

クリープ時の主応力方向が砂質土のせん断挙動に与える影響

山口大学大学院 学生会員 ○金本淳史 島村いづみ

山口大学大学院 正会員 中田幸男 兵動正幸

1. はじめに

著者らは、これまでに破碎材料であるまさ土を用いて、主応力方向を固定した条件下での排水せん断挙動に与えるクリープの影響を明らかにしている¹⁾。その結果、等方応力状態におけるクリープは主応力方向が大きい領域に対するせん断挙動に顕著な影響を与えることを示した²⁾。本報は、異方圧密を受けたまさ土に対してクリープ試験およびクリープに引き続いて排水せん断試験を行い、異方応力下でのクリープがせん断挙動に及ぼす影響を等方応力下で行った試験結果と比較しつつ考察した。

2. 試料および試験方法

用いた試料は、山口県宇部市で採取したまさ土である。実験は中空ねじりせん断試験機を用いて行われた。高さ 20cm、外径 10cm、内径 6cm の中空円筒供試体は、相対密度 90%を目標に空中落下法により作製した。図 1 は、行った試験経路を $(\sigma_z - \sigma_\theta)/2 - \sigma_{z\theta}$ 空間にまとめたものである。実施した試験は圧密過程、クリープ過程、せん断過程の 3 つの過程からなる。圧密経路は、平均有効主応力 p' を 30kPa から 100kPa まで等方的に増加した後、主応力方向角 $\alpha_{oc}=35^\circ$ 、 75° 固定条件下で軸差応力 q を強度の 9 割程度まで増加させることで異方圧密過程とした(点 B→点 C)。クリープ過程は、異方圧密終了後の応力状態のまま 60 分経過させることでクリープ過程とした(点 C)。せん断経路は圧密終了時の点 C から放射状になる、 $\zeta=0^\circ$ 、 $\zeta=45^\circ$ 、 $\zeta=90^\circ$ 、 $\zeta=135^\circ$ の 4 種類である。 $\alpha_{oc}=35^\circ$ は $\zeta=125^\circ$ 、 $\alpha_{oc}=75^\circ$ は $\zeta=165^\circ$ の試験も行った。ここで、 ζ は $(\sigma_z - \sigma_\theta)/2$ 軸と応力経路のなす角であり、せん断中一定に保たれる。比較対象として、クリープ過程を含まない試験も実施した。せん断過程は、 $p'=100\text{kPa}$ 、中間主応力係数 $b=0.5$ 一定で行っている。

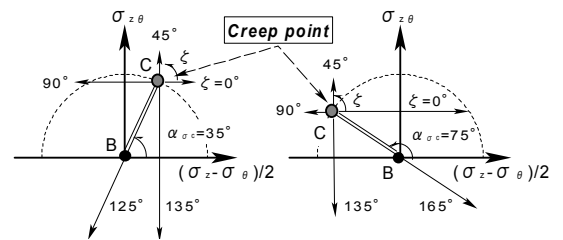


図 1 軸差応力空間における試験経路

3. 試験結果

図 2 は、応力比 η と体積ひずみ ε_v 、軸差ひずみ γ の関係を示したものである。図は、圧密時の主応力方向が 35° と 75° の供試体に対して、 $\zeta=45^\circ$ のせん断を与えた場合(図 1 の C 点から $\sigma_{z\theta}$ のみが増加する経路)の、クリープ有、無の応力ひずみ挙動に与える影響を示している。この図から、せん断後半にいたると、クリープの有無の違いによる、明確な応力ひずみ挙動に違いがなくなることがわかる。また、 α_{oc} が大きくなるとともに、収縮傾向が強くなることが認められる。図中の拡大図は、クリープ中の挙動を示したものである。クリープ有の応力ひずみ挙動はせん断再開直後に高い剛性を示し、クリープを終了した後に、せん断ひずみが 0.1% 程度で、クリープ無のそれとほぼ同様の応力ひずみ関係を示すようになる。図 3 は、クリープ中の体積ひずみとクリープ時間の関係を示したものである。図中には、クリープ時の主応力方向が 35° 、 45° 、 75° の時のクリープ中の体積ひずみとクリープ時間の結果、および等方圧密後のクリープ試験の結果を示している。クリープ

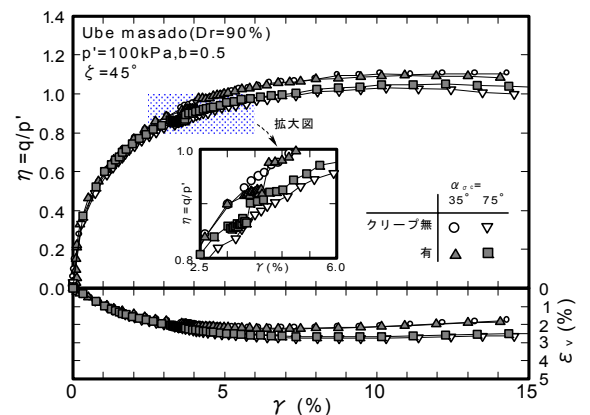


図 2 応力比と体積ひずみ、軸差ひずみの関係

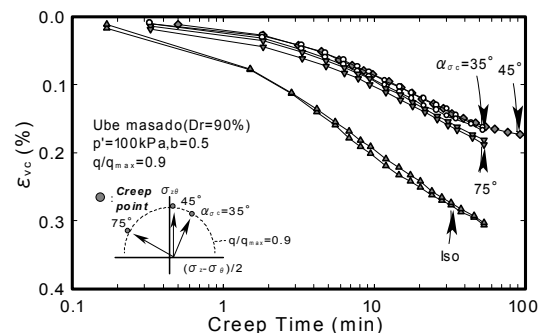


図 3 クリープ中の体積ひずみとクリープ時間の関係

中の体積ひずみは $\alpha_{sc}=35^\circ, 75^\circ$ でそれぞれ 0.15%, 0.20%程度生じた。図中のクリープ中の体積ひずみとクリープ時間は、4 分以降に対して直線で近似でき、その傾きは $\alpha_{sc}=35^\circ, 45^\circ, 75^\circ$ でそれぞれ 0.045, 0.046, 0.050 である。等方圧密後の結果から得た近似直線の傾きは 0.062 となり、等方圧密後のクリープ試験で生じる体積ひずみは異方圧密後のクリープ試験で生じるそれより、大きくなることわかる。図 4 は、クリープ 60 分後に生じた軸差ひずみと主応力方向角の関係を示したものである。図中には、軸差応力が最大軸差応力の 3, 5, 7, 9 割の値になったところでクリープ試験を行った結果および等方圧密後のクリープ試験の結果を示している。ここで、所定の軸差応力を最大軸差応力で除した値を a とする。等方圧密後のクリープ試験では軸差ひずみがほとんど生じていないことがわかる。また、 $a=0.3, 0.5$ の条件で生じるクリープ中の軸差ひずみは主応力方向に関わらずほぼ一定であるが、 $a=0.7, 0.9$ の条件で生じるクリープ中の軸差ひずみは主応力方向が 15° の時よりも 45° の時のほうが大きく、 75° の時は 45° の時よりも小さくなることわかる。先のクリープ中の体積ひずみとクリープ時間の関係とあわせて考えると、 $a=0.3, 0.5$ の時のクリープ中のダイレイタンス比は主応力方向に関わらずほぼ一定であるが、 $a=0.7, 0.9$ の時のクリープ中のダイレイタンス比は主応力方向の増加と共に増加する傾向にあることがわかる。図 5 は、異方圧密試験から得られた結果について、軸差ひずみが 0.3%, 1.0%, 3.0%, 5.0%に達したときの応力状態とピーク時の応力状態を $(\sigma_z - \sigma_\theta)/2 - \sigma_{z\theta}$ 空間にプロットし、等軸差ひずみ線を描いたものである。図中には、等方圧密後の主応力方向固定試験結果のピーク時の応力状態²⁾を破線で示している。ここで、クリープ無は圧密終了時(図 1 の C 点)の軸差ひずみを 0 とし、クリープ有はクリープ終了時の軸差ひずみを 0 とし等軸差ひずみ線を描いた。図(a)は $\alpha_{sc}=35^\circ$ の、図(b)は $\alpha_{sc}=75^\circ$ の条件で異方圧密した後の結果を示したものである。クリープの有無による等軸差ひずみ線の違いは、いずれの主応力方向についても、0.3%や 1.0%に顕著に現れる。その等軸差ひずみ線は楕円で近似されるが、3.0%の等軸差ひずみ線はほぼ円で近似されることがわかる。図(a)と図(b)のこれらの近似円は軸差ひずみの増加とともに等方試験で得られたピーク時の一致するように大きくなることわかる。また、同じ値の等軸差ひずみ線を図(a)と図(b)の結果を比較すると、 $\alpha_{sc}=35^\circ$ に異方圧密した等軸差ひずみ線のほうが大きくなっていることがわかる。これらのことから圧密時の主応力方向およびクリープの有無によって応力誘導異方性の影響の度合いが異なることがわかる。

4. まとめ

クリープ中の変形挙動は主応力方向の影響を受け、主応力方向が 0° から 90° に増加すると共に、収縮的な挙動を示すことがわかった。また、クリープ時の主応力方向の違いが、クリープ直後の等軸差ひずみ線に現れることを示した。

参考文献 1) 富尾祥一, 中田幸男, 兵動正幸, 田中浩之: 時間履歴が砂質土のせん断挙動に与える影響, 地盤と建設, Vol.24, No.1, 61-67, 2006.

2) 田中浩之, 中田幸男: 主応力方向に着目したまき土の応力ひずみ挙動に与えるクリープの影響, 第 42 回地盤工学会, pp365-366, 2007.

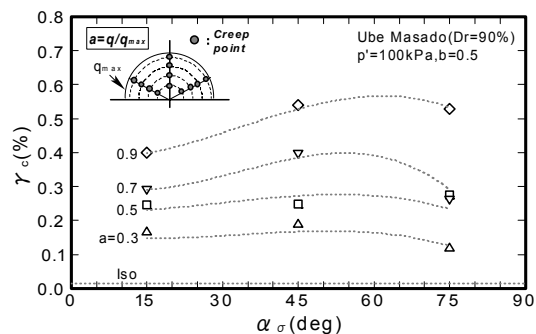


図 4 クリープ中の軸差ひずみと主応力方向角の関係

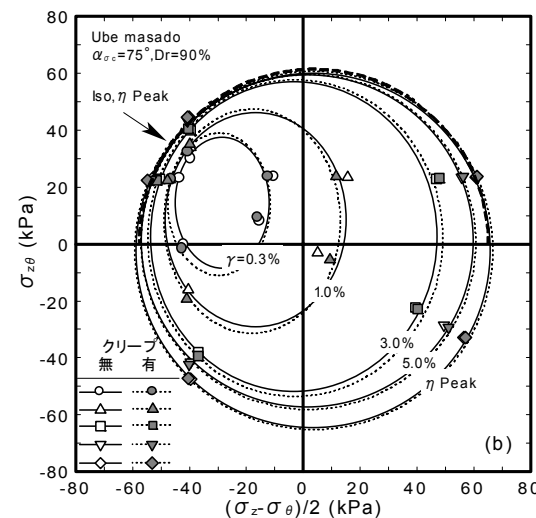
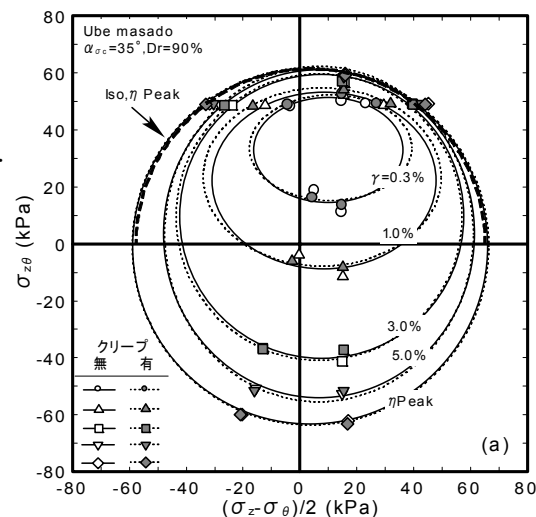


図 5 $(\sigma_z - \sigma_\theta)/2 - \sigma_{z\theta}$ 空間における等軸差ひずみ線 ; (a) $\alpha_{sc}=35^\circ$, (b) $\alpha_{sc}=75^\circ$