

分割要素モデル実験による圧密過程と強度増加特性の解析

芝浦工業大学 (正) 足立 格一郎 ○坂本 充央(現 仙台市役所)

(学) 児玉 潤 鈴木 絵里子

菅沼 洋介 宮永 慎也

1. はじめに

軟弱粘土地盤上への盛土や地盤改良などにおける地盤の圧密過程においては、排水境界に近い粘土層と境界から離れた粘土層では過剰間隙水圧の消散状況に差異が生じるため、各土要素の圧密度が異なり、それに応じてせん断強度も異なる。そのため、実地盤の圧密進行状況を評価する際には、粘土層全体の平均的な圧密度によるのではなく、分割された各土要素ごとの圧密度を把握することが重要である。また、近年粘土地盤が高温環境下にさらされるケースが報告されており、熱履歴を受けた地盤の変形・強度特性を把握することの重要性が認識されている。そこで本研究では、地盤内の分割土要素の圧密過程を室温と高温の下で実験的にシミュレートするとともに数値解析を試みる。また、各土要素ごとに強度試験を実施し、強度増加特性を把握しようとするものである。

2. 試料と実験概要

本研究で用いた試料は、東京都江東区豊洲にて採取された有楽町層粘土である ($w_L=76.2\%$, $w_p=31.6\%$, $I_p=44.6$, $\rho_s=2.678\text{g/cm}^3$, $p_c=190\text{kPa}$)。実験では不攪乱試料とこれを母材として 190kPa にて圧密した再構成試料を使用した。

①連結圧密試験：地盤内の分割土要素の圧密過程を再現するために実施する試験である。図-1は試験装置の概略図である。同図のようにまず三軸セルを3つ連結させる。連結部分は脱気水を満たしたU字管を使用し、各分割土要素の間隙水を連続させてある。排水条件は、A層の上面を排水境界とし、C層の下面を非排水境界としている。この条件の下圧密を行うことで、排水距離に差が生じ、それに伴い圧密度にも差が生じるシステムになっている。排水量の測定については、U字管にオイルを満たすことでその動きから読み取る。また、間隙水圧は各土要素の下面で測定した。高温条件(75°C)での試験は、2連結(B層下面が非排水境界)とし、比較のため室温条件下でも実施するが、試験システムは上記と同様である。このときの試験条件(歪に関する圧密度 U_ε)を表-1に示す。なお、想定盛土荷重を 190kPa ($=p_c$)とし、 380kPa にて圧密した。

②CIU試験：連結圧密試験によって地盤内の分割土要素の圧密過程を再現した後、各土要素の非排水せん断強度を評価するために実施する。なお、供試体を均一な要素として扱うために、消散過程にある間隙水圧が供試体内で一定値に落ち着くまで非排水状態を一定時間保ち、間隙水圧の均一化を図った後、せん断を行った。

3. 解析手法

解析には、 k (透水係数)と m_v (体積圧縮係数)の応力依存性(c_v は一定)を考慮した式(1)、層厚減少を考慮した式(2)

の三笠の圧密理論¹⁾を用いた。

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = c_v \zeta^2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z_0^2} \quad \dots(2)$$

ε : ひずみ ζ : 圧密比(f_0/f) c_v : 圧密係数 z : 実座標 z_0 : 原始座標 (初期体積比 f_0 を持つ原始状態での z 座標)
式(1), (2) に対して、実験モデルに対応する初期条件と境界条件を与え、差分近似することにより解を求めた。

キーワード：圧密、強度増加特性、高温、モデル実験、数値解析

連絡先：〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14 芝浦工業大学土木工学科地盤工学研究室

TEL 03-5476-3048 FAX 03-5476-3166

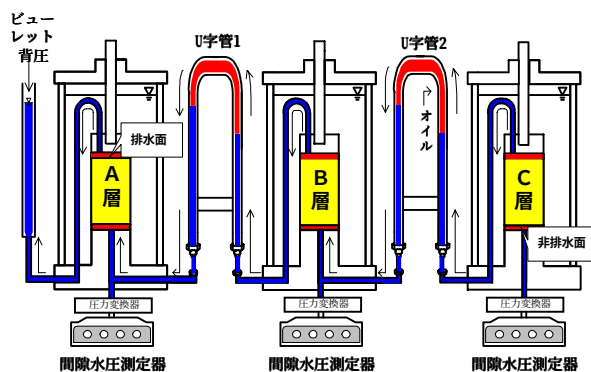


図-1 試験装置概略図

表-1 試験条件(U_ε :単位%)

土要素		A層	B層	C層
Case1	3連結	100	100	90
	2連結	100	100	
Case2	3連結	90	70	55
	2連結	90	70	
Case3	3連結	65	40	25
	2連結	60	30	

4. 実験・解析結果と考察

①圧密過程: 各連結圧密試験(Case1) から得られた圧密度と時間の関係を、式(1),(2)による解析結果とあわせて図-2, 3に示す. Case2,3の結果は最終点のみプロットした. 図-2に示した解析結果を見ると、初期の時間帯で実験値と差異が生じているが、各圧密過程の挙動を比較的良く表現しているといえる. 式(1)は、排水・変形の一次元性(鉛直方向のみ)が前提である. 今回の実験では、排水は鉛直方向に一次元的であるが、変形は等方的に応力を負荷しているので厳密には三次元的に生じていると考えられる. しかし、実験値と解析値の一致性から、鉛直方向と水平方向の m_v はほぼ等しいと考えられ、この範囲内では式(1)に十分な適合性があると思われる.

図-3 から所定の圧密度に達する時間は高温が室温よりもはやく、圧密進行に伴いその差は解消されている. これは、圧密初期から中期にかけては間隙水の粘性低下による k の増加が卓越するのに対し、終期には圧密進行により粘土骨格が密になる結果 k が相対的に減少し、粘性低下による効果が薄らいでいくためであると思われる. また、圧密度は温度に比例して増加することが報告されている. すなわち高温条件下では各土要素の層厚変化が無視できないレベルまで生じることが予想され、層厚変化を無視した微小変形理論より誘導された式(1)では対応できなくなると考えられる. 図-3(a)をみると、式(2)より得られた解析結果が今回の試験結果(生じた体積ひずみは15%)をより忠実に表現していることがわかる. よって高温条件下における圧密挙動に対しては、有限変形の圧密方程式(2)の適用が妥当であるといえる.

②強度増加特性: 圧密度と強度の直線関係を報告した事例はいくつかあるが、いずれも通常のCIU試験によるものである.

図-4は室温3連結試験のCase2,3の U_e と c_u の関係をプロットしたものである. 連結圧密試験に引き続き実施する強度試験においても同様な傾向が示されており、分割領域に関わらず所定の圧密度に達すればそれに対応した強度を発現することがわかる. つまり、排水境界に近い土要素における強度発現に対しては、境界と離れた土要素からの透水による影響は少なく、圧密の進行度によるところが大きいものと考えられる.

5. まとめ

- ①分割土要素の各圧密過程に対しては、水平方向に変形が生じる場合においても排水の一次元条件が満足される場合には、ひずみに関する熱伝導型圧密理論の適用性が確かめられた.
- ②高温条件下における圧密挙動は、層厚変化を考慮した有限変形圧密理論を適用することでうまく説明できた.
- ③各土要素の強度発現は、排水境界の遠近に無関係であり、圧密度によって一義的に決定する.

【参考文献】 1) 三笠正人 軟弱粘土の圧密—新圧密理論とその応用— 鹿島出版会, 1996

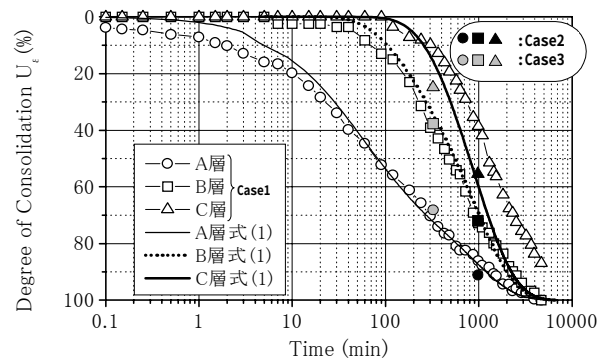
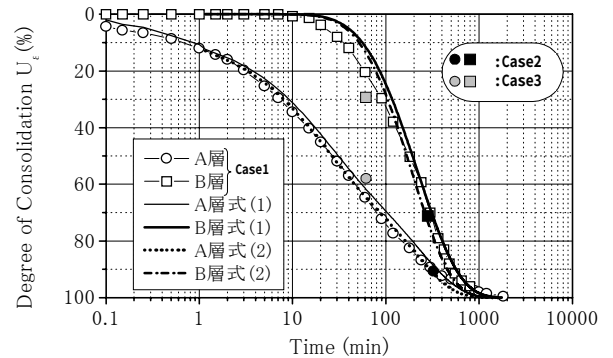
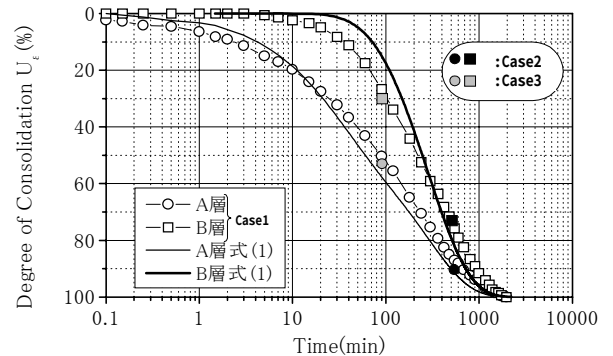


図-2 圧密度の経時変化 (室温3連結:再構成)



(a) 高温



(b) 室温

図-3 圧密度の経時変化 (2連結:不攪乱)

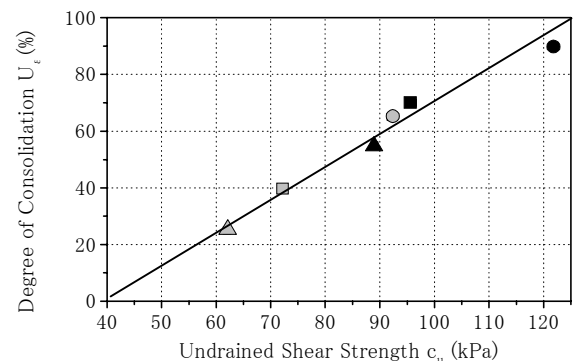


図-4 圧密度と非排水強度の関係 (室温3連結:再構成)