

大阪大学工学部 正 会 員 阿部信晴
大阪大学大学院 学生会員 ○隅水友顕

1.まえがき

弾粘塑性理論にもとづく流動曲面モデルに履歴変数を導入して、時間－負荷履歴の影響を考慮しうる粘土の流動曲面履歴変数モデル(FSHV model)が提案されている¹⁾。本報告ではFSHVモデルにより分割型圧密試験の解析を行い、全体挙動のみならず粘土層内部の圧密過程に着目して提案モデルの適用性を明らかにしている。

2.流動曲面履歴変数モデル

流動曲面履歴変数モデルは、粘土の弾性状態と弾粘塑性状態を区別せずに常に弾性ひずみと粘塑性ひずみが存在するという仮定にもとづいている。圧密降伏は履歴変数に依存する履歴依存応答として表現される。この仮定により流動曲面履歴変数モデルは粘土の過圧密領域における時間依存性を記述することが可能である。流動曲面履歴変数モデルの流動曲面 F 、履歴変数 h は、それぞれ次式で与えられる。

$$F = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{\epsilon}_{cr}^v t \right) \right\} \exp \left(\frac{f-h}{\mu} \right) + \delta \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{\epsilon}_{cr}^v t \right) \right] - \epsilon_{cr}^v = 0 \quad (1)$$
$$f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_o} \ln \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_{zo}} \right) \quad (2) \quad h = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ 1 - \left\{ 1 - \delta \exp \left(\frac{-f + h_o}{\mu} \right) \right\} \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{\epsilon}_{cr}^v t \right) \right\} \right] \quad (3)$$

ここに、 σ_z 、 σ_{zo} は有効応力とその初期値、 e_o は初期間隙比であり、 λ 、 κ は圧縮指数、再圧縮指数、 $\dot{\epsilon}_{cr}^v$ 、 μ 、 δ は粘性パラメータである。

3.分割型圧密試験の解析

3-1 分割型定応力速度圧密試験

圧密試験では過剰間隙水圧が圧密供試体内部で分布するため、有効応力・ひずみも供試体内部で一様ではない。通常の圧密試験ではこれらの分布状況は不明であり、求められるものは供試体全体に関する量あるいは平均量である。粘土内部の圧密進行過程を測定する目的で開発されたのが分割型圧密試験である。解析は、5つの分割供試体(厚さ20mm、直径60mm)からなる分割型圧密試験装置を用いて実施された定応力速度圧密試験²⁾について行われている。試験は、まず各分割供試体を両面排水状態で39.2kPaの荷重で24時間圧密し(第1段階)、さらに各分割供試体を連結して供試体全体を上面排水、下面非排水として、78.4kPaの圧密応力で過剰間隙水圧が99%消散するまで圧密している(第2段階)。そして、図-1に示

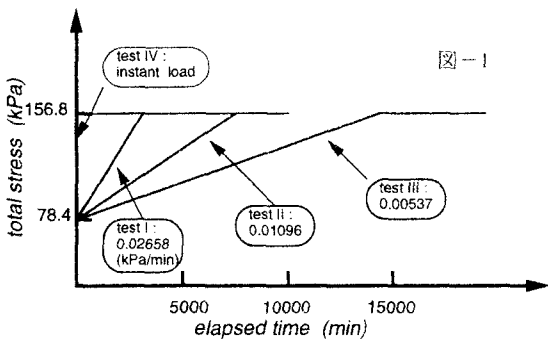


表-1

material parameters/initial conditions		Yanai clay
Compression index	λ	0.2155
Swelling index	κ	0.033
Coefficient of secondary compression	μ	3.0×10^{-1}
Reference strain rate	$\dot{\epsilon}_{cr}^v$ (min ⁻¹)	1.0×10^{-6}
History parameter	h	4.0×10^{-3}
Internal restraint strain rate	δ	1.0×10^{-5}
Coefficient of permeability	k_{zo} (cm/min)	6.0×10^{-6}
Permeability change index	C_k	0.5
Initial consolidation stress	σ_{zo} (kPa)	78.4
Initial void ratio	e_o	1.5848 ~ 1.664

すように一定の応力速度および瞬時载荷によって156.8kPaまで载荷し、その後圧密応力を一定に保っている(第3段階)。

3-2 解析条件と材料パラメータ

解析は、弾粘塑性有限要素法により第3段階について行っている。それまでの圧密履歴は履歴変数によって評価される。実験に使用された柳井粘土の材料パラメータを表-1に示す。流動曲面履歴変数モデルの材料パラメータの決定方法³⁾はすでに提案されているが、柳井粘土についてはそのために必要なデータが示されていないため、今回は瞬時载荷のケースの実験データにもとづいて推定している。なお、実験では初期間隙比が分割供試体ごとに異なっているが、解析ではそれらの平均値を初期間隙比とした。

3-3 解析結果

図-2, 3は分割型供試体の有効応力および鉛直ひずみの経時変化について解析結果と実験結果を比較したものである。実験における分割供試体の有効応力は次式によって求められており、解析結果も同様の方法で整理されている。

$$\text{第1分割供試体} \quad \sigma'_z = \sigma_z - 0.67u_b \quad (4)$$

$$\text{第2-5分割供試体} \quad \sigma'_z = \sigma_z - 0.5(u_t + u_b) \quad (5)$$

ここに、 σ_z は全応力、 u_t, u_b は分割供試体の上面、下面の間隙水圧である。図-2をみると、一定の応力速度のケースにおける有効応力の増加挙動について両者はよく一致しており、実験における供試体内の間隙水圧挙動を再現できている。図-3に示したひずみの経時挙動についても解析結果は実験結果とよく対応を示しているが、少し圧密の進行が速いようである。二次圧密領域における挙動は解析結果、実験結果とも初期間隙比の影響を受ける。

4.まとめ

流動曲面履歴変数モデルの妥当性をより詳細に検討するために、分割型圧密試験の解析を行った。解析結果は、漸増载荷条件での圧密挙動を供試体内部の応答も含めてよく表現しており、流動曲面履歴変数モデルの適用性が明らかになった。

【参考文献】

- 1)阿部信晴・橋本和晃・吉田圭伊智(1992)/一次元圧密の弾粘塑性モデル,第27回土質工学研究発表会発表講演集, pp.379-380.
- 2)Matsuda, H. and Nagatani, T.(1995)/Consolidation tests with constant rate of loading by separate-type consolidometer, Proc. Int. Symp. on Compression and Consolidation of Clayey Soils, Hiroshima, May.1995, Vol.1, pp.123-128.
- 3)阿部信晴・隅水友顕(1995)/流動曲面履歴変数モデルの基準ひずみ速度パラメータ,土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第3部(A), pp.266-267.

