

京大学大学院 正会員 岡 二三生
 京大学大学院 学生会員 木元 小百合
 京大学大学院 学生会員 ○ 肥後 陽介

1. はじめに

粘性土をそのダイレイタンスー特性で大きく二分すると、負のダイレイタンスーが顕著な正規圧密粘土と、正のダイレイタンスーが顕著な過圧密粘土がある。そこで本研究では、ダイレイタンスー特性の異なる正規圧密粘土と過圧密粘土について統一的に表現できる弾粘塑性構成式を用いて正規圧密粘土と過圧密粘土の変形の局所化解析を行い、ダイレイタンスー特性の異なる正規圧密粘土と過圧密粘土のひずみの局所化について検討を行う。

2. 弾粘塑性構成式

足立・岡・三村¹⁾は負のダイレイタンスー特性を持つ正規圧密粘土に対して超過応力型の弾粘塑性構成式を導いた。この構成式を過圧密粘土の挙動をも表現できるよう拡張したものが、本研究で用いた弾粘塑性構成式である。粘塑性ひずみ速度テンソルは以下のように定義される。

$$\dot{\epsilon}_{ij}^{vp} = \langle \Phi_{ijkl}(f_y) \rangle \Phi_2 \frac{\partial f_p}{\partial \sigma_{kl}} \\ \Phi_2 = \frac{\bar{\eta}_{(0)}^{**} M_f^*}{G_2^* \left\{ M_f^* - \frac{\bar{\eta}_{mn}^{**} (\eta_{mn}^{**} - \eta_{mn(0)}^{**})}{\bar{\eta}_{(0)}^{**}} \right\}} + 1 \\ \bar{\eta}_{(0)}^{**} = \left\{ \left(\eta_{ij}^{**} - \eta_{ij(0)}^{**} \right) \left(\eta_{ij}^{**} - \eta_{ij(0)}^{**} \right) \right\}$$

ここで、 $\langle \Phi_{ijkl}(f_y) \rangle$ はひずみ速度効果を表す関数、 f_p は塑性ポテンシャル、 f_y は降伏関数、 η_{ij}^{**} は応力テンソル、 α 、 σ_{ma} 、 G_2^* は材料定数、 $\bar{M}^*$ はダイレイタンスー係数、 M_f^* は破壊時の応力比、下付の (0) はその初期値である。詳しくは²⁾を参照されたいが、ここでは過圧密粘土の挙動を表現するために拡張した事項について簡単に述べる。(1) ダイレイタンスー係数 $\bar{M}^*$ を応力比と粘塑性体積ひずみの関数とし、せん断初期において粘塑性体積ひずみの発生が抑制されるような過圧密的挙動を表現可能とした。(2) 関数 Φ_2 に応力履歴テンソル³⁾ η_{ij}^{**} を用いて、有効応力径路が限界状態線を超える過圧密粘土特有の挙動を表現可能とした。

この構成式に表1に示すパラメータを用いて、正規圧密粘土(以下NC)と過圧密粘土(以下OC)について非排水三軸圧縮試験のシミュレーションを行ったと

ころ、図1に示すような応力～ひずみ関係、有効応力径路となった。ひずみ速度は0.1%/minと1.0%である。非排水条件では有効応力が減少することは粘塑性体積ひずみが圧縮に発生している事に対応し、有効応力の増加は負の粘塑性体積ひずみの発生に対応するので、このパラメータでNCとOCのダイレイタンスー特性の違いは表現できている。

3. 解析方法

変形の局所化解析は、有限変形水－土連成有限要素法により、ひずみ制御の平面ひずみ圧縮試験をシミュレートした。用いた応力速度は有効Cauchy応力のJaumann速度で、全体の釣り合い式、流体相の支配方程式を離散化した。図2に示すのは供試体寸法と境界条件である。変形の局所化のトリガーとして、供試体上下端面の左右両端の変位を拘束している。ひずみ速度は0.1%と1.0%/minで強制変位を与えた。

4. 解析結果と考察

表1のパラメータと透水係数 $1.54 \times 10^{-8} (m/s)$ で、ひずみ速度は0.1%/minと1.0%/minで変形の局所化解析を行った。図3にNC、OCの応力～ひずみ関係を示す。これらの図からNCについてもOCについてもひずみ速度依存性が確認できるとともに、ピーク応力を迎える軸ひずみの量(NC:約4%、OC:約2%)がOCの方が小さいことが見て取れる。

軸ひずみ10%での間隙水圧 u_w 、平均有効応力 σ_m 、粘塑性体積ひずみ v^p (圧縮が正)の分布図を図4にNC、OCについて示す。NCでは σ_m がせん断帯内部を中心に初期値(392kPa)から減少しており、 v^p は圧縮側に出ているのに対し、OCでは σ_m の増加(初期値100kPa)とせん断帯内部での負の v^p が見られ膨張していることがわかる。また、 u_w はNCもOCも極端な分布は見せないが、OCよりもNCの方が発生する u_w は高い。

図5、図6にNC、OCのピーク応力時(NC:4%、OC:2%)と軸ひずみ10%における粘塑性偏差ひずみの不変量 $\gamma^p (= \int d\gamma^p dt, d\gamma^p = \sqrt{de_{ij}^{vp} de_{ij}^{vp}})$ の分布図を示す。ピーク応力時ではいずれも境界条件の影響を受け供試体上下端面からひずみの局所化が見られる。せん断が進むとNCの0.1%/minでは2本のせ

ん断帯が、NCの1.0%/minとOCの両ケースでは4本のせん断帯が左右対称に現れるが、OCの方がNCよりもせん断帯の間隔が広い。また、同じNC、OCでもひずみ速度が速い1.0%/minのほうがせん断帯の間隔は広い。これは、ひずみ速度が速いと間隙水の移動が抑制され、境界条件に依存して発生したひずみの集中帯がそのまません断帯として発達するためと考えられる。

表 1: 解析パラメータ

圧密降伏応力 σ'_{mbi}	392kPa	破壊応力比 M_f^*	1.05	移動硬化パラメータ A_1^*	1.05(= M_f^*)
初期圧密応力 σ'_{m0}	392kPa(NC) 100kPa(OC)	応力履歴パラメータ τ	0.001(NC) 0.2(OC)	" $B_{1(0)}^*$	0(NC) 0.5(OC)
圧縮指数 λ	0.172	粘塑性パラメータ C_{01}	$4.5 \times 10^{-8}(1/sec.)$	" B_s^*	0
膨張指数 κ	0.054	" C_{02}	$4.5 \times 10^{-8}(1/sec.)$	" B_t^*	0
初期間隙比 e_0	0.72	" G_2	1	せん断弾性係数 G_0	5500kPa
変相応力比 M_m^*	1.05	" m'	21.5	" α	0.2

まとめ

ダイレイタンシー特性の異なる正規圧密粘土と過圧密粘土の挙動を統一的に表現し得る弾粘塑性構成式を用いてひずみの局所化解析を行った。その結果、ダイレイタンシーの違いが応力～ひずみ関係やひずみの局所化に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。

参考文献

1)Adachi, T., Oka, F. and Mimura, M., Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.31-42, 1987. 2) 岡二三生・木元小百合・肥後陽介, 飽和粘土の弾粘塑性構成式 (その1)-構成式の誘導-, 第36回地盤工学研究発表会講演集, 2001. 3) 足立紀尚・岡二三生, 土木学会論文集, No.445, III-18, pp.9-16, 1992.

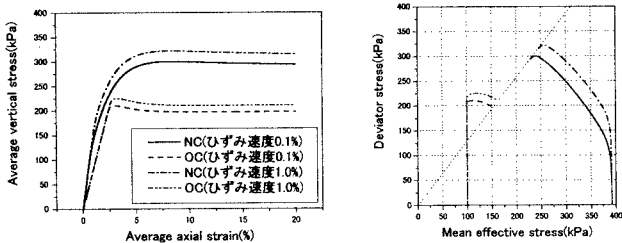


図1 三軸シミュレーションによる応力～ひずみ関係と有効応力経路

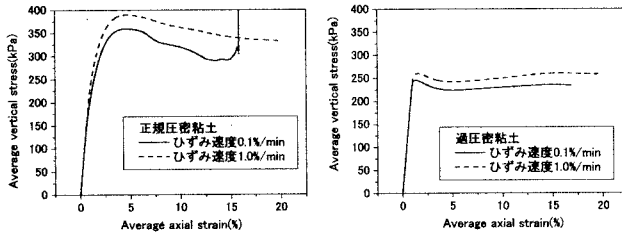


図3 局所化解析による応力～ひずみ関係

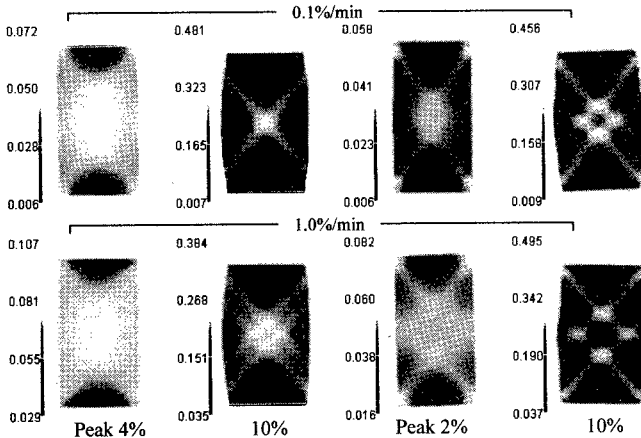


図5 NCのピーク応力時と軸ひずみ10%における γ_p の分布図

図6 OCのピーク応力時と軸ひずみ10%における γ_p の分布図

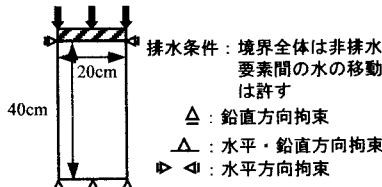


図2 供試体寸法と境界条件

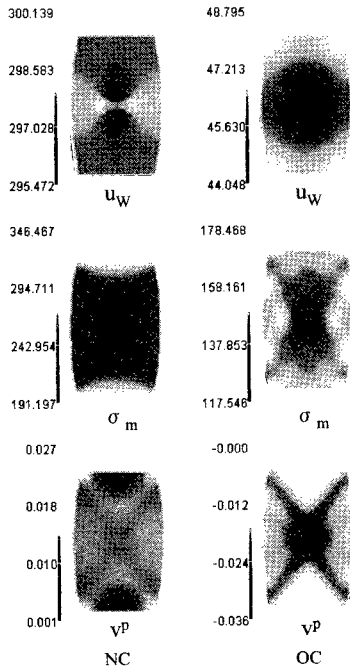


図4 NC、OCの軸ひずみ10%における u_w 、 σ_m 、 v_p の分布図