

(財)電力中央研究所 (正)金川 忠・○(正)石田 毅・(正)日比野 敏

1. 緒 言

大規模地下空洞の開削にあたって、空洞開削前の応力状態すなわち地山応力は、考慮すべき重要な条件のひとつである。岩盤は一般に不均質であり、岩盤内の地山応力の分布は一様ではない。筆者らは、奥美濃山岳地帯の調査横坑内、地表下335mの流紋岩中で地山応力測定を実施した。その結果を測定地点の岩質や地質と比較したところ、岩盤内の地山応力の分布に関して興味ある知見を得たので報告する。

2. 地山応力の測定法と測定結果

地山応力は、図1の埋設ゲージ(ボーリング孔径4成分と孔軸1成分)を用いて解放ひずみを測定する電研式埋設法で測定した。解放ひずみから地山応力を決定するため、測定コアを持ち帰り室内で等圧3軸試験を行ない、埋設ゲージの感度を求めた。測定コアは外径 $\phi 19.8\text{ mm}$ 、内径 $\phi 5.6\text{ mm}$ 、長さ500mm程度の中空円筒岩石コアの中空部に、ゲージをセメントミルクで埋設したものである。

地山応力測定地点の岩質と地質を図2に示す。岩盤等級は調査横坑壁面およびこの地点で実施した合計8本のボーリングコアから決定した。

データの組合せを4種類選び、3次元的な地山応力を求めた。応力は圧縮を正とした。その結果を、地山応力を求めるのに使用した埋設ゲージの感度 E' の平均値 $\bar{E}'$ とともに表1に示す。 E' は、中空岩石コア内部にセメントと埋設ゲージを含んでいるため、岩盤のヤング率そのものではないが、地山応力測定地点の岩盤の剛性を反映した値である。測定結果M1

～M4の地山応力の大きさとして平均主応力 $(\sigma_1^* + \sigma_2^* + \sigma_3^*)/3$ に着目し、これを $\bar{E}'$ と比較したのが図3である。同図より、 $\bar{E}'$ と $(\sigma_1^* + \sigma_2^* + \sigma_3^*)/3$ の間には正の相関関係があることがわかる。一方、図4は、主応力方向の下半球ステレオ投影図である。同図より、解析ケースが異なっても主応力方向はよく一致していることがわかる。以上のことから、当地点では、岩質により、主応力方向は大きく変化しないが、圧縮応力の大きさはごく近接した岩盤中でも平均主応力で

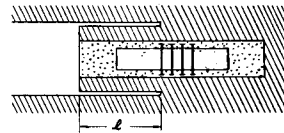
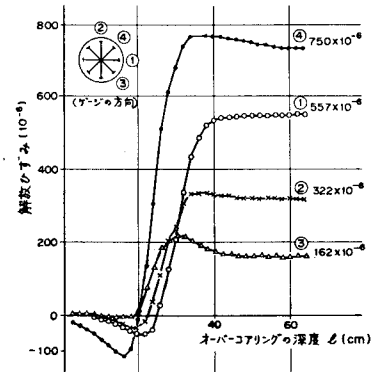
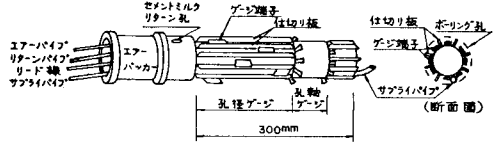


図1. 埋設ゲージの見取図と、埋設法による応力

解放に伴うひずみの連続変化の1例
(流紋岩)

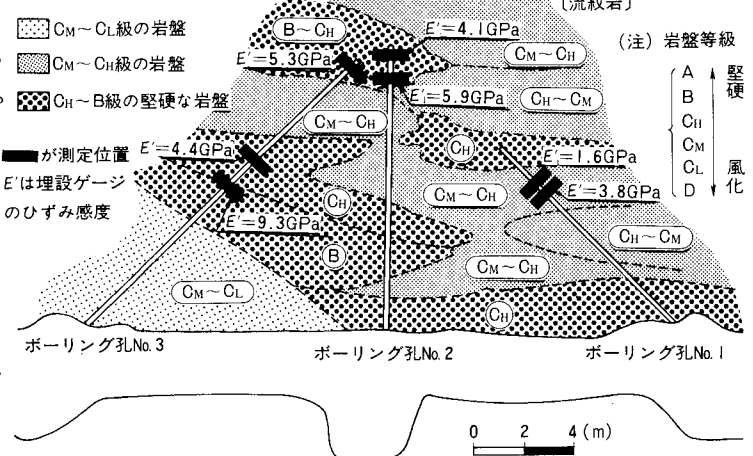


図2. 地山応力測定地点の岩質と地質

3 MPa (30 kgf/cm²) 程度の

差異が生じているといえる。

3. 地山応力の岩質による影響

表 2. は、青函トンネル先進導坑で実施した A E 法と応力解放法(孔底法)による地山応力測定結果を、測定地点の岩質別に整理したものである。

表 2 に示した応力値は、水平 N 60° E 方向の直応力成分である。A E 法によれば、比較的軟らかいと思われる岩質 S で $6 \pm 3 \text{ MPa}$ ($60 \pm 30 \text{ kgf/cm}^2$)、比較的硬いと思われる岩質 H では $10 \pm 3 \text{ MPa}$ ($100 \pm 30 \text{ kgf/cm}^2$) 程度と推定され、その差は約 4 MPa (40 kgf/cm^2) である。応力解放法によれば、岩質 S では $4 \pm 2 \text{ MPa}$ ($40 \pm 20 \text{ kgf/cm}^2$)、岩質 H では $8 \pm 2 \text{ MPa}$ ($80 \pm 20 \text{ kgf/cm}^2$) 程度とその差はやはり約 4 MPa (40 kgf/cm^2) であり、岩質による地山応力の大きさの相違は明らかである。

図 5 は、かぶり約 70 m の花崗岩地点における測定例であり、横軸はボーリングの深度、縦軸は岩盤の P 波速度

と、A E 法と応力解放法 (O.C.) により求められた地山応力の測定値である。応力値は水平一方向の直応力成分を示す。図 5 の P 波速度

の変化は岩質によるものと考えられ、岩盤の剛性が大きい程、地山応力が大きい値になっているといえる。(この場合、地山応力の変化にともなう P 波速度の変化は数 % 以下で、せいぜい 200 m/s 程度と思われる。)

今回の奥美濃地点と上に述べた 2 地点の結果から見る限り、不均質な岩盤中の地山応力の分布は一様でなく、軟らかい岩盤よりも堅硬な岩盤でより大きな圧縮応力が生じている傾向が明らかである。また、その差は概ね 3 ~ 4 MPa であった。岩盤内の地山応力の分布は、空洞開削時の山はねやゆるみ域の進展とも関連が深いと思われるので、今後、機会ある毎に測定データの詳細な分析を行なっていきたいと考えている。

表 1. 解析ケースと地山応力測定結果

解析 ケース	データの特徴	* $\bar{E}$ (GPa)	地山応力測定結果 (MPa)			
			* σ_1	* σ_2	* σ_3	$(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$
M1 ○	すべての埋設ひずみ計の解放ひずみ	4.9 (5.0×10^4 kgf/cm ²)	4.6	6.2	9.0	6.6 ($67 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)
M2 △	No. 1 孔及び No. 3 孔の埋設ひずみ計の解放ひずみ	4.9 (5.0×10^4 kgf/cm ²)	4.8	7.7	9.3	7.3 ($74 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)
M3 ●	No. 2 孔及び No. 3 孔の埋設ひずみ計の解放ひずみ	5.8 (5.9×10^4 kgf/cm ²)	5.5	7.3	9.9	7.5 ($77 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)
M4 ■	No. 3 孔のみの埋設ひずみ計の解放ひずみ	6.3 (6.4×10^4 kgf/cm ²)	6.6	9.4	11.7	9.2 ($94 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)

* $\bar{E}$ は地山応力を求めるのに使用した埋設ゲージの感度 E' の平均値

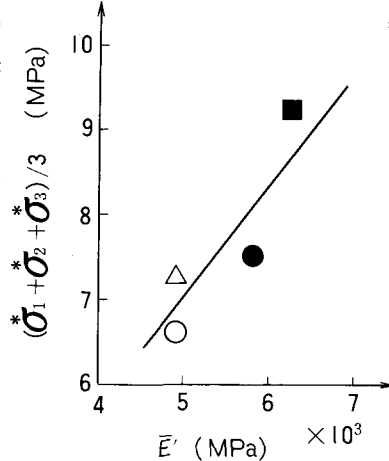


図 3. 使用した埋設ゲージのひずみ感度の平均値 $\bar{E}$ と平均主応力 $(\sigma_1^* + \sigma_2^* + \sigma_3^*)/3$ の関係

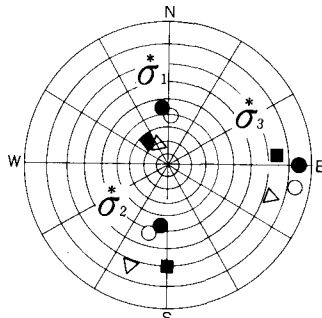


図 4. 解析ケース毎の地山応力の主応力方向 (下半球ステレオ投影図)

表 2. 青函トンネル先進導坑における岩質別水平方向推定地圧

岩質	測定法	A E 法	応力解放法(孔底法)
S (風化が進み変色しているかまたは粒子が粗く比較的軟かいと思われる岩石)	測定地圧 (MPa)	6 MPa (60 kgf/cm^2)	4 MPa (40 kgf/cm^2)
	推定地圧 (MPa)	2 4 6 8 10 12 14 16	2 4 6 8 10 12 14 16
H (新鮮で粒子が粗く比較的硬いと思われる岩石)	測定地圧 (MPa)	10 MPa (100 kgf/cm^2)	6 MPa (60 kgf/cm^2)
	推定地圧 (MPa)	2 4 6 8 10 12 14 16	2 4 6 8 10 12 14 16

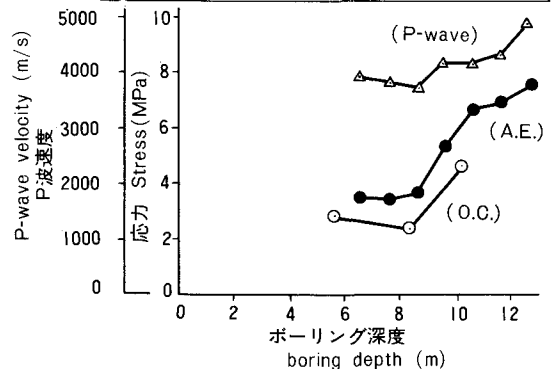


図 5. 花崗岩地点における岩盤の P 波速度、A E 法・応力解放法 (O.C.) による地山応力の測定値とボーリング深度との関係