

クラックテンソルを用いた逆解析

東電設計(株) 正会員 吉田郁政

1. はじめに クラックテンソルにより節理の幾何学特性を表現し、節理性岩盤の弾性挙動を考慮できる応力-ひずみ関係が小田らによって提案されている¹⁾。これを単純化して簡単な形に整理を行い、そのモデルパラメタの逆解析の定式化を試みた。逆解析の目的関数は確率論から定式化を行い、その最小化はMarquardt法によって行っている²⁾。

2. クラックテンソルモデルを用いた逆解析の定式化 2次元平面ひずみ条件におけるクラックテンソルモデルを用いた節理性岩盤の応力-ひずみ関係は次の形で表される。

$$\{\epsilon_i\} = [C_{ij}] \{\sigma_j\} \quad (1) \quad [C_{ij}] = [C_{ij}^R] + [T]^T [C_{ij}^J]' [T] \quad (2)$$

ここで、 $i, j=1, 2, 6$ 、 $(\epsilon_1=\epsilon_{11}, \epsilon_2=\epsilon_{22}, \epsilon_6=2\epsilon_{12}=\gamma, \sigma_1=\sigma_{11}, \sigma_2=\sigma_{22}, \sigma_6=\sigma_{12}=\tau)$ 、 $[C_{ij}]$ は節理性岩盤のコンプライアンスである。式(2)の第1項は岩盤実質部のヤング率とポアソン比によって決まる。

$$[C_{ij}^R] = \frac{1+\nu}{E} \begin{bmatrix} 1-\nu & -\nu & 0 \\ -\nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(2)の第2項は岩盤の節理の特性によって決まる項である。ここで、問題を単純化し全ての節理が直交する2方向に並んでいると仮定し、局所座標を節理の方向に設定すると $[C_{ij}^J]'$ は次のような単純な形で表現される。

$$[C_{ij}^J]' = \frac{1-\nu^2}{E} \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}c_3(c_1+c_2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここで、 $c_1=f_1/k_n$ 、 $c_2=f_2/k_n$ 、 $c_3=k_n/k_s$ であり、 $f_1 = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^n r_{yk}^2$ 、 $f_2 = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^n r_{xk}^2$ 、 r_x は不連続面の方向が局所座標のx軸と一致しているクラックの大きさを、 r_y はy軸と一致しているクラックの大きさを表している。 k_n 、 k_s はクラックの垂直ばね値とせん断ばね値を基質部の変形係数で基準化した量である。また、 $[T]$ は局所座標から全体座標への変換マトリクスを表しており、次式で与えられる。

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & \sin 2\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & -\sin 2\theta \\ -\frac{1}{2}\sin 2\theta & \frac{1}{2}\sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

式(4)においてE以外のパラメタは無次元量となっている。逆解析を行う際のパラメタはE、 ν 、 c_1 、 c_2 、 c_3 、 θ の中から任意の組み合わせで選べることにした。

3. 数値計算例 図-1に検討に用いたモデルを示す。2ベンチからなる掘削問題を想定しており、2ベンチ目の掘削を対象として逆解析を行った。観測量は空洞壁面を基準点とした距離の増分値であり、空洞の左右で3測線ずつ、各測線3点の観測量が得られるとした。観測量を算定するための順解析は以下に示す物性値を用いて計算を行った。

$$E = 8.0 \times 10^5 \text{ (tf/m}^2\text{)}, \quad \nu = 0.2$$

$$C1 = 1.0, \quad C2 = 4.0, \quad C3 = 3.0, \quad \theta = 45^\circ$$

$$\text{初期応力 } \sigma_x = 3.0 \times 10^2 \text{ (tf/m}^2\text{)}, \quad \sigma_y = 5.0 \times 10^2 \text{ (tf/m}^2\text{)}, \quad \tau_{xy} = 0.0 \text{ (tf/m}^2\text{)}$$

E , $C1$, $C2$, θ を未知量, その他のパラメータは既知量として逆解析を行った。その収束過程を図-2に、収束値による計算値と観測量の比較、及び水平方向と鉛直方向の増分変位のコンター図を図-3に示す。収束値は真値と一致しており、変形状態はクラックによる異方性のための左右非対称の変形となっている。

参考文献 1)小田：不連続岩盤の力学へのアプローチ、土と基礎、35-3、PP.29-34、1987
2)吉田他：2次元FEMを用いた確率論に基づく逆解析とその解法、土木学会論文集、NO. 507、PP.129-136、1995

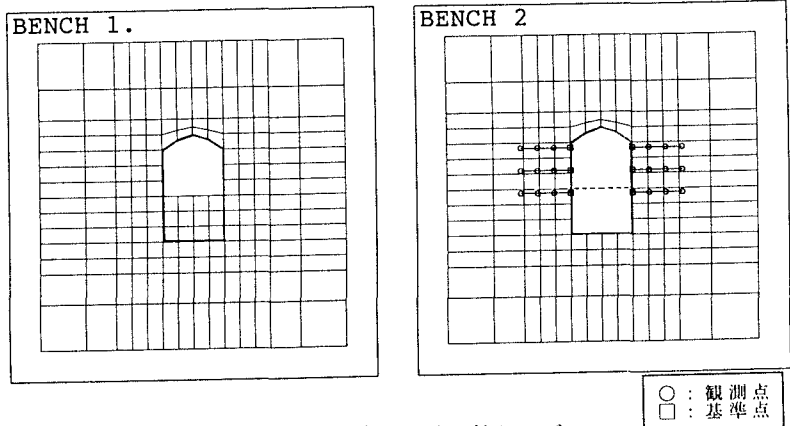


図-1 クラックテンソルモデルの逆解析のための検証モデル

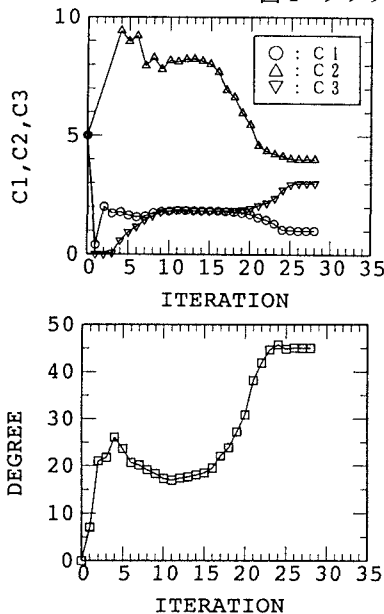


図-2 未知パラメータの収束過程

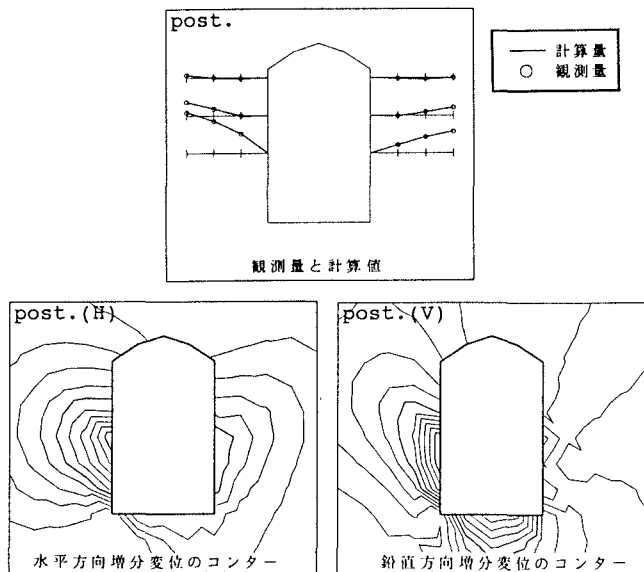


図-3 観測量と計算量、および水平変位と鉛直変位のコンター