

飽和粘性土の一次元圧密試験における一次および二次圧密挙動

鳥取大学大学院 正会員 清水 正喜
鳥取大学大学院 学生会員 谷川 大輝

1. はじめに

飽和粘性の一次元圧密試験を行った。供試体の厚さを 4cm, 2cm, 1cm と変えて、さらに軸変位以外に、底面軸荷重と間隙水圧を測定した。底面軸荷重は、圧密リングと供試体との摩擦を評価するために測定した。また、間隙水圧は、一次圧密終了時間を判定するのに利用した。

本研究では、過剰間隙水圧消散前（一次圧密中）の二次圧密を、過剰間隙水圧消散後に見られる二次圧縮速度 C_α で評価し、一次圧密および二次圧密量を推定した。さらに Terzaghi の圧密理論を適用して、実測値と比較する。

2. 試料および供試体作製方法

繰り返し再圧密した飽和粘性土試料（藤森粘土）を使用した。大型圧密容器で最大圧密圧力 73.4kPa で予備圧密したものである。表 1 に試料の物理的性質を示す。試料を直径 6cm, 厚さ (H_0) を 4, 2 および 1cm の供試体に整形した。

表 1 試料の物理的性質

土粒子密度 (g/cm^3)		2.683
粒度	シルト分 (%)	55.5
	粘土分 (%)	45.5
コンシテンション	液性限界 (%)	56.7
	塑性限界 (%)	31.1
	塑性指数 (%)	25.6

3. 試験装置および試験方法

図 1 に試験装置の全体図を示す。試験装置を標準圧密試験機に取り付け、上面排水、底面非排水で圧密を行った。

セル圧 100kPa を作用させ、圧密荷重を 9.8 から 1256(kPa)まで荷重増分比 1 で段階的に載荷し、その

後、同じ荷重段階を経て 9.8 kPa まで除荷した。圧密時間は、載荷及び除荷過程の各段階で 24 時間である。

載荷棒に作用する浮力を考慮していない圧密荷重を p として圧密荷重段階を示す。一方、浮力を考慮した圧密圧力を p' と示す。

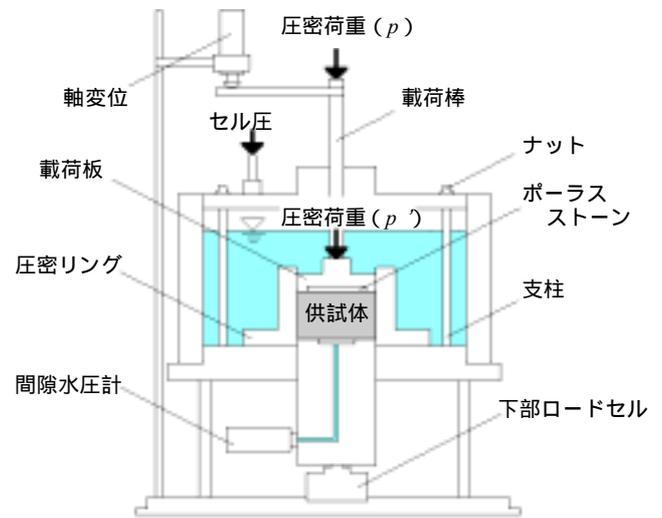


図 1 試験装置の全体図

4. 試験結果および考察

4.1 間隙水圧の挙動

図 2 に、間隙水圧と時間の関係を示す。 $p = 39.2$ および 314 (kPa) の段階における結果を例として示す。この挙動から、過剰間隙水圧が消散したと判断した時間 (t_{EOP}) を決定した (図にはマークで示した)。

図 3 は、各供試体厚さ H_0 における圧密圧力 (p') と t_{EOP} の関係を示している。

供試体厚さが小さいほど、過剰間隙水圧の消散が早い。これは、供試体厚さが小さいほど最大排水距離が短いからである。

H_0 、 p' が大きくなるほど t_{EOP} も大きくなっている。しかし、 H^2 則は成り立っていない。

過剰間隙水圧消散点 ($H_0=1\text{cm}$)
 過剰間隙水圧消散点 ($H_0=2\text{cm}$)
 過剰間隙水圧消散点 ($H_0=4\text{cm}$)

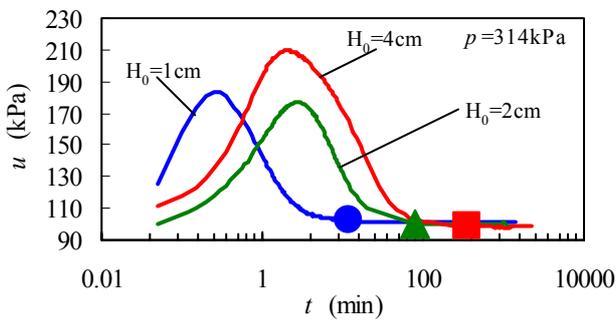
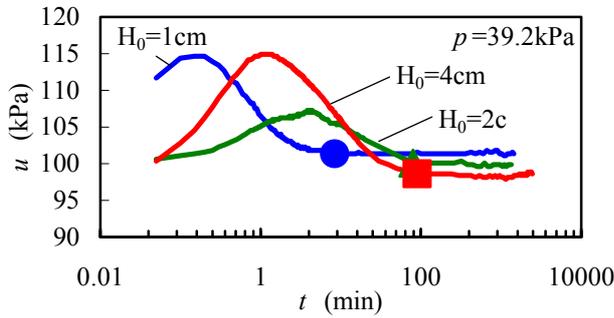


図2 u $\log t$ 関係

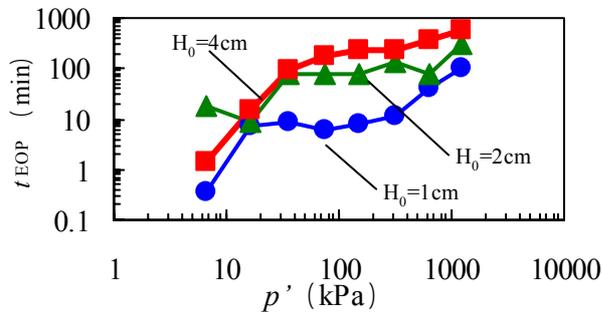


図3 $t_{\text{EOP}} - \log p$ 関係

4.2 ε $\log t$ 関係

図4に、ひずみと時間の関係を示す。同じ圧密圧力に対して、厚さの異なる各供試体の挙動を比較している。どの荷重段階においても過剰間隙水圧が消散した時点のひずみ ε_{EOP} は供試体厚さによって異なった。正規圧密状態では、供試体厚さが大きいほど ε_{EOP} が大きくなる傾向が見られる。これは、Terzaghiの一次元圧密理論とは異なる結果であり、一次圧密中においても二次圧密が起こっている可能性を示唆

している。あるいは、周面摩擦の影響が表れているのかもしれない。

$t > t_{\text{EOP}}$ での挙動を見ると、どの荷重段階においても層厚に関わらず、ひずみは時間の対数に比例して増加していることが分かる。特に、正規圧密状態でこの特性が顕著である。

過剰間隙水圧消散点 ($H_0=1\text{cm}$)
 過剰間隙水圧消散点 ($H_0=2\text{cm}$)
 過剰間隙水圧消散点 ($H_0=4\text{cm}$)

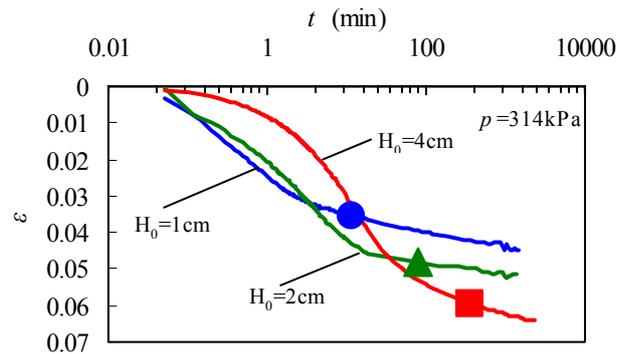
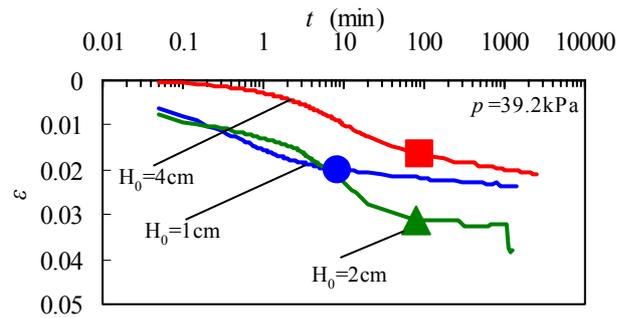


図4 ε $\log t$ 関係

4.3 Terzaghiの圧密理論との比較

(1) 二次圧密特性

$t > t_{\text{EOP}}$ において発生したひずみはすべて二次圧密によるひずみ ε_s であり、 ε_s は

$$\frac{d\varepsilon_s}{d \log t} = C_\alpha \quad (1)$$

の関係に従って変化すると仮定する。

式(1)を $t = t_0$ において $\varepsilon_s = 0$ の初期条件の下で積分すると

$$\varepsilon_s = C \cdot \log \frac{t}{t_0} \quad (2)$$

となる。

本研究では一次圧密度 ε_p を

$$\varepsilon_p = \varepsilon - \varepsilon_s \quad (3)$$

として評価する。ここに ε は実測ひずみである。

(2) 仮定

2つの仮定を設けて、それぞれの仮定の下で一次および二次圧密度を推定した。

仮定1: $t < t_{EOP}$ において、二次圧密が生じない。即ち $t < t_{EOP}$ における実測ひずみ ε はすべて一次圧密度である。

仮定2: $t < t_{EOP}$ において、二次圧密が発生する。二次圧密 ε_s は式(2)で表わされ、一次圧密度 ε_p は式(3)で表わされる。

(3) 仮定1に基づく一次圧密の理論値

実時間 t に相当する時間係数 T_v は

$$T_v = \frac{t \cdot H^2}{c_v} \quad (4)$$

で求められる。ここに c_v は実測データに t 法を適用して求めた圧密係数である。 T_v に相当する圧密度は、理論より、

$$U = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 \cdot T_v) \quad (5)$$

$$M = \frac{2m+1}{2}$$

で与えられる。仮定より、 $U = 100\%$ に相当するひずみ ε_{100} は

$$\varepsilon_{100} = \varepsilon_{EOP} \quad (6)$$

で与えられる。任意の圧密度 U に対するひずみを ε' とおくと、 ε' は式(6)より

$$\varepsilon' = \varepsilon_{EOP} \cdot U \quad (7)$$

で求められる。

式(4),(5),(7)より、 $\varepsilon' - t$ の理論的關係を求めることができる。

(4) 仮定2に基づく一次圧密理論値(図5参照)

実時間 t に相当する時間係数 T_v は式(4)で求められる。 $\varepsilon_p - t$ 關係より $t = t_{EOP}$ における ε_p を ε_{pEOP} と

すると、 ε_{p90} は

$$\varepsilon_{p90} = \varepsilon_{pEOP} \times 0.9 \quad (8)$$

で求められる。 $\varepsilon_p - t$ 關係より、 ε_{p90} における実時間 t (t_{90}) を推定できるので、 c_v は、

$$c_v = \frac{T_{v90} \cdot H^2}{t_{90}} \quad (9)$$

で求められる。 T_v に相当する圧密度は理論より、式(5)で与えられる。任意の圧密度 U に対するひずみを ε_p' とおくと、 ε_p' は

$$\varepsilon_p' = \varepsilon_{pEOP} \cdot U \quad (10)$$

で求められる。

式(4),(5),(8),(9),(10)より、 $\varepsilon_p' - t$ の理論的關係を求めることができる。

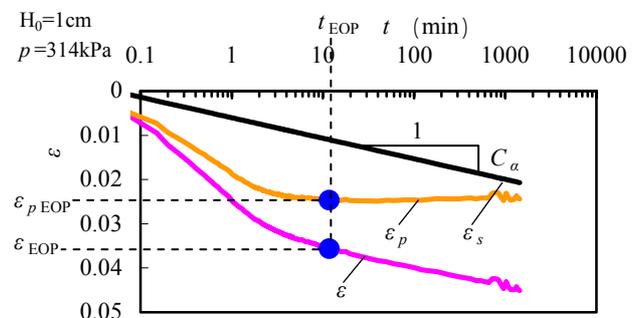


図5 $\varepsilon, \varepsilon_s, \varepsilon_p$ 關係

(5) 結果の比較

図6に、 $p = 314\text{kPa}$ (正規圧密状態) における、

- 1) 実測 $\varepsilon - \log t$ 關係
- 2) 仮定1に基づく理論的 $\varepsilon' - \log t$ 關係
- 3) 仮定2に基づく $\varepsilon_p - \log t$ 關係
- 4) 仮定2に基づく理論的 $\varepsilon_p' - \log t$ 關係

を示した。

図6より、 ε と ε' を比べると、 $H_0 = 1\text{cm}$ と 2cm の場合には、挙動が全く異なっている。 $H_0 = 4\text{cm}$ の場合には似た形状ではあるが、時間が大きく異なっている。よって、 $t < t_{EOP}$ においても二次圧密が生じていると考えるべきである。

次に、 ε_p と ε_p' を比べても、 $H_0 = 1\text{cm}$ と 2cm の場合には、挙動が全く異なっている。 $H_0 = 4\text{cm}$ の場合は似た形状ではあるが、時間が若干異なっている。仮定2では、 $t > t_{EOP}$ において生じる二次圧密特性をC

で評価して、それを $t < t_{EOP}$ に対しても拡張した ε_p と ε_p' の挙動が異なっていることから、この仮定には限界があると考えられる。

過剰間隙水圧消散点

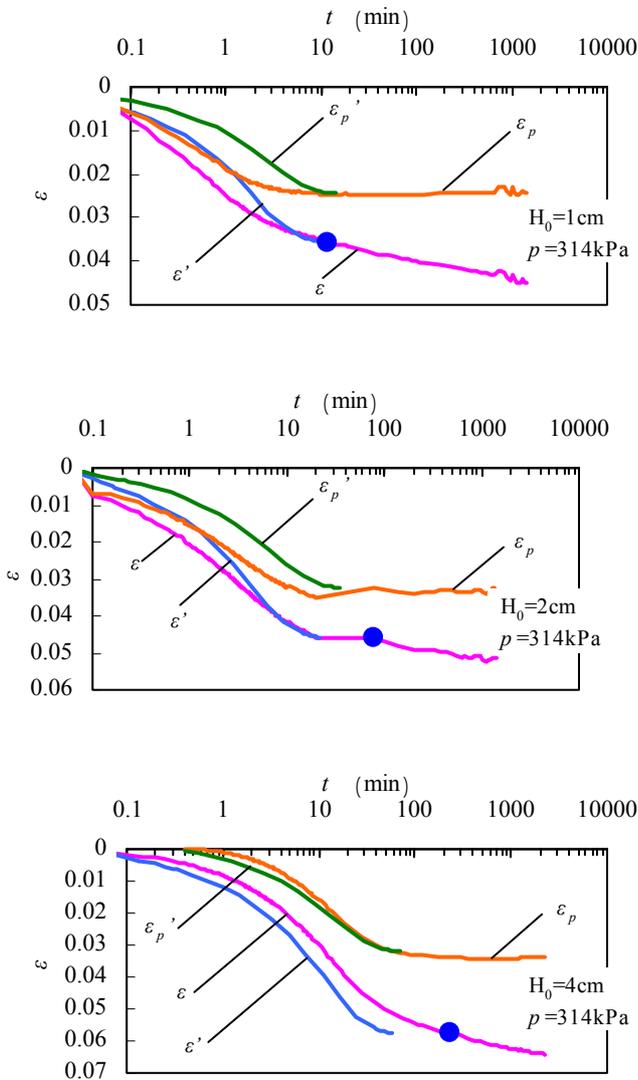


図6 $\varepsilon - \log t$ (理論値との比較)

4.4 底面軸荷重

図7に、 $p = 314 \text{ kPa}$ における、底面軸荷重の測定値(単位面積当たりの力に換算)からセル圧を引いた値(p_u)と時間の関係を示す。

p_u は H_0 が大きいほど小さくなった。 H_0 が大きいほど供試体周面積が大きいので予想された結果である。

図8は、各荷重段階における p' と p_u の最大値との差 ($p' - p_{uMAX}$) と p' の関係を示す。 $p' - p_{uMAX}$ は各荷重段階における最大摩擦を表すと考えられる。

図より、どの荷重段階でも摩擦力は H_0 が大きいほど大きいことが分かる。周面摩擦力が H_0 によって異なることは、 t_{EOP} に対して H^2 則が成り立たなかったことの1つの要因である可能性がある。

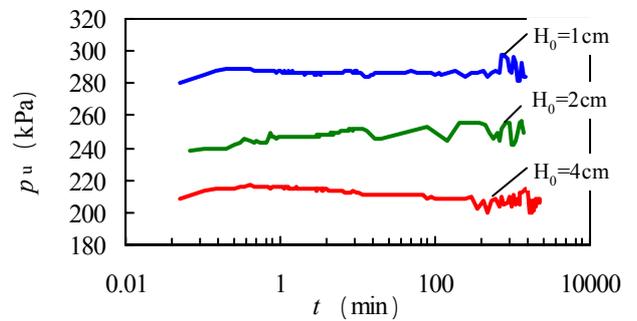


図7 $p_u - \log t$ 関係

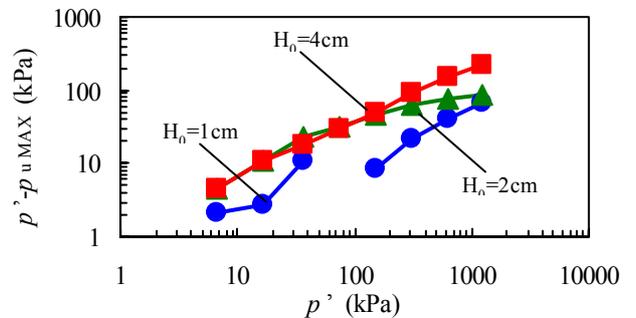


図8 $(p' - p_{uMAX}) - \log p'$ 関係

5. 結論

- (1) 一次圧密終了時 (t_{EOP}) のひずみ ε_{EOP} は、供試体の厚さ (H_0) によって異なった。
- (2) 同じ圧密圧力に対して、 t_{EOP} は H_0 が大きいほど大きくなった。
- (3) 仮定1の検証結果から、 $t < t_{EOP}$ での圧密挙動は Terzaghi の圧密理論だけでは評価できない。
- (4) 仮定2の検証結果から、 $t < t_{EOP}$ で生じる二次圧密特性を、 $t > t_{EOP}$ における二次圧縮速度 C_α で評価するには限界がある。
- (5) H_0 が大きいほど、周面摩擦力が大きくなる。周面摩擦力は無視できない大きさであり、それを考慮した考察が更に必要である。