

# 異方性を考慮した実測値に基づく圧密挙動予測

岡山大学環境理工学部 正会員 西村伸一 藤井弘章

## 1. はじめに

本研究は、軟弱地盤の多次元変形挙動予測を行う場合の、適切な逆解析モデルを構築することを目的とする。今回は、その基本的な考察を行うため、室内異方圧密試験を実施し、得られた変位および間隙水圧計測結果を用いて逆解析を実施している。実地盤の計測データは様々な誤差を含有するため、手法開発のために、精度の良い室内試験結果を用いることは有効であると考えられる。とくにここでは、地盤の異方性を考慮することに重点を置いている。また、線形弾性解析モデルを用いる場合と非線形双曲線モデルを用いる場合の比較も実施している。

## 2. 異方性と非線形性

地盤の異方性を表すパラメータとして次に示すパラメータ  $r$  を定義する。なお、せん断弾性係数は、便宜的に式(2)で、表すことにする。

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

$E_v', E_h'$ : 鉛直方向と水平方向の有効ヤング率  $\nu'$ : 有効ポアソン比  
また、せん断によるヤング率の非線形性を次の双曲線モデルによって表す。

$$E_i' = \left\{ 1 - b(\sigma_1' - \sigma_3') / \sigma_3' \right\}^2 E_i' \quad (3) \quad \sigma_1', \sigma_3': \text{最大, 最小有効主応力}$$

$b$ : せん断強度に関するパラメータ  $E_i', E_i'$ : 接線, 初期ヤング率

## 3. 逆解析手法

圧密解析法としては、有限要素法を用い、逆解析手法として非線形最小二乗法を用いている。とくに、今回は、逆解析の際の計測データとして鉛直・側方変位のみならず間隙水圧を用いることに重点を置いている。その際の解析値と実測値の二乗誤差を(4)式によって定義する。線形弾性理論を用いる場合、 $J$ の最小化により有効ヤング率  $E'$ , 有効ポアソン比  $\nu'$ , 透水係数  $k$  が同定されることになる。同定アルゴリズムを Fig.1 に示す。

$$J = \sum_{j=1}^{NT} \left\{ \sum_{i=1}^{NP} (U_i^j - \bar{U}_i^j)^2 + \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{NE} (u_i^j - \bar{u}_i^j)^2 \right\} \quad (4) \quad J2 = \left\{ \sum_{j=1}^{NT} \sum_{i=1}^{NP} (U_i^j - \bar{U}_i^j)^2 \right\} \left\{ \sum_{j=1}^{NT} \sum_{i=1}^{NE} (u_i^j - \bar{u}_i^j)^2 \right\} \quad (5)$$

$\lambda$ : 間隙水圧の影響を調整するパラメータ  $NT$ : 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  $NE$ : 同定に用いる間隙水圧計測要素数  $U_i^j, \bar{U}_i^j$ : 時間ステップ  $j$ , 節点  $i$  における解析および観測変位  $u_i^j, \bar{u}_i^j$ : 時間ステップ  $j$ , 要素  $i$  における解析および観測間隙水圧

同定アルゴリズムの中で、異方性の比率  $r$  と、調整パラメータ  $\lambda$  は、関数  $J2$  を最小化することによって決定する<sup>1)</sup>。

## 4. 実験および解析条件

実験材料にはカオリンを用いている。カオリンの物理的性質としては、 $G_s=2.63$ ,  $I_p=21$ , 粘土含有率=42%である。実験は、三軸圧縮試験装置を用いて拘束圧と軸圧を独立に載荷する異方圧密実験とした。Fig.2に実験に対応した解析モデルを表す。今回は、載荷手順の異なる2つのケースの実験および解析結果を示す。なお、側方変位の計測値として、三軸供試体の平均側方変位を用いることとする。

## 5. 解析結果および考察

解析ケース1 (Fig.3)では、等方および異方の解析の比較を実施している。解析結果によると異方性を考慮した場合は、良好な変位および間隙水圧の予測がなされている。なお、最適な異方性の比率は、 $r=0.6$ である。また、同様に非線形解析も実施したが、この場合は短期の観測結果では同定が不可能であった。図中には、全観測期間を用いた解析結果が示されている。非線形モデルを用いると、載荷初期のせん断挙動の適合度が、線形解析と比較すると格段に改善されている。また、異方性を考慮しているため、側方変位の適合度も非常によい。ケース2 (Fig.4)では、

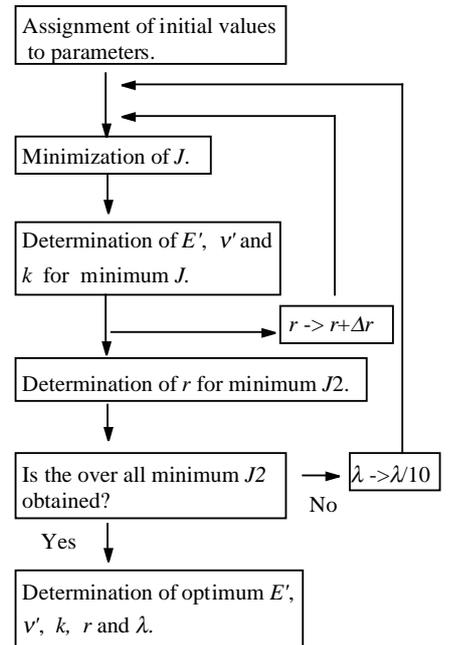


Fig.1 同定アルゴリズム  
(線形弾性解析の場合。  
 $E'$ は  $E_v', E_h'$  のいずれか。)

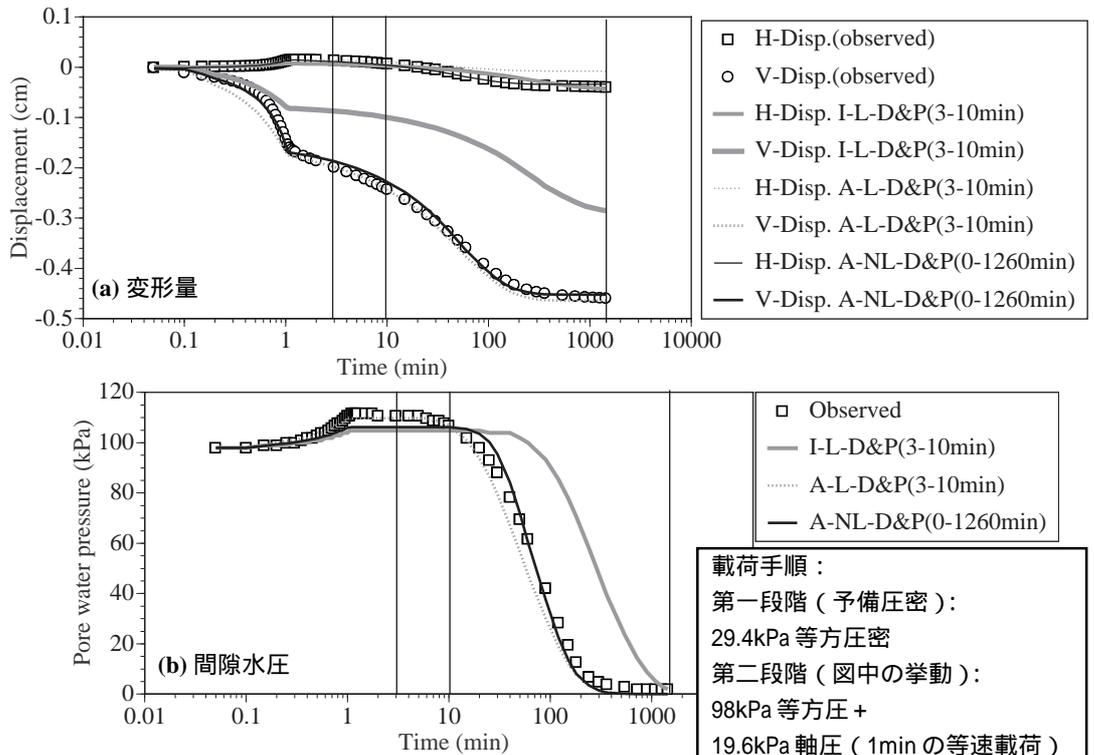
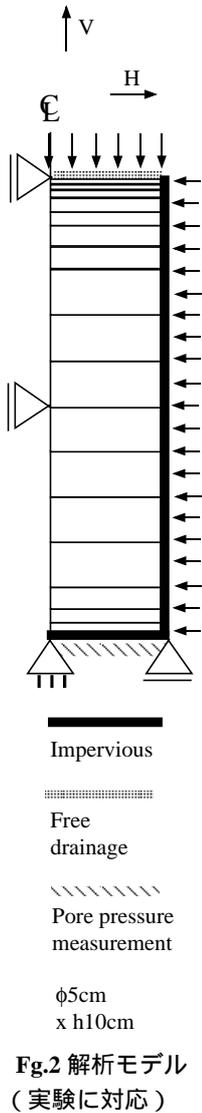


Fig.3 ケース1の実験および解析結果

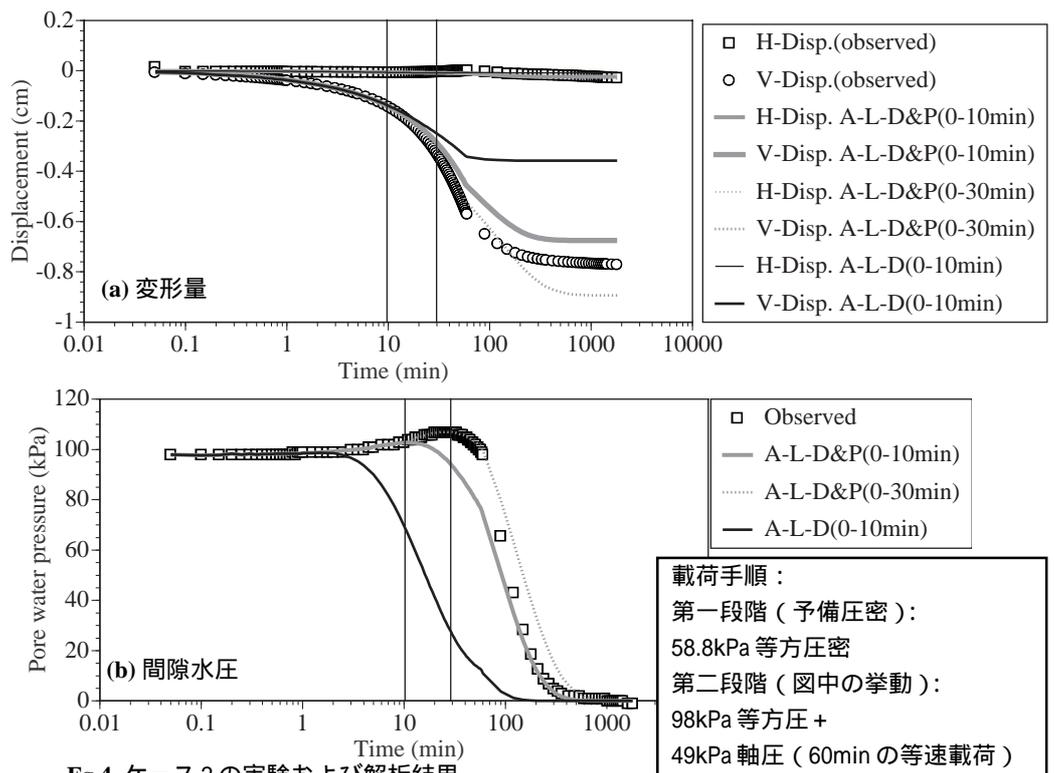


Fig.4 ケース2の実験および解析結果

注) Fig.3-4

- I: 等方解析
- A: 異方解析
- L: 線形解析
- LN: 非線形解析
- D&P: 変形と間隙水圧の計測結果を用いた同定
- D: 変形の計測結果のみを用いた同定
- ( - min): 同定期間

軸圧載荷期間中に同定期間を設けているため、短期の同定期間では最終的な鉛直変位の予測精度がケース1に比較すると悪くなっている。これは、せん断が卓越する挙動から、圧密挙動を予測することの困難さに由来するものと考えられる。また、ケース2では、観測値として、変位計測値のみを用いる場合と、変位および間隙水圧を用いる場合を比較している。結果を比較すると、間隙水圧を考慮した方が、圧密挙動の予測精度が格段に改善されることが分かる。

## 6. まとめ

圧密された粘土供試体(カオリン粘土)の異方性を考慮し、鉛直、側方変位および間隙水圧計測結果を用いた逆解析を実施した。圧密挙動を予測した結果、提案法により良好な予測結果を得ることができた。

参考文献 1) 西村伸一他(1999): 第34回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1179-1180.