

異方性岩盤における円錐孔底ひずみ法による初期地圧測定の適用

森 孝之^{1*}・中寫誠門¹・坂口清敏²
青木 聡³・長井和樹⁴

¹鹿島建設株式会社 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

²東北大学大学院環境科学研究科 (〒980-8579宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

³株式会社四電技術コンサルタント (〒761-0121 香川県高松市牟礼町牟礼1007番地3号)

⁴四国電力株式会社 (〒760-8573 香川県高松市丸の内2番5号)

*E-mail: moritakayuki@kajima.com

従来の円錐孔底ひずみ法をはじめとする応力解放法による初期地圧測定法のほとんどは岩盤を均質等方な線形弾性であると仮定している。このため異方性を有する岩盤に対して等方性理論で求めた初期地圧は本来の初期地圧に対して乖離した評価を与える可能性がある。本論文では、異方性が発達する三波川帯黒色片岩に対して、新しい試みとして円錐孔底ひずみ法に直交異方性モデル理論を適用し、異方性を考慮した初期地圧を求め、異方性が初期地圧に与える影響度を検討した。また、埋設ひずみ法との比較により初期地圧測定法によるバラツキや相違についての考察や地形の影響について報告する。

Key Words : initial rock stress, schist, anisotropic rock, isotropy, CCBO, underground cavern

1. はじめに

従来の円錐孔底ひずみ法等の初期地圧測定法¹⁾は岩盤を等方線形弾性としているが、本論文では円錐孔底ひずみ法において、測定軸と異方性構造が直交・平行・斜交するケースで適用可能な直交異方性モデル理論を提案した。そして、異方性地山の初期地圧測定に適用し、異方性が初期地圧の大きさや作用方向に与える影響度を検討した。

2. 円錐孔底ひずみ法の異方性への適用性

(1) 円錐孔底ひずみ法の特徴

円錐孔底ひずみ法は図-1, 2に示すように、三成分ロゼットゲージを円錐曲面の円周方向に8箇所組み込んだ24素子ゲージを用いる応力解放法である。

各ひずみ成分に対する観測方程式は式(1)で表され、 θ はゲージ貼付け位置の円周方向の回転角、ひずみ感度係数A, C, D は円錐孔底形状をモデル化した三次元応力解析により求めた応力集中係数で、ポアソン比に応じて得られる数値である。

式(1)における感度係数マトリクスを[A]として、式(1)を書き換えた式(2)を最小二乗法による式(3)を経て正規化すると正規方程式は式(4)で表され、この連立方程式を解いて初期地圧の応力成分 $\{\sigma\}$ を得る。なお、E は弾性係数であり、従来の円錐孔底ひずみ法では均質等方体として一律の値を与えている。

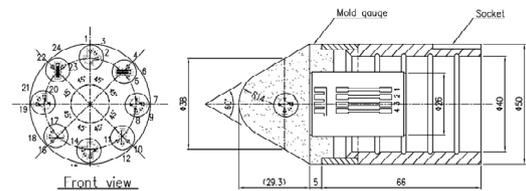


図-1 円錐孔底ひずみゲージの構造図

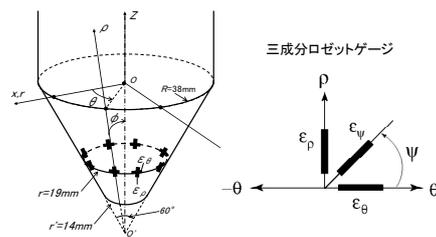


図-2 円錐孔底のひずみ成分と局所座標

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_\psi \\ \varepsilon_p \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} + A_{12} \cos 2\theta & A_{11} - A_{12} \cos 2\theta & C_1 \\ A_{21} + A_{22} \cos 2\theta & A_{21} - A_{22} \cos 2\theta & C_2 \\ A_{31} + A_{32} \sin 2\theta + A_{33} \cos 2\theta & A_{31} - A_{32} \sin 2\theta - A_{33} \cos 2\theta & C_3 \\ D_1 \sin \theta & D_1 \cos \theta & 2A_{12} \sin 2\theta \\ D_2 \sin \theta & D_2 \cos \theta & 2A_{22} \sin 2\theta \\ D_{31} \sin \theta - D_{32} \cos \theta & D_{31} \cos \theta + D_{32} \sin \theta & 2A_{33} \sin 2\theta - 2A_{32} \cos 2\theta \end{bmatrix} \cdot \frac{\{\sigma\}}{E} \quad (1)$$

$$\{\varepsilon\} = [A] \cdot \{\sigma\} \cdot \frac{1}{E} \quad (2)$$

$$[A]^T \cdot \{\varepsilon\} = [A]^T \cdot [A] \cdot \{\sigma\} \cdot \frac{1}{E} \quad (3)$$

$$\{\sigma\} = E \cdot [A]^T \cdot [A]^{-1} \cdot [A]^T \cdot \{\varepsilon\} \quad (4)$$

ところが、ひずみゲージ貼付け箇所の岩盤が不均質性や異方性を有する場合には、解放ひずみの感度はそれぞれ異なると考えられる。そこで本論文では以下に示す異方性モデル²⁾を適用して異方性の影響度を比較した。

(2) 異方性モデルと理論式の検討

絶対座標系 (X, Y, Z) 、ボーリング孔座標系 (x, y, z) 、異方性軸座標系 (x', y', z') および円錐孔底の球座標系 (ρ, θ, ϕ) を図-3 に示すように定義する。

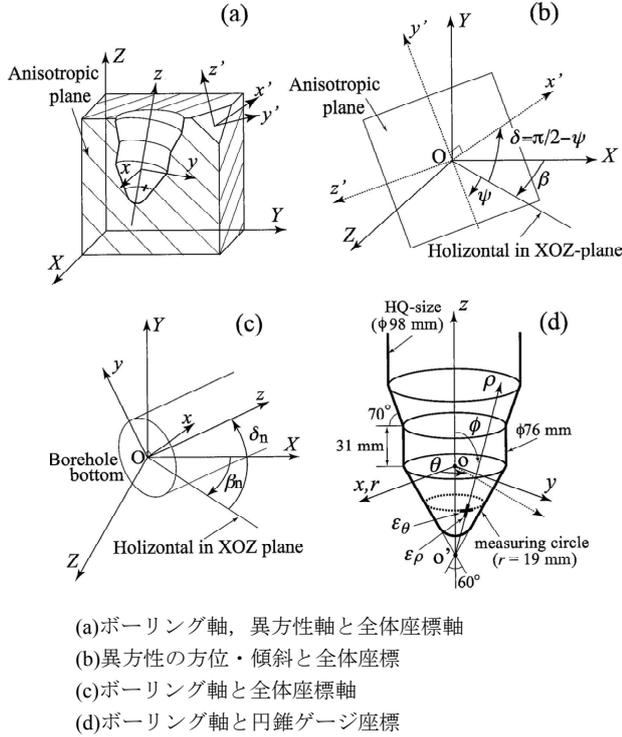


図-3 異方性モデルにおける座標系の定義

絶対座標系におけるひずみ成分と応力成分は式(5)および式(6)で表される。

$$\{\varepsilon_{XYZ}\}^T = \{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{xy}\} \quad (5)$$

$$\{\sigma_{XYZ}\}^T = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}\} \quad (6)$$

また、他の座標系についても同様である。ここで、異方性軸座標系についてひずみと応力の関係は式(7)で表される。

$$\{\varepsilon_{x'y'z'}\} = [H'] \cdot \{\sigma_{x'y'z'}\} \quad (7)$$

ここで、 $[H']$ は式(8)で表される。

ここに E_x, E_y, E_z は各異方性軸のヤング率、 $\nu_{x'y'}, \nu_{y'z'}, \nu_{z'x'}, \nu_{y'x'}, \nu_{z'y'}, \nu_{x'z'}$ はポアソン比、 G_{xy}, G_{yz}, G_{zx} は剛性率である。

$$[H'] = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{x'y'}/E_x & -\nu_{x'z'}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{y'x'}/E_y & 1/E_y & -\nu_{y'z'}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{z'x'}/E_z & -\nu_{z'y'}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{y'z'} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{z'x'} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{x'y'} \end{bmatrix} \quad (8)$$

異方性軸座標系 (x', y', z') と絶対座標系 (X, Y, Z) における応力成分は式(9)の関係をもつ。

$$\{\sigma_{x'y'z'}\} = [T_{x'y'z'}] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \quad (9)$$

ここに、 $[T_{x'y'z'}]$ は座標変換マトリックスである。同様にひずみ成分における関係は以下のように書ける。

$$\{\varepsilon_{x'y'z'}\} = [T_{x'y'z'}] \cdot \{\varepsilon_{XYZ}\} \quad (10)$$

式(9)と式(10)を式(7)に代入すると、絶対座標系におけるひずみと応力の関係を式(11)のように得ることができる。

$$\{\varepsilon_{XYZ}\} = [T_{x'y'z'}]^{-1} \cdot [H'] \cdot [T_{x'y'z'}] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \quad (11)$$

同様にボーリング孔基準座標系 (x, y, z) と絶対座標系 (X, Y, Z) における応力およびひずみの関係は、座標変換マトリックス $[T_{xyz}]$ を用いるとそれぞれ以下の関係となる。

$$\{\sigma_{xyz}\} = [T_{xyz}] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \quad (12)$$

$$\{\varepsilon_{xyz}\} = [T_{xyz}] \cdot \{\varepsilon_{XYZ}\} \quad (13)$$

式(12)、式(13)を式(11)に代入し整理するとボーリング孔座標系におけるひずみと応力の関係が式(14)のように得られる。

$$\{\varepsilon_{xyz}\} = [T_{xyz}] \cdot [T_{x'y'z'}]^{-1} \cdot [H'] \cdot [T_{x'y'z'}] \cdot [T_{xyz}]^{-1} \cdot \{\sigma_{xyz}\} \quad (14)$$

ここで、

$$[A] = [T_{xyz}] \cdot [T_{x'y'z'}]^{-1} \cdot [H'] \cdot [T_{x'y'z'}] \cdot [T_{xyz}]^{-1} \quad (15)$$

と置くと、式(14)は以下のようにになる。

$$\{\varepsilon_{xyz}\} = [A] \cdot \{\sigma_{xyz}\} \quad (16)$$

この式(16)に式(12)を代入すると無限遠方から作用する応力 $\{\sigma_{XYZ}\}$ によってボーリング孔周りに生ずるひずみとの関係式が式(17)のように得られる。

$$\{\varepsilon_{xyz}\} = [A] \cdot [T_{xyz}] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \quad (17)$$

次にボーリング孔に定義する球座標系 (ρ, θ, ϕ) に

おけるひずみとボーリング孔基準座標系 (x, y, z) に
おけるひずみとの関係は座標変換式 $[T_{\rho\theta\phi}]$ を用い
ると以下ようになる。

$$\{\varepsilon_{\rho\theta\phi}\} = [T_{\rho\theta\phi}] \cdot \{\varepsilon_{xyz}\} \quad (18)$$

24 素子下向き円錐孔底ひずみ法では、 $\phi=30^\circ$ で
あり、測定されるひずみ成分は、 ε_ρ および ε_θ 、なら
びに ρ 、 θ 軸を基底とする面内において両軸に対し
 45° 方向の ε_ψ だけである。なお、 ε_ψ の算出は式(19)
による。

$$\varepsilon_\psi = \varepsilon_\theta \cos^2 \psi + \varepsilon_\rho \sin^2 \psi + \gamma_{\rho\theta} \sin \psi \cos \psi \quad (19)$$

ここで、 $\psi=45^\circ$ より、

$$\varepsilon_\psi = \frac{1}{2}(\varepsilon_\theta + \varepsilon_\rho + \gamma_{\rho\theta}) \quad (20)$$

となる。以上の過程で導出された ε_ρ 、 ε_θ および ε_ψ に
関わる項を抽出して整理することで次式を得る。

$$\{\varepsilon_{\rho\theta\psi}\} = [T_{\rho\theta\psi}] \cdot \{\varepsilon_{xyz}\} \quad (21)$$

式(17)を式(21)に代入し応力集中も考慮に入れる
と、無限遠方から作用する応力 $\{\sigma_{XYZ}\}$ によってボー
リング孔底面に生じるひずみの関係式が式(22)とし
て得られ、これが観測方程式となる。

$$\{\varepsilon_{\rho\theta\psi}\} = [T_{\rho\theta\psi}] \cdot [A] \cdot [C] \cdot [T_{xyz}] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \quad (22)$$

ここに、 $[C]$ は応力集中係数マトリックスであり次
式で表される。

$$[C] = \begin{bmatrix} c_{x-x} & c_{x-y} & c_{x-z} & c_{x-yz} & c_{x-zx} & c_{x-xy} \\ c_{y-x} & c_{y-y} & c_{y-z} & c_{y-yz} & c_{y-zx} & c_{y-xy} \\ c_{z-x} & c_{z-y} & c_{z-z} & c_{z-yz} & c_{z-zx} & c_{z-xy} \\ c_{yz-x} & c_{yz-y} & c_{yz-z} & c_{yz-yz} & c_{yz-zx} & c_{yz-xy} \\ c_{zx-x} & c_{zx-y} & c_{zx-z} & c_{zx-yz} & c_{zx-zx} & c_{zx-xy} \\ c_{xy-x} & c_{xy-y} & c_{xy-z} & c_{xy-yz} & c_{xy-zx} & c_{xy-xy} \end{bmatrix} \quad (23)$$

この応力集中係数マトリックスは測定位置によるパ
ラメータのほか、異方性軸のヤング率の比率やポア
ソン比によって決まり、三次元有限要素法などの数
値解析で求める。したがって、円錐孔底面上の測定
位置によって変化し、24 素子ストレインセルを用
いた場合、 θ が $0 \sim 315^\circ$ の範囲で 45° 毎に $[C]_{\theta=0^\circ}$ 、
 $[C]_{\theta=45^\circ}$ 、 $[C]_{\theta=90^\circ}$ 、 $[C]_{\theta=135^\circ}$ 、 $[C]_{\theta=180^\circ}$ 、 $[C]_{\theta=225^\circ}$ 、
 $[C]_{\theta=270^\circ}$ 、 $[C]_{\theta=315^\circ}$ の 8 個となる。また、ヤング率と
ポアソン比の異方性はオーバーコアを用いた岩石試
験により求める。測定された各ひずみと数値解析で
求めた各応力集中係数マトリックス $[C]$ から以下に示
す $\theta=0 \sim 315^\circ$ の 8 箇所のひずみ成分について計 24

個の観測方程式が得られる。

このとき求める未知数は σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{yz} 、 τ_{zx}
および τ_{xy} の 6 個であるので最小二乗法により最
確値を求める。式(24)の観測方程式を一括してマト
リックス表記すると、式(25)のように書き換えるこ
とができる。

$$\begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_\rho \\ \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_\psi \end{array} \right\}_{\theta=0^\circ} \\ \vdots \\ \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_\rho \\ \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_\psi \end{array} \right\}_{\theta=315^\circ} \end{cases} = \begin{cases} [T_{\rho\theta\psi}]_{\theta=0^\circ} \cdot [A] \cdot [C]_{\theta=0^\circ} \cdot [T_{xyz}] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \\ \vdots \\ [T_{\rho\theta\psi}]_{\theta=315^\circ} \cdot [A] \cdot [C]_{\theta=315^\circ} \cdot [T_{xyz}] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \end{cases} \quad (24)$$

$$\{\varepsilon^m\} = [B] \cdot \{\sigma_{XYZ}\} \quad (25)$$

$$\{\varepsilon^m\} = \{\varepsilon_\rho^{\theta=0^\circ}, \varepsilon_\theta^{\theta=0^\circ}, \dots, \varepsilon_\psi^{\theta=315^\circ}\} \quad (26)$$

$$[B] = \begin{Bmatrix} \bar{B}_{\theta=0^\circ} \\ \bar{B}_{\theta=45^\circ} \\ \vdots \\ \bar{B}_{\theta=315^\circ} \end{Bmatrix} \quad (27)$$

$$\bar{B}_{\theta=\hat{\theta}} = [T_{\rho\theta\psi}]_{\theta=\hat{\theta}} \cdot [A] \cdot [C]_{\theta=\hat{\theta}} \cdot [T_{xyz}] \quad (28)$$

従って、最小二乗法の原理により、求める 6 個の応
力成分の最確値は次式のとおりである。

$$\{\sigma_{XYZ}\} = [[B]^T \cdot [B]]^{-1} \cdot [B]^T \cdot \{\varepsilon^m\} \quad (29)$$

3. 異方性を考慮した初期地圧計算結果

(1) 円錐孔底ひずみ法の測定例

円錐孔底ひずみ法の測定例として、測定により得
られた解放ひずみ曲線を図-4に示す。現場から回収
したオーバーコア(図-5)から室内試験用の岩石供試
体を作成し、一軸載荷試験を実施した。同図に示す
ように三方向のコア抜きを行い、片理面に平行方向
と直交方向の載荷用の岩石供試体を作成した。

岩石一軸載荷試験による応力～ひずみグラフの例
と片理面方向による弾性係数を整理し図-6に示す。
この結果、載荷方向によりひずみの発生が異なり、
弾性係数には異方性が認められ、片理面に平行方向
の弾性係数は直交方向に対して約1.5倍である。

また、ポアソン比についても異方性を示している。

室内試験による異方性の物性値を整理して表-1に
示すが、以後の検討では等方性モデル(CASE-1)と異
方性モデル(CASE-2,3)とで応力解析を実施した。

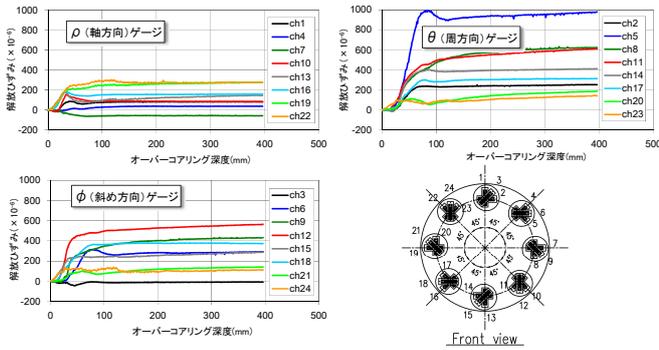


図-4 円錐孔底ひずみ法の解放ひずみ曲線

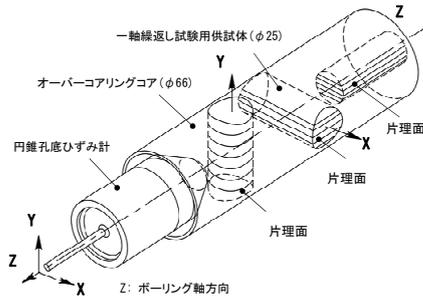


図-5 室内载荷試験用のオーバーコアサンプリング

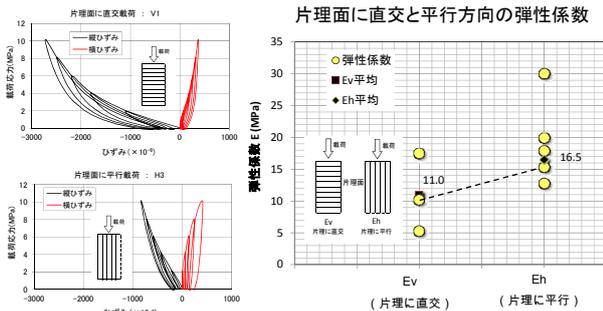


図-6 室内载荷試験による弾性係数の異方性

表-1 異方性の物性値と解析ケース

解析モデル	応力解析ケース	弾性係数 E	ポアソン比 ν
等方性	基本ケース	CASE-1 E=13.8GPa	$\nu=0.21$
	Eのみ異方性	CASE-2 Eh=16.5GPa Ev=11.0GPa Eh/Ev=1.5	$\nu=0.21$
異方性	E, ν 異方性	CASE-3 Eh=16.5GPa Ev=11.0GPa Eh/Ev=1.5	$\nu_h=0.32$ $\nu_v=0.09$

弾性係数 Eh: 片理に平行, Ev: 片理に直交
ポアソン比 ν_h : 片理に平行, ν_v : 片理に直交

(2) 等方性モデルでの応力解析 (CASE-1)

上記のとおり室内载荷試験によると弾性係数は片理構造により異方性を示すが、ここでは弾性係数とポアソン比の平均値を用いて、従来の等方性モデル理論に基づく手法で応力解析を実施し、得られた初期地圧を図-7に示す。この結果、空洞横断面では最大主応力は右側(放水路側)に低角度に作用する傾向を示している。片理面の構造は空洞横断面ではほぼ

水平であり、奥行き方向に30° 傾斜する異方性構造となっているが、同図に示す空洞横断面での応力状態は山側から川側に傾斜する地形の影響を受けたものと考えられる。

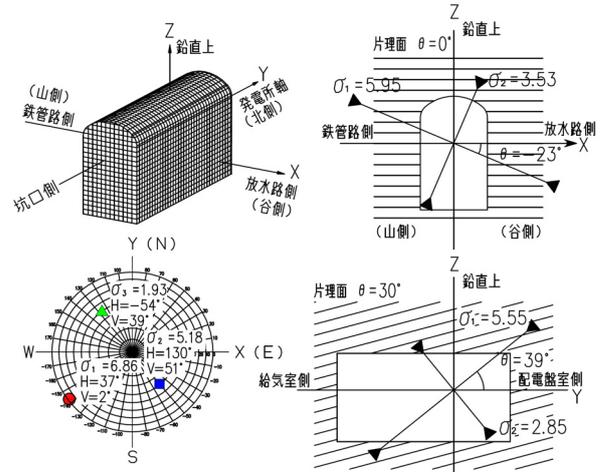


図-7 円錐孔底法による等方性モデル解析結果

(3) 異方性モデルでの応力解析 (CASE-2, 3)

表-1に示したように弾性係数は片理構造により約1.5倍の異方性を示している。異方性モデルの解析ケースとして、弾性係数のみ異方性としポアソン比を一律としたCASE-2, 弾性係数とポアソン比ともに異方性としたCASE-3の2ケースを実施した。これらの異方性により得られた初期地圧を図-8に示す。

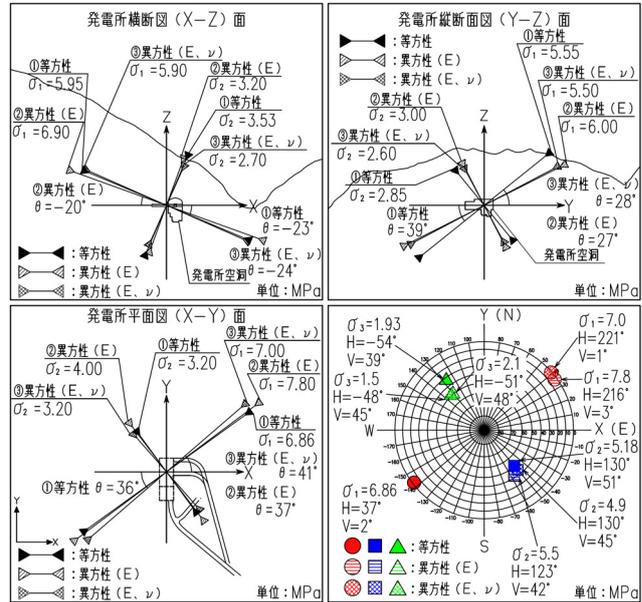


図-8 異方性・等方性モデルによる応力解析の比較

この結果、異方性と等方性とは主応力状態に多少の相違が見られる。また、ポアソン比の異方性を考慮した場合と一律とした解析ケースの比較(CASE-2とCASE-3)では、主応力値や角度ともに相違は僅かである。これら理由として弾性異方性を有する岩盤でも連続体地山応力場では応力の再配分により等方性モデルに近似するためと推察される。

次に、異方性と等方性の相違を詳細に見るため、各ケースの数値と比率を比較して表-2に示す。同表によると、従来の等方性モデルと今回の異方性モデルを比較すると、主応力の大きさが最大25%、主応力の作用角度で10°程度の相違があった。すなわち、弾性係数が1.5倍の異方性では等方性に対して応力の相違は最大25%である。なお、ポアソン比の異方性を考慮しても主応力や主応力角への影響は小さい。

表-2 異方性モデルの等方性モデルに対する相違比率

		等方性のケースを基準とした比率						
		等方性解析 CASE-1		異方性解析 (E) CASE-2		異方性解析 (E, ν) CASE-3		
		数値	比率	数値	比率	数値	比率	
三次元	最大主応力	σ1	6.86	7.83	14%	7.03	2%	
		H	37	216	-1°	221	4°	
		V	2	3	1°	1	-1°	
	中間主応力	σ2	5.18	5.53	7%	4.91	-5%	
		H	130	123	-7°	130	0°	
		V	51	42	-9°	45	-6°	
最小主応力	σ3	1.92	2.07	8%	1.52	-21%		
	H	-54	-51	3°	-48	6°		
	V	39	48	9°	45	6°		
相違比率		主応力角		7%~14%		2%~21%		
				1°~9°		1°~6°		
二次元	X-Y	σ1	6.86	7.82	14%	7.03	2%	
		σ2	3.19	3.98	25%	3.23	1%	
		θ	36	37	1°	41	5°	
	Y-Z	σ1	5.55	6.04	9%	5.53	0%	
		σ2	2.85	2.98	5%	2.55	-11%	
		θ	39	27	-12°	28	-11°	
	Z-X	σ1	5.95	6.85	15%	5.88	-1%	
		σ2	3.53	3.18	-10%	2.69	-24%	
		θ	113	110	-3°	114	1°	
	相違比率		主応力角		5%~25%		0%~24%	
					1°~12°		1°~11°	

4. 初期地圧測定手法の比較と地形の影響評価

(1) 埋設ひずみ法の特徴と異方性岩盤への適用性

埋設ひずみ法は8成分の多軸ひずみ計(図-9)を用いた応力解放法のひとつで、電研方式として古くから地下発電所の調査に多くの適用実績がある。

埋設ひずみ法では現場から回収したオーバーコアを用いて室内三軸荷重試験を行い、各ひずみ成分に対する荷重応力～ひずみの関係から各ひずみ計の弾性係数 E_i を得る。

これを、ひずみ感度係数 E_i と称し、実測の解放ひずみ ε_i を式(30)のように補正して、応力の計算には観測方程式を式(31)のように表される。ここで E_0 は任意の弾性係数で、式(30)を式(31)に代入すると両辺には E_0 が含まれるため消去される。そのため、任意の弾性係数 E_0 を使用せずに個々の E_i のみを使用すると、観測方程式は式(32)のように表され、各ゲージ箇所毎の弾性係数 E_i が反映されることになる。

すなわち、埋設ひずみ法ではひずみ感度係数という指標を用いることで不均質性や異方性の影響をある程度反映できる手法である。

なお、 $[B]$ はひずみ計の設置方向で決まる方向余弦マトリクスであり、正規化計算を経て初期地圧の応力成分 $\{\sigma\}$ は式(33)のように得る。

$$\varepsilon_i^* = \frac{E_i}{E_0} \varepsilon_i \quad (30)$$

$$\{\varepsilon^*\} = \frac{1}{E_0} \cdot [B] \cdot \{\sigma\} \quad (31)$$

$$\{\varepsilon_i\} = \frac{1}{E_i} \cdot [B] \cdot \{\sigma\} \quad (32)$$

$$\{\sigma\} = E_0 \cdot [B]^{-1} \cdot [B] \cdot \{\varepsilon^*\} \quad (33)$$

埋設ひずみ法による測定例として得られた解放ひずみ曲線を図-10(a)に、オーバーコアを用いた室内感度試験結果を図-10(b)に示すが、同じ荷重応力に対してひずみ計毎に発生するひずみ量が異なっている。そこで片理面とひずみ計の方向について異方性の関係を整理して図-11に示す。

測定ボーリングは片理面と平行に削孔し、ボーリング軸直交面内では片理面は右側30°に傾斜しており、同図から弾性係数は片理面に直交する方向ほど小さく、片理面に平行な方向ほど大きい傾向を示す。

すなわち埋設ひずみ法では異方性を反映したひずみ成分毎の弾性係数が応力解析に用いられ、厳密ではないが異方性を考慮できる手法である。

埋設ひずみ法による初期地圧を図-12に示す。同図の空洞横断面内応力では主応力は山側から谷側に傾斜しており、地形の影響を受けたものと考えられる。しかし、地表面の傾斜角に比べ主応力は高角度であり、地形の影響が十分に反映されているとは言えず、厳密な異方性理論の提案が望まれる。

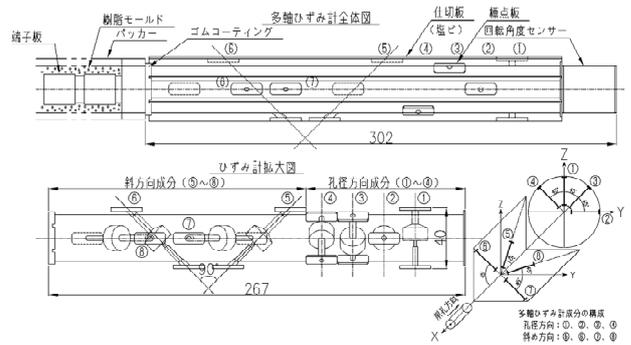
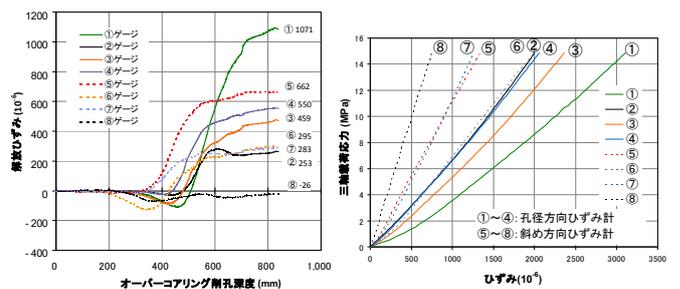


図-9 埋設ひずみ計の構造(8成分)



(a) 解放ひずみ曲線 (b) ひずみ感度試験(三軸試験)

図-10 埋設ひずみ法による解放曲線と三軸感度試験

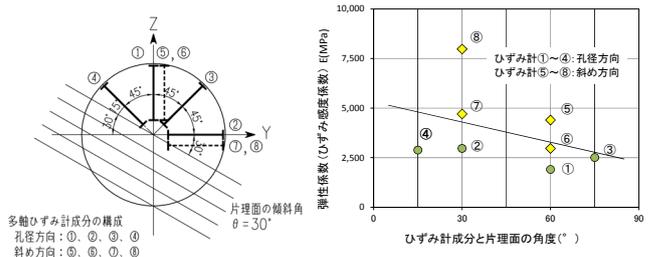


図-11 ひずみ計の方向と片理面角度による弾性係数の異方性

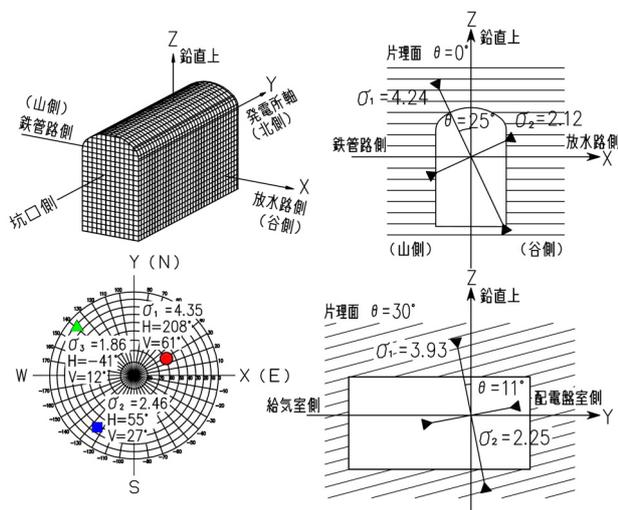


図-12 埋設ひずみ法による初期地圧測定結果

(2) 地形面の形状が初期地圧に及ぼす影響の評価

初期地圧測定の実施箇所は地山被り135mで地表面は傾斜しているため初期地圧は地形の影響も受けているものと考えられる。そこで解析対象領域として図-13に示のような要素数約90,000の三次元FEMメッシュを作成し、サイトの地形を考慮した均質弾性モデルによる自重解析を実施した。

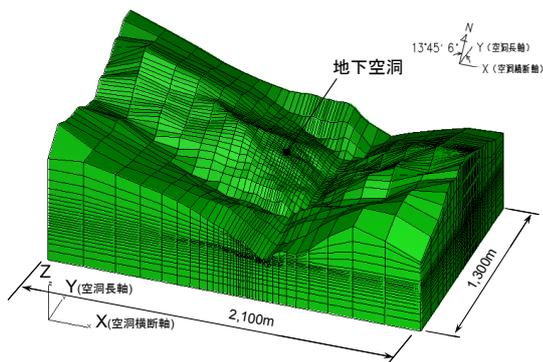


図-13 自重解析に用いた地形メッシュ図

自重解析結果と初期地圧の実測値を比較して図-14に示す。空洞横断面(X-Z)では自重解析結果は地形の影響を反映した結果を示し、埋設ひずみ法と円錐孔底ひずみ法による主応力は自重解析結果の両側

にばらついている。また、水平面(X-Y)では実測値と自重解析値の作用方向に相違が見られるが、その要因として解析では考慮されない南北方向の地殻応力の作用が推察される。

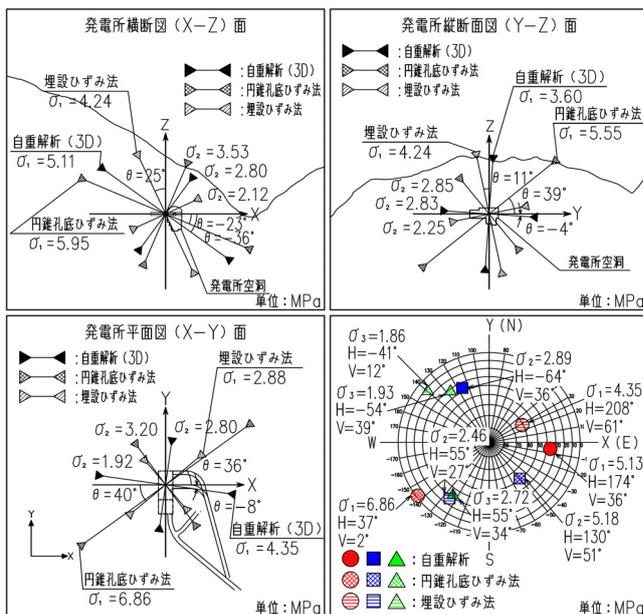


図-14 自重解析と実測値(埋設ひずみ法, 円錐孔底ひずみ法)の比較

5. おわりに

異方性岩盤に対する初期地圧測定において、円錐孔底ひずみ法に直交異方性モデル理論を適用した。その結果、弾性係数の異方性比1.5倍では、初期地圧の応力値は等方性モデルに比べ最大25%程度の相違が認められた。異方性を考慮することでより高精度な初期地圧の評価が可能と考えられる。

参考文献

- 1) 地盤工学会編：地盤調査の方法と解説，円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法，pp.959-970，2012
- 2) 坂口清敏，宇佐美順也，木崎彰久：円錐孔底ひずみ法の直交異方性岩盤への適用，資源・素材学会，Journal of MMIJ Vol.129(2013), No.7, pp.47-52, 2013.7

APPLICATION OF THE INITIAL ROCK STRESS MEASUREMENT USING CCBO METHOD BASED ON ANISOTROPY THEORY IN ANISOTROPIC ROCK

Takayuki MORI, Makoto NAKAJIMA, Kiyotoshi SAKAGUCHI, Satoru AOKI and Kazuki NAGAI

As the initial rock stress measurement technique for design of large-scale underground cavern, Compact Conical-ended Borehole Over-coring (CCBO) method is increasing application performance. The stress calculation model of conventional CCBO method is based on linear elastic model. Therefore this method, there is a possibility of obtaining a different value compared with the true initial stress. Authors tried the application of the anisotropy theory in black schist which anisotropy is well developed, and compare with the results of isotropy model analysis in this paper.