

粘土の一次元圧縮挙動における温度履歴の効果

鳥取大学工学部 正会員 清水正喜
 村本建設株式会社 正会員 ○山田正和
 鳥取大学大学院 学生会員 上野敏光

はじめに

スラリー状の粘土試料を高温で圧密してその後常温で圧密試験に供すると、自然堆積粘土に特徴的な年代効果を再現できることが報告されている^{1), 2)}。著者らは、圧密挙動における温度の影響について調べ、高温で圧密することによって大きな透水係数を有する構造ができるという結論を得ている³⁾。本報告では、高温予備圧密することにより現れるといわれている所謂 p_c 効果について検討する。

試料および実験方法

粉末乾燥藤ノ森粘土を高含水比 (110%) で十分練り返し、スラリーの状態から圧密を行った。一つのバッチで練り返した (同じ含水比をもつ) スラリーを同時進行的に2種類の圧密試験 (HTおよびLT試験) に供した。HT試験は、高温 (75°C) で処女載荷・除荷し、加熱停止 (20°Cまで自然冷却) 後、再載荷・再除荷を行い、再び加熱 (75°C) して再々載荷・再々除荷する。LT試験は、上述の全過程を常温 (20°C) で行ったものである。HT試験は、標準圧密試験容器が入る恒温装置³⁾ で行った。同装置は環境温度から90°Cまで調節可能である。

なお、両試料ともに、処女載荷および除荷の過程では荷重増分比を1、再載荷以降の過程では、 $e-\log p$ 関係をより詳しく確認するために荷重増分比 ($\Delta P/P$) を0.25にした。一つの荷重段階での圧密時間は、一次圧密終了を確認できたときは12時間、それ以外は24時間圧密を行った。

結果

温度上昇時の圧縮挙動： HT試験におけ

る、 $p=250\text{kPa}$ での加熱中の圧縮挙動を図1に示す。温度の上昇とともに圧縮が進行し、温度が一定になるにつれて圧縮が終わっている。一方、温度の低下とともに粘土は膨潤する。

$e-\log p$ 曲線 (図2)： 同じ圧密圧力 p に対しては、HT試料の方が高い間隙比を保つことができる。HT試料の、正規圧密領域での圧縮指数が大きい。即ち、高温圧密中および過去に高温履歴を受けた後の低温下での正規圧密領域で、圧縮指数が大きくなる。

HT試験の再載荷過程で、圧密圧力 p が先行圧密圧力 ($p_{c0}=160\text{kPa}$) に達した時の間隙比が処女載荷過程の間隙比より大きい。そして、処女圧縮曲線の右上へ飛び出して曲がる ($p_c > p_{c0}$, p_c は圧密降伏応力)。いわゆる、現象的には p_c 効果が見られる。反対に、再々載荷過程では $p_c < p_{c0}$ の現象がみられる。

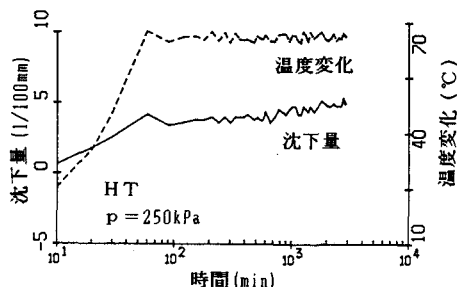


図1 加熱開始による沈下量と時間の関係
温度変化と時間の関係

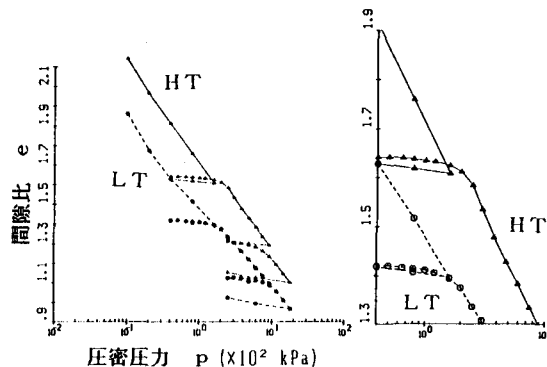


図2 $e-\log p$ 曲線と付近の拡大図

二次圧縮速度 (図3) : HT試験とLT試験における二次圧縮速度 $C_{\epsilon\alpha}$ を比較する。処女載荷および再々載荷過程 (HT試験では 75°C) では、HT試験の $C_{\epsilon\alpha}$ が大きい。また、その差は荷重の大きさに依らずほぼ一定になっている。一定の温度上昇に対応した一定の二次圧縮速度の増加があることを示唆している。再載荷過程 (両試験ともに 20°C) では、 $C_{\epsilon\alpha}$ にほとんど差が見られない。

考察

高温圧密履歴によって p_c 効果が発現する理由について、自然堆積粘土の挙動と比較しながら考察する (図4参照)。自然堆積粘土を通常の圧密時間で圧密すると、圧密降伏応力 (p_c) が先行圧密圧力 (p_{c0}) より大きくなるのは、地盤中で長期間圧密された結果生じる現象であると考えられている。つまり圧密時間の大小に応じた $e - \log p$ 関係が存在すると仮定することによって説明できる (図4 (a) 参照)。さて、圧密時間が長くなると二次圧縮量が増える、従って、圧密時間の大小は、二次圧縮量の大小と対応していることになる。このことから、二次圧縮量の大小に対応した $e - \log p$ 関係が存在すると仮定することができる (図4 (b))。HT試験の処女圧縮過程では、圧密時間は短い、先に図3で指摘したように、高温によって大きな二次圧縮量を受けた。除荷後、温度を常温に下げることによって、二次圧縮量は小さくなった。その結果、再載荷過程で正規圧密領域に入ってから、小さな二次圧縮量に対応した $e - \log p$ 関係に移行したと考えられる。このように仮定することによって、再々載荷過程で見られる現象 ($p_c < p_{c0}$) も説明することができる。

尚、実験手法に起因すると思われる原因として、 $p=40\text{kPa}$ で温度を低下させたことによって膨潤し、その後の再載荷過程で圧密リングの摩擦の影響が大きくなった可能性もある。

結論

①一定の荷重で温度を低下させると、粘土は膨潤し、温度を上昇させると、粘土は圧縮した。②高温圧密中および過去に高温履歴を受けた後の低温下での正規圧密領域で、圧縮指数が大きくなる。③二次圧密は、高温圧密中 (75°C) において促進される。しかし、高温圧密履歴の影響は受けない。即ち、その時の温度に影響される。④高温で圧密すると、同じ圧密圧力 p に対して高い間隙比を保つことができる。⑤高温圧密履歴を受けた試料において $p_c > p_{c0}$ となる現象が観察された。その理由を温度による二次圧縮速度の違いで説明した。

参考文献

- 1) 土田他(1989): 港湾技術研究所報告, Vol.28, No.1
- 2) 土田他(1990): 第25回土質工学研究発表会, Vol.1, pp.635-638
- 3) 清水他(1990): 第25回土質工学研究発表会, Vol.1, pp.319-320

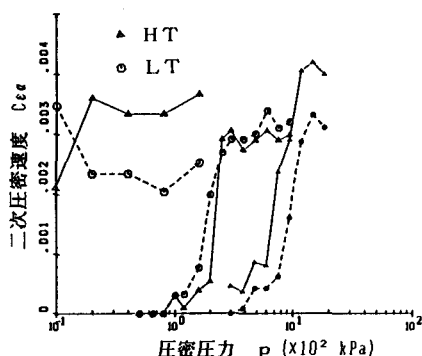
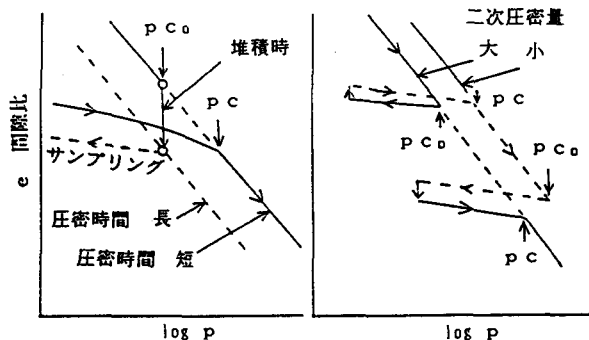


図3 圧密圧力 p と二次圧縮速度 $C_{\epsilon\alpha}$ の関係



(a) 自然堆積粘土 (b) 高温圧密履歴粘土

図4 p_c 効果の説明