

流動曲面履歴変数モデルによる粘土の一次元圧密解析

大阪大学大学院 正 会 員 ○阿部信晴
大阪大学工学部 学生会員 今増良平

1. まえがき

粘土の一次元圧密挙動は工学的に重要であり、これまで数多くの理論的・実験的研究が実施されている。しかし、その挙動解明とモデル化は必ずしも十分に行われていない。本報告は、履歴変数 h を移行方程式に導入することによって、粘土の時間－負荷履歴依存性を統一的に表現する流動曲面履歴変数モデルを用いて粘土の段階荷重圧密試験の解析を行い、その適用性を明らかにしている。なお、提案する流動曲面履歴変数モデルについての詳細は文献 1)を参照されたい。

2. 解析対象とする段階荷重圧密試験の概要

本報告では荷重時間と層厚を変化させた試験（CASE-1）と荷重増分比を変化させた試験（CASE-2）の2つの段階荷重圧密試験について解析を行っている。

《CASE-1》一次元圧密に及ぼす荷重増分比の影響を評価した試験²⁾（大島・池田・増田（2002））

粘土試料 試験に用いられた粘土は大阪南港で採取されたN90 粘土を、相対含水比（液性指数）= 2 のスラリーから予圧密圧力（ $p_0=0.6\text{kgf/cm}^2$ ）で再圧密したものである。

試験方法 直径6cm、層厚2cmとした供試体粘土に対し、 $p=0.1\sim1.6\text{kgf/cm}^2$ までは荷重増分比を通常の $n=1$ として段階荷重を行い、その後の一段階のみ荷重増分比を $n=0.2, 0.4, 0.7, 1, 1.5, 2.2, 3$ の7種類に設定し、段階荷重圧密試験を行っている。解析対象とする段階荷重後の圧密応力はそれぞれ $p=1.92, 2.24, 2.72, 3.2, 4, 5.12, 6.4\text{kgf/cm}^2$ となる。

《CASE-2》一次元圧密に及ぼす荷重時間・層厚の影響を評価した試験³⁾（大島・高田・合田（2001））

粘土試料 試験には大阪南港粘土とカオリンを乾燥重量比2:1で混合したものを相対含水比= 2 のスラリーから、予圧密圧力（ $p_0=0.6\text{kgf/cm}^2$ ）で再圧密した粘土が用いられた。

表-1 材料パラメータ

	N90 粘土	混合粘土
圧縮指数	0.264	0.209
膨潤指数	0.0343	0.0262
二次圧縮係数	4.41×10^{-3}	3.98×10^{-3}
基準間隙比	2.20	1.81
基準透水係数 (cm / m in)	1.54×10^{-5}	3.75×10^{-5}
透水性変化指数	0.776	0.618
基準粘性ひずみ速度 (1/m in)	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-5}
内部拘束ひずみ速度	1.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}

試験方法 供試体の層厚は、1, 2, 3, 4, 5cm の5種類であり、周辺摩擦の影響を同程度とするために供試寸法比（直径／層厚）は3に設定されている。荷重増分比 $n=1$ として段階荷重を行い、 $p=0.1\text{kgf/cm}^2$ から過圧密となる $p=0.4\text{kgf/cm}^2$ まではすべて1日荷重、正規圧密に入る $p=0.8\text{kgf/cm}^2$ からは、1日荷重、3t 荷重、 H^2 時間荷重の3種類に設定している。 H^2 時間荷重は標準供試体である層厚2cmと同程度の荷重時間効果を想定したもので、 H^2 則から1, 2, 3, 4, 5cmの層厚に対し、それぞれ0.25, 1.0, 2.25, 4.0, 6.25日荷重するものである。解析対象は6段階目の荷重（ $p=3.2\rightarrow6.4\text{kgf/cm}^2$ ）である。

3. 多段階荷重圧密解析の概要

解析は流動曲面履歴変数モデルによる弾粘塑性有限要素法を用いて行い、層厚にかかわらず供試体は20要素に分割し上下面排水条件とした。

材料パラメータ 圧密試験（ $e-\log p$ 関係など）及び別途実施されている透水試験の結果にもとづいて求められた材料パラメータを表-1に示す。それぞれN90粘土（CASE-1）のは荷重増分比 $n=1$ のときを、混合粘土（CASE-2）は層厚2cm、1日荷重のときを基準として求めたものである。
履歴変数 対象とする段階での解析には、初期履歴変数として前段階の荷重での圧密打ち切り時の履歴変数が必要となる。このため、本解析ではスラリーからの予圧密を含めて前段階までのすべての圧密解析を行っている。

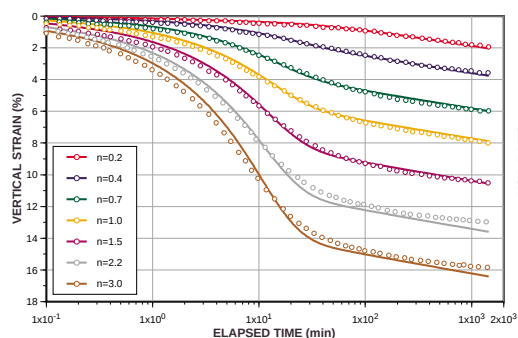


図-1 ひずみ経時変化

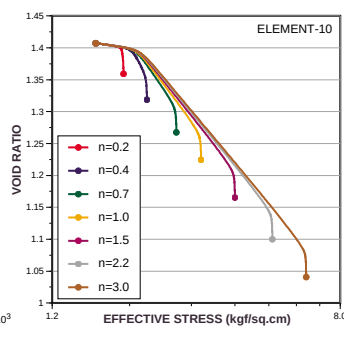
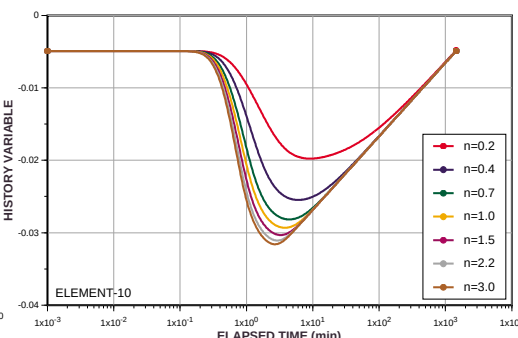
図-2 図-7 $e-\log p$ 関係

図-3 履歴変数経時変化

Key Words 段階荷重圧密試験／有限要素解析／弾粘塑性モデル／荷重時間／荷重増分比

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 大阪大学工学研究科地球総合工学専攻 Tel:06-6879-7626 Fax:06-6879-7626

4. 解析結果

《CASE-1》図-1, 5 はそれぞれひずみ、ひずみ速度の経時変挙動について解析結果と実験結果を比較したものである。実線が解析値、プロットが実験値を示しており、両者は非常によく対応している。また、図-4 は圧密終了時のひずみを基準に求めたひずみの経時変化である。図より解析結果は、荷重増分比の影響を受けて複雑に変化する実験結果の沈下曲線形状をうまく説明するものとなっていることが分かる。また、図-2, 4 はそれぞれ供試体粘土の中央に位置する要素 10 の $e-\log p$ （間隙比～有効応力）関係と履歴変数の経時挙動について解析結果を示した。

《CASE-2》図-6～8 はそれぞれ 1 日载荷、3t 载荷、 H^2 時間载荷時のひずみの経時挙動について解析結果と実験結果を示したものである。解析結果は载荷時間と層厚の影響を受けて複雑に変化する沈下曲線形状をよく表現するものとなっている。また、図-9～11 にはそれぞれ 1 日载荷、3t 载荷、 H^2 時間载荷時の供試体粘土中央での $e-\log p$ 関係、図-12～14 にはそれぞれの履歴変数の経時挙動について解析結果を示した。流動曲面履歴変数モデルは基本的に isotache を示すモデルであるが、再負荷時の履歴変数の違いによって沈下曲線の形状が変化する。

流動曲面履歴変数モデルは、履歴変数を導入することにより粘土の時間－負荷履歴に依存する様々な圧密挙動を表現できることが明らかになった。

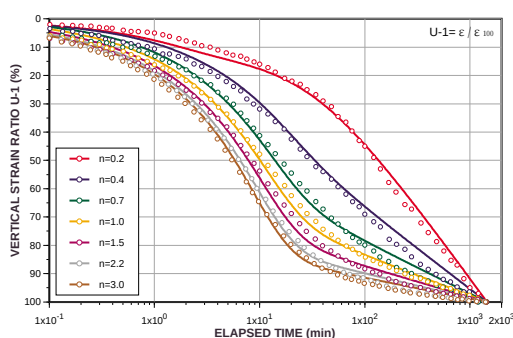


図-4 最終ひずみを基準としたひずみ経時変化

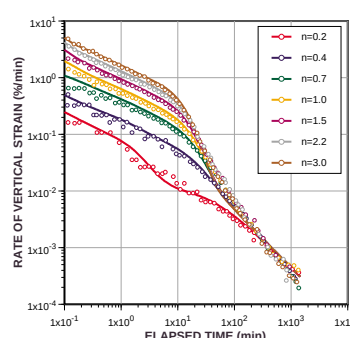


図-5 ひずみ速度経時変化

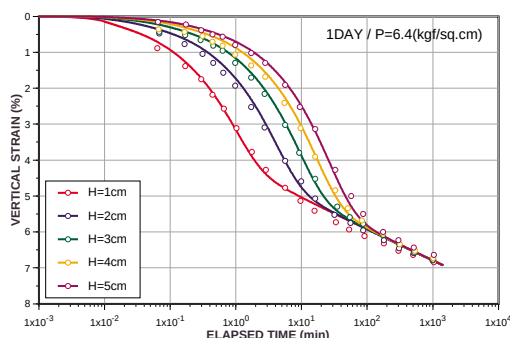


図-6 ひずみ経時変化(1日载荷)

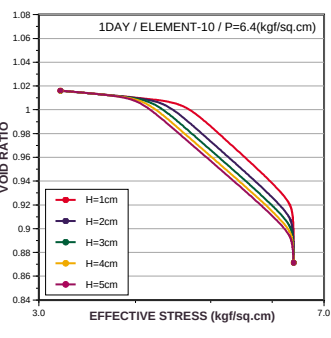


図-9 $e-\log p$ 関係(1日载荷)

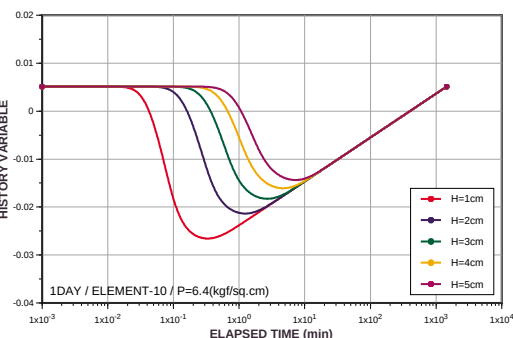


図-12 履歴変数経時変化(1日载荷)

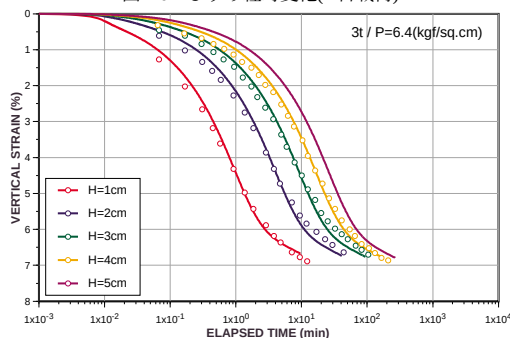


図-7 ひずみ経時変化(3t 载荷)

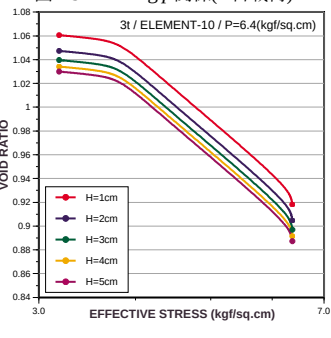


図-10 $e-\log p$ 関係(3t 载荷)

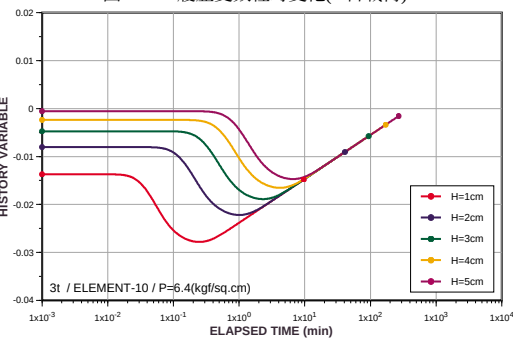


図-13 ひずみ経時変化(3t 载荷)

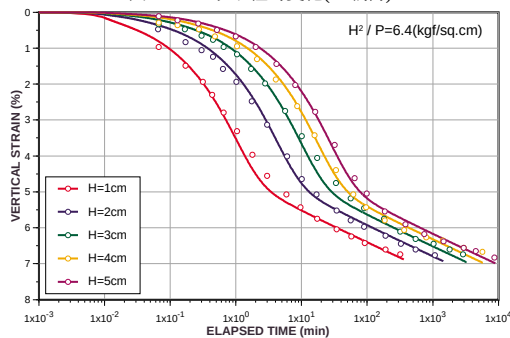


図-8 ひずみ経時変化(H^2 時間载荷)

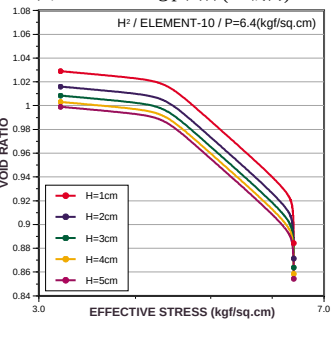


図-11 $e-\log p$ 関係(H^2 時間载荷)

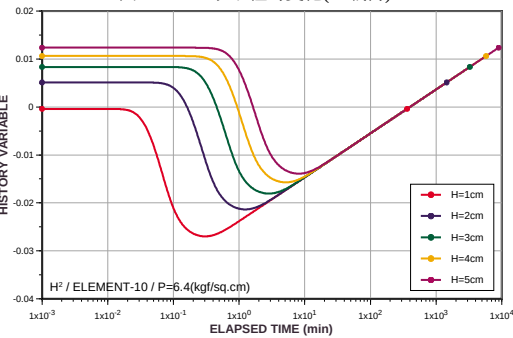


図-14 ひずみ経時変化(H^2 時間载荷)

【参考文献】

- 1) 阿部信晴・隅水友顕：流動曲面履歴変数モデルによる粘土の履歴依存挙動の解析，土木学会第 50 回年次学術講演会，1995。
- 2) 大島昭彦・池田靖宏・増田真：粘土の段階载荷圧密試験における荷重増分比の影響，第 37 回地盤工学研究発表会，pp.289-290，2002。
- 3) 大島昭彦・増田真・合田泰三：粘土の段階载荷圧密試験における载荷時間と層厚の影響，土木学会第 56 回年次学術講演会，pp.308-309，2001。