

時間効果および温度効果を受けた粘土の圧密特性

徳山工業高等専門学校 正員 ○上 俊二 正員 藤原東雄
同 上 正員 桑嶋啓治 学員 村谷幸志

1. はじめに

長期間にわたって形成された自然堆積粘土は正規圧密状態でありながら、二次圧密やセメンテーションなどの影響を受け、見かけ上過圧密の挙動を示すことが知られている。本研究ではこれら年代効果の定量的な評価をする目的で、温度調節が可能な圧密試験機を使用して、粘土の種類、二次圧密期間、温度条件、荷重条件を制御した圧密試験を行い、二次圧密時に温度効果を受けた正規圧密粘土の圧密沈下挙動を定量的に調べた。

2. 実験概要

実験に用いた試料は物性の異なる沖縄粘土 ($G_s=2.65$, $w_L=59.5\%$, $w_p=26.4\%$, $I_p=33.1$) とカオリン粘土 ($G_s=2.65$, $w_L=78.5\%$, $w_p=37.5\%$, $I_p=41.0$) である。これらの粘土を液性限界の約2倍の含水比で十分に攪拌し、スラリー状態にした後、室温で大型圧密容器にいれ圧密圧力 $p=0.1\text{kgf/cm}^2$ から 1.0kgf/cm^2 まで段階的に予圧密を行った。予圧密して得られた粘土ブロックより、直径6cm、高さ2cmの供試体を作成し圧密試験機にセットした。本研究では、自動温度調節器のついたヒーターにより水槽内の水温を $20^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$ まで調節が可能な標準圧密試験機を使用した。

実験は図-1に示すように室温 20°C で圧密圧力 $p=3.2\text{kgf/cm}^2$ において一次圧密終了後、室温 20°C のまま、または高温 60°C へ変化させ、沖縄粘土は1日、10日、100日、カオリン粘土は1日、10日でそれぞれ圧密を行った。そして温度を室温一定に保った場合 (①)、高温から室温へ低下させた場合 (②)、高温一定に保った場合 (③) について、増加荷重 $\Delta p=0.1\text{kgf/cm}^2$ を10分ごとに $p=6.4\text{kgf/cm}^2$ まで載荷する漸増載荷試験を行った。

3. 実験結果と考察

図-2は一例として沖縄粘土の圧密圧力 $p=3.2\text{kgf/cm}^2$ における二次圧密期間10日の場合の隙間比と経過時間の関係を示している。温度を室温から高温に変化させると圧密が促進され、温度が一定の値に落ち着くまで隙間比が急激に減少しているのがわかる。しかし温度が一定になると、ほぼ一定の傾きで減少している。この傾きを二次圧密係数 C_α で表す。 C_α は粘土の種類によって異なることが明らかである。

図-3(a)は沖縄粘土の所定の二次圧密期間 (1, 10, 100日) が終了後に、高温に一定に保った場合 (③) の漸増載荷試験を行った場合の $e-\log p$ 曲線である。圧密降伏応力は圧密期間の長いものほど時間および温度の影響を受け、正規圧密線からの飛び出しが見られる。図-3(b)は沖縄粘土の高温から室温に低下させた場合 (②) の $e-\log p$ 曲線である。高温一定に保った場合に比べて、二次圧密期間が長い供試体ほど、圧密降伏応力の飛び出しが大きくなっていることが明らかである。図-3(c)はカオリン粘土の所定の二次圧密期間 (1, 10日) が終了後に、高温に一定に保った場合 (③) の漸増載荷試験を行った場合の $e-\log p$ 曲線である。高温にすることにより圧密が促進され隙間比が減少したにもかかわらず沖縄粘土とは異なり、高温一定に保った場合は圧密降伏応力の増加は見られない。図-3(d)はカオリン粘土の温度を高温から室温に低下させた場合 (②) の $e-\log p$ 曲線である。高温から室温に低下させると正規圧密線を越える飛び出しは見られないが、高温一定に保った場合に比べ、圧密降伏応力は増加していることがわかる。二次圧密期間が長いものほど圧密降伏応力が増加していることがわかる。これは、カオリン粘土は沖縄粘土に比べて均等粒径で純粋な粘土鉱物から構成されており

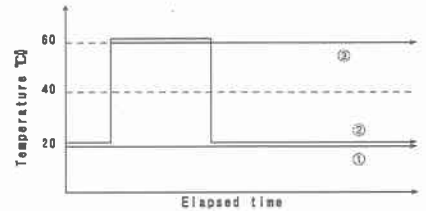
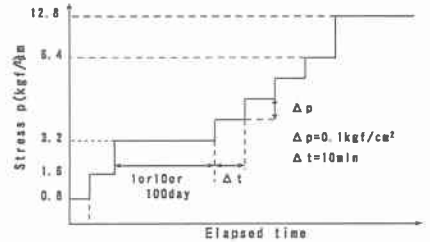


図-1 実験条件

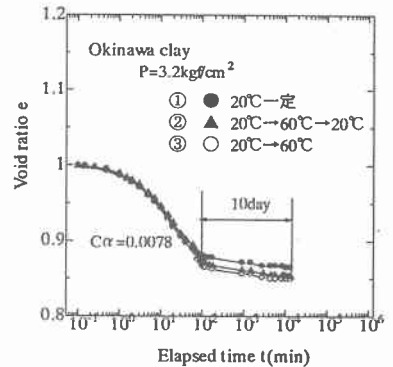


図-2 時間と隙間比の関係

有機物やイオンを含んでいないため温度が高温一定の場合において圧密降伏応力は室温と同じ値を示し、温度を室温に低下させることによって圧密降伏応力が増加するのではないかと考えられる。

二次圧密時に温度効果を受けた粘土の圧密降伏応力 p'_c は次式で表される²⁾。

$$p'_c = p_o' \beta \cdot \left(\frac{t_s}{t_0} \right)^{\frac{C_\alpha}{C_c - C_s}} 10^{\frac{C_\beta (T_H - T_R)}{(C_c - C_s)}} \quad (1)$$

ここで、 t_s は二次圧密時間、 t_0 は一次圧密終了時間、 C_α は二次圧密係数、 C_c は圧縮指数、 C_s は膨潤指数（再圧縮指数）、 C_β は温度係数、 T_H 、 T_R は温度（高温および室温）である。 β はセメンテーション効果による飛び出しの程度を表す実験定数である。式に含まれる係数を実験結果より決定し、その値を表-1に示す。なお、 β は1.0として計算し、その計算結果を表-2に示す。沖縄粘土では、室温20℃一定に保った場合は実験値 p'_y と計算値 p'_c がほぼ対応しているが、高温一定に保った場合および高温から室温に低下した場合は、実験値と計算値はうまく対応しておらず、圧密期間が長いもののほど β は約1.0～1.15の範囲で増加していることがわかる。カオリン粘土では、前述したように高温一定

に保った場合は降伏応力の増加が見られず、実験値と対応していない。しかし、高温から室温に低下した場合は圧密降伏応力の増加が見られ、実験値とほぼ対応している。

4. まとめ

本研究では、温度変化と二次圧密期間を変化させた正規圧密粘土の圧密沈下挙動を定量的に調べた。その結果、温度効果（室温→高温→室温）を与えることにより、粘土は見かけ上過圧密土の挙動を示し、その圧密降伏応力は粘土の種類、温度履歴、時間履歴の影響を受けることが明らかになった。また、以上の結果より、温度効果を受けた粘土の圧密降伏応力を評価を試みた。

参考文献

- 1) 土田 孝他：高温再圧密による海成粘土の年代効果の再現、港湾技術研究報告、第28巻、第1号、pp. 121-147, 1989.
- 2) 上俊二，藤原東雄，勝村雅子：二次圧密時に温度効果を受けた粘土の圧密特性，土木学会論文集 /No. 554. III-37, pp. 47-55. 1997.

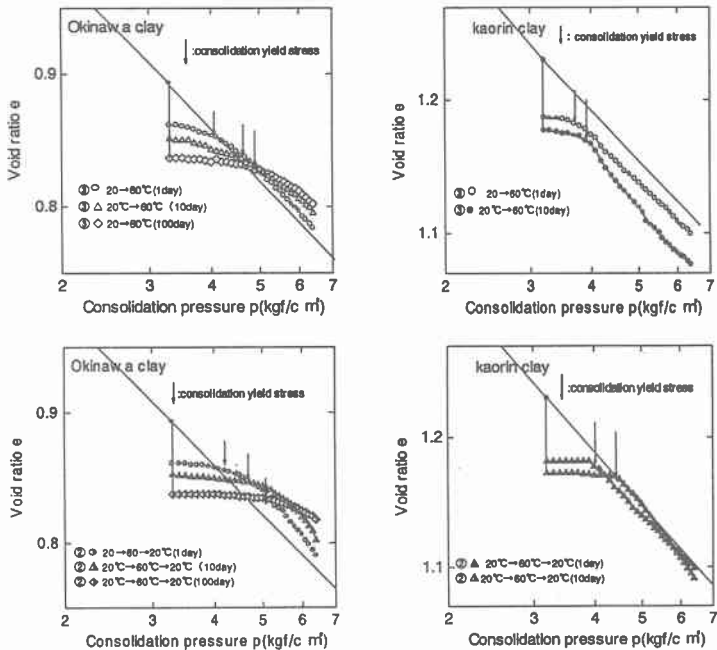


図-3 (a) (b) (c) (d) 漸増載荷試験のe-logp曲線

表-1 粘土の圧密特性

項目	沖縄粘土	カオリン粘土
圧縮指数 C_c	0.38	0.41
膨張指数 C_s	0.08	0.04
一次圧密終了時間 t_0	50min	10min
二次圧密係数 C_α	0.0077	0.011
温度係数 C_β	0.00038	0.00075

表-2 圧密降伏応力の実測値と計算値の比較

実験条件 (p'_c :kgf/cm ²) $p_0=3.2$ kgf/cm ²	沖縄粘土					
	1day		10day		100day	
	p'_y	p'_c	p'_y	p'_c	p'_y	p'_c
	20℃一定	3.51	3.49	3.78	3.70	4.10
20℃→60℃	4.02	3.92	4.39	4.15	4.76	4.42
20℃→60℃→20℃	4.19	3.92	4.71	4.15	5.08	4.42
実験条件 (p'_c :kgf/cm ²) $p_0=3.2$ kgf/cm ²	カオリン粘土					
	1day		10day			
	p'_y	p'_c	p'_y	p'_c		
	20℃一定	3.73	3.71	3.97	3.97	
20℃→60℃	3.73	4.47	3.97	4.78		
20℃→60℃→20℃	4.25	4.47	4.55	4.78		