

表-1. 計画概要

発電計画	最大	230 万
使用水量		112.5 m
落差		104.5 m
有効落差		20 万 kW
取水口	選択取水式	
幅×高さ×長さ		31.5 m × 54.5 m × 22.5 m
圧水管	埋設式	257.3 m (平均長)
内径×条数		(5.4 m ~ 3.9 m) × 2 条
管厚		16 ~ 24 mm
発電所	地下式	
幅×高さ×長さ		21.0 m × 43.3 m × 57.5 m
制御室	水口型	
内径×高さ		(24.0 m ~ 20.0 m) × 65.2 m
放水口	円形圧力トンネル	1,581.8 m
内径×条数		7.0 m × 1 条
幅×高さ×長さ		33.0 m × 18.5 m × 65.0 m
ポンプ車	立軸斜流型ポンプ水車	2 台
容量		105,000 kW/台
発電機	立軸交流同期発電電動機	2 台
容量		105,000 kVA/台

計画サイトを含む周辺の地質は、先白亜系の火成岩と堆積岩よりなり、地層は一般的に N5°~40°W/40°~90°NE 方向を示し南北系の褶曲軸をもつ褶曲と、東西系・南北系の断層が卓越している。

地下発電所付近地質の平均的な広がり調査した後に予定位置へ垂直および傾斜ボーリングを行い、立体的な地質構造を把握した。当地域は神居占潭帯の西側に位置し、断層運動や褶曲運動等の構造運動を受け地質構造が複雑であり、低度の熱変成を受けたクラッキーな輝緑凝灰岩類および軟質な輝緑凝灰岩類・チャート・粘板岩等の互層が見られ、両

者は幅 1~3.6 m 比較的規模の大きい F~K 破碎帯によって境されている。この破碎帯は、硬質緑色輝緑凝灰岩と緑色輝緑凝灰岩・赤色輝緑凝灰岩・チャートなどとの境界をなしている断層で、その方向は N60°W/70°NE であり、連続性が大きいことや断層転位を伴っているもので、物性が異なる岩盤を境しているのでクラッキーではあるが、比較的一様な輝緑凝灰岩類の岩体中に位置を選定した。

3. 地下発電所の設計

3-1 概要

地下発電所は、前記調査で得られた地質および諸試験の結果から

① 比較的規模が大きく連続性が明らかな F~K 断層から発電所を離し、岩級として C_m~C_h でかつ一様な岩体が推定される現位置とした。

② 湛水後、貯水池からの漏水が懸念されるため地山被りが 150 m 以上となる地点とした。

③ 取水口から放水口までの水路系の設計に無理のない位置とした。

④ 2 台の主要変圧器は屋外とし、地下発電所容積の縮小を図った。

表-2. 調査概要

調査項目	調査数量
横坑	2 坑 710 m
ボーリング	16 孔 1,270 m
変形試験	4 箇所
せん断試験	4 箇所
初期地圧測定	3 測線
透水試験	11 孔

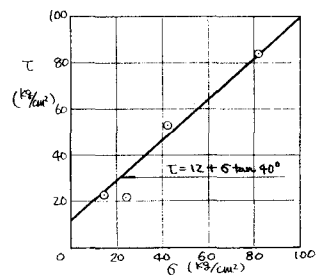


図-2. 岩盤せん断試験結果

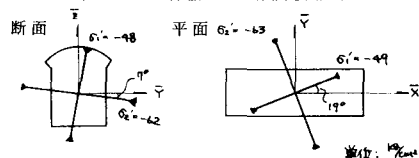


図-3. 初期地圧測定

表-3. ジャッキ試験

	変形係数 D (%)	接線弾性係数 Et (%)	割線弾性係数 Es (%)	クリープ率 (荷重時) α (%)	クリープ率 (除荷後) α' (%)
平均	29,900	67,200	49,000	21.6	11.2

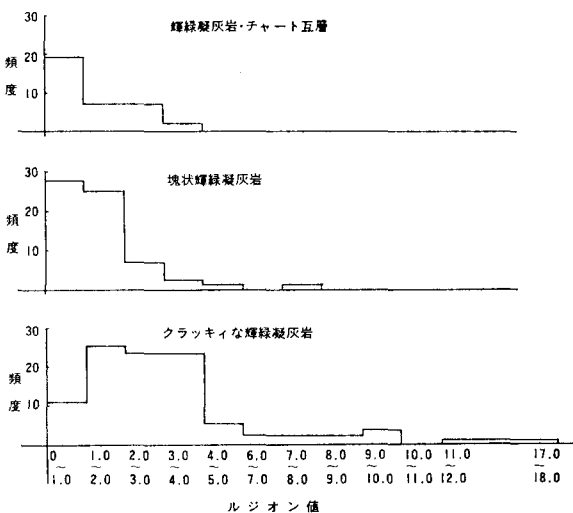
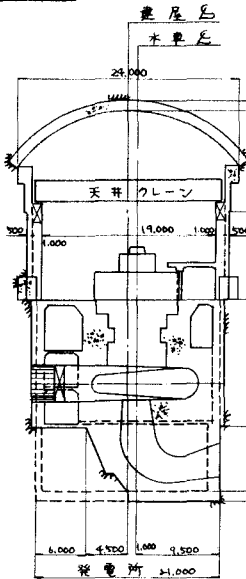


図-4. 地下発電所における各岩盤ごとのルジオン値の頻度分布図

- ⑤ アーチ部の形状は、F.E.M.解析結果からライニングを等厚とし、アーチアバットのあごのくいこみを少なくすることにより側壁岩盤のゆるみを軽減した。

図-5に発電所設計図を示す。

縦断面図



横断面図

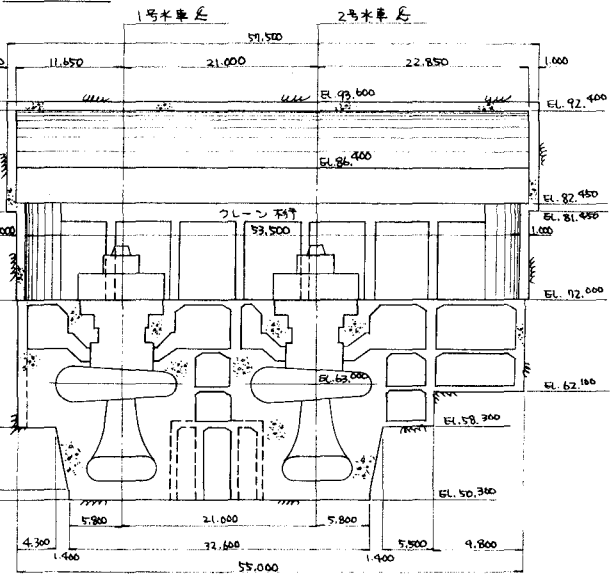


図-5. 発電所設計図

また貯水池に湛水後、地下発電所へ集まる湧水は揚圧力や静水圧のために岩塊から伝わる垂直力が軽減されたり、粘着力や内部摩擦角等の物性値低下により安定が悪くなるものと考えられるため、発電所を取巻く位置で3断面(EL. 141 m・88 m・72 m)に周辺排水坑を設け、側壁コンクリートに排水パイプを設置して浸潤面の低下や間隙水圧の低減を図り、空洞の安定を確保した。周辺排水坑は、上記排水のほか側壁多段変位計設置・P S工による側壁補強のため、ゆるみ領域を避けた位置に計画した。

3-2 地下空洞掘削解析

地下発電所の掘削に先立ち設計・施工の資料とするため、(財)電力中央研究所の協力で有限要素法(F.E.M.)による粘弾塑性解析(異方性)を行い、解析の結果、ゆるみ領域・変位は図-6のとおりである。

なお空洞解析に使用した岩盤物性値を、表-4に示す。

表-4. 空洞解析に用いた物性値

項目	岩盤物性値
変形係数の初期値 D_0 (MPa)	CL 30,000 ~ CH 90,000
ポアソン比の # ν_0	0.3 ~ 0.25
せん断強度の # τ_0 (MPa)	1.4 ~ 3.72
クリーブ係数 α	0.8 ~ 0.5
# β (day ⁻¹)	0.5

前記調査のうちオーバーコアリング法で得られた初期地圧の結果から、空洞断面に加わる側圧係数は1.24となり、本体壁面のはらみ出しが大きくなることが予想されるので、さらにF.E.M.解析によるゆるみ領域内の岩盤がすべり出そうとするのをP O

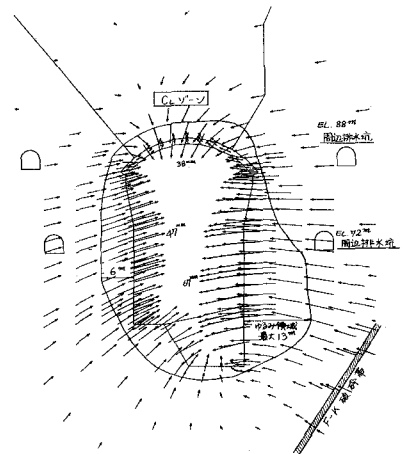


図-6. ゆるみ領域および変位

鋼より線で補強することとし、自重を考慮したすべり安定計算を行い、水圧管路側で 2.4 ～ 3.9、放水池側で 1.3 ～ 2.9 の安全率が得られた。

補強の方法は、P C 鋼より線の打設ピッチを 1.5 m 方格とし、緊張導入力は E L 72 m より上部は 40 t 下部は 20 t である。

側壁補強の断面を、図-7 に示す。

4. 地下発電所の施工

4-1 概 要

現在地下発本体を施工中で、E L 74.7 m に達しているが、この施工にあたっては地下発周辺の地質条件・空洞解析結果等から、次の点を考慮した。

- ① 発電所の掘削は、全て NATM 工法を採用し、薄肉コンクリート・吹付コンクリート・ロックボルト・岩盤 P S 工を支保とした。
- ② 掘削屑の搬出は、全てトラックスシステムとし工程の確保に努めた。
- ③ 発電所に接続する諸トンネルの取合部は、空洞の安定に悪影響を与えないよう先行掘削し、仮巻コンクリート、低圧グラウトで補強を図った。
- ④ 本体掘削は、スムーズプラスチングにより壁面の損傷を防ぐとともに、逆巻工法で側壁コンクリートを打設し、コンクリート表面から P C 鋼より線で緊張し、確実性を増した。
- ⑤ アーチアバット部および発電機床盤の側壁コンクリートを早期に打設し、周辺排水坑と P S 工で緊張して岩盤のゆるみを極力防止した。このほか、地下発電所へは発電機床盤 (E L 72 m) に搬入路トンネル (延長 675 m) を取りつけ、このトンネルから分岐してアーチ部へ向かうアーチ作業坑、発電所最深处へドラフト作業坑を掘削した。搬入路トンネルは、重量物の搬入・換気・保守点検用に使用する。このほか、鉄管路下部水平坑・放水池トンネルをそれぞれ発電所掘削前に完了させ、仮巻コンクリート・低圧グラウトで、補強を図った。施工順序の概要を図-8 に示す。

4-2 アーチ部の施工

アーチ作業坑の掘削完了後、頂設導坑 (5 m × 5 m 矩形) と底設導坑 (幅 3.8 m × 高 4.5 m 上半円下部矩形) 2 本を掘削開始した。これらの導坑掘削は、全てトラックスシステムとスクローラジャンボで行い、トラクターショベル・ダンプトラックによる礫搬出後、速かにアリバーにより吹付コンクリート・ロックボルト打設を行い、1 次覆工とした。

切掘げ掘削は、全長 54 m を 15 ブロックに分割し 1 ブロック 3.6 m で行い、鋼製スライドセントルでアーチコンクリートを打設した。しかし地質は O₈ 級を介在し予想より悪かったため、全面接着型のロックボルトを増打ちし、溝形鋼・金網入りの 2 次覆工吹付コンクリートを実施することとしたほか、アーチ上部岩盤のボーリングを行い O₈ 級岩盤の分布を調査して、この弱層域を考慮した掘削解析を再検討した。

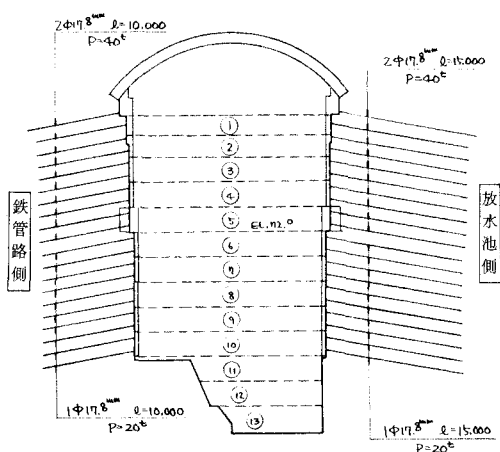


図-7. 側壁 P C 配置図

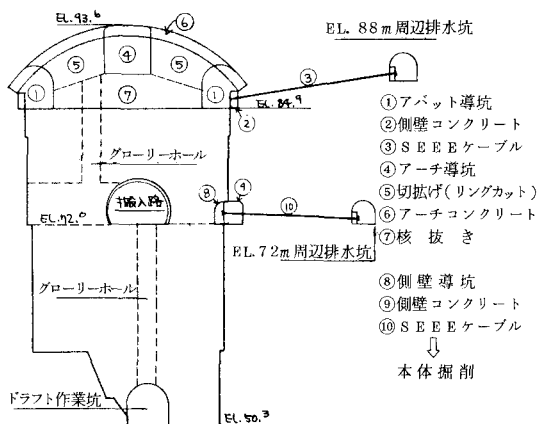


図-8. アーチ部施工順序

他地点の地下発電所に比べて空洞掘削後の予測変位も数倍となっており、原案の本体設計で施工するのは、構造物の安定上危険なので、以下の項目について設計案を変更した。

- ① 天井クレーン桁以下の妻壁形状を、アーチ形状とする。
- ② 本体掘削に先行してE L 72 m 盤側壁に、先行導坑を掘削し周辺排水坑とP S 工で緊張して、側壁のはらみ出しを抑止する。
- ③ 本体掘削は、1 リフト 2.7 m とし側壁コンクリートを逆巻きで施工し、順次P C 鋼より線で緊張する。

アーチコンクリートの打設・核抜き掘削をサイクル的に施工するほか、ゆるみ領域の発達を抑止することと、地下発本体掘削の進行につれ水平力が増大するので、アーチの変形を拘束し側壁のはらみ出しを少なくするための低圧グラウト・アーチ全面およびアバットにコンソリデーショングラウトを実施した。

頂設・底設導坑も取合部の一部を、閉塞あるいは巻立先行するとともに低圧グラウトを実施した。
この作業とあわせて両妻壁のコンクリートを打設、P C 鋼より線にて緊張しアーチ部の施工を終了した。

4-3 本体掘削

本体掘削は、高さ 34.6 m を 13 リフト (1 リフト 2.7 m) とし、平面的には 6 ブロックに分割した。

盤下げは、ベンチカット工法で仕上げ面から 1 m 離し、壁面仕上げはジャイアントブレーカーで行った。

壁面仕上げの終わった箇所から順次逆巻側壁コンクリートを打設し、養生後P C 鋼より線を緊張して側壁補強とした。P C 鋼より線は、岩盤の挙動に対応でき施工

性もよく、φ17.8 mm とした。

当所は、前述したとおり地下発電所としては地質が悪く、1 次注入による定着部と、セメントミルクの 2 次注入部からなるボンドタイプとして、付着力の向上を図った。

5. 計測

地下発電所掘削に伴う空洞周辺岩盤の変位・アーチコンクリートの応力度・岩盤 P S 工に作用する荷重等を経

表-5 計測項目

位 置	測定項目	測定計器	測定点数他
アーチ部	岩 盤 変 位	多段変位計	3 断面 12 点
	コンクリート 応 力	鉄筋計, ひずみ計, 無応力計, 温度計	5 断面 83 点
側 壁 部	岩 盤 変 位	多段変位計	3 断面 46 点
	ロックアンカー 荷 重	センターホール型ロードセル	3 断面 50 点
	岩 盤 亀 裂	ボアホールテレビジョン	4 孔
空洞形状	内空スパン 変 位	コンバージェンスメジャー	3 断面 12 測線
ゆるみ領域内の岩盤	変 位 測 定	4 成分応力セル	3 孔 12 成分

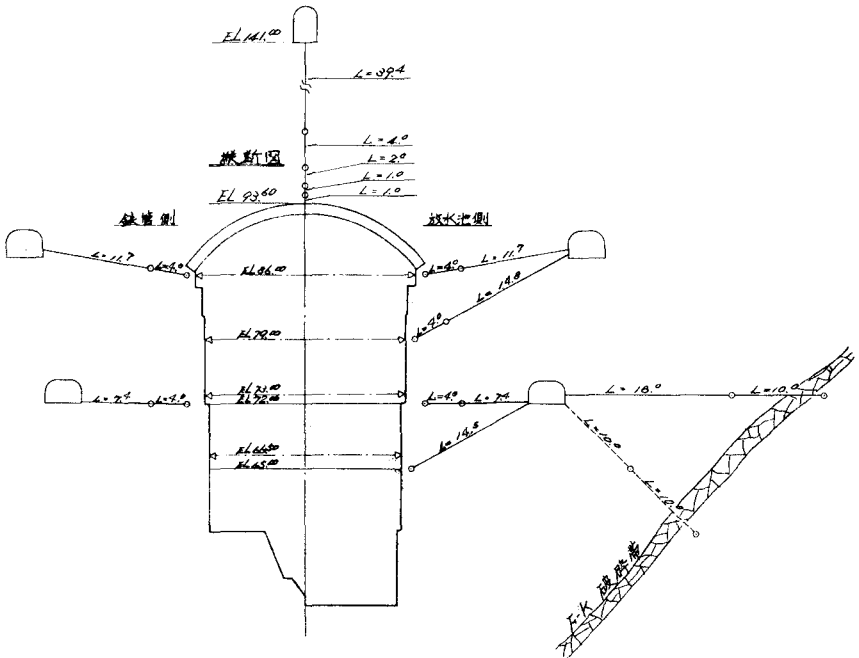


図-9. 計測計器設置図

時的に計測し、施工管理の万全を図るとともに、予測しがたいローカルな地質不良に起因する不安定要素を補完して、その対策を施工にフィードバックするため、表-5に示す計測項目を、図-9、10の配置で実施している。

現在、本体掘削中であり側壁に関する各計測値も変化しているが、盤下げも約30%と掘削の途上であるので、ここでは変化の落ち着いたアーチ部の代表的な岩盤変位を、図-11に示す。

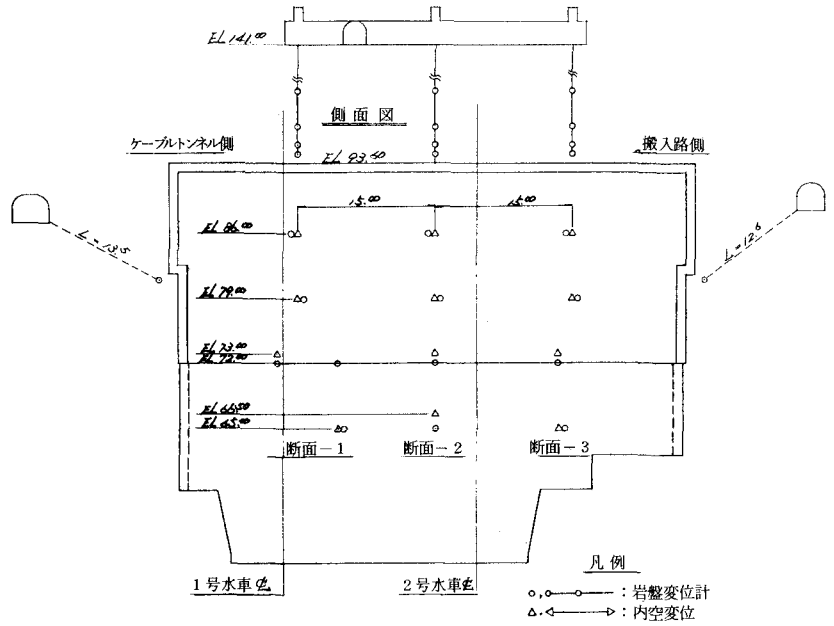


図-10. 計測計器設置図

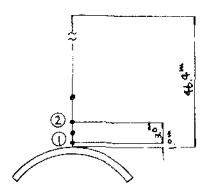
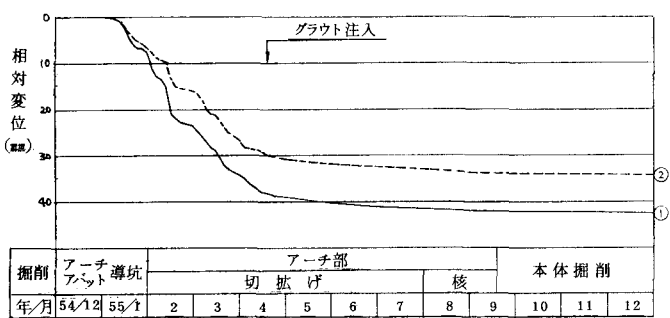


図-11. アーチ岩盤変位計測定
(A2断面)

6. あとがき

高見発電所は現在建設中であるが、そのうち地下発電所の設計と施工の一部について、概要を述べた。
当発電所は、比較的軟質な岩盤中に建造されることが特色であり、今後地下空洞の安定確保に一層の研鑽・努力を要するところである。他の軟質岩盤の地下構造物工事に参考になれば、幸いである。

参考文献

- (1) 井上 大栄；電力中央研究所報告 378501，昭和53年7月