

新冠地下発電所の設計施工について

北 電 ○ 関 口 光 永 *
" 南 部 節 雄 **
" 尾 野 正 也 ***

ま え が き

日高一貫開発計画は、すでに昭和33年完成の岩知志発電所をはじめ7発電所、計168,000kwの開発を終えているが、8番目の新冠発電所はこの開発計画の中核となる北海道ではじめての揚水発電所であり、出力200,000kwと水力では道内で最大の規模。49年8月に一部100,000kwの転運を開始し、49年11月から全出力運転にはいる予定である。

とくに、新冠発電所は開発計画の中核として、下流の下新冠、岩清水、春別、静内の既設発電所の機能を十分に発揮させ、同時に静内増設(22,500kw)と双川(6,000kw)の開発をも経済的に可能とするばかりでなく、週間あるいは季節調整の可能な大規模ピーク甲発電所として、道内の全電力系統の最も重要なピーク供給力としての役割をになうこととなっている。

新冠発電所と下新冠発電所の間札内平下流十字峡(下新冠発電所から6km新冠川の上流)に建設されるが、そこに築造される高さ102.8mの新冠ダムは、当社はじめてのロックフィルダムである。

一方、発電所は揚水時の押込水頭をとる必要や地形、地質上ヘッドタイプによる経済性から完全地下式とされ新冠ダム右岸の地下に建設される。長さ508m、幅19.8m、高さ43.4mのこの地下発電所内には103,000kwポンプ水車2台、105,000KVA発電機2台が据えられ、完成時には最大使用量234m³/sec、有効落差99.6mで年間2億KWhの電力を発生することとなっている。

地下発電所の工事はアーチはもとより、本体の堀削を安全にかつ能率的に実施するには地質のは握、地山の挙動調査・支保工・側壁のコンクリート打設等に相関連し

* 北海道電力梯新冠建設所 第二土木課長
** 同第三工区長
*** 同 土木課付

た事項を慎重に検討しながら実施する必要がある。現在崩落もなく無事に最深部までの堀削を完了してドラフトの据付も終了し、あとはケーシングの填充や、バレルコンクリートなどを残すのみとなった。本文は主として地下発電所の設計施工において行なった諸調査解析、堀削工法についての報告をするものである。

表 一 1 計 画 概 要 表

発 電 方 式		ダ ム 式 式
流 域 面 積 (Km ²)		沙 流 川 117.8 新 冠 川 192.9 計 310.7
発 電 計 画	取 水 位 (m)	381.0(基準水位)
	放 水 位 (m)	270.0
	総 落 差 (m)	111.0
	有 効 差 最 大 (m)	99.6
	最 常 時 (m)	94.0
	常 尖 (m)	71.9
	使 水 最 大 (m ³ /sec)	234 (117×2台)
	常 時 (m ³ /sec)	15.81
	常 尖 (m ³ /sec)	88.00
	出 力 最 大 (KW)	200,000
揚 水 計 画	最 常 時 (KW)	—
	常 尖 (KW)	53,000
	電 量 年 間 (MWh)	235,745
	力 冬 期 (MWh)	100,775
	設 備 利 用 率 (%)	13.4
	総 差 最 小 揚 程 時 (m)	68.5
	落 最 大 揚 程 時 (m)	120.0
	全 程 最 小 揚 程 時 (m)	79.8
	揚 最 大 揚 程 時 (m)	121.85
	揚 最 小 揚 程 時 (m ³ /sec)	232 (116×2台)
貯 水 池	水 最 大 揚 程 時 (m ³ /sec)	74
	ボ 最 小 揚 程 時 (KW)	102,000
	入 最 大 揚 程 時 (KW)	102,000
	シ 満 水 位 (m)	390
	力 湛 水 面 積 (Km)	4.35
	池 利 用 水 深 (m)	40
	貯 貯 水 容 量 (10 ⁶ m ³)	145
	水 有 効 容 量 (10 ⁶ m ³)	117
	形 式	中央コア型ロックフィル
	ダ 高 さ (m)	102.80
池 ダ ム	頂 長 (m)	326.00
	体 積 (m ³)	3,060,000
水 路 延 長 (m)		2,986.791

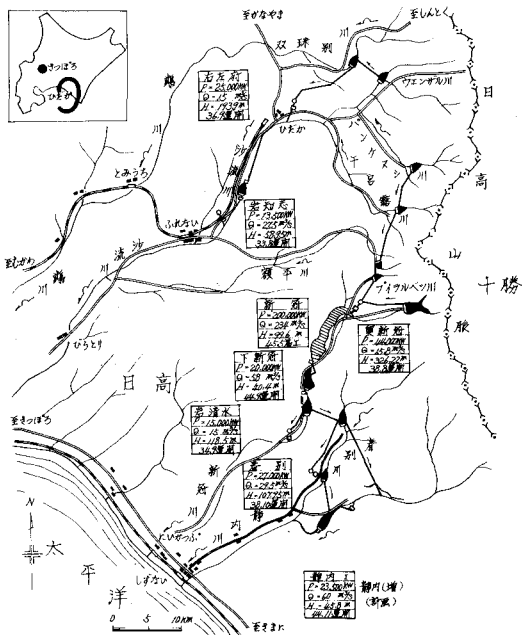


図-1 位置図

1 地質調査と発電所位置の選定

発電所はダムサイト右岸の山体中に位置し、発電所アーチ天端 E L 261.60 で河床から約30m低く、貯水池との岩盤の最小被りは約130mである。

地下発電所周辺の地質については、ダムサイトにおける詳細な地質調査と取水ロー水管路-発電所を結ぶ延長約200mの斜長孔ボーリングにより行ない、その概要を把握し、発電所の位置方向を一応決めた。この位置に対し直接斜坑などにより発電所内に試掘坑を入れて調査すべきであるが、発電所内試掘坑は搬入路トンネル到達後に行なう微調整用とし、当発電所では発電所天井 (E L 261.6 m) の上約40m余、河床付近の E L 305 m ダム試掘坑を発電所上まで延長し、ほぼクリット状に総延長390mの調査坑工事を実施した。岩質は、輝緑凝灰岩で内部に方解石の班点および細脈と、石英細脈を無数に伴っているのが特徴である。この輝緑凝灰石には暗緑色と暗赤褐色のものとが見られるが、一般に暗赤褐色のものが暗緑色に比して堅固である。走向はほぼN-S方向傾斜は60°-80°、岩盤はおおむねB~C h級の岩盤内にあるが一部にC m級岩盤が存在する見込みであった。

断層および割目の状態については図-2、図-3にし

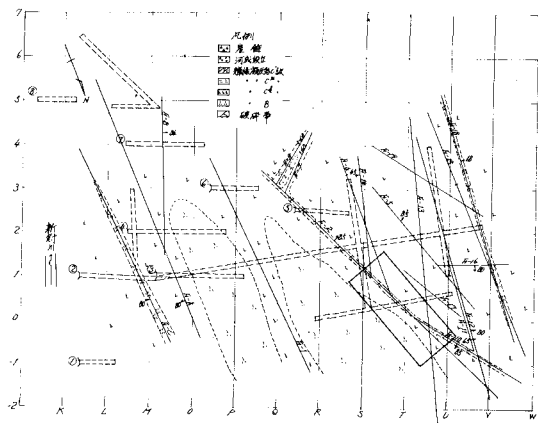


図-2 地下発電所地質平面図 E L 305 m

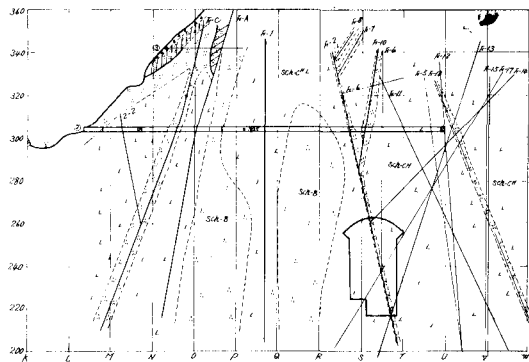


図-3 地下発電所地質断面図

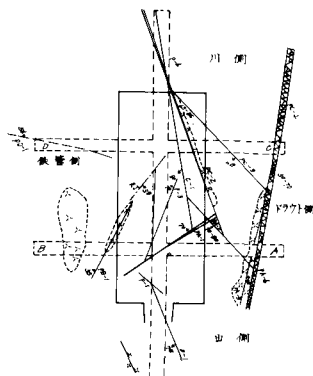


図-4 キの字調査坑 E L 239 m

めすように、この付近一帯に F1～F19 の中小規模の19本の断層が認められた。これらの断層およびこれに付随する破碎帯の巾は、いずれも1m以下であるが、特にF-2、F-10は湧水を伴っているので、発電所側壁に出すことを避けて、天井アーチで受ける位置に発電所を仮決定した。

これらの結果から考察すると、地下発電所の本体の大部分は新鮮かつ堅硬な岩盤であり、断層についても、その規模から判断して、十分な注意を払って施工するならば、地質上施工可能との見解に達した。

発電所の最終位置決定のためには、前記のように搬入路トンネルを発電所発電機盤 E L 239 m に入れる手前50

mより導坑で発電所の長手方向中心に延長し、図-4のようにキの字に調査導坑を開いて発電所本体をつつむ岩盤の断層、シーム、節理など詳細な調査を行なった。

その結果 F-2 断層は想定より多少ドラフト側にあったほか、中小節理が多数認められたが流れ目、差し目の状態や発電所に付帯する水圧管路、放水池、搬入路トンネルとの関連などを総合して検討の結果、側壁には大きな断層のかからないことを確認した。流れ目節理については、工事に当たってとくに慎重に実施すれば施工上致命的なものではないことと判断し、発電所の位置、方向は原案のままで実施することと決定した。

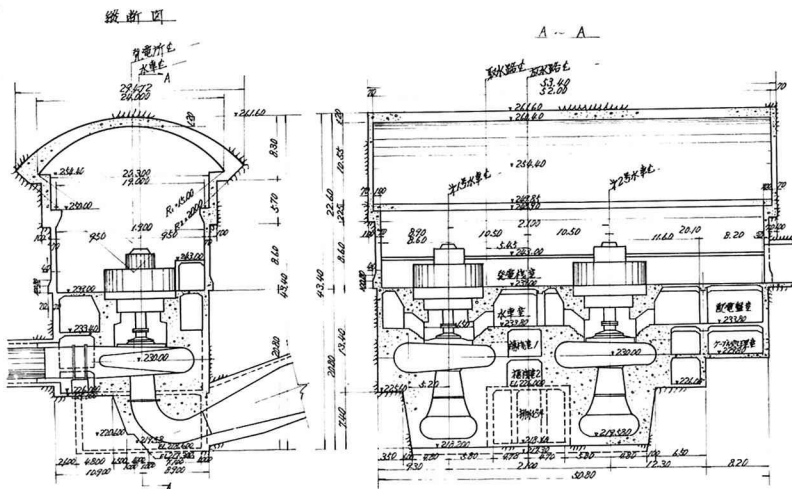


図-5 発電所基礎設計図

2 掘削時の岩盤と覆工の挙動解析

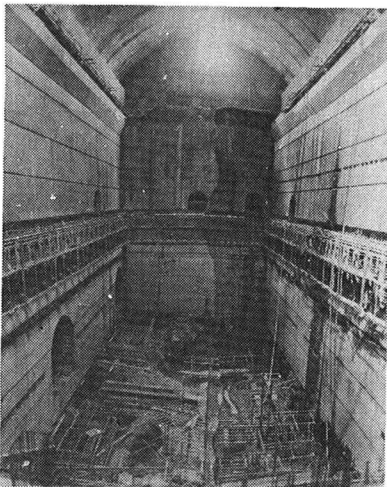
地下発電所大規模開削に当って適切安全な工法を見出すべく掘削による周辺岩盤の力学的安定性を検討した。

(1) 掘削前の周辺岩盤の初期応力測定

地山の初期応力は岩盤の比重や深さだけでなく、地形状態、地質構造、地殻変動の作用などに関係するため、現地での測定が必要である。そこで地下空間の掘削に先立って、初期応力を実測し設計に資することを目的とし中央電力研究所で考案した初期応力測定法により現地試験を行なった。試験箇所は E L 305 試験坑内の発電所位置付近とした。

測定方法は、図-6に示すとおり初めに $\phi 45$ mm ボーリングにより、所定位置まで削孔し、カールソン型歪計を挿入した後セメントミルクにて填充グラウトを行ない岩盤との一体化を計る。

次に $\phi 218$ mm オーバーボーリングにより応力を解放し



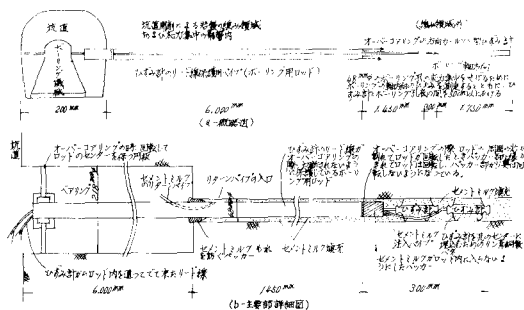


図-6 No.1号孔第2段目 解放ひずみ測定実施図

て、歪量を測定する。本測定法の特徴は、

- (イ) 測定用ボーリング孔の孔軸方向の歪を測定するため、孔軸に直角な面内歪の応力集中を避けることができる。
- (ロ) 試堀坑開削による応力集中や周辺の緩み領域をボーリングの延長を長くすることによって避けることができる。
- (ハ) カールソン型歪計を埋設するので、安定した測定値が得られる。
- (ニ) 応力の変換係数（弾性係数、ポアソン比）の信頼度が高い。

測定結果として水平方向は歪量 $\varepsilon_x = 140 \times 10^{-6} \text{cm}$ 、初期地圧 $\sigma_{x0} = -48 \text{kg/cm}^2$ 、鉛直方向歪量 $\varepsilon_y = 251 \times 10^{-6} \text{cm}$ 、初期地圧 $\sigma_{y0} = -62 \text{kg/cm}^2$ を得た。

この結果は、地形が平坦な場合によく用いられる地山被りと密度およびポアソン効果から求める一般的な算出結果と比較すると、水平方向では2倍、鉛直方向では2.7倍の大きさであった。これは、地表が平坦でなく斜面であることから、地山内部の主応力の流れが斜面に沿う方向に流れるため、地圧に関しては地山の鉛直方向の被りでなく、地山のさらに高い位置からの被り分が関係して地圧が大きくなったものと思われる。

(2) 有限要素法による解析

初期地山内部応力を用いて堀削時の周辺岩盤の力学的安定性について有限要素法により解析した。

(イ) 計算の種類

空洞周辺の地質状況に応じて計算は次の4ケースを行なった。なお堀削工程により5～6段階で堀削を完了するものとして計算した。

ケース1はアーチクラウンの上部に1本の断層がある場合。

ケース2は断層なし。

ケース3はドラフト側に断層が2本ある場合。

ケース4は断層がケース3よりも弱い場合とした。

(ロ) 岩盤の力学的性質

各ケースにより、現地に即応した物性値として次の値を用いて解析した。

(ハ) 計算結果

岩盤内の応力は各ケース共、ライニングコンクリートの山側のアバウトメント近傍の岩盤部分、および空洞底部の山側の隅角部に於ける応力集中が高い。ケース4の場合の応力が最も大きく約 $3,000 \text{ t/m}^2$ の圧縮となり、初期地圧が約 500 t/m^2 であるので応力集中係数にして約6倍である。また空洞山側の側壁の岩盤内部で 400 t/m^2 程度の引張応力の発生がみられる。これは、山側に存在する弱い断層のため生ずるものである。

表-2 岩盤とライニングコンクリートの力学的性質

計算ケース		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
初期地圧	破砕帯数	1	0	2	2
	水平方向 $\sigma_x (\text{kg/cm}^2)$	-150	-220	-210	-
	鉛直方向 $\sigma_y (\text{kg/cm}^2)$	500	500	500	500
	せん断応力 $\tau (\text{kg/cm}^2)$	2	40	100	100
岩盤物性	変形係数 $D (\text{kg/cm}^2)$	2.0×10^4	2.0×10^4	2.0×10^4	2.0×10^4
	ポアソン比 μ	0.25	0.25	0.25	0.25
	せん断力 $\tau_R (\text{kg/cm}^2)$	250	250	250	250
	摩擦係数 μ	0.1	0.1	0.1	0.1
	摩擦係数 μ	0.16	0.16	0.16	0.16
	変形係数 $D (\text{kg/cm}^2)$	0.6	0.6	0.6	0.6
	ポアソン比 μ	0.1	0.1	0.1	0.1
	せん断力 $\tau_R (\text{kg/cm}^2)$	2	2	2	2
岩盤	摩擦係数 μ	0.1	0.1	0.1	0.1
	摩擦係数 μ	0.16	0.16	0.16	0.16

図-7 発電所 $h/2$ 堀削時点の岩盤およびアーチライニングの応力図

堀削に伴う岩盤の変形は各ケースでの空洞堀削完了時における水平および鉛直変位は、地質条件等により当然変位も異なるが、側壁の水平方向のはらみ出しは、断層のある山側よりのはらみ出し量が、川側のはらみ出し量よりも大きい。側壁のはらみ出しは堀削の進行とともに

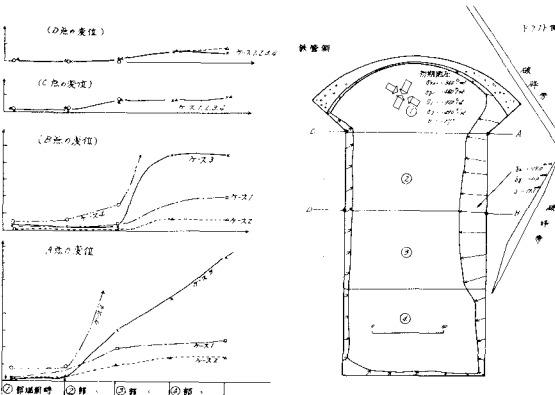


図-8 各堀削段階に於ける側壁岩盤水平変位図

図-9 ケース3の最終堀削時の側壁岩盤変位図

	水平変位		鉛直変位	
	川側	山側	アーチアウアン	最低部
ケース-1	1.4 mm	-1.4 mm	-1.5 mm	1.8 mm
ケース-2	5	-5	-2.2	3.8
ケース-3	4.0	-1.9	-4.0	3.7
ケース-4	0.4**	-2.5**	-1.5	2.7**

表-3 堀削完了時の最大変位

に増大するが、第3段階あたりでののはらみ出しが顕著であり堀削はこの時点で特に注意を払った。

また初期地圧が鉛直より約30°傾いているため、空洞はいわばねじられるような変形を示す。

Ⅲ ゆるみ領域の分布

各堀削段階でのゆるみ領域（ポアソン比が0.45以上の領域）を図-10に示す。ケース1とケース2を比較す

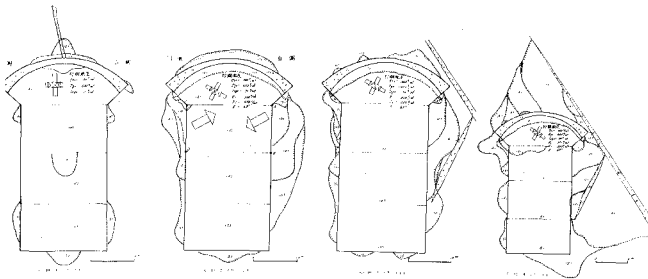


図-10 各堀削段階に於けるゆるみ領域

ると、ケース2の方がゆるみ領域は大きい。これはケース2の場合、初期地圧が偏圧となって作用していること、および水平方向成分がケース2の方が大きいことによると思われる。ケース2の場合側壁のゆるみの幅はドラフト側で約8%である。ケース3、4はさらに断層の影響が加わったものである。

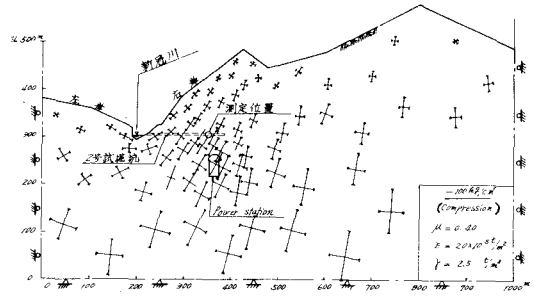


図-11 初期地圧分布図（ポアソン比0.4）

以上の解析結果より当発電所の場合はケース2に近いものと考えられ、工事はケース2に対応して計画実施した。

3 堀削方法

地下発電所の堀削はトラックシステムで搬出することとし、図-12に示すようにアーチ切掘げのためのアーチ作

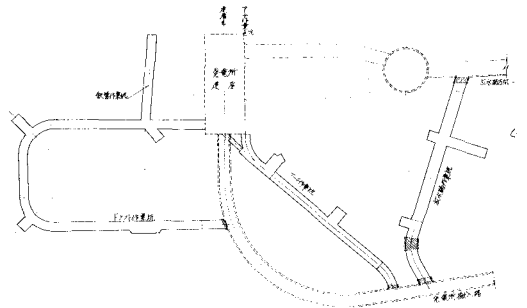


図-12 各作業抗施工図

業坑と、礫出し用のドラフト作業坑の2本を機器搬入路トンネルから分岐して設けた。本体の堀削礫処理には、中間の搬入路トンネル延長の本体内容導坑をも並行利用した。

(1) アーチ部の堀削

天井アーチは巾27m、外巾29.5mの大スパンである。その堀削は、工程上から長手方向に2分割で堀削することとし、アーチ作業坑よりアバット導坑を延長し1/4点、3/4点を通る横断導坑を通じて西側にアバット導坑を切開くのに並行して中央に頂設導坑を設ける3心導坑堀削方式をとった。

さきに実施した地質調査により判明しているF-2、F-10断層が発電所長手方向のアーチ天端中央にあるため、堀削には慎重を期し、アーチコンクリートは巾3.6mと3mの組合せ15ブロックに分割して打設することとした。すなわち第1回目の切払は最少限巾の約6mとし、コンクリート打設後に隣接するプロ

なお、堀削の支保工には、岩盤のゆるみをささえるためロックボルトP=12t、 $\ell=3\sim5m$ 、 $\phi 24$ を1.6m/本程度配置して岩盤の崩落を防止した。さらに崩落の危険のあった個所にはH鋼矢板掛けをロックボルトで締付ける工法やパイプジャッキによる一時押えなどの工法もとった。

使用機器はレックハンマー5～7台、ドーザーショベルD50S1台とし、アバット導坑とドラフト作業坑を結ぶグローリーホール($\phi=2m$)4本にそれぞれ投入し下部礫ビンにはドーザーショベルD50S1台、ダンプトラック8ton4台で搬出した。

コンクリート巻立は、天端導坑をアーチ上端堀削線上0.7m上げたものとし、この中に6吋コンクリートポンプの配管を行ない、コンクリートを打設した。

(2) 本体部の堀削

発電所付近の地質については、全体が輝緑凝灰岩でありCh～(Cm)クラスの岩質であることを握して天井アーチから堀削を開始したが、アーチ中央におさめたF-10、F-2の断層以外には顕著なものはないが中小の節理が無数にあり、なかにはシーム状のもの、水のついた節理もあることなどが認められたため、本体の堀り下りに当っては慎重な対策が必要であった。

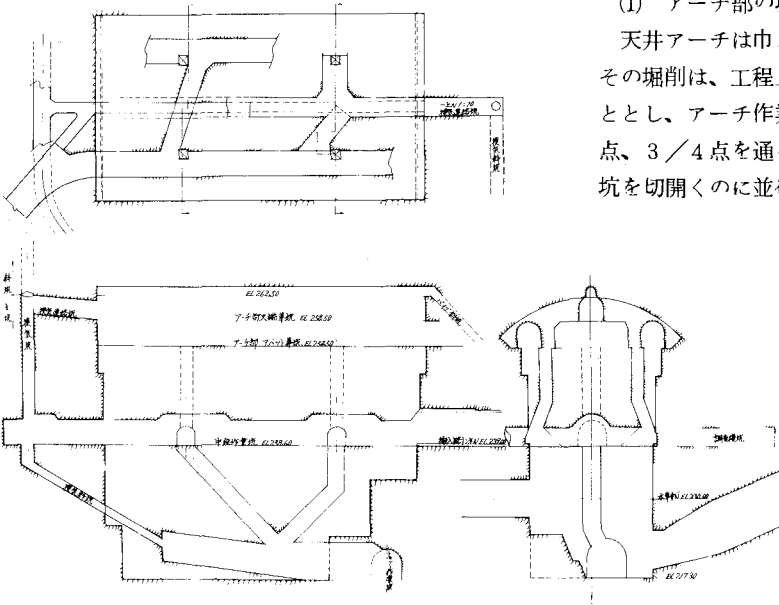


図-13 堀削工法図

ックの切払堀削を行ないこの部分のコンクリート打設に並行して反対側の堀削を行なう方式を図-14のように実施した。

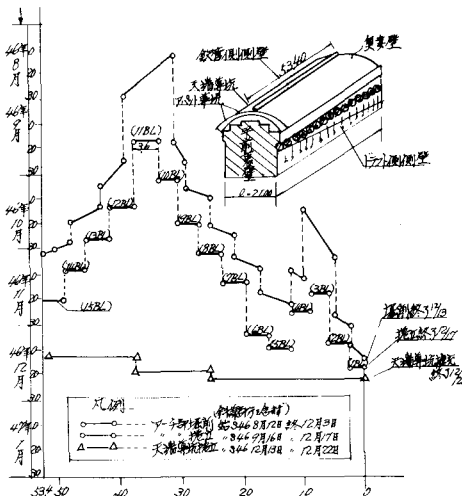


図-14 発電所アーチ堀削及びコンクリート巻立実績図

堀削に当ってはアーチライニングのための切払はどのように最少限巾とし切払後直ちに打設する方針のもとに、ライニングを7日サイクルの軌道にのせることができた。

そのため、基本的には次表のような方針をたてて実施することとした。

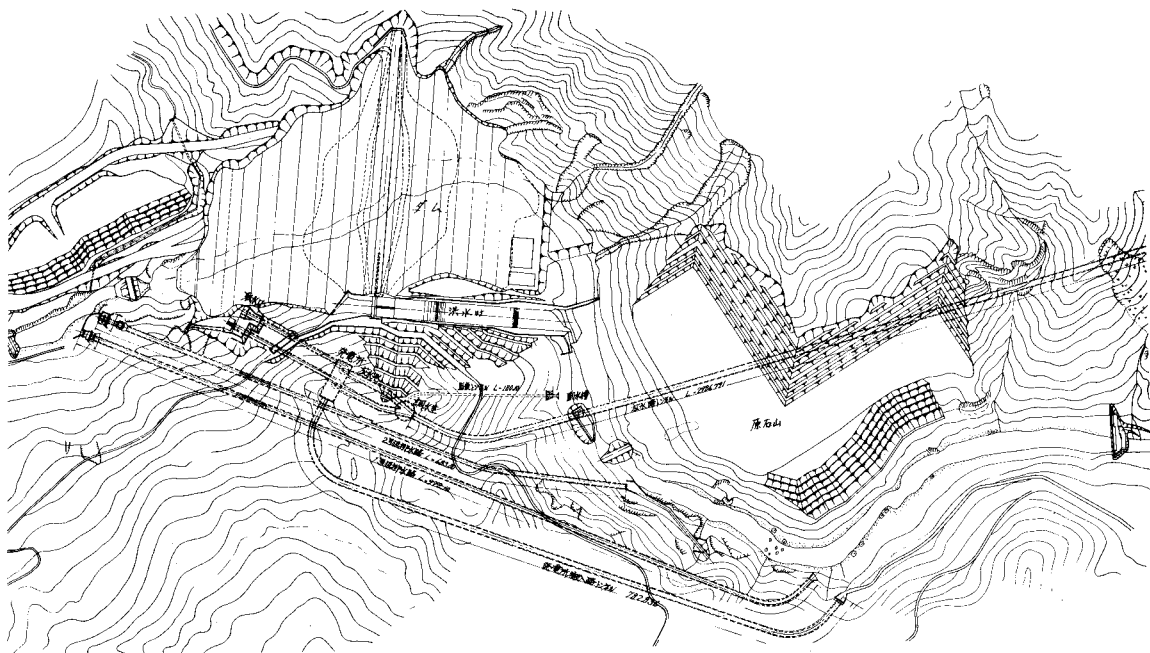


図-15 一般平面図

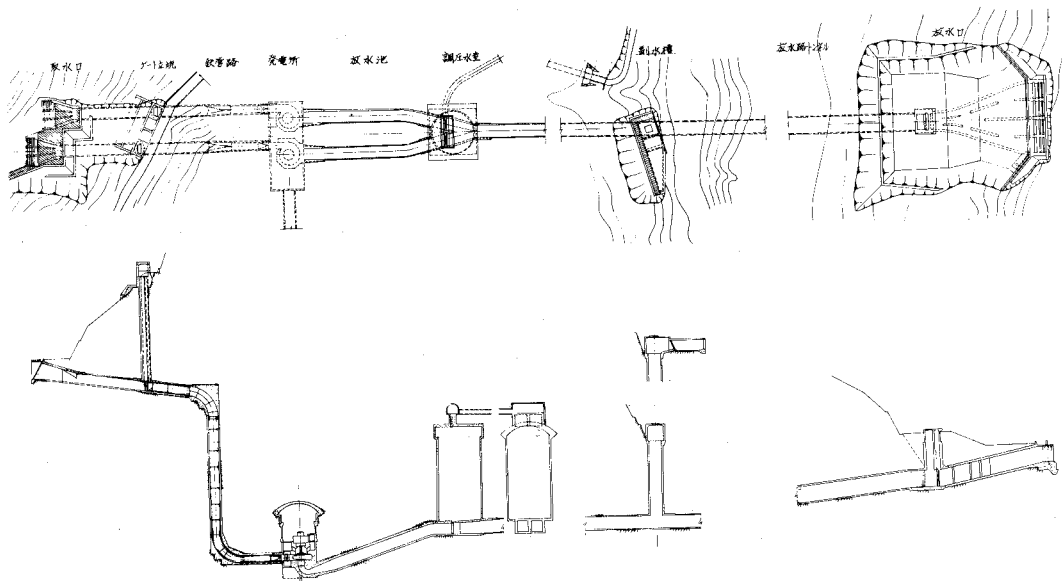
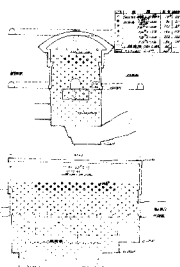
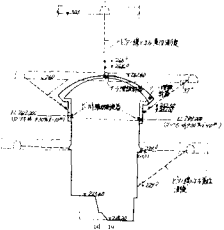


図-16 発電所付近設計一覧図

基 本 方 針	そ の 対 策 と 実 施 例
① 岩盤の初期のゆるみをできるだけ早く押える。 	(イ) 堀削毎直ちにロックボルトやアンカーバーを打ち込む。 アーチアバット基礎部はとくに慎重に強力に実施した (ロ) 側壁コンクリートを1次、2次、3次と逆巻工法をとり各段階毎にコンクリート打設し、コンクリートの表面から所要所に50t ロックボルトや130 t S E Eワイヤーにより締付ける。 (ハ) 3次側壁コンクリート部には、一部にモルタル吹付も実施した。
② 掘下りに伴い、側壁岩盤の地質調査を綿密に実施 	(イ) 事前に実施した発電所周辺の地質調査図に関連させながら堀削後あらたに発生したゆるみ節理などの走行・傾斜を入念に測定した。 (ロ) 流れ目節理・シーム状または水のついた節理に対してはとくに入念にロックボルトの実施または追加を行なった。
③ 岩体の挙動を測定によって常時監視する。 	(イ) 天井アーチにはE L 305 台調査坑から歪計を設けてアーチ堀削時に監視した。 (ロ) アーチアバット部および発電機室台(E L 239) 附近に歪計を設けて監視した。 (ハ) アーチアバットおよびE L 239 附近側壁に打込んだロックボルトおよびS E Eワイヤーの緊張力の進行を監視するためのストレインゲージによる歪計を設けて常時測定した。
④ 側壁部岩盤の崩落に対処するため、締付用の周辺通路をあらかじめ設け、緊急時に対処することとした。	側壁部岩盤の挙動は下方への堀削進行によって上部がゆるんで来る。崩落事故の実績からも明白である。このように堀削盤が下ってから、その上部の側壁に異状な歪を発生した場合、その復旧工事は、工程の遅れはもとより復旧費も多額にのぼることが明らかである。このため、後述の湧水処理用の排水坑を利用し、(側壁岩盤の挙動監視用をかねる)、排水坑側からのS E Eワイヤーによる締付けを可能なものとした。
⑤ 発電所に隣接する工事の先行実施	発電所本館に隣接する水圧管路、放水池、ケーブルトンネルおよび周辺通路の堀削発破は極めて大きく影響するので、本体の堀削前にできるだけ早く実施することとした。とくに水圧管路の立坑部導坑は本体堀削の本格化する前に終了させて、切牱の影響をできるだけ少なくするようにした。ケーブルトンネル、周辺通路も同様。なお水圧管路、放水池の取合部は掘り下り以前に貫通させ仮巻コンクリートを打設して補強した。

あ と が き

地下発電所を中心に工事の概要を述べたが、このほか
工事中の発電所周辺の排水計画、換気についても述べる予定
であったが紙数の都合で省略することとしました。以上は
工事の施工を主としたものにまとめましたが、地質調査
や掘削時の岩盤と覆工の挙動解析については、全面的に
電力中央研究所にご依頼し、工事中その資料を常に
参考にしながら、また施工に当った佐藤工業（KK）の
諸氏のご協力を得て、慎重に実施したため、幸い一度の

崩落事故もなく完成できました。未筆ながら工事着工前
の調査から工事中にわたってご指導とご助言をいただい
た電力中央研究所の諸氏、工事に当って側面的にご援助
を賜った方々に対し、感謝の意を表します。