

逆解析手法による杭の変位推定のための 地盤定数推定法に関する研究

岐阜大学工学部 学生員 ○稲田 雅春
岐阜大学工学部 正会員 本城 勇介
岐阜大学大学院 学生員 工藤 暢章
岐阜大学工学部 正会員 小尻 利治

1 はじめに

地上構造物の挙動を予測するには、適切な地盤定数を推定する必要がある。これらの定数は各々の試験で求められるが、一般に地盤は非線形性や不均質性があるので、限られた地盤調査結果から挙動推定の際の最適値を特定することは困難であると考えられる。本研究では、逆解析手法を用いて地盤定数を推定し、杭における変位の推定を行うものであるが、特に、導入する地盤のヤング定数とせん断強度の事前情報に異なった重みづけを行い、最適化することを試みた。

2 研究内容

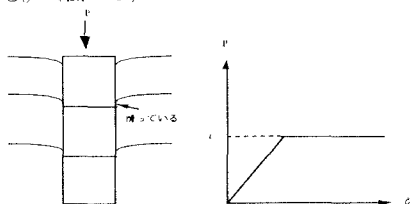
2-1 杭の変位推定

本研究で用いる杭の沈下量計算モデルは、ミンドリンの第一解の重ね合わせにより導かれたものであり、次式で表される^{1) 2)}。

$$\{\rho\} = \left[[I] - \frac{E_p R_A}{4\delta^2} d [I] \left[\frac{1}{E_s} \right] [I_s] \right]^{-1} \{Y\} \quad (1)$$

ρ ; 等分割した杭の要素の各変位、 E_p ; 杭のヤング定数、 E_s ; 各要素付近の地盤のヤング定数、 I_p ; 杭の作用マトリックス、 I_s ; ミンドリンによる地盤の影響係数、 Y ; 外力によって生ずる摩擦力

本研究で用いたモデルは、(1)式に加えて、杭と地盤との境界面における滑動を考慮し、その面におけるせん断強度を設けて、周面応力がこのせん断強度を超える場合は杭と地盤の間に滑動が生じるものとした。推定パラメータは、ヤング定数とせん断強度である。(図-1)



P , 載荷荷重 u , 杭の変位 τ , 最大せん断強度

図-1 モデル式の仮定条件

2-2 推定パラメータの最適化

逆解析を行ううえで生じる問題は、観測データの共線性による解の信頼性の低下である。

逆解析は問題が線形の場合には、連立一次方程式を解くことと同様に考えることができる(但し、通常、式の数は未知数の数より多い)。観測値と推定されるパラメータとの関係を表す方程式は次式で表される。

$$\underline{y} = \underline{X} \underline{\theta} + \underline{\varepsilon} \quad (2)$$

$\underline{y}$; 観測ベクトル、 $\underline{X}$; 観測行列、 $\underline{\theta}$; 推定されるパラメータ、 $\underline{\varepsilon}$; 誤差ベクトル

この関数の傾きが直交に近い場合は比較的安定した解が得られ、その残差二乗和の関数も明確な極値をとる(図-2 aとb)³⁾。これに対し、観測データ間の高い相関により各直線の傾きが非常に接近している場合には、わずかな誤差が解に大きな影響を与え、解の決定が困難となる(図-2 cとd)。これを共線性或いは不適切性の問題と言い逆解析を成功させる上で最も重要な問題のひとつである。

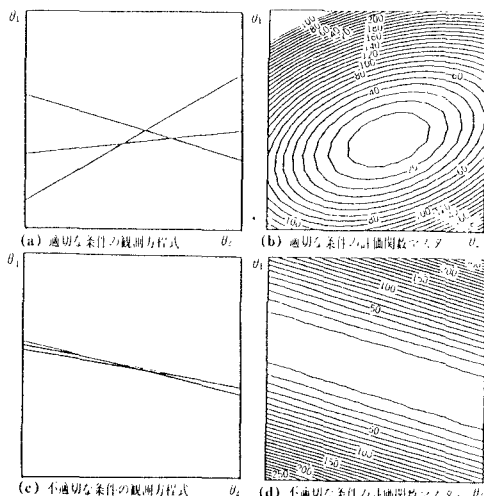


図-2 共線性の概念図

この共線性の問題に対して、観測データに事前情報を適当な重み（ β ）を乗じて導入することで解の安定化を図る。これを拡張ベイズ法と言う。

$$\min J(\underline{\theta}) = J_u(\underline{\theta}) + [\beta] J_0(\underline{\theta}) \quad (3)$$

$J(\underline{\theta})$; 目的関数

$J_u(\underline{\theta})$; 観測値と計算値の残差二乗和

$J_0(\underline{\theta})$; パラメータの残差二乗和

β は、ABIC（赤池のベイズ情報量基準）の最小となる時の β で決定され、その時の β を用いたモデルが最適なモデルとなる。

$$ABIC = -2(\text{ベイズ最大対数尤度}) + 2(\text{超パラメータ数}) \quad (4)$$

なお、今回の研究では特に、 β についてヤング定数とせん断強度各々に $[\beta] = (\beta_1, \beta_2)$ と異なる重みを導入して最適化を行う。これは、E と τ が異なる種類の定数で、その事前情報の信頼性には違いがあると考えたからである。

図-3 に逆解析の手順を示す。

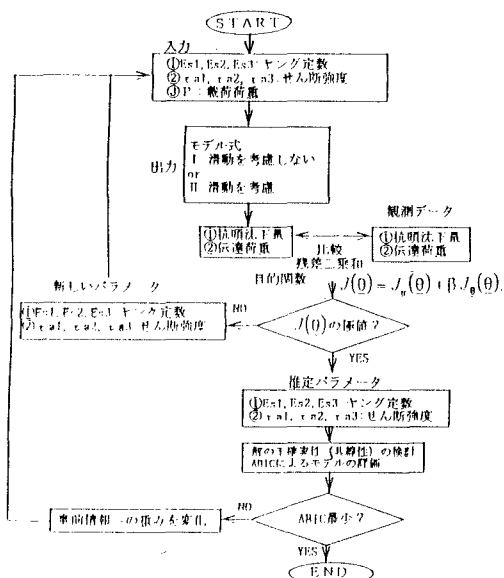


図-3 逆解析の流れ

3 実データ解析

バンコクで行われた高架高速道路の建設に際して行われた7本の杭の載荷試験結果を観測データとして逆解析を行い、地盤各層のヤング定数、せん断強度を求める。

表-1 事前情報平均値と分散

	Prior P	Vpar
Es 1	2810	2.16d+05
Es 2	8630	2.98d+06
Es 3	14480	8.39d+06
tau a 1	2.30	2.12d-01
tau a 2	8.50	2.89d-00
tau a 3	11.00	4.84d-00

Prior P ; Perior Parameters (t/sq.m)

Vpar ((t/sq.m)2)

$$Vpar = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & & & 0 \\ \vdots & & \ddots & & \\ 0 & & & \sigma_{n-1}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad \frac{\sigma}{\text{Prior P}} = 0.2$$

今回の計算では特に逆解析の目的関数の最小化のプロセスで、各推定パラメータをその事前平均と分散（表-1）に従って正規化してから最小化を行った。この結果、良好な収束結果が得られた。

4 おわりに

計算結果は、講演時にゆずる。

参考文献

- 1) 本城勇介・工藤暢章：拡張ベイズ法による杭の変位推定のための地盤推定の逆解析（その1）、土木学会第50回年次学術講演会概要集I, pp.838-839, 1995
- 2) 工藤暢章・本城勇介：拡張ベイズ法による杭の変位推定のための地盤推定の逆解析（その2）、土木学会第50回年次学術講演会概要集I, pp.840-841, 1995
- 3) 本城勇介：講座、地盤工学における逆解析、上と基礎、Vol.43、No.12, pp.51-56, 1995