

新野発電所放水路トンネルの調査と施工について

関 口 光 永 ※

○ 阿 部 鎮 雄 ※※

1 ま え が き

日高地方の沙流川、新野川、静内川、を連系した日高一貫開発計画は将来総出力 270 万 KW に達する大計画のものであり、現在まですでに流域変更による集水の役割りを果たし、奥新野発電所のほか中規模の 6 発電所 17 万 KW が運用されている。

新野発電所はこの計画の中核をなす発電所で 当社としては初めて最大出力 20 万 KW の揚水発電所である。この新野発電所は昭和45年8月着工以来現在まで（土木工事）ほぼ 96% が完了し昭和49年8月の1号機、11月

の2号機の運用を目標に最後の追込み中であるがこのうち放水路トンネルも本年中に完了の見通しなので今回ここで放水路トンネルの調査と施工についての大要を記述したい。

日高一貫開発計画については図-1に示す

2 発 電 計 画 の 概 要

新野川は 上流の奥新野発電所（44 MW）と下流

以下新野発電所（20 MW）岩清水発電所（15 MW）が開発されている。いまこの奥新野発電所と下新野発電所の間の牝内平下流十字峡にロックフィルダムを築造しこれにより利用水深を得、最

図-1 日高一貫開発計画図

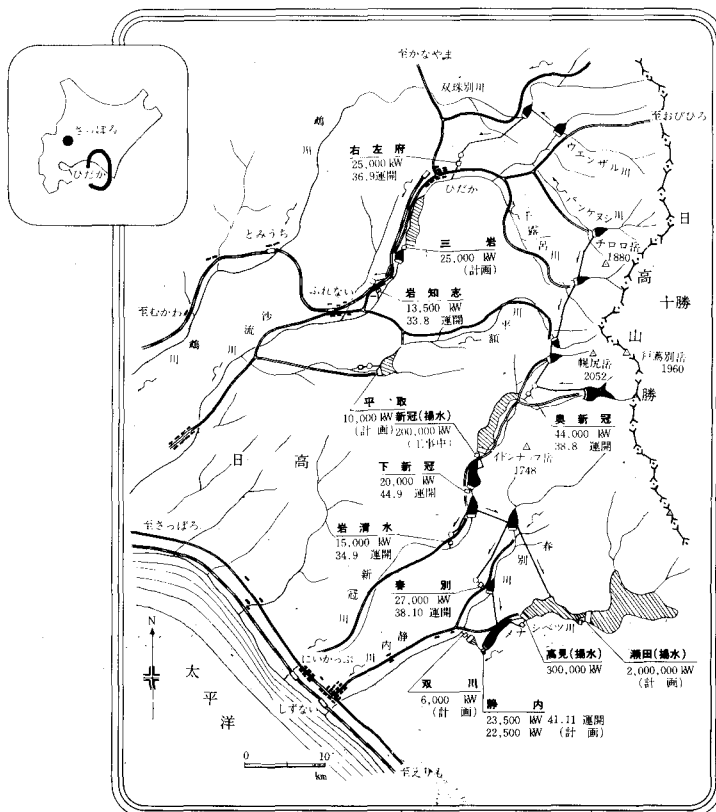


表-1 新野発電所計画概要

発 電 方 式	ダム水路式
	揚水式
流域面積 (km ²)	沙流川 117.8
	新野川 192.9
	計 310.7
有効落差最大 (m)	99.6
“ 常時 (m)	94.0
使用水量最大 (m ³ /sec)	234 (117x2台)
“ 常時 (m ³ /sec)	15.81
揚水量最少揚程時 (m ³ /sec)	232 (116x2台)
“ 最大 “ (m ³ /sec)	74
出力最大 (KW)	200,000
年間発電電力量 (MWH)	235,745
貯 水 池	湛水面積 (km ²) 4.35
	利用水深 (m) 40
	貯水容量 (10 ⁶ m ³) 145
	有効容量 (10 ⁶ m ³) 117

※ 北海道電力 新野発電所建設所次2土木課長

※※ “ “ “ 次2土木課次4工区長

大 200,000 KW を発電し、放水路トンネルで下新野調整池に放水するもので、新野野水池を上方池、下新野調整池を下方池とする揚水式発電所である。

新野発電所の計画概要は表-1 に示す。

3 放水路トンネルの地質調査について

(1) 地質調査

トンネル経過地の地質は、先白亜紀の日高層群郡中の神威層群からなり、これを構成する岩石は、おもに粘板岩、砂岩、千枚岩などの堆積岩および板状構造を示すスピライトであり、その他少量の輝緑岩、英安岩や粗粒輝緑岩などである。これらの諸岩石はいずれも安定した構造のものであるが、放水口付近の一部は風化が進んでいる。粘板岩自体非常に亀裂開裂が発達しているほか、各所に砂岩、千枚岩、ダイヤモンドの塊状挿入がみられ、このうち特に砂岩の状況はいわゆる魚眼状構造と呼ばれるレンズ状のもので、掘削時にはこの部分が切欠、剥離状の地圧の誘因となった。着き前の地表調査、弾性波探査によると、ルート中に10ヶ所を越える小規模の断層、破砕帯が推定され、これらの断層は中1～5 m の中規模断層破砕帯を挟つ東西系のものと、中1 m 内外の小規模断層破砕帯を挟つ北西～南東系のものとに大別できた。

弾性波探査では粘板岩で 3100～4400 m/s、スピライトで 3500～4900 m/s を示した。

今後の資料を得るべく、トンネル貫通後トンネル内で部分的に直接弾性波探査も実施した。これを比較してみると非常に類似している。(地表の結果の1.1～1.3倍程度を示している)このことから岩盤の垂直的な分布の把握には地表弾性波探査がきわめて有効な手段であることが確認された。これを土木設計に有効に適用するには、断層、破砕帯等の低速帯の検出およびその空間的な拡がりをつかむことが必要である。弾性波探査では低速帯(破砕帯等)が存在することは判るが、それがトンネル断面のどの付近にまで影響を与えるかは明確には判らない。このためには必ず地表地質調査を実施し、ボーリング、弾性波探査等の資料をもとにした総合解析業務を行うことが必要であろう。これにより、弾性波探査により解析された低速帯の地表の状態、その延長方向、傾斜等を知り、各フオメーション

の地質断面図をあらかじめ知ることができる。

地表からの探査結果とトンネル内の探査結果について表-2 に示す。

地表からの推定岩質とトンネル内の岩質について地質断面図-2 に示す。

表-2-1 弾性波探査比較表

地質名	弾性波速度 (km/s)	備考
スレート	3.1	4.4
	3.4	4.8
スピライト	3.5	4.0
	4.1	5.2
スピライト千枚岩のスレート	2.5	4.4
	3.9	4.5

表-2-2

地質名	弾性波速度 (km/s)			
	2	3	4	5
スレート		CH		CH
スピライト			CH	
スピライト千枚岩のスレート		CH		CH

CH 地表面

CH トンネル内

(2) トンネル内地下湧水の調査

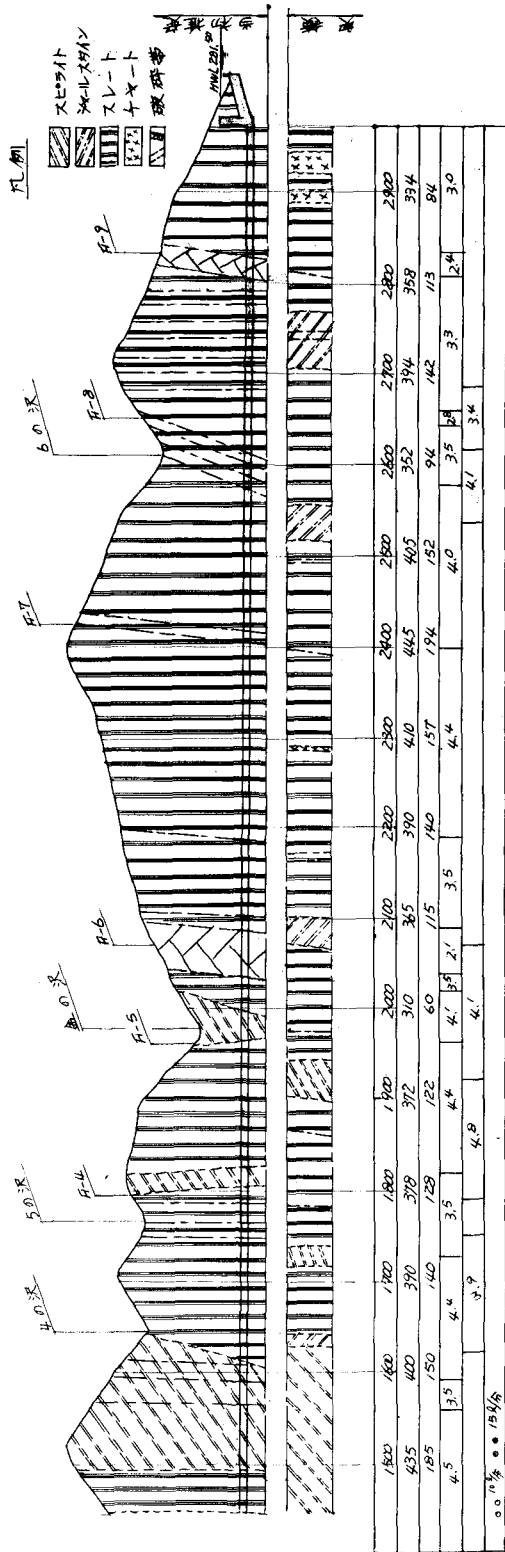
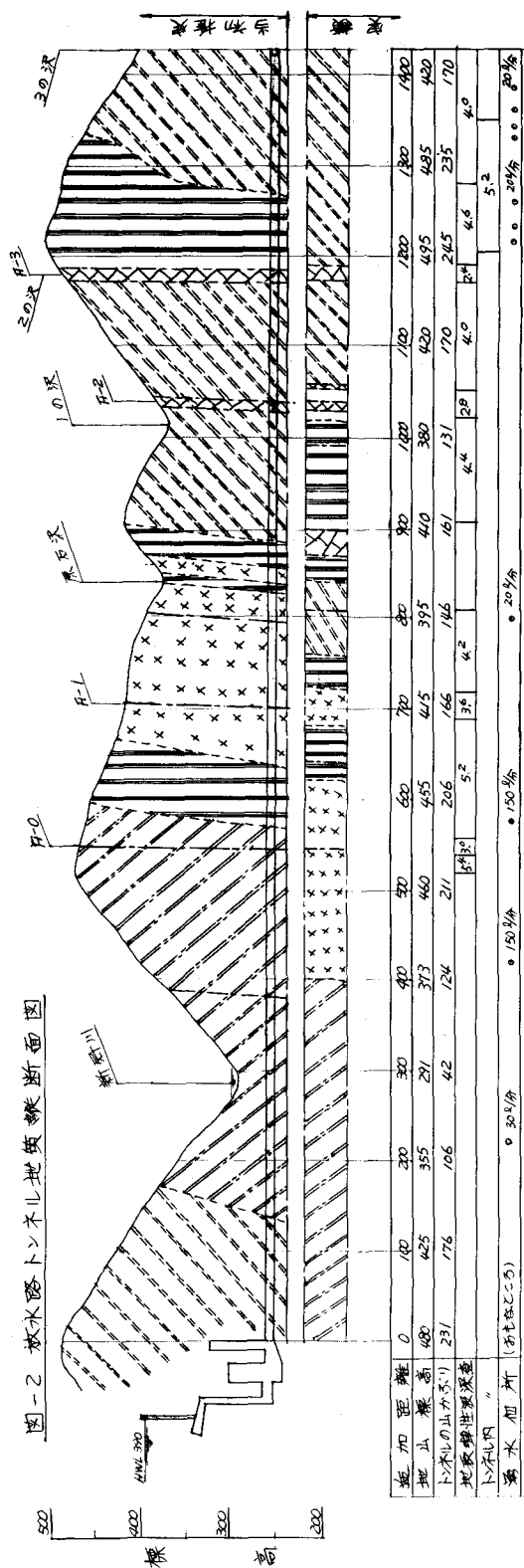
トンネル内湧水量の定量的な推定については国鉄ですでに実施しており、実績対比でも相当な精度をあげております。当所でもそれを参考に調査や諸計算を行き予定でありましたが、ごく簡単な沢水の湧水量の調査のみにより、同題と考える沢の沢付近を他の沢などとの対比のみに止めた。トンネル湧水における比流量は地表流における基底流量(または湧水量)に近似したものの考え方から行つたものであります。

下表のとおり当初想定していた沢の比流量が $0.01 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ であり、新野川水系の平均的な値を示したことから定めたのが実情である。トンネルの全湧水量が $1200 \text{ l}/\text{min}$ 弱であつたことは幸ひであつた。

表-3 トンネル箇所小沢の湧水量調査

測定項目	凡石の沢	一の沢	二の沢	四の沢	五の沢	六の沢
流域面積 (km ²)	0.111	0.207	0.264	0.205	2.133	0.407
流量 (l/min)	26	76	330	126	1443	165
水温 (°C)	+1	+1	+1	+1.3	+1.3	+1.3
気温 (°C)	-5.3	-5.3	-5.3	-5	-5	-5
比流量 (m ³ /sec/km ²)	0.0039	0.0061	0.0208	0.0102	0.0113	0.0059
測定日	46年2月10日 3回の測定値の平均			46年2月11日 3回の測定値の平均		

図-2 放水路トンネル地質断面図



4 放水路トンネルの施工

放水路トンネルは調水室から放水口を結ぶ延長約2987mでこのうち調水室から799mを3工区(上口工事…佐藤工業KK)、残り2188mを4工区(下口工事…前田建設KK)が担当施工した。

(1) 掘削工法

大断面、長大トンネル工事の掘削工法の選定の要因としては一般にトンネル長さ、地質、工期、機械資材の転用、労務対策等が考えられるが、最も重要な要素は地質的な問題である。地質的には先の放水路トンネルの地質の項で述べた通り、地表調査の結果から、放水口付近の一部を除いて比較的安定した構造を持つ粘板岩、スライト、タイヤベースが主体を占めているが断層、破砕帯の存在と湧水の懸念があることから掘削工法の選定に当たっては慎重に検討を加えられたが近年の大断面機械化施工の実績、労務者不足の対策、および工期的な面を視念しながらそれぞれ次の工法を採用することとした。即ち上口工事では延長も短かく工期的な余裕もあること、経済性、安全性を考慮し上半先達工法(天だし上半のベースは円心から15m下り)とした。又下口工事は延長が長く特に工期的に問題があるので、多少の危ぐはあったが全断面掘削工法を採用するものとし、一部地質不良区間のみ上半先達導坑工法

で掘進する計画とした。支保工は地質に応じて150H、175H、200Hを用い間隔も状況に応じて0.9～1.2mに建設するものとした。

(2) 主要設備について

上口工事については地下発電所搬入路トンネルが設けられたのでこの途中から放水路トンネルと結ぶ放水路作業坑を設け、すりの搬出その他資材搬入等にもこれを利用した。

下口工事はトンネルからの勾配の関係でトンネル終端から222mの位置に作業用斜坑を設けた。これにすり搬出用ベルトコンベアー、コンクリート運搬ほか資材運搬のためのインクラインを布設した。このほかコンクリートホッパー、充電室、ポンプ等も斜坑から分岐し地下に設置した。

坑内における掘削、コンクリート関係の主要な設備を表-4に示す。

(3) 掘削要領について

トンネルの掘削開始は上口昭和46年9月10日、下口が昭和47年1月29日に掘削開始し昭和48年7月7日に無事貫通することができた。

(4) エロ工事

全般的に堅固な岩質であったが、反面下目の滑面の存在や、チマート区間の湧水、岩質のvarietyの地質不良に水がつくなどがあり、崩落事故1件のほか2か所、

図-3 放水路トンネル縦断面図

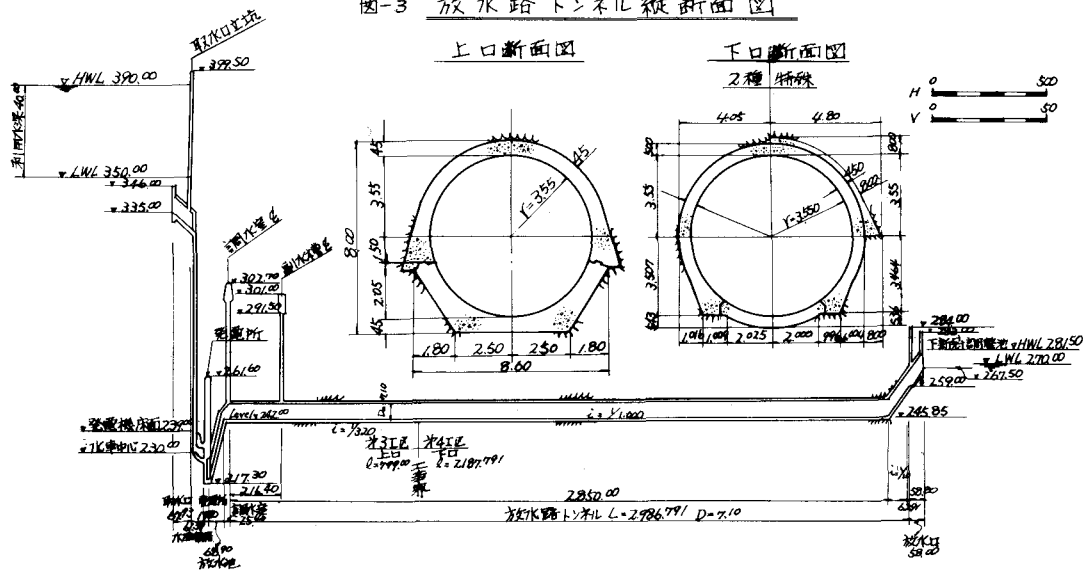


表- 掘削、コンクリート関係主要仮設備

区分	上 口 工 事				下 口 工 事			
	機械名称	仕 様	数 量		機械名称	仕 様	数 量	
掘 削 関 係	ブローリアクトラル ジャンボ	中5.500 高さ4.200 長さ10.00	1台		ジャンボ	16" H-11 中4.120 高さ5.500 長さ14.000	1台	
	サイドサショベル	D60S (小松製作所)	1台		ロッカー ショベル	KR-68 0.75 ^m / _{min} L9.714 ^m 75 ^{kw} / _{22"}	1台	
	バックホウ	0.6m ³	1台		トランス	100KW 300V/400V	1台	
	ディーゼルロコ	8t	3台		鋼 車	6.0m ³ L9.714 ^m / _m	20台	
	鋼 車	5m ³	2台		バッテリーカー	8t	4台	
	送 風 機	φ900 700m ³ /min	4台		キエリビーカー	エアーモーター 7.5HP	1台	
	モーターレール	3t	1台		送 風 機	φ900 700m ³ /min	3台	
					ベルトコンベアー	中1.000 長さ430.90 ^m / _{min} 250 ^{kw} / _{4"} 250KW	1台	
コ ン ク リ ー ト 関 係					ショベル	0.6	1台	
	アレスクリート	3m ³	2台		アレスクリート	6.0m ³	3台	
	ディーゼル	8t	1台		バッテリーカー	8t		
	スライドフォーム	上半 L=10 ^m / ₅₀₀	1基		アジテーターカー	6.0m ³	1台	
	"	下半 L=10 ^m / ₅₀₀	1基		スライドフォーム	全断 L=13.5 ^m	1基	
	鉄筋ジャンボ	L=5.00 ^m	1基		"	1バート L=43 ^m	1基	
	スライドポイント	N 型 30kg	3台		簡易スライドフォーム	全断 L=7.5 ^m	1基	
					鉄筋ジャンボ	L=12 ^m	1基	
					スライドポイント	S 型 30kg Y 型	1式	

延長約 30 m 区間にわたり、支保工変形による縫直しや増枠も行つた。またダム原石山直下約 100 m 余の深度で 100~150 t 突破前の掘削に際しての配慮(事前調査検討や、試験突破、本突破のさいの地下岩盤の振動調査実施…当社技報 No 195) など、数々の問題があった。

上半掘削には簡易ジャンボを足場として、レッカハンマー F-10 上級 4 台下級 4 台計 8 台を使用し掘削した。すり橋込み運搬は D60S のドーザーショベル 1 台 5 m³ 鋼車 4~5 台、8 t ディーゼルロコ 1 台ですりピン設備まで運搬トローラー機を使用して、すりピンにあげ、これを D60S ドーザーショベルでサンクに積替え坑外ダム盛立用仮置場に搬出した。

下半掘削は手前の作業坑側から始めた。削孔は CRD-5 クローラドリル 1 台、すり橋込みには 0.6 m³ バックホウ 1 台を使用した。運搬捨土は上半方法と同様である。

(ii) 下口工事

地質は露通点から TD 1600 m の約 800 m 区間は大半がスロライトで占められ一部キヤートの介在がみられた。これからトンネル終端までの約 1400 m 区間は

粘板岩を主体として一部が石英質のサイヤベース、スピライトが中 20 m~40 m で数カ所介在しており、トンネル終端付近 200 m を除いてこれら岩質は比較的堅固であり、又当初予想されていた断層破砕帯も深層のためいずれも縮小されていた。天下局部的には板状構造を失い鏡膚の発達した葉片状の岩石に変化している部分があり支保工のピッケで調整し施工には慎重を期した。トンネル終端付近 200 m は当初から地質不良が確認されていたので上半先遣工法で掘進した下半大首の掘進途中で約 15 m 向の突然の崩落をみ、この突破に約 1 ヶ月を要し工程上大きな支障となった。

トンネル掘削の突破を表-5 に示す。

表-5 トンネル掘削突破

	上 口		下 口	
	上半	下半	全断	1バート
孔 長(m)	799	799	—	
突 破 日 数(日)	237	56	383	
日平均進捗(m)	3.371	14.268	5.1%	
日最大進捗(m)	6.3	18.0	9.0	
月平均進捗(m)	66.58	399.50	131.13	

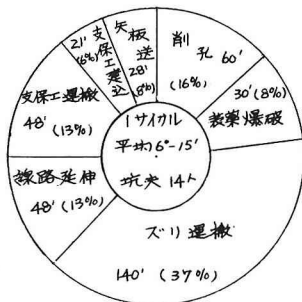
下口トンネル全断掘削平均タイムスタディーを表-6に示す。

トンネル標準削孔諸元を表-7に示す

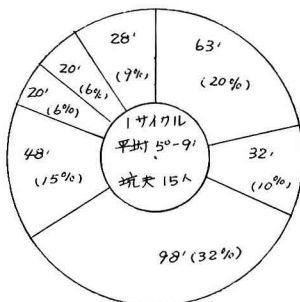
下口 16 連 シャンボ全景を写真-1に示す

表-6 全断掘削平均タイムスタディー

日進 6.0 サイクル



日進 7.5 サイクル



日進 9.0 サイクル

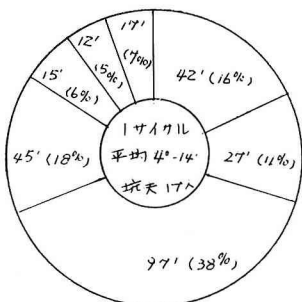
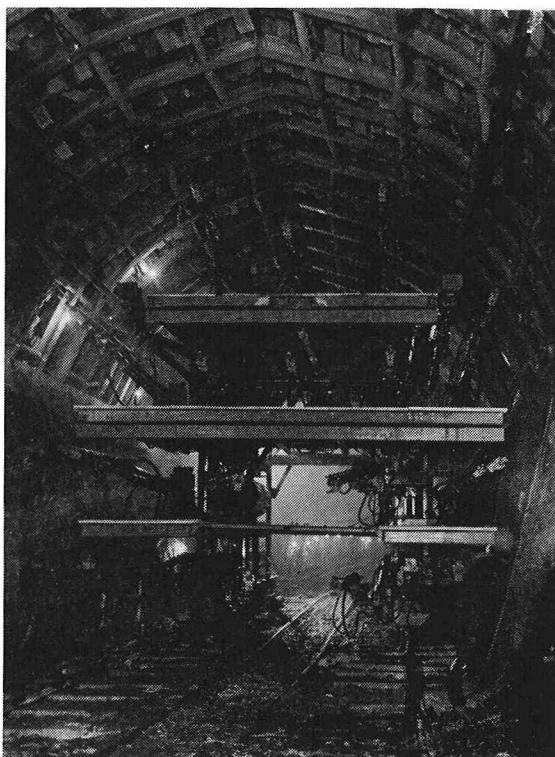


表-7 標準削孔

岩類	項目	上 口		下 口
		上 半	下 半	
粘 土	断面積	36 m ²	15 m ²	48.8 m ²
	孔 深	1.3 m	1.5 m	1.6 m
	孔 数	91 本	50 本	126 本
板 岩	進 行	1.2 m	10.0 m	1.5 m
	掘削量	43.2 m ³	150 m ³	73.2 m ³
	火 薬	50 kg	135 kg	58.6 kg
スベライト	断面積	36 m ²	15 m ²	48.8 m ²
	孔 深	1.3 m	1.5 m	1.6 m
	孔 数	120 本	50 本	164 本
輝 緑 凝 灰 岩	進 行	1.2 m	10.0 m	1.5 m
	掘削量	43.2 m ³	150 m ³	73.2 m ³
	火 薬	60 kg	135 kg	75 kg
岩	m ³ 当り薬量	1.41 kg	0.9 kg	1.02 kg

写真-1 16 連 シャンボ全景



(4) コンクリート

コンクリートは熟練したコンクリート業者が製造し、6^m積トラックミキサーで運搬、各施工業者へ供給した。

(i) エロ工事

上半断面のコンクリート巻立は、上半掘削切羽の約150m後方から掘削と併行して開始した。コンクリートの搬入は地表に設けたホッパーから副水槽に配管した6吋パイプにより坑内に設けたホッパーに搬入され、くわさく3^mアレスクリートに積替え運搬打設した。運搬は8本タイセルゴ工と軌条は掘削すり出しのものを用いた。スライドフォームは $l=10.5\text{m}$ 、1回打設量は約110^mである。進行は掘削との関係もあり月平均210mである。

下半断面コンクリートの巻立は、下半掘削の完了と同時に軌条の布設替えをして工事界より上流に向け打設開始した。搬入および運搬装置は上部巻立と同じである。スライドフォーム $l=10.5\text{m}$ で1回打設量は約70^mで、進行は月平均230mである。

とくに大断面の高圧水路トンネルで、上半巻立先行、下半インバート打設にさいしての打設目の問題があり、掘削開始時点で現場実験を行きなど種々検討し、その対策をたてた上で決定した。よりまでもなくこのような水路では全断同時打設が理想的な施工法であるが、経済性と工事工程上や機速（クラウトの項）の処理対策をしたりえ実施した。

打設目の施工図は図-4のとおり

(ii) 下ロ工事

全断（インバートを除く）のコンクリート巻立は斜坑交点付近50m上流側より開始した。コンクリートは斜坑口にてトラミキより6^mアゲターカーで受給、インクラインにて降下後斜坑途中に設けた9^mホッパーに投入、この下部で6^mアレスクリートに受替え8本バッテリーカーで運搬打設した。

巻立場所と全断切羽との距離は掘削機、鉄筋架台、軌条ポイント等の配置から最小200mは必要ではあ

りたが、巻立開始当初の地質不良および一時期の勞務者不足から切羽との差が650mにも達し掘削機の放置期間が長びくにより水離離状況の地圧が局部的に発生したため簡易フォームを足掘搬入不良箇所を重点的に巻立こことなきを得た。スライドフォームは $l=13.5\text{m}$ で1回打設量約180^mのもので、簡易フォーム $l=7.5\text{m}$ 打設量約95^mの2巻を用いた。

インバートの巻立は全断巻立が工事界に到達後直ちに開始の予定であつたが、予知の通りの鋼材不足の余波を受け、スライドフォームの現場到着が工程より2ヶ月近くの大遅れとなり、危機用ずみの全断フォームを改造増長し施工したが工程上大きな障害となつた。

インバートと全断との接合はスライドフォームの側縁から鉄筋ラッパがとれないので主として電着により接合した。

インバートコンクリートは打設当初全断コンクリート面との接合せなど種々問題がありたがフォーム部材の補強および改造する一方鉄筋勞務者との入替え増員等により解決を図りつつ現在も打設中でより良好の結果を得てきたが、打設目の処理については属心している。

インバートフォームは $l=43\text{m}$ で1回打設量は
(2頁へつて続く)

図-5 巻立コンクリート打設方式（下ロ）

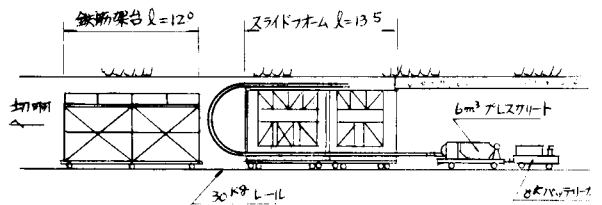
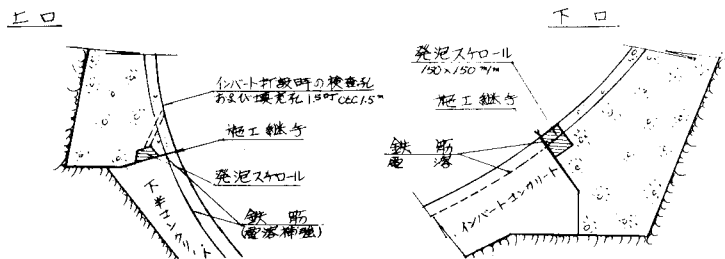


図-4 打設目施工図



表一 コンクリート打設サイクル表

下口工事

名	概	時	刻	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
日	打	設																										
	養	生																										
	型	枠	脱																									
	〃	移	動																									
	ケ	レ	ン																									
	型	枠	セ																									
	下	端	取																									
	地	板	取																									

上口工事

名	概	時	刻	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
日	打	設																										
	養	生																										
	型	枠	脱																									
	〃	移	動																									
	ケ	レ	ン																									
	型	枠	セ																									
	下	端	取																									
	地	板	取																									

写真-2 下口全断スライドフォーム

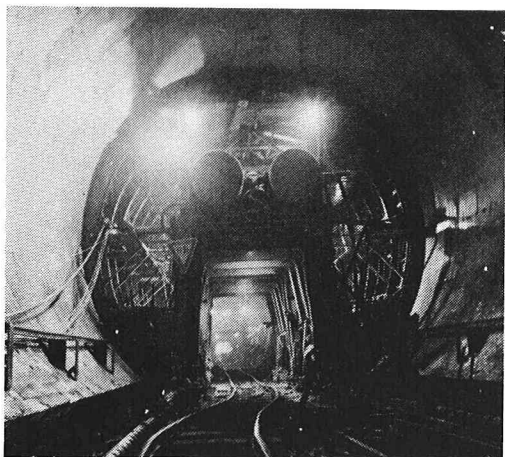


写真-3 インバートコンクリート打設状況(下口)

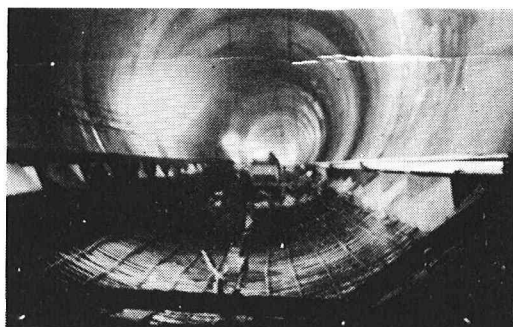


写真-4 上口上端スライドフォーム

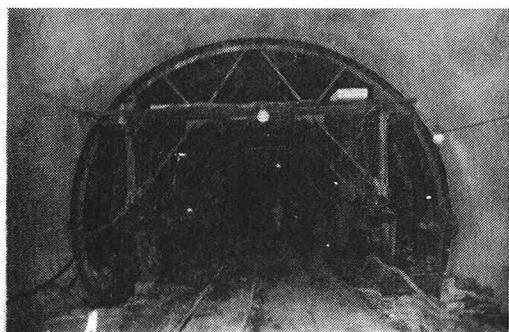
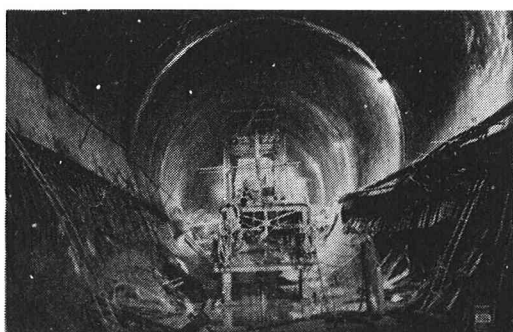


写真-5 下半コンクリート打設状況(上口)



約12mである。進行は現在途中までであるが、岩盤掘削清掃に右左されてるが約3日に2回の打設で進行している。

コンクリート打設方式を図-5に示す。

(5) カラウト

(i) 低圧カラウト

低圧カラウトは打設コンクリートと岩盤との空隙を充填し、巻立コンクリートに地圧を均等に伝達することを目的とする。

上口、下口両モルタルナラントは坑外の作業環境のよい地点に設け、このポンプにより注入モルタルを坑内に圧送した。トンネル内のモルタル輸送は注入ヶ所の距離に応じて中継ポンプ場を設けた。これによりモルタル圧送距離は、 $PXA-2A$ 22KW ポンプ、輸送パイプ2吋、注入圧5 $\frac{kg}{cm^2}$ で最大1200mまで圧送することができた。

注入は頂部に5m間隔に配孔している2吋パイプにより最終注入圧力5 $\frac{kg}{cm^2}$ に達するまで注入した。

下口では巻立コンクリートと併行して実施したため坑内がふくそりし飯取り害が多く、ロスタイムが非常に大きかった。

カラウト注入実績を表-9に示す。

表-9 カラウト注入実績

	トンネル	
	上 口	下 口
注入延長(m)	799	2,188
注入量実績(m^3)	1,997	3,550 (1636)
トンネル1m当り注入量(m^3)	2.5	2.18
支保工率(%)	100	100
突進日数	75	145 (1636)
1日当り平均注入量(m^3)	26.6	24.5

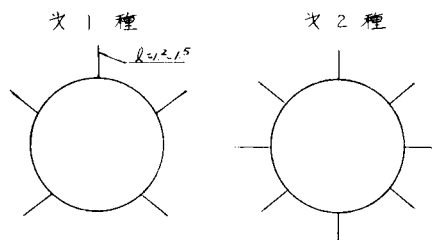
注 上口 下口共に途中までの注入実績である。

(ii) 高圧カラウト

高圧カラウトは現在上口、下口両板級飯取中であり、ここでは計画の概要のみ記述する。

従来高圧カラウトは地質状況、支保工建込み状況、作用水圧等から決定されている。当発電所の場合、型式がヘッドタイプであること、岩盤は比較的堅固であること、トンネルが下り池満水位以下40mに位置す

るので、通常の運転時には最大内圧約50mに対し問題はない。しかし逆に断水によるトンネル空虚時の不規則な外圧が懸念される。このため水の解決のため低圧カラウトにより極力空隙充填をしているがこれさうに完全なものとするためと、掘削時に生じた掘削面の表層のゆるみの締付けを考慮してここでは低圧カラウトの後押し程度を目的として、経済性をも勘案して孔長、孔数をきめた。即ち基本的には低圧カラウトの後押しであるが、これに掘削時の地山の実情、作用水圧等を加味して、孔数は2種、2種の2クラスとしピッチを3～6mに計画した。その注入孔の標準的なものは下図のとおりである。



インポート打継目に対する処置についてはコンクリートボンドなどによるコーキングや上下一体化をはかるためのカラウト等、今後実施するわけであるがとくに入念に行き予定であります。

お す び

トンネルのルートにのりでの地質調査は、当社としてはじめて実施する大断面のため、綿密な地質調査や航空写真、弾性波調査のほか問題となつた断層に対するボーリング調査など、道立地下資源調査所、鈴木守博士の指導のもと昭和41年～45年にわたつて行つた。その資料は掘削方針の決定、とくに下口トンネル約22kmの施工に当つては重要でかつ貴重なものであつた。深く感謝の意を表したい。

施工に当つては、上口は上半先達、下口は全断面と異なる施工であつたが、双方ともそれぞれ成功のうえに災もなく終了したことは幸いであつた。

紙数の都合により設計上のことは省略した。

おわりに、関係官庁、電力中央研究所の方々をはじめ関係各位の懇切なるご指導とご助力にたいし深く感謝いたします。