

論文の内容の要旨

論文題目 Locally measured deformation properties of Toyoura sand in cyclic triaxial and torsional loadings and their modelling

(和訳 繰返し三軸・ねじり載荷時における豊浦砂の局所計測による変形特性とモデル化)

氏名 グエン ナムホン

砂の弾性的変形特性の異方性について、主応力軸の回転の影響を考慮しながら、実験および数値計算により詳細に検討した。

気乾状態の豊浦砂を用いて、拘束圧 30kPa での初期間隙比が 0.697~0.760 の範囲の密な中空円筒供試体を作成した。供試体の寸法は、外径 20cm・内径 16cm・高さ 30cm (サイズ A)、外径 20cm・内径 12cm・高さ 30cm (サイズ B)、および外径 10cm・内径 6cm・高さ 20cm (サイズ C) の 3通りとした。排水三軸・ねじりせん断試験を系統的に実施し、新たに開発したピンタイプの局所変位計測装置と非接触変位計を用いて供試体の局所変位計測を行った結果、微小変位レベルでの弾性的変形特性について以下の点を明らかにした。

等方応力または三軸応力下で主応力軸方向が回転しない場合、鉛直ヤング率 E_z 、せん断剛性率 $G_{z\theta}$ 、およびポアソン比 $\nu_{z\theta}$ の測定値は、それぞれ σ'_z の m 、 $(\sigma'_z/\sigma'_\theta)^{0.5n}$ 、および R^k に主として依存した。ただし R は鉛直応力と水平応力の比 σ'_z/σ'_θ で、 m, n, k は定数である。三軸応力下で R が 3 を超えると、 $G_{z\theta}$ が小さ

めになる傾向が見られた。一方、ねじりせん断により主応力軸方向が回転する場合、 E_z , $G_{z\theta}$, $\nu_{z\theta}$ の値は $\tau_{z\theta}$ の载荷とともに小さめになり、その低下の程度は R の値とそれまでに経験した応力履歴によって異なった。

供試体寸法の違いの影響に関しては、サイズ A と B の供試体の試験結果に有意な差は見られなかった。特に、サイズ B の供試体の試験結果は最もばらつきが少なく安定していた。一方、サイズ C の供試体の試験結果は、ばらつきが最も多く、 $G_{z\theta}$ の測定値は他のサイズの場合よりも小さくなる傾向が見られた。

供試体端面でのベッディングエラーと端面拘束が E_z に及ぼす影響は明確には見られなかった。一方、 $G_{z\theta}$ は局所変位計測による測定値が、外部での変位計測による結果よりも小さくなった。これは、後者が端面摩擦による変位拘束の影響を受けているためと考えられる。

空中落下法により供試体を作成する際に、砂粒子を円周方向のみに散布すると、水平面内での異方性が生じた。円周方向と半径方向に砂粒子を散布することにより、この異方性の程度を減少させることができた。

さらに、初期異方性と応力誘導異方性および主応力軸方向の回転の影響を考慮できる新しい歪弾性モデルとして、IIS モデルと呼ばれるモデルを提案した。これを用いて算定したひずみの弾性成分を全ひずみの測定値から差し引くことにより、大振幅繰返しねじりせん断時のせん断ひずみの塑性成分を推定し、そのモデル化を行った。これらの検討により以下の点が明らかになった。

主応力軸方向が回転する場合も含む三軸・ねじりせん断試験で測定した豊浦砂の弾性的変形特性の異方性を、IIS モデルによりシミュレーションすることができた。本研究で用いた試験条件のもとでは、シミュレーション結果に及ぼす初期異方性の影響は小さかった。

一般化した双曲線関数 (GHE) と新たに提案した対数正規分布関数 (LE) により、単調ねじりせん断時の豊浦砂の骨格曲線をモデル化することができた。LE を用いることにより、GHE を用いた場合よりも少ないパラメーター数でモデル化を行うことができた。

Masing の第2法則を一般化した Proportional rule と、生じたひずみ量に応じて骨格曲線を移動させる Drag rule を適用し、適切な drag 関数を設定することにより、大振幅の繰返しねじりせん断時におけるせん断応力比とせん断ひずみの塑性成分の関係の測定値を、数値計算によりシミュレーションすることができた。

本研究では豊浦砂の変形特性を対象とした検討を実施したが、モデル化に用いた各手法は他の粒状体材料に対しても一般化して適用することが可能である。弾性的変形特性に **IIS** モデルを、単調载荷時の骨格曲線のモデル化に **GHE** または **LE** を、繰返し载荷時の挙動のモデル化に **Proportional rule** と **Drag rule** を適用することにより、従来よりも詳細な変形挙動のシミュレーションが可能になると考える。