

Ⅲ-B 428 塑性ひずみ勾配型理論を用いた粘性土の二次元変形解析

岐阜大学 ○正会員 沢田 和秀 八嶋 厚 学生員 今江礼行 福島耕司 京都大学 岡 二三生

はじめに 筆者らはこれまで弾粘塑性構成式に粘塑性体積ひずみの二階空間勾配を導入(塑性ひずみ勾配型理論)した場合、粘土の変形解析にどのような影響を与えるか検討を行ってきた。本研究ではこれまでに行った解析結果に基づき 平面ひずみ条件下で非排水圧縮試験をシミュレートし、粘土供試体内の塑性体積ひずみの分布について考察した。弾粘塑性構成式には岡・足立の弾粘塑性構成式を用い、固体-流体連成の支配方程式は Biot の理論に基づいて定式化している。

弾粘塑性構成式 岡・足立の弾粘塑性構成式¹⁾に粘塑性体積ひずみの二階空間勾配項 ($a_3 \nabla^2 v^p$) を導入する。この長さの次元をもつ項の導入によって、物理的には材料の特性長さの表現を、数学的には有限要素解析解のメッシュサイズ依存性を緩和することが期待できる。

$$\varepsilon_{ij}^{vp} = \gamma \langle \Phi_1(F) \rangle \Phi_2(\xi) \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{ij}}, \quad \langle \Phi_1(F) \rangle = \begin{cases} 0 & (F \leq 0) \\ \Phi(F) & (F > 0) \end{cases} \quad (1)$$

$$\gamma \Phi_1(F) = M^* \sigma'_m C_N \exp \left\{ m'_N \left(\ln \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{m0}} \right) + \frac{\bar{\eta}^*}{M^*} - \frac{1+e}{\lambda - \kappa} v^p - a_3 \nabla^2 v^p \right) \right\} \quad (2)$$

ε_{ij}^{vp} : 粘塑性ひずみ速度テンソル, σ'_{m0} : 初期圧密応力, C_N , m'_N : 粘塑性パラメータ
 M^* : 破壊応力比, λ : 圧縮指数, e : 間隙比, σ'_m : 平均有効応力, γ : 粘性係数, v^p : 粘塑性体積ひずみ,
 κ : 膨潤指数, $\bar{\eta}$: 相対応力比, a_3 : 粘塑性ひずみ勾配に関する材料定数

上式中の第二材料関数 $\Phi_2(\xi)$ は次式のように仮定した。

$$\Phi_2(\xi) = 1 + \xi, \quad \xi = \frac{M_f^* \bar{\eta}_x^*}{G_2^* \left\{ M_f^* - \frac{\eta_{mn}^* (\eta_{mn}^* - \eta_{mn(0)}^*)}{\bar{\eta}_x^*} \right\}}, \quad \bar{\eta}_x^* = (\eta_{mn}^* - \eta_{mn(0)}^*) (\eta_{mn}^* - \eta_{mn(0)}^*)^{\frac{1}{2}}, \quad G_2^*: \text{軟化パラメータ} \quad (3)$$

第二材料関数は次の二つの条件を満たす。ここで $\eta_{mn(0)}^*$ の (0) は圧密終了後の初期値を示す。

- ・限界状態で ξ は無限大になり $\Phi_2(\xi)$ は無限大になる。
- ・ ξ は正の値を取る。

解析及び考察 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ の正規圧密粘土 (大阪沖積粘土) の非排水圧縮試験をシミュレートした。ただし要素供試体内の間隙水の移動は許している。また要素の対称性を考慮し全体の4分の1を用い解析を行った。要素メッシュの形状及び境界条件を図1に、材料定数は表1に示した。図1 ($10\text{cm} \times 10\text{cm}$) を 20×20 の有限要素メッシュに分割した。図3は、図2に示した境界条件を用いて行ったせん断変形解析²⁾の塑性体積ひずみの分布図である。(2)式における勾配項 $a_3 \nabla^2 v^p$ の正負の差異により塑性体積ひずみの分布が異なる。せん断変形解析には供試体の中心を弱要素としている(図2)。図1を用いて行ったシミュレーションの変形メッシュを図4に示す。粘塑性体積ひずみにかかる係数 a_3 を左から順に -0.5, 0, +1, +5、見かけの軸ひずみを上から順に 2, 4, 6, 8, 10% とした。 a_3 が -0.5 (勾配項 $a_3 \nabla^2 v^p$ が負) の場合と a_3 が +5 の場合には大変形時のデータが得られなかったが $a_3 = 0$ のとき以外の場合ではせん断帯がはっきりしない。また、 a_3 が負の場合には供試体表面に乱れが見られる。解析において硬化パラメータとして使用している粘塑性体積ひずみの分布(軸ひずみ4%)を図5に示す。勾配項のない場合 $a_3 = 0$ 、粘塑性体積ひずみはせん断帯付近に集中しているが、 a_3 を正にすると集中はなくなり、また a_3 を負にすると数値は大きくなり局所的な部分は見られないが、 a_3 の値が正負ともに 図3の傾向に対応していることが分かる。また、基準化したせん断ひずみの分布を図6に示す。図5と同様に $a_3 = 0$ の場合より a_3 が正になるときせん断帯の幅は大きくなり、負になるとはっきりしたせん断帯は見られなくなり、大きい数値のせん断ひずみが分散している。これも図3の同じ傾向であり、 a_3 を負の値にとることで解を分散させる方向に働いている。

まとめ 本研究では、勾配理論型弾粘塑性構成式を用い正規圧密粘土の非排水圧縮試験をシミュレートした。せん断変形解析も非排水圧縮も粘塑性勾配項の影響により得られる結果の傾向は同様であるが、要素供試体内の間隙水圧、有効応力等を考察することが重要であるため発表会に詳しく述べる。

参考文献 1) Oka, F. et al., Elasto-viscoplastic constitutive model for clay, Proc. of the Int. Conf. on Rheology and Soil Mechanics, Edited by M.J. Keedwell, Coventry, UK., 12-16, Sept., 1988. pp.12-18

2) 福島耕司 他, ひずみ勾配理論を用いた飽和粘土のせん断変形解析, 第33回地盤工学研究発表会投稿中, 1998

塑性ひずみ勾配型理論、弾粘塑性構成式

〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部 土木工学科 電話 058-293-2422 FAX 058-230-1891

表1 材料定数		
圧縮指数	λ	0.372
膨潤指数	κ	0.054
初期平均有効応力	σ'_{m0}	$6.0(kgf/cm^2)$
間隙比	e	1.28
粘塑性パラメータ	m'	21.5
粘塑性パラメータ	C	$4.5 \times 10^{-8}(1/sec)$
破壊時の応力	M^*	1.05
破壊時の応力(弱要素)	M^*	0.94
せん断弾性係数	G	$132.1(kgf/cm^2)$
透水係数	k	$1.16 \times 10^{-12}(cm/sec)$
軟化パラメータ	G_2^*	50

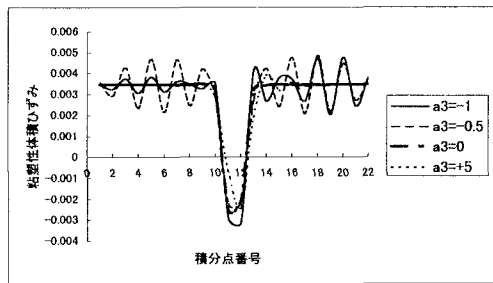


図3 粘塑性体積ひずみの分布

初期状態
のメッシュ

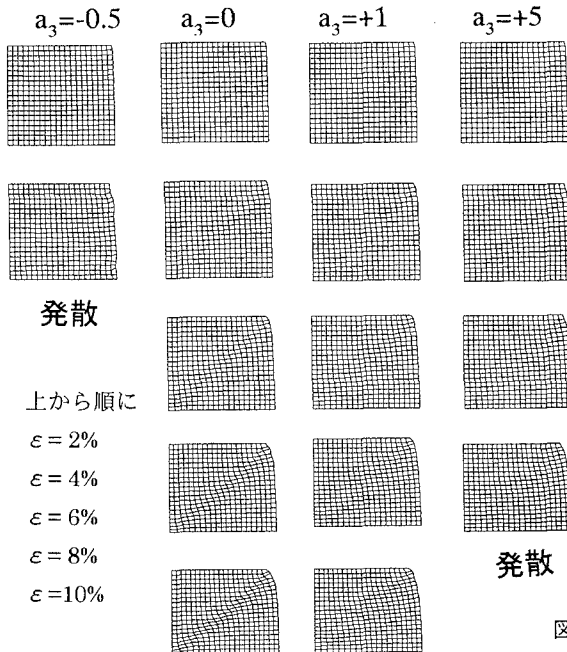
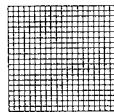


図4 変形メッシュ

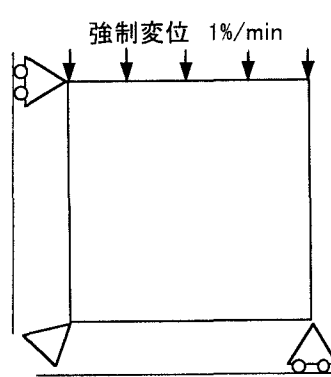


図1 境界条件(圧縮)

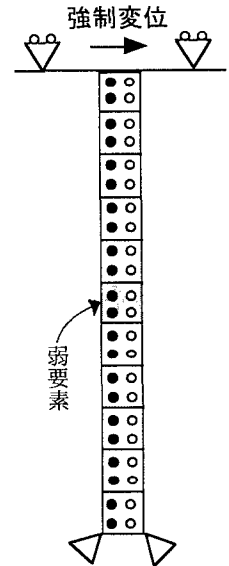


図2
境界条件
(せん断)

図5, 図6は
上から順に
 $a_3 = -0.5$
 $a_3 = 0$
 $a_3 = +1$
 $a_3 = +5$

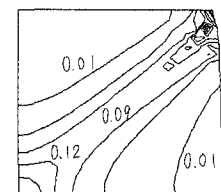
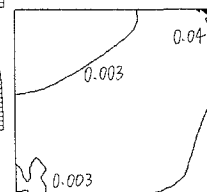
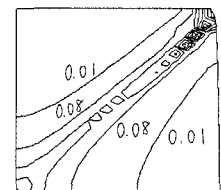
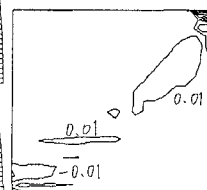
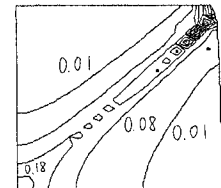
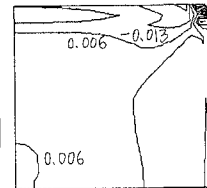
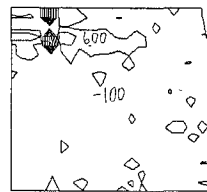


図5 粘塑性体積ひずみの分布
(軸ひずみ4%)

図6 せん断ひずみの分布
(軸ひずみ4%)