

## 圧縮から膨張に転ずる時点で得られる砂質土の弾塑性パラメータ

～砂質土の弾塑性パラメータを  
均質な応力とひずみの状態で決定する試み～

鹿児島大学工学部 正 ○三隅浩二

同 上 大学院学生 秋吉智文

同 上 工学部卒業生 大川内一博

1.はじめに 土は理想的にエレメントの状態排水三軸せん断試験されるとき、その土の過圧密の程度が同じなら、初期の比体積、拘束圧の違いに関わらず得られた応力比～ひずみ関係曲線はすべて一致するものとする。この考えに基づき、一連の三軸せん断試験のデータより砂質土の圧縮指数 $\lambda$ を決定する方法を提案してきている<sup>1)～3)</sup>。ところが、三軸供試体上下端における端面拘束は、せん断が進むにつれて三軸供試体の応力とひずみの不均質を助長させる。この影響は粘性土よりも砂質土の場合に顕著であり、例えば、ピーク破壊する時点で三軸供試体はもはや不均質きわまりなく、とてもエレメント試験などと言える状況ではない。従って、最初に提案したピーク破壊時のデータを用いて圧縮指数 $\lambda$ を決める方法<sup>3)</sup>は、値が決まらなかったり<sup>1)</sup>、決まったとしても精度にかなりの疑問が残った。そこで、今回は三軸供試体が比較的均質な状況で圧縮指数 $\lambda$ およびその他の弾塑性パラメータを決定することを試みている。すなわち、三軸供試体がせん断中に圧縮から膨張に転ずる時点で砂質土のほとんどの弾塑性パラメータが決定できることを明らかにする。

2.しらすの三軸せん断試験の概要 試料は鹿児島県垂水市で採取された山しらすであり、850 $\mu\text{m}$ ふるいを通し75 $\mu\text{m}$ ふるいに残留したものを使用した。土粒子の密度2.42g/cm<sup>3</sup>、最大間隙比1.76、最小間隙比1.00である。三軸供試体は試料を水中落下させてモールドに体積したものを凍結して作製した。この供試体作製に伴うしらす土粒子の構造を消失させるために、いずれの供試体も $p' = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ において平均主応力一定条件で応力比 $\eta' = q/p' = 1.2$ までの載荷と除荷を繰り返す静的載荷による攪乱を与えている<sup>2)</sup>。繰返し回数はいずれも2回とした(図3参照)。さて、図1、図2はその静的繰返し載荷を被った三軸供試体を所定の圧力まで等方圧縮した後平均主応力一定条件で三軸排水せん断試験した結果を示している。すなわち、図1-1、図1-2は $p' = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の応力比～せん断ひずみ関係ならびに体積ひずみ～せん断ひずみ関係を示す。図2-1、図2-2は $p' = 2.8 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の同様な試験結果を示す。

3.均質な応力とひずみの状態で得られる砂質土の圧縮指数 $\lambda$  圧縮指数 $\lambda$ はせん断時における体積ひずみやせん断ひずみの発生量を定める硬化則に関わる重要なパラメータである。この圧縮指数 $\lambda$ を過圧密の程度( $v_\lambda = v + \lambda \ln p'$ )の等しい2組の比体積 $v$ と平均有効主応力 $p'$ の値を用いて決定することができる。すなわち、三軸供試体が圧縮から膨張に転ずるときまでに生じた最大の圧縮ひずみ $\varepsilon v_{\max}$ に注目し、 $(\varepsilon v_{\max})_B = (\varepsilon v_{\max})_C$ ならば $(v_\lambda)_B = (v_\lambda)_C$ 、すなわち、 $(v)_B + \lambda (\ln p')_B = (v)_C + \lambda (\ln p')_C$ の関係より $\lambda = ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p')_C - (\ln p')_B)$ を決定することができる<sup>1)</sup>。図4は圧縮から膨張に転ずるときの $\varepsilon v_{\max}$ とその時の $v$ の関係を示す。 $p' = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ と $p' = 2.8 \text{ kgf/cm}^2$ のデータのそれぞれに実験公式( $y = a \cdot x^b$ ,  $y = \varepsilon v_{\max}$ ,  $x = v$ )をあてはめて、青線( $a = 1E-08$ ,  $b = 15.126$ )と赤線( $a = 8E-10$ ,  $b = 19.302$ )を得ている。これらの曲線の隔たりが $(v)_B - (v)_C$ なのだが、実のところこれら2曲線は厳密には平行でない。そこで最大の $\varepsilon v_{\max}$ と最小の $\varepsilon v_{\max}$ の中間の $\varepsilon v_{\max} = 0.00814$ で $(v)_B - (v)_C$ を求めて $\lambda = 0.37$ の値を得ている。実験公式のあてはめには直線を用いる<sup>1)～3)</sup>よりも今回のように曲線を用いた方が精度がよいものと考えられる。

4.限界状態線、正規圧密線に関わる弾塑性パラメータ 図5のプロットは各試験で得られた圧縮から膨張に転ずるときの $d\eta'/d\varepsilon_s$ とその時の $v_\lambda$ の関係を示す。右下がりの直線はプロットに線形最小二乗法を適用して得たものである。この直線を用いて $d\eta'/d\varepsilon_s = 0$ のときの $v_\lambda$ の値より限界状態線の位置を決めるパラメータ $\Gamma = 3.12$ を決定することができた。また、圧縮から膨張に転ずるときの応力比 $\eta'$ より $M$ を決定することができる。なお、等方除荷などにより膨潤指数 $\kappa$ が得られていれば、弾塑性パラメータ間の理論的關係 $N = \Gamma + (\lambda - \kappa) \ln 2$ より正規圧密線の位置を決めるパラメータ $N$ を決定することもできる。

5.弾性パラメータ $G'$ 、 $v'$ の決定 土のダイレイタンスはすべて塑性挙動であるとすれば、土が圧縮から膨張に転ずる時点では、その瞬間塑性体積ひずみの発生がなくなるので同時に $d\varepsilon_s^p = 0$ となり、せん断挙動はその時弾性挙動だけの状態である。そこで、三軸供試体が圧縮から膨張に転ずる時点の変形係数 $d\eta'/d\varepsilon_s$ を測定すれば $G' = p'(d\eta'/d\varepsilon_s)/3$ を決定することができる。また、膨潤指数 $\kappa$ が得られていれば $G' = 1.5 \cdot v_0 p' (1 - 2v') / (1 + v') / \kappa$ の関係よりポアソン比 $v'$ を決定することができる。

6.おわりに 図6のプロットは各試験で得られた圧縮から膨張に転ずるときの $\varepsilon v_{\max}$ とその時の $\ln v$ との関係を示す。とりあえず直線をあてはめてみたが2直線は平行でないことがわかる。今後、曲線のあてはめも行って $\ln v \sim \ln p'$ 関係の検討も行っていく予定である。また、平均主応力一定試験を行わなくても通常の拘束圧一定試験の結果を用いて今回と同様なアプローチが行えることを最後に付記しておく<sup>3)</sup>。

参考文献 1) 三隅浩二, 吉村公孝ほか, しらす三軸供試体における構造喪失と過圧密解消のメカニズム, 第41回地盤工学研究発表会, 掲載予定, 2006.7. 2) 三隅浩二, 吉村公孝ほか, 三軸せん断試験時に発揮されるシラスの圧縮指数の決定, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.387-388, 2006.3. 3) 三隅浩二, 秋吉智文ほか, 三軸せん断試験による砂質土の圧縮指数の決定, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集第1分冊, pp.A214-A125, 2005.3.

キーワード: 三軸せん断試験, 砂質土, しらす, 圧縮指数, ダイレイタンス, 弾塑性構成式

〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40 鹿児島大学工学部 TEL&FAX:099-285-8474

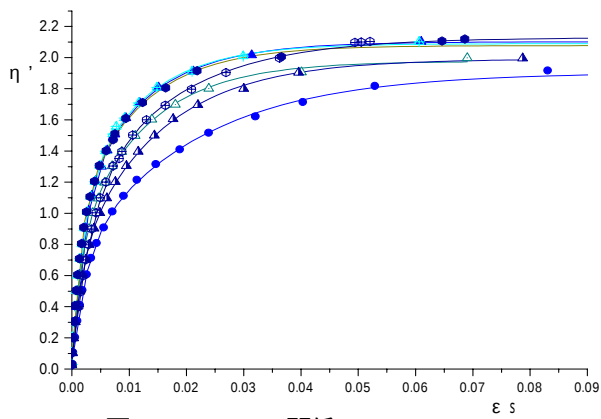
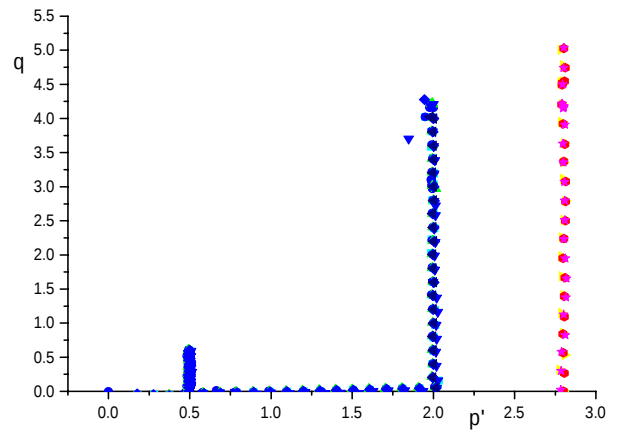
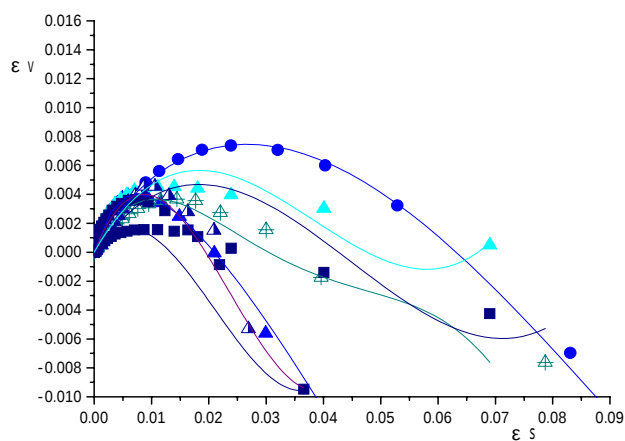
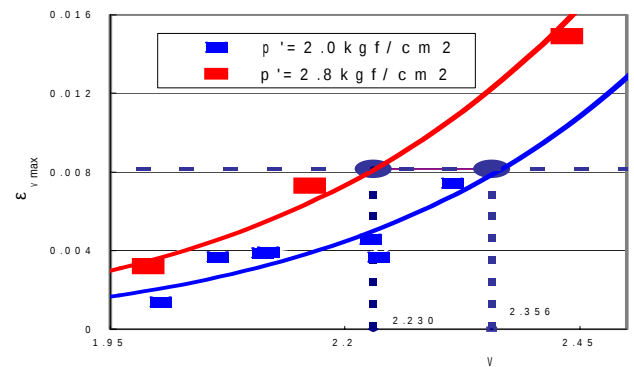
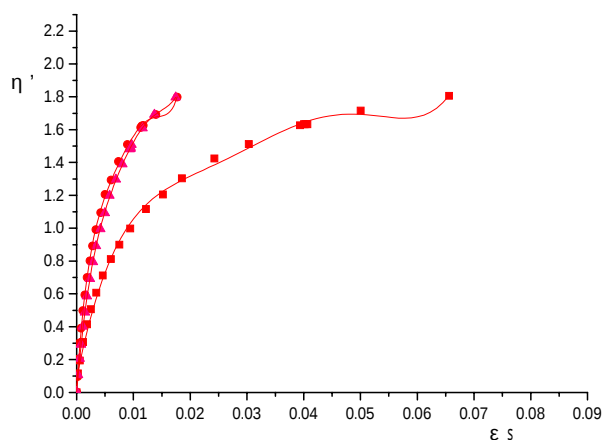
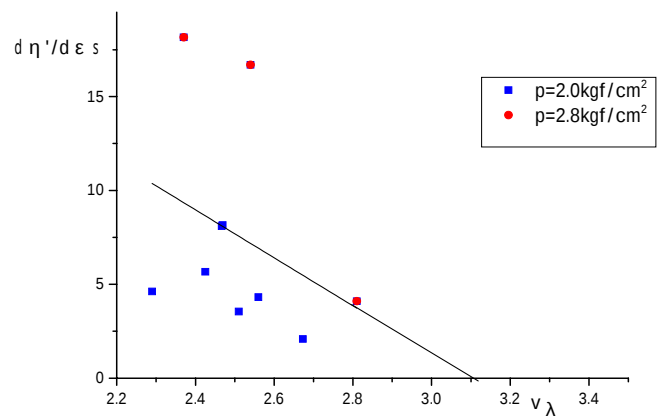
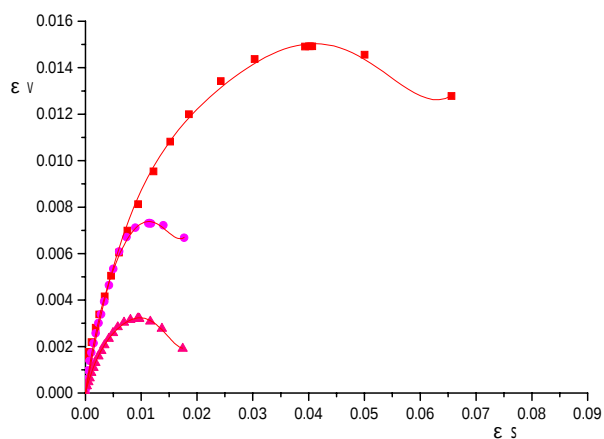
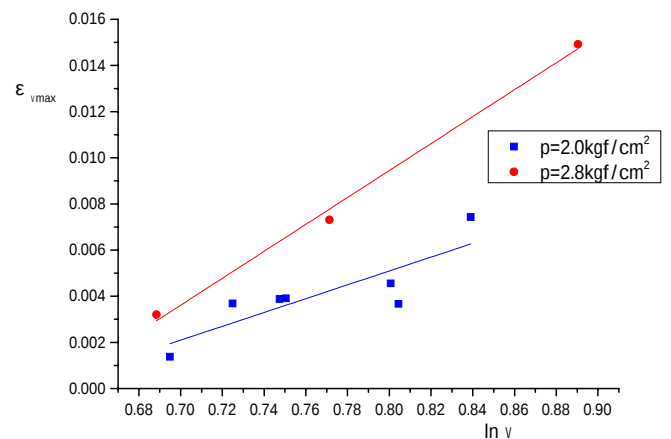
図 1-1  $\eta' \sim \epsilon_s$  関係( $p'=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ )

図 3 排水三軸せん断試験の応力経路

図 1-2  $\epsilon_v \sim \epsilon_s$  関係( $p'=2.0 \text{ kgf/cm}^2$ )図 4  $\epsilon_{vmax} \sim v$  関係図 2-1  $\eta' \sim \epsilon_s$  関係( $p'=2.8 \text{ kgf/cm}^2$ )図 5  $d\eta'/d\epsilon_s \sim v_\lambda$  関係図 2-2  $\epsilon_v \sim \epsilon_s$  関係( $p'=2.8 \text{ kgf/cm}^2$ )図 6  $\epsilon_{vmax} \sim \ln v$  関係