

三軸圧縮試験をモデル試験と見なして行う逆方向解析

鹿児島大学工学部 学○佐藤 清 正 三隅浩二

1. はじめに 正規圧密粘土の三軸圧縮試験より弾塑性パラメータや降伏曲線を逆算するとき、試験結果をエレメントの挙動として扱えば逆算結果に端面拘束の影響が含まれる。すでに三軸試験をモデル試験と見なして端面拘束の影響を除去する方法を提案している¹⁾が、今回、それを発展させ、拘束圧一定($\sigma_s = 2.0 \text{ kgf/cm}^2 = \text{const.}$)排水三軸圧縮試験データの解析を試みた。試料は練返し再圧密した藤の森粘土($425 \mu\text{m}$ ふるい通過試料)である。逆解析には弾塑性構成式、式(1)を用いた。

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

2. 排水三軸圧縮試験の逆方向解析 まず、三軸試験をエレメント試験と見なす解析²⁾を行う。この場合、式(1)を実験より得られた応力~ひずみ曲線に直接あてはめればよい。図1に実験より得た体積ひずみ ε_v ~応力比 η' 曲線を、図2にせん断ひずみ ε_s ~ η' 曲線をそれぞれプロットで示す。逆解析には $\varepsilon_s = 12\%$ までのデータを用いた。ひずみと応力の計算は圧密開始時を基準にしている。さて、 λ と N' の決定方法は文献2)と異なる。 λ は圧密過程の $e \sim \ln p'$ 関係より決定した。 N' は実験によって得られた $\eta_{L'}$ と式(1)による再現曲線の η_r' の差 δ が最小になるように決めた。 δ は式(2)により計算した。表1の[n=1]に逆算結果を示す。[n=1]は逆算結果への端面拘束の影響回数が1回であることを表す。

$$\delta = \sum \{ [\eta_{L'}(\varepsilon_s) - \eta_r'(\varepsilon_s)]^2 \} / m \dots (2)$$

$\eta_{L'}$: 実験値 η_r' : 再現値 m : データ数

三軸試験をモデル試験と見なす解析では、有限要素法による三軸試験の数値シミュレーションを行う。供試体は図3に示すようにモデル化した。個々の有限要素は式(1)に従う。排水・境界条件は実験と同じなので、得られた応力~ひずみ曲線が実験結果と一致するとき、その入力値は端面拘束の影響を含んでいない。その値は以下の手順で決定する。 a , b , c はダイレイタンス $\varepsilon_v^d (= a(\eta')^b \exp(c\eta'))$ を計算するためのパラメータである。 a , b , c および λ は表1の[n=1], [n=2]の値を考慮する。[n=2]は[n=1]に示すパラメータを入力値とした数値シミュレーション結果を、エレメントの挙動と見なしたときの逆算結果である。このとき端面拘束の影響回数は2回である。端面拘束の影響回数 n とパラメータの値に線形関係をあてはめて、[n=0]の λ , a , b , c を決めた。つきに M , N' を仮定すれば a , b , c , M より D が、 λ , M , D , e_0 より Λ が決まる。これらを入力値として有限要素法による数値シミュレーションを行い η_r' を求め、式(2)の δ の最小化を行う。以上の手法で決定されたパラメータの値を表1の[n=0]に示す。

図1, 2のラインは拘束圧一定試験結果の再現曲線である。破線がエレメント試験と見なした場合、実線がモデル試験と見なした場合である。表1に示すようにパラメータの値には差があるが、再現曲線を見る限り、顕著な差はみられない。図4, 5のラインは拘束圧一定試験と同じ試料を用いた平均主応力一定($p' = 2.0 \text{ kgf/cm}^2 = \text{const.}$)排水条件での三軸圧縮試験の予測結果である。この場合も図1, 2と同様に、どちらも実験値をうまく予測できている。以上の考察より、実験に用いた直径5cm, 高さ12.5cmの供試体については、弾塑性パラメータに端面拘束が影響するものの、エレメントと見なして問題ないことがわかる。

3. おわりに 今回提案した三軸試験をモデル試験と見なして行う逆解析は、①高さの短い供試体の試験結果を解析する場合³⁾、②逆解析結果の応力径路依存性を考察する場合⁴⁾について有効であると考えている。

参考文献 1) 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2分冊の1, pp.699-702, 1992. 2) 佐藤, 三隅, 後藤, 原: ダイレイタンス挙動を推定して降伏曲線を決定する逆解析手法の提案, 第47回土木学会年次学術講演会講演概要集第3部, pp.446-447, 1992. 3) 黒木, 三隅, 佐藤: 高さの短い粘土供試体の三軸圧縮試験, 平成4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1993. 4) 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.

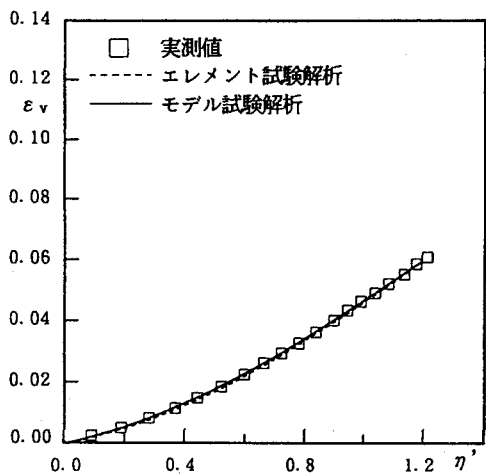


図1 拘束圧一定試験（体積ひずみ）の再現

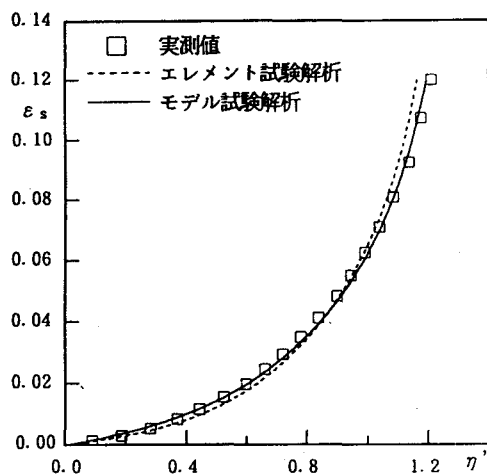


図2 拘束圧一定試験（せん断ひずみ）の再現

表1 弾塑性パラメータの逆算結果

	n=0	n=1	n=2
λ: 圧縮指数	0.123	0.122	0.121
a	0.040514	0.044092	0.047670
b	2.3897	2.2831	2.1765
c	-0.65932	-0.70607	-0.75282
M: 限界状態パラメータ	1.22	1.3095	1.3366
D: ダイレイタンスー係数	0.0379	0.0336	0.0287
Λ=1-κ/λ	0.7556	0.7249	0.6374
$N' = \frac{3(1-2\nu')}{1+\nu'}$	0.6	0.9	3.0

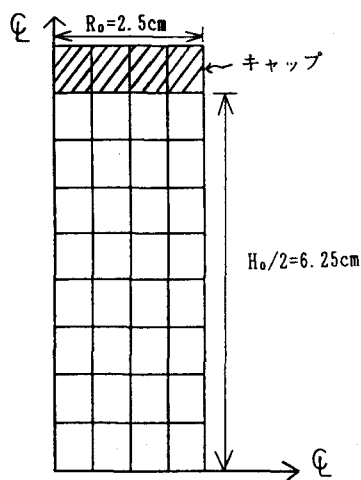


図3 三軸供試体モデル

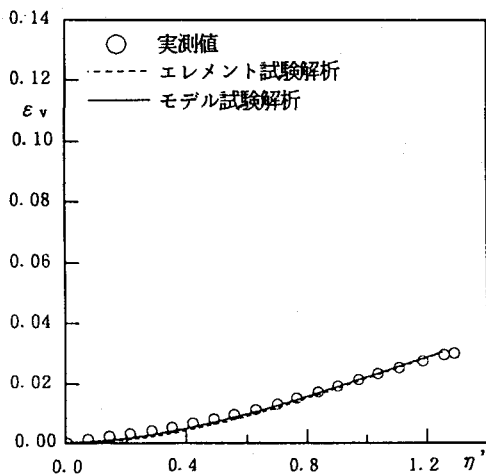


図4 平均主応力一定試験（体積ひずみ）の予測

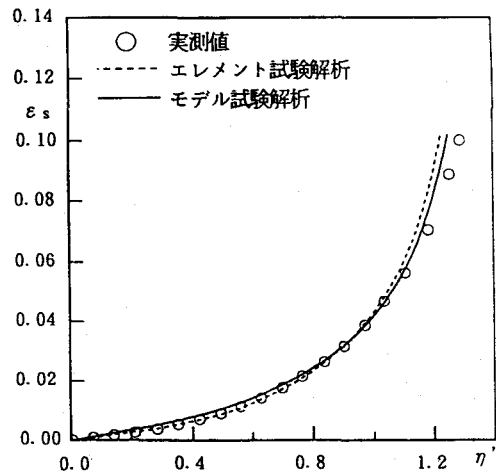


図5 平均主応力一定試験（せん断ひずみ）の予測