

主応力方向に着目した砂質土のせん断挙動に与える締固め度の影響

山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸

山口大学大学院 学生会員 ○村松隼太 島村いづみ 金本淳史

1. はじめに 締固め度 D_c は従来の盛土などの土構造物の設計において 90% になるよう管理されている場合が多い。これまでの研究では $D_c=90\%$ の強度を把握する目的の実験的検討が多かったが、最近の研究では D_c が 90% ~100% のせん断強度の増加が大きいことが明らかになりつつある¹⁾。そのため、盛土の安定性を高める 1 つの方法として、不安定な箇所の締固め度を高めることが考えられる。また、盛土内の主応力方向は一定ではない。そこで本研究では、主応力方向を任意に変化させることができる中空ねじりせん断試験機を用いて、せん断挙動に与える締固め度の影響を把握するとともに、主応力方向の違いが締固め土のせん断挙動に与える影響を把握することを目的とした。

2. 中空ねじりせん断試験機の概要 試料は宇部まさ土 ($e_{max}=1.179$, $e_{min}=0.661$, $\rho_{dmax}=1.810\text{g/cm}^3$) を用いた。図 1 に示すように、中空ねじりせん断試験機では 3 つの直応力と 1 つのせん断応力を供試体に独立に载荷させることにより、供試体に作用する主応力方向を任意に制御することができる。高さ 20cm、外径 10cm、内径 6cm の中空円筒形供試体は、試料を最適含水比 13.6% に調節した後、10 層に分け、ランマーを自由落下させて突固めて作成する。試験機上での締固めができなため、特性のモールドで供試体を作成した後、冷凍させたものを試験機内にセットして使用する。突固め回数は一層あたり $D_c=88.5\%$ で 30 回、 $D_c=90\%$ で 60 回、 $D_c=91.5\%$ で 90 回、 $D_c=95\%$ で 120 回である。尚、これまでの研究²⁾による空中落下法により作成された相対密度 95% のデータを締固め度に換算し、 $D_c=83\%$ として結果の整理に用いている。冷凍させた供試体は試験機内にセットした後、メンブレンをかけ、背圧 30kPa で拘束し 3 時間かけて通水することで解凍される。通水後、背圧を 100kPa となるよう付加することで飽和状態に近づける。その後 8 時間放置した後圧密を開始する。圧密は圧密時間を 60 分とし、平均主応力 $p=30\text{kPa}$ から 100kPa まで等方圧密を行った。圧密後、排水条件下で、 $p=100\text{kPa}$ 、中間主応力係数 $b=0.5$ のもとで、主応力方向角 α_σ をそれぞれ 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° に固定し、せん断ひずみ速度 $0.1\%/min$ でせん断を行った。

3. 締固め土のせん断挙動 図 2 は主応力方向角を $\alpha_\sigma=45^\circ$ とした時の締固め度の違いが応力ひずみ関係に与える影響を示

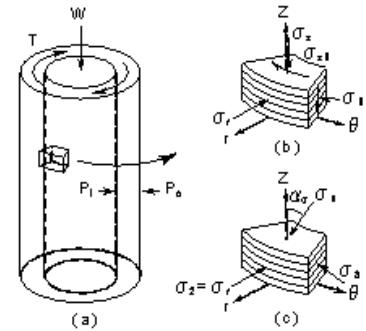


図 1. 供試体内の要素と応力

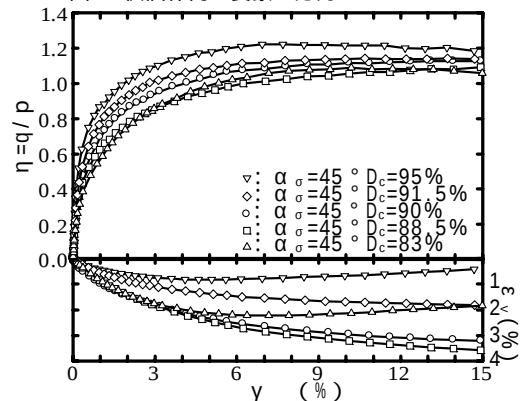


図 2. $\alpha_\sigma = 45^\circ$ 時の締固め度の違いが応力ひずみ関係に与える影響

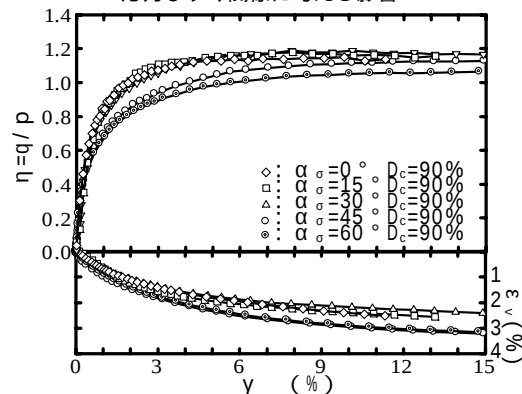


図 3. $D_c = 90\%$ 時の主応力方向の違いが応力ひずみ関係に与える影響

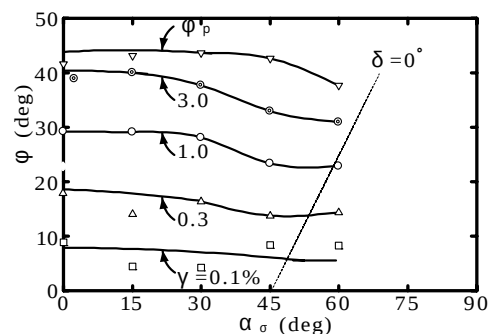


図 4. $D_c = 90\%$ における、各軸差ひずみで動員される摩擦角と主応力方向角の関係

している．強度について着目すると，締固め度が高いほど強度も増加することがわかる．また，体積ひずみは締固め度に依存し，締固め度が高いほど少ない収縮量を示す． $D_c=95\%$ に注目すると，応力比は $\gamma=6\%$ のときに最大値を示すが，他の D_c の結果では増加一方の挙動を示す．また，締固め度の違いによる，あるひずみレベルにおける応力比の差は， $\gamma=6\%$ に達するまでは明確に現れているが， $\gamma=15\%$ に近づくにつれてほぼ等しい応力比に近づく傾向がある．さらに空中落下法と締固め法の結果に注目すると，空中落下法はわずかではあるがピーク応力比を示しているのに対し，締固め法では $D_c=91.5\%$ 以下はピーク応力比を示していない．これは供試体の作成方法により，供試体の構造が異なっていることが考えられる．図3は締固め度を90%とした時の主応力方向の違いが応力ひずみ関係に与える影響を示している． $\alpha_\sigma=0^\circ\sim30^\circ$ までは挙動にそれほど差はないが， $\alpha_\sigma=45^\circ\sim60^\circ$ には顕著な差が見られることから，まさ土のせん断挙動における主応力方向の依存性を把握できる．また， $\gamma=3\%$ 時のあるひずみレベルにおける応力比の違いは明白に現れているが， $\gamma=15\%$ に近づくにつれてほぼ等しい応力比に近づく傾向がある．図4は各々の締固め度90%時の動員される摩擦角と α_σ の関係を表している． α_σ の増加に伴う各軸差ひずみレベルにおける摩擦角の動員の様子を理解することができる． $\gamma=0.1\%\sim0.5\%$ 時の $\alpha_\sigma=45^\circ$ までの動員される摩擦角は低下していき， $\alpha_\sigma=45^\circ$ を過ぎると増加する．一方 $\gamma=1.0\%\sim3.0\%$ 時は， $\alpha_\sigma=60^\circ$ の時点でもまだ低下していくことがわかる．動員される摩擦角の主応力方向依存性に認められる極小値は $\gamma=0.1\%$ で $\alpha_\sigma=45^\circ$ から $\gamma=3.0\%$ で $\alpha_\sigma=60^\circ$ の方向に沿ったかたちで変化することがわかる．これは2つの最大応力角傾斜面(潜在的な滑り面に対応)の一つが堆積面に一致する状態を示しており，図中の $\delta=0^\circ$ 直線に対応している．

図5には α_σ と内部摩擦角の関係を表しており，参考にまさ土と豊浦砂の空中落下法により作成された供試体の結果も示している．締固めたまさ土は $\alpha_\sigma=30^\circ\sim60^\circ$ での内部摩擦角の低下が大きいことが空中落下法と比べて明確である．これにより締固めまさ土の異方性が空中落下法と異なっていることがわかった．また，締固め度に注目すると， $D_c=90\%$ では α_σ が増加するにつれて，緩やかに内部摩擦角が低下しているのに対して， $D_c=95\%$ では $\alpha_\sigma=30^\circ$ を超えたところから傾きが急になり，大きく低下するという違いが現れた．図6は α_σ 別の内部摩擦角と締固め度の関係を示している． $D_c=90\%$ までは内部摩擦角はほぼ等しいが， $D_c=90\%$ 以上の内部摩擦角はいずれの α_σ でも顕著に増加していることがわかる．また， $\alpha_\sigma=60^\circ$ の傾きは比較的緩やかであり， $\alpha_\sigma=15^\circ$ になるにつれてやや増加していることがわかる．

図5には α_σ と内部摩擦角の関係を表しており，参考にまさ土と豊浦砂の空中落下法により作成された供試体の結果も示している．締固めたまさ土は $\alpha_\sigma=30^\circ\sim60^\circ$ での内部摩擦角の低下が大きいことが空中落下法と比べて明確である．これにより締固めまさ土の異方性が空中落下法と異なっていることがわかった．また，締固め度に注目すると， $D_c=90\%$ では α_σ が増加するにつれて，緩やかに内部摩擦角が低下しているのに対して， $D_c=95\%$ では $\alpha_\sigma=30^\circ$ を超えたところから傾きが急になり，大きく低下するという違いが現れた．図6は α_σ 別の内部摩擦角と締固め度の関係を示している． $D_c=90\%$ までは内部摩擦角はほぼ等しいが， $D_c=90\%$ 以上の内部摩擦角はいずれの α_σ でも顕著に増加していることがわかる．また， $\alpha_\sigma=60^\circ$ の傾きは比較的緩やかであり， $\alpha_\sigma=15^\circ$ になるにつれてやや増加していることがわかる．

4.まとめ 内部摩擦角はいずれの締固め度においても，主応力方向角が $0^\circ\sim30^\circ$ ではあまり変化がないが，主応力方向角が $45^\circ\sim60^\circ$ では大きく低下することがわかった．締固め度が増加するにつれて，内部摩擦角の増加は顕著となった．いずれの主応力方向角においても，締固め度90%を超えると内部摩擦角の増加が大きくなっていくことがわかった．

参考文献

- 1) 龍岡文夫，地盤工学における今日の課題 古典理論・設計法・土の物性の関連，pp.1-2,6,13，2006
- 2) 金本淳史，中田幸男，兵動正幸，富尾祥一，田中浩之，主応力方向に着目した砂質土の応力ひずみ挙動に与えるクリープの影響，第59回土木学会中国支部発表講演集，-49，pp.257-258，2007

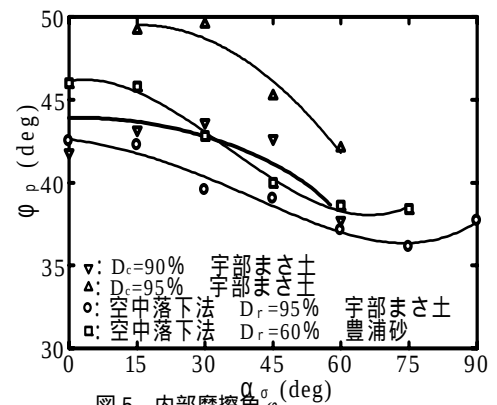


図5. 内部摩擦角 ϕ_p と主応力方向角 α_σ の関係

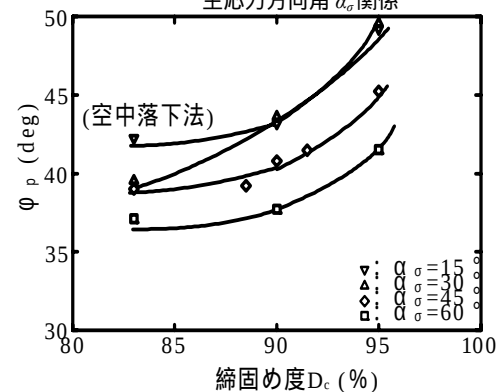


図6. 内部摩擦角 ϕ_p と締固め度 D_c の関係