

Ⅲ-A187 飽和粘土の一次元繰返し圧密挙動と弾粘性圧密理論に基づく数値解析

広島大学工学部 正会員 森脇 武夫
 大阪市 正会員 ○齋藤 正己
 (株)きんでん 正会員 川城 憲司
 広島工業大学 正会員 吉國 洋

1. はじめに

繰返し圧密のメカニズムは、一定載荷による圧密に比べ複雑なものであり、未解明な点が多い。そこで筆者ら¹⁾は、圧密中の粘土供試体内部挙動を観察することのできる層別計測型圧密試験装置を用いて、一次元状態で繰返し荷重を載荷する繰返し圧密試験を行い、飽和粘土の繰返し圧密挙動を明らかにしようとしている。本研究は、これらの繰返し圧密挙動を吉國²⁾が提案した弾粘性圧密理論を用いて数値解析を行い、この圧密理論の適合性を調べると共に、繰返し圧密のメカニズムを解析結果と実験結果の比較を通して明らかにしようとしたものである。

2. 実験試料、及び実験方法について

本研究に用いる試料は倉敷粘土で、 $w_L=52.4$ (%), $w_P=26.8$ (%), $I_P=25.6$, $G_s=2.673$ である。再圧密セル (直径 24.7cm, 高さ 47.0cm) を用いて鉛直圧密圧力 49.0kPa で圧密させ、一次圧密終了後、再圧密セルを恒温水槽に入れ、水温を 20℃, 及び 70℃ に保ち、4 日間養生した。以後、前者を R (室温養生) 試料, 後者を H (高温養生) 試料と呼ぶ。

試験装置には密閉型圧密試験器を 5 個連結した層別計測型圧密試験器を用い、供試体の内部挙動に着目した繰返し圧密試験を行った。まず、156.8kPa まで予圧密を行い、その後、最小値と最大値がそれぞれ 156.8kPa, 及び 205.8kPa とする振幅 49.0kPa の正弦波荷重を各層に与える。周期は 600 秒とし、10000 分まで載荷した。また、繰返し荷重の最大値である 205.8kPa ($\Delta\sigma=49.0$ kPa) を一定載荷した比較試験も行った。詳細は文献 1 を参照されたい。これらの試験を H 試料, R 試料について行い、試料作成時の養生条件の違いによる影響も考察する。

3. 解析方法

数値解析については吉國²⁾の弾粘性圧密理論を採用した。このモデルは式 (1) によって粘土の流れ圧縮を表現することができ、ここでは式 (2) 第 3 項の荷重項に式 (3) の繰返し荷重を与えることで、繰返し圧密時の変形挙動を算出した。以下に、弾粘性モデル構成式と、その圧密方程式、及び与えた荷重項について紹介する。

$$\text{構成式} \quad -\frac{de}{dt} = m_v \cdot \frac{d\sigma'}{dt} + \frac{\sigma'}{\eta} \quad (1)$$

$$\text{圧密方程式} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k(1+e_0)}{m_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1+e_0}{m_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{\partial k}{\partial z} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{dp}{dt} + \frac{\gamma'z + p - u}{m_v \cdot \eta} \quad (2)$$

$$\text{荷重項} \quad p = \frac{p_0}{2} + \frac{p_0}{2} \sin \left(2\pi \frac{t_j}{t_{\text{cyc}}} + \frac{3}{2}\pi \right) \quad (3)$$

本解析では (2) 式の圧密方程式を差分化し、数値解を求めた。

4. 試験結果、及び解析結果とその考察

圧密中の間隙比の経時変化として、一定載荷の場合を図 1 に、繰返し載荷の場合を図 2 に、養生条件ごとに示す。ここでは排水面側

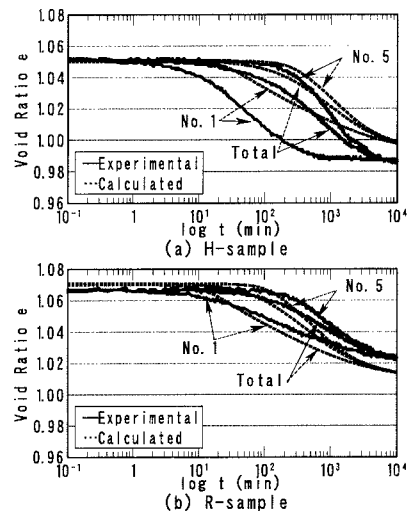


図1 $e \sim \log t$ (Static loading)

キーワード：繰返し圧密・層別計測型圧密試験装置・数値解析・弾粘性圧密理論・再圧密高温養生試料

連絡先：〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 Tel&Fax 0824-24-7784

（No.1）と非排水面側（No.5）、及び全層の平均値（Total）のみ示す。

まず、実験結果について見ると、図1より、一定載荷の場合、排水面側（No.1）から徐々に沈下し、最終的な沈下量はH試料の方が大きく、またその沈下は、R試料より早く収束している。H試料は養生時に強固な骨格構造が形成されていると考えられ、荷重が載荷されると、その骨格構造が破壊されて最終的な沈下量はH試料の方が大きくなったと思われる。また、この骨格構造が乱されて間隙が密実になることで、二次圧密時の変形が抑制されてR試料より沈下は早く収束したと考えられる。図2に示す繰返し載荷の場合、H試料の沈下量がR試料より大きく、残留沈下が継続する様子が伺える。この場合、繰返し荷重による攪乱効果が、H試料の発達した骨格構造に対して顕著に現れていると考えられ、R試料については、そのような骨格構造を持たないために、載荷条件の違いによる影響がH試料ほど現れなかったと思われる。図3は、圧密後期の残留沈下について着目し、時間の対数に対する間隙比の減少速度を二次圧密係数 C_α として各層、及び載荷条件ごとに示したもので、グラフ上の対角線は繰返し載荷と一定載荷による C_α が一致する場合を意味している。図3（b）を見ると、R試料では、繰返し載荷と一定載荷で C_α がほぼ同じになり、繰返し効果が顕著でないことを示している。一方、図3（a）を見ると、H試料に繰返し荷重を載荷した場合、 C_α の値が大きくなり、特に排水面側（No.1）で顕著に表れている。これは、排水面側ほど、載荷・除荷による変形方向の変化が激しいため、繰返し効果が顕著に現れて C_α が大きくなったものと考えられる。

次に、解析結果と実験結果を比較すると、一定載荷をR試料に載荷した場合（図1（b））は、その間隙比の変化が実験値と解析値でほぼ一致し、弾粘性圧密理論の有用性が確認できる。しかし、R試料に繰返し荷重を載荷した場合（図1（a））、及びH試料に一定荷重を載荷した場合（図2（b））の実験結果が解析値よりも変形量は大きく、特にH試料に繰返し荷重を載荷した場合（図2（a））はより顕著な差が現れた。これは、H試料の持つ強固な骨格構造の破壊現象、及び繰返し荷重による骨格構造の攪乱現象が本研究で採用したモデル構成式では表現されていないためであると考えられる。そして、これらをどのように表現していくかが今後の課題であるといえるが、現段階ではこれらを表現できるだけの情報は得られなかった。

5. まとめ

R試料の圧密曲線、及び二次圧密係数 C_α は、載荷条件に関わらずほぼ等しくなった。また、H試料に繰返し荷重を載荷すると、 C_α が大きくなり、H試料の持つ骨格構造が、繰返し荷重の攪乱効果により、さらに乱され、残留沈下が継続する結果となった。よって、通常のR試料を用いた繰返し圧密試験から、現場での挙動を予測すると、二次圧密時の残留沈下量を小さく見積もる恐れがあると言える。また、弾粘性圧密理論を用いて繰返し圧密現象を解析することが可能となったが、弾粘性圧密理論には繰返し効果による粘土骨格の攪乱現象が考慮されていないため、繰返し圧密による沈下量を過小評価する傾向が認められた。

〔参考文献〕 1) 森脇武夫・齋藤正己・川城憲司：繰返し荷重を受ける飽和粘土の一次元繰返し圧密挙動，第34回地盤工学研究発表会講演概要集，1999 2) 吉國 洋：軟弱粘土の圧密曲線と圧縮曲線に対する一つの解釈（I），第25回土質工学研究発表会講演概要集，pp.307-310，1990

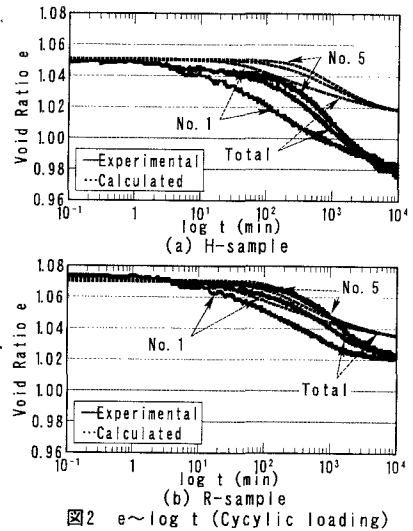


図2 e—log t (Cyclic loading)

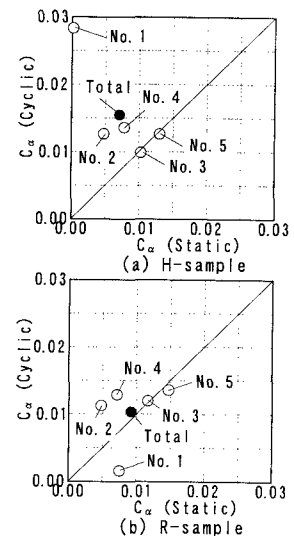


図3 二次圧密係数