

遠心模型実験結果への逆解析の適用

岡山大学大学院自然科学研究科 正会員 ○西村伸一

岡山大学環境理工学部

伊藤誉兼

1. はじめに

本研究は、軟弱地盤の変位を逆解析することにより地盤のパラメータを同定し、それに基づいて地盤挙動予測を行うことを目的としている。今回は特に、載荷による地盤の剛性の劣化を表現すべく、応力・ひずみ関係式として双曲線モデルを適用することを考えている。また、同時に剛性の直交異方性も考慮している。今回は、そのモデル化の有効性を確認するために遠心模型実験を実施し、二次元的な粘性土模型地盤の変位を計測した。計測変位に開発された解析手法を適用し、行ったモデル化の有効性を確認している。

2 応力ひずみ関係式

双曲線法を用いる場合、接線有効ヤング率は式(1)で与えられる。解析には有限要素法を用いるが、応力に応じて、各要素に異なるヤング率が割り当てられることになる。ここで、せん断が卓越する場合と、圧密が卓越する場合では地盤の挙動は大きく異なると考えられるので、解析に用いるヤング率 E' としては、式(2)を採用する。

$$E_T' = \{1 - b(\sigma_1' - \sigma_3')\}^2 E_I' \quad (1) \quad \begin{cases} E' = E_T' & \{\Delta(\sigma_1' - \sigma_3') > 0 \text{ and } \Delta u \geq 0\} \\ E' = E_I' & \{\Delta(\sigma_1' - \sigma_3') \leq 0 \text{ or } \Delta u < 0\} \end{cases} \quad (2)$$

σ_1', σ_3' : 最大, 最小有効主応力 b : 剛性劣化パラメータ E_T', E_I' : 接線, 初期ヤング率 $\Delta(\sigma_1' - \sigma_3')$: 主応力差の増分 Δu : 間隙水圧の増分

ポアソン比は、一定値を用いても(後の例題で示されるように)十分正確に土の挙動を模擬できると考えられるため、本研究では非線形性を考慮していない。

地盤の直交異方性を導入するため、水平方向と鉛直方向のヤング率の比率を直交異方性率 r と定義し、式(3)に与える。有効ポアソン比についても、ここでは、パラメータ数を減らす目的で、対称の応力・ひずみマトリックスの中で単一のパラメータとしている。ただし、後の例題で示されるが、ヤング率の異方性を考慮するだけで十分に実際の土の挙動を表現することが可能である。また、鉛直面内のせん断弾性係数は、直交異方性弾性体の場合は独立なパラメータであるが、簡単化のため、式(4)で表すことにする。

$$r = E_h' / E_v' \quad (3) \quad G = \frac{1}{2} \frac{(E_v' + E_h')}{2(1 + \nu')} \quad (4)$$

r : 地盤の異方性率 E_v', E_h' : 鉛直方向と水平方向の有効

ヤング率 ν' : 有効ポアソン比

3 逆解析手法¹⁾

最初に異方性率 r を固定させておく。これに対して、解析値と実測値の二乗誤差 J_1 を式(5)によって定義し、これを非線形最小二乗法によって最小化することにより、鉛直方向初期有効ヤング率 E_{Iv}' 、有効ポアソン比 ν' 、透水係数 k 、および剛性の劣化を表すパラメータ b が同定されることにな

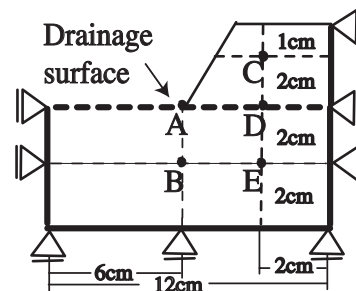


図 - 1 解析モデル

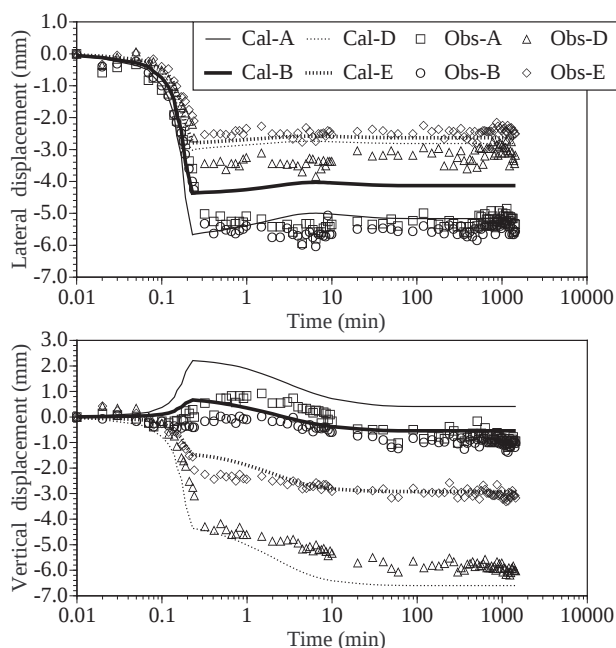


図 - 2 変位・時間関係 (非線形・異方性)

キーワード：圧密 遠心模型実験 軟弱地盤 逆解析 変位予測 有限要素法

連絡先 (〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 岡山大学環境理工学部・TEL&FAX: 086-251-8162)

る。次いで, r を変化させて J_1 の最小化を繰り返し, パラメータを同定する。最終的に, 同定されたパラメータのペアから J_1 を最小にするものを最適パラメータとして採用する。

$$J_1 = \sum_{j=1}^{NT} \sum_{i=1}^{NP} \|U_i^j - \bar{U}_i^j\|^2 \quad (5) \quad NT: \text{同定に用いる時間ス$$

テップ数 NP : 同定に用いる変位観測節点数

$U_i^j, \bar{U}_i^j$: 時間ステップ j , 節点 i における解析および観測変位ベクトル

3. 実験および解析モデル

実験材料としては, カオリン粘土を用いている。 $\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$, $w_L=58.2\%$, $w_p=37.4\%$, $I_p=21$, 粘土含有率=42%, シルト含有率=58%である。実験供試体は, これを58.8kPaで予備圧密したものを切り出して作成している。作成時の含水比は49.2%である。実験供試体の形と解析における境界条件を図-1に与える。なお, 供試体厚さは4cmである。モデルの盛土部分と地盤部分の間にドレーンとして濾紙が挿入されている。計測点としてA, B, C, D, Eの5点を設けている。载荷には, 小型遠心模型試験装置(有効半径30cm)を用いた。载荷は, 第一段階として50gまで加速度を上昇させ, 1h放置した。その後, 300gまで加速度を15秒間等速で上昇させ, 24h計測を行った。加速度増分250gを解析の対象とした。

4. 解析結果および考察

図-2~図-4には解析結果を示す。図-1のモデルの上・右方向が正である。それぞれ, 非線形性と異方性を考慮した場合の解析結果, 非線形・等方モデルを用いた場合の結果, 線形・等方性モデルを用いた場合を示している。実験結果によると, 水平変位は, 载荷後にほぼ一定値を示しているのに対し, 鉛直変位は圧密沈下を生じている。なお, 線形・異方性モデルを用いた場合は, パラメータが同定不能となった。

今回は, モデルの適合度を検討するため, 0-1440minのすべての計測データをパラメータ同定に用いることとしている。

同定結果に基づいたシミュレーションによると, すべての場合について, B点の水平変位が過小評価されている。また, 鉛直変位に関しては, A点における, せん断変形によって生じる浮き上がりを過大評価する結果となっている。その他の実測と解析の比較については, 比較的良く適合していると言える。各解析ケース間の比較では, 非線形・異方性モデルを用いた場合, 初期の载荷によるせん断変形部分の表現性が, 他の場合と比較して向上していることが明らかである。

5. まとめ

小型遠心模型試験装置を用い, 多次元圧密試験を実施した。得られた変位計測結果に基づいて逆解析を実施し, 計測結果の模擬を行った。その結果, 提案する簡便な非線形・異方性モデルで, 大凡の二次元変形挙動の表現が可能であることが分かった。

参考文献 1) 西村伸一・西山竜朗・村上 章・村山八洲雄: 双曲線モデルを用いた実測値に基づく軟弱地盤の変形予測, 第48回地盤工学シンポジウム論文集, 地盤工学会, pp23-28(2003)

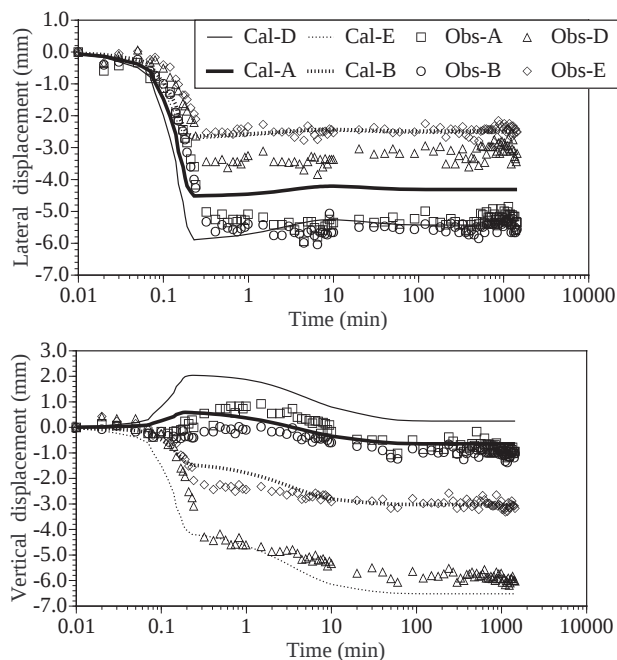


図-3 変位・時間関係(非線形・等方性)

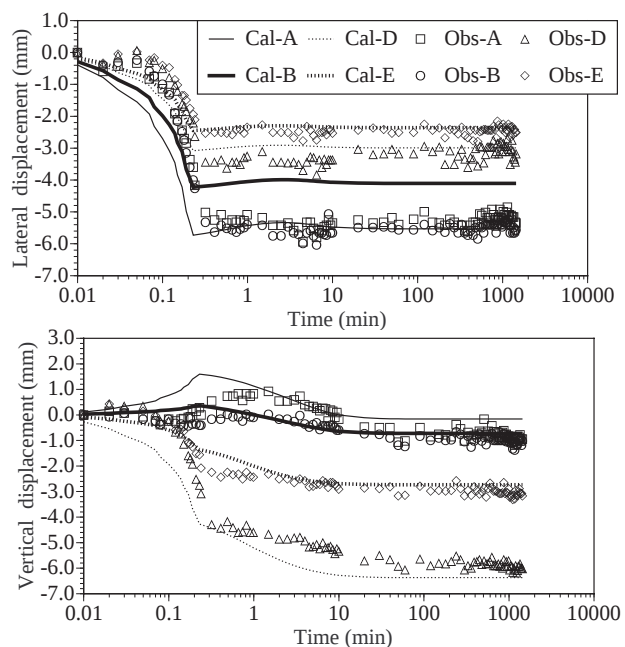


図-4 変位・時間関係(線形・異方性)