第Ⅲ部門　**探査細孔付円錐孔底同径オーバーコア法による地山初期応力シミュレーション解析**

京都大学大学院　フェロー　○小林　昭一　　京都大学大学院　正会員　西村　直志
京都大学大学院　学生　　　　高橋　徹　　　関西電力（株）　正会員　吉川　太

1．はじめに

応力解放による初期地圧測定法の一つとして，著者らは円錐孔底ひずみゲージ法（孔底を円錐形状に仕上げ，円錐中央高さの6点に母線方向および周方向に計12成分のひずみゲージを埋め込んだプラグを接着した後，大口径でオーバーコアすることにより生じる解法ひずみから，1孔のみを用いて初期応力状態を推定する方法）を提案し，原位置での初期地圧測定に利用してきた．本報文は，円錐孔底ひずみゲージ法を改良し，その特性を数値シミュレーション解析により明らかにしたものである．

2．探査細孔付円錐孔底同径オーバコア法

2.1 この方法への改良点

探査細孔付円錐孔底同径オーバコア法は，円錐孔底ひずみゲ－ジ法を改良したものである（**図－1**）．

1）孔底部の円錐先端前方に孔壁観察のために，12mm 径，長さ 100mm 程度のボーリング細孔を穿つ．

2）オーバーコアの径を測定孔径と同径とする．　これらにより，測定箇所の選択が確実となり，またオーバーコアの精度が高くなった．当然，経費と労力は激減した．しかし，一方では同径オーバーコアによる解放ひずみの挙動が複雑になり，高精度の観測方程式を立てることが必要となった．

2.2　初期地圧測定法の原理

応力解放法は，未知の応力状態にある岩盤にボーリング孔を掘削して孔底を整形した後，孔底近傍の壁にひずみゲージを接着し，その孔底を含むようにオーバーコアすることに伴って生じる解放ひずみを測定し，そのひずみから逆に未知応力を推定する方法である．これを適用するためには，岩盤が線形弾性であり，その弾性定数が既知でなければならない．以下では，対象とする岩盤は等方線形弾性体とする．

解放ひずみから応力を推定するためには，まず単位の応力成分に対するひずみ量を求め，このひずみ量が測定した解放ひずみに達するための応力成分の大きさを算定することとなる．

1）ひずみ感度行列[A]：応力6成分およびひずみ12成分を，それぞれ次のように表し，単位応力6成分とひずみ12成分の関係を求める．

$$\{\sigma\}^T=\{\sigma_{11},\sigma_{22},\sigma_{33},\sigma_{12},\sigma_{23},\sigma_{31}\}\quad \{\varepsilon\}^T=\{\varepsilon_{11},\varepsilon_{12},\dots\dots\dots,\varepsilon_{M1},\varepsilon_{M2}\}\quad \{\varepsilon\}=\frac{[A]}{E}\{\sigma\}\qquad (1),(2),(3)$$

ここに，σ_{ij} は直交直線座標系 $(0-x_1x_2x_3)$ を**図－1**（右手系）のように選んだ場合の応力成分であり，ひずみ成分は，第1添字は測定点（M=1～6）を，第2添字1および2は，それぞれ円錐の母線方向およびそれに直交する成分であり，E はヤング率である．係数行列[A]は，（E を単位とした場合の）単位応力成分によって生じる各測点でのひずみ成分である．なお，[A]はポアッソン比の関数であることに注意されたい．

2）ひずみ－応力変換行列[D]：ひずみ感度行列[A]が求められると，解放ひずみと初期応力の間にも式(3)の関係がそのまま成立するので，ひずみのうちの幾つか（6個以上）を選んで，応力を決定するための観測方程式を立てることができる．最小自乗法を用いると，この解放ひずみを生じる初期応力は次のように求められる．

$$\{\sigma\}=E[D]\{\varepsilon\}\qquad [D]=([A]^T[A])^{-1}[A]^T\qquad (4),(5)$$

ひずみ－応力変換行列[D]およびヤング率 E を前もって求めておけば，式(4)により，測定した解放ひずみ

Shoichi KOBAYASHI, Naoshi NISHIMURA, Tohru TAKAHASHI, Tohru YOSHIKAWA

から容易に初期応力を推定することができる．したがって，問題はどのようにして精度よく行列[A]あるいは[D]を求めるかということに帰着する．その計算には高速多重極境界要素法は極めて有効である．

3．高速多重極境界要素法によるシミュレーション解析

3次元弾性問題は，Navier の式を与えられた境界条件の下で解く問題である．その（陰な）解は，積分方程式として次のように与えられる．

$$C_{ij}u_j(x) = \int_S G_{ij}(x,y)t_j(y)dS_y - v.p.\int_S T_{ij}(x,y)u_j(y)dS_y \tag{6}$$

ここに，C_{ij} は滑らかな境界面上では $\delta_{ij}/2$ であり，$G_{ij}(x,y)$ および $T_{ij}(x,y)$ は，それぞれ第1および第2基本解，最後の積分は Cauchy の主値積分である．高速多重極境界要素法は，上の積分方程式を基本解の多重極展開を利用し，階層構造を持つアルゴリズムを用いて，上の積分を高速で評価する境界要素法である[1]．この方法と線形連立方程式の解法である GMRES などを併用すれば，極めて自由度の大きい方程式を高速で解くことができる．その際の計算量は，O(N)（N:自由度）となることが知られている．

3．結果と考察

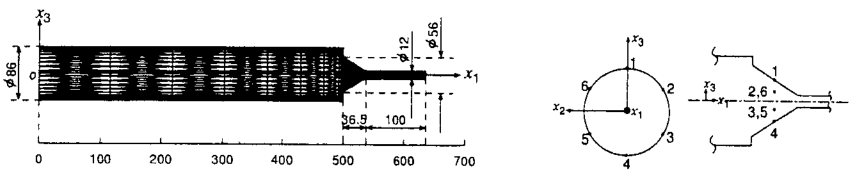
図－2は，同径のオーバーコア過程での境界要素分割（三角形）である．最終の自由度は 48,384 であった．**図－3**には，オーバーコア長と解放ひずみの関係の例を示した．オーバーコア長が 60mm 程度になると，解放ひずみはほぼ一定値となることが分かる．したがって，この長さのオーバーコアができれば十分であろう．

4．おわりに

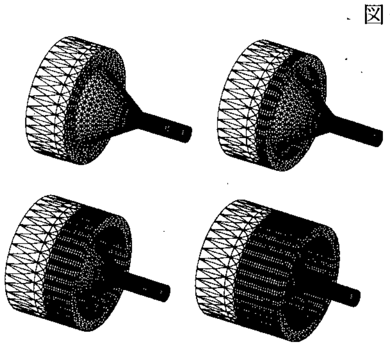
探査細孔付円錐孔底同径オーバコア法という新しい応力解放法を提案し，その特性を示した．この方法は，2.1 で述べたような特徴があるので，今後大いに利用されることを期待したい．

参考文献

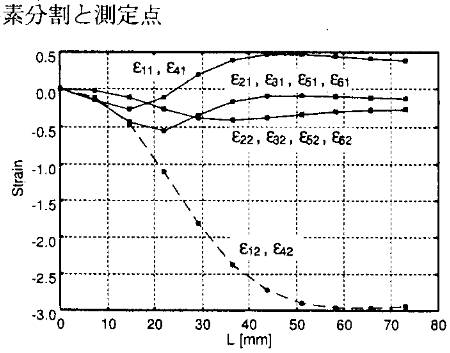
1）吉田研一他：多重極積分方程式法を用いた．．．．．，応用力学論文集 Vol.1，365－372，1998.



図－1　境界要素分割と測定点



図－2　オーバーコア過程での要素分割



図－3　単位応力 σ_{22}^{∞} 場でのオーバーコアに伴う解放ひずみ（E=1）