

盛土載荷時の軟弱地盤変形の逆解析とその信頼性評価

岐阜大学工学部 学生員 ○交田 晃基
 岐阜大学工学部 正会員 本城 勇介
 岐阜大学工学部 正会員 小尻 利治

1. はじめに

軟弱地盤で建設工事を行う場合、変形と破壊の二つの問題を検討しなければならない。この問題に対処するのに、いくつかの方法が考えられるが軟弱地盤の変形および破壊を表す数式モデルを利用して予測を行う方法が基本である。

逆解析により、実際の地盤における外力と応答結果（変位と水圧）に注目して、想定した数式モデルに対応したパラメータを決定する方法により、実際の地盤の不均一性や複雑な状態を考慮した全体的平均的なパラメータが得られる可能性がある。

本研究では、単純なモデルケースについて、地盤定数（弾性係数・透水係数・ポアソン比）を推定する。また、ノンパラメトリック・ブートストラップ法を用いて推定されたパラメータの信頼性の評価を行う。

このような逆解析により得られたパラメータは真値というより、想定した数式モデルに対応した仮想的なものであり、数式モデルで考慮していないさまざまな要因の影響を取り込んだ数値であることに注意しなければならない。しかし、予想にはある程度有効である。

2. 研究の手順

[1] 疑似地盤を用いた疑似観測データの作成し、(100ステップ) δx (x方向の変位)、 δy (y方向の変位)、 δu (間隙水圧) の計測を行う。

[2] 作成したデータを用いて逆解析により θ を推定する。(100個のデータを全て用いる場合と1つおきの50個のデータを用いる場合)

[3] マルマフ連鎖と乱数を用いて50個のデータを選び、パラメータの逆解析を行う。

[4] [3] を n 回繰り返しノンパラメトリック・ブートストラップ法を行う。

[5] [2] と [4] を比較して評価を行う。

推定されたパラメータの信頼性評価として分散

共分散行列がある。

$$\hat{\sigma}_y^2 \left[A^T V_e^{-1} A + \beta^2 V_0^{-1} \right]^{-1} \quad (1)$$

ここに、

$$\hat{\sigma}_y^2 = \frac{1}{n-m} \left(y(\hat{\theta}) - y^* \right)^T \left(y(\hat{\theta}) - y^* \right) \quad (2)$$

この信頼性評価の試験を行い、ノンパラメトリック・ブートストラップ法と従来の方法について比較検討する。

3. 逆解析手法

逆解析でのパラメータ推定には、拡張ベイズ法を用いる。また、地盤の変形解析にはビオの方程式に基づく弾性地盤の有限要素法を用いる。

拡張ベイズ法は観測モデルと事前情報モデルの2つの部分から成り立ち、これらをベイズの定理により結合することによって事後分布モデルを得ることができる。

逆解析では、目的関数を最小にすればよい。

$$\begin{aligned} \min J(\underline{\theta}) = \\ \min \left(\underline{y}(\underline{\theta}) - \underline{y}^* \right)^T V_e^{-1} \left(\underline{y}(\underline{\theta}) - \underline{y}^* \right) + \beta^2 \left(\underline{\theta} - \underline{\theta}^* \right)^T V_0^{-1} \left(\underline{\theta} - \underline{\theta}^* \right) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで

$J(\underline{\theta})$: 目的関数

$\underline{y}(\underline{\theta})$: 観測値ベクトル

$\underline{y}^*$: 計算結果ベクトル

V_e : 誤差ベクトルの分散

β : 超パラメータ

$\underline{\theta}$: モデルパラメータベクトル

$\underline{\theta}^*$: モデルパラメータの事前平均値ベクトル

V_0 : 事前情報の分散共分散行列

4. 例題の設定

図-1のモデルを用いて逆解析を行う。

x 方向に15 m, y 方向に4 m で1つの要素が x 方向に 3 m, y 方向に 1 m である。(節点数79、要素数20)

土は同一の粘土層であり地盤定数は以下のようにする。

E (弾性係数) = 200 [t/m²]

k_h (水平方向の透水係数) = 1.0×10^{-4} [cm/s]

k_v (鉛直方向の透水係数) = 1.0×10^{-5} [cm/s]

ν (ポアソン比) = 0.30

底面及び側面は非排水である。

盛土は4 t/m²の分布荷重とする。

これより100ステップの観測データを作成しこれに正規乱数を加える。

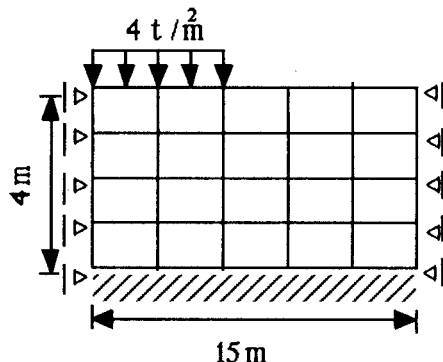


図-1 例題の有限要素分割図

図-2は計測する場所を示す。

○：鉛直変位

◇：水平変位

△：水圧

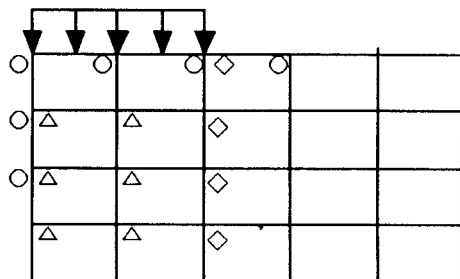


図-2 計測点位置

5. ブートストラップ法を用いて推定されたパラメータの信頼性の評価

母集団の確率の変動を分布関数を用いてとらえる。

[1] 一様乱数を用いて100個のデータからランダムに50個のデータを選ぶ。

[2] この50個のデータに基づいて推定量 $\theta_{(1)}$ を計算して $\theta_{(1)}$ とする。

[3] [1] と [2] を B 回繰り返す。 $\{\theta_{(1)} \dots \theta_{(B)}\}$

[4] [3] で求めた推定量 $\theta_{(n)}$ の標準誤差は

$$SD(\theta) = \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum_{i=1}^B (\theta_{(i)} - \theta_{(.)})^2} \quad (2)$$

$$\theta_{(.)} = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \theta_{(i)}$$

で推定される。

6. おわりに

計算結果は、講演時にゆずる。

<参考文献>

佐藤忠信他：「土と基礎」講座、地盤工学における逆解析、1995年4月から1996年6月、地盤工学会
Honjo, Y., Liu, W.T. And S. Guha (1994) Int. National J. For Numerical and Analytical Methods In Geomechanics

市川康明、亀村勝美他：「土と基礎」講座、有限要素法による数値解析入門、1987年11月から1989年2月、地盤工学会

村上征勝、田村義保：パソコンによるデータ解析、朝倉書店、p p.125-142