

東海大学工学部 学生会員 ○佐藤 宏美
(株)建設企画コンサルタント 正会員 白子 博明
東海大学工学部 正会員 杉山 太宏, 赤石 勝

1. まえがき

現場の長期沈下観測記録や最近の研究では、粘土地盤の二次圧密は一次圧密中から発生し、また時間の対数にはほぼ比例して長期間生じることが明らかにされている¹⁾³⁾。一次元圧密量つまり飽和粘土の間隙比の減少が対数時間に比例して無限に続く、という二次圧密の仮定に問題はあるが、二次圧密沈下量はある程度の期間で無視できる大きさになることが多いため、実用的には合理的な仮定と考えられる⁴⁾⁶⁾。

この報告は、現場の二次圧密を含む一次元圧密解析を実施する場合、時間の対数に比例する二次圧密がいつからどの程度の大きさで発生すると仮定すべきかについて検討したものである。最大排水距離の異なる圧密供試体の圧密時間関係、いわゆる寸法効果に対して、既往の二次圧密評価式⁷⁾⁸⁾に圧密度を導入することで計算結果に与える影響を検討した。

2. 排水距離と二次圧密

一次元圧密において最大排水距離の異なる粘性土の圧密時間関係には、図-1に示す二つの仮説がある⁹⁾。仮説 A では二次圧密の発生を一次圧密終了時(EOP)としているのに対し、仮説 B では一時圧密中から二次圧密が発生すると仮定されている。平行移動型、Isotache 型のいずれとなるか結論は示されていないが、一次圧密終了まで二次圧密が発生しないという仮定は、最近の研究成果と異なるものである。ただし、仮説 B についても一次圧密中のいつから二次圧密が発生するのか、単位時間に発生する二次圧密量が一次圧密中と一次圧密終了後で異なるのか等不明な点が多い。

2.1 二次圧密を含む一次元圧密の計算法

正規圧密飽和粘土の有効応力 σ' による間隙比 e の変化は、式(1)で表される⁷⁾⁸⁾。

$$e = e_0 - C_c \log(\sigma' / \sigma'_0) - C_\alpha \log t / t_x \quad (1)$$

ここに、 C_c は圧縮指数、 C_α は二次圧密係数、 t は圧密層内各点の圧密開始後の時間、 t_x は二次圧密の開始時間、 σ' と e のサフィックス 0 は圧密前の初期状態を表す。間隙比の全微分は式(2)で、また式(2)右辺の各項は式(2.a)、式(2.b)で表される。

$$de = de_p + de_s \quad (2)$$

$$de_p = \left(\frac{\partial e}{\partial \sigma'} \right)_t d\sigma' = -\frac{0.4343C_c}{\sigma'} d\sigma' = m_p \cdot d\sigma' \quad (2.a), \quad de_s = \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right)_{\sigma'} dt = -\frac{0.4343C_\alpha}{t} dt = m_s \cdot dt \quad (2.b)$$

この報告では、式(2.a)の有効応力の変化に伴う間隙比の変化量 de_p を一次圧密量、式(2.b)の時間の変化に伴う間隙比の変化量 de_s を二次圧密量と呼ぶ。式(2)を一次元圧密方程式(3)に代入すると式(4)が得られる。ただし、式(4)では圧密中載荷重一定と仮定している。

$$\frac{1}{1+e_0} \frac{\partial e}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial e}{\partial \sigma'} \right)_t \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{k(1+e_0)}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right)_{\sigma'} \quad (4)$$

ここに、 k は透水係数、 γ_w は水の単位体積重量、 u は過剰間隙水圧、 y は距離である。

ところで、式(2.b)では式(1)の二次圧密開始時間 t_x を EOP 以前としても、圧密による有効応力増加の有無にかか

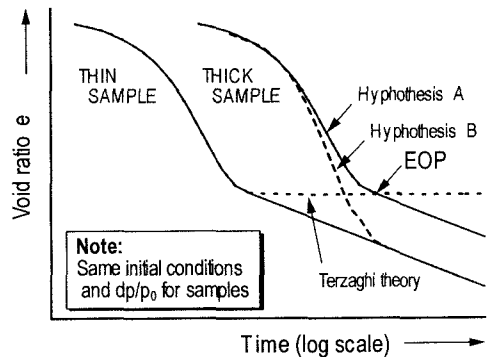


図-1 一次元圧密における間隙比時間関係の概念図 (Ladd, et.al.⁹⁾)

Key words: 一次元圧密, 二次圧密, 時間効果, 差分法, 排水距離

〒259-1207 神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

わらず二次圧密が発生する。一次元圧密中に生じる二次圧密のメカニズムが明確でない現状では、式(2.b)も一案と考えられるが、著者らは圧密開始前の二次圧密の影響が無視できて、さらに粘土の初期状態が同じであれば、有効応力の増加と同時に二次圧密が発生すると考えている。そこで、式(2.b)に圧密度 U_y を掛けて有効応力の増分を表す式(5)を提案し、有効応力に依らない式(2.b)の計算結果と比較する。

$$de_s = \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right)_{\sigma} U_y dt = - \frac{0.4343C}{t} U_y \cdot dt = m_s \cdot U_y \cdot dt \quad (5)$$

2.2 差分計算式と計算結果

二次圧密を含む一次元圧密方程式(4)を差分表示すると式(6)が得られる。

$$u_{y,t+dt} = u_{y,t} + \alpha(u_{y+dy,t} - 2u_{y,t} + u_{y-dy,t}) + m_s \cdot dt / m_p \quad (6)$$

ここに、 $\alpha = dt \cdot c_v / dy^2 \leq 0.5$ 、 $c_v = k(1+e_0) / \gamma_w \cdot m_p$ である。

表-1 のように土質定数と圧密条件を仮定し、二次圧密開始時間 t_x は圧密層内各点における圧密開始時間として、式(6)による差分計算を行った。式(2.b)と提案式(5)により二次圧密を含む圧密量時間関係を求めた結果が図-2 と図-3 である。

図-2 では、当然のことながら一次圧密終了後、層内各点の圧密量がすべて同じ大きさに収束してゆく。また図-3 では、層内各点の圧密量は有効応力の増加に応じた二次圧密発生が遅れに対応して平行線となる。

両式によって、最大排水距離の異なる圧密量時間関係を計算したのが図-4 である。一次圧密終了後、最大排水距離の異なる圧密量時間関係が重なり合う場合と、平行線になる2通りの計算結果が得られた。しかし、これらの計算結果は、一次圧密中から二次圧密が発生すると仮定し、時間 t_x を明確にしている点で仮説 A, B のいずれとも異なる結果である。

3. まとめ

一次圧密中の二次圧密は、有効応力の増加に伴い発生し、その大きさは圧密層内各点において圧密度(0~1)に支配されると仮定した二次圧密式を提案した。最大排水距離の異なる一次元圧密の圧密量時間曲線を比較したところ、有効応力に依存しない既往の二次圧密式では一次圧密終了後互いに重なり合うのに対し、提案式では平行となる結果が得られた。

参考文献：1)Matsuda,H.:Preconsolidation by separate type consolidometer, Proc. 10th, ICSMFE, pp.577-580,1981. 2)Imai,G.:A constitutive equation of one-dimensional consolidation derived from interconnected tests, Soil and Foundations Vol.32, No.2, pp.88-96,1992. 3)日本道路公団試験所：軟弱地盤における盛土の沈下事例集，試験所技術資料 No.302,1977. 4)Bjerrum, L. : Engineering geology of Norwegian normally consolidated marine clays are related to settlements of buildings, Geotechnique, 17, No.2, pp.81-118,1967. 5)Mesri, G. et al. : Secondary compression of peat with or without surcharging J.Geotech.Engrg. ASCE, 105(1), pp.106-113,1997. 6)Sekiguchi, H. and Torihara, M. : Theory of one dimensional consolidation of clays with consideration of their reological properties, Soils and Foundations, Vol.16, No.1, pp.27-44,1976. 7)Mesri, G. and Rokhsar, A. : Theory of consolidation for clays, J.Geotech.Engrg.ASCE, 100(8), pp.889-904,1974. 8)Imai,G.:Analytical examinations of the foundations to formulate consolidation phenomena with inherent time-dependence, Key Note Lecture at IS-Hirosima 1995 may 10. 9)Ladd,C.C. et.al.:Stress Deformation and Strength Characteristics SOA Report , Proc. IX of ICSMFE, Tokyo,1977.

表-1 計算条件

圧縮指数 C_c	1.0
二次圧密係数 C_α	0.04
初期間隙比 e_0	2.0
圧密係数 C_v (cm ² /min)	0.1
初期圧密圧力 σ_0 (kPa)	98
圧密荷重増分 $\Delta\sigma$ (kPa)	98

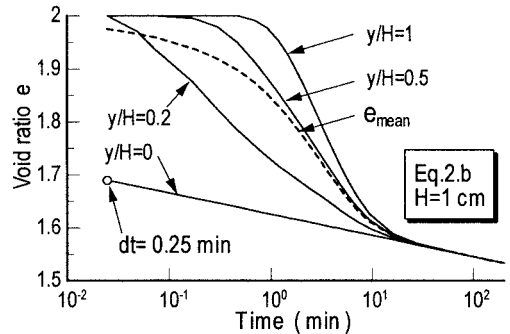


図-2 式(2.b)による計算結果

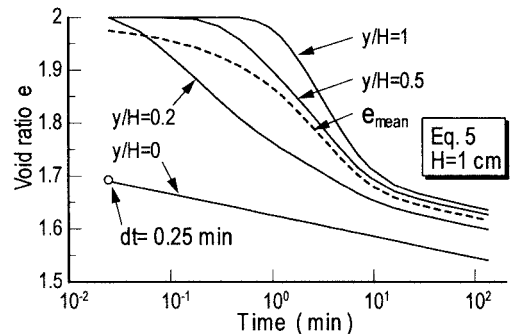


図-3 提案式(5)による計算結果

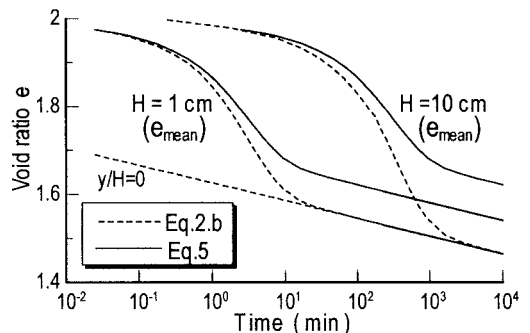


図-4 排水距離による計算結果の比較