

四国電力(株)

四国電力(株)

四国エンジニアリング(株)

矢野健三

正員 ○ 武山正人

正員 草薙悟志

1. まえがき

地下発電所を掘削する場合、従来型(きのこ形)の地下空洞では、アーチアバット部は発破による緩み、アーチからの伝達荷重、本体盤下げ掘削時の変形等により施工上の大きな弱点となっており、従来の地下発電所では本体盤下げ前にグラウトやPCアンカー等により補強を行なってきた。四国電力が建設を進めている本川発電所(純揚水60万KW、 $L98^m \times W24.3^m \times H47.4^m$)では図-1に示すよう

にアーチリングカットに先立ってアバットメント導坑に補強コンクリート(SF.R.C.)を打設し、上段周辺通廊(調査坑利用)よりPCストランドによる緊張補強を行なった。これらの補強効果は現場での感覚によると大きなものがあり、実際にアバット部に存在した断層の動きもほとんどなく変形も微小であった。そこで、この補強効果を実証するためF.E.M.による解析を実施し以下の結果を得た。

2. 岩盤物性

地下発電所地点の地質は主に泥質片岩(黒色片岩)から成り、硅化が著しく微褶曲に富んでいる。走向はE.W傾斜は $0^\circ \sim 30^\circ$ 南落ちで異方性が顕著である。物性値は表-1に示す通りである。またボーリングコアによる三軸圧縮試験を行ない異方性材料の破壊理論に基づいて岩盤の異方性を図-2のように表現した。

3. シミュレーション計算

地下発電所工事は53年3月にアーチ掘削に着手し、55年5月本体掘削を終了した。この間施工管理と主目的に岩盤の変形、アーチライニングの応力等の測定を実施した。²⁾そこで、得られた実測変位と計算値との比較を行なうことにより地下発電所地点の物性値の検証を行なうため表-2の物性値を用いてシミュレーション計算を実施した。結果は図-3に示す通りでありB1級岩盤の計算値と実測値はほぼ一致した。これは地下発電所壁面の実測地質図が大半CH $\sim$ B級岩盤と判定されていることや現場における感覚等から考へるとはほぼ妥当な結果と思われる。

*) 電中研ダム基礎岩盤分類による。

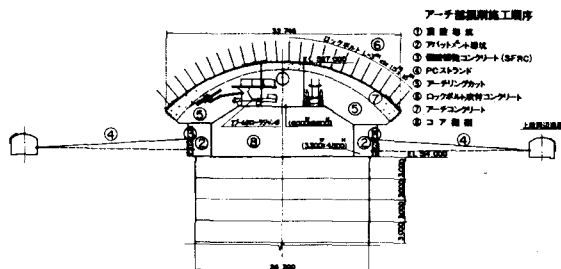


図-1 アーチ部の施工方法

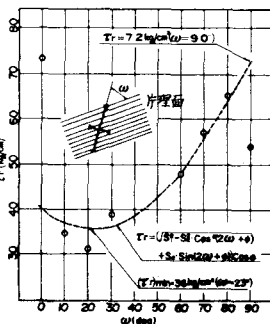


図-2 Wとせん断強度Rの関係

表-1 地質調査結果

項目	方法	数量	摘要
1. 地質調査	横坑 ボーリング	2坑延長 2,620 m 15坑延長 1,060 m	2.4m $\times$ 2.4m 平均RQD71%, 平均ルジオン値0.15
2. 初期地圧測定	オーバー コアリング法 (ϕ in56mm, ϕ out 218 mm)	1ヶ所 $\times$ 3段 $\times$ 3方向	$\sigma_1 = 92\text{kg}/\text{cm}^2$ $\sigma_2 = 55\text{kg}/\text{cm}^2$ $\sigma_3 = 48\text{kg}/\text{cm}^2$ PS ドラフト
3. 岩盤物性試験	1) 平板載荷試験 2) 岩盤せん断試験 3) 坑内物理探査	変形試験31ヶ所 クリープ試験22ヶ所 5ヶ所 (60 $\times$ 60 $\times$ 20) 延長 1,805 m	$E_t = 6.8 \sim 15.2 \times 10^4 \text{ kg}/\text{cm}^2$ $\alpha = 0.26 \sim 0.43, \beta = 0.31 \sim 0.33 \text{ 1/hr}$ $\sigma_s = 32 \pm 14 \text{ kg}/\text{cm}^2$ $\phi = 47^\circ \pm 17^\circ$ $\nu = 32 \sim 63\%$, $\mu_s = 1.5 \sim 3.8 \text{ m/s}$
4. 岩石試験	1) 一軸圧縮試験 2) 三軸圧縮試験	$\phi 76 = 19$ $\phi 218 = 15$ $\phi 76 = 80$	$\sigma_1 = 101 \sim 831 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $\sigma_2 = 91 \sim 360 \text{ kg}/\text{cm}^2$ $\sigma_3 = 59 \sim 344 \text{ kg}/\text{cm}^2$ $C = 20 \sim 77 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $\phi = 15^\circ \sim 33^\circ$

4. アーチアバットメント補強効果の検討

アーチアバットメント部に実施した上記補強工の効果の検証を行なうため掘削方法および補強方法の異なる2ケースの解析を実施した。CASE-1は当発電所で実施した工法であり、導坑掘削→導坑コンクリート→アバットメント部P.C.I.→アーチ掘削→アーチコンクリート→本体掘削及びP.C.I.の順に施工する。CASE-2は従来の地下発電所で行われてきた工法であり、導坑掘削→アーチ掘削→アーチコンクリート→アバットメント部P.C.I.→本体掘削及びP.C.I.の順に施工する。物性値は表-2B1級岩盤の値を用いた。計算結果は図-4の通りであり従来工法と比較して次のことがわかった。

- ①変形量はアーチ部で10%、アバットメント部で30%程度小さい。
- ②応力はアーチ部、アバットメント部、中央部共にCompression側へ移行する。
- ③ライニング応力は10%程度小さい。

5. 考察

従来本邦の地下発電所ではきのこ型空洞が採用されてきたが、この形状の弱点はアーチアバットメント部であり崩壊の例もある。そこで当地下発電所では従来アーチ掘削完了後に行われてきたアバットメント部の補強をアーチ掘削前に導坑コンクリートの打設とP.C.ストランドによる補強という新しい方法で実施すると共にその検証を試み、変形・応力共に従来工法より優利であることを確認した。また頂設導坑アバットメント導坑を先行掘削した場合とリングカットを一括で行なった場合の比較計算も実施したが、その結果導坑先行掘削の方が一括掘削より変形・応力共に優利であることを確認している²⁾。

参考文献

- 1) 日比野・林本島: 異方性岩盤における空洞掘削、岩の力学シンポジウム, S52・2。
- 2) 垣見・中島・武山: 本川発電所の設計と施工について、電力土木N0.170, S56・1。

表-2 解析に用いた物性値

計算ケース	Cu	Cu	B1	B2
水平応力成分 σ_{xx} kg/cm ²	-35			
鉛直応力成分 σ_{yy} kg/cm ²	-72			
せん断応力成分 τ_{xy} kg/cm ²	8.6			
最大主応力 σ_1 kg/cm ²	-76			
最小主応力 σ_2 kg/cm ²	-51			
G/G_0	0.76			
変形係数 $D_{xx} \times 10^4$ kg/cm ²	8	12	20	20
$D_{yy} \times 10^4$ kg/cm ²	6	8	10	15
ポアソン比 ν_{xy}	0.25			
クリープ係数 α	0.7			
β 1/day	1.0			
せん断せん断 $\tau_{r, max}$ kg/cm ²	17.3	25.9	32.4	47.6
せん断せん断 $\tau_{r, min}$ kg/cm ²	8.7	13.0	16.2	23.3
のり σ_{cr}	0.137			
線形式	次放物線			
岩盤の単位体積重量 γ kg/cm ³	2.6			
内部摩擦角 ϕ	44			
地質の見掛けの傾斜 θ	0 (水平)			
掘削ステップ数 P	7			
掘削所要日数 day	120, 240, 45, 60, 60, 50, 45			

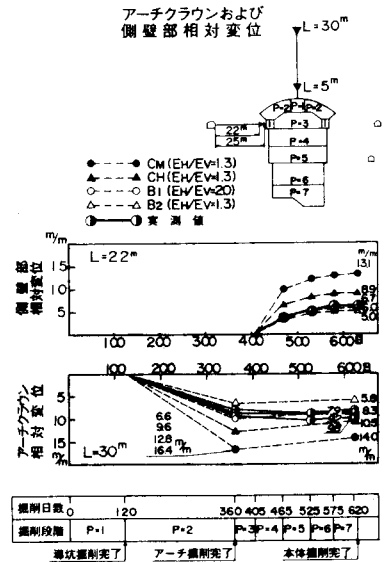


図-3 実測変位と計算値の比較

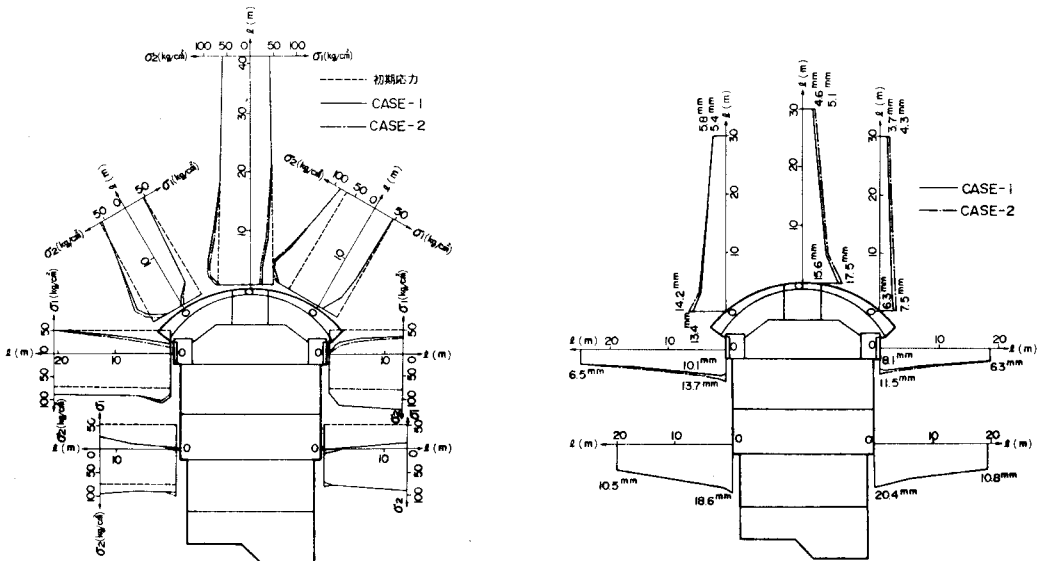


図-4 アーチ部の掘削および補強方法の相違による応力分布と変形量