

砂質土の圧縮指数を複数のせん断試験結果より決定する試み

鹿児島大学工学部 正 〇三隅浩二
八千代エンジニアリング 有野 亮

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。有限要素法による予測結果は用いた弾塑性パラメータの数値に大きく依存し、従って、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。圧縮指数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決める硬化則に関わる重要なパラメータである。そこで、砂質土の圧縮指数を複数のせん断試験結果より決定するユニークな方法について提案してきたが^{1), 2), 3), 4)}、平均主応力一定三軸圧縮試験結果への適用がほとんどであった。そこで、今回、一般に行われる拘束圧一定ひずみ制御三軸圧縮結果に対して提案手法を試みたので報告する。

2. 圧縮指数の決定の考え方

下図に示すように正規圧密線と限界状態線はそれぞれ $v = N - \ln p'$ 、 $v = v^p - \ln p'$ と表される⁵⁾。ここに、 v は比体積 ($v = 1 + e$ 、 e は間隙比)、 p' は平均有効主応力であり、 $v \sim \ln p'$ 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が圧縮指数である。さて、 $v \sim \ln p'$ 空間において正規圧密線や限界状態線と同じ傾きを持つ平行線 $v = v^p - \ln p'$ は無数に引くことができる。そこで、本研究では圧縮指数の決定にこの A-B 線を利用する。すなわち、せん断の前半に発生する最大の圧縮ひずみ v_{max} に着目し、複数のせん断試験を実施して $(v_{max})_A = (v_{max})_B$ の結果を探し出し、 $(v_{max})_A = (v_{max})_B$ ならば $(v^p)_A = (v^p)_B$ と考えて、次式より圧縮指数を決定する。

$$= ((v^p)_A - (v^p)_B) / ((\ln p')_B - (\ln p')_A) \cdots (1)$$

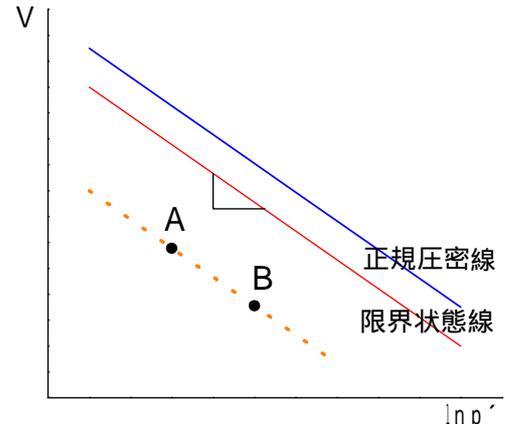


図1 $v = v^p - \ln p'$ 関係概略図

3. 砂質土の三軸せん断試験の概要

試料には豊浦標準砂を用いた。三軸供試体は試料を水中落下させてモールドに堆積したものを凍結して作製した。さて、図2、図3は三軸供試体を所定の圧力まで等方圧縮した後、拘束圧一定条件で三軸排水せん断試験して得られた試験結果を示している。すなわち、図2(上)、図2(下)は $\sigma'_3 = 1.0 \text{ kgf/cm}^2 (98 \text{ kN/m}^2)$ の場合の応力比 $\sigma'_1/\sigma'_3 \sim$ せん断ひずみ関係 s ならびに塑性体積ひずみ $v^p \sim$ せん断ひずみ関係 s を示す。図3(上)、図3(下)は $\sigma'_3 = 3.0 \text{ kgf/cm}^2 (294 \text{ kN/m}^2)$ の場合の同様な試験結果を示す。塑性体積ひずみは $v^p = v - v_{0.2} / v_{0.2} \cdot \ln(p'/p'_{0.2})$ より求めている。ここで $v_{0.2}$ は膨潤指数であり、等方圧縮後、等方的に除荷して得られた値 ($v_{0.2} = 0.00123$) を用いている。

4. 限界状態線、正規圧密線に関わる弾塑性パラメータの決定

図4は圧縮から膨脹に転ずるときの v^p_{max} とその時の v の関係を示す。 $\sigma'_3 = 1.0 \text{ kgf/cm}^2 (98 \text{ kN/m}^2)$ と $\sigma'_3 = 3.0 \text{ kgf/cm}^2 (294 \text{ kN/m}^2)$ のデータのそれぞれに直線 ($y = a \cdot x + b$) をあてはめて、 $\sigma'_3 = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ ($a = 0.0074$, $b = -0.0122$) と $\sigma'_3 = 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ ($a = 0.0047$, $b = -0.0071$) を得ている。これらの曲線の隔たりが $(v^p)_A - (v^p)_B$ なのだが、実のところこれら2直線は試験誤差などのため平行でない。そこで今回は v^p_{max} の実験データの平均値 $v^p_{max} = 0.0002$ において $(v^p)_A - (v^p)_B$ を求めて、式(1)より v^p_{max} の値 ($v^p_{max} = 0.147$) を得た。次に、図5のプロットは各試験で得られたピーク破壊時の応力比 $\sigma'_{1,peak} = (q/p')_{peak}$ とその時の v 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。この直線に圧縮から膨脹に転ずるときの応力比 $\sigma'_{1,peak}$ より求めた $M = 1.17$ を代入して、限界状態線の位置を決めるパラメータ $N = 2.40$ を決定した⁴⁾。最後に、弾塑性パラメータ間の理論的關係 $N = \frac{1}{2} + (\frac{1}{2} - \frac{1}{2}) \ln 2$ より、正規圧密線的位置を決めるパラメータ $N = 2.50$ を決定した。

6. おわりに 今回2つの拘束圧を選んで一連の三軸せん断試験を実施したが、拘束圧の値は現場の応力レベルに応じて選択すべきである。一つの拘束圧に対して10本程度、合わせて20本程度の試験結果が得られれば十分な精度が得られるものとする。圧縮指数は v^p_{max} の実験データの平均値で決めたが、 v^p_{max} の実験データの最大値と最小値の中間の値で決めることも行っている^{1), 2), 3), 4)}。図4の $v^p_{max} \sim v$ 関係への実験公式のあてはめは、今回直線をあてはめたが、直線よりも曲線をあてはめた方がよい精度が得られるものとする¹⁾。また、ピーク破壊時には三軸供試体の不均質が懸念されることから、応力比 $\sigma'_{1,peak} \sim v$ 関係の代わりに、三軸供試体が圧縮から膨脹に転ずるときの $d'_{1,peak} / d_{s,v} \sim v$ 関係より v^p_{max} を決定する方法も試みている^{1), 2)}。

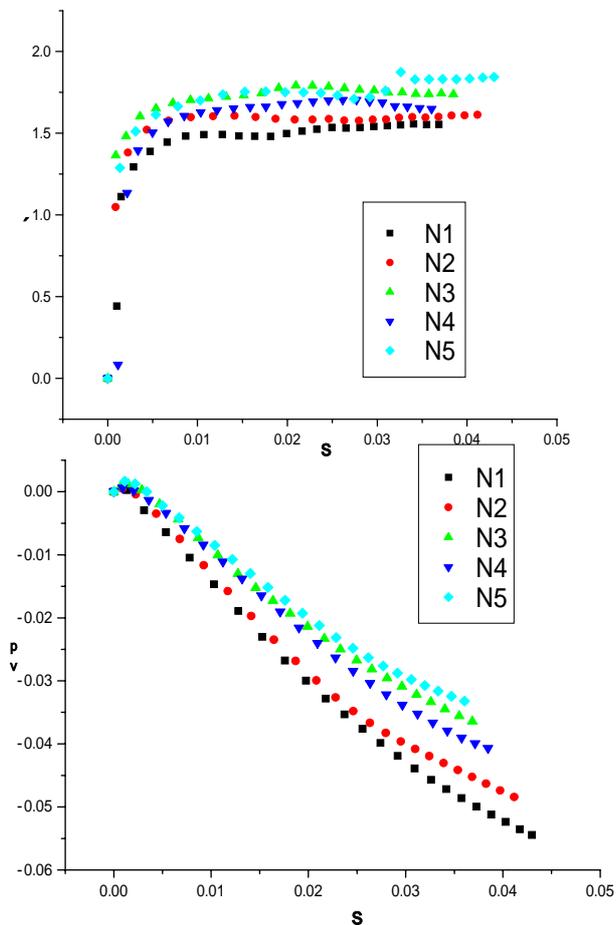


図2 $\sigma' \sim v \sim s$ 関係
($\sigma'_3 = 1.0 \text{ kgf/cm}^2 (98 \text{ kN/m}^2)$)

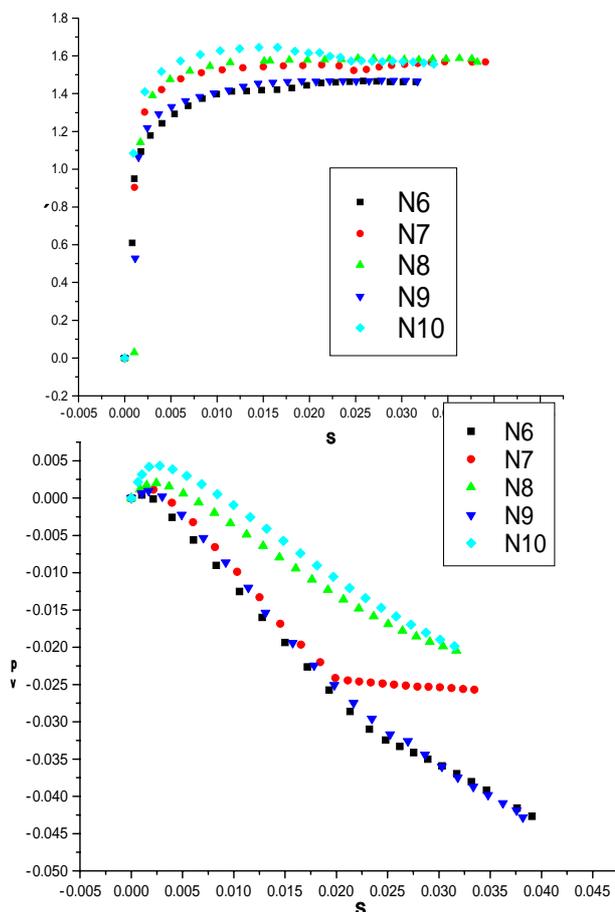


図3 $\sigma' \sim v \sim s$ 関係
($\sigma'_3 = 3.0 \text{ kgf/cm}^2 (294 \text{ kN/m}^2)$)

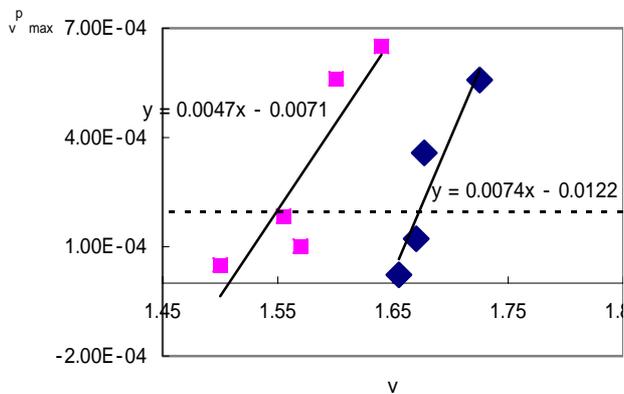


図4 $v^p \text{ max} \sim v$ 関係

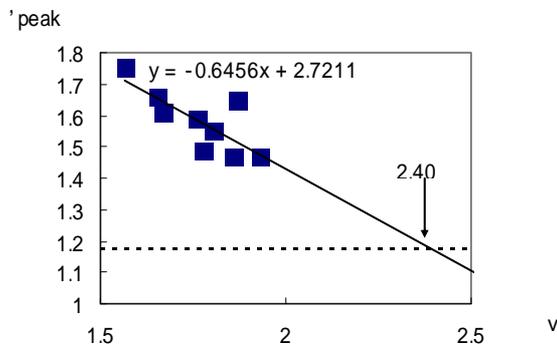


図5 $\sigma'_{\text{peak}} \sim v$ 関係

参考文献 1) 三隅浩二, 秋吉智文ほか, 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, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集第 部門, pp.509-510, 2006.9. 2) 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平成18年度発表講演集, pp.395-396, 2006.7. 3) 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. 4) 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. 5) J.H. Atkinson, P.L. Bransby, The Mechanics of Soils, McGRAW-HILL Book Company(UK)Limited, Chapter12 The Behaviour of Sands, pp.235-262, 1978

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