

平均主応力一定条件下で降伏曲線を決定する逆解析手法の有効性

鹿児島大学工学部 学 岩切和也 正 三隅浩二
同 上 学 福本忠浩 正 佐藤 清

1. はじめに 平均主応力一定試験より正規圧密粘土の降伏曲線を逆解析する方法論を開発してから今までに、逆解析結果に及ぼす三軸供試体の端面拘束の影響や部分排水挙動時の不均質性の影響などを検討してきたが、今回は、時間効果を有する弾粘塑性構成式から得られる応力ひずみ曲線を解析の対象にして提案手法が有効であることを示す。特に、弾塑性パラメータは静止土圧係数 K_0 との整合性を満たすようにして決定する。提案手法の有効性は拘束圧一定試験の応力ひずみ曲線を予測することで確かめた。

2. 弾粘塑性構成式への弾塑性構成式のあてはめ 式(1)は関口、太田による弾粘塑性モデル¹⁾の三軸試験条件式である。左辺の $\dot{v}$ 、 $\dot{\epsilon}$ は体積ひずみ速度とせん断ひずみ速度を表す。左辺第1項は弾性挙動、第2項、第3項が粘塑性挙動を表す。粘塑性ひずみによる内部、外部エネルギー消散の法則はカムクレイモデルのそれと等価である。応力変化がなくても第3項によってクリープひずみが発生するメカニズムになっている。 α は2次圧密係数、 $\dot{v}_0$ は基準体積ひずみ速度であり、これらを0にすると時間効果がなくなり式(1)はカムクレイモデルに帰着する。式(2)は降伏曲線の形を決める塑性ひずみ増分比と応力比の関係を未知とした弾塑性構成式^{*)}である。左辺の $d\epsilon_v$ 、 $d\epsilon_s$ は体積ひずみ増分とせん断ひずみ増分を表す。左辺第1項は弾性挙動、第2項は塑性挙動を表す。すなわち、式(1)より得られる応力ひずみ関係を解析の対象とし、式(2)を逆解析モデルとして用いた。

図1の黒丸のプロットは平均主応力一定排水せん断挙動を載荷速度一定($\dot{q}=1.388 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^2/\text{sec}$)の条件のもとに表1に掲げる弾粘塑性パラメータを用いて式(1)により計算したものである。図2の黒丸のプロットは拘束圧一定排水せん断挙動を同じ載荷速度で計算したものである。本来なら体積ひずみとせん断ひずみは時間効果の含まれる表現 v 、 ϵ で表すべきなのだが、これをあえて時間効果の含まないひずみ ϵ_v 、 ϵ_s であると見なし解析を実行する。詳細な解析の手順は文献2および文献3に譲ることにして、以下に概要を述べる。まず、降伏曲線、すなわち、 $\psi \sim \eta'$ 関係は図1の ϵ_v ラインの接線勾配をはかることによって逆算することができる。解析結果は図3に掲げる。このとき弾塑性パラメータ M 、 D も同時に決定できる。次に、残りの弾塑性パラメータ Λ 、 $\tilde{N}$ を決定するために、図1の ϵ_s ラインおよび図2の ϵ_v ラインの接線勾配をはかる。 Λ 、 $\tilde{N}$ の逆算結果は η' 軸にそって変化するが、いずれも横ひずみの生じない条件で得られる応力比 $\eta' = \eta_{K_0}'$ で代表的な値を決定した。

弾塑性パラメータの逆解析結果を表1に示す。弾粘塑性モデルの K_0 の値は降伏曲線と同様、試験径路と載荷速度を決定してはじめて決定することができる。せん断に伴い $\tilde{N}$ の逆算値は非常に非線形性の強い変化を示すことがわかった。変形解析に役立たせるためには $\tilde{N}$ をせん断後期に修正せざるを得ない場合も生じる。今回、せん断後期に採用した $\tilde{N} = \infty$ は弾性せん断ひずみの発生しない条件を示す。以上の逆解析結果を用いて、図1の ϵ_v 、 ϵ_s 、図2の ϵ_v の3本のラインの再現性を調べた。また、図2の ϵ_s ラインの予測を行い、提案手法の有効性を確かめた。

3. おわりに 図1の ϵ_v ラインを最優先して降伏曲線を決定した理由は、第1に、なによりも解析が簡単であること、第2に、 ϵ_v ラインが ϵ_s ラインに比べて端面拘束の影響を受けにくいことによる。 η_{K_0}' レベルで弾塑性パラメータを決定した理由は、第1に、解析者の主観が入らない結果を出したかったこと、第2に、 η_{K_0}' (すなわち K_0)自身が変形解析に欠かせない粘土の重要な物性値であることによる。

参考文献 1) Sekiguti, H. and H. Ohta: Induced anisotropy and time dependency in clays, Constitutive equations of Soils, Specially Session 9, Ninth Int. Conf. SMFE, Tokyo, pp.229-238, 1977

*) Roscoe, K. H. and J. B. Burland: On the generalized stress-strain behaviour of 'wet' clay, Engineering Plasticity, Cambridge University Press, pp.535-606, 1968

2) 山下, 三隅, 福本, 佐藤: 降伏曲線の逆算による正規圧密粘土における2次圧密挙動の考察, 平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1991

3) 福本, 三隅, 叶, 佐藤: 正規圧密粘土の静止土圧係数 K_0 の決定, 平成元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.422-423, 1990

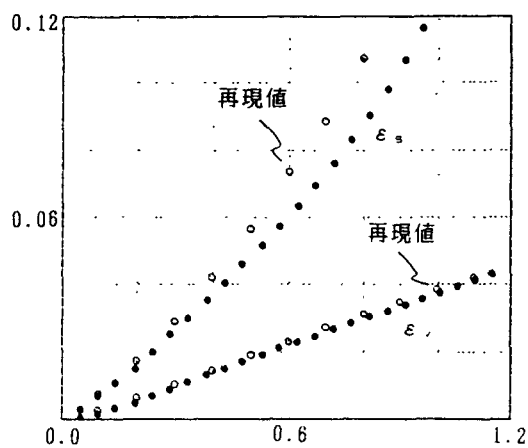


図1 $p' = \text{const.}$ 挙動の再現 η'

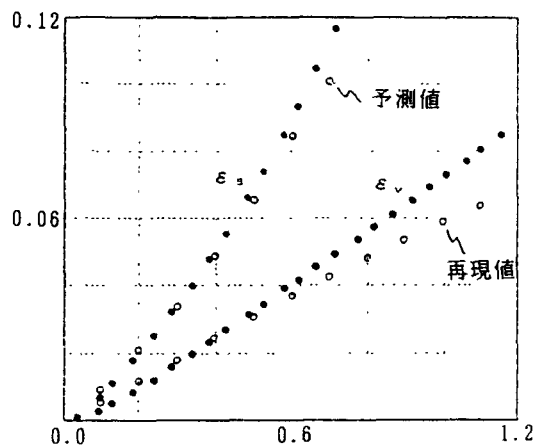


図2 $\sigma' = \text{const.}$ 挙動の予測 η'

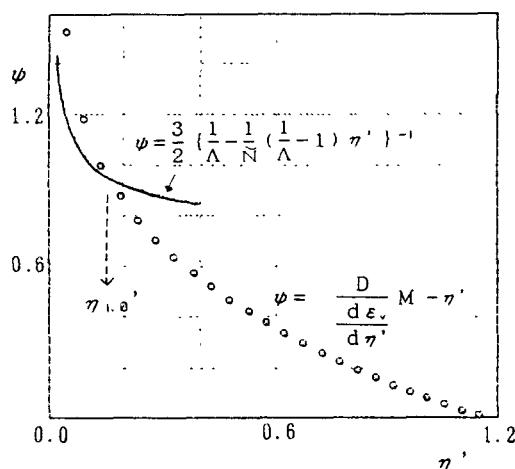


図3 $\psi \sim \eta'$ 関係, $\eta_{v,0}'$ の決定

	弾粘塑性モデル	弾塑性モデル
M	1.2	1.2
D	0.0326	0.0332
Λ	0.4780	0.5253
Λ̃	0.5	0.4381 ∞
K ₀	時間に依存する	0.8550
α	0.005	0
ḡ ₀	10 ⁻⁸	0

表1 弾塑性パラメータの逆算結果

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \dot{v} \\ \dot{\varepsilon} \end{Bmatrix} &= \frac{D}{p'} \begin{bmatrix} \frac{M}{\Lambda} - M & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} \frac{1}{\tilde{\Lambda}} \left(\frac{M}{\Lambda} - M \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{p}' \\ \dot{q} \end{Bmatrix} + \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{v^p}{\alpha} \right) \right\} \cdot \frac{D}{p'} \begin{bmatrix} M - \eta' & 1 \\ 1 & \frac{1}{M - \eta'} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{p}' \\ \dot{q} \end{Bmatrix} \\ &+ \dot{v}_0 \cdot \exp \left(\frac{f - v^p}{\alpha} \right) \begin{Bmatrix} 1 \\ \frac{1}{M - \eta'} \end{Bmatrix} \quad \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_v \\ d\varepsilon_s \end{Bmatrix} &= \frac{D}{p'} \begin{bmatrix} \frac{M}{\Lambda} - M & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} \frac{1}{\tilde{\Lambda}} \left(\frac{M}{\Lambda} - M \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} + \frac{D}{p'} \begin{bmatrix} \frac{M}{\psi + \eta'} & \frac{M}{\psi + \eta'} \\ \frac{M}{\psi + \eta'} & \frac{1}{\psi} \cdot \frac{M}{\psi + \eta'} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \\ &\dots (2) \end{aligned}$$