

Ⅲ-123

K₀圧密三軸試験における圧密打ち切り時間の3t法の適用性に関する考察

茨城大学工学部 正 ○村上 哲
 茨城大学工学部 正 安原 一哉
 北海道大学工学部 正 三田地利之

1.はじめに 粘性土を対象とした種々のせん断試験においてせん断試験に先立つ圧密試験が実施される。この時の圧密打ち切り時間の目安として3t法が広く用いられている。せん断前の圧密方法はせん断試験のタイプにより異なるものであり、同じ三軸供試体についても圧密方法が異なれば圧密曲線が異なってくる¹⁾。本文は、土のK₀圧密三軸試験方法基準化委員会の要請もあり、K₀圧密三軸試験における圧密打ち切り時間について3t法の適用性およびその適用方法について既存の圧密理論を用いて検討したものである。

2.周面排水円柱供試体のK₀圧密過程における平均圧密度 半径Rの円柱供試体において周面排水条件で側方変位を生じさせないように、鉛直応力を一定速度で載荷し（目標到達鉛直応力 σ_0 、所要時間 t_0 ）、その後鉛直応力一定で圧密した場合について、供試体をTerzaghiタイプの理想土と仮定して考えることにする。このような理想土の円柱供試体の圧密方程式はYoshikuni&Nakanodo(1975)により導かれている¹⁾。平均圧密度Uを図-1に示す流れで求めると次式のように得られる。

$$U_1(T_h) = \frac{T_h}{T_0} - \frac{1}{8T_0} + \frac{1}{T_0} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_m^4} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_h) \right\} \quad (T \leq T_0) \quad (1)$$

$$U_2(T_h) = 1 - \frac{1}{T_0} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_m^4} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \exp\{-\alpha_m^2 (T_h - T_0)\} \quad (T \geq T_0) \quad (2)$$

ここで、 α_m は第0次のBessel関数 $J_0(\xi)=0$ の小さいほうからm番目の解である。式(1)、(2)を用いて漸増載荷時および目標応力到達時以降の圧密曲線は図-2のように描かれる。以下、(2)式を用いて3t法の適用性について解析的に考える。同様な手法で段階載荷下の一次元圧密に対する3t法の考察を土田(1994)が行っている²⁾。

3.nt法で決定した圧密打ち切り時間での平均圧密度 (a) K₀圧密開始時を時間の原点にとった場合 まず、 $U_2 \sim \log T_h$ 曲線において最急勾配を考える。式(2)が $U_2 \sim \log T_h$ 座標において単調増加関数であることから $T_h \geq T_0$ の範囲で変曲点が現われる場合（ $T_0 \leq \text{約} 0.05$ ）、変曲点が最急勾配を与える点であり $\partial^2 U_2 / \partial (\log T_h)^2 = 0$ より得られる。すなわち、式(3)の関係を満たす T_h が最急勾配を与える時間係数 T_c である。一方、変曲点が現われない場合は $T_c = T_0$ となる。最急勾配を与える点（ T_c, U_c ）を通り最急勾配の傾きを有する直線を $\log T_h$ 軸方向に $\log n$ だけ平行移動した直線の式と圧密曲線の交点の平均圧密度がnt法により決定した圧密打ち切り時における平均圧密度 U_e である。交点を解析的に求めると圧密打ち切り時の時間係数 T_e は式(4)を満たす T_h となる。また、 U_e は式(4)から得られた T_e を式(2)に代入することにより求められる。 T_0 と n の値を変化させて U_e を求めた結果が図-3である。 $T_0 \leq \text{約} 0.05$ の変曲点が現われる場合は3t法より決定した圧密打ち切り時間は妥当であると思われるが、 T_0 が $0.05 < T_0 < 0.2$ の範囲では、圧密を打ち切るのに十分な圧密度であるとは言い難い結果となった。

$$T_h = \frac{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_m^4} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \exp\{-\alpha_m^2 (T_h - T_0)\}}{\sum_{m=1}^{\infty} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \exp\{-\alpha_m^2 (T_h - T_0)\}} \quad (3) \quad T_h = n T_c \exp \left\{ \frac{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_m^4} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \left[\exp\{-\alpha_m^2 (T_c - T_0)\} - \exp\{-\alpha_m^2 (T_h - T_0)\} \right]}{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{T_c}{\alpha_m^2} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \exp\{-\alpha_m^2 (T_c - T_0)\}} \right\} \quad (4)$$

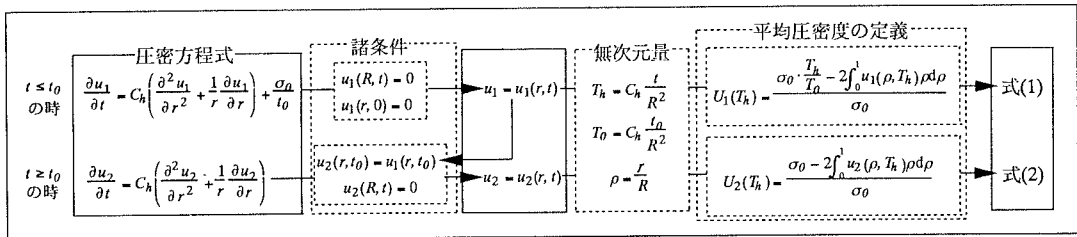


図-1 式(1)、(2)の誘導過程

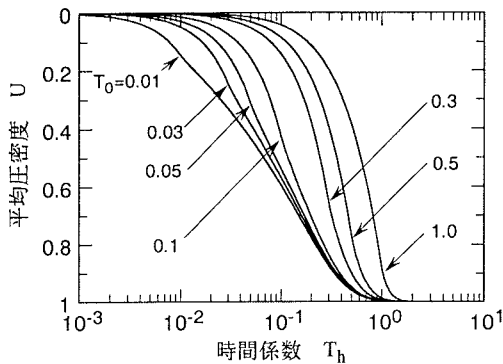
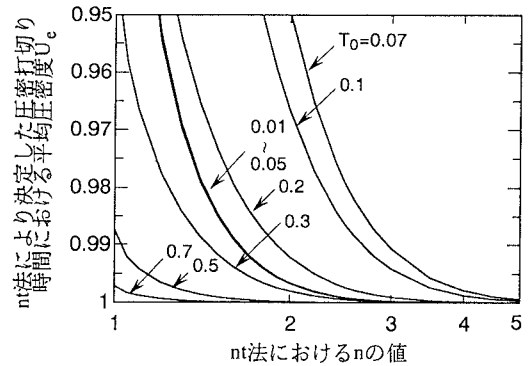
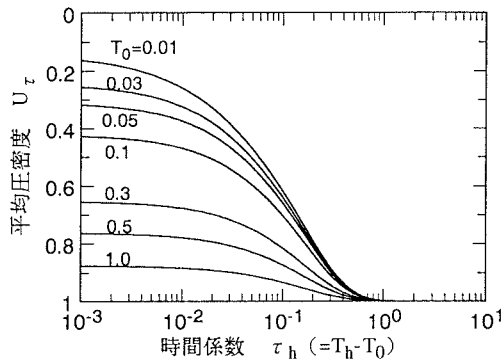
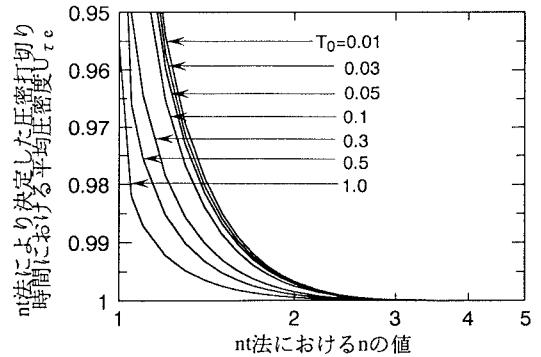


図-2.漸増载荷および目標応力到達以降の圧密曲線


 図-3. K_0 圧密解開始時を時間の原点とした時の nt 法により決定した圧密打ち切り時の圧密度

 図-4.時間係数を τ_h とした時の圧密曲線

 図-5.目標応力到達時を時間の原点とした時の nt 法により決定した圧密打ち切り時の圧密度

(b) 目標応力到達時を時間の原点にとった場合 時間係数 τ_h を $\tau_h = T_h - T_0$ 、 τ_h の時の平均圧密度を U_τ とし、 $U_\tau \sim \log \tau_h$ 曲線について考える。 T_0 を変化させたときの $U_\tau \sim \log \tau_h$ 曲線を図-4に示す。この時 $U_\tau \sim \log \tau_h$ 曲線は T_0 に拘わらず変曲点を持ち、更に $U_\tau \sim \log \tau_h$ 座標系において U_τ が単調増加関数であることから最急勾配を与える時間係数は $\partial^2 U_\tau / \partial (\log \tau_h)^2 = 0$ より得られる。すなわち、式(5)を満たす τ_h が最急勾配を与える時間係数 τ_c である。変曲点における平均圧密度を $U_{\tau c}$ とすると、点 $(\tau_c, U_{\tau c})$ を通り最急勾配の傾きを有する直線を $\log \tau_h$ 軸方向に $\log n$ だけ平行移動した直線と圧密曲線の交点の平均圧密度が nt 法により決定した圧密打ち切り時における平均圧密度 $U_{\tau c}$ である。圧密打ち切り時の時間係数 τ_c は、前節同様にして、式(6)の関係を満たす τ_h であり、 $U_{\tau c}$ は τ_c を式(2)に代入することにより求められる。 T_0 と n の値を変化させて $U_{\tau c}$ を計算した結果が図-5である。時間の原点を目標応力到達時とした場合、 T_0 に拘わらず $n=3$ で圧密を打ち切るのに十分な圧密度であると思われる。

$$\tau_h = \frac{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_m} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \exp(-\alpha_m^2 \tau_h)}{\sum_{m=1}^{\infty} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \exp(-\alpha_m^2 \tau_h)} \quad (5)$$

$$\tau_h = n \tau_c \exp \left[\frac{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_m} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \left\{ \exp(-\alpha_m^2 \tau_h) - \exp(-\alpha_m^2 \tau_c) \right\}}{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{\tau_c}{\alpha_m} \left\{ 1 - \exp(-\alpha_m^2 T_0) \right\} \exp(-\alpha_m^2 \tau_c)} \right] \quad (6)$$

4. おわりに K_0 圧密三軸試験のせん断に先立つ圧密の打ち切り時間の決定方法として $3t$ 法の適用性および適用方法について既存の圧密理論により検討を行った。検討結果から、時間の原点を目標応力到達時にとりて $3t$ 法を用いた場合、漸増载荷速度に拘わらず十分適用可能であることが示された。しかし、本文では、土を Terzaghi タイプの理想土と仮定しているため、圧密中の圧密係数の変化や2次圧密などの特性を考慮していない。したがって、今後、実験による検討が必要であると考えられる。

【参考文献】1) Yoshikuni & Nakanodo(1975): Soils and Foundations Vol.15, No.1, pp.17-27. 2) 土田(1994): 第39回土質工学シンポジウム講演概要集, pp.179-186.