

坑道掘削による応力状態の変化について －応力解放法による初期応力と2次応力測定結果の比較－

ハザマ技術研究所 正会員 前田信行
核燃料サイクル開発機構 正会員 佐藤稔紀

核燃料サイクル開発機構 正会員 ○ 中島貴弘
核燃料サイクル開発機構 正会員 杉原弘造
(株)日本パブリック 正会員 金川 忠

1. はじめに

地下の坑道や空洞の掘削にあたり、岩盤の力学的安定性を評価し、空洞位置や支保などの合理的設計を行うために、建設地点の初期応力状態を把握することは重要である。これらの地下掘削によって初期応力は再配分され、周辺地盤に新たな応力状態(2次応力)が発生する。この応力状態を把握することは、施工の安全性などを評価するうえで、非常に重要である。

応力測定方法には種々の方法があり、測点の状況に応じた方法が適用されている。得られる測定値は、応力を算出するために用いる原理の違いから、各方法により異なる場合がある。これらの測定方法の違いによる評価結果への影響を排除するためには、一つの方法として、初期応力測定と2次応力測定を、ごく近傍において同じ方法で行うことが考えられる。しかしこれまでごく近傍において同じ方法を用いて初期応力と2次応力を測定した例は少ない。

筆者らは、堆積軟岩中の坑道掘削予定場所において、応力解放法を用いて坑道掘削前後に初期応力測定と2次応力測定を行い、坑道掘削に伴う岩盤応力状態の変化について検討したので報告する。

2. 地質概要

応力測定は、岐阜県土岐市の東濃鉱山内北延NATM坑道において実施した。図-1に東濃鉱山の地質および坑道概要を示す。東濃鉱山周辺の地質は、基盤をなす中世代から古第三紀の花崗岩とそれを被覆する堆積岩(新第三紀の瑞浪層群と新第三紀から第四紀の瀬戸層群)から構成されている。また、この地域には月吉断層(EW60S)と呼ばれる逆断層(地質断層)がある。北延NATM坑道は深度約130mに展開された水平坑道であり、その周辺の地質は、瑞浪層群の粗粒から細粒の砂岩である。物性値を表-1に示す。

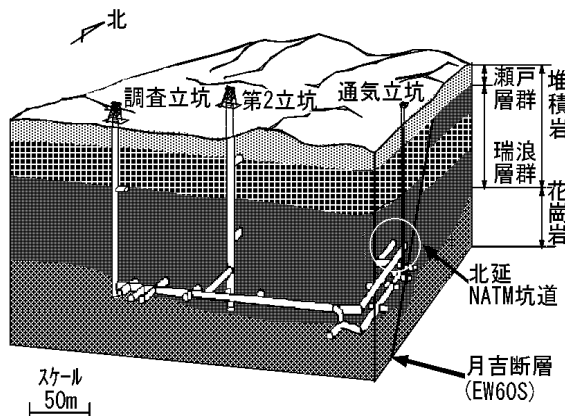


図-1 東濃鉱山の地質および坑道概要

表-1 坑道周辺岩盤の物性値

物性	細粒砂岩	粗粒砂岩
単位体積重量(t/m ³)	1.89	1.96
一軸圧縮強度(MPa)	7.50	3.13
P波速度(km/s)	2.00	2.03

3. 応力測定方法

北延 NATM 坑道において応力測定を実施した位置を図-2に示す。坑道掘削前の初期応力測定をMS-1孔およびMS-3孔にて行い、右側の坑道(網掛け部分)を掘削後、2次応力測定を97SI-01孔および97SI-02孔にて実施した。応力測定手法として、粘土分を含むという岩盤の地質的な特徴を考慮し、ひずみ計の岩盤への定着が他の方法と比べて強固であるため精度よく測定できる、電力中央研究所式の埋設型8成分ひずみ計による応力解放法を用いた。これは試錐孔にひずみ計を埋設し、オーバーコアリング時の解放ひずみの測定結果と、回収したコアを用いて行うひずみ感度試験の結果から、3次元主応力状態を算定する方法である¹⁾。

4. 測定結果

初期応力測定結果を表-2および図-3に示す。2測点とも、最大主応力値(σ_1)が1.6MPa前後であり、その方向は比較的鉛直方向に近い。最大主応力の値および方向がほぼ同じであることから、これらの測定値がこの地点の初期応力状態を代表すると考え、これらの6方向応力成分の平均値から求めた主応力を初期応力状態と評価した。

2次応力測定結果を表-3および図-4に示す。最大主応力値は初期応力の2.1～2.4倍になり、その方向は初期応力状態よりも鉛直方向に近づいている。

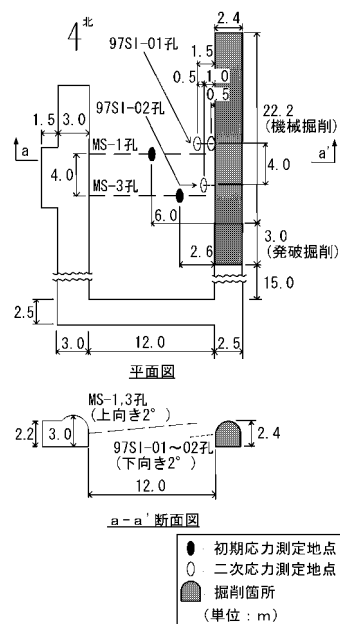


図-2 北延 NATM 坑道および応力測定実施位置

キーワード: 初期応力、2次応力、応力解放法、堆積軟岩

連絡先: Tel: 0572-53-0211、Fax: 0572-55-7033、E-mail: tak-naka@tono.jnc.go.jp

5. 考察

坑道と測点の位置関係と初期応力状態から鉛直方向の応力集中が最も顕著であると考えられることから、坑道に直交する面内の応力状態の変化について検討することとした。初期応力測定および2次応力測定の結果のうち、鉛直方向応力成分を表-4に示す。応力値は坑道掘削前の2.3～2.6倍となっており、坑道掘削による応力集中が発生したことが確認できた。それは、坑壁に近いほど大きい傾向がある。

この結果を検証するために、理論値と比較した。2次応力の理論値としては、実際の坑道断面形状は円孔ではないが上半が半円であり概ね円孔に見ることが出来ると考え、2軸応力が無限遠方から作用する弾性体(岩盤)中に掘削された円孔においてキルシュの方程式(Kirsch's equations)²⁾を用いて求められる円孔周りの応力値を用いた。理論値と測定値を表-5に示す。測定値は理論値の1.7～2.0倍と比較的近い値を示している。また、坑壁から離れるほど、測定値と理論値との差が広がっている。

6. まとめ

堆積軟岩中に掘削した北延NATM坑道において、応力解放法により初期応力測定および2次応力測定を実施し、坑道掘削による坑道周辺岩盤の応力状態の変化について検討した。

坑壁から1.5m以内での測定によって得られた2次応力は、最大主応力値が2.1～2.4倍になり、最大主応力方向がより鉛直方向に近づいた。鉛直方向の2次応力値は、初期応力値の2.3～2.6倍となり、坑道掘削による顕著な応力集中が確認された。この値は、弾性論による理論値の1.7～2.0倍と比較的近く、坑壁から離れるほど理論値との差が広がっている。このことから、実際の応力集中は弾性論により推定される範囲より広い範囲まで及んでいると考えられる。

7. 今後の課題

今後は、坑道掘削中に得られたひずみ変化や応力測定結果と今回の結果との比較を行う。また、他の計測手法による2次応力分布測定も実施し、それぞれの計測手法での測定値も比較する。これらの比較をもとに2次応力分布を明らかにし、孔壁の崩壊など坑道周りで生じているさまざまな力学的現象について検討する。また、これらの測定値と断面形状や地質構造および坑道周りの掘削影響領域等を考慮して得られる理論解析値との比較検討も行う予定である。

【参考文献】

- 1) 金川ら:オーバーコアリング法による3次元地圧計測法—埋設型8成分ゲージの開発—、電力中央研究所報告、1986
- 2) 例えば、E・フックら:岩盤地下空洞の設計と施工、土木工学社、p.78、1985.2

表-2 初期応力測定結果

坑壁からの 水平距離(m)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	σ_3 (MPa)
2.6	1.69	1.09	0.87
6.0	1.53	1.34	1.28
(平均値)	1.58	1.19	1.12

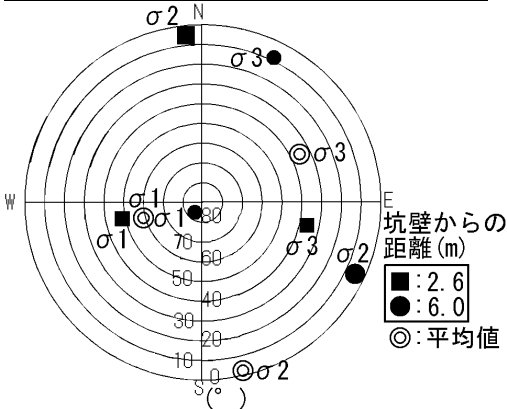


図-3 初期応力主応力方向
(上半球投影)

表-3 2次応力測定結果

坑壁からの 水平距離(m)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	σ_3 (MPa)
0.5	3.78	2.42	2.30
1.0	3.31	2.31	2.13
1.5	3.57	2.80	2.53

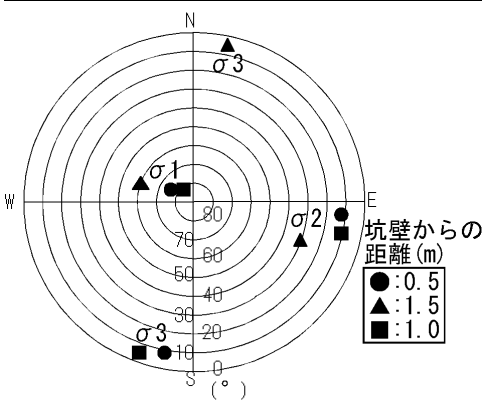


図-4 2次応力主応力方向
(上半球投影)

表-4 初期応力と2次応力との
鉛直方向成分比較

応力	坑壁からの 水平距離(m)	σ_v (MPa)	応力比 (2次/初期)
初期	(平均値)	1.44	—
2次	0.5	3.70	2.6
	1.0	3.28	2.3
	1.5	3.37	2.3

表-5 2次応力測定値と理論値との比較

応力	坑壁からの 水平距離(m)	σ_v (MPa)		比 (①/②)
		①測定値	②理論値	
初期	(平均値)	1.44	—	—
2次	0.5	3.70	2.18	1.7
	1.0	3.28	1.87	1.8
	1.5	3.37	1.72	2.0

(備考) 理論値の計算に用いた初期応力値は、 $\sigma_v=1.44$ MPa、 $\sigma_{E-W}=1.26$ MPa である。

比較検討も行う予定である。