

## III-203 ダイレクタンシー挙動を推定して降伏曲線を決定する逆解析手法の提案

鹿児島大学工学部 学 佐藤 清 正 三隅浩二  
同 上 学 後藤国彦 学 原 康介

1. はじめに すでに、平均主応力一定排水条件での三軸試験より正規圧密粘土の降伏曲線を決定する方法を提案している<sup>1)</sup>。この方法の特長は、①  $d p' = 0$ なのでダイレクタンシー挙動が直接はかられ、体積ひずみ  $\varepsilon_v$  のデータより簡単に降伏曲線が求められること、②  $\varepsilon_v$  のデータのみから降伏曲線を定めるので逆解析結果への端面拘束の影響が少ない<sup>2)</sup>ことである。しかしながら平均主応力一定試験は拘束圧を変化させる必要があるため、従来から行われてきた拘束圧一定試験に比べて制御が難しく一般的でない。そこで本報告では拘束圧一定試験からも端面拘束の影響の少ない  $\varepsilon_v$  のデータを使って、簡単に降伏曲線を逆算できる方法を新しく提案する。

2. 拘束圧一定排水せん断試験データの解析 まず解析手順を説明する。式(1)は逆解析に用いる弾塑性構成式である。式(1)は4つの弾塑性パラメータ(M, D,  $\Lambda$ ,  $N'$ )を含んでおり、塑性ひずみ増分比  $\phi (= d \varepsilon_v^p / d \varepsilon_s^p)$  と応力比  $\eta'$  の関係が未知のままになっている。式(2)はトータルの体積ひずみ挙動から、 $p'$  の変化によって生じる体積ひずみを引いて得られるダイレクタンシー挙動を示している。 $DM/\Lambda$  がわかっていれば式(2)を  $\eta'$  で微分して得られる式(3)より  $\phi \sim \eta'$  関係が求められる。限界状態時の応力比であるパラメータMは実験データより直接決まるので、式(3)よりパラメータDが求められ、それにより  $\Lambda$  も決まる。式(1)に拘束圧一定条件を導入することにより得られる式(4)に上記で求めたM, D,  $\Lambda$ ,  $\phi \sim \eta'$  関係、および実験より得られる  $d \varepsilon_s / d \eta'$  を代入することにより、 $N'$  が  $\eta'$  に対して非線形なパラメータとして求められる。式(5)は式(1)に横方向のひずみを生じない条件( $d \varepsilon_r = 0$ ,  $\eta' = \text{const.}$ : サフィックスrはradialの意、すなわち  $K_0$  条件)を導入して得られる式である。式(5)に先に決定した  $\Lambda$  と式(4)の  $N'$  ( $\eta'$ ) を代入して得られる  $\phi \sim \eta'$  関係が、式(3)から得られる  $\phi \sim \eta'$  関係のいずれかの値を満たさなければならないことより、 $K_0$  条件における塑性ひずみ増分比  $\phi_{K_0}$  と応力比  $\eta_{K_0}'$  が求められる。 $\phi_{K_0}$  と  $\eta_{K_0}'$  を式(4)に与えることにより求められる  $N'$  ( $\eta_{K_0}'$ ) を  $N'$  の代表値とする。式(6)より降伏曲線形状も求めることができる。

次に実際の解析結果を示す。図1, 図2のプロットは繰返して再圧密した藤の森粘土( $425 \mu\text{m}$  ふるい通過)の拘束圧一定( $\sigma_s' = 2.0 \text{ kgf/cm}^2 = \text{const.}$ )排水せん断試験から得られた体積ひずみ挙動とせん断ひずみ挙動である。今回、 $DM/\Lambda$  は、式(7)および理論的により得る弾塑性パラメータの値( $0.0 \leq \Lambda \leq 1.0$ )を参考に推定した。式(7)における  $DM/\Lambda$  の下限を決定する不等式は、 $d q = 0$  を式(1)に導入することにより得られる。圧密完了時における  $e \sim \ln p'$  曲線の傾きが、正規圧密曲線の傾き  $\lambda$  に到達していない可能性があるため不等号を用いている。 $DM/\Lambda$  の上限を決定する不等式は右に示す式より  $\frac{d}{d \eta'} \left[ \varepsilon_v - \frac{DM}{\Lambda} \ln \frac{p'}{p_{v0}'} \right] \geq 0$  求めた。これはせん断開始時のダイレクタンシー挙動が負(圧縮)でなければならぬ条件を示している。以上の条件から  $DM/\Lambda = 0.082 \sim 0.084$  が得られた。 $\lambda$  で表せば  $\lambda = (DM/\Lambda) \cdot (1 + e_0)$ ,  $e_0 = 0.946$  より  $\lambda = 0.160 \sim 0.164$  となる。図1中の実線は、式(2)より得られるダイレクタンシー挙動を示している。図3のLineAは式(3)より、LineBは式(4)で得られた  $N'$  を式(5)に用いて求めた  $\phi \sim \eta'$  関係である。 $\lambda = 0.160 \sim 0.164$  に対して  $D = 0.065 \sim 0.063$ ,  $\Lambda = 0.988 \sim 0.942$  が得られた。LineAとLineBの交点より  $\eta_{K_0}' = 0.708 \sim 0.725$ ,  $\phi_{K_0} = 1.755 \sim 1.673$ ,  $N' (\eta_{K_0}') = 0.053 \sim 0.270$  が得られた。図4は式(6)から得られた降伏曲線の形と、 $K_0$ -Line ( $K_0 = 0.519 \sim 0.511$ )を示している。図2にM, D,  $\Lambda$ ,  $N'$ ,  $\phi \sim \eta'$  関係を式(1)に代入してせん断ひずみ挙動を再現した結果を実線で示している。図に示すラインはすべて  $\lambda = 0.160$  としたとき得られた結果であるが、 $\lambda = 0.164$  としたときもほとんど同じ結果が得られている。

3. おわりに 次回は三軸試験結果から有限要素法を用いて端面摩擦の影響を除去する方法<sup>3)</sup>を、本報告で提案した新しい解析手法に適用することでさらに精度のよい解析を行いたい。最後に、提案手法は平均主応力一定条件や拘束圧一定条件のみならず、三軸試験条件であれば他のどの様な応力経路の試験結果に対しても有効であることを付記しておく。

## 参考文献

- 1) 三隅: 正規圧密粘土の降伏曲線および弾塑性パラメータの決定, 土木学会論文報告集, 1992, 投稿中
- 2) 佐藤, 三隅, 福本, 山中: 降伏曲線の逆算結果に及ぼす三軸供試体の端面拘束の影響, 平成元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 424-425, 1990
- 3) 三隅, 佐藤, 原, 後藤: 正規圧密粘土のせん断挙動に及ぼす三軸供試体の端面摩擦の影響を除去する方法, 第27回土質工学研究発表会平成4年度発表講演集, 1992

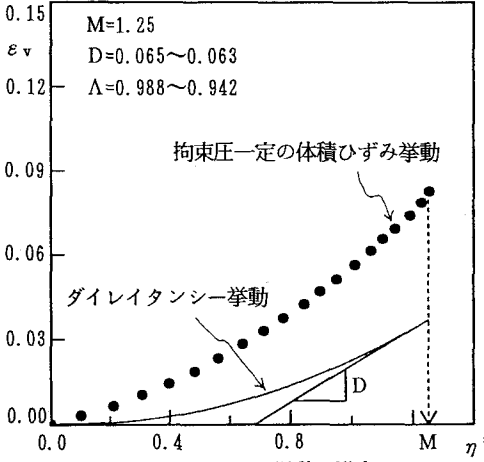


図1 ダイレイタンス挙動の推定

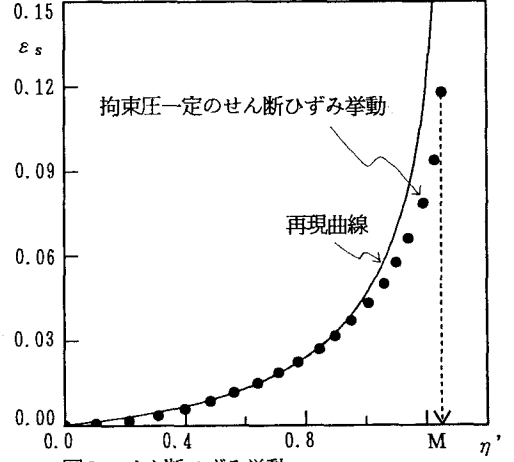


図2 せん断ひずみ挙動

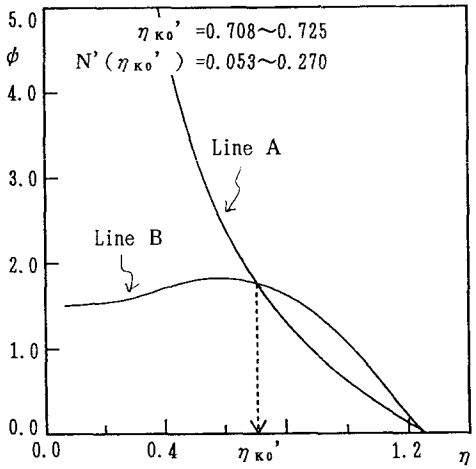


図3  $\phi \sim \eta'$  関係, および  $\eta_{\kappa 0}'$  の検出

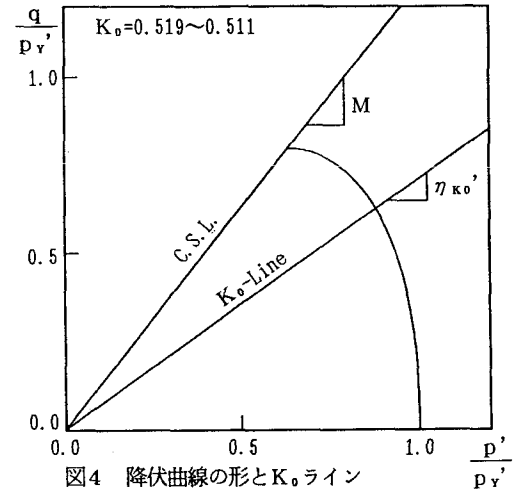


図4 降伏曲線の形と  $K_0$  ライン

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

$$\varepsilon_v - \frac{DM}{\Lambda} \ln \frac{p'}{p_{v0}'} = DM \int_{\eta_0'}^{\eta'} \frac{d\eta'}{\phi + \eta'} \quad \dots(2)$$

$$\phi = \frac{DM}{\frac{d}{d\eta'} \left( \varepsilon_v - \frac{DM}{\Lambda} \ln \frac{p'}{p_{v0}'} \right)} - \eta' \quad \dots(3)$$

$$N' = \frac{2 \left( \frac{1}{\Lambda} - 1 \right)}{\left( \frac{3 - \eta'}{DM} \frac{d\varepsilon_s}{d\eta'} - \frac{1}{\phi} \frac{\phi + 3}{\phi + \eta'} \right)} \quad \dots(4)$$

$$\phi = \frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{\Lambda} - \frac{1}{N'} \left( \frac{1}{\Lambda} - 1 \right) \eta' \right\}^{-1} \quad \dots(5)$$

$$\frac{p'}{p_v'} = \exp \left( \frac{1}{\Lambda} \ln \frac{p'}{p_{v0}'} - \frac{\varepsilon_v}{DM} \right), \quad \frac{q}{p_v'} = \frac{p'}{p_v'} \cdot \eta' \quad \dots(6)$$

$$p' \frac{d\varepsilon_v}{dp'} + q \frac{d\varepsilon_s}{dp'} \leq \frac{DM}{\Lambda} \leq p' \frac{d\varepsilon_v}{dp'} \quad \dots(7)$$

at  $p' = p_{v0}'$  (圧密完了時)  at  $p' = p_{v0}'$  (せん断開始時)