

部分排水せん断試験における載荷速度の逆解析結果への影響

鹿児島大学大学院 学生員 赤塚 芳弘
鹿児島大学工学部 正員 三隅 浩二

1. はじめに

部分排水せん断試験の解析は、標準圧密試験と同様に①圧密完了時点で得られる全段階のデータ（応力～ひずみ曲線）の解析と、②圧密挙動中の各段階のデータの解析からなる。そこで本研究では、それぞれの解析を試み、部分排水せん断試験における載荷速度の違いが与える逆解析結果への影響を調べている。

2. 多段階載荷形式の部分排水せん断試験の概要

試料には、練り返し再圧密した藤の森粘土（425μmふるい通過試料）を用いた。応力の制御は、供試体を2.0kgf/cm²まで等方圧密した後に、平均主応力一定条件（ $p=2.0\text{kgf/cm}^2 = \text{const.}$ ）で軸差応力を多段階載荷する方法をとっている。軸差応力は、各段階で $\Delta q=0.2\text{kgf/cm}^2$ で増加させ、載荷時間をCASE1では1minとし、CASE2では100minとした。又、各段階で載荷時間と放置時間の合計を24hoursとしている。排水方法は両端排水とした。

3. 差分図による1次圧密完了時点のデータの予測¹⁾

載荷荷重一定条件のもとでは、体積変化量 ΔV と軸変位 ΔH は、弾性圧密理論に従えば次の線形差分方程式を満足する。

$$\begin{aligned} \Delta V_j &= \beta_{\Delta v} + \beta_1 \cdot \Delta V_{j-1} \quad (\Delta V_j = \Delta V(\Delta t \cdot j), j=1, 2, \dots) \\ \Delta H_j &= \beta_{\Delta h} + \beta_1 \cdot \Delta H_{j-1} \quad (\Delta H_j = \Delta H(\Delta t \cdot j), j=1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (1)$$

但し、式（1）では、圧密現象が圧密の第1固有値 λ_1 だけに支配されているとしている。ここで、 β_1 は ΔV と ΔH とで共通で、 $\beta_{\Delta v}$ と $\beta_{\Delta h}$ は荷重強度 q に比例している。

図1は、CASE1のせん断3段階目の体積変化量と軸変位の差分図である。ここで、各段階の荷重放置期間に等時間間隔（ Δt ）ごとに測定した体積変化量と軸変位のデータより求められる直線は、式（1）と等価なものである。図1より、体積変化量と軸変位の β_1 は、ほぼ等しいものになっているのがわかる。

各段階の1次圧密完了時点のデータ（最終体積変化量 ΔV_f 及び最終軸変位 ΔH_f ）は、式（1）と差分図の最終変化量を表す45°線の交点より求めることができる。このデータを用いて

$$\varepsilon_v = \Delta V_f / V_0, \quad \varepsilon_h = \Delta H_f / H_0$$

より、応力～ひずみ曲線を求めることができる。図2及び図3は、実験より得られたダイレイタンス挙動とせん断ひずみ挙動である。ここで、図中のプロットは実測値でラインはフィッティングラインである。

4. 応力～ひずみ曲線の解析²⁾と考察

逆解析には、弾塑性構成式である式（2）を用いた。

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_v \\ d\varepsilon_s \end{Bmatrix} &= \frac{D}{p'} \begin{bmatrix} \frac{M}{\Lambda} - M & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} \frac{1}{N}, (\frac{M}{\Lambda} - M) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \\ &+ \frac{D}{p'} \begin{bmatrix} \frac{M}{\phi + \eta}, \phi & \frac{M}{\phi + \eta} \\ \frac{M}{\phi + \eta}, \frac{1}{\phi} & \frac{M}{\phi + \eta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

式（2）を図2及び図3に示してある応力～ひずみ曲線に直

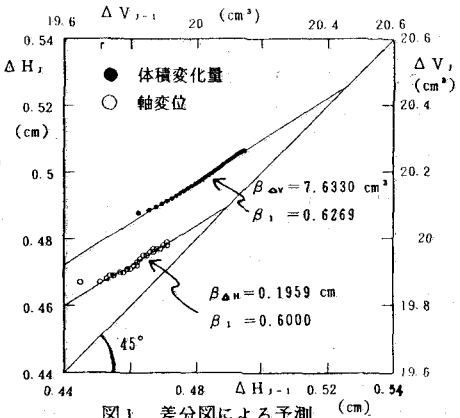


図1 差分図による予測
(CASE1 せん断3段階目 $\Delta t=10$ hours)

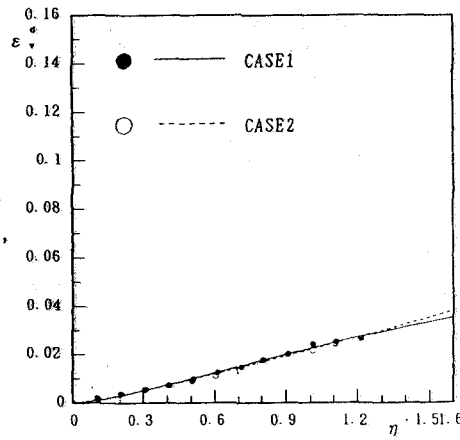


図2 ダイレイタンス挙動の比較

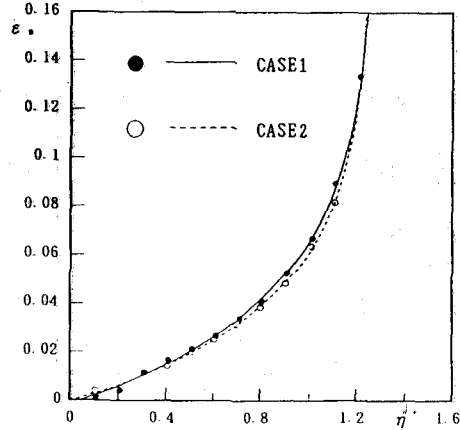


図3 せん断ひずみ挙動の比較

接あてはめることにより、図4及び図5に示してあるような解析結果が得られた。図4は降伏曲線、図5は塑性ひずみ増分ベクトル方向～応力比（ $\alpha \sim \eta'$ ）関係をそれぞれ示している。表1には、逆解析により得られた弾塑性パラメータ（M, D, Λ , N' ）を示している。

載荷速度による逆解析結果への影響は、図4及び図5を見てみるとCASE1とCASE2とで大きな影響がみられる。この結果より、せん断中期において同じ応力比の時には、載荷速度の速い方（CASE1）が塑性せん断ひずみが多く発生していることがいえる。このことは、図2及び図3に現れている挙動にもあてはまる。又、弾塑性パラメータについては、あまり大きな影響がみられないのがわかる。

4. 圧密挙動の解析³⁾と考察

圧密現象を表すパラメータのひとつである透水係数は、弾塑性パラメータ及び、圧密の第1固有値 λ_1 を用いて便宜的に一次元圧密理論により求めることができる。すなわち、

$$k = c_v \cdot m_v \cdot \gamma_w \quad (3)$$

ここで、

$$c_v = -\frac{4H^2}{\pi^2} \cdot \lambda_1 \quad \lambda_1 = \frac{\ln \beta_1}{\Delta t} \quad m_v = \frac{DM}{\Lambda} \cdot \frac{1}{\sigma'}$$

図6に式(3)より求めた各段階の透水係数を、 $e \sim \log k$ 関係として示してある。ここで今回の解析では、 β_1 を体積変化量のデータより求めたものを用いた。又、透水係数は、等方圧密過程（ e の大きい方から4ポイント目まで）とせん断過程の両方のものを求めている。

一般に標準圧密試験による $e \sim \log k$ 関係には、直線性があることが知られている。⁴⁾ここで図-6を見てみると、等方圧密過程においては直線性の傾向が見えるが、せん断過程にはいると等方圧密の直線性からはずれて、しかもせん断過程の後半において透水係数は、多少のばらつきがあるものの間隙比が減少しているにも関わらずほぼ一定値をとっていることがわかる。又、せん断中の透水係数は、等方圧密過程の傾向からみると圧密より求められる透水係数に比べて全体的に小さな値になっていることがわかる。以上のことから透水係数は、圧密からだけではなくせん断中も測定する必要があることがいえる。載荷速度の影響については、あまり大きな影響はみられないようである。

5. おわりに

今回の実験のタイムスケジュール（漸増載荷速度と荷重放置期間の組み合わせ）では、逆解析結果への影響は少なかった。今後は圧密挙動の解析に重点を置き、タイムスケジュールをいろいろ変化させて透水係数値への影響を調べ、標準圧密試験の結果と比較して、透水係数値のオーダーや変化特性の違いを調べていく予定である。

6. 参考文献

- 1) 浅岡 顕：沈下～時間関係予測の信頼性解析，第13回土質工学研究発表会講演概要集，pp. 277-280, 1978
- 2) 三隅浩二：正規圧密粘土の降伏曲線および弾塑性パラメータの決定，土木学会論文集，No. 454/Ⅲ20, pp. 93-101, 1992
- 3) 浅岡 顕・三隅浩二：正規圧密粘土の部分排水三軸圧縮試験，第21回土質工学研究発表会講演概要集，2分冊の1，pp. 433-436, 1986
- 4) 石原研而：土質力学，丸善株式会社，pp. 70-72, 1988

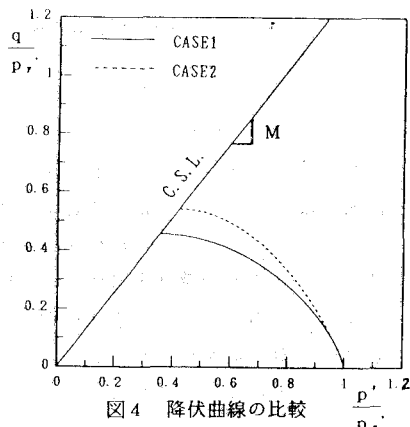


図4 降伏曲線の比較

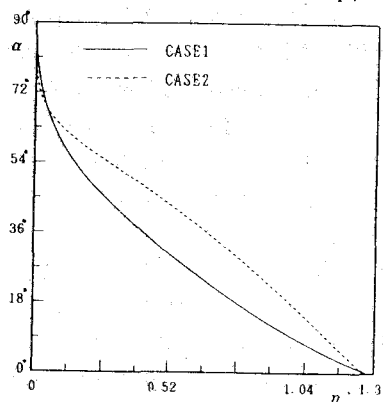


図5 塑性ひずみ増分ベクトル方向の比較

表1 弾塑性パラメータの逆解析結果の比較

パラメータ	CASE1	CASE2
M	1.2794	1.2609
D	0.02176	0.02691
Λ	0.48951	0.62963
N'	0.54871	0.67483

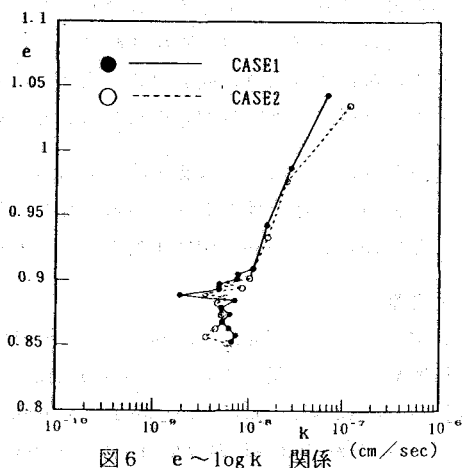


図6 $e \sim \log k$ 関係 (cm/sec)