

密度、ボンディングおよび時間効果特性の異なる粘土の1次元圧密特性

名古屋工業大学 学生会員 宮原義人 京川裕之

名古屋工業大学 正会員 中井照夫 Hossain Md.Shahin 菊本統

1. 序論 密度、自然堆積土に見られる構造効果（ボンディング）、時間効果特性を考慮できる1次元構成モデル¹⁾²⁾³⁾を用いて、圧密試験の1次元有限要素解析を行い、これらの諸特性が粘土の圧密挙動におよぼす影響について検討する。解析を通して、厳密には要素試験でないこれらの圧密試験の意味を明らかにするとともに、圧密の世界でこれまで議論されてきた2次圧密、遅延圧密、自然堆積土の圧密特性等について構成モデルをベースに解説する。

2. 解析概要 新たに提案された密度、ボンディングおよび時間効果特性を考慮した1次元弾塑性モデルを用いて1次元圧密沈下特性の解析を行った。以下に解析の概要を示す。自然堆積粘土の圧縮特性を調べるためによく用いられる定ひずみ速度載荷による圧密試験を想定し、供試体最下部を非排水条件で変位を固定し、上面排水のみの片面排水条件の下、図-1に示すように厚さ1cmの供試体ならば10要素で区切るというように、各厚さの供試体を1mm間隔で区切った1次元要素で土-水連性解析を行った。解析で用いたパラメータを表-1に示す。圧縮指数などの基本的な諸定数は従来の藤の森粘土のものを用いている。パラメータ a は密度の影響を考慮する関数 $G(\rho)=a\rho$ の係数 a である。また、初期の間隙比の変化速度 $(-e)^p=1.0\times 10^{-7}$ 、圧密解析では透水係数 k を間隙比 e の関数として次式で与えている。

$$k = k_0 \exp\left(\frac{e - e_0}{\lambda_k}\right) \quad (1)$$

ここに、 $k_0=1.0\times 10^{-5}$ cm/min ($e_0=0.83$ の時)、 $\lambda_k=0.104$ ($c_v=\text{const.}$ となる)としている。今回は主として時間効果特性を考慮した解析結果を示す。

3. 解析結果 図-2、図-3に供試体厚さ1cm、10cm、それぞれにおける、二次圧密係数 λ_α を変化させた正規圧密粘土($\rho_0=0.0$)の解析結果を示す。これらは初期状態(98kPa)から $\Delta\sigma=98$ kPaの応力増分を与えたときの結果であり、縦軸にマスのとしての間隙比 e 、横軸に時間経過を対数軸にとった e - $\ln t$ 関係である。時間効果無しの結果は圧密が完了しているのに対し、二次圧密係数を設定することで、逆S字の曲線及び時間経過とともに直線的に圧密が進む二次圧密の特徴が現れていることがわかる。二次圧密係数は e - $\ln t$ 曲線における二次圧密段階での直線の傾きで定義しているので、二次圧密係数の値が大きいと傾きが大きくなる特徴を解析結果はよく表しており、解析における e - $\ln t$ 関係の最終的な勾配は二次圧密係数 λ_α に一致

キーワード 圧密 密度 時間効果 二次圧密 年代効果

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 地盤研究室 TEL/FAX:052-735-7157

表-1 解析パラメータ

λ	0.104
κ	0.01
$\sigma_0=\text{Pa}$	98kPa
N at $\text{Pa}=98\text{kPa}$	0.83
a	100
k_0	1.0×10^{-5} cm/min

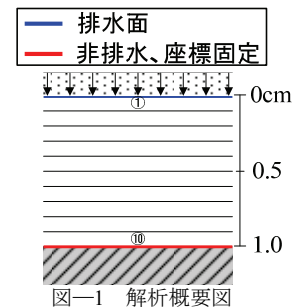


図-1 解析概要図

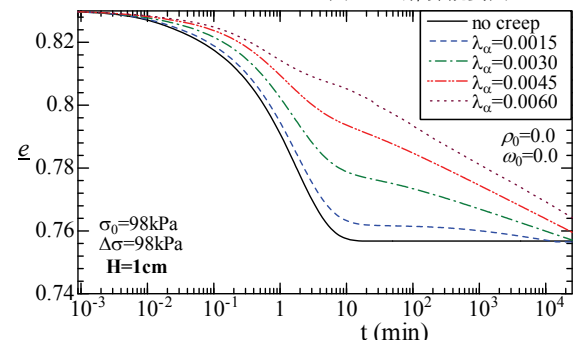


図-2 時間-間隙比関係曲線：正規粘土(H=1cm)

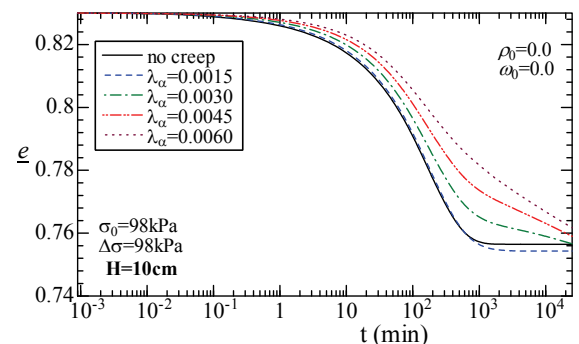
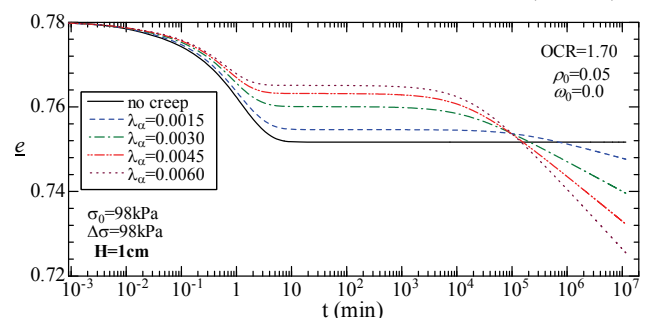


図-3 時間-間隙比関係曲線：正規粘土(H=10cm)

図-4 時間-間隙比関係曲線：過圧密粘土($\Delta\sigma=98$ kPa)

する。また、層厚を変化させた場合は、今までに報告されている層厚を変えた多くの圧密試験結果と一致している⁵⁾。図-4～図-6 に二次圧密係数を変化させた厚さ1cm(片面排水)の過圧密粘土供試体の解析結果を示す。図-4 は初期状態から $\Delta\sigma=98\text{kPa}$ の応力増分を与えた結果の ε - $\ln t$ 関係であり、図-5 は時間経過を普通目盛でとったものである。また図-6 は初期状態から $\Delta\sigma=196\text{kPa}$ の応力増分を与えたときの結果の ε - $\ln t$ 関係である。図-4、図-6 を見ると、時間効果を考慮する場合、一旦圧密曲線が収束する動きをした後に再び変形が加速的に進行しているように見えるが、図-5 の時間を普通目盛でとったものを見るとわかるとおり、過圧密粘土でも時間とともに変形速度は遅くなる。また、二次圧密係数が大きいほど最終的な変形は大きくなる傾向が見られる。図-7、図-8 に過圧密比を変化させた解析結果を示す。二次圧密係数 $\lambda_\alpha=0.0030$ 、供試体厚さ1cm のそれぞれの過圧密比の供試体に初期状態から $\Delta\sigma=196\text{kPa}$ の応力増分を与えた時の結果であり、図-7 は縦軸に間隙比をとった ε - $\ln t$ 関係、図-8 は縦軸に NCL の移動量を表す状態変数 ψ をとった ψ - $\ln t$ 関係である。具体的な ψ の意味については文献1)参照のこと。図-8 より正規圧密土の場合、 ψ はほぼ時間の対数に対して直線的に変化するのに対し過圧密土では時間とともに ψ は減少するものの間隙水圧消散後も直線的には減少しない。図-9 に時間効果特性とボンディング効果も考慮した解析結果を示す。正規圧密土の場合はボンディング効果による差異はあまり見られないが、過圧密土ではボンディング効果により正規圧密土よりも遅い速度で変形曲線が推移し、ボンディングの消失とともに正規圧密土の結果に漸近する様子が見られる。

4. 結論 密度、ボンディング効果および時間効果特性を考慮できる1次元弾塑性モデルを用いて1次元圧密特性の数値解析をいった。本モデルを用いることで正規圧密粘土、および過圧密粘土の二次圧密特性を表現できることを示した。

参考文献 1)中井他(2009):地盤材料の諸特性の簡単且つ統一的なモデリングー密度、ボンディング、時間効果特性を例としてー, 応用力学論文集 Vol.12 2)中井(2008):地盤工学会誌, 56(9), 6-9 3)中

井他(2009):「地盤材料の諸特性の合理的なモデリング法」, 第44回地盤工学研究発表会 4)Shahin, H.M. et al. (2009):「Rational modeling of time-dependent behavior in geomaterials」, 第44回地盤工学研究発表会 5)地盤工学会編:土質試験の方法と解説(第一回改訂版) 6)宮原他(2009):「密度、ボンディングおよび時間効果特性の異なる粘土の1次元圧密特性」第44回地盤工学研究発表会

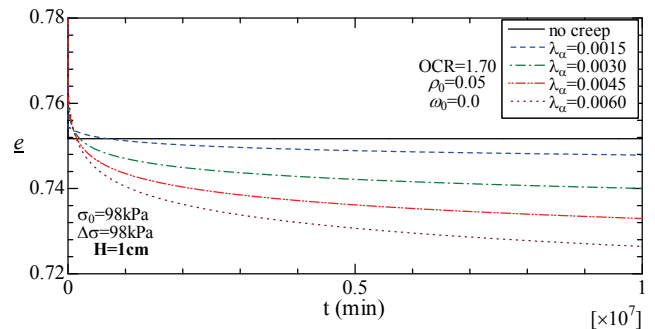


図-5 時間—間隙比関係曲線：過圧密粘土($\Delta\sigma=98\text{kPa}$)

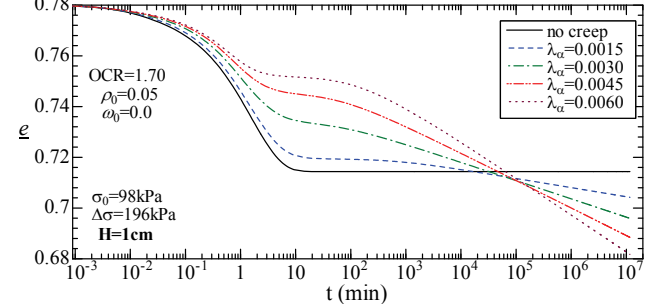


図-6 時間—間隙比関係曲線：過圧密粘土($\Delta\sigma=196\text{kPa}$)

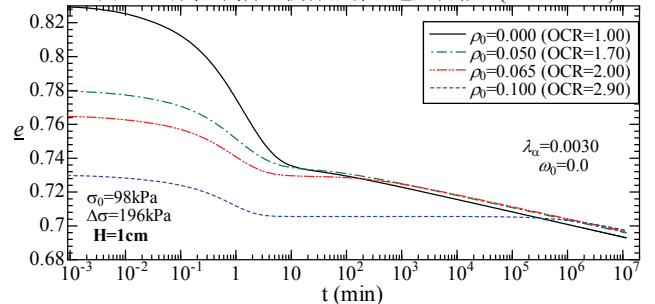


図-7 時間—間隙比関係曲線：過圧密比変化比較

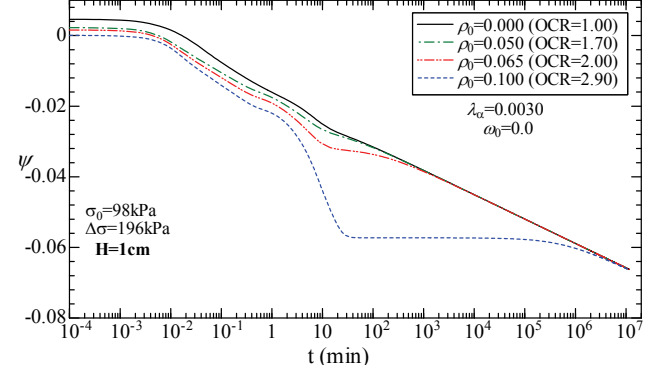


図-8 時間— ψ 関係曲線：過圧密比変化比較

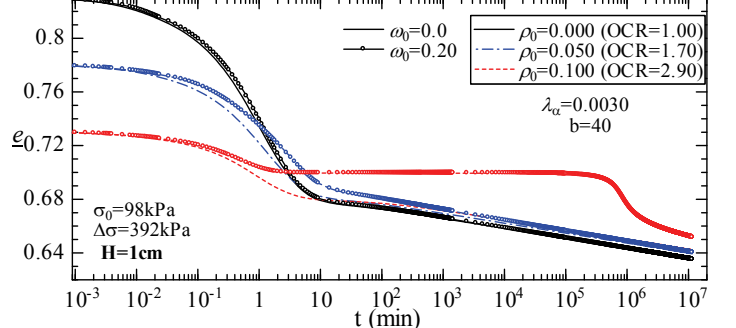


図-9 時間—間隙比関係曲線：時間効果及びボンディング考慮