

様々な粒径を持つ砂の定圧一面せん断試験におけるせん断帯の大きさや密度の推定

東京都立大学 正会員 ○吉嶺 充俊
富山県（もと首都大学東京）高杉 宥也

1. 目的

一面せん断試験では供試体の変形が著しく局所化するため、ひずみや密度を直接的に測定することができない。本研究では、拘束圧が同じならば砂の定常状態における密度は初期密度によらず同一になるという性質を考慮して、せん断帯の大きさ（厚さ）や、せん断ひずみ、および密度を推定してみる。

2. 定圧一面せん断試験の試験条件と実験結果

実験には表1に示す粒径の異なる4種類の乾燥した飯豊珪砂(4号, 5号, 6号, 7号)を用いた。供試体の水平断面は直径60mm, 面積 $A = 28.3\text{cm}^2$ の円形であり、供試体の高さは約 H

表1 試料の物理特性など

飯豊珪砂 号数	平均粒径 D_{50} (mm)	最大乾燥密度 $\rho_{d\max}$ (g/cm ³)	最小乾燥密度 $\rho_{d\min}$ (g/cm ³)	定常状態密度 ρ_b (g/cm ³)
4号	0.85	1.787	1.568	1.565
5号	0.45	1.779	1.569	1.580
6号	0.30	1.725	1.505	1.503
7号	0.20	1.679	1.459	1.459

$= 20\text{mm}$ とした。垂直拘束圧条件は $\sigma = 200\text{kPa}$ とし、幅広い密度条件で定圧一面せん断試験を実施した。

実験結果を図1, 2に示す。図1からは初期密度によらず定常状態でのせん断抵抗がほぼ同一で、残留摩擦角は概ね砂の粒径によらず $33^\circ \sim 35^\circ$ であることがわかる。一方、図2からは拘束圧 σ が同一でも、供試体質量 m を全体積 V_a で除して求めた全体密度 ρ_a の定常状態での値は大きくばらついてしまうことがわかる。

3. 定常状態でのせん断帯密度とせん断帯の幅(厚さ)の推定

供試体全体の体積が V_a でその平均的な密度が $\rho_a = m/V_a$ であるとき、変形は体積が V_b のせん断帯に集中していて、せん断帯の中の密度は ρ_b で均一であると仮定する。また、せん断帯以外の体積 $V_a - V_b$ の部分では密度が初期値 ρ_c に等しく保たれていると仮定すると、全質量 = せん断帯質量 + それ以外の質量、という関係より、 $\rho_c = -(V_a/V_b)(\rho_a - \rho_c) + \rho_b$ になりたつ。この相関は供試体の大きさ V_a の影響をほとんど受けない[1]。そこで実験結果を用いて定常状態における $V_a(\rho_a - \rho_c)$ と ρ_c の関係をプロットすれば、 $V_a(\rho_a - \rho_c) = 0$ での切片が定常状態密度 ρ_b となるはずである。図3はこの関係をプロットし2次曲線で近似したものである。この図から推定される各試料の定常状態密度 ρ_b の値は表1に示したとおりであり、これは相対密度にして $D_r = -1 \sim 5\%$ である。

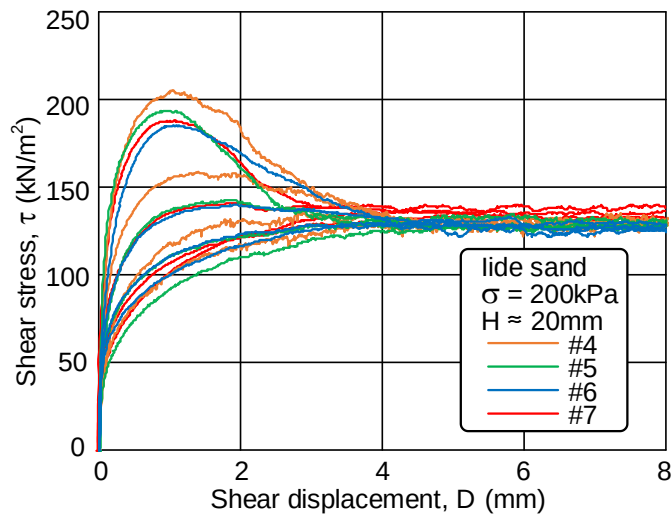
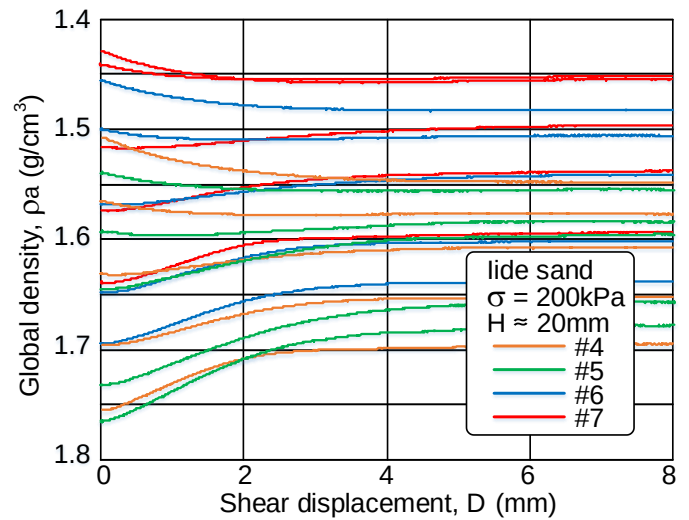
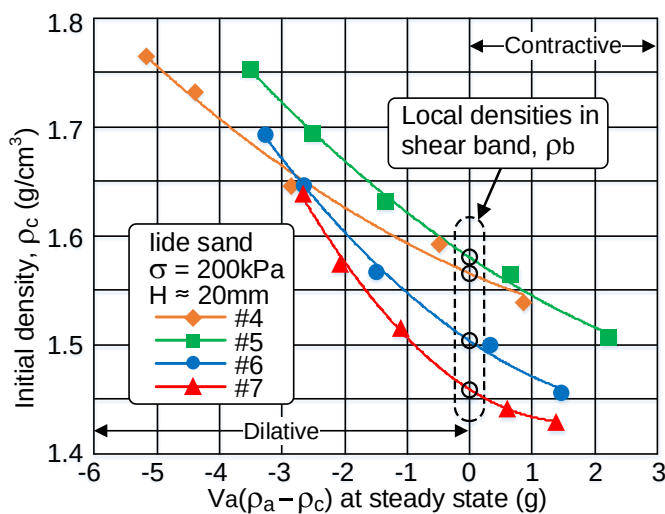
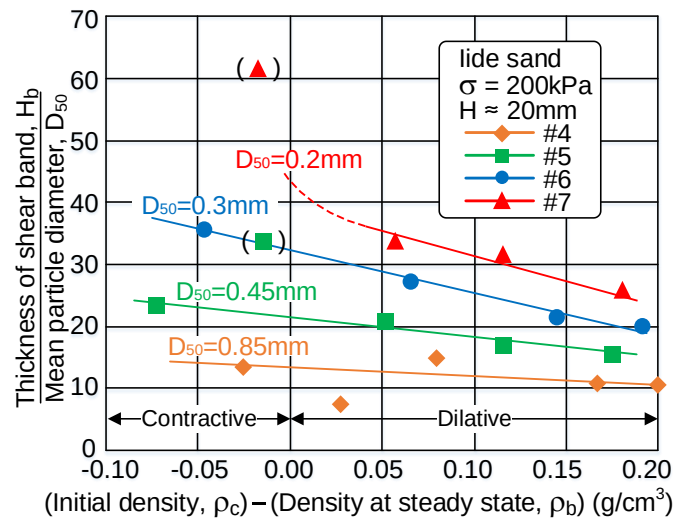
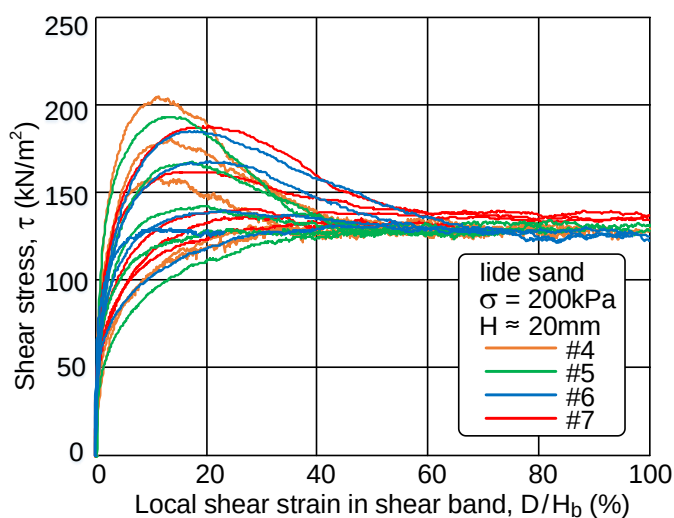
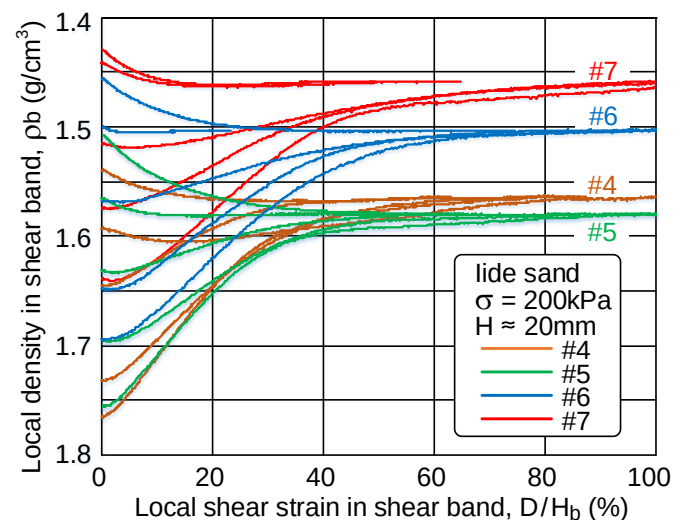
このようにして定常状態密度 ρ_b が推定できれば、各供試体の定常状態におけるせん断帯の体積 $V_b = V_a(\rho_a - \rho_c)/(\rho_b - \rho_c)$ を求めることができる。図4は、各試験の V_b からせん断帯の平均厚さ $H_b = V_b/A$ を計算し、さらにそれを各試料の平均粒径で除した値 H_b/D_{50} をプロットしたものである。 $\rho_a - \rho_c$ が小さいと誤差が大きいこと、粒径が小さいものでは複数のせん断帯が形成されている可能性があること、粒径が大きいものでは供試体寸法（高さ $H=20\text{mm}$ ）によりせん断帯の発達が抑制されている可能性があることに留意する必要がある。

4. せん断過程でのせん断帯のせん断ひずみと密度変化の推定

上述の方法で求めた定常状態での平均的なせん断帯体積 V_b やせん断帯幅 H_b が定常状態に限らずせん断初期から一定であると大胆に仮定すれば、せん断過程のせん断帯密度 $\rho_b = (V_a/V_b)(\rho_a - \rho_c) + \rho_c$ の推移や、せん断変位 D の時の局所ひずみ $\gamma = D/H_b$ が求まる。図5はこのようにして図1に対応する応力-ひずみ曲線を描いたものである。また、図6は図2に対応するせん断帯内の密度 ρ_b の推移をプロットしたものである。これらの図から、定常状態に至るためには60%程度のせん断ひずみを要していることが推定される。また、このようなデータ処理をすれば各試料ごとに定常状態密度がひとつに収束するのは当然ではあるが、図2に比べて図6のようなダイランシー特性は常識的な砂の挙動をよく表していると言えよう。

キーワード 一面せん断試験, 砂, せん断ひずみ, 密度, せん断帯, 定常状態

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 都市基盤環境学域 TEL 042-677-2772

図1 せん断応力 τ と変位 D の関係図2 供試体平均密度 ρ_a と変位 D の関係図3 定常状態におけるせん断帯密度 ρ_b の推定図4 せん断帯幅 H_b の推定図5 せん断応力 τ とせん断帯ひずみ D/H_b の関係図6 せん断帯密度 ρ_b とせん断帯ひずみ D/H_b の関係

参考文献

- [1] 定圧一面せん断試験による砂の定常状態密度の推定, 吉嶺充俊・香西勇祐・細野康代・汪清夢, 土木学会第72回年次学術講演会, III-270, pp. 539-540, 2017