

玉原地下発電所の空洞周辺岩盤挙動計測結果について

東京電力株式会社 正会員 三宅清士，同 堀口潤一，同 西脇芳文

まえがき

玉原地下発電所は、姥山被り270mで、主として緻密堅硬かつ節理の分布がまばらな礫岩の岩体内に設置され、発電機室（高さ49.4m、幅26.6m、長さ116.3m）とそれに離隔距離36mで双設される主要変圧器室（高さ16.5m、幅17.5m、長さ118.0m）の面空洞から構成されている。

本稿はこの玉原地下発電所の掘削に伴う空洞周辺岩盤挙動計測結果について報告するものである。

1. 地下空洞の設計

1.1 地質概要

地下発電所周辺の地質は、新第三紀中新世の栗沢層の礫岩および流紋岩質凝灰角礫岩の岩体とそれらの貫入した流紋岩の岩脈とから構成されている。礫岩および流紋岩質凝灰角礫岩の岩質は緻密堅硬で節理はおおむね密着し、その分布もまばらで岩盤等級はB～CH級であり、RQDは70%以上である。また、流紋岩は節理の分布が比較的顕著であり、一部に湧水が見られる。地下発電所周辺の地質は図-1、2に示すとおりである。

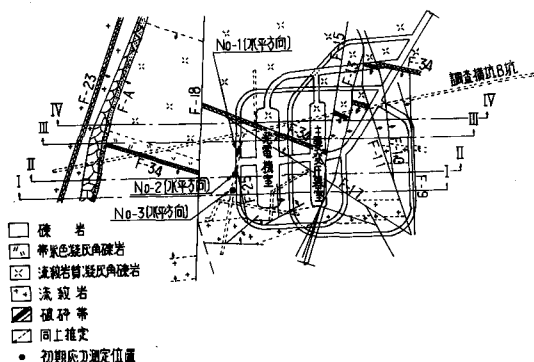


図-1 発電所個所地質図(EL574m水平断面図)

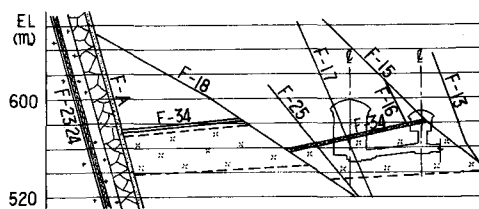


図-2 発電所個所地質図(Ⅲ-Ⅲ断面)

表-1 一軸圧縮試験結果

項目	平均値	標準偏差	備考
一軸圧縮強度(kgf/cm ²)	1,247	382	
割線弾性係数($\times 10^4$ kgf/cm ²)	47.8	10.2	荷重レベル 0~100kgf/cm ²
ポアソン比	0.91	0.06	
供試体	供試体個数は20個 供試体寸法は $\phi 40$ mm $\times 80$ mm		

1.2 岩盤試験結果

1.2.1 一軸圧縮試験

礫岩を対象にして行なった一軸圧縮試験の結果は表-1に示すとおりである。

1.2.2 変形試験

ピストンジャッキと $\phi 300$ mmの剛性試験板を用いた変形試験により得られた結果は表-2に示すとおりである。また、礫岩を対象にして同時に行なったクリープ試験の結果得られたクリープ係数 μ 、 ρ は、それぞれ0.4、0.8である。

1.2.3 岩盤せん断試験およびコンクリートブロックせん断試験

礫岩を対象にして行なった岩盤せん断試験およびコンクリートブロックせん断試験の結果は図-3に示すとおりである。

1.2.4 姥山初期応力測定

表-2 変形試験結果

供試体 No	変形係数 (D)	載荷時弾性係数 接線(E _t)割線(E _s)		除荷時接線弾 性係数(E _t)	岩質分類
	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	
PD 1	107,000	245,000	114,000	253,000	礫 岩 CH
2	57,000	130,000	69,000	86,000	〃 CH
3	28,000	139,000	69,000	181,000	〃 CH
4	153,000	257,000	161,000	313,000	〃 CH
5	84,600	159,000	81,900	181,000	流紋岩 CH
6	2,800	10,400	9,500	—	礫砂部(F-34)
7	35,900	86,300	42,800	125,000	} 流紋岩質 CH 凝灰角礫岩
8	65,000	180,000	105,000	203,000	
9	30,000	70,200	39,700	83,000	流紋岩 CH

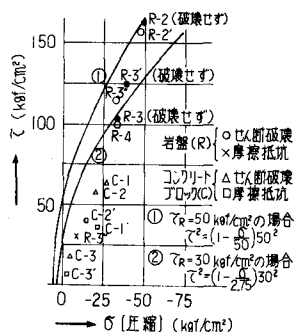


図-3 岩盤せん断およびコンクリートブロックせん断試験結果

地山初期応力はオーバ-コアリソ法およびAE法により測定した。オーバ-コアリソ法による測定結果は図-4に示すとおりである。

1.3 地下空洞の配置

地下発電所の位置を選定するにあたっては、①A破砕帯(F-A)から100m以上離すこと。②流紋岩脈は節理が発達しており、しかも一部に湧水を伴っているためこのゾーンを避けること。③比較的規模の大きい破砕帯F-34が発電機室アーチのすラストを受けるゾーンに入らないようにすること。④礫岩は節理が少なく緻密堅硬であるので極力この岩体に入れること。を考慮し、さらに①発電機室と主要変圧器室空洞の離隔距離の影響に関する有限要素法による検討、②破砕帯の影響を考慮した空洞の最適配置に関する有限要素法による検討、③地山初期地圧と空洞の最適配置、④ロックストラットの効果に関する有限要素法による検討を行ない、図-1, 2に示すとりの地下空洞の配置とした。

2. 空洞周辺岩盤挙動計測

2.1 計測計画

空洞掘削を実施するにあたっては、掘削に伴う空洞周辺岩盤挙動を逐次把握し、空洞の安定性、支保および覆工の妥当性を確認しつつ進めることとした。空洞周辺岩盤挙動計測として、周辺岩盤の物性変化、地山応力変化、地山変位を測定することとし、表-3に示すとりの計測を行なった。

2.2 計測手法および計測結果

2.2.1 周辺岩盤の物性変化

(1) 空洞周辺岩盤弾性波速度測定

空洞周辺に発振点16点 埋設式受振点20点36成分を設け、空洞掘削開始の53年6月から掘削終了後6ヶ月の55年3月まで14回にわたり弾性波速度測定を行なった。測定結果は図-5に示すとおりである。掘削前の初期値はP波速度V_pは最大5,780m/s、最小4,430m/sで、S波速度V_sは最大3,800m/s、最小2,040m/sであり、動ポアソン比は、0.25~0.30の範囲であった。アーチ導坑掘削時(53年9月)では、V_pの低下率はアーチ部周辺で0~3%、破砕帯F-34沿いに3~6%であり、V_sの低下率はそれぞれ3~6%、6~9%であった。また、本体盤下げ掘削1/2完了時(54年3月)では、V_pの変化率はアーチ部のアバットで3~9%になり、F-34沿いで3~6%の傾

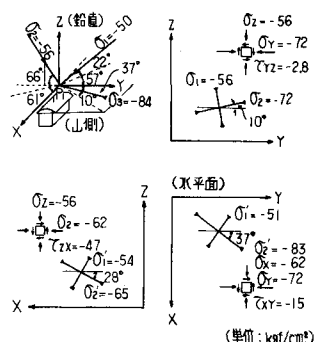


図-4 地山初期応力測定結果

表-3 計測項目

計測目的	計測項目
周辺岩盤の物性変化	空洞周辺岩盤弾性波速度測定
	空洞周辺岩盤の透入度と節理変化測定
地山応力変化	アーチコンクリート応力測定
	空洞周辺岩盤応力測定
地山変位	多段式岩盤変位計による変位測定
	コンバージェンスメーターによる変位測定
	精密測量による変位測定

域が拡大し、破砕帯F-15, 16, 34の交差部に10%程度の領域が発生する。Vsの低下率は破砕帯のない領域では3~9%であるが、破砕帯周辺では12%程度となった。

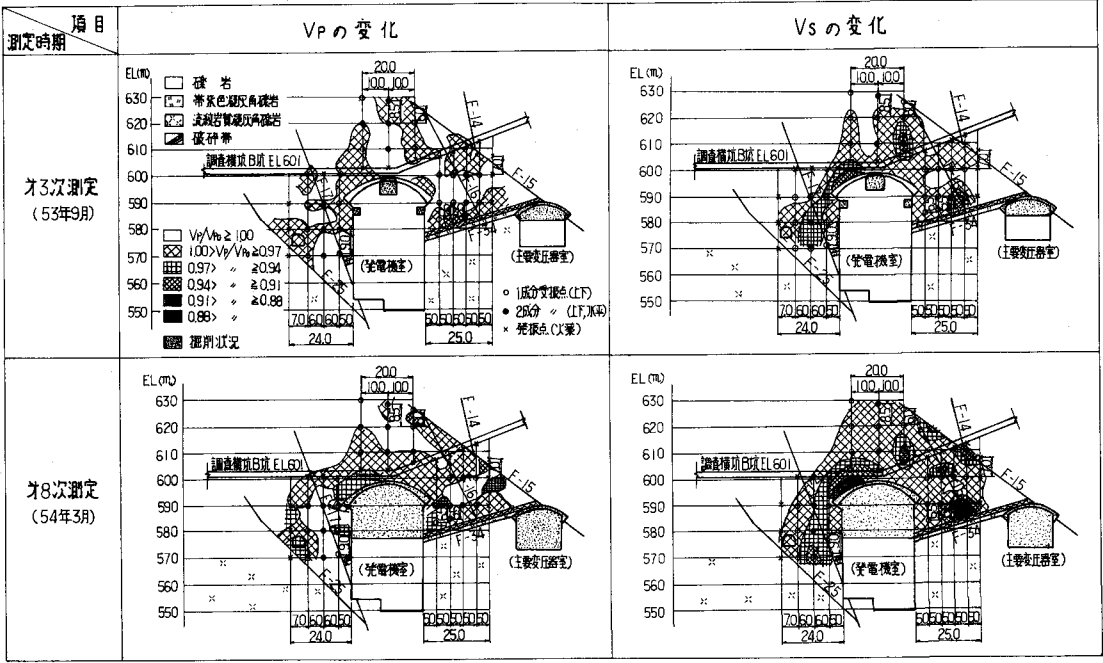


図-5 周辺岩盤弾性波速度測定結果

(2) 空洞周辺岩盤の透水度と節理変化測定

測定位置は図-6に示すとおりであり、透水試験とボースホルテレビデオを用いた節理観察を掘削の進捗にあわせ4回行なった。透水度は空洞掘削前後を通じて1部に0~2 Lugeonを示す箇所もあったがほとんど0であり、大きな変化はなかった。節理は空洞掘削前は15本あったが、空洞掘削後は20本になった。節理の合計間隙幅の拡大量は、0.2~0.4mmと極めて小さかった。

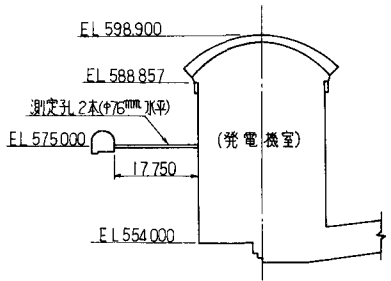


図-6 測定位置図

2・2・2 花山底力変化

(1) 3-チコンクリート底力測定

発電機室3-チコンクリート底力の測定結果は図-7に示すとおりであり、最大底力は40 kgf/cm²程度であった。

(2) 空洞周辺岩盤底力測定

オーバーコアリング法による花山初期底力測定に用いたひずみ口ビット内蔵のコアを図-1に示すボーリング孔No.1, 2, 3に再埋設し、空洞掘削に伴うひずみ変化を測定した。測定結果は図-8に示すとおりである。なお、解析値は有限要素法による空洞安定解析値である。

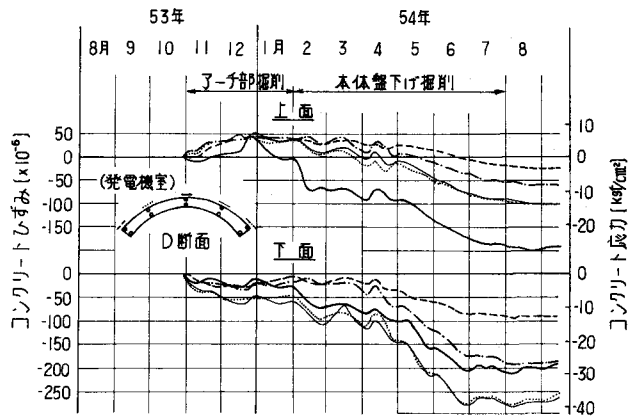


図-7 3-チコンクリート底力測定結果

2 2 3 地山変位

(1) 多段式岩盤変位計による変位測定

多段式岩盤変位計によるアチ部周辺岩盤の変位測定結果は図-9に示すとおりである。

(2) コンバージェンスメーターによる変位測定

ダイヤルゲージ内蔵のコンバージェンスメーターによる空洞側壁岩盤の変位測定結果は図-10に示すとおりである。

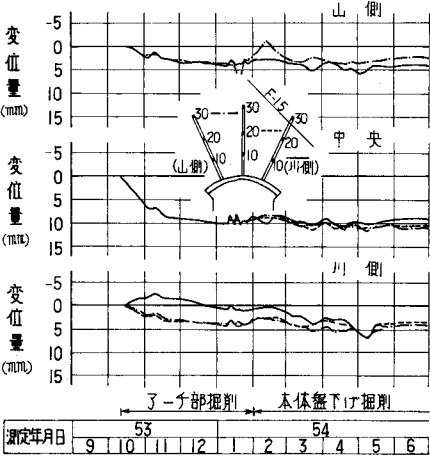


図-9 発電機室アチ上部岩盤変位測定結果

(3) 精密測量による変位測定

セオドライトを用いた精密測量による空洞側壁岩盤の変位測定結果は図-11に示すとおりである。

2・3 結論

空洞周辺岩盤計測結果より得られる結論は以下のとおりである。

(1) 空洞掘削に伴う岩盤挙動は主として破砕帯に起因しているものと思われる。これは空洞周辺岩盤弾性波速度測定の結果より求めた動ポアソン比の変化(図-12参照)からわかるように、破砕帯周辺部の岩盤物性の低下度合いが大きい。また、節理変化の観察結果から本体盤下げ掘削によっても空洞周辺岩盤は殆んど影響を受けていないことから想定できる。(2) しかしながら破砕帯の規模はF-34を除いては小さく、本数も少ない

ので周辺岩盤の挙動は小さく、かつ応力測定結果で示したように連続体としての解析値と比較的一致したものと考えられる。(3) 地山変位に関して相対的な変位測定(多段式岩盤変位計やコンバージェンスメーターを用いた測定)のほかに絶対的な変位測定を行なった結果、双設空洞の場合地山変位は内空はらみ出し変位ばかりでなく、双設空洞間の相互干渉現象による変位も含まれていることが実証できた。

あとがき

玉原発電所の掘削に伴う空洞周辺岩盤の挙動計測の結果の概略について紹介したが、地質にも恵まれ、事前調査から施工の最終段階まで順調に工事を進めることができた。終りに計画当初から終始御協力いただいた電力中央研究所関係各位に深く感謝いたします。

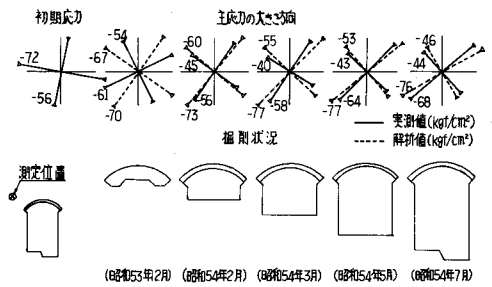


図-8 空洞周辺岩盤応力測定結果

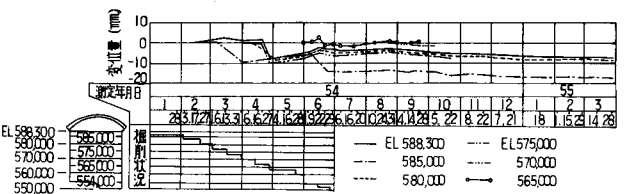


図-10 発電機室コンバージェンス測定結果

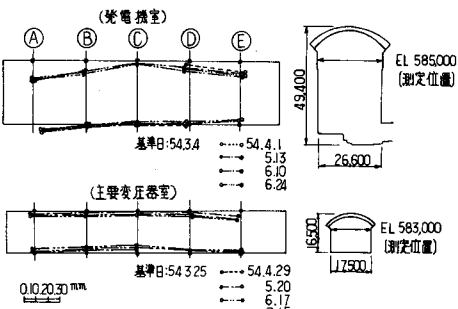


図-11 地下発電所内空変位測量結果

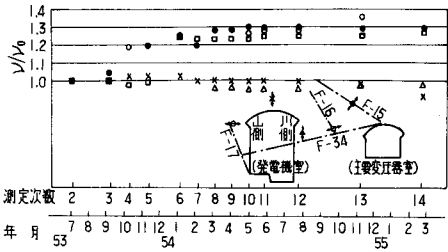


図-12 動ポアソン比の経時変化

MEASUREMENT OF THE BEDROCK BEHAVIOR
BY THE LARGE CAVERN OPENING
AT THE TANBARA UNDERGROUND POWERSTATION

Kiyoshi MIYAKE
Junichi HORIGUCHI
Yoshifumi NISHIWAKI

The depth of the Tanbara Underground Power-station, which is sited mainly in hard conglomerate with few joints, is approximately 270 m below surface.

It consists of two cavities, a machine hall cavity (49.4 m high, 26.6 m wide and 116.3 m long) and an adjoining transformer hall cavity (16.5 m high, 17.5 m wide and 118.0 m long). They are located in parallel and the distance between their side walls is 36 m.

During excavating the caverns, we measured the bedrock deformation to confirm the stability of the caverns and the appropriateness of the supports and linings. To check the deformation of the surrounding rock, we measured the changes in properties, stress and displacement of the bedrock.

According to the results of these measurements, the following conclusions were obtained.

- 1) The bedrock behavior around the caverns during the opening is considered to have been caused mainly by the faults which existed in the vicinity of the caverns.
- 2) The bedrock deformation was small because the faults were few and small in size.
- 3) In regard to the bedrock displacement, we measured the absolute displacement as well as the relative one. The results of the measurements indicate that the bedrock displacement contains the bulge of the side walls and the displacement by the effects of mutual interference of the adjacent caverns.