

境界要素法に基づく種々の逆問題に関する検討

徳島大学工学部 正会員 小嶋 啓介
 徳島大学工学部 正会員 澤田 健吉
 徳島県 正会員 森 琢真
 徳島大学大学院 学正員 ○披田 毅

1. まえがき 近年、大規模かつ複雑な形状を持つ3次元問題の解析の必要性が増大しているが、有限要素法などの領域型解析法による3次元解析では、データの入力ならびに計算時間の増大は無視できない問題であり、その逆解析はほとんど実用的でないと考えられる。一方、Mindlin解を基本解とする境界要素法では、例えば土かぶりの浅いトンネル掘削問題においても、要素分割対象をトンネル壁面に限定できるため、データ入力および計算時間などの大幅な省力化が可能となる。本報告では、Mindlin解に基づく境界要素法を用いて、変位の観測データから複数の層からなる地盤の弾性係数とポアソン比を推定する逆解析に関する検討を行う。

2. 問題の定式化 境界要素法の長所として、無限境界を含むいわゆる開領域問題を扱えることがあげられるが、基本解として Mindlin 解を用いることにより、半無限体中に開口部が存在する問題を、開口部のみを要素分割することにより解析することが可能となる。これは、Mindlin 解を用いる場合には、無限遠と応力自由面(地表面)における積分項の残差が恒等的にゼロになることによるものである。図-1 に示すように解析対象が2つの領域から構成されている場合、境界要素法の基礎式は次のように書ける。

$$\begin{Bmatrix} H^1 & H^1 & 0 \\ 0 & H^2 & H^2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u^1 \\ u^c \\ u^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} G^1 & G^1 & 0 \\ 0 & -G^2 & G^2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} t^1 \\ t^c \\ t^2 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに、 H 、 G ：変位および表面力に関する係数マトリックス、 u 、 t ：節点変位および表面力ベクトルを示している。また、上添え字は図-1 に示すように、変位または表面力が属する境界を示し、下添え字は積分方程式の対象領域を示している。境界要素法を用いた場合の逆解析問題においても、有限要素法を用いた場合と同様に変位を観測値とし、式(3)の制約条件の下で、次式で与えられる目的関数を最小とする弾性係数 E ならびにポアソン比 ν を探索する最適化問題として定式化できる。

$$\text{minimize} \quad J = \sum_{i=1}^N (u_i - U_i)^2 \quad (2)$$

$$E > 0, \quad 0 < \nu < 0.5 \quad (3)$$

ここに、 J ：目的関数、 N ：観測変位の個数、 U_i ：観測点 i の観測変位、 u_i ： U_i に対応する計算変位を示している。なお、最適化手法としては目的関数の決定変数による勾配を数値的に計算して利用するPowell法を用いた。

3. モデル地盤に対する適用結果 第1の適用対象は、図-2 に示すように2層からなる地盤の根切り問題である。図-3 は逆解析結果であり、○は図-2 の節点12と25の変位を与えた場合、●は節点12と13の変位を与えて逆解析を行った結果を示している。2層に隣接した地点の変位を与えた場合には、計4個の物性定数が3回程の試行回数で正解値へと収束していることが認められ

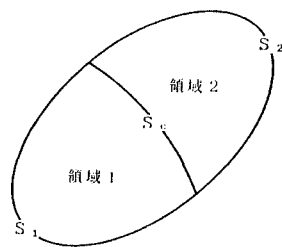


図-1 解析領域

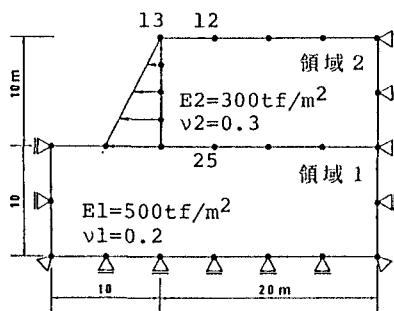


図-2 2層根切り問題のモデル

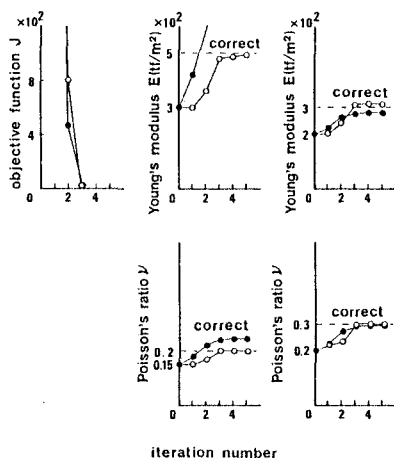


図-3 2層根切り問題の逆解析結果

るが、地表面のみの変位を与えた場合には、どの物性定数も推定精度が低下していることが明らかである。第2の適用対象は Mindlin 解の有用性を示す例であり、図-4 (a) に示すような種々の土かぶりにおける円形トンネルが、トンネル壁面に等しい半径方向応力を受ける問題である。Mindlin 解を用いた境界要素法では、図-4 (b) に示すように円孔部分のみを要素分割し、地表面(応力自由面)までの深さを与えればよい。図-5 は土かぶり 1 D および 4 D について、図-4 (b) に番号を示した節点の変位を与えた場合の逆解析結果であり、○は土かぶり 1 D、●は土かぶり 4 D を示しているが、どちらの場合も正確な推定値が得られている。

第3の適用対象は図-6 に示すような図-2 のモデルが、3 層からなるとした場合の物性定数逆解析問題であり、同図のように要素分割を行う。図-7 は逆解析結果であり、グラフ中の点線は正解値を表している。また、○は図-5 に示すような各層に接した節点での変位を観測変位として用いて逆解析を行ったもの、●は地表面のみの節点変位を観測値として与えた場合の逆解析結果を示している。適用例-1, 3 の逆解析結果より、地盤各層の物性定数を正確に推定するためには、各層に隣接した位置に観測点をもうける必要があることが確認される。

4. あとがき Mindlin 解に基づく境界要素法の逆解析法の定式化を行い、いくつかのモデル地盤に適用し、物性定数の推定精度や必要な観測情報に関する検討を行った。今後はより柔軟な解析を行うために、境界要素法と有限要素法の結合解析に対する逆解析法を開発していく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 小嶋啓介, 足立紀尚, 荒井克彦(1991): Mindlin 解に基づく境界要素法の逆解析に関する検討, 第26 回土質工学研究発表会講演集, pp.1791-1792.

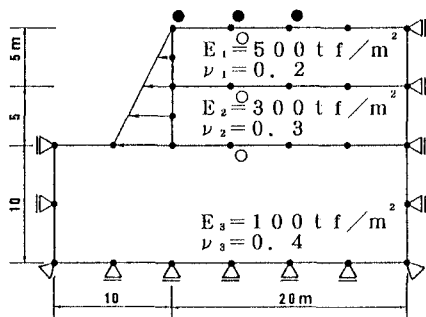


図-6 3層根切り問題のモデル

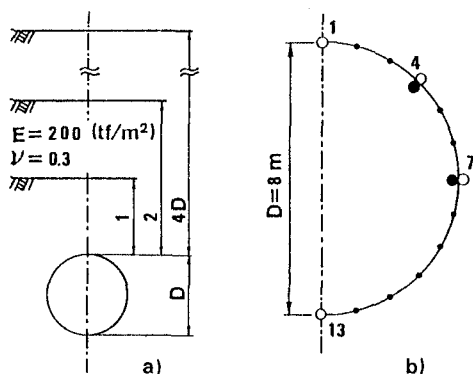


図-4 トンネル掘削問題

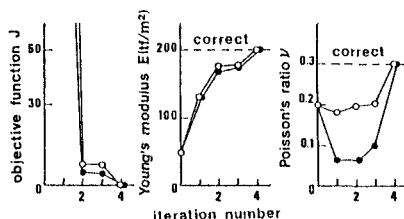


図-5 トンネルの逆解析結果

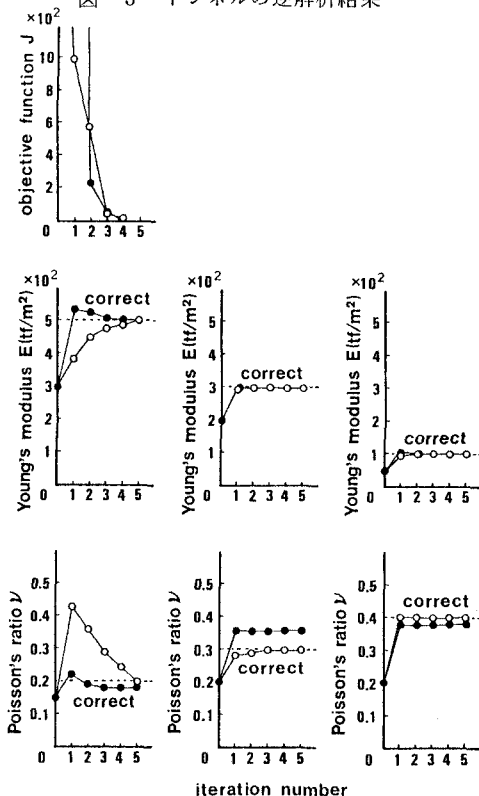


図-7 3層根切り問題の逆解析結果