

三軸せん断試験による砂質土の圧縮指数の決定

鹿児島大学工学部 正〇三隅浩二

鹿児島大学大学院 秋吉智文 木村裕樹 吉村公孝

1. はじめに 地盤の変形・破壊予測を行うためには事前に地盤を構成する土質材料の弾塑性パラメータを正しく評価しておくことが必要である。有限要素法などによる予測結果は用いたパラメータの数値に大きく依存し、したがって、予測の精度はどのようにしてそれらのパラメータを決めたのかに大きく左右される。本報告では、三軸せん断試験結果より砂質土の圧縮指数 λ を決定する方法を提案する。今回は、サクラメントリバー砂の三軸せん断試験結果より λ を決定して提案方法の有効性を検討する。

2. 圧縮指数 λ の決定の考え方 参考文献1によれば、正規圧密線と限界状態線の式はそれぞれ $v = N + \lambda \ln p'$ 、 $v = \Gamma + \lambda \ln p'$ と表される。ここに N 、 Γ は $v \sim \ln p'$ 空間における正規圧密線と限界状態線の位置を決める。 $v \sim \ln p'$ 空間では、正規圧密線と限界状態線はお互いに平行でその傾き λ が圧縮指数である。 $v \sim \ln p'$ 空間において、正規圧密線と限界状態線と同じ傾きを持つ平行線 $v = v_\lambda + \lambda \ln p'$ を無数に引くことができる。この時 $v_\lambda = v + \lambda \ln p'$ は N 、 Γ 同様それぞれの線の位置を決める。 $\Gamma < v_\lambda < N$ の時、 v_λ 一定線は異方圧密線を示す。一方、 $v_\lambda < \Gamma$ の時、 v_λ 一定線はピーク破壊時の応力比 η_{peak}' が等しい線を示している。

さて、通常の応力レベルにおける砂質土の三軸せん断試験結果では $v_\lambda < \Gamma$ となることが多い。そこで、密度と拘束圧の異なる複数の三軸せん断試験を実施して、 η_{peak}' の等しい実験結果 B 、 C を得ることができれば、次の考え方により λ を決定することができる。すなわち、 $(\eta_{peak}')_B = (\eta_{peak}')_C$ ならば $(v_\lambda)_B = (v_\lambda)_C$ である。 $v_\lambda = v + \lambda \ln p'$ より、 $(v)_B + \lambda (\ln p')_B = (v)_C + \lambda (\ln p')_C$ が成り立つ。 v 、 $\ln p'$ はいずれも既知なので次式により未知パラメータ λ を決定することができる。 $\lambda = ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p')_C - (\ln p')_B)$ 。

3. サクラメントリバー砂²⁾の λ の決定 図1はせん断開始時点の体積比がいずれも1.61である密なサクラメントリバー砂の応力比 $\sim$ せん断ひずみ関係ならびに体積ひずみ $\sim$ せん断ひずみ関係(試験1～試験5)を示している。一方、図2はせん断開始時点の体積比がいずれも1.87のゆるいサクラメントリバー砂の試験結果(試験6～試験9)を示している。

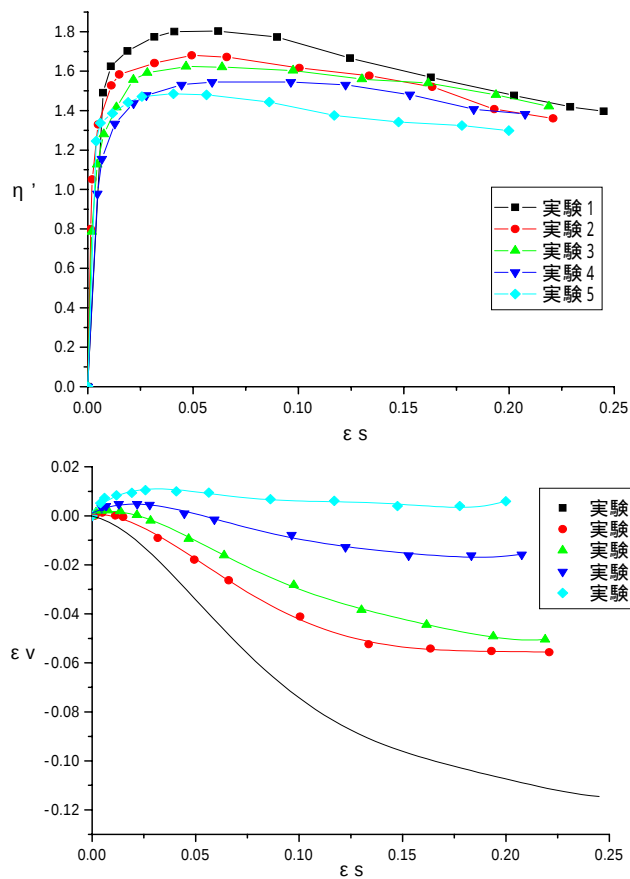
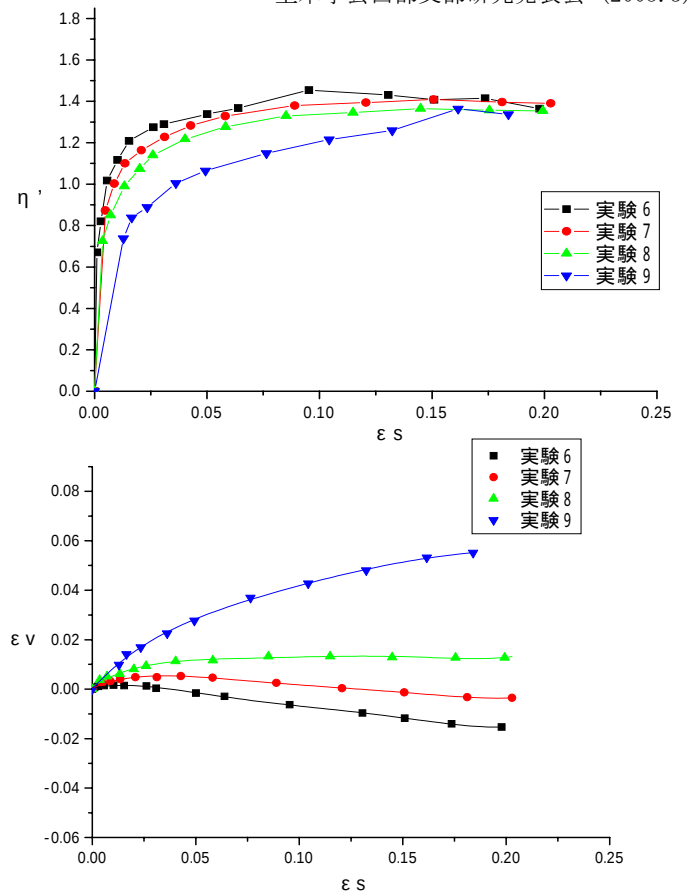
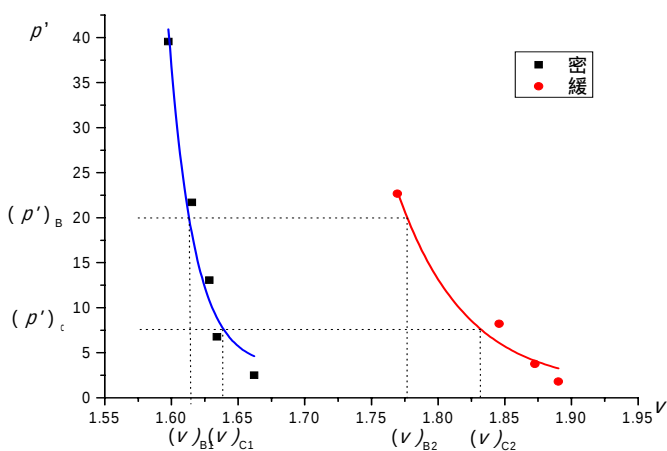
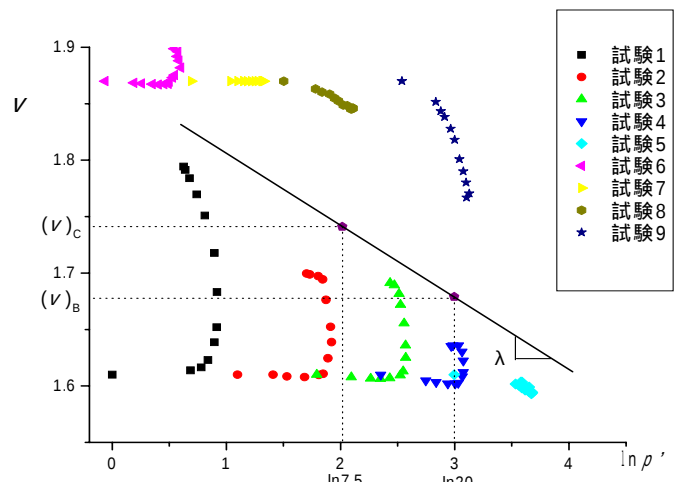
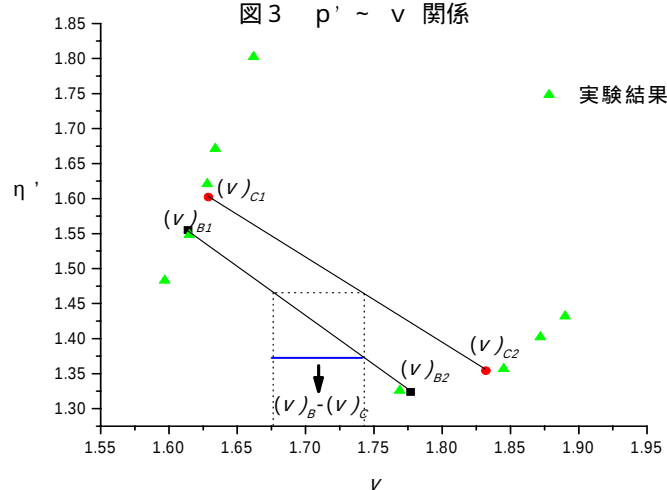
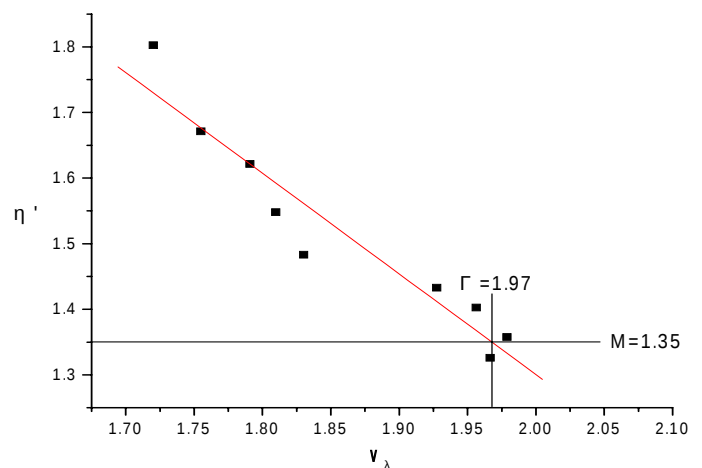
さて、図3は応力比 η' が最大の時の平均有効主応力 p' とその時の比体積 v の関係を示す。この図より $(p')_B = 20.0 \text{ kgf/cm}^2$ と $(p')_C = 7.50 \text{ kgf/cm}^2$ に対する体積比 $(v)_{B1}$ 、 $(v)_{B2}$ 、 $(v)_{C1}$ 、 $(v)_{C2}$ の値を読み取ることができる。図4は最大の応力比 η_{peak}' とその時の v の関係を示す。この図より $(v)_{B1}$ 、 $(v)_{B2}$ 、 $(v)_{C1}$ 、 $(v)_{C2}$ に対する応力比 $(\eta_{peak}')_{B1}$ 、 $(\eta_{peak}')_{B2}$ 、 $(\eta_{peak}')_{C1}$ 、 $(\eta_{peak}')_{C2}$ を得ることができる。結局、 $(v, \eta_{peak}')_{B1}$ と $(v, \eta_{peak}')_{B2}$ 、また $(v, \eta_{peak}')_{C1}$ と $(v, \eta_{peak}')_{C2}$ を直線で結べば、これらの直線の隔たりが $(v)_B - (v)_C$ となっている。実のところこれら2直線は平行でないので平均の η_{peak}' で $(v)_B - (v)_C$ を決定した。すなわち、 $\lambda = ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p')_C - (\ln p')_B) = 0.0632$ となる。

図5のプロットはせん断試験結果を $v \sim \ln p'$ 空間に示したものである。傾き λ の直線は $\eta_{peak}' = 1.46$ の線である。図6のプロットは各試験で得られた η_{peak}' と $v_\lambda = v + \lambda \ln p'$ の関係を示している。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。この直線を用いて限界状態線の位置を決めるパラメータ Γ を $\eta_{peak}' = M$ のときの v_λ の値より決定することができる³⁾。

4. おわりに 土の構成式を見てわかるように、土のせん断挙動とは、殆どの弾塑性パラメータが同時に寄与してひずみを発生させる力学的現象である。したがって、わざわざ高圧をかけて正規圧密線の λ を得ずとも通常の応力レベルのピーク破壊時のデータから λ を得ることができる。同様に、限界状態パラメータ M も試験が限界状態に到達しなくてもピーク強度時までのデータより決定することができる³⁾。

参考文献 1) J.H. Atkinson, P.L. Bransby, The Mechanics of Soils, McGRAW-HILL Book Company(UK) Limited, pp.235-262, 1978. 2) Poul V. Lade, Elasto-plastic Stress-Strain Theory for Cohesionless Soil with Curved Yield Surfaces, Report to the National Science Foundation Grant No.GK37445, pp.1-97, 1975.11.

3) 三隅浩二, 川添隆志ほか, 弾塑性構成式によるしらすの応力ひずみ曲線の再現, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集大分冊, pp.A214-A125, 2004.3.

図1 $\eta' \sim \varepsilon v \sim \varepsilon s$ 関係図2 $\eta' \sim \varepsilon v \sim \varepsilon s$ 関係図3 $p' \sim v$ 関係図4 $v \sim \ln p'$ 関係図5 $\eta'_{\text{peak}} \sim v$ 関係図6 $\eta'_{\text{peak}} \sim v_\lambda$ 関係