

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

鹿児島大学工学部 学 佐藤 清 正 三隅浩二
同 上 学 福本忠浩 学 山中浩平

1. はじめに 三軸供試体の両端がキャップとベDESTALによって横方向に変位の拘束を受けるとき、供試体の中に不均質性が発生するために土の応力ヒズミ曲線は本来のエレメントの挙動とはならず、その試験径路の選択に依存していくらかのゆがみを生じる。本報告では、そのような土の挙動に対して降伏曲線の形を逆算して、端面拘束の影響の試験径路依存性を考察しているのだが、構成式をフィッティングしてセン断挙動のみから降伏曲線の形を逆算する方法(手法A¹⁾)と圧密試験から得られる圧縮指数 λ 、膨潤指数 κ をもとにセン断時の体積ヒズミデータを解析する方法(手法B²⁾)を三軸試験の数値シミュレーション結果に適用してこのことを調べている。

2. 端面拘束の影響の試験径路依存性の考察 図1は三軸円筒供試体の縦断面の1/4を示しているが、端面にキャップを取り付けた場合の境界条件と解析に用いた構成式(カムクレイモデル)の物性値を掲げている。有限要素解析にはDACSAR³⁾を用いた。図2には圧密～セン断試験径路を示すが、初期降伏曲線を破線で示した。すなわち、初期応力状態は過圧密状態($p' = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$, $q = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$)にあるが、正規状態($p' = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$, $q = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$)まで等方圧縮したのちに、①そのまま等方圧縮を続ける計算と、②拘束圧一定($\sigma_3 = \text{const.}$)条件、③平均主応力一定($p' = \text{const.}$)条件、④ $\sigma_1 = \text{const.}$ 条件のそれぞれの応力径路において排水セン断する計算を行った。図3は、端面拘束があった場合に得られたそれぞれの試験径路における $e \sim \log p'$ 関係を示す。この図より、圧縮指数($\lambda = 0.269$)、膨潤指数($\kappa = 0.138$)およびセン断開始時の間隙比($e_0 = 2.033$)が読み取れる。さて、降伏曲線の形 $p' / p_y' \sim q / p_y'$ 関係は手法Aにせよ手法Bにせよ同じ方程式、式(1)を用いて求められる。

$$p' / p_y' = \exp \{ \ln(p' / p_0') / \Lambda - \varepsilon_v / DM \}, \quad q / p_y' = \eta' * p' / p_y' \dots (1)$$

手法Aと手法Bとの違いは手法Aはセン断中の応力ヒズミ曲線の接線勾配をはかって Λ , DM を得るのに対して、同じパラメータを手法Bは圧縮試験より得られた λ , κ , e_0 から得ている点にある。このとき、 $\Lambda = 1 - \kappa / \lambda$, $DM = (\lambda - \kappa) / (1 + e_0)$ の関係を使う。応力径路②, ③, ④における降伏曲線の解析結果を図4, 図5, 図6に示す。○は端面拘束のない場合にそれぞれの径路から求めた降伏曲線を表すが、手法Aからも手法Bからもほとんど同じ結果が得られた。一方、●は端面拘束がある場合の解析結果である。手法Bがどの径路でも解析に成功しているのに対し、手法Aの成功例は $p' = \text{const.}$ 試験の場合だけである。これは $\varepsilon_v \sim \eta'$ 関係が $\varepsilon_v \sim \eta'$ 関係よりも顕著に端面拘束の影響を受けてしまうため、セン断ヒズミのデータを必要とする径路②, ④における手法Aの解析が成功しなかったものと考えられる。図5において手法Aと手法Bの解析結果における違いはほとんどなかった。ここで注目すべきことは、図4における解析結果よりも図5の結果の方が精度がよいことである。これは M の決定に依存しているものと考えられる。さらに、径路④の解析では有限要素の1部に若干の弾性挙動が生じていた点である。カムクレイモデルの代わりにモディファイドカムクレイモデルを使っていたならば、端面拘束のあるなしに関わらず降伏曲線の形の違いにより、この弾性挙動は供試体のほぼ全領域に必然的に生じるものと考えられる⁴⁾。すなわち、径路④は降伏曲線を逆算するには危険が伴う径路であるといえる。

3. おわりに 以上の考察より径路②, ④よりも径路③を使った方が逆解析に有利であることがいえる。手法Aで径路②の解析を成功させるためにはセン断ヒズミデータを修正することが必要であると考えている。手法Bの解析が比較的うまくいったのは λ , κ を同じ境界条件の等方圧縮試験で決定したこと、理想的な数値シミュレーションの結果であり他の試験誤差が入ってこないためであると考えられる。実際には、圧密試験による独特な試験誤差とセン断試験の独特な試験誤差がかけあわされたものが手法Bの結果として出てくることが考えられるので注意が必要である²⁾。

参考文献 1) 叶, 三隅, 福本, 佐藤: 正規圧密粘土の降伏曲線の逆解析, 平成元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1990 2) 山中, 三隅, 福本, 叶: 正規圧密粘土の降伏曲線の図式決定法, 平成元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1990 3) H.Ohta, A.Iizuka: DACSAR FEM program Manual Dept. of Civil Engineering Kyoto University, 1983 4) 三隅, 福本, 叶, 佐藤: モディファイドカムクレイモデルにおける変形の不連続性, 平成元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1990

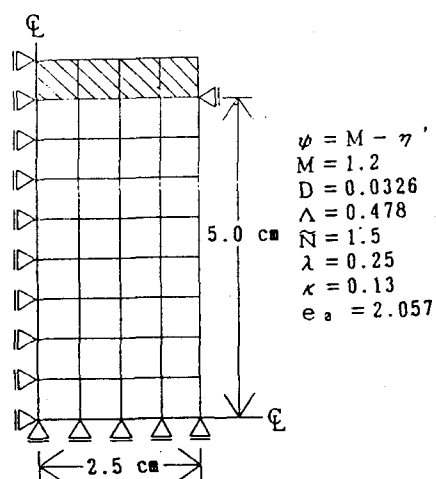


図1 三軸供試体の境界条件及び物性値

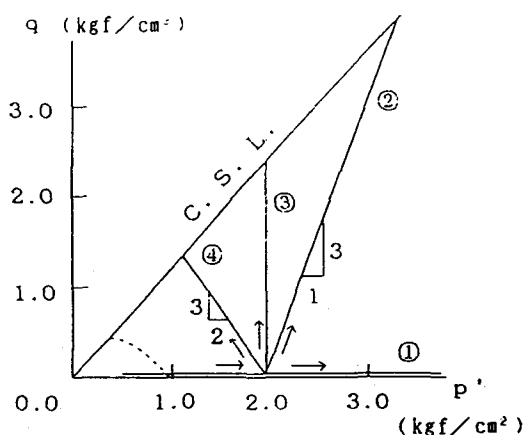


図2 初期降伏曲線と圧密～セン断応力経路

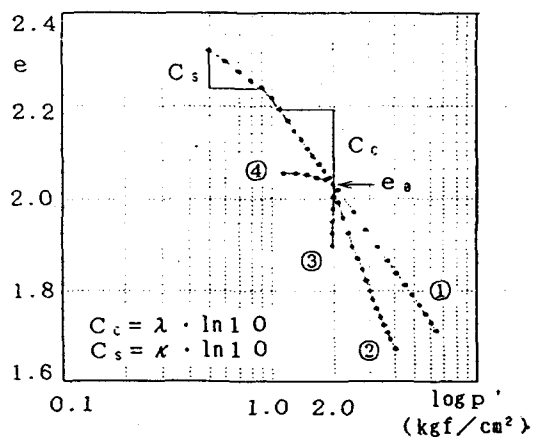


図3 端面拘束時の $e \sim \log p'$ 関係

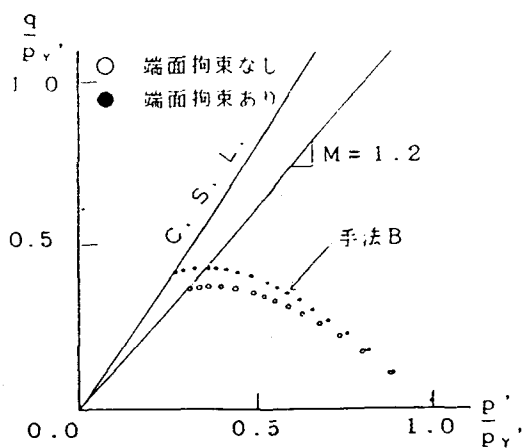


図4 $\sigma_3' = \text{const.}$ 排水セン断試験 (経路②)

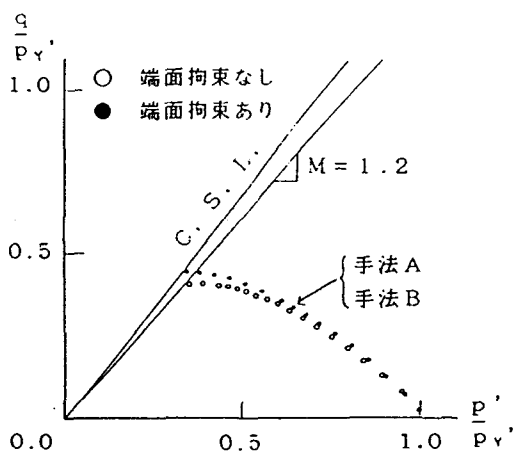


図5 $p' = \text{const.}$ 排水セン断試験 (経路③)

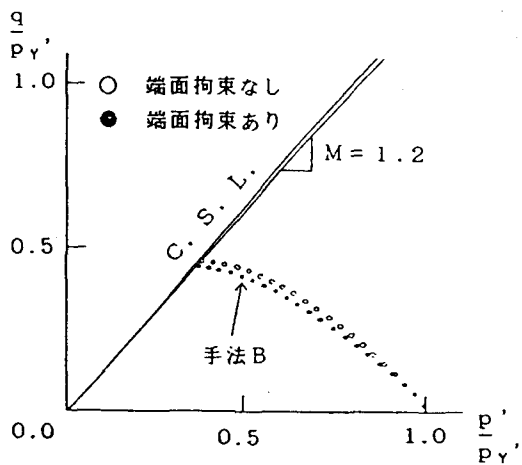


図6 $\sigma_1' = \text{const.}$ 排水セン断試験 (経路④)