

III-116 擬似過圧密粘土の一次元圧縮特性

大阪大学工学部 正会員 阿部 信晴
大阪大学工学部 正会員 松井 保
大阪大学工学部 学生会員 平尾 謙一

1. まえがき

二次圧密によって擬似過圧密化した粘土の一次元圧縮特性を流動曲面モデルに基づいて考察する。

2. 擬似過圧密化と再圧縮特性

時間-負荷履歴効果を考慮することのできる流動曲面モデル (一次元状態) は次式で示される。

$$F = \epsilon_z^{vp} = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ \left[1 - \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} \epsilon_{zr} t \right) \right] \exp \left(\frac{\bar{f}}{\mu} \right) + \delta \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} \epsilon_{zr} t \right) \right\} \right] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \bar{f} &= f - h = f - \epsilon_z^{vp*} = f - (f^* + \epsilon_z^{v*}) \\ &= (f - f^*) - \epsilon_z^{v*} = \tilde{f} - \epsilon_z^{v*} \end{aligned} \quad (2)$$

$$f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_{z0}} \right) \quad (3)$$

いま、基準状態 (図-1のA点) にある粘土の一次元圧密を考える。粘土要素はADECなる状態経路をたどり、B点に至って圧密が終了する。この場合の最終粘塑性ひずみは次式で与えられる。

$$\epsilon_z^{vp\infty} = f^{\infty} + \epsilon_z^{v\infty} = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \left(\frac{\sigma_{z1}}{\sigma_{z0}} \right) + \mu \ln \frac{1}{\delta} \quad (4)$$

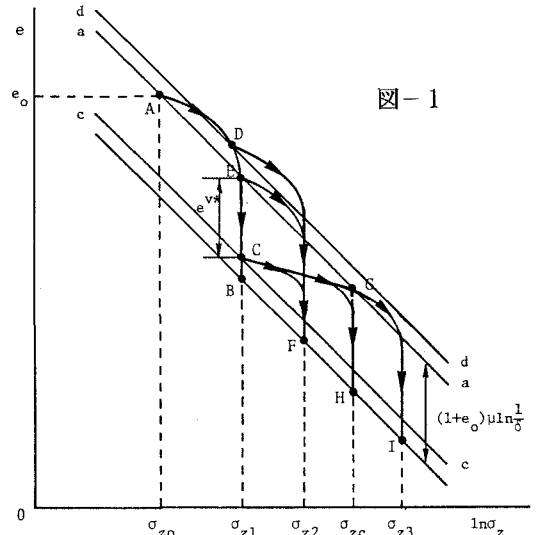
(基準状態からの初期荷荷であるから、 $\epsilon_z^{vp*} = 0$ である。) 二次圧密の進行に伴って粘土の擬似過圧密化が進むが、この弾粘塑性モデルでは収束性のクリープ特性が仮定されているので、二次圧密による擬似過圧密化は次式の過圧密比 n を越えることはない。

$$\begin{aligned} n &= \frac{\sigma_{zc}}{\sigma_{z1}} = \exp \left\{ \left(\frac{1 + e_0}{\lambda - \kappa} \right) \epsilon_z^{v\infty} \right\} \\ &= \frac{(1 + e_0) \mu}{\delta} = \frac{C_\alpha}{C_c - C_r} \end{aligned} \quad (5)$$

次に、図のC、E、D点でそれぞれ再圧密する場合を考えると、いずれの場合も状態経路がF点に至って圧密が終了するが、最終粘塑性ひずみは (6) 式から求められる。

$$\epsilon_z^{vp\infty} = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \left(\frac{\sigma_{z2}}{\sigma_{z1}} \right) - \epsilon_z^{v*} + \mu \ln \frac{1}{\delta} \quad (6)$$

ただし、D点の初期応力は σ_{z1} より小さい。前段階の圧密において生じた粘塑性ひずみ ϵ_z^{v*} (以後、履歴パラメータと呼ぶ) はC点では正、E点では零、D点では負となっているので、(6) 式から再圧密で



の最終ひずみ量に差が生じることになる。すなわち、二次圧密を受けた粘土の最終ひずみは小さくなり、基準状態に達していない未圧密粘土の最終ひずみは大きくなる。

一方、履歴パラメータは再圧密時のひずみ速度応答にも影響する。粘塑性ひずみ速度、再負荷時 ($t = 0$) の粘塑性ひずみ速度はそれぞれ次式となる。

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_z^{vp} &= \frac{\delta \epsilon_{zr}^{v*} \left\{ \exp \left(\frac{\bar{f}}{\mu} \right) - \delta \right\} \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} \epsilon_{zr} t \right)}{\left\{ 1 - \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} \epsilon_{zr} t \right) \right\} \exp \left(\frac{\bar{f}}{\mu} \right) + \delta \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} \epsilon_{zr} t \right)} \\ \dot{\epsilon}_{z1}^{vp} &= \dot{\epsilon}_{zr}^{v*} \left\{ \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} \epsilon_{zr} t \right) - \delta \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

したがって、二次圧密を長く受けた粘土ほど、履歴パラメータが大きく、ひずみ速度応答性が高くなり、クリープ変形が生じにくいことになる。また、粘塑性ひずみ速度は負にならないので、(8) 式から次式の条件が出てくる。

$$\epsilon_z^{v*} \leq \mu \ln \frac{1}{\delta} \quad (9)$$

しかし、(4) 式から擬似過圧密粘土の圧密では粘塑性ひずみ速度は負にならないことがわかる。二次圧密の終了した粘土だけが再負荷時に弾性応答することになる。

以上のように、この弾粘塑性モデルでは履歴パラメータによって擬似過圧密粘土の弾粘塑性遷移応答

を表現するものであるが、これは粘土の擬似過圧密化に伴って流動曲面モデルの基準状態を変更することに対応している。流動曲面モデルでは基準ひずみ速度と基準特性によって規定される基準状態が假定されているが、ここでは後者によって基準状態を更新している。すなわち、C、D点における再圧密時に基準特性である $e - \ln \sigma_z$ 関係 $a a$ をそれぞれ c 、 d に変えて、基準状態を変更している。基準ひずみ速度によって基準状態を変更することは既に試みられている〔1〕。

3. 解析例

図-2、3は擬似過圧密粘土の定ひずみ速度圧縮試験の解析結果であり、発生間隙水圧の影響を無視した定ひずみ速度圧密試験に対応している。圧密降伏応力のひずみ速度依存性などは、ほぼ実験結果の傾向を説明できているが、極めて遅いひずみ速度では応力緩和の影響により降伏応力が生じていない。図-4は Batiscan clay〔2〕の定ひずみ速度圧密試験の解析結果である。力学パラメータは〔3〕によっている。解析では $e - \ln \sigma_z$ の直線性が假定されているために実験値との対応は良くないが、降伏特性は実験結果にはば一致している。

4. まとめ

履歴パラメータ (粘性ひずみ) によって流動曲面モデルの再負荷時基準特性を更新することにより、擬似過圧密粘土の弾粘塑性遷移応答を表現することができることを明らかにした。定ひずみ速度せん断、非排水クリープ、応力緩和挙動に対するこの手法 (モデル) の適用性は既に明らかにされている (〔4〕、〔5〕)。一次元圧密への適用性については〔6〕を参照されたい。

参考文献

- 〔1〕松井・阿部・中野(1988): 一次元圧密におけるひずみ速度の影響について, 第23回土質工学研究発表会講演集
 〔2〕Leroueil et al.(1985): Stress-strain-strain rate relation for the compressibility of sensitive natural clays, Geotechnique 35, No.2.
 〔3〕Kabbaj et al.(1986): Consolidation of natural clays and laboratory testing, Consolidation of Soils: testing and evaluation, ASTM STP 892.
 〔4〕Matsui, Abe & Hayashi(1989): Viscoplastic modelling of time-dependent behaviour of clays, Proc. 3rd Int. Symp. on Num. Models in Geomech.
 〔5〕松井・阿部・喜多・大島(1989): 流動曲面理論に基づく弾粘塑性モデルの時間-負荷履歴特性, 第24回土質工学研究発表会講演集
 〔6〕阿部・松井・喜多・平尾(1990): 一次元圧密における荷重時間の影響について, 第45回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ

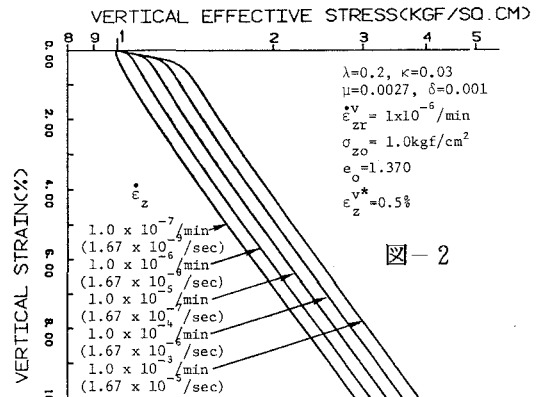


図-2

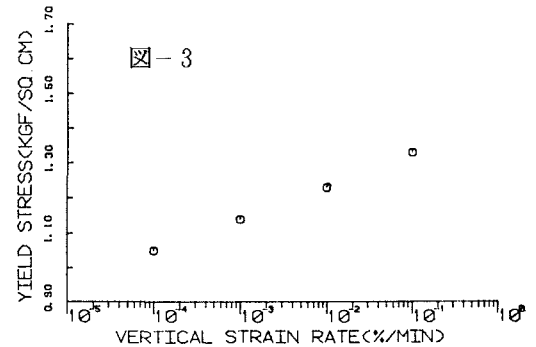


図-3

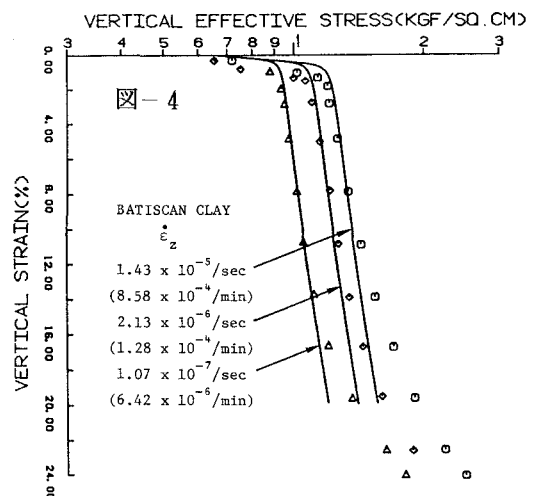


図-4