

(61) 大規模空洞掘削における岩盤挙動の計測結果

三井金属鉱業（株）	竹村 友之
”	藤井伸一郎
”	中川 哲夫
応用地質（株）	正会員○横山 幸也

Results of Rock Mass Monitoring in Excavation of a Large Cavern

Tomoyuki	TAKEMURA,	Mitsui Mining & Smelting Co., LTD.
Shinichiro	FUJII,	”
Tetsuo	NAKAGAWA,	”
Tatsuya	YOKOYAMA,	OYO Corporation

Abstract

We have measured the displacements of rock mass around a cavern in excavating, in the underground rock fields which have about 1000m overburden. The shape of the cavern is domed cylinder which is 58m high and 40m diameter. Geological and rock mechanical investigations clarify that the rock mass is composed of hard gneiss, the maximum compressive principal stress is 294kgf/cm² and the minimum one is 62kgf/cm².

Based on the numerical analyses and the results of the investigations, we planed the rock mass monitoring in excavation. While the cavern has been excavated, we have been monitoring the displacements by multiple extensometers and the axial forces on rock-bolts. The results of rock monitoring are mentioned in this.

1. まえがき

岐阜県神岡鉱山の地下1000mの深さに、宇宙から飛来するニュートリノと呼ばれる素粒子を観測するための実験装置の建設が進められている。この観測施設を収納する空洞は、直径40m、高さ58mの巨大なドーム状円筒空洞である。

この大規模な地下空洞を掘削するにあたり、事前の調査・試験を実施した。また事前の調査結果を参考にして概略の応力変形解析を行い、掘削時における岩盤挙動計測の計画を立案した。実施した計測のうち、ここでは地中変位計とロックボルト軸力計で得られた岩盤挙動について述べる。

2. 事前調査結果

本地域は飛騨変成帯の中央部に位置し、分布する片麻岩類は波長1.8km前後、振幅2～2.6kmの複雑な折りたたみ褶曲構造をなしている¹⁾。空洞掘削地点の地質は、黒雲母角閃石片麻岩（優黒質、中性質）を主体とした飛騨変成岩類からなる。一部は当地域に特徴的な“伊西岩”と呼ばれるミグマタイト、石灰岩、スカルン等の鉱床に伴って分布する岩石もみられる。最初に掘削されたアクセス坑Iと空洞のドーム部の地質観察結果を図-1に示す。

岩盤は全般に新鮮堅硬で、割れ目間隔は概ね2m以上である。但し、図-1に示した石灰岩、スカルンの

分布域では岩塊が比較的脆く、割れ目間隔も1m以下である。空洞掘削対象地の岩盤特性を表-1に示す。なお、初期地圧の測定は2回実施しており、ここではより空洞に近い位置で実施された2回目の測定結果を示す。

3. 概略の応力変形解析

空洞周辺岩盤の概略の挙動を把握することと、計測器の適切な配置を検討することを目的として、空洞掘削に伴う応力変形解析を三次元のBEMとFEMにより行った²⁾。岩盤物性は一様と仮定し、解析に用いた密度は 2.7g/cm^3 、弾性係数は $300,000\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比は0.2とした³⁾。なお、ここで用いた岩盤の物性値は表-1で示した値を参考に行っているが、この解析を行った時点では、初期地圧は1回目の測定結果しか得られていなかったため、図-2、3に示した値を用いた。1回目の初期地圧測定では2回目より大きな値となっているが、主応力比や主応力の傾斜は近似しているため、解析結果は掘削後の空洞壁面の概略の応力状態や変位分布とみなし得るものと思われる。

解析結果のうち、空洞壁面での応力状態を図-2に、空洞全体の岩盤変位を図-3に示す。これらの図はFEMで得られた結果であるが、最も応力の集中する空洞壁面での最大圧縮応力に着目すると、BEMでの値はFEMでの値の2倍程度となっている。変位量についても同様にBEMの方が10%程度大きな値となっている。BEMとFEMによる解析結果に差異のみられる理由は、解析領域を無限遠とし空洞壁面上(境界上)での応力値が計算されるBEMの方がより理論値に近い値が得られることによる。これらの解析結果から、実際の掘削においては、空洞壁面での局所的な応力集中に伴う“山はね”や、空洞壁面付近でのゆるみによるより大きな岩盤変位が生じる可能性も十分考えられた。

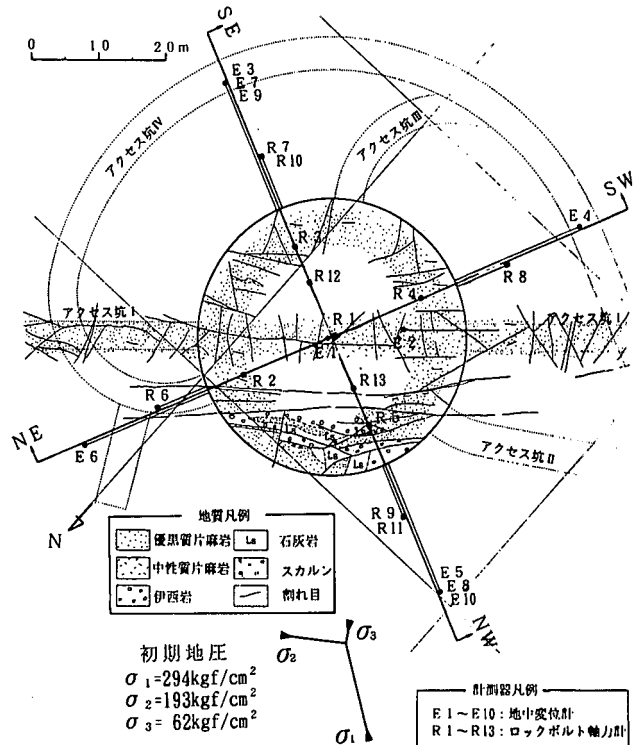
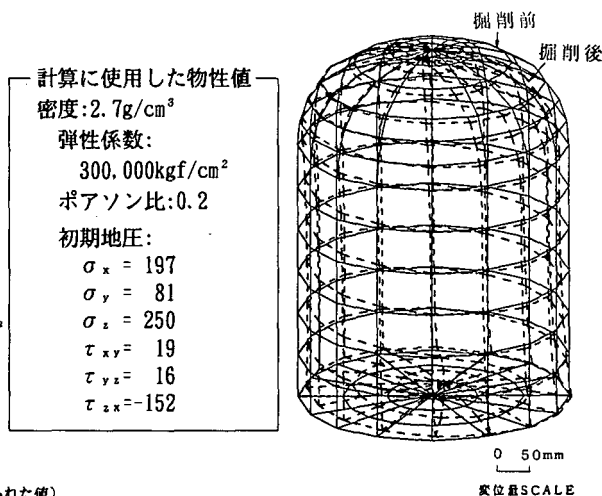
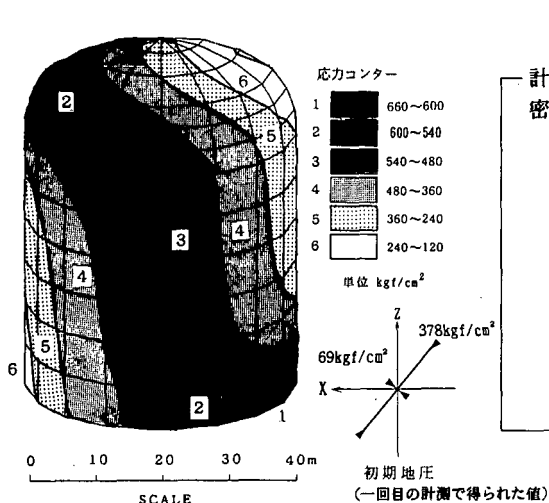


図-1 空洞壁面地質観察図および計測器設置位置図(平面図)

表-1 空洞掘削対象地の岩盤特性

項 目	特 性
岩種 岩目および節理の発達 風化および粘土の挟みの存在 湧水	強固な角閃石片麻岩 極めて少ない 少ない ある
一軸圧縮強度 引張強度 弾性係数 弾性波伝播速度 RQD 岩盤等級	平均 $1600\sim 1800\text{kgf/cm}^2$ 99.1kgf/cm^2 $5.09 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ 5320m/sec 平均84% A(建設省・道路公団による分類)
岩石の密度 土被り 初期地圧 最大主応力 σ_1 中間主応力 σ_2 最小主応力 σ_3	2.7g/cm^3 約1000m $294\text{kgf/cm}^2(\text{N}309^\circ \text{ E}68^\circ \text{ E})$ $193\text{kgf/cm}^2(\text{N } 60^\circ \text{ E } 8^\circ \text{ W})$ $62\text{kgf/cm}^2(\text{N}153^\circ \text{ E}20^\circ \text{ N})$



4. 計測結果

4.1 掘削手順および計測器設置位置

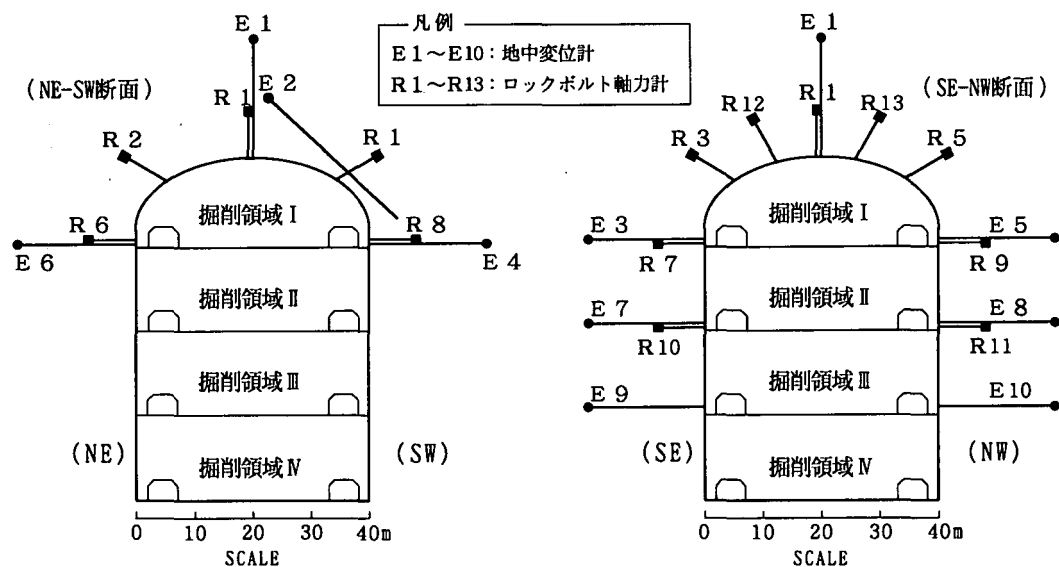
掘削手順は、図-4に示すように空洞上部から掘削領域Ⅰ～Ⅳの順に空洞下部に進む。それぞれの掘削領域には図-1に示したアクセス坑Ⅰ～Ⅳが設けられている。各掘削領域とも、まずアクセス坑から空洞本体の各レベルにリング状の坑道が掘削され、1次吹き付けを行った後リング状の坑道を中心部に向かって切り広げ、高さ4mの円盤状の空洞が開削された。その後円盤状の空洞を上部に向かって切り広げ1段上の掘削領域に連絡された。

地中変位計とロックボルト軸力計の設置位置を図-1と図-4に示す。地中変位計は長さ20m、固定点6深度(空洞壁面より1, 3, 6, 10, 15, 20m)とし、ロックボルト軸力計は長さ8m、径25mm、測定点6深度(空洞壁面より0.5, 1, 2, 3, 5, 7.5m)とした。また、ロックボルトの降伏点は17.8tf、引張り強さ20.7tfである。計測器の設置時期は、空洞側壁ではリング状の坑道が掘削された直後、ドーム部では設置箇所付近の岩盤が掘削された直後である。図-1に示した平面図において2方向の計測断面を設定したが、ここでは事前の応力変形解析により大きな応力集中が生じると予測されたSE-NW断面に設置された計測器の計測結果について述べる。

4.2 地中変位計

掘削に伴う地中変位計の経時変化を図-5に示す。各掘削段階の進行と経時変化はよく対応しており、他の計測値についても同様に良質のデータを得ることができた。掘削完了後の地中変位分布図を図-6に示す。

計測結果からは、いずれも空洞壁面で最も大きく空洞側に変位し、深度15mから20mの間についてはほとんど変化がみられない。このことから、実際の岩盤の変形は空洞壁面から深度15m以浅で発生しており、岩盤の変形挙動からは空洞壁面からの深度20m地点をほぼ不動点とみなし得る。一方、空洞壁面付近で大きなせり出しがみられる理由は、実際の岩盤の変形が空洞壁面付近での応力集中によるゆるみ等の非弾性的な動きとして現れることによるものと思われる。



図一 4 計測器設置位置図（断面図）

図-6の地中変位分布図では、E3、E7、E9の変位量が多い。特に、E3の地点は初期地圧の状態により空洞掘削後最も応力が集中する箇所と考えられ、地中変位分布でも空洞表面のみが約40mmせり出している。

一方、E5、E8、E10の変位量は比較的小さい。但し、E5の地点は初期地圧の状態により空洞掘削後最も空洞側へのせり出しが大きい箇所と考えられ、地中変位分布でも岩盤内部から約30mmせり出している。

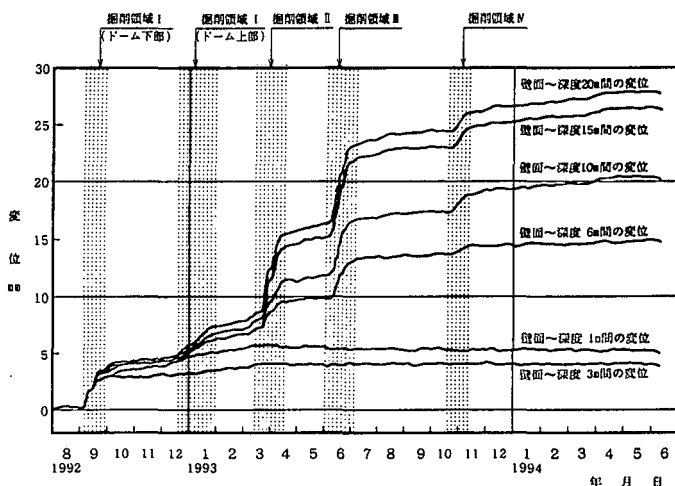


図-5 地中変位計の経時変化図 (E-5)

4.3 ロックボルト軸力計

掘削完了後のロックボルト軸力分布図を図-7に示す。計測値で着目すべき点は、SE側のドーム部から側壁にかけてはいずれも空洞壁面近傍でロックボルトの降状点(17.8tf)前後の値に達している。これは地中変位計でみられた岩盤の挙動と同様に、特に応力集中による空洞壁面付近のせり出しによるものと考えられる。

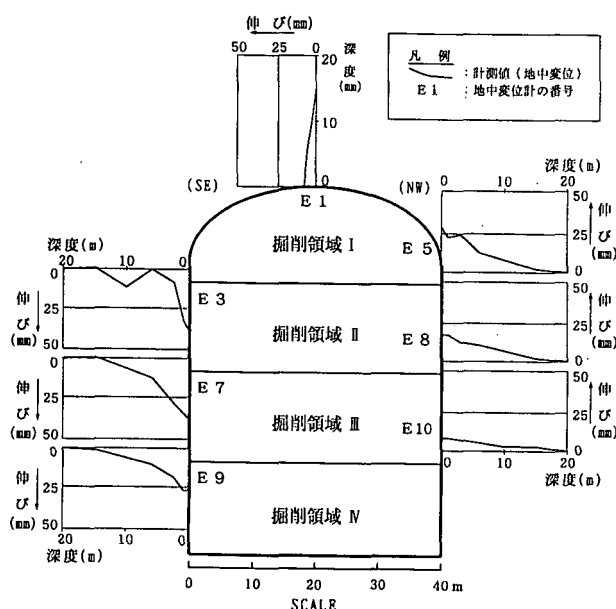


図-6 掘削完了後の地中変位分布図
(SE-NW 鉛直断面)

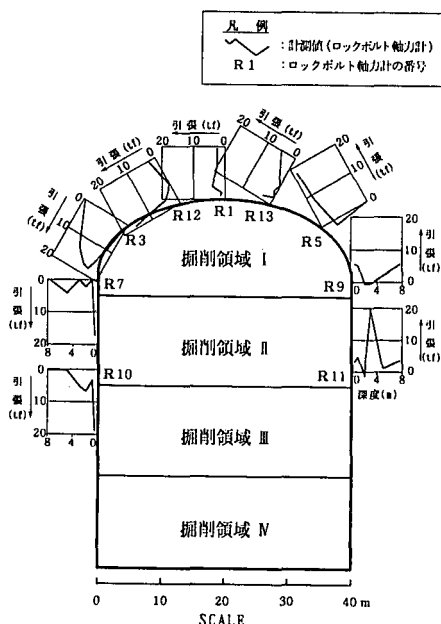


図-7 掘削完了後のロックボルト
軸力分布図(SE-NW 鉛直断面)

5. あとがき

1987年8月に事前調査が開始された。空洞予定地点周辺でのボーリングが実施され、既に鉾山地質の見地から把握されていた情報と合せて地質・岩盤状況のイメージが形成された。1992年8月に掘削が開始され、掘削の進行とともに上記の各計測器を随時設置していった。空洞の安定性がもっとも懸念されたドーム部の掘削時には、地中変位、ロックボルト軸力の変化量を監視しながら対策工の検討を行った。ドーム部の空洞の掘削が無事終了した後、下方へ向って掘削が進められたが、岩盤の挙動は次第に小さくなっていった。1994年7月には、無事故でほぼ予定通りに掘削が終了し、全体の空洞が完成した。

今回報告した計測結果は、空洞掘削に伴い実施した各種調査・解析・計測・検討の一部である。他にも岩盤の詳細な割れ目調査、三次元弾塑性モデルによる逐次掘削解析等により空洞の安定性を検討した。これらの結果についてはまた別の機会に報告したい。

【参考文献】

- 1) 相馬恒雄・秋山伸一；『飛騨変成帯中央部の地質構造と岩石の分布について』地質学雑誌，第90巻9号，1984年9月
- 2) 東後義孝・田中達吉・船戸明雄・横山幸也；『神岡鉾山における地下空洞開削のための岩盤調査について』地下空間利用シンポジウム，1989年10月
- 3) 田中達吉・横山幸也；『神岡鉾山における電中研式初期地圧測定結果』第21回岩盤力学に関するシンポジウム，1989年2月