

# 多連型孔壁ひずみゲージを用いた 3次元多段式応力測定システムの精度向上と 原位置への適用の検討

板本 昌治<sup>1\*</sup>・桑原 和道<sup>1</sup>・陳 渠<sup>1</sup>・中山 芳樹<sup>1</sup>・水田 義明<sup>2</sup>・新 孝一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>株式会社 3D地科学研究所 東京事業所技術部 (〒107-0052 東京都港区赤坂九丁目6-41 乃木坂ビル)

<sup>2</sup>崇城大学 工学部エコデザイン学科 教授 (〒860-0082 熊本県熊本市池田四丁目22-1)

<sup>3</sup>財団法人電力中央研究所 地球工学研究所<sup>ハクセント</sup> 研究センター (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

\*E-mail: itamoto@3d-geosci.jp

応力解放法のひとつである孔壁ひずみ法を利用した現在開発中の3次元多段式応力測定システムは、1回の測定で3点の3次元応力状態を把握することができる。しかしながら、この測定システムはひずみゲージの耐久性と測定精度の向上がこれまでの課題であった。この論文は改良した多連型孔壁ひずみゲージを用い、原位置試験状態に近い条件で室内オーバーコアリング試験を行い原位置測定への適用性について検討したものでまた、解放ひずみから応力換算を行う際に3通りの解析方法を試み、測定システムの精度の向上について検討したものである。

**Key Words :** *rock stress, three dimensional stress state, multiple stress measurement, over-coring, biaxial loading test, examining sensitivity*

## 1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分施設や天然ガス・液化石油ガスの地下備蓄基地あるいは静かで安定した環境が必要とされる地下実験施設など、様々な用途で地下空間を利用する機会が増えている。このような地下施設建設に伴い掘削される地下空洞の安全かつ経済的な設計・施工を行う際の基礎資料として、初期地圧状態の把握は重要な項目のひとつであると言える。また、最近ではより経済的で効率的な支保工や覆工の新たな工法技術を開発するため、あるいは保守管理といった目的で施工後の空洞周辺の二次地圧の測定や覆工自体に作用する応力の測定など、応力測定の目的も多岐におよんでいる。このような背景から、安価で簡便でかつ高精度な応力測定法の開発が望まれており、多くの研究者により様々な応力測定の方法が提案されている。そのうちの応力解放法に着目すると現在我が国では埋設ひずみ法および円錐孔底ひずみ法が主に利用されている。特に円錐孔底ひずみ法は、比較的簡便であることから地圧測定のみならず構造物に作用する応力測定などにもしばしば利用されている。これらの応力測定法は一回の測定につき1測定点における応力状態が出力されることは周知のことである。筆者らは応力解

放法の一手法である孔壁ひずみ法を利用した「3次元多段式応力測定システム」を考案・開発した<sup>1)</sup>。この測定システムの大きな特徴は、1回のオーバーコアリング測定で孔軸方向に連続的な3点で3次元応力状態の把握が可能なことである。また、孔壁面へのゲージ貼付けには円錐孔底ひずみ法と同様のシアノアクリレート系接着剤を用いることにより短期間での計測が可能であることと、オーバーコアリング後回収したコアを用いた等圧二軸載荷試験により、応力に対するひずみの感度補正が可能なることも特徴である。この測定システムについて筆者らは室内検証試験を行い一定の成果を挙げてきた。一方、ゲージの耐久性や測定精度の向上などが課題であった<sup>2,3)</sup>。この論文ではこのような課題について解決を試みるとともに、測定システムの原位置への適用について検討した。

## 2. 孔壁ひずみ法の原理

図-1は孔壁ひずみ法における座標と孔壁面に貼付けるひずみゲージ配置の関係を示したものである。用いるゲージは三軸ひずみゲージで、この時測定されるひずみは孔軸方向のひずみ  $\varepsilon_z$ 、孔周方向のひずみ  $\varepsilon_\theta$  およびこれ

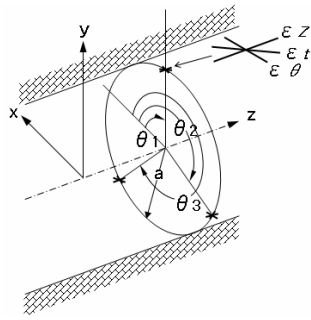


図-1 孔壁ひずみ法における座標とゲージ配置

らの方向と45度をなす方向のひずみ  $\varepsilon_t$  である. 図に示すようにひずみゲージを孔壁の同一円周上に3枚配置し解放ひずみを測定することによって, 原位置の3次元応力状態を計算することができる. なお, この論文ではロゼットゲージは120° 間隔で配置した.

Hiramatu and Oka (1969)<sup>4)</sup>はボーリング孔半径を  $a$ , ゲージ長を  $l$  とし  $\omega = l/a$  と置きひずみと応力との関係を式(1)のように示した.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_t \end{bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 - \frac{2 \sin \omega}{\omega} \cos 2\theta \\ \frac{2 \nu \sin \omega}{\omega} \cos 2\theta \\ (1 - \nu) \left( \frac{\sin(\omega/\sqrt{2})}{\omega/\sqrt{2}} - \frac{\sin \omega}{\omega} \right) \cos 2\theta \\ 1 + \frac{2 \sin \omega}{\omega} \cos 2\theta & 0 \\ \frac{2 \nu \sin \omega}{\omega} \cos 2\theta & 1 \\ (1 - \nu) \left( \frac{\sin \omega}{\omega} - \frac{\sin(\omega/\sqrt{2})}{\omega/\sqrt{2}} \right) \cos 2\theta & 0 \\ -\frac{4 \sin \omega}{\omega} \sin 2\theta & 0 \\ -\frac{4 \nu \sin \omega}{\omega} \sin 2\theta & 0 \\ 2(1 - \nu) \left( \frac{\sin(\omega/\sqrt{2})}{\omega/\sqrt{2}} - \frac{\sin \omega}{\omega} \right) \sin 2\theta & -2 \frac{\sin(\omega/\sqrt{2})}{\omega/\sqrt{2}} \cos \theta \\ 0 & \left. \begin{matrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{matrix} \right\} \\ 0 & \\ 2 \frac{\sin(\omega/\sqrt{2})}{\omega/\sqrt{2}} \sin \theta & \end{bmatrix}$$

ここに,  $E$ : 岩盤のヤング率  
 $\nu$ : 岩盤のポアソン比  
 $\sigma, \tau$ : 応力成分

式(1)の3×6行列を単純に  $[A]$  とおき簡略化すると

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

と表される. また, 求める6応力成分に対し測定されるひずみデータの数が多いので最小二乗法により最確値を求める. 最小二乗法はその原理により式(2)に行列  $[A]$  の転置行列  $[A]^T$  を左側から乗じ

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

とすればよい. 従って, 求める応力について整理すると

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

となる.

### 3. 多連型孔壁ひずみゲージの改良

3次元多段式応力測定システムは1回の測定で孔軸方向に連続的な3次元応力状態を把握する目的で開発した. 当初ひずみゲージは市販のケーブル付き防水型三軸ひずみゲージをゴムパッカー式の貼付け装置に直接配し, パッカーの加圧によりゲージを孔壁面に押し当て貼付けを行っていた. しかしながら, パッカーの膨張に伴う張力によるケーブルの断線やゲージの破損が認められ, ゲージの耐久性の向上を課題としていた. そこで, このような欠点を改良し, この測定システム専用の多連型孔壁ひずみゲージ (Multiple Boerhole Wall Strain Gauge 以下MSゲージという) の開発に至った. 改良したMSゲージは貼付けパッカーの円周に合わせ湾曲させたエポキシ樹脂のベース上に三軸ひずみゲージを組み込み, このベースを3枚等間隔でゴムバンドに貼付け, ゴムバンドを貼付けパッカーに3組被せたものである. またケーブルとパッカーとの摩擦を軽減するためにパッカー近くのケーブルの材質をエナメル線とした. 改良前・後のMSゲージを写真-1に示す.

(1)



【改良前・市販防水型ゲージ使用】



【改良後】

写真-1 多連型孔壁ひずみゲージと貼付けパッカー

#### 4. 適正貼付け圧の検討

MSゲージの適正貼付け圧を検討するため以下の試験を行った。まず内径46mmの亚克力管内にMSゲージを装着した貼付けパッカーを挿入し、パッカーに加圧したときのゲージと内壁との接触状況を肉眼で観察した。試験の結果、パッカー圧0.8MPa程度で亚克力管内にゲージが密着することを確認した。写真-2は亚克力管内でパッカー圧を0.8MPaとした時のゲージ状況である。

次に砂岩ブロックに穿った径46mm孔にMSゲージを装着した貼付けパッカーを挿入し、パッカー圧とゲージのひずみ挙動を測定した。この試験では亚克力管での試験と同様に接着剤は使用していない。図-2はパッカー圧とMSゲージのひずみ変化との関係を示したグラフで、上段は改良前の市販ゲージによる結果で、下段は改良後のMSゲージによる結果である。

いずれのグラフもパッカー圧が0.7MPa程度に至るまでゲージのひずみ変化量は大きい、0.7MPa以上では変化量が急激に小さくなり0.8MPa以上では概ね線形的な挙動を示す。この圧は亚克力管内壁にゲージが密着した圧

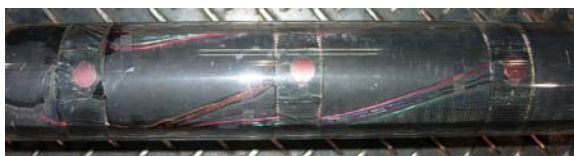
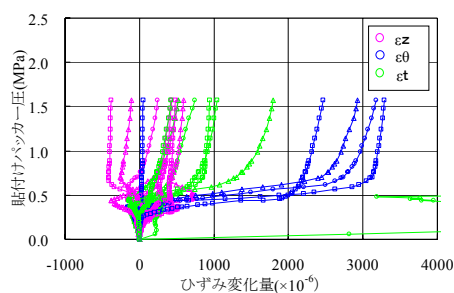
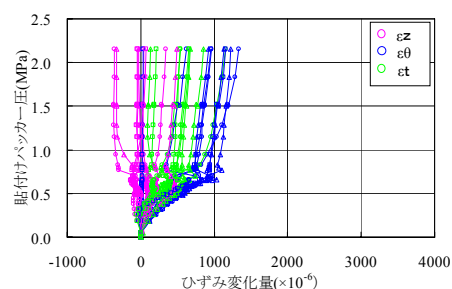


写真-2 アクリル管内で加圧した貼付けパッカー



a. 改良前・市販ゲージ使用



b. 改良後・MSゲージ使用

図-2 貼付けパッカー圧とゲージのひずみ挙動

力と同じ値であり、孔壁にゲージが密着したものと判断できる。特に着目すべきは改良前のゲージによる引張りひずみ値が $3000 \times 10^6$ 以上を示していたのに対し、改良後では $1000 \times 10^6$ 程度となり改良前と比べると1/3程度に低減された。また、改良前ではひずみゲージ27素子の内8素子のゲージが破損により測定不能となったが、改良後のMSゲージでの測定不能は認められなかった。

この試験で、現在用いている貼付け装置のパッカーゴム反力が0.7MPa程度であり、0.8MPa程度でひずみゲージが孔壁に密着した状態となることが分かった。実際にこの貼付けパッカーとMSゲージを用いて原位置試験を行う場合、試験中のパッカーの減圧やゲージへの過剰加圧による負荷の軽減を考慮すると、貼付け装置の適正貼付け圧 (パッカー圧) としては1.0MPa程度と判断できる。またこの時、ゴム反力が0.7MPa程度とするとひずみゲージに実際に作用する押し付け圧は0.3MPaと考えられる。シアノアクリレート系の接着剤を使用した場合、押し付け圧は最低でも0.05~0.1MPa程度が必要とされているが<sup>9)</sup>、0.3MPaであれば問題ないといえる。

#### 5. 室内オーバーコアリング試験

次に原位置試験を模して室内でのオーバーコアリング試験を実施した。試験は300mm四方で高さ350mmの砂岩ブロックの中心を通る長手方向に径46mmの試験孔を穿ち供試体とし、二軸載荷試験装置に設置した。フラットジャッキにより任意に設定したx軸とy軸のそれぞれに5.3MPaおよび8.1MPaで加圧した。なお、載荷に用いたフラットジャッキの大きさは300mm正方形であるため、高さ350mmである供試体ブロックの下側50mm区間では無載荷状態となる。

次に、MSゲージにシアノアクリレート系の接着剤を塗布し貼付けパッカーと共に供試体の試験孔内に挿入した。この時3段のゲージ位置がそれぞれ、孔口から深度50mm、150mmおよび250mmの位置となりNo.1、No.4およびNo.7ゲージ方向がx軸方向を向くように設置した。その後、貼付けパッカー圧を1MPaとしゲージを孔壁に押し当て接着した。1時間程度養生した後、コアドリルを用いて供試体上端面から外径110mm、内径100mmでオーバーコアリングを行い、削孔深度10mmごとのひずみ変化を測定した。

図-3に二軸載荷試験装置を用いた室内オーバーコアリング試験の模式図を示す。また、図-4にオーバーコアリングに伴うひずみ解放曲線を示す。各ゲージの曲線は非常にスムーズで連続的なデータとなった。解放ひずみの読み取り値を表-1にまとめる。読み取り値は深度50mmのゲージではオーバーコアリング削孔深度180~220mm

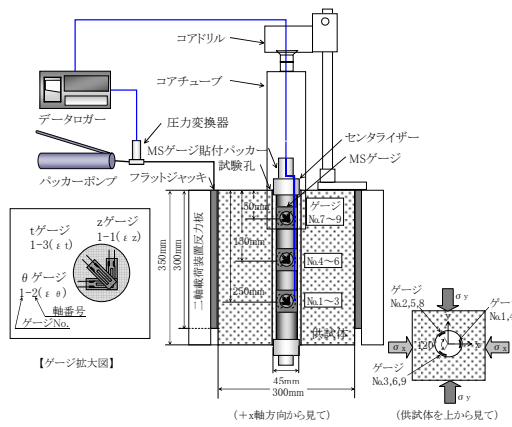


図-3 二軸載荷試験装置を用いた室内オーバーコアリング試験模式図

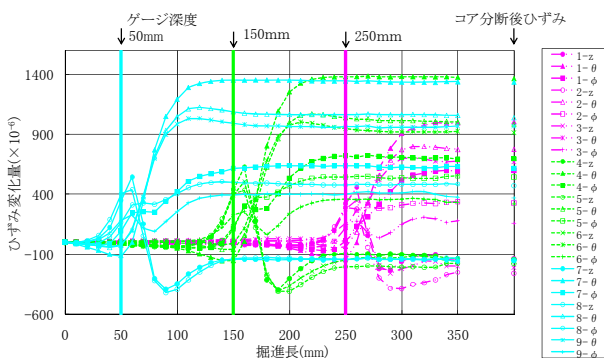


図-4 オーバーコアリング試験に伴うひずみ解放曲線

表-1 オーバーコアリング試験による解放ひずみ

深度50mm ゲージNo.	7-z	7-θ	7-t	8-z	8-θ	8-t	9-z	9-θ	9-t
ひずみ変化量 ( $\times 10^{-6}$ )	-144	1352	637	-133	1067	486	***	968	401
深度150mm ゲージNo.	4-z	4-θ	4-t	5-z	5-θ	5-t	6-z	6-θ	6-t
ひずみ変化量 ( $\times 10^{-6}$ )	-121	1378	702	-196	1007	540	-134	922	348
深度250mm ゲージNo.	1-z	1-θ	1-t	2-z	2-θ	2-t	3-z	3-θ	3-t
ひずみ変化量 ( $\times 10^{-6}$ )	-138	1002	600	-261	777	328	-213	669	159

間の5データの平均値とし、深度150mmゲージでは310～350mm間の5データの平均値とした。また、深度250mmゲージはコアが供試体から分断した時点のひずみとした。深度50mmおよび150mmでは同方向のゲージ同士の解放ひずみの値はほぼ同程度となったが、ブロック下側50mm幅の無荷荷区間近傍に位置する深度250mmでの解放ひずみは相対的に小さな値を示した。なお、9-zゲージは試験中に断線で測定不能となった。

## 6. 試験孔コアによる一軸繰返し試験

砂岩ブロック試料に径46mmの試験孔を削孔した際に採取された径約30mmのコアを高さ60mmで切断し円柱供試体を作成した。この供試体を用いて最大応力2, 4, 6,

8および10MPaの5サイクルで載荷・除荷を行う一軸繰返し試験を実施しヤング率とポアソン比を求めた。各繰返し載荷の除荷開始時から次の載荷開始直前までの応力と各軸ひずみの変化量を読み取り、読み取った応力の変化量と各軸ひずみの変化量（弾性回復ひずみ）をそれぞれ縦軸と横軸にとって5点プロットした。プロット点を直線で最小二乗近似し、この直線の傾きをヤング率 $E$ とした。同様に、各繰返し載荷の除荷時の横ひずみの変化量から直線の傾きを求め、軸ひずみの傾きを横ひずみの傾きで除した値をポアソン比とした。応力-ひずみ曲線と弾性回復ひずみプロット図の例を図-5に示す。また、求めたヤング率とポアソン比を表-2にまとめた。2供試体の平均をとってヤング率 $E=11.4\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.14$ とした。

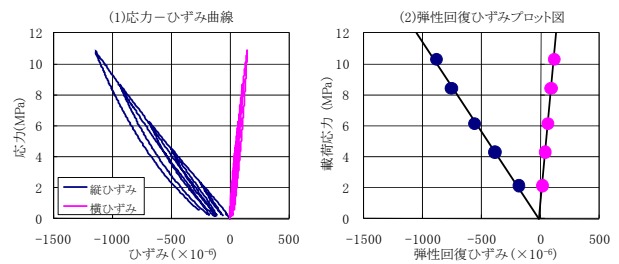


図-5 一軸繰返し試験結果例

表-2 一軸繰返し試験によるヤング率とポアソン比

試料No.	ヤング率 $E(\text{GPa})$	ポアソン比 $\nu$
No.1	11.5	0.14
No.2	11.3	0.14
平均	11.4	0.14

## 7. 回収コアによる等圧二軸載荷試験

オーバーコアリング終了後、MSゲージが貼り付いたままの回収コアを用い等圧二軸載荷試験を行った。試験結果となる応力-ひずみ曲線を図-6に示した。曲線は各方向のゲージごとに概ね同様の傾きを持つ。これらの傾きを各ゲージ方向のヤング率 $E_n$ 、載荷応力 $\sigma$ とすると

$$E_n = \sigma / \varepsilon_n \quad (5)$$

ここに、

$\varepsilon_n$ は載荷応力 $\sigma$ の時のひずみ、ただし $n$ は $z, \theta, t$

と表わされる。板本他(2007)<sup>3)</sup>は内径46mm・外径100mmの円筒モデルについてヤング率とポアソン比とを変化させ、モデルに外圧をかけたときの内空壁面に発生するひずみをFEM数値解析により求め、各ゲージ方



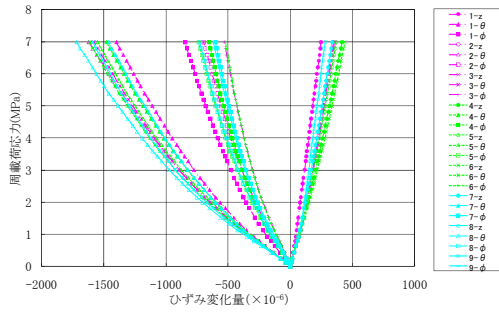


図-6 等圧二軸載荷試験による応力-ひずみ曲線

向のヤング率から式(6)および式(7)により岩盤のヤング率  $E$  とポアソン比  $\nu$  を求めた。

$$E = K_{\theta} \cdot E_{\theta} \quad (6)$$

ここに、

$$K_{\theta} = 0.9228\nu^3 - 0.6723\nu^2 + 0.3841\nu - 2.2741$$

$\nu$  : ポアソン比

また、ポアソン比  $\nu$  は式(7)で求める。

$$\nu = -0.1006(E_{\theta}/E_z)^2 - 0.9222(E_{\theta}/E_z) - 0.0014 \quad (7)$$

今回行った等圧二軸載荷試験のデータから供試体岩盤のヤング率  $E$  とポアソン比  $\nu$  を求めるとヤング率  $E=9.9\text{GPa}$ , ポアソン比  $\nu=0.19$ となる。

## 8. ひずみ感度係数の導入

金川他(1986)<sup>9)</sup>は埋設ひずみ法による解放ひずみの応力への換算係数として等圧三軸載荷試験結果から式(8)で各ひずみゲージのひずみ感度係数  $E_i$  を求め、式(9)から測定された解放ひずみをヤング率  $E_0$  とする均質等方な物質に対する見掛けの解放ひずみとして応力に換算する方法を提案した。このひずみ感度係数  $E_i$  は岩盤の異方性、ひずみ計埋設に用いるセメントミルクやひずみ計部材のヤング率およびパイロット孔の応力集中の影響などを含んだ値としており、各ゲージ方向のヤング率とも言える。

$$E_i = -(1-2\nu')\sigma_{ci}/\varepsilon_{pi} \quad (8)$$

ここに、

$\nu'$  : 見掛けのポアソン比 (岩盤・岩盤とひずみ計との空隙に充填されるセメントミルク・ひずみ計のゴムモールドなどの複合部材のポアソン比)

$\sigma_{ci}$  : 解放ひずみに対する等方応力

$\varepsilon_{pi}$  : 解放ひずみ

$$\varepsilon_i = E_i/E_0 \cdot \varepsilon_{pi} \quad (9)$$

ここに、 $\varepsilon_i$  : 見掛けの解放ひずみ

また、船戸他(1993)<sup>7)</sup>はCSIRO法で等圧三軸載荷試験を行いこの解析方法を導入した。ひずみ感度係数を今回行った等圧二軸載荷試験から求めると、孔軸( $z$ )方向、円周( $\theta$ )方向および45° ( $t$ )方向の各ゲージについてひずみ感度係数  $E_i$  と解放ひずみとの関係は式(10)の通りとなる。

$$E_i = \begin{cases} -2\nu \cdot \sigma_{ci}/\varepsilon_{pi z} \\ 2\sigma_{ci}/\varepsilon_{pi \theta} \\ (1-\nu) \cdot \sigma_{ci}/\varepsilon_{pi t} \end{cases} \quad (10)$$

ここに、

$\varepsilon_{pin}$  : 各方向の解放ひずみ。ただし、 $n$  は  $z, \theta, t$

金川他(1986)<sup>7)</sup>はまた厚肉円筒問題を用いオーバーコアリング径の検討を行っている。パイロット孔径を  $a$ , オーバーコアリングのコア径を  $b$  とすると、無限遠からの応力に対して発生するパイロット孔径変位  $u_0$  と三軸等圧載試験で発生する変位  $u_a'$  との比を式(11)で表している。

$$u_a'/u_0 = -b^2/(a^2 - b^2) \quad (11)$$

この比はひずみに対しても同様であるため、筆者らが扱うパイロット孔径46mm・オーバーコアリングコア径100mmに対してこの比を求めると1.268となる。データの補正をしないまま用いると、実際の応力値よりも過小な評価をしてしまう。従って、この章では等圧二軸載荷試験で得られたひずみ値  $\varepsilon_n$  (ただし、 $n$  は  $z, \theta, t$ ) を式(12)により補正し取り扱うものとした。

$$\varepsilon_n' = 1/1.268 \cdot \varepsilon_n \quad (12)$$

ここに、 $\varepsilon_n'$  : 補正ひずみ。ただし、 $n$  は  $z, \theta, t$

今回行った等圧二軸載荷試験より得られた応力とひずみの関係から深度150mmのゲージについて式(10)に従い表-3に示すひずみ感度係数および見かけのひずみを求めた。なお、均質等方体のヤング率  $E_0=10\text{GPa}$ , ポアソン比は第7章の値である  $\nu=0.19$  を用いた。

表-3 見掛けの解放ひずみ他一覧表(深度150mm)

E <sub>0</sub> = 10,000MPa		ν = 0.19		
ゲージNo.	解放ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	等方応力 (MPa)	ひずみ感度係数 (MPa)	見掛けのひずみ (×10 <sup>-6</sup> )
4-z	-121	2.82	8,842	107
4-θ	1,378	8.81	12,786	1,762
4-t	702	10.18	11,747	825
5-z	-196	4.92	9,531	187
5-θ	1,007	6.21	12,338	1,242
5-t	540	6.94	10,403	562
6-z	-134	2.92	8,270	111
6-θ	922	5.49	11,919	1,099
6-t	348	6.32	14,722	512

## 9. 応力解析結果

応力解析は以下に示す3通りの条件で行った。

ケース1:第6章に示す試験孔コアの一軸繰返し試験で求めたヤング率およびポアソン比で解析した結果。

ケース2:第7章に示す円筒モデルの数値解析による「外圧に対するひずみの関係」と「物性値」との関連付けにより等圧二軸載荷試験から求めたヤング率およびポアソン比で解析した結果。

ケース3:第8章に示す等圧二軸載荷試験から各ゲージのひずみ感度係数を求め解析した結果。なお、ポアソン比はケース2の値とし、等圧二軸載荷試験のひずみは厚肉円筒による補正を行った。

なお、応力解析は3段のうち供試体ブロックのほぼ中央にあたる深度150mmゲージの解放ひずみで行い、結果を表-4にまとめた。実際の載荷応力と比較すると、ケース3のひずみ感度係数を導入した解析方法の結果が実際の応力状態に最も近い計算結果となった。

表-4 応力解析結果

応力解析 ケース	ヤング率 E(GPa)	ポアソン比 $\nu$	応力値(MPa)	
			$\sigma_x$	$\sigma_y$
ケース1	11.4	0.14	5.5 (1.08)	7.1 (0.86)
ケース2	9.9	0.19	4.8 (0.94)	6.3 (0.76)
ケース3	ひずみ感度係数	0.19	5.1 (1.00)	8.0 (0.97)
載荷応力(フラットジャッキ圧)			5.1	8.3

※括弧内数字は実際の載荷応力と測定値との比

## 10. 今後の課題

今回、新たに開発したMSゲージを用い、原位置での測定状態にできるだけ近い条件で室内オーバーコアリングを実施した。試験の結果、ゲージの耐久性や解放ひず

みの測定精度に関して一定の成果を確認した。また、応力解析を3通りのケースで行った結果、ケース3のひずみ感度係数を導入した解析結果が実際の載荷条件に最も整合的であることが判明した。一方、ゲージの改良により、孔内貼付け時に発生する引張りひずみは以前に比べ大幅に低減できたが、依然として $1000 \times 10^6$ 程度の引張りひずみが発生するため、MSゲージの改良が必要と考える。また、この測定システムではパイロット孔とオーバーコアリング孔との孔軸のズレが測定精度に大きく影響するので、センタリングの精度を高める治具の開発、あるいはパイロット孔の小口径化などの検討が必要である。また、解析方法については、異方性岩盤を考慮した解析方法の検討も今後必要と考える。

## 参考文献

- 1) 板本昌治, 桑原和道, 丹野剛男, 中山芳樹, 水田義明: 孔壁ひずみ法を利用した連続三次元応力測定システムの開発, 第36回岩盤力学シンポジウム講演論文集, pp.425-430, 2006
- 2) 新孝一, 板本昌治, 桑原和道, 丹野剛男, 中山芳樹, 水田義明: 三次元連続応力測定システムによる室内オーバーコアリング試験, 第42回地盤工学会研究発表会平成19年度発表講演集 CD-ROM, 2007
- 3) 板本昌治, 桑原和道, 丹野剛男, 中山芳樹, 水田義明, 新孝一: 三次元多段式応力測定システムの測定精度に関する検討, 資源素材学会秋季大会講演集(I) 資源編, pp.81-82, 2007
- 4) Y. Hiramatsu and Y. Oka: Determination of the stress in rock unaffected by boreholes or drifts, from measured strains or deformations *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 5, pp. 337-353, 1968.
- 5) 高橋賞, 河井正安: ひずみ測定入門, 大成社, 1990
- 6) 金川忠, 日比野敏, 石田毅: オーバーコアリング法による三次元地圧計測法-埋設型8成分ゲージの開発-, 電力中央研究所報告 研究報告: 385033, 1986
- 7) 船渡昭雄, 横山幸也, 竹村友之, 平林豊: CSIRO法による初期地圧測定, 土木学会 第25回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集, pp.526-530, 1996

## A STUDY ON PRACTICAL USE AND PRECISION IMPROVEMENT OF MULTIPLE TREE DIMENSIONAL STRESS MEASUREMENT SYSTEM USING THE MULTIPLE BOERHOLE WALL STRAIN GAUGE

Masaharu ITAMOTO, Kazumichi KUWABARA, Qu CHEN,  
Yoshiki NAKAYAMA, Yoshiaki MIZUTA and Koichi SHIN

In order to determine the three-dimensional stress state in serial order, the authors developed the multiple measurement system for three-dimensional stress determination by over-coring the strains on the borehole wall. The serial stress measurements give the value of the stresses with high accuracy and bring the regional stress variations. Also, improving the precision of measurement is gotten if examining sensitivity with the core by over-coring. In this paper, we did further examination for the coming to practical use and we aim to apply this system to the field in future.