

本 別 発 電 所 工 事 に つ い て

正員 電源開発株式会社本別建設所 木 村 稔
○正員 同 上 泉 辰 男

要 旨

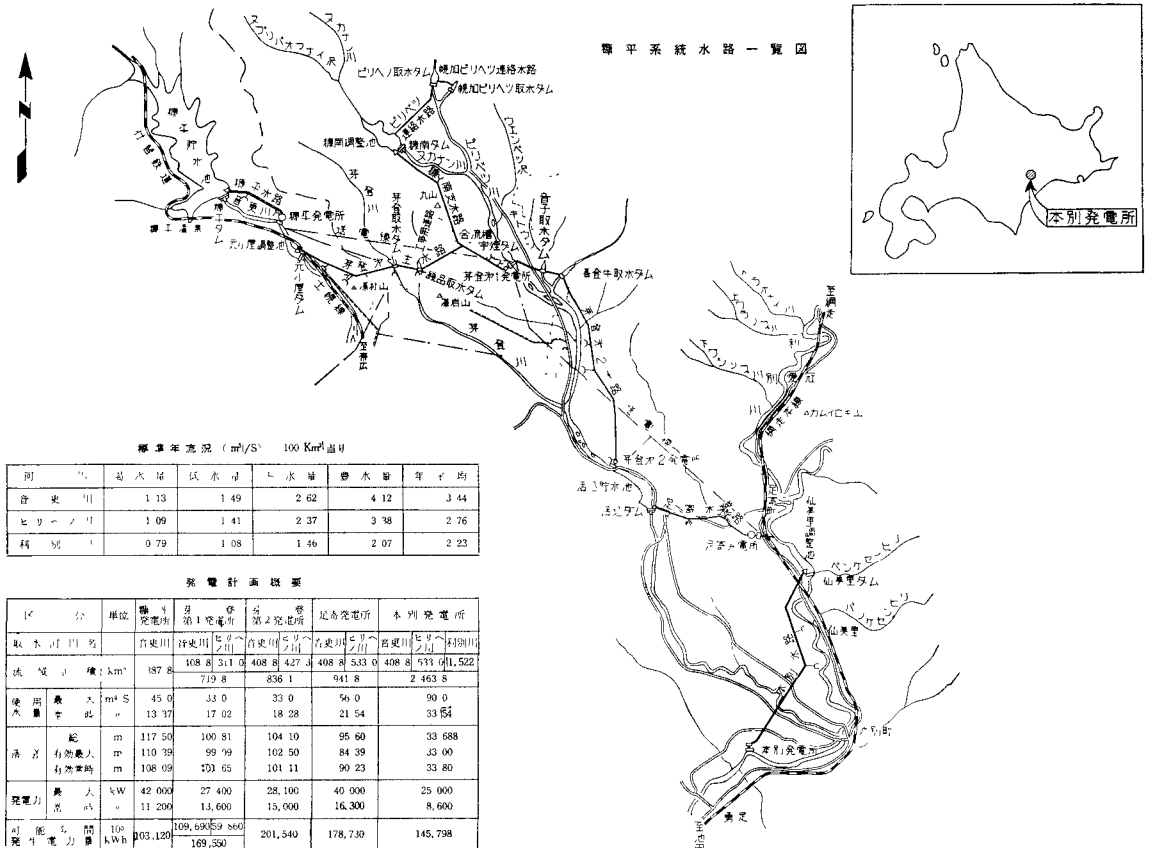
本地点は、軟弱な砂質凝灰岩質地帯で、しかも零下30℃にも達する寒冷地におけるフリュームタイプの発電所として、設計・施工上経済性を追及し、大胆に新しい工種・工法を採用し、2カ年未満の工期をもって完成するもので、わが国の今後の水力ならびに農工業用水など、水資源開発上興味ある問題点を包含しているので、その沿革ならびに概要とともに、つぎの工事について記述する。

- フィルタイプ・アースダム
- コンクリート・ライニング開きよ

- アスファルト・コンクリート・ライニング開きよ
- トンネル施工

1. 工事沿革

電源開発 K.K. が、十勝川水系音更川に設けた糠平貯水池を主体としたいいわゆる“糠平系電源開発”の糠平・芽登第1・芽登第2・足寄の4発電所は、合計最大出力 137,500 キロワット、年間発生電力量 652,940,000 キロワットアワーで、昭和 33 年末に工事の大半を終え、足寄発電所より最大 56 m³/秒の水を放水位 80.90 m をもって利別川に放流していたので、この大きな水量を利別川の自流とあわせ利



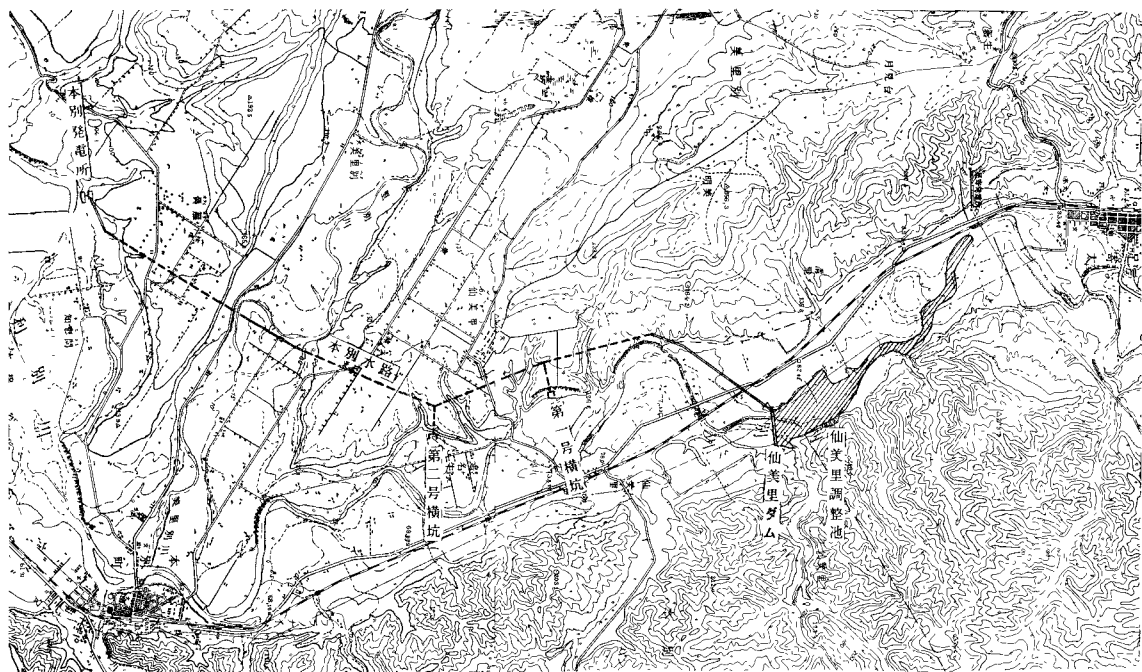
圖一1 糠平系統水路一覽圖

用する発電計画が必然的に考慮されたのであるが、足寄発電所建設時において、軟弱な凝灰岩質地層のため、工事は難渋をきわめた苦しい経験上、昭和34年春よりボーリングあるいは堅グイ・横グイにより、地表をあますところなく点検し、綿密な上にも十分な地質調査を実施し、湧水処理の安全を期し、横グイによるトンネル施工が容易で確信のもてる水路のルートを設定し、さらに、調整池ダムにもよりの土を利用しうるアースダムの採用、平坦部には開きょを採用するなど、放水位41.00m付近まで利用して、経済性も十分得られる自信を得たので、昭和35年春にはその概略設計を終え、使用水量90m³/秒、有効落差33.00m、出力25,000キロワットの本別発電所が誕生することとなったもので、昭和35年5月第29回電源開発調整審議会の

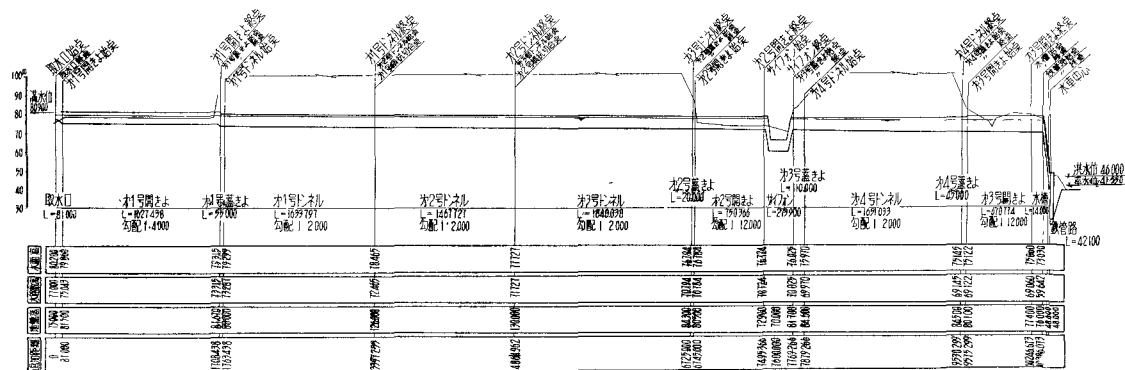
議を経て、同年6月正式着工地点として告示され、さらに必要な調査を続行し、実施設計を取りまとめ、昭和35年12月に着工したものである。

以上のように、誠に短時日の間に調査設計を行なって着工したことは、終戦後この地域の電原開発に努力を重ねられた諸先輩各位の手厚い指導によるものといわなければならない。

着工以来工事はきわめて順調に進捗し、地質も予測したとおりで、昭和36年11月現在約55%の進捗率を示している。現在のところ、昭和37年9月中には運転開始の見通しである。なお、工程は4月から10月までの温暖期にはコンクリート工事を、11月から3月まではトンネル掘削を主体とする土工工事を行なう能率的な作業を実施している。



圖一-2 本別發電所水路一覽圖



図一3 本別発電所水路縦断面図

2. 計画概要

本別発電所は、既設の足寄発電所放水口下流約4kmの地点に高さ約13.00mのダムを築造し、足寄発電所放水位80.90mを満水位とし、有効貯水容量750,000m³の仙美里調整池を設け、足寄発電所の放水と利別川の自流を調整する。

ダム右岸直上流に設ける取水口より最大90m³/秒を取水し、開きょ・トンネル・蓋きょあるいはサイホンなどからなる水路延長約10kmで水槽に導水し、水圧鉄管を経て利別川右岸に設ける発電所に導き、33.00mの落差をもつ

て最大出力25,000キロワットの発電を行なって利別川に放流する。(図-2、図-3参照)

本地域の水文資料はつぎのとおりである。

イ) 雨量 (最近12～18年間平均)

利別川流域 陸 別 791m/m 足 寄 810m/m

本 別 733m/m 池 田 882m/m

ロ) 気温 年平均 6.9℃

最高 +35.6℃ 最低 -30.5℃

ハ) 流量 100km²当り m³/秒

本別発電所の発電計画諸元は表-2のとおり。

表 — 1

河川および地点	流域面積	豊水量	平水量	低水量	渇水量	年平均
音 更 川 (元小屋)	408.8	4.12	2.62	1.49	1.13	3.44
ピリベツ川 (芽 登)	492.0	3.38	2.37	1.41	1.09	2.76
利 別 川 (足 寄)	1,484	2.08	1.46	1.10	0.79	2.23

表 — 2

区 分	単 位	数 量	摘 要
流域面積	音 更 川 ピリベツ川 利 別 川 計	km ² " " "	408.8 533.0 1,522.0 2,463.8
使用水量	最 常 大 時	m ³ /秒 "	90.00 33.54
有効落差	最 常 大 時	m "	33.00 33.80
出 力	最 常 大 時	KW "	25,000 8,800
年間発生電力量	KWH	145,798,000	

3. 工事概要

(1) 調整池ダム

項 目	越 流 部	非越流部
型 式	直線重力式コンクリートダム	フィルタイプアースダム
堤 頂 長	103.00 m	260.00 m
堤 高	13.00 m	10.80 m
堤 体 積	13,600 m ³	53,300 m ³

土砂吐ゲート1門

型 式 ローラーゲート

寸 法 幅 22.00 m

高さ 7.70 m

製造者 大島工業 K.K.

洪水吐ゲート3門

型 式 ローラーゲート

寸 法 幅 22.00 m

高さ 6.20 m

製造者 大島工業 K.K.

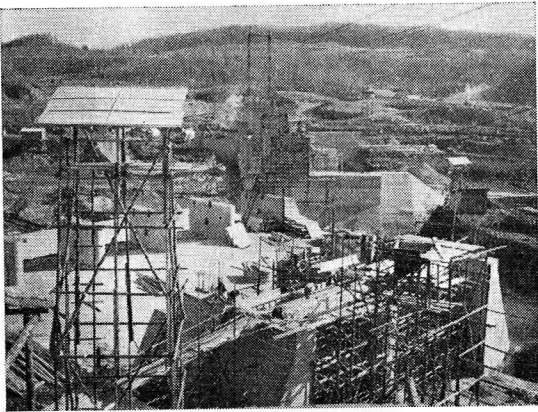


写真-1 仙美里ダム工事全景
手前は取水口 36.11.17

(2) 調整池

総貯水量 3,100,000 m³
利用水深 0.70 m

有効貯水量 750,000 m³
湛水面積 1.12 km²
計画洪水量 2,000 m³/秒
護岸堤防
総延長 右岸のみ 2,810.50 m
天端幅 5.50 m
法勾配 1:2
法面 満水位付近まで練石積
盛土体積 86,000 m³

(3) 取水口

全長 81.00 m, 有効幅員 39.00 m の漏斗形で, 高さ 5.58 m, 幅 7.25 m の制水門 2 門を設け, 取水口前面の排砂を完全ならしめるため, ダム排砂門敷高をもって幅 18.50 m, 長さ 50.00 m の平行四辺形の排砂庭を設ける。なお, 制水門下流左側壁に幅 3.00 m, 高さ 1.20 m の余水吐 10 門を設ける。

(4) 導水路

上流より順次列記すれば次のとおりである。

名 称	延 長 (m)	勾 配	断 面 形 状	構 造
第 1 号 開 き よ	1,627.438	1/4,000	敷幅 4.50 m 高さ 5.80 m 側壁勾配 1:1.0 の梯形型	厚さ 30 cm のコンクリート ライニング
第 1 号 蓋 き よ	55.000	1/2,000	内径 6.650 m の標準馬蹄型	鉄筋コンクリート造り
第 1 号トンネル	1,633.797	同 上	同 上	平均厚さ 50 cm のコンクリ ートライニング
第 2 号トンネル	1,467.727	同 上	同 上	同 上
第 3 号トンネル	1,860.038	同 上	同 上	同 上
第 2 号 蓋 き よ	20.000	同 上	同 上	鉄筋コンクリート造り
第 2 号 開 き よ	750.366	1/12,000	敷幅 2.00 m 高さ 7.00 m 側壁勾配 1:2.0 の梯形型	アスファルト・コンクリ ートライニング
サ イ ホ ン	273.900	—	内径 6.80 の円形	鉄筋コンクリート造り
第 3 号 蓋 き よ	110.000	1/2,000	内径 6.650 m の標準馬蹄型	同 上
第 4 号トンネル	1,651.033	同 上	同 上	同 上
第 4 号 蓋 き よ	45.000	同 上	同 上	同 上
第 3 号 開 き よ	670.774	1/12,000	敷幅 5.792 m 高さ 7.00 m 側壁勾配 1:1.0 の梯形型	コンクリート・ライニング

工種別延長の合計は次のとおり。

開 き よ 3,048.578 m
蓋 き よ 230.000 m
トンネル 6,612.595 m
サイホン 273.900 m
計 10,165.073 m

(5) 水 槽

全延長 140.00 m, 平均底幅 17.90 m, 上幅 26.30 m の横越流型普通水槽で, 有効容量は約 10,000 m³ である。左側に設ける越流ゼキは延長 84.00 m, 水深 0.70 m で最大水量

90.00 m³/秒 を安全に越流せしめる。塵除金物, 高さ 8.00 m, 幅 8.75 m の制水ゲート 2 門を経て, 水圧鉄管に接続する。

(6) 水槽余水路

総延長 126.292 m の鉄筋コンクリート造開きよで, 斜面部は延長 33.00 m, 幅員 7.00 m, 深さ 2.50 m, 勾配 1:1.167 で, 発電所敷面に設ける長さ 41.94 m, 幅 11.00 m, 深さ 7.50 m の減勢池において水勢を減殺したうえ, 利別川に放流する。

(7) 水 圧 鉄 管

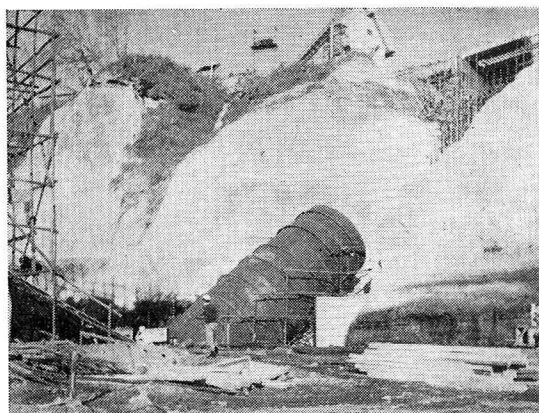


写真-2 水圧鉄管据付け状況 36.11.28

内径 6.30~4.30 m, 鉄管長 47.839 m, 管厚 12~14 m/m
の軟鋼製溶接管 (材質 SM 41) 一条である。製作据付けは
三菱日本重工 K.K. が施工中である。

(8) 発電所

型 式 地上屋内式鉄筋コンクリート造り
寸 法 間口 21.70 m 奥行 33.50 m
建 家 桁行 26.80 m 梁間 18.85 m
高さ地面上より 13.30 m
屋 根 鉄骨トラス架構

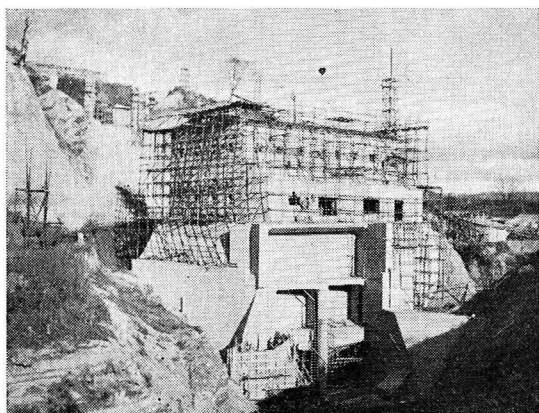


写真-3 発電所工事全景 36.11.28

(9) 放水路

型 式 コンクリート造開きよ
寸 法 延長 56.00 m 敷幅 11.8~48.15 m
敷勾配 1:8.5~1:3.66

(10) 水車・発電機・変圧器

イ) 水 車

型 式 堅軸渦巻可動羽根プロペラ水車
容 量 26,000 キロワット 1 台
製 造 者 東京芝浦電気 K.K. (蒲田工場)

ロ) 発電機

型 式 堅軸三相交流同期発
電機

容 量 27,000 キロワット
1 台

周波数 50 ~

電 圧 11,000 V

製造者 K.K. 明電舎
(大崎工場)

ハ) 変 圧 器

型 式 油入自冷式

容 量 27,000 KVA

一次電圧 10,500 V

二次電圧 178,500—187,000
—195,500 V

製造者 K.K. 明電舎
(沼津工場)

(11) 土木工事請負施工者

第 1 工区 大成建設 K.K.
第 2 工区 K.K. 地崎組
第 3 工区 伊藤組土建 K.K.
第 4 工区 鹿島建設 K.K.

4. 地 質

本地域に分布する地層は、第
3 紀末期のいわゆる“池田層”
の凝灰岩で、上位には段丘砂礫
がのっている。

構成岩石は主に凝灰質の中粒
~細粒砂岩と、凝灰質泥岩との
互層で、ほかに火山礫凝灰岩、
亜炭、含礫粗粒砂岩、礫岩など
の層を夹んでいる。主岩石であ
る凝灰質砂岩は、灰色または青
灰白色で、きわめて軟質脆弱で
あり、局部的に浮石、火山礫を
含み、全般に含水・帯水してい
る。凝灰質泥岩は、暗灰色また
は青灰白色で、水を含むと軟弱
となり、塊状緻密均質であるが
剥け落ちやすい、比較的硬く、
ハンマーでたたくと穴のあく程
度である。

以上の各構成岩石は、全域に
わたり、地質時代が新しいため
未固結で軟弱であり、極軟岩に
属するものである。

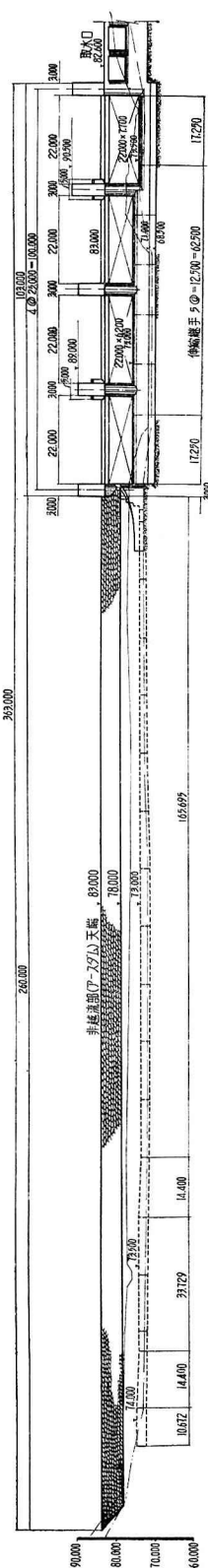
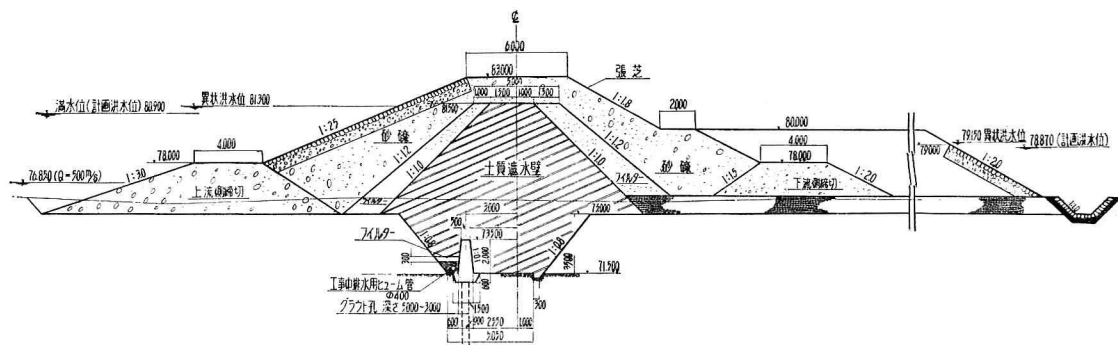
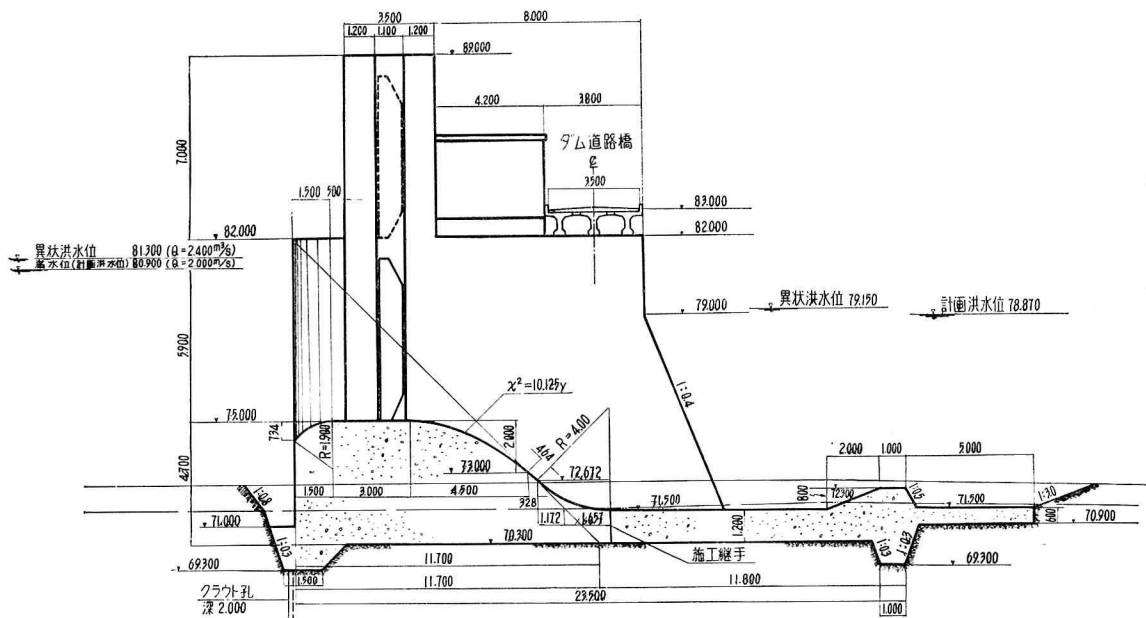


図-4 仙美里ダム上流面図



5. フィルタイプアースダム (とくに土質材料について)

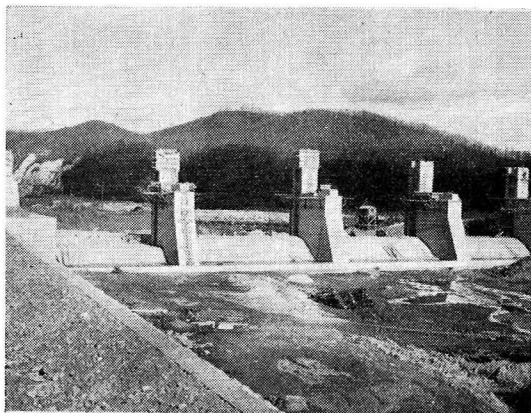
(1) 構造の大要

仙美里調整池ダムは、図-4, 5, 6のとおりであるが、越流部の固定コンクリートダムはほぼ完成し、径間 22.00 m、高さ 6.80~7.80 m のゲート 4 門を据付ける予定である。

(写真-4)

非越流部のアースダムは、図-3、5のとおり、堤頂幅 6.00 m、法勾配上流面 1:2.5、下流面 1:1.8 および 1:2.0 で、盛土総量は 53,300 m³ 程度である。中央土質遮水壁は、頂部幅が 2.50 m、上・下流面とも法勾配 1:1.0 で基盤に達する。

土質遮水壁と上下流砂礫盛土との間には、厚さ 1.00～



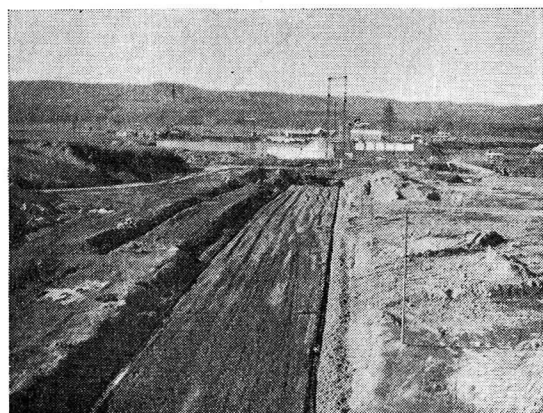


写真-5 仙美里ダム非越流部のアースダム全景 36.11.13
土質遮水壁のトレンチ部の盛土がほぼ終わったところ

2.50 m のフィルター層を設け、上流側砂礫盛土の堤体面に表は空石積を施す。基礎地盤は、圧密された粘土混りの砂礫層で、透水係数測定の結果は $7 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-3}$ cm/秒であって、ダム基盤として不安定と判断し、砂礫層中に基礎岩盤に達する上幅 5.00 m、深さ 3.50 m のトレンチを設け、良質の基礎岩盤に達せしめた。(写真-6 参照)

なお、下流側には土捨場を接して設け、ダムの断面補強の効果をかけた。

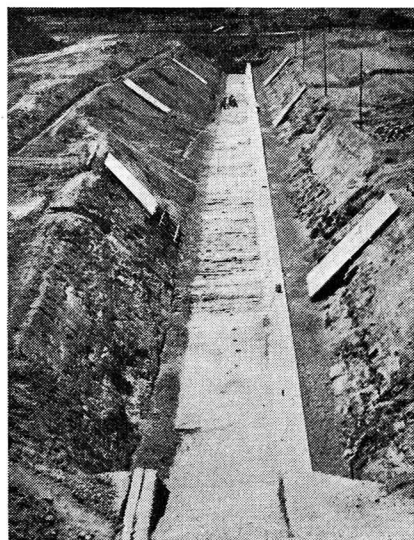


写真-6 仙美里アースダムトレンチ部全景 36.7.15
左岸取付け部よりみたところ (36 年度施工区間)

(2) 土質材料の性質

遮水壁に用いる土質材料は、ダム左岸の段丘(最大距離約 600 m)の島地より採取するもので、30~45 cm のごく薄い表土(腐蝕土)の下に、1.5~2.3 m の厚さで砂礫または火山礫凝灰岩の上に介在しており、火山灰軽石を少量含

んでいて、全般的に粗粒である。代表的な試料の試験結果は表-3, 4, 5 のとおりである。ただし、透水係数は標準突き固め試験の場合と同一の方法で突き固めた供試体を非圧密変水位方法による。これらの試験結果にみられるとおり乾燥密度が低く、自然含水比が最適含水比より平均 10% 程度高く、粘土含有量は 20% 程度である。

ここにおいて、上記土質材料の安定性および締め固め乾

表-3 御母衣試験室において実施した
試料 U-1 の結果

試料名		U-1
項目		
自然含水比 %		34.0
比重		2.56
自然含水比と最適含水比の差		9.5
粒度組成	-4.8 m/m (4#)	99.0
	-0.42 (40#)	89.0
	-0.075 (200#)	61.0
	-0.005	18.0
アッターベグル限界 (%)	液性限界 L.L.	39.5
	塑性限界 P.L.	30.0
	塑性指数 P.P.	9.5
突固め試験	最適含水比 %	24.5
	最大乾燥密度 t/m ³	1,466
	間隙比	0.75
土の分類	Casagrande's class	M L
	三角座標	粘土質ローム

表-4 試料 U-1 による応力試験結果

項目		自然含水比における状態	最適含水比付近における状態
せん断強度	含水比 (%)	34.70	26.60
	乾燥密度 (t/m ³)	1,324	1,462
	粘着力 (kg/cm ²)	0.10	0.40
	内部摩擦角 (度)	31°—00′	39°—40′
圧密試験 (5.0kg/cm ² 荷重)	含水比 (%)	34.52	27.90
	乾燥密度 (t/m ³)	1,329	1,445
	沈下量 (%)	7.90	5.45
	間げき比 (%)	0.775	0.676
	間げき圧 (kg/cm ²)	4.70	3.00
透水係数	含水比 (%)	36.40	
	乾燥密度 (t/m ³)	1,292	
	透水係数 (平均)	5.1×10^{-7}	

表-5 Gブロック土質試料の試験結果

試料名	自 然 含水比	比 重	粒 度 組 成				突 固 め		透 水 試 験		
			m/m -4.8	-0.42	-0.075	-0.005	最 適 含水比	最大乾 燥密度	含水比	乾燥密度	透 水 係 数
G-1	36.7	2.55	100	91.6	64.5	23.0	30.2	1.407	31.6	1.360	5.555×10^{-7}
G-2	27.8	2.61	100	81.8	55.0	10.0	25.5	1.502	21.2	1.489	1.267×10^{-5}
G-3	36.5	2.58	100	90.6	68.0	31.0	34.0	1.327	24.1	1.398	1.763×10^{-6}
G-4	31.8	2.52	100	86.0	54.9	21.5	26.0	1.404	30.5	1.316	1.993×10^{-6}
G-5	52.7	2.52	100	93.7	71.6	28.0	34.5	1.256	36.4	1.232	4.208×10^{-6}
G-7	32.6	2.50	100	90.3	65.5	25.0	32.3	1.314	33.3	1.216	1.708×10^{-5}
G-9	48.0	2.58	100	86.2	56.3	20.0	25.0	1.485	27.6	1.331	1.851×10^{-5}
G-13	25.5	2.51	100	87.6	57.1	24.5	22.5	1.510	29.1	1.400	4.322×10^{-6}
G-17	34.2	2.53	100	87.4	57.0	24.5	25.4	1.420	32.8	1.240	7.130×10^{-5}
G-18	34.0	2.54	100	85.9	59.5	26.5	28.5	1.406	31.7	1.234	2.143×10^{-5}
G-19	26.5	2.55	100	67.0	26.2	11.0	18.2	1.653	20.5	1.385	6.619×10^{-5}

表-6 材 料 試 験 表

試料名	自 然 含水比	比 重	粒 度 組 成				突 固 め		透 水 試 験		
			m/m -4.8	-0.42	-0.075	-0.005	最 適 含水比	最大乾 燥密度	含水比	乾燥密度	透 水 係 数
切込砂利 (c)	5.0	2.69	59.2	12.9	1.3	—					
G-1	36.7	2.55	100	91.6	64.5	23.0	30.2	1.407	31.6	1.360	5.555×10^{-7}

摘要 含水比 16.5% のとき単位容積重量 1.755 t/m³

表-7 Gブロック土質材料と切込砂利の混合試料の材料試験表

試料名 (G):(切)	自 然 含水比	比 重	粒 度 組 成				突 固 め		透 水 試 験		
			m/m -4.8	-0.42	-0.075	-0.005	最 適 含水比	最大乾 燥密度	含水比	乾燥密度	透 水 係 数
1:0.5	15.2	2.66	77.1	55.2	20.0	3.7	18.8	1.680	24.4	1.440	2.507×10^{-6}
1:0.3	21.3	2.66	82.5	50.7	29.2	10.5	21.8	1.600	25.0	1.443	3.537×10^{-6}
1:0.2	23.7	2.61	84.2	68.8	49.7	15.0	22.3	1.570	23.9	1.511	6.019×10^{-6}

燥密度を高め、輥圧を容易ならしめるため、粗粒分を混入することが適切であると判断されたので、表-6 に示す付近河床の堆積切り込み砂利を、土質材料 100% に対し 50%、30%、20% の割合で混合し、試験の結果は表-7 のとおりである。50% 混入の場合は、粘土分は 4% 程度となり、自然含水比が最適含水比より低くなる。30% 混入の場合は、自然含水比と最適含水比がほぼ同じで、粘土分は 10% となる。20% 混入の場合は、自然含水比は最適含水比よりやや高いけれども粘土分は 15% となり、乾燥密度は高くなる。

上記結果より、自然含水比と最適含水比がほぼ同じであり、乾燥密度および透水係数も適当であると思われる。20～30% 混入の方を採用することとし、土質遮水壁の材料に

決定したものである。

(3) 土質材料の設計値

前項に記した土質材料の試験結果より判断して、つぎのとりの設計値を採用した。

比	重	2.60
単位重量 t/m ³	乾燥時	1.44
	湿潤時	1.86
	飽和時	1.89
	水中時	0.89
間隙	角	0.67
間隙	率	0.40
内部摩擦	角	28°—00'

内部摩擦係数 0.53
 粘着力 (湿潤時) 0.30
 kg/cm^2 (飽和時) 0.075
 透水係数 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/秒}$

(4) 輾圧試験

輾圧方法を定めるため、(2) 項で記した材料を用いてハンドタンパーおよびタイヤローラーによる輾圧試験を実施した。

a) タンパー試験 (図-7)

イ) 使用材料 バックフィルタンパー
 BT-32 型

ロ) 使用時空気圧 6 kg/cm^2

ハ) 試験方法 3 種類の材料を調整し、一つは JIS の最適含水比より増減して、材料を基盤上に 5 cm の厚さにまき出し、同一含水比のものに対して 2 秒、4 秒の 2 種類で締め固めた。

b) タイヤローラーによる試験 (図-8, 9)

イ) 使用機械 輾圧用タイヤローラー
 HR-10 型

仕様: 全 長 3,900 m/m
 全 幅 2,200 "
 全 高 1,700 "
 函 容 積 4.70 m^3
 車 輛 重 量 2.70 ton
 タイヤ太さ 13.5'' $\times$ 24''
 タイヤ数 4 本
 全 備 重 量 10 ton

ロ) 使用材料 材取土質料 75% と切り込み砂利 25% を混合したもの。

ハ) 試験方法

- ① 含 水 比 自然含水比より乾燥または加水させて 4 種類に調整。
- ② 輾 圧 回 数 4~6~8 カバレッジの 3 種類
- ③ ま き 出 厚 15 cm および 20 cm の 2 種類
- ④ ローラー重量 10 ton
- ⑤ ローラー速度 低速-D-50 ブルドーザー牽引

c) 結 論

イ) タンパーによる締め固め

図-7 より、JIS 突固め試験の密度を得るため、タンパーの締め固め時間を 4 秒以上にしなければならない。4 秒の最適含水比は

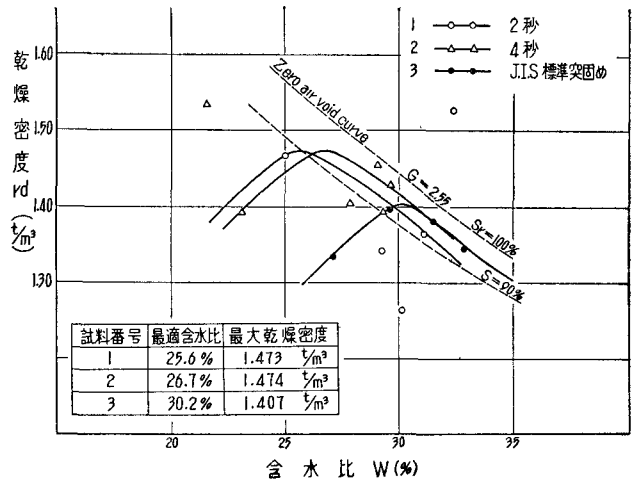


図-7 タンパー試験結果

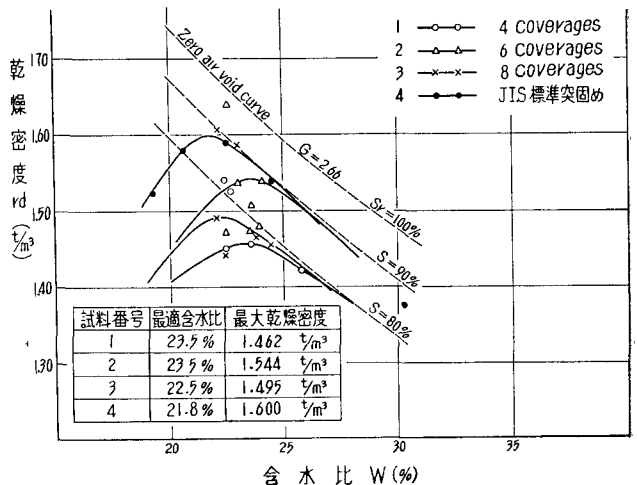


図-8 タイヤローラーテスト (撒厚 15 cm)

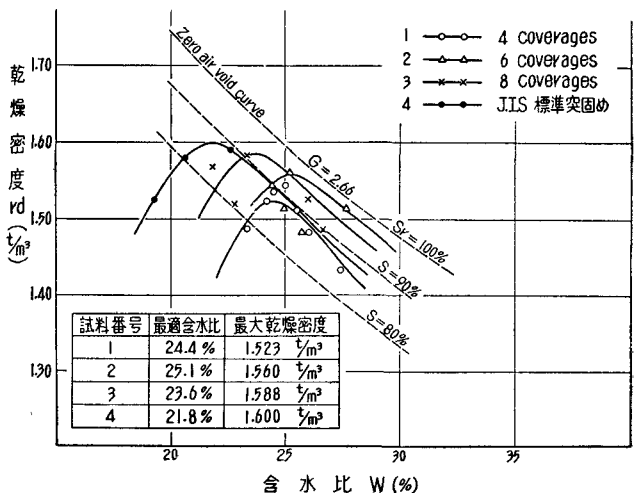


図-9 タイヤローラーテスト (撒厚 20 cm)

ロ) タイヤローラーによる締め固め

- (5) 締め固め施工

岩盤ならびに側面からの湧水も非常に少なく、恵まれた施工を実施した。11月初旬には、盛土部表面に溝を設けて排水を容易にし、なんら保護をせず越冬することとした。昭和37年5月から一挙に主堤体を盛り上げる予定である。

(6) 締め固め管理

イ) 設計乾燥密度は 1.30 t/m^3 より高い値であること。

ハ) 締め固め土の飽和度は、90% 前後であること。

(7) アースダムに対する所見

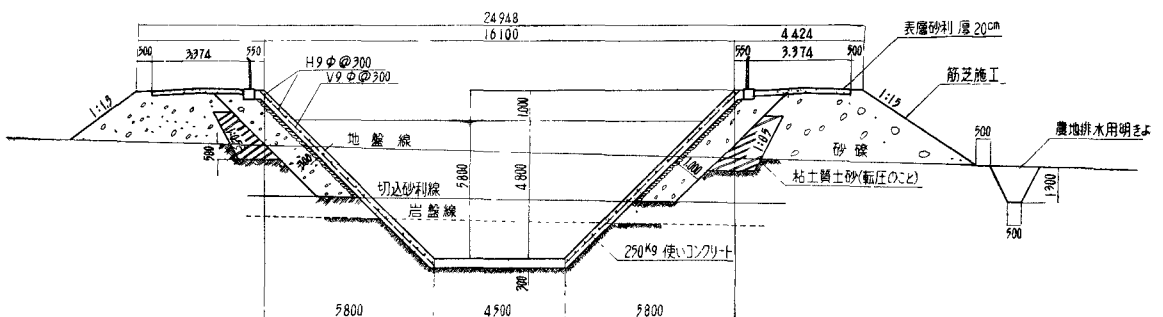
1933年 Proctor 教授により土質理論が解明されて以来、急速に発展したフィルタイプ・アースダムは、寒冷地においても、付近に少なくとも粘土分（いわゆる 0.005 m/m 以下）が 5% 程度分布する土質材料が得られるならば、設計が適切であり、締め固め方法など施工管理に細心の注意を払えば、短期間にしかも経済的に、また容易に築造することができると思う。

6. コンクリート・ライニング開きよ

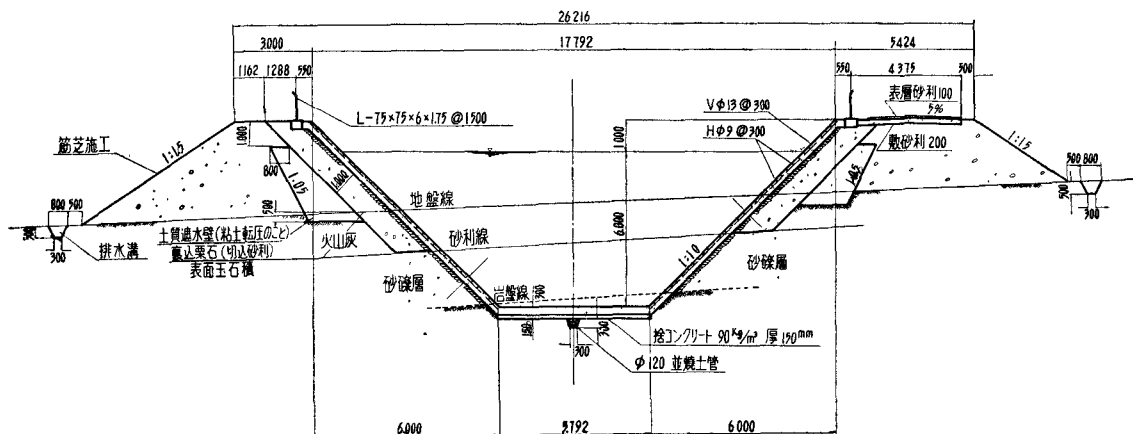
(1) 構造の大要

導水路開きょ 3,048.578 m のうち、取水口直下流の第1号開きょおよび水槽直上流の第3号開きょは、次のとおり、コンクリート・ライニングによる梯形開水路である。(図-10、図-11 参照)

項 目	第 1 号開きよ	第 3 号開きよ
延 長 (m)	1,627.438	670.774
水 路 勾 配	4,000 分の 1	12,000 分の 1
底 幅 (m)	4.500	5.792



図一10 第1号開き



図—11 第 3 号 開 き よ

項 目	1 第号開きよ	第 3 号開きよ
高 さ (m)	5.800	7.000
水 深 (m)	4.800	6.000
側 壁 法 勾 配	1 : 1.0	1 : 1.0
巻 厚 (cm)	30	30

伸縮継手は、特殊ビニール板をもって 10.80 m 間隔に挿入する。側面コンクリートには亀裂防止のため、 $\phi 9$ m/m 鉄筋を図示のとおり配列する。凍上層は、いずれも厚さ 1.00 m の切り込み砂利に置きかえるとともに、側壁上部の盛土部は、アースダムと同様の、傾斜型土質遮水壁層を設け、沈下および漏水の防止を計る。

(2) 凍上層の判定

基盤凍上については、開きよ通過地の代表的な土質材料に対し、凍上性試験を実施し、その判定にもとずいて、凍上層は切り込み砂利に置換した。この試験は北大の真井教授に委嘱して行なったものであるが、その要領は次のとおりである。

a) 凍上性判定のための物理試験

- イ) 含 水 比
- ロ) 比 重
- ハ) 粒度分析
- ニ) 液性限界、塑性限界、塑性指数
- ホ) 遠水含水当量

b) 凍上実験

- イ) 実験型式 開式および湿式
- ロ) 外 気 温 -5°C および -10°C
地下水温 $+2\sim 3^{\circ}\text{C}$

なお、現地においては Beskow の凍上性判定基準を用いた。(2 m/m 以下の土で、0.062 m/m を 25% 以上、0.125

m/m を 35% 以上通過するものは凍上する。)

(3) 流水の結氷問題

開水路の結氷については、利別川が、本道一の極寒地を源としているため、慎重を期して、次のような調査を行なった。

イ) 取水口における最低水温

昭和 34・35 年の極寒期に測定した最低水温は -0.2°C であるが、糠平および活込貯水池を経て、足寄発電所の放流水 (最低水温 $+1.2^{\circ}\text{C}$) があるため結氷しない。

ロ) 北海道の河川結氷の概況による推測

北大の岸教授に委嘱して、北海道内河川のうち、とくに石狩川・天塩川の結氷の概況を調査してもらい、結氷の形態、降水量と気温の関係、さらには浮氷の集積条件などより、結氷条件を推計のうえ検討し、使用水量が $30\text{ m}^3/\text{秒}$ 以上であれば、結氷しないことを推定しえたのである。

ハ) 流水の結氷実験

北大の板倉教授に委嘱して、流速 $0\sim 1\text{ m}/\text{秒}$ の流水が種々の低気温に曝された場合の結氷状態あるいは風の影響を観察したものである。

実験方法：

冷凍室内に置かれた円形水路 (外径 1.20 m、円径 0.60 m、水路幅 30 m、水深 0.15 m) の水を、プロペラの回転により種々の流速を生かせしめ、さらにファンにより風を人工的発生させ、その流水の結氷状態を観察し同時に水温 (表面・中央部・底部) ならびに冷凍室温を測定する。

室温は、 $-10\sim -24^{\circ}\text{C}$ 、継続時間最大 120 分であったが、全水面が結氷を生じたことはなく、内外壁に接した水面のみ薄氷を生じ、さらに綿状氷の浮流がみられた程度である。

以上の調査実験結果より、常時使用水量以上の流量が流

下している限り、水面の結氷はありえないことが確認された。ただし、極寒期において、水路断水ができないということは、発電用水路として非常な弱点といわなければならない。

(4) コンクリート・ライニング施工

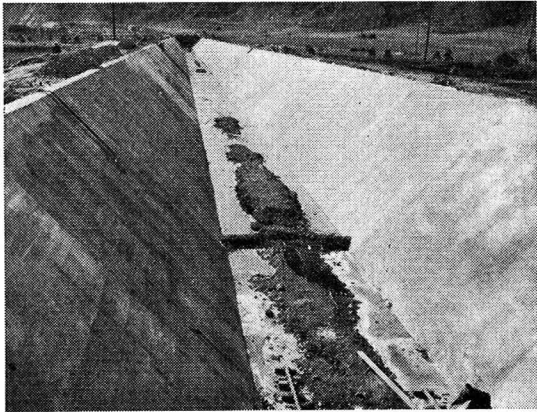


写真-7 第1号開きよのコンクリート・ライニング状況

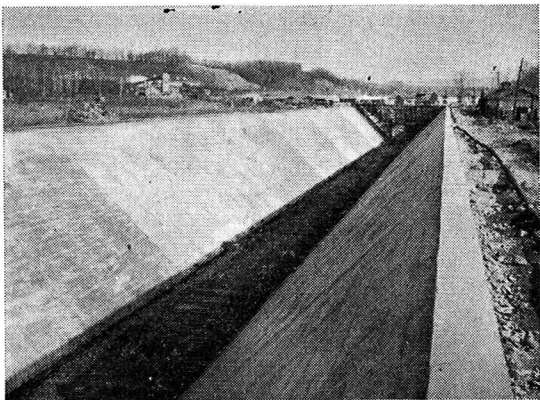


写真-8 第3号開きよのコンクリート・ライニング状況

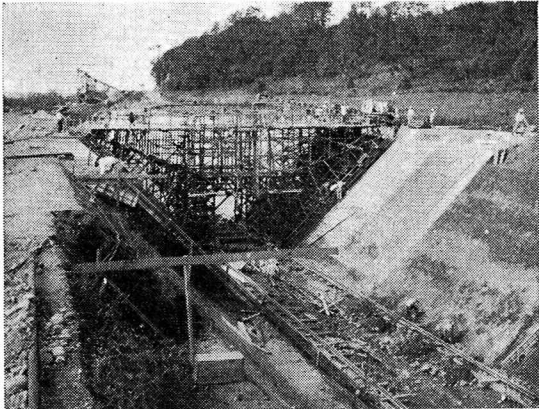


写真-9 開きよのコンクリート・ライニング用トラベリングフォーム (第3号開きよ)

開きよのライニングは、昭和36年において約35%実施したが、その状況は写真-7、8のとおりである。

掘削側面の安定処理は、当初の設計に際しては、凍上層置換用切り込み砂利に含んでいる小粒の栗石によることとしたのであるが、砂利程度の粒径のものしか含有しておらず、非常に苦心し、実際施工にあたっては、その大半は10%程度のソイルセメント式の法面安定処理を実施した。アメリカにおいては、安定処理勾配の基準は1:1.25であり、(愛知用水公団水路で採用している。)本水路においても1:1.20程度に設計すべきであったと思われる。

コンクリート・ライニングは、写真-9に見られるように、鋼製トラベリングフォームを採用し、一径間10.80mを一度に施工している。コンクリートは凍害を生じないようにc/w 40%程度を標準とした。コンクリート表面は、メタルフォーム取

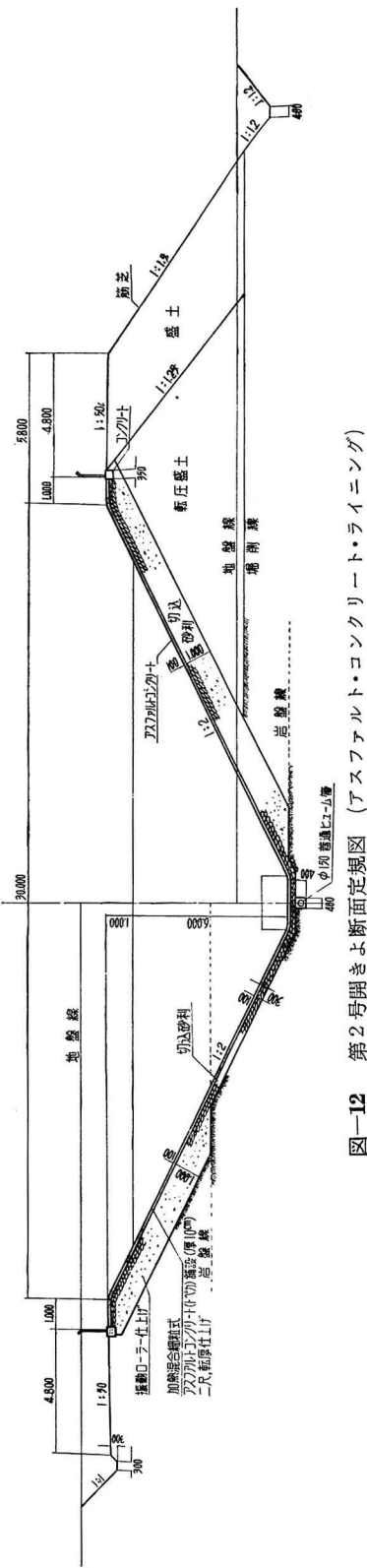


図-12 第2号開きよ断面定規図 (アスファルト・コンクリート・ライニング)

りはずし後ただちに養生封緘剤(旭化成 K.K. のサラン・ラ
テックス)を塗布した。

7. アスファルト・コンクリート・ライニング開きよ

(1) 構造の概要

導水路開きよ 3,048.578 m のうち、ピリベツ川横断サイ
ホン部直上流の第2号開きよは、底幅 2.00 m、高さ 7.00 m
側壁法勾配 1:2.0 の梯形断面を、底面・側面とも加熱混合
式アスファルト・コンクリート(トペカ)舗設厚 10 cm (5
cm 2 層)をもって巻き立てるものである。側面基層には
凍上防止のため厚さ 1.00 m の切り込み砂利層を設ける。
(図-12)。

(2) アスファルト・コンクリート・ライニングの概要

水理構造物にアスファルトを用いることは、ようやくそ
の緒についたばかりであり、発電用開水路の巻立にアスフ
ァルト・コンクリートを使用することは、本邦においては
もちもん始めてであり、しかも当地方のような厳寒地にお
ける施工に踏みきるためには、周到な調査・研究と、断乎
たる決断を要したところである。

この工種を採用した理由は、次のとおりである。

- イ) 側面が 3~5 m におよぶ盛土上のライニングである
ので、沈下に対して、構造上の安定が得られること。
- ロ) 土質材料遮水壁が不要となり、盛土部の施工が容易
である。
- ハ) 法面勾配が 1:2.0 であるので、アス・コン舗設は自
信をもって施工できること。
- ニ) アス・コンの透水係数が 10^{-9} cm/秒 程度であり、水
路として安全なものであること。
- ホ) コンクリートの場合施工困難な伸縮ならびに施工継
手を必要としない。
- ヘ) コンクリートに比して、修理と保守が容易で、确实
迅速にでき、しかも維持補修費が低れんであるほか
当所の場合は工事費も若干安い。

なお側面勾配を 2 割にしたのは、アス・コン舗設の安全
を期したものである。

昭和 36 年においては写真-10 のとおり、両側の盛土を
大略完了したところで、アス・コンの舗設は幅 10.00 m ば
かりの施工試験を実施し、施工に対する完全な自信を得ら
れた。本格的な舗設施工面積は、昭和 37 年 5~7 月に実施
するもので、施工面積は 26,800 m² である。

なお、アスファルト・コンクリートの配合、凍結融解、
透水性、耐寒性、粗度係数など、水理構造物としての必要
かつ十分な試験は、北大板倉教授の指導を得て、今冬に実
施する予定であるが、現在までの調査試験研究の結果によ
る施工指針はつぎのようなものである。

a) 基盤安定処理

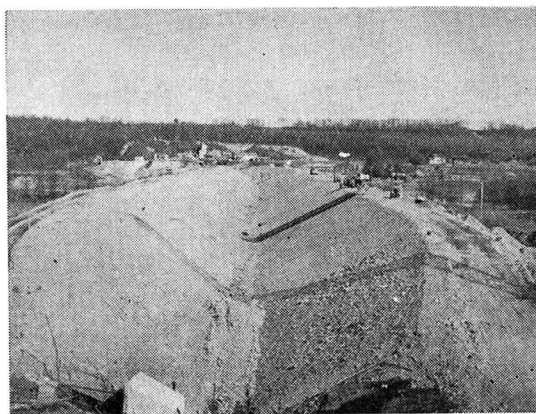


写真-10 第2号開きよ工事全景

終点サイホンより上流をみる。両側の盛土が
終わつたところ。

- イ) 法面基盤の安定処理は、施工試験の結果、非常に
困難な仕事であって、凍上防止用の切込砂利盛土
中より、100 m/m 以上の玉石を除去し、砂のみの
部分には 60 m/m 以下の砂利を補足し、1.5 ton 以
上の能力をもつバイブレーティングローラーの類
で輾圧する。(写真-11)
- ロ) 初輾圧が完了すれば、除草剤として 5% の塩酸ソー
ダー溶液を 3 l/m² 程度散布して、24 時間程度
放置する。
- ハ) 法面安定剤として、加熱したカチオン乳剤を 2
l/m² 程度散布する。
- ニ) 上記の浮剤が乾燥硬化を開始すると同時に、砂を
散布して再輾圧を行ない、プロクター 90% (25ブ
ロー) 以上の圧密度を得るまで輾圧する。
- b) アスファルト・コンクリート・ライニング工
 - イ) アスファルトはセミプローンしたもので、

針入度	60~70
延性	(25°C) 100 以上
軟化点	48°C 以上
P. I	-0.5 以内

程度のもを用いる。
 - ロ) 石粉は、精選された石灰岩粉で、比重 2.6 以上、
200 # フライ通過 60% 以上のものを用いる。
 - ハ) 骨材は良質のものを用い、最大粒径は 10 m/m と
する。
 - ニ) 細・粗骨材およびフィラーの合成粒度は、下記を
標準とする。

フルイの開き (m/m)	フルイ通過百分率 (%)
15.0	100
10.0	85~95

フルイ目の開き (m/m)	フルイ通過百分率 (%)
5.0	75~90
2.5	65~80
1.2	50~70
0.6	35~60
0.3	25~48
0.15	10~20
0.075	8~13

ホ) アスファルト合材

アスファルト量は、全合材の 9.5% (重量比) とする。

アスファルト合材の比重	2.25 以上
空 隙 率	5% 以上
標準マーシャル安定度	950 lbs 以上
フ ロ ー	10/100~16/100 in

ヘ) 混合材の温度は、舗設 110~170°C とする。

ト) 輾圧は、1.5 ton 以上のバイブレーションローラーを使用する。

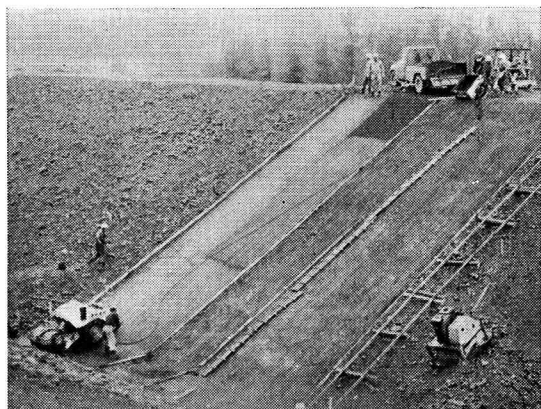


写真-11 第2号開きよアスファルト・コンクリート試験舗設状況

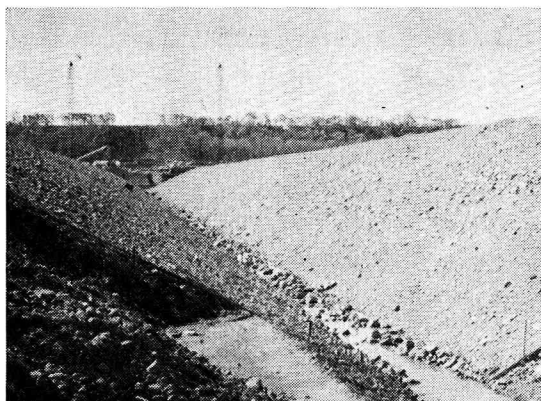


写真-12 第2号開きよ盛土状況

なお、アス・コンの下層を粗に、上層を細にすることなどは、今後の試験結果に委ねることとしている。

8. トンネル施工

(1) 構造の概要

径 6.65 m の標準馬蹄形で、図-13 のとおりである。

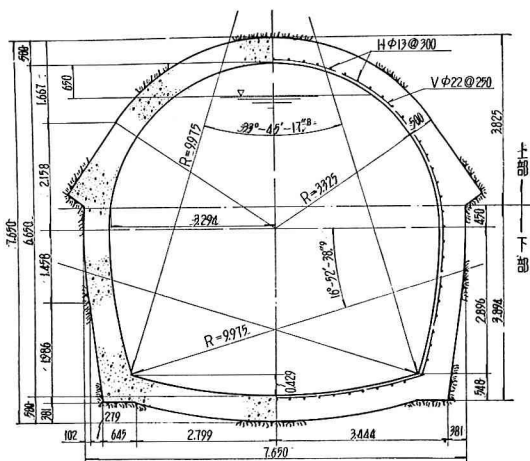


図-13 トンネル標準断面図

(2) 掘 削

掘削施工方式は、工事沿革ならびに地質の項で述べたように、湧水を伴う変化の激しい軟弱な地質に対応するものとして、上半断面を先進する逆巻き工法を採用している。その掘削順序は図-14のとおりである。

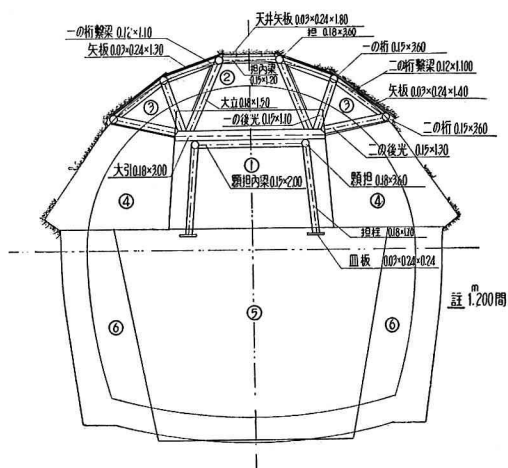
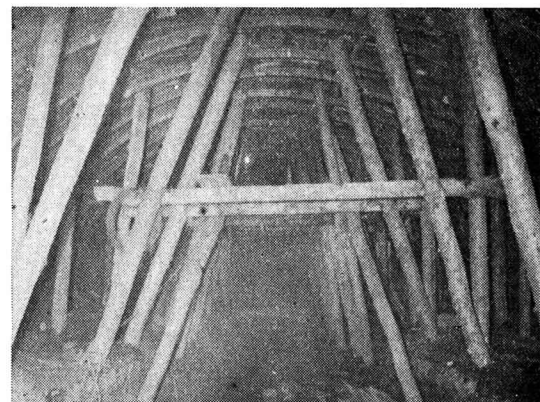
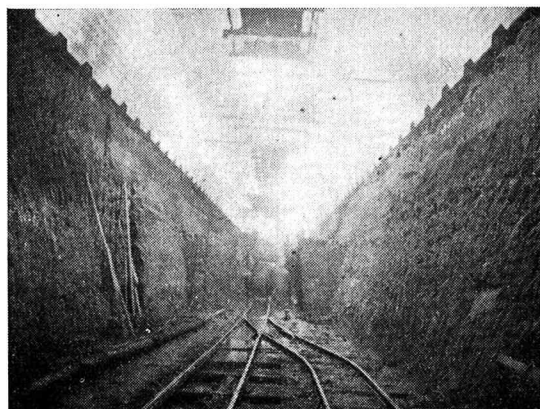
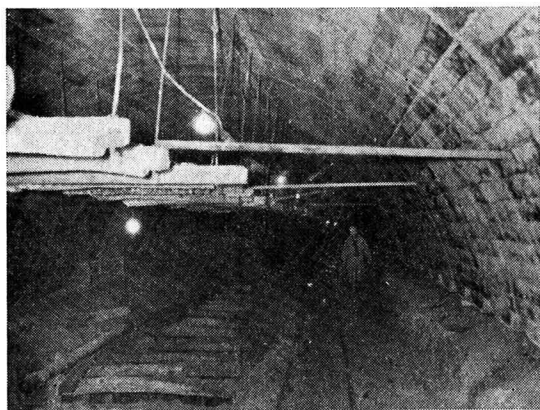


図-14 木製支保工、掘削順序図

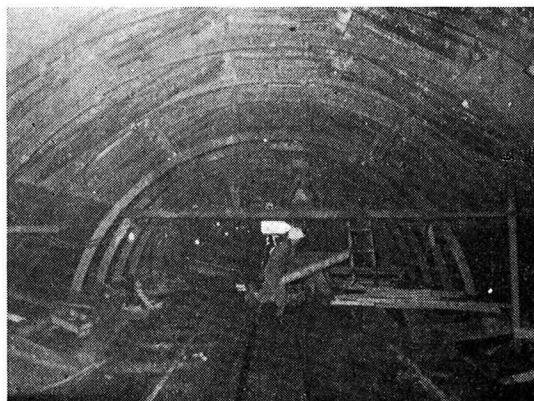
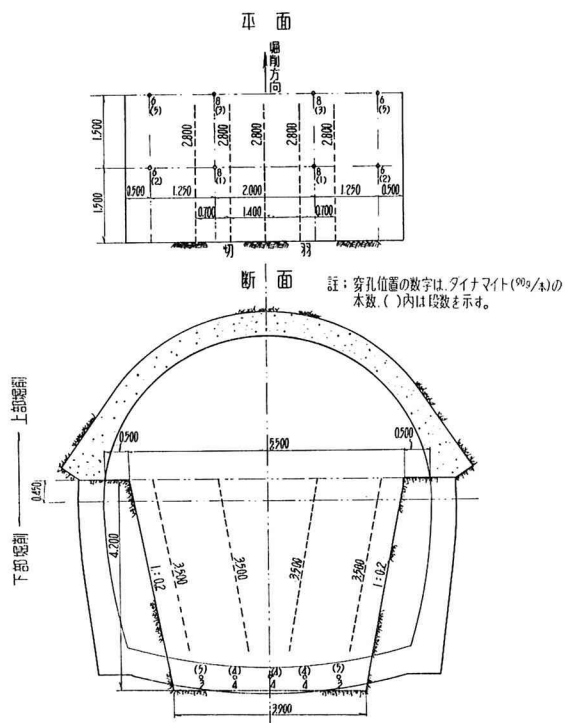
昭和 36 年 11 月 20 日に、全トンネル 6,612 m の上半断面コンクリート巻立を完了し、ベンチカットによる下半断面の掘削が始まったところで、今冬季間中には、下半断面の掘削を終了する予定である。(写真-13, 14)



下部半断面のベンチカット掘削のための標準穿孔位置は、図-15のとおりで、非常に円滑な掘削が期待される。

(3) 支保工

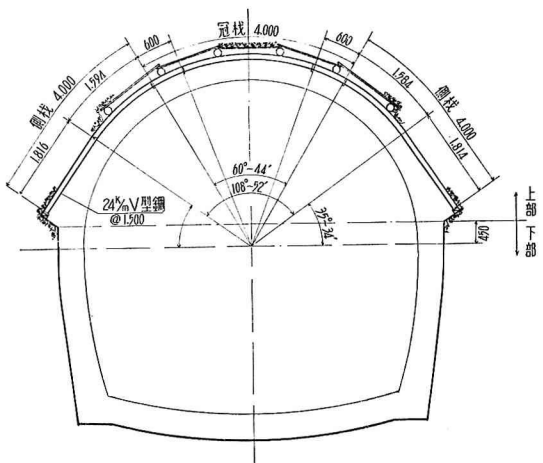
上部半断面の支保工には、技ハリまたは後光式の木製支



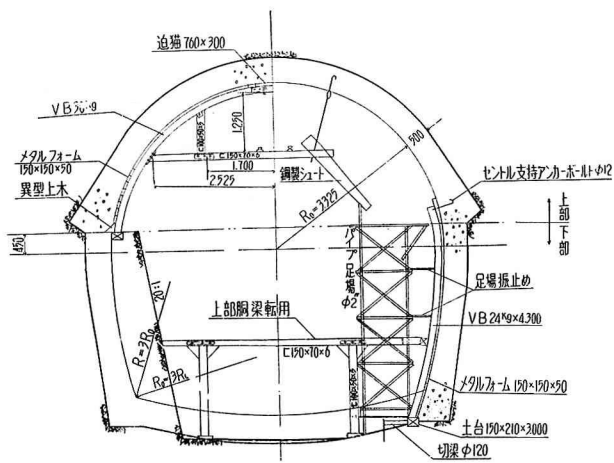
保工と、24 kg/m の V 型可縮支保工を併用したが、その状況は写真 15、16 および 図-16 のとおりである。

(4) 卷立工

コンクリート巻厚は 40~60 cm で、全線逆巻工法によった。セントルには 30 kg/m~24 kg/m の V 型鋼とメタルホームを使用した。その状況は 図-17、写真-17 のとおりである。コンクリート打設には吊足場およびコンクリートポンプあるいはムカデコンベヤーを使用した。



図—16 V型可縮支保工図



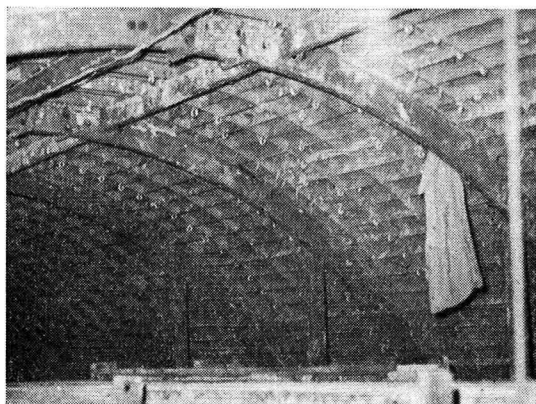
図—17 セントル標準図

9. む す び

昭和37年4月より、トンネル工事では、側壁コンクリートの打設を一斉に実施する予定で、昭和36年11月末現在土木工事は総合55%の進捗をみせ、発電所も写真-3で見られるとおり、外容はほとんど完成し、12月下旬よりは水車の据付けを開始の予定である。

この発電所は、すでに計画概要その他で述べてきたとおり、水路延長10km余に対し、落差が33mとゆう文字どおり平原の発電所であって、その工程・工事費・成果はひとしく、水力関係者の注目を浴びているところである。幸い経済的な設計施工に主眼をおいた本工事が、予期以上の好地質にめぐまれたとはいえ、各施工業者のなみなみならぬ協力により、予定工期をいくらかでも短縮するべく、来年秋通水を目標に鋭意施工中である。

最後に、設計・施工にご協力をいただいた北大板倉教授



写真—17 トンネルのメタルフォーム
(本地点のトンネルは各業者ともこの型を利用している)

真井教授、岸教授各位に、本誌上をかりて、衷心より謝意を表する次第である。