

# 揚川発電所建設工事の主要点

松 田 義 久\*  
中 野 太 郎\*\*

## 1. 概 要

阿賀野川は、その源を新潟、福島、および群馬3県にまたがる尾瀬原に発し、途中、猪苗代湖を水源とする日橋川、ならびに栃木県荒海山を水源とする大川をあわせて、福島県会津盆地を北西流し、新潟県に入って越後平野を北流し、日本海に注ぐ本邦屈指の大河川である。

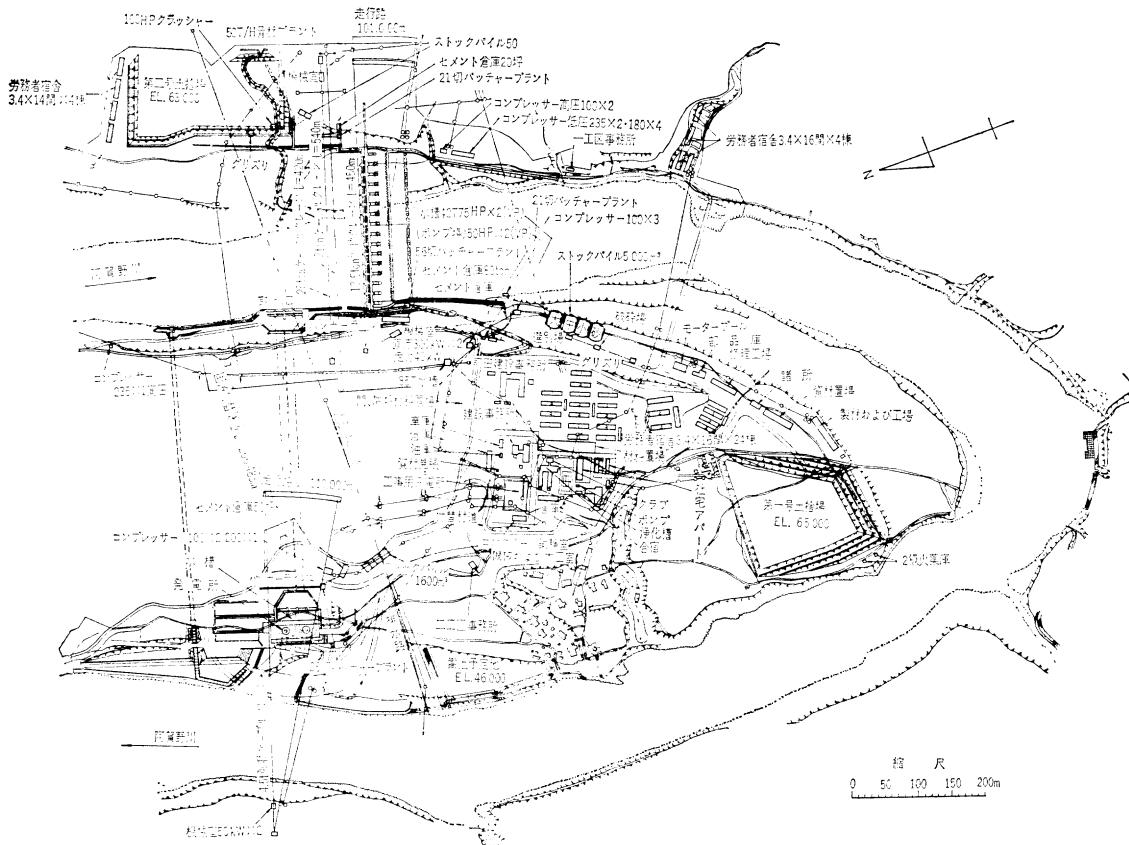
この水系は、その豊富にして良質なる水量にめぐまれ、古く大正末期より鹿瀬、豊実などの大容量発電所の開発が行なわれたが、戦後電力需要の急増とともに日発による宮下、沼沢沼、引続き東北電力、電源開発による柳津、片門、田子倉などの阿賀野川、只見川の一貫開発

計画が進められ、現在すでに15発電所、合計150万kWを発電中である。揚川発電所はこの阿賀野川筋既設発電所群の末端にある、前記鹿瀬発電所下流約14kmの地点に計画したダム水路式発電所で、最大使用水量460m<sup>3</sup>/sec、有効落差13.57mにより発電力最大53600kWを得るもので、上流各発電所の逆調整をも行なう計画である。

## 2. 計画の概要

- (1) 発電力：最大 53 600 kW 常時 13 600 kW  
(2) 使用水量：最大 460 m<sup>3</sup>/sec 常時 118 m<sup>3</sup>/sec  
(3) 有効落差：最大使用水量時 13.57 m

図1 一般平面図



\* 正員 東北電力KK揚川発電所建設所長

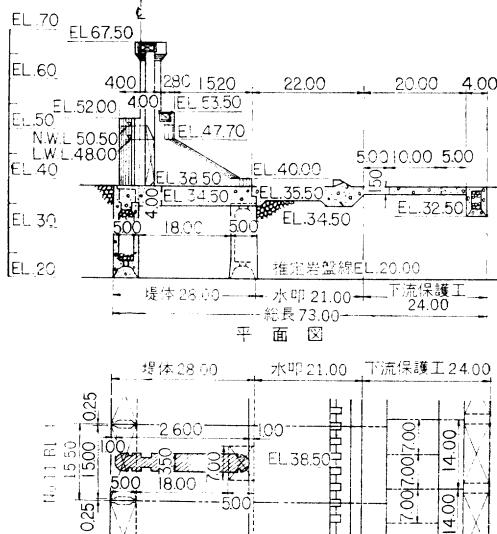
\*\* 正員 東北電力KK揚川発電所土木課長

- 常時使用水量時 13.79 m
- (4) 調整池：満水位標高 50.50 m 湛水面積 2 068 000 m<sup>3</sup>  
 総貯水量 12 820 000 m<sup>3</sup>  
 有効貯水量 4 608 700 m<sup>3</sup>  
 利用水深 2.50 m 流域面積 6 728 km<sup>2</sup>  
 計画洪水量 9 400 m<sup>3</sup>/sec  
 流況 昭和 22~31 年平均 (m<sup>3</sup>/sec)  
     豊水量 384 平水量 250  
     低水量 183 渇水量 119
- (5) ダム：形式 可動扉付フローティングダム  
 全長 332.50 m 越流部 236.00 m  
 高さ 17.50 m  
 門扉 ローラゲート 15 門  
 幅 12 m × 高 12.3 m
- (6) トンネル：形式 側壁鉛直拱矢円形圧力トンネル  
 断面 幅 11.60 m × 高 9.00 m 2 条
- (7) 水車：形式 立軸カプラン水車 台数 2 台  
 最大出力 31 000 kW 回転数 88 rpm
- (8) 工事：  
 ①工事量 挖削 810 000 m<sup>3</sup>  
 コンクリート 268 000 m<sup>3</sup>  
 ②主要資材 セメント 67 000 t  
 鉄筋 13 000 t  
 木材 83 000 石  
 ③総労務者 1 200 000 人  
 ④工期 着工 36 年 5 月  
 通水 38 年 4 月  
 竣工 38 年 12 月  
 ⑤工事費 9 100 000 000 円

### 3. ダムについて

本地点は、河口上流約 50 km の位置にあり、河床 EL. 38.0 m で、河身は約 20 m の砂礫を経て、凝灰岩の基礎に達し、その岩盤は、素直な放物線形をなしている。36 年 5 月着工とともに地形上より、左岸切取部えん堤

図-2 ダム標準断面図



7 門扉門分を施工して、これを仮排水路に使用する計画で左岸沿いに補償洪水 2 000 m<sup>3</sup>/sec に湛える仮締切を

図-3 ケーン配置図

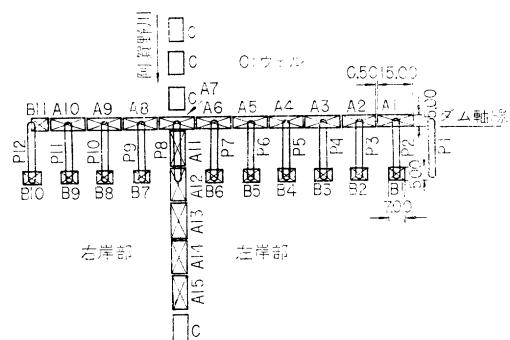
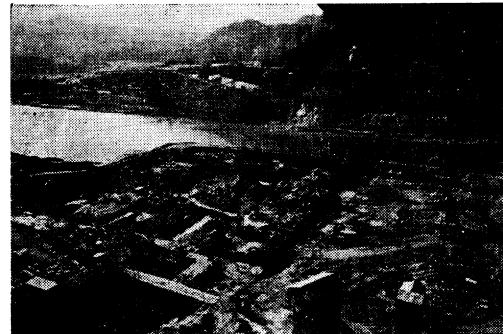


写真-1  
ダムの施工状況 (37 年 9 月)



ダム本川切りかえ前 (左岸部施工状況) (36 年 10 月)



ダム本川切りかえ後 (右岸部施工状況) (37 年 6 月)



行ないつつ掘削にかかり、ただちに遮水壁ケーソンA型8基、えん堤ピヤー支持のためのB型8基および河川切りかえ後の縦締切ケーソンA型5基、ウェル4基を同時に施工した。ダム標準断面およびケーソン配置は図-2、3のとおりである。

翌3月中旬融雪期を目前にひかえて、流水可能のごとく仕上げを行ない、施工ずみの左岸部を仮排水路として使用し、下流上流の順に締切を撤去し、5月上旬より本川締切を行なった。以後左岸門扉のすえつけと、右岸部の堤体工事を施工中である。なお、えん堤門扉は15門に達するため、これが補修用としてモノレールによる2門分の鋼製角落しを設備し、これは取水口門扉を兼用している。工程の大要はつぎのとおりである。

### (1) えん堤ケーソン工事

**a) 設計方針** 本地点のように洪水量の大きい河川で、これに堪える締切は経済的にみて不可能に近い。むしろ冠水を計画に入れて被害と復旧を最少限にとどめる方式がよいと思われる。ここに計画の締切高は流量2000

図-4 ダム工事工程図

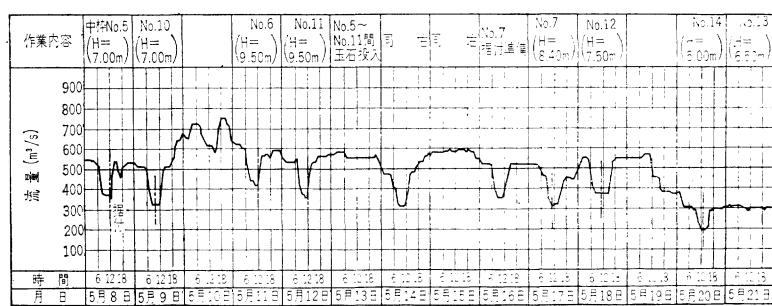
工事区分	工事名	単位	昭和36年				昭和37年				昭和38年			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
本川左岸部	堤防工事	式 1												
	渠蓋	面積 m <sup>2</sup>	1											
	ゲート	基準高	18											
	ゲート室	面積 m <sup>2</sup>	8											
	ダム	容積 m <sup>3</sup>												
	堤防	延長 m												
	堤防	幅 m												
	堤防	高さ m												
	堤防	土量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												
	堤防	砂石量 t												
	堤防	土石量 t												

程短縮により洪水冠水の被害を、できるだけ僅少にするために、ケーソン軸体は、貧配合のムクとし十分なる自重を持たせ、また儀装に要する日数を短縮するためシャフトを埋殺しとした。この結果延日当り平均進行は、第1期工事の約2倍の速度とすることができた。順調に沈下した実績を示せば図-5の

とおりである。ケーソン沈下に際しての沈下抵抗力の実績値は、工期の関係で多数のケーソンを併行沈下したため、ブローの相互干渉の現象も見受けられ、一概にいえないが、大体  $1.5 \sim 3.5 \text{ t/m}^2 (C=0.12 \sim 0.25)$  であった。ただし、これは沈下に際して実施した減圧の影響も加わっているので、純理論値とはいがたい。

c) ケーソン継手 上流端 A型ケーソン間の継手工は、圧気逆巻工法によって施工した。図-6 のように圧気をかけ、矢板と継手逆巻コンクリートを  $0.80 \sim 1.50$

図-7 本川締切時の流量表



mごとに施工し、これをくり返して山止を行ない、岩盤まで掘り下げ、填充コンクリートを打設し、ケーソン軸体との間に止水板をそう入して遮水の完壁を期した。

## (2) 本川締切

洪水期を目前にひかえての本川締切は、全工程を左右する重大な工事である。阿賀野川、只見川開発の歴史よりみて、本川締切は冬期渇水期に施工している。しかしこ本地点着工の時期よりみて、工程上5月にならざるを得ないこととなった。また本地点は本河川の最下流部なる

図-6 (a) 継手部平面図

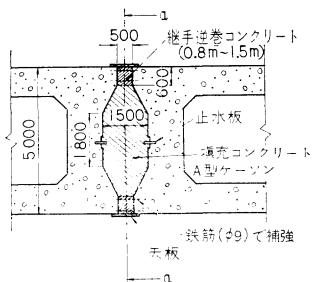


図-6 (b) 継手施工図 (a-a 断面)

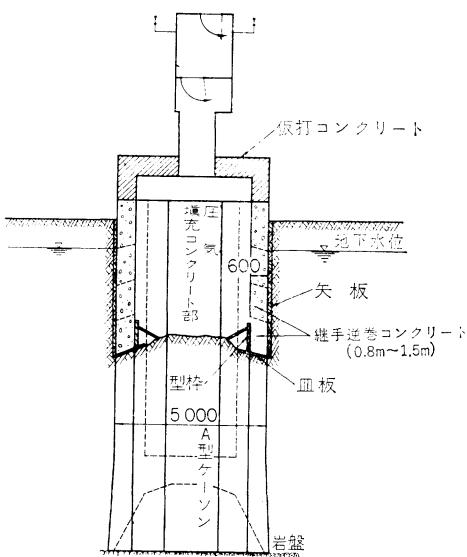


図-8 締切平面図

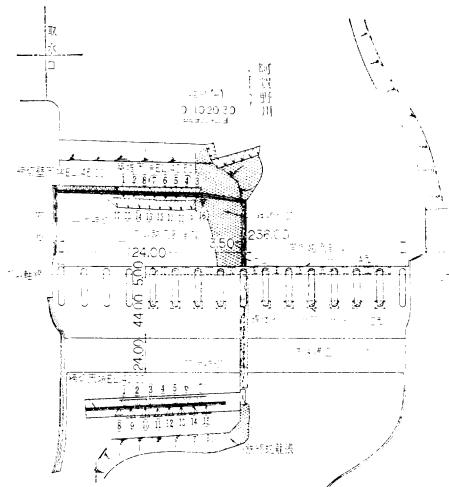
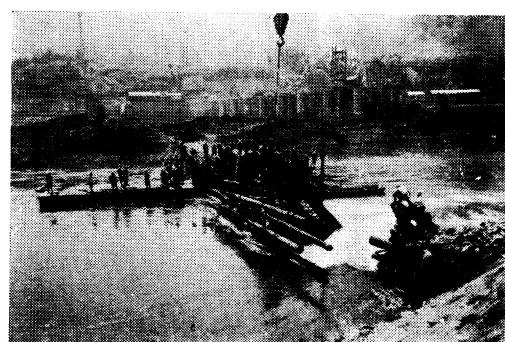


写真-2 最後の竿わくすえつけ状況  
(37年5月10日) ( $Q=190 \text{ m}^3/\text{sec}$ )



ため、下流水利権より最少流量  $118 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、および流量の変動幅  $135 \text{ m}^3/\text{sec}$  と制約を受けるため、上流調整池による制御が大幅に束縛をうける実状である。着工当時工事用吊橋の完成を見ない間左岸への重機、資材の運搬をかねて、上流締切中心に  $25\text{t}$  ケーブル クレーンを架設し、締切牛わくの運搬すえつけに使用した。流身部の牛わくの最大は高さ  $10.5\text{m}$ 、木材  $150$  石、重さ  $21\text{t}$  で、5月上旬の雪代の流水に抗してのすえつけは、 $25\text{t}$  ケーブルによるところが大きかった。下流締切は  $5\text{t}$  ケーブル クレーンにより締切が行なわれた。牛わくの脚は上下左右などよりワイヤにより引張られ、流水の抵抗を勘案のうえ沈設せしめた。締切はボーリングの結果、右岸には岩盤があり、左岸側は水深  $8.5\text{m}$  と大きいため、左岸より右岸の順に施工した。締切当時の流量は 図-7 のとおりであり、締切の詳細は 図-8~10 のとおりである。

図-9

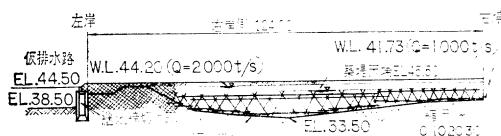
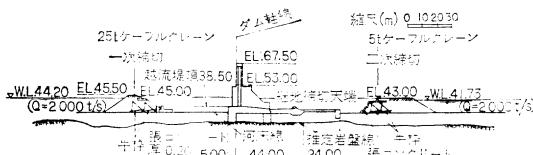


図-10



### (3) ダムエプロン洗掘防止について

ダムエプロンには歯型ぜきを設けて、水流エネルギーの減殺をはかり、かつエプロン末端にはカーテンウォールを入れて河床洗掘防止壁とした。防止壁の設計深度はモデルテスト結果を参考とし、あわせて歯型ぜき設置有無の効果をも確認した。

モデルテストは Froude の相似律により縮尺  $1:60$  の2次元模型とし、原型流量は  $750, 1500, 3000, 4500,$

写真-3 ダムモデルテスト

(歯型ぜきを設けない場合) ( $Q=1500 \text{ m}^3/\text{sec}$ )

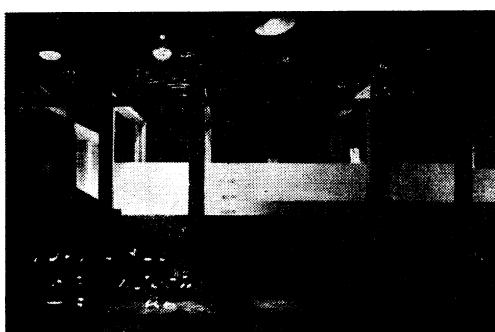


写真-4 ダムモデルテスト  
(歯型ぜきを設けた場合) ( $Q=1500 \text{ m}^3/\text{sec}$ )

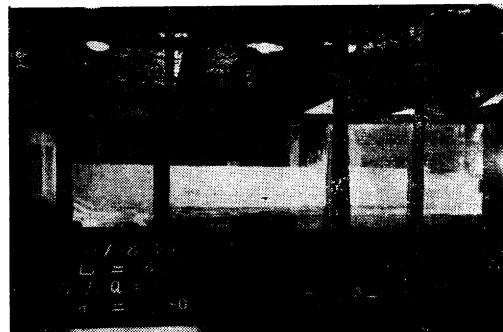


写真-5 ダムモデルテスト  
(歯型ぜきを設けた場合) ( $Q=9000 \text{ m}^3/\text{sec}$ )

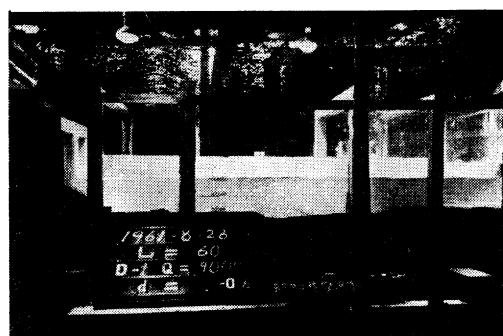


図-11 (a) 流量と水深、流速の関係

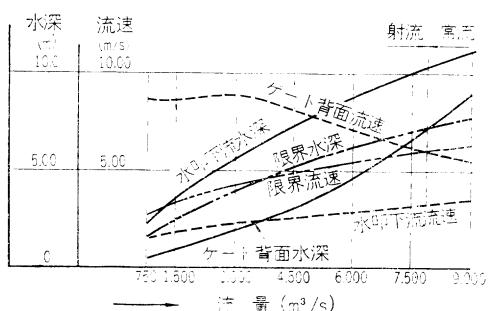
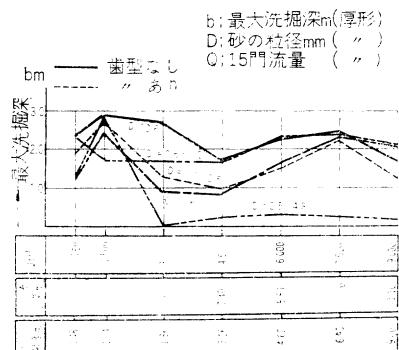
図-11 (b) 最大洗掘深  $b_m$  と流量  $Q$  との関係

図-12 水路地質縦断面図

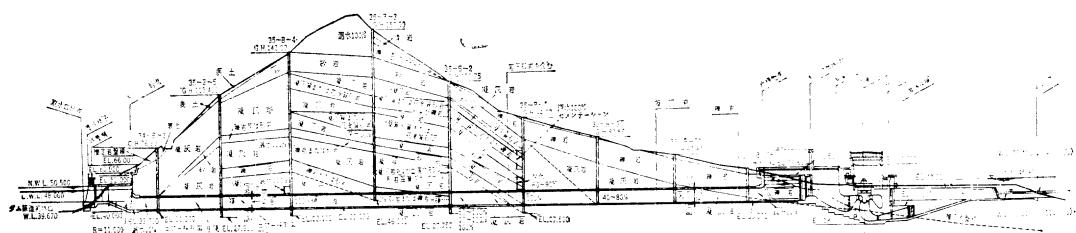


図-13

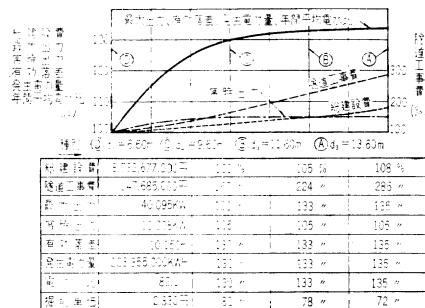
	断面形状	地質	比較
①	1条	最も奥深い岩盤	最も経済的であるが地質上施工困難
②	3条	地質が重い場所	最も安全であるが不経済で取水口、水槽との接合に難
③	2条	地質が良好	

6 000, 7 000, 9 000 m<sup>3</sup>/sec の 5 組とし、河床材料は現場採取の砂を、粒径  $\leq 0.6$  mm, 0.6~1.2 mm, 1.2~2.5 mm, 2.5~5 mm の 4 種にわけ、各流量について粒径 4 種にわけ行なった。流量はゲート全門（15 門）同一開度で放流した場合を対称としたが、実験設備の規模からゲート 3 門分を採り、下流水深は 15 門放流時の河川水深とした。放流時の状態は計算上 7 900 m<sup>3</sup>/sec までは射流であり、7 900 m<sup>3</sup>/sec で常流となるが実験時の観察では歯型の有無にかかわらず、ピヤー下流 10 m 以内で跳水現象を起こしている。

エプロン下流の洗掘状態は歯型を設置することによって明らかに減少している。洗掘深さの傾向として、流量 1 500 m<sup>3</sup>/sec 時において最大の洗掘深さを示し、その場合、微少径の砂に対する洗掘深さの値は 5 cm (模型)、原型で 3 m と推定されるので洗掘防止壁の深度は安全をはかって 6.0 m に設計した。

なお発電所放水位は、最大使用水量時 EL. 36.40 m なるため、エプロンの補修は運開後には容易と考えられる。

図-14 トンネル断面①に対する各断面の比率



#### 4. 導水トンネルについて

##### (1) 地質調査

トンネル工事の難易は、地質のいかんによることは論をまたないが、特に当所の導水トンネルの断面は、使用水量 460 m<sup>3</sup>/sec を流下するため、約 180 m<sup>2</sup> の通水面積を必要とし、形状断面の計画ならびに施工法の決定には、地質をできるかぎり正確に知ることが必要であった。当所の地質は、上口の坑口付近には中硬の青灰色凝灰岩、下口坑口付近には褐色の礫岩が地表に露出し、一見いかなるトンネルにも適する地質に見えるが、正確を期するため精細な地質調査を行なった。特に下口付近（水槽発電所側）はかぶりが浅く、かつ礫岩と凝灰岩との関係を知るためにも必要であった。地質調査として、試掘横坑およびボーリングを行なった。調査横坑は上口で 2 カ所（延長 29 m, 7.5 m）、下口で 1 カ所（延長 15.0

写真-6 トンネル下口坑口(水槽との接合部)

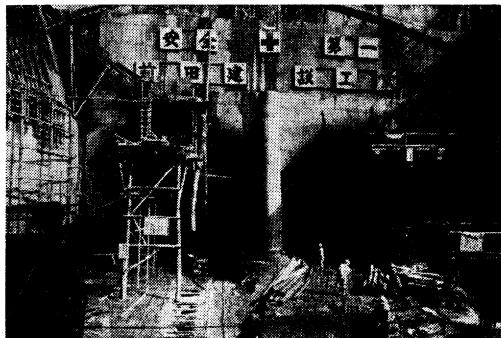
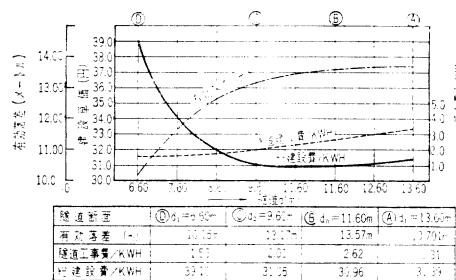


図-15 トンネル断面による建設単価の比較



m を実施した。調査ボーリングの位置、深さ、数量は図-12 のごとくである。すなわち下口で 12 本、中心部で 4 本、上口 3 本、計 19 本、総延長 633 m である。中心部では山頂よりボーリングを行なった。

調査の結果、地質は凝灰岩が主で、ところどころ礫岩および砂岩をみた。上口は青灰色凝灰岩で、コアの採取率もよく、硬度も一様であるが大きいきれつがあり、支保工なしで大きく切抜げることが至難と推定された。下口の礫岩は凝灰岩の上部に乗り、坑口付近の一部が礫岩で、すぐ暗灰色凝灰岩となり途中若干の砂岩をかんでいた。一般に暗灰色凝灰岩は、硬度も一様でなくきれつもあり、上口同様支保工なしでは、切抜げることは困難と危険が予想された。地質判定の結果、全面的に後述する H 型鋼支保工を採用した。

### (2) 断面の決定

a) 形状の検討 断面形状は図-13 のように 3 つの形状について、経済性ならびに施工の点より考慮し検討の結果、第 3 案を採用した。

b) 断面積の検討 当発電所は、低落差発電所で損失水頭 1 cm で、年間 210 000 kWh の損失となり、トンネル断面積決定に当り、トンネル工事費および発電所総建設費と有効落差、最大出力ならびに発電電力量などを計算し、建設単価を算出し、最も経済的な断面を計画した。また最大出力、常時出力、年間発生電力量などの関係を算出すれば図-14、15 のとおりとなる。

図-15 により、各断面の kWh 当りの総建設工事費を算出し、図示すれば図-16 のとおりとなる。これにより、⑩案が kWh 当り総建設費単価が最低で、低落差大水量の当発電所の導水トンネル断面としては適当と考えられた。

### (3) 施工計画

掘削断面  $245 \text{ m}^2/\text{m}$ 、延長 415 m で水路縦断図(図-

図-16 比較断面図 ④→⑩

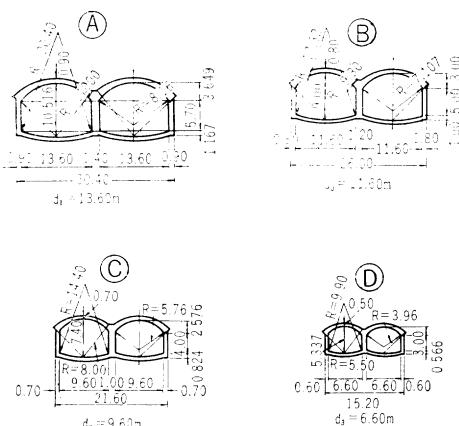
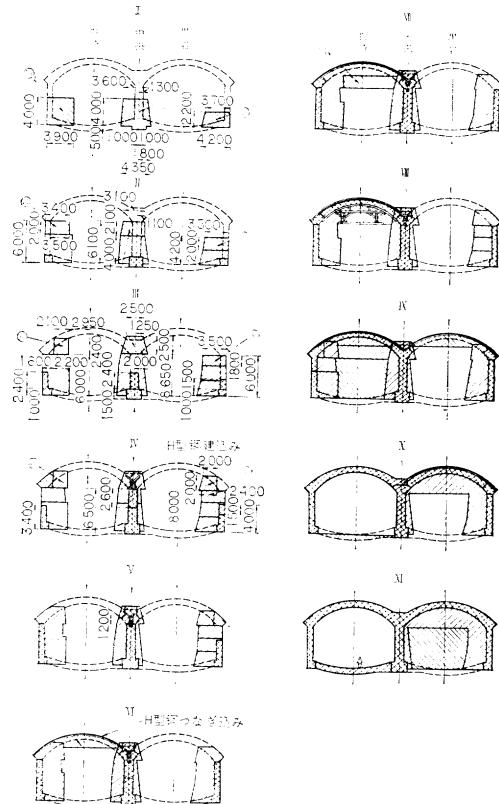


図-17 トンネル施工順序 I→XI



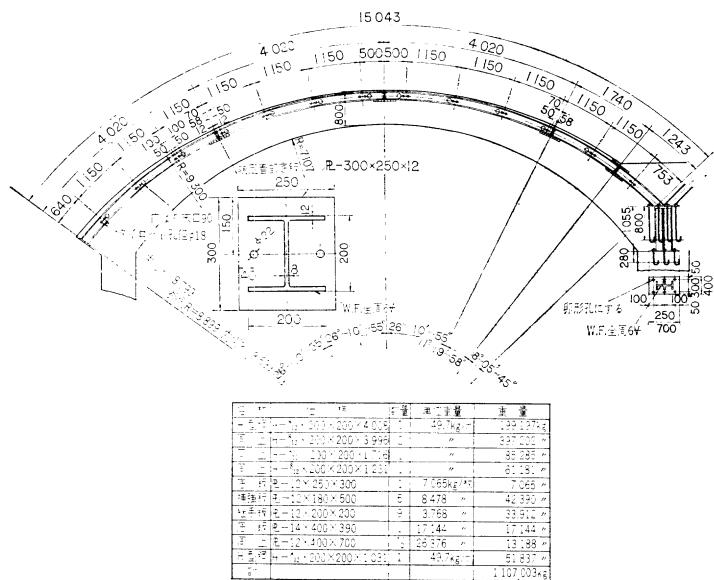
12) のように、上口は取水口、下口は水槽に接続し、各坑口とも地表より 20 m 以上の深さにあり、トンネル掘削には必然的に取水口、水槽の敷まで掘削を完了しないと着手できない。また別に横坑、斜坑、立坑となり、地形的ならびに掘削土の搬出、材料の搬入、仮設備などを考えるとこれもむずかしく、一日も早く水槽、取水口の掘削を終り、トンネルに着手することが得策と考えられた。

掘削工法については最も堅実な方法を採り、側壁、中央壁、導坑先進上部半断面工法とした。すなわち図-17 のように中央壁、両側壁の底設導坑を併行して先進し、中割、頂設と切上り、ずり出しへ底部導坑を利用し、地質の悪い箇所は中割完了とともに山おさえを兼ねて側壁中央壁のコンクリートを中割まで打設し、その後に頂設を掘削し、コンクリートを打継ぎ完成させた。

つぎにアーチ部の掘削は半断面掘削とし、地質によって H 型鋼  $200 \times 200 \times 8 \times 12 \text{ mm}$  と  $150 \times 150 \times 7 \times 10 \text{ mm}$  の 2 種を使用した。H 型鋼はコンクリート巻立の際埋殺し、巻立完了後は鉄筋とともに内外応力を耐える設計とした。またアーチ部の掘削は左側の巻立完了後に右側の掘削を行ない、左右同時の掘削を避けた。

### (4) H 型鋼について

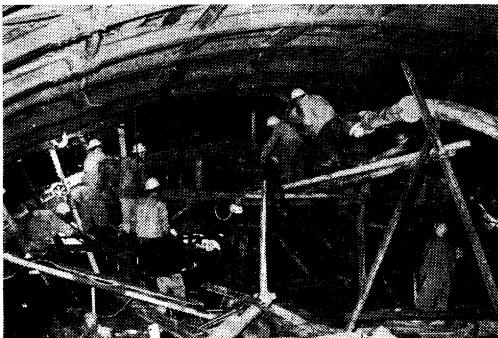
図-18 H型鋼組立図 (200 mm)



H型鋼は、地質によって 150 mm と 200 mm を、1.2~0.6 m 間隔に入れた。図-18のごとく、アーチ部延長 15.0 m を 5 部材にわけ、1 部材の長さ 1.4~4.0 m と短かくし、トンネル内の取扱いを容易とした。

施工順序は、最初に中央部共通壁に両トンネルの第1部材をあらかじめ埋込み、中央壁コンクリートを仕上げたが、この際、地質によりH型鋼の大きさ、間隔をあら

写真-7 トンネルコンクリート巻立状況

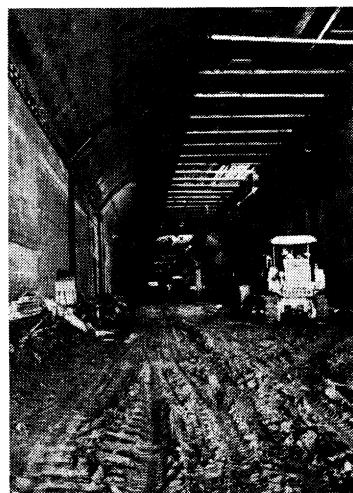


# EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN FOR CIVIL ENGINEERING STRUCTURES, EARTH STRUCTURES AND FOUNDATION IN JAPAN 刊行について

標記の図書は長らく品切れでしたが、希望者が相当ありましたので、ここに再版致しましたので、まだお求めにならない方はぜひこの機会にお求め下さい。

1. 体裁: B5判、上巻、活版印刷 116ページ、図・写真多数  
2. 内容: 基礎構造物・基礎の耐震設計・ダムの耐震設計要領・岸壁の耐震研究活動・給水組織の耐震処置・耐震工学における橋梁  
3. 頒価: 800円(送料70円) U.S. \$ 3  
4. 申込先: 社団法人 土木学会 東京都新宿区四谷一丁目 振替東京 16828 番

写真-8 トンネル巻立完了



かじめ決定した。ついで半断面アーチ部の掘進は先に埋込んだ中央壁のH型鋼の間隔にあわせ、1組分(0.60～1.20m)のみ掘進し、前に埋込んである(中央壁)第1部材より、第2～第5部材と片側より連結しつつ、側壁コンクリートに達するよう架設した。部材間の連結は、継目釘をボルト締めとした。またこの場合、特に岩ハダとH型鋼との接面は空げきのないように注意を要した。なおインバートの鉄筋は、ひずみを生じる欠点をなくし、経済的にみて有利なガス圧接によることとした。

またトンネルの工程は、前述のように取水口、水槽の掘削後に着手した。

## 5. むすび

以上、揚川発電所のおもなる特長として、一般土木的なダムおよびトンネルについて工事の概要を述べたが、このような工事の計画実施に当って、いくらかでも諸賢のご参考に供しうれば幸いとするところである。

また現計画に決定するまでの、開発方式、発電設備などについても述べたかったが、紙面の都合上省略せざるを得なかつた。(1962. 10. 3・受付)

(1962. 10. 3・受付)