッドタンク小規模化の基本構想

1.1 ヘッドタンクの諸元

1.2 ヘッドタンクの水面積

1.3 ヘッドタンクの容量

1.4 起動時の安定計算

1.5 設計上の留意事項

第2章 ヘッドタンク小規模化の参考事例

添付資料

2.7.5. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、余水路省略等土木設備の合理化に関する技術開発後の発展状況については、「開発当時と変りなし」が最も多かったが、「改良されている」とした回答もそれに次いで多かった。

普及状況については、適用可能性のある地点では採用の検討が一般化しているなどから、全体として比較的高い評価であった。

建設費低減についてはほとんどが高い評価であり、その他の項目についても比較的高評価であった。主な意見としては、省略に伴う対策設備の信頼度向上が必要とするものや、建設費、管理費を含めたライフサイクルコストにより判断する必要がある、などがあった。

採用実績については、余水路省略とヘッドタンク小規模化とを合わせて既に50件、採用発電所の合計出力は約36万kW(既設・工事中地点)に上っており、これに伴う建設費低減額は約50億円と見込まれる(表4-2、4-3参照)など、本技術開発は大きな成果を上げつつあり、採用を計画している地点も多いことから、今後も成果が期待される。

コストダウン以外の効果としては、点検時間の短縮・省略が図れるため保守性が向上する、改変面積が少なく環境に対して好ましい、水圧管のみの敷設のため工期の短縮が図れた、などの評価が寄せられている。

余水路省略及びヘッドタンク小規模化技術が採用された発電所及び当該設備の主要諸元は、**添付資料-4-6、4-7**に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 今後の課題

実証試験が短期間であったこともあり、長期的観点から以下の点が今後の課題として挙げられる。

(a) 取水停止について

余水路省略に伴い、トンネル内への流入土砂及びヘッドタンクの堆砂を軽減することが重要になる。したがって、適正な取水停止操作パターンを、今後の出水時並びに洪水時において、引き続き調査することが必要である。

(b) デフレクタの摩耗について

大鹿発電所の実証試験の結果、ハウジングの壁面、デフレクタチップなどに異常は見られなかったが、試験期間中のデフレクタ放流時間は3時間弱であり、当地点は土砂混入の多い荒れ河のため、今後数年間の定期点検等により、長期に亘るデフレクタの摩耗程度等を確認する必要がある。

(c) 河川水位上昇について

河川水位の上昇速度については、各地点で河川の条件が異なり、また計算値とは必ずしも一致しない場合もあるため、現地での水位流量測定を実施し、現実には添ったゲート放流パターンを設定することが必要と考えられる。

(d) 放流バルブについて

放流バルブの応答動作に関しては、摩擦力や駆動装置からの動力伝達過程におけるバックラッシュ等によりパルス状の動作が見られるが、運転においては特に問題はない。このパルス状の動作を解消するためには、動力伝達方法等の改善が必要であり、経済性を考慮して検討することが必要と考えられる。

b. アンケート調査結果による指摘事項

アンケート調査の結果によれば、実際に採用した結果における余水路省略及びヘッドタンク小規模化技術に関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 水槽内堆積土砂の排砂、導水路内湧水の排水などのため、排砂・排水管が必要であり、この設置方法、排水先に留意すべきである。
- ・ デフレクタ強化・ヘッドタンクの容量増、管理費用などを含めたライフサイクルコストにより経済性を判断する必要がある。
- ・ 非常停止時に使用できる水の容量が少なくガイドベーンの開鎖を早くしなければならないため、鉄管水圧との兼ね合いを考慮して設計することが必要である。(ヘッドタンク小規模化)
- ・ 導水路への充水時に、ライニングに過大な圧力をかけないように計画的、段階的に実施するなど、細心の注意が必要。運転に際しても過大な圧力を掛けないような制御方法を検討する必要がある。
- ・ 取水設備やヘッドタンクのゲート類制御用電気設備の信頼度保持が必要である。

また、マニュアルの改訂が望まれる事項として、以下の点が挙げられている。

- ・ 種々の課題についての記載
- ・ 施工実績等の記載

c. 不採用事例について

アンケート調査の結果、余水路省略の採用が検討されたものの採用に至らなかったケースが3例回答されており、それらの主な不採用理由や今後同様なケースにおいて採用が見送られないための改善課題として指摘された事項は、以下のとおりである。(詳細は第4章参照)

- ・ 導水路延長が長く、導水路内圧補強対策工事費が増大し経済性が得られないため
- ・ デフレクタの利用の検討を行ったが、ニードルバルブに土砂、ゴミなどが詰まった時に対処できなくなる可能性があり、新たに放流バルブの必要性が生じたため
- ・ 放流バルブについては経済性、バルブ制御の確実性に不安があり、取水堰からの放流についても河川水位変動が 50cm/30分となり、余水路省略を取り止めた。
- ・ 実績の増加、ニードルバルブの信頼性の向上、安価な導水路補強対策の検討、など

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)の他に参照すべきものとしては、「中小水力発電の新技术の手引」((財)新エネルギー財団、平成5年1月)が挙げられる。

2.8. 水圧鉄管代替製品FRPM管等の技術開発

水圧鉄管代替製品FRPM管等の技術開発

(昭和 59 年度～平成元年度調査)

概 要

FRP(M)によって製作される水圧管は、中小水力地点の経済性、施工の安全性などに資する数々の利点を持っているため、これを発電用水圧管路等に適用して中小水力開発の促進を図るべく、所要の技術開発を行なったものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

FRP管、FRPM管、水圧鉄管代替製品、強化プラスチック管、強化プラスチック複合管、資機材合理化、施工性向上、保守管理省力化、電力量増加

適用範囲

水力発電所の導水路、水圧管路、余水路などの管材として使用する FRP 管及び FRPM 管

2.8.1. 新技術の概要

(1) 目的

強化プラスチック管(以下「FRP 管」という。)並びに強化プラスチック複合管(以下「FRPM 管」という。)は、ガラス繊維で強化されたプラスチックの管である。FRP(M)によって製作される水圧管は、鉄管に匹敵する強度を持ち、軽量で運搬が容易であり、据付けに高度な技術が必要でなく、耐摩耗性、耐酸性、耐電食性などに優れ、管内面の粗度係数が小さく、経年変化も少なく、塗装等の維持補修がほとんど不要な材料特性を有し、支持地盤の変形に伴う継手の角変位に対しても高い水密性を確保しながらある程度の追随が可能なので、掘削規模を縮小でき経済的であるなど、数々の利点を持っている。また、仮設備の規模縮小、運搬・据付作業の軽減なども期待できる。

このように FRP 管及び FRPM 管は、中小水力地点の経済性、施工の安全性などに資する数々の利点を持っているため、これを発電用水力設備の導水路、水圧管路、余水路などの管材として適用し、中小水力開発を安全かつ経済的なものとし、その開発の促進に寄与することを目的としている。

(2) 新技術構成要素の特徴

FRP 管、FRPM 管などの特徴及びこれらを水圧管路等に適用する場合の留意事項などは、以下のとおりである。

a. FRP I 類管

I 類管とは、FRP 層の部分をフィラメントワインディング法(樹脂を含浸させたガラス長繊維を円周方向に張力を加えながら円筒芯金に巻き付ける方法)で製作された管である※。管周方向強度を分担させるために管周方向に巻かれるガラス長繊維の FRP 層をフープ層、管軸方向強度を分担させるために、フープ層のガラス繊維に直交するよう長さ数 10cm にカットしたガラス繊維を配した FRP 層をカット層、管の水密性を向上させるためのガラス短繊維を散布した FRP 層をチョップ層と称する。

管の内外面にはチョップ層を保護する目的で、不織布と樹脂から構成された保護層を設けるが、内面保護層は流水に対する耐摩耗性の向上を、外面保護層は紫外線その他の外的な損傷等に対する保護とガラス繊維の毛羽立ち防止を主目的としている。

I 類管は、管の強度はガラス繊維のみに期待し、樹脂は単にガラス繊維の位置保持を分担する機能を持つものとする考えを設計理念としている。

※ 水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編(案)((社)水門鉄管協会)等では、FW 管と称している。

ただし、日本工業規格 JIS A 5350(1991)「強化プラスチック複合管」では、成形方法による区分はなされていない。

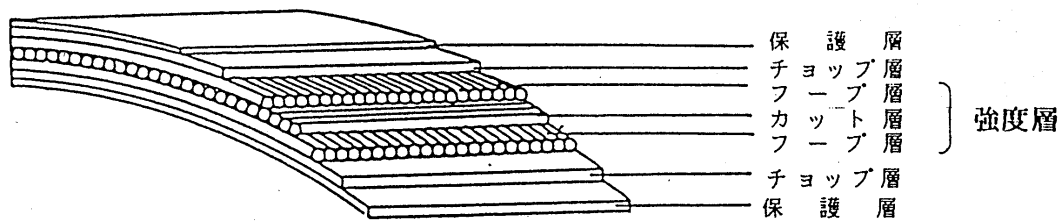


図 2-8-1 FRP I 類管の断面構造図

b. FRP II 類管

II 類管とは、高速回転する円筒型枠内に樹脂、ガラス短繊維を連続的に供給し、遠心力で脱泡しながら FRP 層を積層成形する方法で製造される管であり、この積層を補強層と称している※。管の内・外面保護層は樹脂であり、目的は I 類管と同様である。

II 類管では、ガラス繊維の含有率と強度の関係を実験で検証した強度に基づいて設計する方法が採られている。

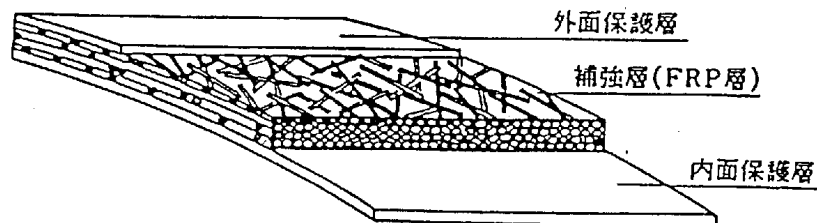


図 2-8-2 FRP II 類管の断面構造図

※ 水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編(案)((社)水門鉄管協会)等では、CC 管と称している。ただし、日本工業規格 JIS A 5350(1991)「強化プラスチック複合管」では、成形方法による区分はなされていない。

c. FRPM 管

FRPM 管は管の内面と外面の FRP 層の間に珪砂を骨材とし、FRP と同一の樹脂を使用したモルタル等を配して剛性を高めた管であり、I 類、II 類がある。管体に発生する応力は主として FRP 層が負担し、モルタル層は内外面の FRP 層間の間隔を保って剛性を高める役割をしている。

樹脂モルタルに使用される骨材は、I 類では細・粗の粒度混合調整がなされた珪砂が使用され、

Ⅱ類では遠心成形に際しての骨材の偏在を回避する粒度の珪砂が使用されている。

FRPM 管の内・外面の FRP 層は、Ⅰ・Ⅱ類とも FRP 管のⅠ・Ⅱ類と同じ特性を有している。

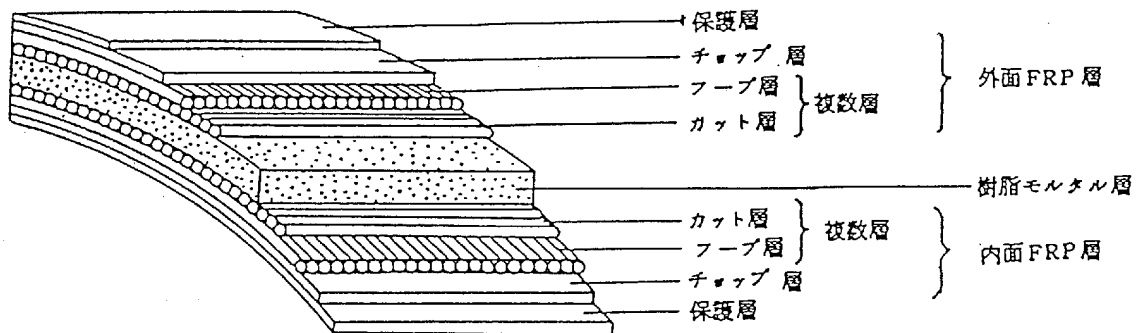


図 2-8-3 FRPM I 類管の断面構造図

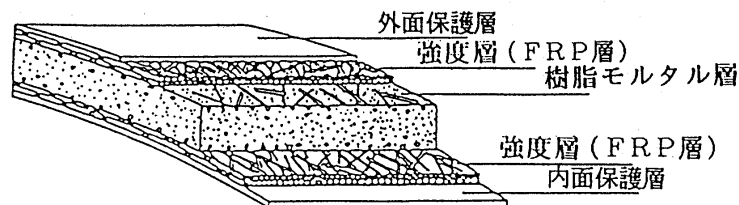


図 2-8-4 FRPM II 類管の断面構造図

d. 継手

継手は、受口、挿口で構成され、受口に挿口を挿入して接続する。FRP 管、FRPM 管ともに形状によって区分されている。

e. 支台

水力発電所の水圧管は傾斜地に設置されることが多いので、支台は管の滑動防止、支持地盤の不等沈下に対する接合部の角変位追随性、複合応力条件などを考慮して設置位置、個数などを選択する必要がある。

f. アンカerbロック

FRP 管又は FRPM 管を用いた管路の場合、各々の管はそれに付帯する支台で独自に支持されるため、アンカerbロックには水圧鉄管の場合のような長大な管路の管軸方向軸力は作用しないので、この点を考慮した設計とする必要がある。

g. 異形管

水圧管路の異形管のうち、特に高強度を必要とするものを FRP で製作する場合は、慎重な検討

が必要であり、試験にも多くの労力と費用を必要とし、製作費を含めて経済的でない場合が多い。

(3) 検討経緯

本技術開発の検討経緯は、以下のとおりである。

a. 実証地点選定、基本設計ほか実施(昭和 59～60 年度)

実証地点(新内川第二地点)を選定し、現地調査、基本設計、試験項目検討を実施した。

b. FRP 管製作・据付け(昭和 63 年度)

FRP管の設計、製作、据付けを実施した。

c. 実証試験(昭和 63～平成元年度)

実証試験要領を作成し、実証地点において実施された試験の結果について分析等を実施した。

d. マニュアル(案)作成(昭和 63～平成元年度)

FRPM管等 設計・施工マニュアル(案)を作成した。

2.8.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

(1) ケース・スタディ対象地点の概要

ケース・スタディの対象の宮の平計画地点は、長野県松本市の西方約20kmの東筑摩郡波田町に位置し、取水を行う黒川は信濃川水系梓川の支流で、流路約 13km、流域面積 30km² 程の中小河川(1級河川)であり、波田町の竜島付近において、梓川の右岸に合流している。

現在、東京電力㈱の竜島発電所は、この黒川から最大 0.5m³/sを取水し、梓川本流の稲核貯水池に注水している。

宮の平発電計画は、この黒川の河川利用率の増大及び落差の有効利用を図るため、既設の取水設備を一部改造(嵩上げ 0.46m)し、1.90 m³/sを増量取水し、最大 2.4 m³/sを旧竜島発電所(昭和44年廃止)の現存する導水路トンネルに導水し、更に既設の水槽、鉄管路、発電所建物などの一部設備を利用して、水圧管1条、水車、発電機(横軸各1台)を新設し、この間の落差約126mをもって、最大2,400kWを発電の後、放水路により梓川の右岸に放流するものである。**表2-8-1**に計画諸元を示す。

表 2-8-1 ケース・スタディ対象地点の計画諸元

項 目	諸 元
水 系 ・ 河 川 名	信濃川水系梓川黒川
流 域 面 積	27.6 km ²
発 電 方 式	流れ込み式
取 水 位	EL. 844.85 m
放 水 位	EL. 711.30 m
有 効 落 差	126.30 m
使 用 水 量	最大 2.40 m ³ /s
発 電 所 出 力	2,400 kW
年間発電電力量	11,800 MWh

(2) 比較検討ケース

宮の平計画は、旧竜島発電所の既存設備を利用する方針であり、水圧管路についても既設の支台を極力利用するものとした。比較検討のケースは、支台支持方式が異なるFRP管案が2ケースと鋼管案の3ケースとした。各ケースの概要は、以下のとおりである。また、それぞれの案の管路標準断面を**図2-8-5**に示す。

a. A 案 FRP 管使用ケース(支台支持方式)

- ・ FRP 管支台については、既設支台(旧水圧鉄管小支台)コンクリートの管路敷より上部を整形(壊し)し、幅 1.7m、長さ(水平長)3.0m、厚さ 0.4mのコンクリートベースマットを設け、荷重の分散と転倒に対する安定を図る。
- ・ 滑動に対する安定は、既設支台下部のコンクリートにコンクリートアンカーを挿入し、このアンカーのせん断抵抗により対応する構造とする。

- ・ FRP 管は、1 本の長さを既設支台間隔に合わせ両端 2 点支持による管ビーム構造とする。
- ・ コンクリート埋設部などの異形管は、鋼管(SM41A)とする。
- ・ 管運搬用設備はインクラインとし(管路中間の 2 箇所のに、高圧送電線が上空を横過しており索道架設不可)、レールは管路敷上に直接設置する。

b. B 案 FRP 管使用ケース(連続基礎支持方式)

- ・ FRP 管支台は、既設支台の管路敷上部をとり壊し、管路敷(玉石張り)上の全線に、幅 1.5m、厚さ 0.125mのコンクリート版を設け、FRP 管を据え、120° 連続支持の二次コンクリートを打設する。
- ・ FRP 管は、9m管を使用する。(全管緩衝ゴムを使用)
- ・ 鋼管部は、A 案と同じである。
- ・ 管運搬用設備も A 案と同じである。

c. 鋼管コンクリート支台支持方式(C 案)

- ・ 支台は、既設支台の表面の凍害部等劣化部分をはつてモルタル吹付等による補修を行い、支台として使用する。
- ・ 小支台は、旧鉄管のサドル部をはつり、120° 支持の二次コンクリートを打設する。
- ・ 鋼管は、最長 7mとし、サドルコンクリート内に継手が入らないよう、5.5～7.0m の管を組み合わせる。
- ・ 管運搬用設備はインクラインとし、レールは H 鋼を支台上に敷設する。

(3) 経済性に関するケース・スタディ結果

各案の水圧管路工事費算出結果は、**表2-8-2**のとおりであり、A案がもっとも経済性に優れていることが判明した。

B案と比べると、A案では管長さを既設支台位置に合わせる必要があるため、管購入費が増となるものの、土木工事費では既設支台の利用により減となり、全体工事費では 2.4百万円の減となった。

また、C案との比較では、A案は既設支台コンクリートを整形しコンクリートベースマットを設けるため、土木工事費は増となるものの、管工事費が減となるため、全体工事費では 12.3百万円、13%の減となった。

なお、本ケース・スタディでは、既設支台を利用することとしたため以上のような結果となったが、一般には地点の特性を考慮して、支持方式を含め比較検討する必要がある。

	管路形式	標準断面図
A 案	FRP管支台支持	(管中央)(支台部)
B 案	FRP管連続基礎支持	(管中央)(支台部)
C 案	鋼管コンクリート支台	(管中央)(支台部)

図2-8-5 管路標準断面

表 2-8-2

検討ケースの概要及び工事費比較表

				A案 FRP 管 使用〔FRP 管 支 台 支 持 構 造〕		B案 FRP 管使用〔FRP 管(120°)連続基礎支持構造〕			C案 銅 管 使 用			備 考
				工事費(A)	内訳等	工事費(B)	(B)－(A)	A案との比較増減説明	工事費(C)	(C)－(A)	A案との比較増減説明	
水 圧 管 工 事 費	F R P 管	材 料 費	FRP 管	12.6	使用管種：特 1 種、2～5 種、管重量 18.0t	10.4	△2.2	使用管種：特 1 種、2～4 種、管重量 14.8t カット層厚減 (△3.2t)	－	－	－	
			付属材	1.9	SUS サドルバンド 27 本 0.8 受口緩衝ゴム 0.3 スライドリング 0.2 スペンサー 0.1 アンカーボルト他 0.5	1.8	△0.1	● 管本数減(△3 本)によるサドルバンド スライドリング、アンカーボルト減△0.3 ● スライドリング(減 27 ヶ) △0.1 ● 管緩衝ゴム(増 460kg) ±0.3	－	－	－	
			小 計	14.5		12.2	△2.3		－	－	－	
		据 付 費	3.0	● 据付費(27 本) 1.1 ● 管置場整備他準備片付 0.6 ● 作業員宿舎、旅費、仮設材運搬等共通費 0.4 ● 安全対策他工事諸経費 0.9 据付本数 27 本	2.8	△0.2	据付本数 24 本(減 3 本分) △0.2	－	－	－		
		計	17.5		15.0	△2.5		0	△17.5			
	銅 管	据 付 費	6.3	重量 7.4t (異形管－フランジ管含む)	6.3	0	(A 案 と 同 じ)	26.1	－	重量 44.4t (現場着)	土木と共用できる仮 設備(インクライン) は除く(土木工事、諸 経費に含む)	
		材 料 費	3.3	据付材含む	3.3	0		17.9	－	据付材含む		
		計	9.6		9.6	0		44.0	+34.4			
	合 計	27.0 *(61.6%)		24.6 *(55.9%)	△2.5		44.0 *(100%)	+16.9		*()は、銅管(C案) を 100 としたときの 工事費比率		
	土 木 工 事 費 （ 請 負 工 事 費 ベ ー ス ）	直 接 工 事 費	22.0	● 掘削(50m³) 0.2 ● コンクリートこわし(191m³) 0.2 ● コンクリート(207m³) 5.0 型枠(521m²) 2.4 ● コンクリートアンカー、ロックボルト 1.2 ● 火災対策(立木伐採) 0.4 ● 落石防止対策(25m) 1.0 ● 既設管路改修整備 4.7 SP 下部グラウト他 2.8	26.6	+4.6	連続(鉄筋コンクリート版)支持による増 ● コンクリート(増 100m³) ±2.4 ● 型枠(増 400m²) ±1.7 ● FRP 受口水抜パイプ他 ±0.5	15.8	△6.2	● 既設支台を補修使用(こわさず使用) 支台 コンクリートこわし(減 100m³) △1.6 支台コンクリート(減 70m³) △1.7 型枠(減 280m²) △1.3 既設支台補修(モルタル吹付他) ±2.0 ● 火災対策 △1.7 ● 落石防止対策他 △1.9		
諸 経 費		30.4	● 共通仮建物費(請負者事務所他) 0.4 ● 共通仮設備(インクライン 10.5、電気設備・管路搬 入路他 2.8) 13.7 ● 共通機械経費(インクライン用ウインチ、コンプ レッサー他) 1.4 ● 共通経費(インクライン、コンプレッサー運転他) 0.9 ● 安全対策費(スローブネット他) 0.9 ● 現場管理費 9.2 ● 一般管理費 2.9	30.7	+0.3	● 一般管理費(工事費増に伴う) ±0.3	32.0	+1.6	● 共通仮設備インクラインレールは、支 台をこわさないため、管路敷より支台の 高さ分(0.65～0.85m)高くなり、梁構造 となるので中間支柱が必要 ±2.0 ● 一般管理費(土木工事費の減分) △0.4			
合 計		52.4 *(109.6%)		57.3 *(119.9%)	+4.9		47.8 *(100%)	△4.6				
総 計		79.5 *(86.6%)		81.9 *(89.2%)	+2.4		91.8 *(100%)	+12.3				

(昭和 60 年度作成)

2.8.3. 実証試験結果

(1) 実証試験の目的

鋼管に比べ種々の優れた特性を有するFRP・FRPM管は、発電用導水管、水圧管、余水管としての使用実績が増えてきており、今後も新設水圧管あるいは既設水圧管の取替材料として更に普及してくることが考えられる。しかしながら、発電用水力設備の技術基準では、現在、FRP・FRPM管は水圧管材料として規定されていないため、使用する場合には「特殊設計認可」が必要である。（当時の省令による。）

このため、FRP管を採用した水圧管路において以下の実証試験が実施され、信頼性、安全性に関する検証が行われたものである。

(2) 試験実施期間

昭和63年11月、平成元年8月

据付時と9ヶ月後の2回、諸計測が実施された。

(3) 実証地点の概要

実証地点は、石川県金沢市堂町地内に建設された新内川第二発電所である。

新内川第二発電所は、犀川水系内川の上流部に位置しており、内川の本流や各溪流に取水設備を設けて最大 $3.7\text{m}^3/\text{s}$ を取水し、延長 4.7km (うち支水路延長約 1.1km)の導水路及び延長 144m の水圧管路により、内川ダム貯水池末端部右岸側に新設された発電所に導水し、有効落差 100.6m を得て、最大出力 $3,000\text{kW}$ の発電を行った後、 14m の放水路により内川に放流するものである。

新内川第二発電所の基本諸元を、表2-8-3に示す。

表 2-8-3 実証地点の基本諸元

名 称	新内川第二発電所
水 系 名	犀川水系
河 川 名	内川
発 電 方 式	水路式・流込み式
最 大 出 力	$3,000\text{kW}$
最大使用水量	$3.7\text{m}^3/\text{s}$
有 効 落 差	100.6m
運 開 年 月	平成元年3月

(4) 水圧管路、FRP 管の概要

水圧管路の基本諸元及びFRP管の設計定数は以下のとおりである。

表 2-8-4 水圧管路の基本諸元

総 延 長	191.7 m
内 FRP管部延長	114.0 m
管 内 径	1,350～800 mm
内 FRP管部内径	1,350 mm

表 2-8-5 FRP 管の設計定数

項 目		単 位	数 値
(1) 呼 び 径 (内 径)	D	(mm)	1,350
(2) 管 長	L	(mm)	9,000
(3) 設 計 内 圧	P	(kgf/cm ²)	9.63
(4) 管 内 流 速	Q	(m ³ /s)	3.7
(5) 支 台 間 隔	L	(mm)	6,000
(6) 管 路 の 傾 斜 角	α	($^{\circ}$)	37.9
(7) 水 平 震 度	K _H	—	0.12
(8) 積 雪 荷 重	W _s	(t/m ²)	0.9
(9) 水 の 単 位 体 積 重 量	W _u	(t/m ³)	1.0
(10) 管 の 単 位 体 積 重 量	W _p	(kg/cm ³)	0.0018
(11) 管 厚	T	(mm)	20.0
(仮定)			
フ ー プ 層	t _H	(mm)	10.5
カ ッ ト 層	t _u	(mm)	5.0
チ ョ ッ プ 層	t _c	(mm)	3.0
保 護 層	t _F	(mm)	1.5

(5) 実証試験の確認事項及び試験方法の概要

実証試験の主な確認事項及び試験方法の概要は、以下のとおりである。

a. 長期強度の把握

据付後及び約1年後にFRP管の静的及び動的な挙動を計測し、その状態を比較する。それらの計測データ及び工場等における諸試験データを参考にして、長期強度を推定する。

b. 支承部及び管継手部の安全性

支承部の管の応力状態から設計強度内かどうか確認する。管継手部については、管の軸方向の変位を計測し、抜け出しに対する安全性を確認する。

c. 振動に対する安全性

動的な計測を行って、振動性状から振動に対する安全性を確認する。

d. 継手部の止水性の確認

施工時において、継手部に管の外側より水圧をかけて継手部の漏水の有無を確認する。

(6) 実証試験等の結果

昭和63年11月及び平成元年8月に実施された2度の実証試験の結果は以下のとおりであり、実施されたいずれの項目についても問題はなく、十分な安全性、信頼性があることが確認された。

a. FRP 管の特性、挙動

FRP管の温度変化による挙動は、既存の資料と同じで推定どおりの結果であり、空虚時、満水時ともFRP管には全く異常は認められず安全である。

充水時、排水時とも管体にかかる水圧に応じて管体は変形するが、いずれもFRP管には異常な応力は発生せず安全である。

FRP管は複合材料で作られているが、実測値と設計値の比較により、充分安全性、信頼性のある材料特性であることが確認された。

b. 長期強度の把握

歪の実測値は軸方向、周方向とも許容値内にあり、充分安全である。

歪の実測最大値よりから推定された60年後の長期クリープ歪みは、いずれも許容歪以下である。

材料疲労試験結果と比較しても、水圧疲労は問題にならない。

c. 支承部及び管継手部

継手部の接合は、施工時にT形ゴムの位置でチェックしたが、全て正しく取付けられている。

継手部の抜け出しは、温度が下がる場合あるいは負荷遮断時など内圧が大きくなる場合に生じる可能性があるが、測定値はいずれの場合も数mmで許容値に対し十分な余裕があり、安全であることが確認された。

d. 基礎・支台の変位

据付時、充水時及び1年後に小支台の測量が行われた結果、基礎・支台の変位は小さく、全く問題ない。

e. 振動に対する安全性

動的測定の結果、負荷遮断時の水撃圧に比例して管体は変形するが、管体を伝播する振動あるいは共振は存在しない。

定常運転時の振動は数 μ m程度であり、ほとんど振動はない。

f. 継手部の止水性の確認

継手部の止水性の確認のために、外部より水圧試験が実施されたが、全ての継手部で問題はなかった。

g. FRP 管の粗度係数

超音波流量計による流量測定値と損失水頭から求められた粗度係数は、0.011～0.012である。

2.8.4. マニュアル(案)の概要

(1) 名 称

「FRPM管等、管路設計・施工マニュアル(案)」

(平成2年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、発電用水力設備の水圧管材料として、強化プラスチック管(以下、FRP管という。)並びに強化プラスチック複合管(以下、FRPM管という。)を使用する場合の、管体並びに管路の設計・施工・維持管理の検討に関する手引を示すものであり、安全、かつ経済的な中小水力の開発促進に寄与するものとする。

(3) 適用範囲

水力発電所の水圧管として使用する、FRP管及びFRPM管に適用する。

(4) 構 成

本マニュアル(案)の目次構成は、以下のとおりである。

FRPM管等、管路設計・施工マニュアル(案)目次

まえがき

第1章 目的

1.1 マニュアルの目的

1.2 定 義

1.3 適用範囲

1.4 関連法規・基準

第2章 調査・計画

2.1 調 査

2.2 計 画

第3章 管体の設計

3.1 FRP管の設計

3.2 FRPM管の設計

3.3 鋼製異形管

3.4 継 手

3.5 調整管

第4章 支台及びアンカーブロック

4.1 支台及びアンカーブロックの基本条件

4.2 支台の設計

第5章 施工及び施工管理

5.1 施 工

5.2 施工管理

第6章 試験、検査、計測

第7章 維持管理

記号一覧表

参考資料

2.8.5. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、FRPM管等の技術開発後の発展状況については、開発当時の技術完成度が高い、材料としては確立されているなどの理由により、開発当時と変りなしの評価が大勢を占めた。普及状況については、比較的良く普及しているとの回答が多かったが、建設費低減への寄与程度に関しては、資材費(特に曲管)が割高である等の指摘もあった。

アンケート調査によれば、本モデルプラント設計調査による技術開発成果を踏まえ、FRPM管等の採用実績は、水力発電所の水圧管路、余水路、導水路などの管材として、既に63件、採用発電所の合計出力は約33万kW(既設・工事中地点、重複あり)に上っており、これに伴う建設費低減額は約26億円と見込まれる(表4-2、4-3参照)など、本技術開発は大きな成果を上げつつあり、採用を計画している地点も多いことから、今後も成果が期待される。

コストダウン以外の効果としては、耐摩耗性、耐酸性、耐電食性に優れ、維持・補修作業が軽減され、酸性河川においても酸蝕の心配がない、軽量であり、ソケット方式のため溶接等の高度な技術が必要ない、損失水頭が以前に比べ小さくなった、などの評価が寄せられている。

FRPM管等が採用された発電所及び水圧管路等当該設備の主要諸元は、添付資料-4-8～4-10に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 採用事例における指摘事項

アンケート調査の結果によれば、FRPM管等に関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 長期的安全性の確認
- ・ 曲管、継手などのコストダウン
- ・ 点検項目・方法などの検討

また、マニュアルの改訂が望まれる事項として、以下の点が挙げられている。

- ・ 保守管理(点検他)における測定項目の種類、方法などに関する記述の充実
- ・ 積算に関する記述の充実

b. 不採用事例について

アンケート調査の結果、FRPM管の採用が検討されたものの採用に至らなかったケースが5例回答されている。それらの主な不採用の理由は、以下のとおりである。(詳細は第4章参照)

- ・ FRPM管は直管部に有利であり、直管部が短い場合FRP管の利点が発揮されない。
- ・ 曲線部等はコスト面から鋼管となり、これらとFRPM管の継ぎ手に要する費用は、鋼管どうしをつなぐ場合に比べ割高となる。また、口径が大きくなると経済性が劣る傾向がある。

- ・劣化程度の把握、漏水部の特定等の保守方法が確立していない。
- ・継手部からの漏水の危険性が、鋼管より高い。

(3) 発電用水力設備に関する技術基準について

平成9年1月、(社)水門鉄管協会は「水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編(案)」を策定した。この技術基準(案)は、本モデルプラント設計調査による「FRPM管等、管路設計・施工マニュアル(案)」(平成2年3月)、FRPM管等の使用実績などをベースとし、材料の基本物性に関する試験結果、基本物性値の定式化、多軸応力下での安全性評価方法などの新たな知見や複合材料としての特性などを織り込んで作成されたものである。

一方、「発電用水力設備に関する技術基準」が平成9年に全面改正され、基準の機能性化等が行われた。この基準(省令)と、この改正に伴い制定された「発電用水力設備に関する技術基準の解釈」において、強化プラスチック管を使用する場合について、以下のとおり定められている。

a. 使用材料

【省令】(抜粋)

第3章 水路

(一般事項)

第26条 水路は、次の各号により施設しなければならない。

(省略)

- 五 水路に使用するコンクリート以外の材料は、水路に必要な化学的成分及び機械的性能を有するものであること。

(省略)

《解釈》(抜粋)

(水路のコンクリート以外の使用材料)

第22条 省令第26条第五号に規定する水路に必要な化学的成分及び機械的性能を有する材料とは、鋼材を使用する場合にあっては、次のとおりである。

(省略)

- 2 前項において、強化プラスチック管を使用する場合にあっては、次のとおりである。

水門鉄管技術基準(平成9年5月26日初版)FRP(M)水圧管編第3節第7条(主要耐圧部の材料)に掲げるFRP(M)管

b. 許容応力

【省令】(抜粋)

(水圧管路)

第32条 水圧管路は、次の各号により施設しなければならない。

- 一 次の表の上欄に掲げる形式の水圧管路にあっては、それぞれ同表の下欄に掲げる荷重による応力及びこれらの荷重のうち地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

《解釈》(抜粋)

(管胴本体の許容応力)

第32条 省令第32条第一号に規定する材料の許容応力とは、地震力以外の荷重による応力に対する場合で、鋼材を使用する場合にあっては、次のとおりである。

(省略)

- 4 第1項において強化プラスチック管を使用する場合にあっては、水門鉄管技術基準(平成9年5月26日初版)FRP(M)水圧管編第3節第18条(許容応力)に掲げるものである。

なお、許容応力については、導水路及び放水路に対しても水圧管路と同様に規定されている。

(4) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)のほかに、FRP(M)管の採用にあたり参照すべき基準等は、以下のとおりである。ただし、この中小水力標準化モデルプラント設計調査のうちの「一体型水力発電システムに関する技術開発」(平成2～8年度)では、その設計・施工マニュアル(案)において、FRP(M)管の設計は「水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編」((社)水門鉄管協会)に準拠し行なうとしている。

- ・「一体型水力発電システム 設計・施工マニュアル(案)」(通商産業省資源エネルギー庁、(財)新エネルギー財団、平成9年3月)
- ・「水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編」((社) 水門鉄管協会、平成9年5月)
- ・「日本工業規格 JIS A 5350(1991) 強化プラスチック複合管」

2.9. 水圧管路等自動システム施工に関する技術開発

水圧管路等自動システム施工に関する技術開発

(平成4年度～13年度調査)

概要

近年、中小水力発電所建設の水圧管路工事において、高所、急崖等危険の多いことや、熟練工不足等が懸念されている背景を踏まえ、建設工事費の低減を念頭におきつつ、熟練工不足への対応や安全確保を主眼とする自動システム施工法(プレキャスト基礎工法、支柱基礎工法)の立案、工事の自動化・機械化についての検討、実証試験結果の分析評価を行い、その成果として自動システム施工のためのマニュアル(案)作成を行ったものである。

分類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

水圧管路自動施工、プレキャスト基礎工法、支柱基礎工法、送り出し、自動溶接・検査、施工性向上、安全性向上、環境調和

適用範囲

管径 $\phi 600 \sim \phi 1,800$ の水圧管路、余水路

2.9.1. 新技術の概要

(1) 目的

本技術開発に着手した当時(平成 4 年度)、中小水力の開発については、開発地点の山間奥地化に伴い、環境との調和に一層の配慮が必要となること、小規模水力の施工においては急傾斜地での人力作業が中心となり、これらの作業を行う後継者が不足してきていること、また、高度な技術を持った熟練工が不足してきていること等が懸念されており、これらは現在においても共通する課題となっている。

これらの背景を踏まえ、本技術開発は、水圧管路工事における建設工事費の低減を念頭におきつつ、熟練工不足への対応や安全確保を主眼とする工事の自動化、機械化などについて検討したものである。

(2) 全体システムの基本条件

自動システム施工法の種類は、以下の 2 工法とする。

a. プレキャスト基礎工法

水圧管路敷に高強度のプレキャスト板を利用し、防蝕を施した水圧鉄管を直接支持させ、従来の小支台による多点支持に対して、水圧管路基礎に作用する応力を面でとらえることにより軽減させる工法である。



b. 支柱基礎工法

水圧管路基礎部に支柱を採用することによって、土工量を大幅に削減させ建設用地面積を少量化させると共に、水圧管路計画ルート上に河川、溪流などが存在する場合に大きく線形を変更することなく実施できる工法である。



c. 据付システム

水圧鉄管据付は、システム－A、B、C の 3 タイプとする。

システム－A は、車輪等を施した移動可能な作業架台に芯出し・肌合わせ装置、自動溶接装置、検査装置及びそれに係わる機器を搭載し(以上を作業ユニットと呼ぶ)、水圧鉄管の接合箇所まで軌条を利用して移動させ、芯出し・肌合わせ、溶接、検査の一連作業を自動化して連続で行い水圧管を据え付ける方法である。システム－B は、鉄管荷取り地点の作業ヤードに芯出し・肌合わせ装置、自動溶接装置、検査装置を搭載した作業架台を設置し、定位置で水圧鉄管の芯出し・肌合わせ、溶接および検査を行った後、順次水圧鉄管を送り出す方法である。システム－C は、継手方式をシステム－A の溶接からメカニカル継手に変更したものである。

(3) 設計・施工上の基本的な考え方

自動システム施工の設計・施工上の基本的な考え方は以下のとおりである。

a. 水圧鉄管

本施工法で採用する水圧鉄管に使用する材質は、「水門鉄管技術基準 社団法人水門鉄管協会」に記載されているものとする。

b. 使用機器(自動溶接機、非破壊検査装置、芯出し・肌合わせ装置)

本工法で採用する機器は、本工法の目的が自動化による工期短縮、安全性の向上及び熟練工削減であるため、可能な限り手作業を自動化できるものとする。

c. プレキャスト基礎工法

(a) 単位管長

単位管長は 3m の倍数を標準とする。ただし、これにより難しい場合は、輸送条件、管路線形を考慮して決定するものとする。

(b) プレキャスト板形状

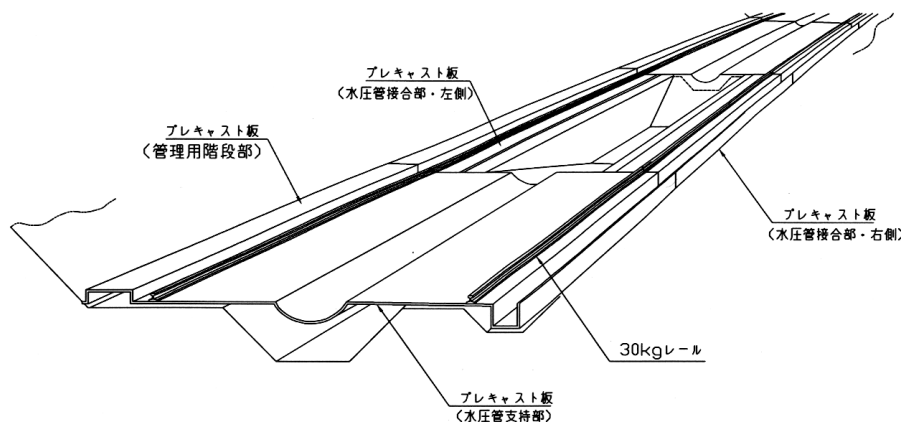


図 2-9-1 プレキャスト板形状

(c) 水圧管路線形

縦断線形は 45° 以内とする。また、線形変化点では、縦断角変化は $\theta \leq 10^\circ$ 平面角変化は概ね $\theta \leq 15^\circ$ とし、複合角についてはその都度検討を要する。

なお、システム-B については、鉄管を送り出す工法であることから、平縦断ともに直線とする必要がある。

(d) 運搬設備

プレキャスト基礎工法で採用する運搬設備はインクラインを基本とし、ケーブルクレーン等との併用はしないものとし、設備の二重化は避けるものとする。

d. 支柱基礎工法

(a) 水圧管路線形

平面及び縦断共に直線 ($\theta = 0^\circ$) とする。

(b) 支間長

水圧管路等を送り出す工法のため、片持ち梁状態になることから曲げ応力及びたわみ量を考慮し支間長を設定する。

(c) 管厚

従来設計により算定される管厚と送り出しに伴う応力から必要となる管厚とを比較し、大きい値を採用する。

(d) 支持方式

送り出し方法は、サドルサポート支持かローラサポート支持とする。

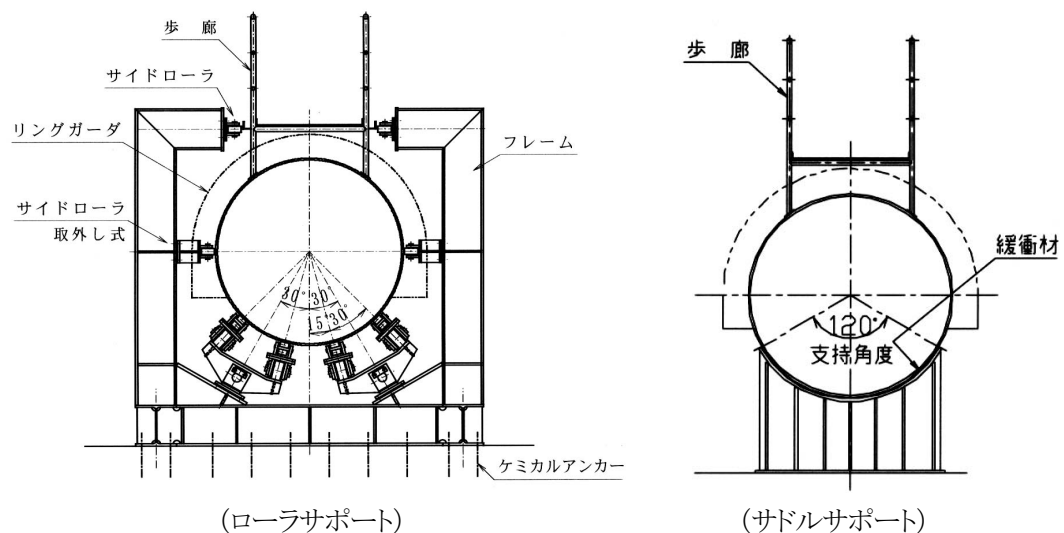


図 2-9-2 送り出し時の支持方式

(e) 施工管理

鉄管の送り出し時の施工管理は、転倒防止、支点反力、ねじれ、軸心の変位を管理することを基本とする。

(4) 技術開発における主な検討課題とその対策

a. 作業ユニットの損料低減化

当初、芯出し・肌合わせ作業は、芯出し・肌合わせ装置を使用して極力自動化することを目指したため、作業ユニットの損料が高くなってしまい、工事費増加の一因となった。そこで、作業ユニット損料の低減化についての検討を行った結果、芯出し・肌合わせ作業の一部を人力作業に戻して、作業ユニットの損料を下げることにした。

b. 送り出し方式

当初、支柱基礎工法においては、ローラを採用した送り出し方式について提案したが、ケース・スタディにおいて、管径に比較して管厚が薄い場合、もしくは1スパン長が長い場合には、管本体への作用応力が大きくなり完成時の必要管厚に対して過剰な管厚が必要となることが判明した。

したがって、ローラ方式の他にサドル方式を検討した。ローラ、サドル両方式で検討を実施した結果、 $\phi 750\text{mm}$ を境に管径が大きくなると、サドル方式の方が、小さくなるとローラ方式の方が有利であることが判明した。

(5) 検討経緯

a. 関連技術調査と基本構想の検討(平成4～5年度)

自動システム施工技術として採用可能と考えられる関連技術についての文献、特許などの調査及び、在来工法における現状把握としてアンケート調査を実施し、鉄管路、FRP管路工事及び管路基礎工事の自動システムにおいての基本構想を立案した。

b. 自動システムの技術的検討(平成5～9年度)

自動システムの基本構想から適用条件、施工方法など技術的検討を重ねた結果、据付システムとして移動式溶接、定位置式溶接、メカニカル継手の3工法、施工システムとして、プレキャスト基礎工法、支柱基礎工法、型枠一体工法を立案した。また、送り出し工法として作業ユニットの設計、送り出し方式についても立案した。

c. ケース・スタディの実施(平成6～10年度)

立案した自動システムの適用条件から、ケース・スタディ実施地点の選定を行い、工程、工事費を算出し在来工法及び、各工法の経済性評価を行い、さらに課題の抽出、改善、適用効果の確認を行った。

d. 実証試験の検討・実施(平成10～12年度)

実証試験の条件、施工計画上の留意事項、調査試験計画と分析評価方法等を取りまとめ、実証試験に当たっての実施要領を検討した。これに基づき、工場試験、現場試験が実施された。

e. 設計・施工マニュアル(案)の作成(平成12～13年度)

自動システム2工法について、これまでに行った検討内容から概要、適用条件、施工方法並びに実証試験結果を整理し、調査、設計、施工を総括的に説明したマニュアル(案)を作成した。

2.9.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

プレキャスト基礎工法(管径1,000mm、延長164m、傾斜26°)、支柱基礎工法(岩手県企業局 柏台地点、管径1,800mm、延長181m、傾斜0°)について以下の条件によるケース・スタディを実施し、各工法の工事費、工期などを算出し、以下の結果を得た。

表 2-9-1 プレキャスト基礎工法

	システムA	システムB	システムC
工事費	1.047	0.991	0.867
工 期	0.800	0.677	0.677
作業人員	0.718	0.562	0.565

* 数字は、従来工法を1.0とした時の比率

表 2-9-2 支柱基礎工法

	ローラ式	サドル式
工事費	0.944	0.914
工 期	0.711	0.711
作業人員	0.557	0.823

* 数字は、従来工法を1.0とした時の比率

2.9.3. 実証試験結果

(1) 実証試験の目的と条件

実証試験の目的は、自動システム施工法を実際の現場において施工することにより、本技術開発の目的である4項目（建設コストの低減、熟練工不足への対応、作業の安全性の確保、自然環境への配慮）が達成できたかを確認するものである。

a. 建設コストの低減

実際に要した工事工程、人員配置を確認し、従来工法及び支柱基礎工法の計画段階における建設コストを再評価することにより、建設コスト低減効果について把握する。

b. 熟練工不足への対応

実際に要した熟練工の人員数を確認し、従来工法及び同工法の計画段階における人員と比較することにより、熟練工不足への対応としての効果について評価する。

c. 作業の安全性の確保

作業員や工事現場周辺の安全確保を図り、設計、検討上の妥当性を検証する。

d. 自然環境への配慮

必要な工事区域を明確にすることにより、従来工法及び支柱基礎工法の改変面積の比較を行うことにより、周辺自然環境への影響について評価する。

(2) 実施期間

平成13年7月～11月

(3) 実証地点の概要

実証試験を実施した柏台地点は、北上川水系松川及び北ノ又川両河川から合わせて最大使用水量 $7.60\text{m}^3/\text{s}$ を取水し、導水路、水槽、水圧管路を経て発電所に導水し、有効落差 42.3m を利用して最大出力 $2,600\text{kW}$ の発電を行った後、松川第一頭首工直上流の松川に還元放流する流れ込み式発電計画である。

水圧管路は、岩手郡松尾村寄木地先の松川本川水路と北ノ又川水路の合流点付近(合流点に水槽が配置)から発電所までの $1,014.537\text{m}$ であり、そのほとんどが埋設FRPM管である。

水圧管路のうち、実証試験の対象は、北ノ又川を横断する管径 1.8m 、長さ 181m 、鉄管重量約 184t の水管橋である。

表2-9-3に発電計画諸元、**図2-9-3**に水管橋の構造一般を示す。

表 2-9-3 実施地点及び基本諸元

名 称	柏台発電所
水 系 名	北上川水系
河 川 名	松川、北ノ又川
発 電 方 式	流れ込み式(水路式)
最 大 出 力	2,600kW
最 大 使 用 水 量	7.60m ³ /s(松川:3.50m ³ /s、北ノ又川4.10m ³ /s)
有 効 落 差	42.30m
年間可能発電電力量	11,819MWh
運 開 (予 定) 年 月	H14年10月

(4) 対象水圧鉄管(水管橋)諸元

支持形式：リングガーター支持

管 径：1,800mm

延 長：181.000m

傾 斜：0°（水平）

管 厚：12～30mm

(5) 実証試験結果

a. 工事工程実績

主要な工種の稼働日数は75日程度であった。なお、雑工事などを含めた全稼働日数は125日と、ほぼ計画した110日に近い作業日数で据え付けることが可能であった。

b. 施工人員実績(熟練工)

溶接工や技師、据付工などの施工人員数については、芯出し・肌合わせ装置を含めた自動溶接機や、自動超音波探傷装置などの導入により、水圧鉄管工事で980人を要し、ほぼ計画した1,005人に近い必要人員数となった。

c. 建設費の低減実績

建設コストに対する評価については、自動溶接機などの改造費や機械損料の考え方により大きく変化するが、今回の実績では、従来工法(ケーブルクレーンによる架設案)に比べ、当初10%の削減が図れるものと想定したが、実証試験(工場制作費、現地据付費)では約7%の削減となった。

d. 工事用地(工事による改変面積の実績)

自然環境への配慮については、仮設備による改変面積により評価することとし、今回の工事必要面積は、従来工法(ケーブルクレーンによる架設)に比べ、約8%の削減となった。

e. 作業の確実性、安全性について

機械化・自動化により、人力作業が削減されたことにより、災害の発生確率は確実に減少した。実証試験に関係した方々へのヒアリングでは、些細な点で改善すべき事項はあったが、システム本質に関わる点においては確実性・安全性の課題はなかった。

ただし、送り出し時のリングガータ飛び越しは、作業手順が複雑であり、より確実に安全な施工のためには、何等かの工夫が必要であるとの意見があった。

2.9.4. マニュアルの概要

(1) 名 称

「水圧管路等自動システム施工法の設計・施工マニュアル(案)」

(平成 14 年 3 月 経済産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目的

本技術開発に着手した当時(平成 4 年度)、中小水力の開発については、開発地点の山間奥地化に伴い、環境との調和に一層の配慮が必要となること、また、小規模水力の施工においては、急傾斜地における人力作業が中心であり後継者不足となっていること、熟練工が不足してきていることなどが懸念されており、現在においても共通する課題となっている。

これらの背景を踏まえ、本技術開発は、水圧管路工事における建設工事費の低減を念頭におきつつ、熟練工不足への対応や安全確保を主眼とする工事の自動化、機械化などについて検討したものである。

(3) 適用範囲

表 2-9-4 システムの適用範囲

施 工 法	水圧鉄管据付システム(作業ユニット)			水圧鉄管 支持方式	基礎方式
	名 称	作業架台方式	継手方式		
フレキャスト基礎工法	システム-A	移動式	溶 接	連続支持	フレキャスト板直接基礎
	システム-B	固定式		リンク・カーター	
	システム-C	移動式	メカニカル	連続支持	
支柱基礎工法	システム-B	固定式	溶 接	リンク・カーター	支柱基礎

(4) システムの選定方法

自動システム施工法の選定に当たっては、地点特性を考慮し選択するものとする。地点条件による自動システム施工法選定フローを、**図 2-9-4** に示す。

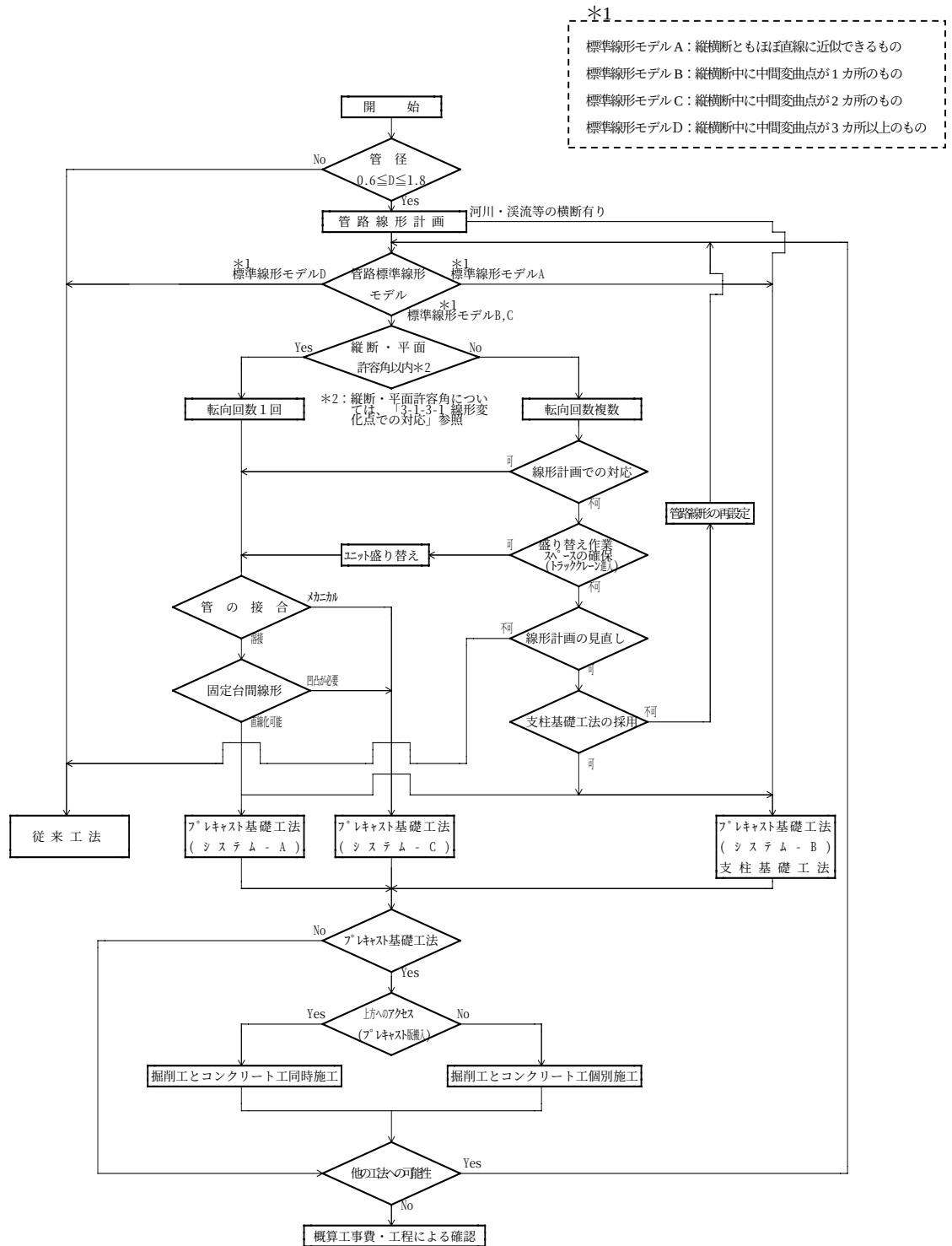


図 2-9-4 自動システム施工法選定フロー

(5) マニュアル(案)の構成

自動システム施工に関する合理的な設計、施工について、「水圧管路等自動システム施工法の設計・施工マニュアル(案)」を作成した。以下に、マニュアル(案)の目次を示す。

「水圧管路等自動システム施工法の設計・施工マニュアル(案)」目次

第1章 一般

- 1-1 目的及び背景
- 1-2 自動システム施工法の定義
- 1-3 適用範囲
- 1-4 自動システム施工法・据付システムの概要
- 1-5 自動システム施工法の適用範囲

第2章 計画

- 2-1 調査
- 2-2 計画

第3章 設計

- 3-1 プレキャスト基礎工法
- 3-2 支柱基礎工法

第4章 施工計画

- 4-1 プレキャスト基礎工法
- 4-2 支柱基礎工法

第5章 仕様書

- 5-1 特記仕様書

第6章 工程計画

- 6-1 工程計画
- 6-2 施工作業時間
- 6-3 サイクルタイム

第7章 積算及び歩掛り

- 7-1 機械経費
- 7-2 施工歩掛り

(6) 特記仕様書

自動システム施工法による水圧管路等工事の特記仕様書における記載事項は以下のとおりである。

第1章 総則

- 第1条 目的
- 第2条 工事概要
- 第3条 施工範囲及び施工区分
- 第4条 工事工程
- 第5条 設計変更

第2章 据付ユニットの仕様

- 第6条 自動溶接機本体
- 第7条 検査装置本体
- 第8条 芯出し・肌合わせ装置本体
- 第9条 付属設備

第3章 施工

- 第10条 据付ユニットの現地搬入及び組立
- 第11条 据付ユニットの分解搬出

第4章 仮設備

- 第12条 仮設備の配置及び土地の使用
- 第13条 電力設備及び工事用電力
- 第14条 その他の仮設備

第5章 施工に関する調査及び報告

- 第15条 施工記録
- 第16条 その他

第6章 その他

2.9.5. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、水圧管路等自動システム施工に関する技術開発後の発展状況については、現在開発中または適用地点がないので不明としたものや、「開発当時と変りなし」が最も多かった。

普及状況については、適用事例が少ない点を背景に「どちらとも言えない」から「小さい」までの回答がほとんどであった。主な意見としては、地形的な制約等から一般的な普及にはまだ課題が残るとするものや、将来、労働力不足の時代が来れば普及すると思われるなどがあった。

また、安全面への評価が全般に高く、建設費低減、工期短縮についても「どちらかと言えば大きい」が大半を占めた。

採用実績については、実証試験を実施した現在工事中の柏台地点の1件(出力 2,600kW)である(表4-2、4-3参照)。

コストダウン以外の効果としては、熟練工が縮減される、工期が短縮できる、ケーブルクレーンが不要であり工事用地が縮小できる、などの評価が寄せられている。

柏台地点及び当該設備の主要諸元は、添付資料-4-11に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 今後の課題

(a) プレキャスト基礎工法

プレキャスト基礎工法は、熟練工不足への対応、工程の削減が図られ、工事費や建設面積についても地点によっては従来工法に比べ削減することができることから現実的な工法であると判断した。しかし、本システムで採用しているプレキャスト板は、土木工事での実績が少なく、価格的にも高価である。したがって、今後は、プレキャスト板の価格動向を把握するとともに、線形、延長、管径毎に工事費を検討する必要があると考えられる。

(b) 支柱基礎工法

実証試験が実施され、本工法の適用効果を確認することができたが、今回の実証試験で、支柱基礎工法の最も大きな課題は、リングガーダの飛び越し方法であることが判明した。リングガーダの飛び越しは、安全性・施工性の観点から更に簡易的な設置・手順で実施できるように工夫する必要があり、例えば、ジャッキのストローク(今回、10cm)の増加やリングガーダ高の低減など、補助架台を省略する対策を検討する必要があると考えられる。

b. 当該技術に関する最近の動向

本工法において、最も重要な自動溶接機、自動検査装置の最近の技術動向について、水圧鉄管の施工メーカー18社に対してアンケート調査を実施した。

(a) 自動溶接機について

回答のあったメーカーのほとんどが自動溶接機を所有している。しかしながら、基本的に、大規模な工事量のある鋼材を対象としており、水圧鉄管では、揚水発電所の大口径、極厚高張力鋼を

対象として開発された溶接機である。芯出し・肌合わせについては、油圧ジャッキによる肌合わせを行っているメーカーが16社あった。この中で本工法への適用は、何等かの改造を必要とするものの自動溶接機を所有しているメーカーの5割程度が可能である。

(b) 自動検査装置について

回答のあったメーカーの3割程度が自動検査装置を所有しており、その全てがAUTである。本工法への適用は、そのまま利用できるものと若干の加工を要するものがあった。

c. アンケート調査結果における指摘事項

アンケート調査の結果によれば、水圧管路等自動システム施工技術に関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ サドルサポートによる送り出しは、リングガータの乗り越えに複雑な作業手順が必要であり、再考を要す。
- ・ サドルによる塗装の損傷が見られるため、サドルと鉄管の間の緩衝材等の検討を要す。

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)の他に参照すべきものとしては、以下のものが挙げられる。

- ・ 「水門鉄管技術基準(第4回改訂版)水圧鉄管・鉄鋼構造物編、溶接・接合編」((社)水門鉄管協会、平成13年8月)
- ・ 「水門鉄管鋼溶接部超音波探傷検査要領」((社)水門鉄管協会、平成8年2月)
- ・ 「水門扉検査要領」((社)水門鉄管協会、昭和60年3月)

2.10. 地下構造物の建設に関する技術開発

地下構造物の建設に関する技術開発

(昭和 62 年度～平成 3 年度調査)

概 要

我国の未開発一般水力の 3 分の 1 余りは国立公園等自然環境保全地域内に計画されており、これらの開発のためには、自然環境との調和上、構造物をできる限り地下化することが考えられる。本技術開発は、中小水力を対象として、一般に地上式に比べて割高になりがちな地下発電所を極力経済的に建設するための、合理的な調査・設計・施工方法等を開発したものである。

分 類

適用段階 (調査) (計画) (設計) (施工) 保守運用、その他 ()
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、(発電所) 放水路、水車・発電機、
全般、その他 ()

最終成果の形態

報告書、(マニュアル) 実証試験実施要領、その他 ()

キーワード

地下発電所、地下空洞、NATM、吹付け永久覆工、天井クレーン省略、設備合理化、環境調和、
覆工節約

適用範囲

断面積が 200 m² 以下の小規模な弾頭形又はたまご形断面の中小水力の地下式発電所

2.10.1. 新技術の概要

(1) 目的

水力開発地点計画策定調査(第5次発電水力調査)によると、我国の未開発一般水力は国立公園等自然環境保全地域内のものが地点数で全体の34%(955地点)、出力では38%(4900MW)を占めている。これらの水力地点を開発するためには、自然環境との調和上、構造物をできる限り地下化することが考えられる。本技術開発は、中小水力の地下発電所を極力経済的に建設するための、合理的な調査・設計・施工方法などの開発を目的としており、これにより自然公園内の未開発水力の開発を促進しようとするものである。

(2) 新技術のコンセプト

我国では、現在(平成3年度)までに一般水力で約20地点、揚水式で約20地点、合計約40地点の地下式発電所が建設されている。近年、地下発電所の規模は、揚水式発電所のスケールメリット追求による大容量化に伴い大規模化しており、これらを安全かつ経済的に建設するために、NATM理論に基づいた設計・施工技術が用いられるようになった。しかしながら、これらの手法は詳細な調査・試験・解析などが必要であり、中小水力の地下式発電所にこの方式を採用するとコストアップにつながる場合が多い。したがって、経済的な発電所建設のためには、中小水力を対象とした設計方法等の合理化が必要である。

本技術開発は、中小水力でも採用が可能となるよう、地下空洞の大きさをできる限り小さくすること、NATMの考え方にに基づき支保工は吹付けコンクリートとロックボルトを原則とし永久覆工を兼ねるものとしたこと、天井及び壁面の二重壁を省略したことなど、経済性を考慮した地下式発電所の調査・設計・施工技術を開発したものである。

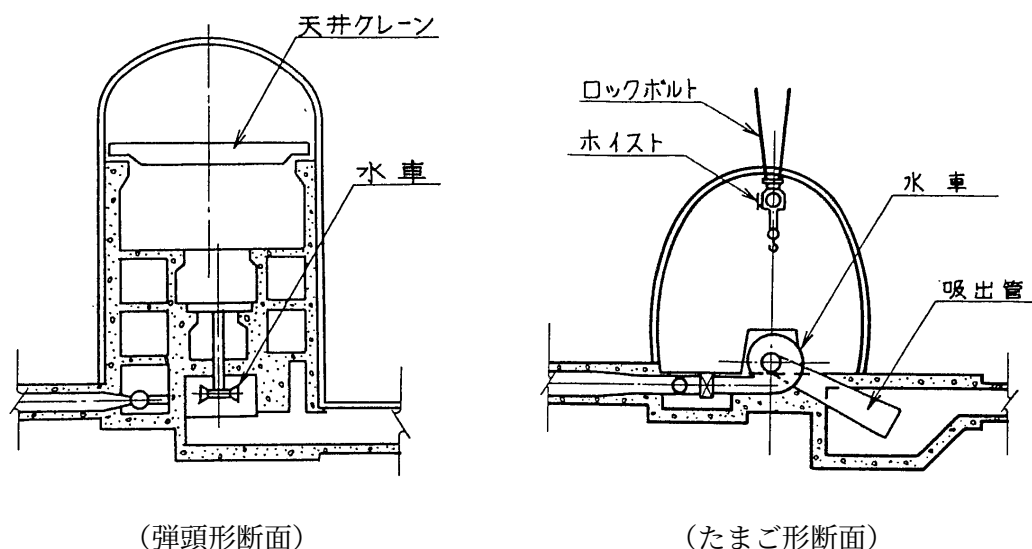


図2-10-1 中小水力地下発電所の代表的断面形状

(3) 採用に当たっての検討事項

a. 地下式発電所の選択

地下式発電所の計画に当たっては、発電計画全体の中での経済性及び地形、地質、自然環境保全、保守管理、法規制などを総合的に調査、検討する必要がある。

地下式発電所は、地上式、半地下式と比較して一般に工事費が割高であるが、以下のような場合には地下式が選択されることがある。ただし、地下式を採用する場合には、地下に大空洞を設けることになるので、構造物を安全かつ経済的に建設するために、地質条件が良好であることが前提となる。

- ・ 自然公園法等の指定地域内で、自然環境の保全上地上に施設を建設できない場合
- ・ 地形が急峻で、発電所を地上式、半地下式とすることができない、又は経済的に不利である場合
- ・ 岩石の崩落や雪崩などの危険があり、発電所を地上式又は半地下式にできない場合
- ・ 揚水式で、押込みヘッドの関係から地下式を選択せざるを得ない場合
- ・ その他

b. 空洞の位置と配置

地下式発電所空洞の位置や配置の選定に当たっては、地形、地質、水路系との関連及び主要変圧器、諸トンネルなどの配置との関連など、経済性を考慮して比較、検討を行なう必要がある。

- ・ 空洞の位置は、大規模な破砕帯や湧水帯を極力避け、ダムや水路系のルートなど、全体計画における総合的な経済性から位置を選定する。
- ・ 空洞は、長手方向壁面が破砕帯や節理の卓越方向とできるだけ直角になるように配置し、また、空洞の長軸方向を初期地圧の卓越方向と一致させることが望ましく、両者の方向が一致しない場合は、影響の大きい前者を重視して、空洞の配置を決めることが望ましい。
- ・ 地下発電所の周囲には、工事中及び完成後の機能維持のため、作業坑、搬入トンネル、ケーブルトンネルなどが必要であり、地下発電所の位置や配置の選定に当たっては、これらのトンネルとの関連についても十分検討する必要がある。

c. 空洞の規模

空洞の規模(高さ、幅、長さ)は、主機(水車、発電機)の大きさや附属機器、主要変圧器、組立室などの配置を考慮して決定されるが、経済性、安定性、施工時の安全性などから、保守管理上支障が生じない範囲でできる限り小さくすることが望ましい。このため、水車機種、機器据付用設備、組立室のコンパクト化などについて、空洞規模をより縮小するために以下のような検討を行なう必要がある。また、これらのほか、主要変圧器・開閉所の設置位置や水車・発電機関連機器の簡素化、コンパクト化にも留意が必要である。

(a) 水車機種の選定

水車機種の選定に当たっては、使用水量と有効落差から決まる適用範囲、流況特性や電気関係工事費を加味した経済性、運転・保守の容易性などに加えて、空洞規模に与える影響につ

いても考慮する必要がある。

本技術開発が対象としている中小水力は、落差 100～400m 程度、最大使用水量 10m³/s 以下程度の比較的高落差、小流量の地点が中心であり、この範囲に適用される水車は、**図 2-10-2** に示すように一般的にはフランシス水車とペルトン水車であり、両水車の中間領域に適用されるターゴインパルス水車も適用可能領域にある。これらの水車は、空洞規模や構造上の要件、放水位、発電電力量、機器代などに**表 2-10-1** に示すような特徴があるので、これらを踏まえ、空洞工事費、電気関係費、年間発電電力量などを総合した経済性、保守・運転の容易性などを考慮して、機種を決定する必要がある。

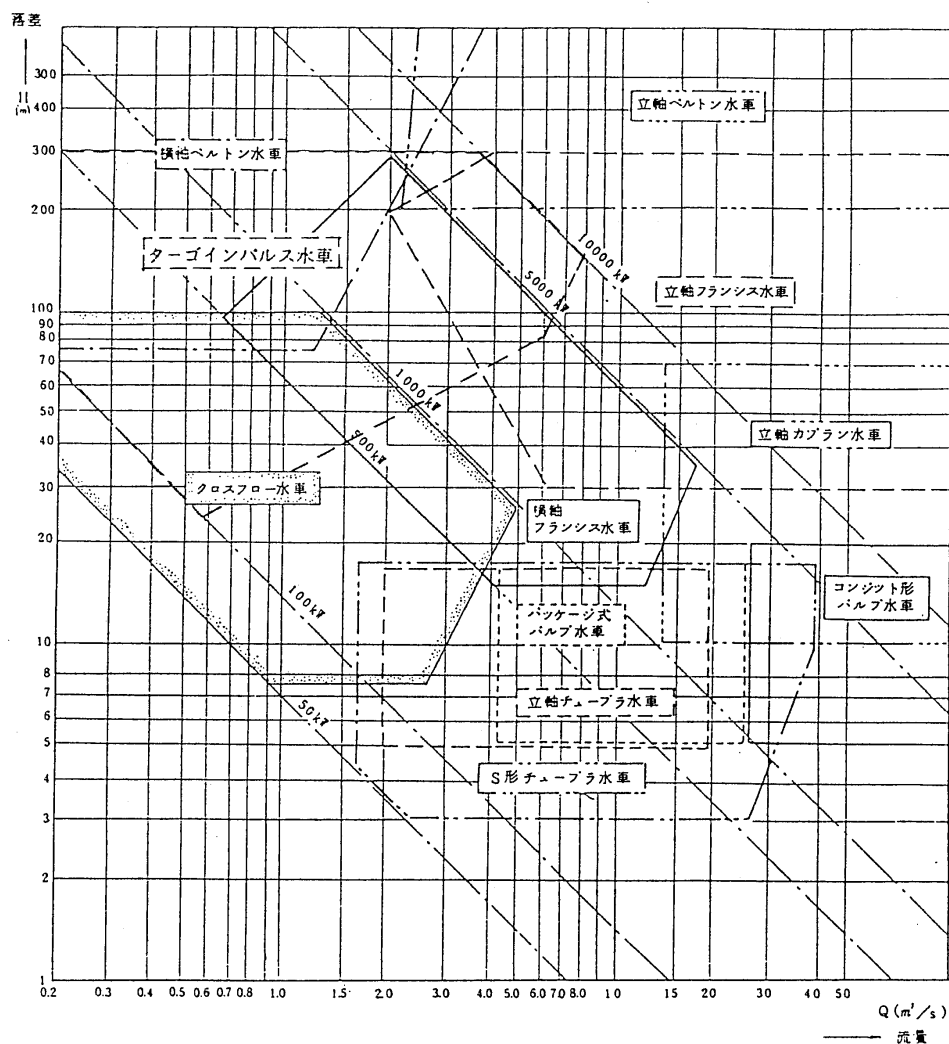


図2-10-2 水車選定図(平成3年度作成)

表2-10-1 水車の比較

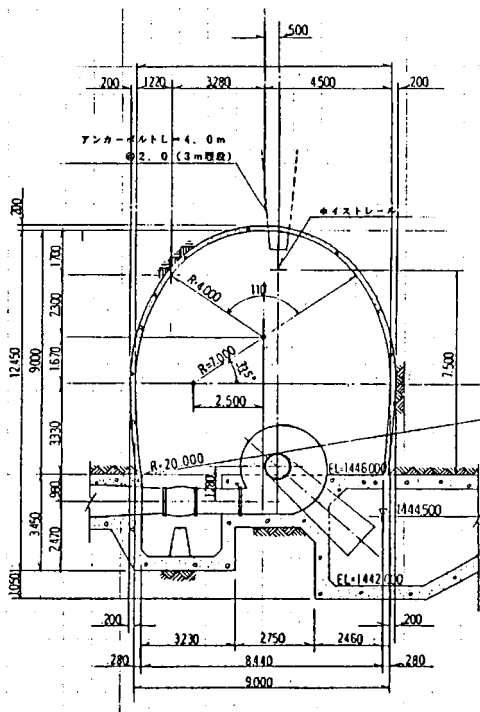
項 目	フ ラ ン シ ス 水 車		ペ ル ト ン 水 車		ターゴインパルス水車
	立 軸	横 軸	立 軸(4射)	横 軸(2射)	横 軸(2射)
地下発電所 空洞規模と 構造	- ペルトン水車より、水車・発電機は小さくて済むが、立軸のため、発電所内の構造が最も複雑。 - 空洞の規模は、ペルトン水車の場合よりかなり小さくて済む。	- 水車、発電機とも同一床面に設けるため構造が簡単。 - 空洞規模は5ケースのうち最小。	- 特有速度が小さいため、フランシス水車より水車・発電機は大きくなる。 - 水車室と発電機室が必要。 - 空洞規模は、フランシス水車の場合より、かなり大きくなる。	- 立軸ペルトンと同様、フランシス水車より、水車・発電機は大きくなる。 - 水車、発電機は、同一床面に設けるため構造が簡単。 - ノズルを空中に設けるため、空洞規模はフランシス水車よりかなり大きくなる。	- 水車、発電機は、同一床面に設けるため構造が簡単。 - 水車は5ケースのうち最も小さいが、ノズルの平面的広がりが大きくなり、空洞の平面積は大きくなる。
放水位と有効落差	最大使用水量に相当する河川水位を放水位とすることができ、ペルトン水車より落差を有効に利用できる。	同 左	衝動水車のため、放水位は、河川の洪水位より高い所に設けるのが一般的で、その分フランシス水車より落差が減少する。	同 左	同 左
電力量と設備利用率	- 水車効率、ペルトン水車と比べて負荷率の大きい範囲は高く、小さい範囲は低い。 - 負荷率 30～35%以下では、キャビテーションを起こす恐れがあり、発電は不能となる。 - 年間発電電力量、設備利用率とも、ペルトン水車の場合より一般に(流況にもよるが)10%前後減少する。	同 左	- 水車効率は、負荷率の大きい範囲では、フランシス水車より劣る。 - 一般に4射のノズルを有しているため、負荷率10%程度まで、高効率で運転可能。 - 年間発電電力量、設備利用率とも、一般に(流況にもよるが)フランシス水車の場合より10%前後増加する。	一般に2射のノズルを有しているため、年間発電電力量、設備利用率とも、一般に(流況にもよるが)立軸ペルトン水車(4射)の場合より減少するものの、フランシス水車よりは増加する。	- 水車効率は、高負荷時ではフランシス水車やペルトン水車より劣るものの、低負荷時での効率はフランシス水車よりかなり高い。 - 年間発電電力量、設備利用率とも、横軸ペルトン水車に準じる。
水車・発電機 の費用	ペルトン水車より安い。	ターゴインパルス水車に次いで安い。	最も高い。	フランシス水車より高い。	最も安い。

(b) 機器据付用設備の検討

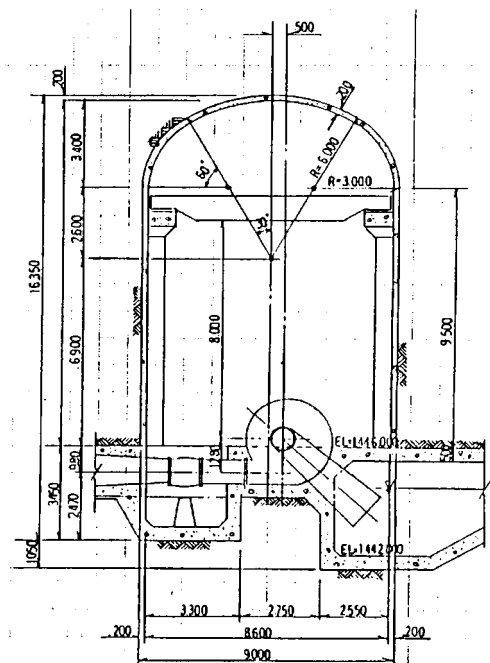
小規模地下式発電所においては、空洞規模を縮小してコスト低減を図るために、天井クレーンに代わる機器据付用設備の採用を検討する必要がある。

発電所の機器据付は、天井クレーンを用いて行うのが一般的な方法であるが、天井クレーンの場合使用頻度があまり高くないにも関わらず、空洞規模が大きくなり土木工事費が増加することや、クレーン設備費がかなり高額であることなどによってコストを上げる要因となっている。このため、空洞規模を縮小しコスト低減を図るために、天井クレーンに代わる据付方法の採用が考えられる。その方法としては、アーチ部岩盤に挿入したロックボルトにより支持したホイスを用いる方法、簡易門型鉄骨支持のホイスによる方法、及びコロ引きとジャッキによる方法が考えられ、これらの各方法の最大吊り上げ荷重は、簡易門型鉄骨支持のホイスの場合 30t 程度、コロ引きとジャッキの場合で 15t 程度である。ロックボルトにより支持したホイスの場合は、岩盤の強度に支配されるため一般的には規定できないが、岩盤の強度が充分期待できればコロ引きとジャッキの場合と同程度と考えられる。

機器据付用設備の能力は、一般に据付時の最大重量である発電機のローター(回転子)の重量により決まり、ロックボルト支持ホイスの場合、5MW 程度以下の横軸フランシス水車が吊り上げ可能範囲に入る。



(ロックボルト支持ホイスの場合)



(天井クレーンの場合)

図2-10-3 機器据付用設備と空洞断面の例

(c) 組立室のコンパクト化

一般に、中小水力発電所の組立室の占める割合は、空洞規模の割りに大きい。このため、組立室を機器の据付、保守管理に支障を来さない範囲でできるだけコンパクト化することが、空洞の規模縮小に大きく寄与する。

組立室の必要スペースは、水車の型式・種類などにより異なるが、横軸機の場合は据付時よりオーバーホール時の発電機ローター引き出しに必要なスペースにより決まることが多く、この引き出しスペースを短縮することが重要である。その方法として、ローターを分割しておけば、引抜き時に継ぎ手毎に分割して引き出すことにより、スペースの短縮が可能となる。一方、立軸機の場合は、主機が上下に設置される関係上、組立室は別途設けざるを得ず、そのスペースは最大組立部品の大きさと作業用スペースにより決まる。

(4) 検討経緯

a. 既設地下式発電所並びに地下構造物に関わる資料収集整理(昭和 62 年度)

既設工事々例(地下・半地下・公園内立地)のアンケート調査並びに関連資料の収集

b. 地下構造物の設計・施工マニュアル(案)の作成(昭和 63～平成 3 年度)

昭和 63 年度 基本構想、マニュアル(案)概成の作成

平成元年度 想定モデルスタディを基に見直し

平成 2 年度 発電設備合理化の成果を基に見直し
弾頭形またはたまご形断面を基本として見直し

平成 3 年度 公園内立地に関する検討の成果を反映

F・P 両水車可能地点における機種選定と空洞規模について検討

c. 地下式発電所標準モデルケース・スタディ(昭和 63 年度)

中規模(15,000kW)の地下発電所を想定し、周辺岩盤を B～CH 級・CL 級の 2 ケースについて検討

d. 発電設備合理化の検討及び地下式発電所ケース・スタディ(開発計画地点)(平成元年度)

水車型式、補機類などの選択、配置による空洞のコンパクト化、天井クレーンの省略などによる空洞の縮小可能性について調査し、開発計画地点(立山川・祖母谷第二)について検討

e. 小規模地下式発電所ケース・スタディ(平成元年度)

小規模(5,000 kW)の地下発電所を想定し、空洞のコンパクト化について検討

f. 地質調査手法・岩盤物性値及び計測管理基準(案)の作成(平成元～3 年度)

平成元年度 基本構想、概成の作成

平成 2 年度 空洞断面積 200 m² 級の小規模地下発を対象に、より合理的な調査手法等について見直し

平成 3 年度 岩盤物性値(E、C、 ϕ)の解析結果に及ぼす影響度合いの検討、
総括とりまとめ

g. 自然公園内立地の検討及び発電所ケース・スタディ(開発計画地点)(平成 2 年度)

自然公園内立地の地下構造物と地上付帯設備に関する調査、設計、施工条件などを調査し、開発計画地点(黒又川第三・奥祝子・二軒小屋)について検討

h. 地下式発電所ケース・スタディ(実地点)(平成 3 年度)

実地点(二軒小屋)を対象に、空洞形状、計測計画、管理基準などについて検討

2.10.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

地下式発電所の空洞規模に影響する「水車機種の選定」に関するケース・スタディを行なったものであり、モデル地点(黒又川第三地点)を対象に、フランシス水車、ペルトン水車、及びターボインパルス水車の3機種について、空洞形状、経済性などを比較したものである。

(1) ケース・スタディ対象地点の概要

ケース・スタディ対象地点の計画地域は、新潟県と福島県の県境付近の越後山脈南部の急峻な壮年期性の山岳地帯にある。本計画地域の東方は、大鳥岳(1,319m)を主峰とする標高1,200～1,300m級の連峰、西方は明神山、鼓が倉山など標高1,000級の山々に囲まれている。山地は全体に開折が進んでおり、赤紫沢など大小の谷が刻んでいるが、著しく起伏に富んだ地形で、断崖をもって黒又川河床に臨む急傾斜の山腹がしばしば見られる。

河川は著しく屈曲した峡谷をなしており、平地は殆ど認められないが、黒又川第二ダム貯水池末端付近に、小規模な平坦な段丘地形が見られる。

地質は概ね古生層で、一部に古生層中に貫入した第三紀の火成岩が分布し、また、これらを基盤としてその上を被う第四紀層が分布している。古生層はホルンフェルス化した粘板岩、砂岩、チャートなどを主体とし、第三紀火成岩類は花崗岩類が卓越している。本流の黒又川取水ダム地点の地質は、ホルンフェルス化した粘板岩で概して塊状、堅硬である。水槽から発電所にかけての斜面は40～50度で、基岩は粘板岩、チャートから成り概ね良好である。

本計画は、「第5次発電水力調査」によれば、黒又川上流部三ツ又口小屋下流350m付近に取水ダムを設けて取水し、途中5ヶ所の溪流取水を合わせ、最大使用水量8.0m³/sを取水し、延長約9.0km(本水路約7.5km 支水路約1.5km)の無圧導水路トンネルで既設黒又川第二ダムの貯水池末端付近の右岸側に設ける発電所に導水する。この間に得た有効落差168mにより、最大出力10,900kW、年間発電電力量41,500MWhの発電を行った後、黒又川第二ダムの貯水池(HWL 412m)に放水するものである。

なお、本計画地点は、全域が越後三山只見国定公園(第二種特別地域)に含まれている。計画地点の基本諸元を、表2-10-2に示す。

表2-10-2 実証地点の基本諸元

名 称	黒又川第三地点
水 系 名	信濃川水系
河 川 名	黒又川
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	10,900kW
最大使用水量	8.0m ³ /s
有 効 落 差	168.0m

(2) 水車機種の検討ケース

落差、使用水量、出力などから、本モデル地点には、フランシス水車、ペルトン水車、及びターゴインパルス水車の3機種の適用が可能であり、それぞれ1台案、2台案が考えられるが、検討は以下の理由により4ケースについて行なった。

ケース1:立軸フランシス水車1台案

立軸フランシス水車の場合、1台案は2台案と比べて水車の最小使用水量が大きくなるので電力量は少なくなるが、最大出力が10,000kW程度であること、2台にしても空洞横断面はあまり縮小されずかえって空洞規模が大きくなること、水圧管路、放水路が1条で済むこと、機器費が安価であることなど有利な面が多いため、1台案とした。

ケース2:横軸フランシス水車2台案

横軸機は、一般に単機出力が小さな場合に用いられる。立軸機と比べて水車の構造上空洞断面がかなり小さくて済み、機器費も安価である。本モデル地点の場合、水車台数は1台案と2台案が考えられるが、2台案は水圧管路、放水路に2条の部分が必要なこと、空洞の縦断方向が長くなること、機器費が高くなることなど不利な面もあるが、空洞断面が小さくできるため空洞工事費が低減可能であること、水車の最小使用水量が小さくなるので電力量が増加することなどの面で有利である点を重視して、横軸フランシス水車の場合は2台案とした。

ケース3:立軸ペルトン水車1台案

ペルトン水車も立軸機と横軸機とがあり、本モデル地点では両水車の使用が可能であるが、落差、使用水量の関係から、立軸機の場合は1台でよいが、横軸機の場合は2台必要である。

横軸機2台案は、立軸機1台案と比べて、水車の構造上空洞断面は小さくて済むが、縦断方向が長くなること、水圧管路、放水路に2条部分が必要なこと、機器費が高くなること、電力量はあまり増加しないこと(立軸機1台案(4ノズル)の最小使用水量は、横軸機2台案(2ノズル)と同じ)など不利な面が多い。したがって、ペルトン水車の場合は立軸機(4ノズル)1台案とする。

ケース4:ターゴインパルス水車2台案

ターゴインパルス水車の構造は、ペルトン水車と同様衝動型でノズルとランナで構成され、1個のランナに1本のノズルのものと2本のノズルのものがあり、横軸が普通であるが、100kW以下の小型のものには立軸もある。有効落差の適用範囲は10～300m、最大出力は10,000kWまでとされているので、本モデル地点では2台案とした。

(3) 有効落差と最大出力

本モデル地点の発電方式は、流れ込み式・水路式で黒又川第二ダムの貯水池に放流する計画である。本検討での有効落差は、水槽水位より放水位とその間の損失水頭を差し引いた値とした。

放水位は、フランシス水車については黒又川第二ダムの満水位(EL.412m)、ペルトン水車、ターゴインパルス水車についてはランナと放水面との間に空間が必要であるので、放水口地点の洪水位(EL.417m)とした。

また、最大出力は次式により計算するものとした。

$$P = 9.8 \times Q \times H_e \times \zeta_T \times \zeta_G$$

ここに P :最大出力(kW)

Q :最大使用水量(m^3/s)

H_e :有効落差(m)

ζ_T :水車効率

ζ_G :発電機効率

これらより、各ケースの有効落差及び最大出力は、以下のとおりである。

ケース1:立軸フランシス水車1台案

有効落差 : 168.0m

最大出力 = $9.8 \times 8.0 \times 168.0 \times 0.903 \times 0.967 \approx 11,500kW$

ケース2:横軸フランシス水車2台案

有効落差 : 168.0m

最大出力 = $9.8 \times 8.0 \times 168.0 \times 0.879 \times 0.962 \approx 11,100kW$

ケース3:立軸ペルトン水車1台案

有効落差 : 160.4m

最大出力 = $9.8 \times 8.0 \times 160.4 \times 0.866 \times 0.963 \approx 10,500kW$

ケース4:ターゴインパルス水車2台案

有効落差 : 160.5m

最大出力 = $9.8 \times 8.0 \times 160.5 \times 0.854 \times 0.962 \approx 10,300kW$

(4) 流況

電力量計算は、当該地点の流況(至近10ヶ年)及び代表流況^{注)}の2ケースで算出するものとした。それぞれの流況曲線は、**図2-10-4**のとおりである。

注) 「水力発電所の調査・計画・立案と水車・発電機の計画・設計・標準化・簡素化」(財団法人 新エネルギー財団、昭和57年8月)により提案されたモデル流況であり、3つのタイプがあるが、本検討ではそのうち我が国で最も実績が多く、裏日本、小河川に多いモデル1流況を用い、当該地点の豊水量を基準として各流量を算出した。

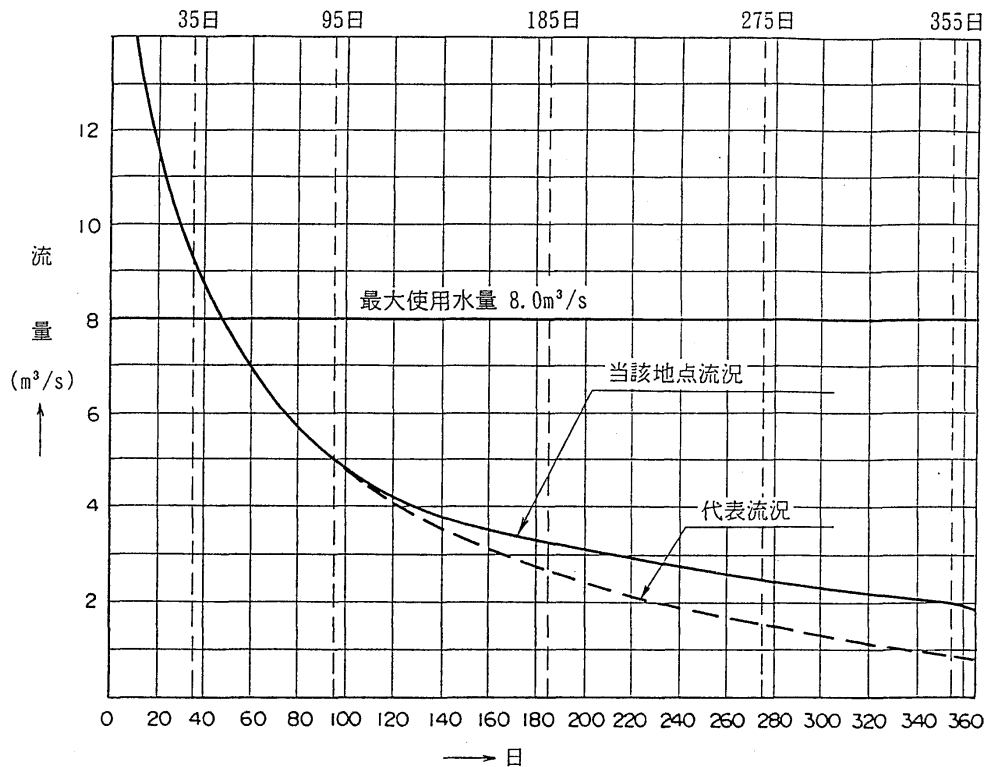


図2-10-4 取水地点流況曲線

(5) 発電電力量

a. 電力量の算定方針

本検討の電力量の算定は、流況～効率法(概算法)により、以下の方針で行った。

- 各水車の最小負荷率(最小使用水量)は、以下のとおりとした。

立軸フランシス水車1台案 : 最大使用水量の 35.0% $Q=2.8 \text{ m}^3/\text{s}$

横軸フランシス水車2台案 : " 17.5% $Q=1.4 \text{ m}^3/\text{s}$

立軸ペルトン水車1台案 : " 15.0% $Q=1.2 \text{ m}^3/\text{s}$

ターゴインパルス水車2台案 : " 7.5% $Q=0.6 \text{ m}^3/\text{s}$

- 発電電力量は、各水車の運転パターンと総合効率曲線を図2-10-5のとおり想定し、算定した。なお、立軸ペルトン水車1台案では、1ノズル運転は考慮していない。

- 河川維持流量は、 100 km^2 当たり夏期(6～11月) $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、冬期(12～5月) $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 、平均 $0.375 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。

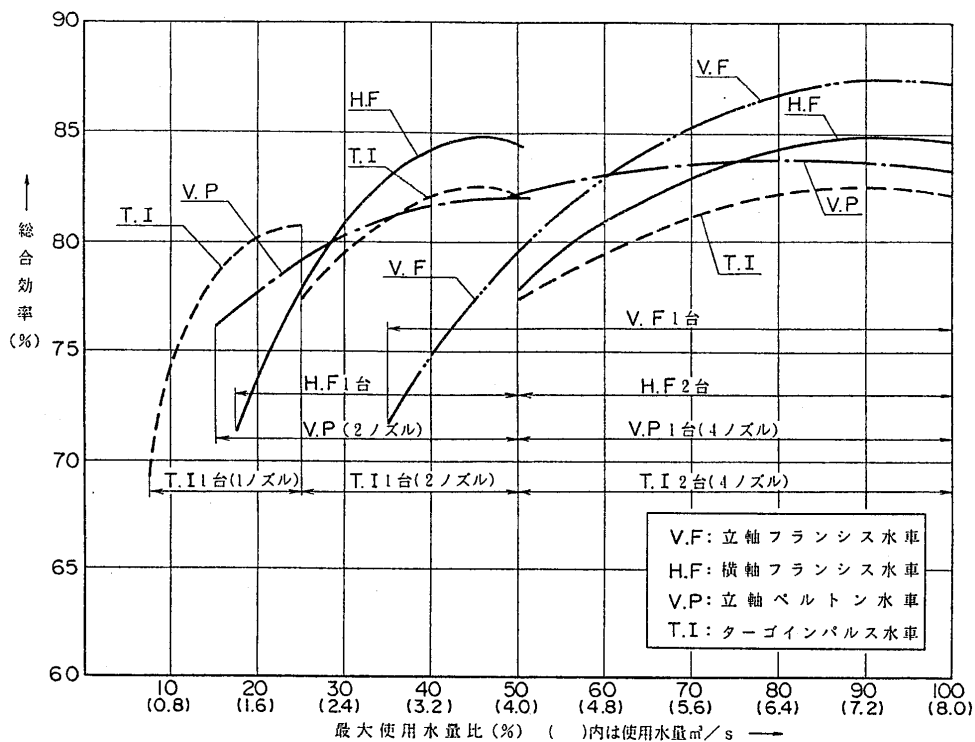


図2-10-5 各ケースの運転パターンと総合効率

b. 電力量の計算結果

各ケースの発電電力量・河水利用率などの算定結果は、当該地点の流況の場合及び代表流況の場合別に、それぞれ表2-10-3及び2-10-4に示すとおりである。

当該地点の流況の場合、表2-10-3のとおり、発電電力量は横軸フランシス水車2台案が最も多く、設備利用率は立軸フランシス水車1台案を除き、ほぼ同じ値となった。

また、代表流況の場合は、表2-10-4のとおり、ターゴインパルス水車2台案が発電電力量、設備利用率、発電不能日数などの面で最も有利となった。

なお、立軸フランシス水車1台案は他案に比し、いずれの流況の場合も発電電力量が格段に少なく、発電不能日数も非常に多い。また、空洞規模も最大であり、経済性がかなり劣ると考えられることから、以降の検討では本案を除外するものとした。

表2-10-3 発電電力量・河水利用率等の計算結果(当該地点の流況)

項 目	ケース			
	立軸フランシス水車 1 台案	横軸フランシス水車 2 台案	立軸ペルトン水車 1 台案	ターゴインパルス水車 2 台案
最大使用水量 (m ³ /s)	8.00	8.00	8.00	8.00
有効落差 (m)	168.0	168.0	160.4	160.5
最大出力 (kW)	11,500	11,100	10,500	10,300
発電電力量 (MWh)	36,153	47,303	44,905	44,320
〃 比率	0.764	1	0.949	0.937
設備利用率 (%)	35.9	48.7	48.8	49.1
発電不能日数	153	0	0	0
年間河川流量 (m ³ /s)	1,635.20	1,635.20	1,635.20	1,635.20
年間使用水量 (m ³ /s)	1,098.95	1,446.93	1,446.93	1,446.93
〃 比率	0.76	1	1	1
河川維持流量 (m ³ /s)	24.60	47.55	47.55	47.55
河川利用率 (%)	67	89	89	89

表 2-10-4 発電電力量・河水利用率等の計算結果(代表流況)

項 目	ケース			
	立軸フランシス水車 1 台案	横軸フランシス水車 2 台案	立軸ペルトン水車 1 台案	ターゴインパルス水車 2 台案
最大使用水量 (m ³ /s)	8.00	8.00	8.00	8.00
有効落差 (m)	168.0	168.0	160.4	160.5
最大出力 (kW)	11,500	11,100	10,500	10,300
発電電力量 (MWh)	31,352	38,663	37,674	38,862
〃 比率	0.811	1	0.974	1.005
設備利用率 (%)	31.1	39.8	41.0	43.1
発電不能日数	199	80	57	0
年間河川流量 (m ³ /s)	1,445.35	1,445.35	1,445.35	1,445.35
年間使用水量 (m ³ /s)	940.25	1,184.25	1,205.63	1,267.45
〃 比率	0.83	1	1.04	1.08
河川維持流量 (m ³ /s)	22.05	34.05	40.05	47.55
河川利用率 (%)	65	82	84	88

(6) 空洞の規模

a. 空洞の設計方針

空洞の設計は、以下の方針により行った。

- ・ 設計範囲は、発電所と空洞前後の水圧管路、放水路とする。
- ・ 空洞の断面形状は、NATMの考え方を取り入れた「たまご形」又は「弾頭形」とする。
- ・ 天井クレーンは、空洞断面の大きさに大きく影響するので、代替設備を検討しできるだけ

省略を図る。

- ・ 余水路は、代替設備を設け省略する。
- ・ 放水位は、水車の構造を考慮して決定する。
- ・ 水車・発電機の大きさは、使用水量・落差・出力などを考慮して決定する。
- ・ 付属機器は、できるだけコンパクト化したものを用いる。
- ・ 水車2台案の場合は、水圧管路、放水路の2条部分を考慮する。

b. 横軸フランシス水車 2 台案の空洞規模

以下の点を考慮して設計した結果、空洞の規模は高さ 9m、幅 9m、長さ 39m(主要変圧器室部 12m を含む)となり、長さはかなり長くなったものの、断面寸法はトンネル並みとなった。

(図 2-10-6～2-10-8 参照)

(a) 機器の配置

発電所内の機器の配置は、据付けの作業性を考慮して搬入路側から主要変圧器室、組立室、主機室、配電盤室とし、できるだけ横断方向の幅を短くするようにした。なお、水車の中心間隔はローターの引抜きを考慮して 8m とした。

(b) 天井クレーンの省略

本発電所の据付け最大重量物は、発電機のローターで約 12t であるので、据付けは電動ホイストにより行う計画とした。なお、入口弁及び余水放流バルブの据付けは、別途チェーンブロック等により行う計画とした。

(c) 余水放流設備

余水路省略の代替として、余水放流設備を主機室内に設置した。

(d) 天井高さ

主機室盤より天井までの高さは、発電機の高さ、ローターの吊上げ状態、ホイストの寸法などを考慮し、それに余裕を加えた値とした。

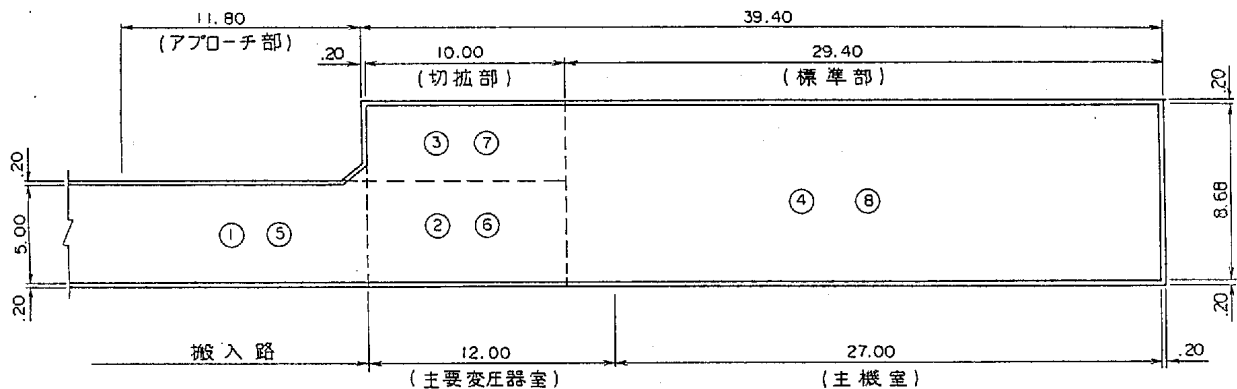


図2-10-6 横軸フランシス水車2台案の空洞規模(平面)

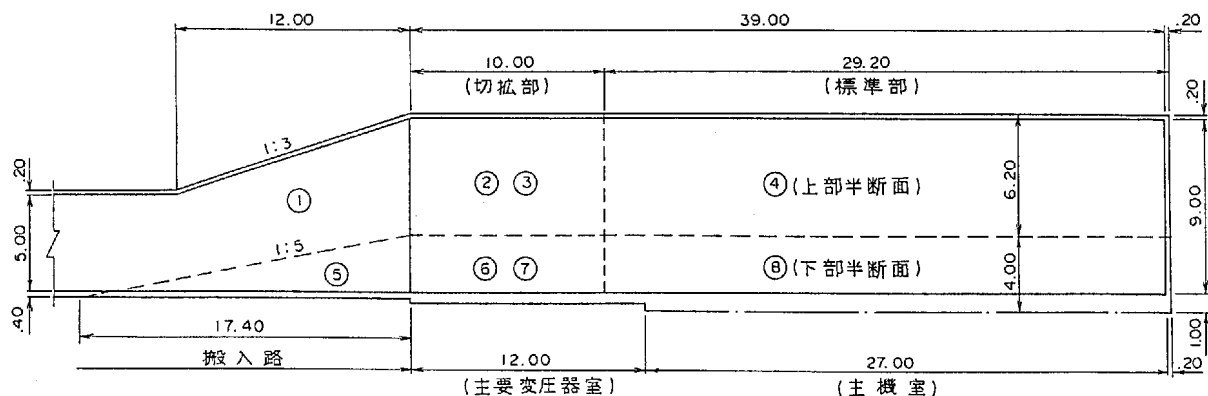


図2-10-7 横軸フランシス水車2台案の空洞規模(縦断面)

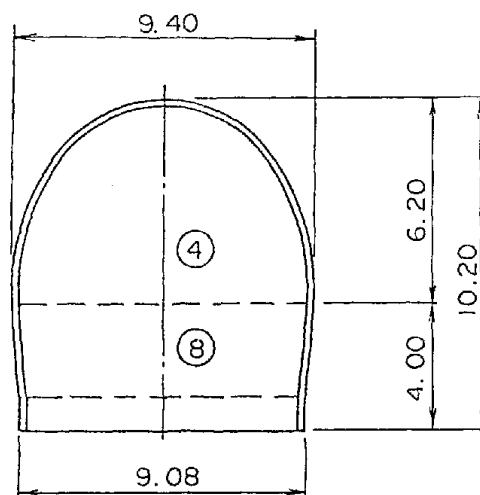


図2-10-8 横軸フランシス水車2台案の空洞規模(横断面)

c. 立軸ペルトン水車1台案の空洞規模

以下を考慮して空洞の設計をした結果、主機室は高さ20.5～28.5m、幅16m、長さ22m、主要変圧器室(搬入路部を含む)は、高さ8m、幅9.5m、長さ13mとなり、これを前項の横軸フランシス水車2台案と比較すると、断面積は最大で約5.5倍とかなり大きくなったが、長さ(主要変圧器室を含む)は4m短くなった。(図2-10-9、2-10-10参照)

(a) 機器の配置

発電所内の機器の配置は、横軸フランシス2台案と同様、機器の搬入と据付時の作業性を考慮して、搬入路側から主要変圧器室、組立室、主機室とした。このうち組立室と主機室は機器の据付との関係から同一空洞内に設け、主要変圧器室は空洞断面が小さくて済

むことから別空洞とし、組立室に隣接して設けた。また、配電盤等制御盤類は、水車の構造から主機室にかなり広いスペースができるため、特に部屋は設けずにそのスペースを利用して設置することとした。

(b) 天井クレーンの設置

本ケースの場合、据付時の最大吊り上げ重量は発電機のローターで約 43t あり、これを吊上げる代替設備が見当たらないことなどから、従来どうり天井クレーンを設置する設計とした。

(c) 余水路の省略

水車負荷遮断時の余水は、デフレクタ(水車負荷遮断時、主機を速やかに停止させる目的でノズルより噴出するジェットを遮断する装置)を利用して放流することができるので、余水路は省略した。

(d) 天井高さ

主機室より天井までの高さは、まず、発電機の高さと最大据付物である発電機のローターの吊上げ状態を考慮して天井クレーンの設置位置を決め、それより掘削面までの高さ(アーチ部)は、天井クレーンの走行に支障のない範囲でできるだけ低くした。

(e) 主要変圧器室

主要変圧器はコンパクトな複合ガス密閉型とし、設置する空洞は搬入路を含み極力小さくなるよう考慮した。

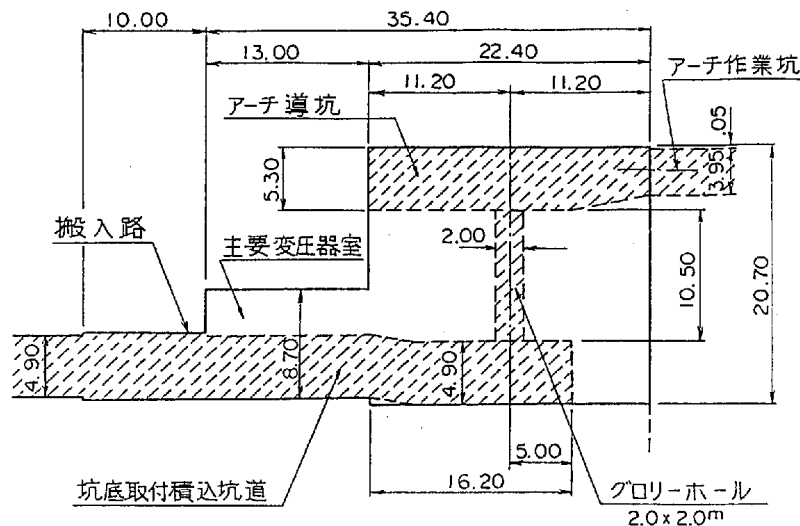


図2-10-9 立軸ペルトン水車1台案の空洞規模(縦断面)

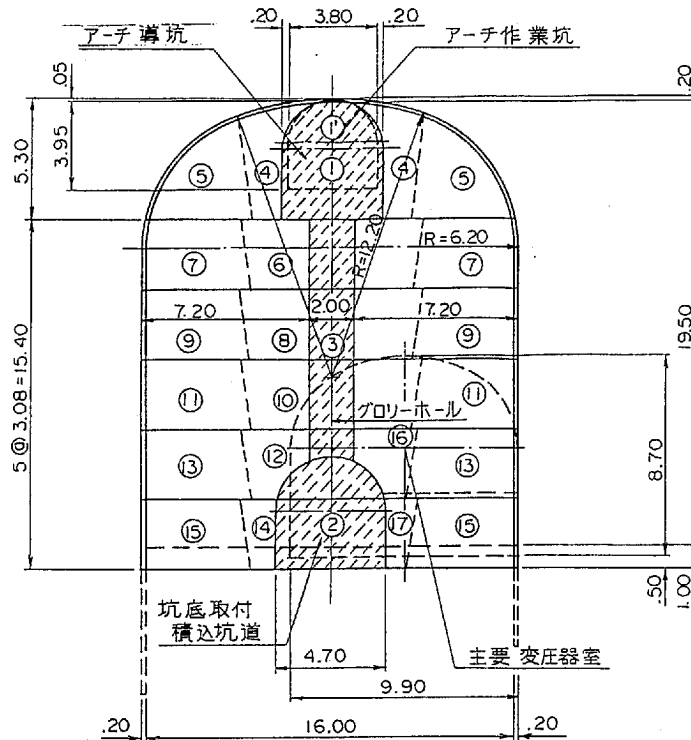


図2-10-10 立軸ペルトン水車1台案の空洞規模(横断面)

d. ターゴインパルス水車 2 台案の空洞規模

以下を考慮して空洞の設計をした結果、主機室は高さ9.0～12.4m、幅9m、長さ36mとなった。主要変圧器室は別空洞とし、高さ6m、幅6m、長さ13mとした。

これを横軸フランシス水車2台案と比較すると、主機室の幅は9mと同じであるが、高さは最大で3.4m高くなった。これは、4条部の鉄管を2列上下に設置したためであり、長さが3m短くなったのは、主要変圧器室を別空洞としたためである。(図2-10-11～2-10-13参照)

(a) 機器の配置

水車が複数の場合は横列に設置するのが普通であるが、本水車は構造上 2 台の水車を縦列に設置することが可能である。このため本設計では、空洞断面がかなり小さくなること、放水路の 2 条部が不要であること、などにより縦列に配置した。

機器の配置は、据付の作業性を考慮して搬入路の延長線上の空洞内に組立室を設け、水車はその上下流に設置した。配電盤室は、1 号機(水圧管路側)のローター引き抜きのスペースを利用し、主要変圧器室は、主機室より断面が小さくて済むため別空洞とし、搬入を考慮して組立室に隣接して設けた。

(b) 天井クレーンの省略

据付最大重量物は発電機のローターで約 12t 程度であることから、据付は電動ホイス

(c) 余水路の省略

(d) 天井高さ

(e) 主要变压器室

(f) 水压管路・放水路

放水路は、2 台の水車を縦列に配置したことにより、その下部を 1 条の水路でつなぐ構造とした。

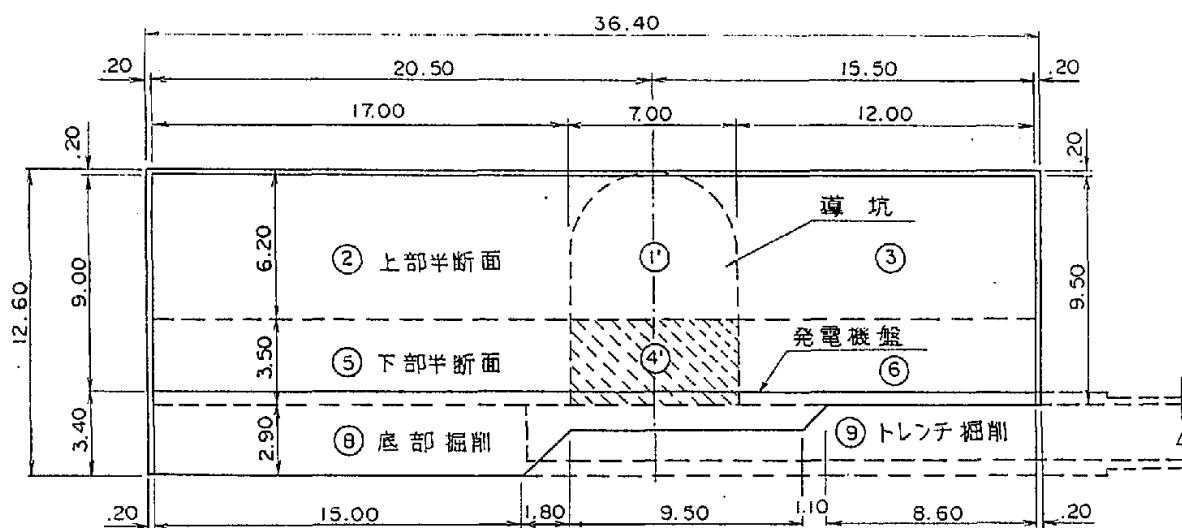


図2-10-11 ターゴインパルス水車2台案の空洞規模(縦断面)

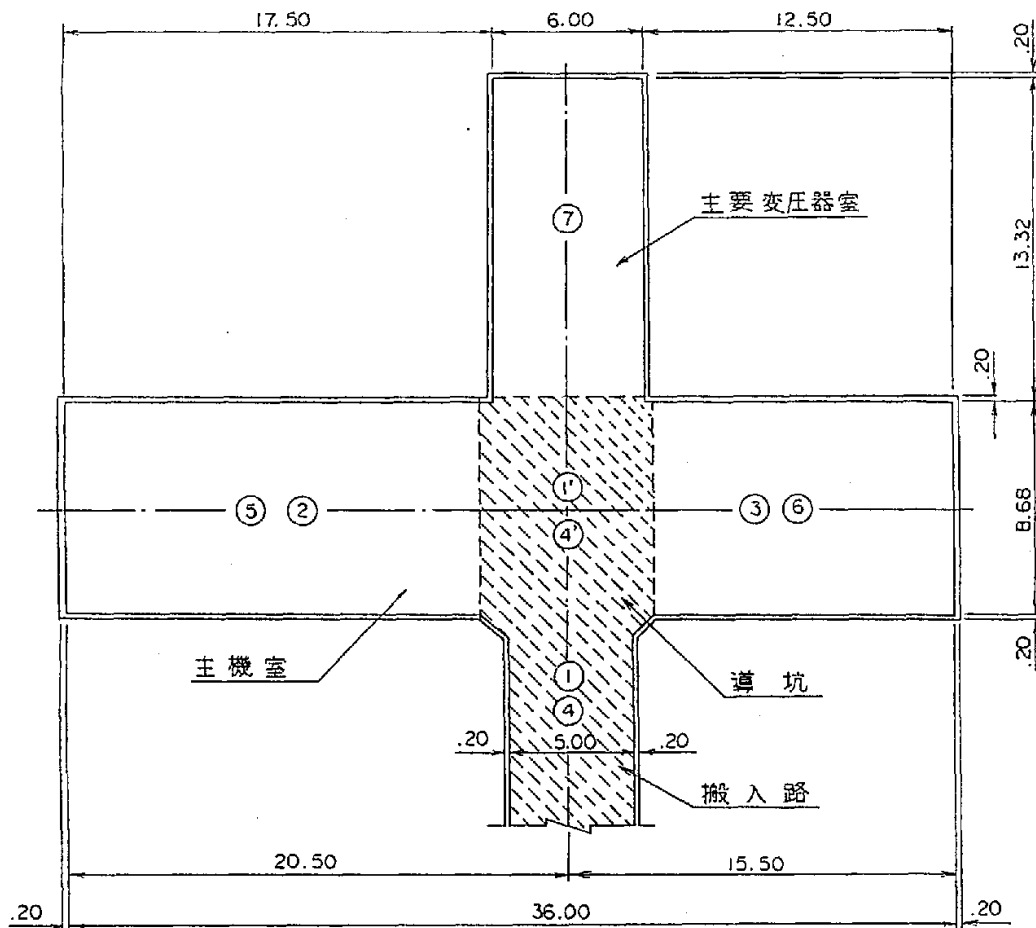


図2-10-12 ターゴインパルス水車2台案の空洞規模(平面)

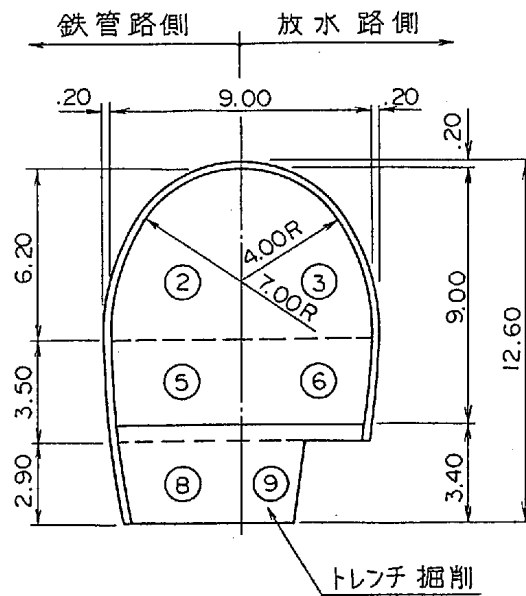


図2-10-13 ターゴインパルス水車2台案の空洞規模(横断面)

(7) 経済性の検討

空洞の形状・規模は、水車機種、台数によりかなり異なり、関連設備(水圧管路、放水路)もそれに応じて、条数、延長、断面形状が変化する。したがって、工事費の算定は発電所及び関連設備を対象に行い、取水ダム、導水路、水槽などの工事費を含めた総工事費は、この発電所・関連設備等工事費を基に推定するものとした。

工事費の算定は、以下の方針により行った。

- ・ 工事費は、主要工種を対象に概略設計図より数量を算定し、それに単価を乗じて算定する。
- ・ 工事費算定に用いる各工種の単価は、「第5次発電水力調査」の単価を至近年にスライドして用いる。ただし、これに該当しない工種の単価については、既設類似地点を参考に、至近年にスライドして用いる。

a. 発電所・関連設備等工事費

発電所、水圧管路、放水路などの土木工事費、電気関係工事費、及び事業者側費用を加えた工事費は、**表 2-10-5** のとおりである。

注) 1. 建設中利子算定に用いる工期は、発電所の工期(掘削、コンクリート、機器据付)を勘案して、ケース 1、ケース 3 は 18 ヶ月、ケース 2 は 24 ヶ月とした。

2. ケース 1 の発電所の工事費は、余水放流設備 3,500 万円を含む。

3. ケース 2、ケース 3 の発電所の工事費は、主要変圧器室の工事費を含む。

表 2-10-5に見られるとおり、工事費においてはターゴインパルス水車 2 台案が最も安く、これに対し横軸フランシス水車 2 台案は 6.3%、立軸ペルトン水車 1 台案は 20.8%高くなった。この理由は、以下のとおりである。

(a) ターゴインパルス水車 2 台案

本ケースが最も安いのは、空洞規模が小さいこと、水圧管路の 2 条部を空洞内に設けたこと、水車を縦列に配置したことにより放水路は 2 条部が不要なこと、余水放流設備が不要なこと、水車の価格及び据付費が安いこと、などが要因である。

(b) 横軸フランシス水車 2 台案

前案より発電所はやや安いのが、水圧管路の 2 条部がトンネル内であること、余水放流設備が別途必要となること、放水路に余水放流設備の減勢工を設けたこと、水車の価格及び据付費が高いことなどから、ターゴインパルス水車 2 台案と比べ高くなっている。

(c) 立軸ペルトン水車 1 台案

本ケースが他の 2 ケースと比較してかなり高いのは、空洞規模が大きいこと、発電所の工事費が大幅に高いこと、及び水車・発電機は 1 台であるが価格が高いためである。

表 2-10-5 発電所+関連設備工事費比較

項 目	(ケース 1)	(ケース 2)	(ケース 3)	備 考
	横軸フランシス水車 2 台案	立軸ペルトン水車 1 台案	ターゴインパルス水車 2 台案	
(1) 土 木 関 係	466	551	438	
① 直接工事費	388	459	365	
発 電 所	137	240	142	
水 圧 管 路	209	196	203	
放 水 路	42	23	20	
② 仮 設 備	78	92	73	①×0.2
(2) 電 気 関 係	635	680	598	
(3) 建設所運営関係	165	187	155	(1)+(2)×0.15
(4) 小 計	1,266	1,191	1,418	(1)+(2)+(3)
(5) 建設中利子	61	91	57	(4)×0.4×0.08 ×工期/12
(6) 分 担 関 連 費	13	12	14	(4)×0.01
(7) 予 備 費	63	60	71	(4)×0.05
計	1,403	1,594	1,320	(4)+(5)+(6)+(7)

(平成 3 年度作成)

b. 総工事費

総工事費は、前項の工事費に取水ダム、導水路、水槽などの工事費を加える必要があるが、本検討では、先ず、横軸フランシス水車 2 台案(当該地点の流況の場合)の建設単価を 200 円/kWh と想定し、これに年間可能発電電力量を乗じて本案の総工事費を算出する。立軸ペルトン水車 1 台案、ターゴインパルス水車 2 台案の総工事費は、この横軸フランシス水車 2 台案の総工事費に、前項の工事費における差額を加算した値とした。

横軸フランシス水車 2 台案の総工事費=47,303,000 kWh×200 円/kWh = 9,461×10⁶ 円

立軸ペルトン水車 1 台案の総工事費= 9,461-(1,403-1,594) = 9,652×10⁶ 円

ターゴインパルス水車 2 台案の総工事費= 9,461-(1,403-1,320) = 9,378×10⁶ 円

c. 経済性の比較(当該地点の流況の場合)

経済性の評価は、一般に用いられる建設単価法によるものとした。この方法は、総工事費を年間可能発電電力量で除したものであり、この値(kWh 当たりの建設単価)が安いほど経済性が良いことになる。

当該地点の流況を用いて電力量を算定した場合の経済性は、表 2-10-6 に示すとおり、横軸フランシス水車 2 台案が最も良い結果となった。この単価(200 円/kWh)を基準とした場合、立軸ペルトン水車 1 台案の単価が 7.5%(15 円)高くなったのは、工事費が 2.0%増加したのに対し、電力量は逆に 5.1%減少したためである。

また、ターゴインパルス水車 2 台案も 6.0%(12 円)高くなったが、これは工事費の低減率が 0.9%とごく僅かであるのに対し、電力量の減少は 6.3%と大きいためである。

表 2-10-6 経済性の比較(当該地点の流況の場合)

項 目	(ケース 1)	(ケース 2)	(ケース 3)
	横軸フランシス 水車 2 台案	立軸ペルトン 水車 1 台案	ターゴインパルス 水車 2 台案
最 大 出 力 (kW)	11,100	10,500	10,300
年間可能発電電力量 (MWh)	47,303	44,905	44,320
総 工 事 費 (百万円)	9,461	9,652	9,378
kW 当り建設単価 (千円/kW)	852	919	910
kWh 当り建設単価 (円/kWh)	200	215	212

(平成 3 年度作成)

d. 経済性の比較(代表流況の場合)

代表流況を用いて電力量を算定した場合の経済性は、表 2-10-7 に示すとおり、ターゴインパルス水車 2 台案が 241 円/kWh で最も良い結果となった。

横軸フランシス水車 2 台案の単価(245 円/kWh)を基準とすると、立軸ペルトン水車 1 台案は 4.5%(11 円)割高となったが、これは工事費が 2.0%増加したのに対し、電力量は逆に 2.6%減少したためである。

一方、ターゴインパルス水車 2 台案が 1.6%(4 円)割安となったのは、工事費が 0.9%低減したのに対し、電力量は逆に 0.5%増加したためである。

表 2-10-7 経済性の比較(代表流況の場合)

項 目	(ケース 1)	(ケース 2)	(ケース 3)
	横軸フランシス 水車 2 台案	立軸ペルトン 水車 1 台案	ターゴインパルス 水車 2 台案
最 大 出 力 (kW)	11,100	10,500	10,300
年間可能発電電力量 (MWh)	38,663	37,674	38,862
総 工 事 費 (百万円)	9,461	9,652	9,378
kW 当り建設単価 (千円/kW)	852	919	910
kWh 当り建設単価 (円/kWh)	245	256	241

(平成 3 年度作成)

(8) まとめ

以上の検討結果を要約すると、表 2-10-8 のとおりである。

表 2-10-8 各ケースの検討結果の比較

項 目		横軸フランシス(H.F)水車 2 台案	立軸ペルトン(V.P)水車 (4 射) 1 台案	ターゴインパルス(T.I)水車 (2 射) 2 台案
流況と電力量 の関係		高負荷時の効率がよく、 最小使用水量が大きいので 当該流況の場合のような 流況のよい場合有利である。	高負荷時の効率は、 HF2 台案より低く、低負荷 時は、TI2 台案より高い。 最小使用水量は、HF2 台 案と TI2 台案の中間で、 当該流況よりよくない場合 に有利になる。	高負荷時の効率は、最も 低いが、低負荷時の効 率が高く、最小使用水量 は、最も小さいので、代表 流況のような流況の場合 は有利になる。
空洞の規模と 施工性		据付けは、ロックアンカー 支持によるホイストの使用 が可能で、天井クレーンが 省略できるため、空洞断 面は高さ 9.0m、幅 9.0m で、最も小さい。 掘削は、上部半断面先進 と下部半断面掘削工法で 最も容易である。	据付け重量が重く天井ク レーンの設置が必要であ ること及び水車の構造か ら、空洞断面は、高さ 20.5 ～28.5m、幅 16m で、他 の 2 ケースより非常に大 きい。 掘削は大断面のため、 グローリーホールによるベ ンチカット工法で最も困 難。	据付けは HF2 台案と同 様、ロックアンカー支持に よるホイストの使用が可 能で、天井クレーンが省 略できる。空洞断面は高 さ 12.4m と HF2 台案 より 3.4m 高いが、幅は 9.0m で同じである。 掘削は搬入路盤より上部 は HF2 台案と同じ工 法。下部はトレンチ掘削 で VP1 台案より容易であ る。
関 連 設 備	水圧管路	1 条部 242.3m 2 条部は 8.5m×2 条で トンネル内に設置。	1 条部のみ。 242.3m	1 条部 232.0m 2 条部(10m×2)及び 4 条部(15m×2、15m×2) は、発電所内に埋設。
	放水路	余水放流設備の減勢工設 置。 2 条部 15～18m 1 条部 60.5m	余水放流設備はデフレ クタを用いるため不要。 1 条部のみ 70.5m	余水放流設備はデフレ クタを用いるため不要。 1 条部のみ 57.5m
発 電 不 能 日 数 (日)	(当)	0	0	0
	(代)	80	57	0
発 電 電 力 量 (MWh)	(当)	47,303 (1.0)	44,905 (0.949)	44,320 (0.949)
	(代)	38,663 (1.0)	37,674 (0.974)	38,862 (0.974)
経 済 性 (円/kWh)	(当)	200 (1.0)	215 (1.075)	212 (1.075)
	(代)	245 (1.0)	256 (1.045)	241 (1.045)

(平成 3 年度作成)

注) 1. (当)は当該流況の場合。(代)は代表流況の場合。

2. 立軸ペルトン水 1 台案は、1 ノズル運転は考慮していない。

3. ()内の数字は比率。

2.10.3. マニュアル(案)の概要

(1) 名 称

「地下構造物の設計・施工マニュアル(案)」

(平成4年7月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、一般には地上式に比べて割高となる地下発電所の調査・設計・施工などの合理化、及び中小水力の地下発電所の建設に携わる技術者の手引書となることを目的として作成したものである。

(3) 適用範囲

本マニュアル(案)は、NATMの考え方を取り入れた小規模な弾頭形又はたまご形断面の中小水力の地下式発電所工事を対象とし、計画、調査、試験、設計、計測、施工、品質管理、仕様及び積算に適用する。

ここでいう小規模とは、空洞の断面積が200 m²以下であることをいう。また、従来この種の断面で使用されていた天井及び壁面の二重壁は、省略することを前提としている。

(4) 設計・施工マニュアル(案)の構成

本マニュアル(案)の目次構成は、以下のとおりである。

地下構造物の設計・施工マニュアル(案)目次

第1章 目的及び背景

1-1 目的及び背景

1-2 適用範囲

第2章 計 画

2-1 計画一般

2-2 自然公園内の立地

2-3 地下式発電所空洞の位置と配置

2-4 空洞の規模

2-5 空洞規模の縮小化

2-6 周辺トンネル

第3章 調査及び試験

3-1 地形・地質調査

3-2 試 験

第4章 設 計

4-1 設計一般

4-2 空洞の形状

4-3 安定解析

4-4 支保工の設計

4-5 排水工の設計

4-6 換気、空気調和及び消火、防災設備の設計

第5章 計 測

5-1 計測の目的

5-2 計測計画

5-3 計測の実施

5-4 計測管理

第6章 施 工

6-1 施工計画

6-2 掘 削

6-3 支保工(覆工)

6-4 空洞施工時の変状と対策

6-5 仮設備

6-6 安全管理

第7章 品質管理

7-1 品質管理一般

7-2 吹付けコンクリート

7-3 ロックボルト

第8章 仕様書

8-1 仕様書一般

8-2 仕様書条項

第9章 積 算

9-1 積算一般

9-2 労務費

9-3 機械費

9-4 仮設備費

9-5 品質管理、観察、計測費

資 料 編 目 次

I. 計 画

資料－I. 1 水車機種による空洞の形状と経済性の検討

II. 調査及び試験

資料－II. 1 調査方法の概要

資料－II. 2 電研式岩盤等級区分基準

資料－II. 3 地下石油備蓄基地における岩盤分類

資料－II. 4 地下式発電所における代表的な試験方法

資料－II. 5 既設地下式発電所等の岩盤物性値

III. 設 計

資料－III. 1 既設地下式発電所設計図集

資料－III. 2 安定解析手法の概要

資料－III. 3 安定解析計算例

資料－III. 4 岩盤補強工の代表的な計算方法の概要

資料－III. 5 地下式発電所空洞、支保・覆工標準パターン図

IV. 計 測

資料－IV. 1 計測器一覧

資料－IV. 2 既設地下式発電所の計測設備配置図

資料－IV. 3 既設地下式発電所の計測結果

(参考文献)

(5) 仕様書

a. 仕様書一般

地下式発電所空洞工事の仕様書作成にあたっては、工事内容、他工事との関連、地域条件、その他必要事項について明示し、契約の適正な履行を図るようにしなければならない。

地下空洞の設計では、地山条件、岩盤の物性値を完全に把握し、解析の中に取り入れるのは不可能である。したがって施工にあたっては、設計時の解析結果と施工時の計測結果を比較検討し、施工に反映することが前提条件となるので、仕様書作成にあたっては、この観点にたって設計変更が円滑に行えるよう以下のような条件を明示するのが一般的である。

(a) 事前調査に基づく施工条件

事前調査資料に基づいて得られた資料を、参考として公開する。例えば、地山の岩質及び性状、施工時期、計測方法などの項目を記載する。

(b) 空洞の変状、湧水による条件変更

空洞施工時に、当初予測されなかった変状(崩落、クラックの発生、変位の急増など)や

異状湧水、その他不可抗力的な原因によって、施工が著しく困難となった場合の対策について明示する。

b. 仕様書条項

仕様書の条項は、地山条件、施工方法を十分考慮し、各工種に関し以下の事項について規定しなければならない。

(a) 空洞掘削

掘削は、施工性、経済性、安全性を考慮したうえで、周辺地山の緩みを極力防止し、できるだけ平滑な掘削面が得られるような工法を採用すること。余掘の考え方、数量及び単価内容などを規定する。

(b) 吹付けコンクリート

吹付けコンクリートに関しては、品質の良いコンクリートが施工できるよう、使用材料、配合、施工方法、吹付け厚、設計基準強度などを規定する。

(c) ロックボルト

ロックボルトに関しては、必要な定着力が得られ、品質のよいロックボルトが施工できるよう、使用材料、定着方法、施工方法などを規定する。

(d) 観察・計測

観察・計測に関しては、速やかかつ的確に実施し、設計・施工に反映できるような方法、管理体制などを規定する。

(6) 積算関係

a. 積算一般

積算にあたっては、現場条件及び施工方法を十分検討のうえ、合理的な施工計画を立て、適正な積算をしなければならない。

(a) 工事費の構成

発電所建設に係る土木工事は、発電所のほか、取水設備(ダム、取水口)、水路(導水路、水槽、水圧管路、放水路)及び開閉所などからなる。これら工事の積算に当って、どのような工事費の構成とするかは、積算業務全体に係る根本的な問題である。したがって、当該工事に最も適応した工事費の構成を考え、かつ積算業務が能率的に行えるものでなければならない。

(b) 積算の基本的な考え方

地下式発電所空洞工事の積算にあたっては、以下の事項に留意して算定する必要がある。

① 施工計画

周辺環境条件、地山条件、工事規模、構造物の配置、工期などを基に、掘削、吹付けコンクリート、ロックボルトについて適切な施工計画を策定する。

② 掘削単価の設定方法

一般にアーチ部の掘削は、導坑より切払げを行う方法がとられる。このため、アーチ部の掘削単価は、導坑と切払げ掘削を合成した単価としている場合が多い。一方、本体掘削は、ベンチカットにより盤下げし、ズリの処理をグローリーホールによる場合には、掘削単価をベンチカットとグローリーホールの合成単価とするのが一般的である。

③ 積算に用いる必要な諸数値

積算に用いる諸数値には、掘削関係、吹付けコンクリート関係、ロックボルト関係の種々のものがあり、地下式発電所空洞工事をよく理解し、積算に適切に反映しなければならない。

b. 労務費

(a) 構成人員

積算に用いる各工程毎の編成人員は、空洞の規模、使用機械、施工方法、工期、現場条件、類似工事の実績、既刊の標準歩掛に関する文献等を考慮して、適正に定めなければならない。

(b) サイクルタイム

空洞掘削は、従来の地下式発電所では、アーチ導坑、アーチ切払げ、本体盤下げの順で施工するのが一般的である。これらの掘削のサイクルタイムは、施工計画を基にサイクルの項目を定め、各々の項目について所要時間を算定して求める。アーチ切払げ掘削及び本体盤下げ掘削は、岩盤補強の支保工(吹付けコンクリート、ロックボルトなど)を設置しながら施工するのが一般的であり、サイクルタイムの算定にあたっては、支保工との関連についても検討する必要がある。

c. 機械費

機械費の積算にあたっては、空洞の規模、施工方法、工期などを考慮して、最も適切な機械を選定しなければならない。各工種の施工に用いる機械は、施工計画を基に決定する必要がある。また、各機械の型式については、空洞内での作業性、設計仕様などを考慮して、最も適した能力を有する型式を選定することが肝要である。

d. 仮設備費

地下式発電所空洞工事は、発電所工事の一部で、その他の関連工事としては、水槽、水圧管路、放水路及び周辺トンネルなどがあり、これらは発電所工事区域に含まれる場合が多い。したがって、仮設備の積算にあたっては、発電所工事区域全体の地山条件、立地条件を勘案して、できるだけ他工事と共用するようにし、施工計画等を十分考慮して積算しなければならない。

e. 品質管理、観察、計測費

品質管理費及び観察・計測費を積算に見込む場合は、地山条件、支保部材などを考慮する必要がある。

2.10.4. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、地下構造物の建設に関する技術開発後の発展状況については、適用実績が少ないことから、「不明」や「開発当時と変りなし」が大半であった。

普及状況については、適用実績や計画が無いとのコメントが多かったものの、「どちらかと言えば大きい」が最も多かった。

全体的に寄与程度は「どちらとも言えない」が多かった。意見としては、地上に建設できないところでは必要な技術である、条件によっては建設コストが高くつく、機器の保守性に問題がある、などがあった。

本新技術の採用実績は、現在のところ5件、採用発電所の合計出力は約10万kW(既設・工事中地点)であり、これに伴う建設費低減額は約 1.5億円(回答分のみ、**表4-2、4-3**参照)となっているなど、本技術開発は相当な成果を上げつつある。

コストダウン以外の効果としては、工事に伴う改変面積が抑制され環境面で効果的である、ロックボルトと吹付コンクリートにより地山の風化・緩みが早期に防止され安全性が確保される、などの評価が寄せられている。

本新技術が採用された発電所及び当該設備・機器などの主要諸元は、**添付資料-4-12**に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

アンケート調査の結果によれば、地下構造物の建設に関する技術開発の課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 小規模空洞の適正な解析方法
- ・ 計測による合理的な施工管理方法
- ・ 吹付面のクラックからの漏水対策

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)以外に地下発電所に関する基準等はないが、参照すべき図書として以下のものが挙げられる。

- ・ 「電力施設地下構造物の設計と施工」((社)電力土木技術協会、昭和61年3月)
- ・ 「大規模地下空洞の情報化施工」((社)土木学会、1996年12月)
- ・ 「NATMの計測指針に関する調査研究報告書」((社)日本トンネル技術協会、1983年3月)

2.11. 一体形水車発電装置の開発

一体形水車発電装置の開発

(昭和 56 年度～58 年度調査)

概 要

一体形水車発電装置は、水車ランナベーンの先端に環状のランナバンドを設け、このランナバンドの外側にかご形誘導発電機の回転子を取り付けたもので、ランナは固定羽根のものが採用された。

本技術は、機械設備費のみならず機器の基礎が簡素化されるなど土木工事費も大幅に低減させることによって、採算が合わなかった低落差(3～20m)、小流量($0.5 \sim 4.0 \text{ m}^3/\text{s}$)地点への適用機(単機出力 10～600kW 程度)を開発するものである。

本水車は、固定羽根プロペラ水車の一種であることから、流量が一定している地点に適用するのが望ましい。

分 類

適用段階 (調査、計画、設計、施工、保守運用、その他 ())

対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他 ()

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他 ()

キーワード

一体形水車発電機、プロペラ水車、誘導発電機、低落差、小流量、固定羽根、機器合理化

適用範囲

使用水量= $0.5 \sim 4.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 有効落差=3～20m, 単機出力=10～600kW 程度

2.11.1. 新技術の概要

(1) 目的

我が国の未開発水力資源の調査によれば、3～20m程度の低落差の開発可能な地点が多い。

純国産エネルギーである水力資源の有効活用の観点から、今後これらの地点が積極的に開発利用されることが期待される。

しかし、中小水力発電の開発にあたっては、建設コストの低減を図り、プロジェクトの経済性を高めることが重要な課題である。

こうした状況のもと、今回技術開発された一体形水車発電装置を実際の開発地点に設置し、実証試験を行なって、その実用性能や技術の信頼性について検証・確認を行ない、今後の中小水力発電の開発促進に資することを目的としている。

(2) 一体形水車発電装置の概要

水車部分は固定羽根式プロペラ水車で、発電機部分はかご形誘導発電機で構成され、このかご形回転子の内側に水車のランナベーンが組み込まれた一体構造のもので、発電機回転子とランナベーンが一体となって同心円上を回転する。

ランナベーンと回転子は、環状のランナバンドを介して取り付けられており、このランナバンドと固定部のブラケットの間には、狭いギャップが設けられており、かご形回転子は充満した水の中で回転する。従って、発電機固定子の内径側は常時水に接するので、砂や水に対する耐磨耗性の材質でシールされる構造となっている。固定子巻線は、このシールによって水が完全に遮断されるので、特殊な絶縁方式にする必要はない。

一体形水車発電装置構造断面を、**図2-11-1**に示す。

なお、可動羽根式水車については、2.13. を参照されたい。

(3) 技術開発における主な検討課題とその対策

a. 誘導発電機に伴う諸装置

かご形誘導発電機を6.6kV等の配電線に並入して運転する場合、系統の電圧変動を小さくして、供給電圧の維持を図る目的から発電機と並列に、力率改善用コンデンサを設置することが望ましい。このコンデンサの容量は、送電端の力率を改善するとともに、発電機自体が自己励磁現象を起こさない値とする必要がある。

本実証試験においては、以上の諸条件を総合的に検討し、力率改善用コンデンサを設置することとした。

また、誘導発電機を系統に並入する際に生じる突入電流によって、配電系統の電圧が降下するのを防ぐ目的から、始動用直列リアクターを設置するのが望ましい。一般的には、並入時の誘導発電機の端子電圧を小さくするほど配電線電圧への影響を小さくすることになる。しかし、配電線への

並入を円滑に行なうためには、発電機の発生トルクを水車の発生トルクより大きく選定する必要がある。したがって、直列リアクターによる減電圧値はあまり小さくできない。一方、水車の始動は一体形水車発電装置では、ガイドベーンが固定のため、水車の無負荷流量は制水弁開度によって調整する。また、落差は運転台数によって変化する(放水位等が変化)ため、水車の回転上昇特性に差が生じる。

本実証試験においては、以上の諸条件を総合的に検討した結果、始動用直列リアクターによる減電圧並入方式を採用することとした。

b. 運転制御装置

一体形水車発電装置は、構造の簡素化を図ってコストダウンを目的に開発された機器である。水車ランナは固定羽根であり、ガイドベーンも固定方式とし、制水弁で運転・停止の機能を兼用させている。このため、流量の大きな変動に対しては(設計流量に対する増減)、水車の運転特性が低下する。

本実証試験においては、季節的な変流量に対応した効率的な発電を行なうために、水車発電機を4台設置して、各水車発電機の運転・停止を自動的に行なう台数運転制御装置を設置するとともに、運転台数に見合った適正流量となるよう調整する流量制御方式を採用した。

c. 配電線末端に発電機を接続するための対策

当該発電所を既設配電線の末端に接続する電源とする場合、近傍の配電線の状況(負荷分布、コンデンサ分布、区間開閉器の位置など)から、配電線事故時に当該発電所が単独運転となる可能性がある。この場合、配電系統の負荷条件により誘導発電機が自己励磁現象を起こして、単独運転によって連系されている系統の電圧上昇の原因となる恐れがある。

本実証試験においては、人身の安全確保、機器の損傷防止などの目的から、配電線の事故時には既設の配電用変電所の当該配電線遮断器と連動させて実証試験発電所の送電遮断器を転送遮断する保護方式を採用した。

また、発電機の運転・停止及び配電系統の負荷変動などによる既設配電線に対する影響極力少なくし、適正電圧を維持する必要がある。

本実証試験においては、既設配電線の一部強化工事(電線の太線化)及び変圧器のタップ調整などを実施した。

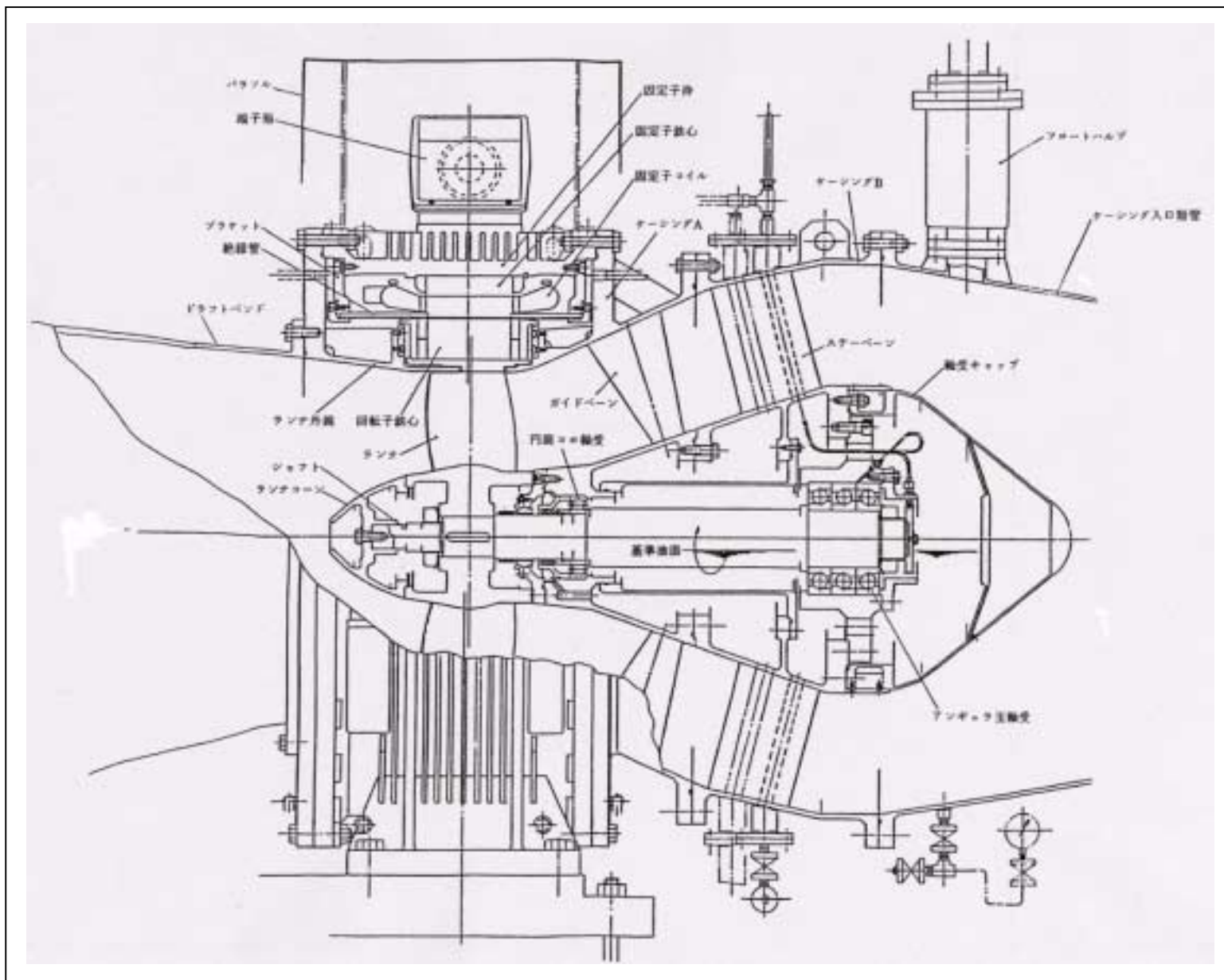


図 2-11-1 一体形水車発電装置構造断面

2.11.2. 実証試験結果

(1) 実証試験の目的

本実証試験は、国の「水力発電の開発導入促進対策」に関連した「中小水力システム技術信頼性実証試験」の一環として、新規開発された水車、発電機などを実際の発電所開発地点に設置して、その実用性や技術の信頼性について検証確認することを目的とする。

試験対象の水力発電装置は、(株)明電舎と(株)荏原製作所の共同開発による「一体形水車発電装置及び付属した諸装置」である。

試験の目的は、この発電装置に関する機能、性能、耐久性、磨耗性などの検証を行ない、本発電装置の実用性能と技術信頼性を実証し、併せて発電所に接続する一般配電線に及ぼす影響についても実証するものである。試験の実施方法及び内容については、(財)新エネルギー財団が設置した「一体形水車発電装置実証試験検討委員会」で定めた「実証試験実施要領」に基づいている。

(2) 実施期間

試験運転期間：昭和57年6月11日～12月10日

分解精密検査完了日：昭和57年12月27日

(3) 実証地点の概要

実証試験を実施した天狗岩地点は、群馬県北群馬郡吉岡村に位置し、既設天狗岩用水の遊休落差を利用して最大出力540kWの発電を行い、地域の電力需給に資するとともに地域開発に寄与しようとするものである。

既設天狗岩用水は、国道17号線坂東橋上流の利根川本川左岸に位置する坂東大堰土地改良区連合の合口及び田口取水口より取水し、同橋直下流にて分岐し、天狗岩用水取水ゲートを経て本川河床下を横断した後右岸側を本川沿に南下し、榛名山東南麓面に当る前橋市及び高崎市などの水田を灌漑するものである。

発電計画は、この用水路の途中、群馬県北群馬郡吉岡村大字漆原地内の既設水路を一部改修して水槽を設け、途中所要水量を分水した残流量を取水し、1条の水圧鉄管に4条の分岐管を設け、一体形水車発電機4台により合計最大出力540kWの発電を行うものであり、発電後は既設用水路を改修した放水路を経て天狗岩用水路に再び放流し、農業用水として使用するものである。

天狗岩地点の計画諸元は、**表2-11-1**のとおりである。また、一体形水車装置の内部構造及び外観を**図2-11-2**及び**2-11-3**に示す。

表 2-11-1 実証地点の基本諸元

名 称	天狗岩発電所(群馬県)
発 電 種 類	流れ込み式
最 大 出 力	540kW(4台運転時)
使 用 流 量	10.4m ³ /s(最大出力時)
有 効 落 差	7.36m (最大出力時)
水 車	形 式 横軸固定羽根プロペラ水車 出力×台数 165kW×4台 回転速度 429min ⁻¹
発 電 機	形 式 横軸かご形三相交流誘導発電機 出力×台数 170kW×4台 端子電圧 420V 回転速度 429min ⁻¹
変 圧 器	形 式 屋外油入自冷式 容量×台数 900kVA×1台
コ ン デ ン サ	力率改善用 容量×台数 85kVA×4台
リ ア ク ト ル	始動用 容量×台数 217kVA×4台
運 開 年 月 日	使用前検査(480kW仮合格) 昭和57年6月11日 認可出力(540kW) 昭和59年2月9日



図 2-11-2 一体形水車発電装置内部構造



図 2-11-3 一体形水車発電装置外観

(4) 実証試験結果

実証試験の開始時に発電所出力が 540kWに対し、480kWであることが判明したが、実証試験の実施にあたりその内容に影響を与えないことから、実証試験実施要領に従い出力 480kWで試験が実施された。

試験終了に伴い、各種データの分析及び技術検討などを行なった結果、本発電所の諸機器、装置及び実証試験結果などの概要は以下のとおりである。

a. 新構造水車発電機の耐久性能

発電機部分はいかご形誘導発電機で構成され、このいかご形回転子の内側に水車のランナベーンが組み込まれて一体となって同心円上を回転する新型構造の水車発電機である。水車発電機は、このように新型構造を有するものであるが、機能、性能、耐久性など全ての点で、概ね良好な結果が得られ、実用性能及び信頼性が確認された。

ただし、発電機固定子の水シール部(名称はキャン)の材質は、強化プラスチック(FRP)の磨耗量が硬質塩化ビニール(PVC)に比較して多く、耐久性に劣ることが確認された。したがって、キャンの材質は、実証試験終了後にFRPを使用した機器は全てPVCに取り替えられた。

b. 運転制御装置

台数運転制御装置、流量制御装置ともに機能、性能などについて、各仕様を満足するとともに正常に動作し、本発電所の運転に有効であることが確認された。

また、総合動作試験(台数運転制御装置動作試験、流量制御装置動作試験、制御電源装置動作試験、主機自動始動停止試験など)は、計画値を満足し、かつ、両者の差も殆どなく、本発電所が正常に機能していることが確認された。

c. 配電線関係

本発電所を既設配電線に接続するにあたっては、従来、誘導機は配電線末端に接続された事例が少ないことから種々検討のうえ、諸対策が実施された。

配電線接続にあたって実施された諸対策の効果については、ほぼ想定どおりの結果が得られ、対策の有効性が確認された。

(a) 突入電流抑制効果

リアクトル始動装置使用時の突入電流が定格の 1.4倍に抑制された結果、発電機並列時の電圧降下はリアクトル除外時 100V側換算で4Vに対し、使用時 1.5Vとなっており、想定どおりのリアクトルによる突入電流抑制効果が確認された。

(b) 力率改善効果

力率改善用コンデンサ除外時の発電所力率が約 60%であるのに対し、使用時は約 80%となっており、ほぼ想定どおりのコンデンサによる力率改善効果が確認された。

(c) 適正電圧確認

重負荷時、軽負荷時とも全地域で適正電圧が確認された。

(d) 転送遮断装置

配電線停止時に転送遮断装置が正常に動作し、保護システムとしての有効性が確認された。

d. 発電所改造

実証試験終了後、当初出力達成のため、一部以下に示す改造が行なわれ、出力540kWが確認された。

(a) 水 車

水車流量が計画値を下回り発電機出力が不足した。本水車はランナベーン、ガイドベーンがともに固定であることを考慮し、水車の流量を規定値とするランナが新製され、ガイドベーンの改造が行なわれた。これとともに、吸出し管の損失水頭を小さくするために吸出し管を 45° エルボ形に変更された。

(b) 水槽スクリーン等

特に灌漑期の流量の多い時期に運転すると、水車のランナ、ガイドベーンなどの周辺部に水中に含まれる異物類(ビニール、布切れ、枯草、木片など)が付着し、水車発電機の出力低下が起こることがある。除塵効果を高めるためにスクリーンピッチを小さくするとともに、水中に含まれている粗大異物を除去するために水槽上流部に網場が設置された。

e. 留意事項

(a) 一体形水車発電装置の採用

本水車のガイドベーン及びランナベーンは、経済性と機器の簡素化を図り、固定形とされたが、これは流量を調整する可動部がないため出力が仕様と合致しない場合があるので、計画の際には予め水車発電機の効率、有効落差の算定に若干の余裕を見込むことが望ましい。

また、水中に含まれる異物類が水車ランナ周辺部等に付着し、水車性能が低下し出力低下現象を生じる場合がある。このような異物が流下してくることが予想される地点においては、スクリーン等の構造について対策を講ずることが必要である。

(b) 配電線への接続

今後配電線に接続する場合は、適正電圧(100V側換算で 95～107V)維持のための配電線張替(太線化)及び柱上変圧器タップ調整、配電線停止時の単独運転による人身の安全、機器損傷防止のための転送遮断装置の設置、特に誘導機の場合はさらに並入時の電圧降下防止のための適正容量のリアクトル装置、力率改善のための適正容量のコンデンサの設置などについて十分配慮する必要がある。

なお、一般的に小規模発電所の送電方法については、単に近傍の配電線に接続することにとられず、変電所からの距離、既設配電線の状況、発電機特性などを考慮し、技術的、経済的に総合検討してケース・バイ・ケースで判断する必要がある。

2.11.3. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、一体形水車発電装置に関する技術開発後の発展状況については、電気事業者では「開発当時と変りなし」と「改良されている」がほぼ同数で「新しい技術に発展」はなかったが、製作者とコンサルタントでは「発展」が最も多い。製作者とコンサルタントで「発展」が多いのは、小水力の開発に展開が図られているなどの理由であり、電気事業者の場合は小水力を開発する機会が現在までのところ少なく、施工事例を踏まえた評価が困難であったものと推察される。また、公営電気では「その他」が多いのは使用実績がないなどの理由による。

普及状況については、全般的に大きいとはいえず、本技術の普及を図るためには、維持流量用への適用等採用方法を勘案し、更なる経済性の向上を図る必要があるものと考えられる。

全回答者とも、寄与程度はいずれの場合も大きいと考える傾向にあり、本技術に対する期待度が窺える。

一体形水車発電装置の採用実績は、現在のところ実証試験を実施した天狗岩発電所の1件(出力540kW)である。この採用実績を踏まえたアンケートの回答では、コストダウン以外の効果として、シンプルな構造であり据付工事が容易、かつ、建屋を省略できるとの評価が寄せられている。

天狗岩発電所及び当該機器の主要諸元は、**添付資料－4－13**に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

アンケート調査の結果によれば、一体形水車発電装置に関する課題として、以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 水車が固定羽根であり水車による流量の制御ができないため、流れ込み式発電所には導入しにくい。
- ・ 小水力であるため、ランナに塵芥が付着し出力低下をきたすため、対策が必要である。
- ・ 4台とも使用水量の同一のものを導入したため、かなりの余水が出てしまう。使用水量を少しずつ変えた機種を入れることにより余水を減らせる。

2.12. 中高落差用新型軽負荷ランナの開発

中高落差用新型軽負荷ランナの開発

(昭和 56 年度～59 年度調査)

概 要

流れ込み式発電所の経済性高める方策の一つとして、流量の変動に対し、水車の運転範囲を拡大するとともに軽負荷の特性を向上させた軽負荷ランナ(フランシス水車)及び機器の標準化、簡素化を図るものである。

分 類

適用段階 (調査、計画、設計、施工、保守運用、その他 ())

対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、
全般、その他 ()

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他 ()

キーワード

軽負荷ランナ、軽負荷運転、フランシス水車、機器合理化、電力量増加、発電効率向上

適用範囲

中高落差(50～300m 程度)で河川の流量変動の大きい自流式の発電所地点

2.12.1. 新技術の概要

(1) 目的

我が国の未開発水力資源の調査によれば、山間部等で比較的に小流量で、季節的に流量変動がある中高落差地点、または、平野部の河川や既設水路などで比較的一定した流量が使用できる低落差地点等の中小水力発電を中心とした開発可能な地点が多い。純国産エネルギーである水力資源の有効活用の観点から、今後これらの地点が積極的に開発、利用されることが期待される。

しかし、中小水力発電の開発にあたっては、建設コストの低減や発電電力量の増加を図り、当該発電計画の経済性を向上させることが開発の可能性を高めるうえで、重要な課題である。

このような観点から、流量の変動に対し、水車の運転範囲を拡大するとともに軽負荷の特性を向上した軽負荷ランナ・フランシス水車を採用することは、年間発電電力量の増大が図れ、水力開発の経済性を向上させるのに大いに役立つものと考えられる。

軽負荷ランナ・フランシス水車に関しては、既に資源エネルギー庁より研究開発補助を受けて技術開発が完了しており、その実用化が期待された水車であり、以下のような特徴を有している。

- ・ 適用範囲は、中高落差(50～300m程度)で河川の流量変動の大きい自流水式の発電所地点に適用すると有利である。
- ・ 従来のフランシス水車に比べて、低流量領域での運転が可能である。具体的には、比速度150m-kW及び200m-kW水車では、定格出力に対してそれぞれ25%、40%まで運転可能としている。
- ・ 重負荷領域における水車効率、従来機と同程度を維持し、軽負荷領域での効率特性が向上している。
- ・ 自流水式発電所の年間設備利用率が向上し、軽負荷領域での効率特性の向上と相俟って発電電力量の増加となり、当該発電所の経済性が向上する。

この新技術採用と同時に、発電所建設コストの低減のために、発電機器の標準化・簡素化の各種項目の中で採用可能なものをも取り入れて検証・確認し、今後の中小水力発電所の開発促進に寄与することを目的としている。

(2) 新型軽負荷ランナ・フランシス水車の概要

新型軽負荷ランナ・フランシス水車は、従来のフランシス水車と比較して、軽負荷時の水車効率、振動、キャビテーションなどの特性の向上を目的として国の補助を受け、(財)新エネルギー財団、電源開発(株)、及び富士電機(株)により共同開発されたものである。研究開発された成果の特徴を以下に示す。

- ・ 高負荷時の水力損失を減少させるため、従来機に比べてケーシング入口径をやや大きくする。

- ・ 軽負荷時の水力損失を減少させるため、従来機に比べてガイドベーンの高さを小さくする。
- ・ 高負荷時及び軽負荷時の水力損失を減少させるため、従来機と異なったランナ羽根形状とする。
- ・ 軽負荷時の水力損失を減少させるため、従来機に比べてランナ出口径を小さくする。

(3) 水車・発電機の過速度耐力の向上と水圧上昇の抑制

水車・発電機の過速度耐力は、無拘束速度相当で10分間連続運転可能とする。また、ガイドベーン閉鎖時間も緩やかにし、負荷遮断時の速度上昇は常に無拘束速度相当とする(フライホイールの省略)。

なお、発電機の回転子は高速に適した円筒形とし、励磁機はブラシレス方式とする。

(4) その他標準化・簡素化のための提案項目採用

- ・ 水車のガイドベーン及び入口弁は電動サーボモータを採用して圧油装置を省略する。
- ・ フライホイールの省略と相俟って、水車には軸受を設けず発電機の軸受のみとする(横軸機)。
また、2軸方式を採用し、機器の長さを減じ、建屋の縮小を図る(横軸機)。
- ・ 軸受の温度許容値を75℃まで上げ(従来は65℃)、潤滑装置の軽減を図る。
- ・ 発電機は、中性点接地の省略を図り、F種絶縁とする。
- ・ ブレーキを省略し、空気圧縮装置などの省略を図る。

2.12.2. 実証試験結果

(1) 実証試験の目的

本実証試験は、軽負荷領域における水車効率特性の検証に主眼をおき、水車効率が保証値を満足しているか否かについて、熱力学法及びインデックス法により試験するとともに軽負荷特性が実機においても十分発揮され得るか否かを検証することを目的とする。

また、発電機器の標準化・簡素化項目(電動サーボモータの採用等)に関する検証・確認を行なう。

(2) 実施期間

昭和60年2月2日～3月23日

(3) 実証地点の概要

実証地点である奈良田第三発電所は、富士川水系早川上流の黒河内川、白河内川及び石小屋沢川の各取水口から、合わせて最大 $2.04\text{m}^3/\text{s}$ の取水を行い、延長 2,752mの導水トンネル及び 277mの水圧鉄管により、有効落差 155.9mを得て、最大出力 2,500kWの発電を行うものである。

奈良田第三発電所の基本諸元を表2-12-1に示す。

表 2-12-1 実証地点の基本諸元

名 称	奈良田第三発電所(山梨県)
発 電 種 類	流れ込み式
最 大 出 力	2,500kW
使 用 流 量	$2.04\text{m}^3/\text{s}$ (最大出力時)
有 効 落 差	155.9m (最大出力時)
水 車	形 式 横軸単輪単流渦巻フランシス水車 出力×台数 $2,620\text{kW} \times 1$ 台 回転速度 $1,000\text{min}^{-1}$
発 電 機	形 式 横軸回転界磁空冷出口管通風形三相同期発電機 出力×台数 $2,640\text{kVA} \times 1$ 台 端子電圧 11,000V 回転速度 $1,000\text{min}^{-1}$
運 開 年 月 日	昭和60年4月1日

(4) 実証試験結果

従来のフランシス水車と比較して、軽負荷領域における安定運転の許容範囲を拡大(定格出力の20～25%まで運転可能)し、同時に運転効率も高く維持する性能の検証が実証され、河川流況によっては、相当の年間発電電力量の増大が図れることが判明した。

また、他の発電機及び水車関連機器の機能(発電機器の標準化・簡素化)も併せて本実証試験において検証され、信頼性が実証された。

試験終了に伴い、各種データの分析及び技術検討などを行なった結果、本発電所の諸機器、装置及び実証試験結果の概要は以下のとおりである。

a. 水車効率

軽負荷ランナの特性を確認するため、効率試験が熱力学法及びインデックス法によって実施された。

流量変化時の効率の傾向は、目標効率(保証効率)に対して殆ど等しく、かつ、効率の絶対値は最高効率点において目標値(86.1%)に対して2.6%高い88.7%の値が得られ、全範囲にわたり2～3%上回り、良好な結果が得られた。

なお、熱力学法効率試験入口採水管及び出口温度計配置図を図2-12-1に、熱力学法効率測定装置を図2-12-2に、インデックス測定装置を図2-12-3にそれぞれ示す。

また、本試験結果である水車効率性能曲線を図2-12-4に示す。

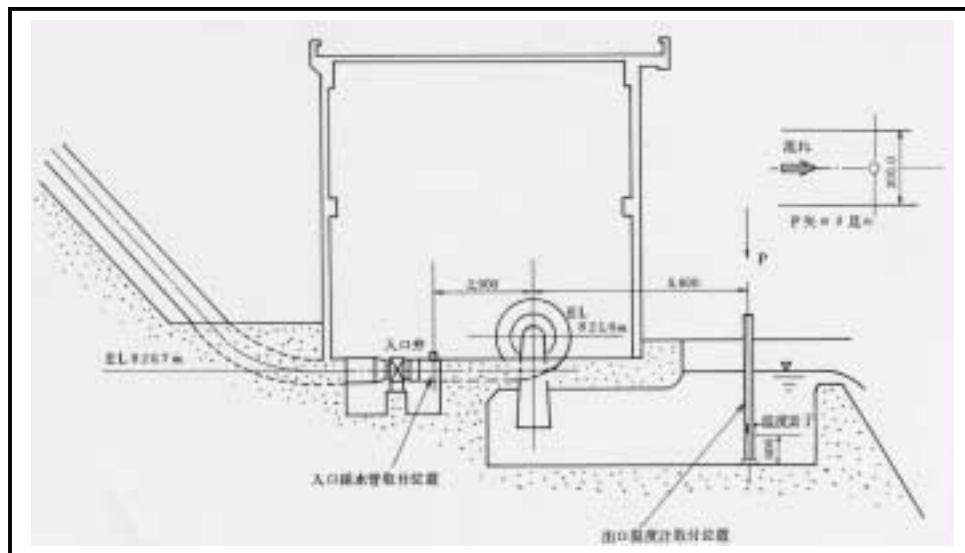


図2-12-1 熱力学法効率試験入口採水管及び出口温度計配置図

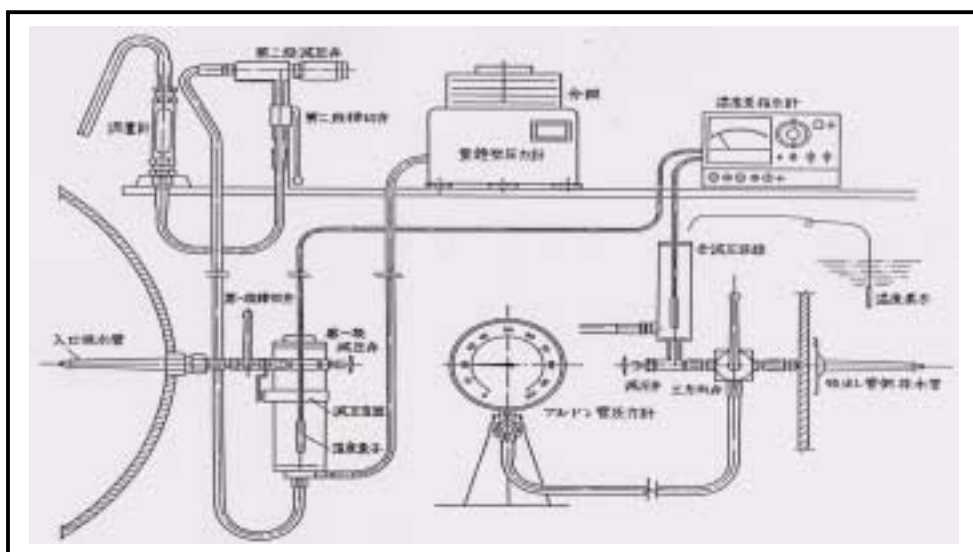


図2-12-2 熱力学法効率測定装置

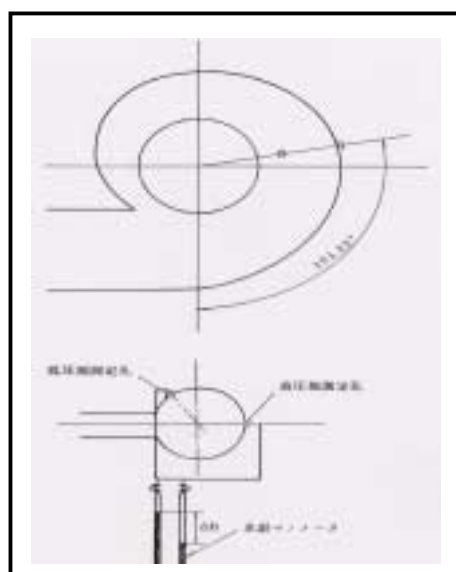


図2-12-3 インデックス測定装置

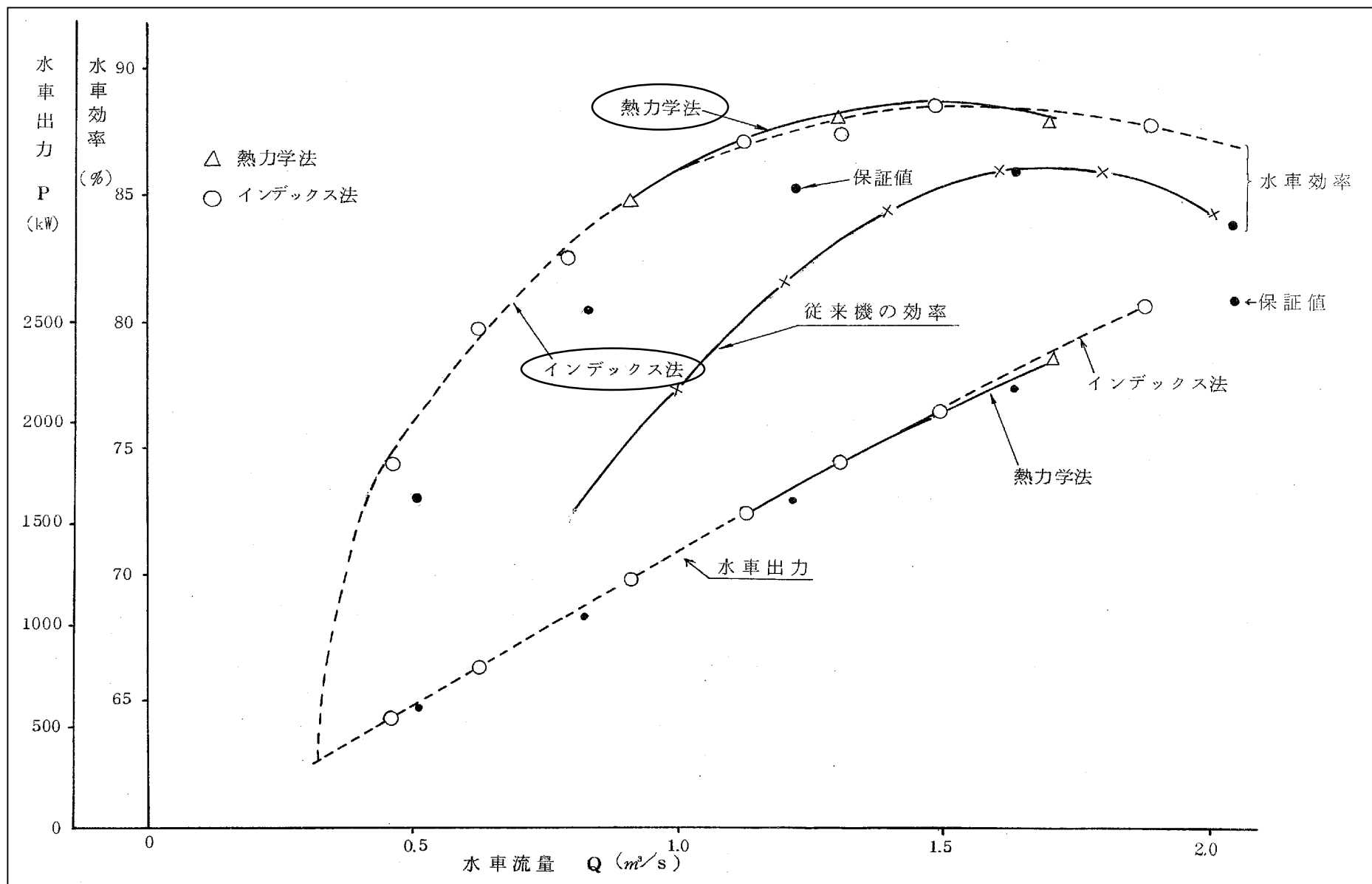


図2-12-4 水車効率性能曲線

b. 振 動

二軸受の影響及び軽負荷ランナの運転状況を確認するため、開度出力試験、無拘束速度試験及び負荷遮断試験時に二軸受とスピードリング部において垂直、水平、軸方向の振動値が測定された。

通常の負荷運転時に8/100mm以下、無拘束速度運転及び負荷遮断時に16/100mm以下を合格として試験された結果を以下に示す。

通常の負荷運転時に軸受部は0.1～1/100mm、スピードリング部は0.1～0.2/100mmであり、無拘束速度試験時には軸受部で0.8～6/100mm、スピードリング部で1.6～3.4/100mmを示し、合格値範囲内であり、また負荷遮断時には軸受部での最大値は約10/100mm、スピードリング部での最大値は6/100mmでいずれも合格範囲内の値であった。

c. 水圧脈動

水圧脈動の少ないことも軽負荷ランナの特徴であり、通常の運転時に落差の5%以下の脈動まで合格とする前提で試験された。

ガイドベーン開度10、20、30%において、ケーシングの最大水圧脈動2.8m(落差の1.75%)を計測し、開度20%で吸出し管の最大水圧脈動1.3m(落差の0.8%)が計測されたが、いずれも予想値よりはるかに少ない値であった。

なお、無拘束速度試験時に行なった水圧脈動測定もケーシングで2.3m(落差の1.5%)、吸出し管では落差の1%以下であり、周波数分析の結果も定格回転速度の1/2～1/3、すなわちサージング周期に相当する成分は発生していないことが実証された。

d. キャビテーション

開度出力試験時に吸出し管側の騒音が測定されたが、キャビテーション特有の音は観測されなかった。

また、各種試験終了後、ランナを目視点検が行なわれたが、キャビテーション発生の痕跡は認められなかった。

なお、機械振動・水車水圧脈動・騒音(キャビテーション)の測定位置を図2-12-5に、水圧脈動特性を図2-12-6に示す。

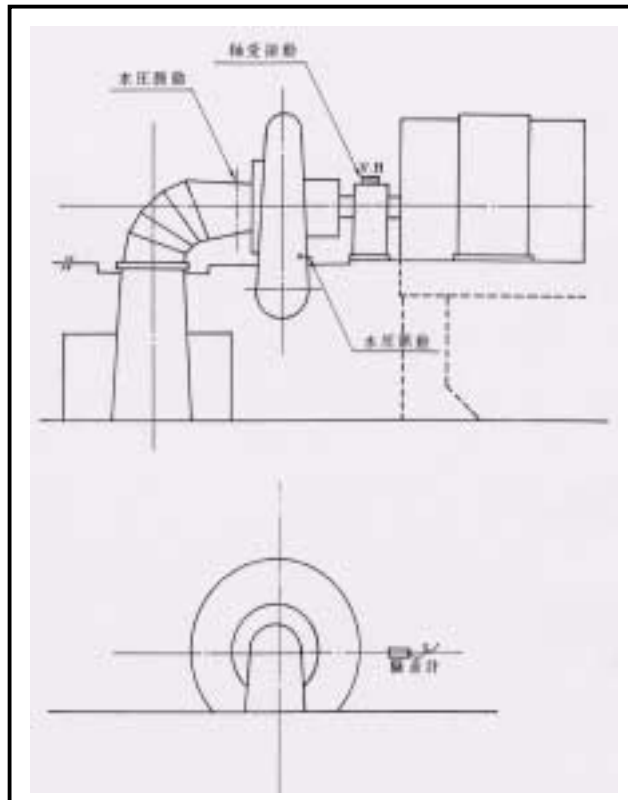


図2-12-5 機械振動・水車水圧脈動・騒音測定位置図

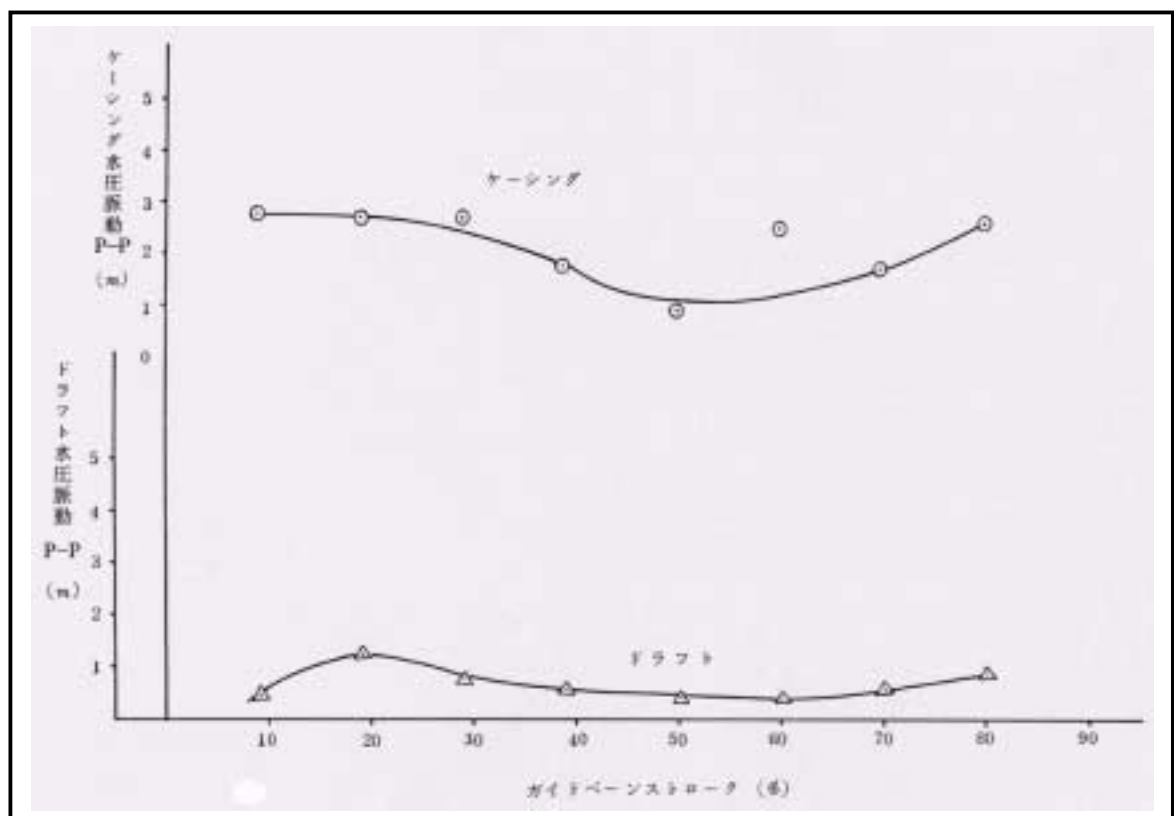


図2-12-6 水圧脈動特性図

e. 回転速度上昇

負荷遮断時の最大回転速度は、 $1,580\text{min}^{-1}$ であり保証値 $1,800\text{min}^{-1}$ には充分余裕があり、さらにモデル試験結果よりの換算値 $1,650\text{min}^{-1}$ よりも下回るものとなった。

また、フライホイールを付加していないため、負荷遮断後数秒で無拘束速度に達するので、ガイドベーン閉鎖時間を15～30sと変えても回転速度の上昇においての差は見られなかった。

f. 温度上昇

固定子巻線温度は負荷試験で確認され、温度上昇で 58.0°C で保証値 100°C 以下であり、この程度の容量($2,640\text{kVA}$)でのF種絶縁で、かつ、円筒形回転子採用の発電機においては問題のないことが確認された。

また、二軸受構造にした場合の確認のため、負荷試験時に軸受温度が測定されたが、反水車側軸受の温度上昇 48°C が最も高く、保証値 75°C 以下であり、問題はなかった。なお、全負荷で30分運転後行われた無拘束速度10分間の試験の結果は、さらに 13°C の温度上昇があった。無拘束速度運転を長時間継続するためには、軸受に余裕を持たせて温度上昇を防ぐ手段を考える必要がある。

g. 電動サーボ動作

負荷遮断及び開度出力試験時において、電動サーボによるガイドベーンに階段状動作等の異常動作は見られず、スムーズな動作をしていることが確認された。

h. 主機停止時間

水車発電機はブレーキを省略しているため、主機の停止は流水停止後の自然速度低減による停止であり、その停止目標時間を20分以下と設定したが、試験結果は5分以内と大きく設定値を下回っており、ブレーキを有する発電所と比較しても遜色のないレベルであることが確認された。

2.12.3. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、軽負荷ランナの技術開発後の発展状況については、電気事業者では「開発当時と変りなし」が最も多く、「改良されている」がそれに次いでいる。製作者とコンサルタントは「改良」の回答が多い。これは、製作者とコンサルタントの場合、水車の流れ解析の進歩により運転領域全般の効率が向上したとの認識によると考えられる。

なお、公営電気では「その他」が多いのは使用実績がない、開発地点がなく発展状況を把握していない、開発当時と現在の効率比較ができないなどの理由による。

建設費等への寄与程度については、全回答者とも「どちらとも言えない」と考える傾向にあるが、普及度は「どちらかと言えば大きい」との回答が多い。これは、建設及び保守・運用経費が従来機と同程度であれば、電力量が増となる本技術を採用する傾向にあることが窺える。

軽負荷ランナの採用実績については、既に14件、採用発電所の合計出力は約8万kW(既設・工事中地点)に上っており、これに伴う発電電力量の増分は年間約23GWhと見込まれる(表4-2、4-3参照)など本技術開発は相当な成果を上げつつある。

また、評価としても、軽負荷領域での効率特性が向上した、軽負荷領域において発生する振動やキャビテーションが減少し、運転許容範囲が広がったなどの意見が寄せられている。

軽負荷ランナが採用された発電所及び当該機器の主要諸元は、添付資料-4-14に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 採用事例における指摘事項

アンケート調査の結果、軽負荷ランナの課題としてはあまり挙げられていないが、一部、「最大出力時の効率低下、年間発電電力量、流況により最適なランナ形状とする必要がある。」との指摘があった。(詳細は第4章参照)

b. 不採用事例について

アンケート調査の結果、軽負荷ランナの採用が検討されたものの採用に至らなかったケースが1例回答されている。その主な理由は、「水車を大小の2台とし、維持放流量を連続運転できるか検討の結果、既製技術の小水車1台を使って軽負荷運転が可能のため、軽負荷ランナの採用を見送った。」というものであった。(詳細は第4章参照)

c. 最近の技術動向

軽負荷ランナに関連する最近の技術動向としては、流れ解析技術の進歩が挙げられ、これにより水車の設計がより最適化され、運転領域全般にわたる効率向上が図られている。

2.13. 超低落差水力発電設備に関する技術開発

超低落差水力発電設備に関する技術開発

(ストレートフロー水車の採用)

(平成元年度～5年度調査)

概要

超低落差領域に新型水車(ストレートフロー水車)を採用した場合の水力発電設備の技術的な課題や経済性を検討し、開発可能地点の増大と設備技術の確立による中小水力開発の促進を図るものである。

分類

適用段階 (調査、計画、設計、施工、保守運用、その他 ())

対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、
全般、その他 ()

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他 ()

キーワード

超低落差用水車、ストレートフロー水車、一体形水車発電機、チューブラ水車、可動羽根、
超低落差、機器合理化

適用範囲

最大出力(単機当り)300～20,000kW、最大流量(単機当り) 21～100m³/s、有効落差:1.5～25m

2.13.1. 新技術の概要

(1) 目的

第5次発電水力調査結果によれば、未開発地点は約2,800箇所、出力合計で約1,300万kWにのぼる。1地点当りの算術平均規模は4,600kWと小さく、開発コストの割高傾向を有することは否めないが、小さいが故に自然環境に融合する性質をもつ。また、発電方式は流れ込みのものが90%を占めるので、技術開発を推進するうえで焦点を効率的に絞れる特徴もある。

これらの中小水力の開発を促進するためには、従来の発電システムに囚われず創意工夫をこらし、新技術、新材料、新施工法などの採用によりシステム技術の合理性、経済性をより高める必要がある。

このような背景の下に経済産業省(通商産業省)では、昭和55年度から標準化・簡素化の研究及びクロスフロー水車・発電機の研究開発などが行われているが、落差2～9mという超低落差領域における水車・発電機の研究開発は昭和60年度から工業技術院の補助を受け、「超低落差水力発電技術に関する実用化開発」(以下「実用化開発」という)としてストレートフロー水車・発電機の研究開発を行い、昭和62年度に完了した。

このストレートフロー水車・発電機は、主軸、増速機などのトルク伝達装置を必要とせず、直接発電機を駆動するので、機械費が低減するだけでなく、発電所建屋全体がコンパクトになり、土木工事費の低減と相俟って経済性が向上することがケース・スタディの結果で確認できた。

本技術開発は、ストレートフロー水車・発電機を採用することにより従来、対象とされなかった超低落差地点を発掘し、水力エネルギー回収の増加に寄与することを目的としている。

(2) ストレートフロー水車・発電機の概要

水車・発電機の特徴として、以下の事項が挙げられる。

- ・ ストレートフロー水車・発電機は、従来使用されているバルブ水車・発電機よりさらに水の流れが軸流に近く、超低落差に適した流路形状を有している。このため、従来機種では開発不適とされてきた超低落差一般水力の実用化に適している。さらには、この特徴ゆえに将来潮汐発電用としても適用が期待される。
- ・ バルブ水車・発電機のような発電機寸法に対する制約がなく、大径であるため GD^2 が大きくなり、系統の安定度が良い。
- ・ バルブ水車では、発電機の回転子、固定子ともに水路中にあるバルブ内に設置されているのに対し、発電機回転子が水車ランナ羽根外周の水路外の空中に設けられているため、発電機の保守上有利である。
- ・ バルブ水車・発電機にみられる発電機分解組立用のハッチがないので、水車上流側の長さが短くなり、発電所建屋長さが縮小され、土木工事費が低減される。

また、構造上の主な特徴は以下のとおりである。

- ・ 発電機回転子が水車ランナ羽根の外周に設置され、回転子はランナ羽根によって支持される。
- ・ 発電機回転子センター部が水中と空中の境界となるため、回転子センターの上・下流側に一對のシール装置が設置される。
- ・ 主軸受がランナの上流側及び下流側に設置される。したがって、バルブ水車と異なり、下流側ステーバーンが設置される。

なお、ストレートフロー水車・発電機の構造と特徴を図2-13-1に、本体構造図を図2-13-2に示す。

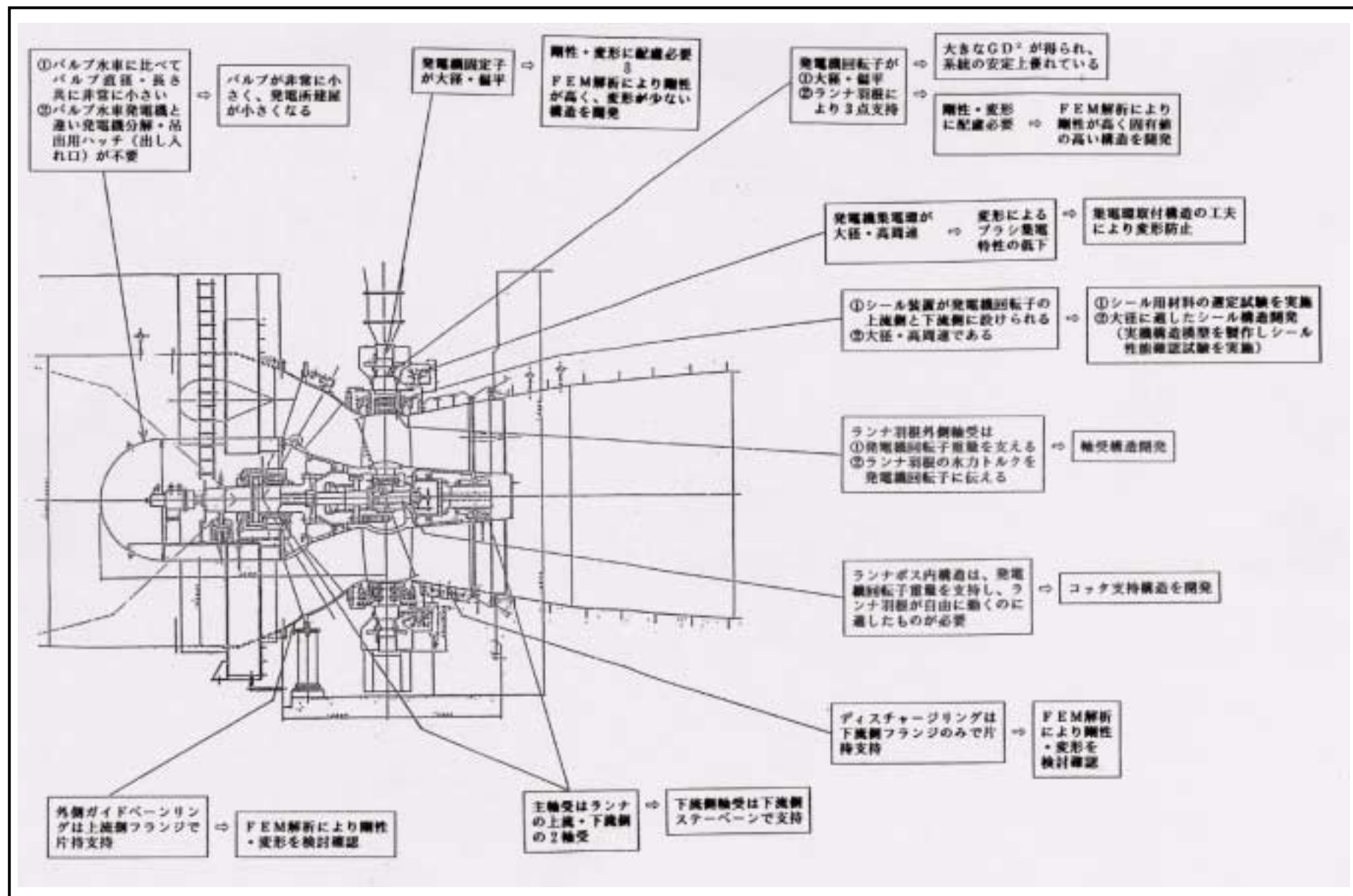


図 2-13-1 ストレートフロー水車・発電機の構造と特徴

(3) 技術開発における主な検討課題とその対策

「実用化開発」においては、有効落差 6m、出力 5,000kW の想定仕様の下に、水車・発電機の基本構造が検討された。本開発で行われた主な検討内容を以下に示す。

a. 発電機回転部シール装置の構造開発

シール装置は、従来にはない大径・高周速となるため、ストレートフロー水車・発電機開発の一つの大きなポイントである。「実用化開発」では、このようなシール装置の構造が開発されるとともに、シール材料の比較試験によりシール材の選定が行われた。また、ランナ径1mに相当する大きさの実機構想模型を用い、各種条件の下に実験が行われ、ストレートフロー水車・発電機に適したシール装置が開発された。

なお、シール装置構造試験装置外観を図2-13-3に示す。

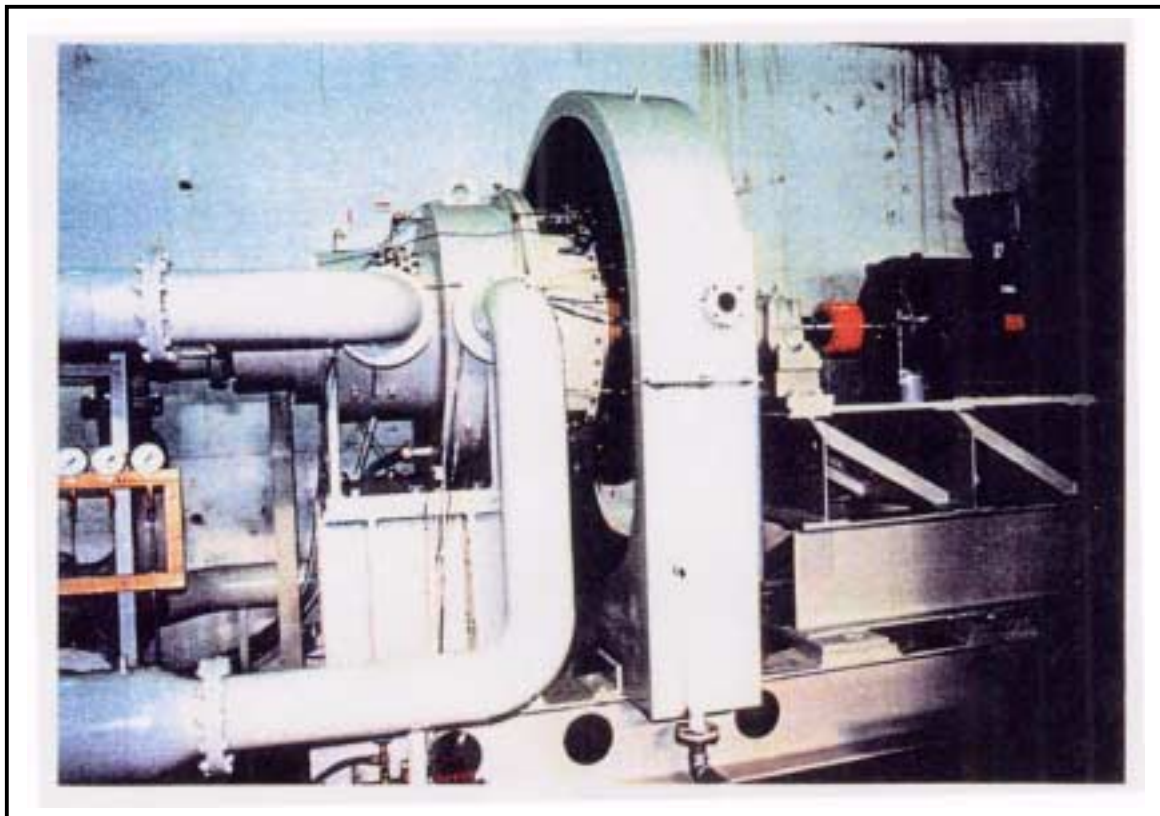


図2-13-3 発電機回転部シール装置構造試験装置外観

b. 大径回転子及び3枚羽根可動翼ランナ構造の開発

可動翼ランナ羽根は、発電機回転子の重量を支持しながらも主軸の廻りを回転する。したがって、ランナ及びランナ羽根軸受は、あらゆる運転状態においてこの荷重条件に耐えるような構造でなければならない。一方、3点支持条件の発電機回転子自体も支持反力により変形するため、剛性確保に充分留意する必要がある。このランナ羽根軸受もストレートフロー水車・発電機開発の一つのポイントであり、「実用化開発」においてその構造開発が行われた。構造開発にあたっては、発電機回転子の強度解析が行われ、ランナ羽根、ランナ、主軸などの回転系としての剛性、安定性についてもFEM(Finite Elements Method)解析手法等を用いて検討され、実用化の目途がつけられた。

c. 外側ガイドベーンリング・ディスチャージリングの剛性

バルブ水車の場合には、これらは直接ボルトで接続され、さらにディスチャージリングの下流側は吸出し管によって支持されている。しかし、ストレートフロー水車では、どちらも片持支持の支持条件である。したがって、振動に対する条件がバルブ水車に比べはるかに厳しい。そこで、これらについてもFEMにより固有値解析が行われ、問題のないことが確認された。

d. 「実用化開発」模型水車試験結果

効率試験の結果は、バルブ水車に比べて最高効率値は0.4%下回ったが、最大出力時は同値であった。キャビテーション試験では、バルブ水車と同等のキャビテーション性能が得られた。また、水圧脈動試験においてもバルブ水車と同等な結果が得られた。

e. 発電機効率

ストレートフロー水車・発電機の定格出力、定格力率時の効率は、バルブ水車・発電機に比べて若干上回っている。

2.13.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

(1) ケース・スタディ対象地点の概要

経済性に関するケース・スタディとして、有効落差数m程度の超低落差水力地点を3箇所選定し、ストレートフロー水車・発電機を適用した場合の工事費を算出し、kW 当り及び kWh 当りの経済性を求めた。各地点の計画概要、特徴及び計画諸元などは、表 2-13-1 のとおりである。

表 2-13-1 超低落差水力発電所ケース・スタディ対象地点の概要

地 点 名	Y地点(ケース 1)	T地点(ケース 2)	N地点(ケース 3)
計画概要	既設逆調整池用ダムの一部区間を改造し、超低落差発電所を新設する。上流既設発電所発電放流水の有効利用。	既設発電所の放水庭直下に超低落差発電所を新設する。放水庭水位と河川水位との遊休落差の有効利用。	既設貯水池直下の発電所からの発電放流水及び灌漑用水を利用し、下流河川の蛇行区間でのショートカット落差利用。
計画の特徴とケース・スタディ対象地点としての意義	逆調整池を利用するため、落差変動は少なく、流量さえ得られれば発電効率はよい。既設ダムの改造により発電所を直接ダム本体に設置するため、水路は殆ど必要なく、土木工事費は極めて少ない。ただし、洪水時には水中に没すること、発電設備が全て河川区域内にあることなどが特徴であり、重要な検討事項である。	既設発電所の放水庭を本発電所の取水口とするため、既設発電所の運用に影響を与えないとすれば、取水位の変動が大きく、超低落差ゆえに発電効率は相当悪くなると想定される。しかし、遊休の落差、発電放流水を有効に利用するという点で、本発電システムの適用範囲が大きいと考えられる。本検討では、経済性を見極めを行い、検討対象地点事前検討の限界を探るための一助とする。	比較的長い水路を持つ超低落差発電所の代表例であり、また取水ダムも新設しなければならない。そのため、総建設費に占める土木工事費の比率が高くなることは容易に想定されるが、本システムの経済性を見極める重要な検討対象地点である。
発電計画 発 電 方 式	ダム式	水路式	水路式
基準有効落差	4.85m	2.70m	7.10m
最大使用流量	36.0m ³ /s	34.0m ³ /s	32.0m ³ /s
最 大 出 力	1,400kW	700kW	1,800kW
年 間 可 能 発 電 電 力 量	7,463MWh	2,033MWh	8,066MWh

(2) 工事費、経済性等の算出結果

工事費、経済性等を算出した結果は、表 2-13-2 のとおりであり、kW 当り建設単価では地点により約 120～210 万円/kW、kWh 当り建設単価では 230～730 円/kWh 程度の結果となった。

表 2-13-2 超低落差水力発電所ケース・スタディ結果比較表

地 点 名	Y地点(ケース 1)		T地点(ケース 2)		N地点(ケース 3)	
ストレートフロー水車・発電機基本仕様						
回 転 速 度	164min ⁻¹		107min ⁻¹		187min ⁻¹	
比 速 度	977m-kW		984m-kW		716m-kW	
最 高 効 率	87.3%		85.9%		88.2%	
最高効率時流量	23.9m ³ /s		24.0m ³ /s		27.5m ³ /s	
最高効率時出力	980kW		550kW		1,690kW	
吸 出 し 高 さ	-4.0		-6.8		-2.6	
ランナ羽根枚数	3		3		4	
発 電 機 G D ²	180t・m ²		280t・m ²		180t・m ²	
性能比較のための バルブ水車	現状のバルブ水車では、ガバナ安定上、並列投入上問題あり。GD ² の増大必要。					
概算工事費(百万円)(H3 年度時点)						
土地・補償費	130.0	8%	0.0	0%	150.0	6%
土 木 工 事 費	335.8	20%	500.0	34%	1,016.0	38%
電 気 工 事 費	868.0	50%	775.0	52%	1,150.0	43%
そ の 他 経 費	383.2	22%	205.0	14%	334.0	13%
合 計	1,717.0	100%	1,480.0	100%	2,650.0	100%
経済性評価						
設 備 利 用 率	61%		32%		51%	
河 水 利 用 率	60%		57%		83%	
kW 当り建設単価	1,226 千円/kW		2,114 千円/kW		1,472 千円/kW	
kWh 当り建設単価	230 円/kWh		728 円/kWh		329 円/kWh	

(平成 5 年度作成)

2.13.3. マニュアルの概要

(1) 名 称

「超低落差水力発電設備に関する技術開発 設計・施工マニュアル(案)」
(平成6年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアルは、超低落差水力発電計画の策定手法を確立することにより超低落差領域における未開発水力地点の開発促進と新たに開発されたストレートフロー水車・発電機の採用により開発コストの低減を図ることを目的とする。

(3) 適用範囲

本マニュアルは、ストレートフロー水車・発電機を採用した発電設備の調査、計画、設計、施工、積算などに適用する。

ストレートフロー水車(一体形水車)とは、JIS 改正案によれば、チューブラ水車のうち、特に発電機回転子をランナの外周に直接取り付ける構造のものをいい、ランナ羽根等の規定は定めていない。本マニュアルでは、ストレートフロー水車の定義を上記で述べた一体形水車のうち「ランナ羽根が可動である水車」と定める。

本マニュアルにおける発電設備に関する適用範囲を**表 2-13-3**に示す。

表 2-13-3 ストレートフロー水車・発電機の適用範囲

項 目	範 囲(単機当たり)
最 大 出 力	300～20,000kW
最 大 使 用 流 量	21～100 m ³ /s
有 効 落 差	1.5～25m

(4) マニュアルの構成

本マニュアルの目次構成は、以下のとおりである。

設計・施工マニュアル(案)目次(平成5年度)

第1章 目的及び背景

第2章 総 則

2.1 目 的

2.2 適用範囲

第3章 開発計画の策定

3.1 目 的

3.2 計画地点の選定手順

3.3 開発計画の策定

第4章 構造物の基本設計

4.1 目 的

4.2 取水設備

4.3 導水路

4.4 発電所

4.5 放水路及び放水口

第5章 電気機器の基本設計

5.1 目 的

5.2 水 車

5.3 発電機

第6章 施工計画

6.1 目 的

6.2 施工計画の立案

6.3 人員計画

6.4 仮設計画

6.5 工程計画

6.6 安全管理

第7章 積 算

7.1 目 的

7.2 適用範囲

7.3 積算の基本的事項

7.4 積算体系

7.5 積算項目

(添付資料)

◆数量算定図表

◆資料編

資料.1 ストレートフロー水車・発電機の構造及び特徴

資料.2 用語の説明集

資料.3 ケース・スタディ比較表(参考)

資料.4 水理模型実験

(5) 積算関係

積算に関しては、以下に示す方法を基本とする。

a. 工事費

工事費は、数量×単価を原則とするが、超低落差水力発電開発計画では工事費に占める割合の大きいダム、発電所建屋、電気工事費を重点に積算する。

b. 工事単価

工事単価の内訳は、大別して材料費と労務費で構成されている。これらは、地域別に相違することから、各事業者の工事単価を用いることとし、本マニュアルでは工事単価を設定しない。

c. 工事数量

工事数量は、設計図から求めることを原則とする。

d. 工事付帯工種

直接工事において、各設備項目ごとに定められた代表工種(掘削、コンクリートなど)以外の付帯工種は小額であり、総工事費の精度確保上許容されるので、その他として係数化し一括計上する。

2.13.4. 採用実績、課題等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、超低落差水力発電設備に関する技術開発後の発展状況については、採用実績がないことから、電気事業者、製作者、コンサルタントとも十分なデータが入手できず、本技術の使用を想定しての回答であったと考えられ、「その他」が最も多かったが、「改良されている」、「新しい技術に発展」の回答も多いことから、今後の開発に期するものがあると推察される。

全事業者ともコスト低減等への寄与程度は比較的大きいと考ええる傾向にあり、本技術に対する期待度が窺える。但し、普及度は全般的に大きいとはいえず、本技術の普及を図るためには、維持流量用への適用等採用方法を勘案し、更なる経済性の向上を図る必要があるものと考えられる。

採用実績については、前述のとおり現在のところまだ無い。

2.14. 水力発電効率向上に関する技術開発

水力発電効率向上に関する技術開発

(平成4年度～10年度調査)

概要

回転機の可変速技術を水車・発電機回転速度制御に応用し、常に落差、流量に応じた回転速度で運転することができる高効率発電システムを開発し、部分負荷及び変落差運転における発電効率を向上させ、新規水力地点の開発促進と既設発電所の設備更新にこの技術を適用し、未利用水力エネルギーを有効利用することで、発電電力量の増加を図るものである。

分類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、
全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

発電効率向上、二次励磁、部分負荷運転、変落差運転、変換器、回転速度、機器合理化、
電力量増加、可変速

適用範囲

発電所出力が1,000kW～20,000kWで、フランシス水車が採用可能な発電所に可変速水力発電システム(二次励磁制御方式)を適用した貯水池又は調整池式の一般中小水力発電所

2.14.1. 新技術の概要

(1) 目的

現在、水力発電に使用される水車は、河川流量、貯水容量、落差、河川維持流量などの地点特性を基に運用計画を作成し、発電電力量が最大になるように設計している。しかし、水車特性上、水力エネルギーを機械エネルギーに変換する効率は、設計点で最高効率となり、設計点から外れると効率は低下する。

流れ込み式発電所においては、流量の少ない時期における運転(部分負荷運転)時に、また貯水池・調整池式発電所においては、水位が低い時期における運転(変落差運転)時及び小出力運転(部分負荷運転)時に、水車効率が設計点から大きく外れる運転状態となっている。

これら部分負荷運転、変落差運転の運転特性を改善することにより発電電力量の増加が期待でき、発電原価を低減することができる。

回転機の可変速技術の水車の回転速度制御に応用することにより、常に落差、流量に応じた最適運転点での運転が可能となり、システム全般における高効率化が期待できる。さらに、最適運転点での運転が可能なることから、これまで運転不可であった部分負荷領域、変落差領域まで運転範囲の拡大が期待できる。

本技術開発は、回転機の可変速技術を一般水力発電設備の水車回転速度制御に応用し、常に落差、流量に応じた回転速度で運転できる可変速水力発電システムを開発し、部分負荷及び変落差運転における発電効率を向上させ、新規水力地点の開発促進と既設発電所の設備更新に本技術を適用して、未利用水力エネルギーを有効に利用することを目的としている。

(2) 可変速水力発電システムの概要

可変速水力発電システム (以下「可変速システム」という)とは、水車及び発電機が、同期速度の上下のある範囲の回転速度で運転される発電専用の水力発電システムをいう。

一方、定速水力発電システム (以下「定速システム」という)とは、従来から一般的に水力発電所で用いられているもので、水車及び発電機が同期速度で運転される発電専用の水力発電システムをいう。

可変速システムは、回転速度を変化させることにより落差、流量に応じた最適な水車効率点で運転できるため、同一運転状態における定速システムに比べ水車効率の向上を図ることができる。また、可変速システムは可変速水車、可変速発電機、二次励磁装置(可変速発電機に二次電流を供給する電力変換装置で変換器、可変速電源変圧器、可変速制御装置、ゲート駆動装置などから構成。)及び過電圧抑制装置で構成される。

なお、可変速システムに関する用語説明図を図2-14-1に、可変速機単線結線図例を図2-14-2に示す。

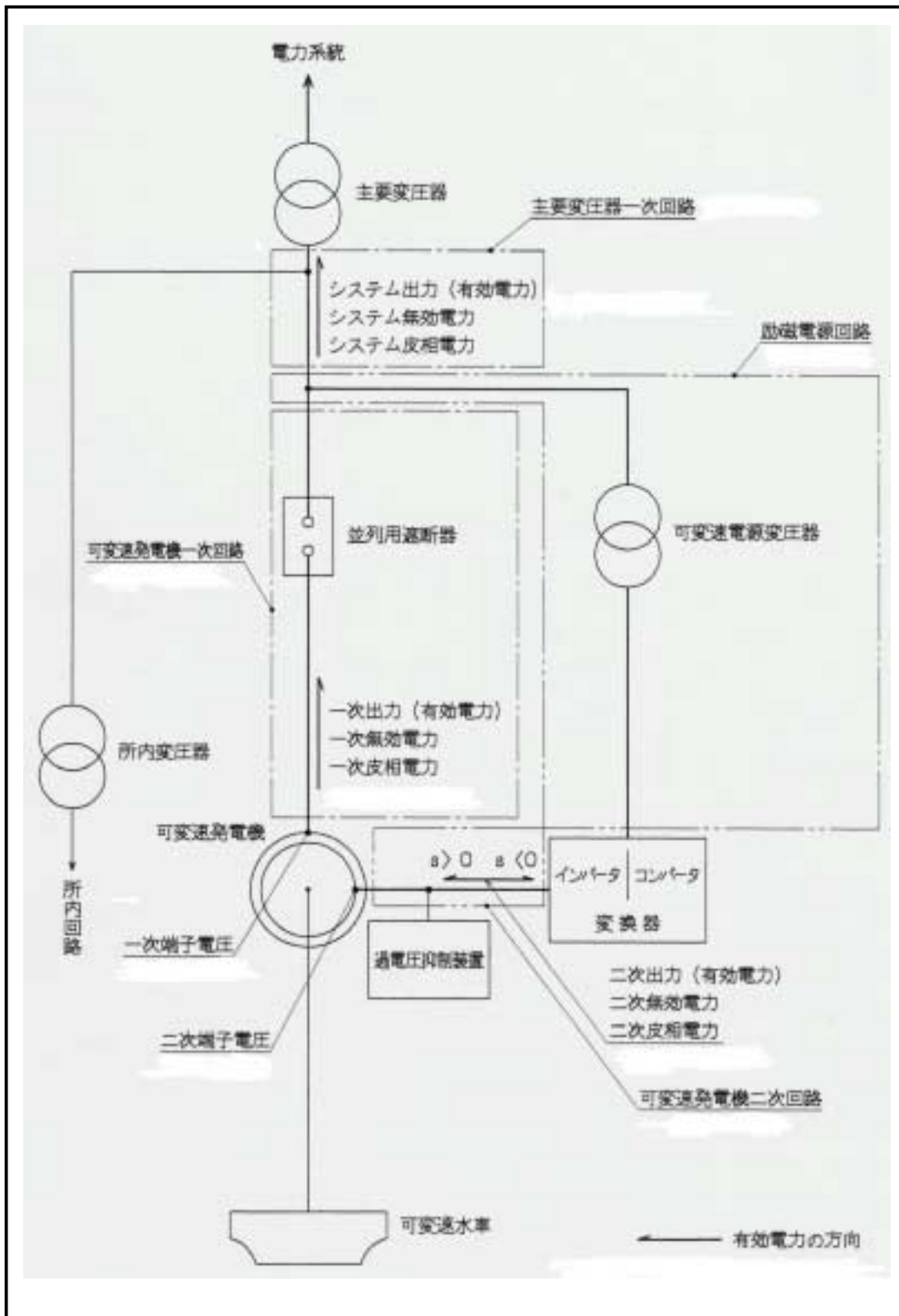
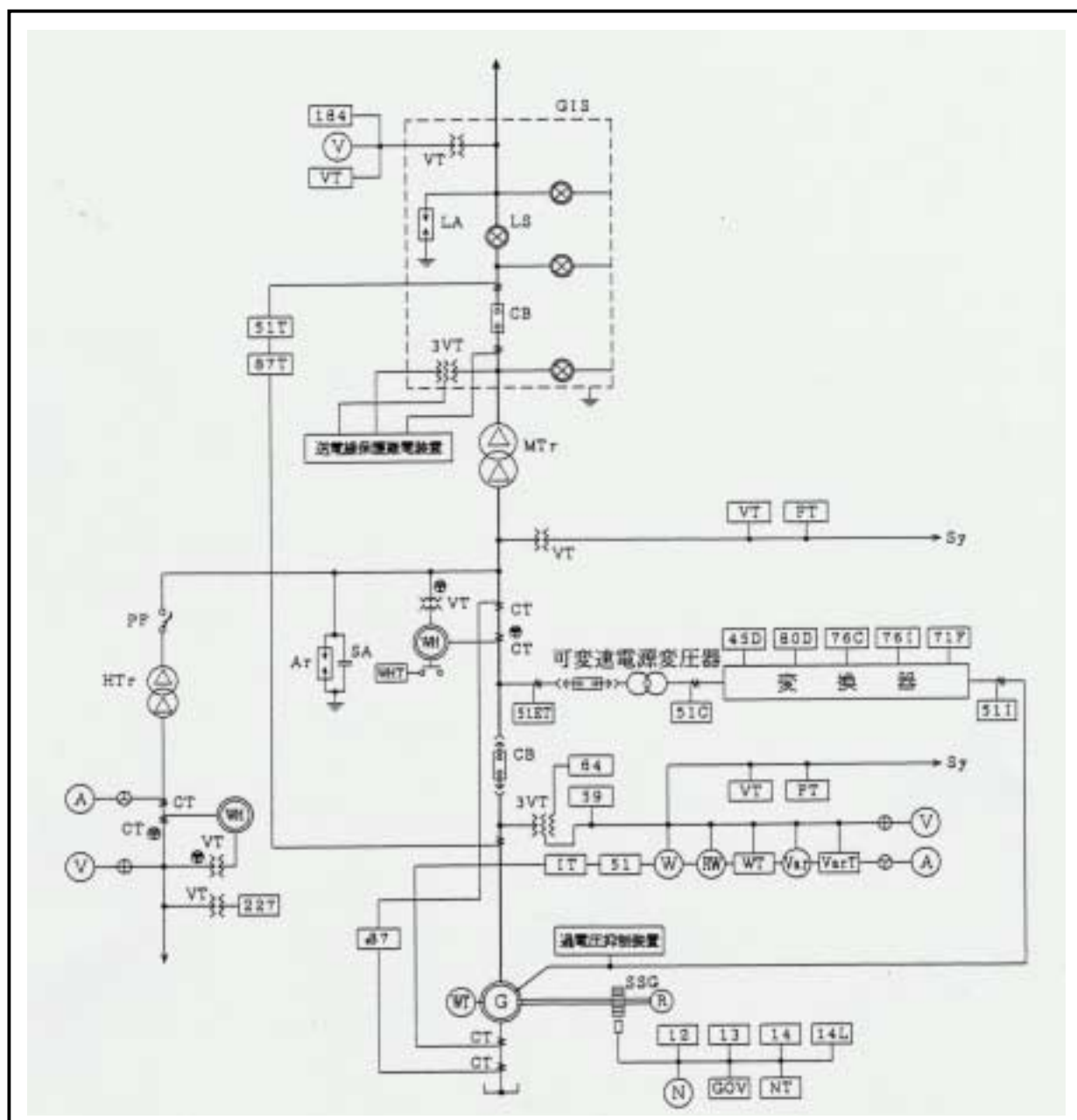


図2-14-1 可変速水力発電システム用語説明図



(3) 技術開発における主な検討課題とその対策

a. 可変速水車

水車の設計点(最高効率点)を外れた運転において、効率が低下するのは、ランナベーン前後の流れが最高効率点の流れ方と異なることによる。したがって、流れの角度がランナベーンの角度と大きく乖離しないようにすれば部分負荷運転及び変落差運転での効率低下を抑制することができる。

この目的を達成する方法として、流水の状態変化に対してランナベーンの向きを変える方法、水車の周速を変える方法などがあり、具体的には以下の3方策が考えられる。

① 可動羽根機構の採用

- ・可動羽根プロペラ水車
- ・可動羽根斜流水車

② 部分負荷効率を重視した軽負荷ランナ(フランシス水車)の採用

③ 部分負荷及び変落差運転時における効率改善に資する可変速技術の採用

可動羽根水車は、低落差で比較的容量の大きい場合に適用され、また、フランシス水車用軽負荷ランナは、中小規模の流れ込み式発電所を対象としている。

一方、変換器技術の進歩により回転電気機器の可変速技術が向上し、上記(c)の適用が可能となり、水車を可変速運転することにより流量、落差に適した状態で効率向上、運転範囲の拡大を図ることが可能となった。

水車を可変速運転する場合の各種水車の得失は、

- ・フランシス水車は、水車特性上、特に運転落差範囲が広い場合に可変速運転による効率向上が期待できる。
- ・プロペラ水車は、可動羽根として効率を改善する方法があり、可変速技術の採用メリットが少ない。ただし、可動羽根構造を適用できない小型の固定羽根プロペラ水車については効果が期待できる。
- ・ペルトン水車は、落差変動が少ない地点に適用され、また、軽負荷運転においてもノズル数の切替により効率を高く維持できるため、可変速技術の適用は不用である。

以上のことから、可変速技術の適用については、フランシス水車を対象とする。なお、変落差面からは高比速度フランシスランナが有利であり、変流面からは低比速度フランシスランナが有利である。可変速水車としての具体的な改良点としては以下の項目が挙げられる。

- ・ランナ入口側では高比速度形に近づけ、ランナ出口側では低比速度形に近づけた翼形状とする。
- ・耐キャビテーション特性の優れた材料を採用する。

b. 可変速発電機

ここでいう可変速発電機とは、機械動力を受けて交流電力を発生する二重給電発電機を意味する。二重給電発電機とは、固定子及び回転子の両巻線に交流電源を接続し、同期速度上下のある範囲の回転速度で動作する交流発電機をいう。なお、一般的に二重給電発電機には、巻線形誘導発電機が適用される。

可変速発電機の効率は、巻線形誘導発電機が適用されることにより同期発電機の効率に比べ、0.5～1.0%程度低くなる。これは、可変速発電機では同期発電機に比べ主に二次銅損が増加することによる。すなわち、可変速発電機では円筒形の回転子鉄心のスロット内に絶縁された二次巻線を分布巻しているのに対し、同期発電機では突極形の磁極に界磁巻線を集中巻していることに起因している。

また、可変速発電機は一次巻線と二次巻線を有していることから、一次端子における電圧波形くろい率であることを明確にするため、同期発電機でいう電圧波形くろい率を一次端子電圧波形くろい率と呼称する。この一次端子電圧波形くろい率は、二次励磁装置の出力電圧波形の影響を大きく受ける。一方、JEC-114「同期機」で定義されている電圧波形くろい率は、発電機単体に対するものである。したがって、JEC-114「同期機」に準じて可変速発電機における発電機単体の電圧波形くろい率を規定するため、直流励磁又はひずみのない正弦波励磁による一次端子電圧波形くろい率を採用する。

c. 変換器

二次励磁制御方式(可変速発電機の二次側に電力変換装置を設置し、この電力変換装置を用いて二次電流を制御する速度制御方式)のうち、可変速システムに適用可能な変換器方式としては、「自励式変換方式」及び「サイクロコンバータ方式」の2方式が考えられる。

「自励式変換方式」は、順変換器と逆変換器とを直流を介して接続し、二次励磁用可変周波数を得る方式である。また、「サイクロコンバータ方式」は、ある周波数を他の周波数の交流に直流を介することなく直接変換し、二次励磁用可変周波数を得る方式である。

「自励式変換方式」は、変換器の入力力率を1.0にすることができ、発電機やコンデンサから変換器が必要とする無効電力を供給する必要がない。一方、「サイクロコンバータ方式」は、サイクロコンバータが必要とする無効電力を発電機又はコンデンサで補償する必要がある。発電機で補償する場合は、発電機容量が増となり、コンデンサで補償する場合は、無効電力補償用コンデンサを設置する必要がある。したがって、経済性の観点からみた場合、「自励式変換方式」の方が「サイクロコンバータ方式」に比べて有利であるといえる。

変換器定格運転時の損失は、二次励磁制御方式では可変速電源変圧器が必要となるので、その損失も考慮し、自励式変換方式でIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)素子を採用した場合で変換器容量の4%程度、同じく自励式変換方式でGTO(Gate Turn Off Thyristor)素子を採用した場合で変換器容量の8%程度となる。実際には、全運転範囲で一律この損失値ではなく、運転可変速幅に対応した必要容量での損失となる。IGBT素子を使用した場合とGTO素子を使用

した場合の損失が異なる理由は、変換器損失は主にスナバ回路による損失と素子自身の損失とからなるが、IGBT素子を使用した変換器では、スナバ回路損失がGTO素子を使用した変換器に比べ小さいことに起因している。

以上のことから、本技術開発においては、経済性、変換器効率などを考慮してIGBT素子を使用した自励式変換方式を採用する。

なお、IGBT自励式変換器及びGTO自励式変換器の適用範囲(平成10年度現在)を、表2-14-1に示す。

表2-14-1 IGBT自励式変換器及びGTO自励式変換器適用範囲

出力容量(kVA) 送電機軸速度 rpm	1000		750		600		500		429		375		333		300		二次電圧 (V)
	6 極	8 極	10 極	12 極	14 極	16 極	18 極	20 極									
1,000	IGBT	IGBT	—	—	—	—	—	—	100 ±20%								
2,000	IGBT	IGBT	—	—	—	—	—	—	180 ±20%								
3,000	IGBT	IGBT	IGBT	—	—	—	—	—	230 ±20%								
4,000	IGBT	IGBT	IGBT	—	—	—	—	—	310 ±20%								
5,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	—	—	—	—	380 ±20%								
6,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	—	—	—	—	430 ±20%								
7,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	—	—	—	490 ±20%								
8,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	—	—	—	550 ±20%								
9,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	GTO	—	—	620 ±20%								
10,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	GTO	—	—	700 ±20%								
11,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	GTO	GTO	—	710 ±20%								
12,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	GTO	GTO	—	820 ±20%								
13,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	GTO	GTO	—	850 ±20%								
14,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	GTO	GTO	—	900 ±20%								
15,000	IGBT	IGBT	IGBT	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	900 ±20%								
16,000	—	—	IGBT	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	900 ±20%								
17,000	—	—	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	1,020 ±20%								
18,000	—	—	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	1,040 ±20%								
19,000	—	—	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	1,130 ±20%								
20,000	—	—	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	GTO	1,740 ±20%								
二次電流(A)	1250 ±10%	1250 ±10%	1500 ±10%	1650 ±10%	1750 ±10%	1750 ±10%	1900 ±10%	2250 ±10%									
備 考	1. 本表は50Hzの場合を示す。 2. 二次電圧値は可変速幅±10% の場合を示す。 可変速幅が±α% の場合は、本表の二次電圧値にα/10 を乗じて求めること。 3. 記号説明 ①IGBT : IGBT変換器の最小出力周波数を、0.25Hzとした時に標準IGBT変換器の適用の可能性のある範囲 ②GTO : GTO 変換器の適用の可能性のある範囲 ③ — : 中小水力標準発電機選定範囲外⇒適用可能性検討対象外																

d. 二次励磁制御装置

二次励磁制御装置は、可変速発電機に二次電流を供給する電力変換装置で、変換器、可変速電源変圧器、可変速制御装置、ゲート駆動装置などから構成される。

電力用と価格低減の可能性のある一般産業用及び汎用品の各制御装置について、技術仕様面を中心に比較検討を行った結果、電力用制御装置と基本仕様が類似する一般産業用制御装置が中小水力発電システムの二次励磁制御装置に適用可能性のあることが明らかになった。一般産業用制御装置が適用できた場合、ラインアップされた標準品を採用でき、多数の製作実績に基づくコストダウン効果が期待できる。

一般産業用制御装置の適用可能性について検討する際は、以下の点に留意する必要がある。

発電所では制御電源として主に直流が使用(所内電源喪失時に蓄電池からの電源供給が可能⇒高信頼性の確保)されていることから、交流を主な制御電源としている一般産業用制御装置を適用する際は、無停電電源装置から電源を供給するなどの対策が必要である。また、商用周波耐電圧、雷インパルス耐電圧及び過負荷耐量に関して当事者間協議とすることも必要である。さらに、実際の一般産業用制御装置の適用に際しては、当該発電所の重要度に応じた個々の仕様に関して、十分な事前検討が必要である。

なお、可変速中小水力システムに適用される二次励磁制御装置の価格低減策及び得失を表2-14-2に示す。

表 2-14-2 二次励磁制御装置の価格低減策と得失

価 格 低 減 策	得 失
汎用品制御装置及び一般産業用制御装置の適用	汎用品制御装置及び一般産業用制御装置を中小水力発電システムの二次励磁制御装置に適用することにより制御装置全般の価格を低減できる可能性がある。
可変速中小水力発電システム専用制御技術(電力用制御技術)の開発	二次励磁制御装置の価格低減のためには、可変速中小水力発電システム専用の簡素化された制御装置を開発することが望ましい。しかし、可変速中小水力発電システムの適用可能地点数等を考慮すると、このような制御装置が開発される見込みは、経済性の面から少ないものと思われる。
可変速揚水発電システム用制御装置(電力用制御装置)の簡素化	可変速揚水発電システムは、最新の技術であり、標準的な制御方式、制御装置が存在せず、製作者ごとに設計思想、制御方式などが異なっている。このため、現時点で統一仕様(標準仕様)を策定し、簡素化を図ることは極めて難しい。
[備 考] ・電力用制御装置 電力用規格仕様及び電力会社固有の社内規格仕様に準じた制御装置。 ・一般産業用制御装置 JEM 仕様に準じた制御装置。ここでは、工場内における補機(ベルトコンベア等)用制御装置を例とした。 ・汎用品制御装置 一般的な市販仕様に準じた制御装置。ここでは、パーソナルコンピュータを例とした。	

2.14.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

可変速システムに関する種々の検討の結果、システムの適用可能性が見込まれる地点特性は、

- ・ 変落差^(注1)が35%以上の地点。
- ・ 毎年、満水位から低水位を繰り返す地点。
- ・ 低落差、大流量での運転時間の多い地点。

であることが明らかになった。

また、二次励磁装置への標準変換器^(注2)の適用拡大策として、

- ・ 発電機仕様の変更(標準変換器出力電圧に合わせて発電機二次電圧を設計)する。
- ・ 変換器容量を減少させるため、変換器最小出力周波数を増とする。

ことが有効であることが明らかになった。

(注1) 変落差＝(運用最高水位－運用最低水位)／最高有効落差

(注2) ここでいう標準変換器とは、定格、仕様を製作者が独自に決定し、設計完了済で、発注者から注文を受けた後に製造する受注生産品を意味する。

すなわち、上述した地点特性を考慮し、二次励磁装置への標準変換器の適用(適用拡大策を含む)が可能な場合には、コストメリットが期待される。

なお、コストメリットが生じた代表的なケース・スタディ結果を**表 2-14-3**に示す。

表 2-14-3 ケース・スタディ結果(可変速化コストメリット有)

	ケース 1(A地点)	ケース 2(F地点)																																				
変落差	25%	44%～62%																																				
可変速機概略仕様 ・可 変 速 幅 ・システム最大出力 ・基準有効落差 ・流 量 ・回 転 速 度 ・水 車 形 式 ・発 電 機 形 式 ・変 換 器 方 式 ・変 換 器 容 量 ・変換器出力電圧	±5% 16,400kW 83.7m 23.5m ³ /s 375min ⁻¹ ±5% 立軸単輪単流渦巻フランシス水車 立軸二重給電発電機 IGBT 自励式変換方式 3,000kVA(標準仕様) 840V(標準仕様)	±10% 8,830kW 45.0m 20.0m ³ /s 333min ⁻¹ ±10% 立軸単輪単流渦巻フランシス水車 立軸二重給電発電機 IGBT 自励式変換方式 3,600kVA(標準仕様) 840V(標準仕様)																																				
経 済 性 評 価	[二次励磁装置への適用拡大策] 発電機二次電圧に合わせて標準変換器を選定。 [検討結果](単位:億円) <table><tr><td>項 目</td><td>定 速</td><td>可変速</td></tr><tr><td>水 車</td><td>6.0</td><td>6.0</td></tr><tr><td>発電機</td><td>5.0</td><td>6.0</td></tr><tr><td>励磁装置</td><td>0.5</td><td>2.2</td></tr><tr><td>合 計</td><td>11.5</td><td>14.2</td></tr><tr><td>増分機器代</td><td>—</td><td>2.7</td></tr></table>	項 目	定 速	可変速	水 車	6.0	6.0	発電機	5.0	6.0	励磁装置	0.5	2.2	合 計	11.5	14.2	増分機器代	—	2.7	[二次励磁装置への適用拡大策] 標準変換器出力電圧に発電機二次電圧に合わせて設計。 [検討結果](単位:億円) <table><tr><td>項 目</td><td>定 速</td><td>可変速</td></tr><tr><td>水 車</td><td>5.3</td><td>5.3</td></tr><tr><td>発電機</td><td>3.2</td><td>4.2</td></tr><tr><td>励磁装置</td><td>0.4</td><td>2.5</td></tr><tr><td>合 計</td><td>8.9</td><td>12.0</td></tr><tr><td>増分機器代</td><td>—</td><td>3.1</td></tr></table>	項 目	定 速	可変速	水 車	5.3	5.3	発電機	3.2	4.2	励磁装置	0.4	2.5	合 計	8.9	12.0	増分機器代	—	3.1
	項 目	定 速	可変速																																			
	水 車	6.0	6.0																																			
発電機	5.0	6.0																																				
励磁装置	0.5	2.2																																				
合 計	11.5	14.2																																				
増分機器代	—	2.7																																				
項 目	定 速	可変速																																				
水 車	5.3	5.3																																				
発電機	3.2	4.2																																				
励磁装置	0.4	2.5																																				
合 計	8.9	12.0																																				
増分機器代	—	3.1																																				
	可変速システムの適用により発電電力量が増となり、機器代の増分を補う kWh 価値が生じたことにより、コストメリットを得る結果となった。																																					

(平成 10 年度作成)

2.14.3. マニュアルの概要

(1) 名 称

「可変速システム導入マニュアル (案) 概成版」

(平成11年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアルは、汎用可変速機器を中小水力発電用として採用し、新規水力地点の開発、既設発電所の設備更新に適用することにより可変速運転による部分負荷運転時、変落差運転時の効率向上を図り、発電電力量の増加を目指すことを目的とする。

(3) 適用範囲

本マニュアルは、可変速水力発電システムを採用した一般水力発電設備の調査、計画、設計などに適用する。

本マニュアルにおける発電設備に関する適用範囲を**表2-14-4**に示す。

表 2-14-4 可変速中小水力発電システムの適用範囲

項 目	範 囲
発 電 方 式	貯水池式、調整池式
発 電 所 出 力	1,000～20,000kW
備 考	フランシス水車が採用可能な地点

(4) マニュアルの構成

本マニュアルの目次構成は、以下のとおりである。

可変速システム導入マニュアル(案)目次(平成10年度)

第1章 目的及び背景

第2章 総 則

2.1 適用範囲

2.2 用語の定義

2.3 可変速技術の概要

2.4 基本システムの概要

第3章 可変速化検討手順

3.1 可変速化検討手順

第4章 機器設計

4.1 可変速水車

4.2 可変速発電機

4.3 変換器

第5章 水車・発電機購入仕様書例

5.1 基本的考え方

5.2 仕様書例作成上の特記事項

5.3 水車・発電機購入仕様書例目次

(添付資料)

◆資料編

資料.1 開発限界建設単価について

資料.2 高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイド
ライン

資料.3 高調波管理基準事例

資料.4 発電効率向上に資する関連技術

資料.5 可変速技術を適用した基本システムの技術検討例

資料.6 多目的ダム変落差調査結果

(5) 仕様書

可変速システム(二時励磁制御方式)に供する水車・発電機購入仕様書を作成する場合、主に以下の点に留意することが望ましい。

- ・ フランシス水車の採用を検討する。
- ・ 二重給電発電機の採用を検討する。なお、二重給電発電機では、構造上制動巻線及び磁極が不用であることから、性能に関する要求事項として制動巻線及び磁極に関して記載する必要はない。また、定速機用励磁装置では、励磁系頂上電圧を性能に関する要求事項としているが、二重給電発電機では励磁系頂上電圧の定義がなされないことから、これについても記載する必要はない。
- ・ 発電機出力は、一次出力と二次出力の合計とする。
- ・ 可変回転速度範囲を検討する。
- ・ 一次端子電圧変動範囲について、JEC-114「同期機」では運転状況に定格回転速度の条件が付されているが、可変速発電機では、定速機という定格回転速度(同期速度)での運転が機能上困難であるため運転状況を定格出力、定格力率、可変回転速度範囲内とする。
- ・ 同期発電機において、一般的に保証項目となっている短絡比は、可変速発電機(二重給電発電機)においては、その定義がなされないことから、保証項目から除外するのが望ましい。
- ・ 発電機の電圧波形くずれ率は、一次端子で測定し、直流励磁又はひずみのない正弦波励磁によるものとする。

- ・変換器方式として「自励式変換方式」を標準として適用する。
- ・可変速システムでは、二次励磁装置に係る費用のシステム全体に占める割合が大きく、また、二次励磁装置の費用は二次励磁装置容量の増大に伴い高くなる傾向がある。可変速化増分費用を低減するためには、二次励磁装置容量は必要最小限にとどめることが望ましい。したがって、二次励磁装置定格出力については、「水力発電機器の計画・設計[標準化と簡素化]」((財)新エネルギー財団水力本部編、昭和58年11月)等に記載されている「発電機が必要とする容量の110%以上」と限定せず、「発電機が必要とする容量以上」と記載するのが望ましい。
- ・高調波抑制対策として、二次励磁制御方式では二次励磁装置容量が小さく、高調波電流が少ないことから、高調波フィルタを設置しないことを基本とするが、「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」等の規定値を超える場合は、規定値内となるように高調波フィルタを設置する等の対策を実施する必要がある。
- ・可変速システムにおいては、出力と回転速度の協調制御を行う必要があることから、レギュレータ機能は、可変速制御装置内に組み込まれる。また、電動サーボ駆動部、調速機盤設置の各種指示計・スイッチ類及び継電器類は、盤面数低減を考慮し、補機制御盤等に組み込まれる場合がある。
- ・工場試験に関する可変速機特有の項目を以下に示す。
 - ① 電圧調整機能試験
 - ② 力率調整機能試験
 - ③ 調速制御機能試験
- ・現場試験に関する可変速機特有の項目を以下に示す。
 - ① 高効率関数確認試験
 - ② 一次端子電圧波形測定
 - ③ 保護連動試験
 - ⇒可変速機では、定速機に比べ保護が複雑になり、システム全体と二次励磁装置との保護協調を考慮する必要がある。
 - ④ 高調波量測定

2.14.4. 採用実績、課題等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、水力発電効率向上に関する技術開発後の発展状況については、中小の一般水力において本技術の採用実績がないことから、十分なデータが入手できず、本技術の使用を想定しての回答であったと考えられ、回答者の多くが「その他」と回答している。

コスト低減等への寄与程度については、現時点での評価が難しいためか「どちらともいえない」が多数を占めており、普及度についても全般的に評価は高くない。

本新技術の普及を図るためには、二次励磁制御装置用半導体デバイス、制御システムを含めた発電所全体のコストダウンを一層図る必要があるものと考えられる。

本新技術の採用実績については、前述のとおり中小の一般水力においては現在のところまだないが、揚水発電所への適用例(参考)が2件紹介されており、これに関して当該事業者は、系統安定度向上等の効果を評価している。

参考として、この適用例における発電所及び当該機器の主要諸元を**添付資料－4－15**に示す。

また、可変速誘導発電システムの事例(中部電力(株)小里川発電所、最大出力1,800kW(発電機＋回生インバーター)、平成15年4月運転開始予定)が、中小水力発電技術に関する実務研修会(平成14年3月)のテキストに紹介されている。

2.15. 発電所の無人管理化

発電所の無人管理化

(昭和 59 年度～62 年度調査)

概 要

未開発地点の多くは山岳地帯にあり、将来の保守業務費用をも含めた発電原価が問題となることが多い。

完全無人管理発電所は、自己完結型の発電所であり、保守業務の簡素化及び単純化の技術開発を行ない、運転管理費のコストダウンを図るものである。

分 類

適用段階 (調査、計画、設計、施工、保守運用、その他 ())

対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、(発電所)、放水路、水車・発電機、全般、その他 ()

最終成果の形態

報告書、(マニュアル)、実証試験実施要領、その他 ()

キーワード

発電所無人化、無人管理、自己完結型、取水設備自動化、機器合理化、設備合理化、保守管理省力化、電力量増加

適用条件

発電方式	流れ込み式
発電所出力	2,000kW 以下
送配電設備	電力の供給に支障を及ぼさないこと
下流への影響	運転操作により下流に対して影響を与えないこと

2.15.1. 新技術の概要

(1) 目的

完全無人管理発電所は、従来の無人発電所の監視制御、すなわち「技術員は必ず技術員駐在所に駐在し、発電所の監視をする」の方針に対して、技術員駐在所から一切の監視、制御、計測を行わない発電所であり、保守についても原則的に殆ど人手をかけないことを基本とした自己完結型の発電所である。このためには、発電所を構成する個々の設備について、従来以上に自動化、省力化を一層進める必要がある。

土木設備の現状は、取水設備が出水時の土砂、塵芥などの流入防止のための自動取水停止を行っているが、減水後の自動再取水を行っている例は極めて少ない。したがって、人手をかけない自己完結型とするためには、取水設備の完全自動化が前提となる。

電気設備の現状は、既に無人化されている発電所が多く、殆どそのまま自己完結型としての機能を果たすことができる。しかし、完全無人管理発電所としての基本である、技術員駐在所から一切の監視、制御、計測を行わない趣旨から、監視制御方式としては、「発電電規程」の随時巡回方式を準用するが、随時巡回に代えて保安通報装置を設置するものとする。

本技術開発は、上述の観点から完全無人管理発電所が普及するとともに、水力開発の促進に資することを目的としている。

(2) 新技術の概要

a. 完全無人管理発電所の基本方針

完全無人管理発電所とは、技術員駐在所から一切の監視、制御、計測を行なわない発電所であり、保守についても原則的には殆ど人手をかけない自己完結型の発電所である。

b. 完全無人管理発電所の設計のための調査・検討項目

- ・ 水文、気象調査
- ・ 安全、環境調査
- ・ 塵芥、流木調査
- ・ 動力電源調査／検討
- ・ 保安通報方式の調査／検討

c. 土木設備の設計指針

土木設備の設計は、従来の流れ込み式発電所の設計と基本的には同じであるが、完全無人管理発電所という観点から取水設備の完全自動化に主眼をおく。

取水設備の完全自動化とは、河川水位及び堆砂を検出装置で自動検出し、各種門扉と連動化を図り、的確な取水停止・再取水を自動的に行なうものである。また、取水設備の完全自動化の設計は、取水口制水門、ダム排砂門及び沈砂池排砂門の操作を検出装置により、河川状況(水位、堆砂)に応じて自動的に行なわせる操作フローの設計と検出装置(水位計、堆砂計)の選定を行なう

ものである。

洪水時操作フローは、以下の点に重点をおいて設計する。

- ・ 取水停止及び再取水の条件
- ・ 増水時における取水口前面の排砂方法
- ・ 減水時における沈砂池の排砂方法

なお、洪水時操作フローを図2-15-1に示す。

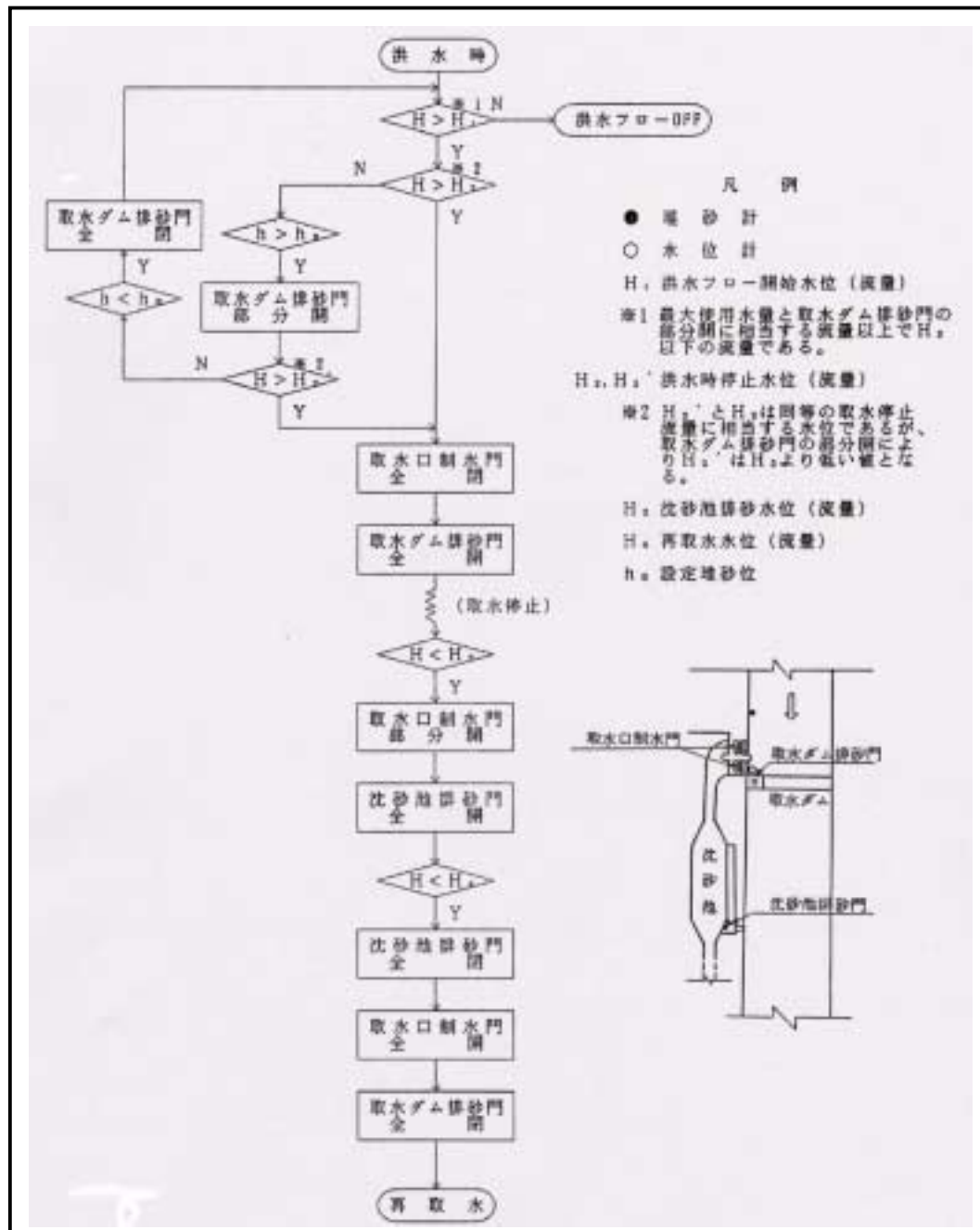


図2-15-1 洪水時操作フロー(標準)

また、平常時沈砂池排砂フローは、以下の点に重点をおいて設計する。

- ・ 予備放流の流量及び時間
- ・ 排砂方法及び排砂のための流量及び時間

なお、平常時沈砂池排砂操作フローを図2-15-2に示す。

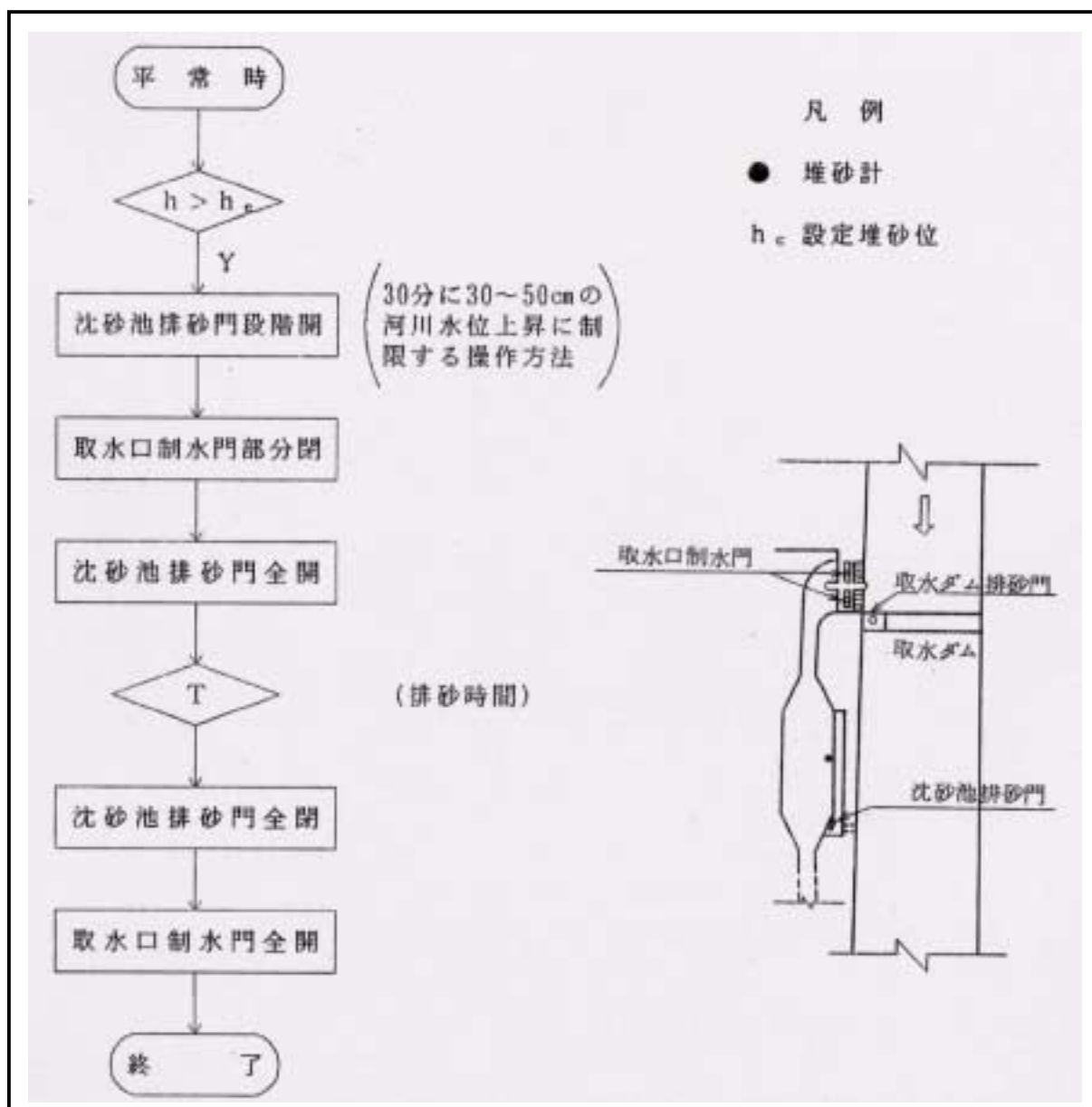


図2-15-2 平常時沈砂池排砂操作フロー(標準)

水位計の種類は、フロート式とフロートレス方式に大別され、検出方式は以下のものなどがある。

- ・フロートウェイト式
- ・触針式
- ・電気式
- ・圧力式
- ・超音波式

堆砂計は、検出方式の違いにより以下のとおり分類される。

- ・熱式堆砂計
- ・機械式堆砂計
- ・超音波式堆砂計

d. 電気設備の設計指針

電気設備は、設備の簡素化、合理化、標準化の下に信頼性の高いメンテナンスフリー化の図れる機器、装置の採用を基本的な考え方とし、監視制御方式として随時巡回方式を準用し、その思想に基づき合理的設計を行うものとする。さらに、システムに自動再始動機能を持たせるとともに、保安通報装置を導入することによって極力溢水の防止を図るものとする。

電気設備はメンテナンスフリー化を図るために、構造設計上から以下の項目に重点をおき、巡視、点検回数の低減を図るものとする。

- ・機能上省略可能な装置の削除
- ・確実な事故停止装置の採用、又は放置運転に耐える構造の検討
- ・長寿命部品の採用
- ・標準化機器の採用と消耗部品の定期的取換の推進
- ・防災及び無公害への配慮

また、完全無人管理発電所における保安通報方式には、以下に示す各方式があるが、その選定にあたっては、通報距離、発電所地点の立地条件などにより個別に検討し、信頼性と経済性を総合して決定する必要がある。

- ・通信ケーブル方式
- ・無線方式
- ・NTT加入方式
- ・電力線搬送方式
- ・モニタ(連絡補助員)方式

なお、完全無人管理発電所における同期発電機及び誘導発電機の標準的な主回路単線結線図をそれぞれ図2-15-3及び図2-15-4に示す。

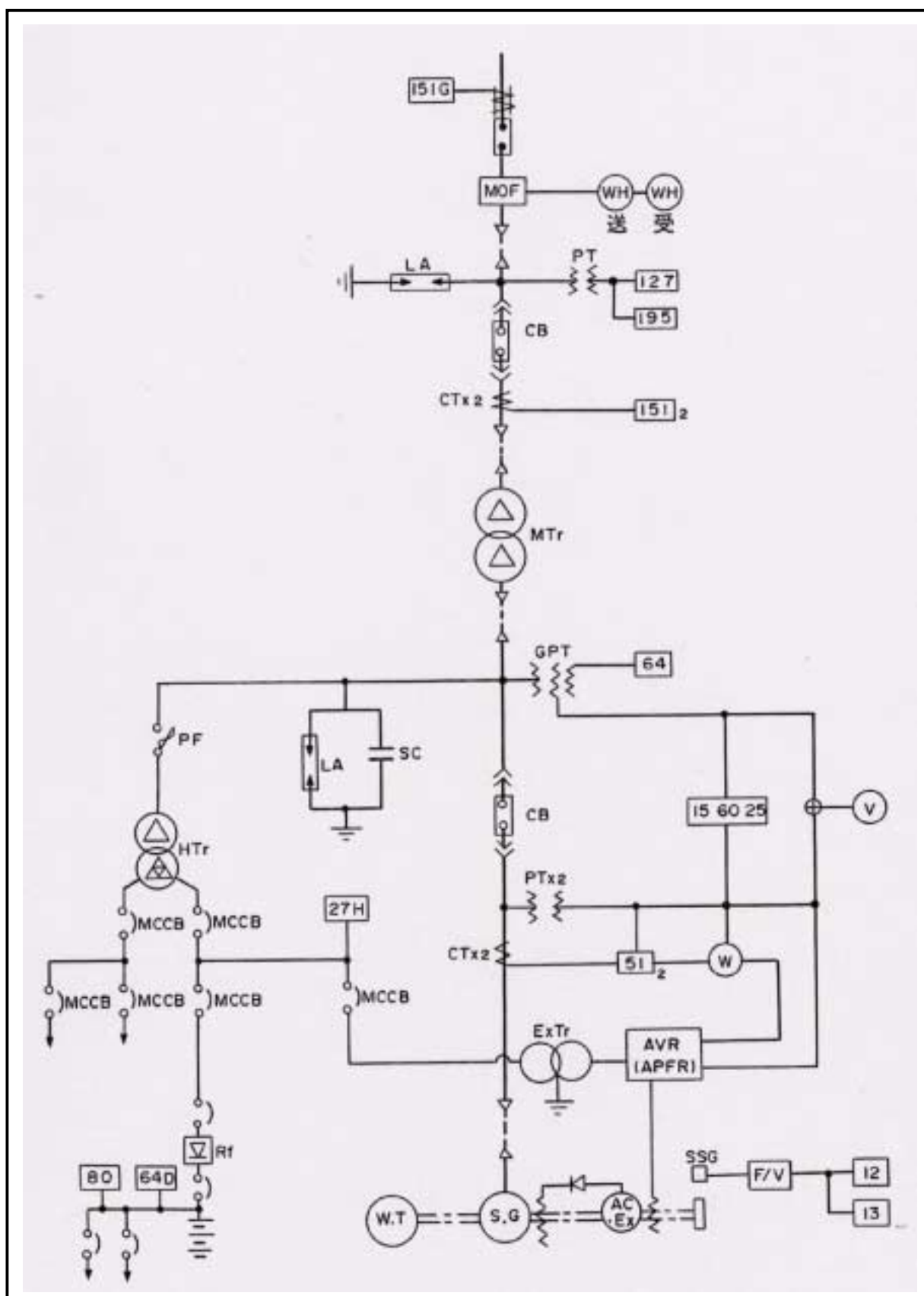


圖2-15-3 完全無人管理發電所同期發電機標準單線結線図例

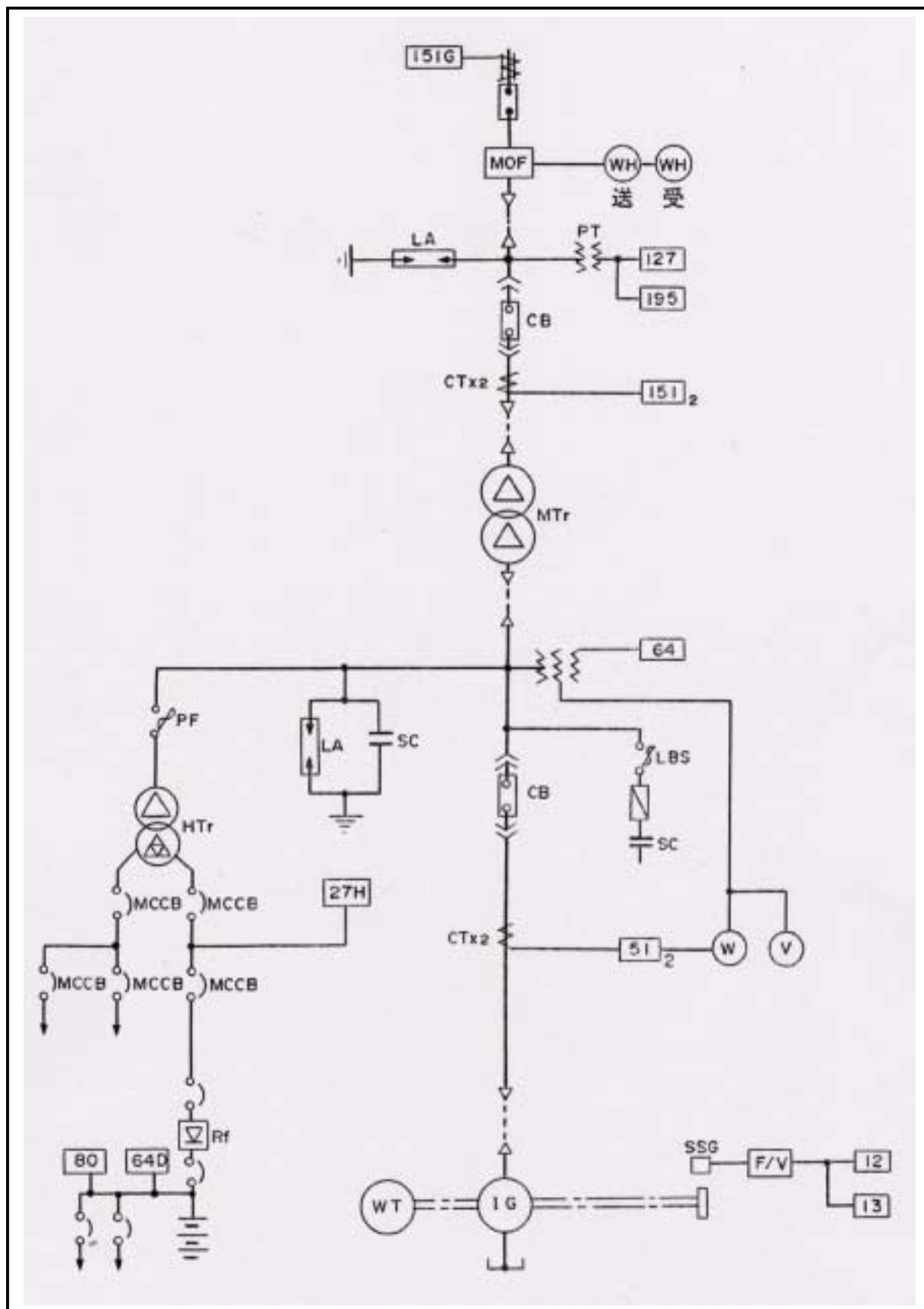


图2—15—4 完全無人管理發電所誘導發電機標準單線結線図例

e. 運転保守の基本方針

完全無人管理発電所の運転保守に対する基本方針は以下のとおりである。

(a) 日常監視・操作業務

- ・ 日常の発電所監視、操作業務は省略する。

(b) 巡視業務

- ・ 土木設備の巡視業務は、当面、従来行ってきた巡視方式(1回／月)とする。
- ・ 電気設備の巡視業務は、従来大多数の発電所で実施している普通巡視、精密巡視の区分をなくし、普通巡視を指向した定期的巡視(1回／月)とする。

(c) 点検業務

- ・ 土木設備の点検業務は、当面、従来行ってきた点検方式(普通点検:1回／6ヶ月、精密点検:1回／2年))とする。
- ・ 電気設備の点検業務は、従来大多数の発電所で実施している普通点検(外部点検)、精密点検(内部点検)の区分をなくし、精密点検を指向した定期的な点検(水車発電機:1回／5～10年、その他の機器:当面適宜実施)とする。
- ・ 運転記録は、「発電電力量」について巡視時に記録する。
- ・ 定期的な部品交換により点検、検査、試験の間隔を長くする。
- ・ 巡視、点検、試験、記録など運転保守業務全般にわたる大幅な省略、省力化を図る。

2.15.2 経済性に関するケース・スタディ結果

(1) 経済性評価の基本的な考え方

完全無人管理発電所に関する経済性評価の基本的な考え方は、以下に示すとおりである。

- ・ ケース・スタディのモデル発電所は、出力 2,000kW、使用水量 2～3m³/s、有効落差 140～150m 相当で、発電所設備が技術員駐在所から約 10km 程度離れた、流れ込み式発電所とする。
- ・ 完全無人管理発電所とした場合と従来型発電所の場合について、経済性を比較検討する。

(2) 評価項目

a. 建設工事費

建設工事費は各発電所によって異なることから、土木設備及び電気設備の設備費(直接工事費)を比較対象とし、完全無人管理発電所と従来型発電所との差額で評価する。

完全無人管理発電所の土木設備は取水設備を完全自動化するものとし、また従来型発電所の電気設備は昭和 58 年度相当の設備実態とした。

なお、価格は完全無人管理発電所の構想が出された昭和 58 年度ベースとした。

b. 取水設備の完全自動化によるメリット(溢水電力量の減少)

取水設備の完全自動化によるメリットは、発電所の取水設備を完全自動化することによって、“洪水時の自動再取水による溢水電力量”、及び“平常時の沈砂池自動排砂時に生ずる溢水電力量”を求め、自動化前(過去の実績)との溢水電力量の差で評価する。

c. 運転保守費

運転保守費の合理化分は、A 発電所を完全無人管理発電所とした場合に予想される業務時間を求め、A 発電所の現状の業務時間との差で評価する。

土木設備の業務時間:再取水時の運転操作及び排砂作業の運転操作に要する時間

電気設備の業務時間:監視・制御・記録及び巡視・点検に要する時間

(3) 経済性の評価結果

経済性評価の結果は以下のとおりである。

- ・ 建設工事費は完全無人管理発電所と従来型発電所とを設備費の差額で比較した場合、土木設備が検出装置(水位計、堆砂計)及び自動化制御装置の採用で、13,000 千円の増額、電気設備が無給水式主軸封水装置等の採用及び補機並びに遠隔監視制御装置の省略により 40,000 千円の減額となり、土木・電気設備で合計 27,000 千円の減額となる。
- ・ 取水設備の完全自動化によるメリット(溢水電力量の減少)は、洪水時の自動再取水が 57.6MWh/年、沈砂池の自動排砂が 94.18MWh/年で、合計 151.8MWh/年である。この溢水電力量を昭和 50～59 年度の 10 年平均(実績値)と比較すると、洪水時の自動再取水が

24%、沈砂池の自動排砂が 78%で、合計 42%の低減である。

- ・ 運転保守費の合理化分(従来型発電所比)は、土木関係で再取水及び排砂作業の自動化によって5%、電気関係で運転保守業務の省力化によって74%、土木・電気の合計で 22% となる。
なお、電気設備のうち普通点検作業の委託費も、低減可能となる。

2.15.3 実証試験結果

(1) 実証試験の目的

実証試験では、取水設備の完全自動化システムの実用性能やトータルシステムとしての効率的運用について検討するために、洪水時及び平常時の自動運転データの分析並びに設備及び操作フローの検証が行われた。

なお、本実証試験は、通商産業省（経済産業省）の水力発電施設等の新技術の導入に係る補助金の対象ではない。

(2) 実施期間

昭和61、62年度

(3) 実証地点の概要

実証地点は、利根川水系熊川上流部に位置する熊川第一発電所であり、吾妻川第一自動制御所から遠隔監視制御されている。

熊川は、その源を浅間山の北東部に発し、熊川第一発電所の直上流で地蔵川と合流後北に流下し、群馬大津付近で吾妻川に合流する、全長15.5kmの一級河川である。

取水口付近の河川形状は、河幅40m程度と比較的広いが、勾配は1/30～1/50とやや急流である。また、洪水時及び融雪時はもちろん、平常時でも浅間山産出の火山灰を主とした流出土砂が多い。その他、浅間山周辺、特に北軽井沢地域は観光開発が進んでいる。

発電所及び関連設備の基本諸元を表2-15-1に、平面図を図2-15-5に示す。また、取水設備概要、堆砂計・水位計・濁度計取付け位置を、図2-15-6～2-15-10に示す。

表2-15-1 発電所及び関連設備基本諸元

名 称	熊川第一発電所
水 系 河 川 名	利根川水系熊川
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	2,400kW
最大使用水量	2.23m ³ /s
有 効 落 差	141.57m
ダ ム	高さ 3.2m 頂長 38.0m 排砂門 幅1.32m×高2.49m×1門
取 水 口	制水門 幅1.91m×高2.24m×1門
沈 砂 池	幅 12.0m (A、B) 長さ 60.0m 制水門 幅2.40m×高1.60m×4門 排砂門 幅1.10m×高1.20m×2門

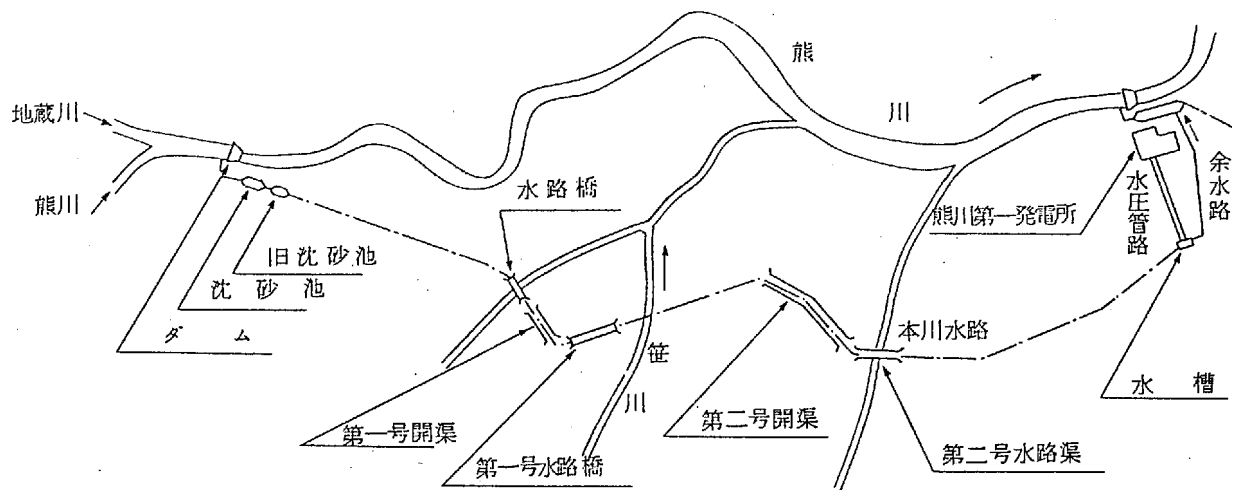
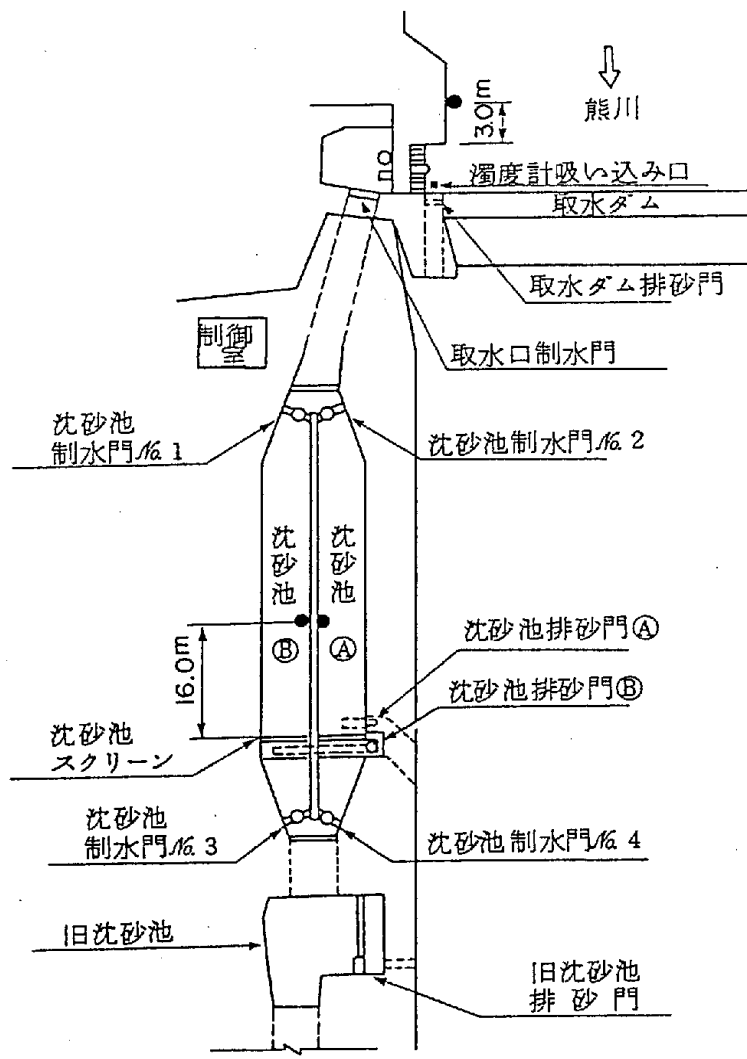


図2-15-5 熊川第一発電所平面図

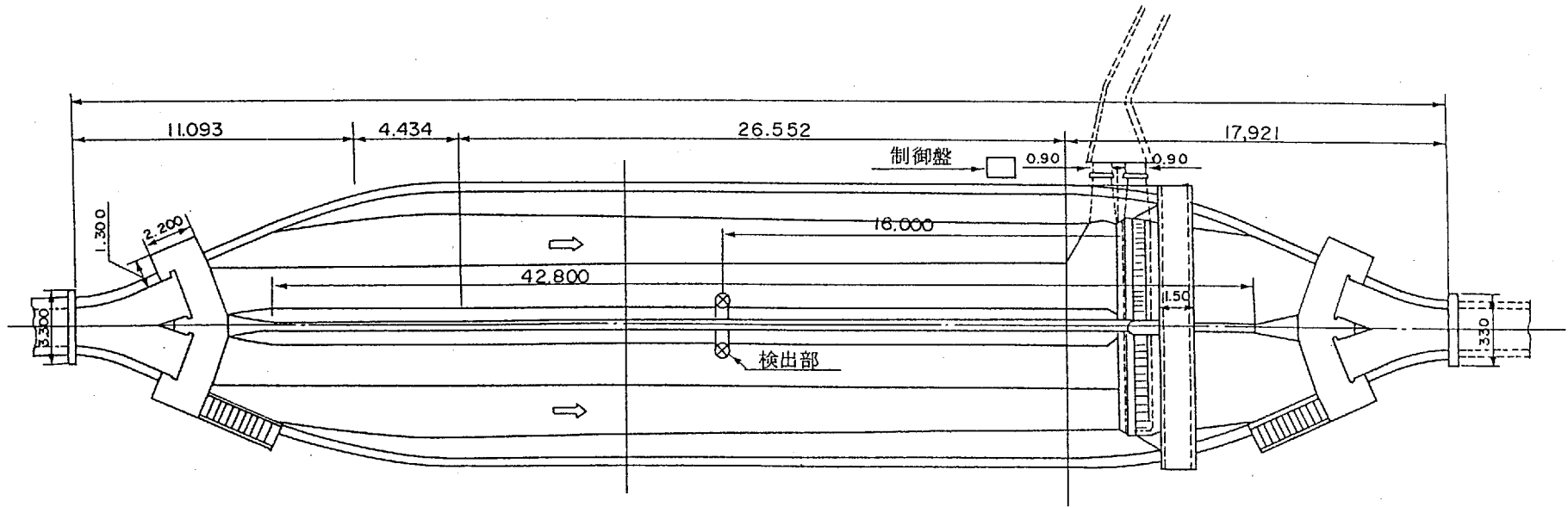


凡 例

- 水位計 (新設 1 台)
- 濁度計 (新設 1 台)
- 堆砂計 (新設 3 台)

図2-15-6 取水設備概要図

平面図



側面図

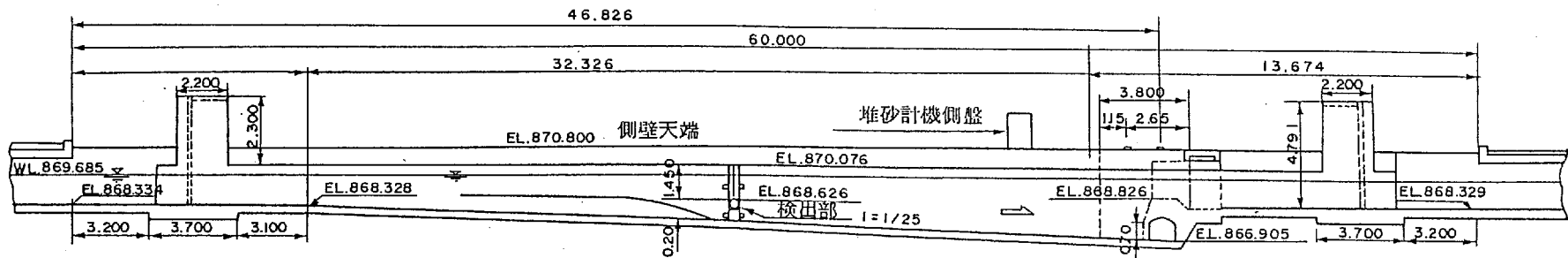
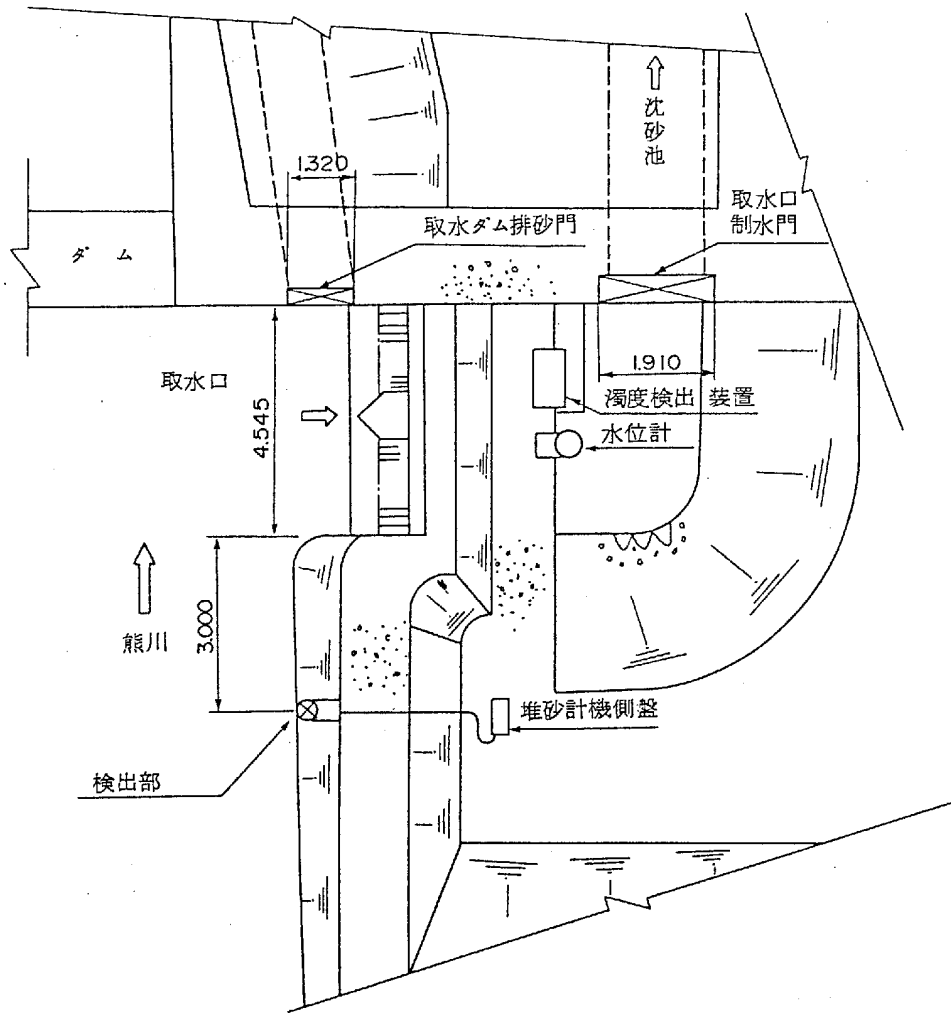


図2-15-7 沈砂池 堆砂計取付け位置図

平面図



正面図

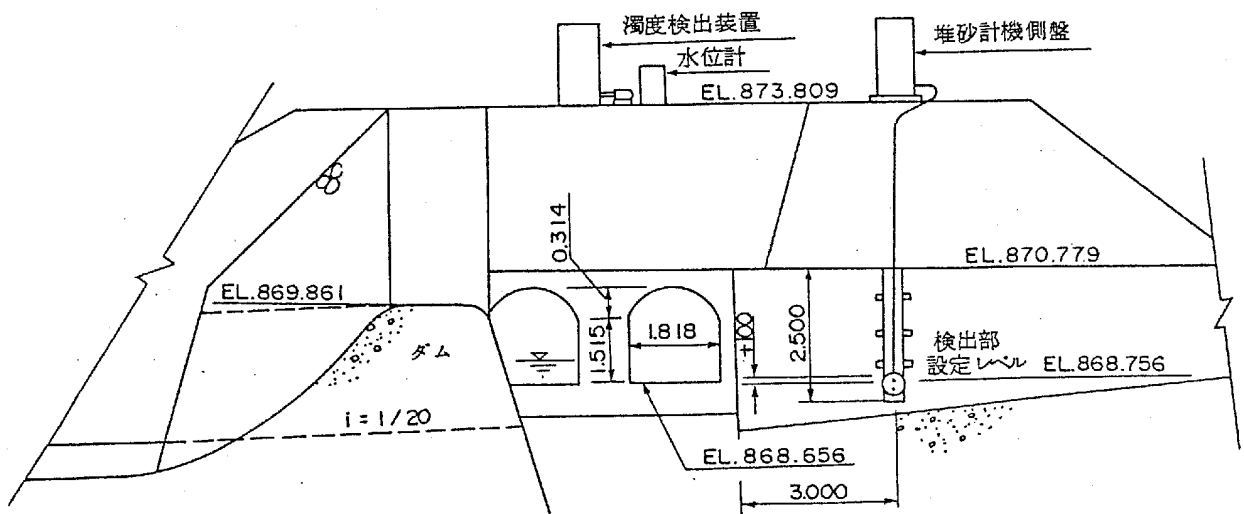
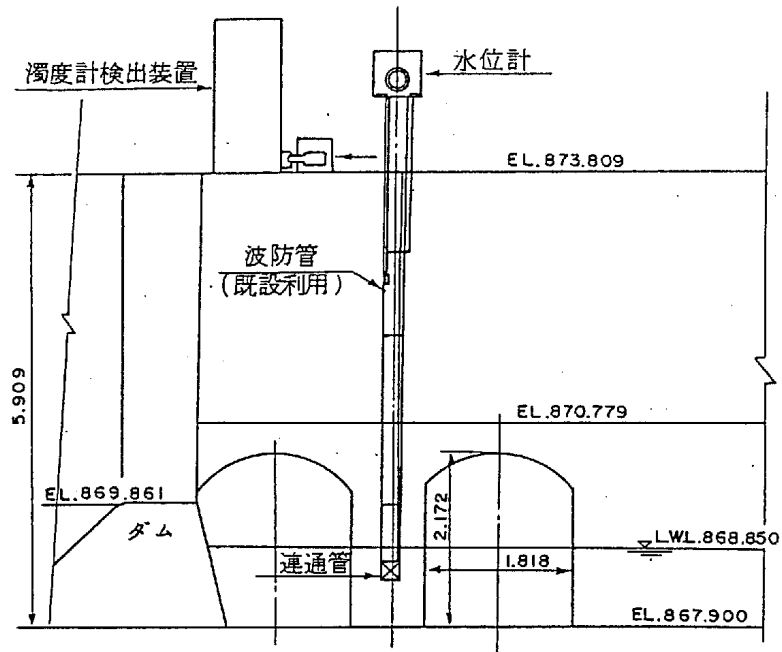


図2-15-8 取水口 堆砂計取付け位置図

正 面 図



側 面 図

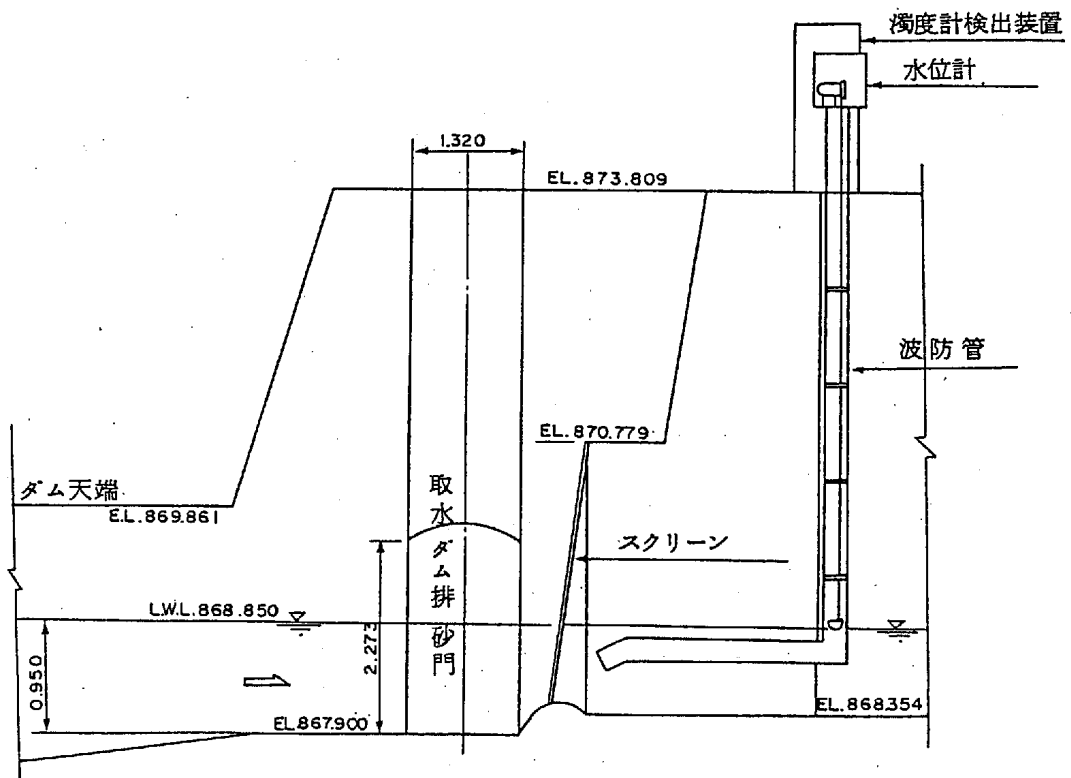
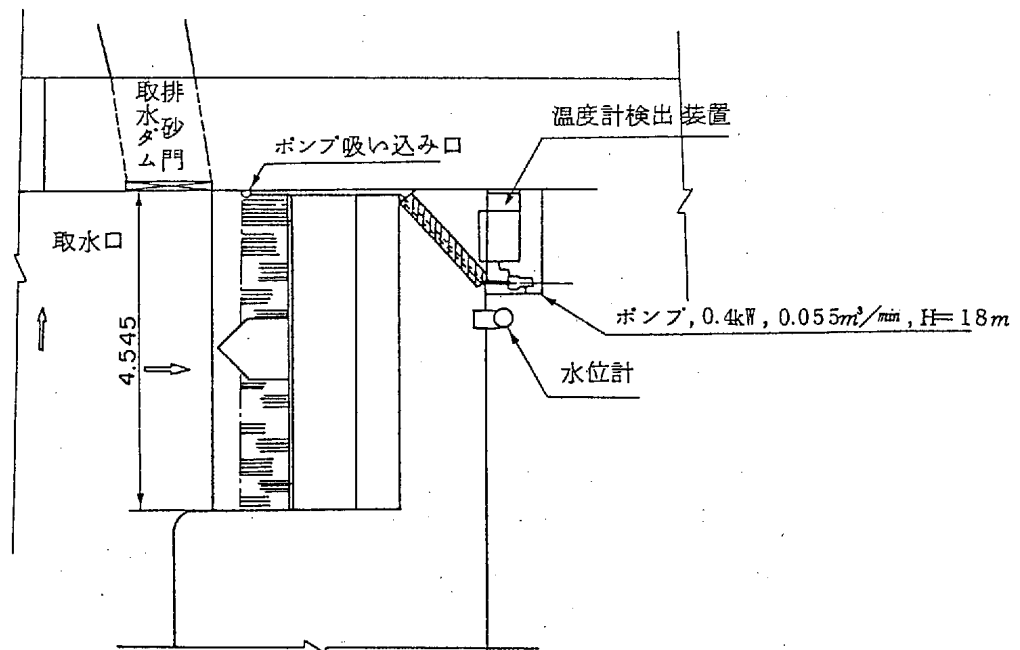


図2-15-9 水位計取付け位置図

平面図



側面図

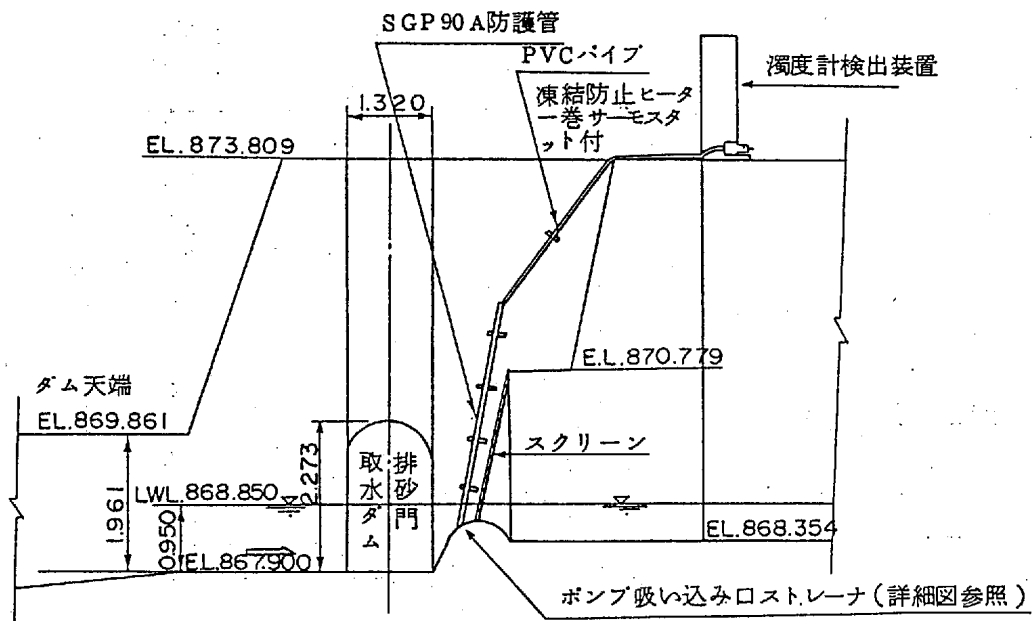


図2-15-10 濁度計取付け位置図

(4) 実証試験結果

前述のとおり、実証試験は取水設備の完全自動化システムにおける操作フロー、検出装置などの検証が行われたものであり、試験結果は項目別に以下のとおりである。

a. 洪水時操作フローの試験結果

洪水時の操作フローは、**図2-15-1**に示したとおりであり、期間中に発生した2回の洪水出水時にこのフローに従って試験が実施された結果は、以下のとおりである。

- ・ 2回の出水時とも、フローどおり正しく動作した。特に、洪水の減水時が勤務時間外のため保守管理員が不在であったにも関わらず、自動的に再取水が行われ、溢水電力量が低減した。
- ・ 取水停止時並びに巡視点検時に導水路及び水槽が調査された結果、土砂流入のないことが確認された。
- ・ これらにより、洪水時操作フローは、適切であったと思われる。
- ・ 取水停止及び再取水の条件として、“河川流量(水位)”、“堆砂”、“濁度”が組み入れられたが、河川流量と濁度の相関性が低いことが調査の結果判明したことから、条件に濁度を採用することは適切でないと考えられる。
- ・ 洪水時操作フローは、実証地点のように水位計、堆砂計、濁度計を考慮した制御方式よりも、従来どおりの水位計に堆砂計を追加した制御方式の方が簡単で、現状の操作方法に合致した制御方式であると思われる。

b. 平常時沈砂池排砂フローの試験結果

平常時における沈砂池の排砂フローは、**図2-15-2**に示したとおりである。平常時沈砂池排砂フローは、昭和61年度の実証試験において正常に動作し、所期の成果を得たが、さらに実証地点の設備と河川特性を考慮し、昭和62年度は予備放流の廃止、第2段階排砂の省略、及びA・B槽連続排砂とした変更案で実証試験が実施され、この間に9回、沈砂池自動排砂が記録された。その結果は、以下のとおりである。

- ・ 実証試験の結果、最終の“昭和62年度フロー”(**図2-15-11**)による排砂時間は、自動化前の1回当たり6.7時間に対して2.9時間と、3.8時間も短縮され、溢水電力量の低減が図られた。
- ・ 平常時沈砂池排砂は、洪水時の排砂と異なり、排砂放流による河川の急激な水位上昇の恐れがある。このため沈砂池排砂門をいきなり全開するのではなく、下流の状況に応じ排砂門を段階操作して適切な排砂が行われ、下流の被害防止が図られた。
- ・ 排砂に必要な流量と時間は、沈砂池形状、排砂門の容量、流入土砂量などを勘案して設定された結果、排砂効果は良好であった。
- ・ 昭和61年度の台風15号により、多量の土砂、転石が長期にわたり取水口前面に堆積し、流水のみでは十分に排砂できなかったため、重機等で排除された。

このため、長期間にわたり多量の土砂が流下する場合、早期に取水口前面を定常状態に戻すため、平常時でも取水ダムの排砂門から排砂する方法についても検討されたが、ダム排

砂門から排砂する場合には運転停止となること、及び実証地点の沈砂池が複槽のため、沈砂池から排砂する場合には全停せずに排砂できることから、平常時取水ダム操作フローは導入しないものとされた。

- ・ 上記のとおり実証地点の沈砂池は2槽であるが、単槽を標準とした平常時沈砂池排砂フローの標準形は、**図2-15-2**に示したとおりである。

c. 検出装置の試験結果

試験時における検出装置の作動状況等の確認結果は、以下のとおりである。

(a) 水位計

水位計は精度的にも信頼性が高く、また洪水初期の急激な水位変動に追従でき、連続測定が可能なフロート式水位計が使用された。

その結果、初期トラブル以外はなく、正常に動作したことが確認された。

(b) 堆砂計

堆砂計は、実証地点の対象粒度に適しており、また採用実績も多く、保守が容易で価格の安い熱式堆砂計が使用された。その結果、初期トラブル以外はなく、正常に動作したことが確認された。

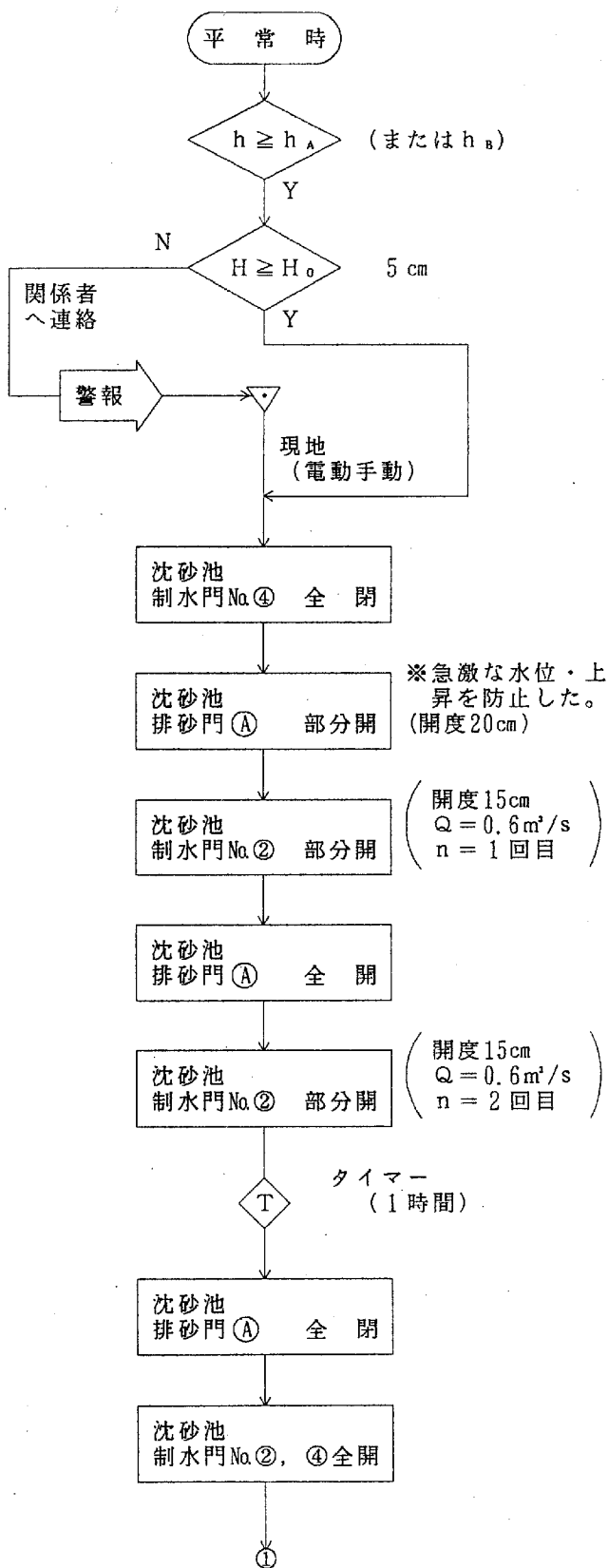
但し、取水口前面に設置した堆砂計は、堆砂検出後長期間排砂しない場合には、検出回路の温度差が設計値より大きくなり、“故障表示”する場合もあるので、事前に堆積土砂を使って検出電圧のチェックを行う必要がある。

(c) 濁度計

濁度計は、測定水の着色、気泡の影響がなく、濁度測定器の接液部を超音波で洗浄可能な散乱光透過方式が使用された。

その結果、測定器本体についてのトラブルは全くなかったが、測定水の採水設備のうち吸い込み口の目詰まりや埋没などにより、測定水が規定量(平均水量として 5～20リットル/min)以下となる恐れがあるので、吸い込み口の目詰まり防止策として、ストレーナ(ヘチマロン)が設置された結果、目詰まり防止には効果的であった。

なお、実証地点ではポンプ運転が終日行われたが、洪水時のみ稼働させることとすれば、ポンプ稼働時間が極端に減り、ポンプ寿命が延びるとともに、吸い込み口の目詰まりも相当緩和されるものと思われる。



凡 例

※ 変更箇所

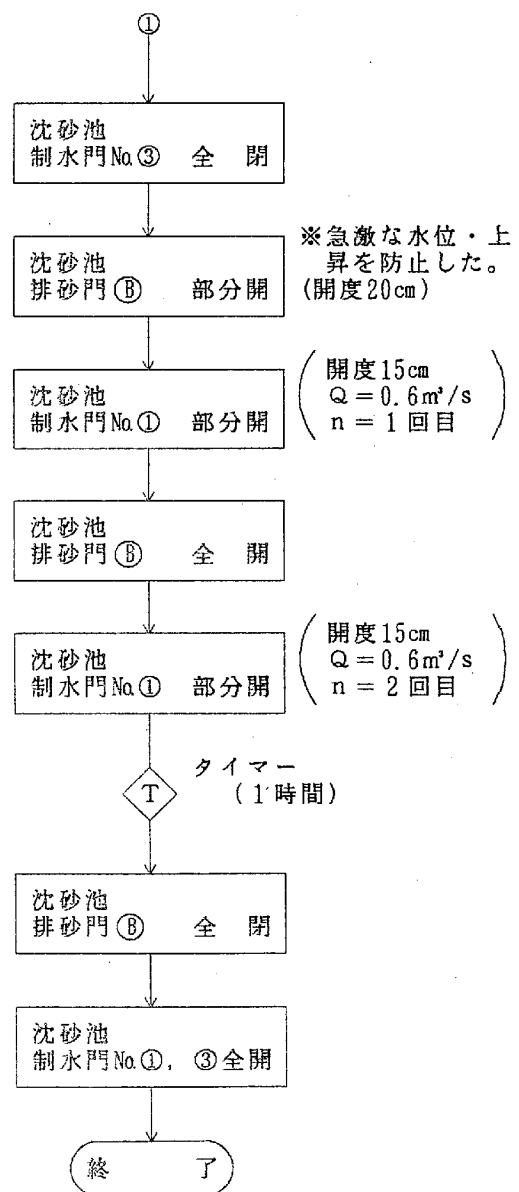


図2-15-11 平常時沈砂池操作フロー(昭和62年度フロー)

(5) 自動化メリットの評価

洪水時の取水停止または沈砂池排砂による溢水電力量について、取水設備の完全自動化前後の数値を実証試験の実績値を用いて比較し、熊川第一発電所における自動化のメリットを評価した。その結果は、以下のとおりである。

a. 洪水時の自動再取水によるメリット

洪水出水後の再取水は、従来は保守管理員が深夜及び早朝を除いた通常勤務時間内で行っているが、これを完全自動化すれば、深夜及び早朝の取水開始が可能となるため、溢水電力量低減のメリットが得られる。

完全自動化後(実証試験結果)と、従来型(通常勤務時間内で再取水を行った場合)の溢水電力量の比較を**表2-15-2**に示す。なお、従来型の再取水は翌朝9時30分に開始するものとした。

同表のとおり、洪水時操作フローによる自動再取水のメリットとして、年間 41.76MWh の溢水電力量減が得られる。

$$(139.00 - 55.48) \text{MWh} / 2 \text{年間} = 41.76 \text{MWh} / \text{年}$$

表2-15-2 洪水時の溢水電力量の比較

年度	出水区分	完 全 自 動 化(実績値)		従 来 型(推定値)	
		溢 水 時 間	溢 水 電 力 量	溢 水 時 間	溢 水 電 力 量
昭和61年度	融雪	7 時間 20 分 〔 4/10 4/10 〕 15:35 ~ 22:55	17.6 MWh	17 時間 55 分 〔 4/10 4/11 〕 15:35 ~ 9:30	43.0 MWh
	台風	9 時間 〔 9/3 9/3 〕 3:00 ~ 12:00	21.6 "	9 時間 〔 9/3 9/3 〕 3:00 ~ 12:00	21.6 "
昭和62年度	融雪	1 時間 50 分 〔 3/20 3/20 〕 17:00 ~ 18:50	4.4 "	16 時間 30 分 〔 3/20 3/21 〕 17:00 ~ 9:30	39.6 "
	雷風	4 時間 57 分 〔 7/15 7/15 〕 19:00 ~ 23:57	11.88 "	14 時間 30 分 〔 7/15 7/16 〕 19:00 ~ 9:30	34.8 "
計		23 時間 7 分	55.48 MWh	57 時間 55 分	139.0 MWh

b. 平常時の沈砂池自動排砂によるメリット

沈砂池自動排砂によるメリットは、昭和62年度フローによる実績(**表2-15-4**)に基づき、昭和50~59年度の10ヶ年平均について自動排砂を実施した場合の溢水電力量(**表2-15-3**)を推定し、自動排砂前の実績値との差分を求めると、溢水電力量の減は
(120.7 - 26.52) MWh / 年 = 94.18 MWh / 年となる。

表2-15-3 沈砂池排砂自動化前後の溢水電力量の比較

	昭和 50～59 年度の 10 ヶ年平均(実績)	昭和 62 年度実績を基に 10 ヶ年平均に換算	溢水電力量 の減
作 業 回 数 (回)	10.4	10.4	
作 業 時 間 (h)	69.9 (6.7)※	30.2 (2.9)	
排砂に要する平均水量 (m ³ /s)	1.61	0.82	
溢 水 電 力 量 (MWh/年)	120.7 (11.6)	26.52 (2.55)	94.18
10 ヶ年平均値に対する 1 回 当りの溢水電力量の比率(%)		22	

※()内は 1 回当りに換算したものである。

表2-15-4 昭和62年度フローによる自動排砂実績

	溢 水 電 力 量	作 業 時 間	排砂に要する 平 均 水 量	備 考
昭和 62 年 10 月 23 日	2,060 kWh	2.9 h	0.66 m ³ /s	昭和 62 年度フロー
昭和 62 年 11 月 10 日	3,050 "	2.9 "	0.98 "	"
計	5,110 kWh	5.8 h	(0.82) m ³ /s	()内は平均値である。

注)排砂水量は $\frac{\text{溢 水 電 力 量}}{\text{作 業 時 間} \times \text{公 称 電 水 比}}$ として求めた。

c. 自動化メリットのまとめ

取水設備完全自動化により、熊川第一発電所の溢水電力量は洪水時の自動再取水により 41.76MWh／年、沈砂池自動排砂により 94.18MWh／年、計 135.94MWh 減少すると推定される。

2.15.4 マニュアルの概要

(1) 名 称

「完全無人管理発電所の設計マニュアル(案)」

(昭和 63 年 3 月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

本マニュアルは、運転管理費の低減に主眼をおき、昭和 59 年度から実施した完全無人管理発電所に関する検討の成果と昭和 61 年度より実施した取水設備の完全自動化の実証試験(東京電力(株)熊川第一発電所、発電所出力:2,400kW、最大使用流量 2.2m³/s、有効落差:140.3m)結果を勘案し、システム設計及び管理方式についてとりまとめたものであり、完全無人管理発電所が普及するとともに水力開発の促進に資することを目的とする。

(3) 適用範囲

本マニュアルは、完全無人管理発電所に関する調査、計画、設計、保守運用などに適用する。本マニュアルにおける発電設備に関する適用範囲を**表 2-15-5**に示す。

表 2-15-5 完全無人管理発電所の適用範囲

項 目	範 囲
発 電 方 式	流れ込み式
発 電 所 出 力	2,000 kW 以下
備 考	・電力の供給に支障を及ぼさないこと ・運転操作により下流に対して影響を与えないこと

(4) マニュアルの構成

完全無人管理発電所の設計マニュアル(案)目次

第1章 目的及び背景

第2章 基本構想

2.1 完全無人管理発電所の基本方針

2.2 完全無人管理発電所の適用条件

第3章 完全無人管理発電所の設計のための調査・検討

3.1 項 目

3.2 水文・気象調査

3.3 安全・環境調査

3.4 塵芥・流木調査

3.5 動力電源調査・検討

3.6 保安通報方式の調査・検討

第4章 各設備の設計指針

4.1 土木設備

4.2 電気設備

第5章 運転保守の指針

5.1 運転保守の基本方針

5.2 運転保守の指針

(参考資料)

資料－1 小水力発電所の運転保守に関するアンケート分析

資料－2 既設流れ込み水力発電所、出水時の取水停止状況アンケート分析

資料－3 各種の保安通報方式

2.15.5 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、発電所無人管理化に関する技術開発後の発展状況については、電力会社では随時巡回方式の採用例が少ないためか「変りなし」が多く、公営電気では無人化の加速を期待してか「改良されている」との評価が多数を占めた。コスト低減等への寄与程度に関しては、保守管理費の低減効果が比較的大きいとするものが多かった。

アンケート調査の結果、発電所無人管理化技術の採用実績は 5 件、採用発電所の合計出力は約 3 万 kW (既設・工事中地点)、これに伴う建設費低減額は 5 百万円 (回答があった分のみ、**表4-2、4-3**参照) となっており、本技術開発は一定の成果を上げている。

コストダウン以外の効果としては、堆砂状況により自動で排砂が行なわれるため、取水口前面に常時ポケットがあり出水時に安全、手動による調整が不要、水路内などへの流入土砂が減少し水路敷などの摩耗が減った、などの評価が寄せられている。

発電所無人管理化技術が採用された発電所の主要諸元及び無人管理化のための対策事項は、**添付資料-4-16**に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 採用事例における指摘事項

アンケート調査の結果によれば、実際に採用した結果における発電所無人管理化技術に関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 取水停止・排砂条件・取水再開条件の設定
- ・ 故障時の対応策
- ・ 下流利水者への連絡調整
- ・ 故障時および再取水時の状況把握

b. 不採用事例について

アンケート調査の結果、発電所無人管理化技術の採用が検討されたものの採用に至らなかったケースが 1 例回答されている。その主な不採用理由は、「近年の技術進歩により伝送装置が低価格で設置できるので、運転保守信頼度向上のため随時監視制御方式を採用し、無人管理化は見送った。」というものであった。(詳細は第4章参照)

2.16. 一体型水力発電システムに関する技術開発

一体型水力発電システムに関する技術開発

(平成2年度～8年度調査)

概要

これまでに開発されてきた土木関係・電気機械関係の各種要素技術を、未開発地点に複数採用することにより、自然環境、立地条件などにおいて、一層調和した新発電システムを構築し、更なるコスト低減と環境調和を図るものである。

分類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）

対象設備 ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、
全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

一体型システム、取水ダム合理化、ゴムダム、魚道、河川維持流量放流設備、溪流取水設備活用、取水ゲート標準化、操作用配電線代替技術、無電源流量コントロール装置、暗渠式導水路、ヘッドタンク小規模化、余水路省略、FRPM管、メカニカル継手、土中埋設水圧管路、ダクタイル鋳鉄管、固定台小型化、放水口ゲート簡素化、発電所小型化、発電所省略、天井クレーン省略、発電所土砂地盤立地、水車等合理化、発電機等合理化、変圧器合理化、配電盤等合理化、遠制装置簡素化、機器合理化、資機材合理化、設備合理化、保守管理省力化、環境調和

(注;太字は、他の新技術でも扱われているもの)

適用範囲

最大使用水量 5 m³/s 程度以下、最大出力 5,000kW 程度以下の流れ込み式発電所

2.16.1. 新技術の概要

(1) 目的

小水力地点はスケールの的にデメリットとなる要素が多く、経済的な水力発電システムの立案を行うためには、設備の大幅な簡素化(設備の省略・小規模化・既製品の活用)等コスト低減に資する土木関係設備の要素技術と電気機械関係設備の要素技術(水車選定を含む)との融合を図りながら設計・施工を進めることが肝要である。

本技術開発は、上述の点を勘案し、要素技術を多数採用するとともに土木関係・電気機械関係技術の合理化を図り、自然環境等と調和した低コスト環境型発電システムの開発を目的としている。

(2) 一体型水力発電システムの定義

一体型水力発電システムは、新技術、新材料、新工法などの要素技術を多数採用するとともに土木関係・電気機械関係技術の合理化を図り、自然環境・立地環境などに一層調和した低コスト環境型の発電システムと定義する。

(3) 一体型水力発電システムの体系及び要素技術

一体型水力発電システムは、設備の合理化・簡素化を図るもので、**図2-16-1**に示すように、取水ダム・水路、発電所、及び水力機器・監視制御装置の3つの体系からなっている。

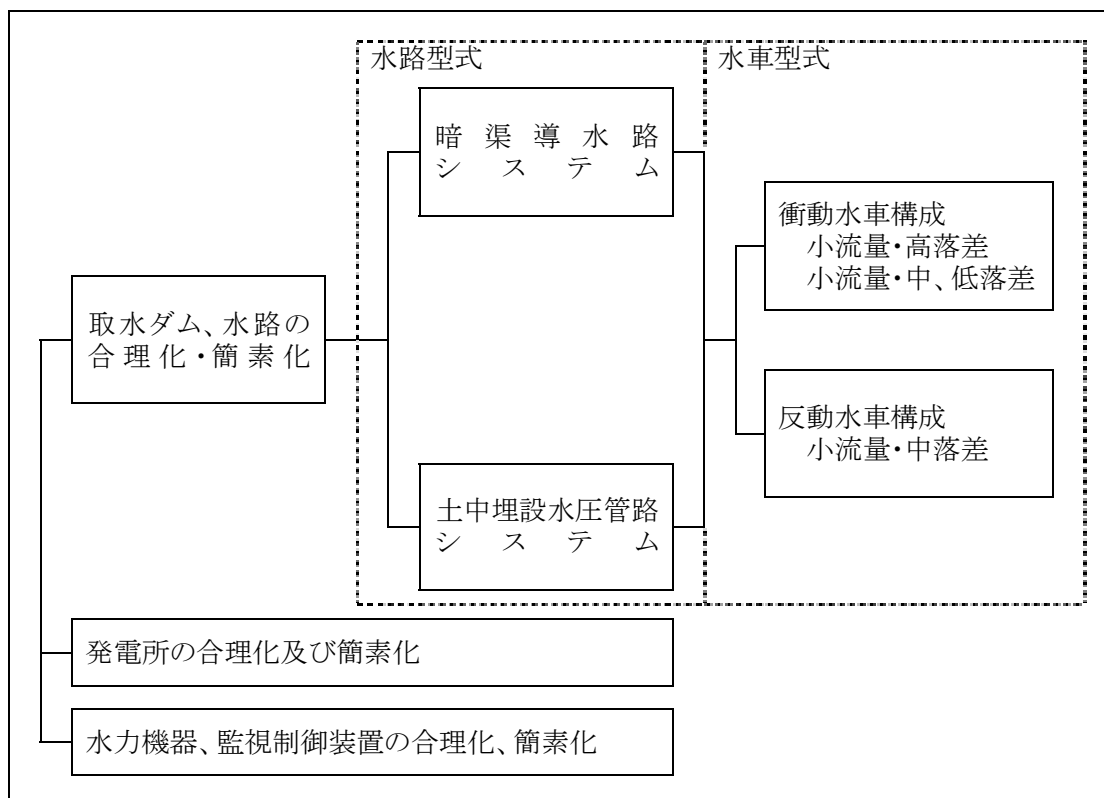


図 2-16-1 一体形水力発電システムの体系

このうち、取水ダム・水路の体系は、水路形式によって「暗渠導水路システム」と「土中埋設水圧管路システム」に、また、水車形式においては衝動水車構成と反動水車構成に分かれているため、適用に当たっては計画地点の特徴を把握し、コスト低減効果のある要素技術を組み入れることが必要である。

また、本技術開発で取り扱う検討要素技術は、**表2-16-1**に示すとおりである。

表 2-16-1 一体型水力発電システム検討要素技術

設 備	検討要素技術
[取水ダム・水路]	
取水ダム	(a) 岩着タイプの合理化設計 (b) フローティングタイプの合理化設計 (c) ゴムダムの利用による合理化 (d) 魚道と河川維持流量放流設備の兼用
取水設備	(a) 溪流取水設備の活用(水クッション型、バースクリーン型、ダムなし取水、その他) (b) ゲートの標準化 (c) 操作用配電線の代替技術の採用 (d) 無電源流量コントロール装置の採用
暗渠式導水路	(a) 軽量既製管の利用(ポリエチレン樹脂管等)
ヘッドタンク	(a) ヘッドタンクの小規模化
余水路	(a) 余水路省略
露出式水圧管路	(a) FRP(M)管、メカニカル継手、JIS規格鋼管の活用
土中埋設水圧管路	(a) FRP(M)管、ダクタイル鋳鉄管の活用 (b) 固定台の小型化
放水路・放水口	(a) 放水位の決定 (b) 放水路ゲートの簡素化
[発電所]	
建 屋	(a) 発電所床面積の縮小化 (b) 発電所本館の省略、天井走行クレーンの省略
基 礎	(a) 発電所基礎の合理的設計(土砂地盤への立地、杭基礎の検討)
[水力機器・監視制御装置]	
水力機器	(a) 水車及び水車付属装置の合理化・簡素化 (b) 発電機及び発電機付属装置の合理化・簡素化 (c) 変圧器の合理化・簡素化 (d) 配電盤・開閉装置の合理化・簡素化 (e) その他機器の合理化・簡素化
監視制御装置	(a) 遠隔監視制御装置の簡素化

(4) 一体型水力発電システムによる発電計画

a. 全体計画

全体計画は、地形・地質及び河川流況などを勘案し、発電諸元、水路形式(暗渠導水路システム、土中埋設水圧管路システム)などの比較検討を行う。小流量の発電計画では、導水路トンネルの空き容量が大きく、不経済な断面になる等のコストアップの要因が多いため、水路の合理化設計(暗渠導水路システム、土中埋設水圧管路システムなど)及び設備の簡素化が不可欠である。

(a) 発電諸元の検討

最大使用水量等発電諸元の検討は、流量・落差などを把握し焦点を絞って、十分検討する。小出力の流れ込み式地点では、特殊なケースを除いて、できるだけ発電電力量を大きくする計画が経済性を高める傾向にある。

低落差地点では、わずかな落差の増減も出力に大きく影響するので、放水位は水車の構造等を十分考慮して、可能な限り低く設定する。また、取水ダム高が上流の道路、橋梁などにより制約を受ける場合は、ゴムダムの採用を考え取水位を上げる検討も行う。

一方、高落差・小流量地点では、落差より流量が大きく影響するので、軽負荷時の効率低下が少ない水車の採用や、溪流取水により流域面積を増やす方法など、最大使用流量を極力大きくとる検討を行う。

(b) 水圧管路が長くなる場合の発電計画

土中埋設水圧管路において水圧管路の長くなる場合は、水撃圧の低減対策を検討する必要がある。特に反動水車の採用については、水撃圧が大きくなる傾向にあるため、技術的、経済的に十分検討する必要がある。一方、ペルトン等の衝動水車では、ニードルバルブ等の緩閉鎖により、負荷遮断時の水圧上昇を低く抑えることができるので、有利である。

(c) 余水路を省略する場合の発電計画

余水路を省略する発電計画は、水車の特性、水路形式、取水口の操作動力等を勘案し、維持管理を含め総合的に経済的になるように検討する。余水路省略はコスト低減率が高い要素技術であるので、積極的に取り入れるのが望ましい。

なお、余水路を省略する場合の対応や留意事項は、水路形式や水車機種によって異なり、それらを整理したものを表 2-16-2 に示したので、参照されたい。

表 2-16-2 水路形式と余水路省略の概要

水路システム	水路の能力	水車	負荷遮断時の余水処理	摘 要
暗渠導水路	無圧 (継ぎ手の水密性が完全でないものが多い。)	衝動水車	既製管であるので空き容量は、ほとんどない。 長時間デフレクタ放流。 ^{※1}	- 取水口のゲート開閉が機側操作の場合は、現地到着時間まで放流を続ける。 - 洪水時の取水口ゲート不動作による水路被圧に対しては注意を要する。^{※2}
		反動水車	既製管であるので空き容量は、ほとんどない。 放流バルブにより放流。	- 同 上 - 放流バルブ及び減勢工の費用がかかる。
無圧トンネル導水路	無圧 σ_{tA} $=0.249\text{MPa}$ (3.0kgf/cm^2) まで許容する。 ^{※3}	衝動水車	トンネル空き容量の活用又は長時間デフレクタ放流。	取水口のゲート開閉が機側操作の場合は、現地到着時間まで放流を続ける。
		反動水車	トンネル空き容量の活用又は放流バルブにより放流。	取水口のゲート開閉が機側操作の場合は、現地到着時間まで放流を続ける。
土中埋設水圧管路	水圧管路	衝動水車	減水区間での水位変動対策としてデフレクタ放流を行う。	水撃圧に対してはニードルバルブの緩閉鎖で対処する。
		反動水車	減水区間での水位変動対策として放流バルブにより放流。	水圧管路が長い場合の反動水車では、水撃圧が破壊的になる場合があるので注意を要する。

※1) 衝動水車(ペルトン水車)地点で導水路が無圧水路の場合はデフレクタ放流により、水路の被圧を防ぎ、取水設備のゲート操作により水路内が断水された時点でニードルを全閉する。したがって、取水口ゲートの遠方制御ができない地点では、長時間(24 時間等)放流が必要となる。

土中埋設水圧管路システムでは、無圧導水路がないので、長時間デフレクタ放流の目的は水路の保護ではなく、河川における第三者対応である。したがって、ニードルバルブの開度調整により河川水位を緩やかに上昇させた後は、ニードルを全閉しても問題はない。

※2) 暗渠導水路システムで水路(既製管等)が被圧し継ぎ手から漏水した場合、第三者に影響を及ぼすことも考えられる。したがって、この水路システムでの余水路省略に当たっては、継ぎ手の水密性が高い管製品を用いるなど、十分検討する必要がある。

※3) トンネルが被圧する場合の覆工応力は、同じ水圧においても断面形状、覆工状況、岩盤弾性係数などによって異なるが、一般的には許容内被圧高は2～3m である。(「余水路省略等標準設計マニュアル(案)」参照)

b. 水力発電計画と水車の選定

水車は、流量と落差に応じて、**図 2-16-2** に示す各水車の標準適用範囲のものを原則として選定するが、一体型水力発電システムの対象は小流量の流れ込み式発電所であることから、以下の衝動水車、反動水車を対象とする。また、各水車の適用領域の境界付近では、水圧管路の延長、余水路の有無、流況、水車の特徴などを勘案し、**表 2-16-3～2-16-6**などを参考に、総合的に経済的な発電計画となるものを選定する。

(a) 衝動水車

衝動水車には、①ペルトン水車、②ターゴインパルス水車、③クロスフロー水車がある。これらは、軽負荷時にも効率の低下が比較的小さいことや、負荷遮断時の水圧上昇を低く抑えることが可能であるなどの特徴がある。

(b) 反動水車

反動水車には、①フランシス水車、②パッケージ式バルブ水車、③S 形チューブラ水車、④水中タービン(発電機)がある。このうちフランシス水車は、落差、流量とも広い範囲に適用できる水車で、我が国では最も多く採用されている。なお、大流量用である立軸カプラン水車等は対象としない。

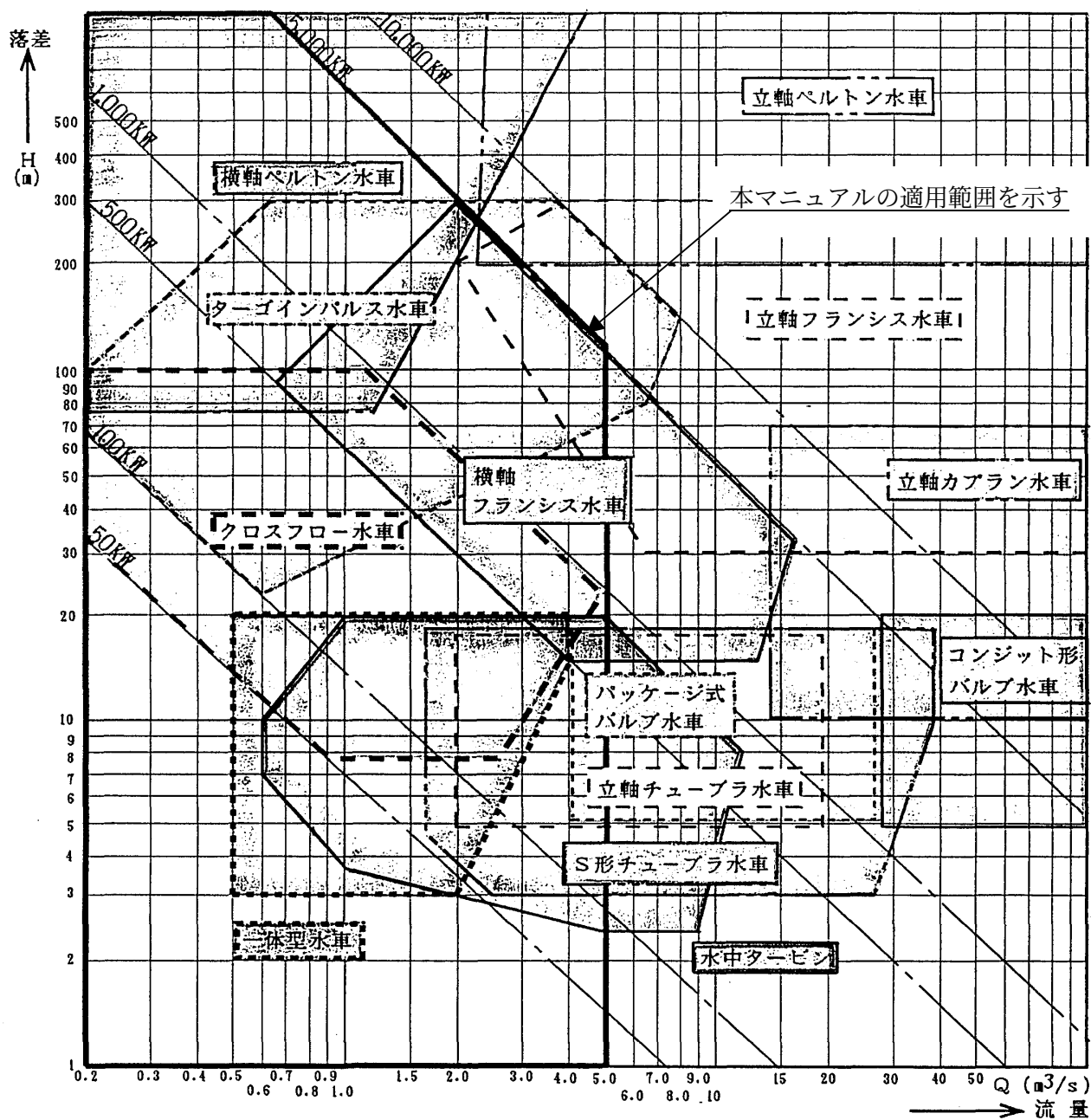


図 2-16-2 水車の標準適用範囲(案)(平成 8 年度作成)

表 2-16-3 競合領域での水車の選定(ペルトン水車とフランシス水車)

(a)ペルトン水車の長所及び有利な場合	(b)フランシス水車の長所及び有利な場合
①軽負荷時に効率が良いので、部分負荷（特に小さい流量比で）運転する時間が多い地点	①放水口地点の洪水位が高い場合（有効落差の活用）
②水撃圧による上昇水圧を低くすることができるので、水圧管路が長い地点	②ペルトンに比較して比速度(N)は、フランシスの方が高くとれるので、発電機価格及び建物等の工事費が軽減できる。
③酸性河川及び濁水の著しい河川等で水車の摩耗、侵食が発生しやすい地点（保守が容易）	

表 2-16-4 競合領域での水車の選定(クロスフロー水車とフランシス水車)

(a)クロスフロー水車の長所及び有利な場合	(b)フランシス水車の長所及び有利な場合
①運転領域が広く(流量比で 15%)低負荷領域での効率が低い。(ガイドベーンは 1 枚で軸方向に軸長の 1/3 と 2/3 の部分に 2 分割されており、負荷に応じて切替運転を行うことにより広い負荷範囲で良好な効率が保てる)	①水車、軸受等強度の面で信頼性が高い。500kW 以上の領域ではフランシス水車の採用が多い。
	②流量比 40～50%以上の領域では、クロスフローより効率が低い。
②ランナは、放水面より上にあつて水車本体の大部分が露出しており、さらに上部ケーシングの一部が簡単に分解できるため水車内部の点検・保守が行い易い。	③放水口地点の洪水位が高い場合。(有効落差の活用)
③構造が簡単なため、フランシスに比べ部品点数は約 1/2 であり、安価である。	④騒音が小さい。(クロスフローは左記③に記述した長所があるが、それ故に騒音が大きい)
④軸方向スラストが生じないので、スラスト軸受が不要である。	
⑤ランナ、ガイドベーンは鋼板溶接構造を採用しているため、製作時間が短い。	

表 2-16-5 競合領域での水車の選定(クロスフロー水車とチューブラ水車)

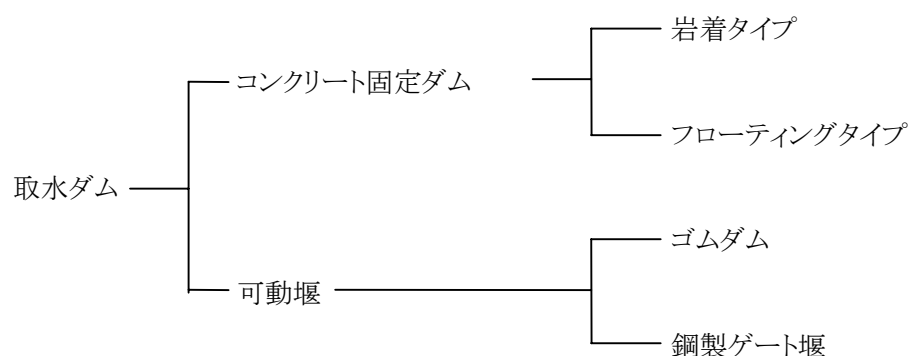
(a) クロスフロー水車の長所及び有利な場合	(b) チューブラ水車の長所及び有利な場合
① チューブラで可動ランナにするのが困難 (ランナ径 1,200mm程度以下) の場合	① クロスフローで増速比を 2 段階にするよ うな領域の場合

表 2-16-6 競合領域での水車の選定(S 形チューブラ水車とバルブ水車)

(a) S 形チューブラ水車の長所及び有利な場合	(b) バルブ水車の長所及び有利な場合
① バルブ水車に比較して、発電機的设计に 自由度が大きく配置上の問題が少ない。 (管路を S 字に曲げて水車軸を水路外部 に貫通させて発電機に接続する)	① ガイドベーン、ランナベーン共に可動に すると流量、落差の変動に対する特性が よい。(ただし、ランナ径が 1.5m 程度以 下ではランナベーンを可動にするのが 構造上困難である)
② フライホイールの取付けが容易である。 (バルブ水車はバルブ内に発電機を収納 しているのでフライホイールの取付けは 不可能であり、GD ² にも限界がある)	② 水圧管路の途中あるいは鉄管から分岐す る形で、水車を据え付ける場合

(5) 取水ダムの合理化及び簡素化

一体型水力発電システムの取水ダムは、以下のようなタイプのものが考えられるが、以下の事項を考慮・検討のうえ、地点条件に合ったものの中から最も適切・経済的なタイプを選定する必要がある。



a. 固定ダム／可動堰の選択

(a) 洪水時におけるダム上流への影響

ダム上流に堤防、道路、鉄道、橋梁などがある場合、固定ダムとすると、ダムによる堰上げ、ダム上流の河床の上昇などにより洪水水位が上昇し、それらに影響を与える可能性があるため、影響回避のための付け替え、嵩上げなどの対策が必要となる。

一方、可動堰とした場合は、洪水時のゲート開放(またはゴム袋体の倒伏)により、湛水池内に堆積又は流入する土砂の流水による自然排除が可能であり、その結果ダム上流の河床及び洪水水位の上昇防止、湛水池容量の維持が期待できる。

したがって、ダム本体の建設費のほか、影響回避のための対策費を含めて、固定ダム／可動堰の経済比較を行ない、有利な方を選択する必要がある。

(b) 湛水池の効果

可動堰とした場合、湛水池容量の維持により沈砂効果が期待できることによる沈砂池の小規模化または省略、湛水容量を利用した調整運転による発電電力量やL5 出力の増加などの効果が見込まれるので、これらを含めて固定ダム／可動堰の経済比較を行なう。

b. 固定ダム—— 岩着タイプ／フローティングタイプの選択

固定ダムは、基礎の状態によって①岩着タイプ(基礎地盤が岩盤の場合)と②フローティングタイプ(基礎地盤が砂礫等の場合)に分けられ、それぞれ設計手法が異なるので、その形式に適した手法により経済断面を検討し、コスト低減を図る必要がある。

(既設砂防ダムの利用)

固定ダムの場合、既設砂防ダムを利用する方法もあるが、その場合は河川管理者、砂防管理者などと十分協議し、砂防ダムの機能を損なわないよう計画する。砂防ダムを利用する場合の留意点としては、以下のことが挙げられる。

- ・ 砂防ダム前面の排砂はできないため、取水口の土砂流入は多くなるので、通常の容量より大きい沈砂池を設けなければならない。
- ・ 15m未満の砂防ダムの荷重は、静水圧のみで安定計算をしているので、いわゆるダムとしての安全率は低い。この場合、既設面にコンクリート腹付け等をして堤体断面を大きくしなければならない。
- ・ 砂防ダムの水抜き等より、河川水が相当量伏流している場合があり、その場合は100%の取水は不可能である。
- ・ 砂防ダムによって上昇した河床を基礎地盤とするフローティングダムは、砂防管理者としても認められない場合がある。

c. 可動堰—— ゴムダム／鋼製ゲート堰の選択

ゴムダム、鋼製ゲート堰は、それぞれ以下のような特徴を有しているので、これらを含めて総合的に比較し、ゴムダム／鋼製ゲート堰の選択を行なう必要がある。

(a) ゴムダム

- ・洪水時の自動倒伏機能を有している。
- ・操作機構が単純で信頼性が高い。
- ・優れた耐久性により、維持管理の省力化が可能である。
- ・ゴム袋体は軽量であるため、搬入・据付が容易である。
- ・水位変化による袋体の変形、Vノッチ現象の発生など、ゴムダムの柔構造に起因する現象から、水位制御や放流量制御などの機能はやや劣る。
- ・転石の流下が著しい河川では、袋体や固定金具が摩耗、損傷を受けることも考えられる。
- ・アンケート調査結果によれば、鋼製ゲートに比べゴムダムの方が平均20%安い。

(b) 鋼製ゲート堰

- ・様々なタイプがあり、地点条件に合わせて適切なものが選択できる。
- ・水位制御や放流量制御などについては、一般に十分信頼性がある。
- ・転石の流下等に対しても、適切な対策を行えば安全である。
- ・ゲート操作、塗装などの維持管理費が必要である。

d. 取水ダムの付属設備

(a) 河川維持流量放流設備

水路式の発電所においては、取水口から放水口までの河川に減水区間が生じるため、この区間の水生動植物の保護、河川形態の保全などの観点から、通常は取水地点の下流に維持流量を放流しなければならない。

コンクリートダムの場合における維持流量の放流方法には、以下の4つが考えられる。

- ・排砂ゲートや堤体に埋設したパイプからの放流
- ・ゲート微小開度による放流
- ・ダム天端の切り欠き部からの放流
- ・魚道が必要な場合、維持流量放流設備と魚道を兼用する形式

(b) 魚道

魚道が必要な場合、一定の河川維持放流量を放流することができ、その流量にて対象魚が遡上できる構造とする。魚道を取水ダムに設置する場合は、一般に堆砂の少ない取水口側のダム固定部天端を切り欠き、取り付ける。

魚道の設計条件は、以下の事項を調査のうえ決定するが、調査方法等は事前に関係者と協議し、必要に応じて現地調査を行う。

- ・対象魚種
- ・対象魚種の遊泳力
- ・その他

魚道形式には、水理構造の違いにより以下のような種類があり、立地条件や対象魚種の遊泳力などに応じて選定する。

- ・ プールタイプ
- ・ ストリームタイプ
- ・ オペレーションタイプ
- ・ その他

(6) 取水設備の合理化及び簡素化

a. 沈砂池の省略又は小規模化

取水ダムにゴムダム等の可動堰を採用する場合は、沈砂池の省略又は小規模化を図ることができる。

また、以下の条件で設計することにより、従来設計に比べ縮小が可能となる。ただし、河川状況及び土砂の状況などの地点特性を十分考慮する必要がある。

- ・ 沈砂池内流速は0.3～0.6m/sの範囲とする。
- ・ 土粒子の沈降最小粒径は1.0mm程度を対象とする。

b. ゲートの合理化

小水力発電所のゲート扉体は、寸法及び設計水深が小さいので、市販されている規格ゲートの採用や標準設計の利用により工事費削減が可能である。

c. スクリーンの合理化

スクリーンの設置箇所としては、取水口とヘッドタンク又は沈砂池が挙げられるが、取水口のスクリーンは流木や大きいゴミの流入を防ぐもので、落葉や小枝などの小さい塵はヘッドタンク又は沈砂池のスクリーンで除塵する。最下流に設けるスクリーンピッチ(目の大きさ)は水車の種類によって異なり、小水力では概ね表2-16-7に示す値が一般的である。

ただし、最終決定は水車の仕様書による。

表 2-16-7 水車型式とスクリーンピッチ

水車型式	ペルトン水車	フランシス水車	クロスフロー水車
バーの目	25mm 程度	30mm 程度	20mm 程度

d. 除塵機の合理化

自動除塵機は、大きい流木等をかき揚げると破損を生じる恐れがあるので、ヘッドタンクに設置することが多いが、以下の場合には沈砂池に設置した方が維持管理上有利である。

- ・ 溪流取水等がなく、導水路の途中で塵が流入することがない。
- ・ 取水口付近に既存の配電線が有り、電源が容易に確保できる。

小水力であっても、自動除塵機の電動機容量は 2～3kW 程度を要するので、電源の確保が困難でかつ小流量な地点では、図2-16-3に示す回転スクリーンの採用が考えられる。ただし、このスクリーンは損失落差が大きいので、小流量高落差地点で採用の可能性はある。

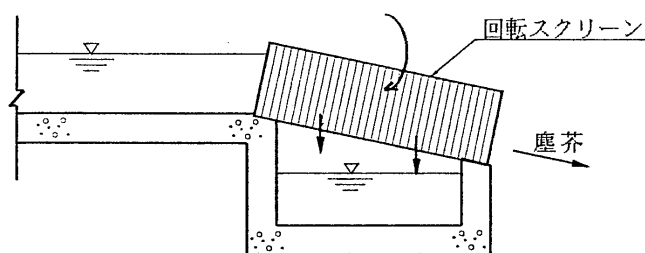


図 2-16-3 回転スクリーン

e. ゲート等の操作動力の合理化

取水設備のゲート等の操作電源は配電線が最も信頼性が高いが、敷設費用が平地でもおおよそ 12,000 千円/km と高いため、山間僻地の地点では電気工事費も相当額になる。そのためゲート等の操作用配電線(動力線・通信線)設置の要否が、建設コストに大きく影響する場合もあるので、コスト低減可能な以下のような代替え案を検討する。

(a) エンジン発電機

エンジンは起動時に電源が必要で、時々試運転を行う必要があることから、バッテリーの容量と充電方法を検討する必要がある。

(b) ポータブル式開閉機

ポータブル式開閉機とは、ポータブル式エンジンとそれに接続するオートクラッチ、トルクリミッター、フレキシブルシャフトと、ゲート巻上機側に取り付けたアタッチメントにより着脱可能な可搬式開閉機である。この方法は現地で作成する必要があるため、自動化しなければならない地点では適していない。ただし急激な出水がない地点や、常駐管理所から近い取水地点では採用可能である。

(c) 自然エネルギーの利用

自然エネルギーにより取水口地点で発電し、操作電源を確保するものであり、以下のものが考えられるが、何れの場合でもバッテリーが必要である。

- ・ ソーラ発電機
- ・ 溪流発電機
- ・ 風力発電機

(d) 流量コントロール装置等

水位の変化による、水圧、浮力又は水重を利用し、ゲート等を開閉させ流量をコントロールする方法であり、以下のものがある。

- ・ 水重・カウンターウェイト方式
- ・ ボール排砂ゲート
- ・ 決しや板方式

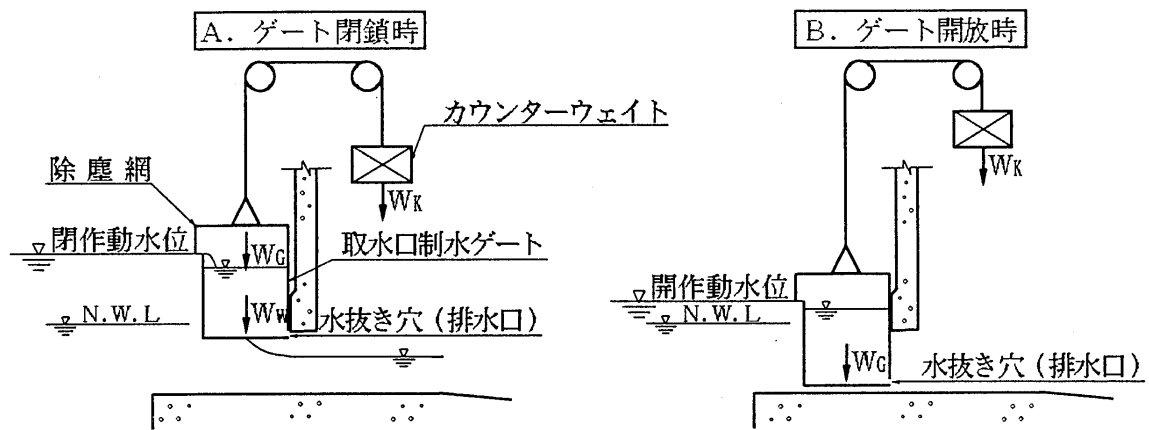


図 2-16-4 水重・カウンターウェイト方式の原理

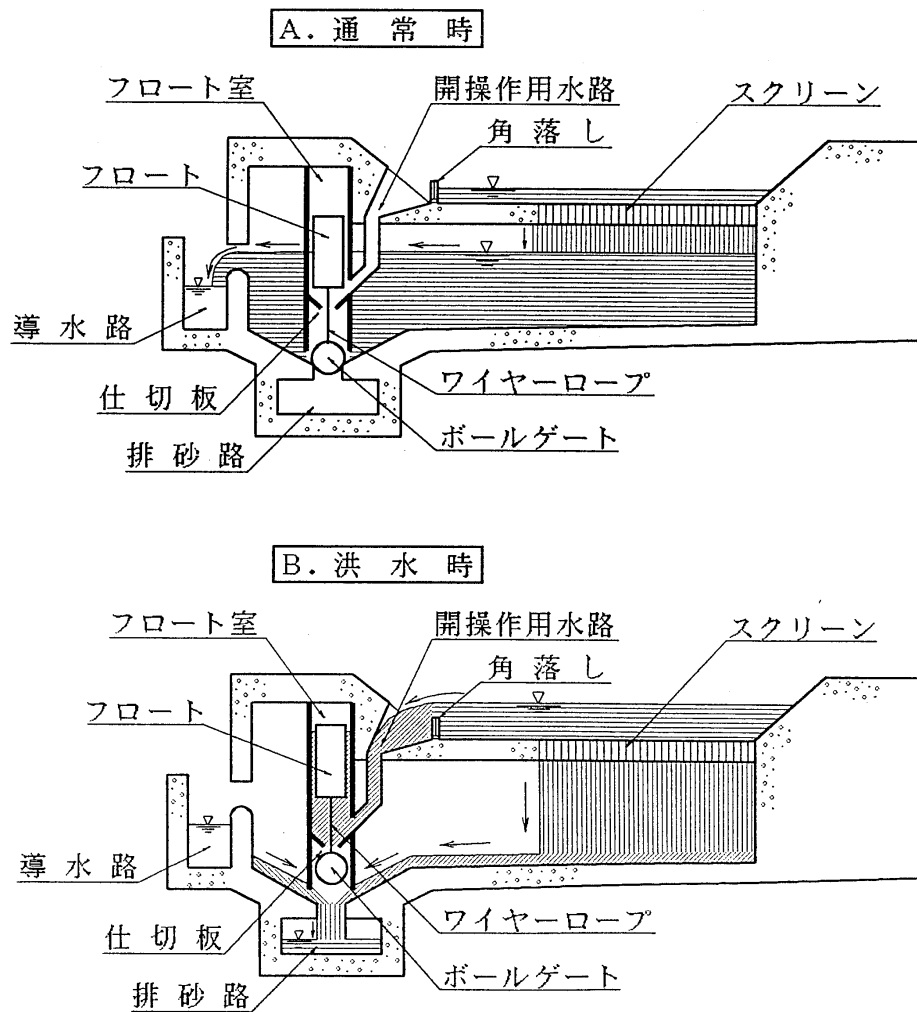


図 2-16-5 ボール排砂ゲート開閉システムの原理

f. 溪流取水設備の選定

溪流取水設備には、①水クッション型、②バースクリーン型、③ダムなし型などがあり、地点の特性(河川の規模、勾配、土砂の流出量など)、ランニングコスト(除塵・排砂・修繕などの費用)を考慮して形式を選定する必要がある。

(7) 水路の合理化及び簡素化

a. 暗渠式無圧導水路

導水路トンネル工事費の全体工事費に占める割合は大きく、特に小流量の発電計画地点においては、従来のトンネル方式では空き容量が大きい割高なものとなる。本システムは、導水路をトンネルとせず、比較的緩斜面の山腹に沿って、既製管等を用いた暗渠導水路(無圧)を敷設するものである。(図2-16-6参照)

設計に当たっては、埋設断面は地形、工事費、維持管理などを考慮して決定する。管路材料に用いる既製管としては、ポリエチレン樹脂管、FRP(M)管、ヒューム管、コルゲートパイプなどが挙げられるが、水理特性、施工性、水密性、経済性などを勘案して選定する必要がある。

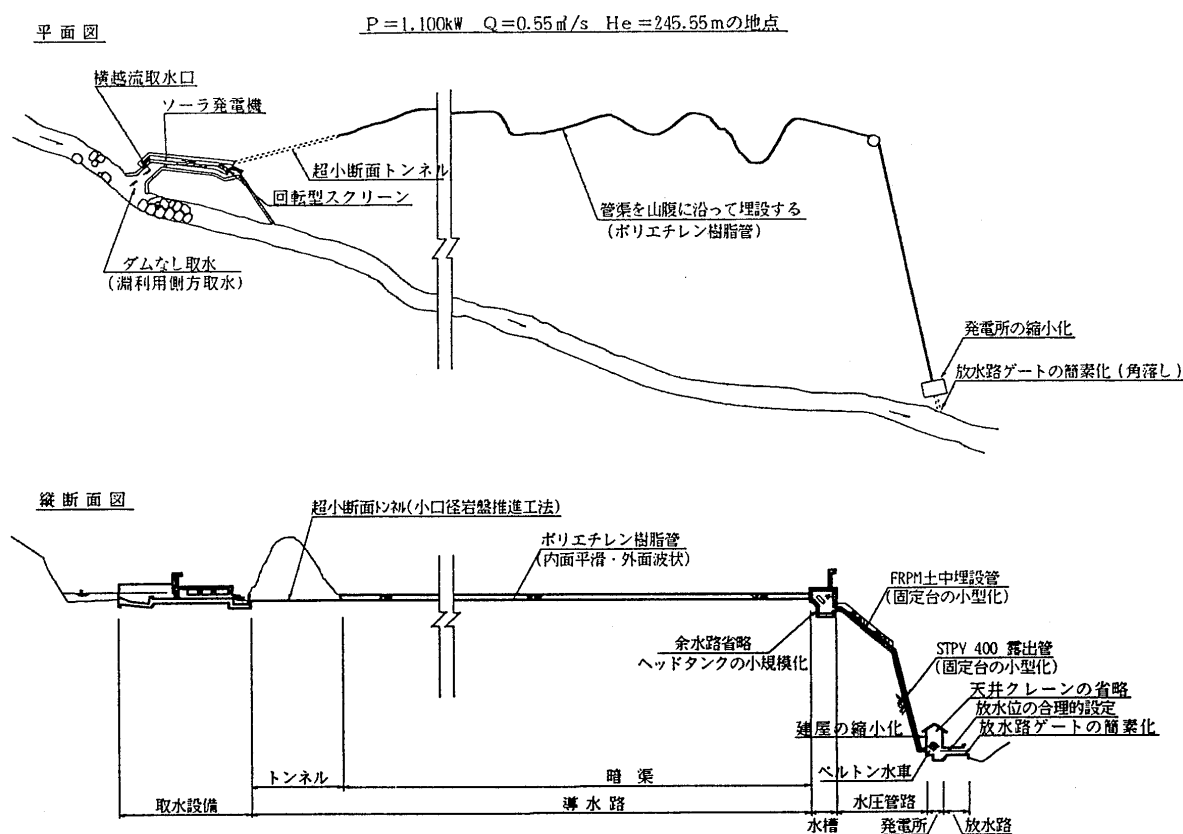


図2-16-6 暗渠導水路システム(小流量・高落差)の例

b. ヘッドタンクの小規模化

(a) 水面積

ヘッドタンクは、通常運転時の流入量変動や水位変動に対して、水車の水位調整機能を使用水量を調整することにより、ヘッドタンク水位がハンティング現象を起こさないだけの水面積が必要であり、概略の計画を行う場合においては、**図 2-16-7** に示す範囲の中で決定するものとする。同図は、ヘッドタンクの水位変化に伴う導水路トンネルからの流水の補給と、ガイドベーン等の機器系の最適動作速度などを考慮した水理プログラムを用いてシミュレーションを行い、安定した水調運転に必要とされる水面積を求めたものであり、同図に示す必要面積の下限の値 ($A/Q_{\max}=5$) を用いて建設された新内川第二発電所及び大鹿発電所において実証試験を実施した結果、安定した水調運転が可能であることが確認されている。

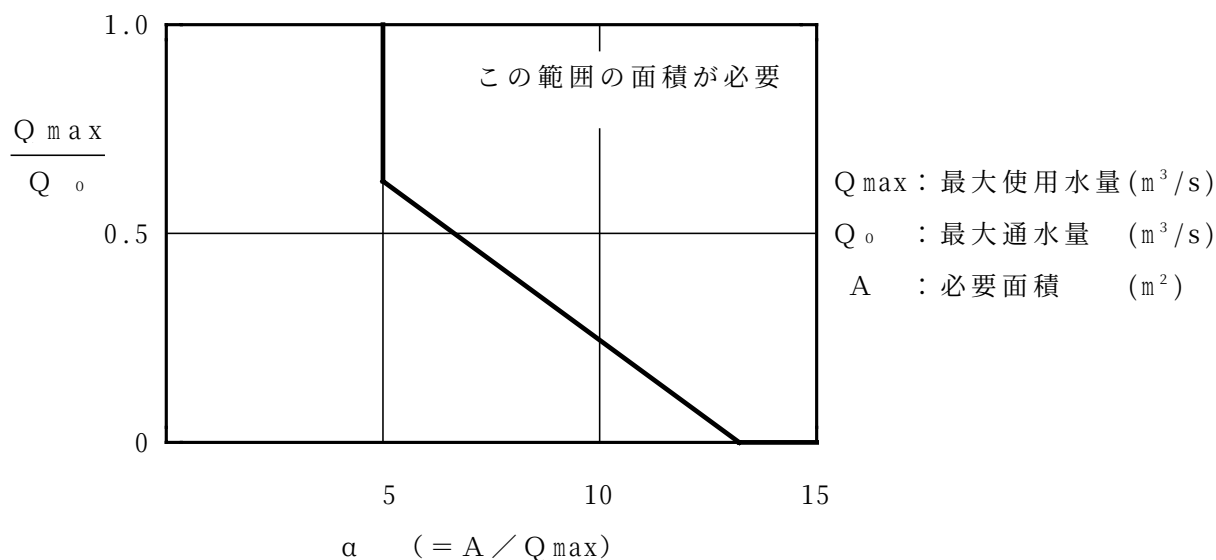


図 2-16-7 ヘッドタンクの必要水面積

(b) ヘッドタンクの容量

ヘッドタンクの容量(基準水位より、最低水位までのヘッドタンクの内容量。**図 2-16-8** 参照)は、水位調整機能の故障により、ヘッドタンク内に異常な水位低下が生じる運転が行われたことを想定した時に、発電所の機器がこれらの異常現象に応答して停止操作を開始し、操作が完了するまでに必要な容量である。

トンネル断面を最小施工断面($1.8\text{m} \times 1.8\text{m}$ 、幌形)、水車の停止所要時間 5～20 秒、水調運転の水位幅 0.3m、水位低下確認幅 0.5m、ヘッドタンク水面積は $5 \sim 10Q_{\max}$ などの条件で、最も危険な状況を想定して最低水位を求める不定流計算のケース・スタディを行った結果、ヘッドタンクの必要容量として**表 2-16-8** の値を用いてよいことが分かった。

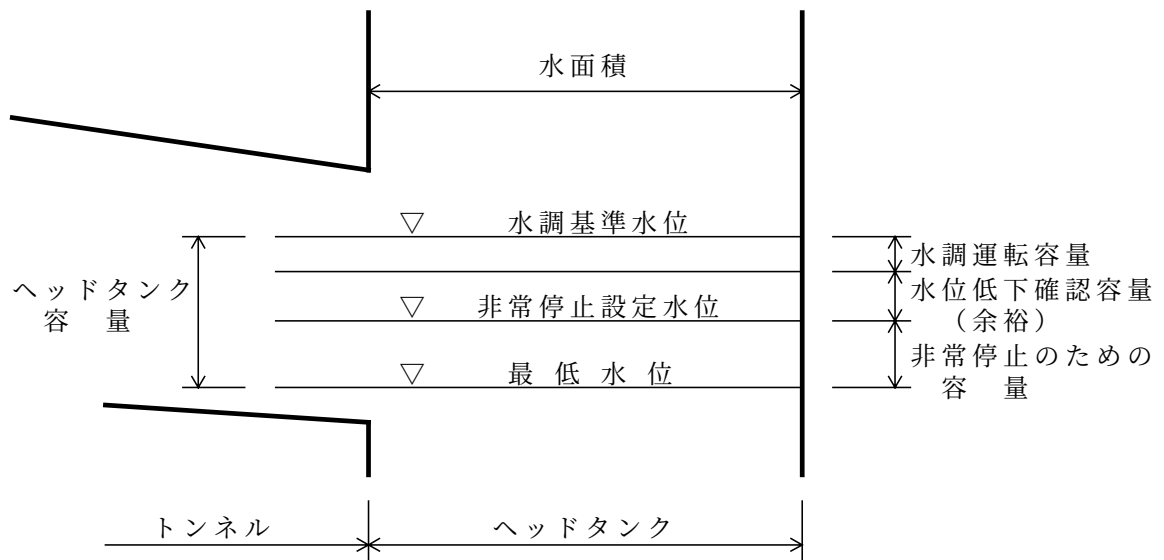


図 2-16-8 ヘッドタンク容量の概念図

表 2-16-8 ヘッドタンクの必要容量

水 調 方 式	ヘッドタンク容量
垂 下 率 水 調 ^{*1}	1.1 $Q_{\max}$
定 水 位 水 調 ^{*2}	7 $Q_{\max}$

^{*1} 垂下率水調

水調バンドをもたせる運転で、最大運転時はNWLであるが、軽負荷時はそれより30cm程度低い水位で運転する。したがって定水位水調よりヘッドタンク必要容量が若干大きくなる。

^{*2} 定水位水調

高精度の制御機器を用い、常に水位を一定に保とうとする運転であり、以下のような発電所で採用する水調方式である。

- ① ヘッドタンクから用水等の分水があり、水位を一定に保つ必要がある。
- ② 落差が小さくかつ軽負荷の運転日数が多い発電所で、約 30cm の有効落差減が経済性に影響を及ぼす発電所。

c. 余水路省略

従来、負荷遮断等による余水は、ヘッドタンクから余水路を通じて放流されることが一般的であったが、余水を沈砂池余水吐から河川に放流する方式として余水路を省略し、建設費の低減を図ろうとするものである。ただしこの場合、沈砂池からの余水の放流による河川水位の急上昇、内水圧によるトンネルの被圧、ヘッドタンク水位の上昇などの問題が生ずる恐れがあるため、取水口制水ゲートの自動閉鎖による余水の段階放流、トンネルライニングの補強、ヘッドタンクの嵩上げ

などの対策を行う必要のある場合がある。

また、これらの土木設備の対策のみでは、河川水位の上昇を規制値(30 分間に 30～50cm)以下にすることができない場合は、放流バルブ(フランシス水車地点の場合)又はデフレクタ(ペルトン水車地点の場合)による放流を併用する。

余水路省略等による工事費の低減額は、一般にヘッドタンクと水圧管路工事費の 15～20%程度であり、個々の発電所の諸元の違いによって多少の差はあるが、概ね全建設工事費の 2%程度の低減効果が期待できる。またこのほか、余水路省略では取水設備の完全自動化を行う場合もあり、これによる保守人件費の低減、洪水後の自動取水再開による発電電力量の増加なども考えられ、発電原価上もメリットがある。

余水路の省略によって全ての地点で建設費が低減するとは限らないので、あらかじめ簡単な方法で余水路省略の可能性を見極めることが効率的である。この場合、ペルトン水車採用地点であれば放流バルブを付加する必要があるため、全地点で余水路を省略できる可能性が大きい。一方、フランシス水車採用地点にあっては、落差及び流量の条件によって余水路省略による経済性が異なるが、**図 2-16-9** が検討要否の判断の参考になる。

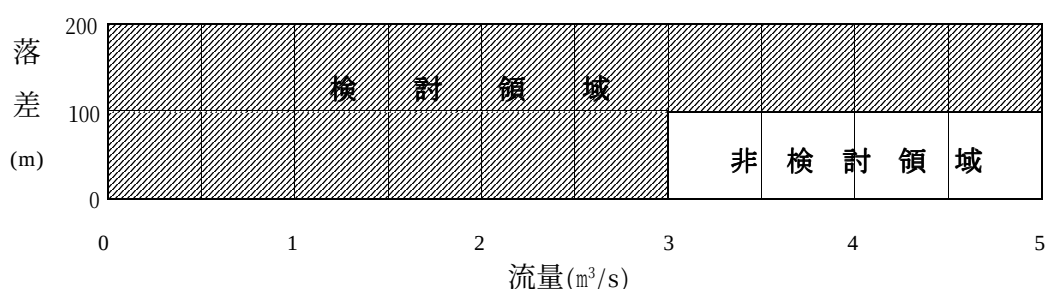


図2-16-9 フランシス水車採用地点における余水路省略の検討要／否領域

d. 露出式水圧管路

露出式水圧管路の合理化及び簡素化設計には、FRP(M)管、メカニカル継手及び JIS 規格鋼管などの活用を検討する。

FRP(M)管、メカニカル継手の鋼管は、溶接を用いなくて管を敷設できるほか、継手部で多少の角変位を許容するので、基礎地盤の変位に追従できる特徴がある。

また、一体型水力発電システムが対象とする最大使用水量は 5m³/s 程度以下であり、水圧管路の管径は小口径であるため、JIS 規格鋼管が適用できることが多い。この鋼管は、製造寸法に制限があるが大量生産されるので特注品に比較して安価である。

e. 土中埋設式水圧管路

土中埋設水圧管路は、施工性(主に据付の簡便性)と耐錆性の優れた FRP(M)管、ダクトイル

鋳鉄管などを採用し、明かり工事で地形に沿って埋設し工事費の低減を図る。

埋設方法は、トンネル内に据付け空間部にコンクリートを充填する方法と、明かり工事で掘削し敷設後土砂で埋設する方法(土中埋設水圧管路)とがあるが、一体型システムで扱うのは後者である。

(a) 土中埋設水圧管路システム

本システムは、導水路を設けず、沈砂池兼ヘッドタンクと直結した既製管を林道や畑などの地形に沿って敷設し、発電所に導水する水圧管路システムである。割高な導水路トンネル工事を行わないで水路を構築する設計思想は、暗渠導水路システムと同様であるが、本システムは更に合理化を考慮して、導水路も省略するものである。これにより、軽負荷時(平水量等)には管路の損失水頭が無圧水路の水路勾配による損失落差より小さいので、有効落差の面でも有利になる。(図 2-16-10 参照)

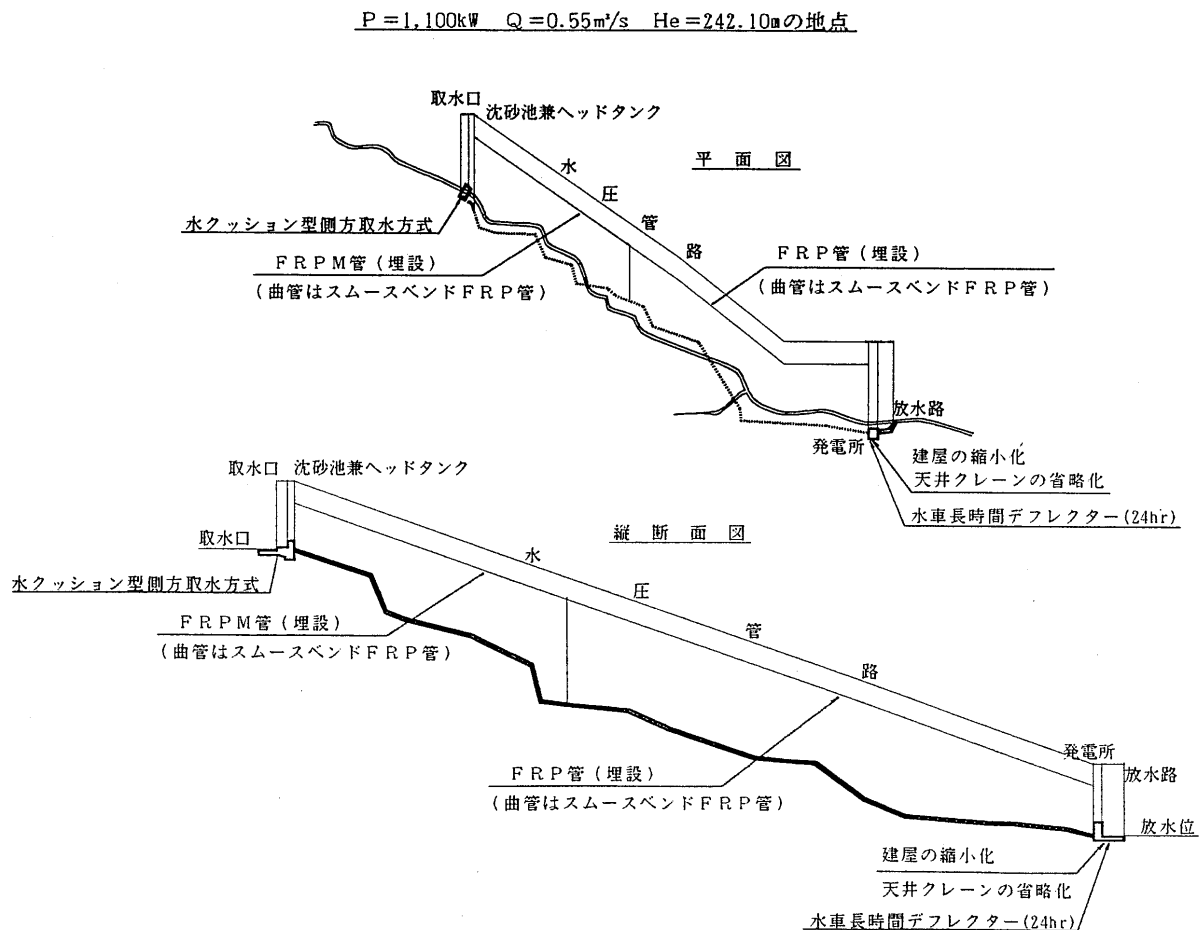


図 2-16-10 土中埋設式水圧管路システム(小流量・高落差)の例

(b) 土中埋設式水圧管路の固定台の省略・小型化

土中埋設管の固定台は、土中埋設の有利性(鉛直重量、受動土圧などの考慮)を活用することにより小型化を図ることが可能である。

管胴本体を埋設した場合は、遠心力、不平均力によって曲管部及びその前後の直管部に発生する応力が許容応力以下であれば、必ずしもアンカerbロックを設けなくてもよい。ただし、FRP(M)管及びダクタイル鋳鉄管では、曲管部と直管部が可とう継手で接続されているので、これにスラスト力が作用しないように、継手部を曲線部より十分に離隔する必要がある。換言すると、曲管部に生じるスラスト力を相殺する地盤の拘束力に見合う有効長を計算しなければならない。この計算は、「土地改良事業標準設計・第4編パイプライン(解説書)」※に準拠し行うものとするが、通常所要有効長(鋼製曲管長)の計算結果は相当長いものになる。そのため長い鋼製曲管(特注品)を製作するより、小さい固定台を設けた方が経済的になることが多い。湾曲部の交角が大きい場合には、固定台が必要となるが土中埋設の有利性(鉛直重量、受動土圧などの考慮)を活用し小型化を図ることができる。

※現在は「土地改良事業計画設計基準 パイプライン基準書・技術書」((社)農業土木学会)となっている。

(c) 水撃圧及びその軽減対策

一体型水力発電システムは、ヘッドタンク省略や余水路省略をはじめ、簡素化技術を積極的に採用するものであるが、立案にあたっては、負荷遮断時の水車特性を考慮して計画することが肝要である。特に、土中埋設水圧管路システムは水圧管路が長くなるため、水撃圧の軽減対策について検討する必要がある。

なお、土中埋設管の圧力波伝搬速度について、①設計値(埋戻し土砂(締め固めた)の剛性考慮せず)、②実証試験地点における実測値、及び③埋戻し土砂とコンクリート巻立部(アンカerbロック等)の剛性を考慮した計算値を比較すると表 2-16-9 のとおりであり、②は①より50%程度大きく、③は②の96%でほぼ等しかった。

表 2-16-9 圧力波の伝搬速度の計算値と実測値の比較

設計値	実測値	剛性を考慮した計算値
544m/s	813m/s	785m/s

また、フランシス水車等の比速度の低い反動水車を採用する地点では、水撃圧の軽減対策としてガイドベーンの緩閉鎖が考えられるが、中小水力における標準設計の水車発電機は、経済性から回転部のはずみ車効果は固有GD²を採用する場合が多いため、緩閉鎖の場合には、通常負荷遮断後数秒で無拘束速度に到達する。このため、比速度の低い反動水車では、回転上昇に伴い流量減となる水車の特性(図 2-16-11 参照)により、ガイドベーンの閉鎖時間を遅くしても期待ほど水撃圧を軽減させることができない場合がある。

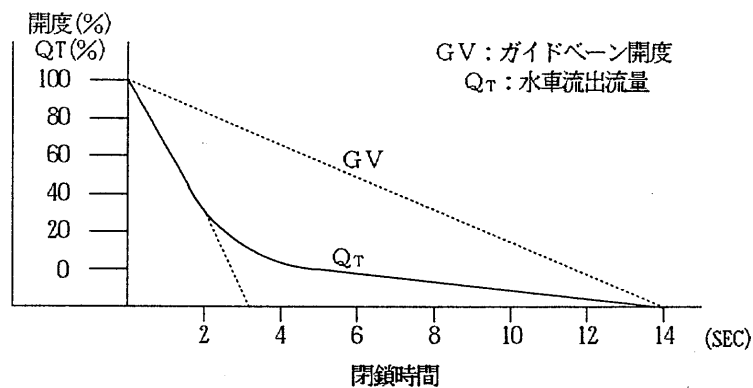


図 2-16-11 閉鎖時間－水車流出流量曲線の概念

これを防ぐには、水車の回転速度の上昇を押えることが必要であり、水車・発電機の回転部のはずみ車効果を大きくする必要がある。具体的方策としては①フライホイールを設置する、②発電機の回転部を重くするなどがある。これにより水撃圧は軽減できるが、反面機器の価格が増加する。したがって、採用にあたっては総合的に経済性を検討する必要がある。

f. 放水位の検討

低・中落差の発電所においては、放水位は発電電力量に大きく影響するので、水車の構造と河川状況及び経済性を考慮して決定しなければならないが、一般には、できるだけ落差が大きくなるように計画すると、経済性が高まる傾向にある。

フランシス水車は、吸出し管は常に水で満たされているので、放水位までの落差を有効に利用できるが、ペルトン水車、クロスフロー水車などの放水位は水車軸の中心高さであり、運転には放水面まで自由落下する所定の高さが必要であるため、この分が無効落差となる。しかしながら、中落差ではわずかな落差も経済性に影響するので、ペルトン水車、クロスフロー水車などの場合、洪水時には運転を停止することを前提として、放水位(水車センター)を可能な限り低く設定する必要がある。

g. ドラフト・放水ロゲートの省略・簡素化

ドラフト・放水ロゲートは、水車・吸出し管、放水庭、放水路の点検、修繕時に使用するもので、その使用頻度は極めて少ないことから、省略や角落しによる代用、手動巻上げ機、トラッククレーン、チェーンブロックなどによる電動開閉装置の省略などを検討する。

(8) 発電所の合理化及び簡素化

a. 天井走行クレーンの省略

天井走行クレーン省略の代替手段としては、ホイスト、チェーンブロック、トラッククレーンなどが

考えられるが、検討に当たっては、据付け方法、保守計画について十分に配慮する必要がある。

横軸機の場合で水車発電機が中小容量のときは、一般に同一床面に据付けられるため、分解、点検が当該の箇所だけでよく、吊り上げ最大重量物がそれほど重くないので、通常はホイストやチェンブロックで十分に保守できる。また、発電機ローターやステータを移動するような場合でも、ジャッキやコロを使用することにより一般的には十分に対応できる。

立軸機の場合は、一般に重量が大きく、水車の精密点検の際には発電機ローターの吊り出しが必要である。この代替手段として、トラッククレーン等の移動式クレーンが利用可能であれば、荷揚げ設備の完全省略と共に建屋構造の簡素化により経済効果は大きい。

また、チェンブロックで代替する場合、その吊り上げ可能最大重量は 30t 程度である。

b. 建屋(地上建物)の省略

発電所建屋は、以下の場合省略が可能である。

- ・ 一体形水車発電機(全閉屋外形構造)及び水中タービン発電機の場合
- ・ 発電所が半地下式で、天井走行クレーンを省略する場合

c. 発電所の縮小化

水力機器の省略・簡素化、制御装置の集約一体化などが図れれば、配電盤のスペースが小さくできるため、発電所床面積が相当縮小可能である。

また、多雪地帯では開閉設備を発電所建屋内に設置することがあるが、電圧が高い場合には離隔距離を大きくする必要から、発電所床面積が大きくなりがちである。この場合、小水力発電では配電線送電が十分可能であり、これにより低電圧化を図れる。

d. 発電所基礎の合理化

岩盤線が深い場合、発電所の基礎は、荷重の大きさを考慮して杭基礎等の合理化設計を検討する必要がある。従来発電所の基礎は、良好岩盤上の直接基礎を基本としていたので、堅岩線が深い場合には、ボーリング調査等によって地質が良好な箇所を捜し、発電所位置を変更したり、堅岩線まで掘削のうえ、コンクリートで置き換える等の基礎工を施してきた。しかし、これらボーリング調査やコンクリート置換工などは多大な費用を要することが多く、中小水力発電所にとっては建設コストの上昇をもたらすことになる。

2,000～3,000kW 程度の発電所(フランス水車)では、荷重の最も大きい水車・発電機周辺においても、単位面積当りの重量は概略 15t/m^2 (常時)・ 20t/m^2 (短絡時)程度である。この程度の荷重であれば、D 級岩盤や締まった土砂でも発電所の基礎地盤として用いることは十分可能である。したがって、発電所地点の堅岩線が深い場合は、まず土砂上に基礎を置くことが可能かの検討を行い、支持力、変位量などが安全でない場合は、杭基礎について検討する必要がある。

(図 2-16-12 参照)

水力発電所の杭基礎の例はほとんどないが、近年 PH パイル及び PHC パイルなどの曲げ剛性が高く、水平力に対して有利な既製打ち込み杭が量産されて安価に入手でき、一般土木建築工事では広く普及している。また、杭の打設工法(打ち込み杭、場所打ち杭)も数多く開発されて

おり、現場条件に適した工法を選定できるため、水力発電所においても採用を検討する余地はある。

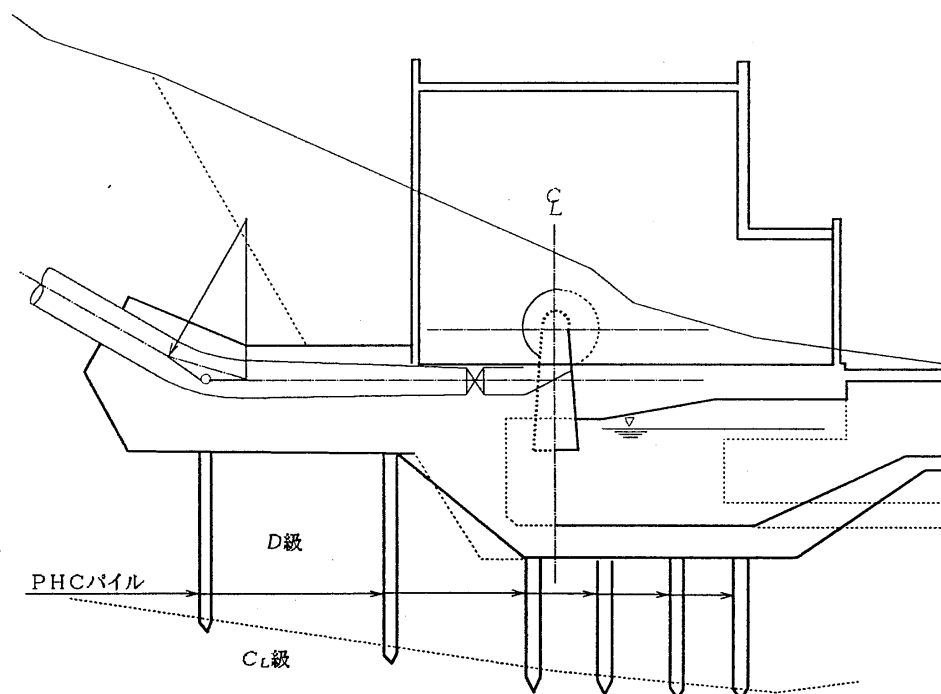


図 2-16-12 水力発電所の杭基礎の概念

(9) 電気機械関係設備の合理化・簡素化

一体型水力発電システムにおける電気機械設備に関する合理化・簡素化事項を表2-16-10に示す。

表2-16-10 電気機械設備に関する合理化・簡素化事項

水車関係	発電機関係	主用変圧器	配電盤・閉鎖配電盤	その他
水車本体 ・ガイドベーン枚数削減 ・ステーパー枚数削減 ・上カバー一体厚板構造化 ・下カバー・スピートリング一体構造化 ・各種許容値の緩和 ・最大速度変動率の制約緩和	発電機本体 ・誘導発電機の採用 ・コイル・コア一体含浸絶縁の採用	主用変圧器の省略 (一般配電線電圧との協調)	配電盤 ・一体型配電盤の採用 ・制御、計測、保護、警報及び記録など各項目の減量 ・全機能一体型制御保護装置の採用 ・制御回路への光ケーブルの採用	給水装置／冷却水装置 ・冷却水レス軸受(空冷軸受等)の採用 ・空冷発電機(固定子空冷化)の採用
入口弁 ・入口弁制御用電動サーボモータの採用 ・入口弁省略 ・バイパス弁省略	励磁装置 ・一体型配電盤の採用 ・ブラシレス励磁装置の採用		自動同期装置 ・一体型配電盤の採用 ・同期検定装置の省略	圧油装置／空気圧縮装置 ・フラタ形圧油装置の採用 ・直接加圧ポンプ式圧油装置の採用 ・線路開閉器・遮断器への電動操作器の採用
调速機 ・一体型配電盤の採用	中性点接地装置 ・発電機中性点接地装置の省略		発電所主回路 ・発電機回路電圧の標準化(3.3kV、6.6kV) ・計測回路の簡素化 ・保護装置の簡素化 ・発電所出口端に設置される避雷器回路の断路器、発電機回路におけるサージアブソーバ回路の断路器の省略 ・デジタル保護継電装置の採用	
水車制御装置 ・一体型配電盤の採用	ブレーキ ・電磁操作方式の採用 ・ブレーキの省略		送電用・並列用遮断器及び所内用遮断器 ・並列用遮断器の省略(送電線用遮断器と並列用遮断器を兼用) ・所内用遮断器の省略(電力ヒューズ代用)	
圧油装置 ・ガイドベーン(ランナベーン、デフレクタ、ニートル、制圧機)制御用電動サーボモータの採用 ・電磁ブレーキの採用 ・圧油装置省略			線路用断路器 ・線路用断路器の省略(柱上開閉器代用)	
軸受装置 ・水車発電機軸への二軸受方式の採用 ・摺動軸受への無給油軸受の採用 ・一部水車軸受への水潤滑軸受の採用				

2.16.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

ケース・スタディは、加地地点(1,100kW)、深山第二地点(2,000kW)、及び K 地点(3,500kW)の 3 地点をモデル地点として実施し、いずれの地点においても新システム適用により経済性が向上する結果となった。各地点のケース・スタディ結果の概要は以下のとおりである。

(1) 加地地点のケース・スタディ結果

a. 加地地点の概要

加地地点は、千代川水系八東川支川加地川から最大使用水量 0.55 m³/s を取水し、2,048mの導水路及び水圧管路により加地川左岸に設置する発電所に導水して、有効落差 245.55mを得て、最大出力1,100kW、年間可能発電電力量は 4,851MWh の発電を行なう水路式の発電計画である。加地地点の基本諸元を表2-16-11に示す。

なお、本地点は実証試験の対象にもなっているが、水路は本ケース・スタディとは異なり導水路を省略し取水地点から埋設式水圧管路により直接発電所に導水する方式で建設された。既に平成8年7月運開し、実証試験も終了しているが、その諸元や試験結果については、2.16.3. を参照されたい。

表2-16-11 実施地点及び基本諸元

名 称	加地地点(鳥取県)
水 系 名	千代川水系
河 川 名	加地川
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	1,100kW
使 用 流 量	0.55m ³ /s(最大出力時)
有 効 落 差	245.55m(最大出力時)
水 車	横軸単輪1射ペルトン水車
発 電 機	横軸回転界磁三相同期発電機

b. 在来システムと新システムの設計主要方針の比較

経済比較における、土木設備の在来システムと新システムの設計主要方針の対比を、表2-16-12に示す。また、電気設備については、従来型発電所では施設する各種機器、設備に対し、本ケース・スタディで省略、簡素化、または追加した項目を表2-16-13～2-16-17に示した。

表 2-16-12 在来システムと新システムの設計主要方針の比較(土木設備)

対象設備	在来システム	新システム
取水ダム	コンクリート固定堰を設置する。形式は取水量が少ないこと、左岸林道と河床高との差があまりないことからチロリアンタイプとする。 左岸側に、維持流量の放流を兼ねた魚道を設置する。	現状河川の滞から取水するため、取水ダムは設置しない。 魚道等についても、現況を変えないため、特に考慮しない。
取水口・沈砂池	沈砂池設置	沈砂池省略、取水口内の溺堤で代用。 回転式かご状スクリーンを採用
導水路	新システムが山腹ルートとしており、これと整合をとるため、同じルートとして計画する。 水路は、幅 0.80m、高さ 0.9m の現場打ちコンクリート開渠とする。	(1)トンネル部 取水設備直下流は、急峻で岩の露頭が見られ、開削する場合は切取量が多くなるため、この区間はトンネル式の水路で考える。 水路延長は、約 50m 程度であり、通常のトンネル発破掘削では仮設備の費用が高くなることが考えられること、小断面で良いことから掘削実績のあるφ800の小口径岩盤推進工法を採用する。 (2)暗渠部 暗渠部の管材は、導水路ルートに曲線部が多いことと施工性を考慮して、汎用性のある既製のポリエチレン管(φ800)を使用する。
水槽	水槽容量=90×Q _{MAX}	水槽容量=20.4×Q _{MAX}
余水路	余水路(D300)有り 減勢工は、本地点の使用水量が少ないため、衝撃型減勢工とする。	余水路省略
水圧管路	鋼管(D600・露出式)	上部:FRP・FRPM 管(D600・埋設式) 下部:鋼管(D600・露出式)
発電所基礎	発電所敷地高:洪水位+0.80m 水車中心高:洪水位+1.80m	同左
建物関係	従来どおりの水車・発電機関係諸装置を考慮したスペース 天井クレーン設置	水車・発電機関係諸装置省略・簡素化により省スペース化 天井クレーンは省略

表 2-16-13 本ケース・スタディにおける合理化事項(水車関係)

	従来型発電所では施設する設備	加 地 発 電 所			概 略 設 計
		省 略	簡素化	新技術	
水 車 関 係	短 時 間 デ フ レ ク タ 放 流			○	長時間(24 時間)デフレクタ放流可能にするためのデフレクタ及びハウジングを採用する。
	圧 油 装 置	○			ニードル入口弁操作を電動化し圧油装置の一切を設けない。
	潤 滑 油 装 置	○			軸受け潤滑油を自蔵化及び風冷化し潤滑油装置の一切を設けない。
	給 水 装 置	○			軸受・発電機コイルを空気冷却し冷却装置の一切を設けない。
	排 水 装 置	○			水車・建屋の漏水は自然排水方式にする。
	入 口 弁		○		蝶形弁を採用する。 (電協研第 42 巻第 2 号による)
	調 速 機		○		スピードレス、Z 級を採用する。
	制 御 装 置		○		調速機・水車制御・水位調整の各機能の集約型制御装置とする。
	圧 縮 空 気 装 置	○			圧油装置を省略することにより圧油タンク油面調整用の圧縮空気装置を省略する。
	水 車 軸 受	○			発電機と一体形として省略する。

表 2-16-14 本ケース・スタディにおける合理化事項(発電機関係)

	従来型発電所では施設する設備	加 地 発 電 所			概 略 設 計
		省 略	簡素化	新技術	
発 電 機 関 係	分 離 型 励 磁 機		○		一体型励磁機としブラシレス・スリップリングレスとしてメンテナンスフリーとする。
	フ ラ イ ホ イ ール	○			発電機固有 GD^2 に対する ΔN としてフライホイールは設けない。
	ブ レ ー キ 装 置	○			ブレーキ本体・制御装置などのブレーキ装置の一切を設けない。
	潤 滑 油 式 軸 受		○		軸受を空冷化し潤滑油装置・給水装置の一切を設けない。
	発 電 機 水 消 化 装 置	○			発電機の水消化装置は設けない。
	中 性 点 抵 抗 接 地	○			アレスター接地とする。
	制 御 装 置		○		自動同期・自動電圧調整の各機能の集約型制御装置とする。

表 2-16-15 本ケース・スタディにおける合理化事項(変圧器関係)

	従来型発電所では施設する設備	加 地 発 電 所			概 略 設 計
		省 略	簡素化	新技術	
変圧器関係	変 電 用 変 圧 器	○			発電機電圧と送電線電圧を同一電圧とし、また送電線からの雷撃対策は避雷器又はサージアブリーバーによることとし、送電線用変圧器は設けない。

表 2-16-16 本ケース・スタディにおける合理化事項(制御及び保護装置関係)

	従来型発電所では施設する設備	加 地 発 電 所			概 略 設 計
		省 略	簡素化	新技術	
制御及び保護装置関係	送 電 線 路 用 遮 断 器	○			並列用遮断器と兼用し省略する。
	随 時 監 視 制 御			○	随時巡回方式とする。 〔技術基準では 500kW 未満に適用される。技術基準 56 条の検討。〕
	表 示 装 置		○		「運転」・「停止」のみの表示とする。
	警 報 装 置	○			保護装置が動作し、遮断した時に警報する。
	計 測 装 置	○			制御所への電力・電圧等の計量表示は行わないものとして省略する。
	保 安 及 び 伝 送 回 線		○		NTT 回線 3CCt 専用加入し、これにより保安回線及び表示・警報・転送遮断回線とし通信線路は設けない。

表 2-16-17 本ケース・スタディにおける合理化事項(付属設備関係)

	従来型発電所では施設する設備	加 地 発 電 所			概 略 設 計
		省 略	簡素化	新技術	
付属設備関係	取水口設備操作用電源線路	○			取水口設備の操作は手動とし電源線路は設けない。
	天 井 ク レ ー ン	○			天井に吊上げ用アンカーフックを設置することによりクレーンは設けない。

c. 経済性の比較

(a) 概算工事費

新システム、在来技術の概算工事費の比較を、**表 2-16-19** に示す。

これら工事費の積算に当たっては、工事単価は以下の資料を参考とし、間接工事費は直接工事費×40%(一率、ただし仮橋、索道費は別途考慮)とした。

- ・平成3年度 土木工事積算標準単価
- ・建設物価
- ・メーカー資料
- ・土工単価は、土質区分が明確でないため、現地の状況から土岩合成としている。

(b) 経済性の比較

前記の概算工事費を基に、kW 当り及び kWh 当り建設費を求めた結果は、**表 2-16-18** のとおりである。本表より、在来技術より新システムの方が、kW 当り建設費では 22%、kWh 当り建設費では 23%経済的であるとの結果となり、加地地点では一体型システムの導入が、開発コストの低減に大きく寄与する可能性があることが分かった。

ただし、新システムの構造、費用については実験等で確認すべき部分もあり、今後詳細検討が望まれる。

表 2-16-18 kW・kWh 当り建設費の比較

項 目	新システム	在 来 技 術	備 考
取 水 位 (EL. m)	714.50	712.00	
放 水 位 (EL. m)	462.05	462.05	
総 落 差 (m)	252.45	249.95	
有 効 落 差 (m)	245.55	243.25	
最 大 出 力 (kW)	1,100	1,100	
年間可能発電電力量 (MWh)	4,851	4,807	
概 算 建 設 費 (百万円)	1,300	1,671	
k W 当 り 建 設 費 (千円/kW)	1,182	1,519	
k W h 当 り 建 設 費 (円/kWh)	268	348	
設 備 利 用 率 (%)	50	50	

(平成3年度作成)

表 2-16-19 新システム、在来技術の概算工事費比較

単位:百万円

項 目	概算工事費		
	新 シ ス テ ム	在 来 技 術	
(1) 土 地 補 償 関 係	44.0	64.6	
(2) 建 物 関 係	18.2	27.2	
a. 発 電 所 建 屋	18.2	27.2	
b. 付 属 建 物	—	—	
(3) 土 木 関 係	675.3	876.9	
① 水 路	604.1	728.2	
c. 取 水 ダ ム	—	25.2	
d. 取 水 口	41.4	11.4	
e. 沈 砂 池	—	41.2	
f. 導 水 路	412.3	441.7	
g. 水 槽	5.1	16.5	
h. 余 水 路	—	25.3	
i. 水 圧 管 路	105.1	120.4	
j. 放 水 路	11.4	11.8	
k. 放 水 口	—	—	
l. 雑 工 事	28.8	34.7	$\Sigma(C \sim K) \times 0.05$
② 貯水池又は調整池	—	—	
m. ダ ム 本 体	—	—	
n. 洪 水 吐	—	—	
o. 雑 工 事	—	—	
③ 機 械 装 置	31.2	34.7	
p. 基 礎	31.2	34.7	
q. 諸 装 置	—	—	
④ 仮 設 備	40.0	114.0	α (索道) (工事用道路)
(4) 電 気 関 係	309.8	361.1	
(5) 建設所運営関係	104.7	133.0	$((1)+(2)+(3)+(4)) \times 0.10$
(6) ダム分担金	—	—	
(7) (小 計)	1,152.0	1,462.8	$(1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)$
(8) 建設中利子	61.4	120.9	$(7) \times 0.4 \times \text{金利} \times \text{工期} / 12$
(9) 分担関連費	—	—	
(10) 予 備 費	—	—	
(11) そ の 他	87.0	87.0	連系線費用
(12) (合 計)	1,300.4	1,670.7	$(7)+(8)+(9)+(10)+(11)$

(平成 3 年度作成)

(2) 深山第二地点のケース・スタディ結果

a. 深山第二地点の概要

深山第二地点は、那珂川水系最上流部に位置し、那珂川と御沢との合流点より350m上流の御沢及び合流点より250m上流の那珂川の2箇所から最大 1.80 m³/s を取水し、約1,750mの導水路及び水圧管路により、既設深山発電所取水口地点まで導水し、有効落差 140.7mを得て、最大出力 2,000kW、年間可能発電電力量 6,280MWh の発電を行なう、流れ込み式・水路式の発電計画である。深山第二地点の基本諸元を表2-16-20に示す。

表 2-16-20 深山第二地点の基本諸元

名 称	深山第二地点
水 系 名	那珂川水系
河 川 名	那珂川
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	2,000kW
最大使用水量	1.80 m ³ /s
有 効 落 差	140.71m

b. 経済性の比較

新システムにおいては、表2-16-21に示すとおり、土木設備、電気設備ともに種々の新技術を考慮した。これらの設計方針に基づき、工事費、電力量などを算出し、在来システムと新システムの工事費及び経済性を比較した結果は表2-16-22のとおりであり、その主要点は以下のとおりである。

- ・ 深山第二地点においては、新システム導入により在来技術より新システムの方が、総工事費では15%、kW 及び kWh 当り建設費ではともに 16% 経済的であるとの結果となり、総体的には新システム導入の効果が大きく現れている。
- ・ 経済性向上の要因を個々の設備で見ると、水圧管路の長い本地点の特性を反映して、余水路省略及び水槽小規模化が最も大きく寄与しており、水圧管路においても鋼管(露出式)から FRPM 管[埋設式]への変更による効果が大きくでている。
- ・ 逆に取水設備電源を、在来のケーブル敷設(距離 400m、330m)に対して新システムでは簡易発電システム(御沢:風力発電機、那珂川:溪流発電機)利用としたことにより、工事費増となっている。また、那珂川取水設備についても、新システムでは沈砂池の縮小を図っているにも関わらず、自動排砂機能を付加したこと、沈砂池位置が山側に約 2.5m ほど移動したこと、取水口設備が大きくなったことにより、工事費増となっている。

c. 要素技術の適用条件と課題

深山第二地点のケース・スタディに当たって、採用を検討した各種要素技術の適用条件、課題などを整理したが、その結果は表2-16-23のとおりである。

表 2-16-21 在来システム及び新システムの設計上の主要変更点

対象設備		在来システム	新システム
御 沢 取水設備	取 水 形 式	重力式コンクリートダム＋側方取水	バー無しチロリアン式
	配 電 線	水路内配電線敷設	風力発電機の利用
本 川 取水設備	取 水 形 式	バー付きチロリアン	バー無しチロリアン及び取水溝内堆砂除去への御沢取水量の利用
	沈 砂 池	通常容量及び御沢取水分を対象流量に含める。	縮小化及び御沢取水分を対象流量から除外する。
	配 電 線	配電線敷設(起点:水槽)	溪流発電機設置
支 水 路	断 面	現場打ち水路内隔壁設置による坑内巡視路の設置	隔壁へのコンクリート既製品利用
水 槽	寸 法	通常容量	小規模化
	余 水 路	余水路設置	導水路空容量利用による省略
水圧管路	材 料	鋼管利用(露出式)	FRPM 管(下流端部は鋼管利用)
	線 形	基本的に直線とし、曲がり部分はアンカーブロック設置	FRPM 管許容曲角の縦断・平面的利用
	形 式	露出管として設計	FRPM 管部:埋設管 鋼管部:上部-埋設管 下部-露出管
発 電 所	寸 法	フランシス水車＋必要補機等の設置スペースを考慮して設定。	無人管理化に伴う周辺機器の簡素化、省略化の反映
発電機器	水 車 形 式	横軸フランシス水車(フライホイール付加＋軽負荷ランナ)	
	発 電 機	容量:2,200kVA、回転数:1,000rpm	
	通 信 ・ 制 御 関 係	遠方制御方式	随時巡回方式、保安通報装置

表 2-16-22 在来システム及び新システムの経済性比較(その1)

(単位:千円)

項 目	①在来システム	②新システム	③差額(①-②)	低減率③/①(%)	差の主な要因
水 利 費	31,500	31,500	0	0.0	
発 電 関 係 補 償 費	33,000	33,000	0	0.0	
用 地 費	10,900	10,900	0	0.0	
建 物 費	73,230	73,230	0	0.0	
水 路 費	1,250,390	891,900	358,490	28.7	
1.御沢取水設備 土木工事費	48,700	33,260	15,440	31.7	重力ダムからチロリアンへの転換によるダム体積他の減少
土木別途工事費	24,650	15,230	9,420	38.2	重力ダムからチロリアンへの転換によるゲート重量の減少
小 計	73,350	48,490	24,860	33.9	
2.那珂川取水設備 土木工事費	148,960	165,900	▲ 16,940	▲ 11.4	自動排砂機能の追加による沈砂池の山側への移動
土木別途工事費	20,100	22,290	▲ 2,190	▲ 10.9	自動排砂機能の追加によるゲート門数の増加
小 計	169,060	188,190	▲ 19,130	▲ 11.3	
3.支 水 路 土木工事費	155,480	148,040	7,440	4.8	水路内隔壁へのコンクリート 2 次製品の利用
4.導 水 路 土木工事費	186,070	186,070	0	0.0	
5.水 槽 土木工事費	100,010	15,710	84,300	84.3	水槽の小規模化及び余水路省略
土木別途工事費	105,530	26,250	79,280	75.1	水槽の小規模化によるスクリーン・ゲートの重量減及び余水路の省略
小 計	205,540	41,960	163,580	79.6	
6.水 圧 管 路 土木工事費	158,130	97,340	60,790	38.4	露出式から埋設式(下部露出式)への変更
土木別途工事費	261,320	140,370	120,950	46.3	鋼管から FRPM 管への変更
小 計	419,450	237,710	181,740	43.3	
7.放 水 路 土木工事費	31,560	31,560	0	0.0	
8.土 捨 場 土木工事費	9,880	9,880	0	0.0	

表 2-16-22 在来システム及び新システムの経済性比較(その2)

(単位：千円)

項 目	①在来システム	②新システム	③差額(①-②)	低減率③/①(%)	差の主な要因
機 械 装 置 費	695,760	684,660	11,100	1.6	
発電所本体土木工事費	79,440	79,440	0	0.0	
機械装置費 発電機器	565,410	534,530	30,880	5.5	無人管理化
取水設備電気工事	32,410	52,190	▲ 19,780	▲ 61.0	配電線敷設から簡易発電機利用への転換
水槽電気工事	18,500	18,500	0	0.0	
小 計	616,320	605,220	11,100	1.8	
諸 装 置 費	5,200	5,200	0	0.0	
仮 設 備 費	156,000	156,000	0	0.0	
総 係 費	94,100	94,110	0	0.0	
工事用動力費及び備品費	21,790	21,790	0	0.0	
建 設 中 利 子	113,850	96,110	17,740	15.6	上記計の変化に伴う利子の減少
合 計	2,485,720	2,098,390	387,330	15.6	
最 大 出 力 (kW)	2,000	2,000	0	0	
年 間 発 電 電 力 量 (MWh)	6,280	6,280	0	0	
kW 当たり建設単価 (千円/kW)	1,243	1,049	194	15.6	建設工事費の低減
kWh 当たり建設単価 (円/kWh)	395.8	334.1	61.7	15.6	建設工事費の低減

(平成3年度作成)

表 2-16-23 採用を検討した各種要素技術の効果、適用条件、及び課題(その 1)

要素技術の名称	本地点での採用の有無	期待される効果	効果発現のための適用条件	中小水力地点への適用上解決すべき課題
急流河川における バー無しチロリアンダム	採 用	- ゲート、スクリーンなどの省略 - 小規模出水時における取水溝内自動排砂	出水時における大転石の移動が無い	- 出水時の河床砂礫の移動の把握 - 取水溝排砂効果の確認 - 沈砂池排砂頻度の増加程度の確認
溪流取水分を利用したチロリアンダム 取水溝内自動排砂	採 用	洪水減水時におけるチロリアン取水ダム溝内堆積土砂排出の自動化。無人化	出水時における大転石の移動が無い	- 出水時の河床砂礫の移動の把握 - 取水溝排砂効果の確認 - 通常タイプのバー無しチロリアンダムと比較した場合の、沈砂池排砂頻度の減少効果の確認
沈砂池へのボールゲート利用	不 採 用	沈砂池排砂作業の自動化・無電源化	- 沈砂池への流入土砂が比較的少ない - 沈砂池設置スペースに余裕がある - 運搬等アクセスが容易	- 作動不良時の緊急対策方法の策定 - 重量軽減及び小型化 - コスト低減
取水設備ゲート操作への 風力発電システムの利用	採 用	電源ケーブルの省略	- 風況が安定していること - 地形等の影響による風向き之急激な変化が無いこと - ケーブル敷設距離 1,000m 以上	- 風況及び風向変化の状況把握 - 強風に対する可変ピッチプロペラの効果確認 - メンテナンス状況の把握 - ゲート操作頻度と蓄電量の関係把握
取水設備ゲート操作への 溪流発電システムの利用	採 用	電源ケーブルの省略	- 発電のための落差(20cm 以上)が水路内に確保できること - ケーブル敷設距離 1,000m 以上	- メンテナンス状況の把握 - ゲート操作頻度と蓄電量の関係把握 - 除塵機及びスクリーンの省略の検討

表 2-16-23 採用を検討した各種要素技術の効果、適用条件、及び課題(その2)

要素技術の名称	本地点での採用の有無	期待される効果	効果発現のための適用条件	中小水力地点への適用上解決すべき課題
沈砂池の縮小化	採用	沈砂池工事費の低減	流入土砂が比較的少ないこと	- 縮小化に伴う沈砂池排砂頻度の増加程度の確認 - 水路及び水車への影響程度の確認
水路トンネル内巡視路の設置 及び隔壁にコンクリート 2 次製品利用	採用	- 水路トンネル空容量の有効利用 - コストの低減及び工期短縮	水路トンネル内の空容量が大きいこと (施工最小断面で通水量約 0.6m³/s)	特になし
水槽の小規模化	採用	水槽工事費の低減	- 必要容量(10Q)の確保 - 水槽内の渦等による水圧管路への空気混入防止	水位計の二重化等、水調運転の信頼性向上
余水路の省略	採用	余水路工事費の低減	導水路に空容量があること、あるいは放流バルブ設置等に比較し、余水路工事費が多額であること	特になし
水圧管路への FRPM 管利用	採用	水圧管路工事費の低減及び工期短縮	水圧管路延長の内、利用可能区間が長いこと	高圧管の標準化
随時巡回方式の 2,000kW 地点への適用及び機器簡素化	採用	- 機器の簡素化に伴う機器関係費用の低減 - 発電所管理の簡素化	系統への影響が無いこと (電圧、周波数変化及び単独運転無し)	技術基準第 56 条改訂のための根拠の明確化

(3) K 地点のケース・スタディ結果

a. K 地点の概要

K地点は、流域面積 16,840km²の大河川上流の山間部に位置し、山地河川の急流を利用した発電計画地点である。本地点付近の河川勾配は約1/50と大きく、下流域には既設発電所が運転中である。発電計画は、流域面積 55.5km²を有する本川に取水ダムを設置し、途中の支沢(流域面積4.5km²)と合わせて最大2.8m³/sを取水し、3kmの導水路トンネルによって水槽まで導き、既設発電所取水口上流の発電所までの有効落差154mを利用して、最大出力 3,500kW、年間可能発電電力量約14,000MWhの発電を行なう、流れ込み式・水路式の発電計画である。

本ケース・スタディは、K地点の導水路トンネルが 3.0kmと工程上のクリティカルパスとなっているため、TBM工法を適用し、その工期短縮効果を明らかにすることを最大の目的としている。

K地点の基本諸元を表2-16-24に示す。

表 2-16-24 K 地点の基本諸元

名 称	K地点
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	3,500kW
最大使用水量	2.80 m ³ /s
有 効 落 差	154.0m

b. 在来システムと新システムの設計主要方針の比較

経済比較における、在来システムと新システムの設計主要方針の対比を、表2-16-25に示す。この中で、在来システムについては導水路トンネル掘削を発破工法・TBM工法(片押し)の2ケースに分けた。新システムについては、TBM工法(両押し)の1ケースのみである。

c. 経済性の比較

工事費、電力量などの算定は、表2-16-26に示す3ケースについてそれぞれ算定した。建設中利子については、3ケースの工期による差、工期短縮の効果を明らかにするために、年利8%として算定した。

また、既設発電所の補償費は、当該発電所が運転開始から70年を経過していることから、耐用年数80年として残りの10ヶ年分の有効発電電力量に発電原価を乗じて計上した。

$$\begin{aligned}\text{既設発電所補償費} &= \text{年間可能発電電力量} \times \text{利用率} \times \text{年数} \times \text{発電原価} \\ &= 7,265,000\text{kWh} \times 0.95 \times 10 \text{ 年} \times 10 \text{ 円/kWh} \approx 700 \text{ 百万円}\end{aligned}$$

これらに基づき、工事費を算出し、在来システムと新システムの工事費及び経済性を比較した結果は**表2-16-27**のとおりであり、その主要点は以下のとおりである。

- ・取水ダムにゴム堰を採用することにより、重力式コンクリートダムに比較して、ダム単独ではややコスト高の結果となった。しかしながら、沈砂池の省略が可能となる点、固定堰の場合背水の影響が上流に及ぶため護岸が必要となる点などから、総合的にはゴム堰の採用が有利な結果となった。
- ・導水路トンネルについては TBM 工法の両押しで全体工期についても短縮可能となった。しかし、両押しの場合、合流点から分解・後退する必要から掘削断面が片押しに比較して若干大きくなるため(2.3m→2.6m)、コスト的にはやや割高となることが明らかとなった。
- ・TBM 両押し工法の場合発進基地が 2 ヶ所となり、アクセス道路も通常の片押しの場合の水槽側に加えて、取水地点側へも必要であるが、本地点では取水設備用仮設道路が利用できる条件であったため、TBM 両押し工法に伴う仮設費の増加はなかった。
- ・本計画地点の水槽周辺は急峻な斜面であるため、水槽の小規模化は水槽建設費の低減に大きな効果があった。
- ・一方、余水路省略に関しては、導水路トンネルの勾配を小さくし、空き容量も活用して、負荷遮断時の取水堰からの越流が許容できる条件であったため、水槽の壁高を高くするのみで可能となった。
- ・総合的な経済性としては、在来技術の発破工法を基準として、新システムでは、工事費が約 6.3%減、発電電力量が軽負荷ランナの採用により 8.5%増、これらの結果 kWh 当り建設費では約 14%安くなり、新システム導入により経済性向上が期待できる結果となった。

表 2-16-25 在来技術と一体型システムの設計主要方針の比較

対象設備	在来技術		一体型システム [TBM 工法(両押し)]
	発破工法	TBM 工法(片押し)	
取水ダム	コンクリート固定堰(H 5.0m、L 50.0m、土砂吐ゲート、魚道、放流バルブ付帯) 上流に、堰上背水対策として護岸工事を実施		ゴム引布製起伏堰(H 3.0m、L 45.5m、魚道、放流バルブ付帯)
沈砂池	設置		省略
導水路	B 1.7m、H 2.2m 発破工法(両押し)	掘削径 ϕ 2.3m TBM 工法(片押し)	掘削径 ϕ 2.6m TBM 工法(両押し)
水槽	水面積=30×Q _{MAX} 、水槽容量=120×Q _{MAX}		小規模化、水面積=7.5×Q _{MAX} 、水槽容量=17×Q _{MAX}
余水路	設置		省略
水圧管路	上下傾斜部:FRP 露出管、中間平坦部:FRPM 埋設管(曲管部:鋼管)		
発電所	建屋容積:1,200m ² (100%)		建屋容積:950m ² (79%)(制御盤一体化、補機電動化による圧油装置・給水装置の省略により省スペース化)
電機関係	従来型ランナ横軸フランシス水車、 同期発電機、ほか		軽負荷ランナ採用、 発電機標準化、 補機電動化、 監視制御方式簡素化、 保安警報装置省略、 天井クレーン省略

表 2-16-26 工事費の比較

(単位:百万円)

項 目	在 来 技 術		一体型 発電 システム	備 考
	発破工法	TBM 工法 (片押し)	TBM 工法 (両押し)	
(1) 土地補償関係	20	20	20	
a. 土地	20	20	20	
b. 補償費	—	—	—	
(2) 建物関係	56	56	50	
c. 発電所建屋	56	56	50	
d. 附属建物	—	—	—	
(3) 土木関係	2,076	2,201	2,022	
① 水路	1,629	1,734	1,593	
e. 取水ダム	260	260	190	
f. 取水口	38	38	38	
g. 沈砂池	65	65	0	
h. 導水路	1,000	1,100	1,200	
i. 水槽	74	74	25	
j. 余水路	50	50	0	
k. 水圧管路	56	56	56	
l. 放水路	—	—	—	
m. 放水口	8	8	8	
n. 雑工事	78	83	76	$\Sigma(a \sim i) \times 0.05$
② 機械装置	97	100	89	
o. 基礎	47	47	40	
p. 諸装置	50	53	49	$(①+n) \times 0.03$
③ 仮設備	350	367	340	$(①+②) \times 0.2 + \alpha$
(4) 電気関係	380	380	380	
(5) 建設所運営関係	380	399	316	$(①+②+③) \times 0.15 - \alpha$
(6) ダム分担金	—	—	—	
(7) (小計)	2,912	3,056	2,788	$(1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)$
(8) 建設中利子	329	344	197	
(9) 分担関連費	29	31	28	
(10) 予備費	146	153	142	
(11) 既設発電所の補償費	700	700	700	
(12) (合計)	4,116	4,284	3,855	$(7)+(8)+(9)+(10)+(11)$

(平成 3 年度作成)

表 2-16-27 経済性の比較

		ケース1 在 来 技 術		ケース2 一体型発電システム
		ケース1.1 発 破 工 法	ケース1.2 TBM 工法(片押し)	TBM 工法(両押し) (工期半縮技術)
最 大 出 力	(kW)	3,500		
年間可能発電電力量	(MWh)	13,240	13,240	13,240
工 期	(ヶ月)	30	30	17
工 事 費 (百万円)	導水路トンネル	1,000	1,100	1,200
	土 木 関 係	2,076	2,201	2,022
	電 気 関 係	380	380	380
	建設所運営関係	380	399	316
	小 計	2,919	3,056	2,798
	建設中利子	329	344	197
	その他費用	175	184	170
	既設発電所補償費	700		
	合 計	4,116	4,284	3,855
kW 当り建設単価	(千円/kW)	1,176	1,224	1,101
kWh 当り建設単価	(円/kWh)	311	324	268
評 価 (ケース1.1を100)		100	104.2	86.2

(平成3年度作成)

2.16.3. 実証試験結果

(1) 実証地点の概要

加地発電所は、ケース・スタディ対象地点でもあり、地点概要等については 2.16.2. (1) に記載しているものとほぼ同様であるが、多少異なっているので、改めて記載する。

加地地点は、千代川水系八東川支川加地川の八東川との合流点より約3.3km上流に位置し、加地川から最大使用水量 $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ を取水し、約2,150mの水圧管路により加地川右岸に設置する発電所に導水して、有効落差242.10mを得て、最大出力1,100kWの発電を行ったのち、加地川に放流する流れ込み式発電所で、年間可能発電電力量は 4,676MWh である。

加地地点の基本諸元を表2-16-28に示す。

表2-16-28 実施地点及び基本諸元

名 称	加地発電所(鳥取県)
水 系 名	千代川水系
河 川 名	加地川
発 電 方 式	水路式・流れ込み式
最 大 出 力	1,100kW
使 用 流 量	$0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ (最大出力時)
有 効 落 差	242.1m(最大出力時)
水 車 形 式 出力×台数 回 転 速 度	横軸単輪1射ペルトン水車 1,130kW×1台 600 min^{-1}
発 電 機 形 式 出力×台数 端 子 電 圧 回 転 速 度	横軸回転界磁三相同期発電機 出力×台数 1,200kVA×1台 端子電圧 6,600V 回転速度 600 min^{-1}

(2) 実施期間

[水圧管路] (FRPM管・FRP管)

平成7年10月 6日～平成8年 7月17日

[水 車] (デフレクタ長時間放流)

平成8年 7月 8日～平成8年 7月10日

(3) 実証試験の目的

実証地点である加地発電所は、一体型水力発電システム技術として表2-16-29に示す技術を採用しているが、発電所の運転開始に際し、これらのうち新技術である表2-16-30に示すものについて安全性等の確認を行うことを目的として、以下の実証試験が行われたものである。

表2-16-29 実証地点における一体型水力発電システム技術

設 備	概 要	メリット
取 水 設 備	・堤体背面側方取水方式化	・取水堰に堆積した土砂を出水により下流に排出
水 圧 管 路	・上部:FRPM管・FRP管(埋設) ・下部:FRP管(埋設)	・据付作業の軽減 ・工期短縮 ・メンテナンスフリー
発 電 所	・建屋の縮小化 ・天井クレーンの省略化	・コストダウン
水 車・発 電 機	・デフレクタ長時間放流化 ・付属機器簡素化(変圧器・遮断器)	・余水路の省略

表2-16-30 実証試験対象技術

設 備	概 要
水 圧 管 路	・上部:FRPM管・FRP管(埋設) ・下部:FRP管(埋設)
水 車	・デフレクタ長時間放流化

a. FRPM 管・FRP 管

本水圧管路は、FRPM管・FRP管を採用した埋設方式であり、鋼構造の水圧管路と同様に強度部材(ガラス繊維)の許容応力を設定して設計を行っている。そのため、この設計法の妥当性を確認する必要がある。また、曲管部には初めてFRP製曲管(スムースベンド管)を採用したことから、安全性の確認を行う必要がある。したがって、本実証試験では以下の項目が計測され、設計法の妥当性および安全性・信頼性が確認された。

- ・管胴応力
- ・粒度係数
- ・圧力波の伝播速度
- ・水密性

b. デフレクタ機能

本発電所は、余水路省略等のため、ペルトン水車のデフレクタ放流が長時間行われることから、デフレクタ、ハウジングなどの安全性を確認する必要がある。したがって、24時間デフレクタ放流の実証試験では、以下の項目が計測され、安全性の確認が行われた。

- ・水車軸、デフレクタ軸の振動
- ・騒音

- ・デフレクタチップの摩耗
- ・ハウジングの内面の塗装剥離状況ほか

(4) 水圧管路の設計概要

a. 平面計画

水圧管路ルートは、ほぼ林道の中心であり、水圧管の曲率半径は林道(平面線形は $R=20\text{m}$ 程度)に合わせた方が護岸および水路などへの影響が少なくできるが、水圧管の曲線部分を長くするとコストアップとなるため、以下の曲率半径を採用している。

道路一般部 : $R=15D = 15 \times 0.60 = 9.00\text{m}$

ショートカット部 : $R=4D = 4 \times 0.60 = 2.40\text{m}$

b. 縦断計画

道路下の埋設深は 0.80m とした。しかし、林道の縦断勾配は、地形の状況から凹凸の変化が著しく、道路高に沿った縦断とすると、平面的な曲線部と合せてかなりの曲管数となり、コストアップの要因となる。したがって、管路は平面的な曲がり点と縦断的な曲がり点を一致させた縦断とした。この場合、埋設深は 0.80m を下回らないものとしたため、部分的には土被りがやや深い区間も生じた。

c. ショートカット部

S字形に曲がる林道区間は、ショートカットすることで管路を短くしている。また、この部分の水圧管路は、安全性(落石、火災など)・保守性を考慮し、全周コンクリート巻きとしている。

d. 河川横断部

河川横断部は、安全性・保守性を考慮し、鋼管による水管橋構造としている。

e. スムースベンド管による曲管部

曲げ角度が 5° を超える曲管部は、FRP製曲管であるスムースベンド管を採用し、以下を考慮した構造としている。

- ・スムースベンドの製作長さ(CL)は、 2m 以下とする。
- ・継手部は、水密性を確保するため、スムースベンドの両端に直管を設け、直管どうしを継手により接合する。なお、スムースベンドと直管は、積層接合としている。
- ・IPの曲管長(CL)が 2m 以上となる場合は、スムースベンド管を2本以上接合して構成している。

f. 曲げ角度の小さい曲管部

曲げ角度が 5° 以下のIPでは、スムースベンド管を設けなくて、FRPM・FRP直管の継手部に $1\sim 2^\circ$ の曲げ角度(許容曲げ角度 4°)を数ヶ所設けることで対処した。

g. アンカーブロック端部

アンカーブロック端部では、土中埋設管に沈下が生じるとアンカーブロック端部の管に過大な応力が発生する可能性がある。これを防止するため、アンカーブロック端部は図2-16-13

に示すように、アンカーブロック端部より50cmの位置に継手を設け、この部分にて土中埋設管の沈下を吸収するものとした。

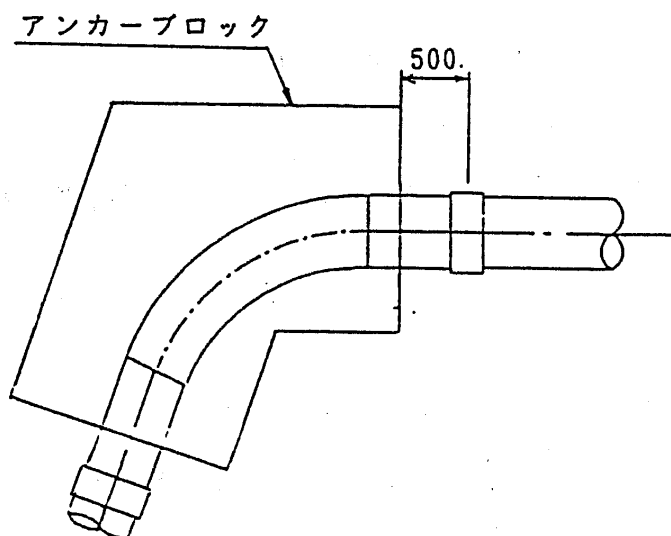


図 2-16-13 アンカーブロック端部管割り

(5) 実証試験結果

a. 水圧管路(FRP(M)管)

FRPM管・FRP管の実証試験の分析結果を要約すると、(a)～(e) のとおりであり、これらによりFRP(M)管を採用した本水圧管路の安全性、信頼性及び設計手法の妥当性が確認された。

(a) FRP(M)管の管胴応力

施工時、空虚時において、計測断面の応力の分布にばらつきがあるが、これは施工時における土の締固め状態によるものと考えられる。ただし、発生応力としては計算値と比較しても大差はない。

運転時に、管外面において計算値より計測値が上まわる場合及び圧縮側と引張側の大小関係が逆傾向になる場合があった。これは、湧水等の現場条件により基床がよく締め固まらないため計算上の仮定と異なった土圧が作用したこと、及び管底と基床の間に部分的に隙間が生じたことによると推測される。ただし、管内面の応力は計算値と実測値がほぼ一致している。管種は、内面・外面で絶対値の大きい方を最大応力として選定するため、設計・施工上の問題はないと考えられる。

各状態におけるスムーズベンド管の管胴応力の計測値は、全て許容値以下であり、その信頼性が確認された。

FRP(M)管の長期強度は、水圧疲労およびクリープによる疲労に対して検討した結果、

問題ないものと推定された。

(b) 粗度係数

運転時の静水圧の変化から求めたFRP(M)管の粗度係数は、 $n=0.0094$ であり、設計値 0.01程度とほぼ一致しているので、今後もこれを設計値することが適当と考えられる。

(c) 圧力波の伝播速度

計測値が計算値の約1.3倍となった理由は、計算式は露出管のものであり、土中埋設管の場合は露出管より伝搬速度が速いためである。この要因としては、以下の①、②が考えられる。これらの事項を考慮して計算すると、計算結果は 785 m/s となり、計測値の813 m/s とほぼ等しくなることが確認された。したがって、圧力波の伝搬速度の計算は、土中埋設管であっても従来から露出管に適用している式で問題はないことが確認された。

- ・製作したFRP(M)管の引張・圧縮剛性が、設計値より大きい。
- ・土中埋設及び湾曲部のアンカーブロック固定により、剛性が高まっている。

(d) 水撃圧

全負荷遮断時の水撃圧は、計算値と計測値がほぼ一致したことから、伝搬速度の相違は水撃圧にほとんど関係ないことが確認された。

全負荷遮断時より1/4負荷遮断時の水撃圧が大きい計測結果となった。これは、ニードルバルブは、全負荷時より1/4負荷時の方が開度が小さく閉鎖時間も速いことが原因と考えられ、流速の低減効果より影響が大きいものと推定される。この確認のため、1/4負荷時の計算を行った結果、7.3%となり計測値とほぼ一致した。ペルトン水車やターゴインパルス水車においては、このような傾向があることが確認された。

また、水門鉄管技術基準水圧鉄管・鉄鋼構造物編などにおいて、ペルトン水車は 10% 以下の計算値の場合は最大静水頭の 10%以上とるよう解説が付されているため、本設計においても10%を用いているが、その妥当性が確認された。

(e) 水密性

継手およびFRP(M)管の水密性は、水槽水位が24時間経過後も低下しておらず、問題ないことが確認された。

FRP(M)管の水密性は、JIS A 5350 に準拠した継手を用い、正しい施工をすることにより確保できると考えられる。

b. 水 車(デフレクタ長時間放流)

余水路を省略したデフレクタ放流方式としたが、発電所が山間部の多積雪地にあり、保守員が到達するまでかなりの時間を要することから、デフレクタによる放流時間を24時間としている。この結果、デフレクタ機構の各部及びハウジングが長時間ジェット水の衝撃を受けることから、この衝撃に耐えるように水車各部強度に留意して設計された。

デフレクタ放流のための水車強化対策を表2-16-31に、水車の補強状況を図2-16-14に示す。

実証試験中に振動、騒音、デフレクタチップ磨耗量、デフレクタアーム・シャフト寸法変化量、ハウジング内面塗装剥離状況などが計測・点検されたが、デフレクタ及びハウジングともにその耐久性、安全性について何ら問題のないことが確認された。

表2-16-31 デフレクタ放流における水車強化対策

項 目	内 容	標準的 仕様	今回の追加機能
デフレクタ・ニードル駆動 動力	駆動動力	電動・圧油	電動サーボの採用
	駆動装置の補強		直 流 電 源 装 置 の 増 強 (150Ah → 250Ah)
デフレクタ・ニードル制御 方法	制御方式	連動制御	並列制御方式
	分担機能(事故時) デフレクタ ニードル	流水遮断 水量制御	無負荷放流(並列待機)、再並列時 揃速 水位調整
	デフレクタ放流時間	短時間	24時間
	後備保護 デフレクタ ニードル		重錘非常閉鎖方式 入口弁閉鎖(重錘非常閉鎖)
デフレクタ材質強化	デフレクタチップ° チップの材質 チップの厚さ チップ部応力安全 率	SC450 20mm 7.3倍	SCS5(高ニッケル・ステンレス鋳鋼) 45mm 17.5倍
その他設計上の留意 点			・飛散水ジェットによる損傷防止のため、ノズル部プロテクタ強度を高めた。 ・デフレクタ機構部は剛性を高くし、連結機構のヒステリシスを最小にする交換の容易な構造とした。

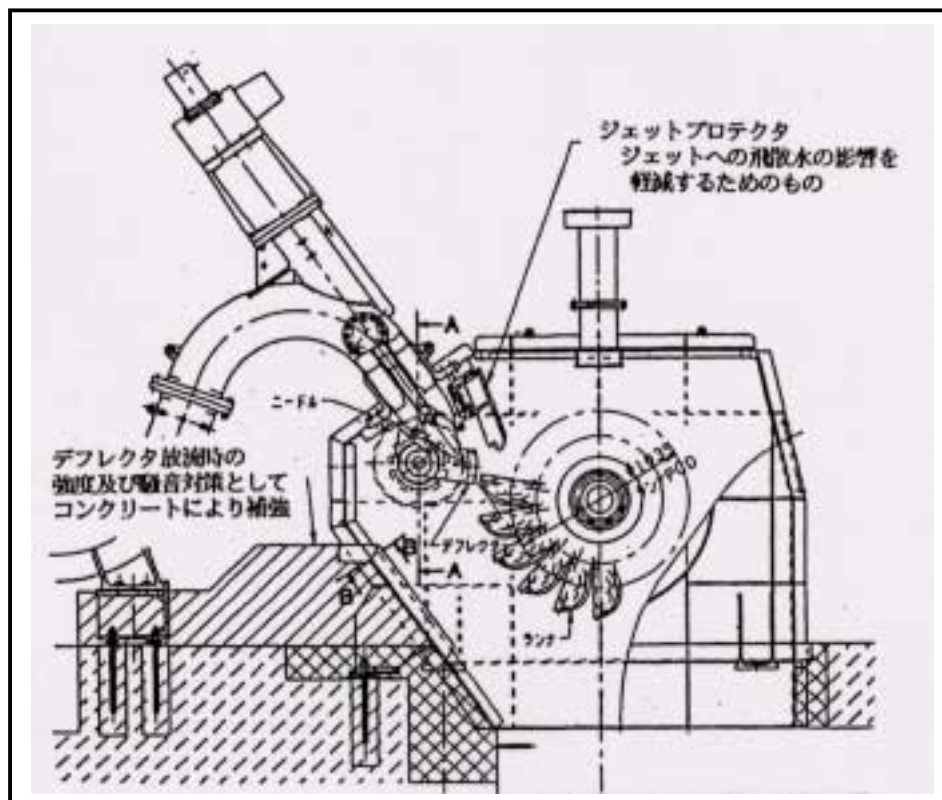


図2-16-14 デフレクタ放流ペルトン水車補強状況

2.16.4. マニュアルの概要

(1) 名 称

「一体型水力発電システム 設計・施工マニュアル(案)」

(平成9年3月 通商産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的(技術開発の目的等)

本マニュアルは、小出力地点の発電システムの設計・施工に関する土木関係・電気機械関係設備の合理化・簡素技術の検討手法を示し、経済的かつ安全な中小水力の開発促進に資することを目的とする。

(3) 適用範囲

本マニュアルは、一体型水力発電システムに関する調査、計画、設計、施工などに適用する。

本マニュアルにおける発電設備に関する適用範囲を表 2-16-32 に示す。

表 2-16-32 一体型水力発電システムの適用範囲

項 目	範 囲
発 電 方 式	流れ込み式
発 電 所 出 力	5,000kW 程度以下
最 大 使 用 流 量	5m ³ /s 程度以下

(4) マニュアルの構成

本マニュアル(案)の目次構成は、以下のとおりである。

一体型水力発電システム設計・施工マニュアル(案) 目 次

第1章 総 則

1.1 一体型水力発電システムの定義

1.2 マニュアルの目的

1.3 マニュアルの適用範囲

1.4 マニュアルの構成

1.5 用語の定義

第2章 一体型水力発電システムによる発電計画

2.1 目 的

2.2 一体型水力発電システムの体系

2.3 一体型水力発電システム全体計画

2.4 水力発電計画と水車の選定

第3章 取水ダムの合理化及び簡素化

3.1 目 的

3.2 取水ダム(固定ダム)

3.3 ゴムダム

3.4 既設砂防ダムの利用

3.5 河川維持流量放流設備

3.6 魚道の計画・設計

第4章 水路の合理化及び簡素化

4.1 目 的

4.2 暗渠導水路システムによる計画立案

4.3 土中埋設水压管路システムによる計画立案

4.4 取水設備

4.5 暗渠式無圧導水路

4.6 ヘッドタンク、余水路

4.7 露出式水压管路

4.8 土中埋設水压管路

4.9 水撃圧及びその軽減対策

4.10放水路、放水口

第5章 発電所の合理化及び簡素化

5.1 目 的

5.2 発電所建屋(地上建物)及び天井走行クレーンの省略等

5.3 発電所基礎の合理化設計

第6章 水力機器、監視制御装置の合理化、簡素化

6.1 目 的

6.2 水車及び水車付属装置

6.3 発電機及び付属装置

6.4 変圧器の省略

6.5 配電盤・開閉装置

6.6 その他機器

6.7 遠隔監視制御装置の簡素化

第7章 一体型水力発電システムの例

(巻末資料)

1. 特殊設計施設認可申請を必要とする要素技術等
2. ポリエチレン樹脂管の構造計算
3. 土中埋設管固定台の安定計算
4. ターゴインパルス水車
5. 水中タービン・発電機
6. 取水設備における自然エネルギー利用実績
7. 溪流取水設備実績アンケート調査結果
8. 魚道設備実績アンケート調査結果
9. 余水路省略実績アンケート調査結果

2.16.5. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、一体型水力発電システムに関しては、技術開発後の普及状況、建設費低減などへの寄与程度の評価は、全般的に比較的高いとする傾向にある。

採用実績については既に42件、採用発電所の合計出力は約18万kW(既設・工事中地点)に上っており、これに伴う建設費低減額は約9億円となっている(表4-2、4-3参照、回答分のみ)など、本技術開発は相当な成果を上げている。

コストダウン以外の効果としては、種々の要素技術の採用により保守点検が容易になり、メンテナンス作業量・費用が低減した、設備信頼度が向上した、施工時の安全性が向上したなどの評価が寄せられている。

一体型水力発電システムが採用された発電所及びゴムダムなど当該設備の主要諸元は、**添付資料-4-17**に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

アンケート調査の結果によれば、一体型水力発電システムに関する課題として、主に以下のよう
な事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 長期的な信頼性の確認が必要
- ・ 使用実績が少ないため、安全性・信頼性についての確認が望まれる。
- ・ 発電所の重要度、停止時の影響度などを考慮して採用可否を決定することが必要
- ・ 一体型配電盤は、盤一面の中に複数の機能が集約されているため、一部の機能だけ停止することができない。
- ・ 天井クレーンを省略する場合は、メンテナンスを十分考慮することが必要

(3) 参考基準等

本調査によるマニュアル(案)のほかに参照すべき基準等としては、以下のものが挙げられる。

- ・ 「ゴム引布製起伏ダムの設計・運転操作管理に関するマニュアル(案)」(通商産業省資源エネルギー庁、(財)新エネルギー財団、平成8年3月)
- ・ 「余水路省略等標準設計マニュアル(案)」(通商産業省資源エネルギー庁、(財)新エネルギー財団、平成3年3月)
- ・ 「水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編」((社) 水門鉄管協会、平成9年5月)
- ・ 「土地改良事業計画設計基準 パイプライン基準書・技術書」((社)農業土木学会、平成10年3月)

2.17. 分散型小水力発電モデルプラントの開発

分散型小水力発電モデルプラントの開発

(平成8年度～13年度調査)

概 要

分散型小水力発電は、元来経済的に不利な地点が多いうえに、開発に際して適用される技術が従来の水力発電用技術の延長線上で考えられていることがさらに経済性を悪化させ開発の大きな障害となっている。このことから分散型小水力発電の特性を考慮したうえで、既成の基準や規定にとらわれない独自の技術体系を構築し、開発促進を図ろうとするものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）
対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

分散型小水力、簡易落差測定法、簡易流量測定法、簡易流量算定法、需要対応規模決定法、林道利用水路ルート、設計洪水量低減、砂防ダム利用取水設備、淵活用取水設備、取水堰スレンダー化、礫・木材利用取水堰、取水堰堤高さ最適化、オリフィス取水口、開渠ライニング合理化、既製管利用水路、ヘッドタンク小規模化、発電所小型化、誘導発電機、ダミーロードガバナ、低圧一体型配電盤、設備合理化、地域振興

適用範囲

地場産業用設備を含む特定設備(連系運転の場合)または発電停止をある程度許容できる需要施設(単独運転の場合)への電力供給を主要用途とする、数10kW～300kW未満の水路式・流れ込み式水力発電所を基本とする。

2.17.1. 新技術の概要

(1) 目的

分散型小水力発電は未利用水力資源の有効活用と同時に地域振興のために重要な役割を果たすことが期待されているが、その開発規模が小さいこと、開発地点が遠隔地となることなどから、元来、経済的に不利な地点が多いうえに、開発に際して適用される技術が従来の水力発電用技術の延長線上で考えられていることがさらに経済性を悪化させ開発の大きな障害となっている。このことから、本開発調査は分散型小水力発電独自の技術体系を構築し、開発促進の一助とすることを目的として実施された。

(2) 対象とする分散型小水力発電所

本調査では、対象とする分散型小水力発電所を基本的に以下のように定義した。

開発規模 : 数10kWから300kW未満

系 統 : 単独系統

開発事業者: 個人、地方自治体(市町村)、地方組織(農業協同組合)など

主要用途 : 地場産業用設備等の特定需要設備における自家消費

発電形式 : 流れ込み式

発電方式 : 水路式

(3) 分散型小水力発電開発の問題点

我が国における分散型小水力発電開発の現状について調査した結果、開発上の問題点となっている以下の事項のうち、技術的観点から「事業資金の調達」「技術上の問題」に焦点を当て、これらの解決策を見いだすことを念頭に置いた検討を行った。

- ① 事業資金の調達
- ② 技術上の問題
- ③ 地元との関連
- ④ 既得水利権との関係
- ⑤ 申請手続き

(4) 要素技術の概要

上記の問題解消を目的として提案された要素技術は以下のとおりである。

a. 「調査」関連

- ① 簡易な落差測定法
- ② 簡易な流量測定法
- ③ 雨量データによる簡易流量算定法

b. 「計画」関連

- ① 需要とのマッチングを考慮した開発規模の決定方法

- ② 林道等を利用した水路ルート計画
- ③ 分散型小水力による需要設備例

c. 「設計」関連

- ① 計画高水流量等を参考とした設計洪水流量の低減
- ② 砂防ダム等既設構造物の利用による取水設備の簡素化
- ③ 淵等の自然地形の有効活用による取水設備の簡素化
- ④ コンクリート取水堰のスレンダー化
- ⑤ 礫、木材などの利用による簡易型取水堰
- ⑥ 沈砂池構造との関連における取水堰堤高さの最適化
- ⑦ オリフィスの利用による取水口の簡素化
- ⑧ 開渠式導水路の内面ライニング必要性判断の明確化
- ⑨ 既製管材を利用した導水路及び水圧管路
- ⑩ 水槽の小規模化
- ⑪ 発電所の小型化
- ⑫ 分散型小水力発電の特性を考慮した機器選定
- ⑬ 誘導発電機導入条件の明確化
- ⑭ ダミーロードガバナによる負荷制御の簡素化
- ⑮ 低圧一体型配電盤

(5) 検討経緯

a. 基本構想の検討(平成 8～9 年度)

国内外における分散型小水力発電所の実態調査を行い、基本システムに関する基本構想を明らかにした。

(a) 国内における実態調査

国内における出力300kW以下の自家用小水力発電所(129発電所)に対するアンケート調査結果から有効な回答を得た73発電所について、諸元等の分析を行った。

これらの調査の結果、分散型小水力の開発促進のためには、大幅なコスト低減が不可欠であり、既成の基準・規程にとらわれない純技術的な観点からの検討が必要であることが確認された。

(b) 海外における実態調査

アジア地域の主要国及びオセアニア地域の一部を対象として各国の一般電力状況、地方電化などに関する文献調査を実施するとともに、インドネシア共和国、ベトナム社会民主主義共和国に対する現地調査を実施した。

この結果、電化率が50～60%に達している国々では、分散型小水力による地方電化の促進が叫ばれているものの、経済的、技術的問題から開発が遅れている実態が明らかとなった。

b. 基本システムの技術的検討(平成 8～11 年度)

(a) 要素技術の抽出

実態調査結果を踏まえ各工作物の簡素化、建設コストの低減に主眼を置いて適用可能な要素技術の抽出を行った。

(b) 要素技術に関する技術的検討

各要素技術に対し、技術的問題点とその対応策、適用条件、既成の基準・規定との関連などについて検討を行った。

(c) 要素技術導入の効果の確認

国内のモデル地点を対象に要素技術導入による効果を検証した結果、在来技術によるものに比較して25～50%程度の建設コスト低減が可能であることが明らかとなった。

また、各要素技術毎に地点特性による効果の差異について分析を行った。

c. ケース・スタディの実施(平成 9～12 年度)

基本システムの技術的検討結果を踏まえ、4ヶ国についてケース・スタディを実施した。

d. マニュアル(案)の作成(平成 10～13 年度)

上記検討結果をマニュアル(案)に取りまとめた。

2.17.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

基本システムの技術的検討結果を踏まえ、**表2-17-1**に示す4ヶ国において、同表の発電諸元を有する地点を対象にケース・スタディを実施した結果、同表コスト低減効果欄のとおりとなり、在来設計の場合と比較して要素技術の導入によるコスト低減効果は 24～63%と非常に高いことが明らかとなった。

表2-17-1 海外ケース・スタディ地点における発電諸元とコスト低減効果

項 目		インドネシア	ラオス	ベトナム	フィリピン
発 電 諸 元	出 力 (k W h)	100	70	100	65
	使用水量 (m ³ /s)	0.40	0.55	0.30	0.45
	有 効 落 差 (m)	41.0	18.1	54.2	25.2
コ ス ト 低 減 効 果 (%)	土 木 設 備	57	17	68	30
	電 気 設 備	73	34	0	73
	全 体	63	24	42	57

2.17.3. マニュアルの概要

(1) 名 称

「分散型小水力発電マニュアル(案)」

(平成14年3月 経済産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

(2) 目 的

近年、地球温暖化に代表される地球規模での環境保全が叫ばれている。エネルギー供給面の対応策としては、二酸化炭素等の温暖化ガスを発生しない自然エネルギーの導入促進が必要となっている。この中で、水力発電はクリーンな再生可能エネルギーであり、石油等と同様に貴重な資源として位置付けられる上、技術的にも熟成度が高く将来的にも有力なエネルギーとして期待されている。とりわけ、分散型小水力発電は水力資源有効活用の一翼を担うと同時に、地域振興のための有効な手段として位置付けられている。

しかしながら分散型小水力発電は、その開発規模が小さいこと、開発地点が遠隔地となることなどから、元来、経済的に不利な地点が多い上に、開発に際して適用される技術が従来の水力発電用技術の延長線上で考えられていることが、さらに経済性を悪化させ開発の大きな障害となっている。

したがって、本書の作成に当たっては、開発コストの低減や諸手続の簡素化に主眼を置いた検討を行い、分散型小水力発電開発固有の技術体系の構築を目指した。

(3) マニュアル作成上の留意点

a. マニュアルの役割

分散型小水力発電マニュアルは、これらの開発に関する「標準」を示すものではなく、開発事業者や計画担当者が分散型小水力発電所の開発に際して、「コストの低減」、「保守の容易性」などに関するヒントを得られるような、ハンドブック的な役割を果たすものとする。

b. 現行の基準・規制との関連

分散型小水力発電開発を促進するためにはコストの低減が不可欠であり、徹底したコスト低減を図ることを念頭に置いて検討を行った。この際、現行の基準・規定の中には、分散型小水力発電所の社会的重要性、設備規模から見て過剰と考えられるものも存在し、分散型小水力開発の大きな障害となっている。これらに関しては、純技術的な観点で検討を加え、分散型小水力発電に対して問題が無いと考えられるものについては、マニュアルにおいて条件緩和を提案している。

c. 開発の手順と記載内容

分散型小水力発電開発計画の策定では、需要設備が特定されるために発電側の条件だけではなく需要側の条件を十分に考慮して両者のバランスを図っていくことが重要となる。この点が不特定多数の需要設備への電力供給を目的とし、かつ代替電源を有する一般の水力発電計画と大きく異なる点である。

分散型小水力発電はその開発規模が小さく、調査・検討に係わる費用が相対的に多くなることから、計画策定の初期段階から高い精度で調査・検討を行うことは作業効率、経済効率の観点から得策ではなく、段階的に精度を向上させていくことが重要となる。したがって、マニュアル(案)では、計画策定を以下のように区分し、各段階における実施内容が判読しやすい構成とした。

(a) 開発地点選定段階

開発地点選定段階では、当該計画実現の可能性を評価することが主体となる。このため、調査検討も既存資料及び簡易な現地調査に基づくものとなる。

(b) 概略計画段階

概略計画段階は、開発地点選定段階で開発の可能性が認められた地点に関して、計画の骨子を確定する。

(c) 詳細計画段階

詳細計画段階は、単に技術的観点からだけではなく、申請手続き、資金調達などを考慮した精度で各調査検討を行う。

(4) マニュアルの構成

分散型小水力発電マニュアル(案)については、「系統連系編」、「単独運転編」に分冊する方針でとりまとめが行われていたが、内容的に重複する部分が多いこと、対象とする開発規模から自家消費が主体となることなどから、基本的に「単独運転」主体で取りまとめた。

以下は、上記方針に沿ったマニュアル(案)の目次構成である。

分散型小水力発電マニュアル(案)目次

第1章 概要

1. 本書の目的
2. 対象とする分散型小水力発電所
3. 分散型小水力開発の役割
4. 分散型小水力開発の問題点
5. 本書の役割及び対象者
6. 分散型小水力発電計画の手順と記載内容の関連

第2章 調査

1. 開発地点選定段階における調査
2. 概略計画段階の調査
3. 詳細計画段階の調査

第3章 計画

1. 開発候補地点の選定

2. 主要工作物位置の選定

3. 需給計画

第4章 土木構造物の設計

1. 取水堰堤

2. 取水口

3. 沈砂池

4. 導水路

5. 水 槽

6. 余水路

7. 水圧管路

8. 発電所

9. ゲート他

第5章 電気機器の設計

1. 電気機器の基本構成

2. 電気機器の選定要因

3. 水車

4. 発電機

5. 制御装置

6. 監視制御・保護装置

7. 直流電源

8. その他

第6章 開発計画の評価

1. 建設費積算

2. 発電量の算定

3. 開発計画の評価

第7章 保守・運転

1. 保守

2. 運転

第8章 運営

1. 開発に関する助成制度

2. 開発に係わる諸手続

2.17.4. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、分散型小水力発電技術の寄与程度に関しては、建設費低減については「どちらかと言えば大きい」が多数であったが、その他の事項については適用事例が少ない点を背景に、「どちらとも言えない」が多かった。

普及状況については、全体としては「どちらとも言えない」が大勢であったが、電力・卸事業者は適用地点が無い等の理由で「小さい」が多かった。

本新技術の国内における採用実績は現在のところ無いが、2.17.2. に示した海外のケース・スタディ対象4地点において、本調査結果を反映した実証試験を別途実施中である。

(2) 今後の課題

本開発調査では分散型小水力発電開発の最大の障害であるコスト低減に焦点を当てた検討を行ったが、現行の規制・基準を遵守していたのでは、開発可能レベルまでのコスト低減は困難であることから、現行の規制・基準にとらわれずに純技術的な観点からコストの低減方策について検討を加え、この結果をマニュアルに反映している。

したがって、本マニュアルで紹介される要素技術や調査検討手法については、現状において採用が困難なものも多く含まれているため、今後は分散型小水力発電所の特性について関係機関の理解を得、規制緩和に繋げて行くなどの対応が必要である。

2.18. 海外資機材の調達・導入技術の確立

海外資機材の調達・導入技術の確立

(平成 10 年度～12 年度調査)

概 要

昨今、海外資機材の中には国内製品と遜色のないほどの品質を有しかつ割安なものも増えていることから、これらの安価な海外資機材を水力発電所の建設に導入することによって、従来の技術レベルを確保しつつ建設コストの低減を実現する技術を確立したものである。

分 類

適用段階：調査、計画、設計、施工、保守運用、その他（ ）

対象設備：ダム、取水設備、導水路、水圧管路、余水路、発電所、放水路、水車・発電機、全般、その他（ ）

最終成果の形態

報告書、マニュアル、実証試験実施要領、その他（ ）

キーワード

海外資機材調達、国際調達、資機材合理化

適用範囲

水力発電所の新設・再開発用資機材の国際調達における技術事項に適用する。

2.18.1. 新技術の概要

(1) 目 的

国内製品と遜色のないほどの品質を有し、かつ安価な海外資機材を導入することによって、従来の技術レベルを確保しつつ、水力発電所の建設コストの低減を実現し、水力の開発を促進しようとするものである。

(2) 概 要

昨今、海外資機材の中には国内製品と遜色のないほどの品質を有しかつ割安なものも増えていることから、これらの安価な海外資機材を導入することによって、従来の技術レベルを確保しつつ建設コストの低減を実現する技術を確立し、その調査成果として「水力発電所用資機材の国際調達マニュアル(案)」を取りまとめたものである。

本マニュアルは、主として電気事業者により水力発電所建設用資機材の国際調達に際して利用されることを期待しているが、機器製作者、建設会社などが発注者たる電気事業者に海外資機材の採用を提案する際の利用も視野に入れている。

(3) マニュアル(案)の特徴

a. アンケート調査結果等の反映

「海外資機材の導入・調達技術の確立」に関する調査・検討において、水力発電所用資機材の国際調達に関するアンケート調査を実施し、その結果得られた至近の国際調達事例を参考として、国際調達における留意事項の検討、国内外の基準・規格類の比較、コストダウン効果の試算などの諸調査・諸検討を実施した。

本マニュアルは、これらの調査・検討の成果を盛り込むとともに、アンケート調査の結果「国際調達を今後進めていくうえで『国際調達マニュアル』の整備が必要」との声が特に電力会社・公営電気事業者において多かった点も反映して作成したものである。

なお、本マニュアルは海外資機材の調達に主眼を置いているが、国産資機材を排除するものではなく、「国際調達」の用語はこの意味で用いているものである。

b. 適用範囲

本マニュアルは、水力発電所の新設・再開発用資機材の国際調達における技術事項に適用し、契約事項については対象外とするものとした。

c. 対象資機材

対象資機材は、基本的にコストダウン効果が期待できる主要な資機材とし、部門別に以下のとおりである。

電気機械設備：水車、発電機、主要変圧器、天井クレーン

水門鉄管設備：水圧鉄管、水門扉、スクリーン、除塵機、鋼材

土 木 資 材：セメント、骨材、鉄筋、H形鋼、鋼矢板

(4) アンケート調査結果の概要

a. 調査の目的及び調査対象

アンケート調査は、水力発電所（一部他工事を含む）における海外資機材導入事例、それらの調達条件（調達先、調達方法、価格、納期など）、導入結果（品質、施工性、保守性、その他）、これらに関する発注者の評価、要望などを調査することを目的として、平成10年度に実施したものである。

調査対象の資機材は、電気機械設備、水門鉄管設備、土木資材の3分野、調査先は「電力会社・公営電気事業者」、「建設会社」、「水門鉄管製作者」、「電気機械製作者」の計56社であり、そのうち51社から回答が寄せられた。

以下は、アンケート調査結果全体の傾向等を述べたものであり、業種別集計結果については表2-18-2を参照されたい。

b. 調達実績及びその評価

(a) 調達実績の有無

回答が寄せられた51社の内、海外資機材の「調達実績有り」は36社(71%)、「検討中又は無し」は15社(29%)であった。

なお、電力会社、建設会社及び水門鉄管・電気機械製作者では、ほとんどが「調達実績有」であったが、公営電気事業者では「有」は2社のみで、他は「現時点では海外調達を考えていない」との回答であり、この理由としては「信頼性・メンテナンスの不安」、「具体的情報の不足」などが多かった。

(b) 調達品目

調達品目については、電力会社・公営電気事業者では欧州諸国からの水車類が最も多く、次いで発電機類、水圧鉄管用の鋼材類などであった。建設会社では韓国からのセメント、RCセグメントが多く、水門鉄管製作者では韓国及び欧州諸国からの水圧鉄管用鋼材が、電気機械製作者では欧州諸国からの水車及びアジア諸国からの水車部品が多く回答された。

(c) 調達ルート・情報入手先・調達先選定要因

調達ルートに関しては、電力会社・公営電気事業者と建設会社では「国内の商社・代理店経由」及び「国内製作者仲介」による調達が大部分を占めている。一方、水門鉄管製作者及び電気機械製作者では「海外製作者直接」及び「海外の商社・代理店経由」が多く、国内商社等を経由している場合でも、窓口業務や書類管理を委託するのみで、技術的交渉はほとんど海外製作者と直接行っている場合が多い模様である。

海外資機材に関する情報入手先としては、建設会社を除いてはいずれも「海外製作者への直

接問い合わせ」が多く、海外製作者からの直接調達の場合はもちろん、国内の商社・代理店経由の調達であっても、情報入手は直接海外製作者から行うケースが多いことを示している。

調達先の選定にあたって重視した要素としては、当然のことながら「品質」、「価格」といった回答が多かったが、電力会社・公営電気事業者では設備の保守を行う立場から、据付後の「アフターサービス」も比較的多く挙げられている。

(d) 取引条件等

輸出入を自ら行った事例の取引条件は、決済通貨については調達先国の通貨又は米ドルがほとんどであり、決済条件は一覧払い信用状が最も多い。また、貿易条件は CIF 又は FOB であった。

基準言語については、東南アジアの JIS 認定工場からの調達で日本語が使用されている例があるものの、それ以外はほとんどが英語であった。

(e) 国内規格・基準との整合

海外資機材の国内規格・基準との整合性のとり方については、土木資材では「JIS 認定工場を選定した」や「審査機関に整合性の確認を依頼した」などの回答が多く、電機設備では「国際規格(IEC)を適用した」や「日本規格と調達先国の規格を比較し確認した」などの回答が多かった。電力会社・公営電気事業者においては、大部分の資機材について海外規格と国内規格の整合性の審査を社内で実施していた。

(f) 品質確認

品質確認は、電気機械設備、水門鉄管設備、及び土木資材の特注品については「出荷前現地工場」で行われている例が最も多く、特に電気機械製作者の調達実績においては、全ての事例で行われていた。一方、土木資材の規格品の場合は、品質証明書の取り寄せのみで行っている例が多い。

(g) コストダウン効果

海外資機材の導入によるコストダウン効果については、主要資機材の国内調達コストとの比率を見ると、以下のとおりバラツキはあるものの、最大 30%程度のコストダウン効果が得られた事例もあった。なお、調査は平成 10 年 11 月に実施したものであり、コストダウン率は調査時点との為替レート、人件費などの内部コストなどの差異により影響を受ける可能性があるため注意が必要である。

・水車	国内調達の場合に比し	4～30%	コストダウン
・発電機	〃	5～30%	〃
・水圧鉄管用鋼材	〃	0～27%	〃
・セメント	〃	3～14%	〃

(h) 導入実績に対する評価

導入した資機材の品質、施工性、アフターサービスなどの実績に関する評価は、ほとんどが

「普通」であり、海外資機材の導入結果には概ね満足が得られているようである。

一方、改善すべき課題が「有」との回答は、表 2-18-1 のとおり水門鉄管製作者を除き各業種とも 60～70%と高率であり、要改善課題としては主に「製作・輸送」が挙げられ、建設会社、水門鉄管製作者においては「納期」も比較的多く挙げられていた。

表 2-18-1 国際調達における改善すべき課題

アンケート先	要改善課題 「有」の比率(%)	課題の内容
電力会社・公営電気事業者	約 70	製作・輸送、契約・設計、材料・品質
建設会社	約 60	製作・輸送、納期
水門鉄管製作者	約 30	納期
電気機械製作者	約 70	製作・輸送

(i) 国際調達指定の有無等

発注者からの海外資機材調達の指示・指定の有無については、建設会社、水門鉄管・電気機械製作者の各社とも過半数が「有」との回答で、「建設省海外資機材活用モデル工事として採用」、「調達先国の指定」、「国産にはない形式の指定」などの内容であった。

反対に受注者から発注者への海外資機材の導入提案については、建設会社・水門鉄管製作者では約半数が、電気機械製作者では全部が「有」と回答し、その内容は、「コスト削減のための VE 提案」が最も多かった。

c. 海外調達促進上の課題・留意事項

(a) 期待事項・懸念事項

海外資機材調達に期待する事項としては、当然のことながら「コスト低減」が最も多く挙げられていた。一方、懸念事項としては、電力会社・公営電気事業者では「メンテナンス」が最も多く挙げられ、機材の保守や故障時の対応に不安があることが窺われた。建設会社、水門鉄管・電気機械製作者では、受注者の立場から「納期」が最も多く挙げられていた。

(b) 国際調達促進のための課題

海外資機材の調達を今後促進していくための主な課題としては、「仕様書の整備」、「国内規格・基準との整合」、「据付・保守体制の強化」、「より多くの情報収集」、「国際調達に対応可能な技術者の育成」などが挙げられていた。

(c) 今後必要な情報

海外調達を行ううえで今後必要な情報としては、全ての業種において「品質」、「価格」、「調達実績」が多かったが、電力会社・公営電気事業者においては「海外調達マニュアル」についても比較的多く挙げられていた。

(d) 調達契約上の留意事項

調達契約にあたって仕様書・契約書上に規定の必要な事項としては、「細部にわたる指定」、「保証・補償に関する事項」などが主なものとして挙げられた。また、設計変更等による土木資材発注数量の増減対策としては、「増減数量に対する適用価格の規定」、「在庫・供給体制の確認」などが行われていた。

表 2-18-2 アンケート調査結果一覧

調査項目 \ 調査対象	電力会社・公営電気事業者 (22 社)	建設会社 (11 社)	水門鉄管製作者 (10 社)	電気機械製作者 (8 社)
(1)調達実績の有無	有:45.5%、無:54.5%	有:100%、無:0%	有:70.0%、無:30.0%	有:100%、無:0%
(2)海外資機材の調達品目 (調達予定品目を含む)	水車(部品含)、発電機、ゲート、スクリーン、 水圧鉄管用鋼材など	セメント、鋼材、RC セグメント、鉄骨、 ロックボルトなど	鋼材、水圧鉄管、ゲート、ゲート関連部品、 スクリーンなど	水車、発電機、入口弁、部品など
(3)国際調達で期待する事項	コスト低減等	コスト低減、品質など	コスト低減等	コスト低減等
(4)国際調達の懸念事項	1 位:メンテナンス、2 位:手続	1 位:輸送(納期)、2 位:品質	1 位:輸送(納期)、2 位:品質	1 位:輸送(納期)・メンテナンス
(5)今後必要な情報	1 位:品質・調達実績	1 位:価格、2 位:品質	1 位:調達実績、2 位:品質・価格	1 位:品質・価格
(6)発注者への提案の有無	——	有:54.5%、VE 提案等	有:50%、VE 提案等	有:100%、発注者承認行為の簡素化
(7)発注者からの指示の有無	——	有:50%、無:50%	有:50%、無:50%	有:66.7%、無:33.3%
(8)課題又はトラブル事項	1 位:製作・輸送、2 位:契約・設計、材料・品質	1 位:製作・輸送、2 位:納期	1 位:納期	1 位:契約・設計、2 位:納期
(9)コストダウン効果(国内比)	水車:4～27%減、発電機 20%減	セメント:3～14%減、	水圧鉄管用・ゲート用鋼材:0～27%減	水車:5～30%減、発電機:5～30%減
(10)情報入手先	1 位:当該製作者へ直接問合せ	1 位:国内商社・代理店	1 位:当該製作者へ直接問合せ、国内代理店	1 位:海外製作者を直接訪問
(11)国内規格・規準との整合	社内審査等	JIS 認定工場を選定等	JIS 認定工場を選定等	国際規格(IEC)の採用等
(12)予算価格の設定方法	国内調達と同じ	物価調査機関から得られた単価に査定率を乗じた	当該製作者の見積りより	当該製作者の見積りより
(13)調達ルート	1 位:国内製作者、2 位:国内商社・代理店	1 位:国内商社・代理店	1 位:国内商社・代理店、2 位:海外製作者直接	1 位:海外製作者直接、国内商社
(14)調達先の選定理由	1 位:品質(性能)、2 位:価格	1 位:品質(性能)、2 位:価格	1 位:価格、2 位:品質(性能)	1 位:品質(性能)、価格
(15)調達契約にあたっての留意点	規格、保証、補償など	細部にわたる指示・指導、緊急時対応など	自社購入仕様書の提示、納期に余裕など	仕様書、支払条件、ペナルティなど
(16)品質確認方法	1 位:出荷前現地工場、2 位:品質試験	1 位:出荷前現地工場、品質証明書取寄せ	1 位:出荷前現地工場、2 位:品質試験	1 位:出荷前現地工場、2 位:品質証明書の取寄せ

(5) 検討経緯

a. 基本構想の検討(平成 10 年度)

b. 海外資機材・関連技術の調査(平成 10～12 年度)

既に海外資機材の導入・調達を行っている地点の状況についてアンケートや聞き取り調査を実施し、その整理・分析を行った。また、国内外関連規格・基準類の調査・検討を実施した。

c. ケース・スタディの実施(平成 11～12 年度)

海外調達の経済性ほかの詳細検討、発注者の業務フローを模擬した詳細検討[仕様(一般事項・技術事項)、発注手続き、施工据付、保守など]を行った。

d. マニュアル(案)の作成(平成 12 年度)

海外調達の実績を有する資機材リスト、海外調達に関する留意事項(仕様、契約、法規、保守管理方法ほか)などを盛り込んだマニュアル(案)を作成した。

2.18.2. 経済性に関するケース・スタディ結果

経済性に関するケース・スタディとしては、土木資材に関するものを実施した。

中小水力発電所計画地点をモデルとした海外調達ケース・スタディの結果、コストダウン効果は、為替変動、品代の内外価格差に大きく影響されるが、それ以外に国内輸送費、国内調達価格の地域格差などにも影響され、これらの点についても事前に十分調査する必要があることが明らかになった。

(1) ケース・スタディの条件

- ・ 対象としたモデル地点の出力規模は、1,800kW、8,000kW（共に流れ込み式）、及び18,000kW（ダム式）である。
- ・ 対象資材は、セメント、細骨材、粗骨材、鉄筋、H形鋼、鋼矢板の6品目であり、コストメリット評価はこれら品目の海外産・国産資材それぞれの現場渡し価格相互の比較により行っている。
- ・ 考慮したコストは各品目の荷渡し条件（C&F、CIF、大都市内現場持ち込み渡しなど）によって異なるが、基本的には、現地購入価格、海上輸送費、通関などの輸入に伴う費用、国内輸送費などのコストを含んでいる。
- ・ 為替レートは1 \$ =80円、100円、120円の3ケースである。
- ・ モデル地点と貿易港間の距離は50km、100km、200kmの3ケースを設定している。
- ・ 資材価格は、原則として1999年12月時点である。

(2) モデル地点別の傾向

以上 6 品目を海外調達した場合の国内調達に対する資材費低減額(低減率)を、各モデル地点について試算した結果(1 \$ =100 円のケース)を、表 2-18-3 に示す。同表に見られる特徴的な点は、

- ・ 国内輸送距離の増加とともにコスト低減効果が減少する。特に18,000kW地点ではこの傾向が顕著であり、輸送距離200kmではほとんどコスト低減効果がなくなる。これは国内輸送費の比率が特に高い細・粗骨材の国際調達コストに占める割合が比較的高く、距離の増加が鋭敏にコスト総額に反映されるためと考えられる。
- ・ 発電出力が小さい程コスト低減率が高い傾向を示しているが、これはケース・スタディにおいてコストメリットの大きい鋼矢板の割合を小規模地点ほど高く設定(仮締切への利用を想定)したためであり、一般には土木資材の調達量の多い大規模地点の方が、海外土木資材導入によるコストダウン効果が大きい傾向があるものと考えられる。
- ・ 各モデル地点とも、東京を起点とした国内輸送距離50kmのケースが最もコスト低減率が高い。これは細・粗骨材の国産資材価格が東京地区で高く、海外資材のコストメリットが相対的に大きく出たためと考えられる。

表 2-18-3 資材調達コスト低減額(低減率)の試算結果 (単位:千円)

	国内輸送距離	札幌	東京	名古屋	大阪	福岡	平均
A地点 1,800kW 流れ込み式	50km	12,176 (10.1%)	19,057 (14.2%)	8,621 (7.3%)	14,517 (11.1%)	6,651 (5.6%)	12,204 (9.8%)
	100km	9,758 (8.1%)	8,619 (6.4%)	6,214 (5.3%)	7,264 (5.6%)	6,159 (5.2%)	7,603 (6.1%)
	200km	7,071 (5.9%)	5,968 (4.4%)	5,946 (5.1%)	5,946 (4.6%)	5,946 (5.0%)	6,175 (5.0%)
B地点 8,000kW 流れ込み式	50km	29,308 (9.5%)	44,700 (13.0%)	18,789 (6.3%)	33,605 (10.1%)	13,811 (4.5%)	28,043 (8.8%)
	100km	22,814 (7.4%)	18,499 (5.4%)	12,355 (4.1%)	15,065 (4.5%)	12,308 (4.1%)	16,208 (5.1%)
	200km	15,589 (5.0%)	11,820 (3.5%)	11,764 (3.9%)	11,764 (3.5%)	11,764 (3.9%)	12,540 (3.9%)
C地点 18,000kW ダム式	50km	31,858 (5.4%)	64,345 (9.7%)	12,968 (2.3%)	50,012 (7.7%)	3,706 (0.6%)	32,578 (5.3%)
	100km	20,683 (3.5%)	13,142 (2.0%)	1,867 (0.3%)	6,653 (1.0%)	1,567 (0.3%)	8,782 (1.4%)
	200km	8,270 (1.4%)	1,420 (0.2%)	1,293 (0.2%)	1,293 (0.2%)	1,293 (0.2%)	2,714 (0.4%)

(備考) 1. 低減額の合計はコストメリットのあるもののみ加算した。 (平成 11 年度作成)
2. 1 \$ =100 円で試算した。
3. () 内のコスト低減率は、当該国産資材調達コストとの比較値である。

(3) 品目別の特徴

- ・ 全体的な傾向として、鋼材類が海外調達によるメリットが比較的大きい一方、骨材の海外調達メリットは国内輸送距離が比較的短い場合に限られる。
- ・ 対象とした品目はいずれも重量物であるため陸上輸送費が嵩みがちであり、国内輸送距離の長短がメリットの大小に大きく影響する。
- ・ 品目別にみると最もコストメリットが大きいのは鋼矢板で、大都市(札幌、東京、名古屋、大阪、福岡)を起点とした国内輸送距離が200kmであっても、海外調達コストは国内調達の場合の1/2以下である。
- ・ 次いでメリットが比較的大きいのは鉄筋、H形鋼などの鋼材類及びセメントであり、大都市を起点とした国内輸送距離が100km程度までは海外調達メリットが得られる。
- ・ 細骨材の場合は、国産資材の単価の高い東京を起点とした国内輸送距離が100km以下であれば、海外調達によるコストメリットが生じる。
- ・ 粗骨材では、東京及び大阪を起点とした国内輸送距離50km以下の場合に、海外調達メリットがある。
- ・ 為替レート的高低による影響には資材による違いがあり、鉄筋、H形鋼などの鋼材類は為替レートの変動の影響を強く受けるが、セメント、骨材についてはほとんど影響を受けない傾向が見られた。

なお、以上のケース・スタディは一定の仮定の下で行ったものであり、実際の国際調達メリットの評価にあたっては個々の費用項目について実情に合ったコストを調査する必要がある。

2.18.3. マニュアルの概要

(1) 名 称

「水力発電所用資機材の国際調達マニュアル(案)」※

(平成13年3月 経済産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団)

※ 報告書名「海外資機材の調達・導入技術の確立 ケース・スタディ及びマニュアル(案)の作成(土木・水門鉄管設備)」に収録されている。

(2) 目 的

本マニュアル(案)は、水力発電所建設コスト低減の観点から海外資機材の導入・調達の促進を図ることを目的とするものである。

(3) 適用範囲

本マニュアル(案)は、水力発電所の新設・再開発用資機材の国際調達における技術事項に適用する。

対象資機材は、基本的にコストダウン効果が期待できる主要な資機材とし、部門別に以下のとおりである。

電気機械設備 : 水車、発電機、主要変圧器、天井クレーン

水門鉄管設備 : 水圧鉄管、水門扉、スクリーン、除塵機、鋼材

土 木 資 材 : セメント、骨材、鉄筋、H形鋼、鋼矢板

(4) マニュアルの構成

本マニュアル(案)の目次構成は、以下のとおりである。

水力発電所用資機材の国際調達マニュアル(案)目次

第1章 目的及び概要

1.1 目的及び背景

1.2 マニュアルの概要

第2章 アンケート調査結果の概要

第3章 一般事項

3.1 調達方式等

3.2 関連基準・規格等

第4章 電気機械設備

4.1 国際調達フロー

- 4.2 事前調査・検討
- 4.3 購入仕様書作成
- 4.4 発注手続き
- 4.5 据 付
- 4.6 保 守

第5章 水門鉄管設備

- 5.1 国際調達フロー
- 5.2 事前調査・検討
- 5.3 購入仕様書作成
- 5.4 据 付
- 5.5 保 守

第6章 土木資材

- 6.1 国際調達フロー
- 6.2 事前調査
- 6.3 国際調達の可能性評価
- 6.4 調達先候補の選定
- 6.5 国際調達メリットの評価
- 6.6 コストダウン効果に関するケース・スタディ
- 6.7 購入仕様書作成
- 6.8 品質確認
- 6.9 輸 送

第7章 今後の課題

第8章 購入仕様例

- 8.1 水車・発電機
- 8.2 主要変圧器
- 8.3 天井クレーン
- 8.4 取水口ゲート

【 添付資料 】

添付資料-1 水力発電所用資機材の国際調達に関するアンケート調査結果

添付資料-2 海外資機材調達事例

添付資料-3 国内外の基準・規格類

添付資料-4 国際調達の関連用語

(5) 仕様書

a. 電気機械設備

電気機械設備に関する購入仕様書作成上の基本的考え方は、発注者の設計思想を反映させ、当該機器の機能保証及び機能維持を確保することである。国際調達を前提とした場合は、以上の考え方を基本とするとともに国内法規の適用、商習慣の違い、使用言語、保守サービス体制などを考慮した購入仕様書とする。

(a) 購入仕様書作成上の必要事項

国際調達に際して、以下の必要事項を購入仕様書に指定する。

① 受渡方法	⑥ 受注者提出図書	⑪ 現地組立工事及び輸送
② 使用言語	⑦ 保証項目	
③ 納期(保証期間開始日)	⑧ 技術説明事項	
④ 代案見積	⑨ 試験及び検査	
⑤ 適用基準・規格	⑩ 予備品	

(b) 水車・発電機に関する技術的事項

国際調達に際して、水車・発電機に関する技術的事項としては、以下のものがある。

- ① 適用規格
- ② 保証項目
- ③ 技術説明事項
- ④ 試験及び検査
- ⑤ 入口弁接続管接続作業

(c) 主要変圧器及び天井クレーンに関する技術的事項

国際調達に際して、主要変圧器及び天井クレーンに関する技術的事項としては、以下のものがある。

- ① 適用規格
- ② 保証項目
- ③ 技術説明事項
- ④ 試験及び検査

(d) アンケート調査結果にみる購入仕様書(水車・発電機)作成上の留意点

アンケート調査結果によると、水車、発電機に関する留意事項として最も多かったのは製作と輸送に関する事項で、次いで適用規格に関する事項であり、これらについては購入仕様書に具体的に記載する必要がある。

b. 水門鉄管設備

水門鉄管設備に関する購入仕様書作成上の基本的考え方は、発注者の設計思想を反映させ、当該設備に必要な性能と品質を確保することである。

国際調達を前提とした場合は、以上の考え方を基本とするとともに国内法規の適用、商習慣

の違い、使用言語、保守サービス体制などを考慮した購入仕様書とする。

(a) 購入仕様書作成上の留意点

国際調達に際しては、国内調達と異なり、情報の不足、国内関連法規などの制約、設備の信頼性の確保、商習慣や使用言語の違いなどを考慮して、国際調達の購入仕様書はできる限り詳細に記載することが必要である。

(b) 水門鉄管に関する技術的事項

国際調達に際して、水門鉄管に関する技術的事項としては、以下のものがある。

① 設 計	⑤ 塗 装
② 材 料	⑥ 検 査
③ 溶 接	⑦ 輸 送
④ 製 作	

(c) アンケート調査結果にみる購入仕様書作成上の留意点

アンケート調査結果によると、水門鉄管設備に関する留意事項として多かったものは、納期、材料、品質、契約及び設計に関する事項であり、これらについては購入仕様書に具体的に記載する必要がある。

c. 土木資材

土木資材に関する購入仕様書作成上の基本的考え方は、必要量の資材が必要な時期に確実に納入され、かつ所要の品質が安定的に確保されることである。

国際調達を前提とした場合は、以上の考え方を基本に、以下の留意事項を規定することが必要である。

- ① 品 質
- ② 数 量
- ③ 納 期
- ④ 輸 送
- ⑤ 数量変更

2.18.4. 採用実績、課題等

(1) 新技術の採用実績、効果等

新技術の採用実績等に関するアンケート調査結果によれば、海外資機材の調達・導入技術の寄与程度についての評価は、全回答者とも価格面に対する評価は比較的高かったが、メンテナンス面での不安を挙げるコメントが多く、保守管理に関しては「どちらとも言えない」から「小さい」が多かった。また、納期の問題を指摘するコメントもあった。

普及状況については、全体として「どちらとも言えない」が多かった。

本新技術の採用実績については、既に29件、採用発電所の合計出力は約35万kW(既設・工事中地点)に上っており、これに伴う建設費低減額は約6億円(低減額の回答があったもの及び調達価格と低減率の回答がありこの二つから低減額を推定したもののみ合計)と見込まれるなど(表4-2、4-3参照)、本技術開発は相当な成果を上げている。

コストダウン以外の効果としては、海外技術・資機材の導入検討は他のプロジェクトの契約・技術両面で役立つものが多い、高効率な水車を導入することができる、などの評価が寄せられている。

本新技術が採用された発電所の主要諸元及び調達資機材の概要は、**添付資料-4-18**に示すとおりである。

(2) 今後の課題等

a. 今後の課題

資機材調達の基本的考え方は、仕様(機能、品質など)や契約条件(納期等)を満たしたものをより安く購入することであり、海外を含めて幅広く調達先を募り、価格を競わせることは調達コスト低減上有効な手段となり得る。既に海外資機材を採用した電気事業者等もあるが、電力自由化や規制緩和を受けてコストダウンに繋がる国際調達への期待は今後も増えるものと考えられる。

一方で、国際調達に取り組むにあたり、従来の日本的な考え方・方法を変えなければならないものも出てきている。本マニュアルでは、最近の事例を参考にしながら、実際の業務に応じた課題の解決策を示してきたが、国際調達の取り組みはまだ始ったばかりで、国際標準的な考え方・方法に則しているとは言えないものもある。したがって、本マニュアルに囚われることなく、今後どこまで国際標準的な考え方・方法を取入れるのかを含めて、発注者にとって最大のメリット(コストダウン)が得られる国際調達に向けた取り組みを続けることが肝要である。

また、為替は海外資機材の調達に取り組むうえで最も影響力を持つものの一つである。当事者の影響が及ぶものではないが、常日頃より国際調達に必要な情報・技術を蓄えておくことも必要である。

将来の資材調達は、IT(Information Technology)を利用した電子商取引(eコマース)の進

展により大きく変るものと思われる。しかしながら、資材調達成功は、発注者が資機材の品質管理や調達先の信頼性などを見極められる技術力と幅広い情報を収集できる能力を持つことができるか如何にかかっており、より一層の技術力の向上が期待される。

b. アンケート調査結果における指摘事項

アンケート調査の結果によれば、実際に採用した結果における国際調達に関する課題として、主に以下のような事項が指摘されている。(詳細は第4章参照)

- ・ 仕様内容の克明な記載(曖昧な表現をしない)が必要
- ・ 納入後のメンテナンス体制の確立(特に保証期間後)
- ・ 国内技術基準を満足しているかの確認
- ・ 応札が予想される国内外メーカーの資格要件及び技術審査基準の構築
- ・ 賠償責任、違約金ならびに瑕疵担保などの契約条件の検討
- ・ 要求事項の明確化、サブベンダーの確認、工場検査の強化など
- ・ 現状では契約後詳細設計が行われるため、事前に内容の摺り合わせができるような仕組み作りが必要

また、マニュアルの改訂が望まれる事項として、以下の点が挙げられている。

- ・ 国際調達時には、技術事項だけでなく契約条件も重要と考えられるため、この点に関する検討が望まれる。
- ・ 事前資格審査等の詳細手順、具体的評価手法などの例示
- ・ 契約書類(英文)の具体例の記載

c. 不採用事例について

アンケート調査の結果、国際調達が検討されたものの採用に至らなかったケースが3例回答されている。その主な不採用の理由としては、国内メーカーに対する価格優位性が得られなかったとするもののほか、海外メーカーに応札意欲がなかったというものもあった。この原因として、国内相場がある程度低減し国際調達価格に近づいた結果、もしくは国内市場の開放度合いが不十分(建設業法の規制等)な可能性が考えられるとしている。(詳細は第4章参照)