

時間履歴が砂のせん断挙動に与える影響

山口大学大学院 学生会員 ○田中浩之 富尾祥一

山口大学大学院 正会員 中田幸男 兵動正幸

1. はじめに

これまで地盤工学では、粘土に比べて砂の時間依存性は無視できるとされてきた。しかし近年、クリープ試験等の砂の時間依存性に関する研究もなされている¹⁾。これは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、時間と強度などのせん断挙動との関係を把握する必要があるということによる。本研究では、実地盤における様々な応力状態を再現可能な中空ねじりせん断試験機を用いて、時間履歴を変化させた2種類の試料に対するせん断試験を行い、時間履歴が砂のせん断挙動に与える影響を検討した。

2. 試料および試験方法

試料は豊浦砂、宇部まさ土を用いた。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。試験は内外圧を独立に制御し、排水条件のもと行った。圧密は圧密時間を60分とし、鉛直方向応力 $\sigma_z=30\text{kPa}$ から 100kPa までの等方圧密を行った。せん断は以下に示す時間履歴を変化させたねじりせん断試験を行った。

ケース1は圧密後、ひずみ速度 $0.1\%/min$ でせん断を行い、せん断強度の約90%のせん断応力（豊浦砂： 60kPa 、宇部まさ土： 50kPa ）に達した時点でクリープ（豊浦砂：60分、宇部まさ土：80分）を行い、クリープ終了後、ひずみ速度 $0.1\%/min$ でせん断を行ったもの、ケース2は圧密後、ひずみ速度 $0.03\%/min$ でせん断を行い、せん断強度の約90%のせん断応力に達した時点からひずみ速度 $0.1\%/min$ でせん断を行ったもの、ケース3は圧密終了時の応力を保持（豊浦砂：60分、宇部まさ土：80分）して、その後ひずみ速度 $0.1\%/min$ でせん断を行ったものである。ケース1については、クリープを行う時間をさらに0分、10分、180分、720分と変化させたクリープ試験を行った。

3. 時間-載荷履歴の影響

図1に宇部まさ土のねじりせん断応力 $\sigma_{z\theta}$ 、ねじりせん断ひずみ $\varepsilon_{z\theta}$ -せん断時間の関係図を示す。 $\varepsilon_{z\theta}$ -せん断時間の関係から所定のひずみ速度を保ちながら、せん断過程が行われているということがわかる。ケース1の80分のクリープを行っている間に生じるせん断ひずみは 0.52% 程度であった。

図2にせん断面上の応力比 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ 、体積ひずみ ε_v -せん断ひずみ $\varepsilon_{z\theta}$ の関係図を示す。豊浦砂の体積ひずみはせん断初期に収縮してから後は膨張し続けている。宇部まさ土の体積ひずみはせん断開始から収縮し続けた後、非常に緩やかに膨張傾向を示している。ケース1のクリープ中の体積ひずみは宇部まさ土が 0.2% 収縮、豊浦砂が 0.03% 膨張している。

図3に宇部まさ土の $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ - $\varepsilon_{z\theta}$ 拡大図を示す。クリープ前にはケース3の

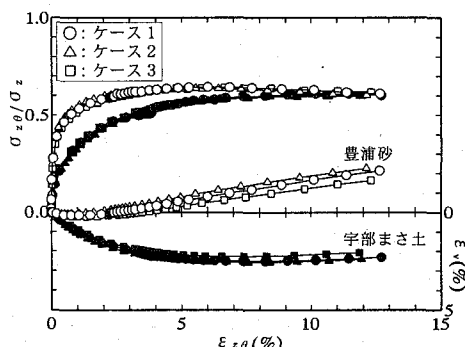
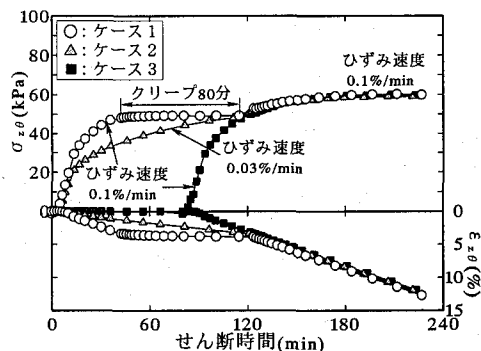
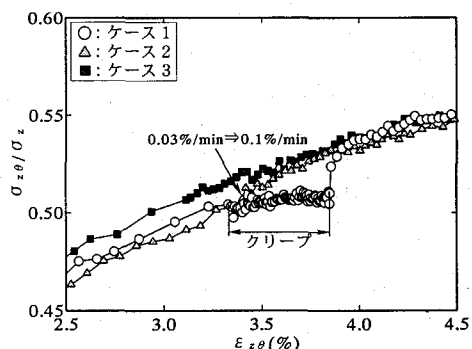
図2 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ 、 ε_v - $\varepsilon_{z\theta}$ 関係

図1 時間-載荷履歴（宇部まさ土）

図3 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z$ - $\varepsilon_{z\theta}$ 拡大図（宇部まさ土）

応力比がもっとも高い値を示すが、クリープ終了直後にケース1の応力比は急激に高くなり、その後もケース2や3よりも若干ではあるが高い値を示す。

4. クリープ履歴の影響

図4に宇部まさ土の $\sigma_{z\theta}$, $\varepsilon_{z\theta}$ －せん断時間の関係図を示す。クリープ中のせん断ひずみはクリープ時間が長くなるとともに大きくなる。クリープ中のせん断ひずみはクリープ時間10分の場合に0.24%であるのに対し、720分の場合には0.66%であった。

図5に $\sigma_{z\theta}/\sigma_z - \varepsilon_v - \varepsilon_{z\theta}$ の関係図を示す。クリープ前の応力ひずみ関係は両試料ともほぼ一つの曲線であるが、クリープ後の応力ひずみ関係は特に宇部まさ土に違いが認められる。いずれの試料の場合も、クリープ時間の短いものの方がせん断変形しやすく、より収縮挙動を示すようである。

図6に宇部まさ土のクリープ時間80分、720分のときの $\sigma_{z\theta}/\sigma_z - \varepsilon_{z\theta}$ 拡大図を示す。クリープ後の急激な応力比の増加量はクリープ時間の長い720分の方が大きくなっている。応力比の急激な変化後もクリープ時間の長い方がより高い応力比を示す。

図7に豊浦砂のクリープ時間60分、720分のときの $\sigma_{z\theta}/\sigma_z - \varepsilon_{z\theta}$ 拡大図を示す。図7でもクリープ終了直後に応力比は高くなっているが、宇部まさ土ほど顕著ではなく、いったん上がった応力比はすぐに下がり、クリープ前とほぼ同様の挙動まで戻っている。

図8に内部摩擦角 $\phi_{ss} [= \tan^{-1}(\sigma_{z\theta}/\sigma_z)_{\max}]$ －クリープ時間の関係図を示した。豊浦砂について、0分と10分の間にはほぼ差はないが、10分と60分の間には差が見られた。宇部まさ土についても同様の傾向が認められるが、豊浦砂よりも顕著に差が見られた。内部摩擦角は圧縮性の高い宇部まさ土の方がクリープ履歴の影響をより顕著に受け、より時間効果が現れやすいことが認められた。

5. まとめ

- ① 時間－載荷履歴の違いによる強度の変化はほぼなかった。
- ② クリープ中に変形が進行するが、クリープ時間が長くなるほど圧縮性の高い宇部まさ土の方が豊浦砂より顕著になることがわかった。
- ③ クリープ時間の違いによって強度は変化しており、圧縮性の高い宇部まさ土はより顕著にクリープ履歴の影響を受けた。

参考文献

- 1) 中村勇平・橋本聡・桑野二郎：種々の応力状態における豊浦砂のクリープ，第33回地盤工学研究発表会，1998，pp521-522

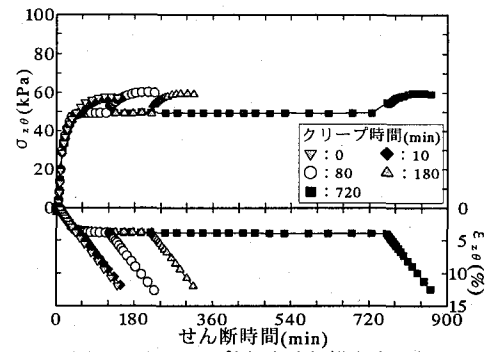


図4 クリープ履歴 (宇部まさ土)

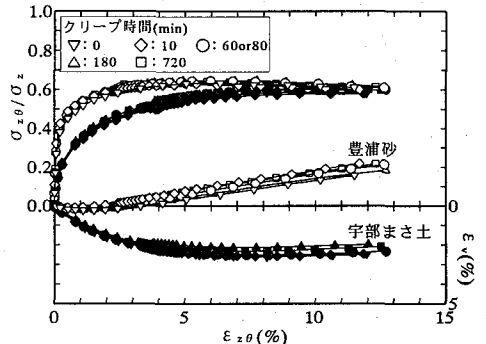


図5 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z, \varepsilon_v - \varepsilon_{z\theta}$ 関係

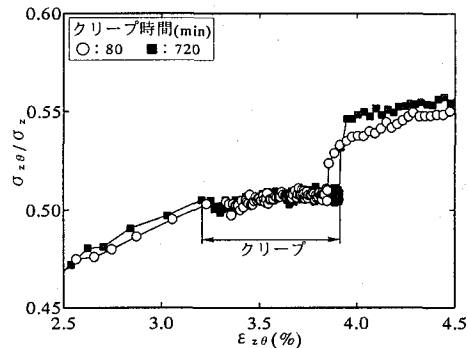


図6 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z - \varepsilon_{z\theta}$ 拡大図 (宇部まさ土)

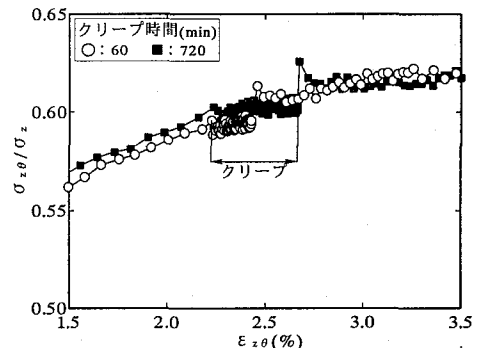


図7 $\sigma_{z\theta}/\sigma_z - \varepsilon_{z\theta}$ 拡大図 (豊浦砂)

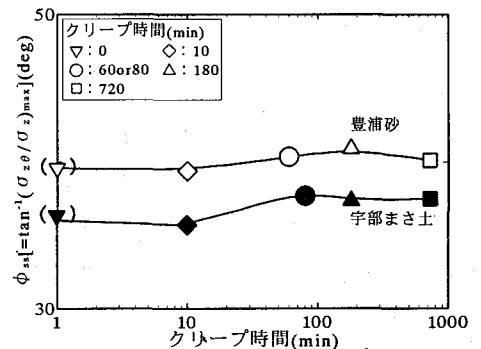


図8 内部摩擦角 (クリープ履歴)