

多方向繰返しせん断を受けた飽和粘性土の沈下-時間関係の推定

山口大学大学院 学生会員 ○園山 修平 末吉祐樹
 山口大学大学院 正会員 松田 博 原 弘行
 復建調査設計(株) 正会員 佐藤 秀政

1. はじめに

地震時に繰返しせん断が粘土層に作用すると層内には過剰間隙水圧が蓄積し、地震後には長期にわたって地盤の沈下が生じるが、既に地震時の繰返しせん断が多方向に作用した場合、繰返しせん断の方向が過剰間隙水圧あるいは地震後の沈下に影響することを示すとともに、それらの影響を考慮した推定式を提案している¹⁾。しかし、動的圧密係数の推定式はカオリン粘土での一方向の単純せん断試験から導出したものであって、物性の異なる粘性土試料、また、せん断の方向性については考慮していない。そこで、本研究では、3種の粘性土試料に対して多方向繰返しせん断試験を実施し、提案されている推定式の多方向せん断時の適用性について検討した。さらに、得られた動的圧密係数を用いて多方向繰返しせん断後の沈下-時間関係を推定した。

2. 試験方法

本研究では、カオリン粘土、東京湾粘土、北九州粘土の3種の粘性土試料を使用した。試料の物理的性質を表-1に示す。試験装置は、多軸単純せん断試験機を用いた。本装置は供試体(直径75mm、高さ20mm)に水平面上の直角2方向から独立して繰返しせん断変位を与えることができ、2つの入力波形に位相差 θ を設けて様々な多方向せん断を与えることが可能である。試験は以下の手順で実施した。まず、試料の含水比を液性限界の約1.5倍に調整して、ミキサーで十分に攪拌する。その後、真空装置で40分間脱気を行い、試料をせん断箱に充填して圧密圧力 $\sigma'_{v0}=49\text{kPa}$ で圧密、せん断を行った。せん断中は過剰間隙水圧等の測定を行った。入力波形は周期2.0秒のsin波とし、せん断ひずみ振幅 $\gamma=0.1\sim 2.0\%$ 、位相差 $\theta=0\sim 90^\circ$ で変化させた。繰返しせん断が終了した後に片面排水状態とし、過剰間隙水圧が消散するまで間隙水圧および沈下量の測定を行った。

表-1 各試料の物理的性質

	カオリン粘土	東京湾粘土	北九州粘土
$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.71	2.77	2.63
I_p	25.5	41.6	63.8
C_c	0.31	0.46	0.60

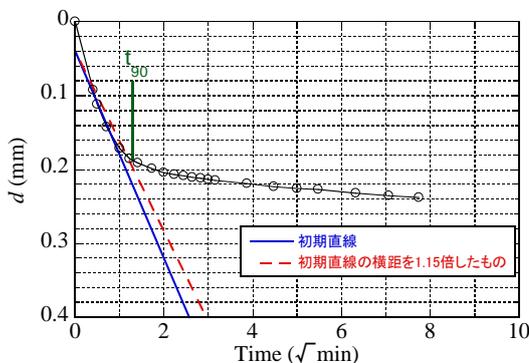


図-1 沈下量と時間の関係(カオリン粘土)

3. 実験結果

図-1に位相差 $\theta=45^\circ$ 、せん断ひずみ振幅 $\gamma=0.4\%$ でのカオリン粘土の沈下-時間関係を示す。図には $d-\sqrt{t}$ 関係の初期直線ならびに1.15倍の横距を持つ直線も併記している。同図より、繰返しせん断後の沈下過程での圧密係数を求め、ここではそれを動的圧密係数とした。

動的圧密係数と応力減少比SRRの関係として、既に次式が提案されている¹⁾。

$$\frac{c_{vd}}{c_v} = a \times SRR^b \dots (1) \quad SRR = \frac{1}{1 - \frac{u_{dyn}}{\sigma'_{v0}}} \dots (2)$$

ここに、 c_v は圧密係数、 u_{dyn} は過剰間隙水圧、 a 、 b は実験定

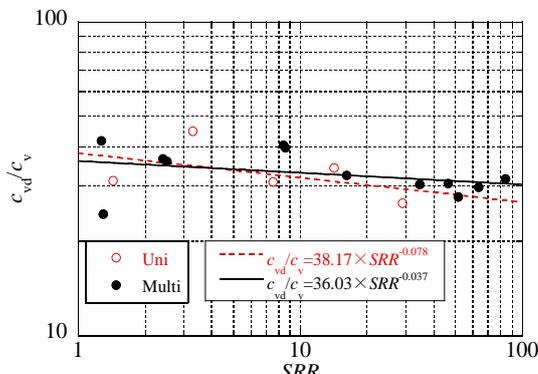


図-2 応力減少比と動的圧密係数の関係(カオリン粘土)

キーワード 単純せん断試験, 沈下, 動的圧密係数

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院 理工学研究科 TEL 0836-85-9325

数である。

図-2 に動的圧密係数と応力減少比の関係を示す。一方向せん断時 ($\theta=0^\circ$)、多方向せん断時 ($\theta>0^\circ$)ともに応力減少比が大きくなると動的圧密係数は小さくなる傾向を示した。これらの関係を最小二乗法で近似して得られた直線から式(1), (2)における実験定数 a, b を算出した。東京湾粘土, 北九州粘土についても同様にして a, b の値を求めた。

図-3 に実験から求めた動的圧密係数と計算値の関係を示す。いずれの試料土も実験値と計算値は比較的良好に一致している。

各試料についてひずみ振幅 $\gamma=1.2\%$, 繰返し回数 $n=200$ 回の試験条件での沈下-時間関係を示したものが図-4 である。図中の計算結果は式(3)~(8)で推定した沈下量と式(1), (2)から算出した動的圧密係数を用いて求めたものである²⁾。

$$\frac{u_{dyn}}{\sigma'_{v0}} = \frac{G^*}{\alpha + \beta \cdot G^*} \dots (3) \quad \alpha = A \cdot \gamma_{dyn}^m \dots (4) \quad \beta = \frac{\gamma_{dyn}}{B + C \cdot \gamma_{dyn}} \dots (5)$$

$$\gamma_{dyn} > -\frac{B}{C} \dots (6) \quad \varepsilon_v = \frac{C_{dyn}}{1 + e_0} \log SRR \dots (7) \quad \Delta e = C_{dyn} \log SRR \dots (8)$$

ここに、 G^* は累積せん断ひずみ²⁾ (供試体底面中央の移動軌跡の総和)、 γ_{dyn} は繰返しせん断振幅、 C_{dyn} は動的圧縮指数、 Δe は再圧密後の間隙比の減少量である。

試料の塑性指数 I_p が小さい場合ほど沈下量が大きい傾向があり、一方向せん断より多方向せん断の方が沈下に長時間を要することがわかる。計算結果と実測結果は比較的一致しており、式(1)~(8)によって地震後の沈下-時間関係の推定が可能である。

4. まとめ

本研究では、カオリン粘土を用いた動的圧密係数の推定手法が、試料の物性が異なる場合においても適用可能か検討するとともに、せん断後の沈下-時間関係の推定を行った。得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 応力減少比が大きいかほど動的圧密係数は小さくなる。
- 2) 物性の異なる粘性土試料での多方向繰返しせん断試験においても動的圧密係数の推定式は適用可能である。
- 3) 動的圧密係数を用いることによって、繰返しせん断後に生じる粘土層の沈下-時間関係を推定可能である。

【参考文献】

- 1) 松田博: 粘土層の地震後沈下過程の推定, 土木学会論文集 第568号/III-39, pp.41-48, 1997.
- 2) Mastuda H., Nhan, T.T., Ishikura R.: Prediction of excess pore water pressure and post-cyclic settlement on soft clay induced by uni-directional and multi-directional cyclic shears as a function of strain path parameters, Soil Dynamics and Earthquake Engineering; 49, pp.75-88, 2013.

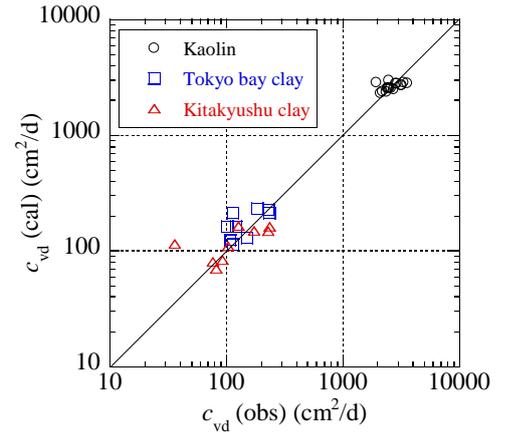
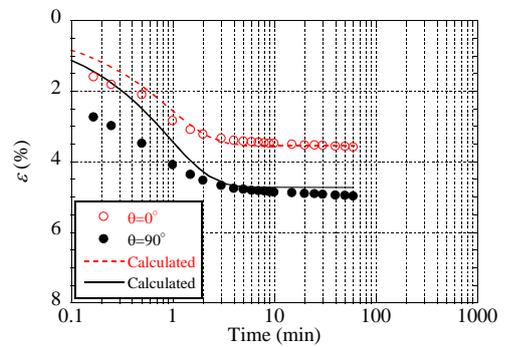
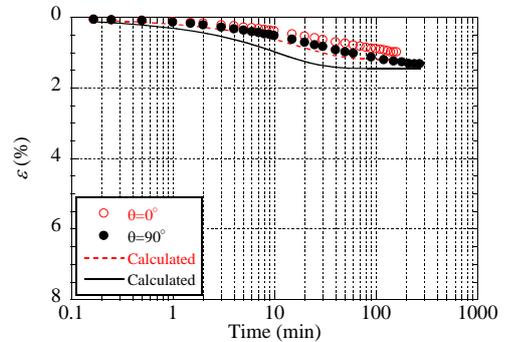


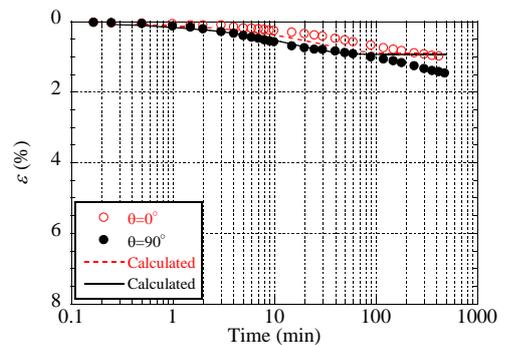
図-3 実験値と計算値の比較



(a) カオリン粘土 ($I_p=25.5$)



(b) 東京湾粘土 ($I_p=41.6$)



(b) 北九州粘土 ($I_p=63.8$)

図-4 沈下-時間関係の実験値と計算値