

圧密時間に着目した砂質土の中空ねじり単純せん断特性

山口大学工学部 正会員 中田幸男 吉本憲正
 山口大学大学院 正会員 兵動正幸
 山口大学大学院 学生会員 ○富尾祥一 矢野修平

1. はじめに

従来、砂は粘土に比べて時間依存性については無視できるとされてきた。しかし、近年ではクリープ試験のように砂の時間依存性についての研究がなされている^{1), 2)}。例えば、長期的な構造物の維持を考えた場合、地震など予期しない外力が発生することでその安定が損なわれることから、時間と強度の関係を把握する必要がある。そこで、本研究では単純せん断モードを再現可能な中空ねじりせん断試験機を用いて、圧密時間を変化させた2種類の試料に対する中空ねじり単純せん断試験を行い、圧密時間と圧密時の応力ひずみ挙動の関連性を把握し、せん断面上の応力比、強度に及ぼす圧密時間の影響について検討した。

2. 試料および試験方法

試料は豊浦砂、下関まさ土であり、その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。圧密は圧密時間を載荷時間と保持時間の2つに分け、その2つの合計を圧密時間と定義した。本研究では2種類の試料について、それぞれケース1を載荷時間10分でせん断開始、ケース2を載荷時間10分保持時間170分でせん断開始、ケース3を載荷時間150分でせん断開始、ケース4を載荷時間150分保持時間180分でせん断開始という4ケースの実験を行った。条件としては $K=\sigma_z/\sigma_\theta=0.45$ を保ちながら応力制御により、鉛直方向応力 $\sigma_z=100\text{kPa}$ 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、内外圧を独立に制御することによる内外径一定のもとでねじり単純せん断試験を行った。

3. 試験結果および考察

図1に豊浦砂の圧密時の応力ひずみ関係を示し、図2に下関まさ土の圧密時の応力ひずみ関係を示す。10分載荷のケース1とケース2は10分かけて σ_z を25kPaから100kPa、 σ_r 、 σ_θ を25kPaから45kPaまで増加させた。150分載荷のケース3とケース4は150分かけて同一の応力状態まで増加させた。100kPaまで増加させた後ケース2とケース4はその応力状態をそれぞれ、170分および180分保持させた。いずれの試料についても目標の応力状態を満足していることがわかる。

軸ひずみ全体については、豊浦砂の方が下関まさ土に比べて発生量が小さいことがわかる。これは、下関まさ土は豊浦砂に比べて圧縮性の高い（破碎性の高い）材料であるためだと考えられる。同一の載荷時間のケースを比較すると、ひずみの発生量がおおむね等しいことがわかる。保持時間中のひずみについては、豊浦砂よりも下関まさ土の方が、また、載荷時間が短い方が収縮傾向にあることがわかる。これは、先に述べた粒子破碎などを主要因とする時間遅れによるものだと考えられる。つまり、短時間で載荷したケースは所定の応力に到達しても、まだひずみ発生の可能性がより多く残されており、それが保持においてより大きなひずみを生じさせたと考えられる。

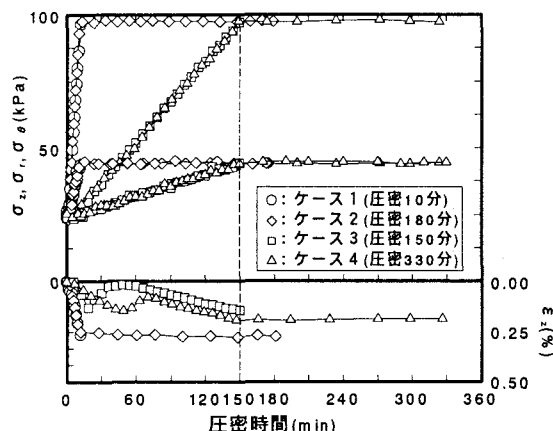


図1. 豊浦砂の圧密時応力ひずみ関係

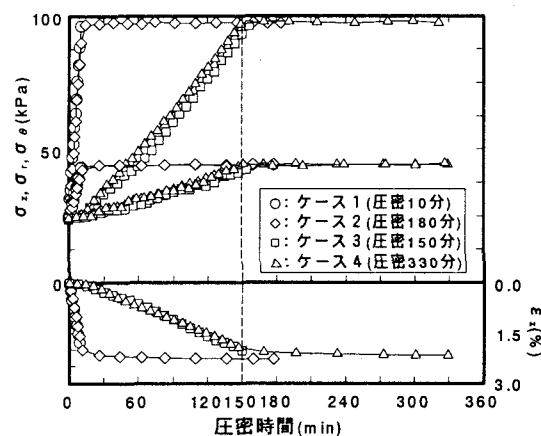


図2. 下関まさ土の圧密時応力ひずみ関係

図3にねじりせん断ひずみ $\varepsilon_{z\theta}$ と軸ひずみ ε_z 、せん断面上の応力比 τ/σ_z の関係を示し、図4に $\varepsilon_{z\theta}=0.1\%$ のときの τ/σ_z と圧密時間の関係を示す。図3から豊浦砂の方が下関まさ土よりも大きい応力比を示していることがわかる。図4から豊浦砂は圧密時間にそれほど明確な差は見られないが、下関まさ土については圧密時間が長い方が高い応力比を示していることがわかる。

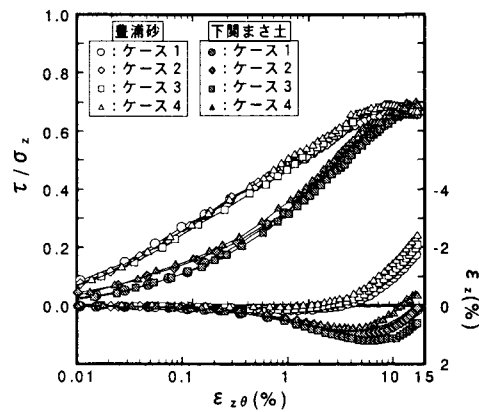


図3. τ/σ_z 、 $\varepsilon_z - \varepsilon_{z0}$ 関係

特に、150分と180分の間で大きく上昇していることから、保持過程を加えた方がより応力比が高くなるといえる。

図5にせん断初期 ($\varepsilon_{z0}=0.1\%$)、せん断変相点、 τ/σ_z ピーク時における中間主応力係数 b (三主応力における中間主応力 σ_2 の相対的な大きさ)と圧密時間の関係を示す。豊浦砂は、载荷時間の長い方が b 値が低下しており、おのこのの応力状態における b 値の差が明確である。一方、下関まさ土については圧密時間による b 値の差はより小さく、せん断初期から変相点にかけては変化しているが、変相点からピークへの変化はあまり見られない。

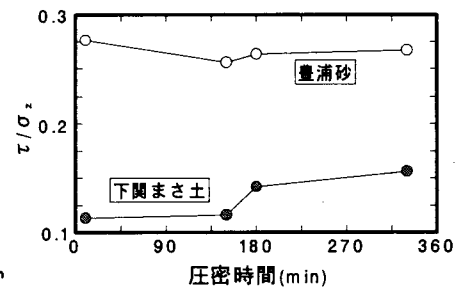


図4. τ/σ_z - 圧密時間の関係 ($\varepsilon_{z0}=0.1\%$)

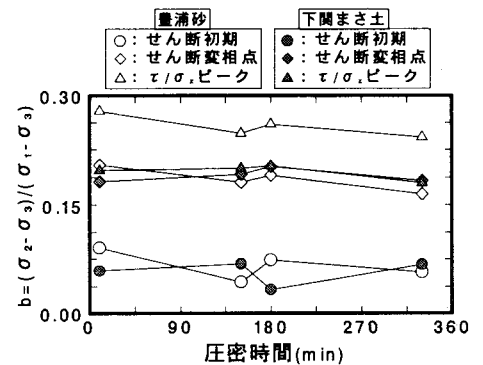


図5. せん断初期、変相点、ピーク時の

b 値 - 圧密時間の関係

図6にせん断初期 ($\varepsilon_{z0}=0.1\%$)、せん断変相点、 τ/σ_z ピーク時における主応力方向角 α_σ (鉛直軸と最大主応力 σ_1 のなす角)と圧密時間の関係を示す。変相点についてはほぼ同程度であるが、他の2点は豊浦砂の方が下関まさ土よりも α_σ は大きいことがわかる。さらに、豊浦砂は圧密時間による差はあまり見られないが、下関まさ土は圧密時間が長い方が回転し、特にせん断初期にその傾向が見られる。

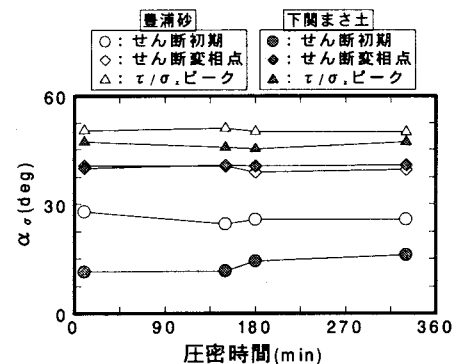


図6. せん断初期、変相点、ピーク時の

α_σ - 圧密時間の関係

図7に ϕ_{ss} (せん断面上応力の応力比のピークにおける強度 $\phi_{ss} = \tan^{-1}(\tau/\sigma_z)(\text{deg})$)、 ϕ_p (主応力比のピークにおける強度 $\phi_p = \sin^{-1}(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)(\text{deg})$)と圧密時間の関係を示す。豊浦砂は点線で示すように ϕ_{ss} 、 ϕ_p のいずれも圧密時間の差による違いがないことがわかるが、下関まさ土は実線で示すように圧密時間が長くなることによって ϕ_{ss} 、 ϕ_p が高くなっていることがわかる。特に、 ϕ_{ss} よりも ϕ_p においてその傾向が大きく見られる。

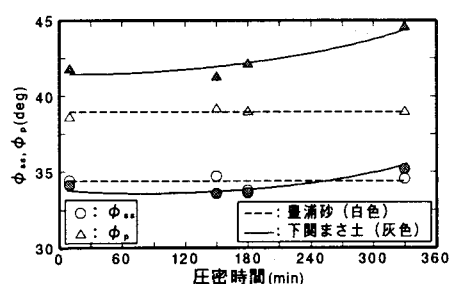


図7. ϕ_{ss} 、 ϕ_p - 圧密時間の関係

4. 結論

- ① 下関まさ土のせん断面上の応力比は圧密時間が長い方が高くなる。
- ② 豊浦砂の b 値について圧密時間が長い方が小さくなる。
- ③ せん断初期の下関まさ土の α_σ は圧密時間の長い方が回転しやすい。
- ④ 豊浦砂は圧密時間の差によって ϕ_p よりも ϕ_{ss} の方に強度差が見られる。下関まさ土は ϕ_p と ϕ_{ss} の両方に強度差が見られる。

【参考文献】1)清田隆, Jerry A.Yamamuro, 龍岡文夫 “緩い飽和砂の三軸圧縮における排水・非排水クリープ特性の比較” 2003.7 第38回地盤工学研究発表会 2)大川広, 仲田宇史, 桑野二郎 “p’一定平面における豊浦砂の変形特性(その2) -クリープ特性-” 2004.7 第39回地盤工学研究発表会