

ダイレイタンスの異なる砂質土の中空ねじり単純せん断特性

山口大学大学院 学生会員 ○富尾祥一

山口大学大学院 正会員 中田幸男 兵動正幸

山口大学大学院 正会員 吉本憲正

1. はじめに

中空ねじりせん断試験機は、地盤中の単純せん断モードを再現する試験機の一つである。その装置を用いて、せん断中の体積変化傾向の異なる4種類の試料の中空ねじり単純せん断試験を行った。そして、その4種類の試料の単純せん断特性の違いについて考察し、特にダイレイタンスが主応力方向角の変化に与える要因の検討を行うことを目的としている。

2. 試料および試験方法

試料は豊浦砂、天然の海砂である秋穂砂、カーボネイト系の Dogs-bay 砂、岩国まさ土を用いた。供試体は空中落下法により相対密度80%を目標に作製した。試験機は供試体高さ $h=20\text{cm}$ 、外半径 $r_o=5\text{cm}$ 、内半径 $r_i=3\text{cm}$ の中空ねじりせん断試験機を用いた。圧密は $K=\sigma_z/\sigma_\theta=0.45$ を保ちながら応力制御により、鉛直方向応力 $\sigma_z=59,98,196,294\text{kPa}$ まで異方圧密を行った。せん断は排水条件のもと鉛直方向応力一定制御、内外圧を独立に制御することによる内外径一定制御でかつねじりひずみ速度一定の単純せん断試験を行った。

3. 試験結果と考察

図1は供試体に作用する応力に加え、鉛直方向応力 σ_z 一定で半径方向ひずみ ε_r 、円周方向ひずみ ε_θ が発生しないようにねじりせん断応力 $\sigma_{z\theta}$ を与えることで単純せん断状態を再現した図を示している。また、図1において鉛直方向 Z と最大主応力 σ_1 のなす角である主応力方向角 α_σ を定義している。

図2に $\sigma_z=98\text{kPa}$ での供試体水平面上に発生する応力比 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ - 軸ひずみ ε_z - ねじりせん断ひずみ $\varepsilon_{z\theta}$ 関係を示す。応力比 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ は4種類の試料ともに、せん断初期においてまさ土の発生が緩やかであること以外は、さほど明確な差はみられず、 $\varepsilon_{z\theta}=7\%$ 付近以降一定の $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ を保持していることが見てとれる。ピークは豊浦砂で $\varepsilon_{z\theta}=9.3\%$ 、秋穂砂は $\varepsilon_{z\theta}=8.7\%$ 、Dogs Bay 砂は $\varepsilon_{z\theta}=9.3\%$ 、まさ土は $\varepsilon_{z\theta}=12.8\%$ であった。また、まさ土が最も収縮傾向が高いということがわかる。

図3に $\sigma_z=98\text{kPa}$ での主応力比 σ_1/σ_3 - 体積ひずみ ε_v - ねじりせん断ひずみ $\varepsilon_{z\theta}$ 関係を示す。図2の結果と異なり、試料毎の差が明確に見られる。豊浦砂と秋穂砂では $\varepsilon_{z\theta}=6.5\%$ と 7.0% で明確なピークを示した。一方、Dogs Bay 砂とまさ土は大き

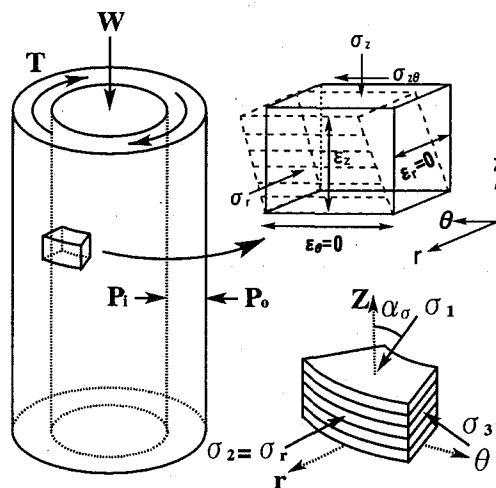
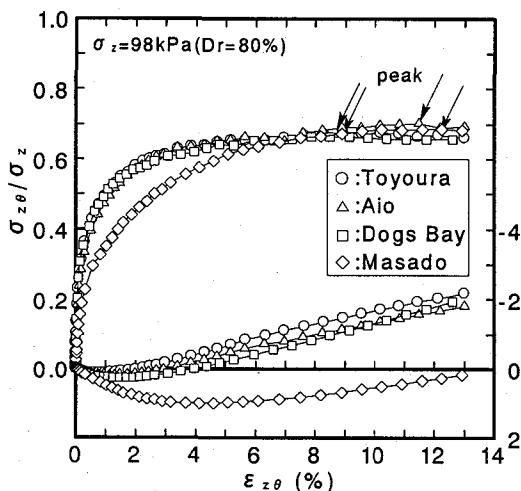
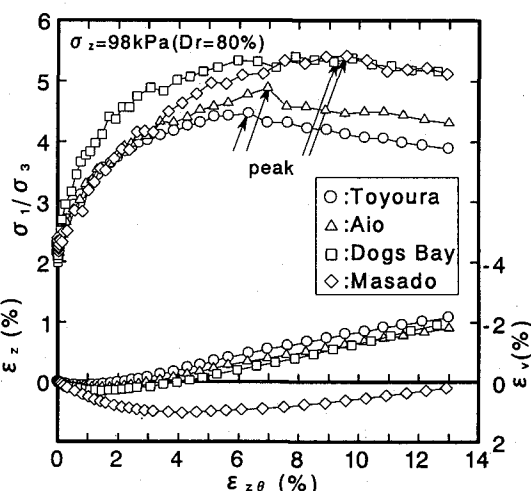


図1. 供試体要素

図2. $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ - ε_z - $\varepsilon_{z\theta}$ 関係図3. σ_1/σ_3 - ε_v - $\varepsilon_{z\theta}$ 関係

いひずみ領域である $\varepsilon_{z\theta}=9.3\%$ と $\varepsilon_{z\theta}=9.6\%$ でピークを迎えた。

図4は $\sigma_z=98\text{kPa}$ での主応力方向角 $\alpha_\sigma=[(\tan^{-1}(2\sigma_{z\theta}/(\sigma_z-\sigma_\theta)))/2]-$ ねじりせん断ひずみ $\varepsilon_{z\theta}$ 関係を示す。せん断初期においてまさ土以外の試料は、 $\varepsilon_{z\theta}=0.5\%$ までに最大回転角の80%が回転していることがわかる。一方のまさ土は60%程度の回転が認められる。豊浦砂と秋穂砂はピーク時には 45° を超え、その後、緩やかに回転し続ける傾向がある。Dogs Bay砂は 43° 程度を保ったまません断が進行し、ピークを迎えたが、それ以上回転しない傾向が見られた。まさ土は 44° 程度でピークを迎え、その後も緩やかに回転し続けた。

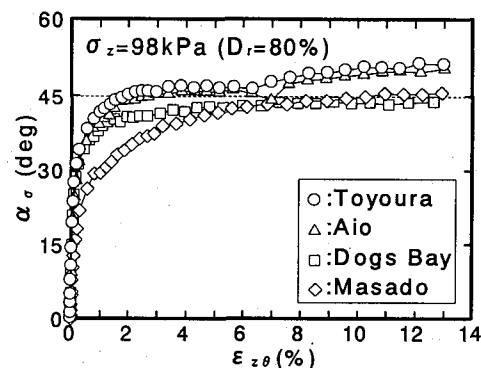


図4. $\alpha_\sigma - \varepsilon_{z\theta}$ 関係

図5に豊浦砂、図6にまさ土のストレスダイレイタンスー関係について示す。豊浦砂については限界状態($-d\varepsilon_v/d\varepsilon_{z\theta}=0$)の時の応力比は3~3.5付近であり、拘束圧によらず、ほぼ等しい値を示す。一方、まさ土についての限界状態時の応力比は3.2~5.3付近を示しており、拘束圧が高くなるに従い大きくなる傾向がある。

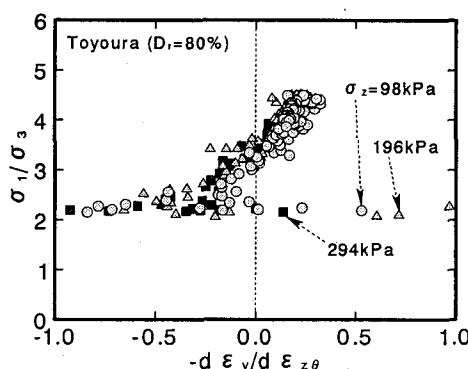


図5. $\sigma_1/\sigma_3 - d\varepsilon_v/d\varepsilon_{z\theta}$ 関係(Toyoura)

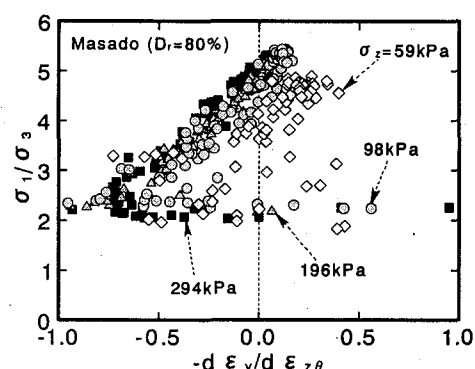


図6. $\sigma_1/\sigma_3 - d\varepsilon_v/d\varepsilon_{z\theta}$ 関係(masado)

図7に応力比 τ/σ_z 最大時の主応力方向角 α_σ -鉛直方向応力 σ_z の関係を示す。図を見ると、いずれの拘束圧においても豊浦砂の値は概ね 49° に、秋穂砂では 50° 、まさ土では 47° 、Dogs Bay砂では 43° になっていることがわかる。すなわち、いずれの試料においても拘束圧に伴う主応力方向角の変化は、概ね 2° 程度で、変化の傾向もまちまちであることから、拘束圧の影響はさほどないものと判断した。

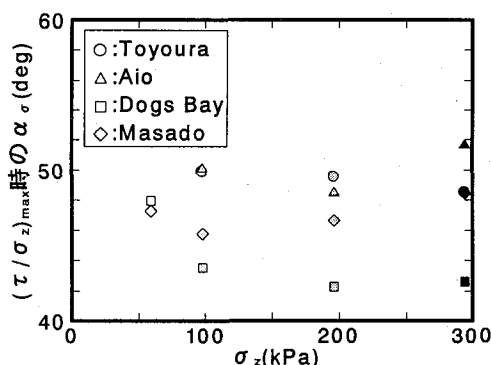


図7. 応力比最大時の $\alpha_\sigma - \sigma_z$ 関係

図8はせん断応力 $\sigma_{z\theta}$ の発生に伴う、鉛直方向応力 σ_z と円周方向応力 σ_θ を示したものである。豊浦砂と秋穂砂は約 $\varepsilon_{z\theta}=2\%$ 付近で σ_θ が σ_z を超えた。つまり、その時点で α_σ が 45° を示し、その後緩やかに σ_θ が増加し、側方から供試体に作用する応力が大きくなりピークを迎えていたことになる。一方、Dogs Bay砂とまさ土は、ピークを迎える時点では、 σ_θ は σ_z より小さい。 α_σ の変化には σ_θ の生じ方、つまり試料のダイレイタンスーが影響を与える要因の一つとなる。

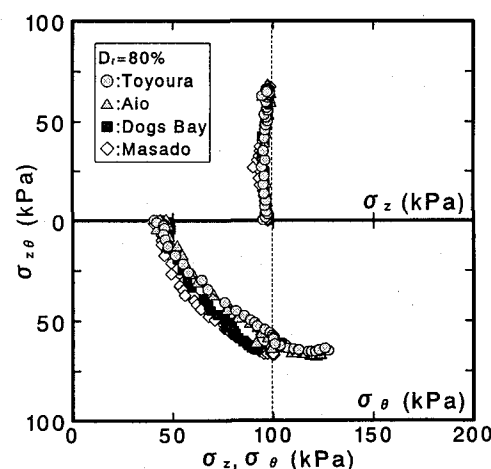


図8. $\sigma_{z\theta} - \sigma_z, \sigma_\theta$ 関係

4. 結論

- ・拘束圧の違いがそれぞれの試料に対して、応力比最大時の主応力方向角に大きな影響を及ぼすことはないと考えられる。
- ・主応力方向角の変化には円周方向応力の生じ方、つまり、せん断中の横方向応力の変化に拠っており、これは試料のダイレイタンスーに起因すると考えられる。

【参考文献】1)Tej B.S.Pradhan, 龍岡文夫 (1987): ねじり単純せん断における砂の変形・強度特性, 第22回土質工学研究発表会