

Ⅲ-A11

密度の異なる非塑性シルト質土に対する非排水三軸圧縮試験の弾塑性解析

茨城大学工学部 正会員 ○村上 哲
 茨城大学工学部 フェロー 安原一哉
 茨城大学大学院 学生会員 野口良彦
 茨城大学大学院 学生会員 島袋 淳

1. はじめに：飽和した砂質土やシルト質土のせん断特性に大きく影響を与える要因の1つとして、せん断前の密度の状態が挙げられる。例えば、非排水三軸圧縮試験において得られる応力～ひずみ関係は、密な状態にある土は偏差応力が最大値を示すことなく単調に増加し（いわゆる、ひずみ硬化型の材料）、一方、緩い状態にある土は偏差応力が最大値を示す（ひずみ硬化→軟化型の材料）。このような土の挙動を表現するために、関連流動則を用いた等方硬化型弾塑性構成モデルでひずみ硬化→軟化型材料を表現できるモデルを用いた場合、一般に、正規圧密土（緩い状態）ではひずみ硬化型、過圧密土（密な状態）ではひずみ硬化→軟化型の応力～ひずみ関係を示すことから、上述の実験事実とは矛盾が生じることが多い。そこで、本研究では、従来提案されている関連流動則等方硬化型の弾塑性構成モデルに応力誘導異方性を表す回転硬化の概念を導入し、密な土と緩い土のせん断挙動の違いについて数値解析による検討を行った。

2. 弾塑性構成モデルと数値計算条件：計算に用いた弾塑性構成モデルは、下負荷面および回転硬化の概念を用いた弾塑性構成モデル¹⁾である。このモデルは、正規降伏関数に太田・関口モデルの降伏関数を修正し、異方性の方向が塑性変形に伴い変化することによって正規降伏面の軸が回転するモデルである。詳細は文献1)を参照されたい。計算は、有限要素法による数値計算により行った。用いた要素は8節点6面体アイソパラメトリック要素であり、対称性を考慮して土供試体の8分の1を想定した1要素の1つの面を変位させる条件で行った。なお、非排水条件は要素に体積変化ゼロの制約条件を与え、その積分点は要素の重心1点で行っている。対象とした土質材料は非塑性シルト質土であり、これを密な状態($\rho_d = 0.91 \rho_{dmax}$, ρ_{dmax} : 最大乾燥密度)と緩い状態($\rho_d = 0.70 \rho_{dmax}$)に作成した供試体である²⁾。これらの供試体を等方応力98kPaで圧密した後、非排水状態で三軸圧縮を行った試験を計算対象とした。実験から得られた有効応力経路および応力～ひずみ関係を図-1, 2に示す。両図から各供試体がそれぞれ密な土と緩い土のせん断特性を示していることが分かる。計算に用いた材料定数および初期条件を表-1に示す。なお、等方圧密後でも各供試体とも異方性が残っており、その異方性も密な状態ほど大きく、また、密な供試体は圧密降伏応力も圧密時の応力状態より大きくなると考えた。

表-1 材料定数および初期条件

項 目		密な供試体 ($\rho_d = 0.91 \rho_{dmax}$)	緩い供試体 ($\rho_d = 0.70 \rho_{dmax}$)
材 料 定 数	限界状態の応力比 M	1.125	
	圧縮指数 λ	0.0364	
	膨潤指数 κ	0.00527	
	ポアソン比 ν	0.333	
	下負荷面パラメータ m_R	0.500	
	誘導異方性パラメータ(1) m_a	100.0	
初 期 条 件	誘導異方性パラメータ(2) μ_d	0.0100	
	圧密後の応力状態	$p'_c = 98 \text{ kPa}$, $q_c = 0 \text{ kPa}$	
	圧密後の圧密降伏平均応力 p'_v	4900.0 kPa	102.6 kPa
	圧密後の圧密降伏偏差応力 q_v	1132.0 kPa	5.336 kPa
	圧密後の間隙比	0.788	1.322

3. 計算結果：計算結果を図-3, 4に示す。回転硬化の概念、すなわち、応力誘導異方性を考慮することによって、密な状態および緩い状態の土のせん断挙動を表現できることが分かる。また、このせん断挙動の違いは正規降伏面の軸の方向や大きさの変化によると考え、図-5に示すような方向を表す応力比 η_y と初期からの大きさの変化比 $R_y = d_y/d_{yc}$ について調べた結果を図-6に示す。図よりせん断変形に正規降伏面の方向・大きさとも変化していることが分かる。しかし、密な状態・緩い状態ともその方向の変化はあまり変わらないが、大きさの変化は緩い状態の場合は単調に増加しているのに対し、密な状態の場合は一旦増加した後減少する傾向が見られ、この拡大・縮小が土のせん断特性に大きく反映されていると考えられる。

キーワード：せん断，弾塑性構成則，応力誘導異方性，数値実験，有限要素法

〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294(38)5174 FAX 0294(35)8146

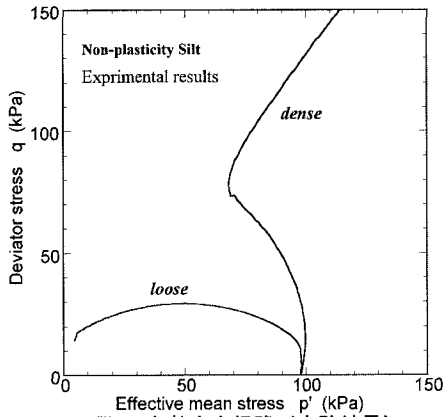


図-1 有効応力経路（実験結果）

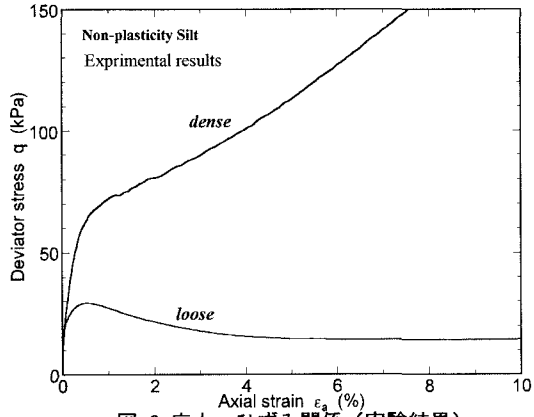


図-2 応力～ひずみ関係（実験結果）

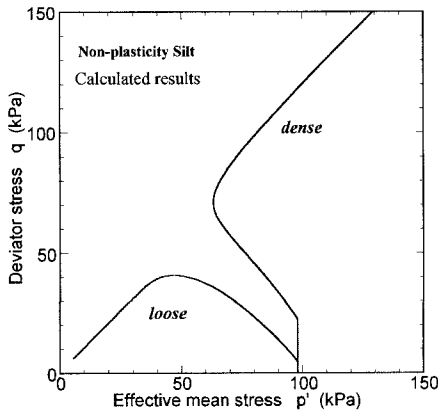


図-3 有効応力経路（計算結果）

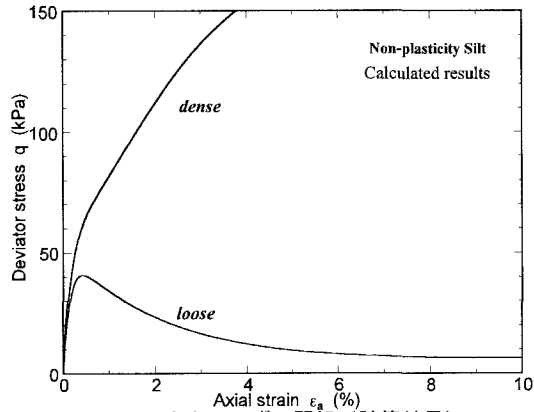


図-4 応力～ひずみ関係（計算結果）

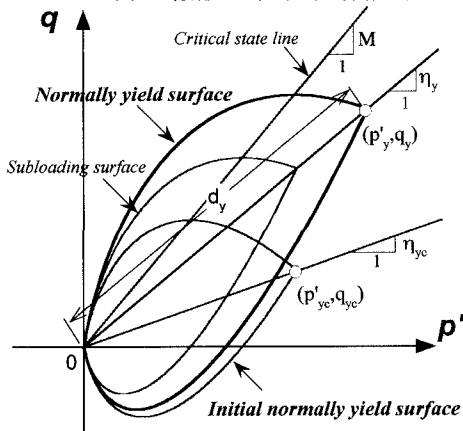


図-5 正規降伏面の方向と大きさを表すための模式図

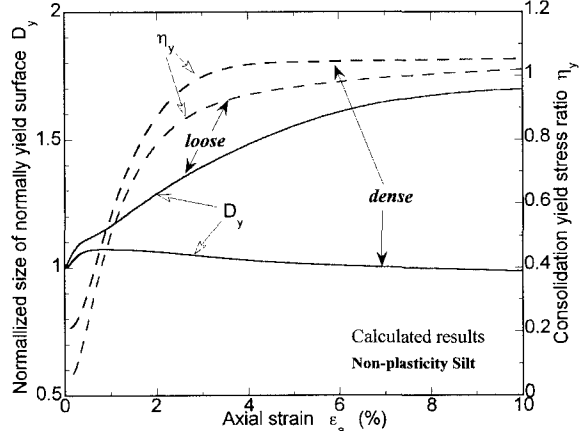


図-6 正規降伏面の方向と大きさの変化

4. おわりに：密な土および緩い土のせん断特性の違いについて応力誘導異方性を考慮できる弾塑性構成モデルを用いた数値実験により検討した。計算結果は実験結果を表現できること、さらに、そのせん断特性の違いは、正規降伏面の方向のみならず大きさの変化に依ることが分かった。今後、このモデルを用いて応力誘導異方性について詳細な検討を行って行きたい。

参考文献：1) 村上・安原・野口：応力誘導異方性を考慮した弾塑性構成モデルによる限界状態近傍の挙動解析，第33回地盤工学研究発表会講演概要集，1998。（投稿中） 2) 島袋・安原・村上：非塑性シルトの液状化後の変形特性，第53回土木学会年次学術講演会講演概要集，1998。（投稿中）