

二次圧密時に温度効果を受けた粘土の圧密特性

上 俊二¹・藤原東雄²・勝村雅子³

¹正会員 徳山工業高等専門学校 助教授 土木建築工学科(〒745 山口県徳山市久米高城3538)
²正会員 工博 徳山工業高等専門学校 教授 土木建築工学科(〒745 山口県徳山市久米高城3538)
³学生会員 徳山工業高等専門学校 専攻科 環境建設工学専攻(〒745 山口県徳山市久米高城3538)

正規圧密粘土の圧密特性に及ぼす温度の影響を評価するために、二次圧密時の温度を定量的に変化させる圧密試験を行った。室温より高温に変化した場合、粘土は温度の上昇とともに体積の収縮が生ずるが温度が一定(定常)になった場合、圧密速度(二次圧密係数)は温度によらず一定となることが明らかになった。また、室温から高温にした場合の温度による体積変化量は圧密圧力によらず、温度差に比例することが明らかになった。一方、温度を高温より室温に戻すことにより見かけ上過圧密土の挙動を示し、その擬似先行圧密圧力は温度差に比例することが明らかになった。以上の実験結果より、二次圧密時に温度効果を受けた正規圧密粘土の体積変化量および擬似先行圧密圧力を予測する方法を提案した。

Key Words : clay, consolidation, secondary compression, temperature effect

1. はじめに

粘土は過去に受けた様々な履歴の違いにより力学的性質が変化することが知られている¹⁾。例えば、上載圧の除去による応力履歴を受けた過圧密土に対し、時間効果やセメンテーション効果などの年代効果を受けた正規圧密粘土は擬似過圧密土と呼ばれ、見かけ上過圧密土の挙動を示すことが知られている。次第にその力学的特性が明らかにされつつあり、年代効果の影響を定量的に評価する方法が提案されている^{2), 3), 4), 5)}。一方、粘土の力学的性質は温度に影響されることが報告されている。75℃の高温でスラリー状態より再圧密した後室温に冷却した粘土は、年代効果をもつと考えられる自然粘土の特性に類似した挙動を示し、高温によってセメンテーション作用が促進され構造が形成され、年代効果を実験室で再現する供試体として有効であることが報告されている^{6), 7)}。また、二次圧密についても温度が増加すると圧密が促進され沈下量が増加し、その後温度を室温に戻すと、過圧密土のような挙動を示すことが報告されている^{8), 9), 10)}。このように、正規圧密粘土に温度効果を与えることにより年代効果を受けた粘土を室内で再現できる可能性が示されているが、粘土の種類や温度条件などによって温度効果を受けた粘土の力学的性質がどのようなメカニズムによって変化するのかについては、十分に解明されていない。

本研究では、粘土の圧密特性に及ぼす温度の影響を定量的に評価する目的で、温度調整が可能な圧密試験機を使用し、粘土の種類、圧密圧力、温度条件、載荷時間などを制御することにより、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。また、応力除去による応力履歴を受けた粘土や長期圧密による時間履歴を受けた粘土の圧密特性と比較することにより、履歴の異なる過圧密土の相関性を明らかにすることを目的とする。以上の結果より、二次圧密時に温度効果を受けた粘土の体積変化量、および擬似先行圧密圧力を予測する方法を提案する。

2. 試料と実験方法

実験に用いた試料は、物性の異なる2種類の粘土を用いた。1つは単一鉱物より構成される市販のカオリン粘土であり、もう1つは有明海沿岸より採取した有明粘土である。粘土試料の物理的性質および粒径加積曲線は表-1および図-1に示すとおりである。有明粘土はカオリン粘土に比べると塑性指数がやや高く、カオリン粘土は有明粘土に比べ粒径が均等である特徴がある。これら粘土を液性限界の約2倍の含水比で十分攪拌しスラリー状にした後、直径26cm、高さ30cmの圧密容器に入れ、室温(20℃)で所定の圧密圧力まで段階的に圧力を増加する予圧密を行った。圧密圧力は、有明粘土においては $p=1.0\text{kgf/cm}^2$ 、カオリン粘土においては $p=1.6\text{kgf/cm}^2$ とした。予圧密して得られた粘土ブロックより供試体(直径6cm、高さ2cm)を作成し圧密容器にセットした。実験で使用した圧密試験機は、図-2に示すように自動温度調整器の付いたヒーター(サーモペット)により圧密容器内の水温を20℃~90℃まで調整が可能である。温度を一定に保つ場合の精度は $\pm 0.5^\circ\text{C}$ である。図-3に水温を上昇させた場合の温度と時間の関

表-1 試料の物理的性質

項目	有明粘土	カオリン粘土
密度 ρ_s (g/cm ³)	2.67	2.65
液性限界 w_L (%)	78	78
塑性限界 w_p (%)	33	37
塑性指数 I_p	45	41
初期含水比 w_o (%)	60	60

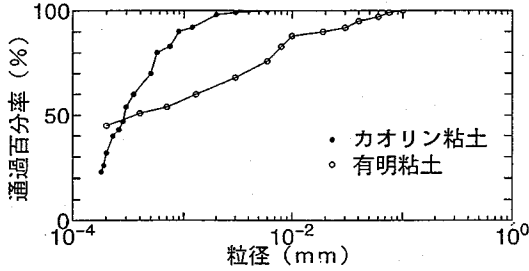


図-1 試料の粒径加積曲線

係を示している。温度を下降させる場合は水槽の水を入れ替えることにより約1時間で室温に低下することが可能である。

実験は、温度変化による粘土の圧密挙動を調べるため3つのシリーズの試験を行った。シリーズ1の試験(単一荷重載荷試験)は、図-4(a)に示すように圧密圧力 $p=0.2$ および 1.0kgf/cm^2 では1時間毎に、圧密圧力 $p=2.0, 4.0, 6.4$ および 12.8kgf/cm^2 では1日毎に圧密圧力を増加する試験であり、次の4ケースの試験を行った。①全荷重段階において室温 20°C 一定に保った試験。②全荷重段階において高温 80°C 一定に保った試験。③所定の圧密圧力において、室温 20°C から高温 80°C に変化する試験。④所定の圧密圧力において、室温 20°C から高温 80°C に変化し、さらに室温 20°C に戻し、次の圧密圧力において室温 20°C から高温 80°C に変化する試験。

シリーズ2の試験(漸増荷重載荷試験)は、図-4(b)に示すように室温 20°C で圧密圧力 $p=0.2$ および 1.0kgf/cm^2 では1時間毎に圧密圧力を増加し、 $p=2.0\text{kgf/cm}^2$ において、載荷後1時間後に温度を室温 20°C から高温($20^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}$ および 80°C)に変化させ、1日間放置した。その後、温度を高温一定に保った場合(①,②,③,④)と、高温から室温に低下した場合(⑤,⑥,⑦)について、一定の微小荷重($\Delta p=0.1\text{kgf/cm}^2$)を一定間隔に $p=4.0\text{kgf/cm}^2$ まで載荷する漸増荷重載荷試験を行った。載荷間隔は一次圧密終了時間とし、有明

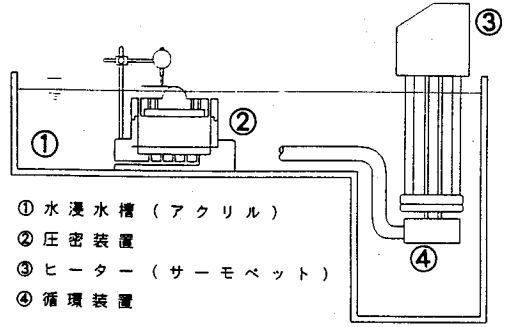


図-2 圧密実験装置

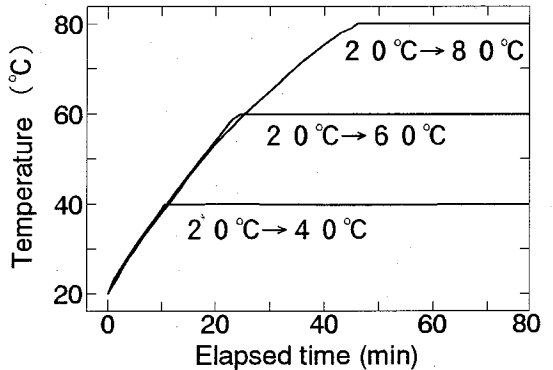


図-3 温度上昇時の温度と時間の関係

粘土で30分、カオリン粘土で10分とした。さらに、同じ間隔で圧密圧力を $p=6.4$ および 12.8kgf/cm^2 まで載荷した。また、圧密圧力 $p=4.0, 6.4, 12.8\text{kgf/cm}^2$ での載荷間隔を1日間とした試験も行った。

シリーズ3の試験は図-4(c)に示すように、温度効果を受けた粘土の試験結果と比較するために、有明粘土において温度を 20°C より 40°C に変化させた後再び 20°C に低下した場合の粘土の間隙比と等しくなるように、室温 20°C において先行圧密荷重 $p_o=2.7\text{kgf/cm}^2$ より $p_o=2.0\text{kgf/cm}^2$ まで荷重を除荷した過圧密土および $p_o=2.0\text{kgf/cm}^2$ で30日間長期圧密を行った擬似過圧密土についてシリーズ2と同様な漸増荷重載荷試験を行った。

3. 実験結果とその考察

シリーズ1の試験の実験結果の一例として、有明粘土の圧密圧力 $p=2.0\text{kgf/cm}^2$ において①,②,③のケースにおける時間と間隙比の関係を図-5に示す。温度を上昇すると圧密が促進され、温度が一定の値(80°C)に落ち着くまで粘土の間隙比が急速に減少しているのが認

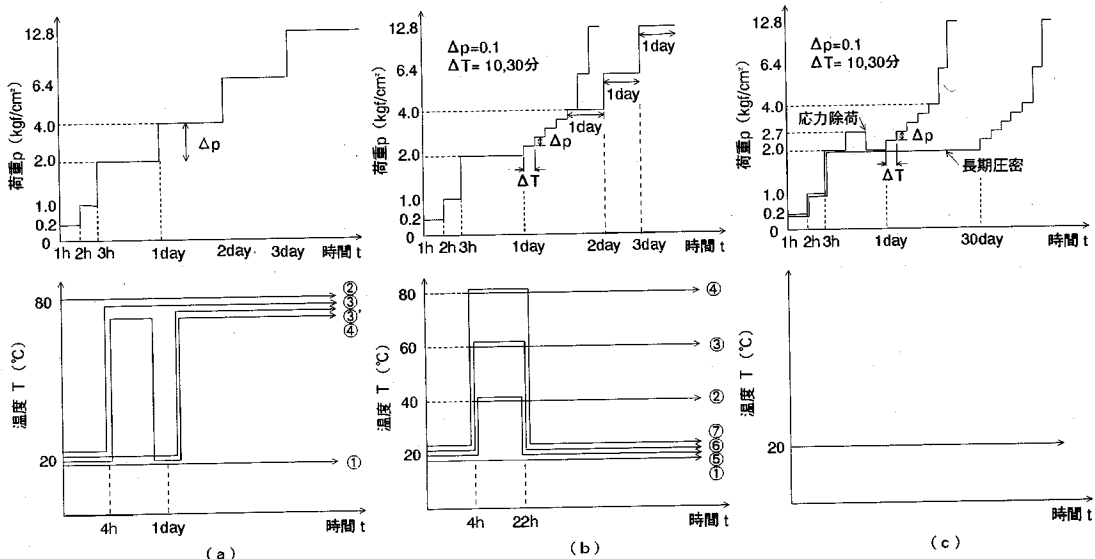


図-4 実験条件

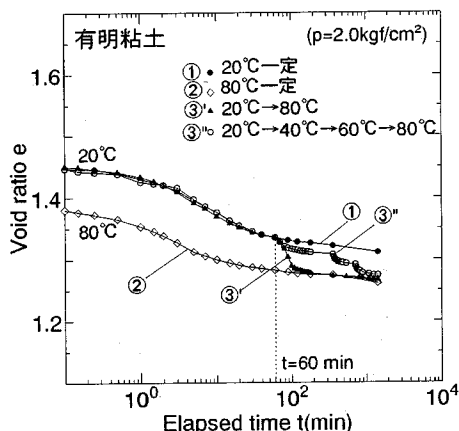


図-5 時間と間隙比の関係(有明粘土)

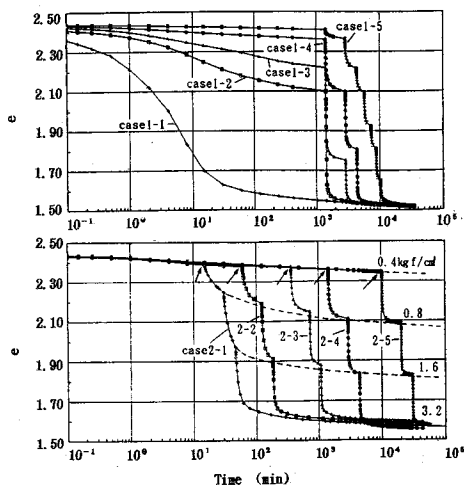


図-6 時間と間隙比の関係(吉国ら¹¹⁾による)

められる。しかし、温度が一定になった時の圧密速度(二次圧密係数 C_α)は20°Cのものとはほぼ一定の値を示しており、粘土を加熱することによって、圧密は促進されるが、温度が一定になった後の圧密速度は温度によらず一定であることが明らかである。

図-6に示すように吉国ら¹¹⁾は、飽和粘土の各圧密試験の予圧密時間を一定とし、初期条件を統一する条件のもとで、供試体に同一の荷重を載荷したとき、間隙比で整理した圧密曲線は、荷重増加率や有効応力の増加速度に関係なく一本の線に乗ること(Isotacheすること)を示した。今回実験した圧密圧力および温度の条件下で供試体の初期条件を統一させ、一定の圧密圧力において

所定の温度まで温度を上昇した場合においても、間隙比で整理した圧密曲線は温度を変化する時期によらず、所定の温度に達した後は一定の値を示している。よって、温度ごとに圧密曲線はIsotacheすることがわかる。

つぎに、シリーズ1の試験において有明粘土の圧密圧力 $p=4.0 \text{ kgf/cm}^2$ におけるケース②,③,④の場合の時間と間隙比の関係を図-7に示す。ケース④の実験において載荷前 ($p=2.0 \text{ kgf/cm}^2$) に高温より室温に低下した粘土は過圧密土の挙動を示し、載荷による間隙比の変化量は温度を一定に保った場合に比べ小さいことが明らかである。その後再び温度を上昇すると間隙比が減少し、温度変化による間隙比の変化量はケース③の場合

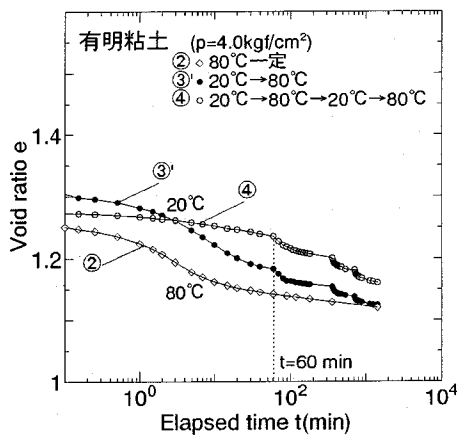


図-7 時間と間隙比の関係(有明粘土)

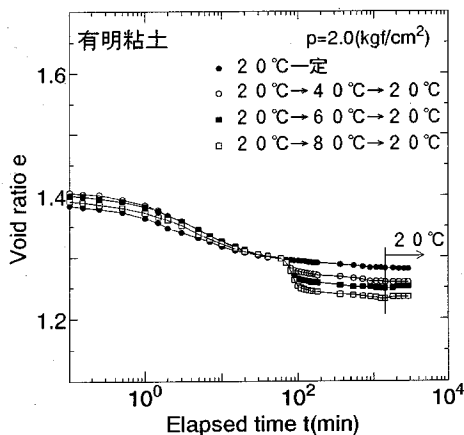


図-9 時間と間隙比の関係(有明粘土)

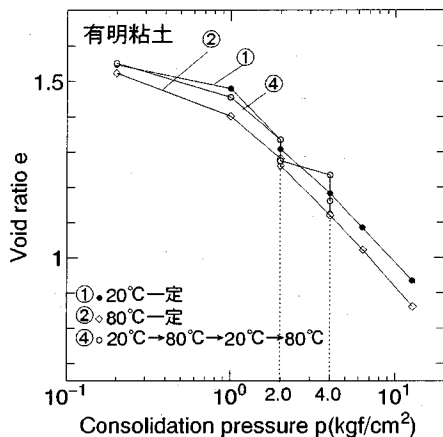


図-8 圧密圧力と間隙比の関係(有明粘土)

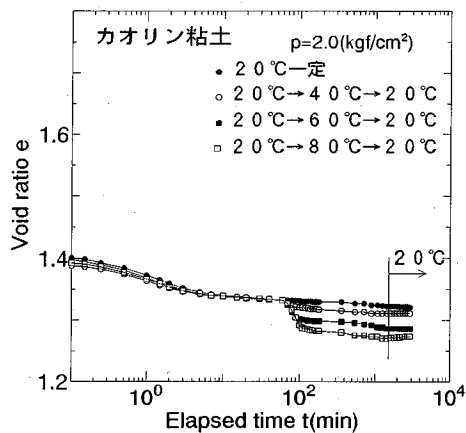


図-10 時間と間隙比の関係(カオリン粘土)

とほぼ同じ値を示している。

図-8はシリーズ1の試験における有明粘土のケース①,②,④の圧密圧力と間隙比の関係(e - $\log p$ 曲線)である。試験時の温度, 載荷時間が一定であればそれぞれ温度ごとに e - $\log p$ 曲線が描け, 80°Cの e - $\log p$ 曲線は20°Cのそれよりも下方に位置している。正規圧密領域においては, 80°Cの e - $\log p$ 曲線は20°Cのそれに対してほぼ平行に下方シフトしており, 正規圧密状態における圧縮指数 C_c は20°Cと80°Cでほぼ等しい値を示しており, Campanella¹²⁾や安川¹³⁾が示したように温度, 載荷時間が一定であれば, 得られる圧縮指数 C_c の値は一定となることがわかる。しかし, 温度を高温より室温に低下することにより粘土は過圧密土の挙動を示すことが明らかである。これは, 水の粘性は温度を低下することにより増加し, 粘土粒子間の吸着水層が増加し, 結合力は増加するものと考えられる。そのため, 新たな荷重を載荷しても, 大きな沈下は生じないものと考えられる。し

かし, 再び温度を上昇させると水の粘性, 粘土粒子間の吸着水の層が減少するため, 結合力が低下し体積の収縮が再び生じるためと考えられる。

図-9および図-10はシリーズ2の試験において有明粘土とカオリン粘土の圧密圧力 $p=2.0\text{kgf/cm}^2$ におけるケース①,⑤,⑥,⑦の間隙比と時間の関係である。前述したように両試料とも温度の上昇に伴い圧密が促進され, 温度が所定の温度に達するまでは間隙比が急速に減少しているのが認められる。しかし, 温度が一定になった時の圧密速度(二次圧密係数 C_α)は各温度ともほぼ一定の値を示している。また, 温度の高いものほど間隙比の変化量は大きくなり, 温度変化による間隙比の変化量と温度には一義的な関係が存在することがわかる。また, 高温より室温に低下することにより両粘土とも若干膨張することが認められるが, その変化量は微小である。以上の結果より, 室温20°Cを基準とした温度と温度変化による間隙比の変化量の関係を図-11

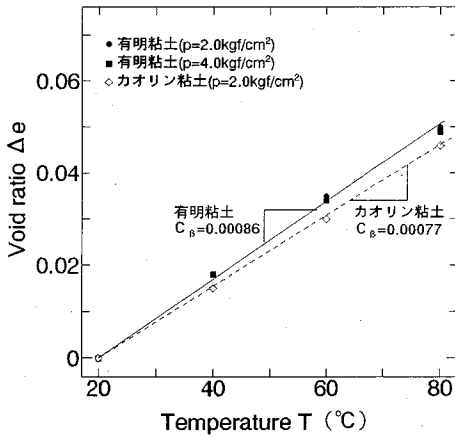


図-11 温度と間隙比の関係

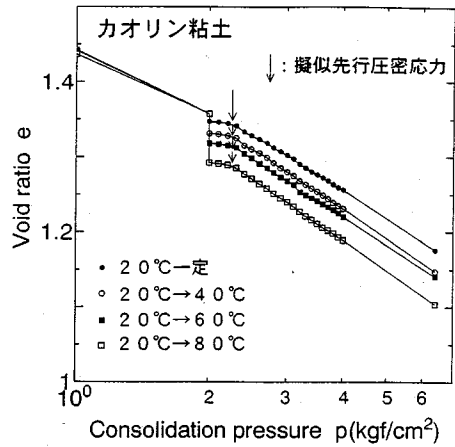


図-13 圧密圧力と間隙比の関係(カオリン粘土)

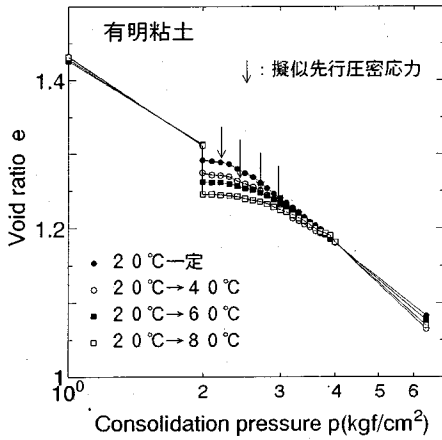


図-12 圧密圧力と間隙比の関係(有明粘土)

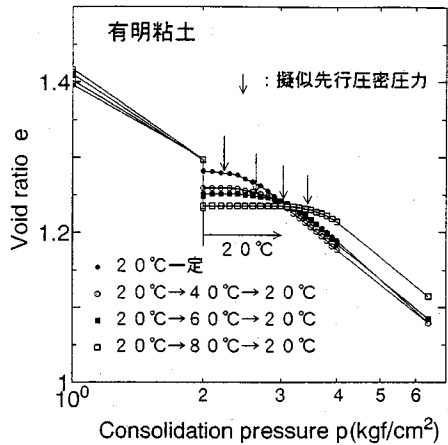


図-14 圧密圧力と間隙比の関係(有明粘土)

に示す。今回行った温度の範囲(20℃から80℃)では温度と温度変化による間隙比の変化量と温度の関係には試料ごとにほぼ比例関係があることがわかり、その直線の勾配より実験定数(温度係数) C_{β} が得られる。すなわち、温度変化(室温 T_H から高温 T_R)による間隙比の変化量 $\Delta e'$ は次式で表される。

$$\Delta e' = C_{\beta}(T_H - T_R) \quad (1)$$

また、温度変化による間隙比の変化量は、圧密圧力に影響されないことが東畑ら⁸⁾により報告されているが、今回の実験においても同様な結果が得られた。

シリーズ2の試験において温度を高温にした後所定の温度を一定に保ち、漸増荷重試験を行った場合(ケース①,②,③,④)の間隙比と圧密圧力の関係(e -log p 曲線)を図-12および図-13に示す。有明粘土においては、温度の高いものほど擬似先行圧密圧力が増加し、各温度の e -log p 曲線は20℃の e -log p 曲線に漸近している

ことが認められる。しかし、カオリン粘土では温度が高いものほど圧密が促進され間隙比が減少したにもかかわらず、擬似先行圧密圧力は温度によらずほぼ一定の値を示しており、 e -log p 曲線は温度の高いものほど下方にシフトしていることが認められ、過圧密土の挙動を示していないことがわかる。

シリーズ2の試験において温度を高温にした後再び室温まで低下した場合(ケース①,⑤,⑥,⑦)の漸増荷重試験の間隙比と圧密圧力の関係を図-14、図-15に示す。両粘土とも擬似先行圧密圧力は温度を一定に保った場合より増加していることが明らかであり、温度差が大きいものほど擬似先行圧密圧力は増加している。有明粘土では、温度を高温より室温に低下することにより20℃の e -log p 曲線を超える飛び出しが認められる。カオリン粘土では温度を高温から室温に低下することにより、各温度の e -log p 曲線が20℃の e -log p 曲線に漸近していることが認められる。

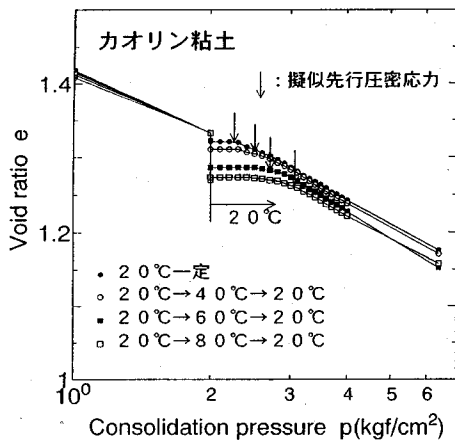


図-15 圧密圧力と間隙比の関係(カオリン粘土)

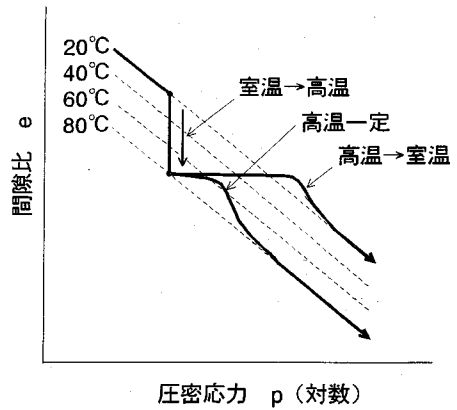


図-17 温度効果を受けた粘土のe-logp関係(模式図)

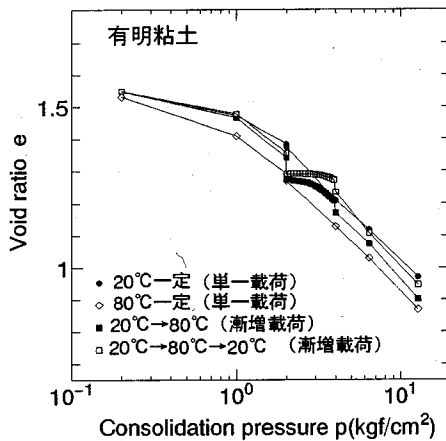


図-16 圧密圧力と間隙比の関係(有明粘土)

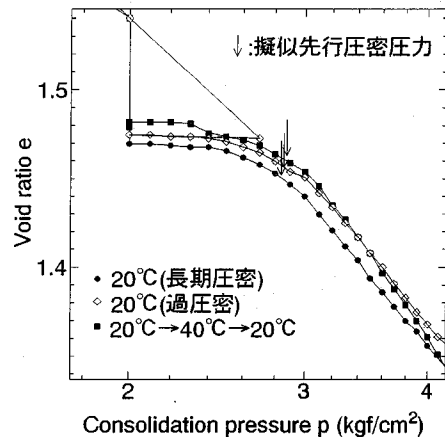


図-18 履歴の異なる粘土の圧密圧力と間隙比の関係

赤井、佐野¹⁴⁾は漸増荷重載荷試験におけるe-logp曲線の飛び出し現象は応力依存性、時間依存性があることを報告している。そこで、シリーズ2の試験において有明粘土における漸増荷重載荷後の載荷時間を1日にした場合の間隙比と圧密圧力との関係を図-16に示す。図には、室温から高温一定にした場合(ケース④)と高温から室温に低下した場合(ケース⑦)、およびシリーズ1の単一荷重載荷試験における温度を一定に保った場合(ケース①,②)の結果とあわせて示している。温度を80°Cより20°Cに低下した場合の漸増荷重載荷時のe-logp曲線は単一荷重載荷20°Cのe-logp曲線を飛び越えているのが認められるが、載荷間隔が長くなると間隙比が減少し、20°Cのe-logp曲線に漸近していることがわかる。また、温度が80°C一定の漸増荷重載荷の場合も載荷時間が長くなると下方にシフトし80°Cの単一荷重載荷のe-logp曲線に漸近していることがわかる。

以上の実験結果より、図-17に温度効果を受けた粘

土のe-logp曲線の模式図を示す。軽部¹⁵⁾により述べられているように正規圧密粘土において二次圧密時に温度を室温から高温一定にした場合、温度が高くなるほど粘土粒子間の吸着水の層が減少し、水の粘性が低下することにより粘土粒子間の結合力が低下することが考えられる。そのため圧密が促進され粘土の間隙比は減少する。このことから、前述したように温度が一定で、載荷間隔が同じであれば、温度毎に固有に定まるe-logp曲線が存在するものと考えられる。また、温度を高温から室温に低下すると再び粘土粒子間の吸着水層が増加するが元の状態に戻らず、水の粘性が増加し、粘土粒子間の結合力が増加するものと考えられ、室温で二次圧密を受けた粘土と同じ構造になるものと考えられる。よって見かけ上過圧密土の挙動を示し擬似先行圧密圧力が増加し、室温のe-logp曲線に漸近するものと考えられる。今回の実験で用いた有明粘土はカオリン粘土に比べ、粒度分布がよく透水性が低く、粘土鉱物の他に有機

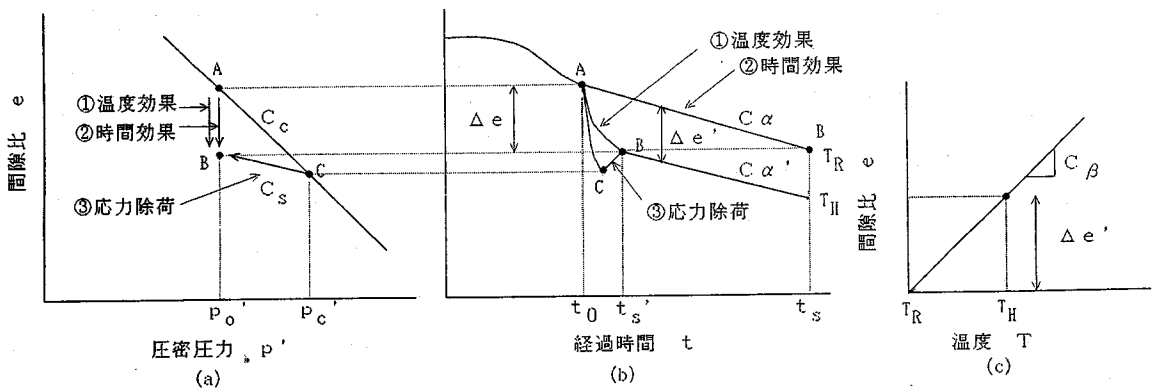


図-19 温度効果を受けた粘土の圧密特性 (模式図)

物や陽イオンを含んでおりセメンテーション効果があり、温度が高温一定の漸増荷重載荷試験においても擬似先行圧密圧力が増加したものと考えられる。温度を室温に戻した場合は、さらに擬似先行圧密圧力が増加したものと考えられる。一方、カオリン粘土は有明粘土に比べ均等粒径であり、純粋な粘土鉱物だけから構成されており、有機物や陽イオンを含んでいないため、温度が高温一定の漸増荷重載荷試験においては擬似先行圧密圧力は一定の値を示し、温度を室温に低下することによって擬似先行圧密圧力が増加するものと考えられる。東畑ら⁸⁾はカオリン粘土に類似したMC粘土において圧密圧力160kPaで20℃より90℃に温度を上昇させ高温一定に保った場合において圧密時間を1日、2週間、2ヶ月にした場合の e - $\log p'$ 曲線において、圧密時間が1日の場合は飛び出しが見られないが、2ヶ月にした場合は飛び出しが見られることを報告している。このように、擬似先行圧密圧力の増加の程度は、試験時の圧密圧力、荷重増加率、載荷時間にも影響され粘土の種類やセメンテーションの程度により異なることが明らかである。このように、正規圧密粘土の温度を高温にした後再び室温に低下することにより、粘土は見かけ上過圧密土の挙動を示し、二次圧密などの年代効果を再現できる可能性があることが確かめられた。

図-18はシリーズ3の試験における応力除荷による応力履歴を受けた過圧密土と長時間圧密による時間履歴を受けた擬似過圧密土と温度効果による擬似圧密土の漸増荷重載荷時の圧密圧力と間隙比の関係である。室温において履歴の相違によらず漸増荷重載荷前の間隙比が同じであれば圧密沈下挙動はほぼ同様な挙動を示し、擬似先行圧密圧力はほぼ等しいことがわかる。このことから、温度が一定であれば履歴の異なる粘土においても間隙比が等しい場合は同様な挙動を示すこと

表-2 粘土の圧密特性

項目	有明粘土	カオリン粘土
圧縮指数 C_c	0.46	0.38
膨潤指数 C_s	0.06	0.04
一次圧密終了時間 t_0	30min	10min
二次圧密係数 C_α	0.010	0.008
温度係数 C_β	0.00086	0.00077

が明らかになった。

4. 二次圧密時に温度効果を受けた粘土の体積変化量、擬似先行圧密圧力の予測

年代効果を受けた正規圧密粘土は擬似過圧密土と呼ばれ、土かぶり圧より大きな擬似先行圧密圧力 p'_c を有することが知られている。村上²⁾ および Mesri³⁾ は、その粘土が有する擬似先行圧密圧力 (圧密降伏応力) p'_c を

$$p'_c = \beta p'_o \left(\frac{t_s}{t_0} \right)^{\frac{C_\alpha}{C_c - C_{cq}}} \quad (2)$$

で評価できることを理論的に示している。ここに、 p'_o は圧密圧力、 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_{cq} は再圧縮指数である。 β は先行圧密効果による飛び出しの程度を表す実験定数である。

ここでは以上の実験結果をもとに、二次圧密時に温度効果 (室温 $T_R \rightarrow$ 高温 $T_H \rightarrow$ 室温 T_R) を受けた粘土は前述した長期圧密などの時間効果を受けた粘土および応力除去による過圧密土と同等に扱えるものとして温度効果を受けた正規圧密粘土の体積変化量、擬似先行圧密圧力の予測を行った。図-19に示すように二次圧密時に粘土の温度が上昇すると圧密が促進し間隙比が急

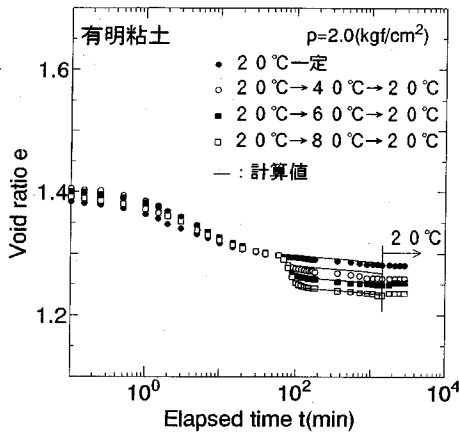


図-20 温度効果による間隙比の変化(有明粘土)

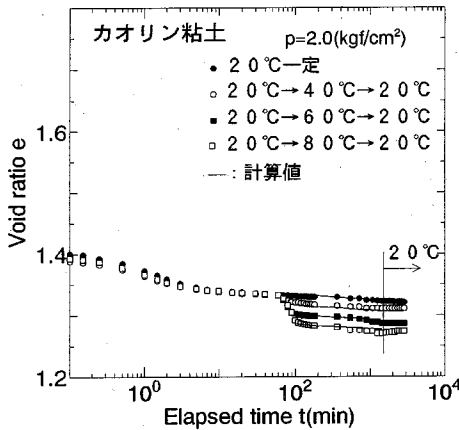


図-21 温度効果による間隙比の変化(カオリン粘土)

激に減少し、一定時間後に供試体の温度が一定になるとその後の間隙比の変化は時間の対数に比例して減少する。また、温度効果による粘土の間隙比の変化量は温度差に比例するものものと仮定すると(図-11参照)、室温 T_R から高温 T_H まで温度を上昇させた場合の温度効果による間隙比の変化量 $\Delta e'$ は前述したように式(1)で表される。よって、二次圧密中に温度効果を受けた粘土の間隙比の変化量 Δe は次式で表される。

$$\Delta e = C_\alpha \log\left(\frac{t_s}{t_o}\right) + C_\beta(T_H - T_R) \quad (3)$$

図-20および図-21はシリーズ2の試験に式(3)より得られた温度効果による間隙比の計算値を実線で示している。これより、実験値と計算値はうまく対応していることが認められる。

また、圧密圧力 p'_o より p'_c まで載荷後、 p'_o まで再び除荷した場合の間隙比の変化量 Δe が式(3)と等価である

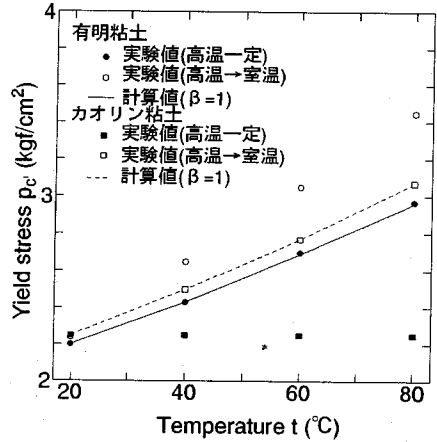


図-22 温度効果による擬似先行圧密圧力

と仮定すると、次式が成り立つ。

$$C_\alpha \log\left(\frac{t_s}{t_o}\right) + C_\beta(T_H - T_R) = (C_c - C_s) \log\left(\frac{p'_c}{p'_o}\right) \quad (4)$$

ここで、 C_s : 膨潤指数である。実験的に $C_s = C_{cq}$ と近似的に仮定できるので、二次圧密時に温度効果を受けた粘土の擬似先行圧密圧力 p'_c は次式で表される。

$$p'_c = \beta p'_o \left(\frac{t_s}{t_o}\right)^{\frac{C_\alpha}{C_c - C_s}} 10^{C_\beta \frac{(T_H - T_R)}{(C_c - C_s)}} \quad (5)$$

式(5)に含まれる係数を前述した圧密試験により決定し、温度効果を受けた粘土の擬似先行圧密圧力を計算により求めた。ここでは、先行圧密効果による飛び出しが全くないものとして実験定数 $\beta = 1$ とし、それぞれの係数は表-2にまとめている。図-22は温度に対するシリーズ2の漸増荷重載荷試験により得られた擬似先行圧密圧力の実験値と計算値(実線、破線)の対応を示している。前述したように、カオリン粘土では温度を一定に保った試験では温度効果による擬似先行圧密圧力の増加が見られず、計算値と実験値は対応していないが、温度を高温より室温まで低下した場合の擬似先行圧密圧力は温度差に比例して増加し、計算値と実験値はうまく対応している。有明粘土では、温度を一定に保った試験では両者はうまく対応しているが、高温より室温に低下した試験では20°Cの正規圧密線を越える飛び出しが見られ、擬似先行圧密圧力は温度差に比例してさらに増加している。式(5)はあくまでも温度を高温から室温に低下した場合の予測式であるので、有明粘土のように20°Cの正規圧密線を越える飛び出し現象が現れる場合の β は温度差が大きいものほど増加し、今回実験した温度条件の範囲では有明粘土では $\beta = 1.0 \sim 1.16$ の範囲で増加している。以上の結果より、二次圧密時に温度効果を受けた粘土の圧密特性は温度および圧密時間の影響を受け、予測式に含まれる係数を圧密試験より決定することにより、沈下量および擬似先行圧密

圧力を予測できる可能性が確かめられた。

5. あとがき

本研究は、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、擬似先行圧密圧力の変化を定量的に調べたものである。本研究で得られた主な結論を列挙すれば、以下のとおりである。

- ① 二次圧密時に温度を室温から高温にすると、圧密が促進され、体積が収縮する。その体積変化量は、温度の変化量に比例する。
- ② 温度上昇による間隙比の変化量は、圧密圧力や温度変化の時期によらず、ほぼ一定の値を示す。
- ③ 載荷間隔、温度が一定であれば温度毎に e -log p 曲線が存在し、温度が一定になった後の圧縮指数、二次圧密係数は、圧密圧力、温度によらず一定の値を示す。
- ④ 温度を高温より室温に低下することにより、粘土は見かけ上過圧密土の挙動を示し、そのときの擬似先行圧密圧力は温度差に比例する。
- ⑤ 温度効果、時間効果、応力除去による過圧密土の関係を説明する仮説を提案し、二次圧密時に温度効果を受けた粘土の擬似先行圧密圧力を予測する式を導いた。

参考文献

- 1) Bjerrum, L. : Engineering geology of Norwegian normally consolidated marine clays as related to settlements of buildings, *Geotechnique*, Vol.17, No.2, pp.81-118, 1967.
- 2) Murakami, Y. : Excess pore-water pressure and pre-consolidation effect developed in normally consolidated clays of some age, *Soils and Foundations*, Vol.18, No.4, pp.17-29, 1979.

- 3) Mesri, G. and Choi, Y. K. : Excess pore water pressure during consolidation, *Proc. 6th Asian Reg. Conf. SMFE*, Vol.1, pp.151-154, 1979.
- 4) 半沢秀郎, 岸田隆夫: 年代効果を受けた粘土の非排水強度特性, 土と基礎, Vol.30, No.12, pp.5-10, 1982.
- 5) Yasuhara, K. and Ue, S.: Increase in undrained shear strength due to secondary compression, *Soils and Foundations*, Vol.23, No.3, pp.50-64, 1983.
- 6) 土田 孝, 小林正樹, 水上純一, 田中正典: 高温再圧密による海成粘土の年代効果の再現, 港湾技術研究所報告, 第28巻 第1号, pp.121-147, 1989.
- 7) 森脇武夫, 吉国 洋, 永井大海, 名合牧人: 高温再圧密粘土の三軸繰返し圧密挙動, 土木学会論文集, No.463/3-22, pp.55-63, 1993.
- 8) Ikuo Towhata, Pisit Kuntiwattanaku, Ichiro Seko and Kanta Ohishi : Volume change of clays induced by heating as observed in consolidation tests, *Soils and Foundations*, Vol.33, No.4, pp.170-183, 1993.
- 9) Plum, R.L. and M.I. Esrig : Some temperature effects on soil compressibility and pore water pressure, *Highway Research Board*, Special Report, No.103, pp.231-242, 1969.
- 10) 清水正喜, 岩成敏介, 中野明, 田淵俊幸: 粘土の一次元圧密挙動における温度効果, 第27回土質工学研究発表会概要集, pp.425-428, 1992.
- 11) 吉国 洋, 池上慎司, 平尾隆行: 飽和粘土の圧密・圧縮特性に及ぼす載荷速度の影響, 第26回土質工学研究発表会概要集, pp.279-280, 1991.
- 12) Campanella, R.G and J.K. Mitchell : Influence of temperature variation on soil behavior, *Proc. ASCE*, Vol.94, No.SM3, pp.709-734, 1969.
- 13) 安川郁夫, 嘉門雅史: 粘性土の二次圧密における荷重条件の影響, 土質工学論文集, Vol.27, No.2, pp.73-82, 1987.
- 14) 赤井浩一, 佐野都雄: 遅延圧密に関する実験的研究, 京都大学防災研年報, 第27号, B-2, pp.49-63, 1984.
- 15) 軽部大蔵: せん断特性(粘性土)の展望, 土質工学誌「土と基礎」, Vol.39, No.11, pp.9-11, 1991.

(1995.8.3 受付)

CONSOLIDATION BEHAVIOR OF CLAY SUBJECTED TO TEMPERATURE EFFECTS AT SECONDARY COMPRESSION TERM

Shunji UE, Haruo FUJIWARA and Masako KATSUMURA

In order to investigate on temperature effects of normally consolidated clay, consolidation tests under different temperature were carried out. It was clear that volume change of clay induced by heating is in proportion to increment of temperature change, while independent of consolidation pressure. Consolidation yield stress of clay is influenced on sort of clay and temperature change. From the above results, method for predicting yield stress of clay subjected to temperature effects was proposed.