

Ⅲ-B340 塑性ひずみ勾配型理論に基づく粘性土の変形局所化解析

岐阜大学 ○正会員 沢田 和秀 岡 二三生 八嶋 厚 応用地質株式会社 小山 彰

1. はじめに

材料の特性長さ(粒径など)を考慮していない有限要素解析では、変形が一部に過度に集中して破壊に至る(局所的破壊)ため、せん断帯の幅の予測が不可能であった。また、有限要素解析では、メッシュ分割の大きさにより得られた解に差異が生じる事が知られている。

このような問題点を解決する方法として、塑性ひずみの勾配項を導入する塑性ひずみ勾配型理論があげられる。本研究では、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した場合、解析結果にどのような影響を与えるか検討を行った。特に、有限要素解析におけるメッシュ分割の違い及びそれらに現れるせん断帯の幅に着目した。固体-流体連成の支配方程式にはBiotの理論に基づいて定式化している。

2. 構成式と解析手法

岡・足立の弾粘塑性構成式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。

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

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

$\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp}$: 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。

$$\Phi_2(\xi) = 1 + \xi, \quad \xi = \frac{M_f^* \bar{\eta}_x^*}{G_2^* \left\{ M_f^* - \frac{\eta_{mn}^* (\eta_{mn}^* - \eta_{mn(0)}^*)}{\bar{\eta}_x^*} \right\}} \quad (3)$$

$$\bar{\eta}_x^* = (\eta_{mn}^* - \eta_{mn(0)}^*) (\eta_{mn}^* - \eta_{mn(0)}^*)^{\frac{1}{2}} \quad G_2^*: \text{軟化パラメータ} \quad (4)$$

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。

本研究では、有限変形理論に基づき、粘塑性体積ひずみを1要素8節点で定義し有限変形有限要素解析プログラムに導入した。有限要素解析を行う際に粘塑性体積ひずみの二階空間勾配項を形状関数を用いて定式化しているため、釣り合い式、連続式の他に構成式も有限要素法によって離散化した。

3. 解析及び考察

20cm × 20cmの正規圧密粘土に対する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。解析に用い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。要素の対称性を考慮し領域Aの半分(全体の4分の1)を用いて解析を行った。図1の領域A(10cm × 20cm)について有限要素メッシュを5 × 10, 10 × 20, 20 × 40要素の3パターンのメッシュを用意した。図2はみかけの軸ひずみ10%での変形メッシュ(領域A800要素)である。粘塑性ひずみ勾配に関する定数 a_3 の違いによりせん断帯の頭れ方が明らかに違うのがわかる。図3は、軸ひずみ-みかけの軸差応力(領域Aの上端面の節点反力の和の平均)関係図である。有限要素メッシュが細分化するにつれ二階空間勾配項の影響が強くなっていく。図4は、変形図(みかけの軸ひずみ10%)におけるせん断ひずみの分布である。 a_3 の値の違いによってメッシュサイズの差異によるせん断帯の幅への影響の違いが見て取れる。

4. まとめ

粘塑性ひずみ勾配に関する定数 a_3 が大きくなると、せん断帯の幅が変化しせん断ひずみの分布が広がり見かけの応力も大きくなる。

塑性ひずみ勾配型理論、メッシュサイズ依存性、弾粘塑性構成式

〒501-11 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

参考文献

- 1) Oka, F., Adachi, T. and Mimura, M., Elasto-viscoplastic constitutive model for clay, Proceedings of the International Conference on Rheology and Soil Mechanics, Edited by M.J. Keedwell, Coventry, UK., 12-16, September, 1988. pp.12-18
- 2) Oka, F., Yashima, A., Kohara, I. and Adachi, T., Instability of a viscoplastic model for clay and numerical study of strain localisation, Localisation and Bifurcation Theory of Soils and Rocks, Balkema Pub. Chambon, Desrues Vardoulakis eds. pp.237-247, 1994
- 3) 小山 彰, 勾配依存型弾粘塑性構成式を用いた粘性土の変形解析, 岐阜大学修士論文, 1997

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}	$6.0(\text{kgf}/\text{cm}^2)$
間隙比	e	1.28
粘塑性パラメータ	m_N	21.5
粘塑性パラメータ	C_N	$4.5 \times 10^{-8}(\text{1/sec})$
破壊時の応力	M^*	1.05
せん断弾性定数	G	$132.1(\text{kgf}/\text{cm}^2)$
透水係数	k	$1.16 \times 10^{-12}(\text{cm/sec})$
ひずみ速度	$\dot{\epsilon}$	$1.0(\%/sec)$
軟化パラメータ	G_2^*	100

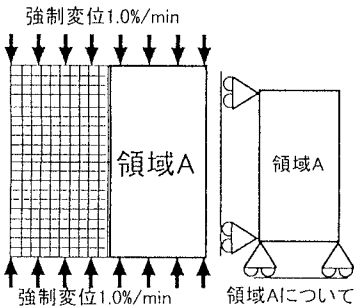


図1 境界条件

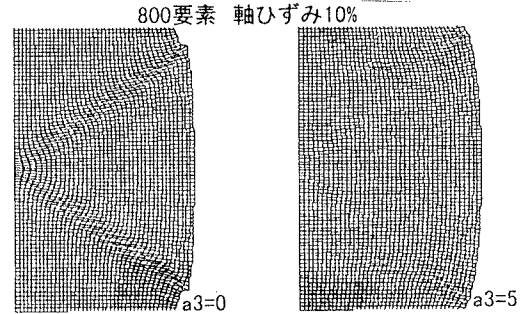


図2 メッシュ変形図

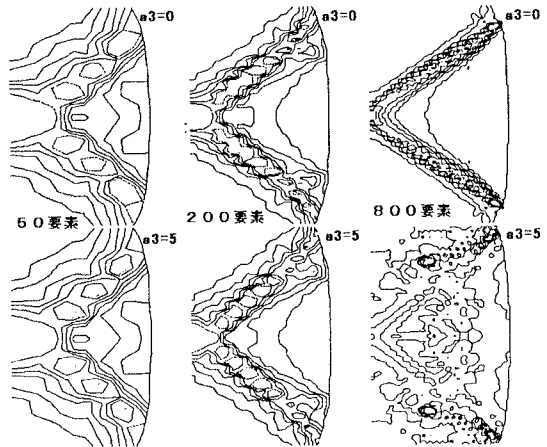


図4 せん断ひずみ分布

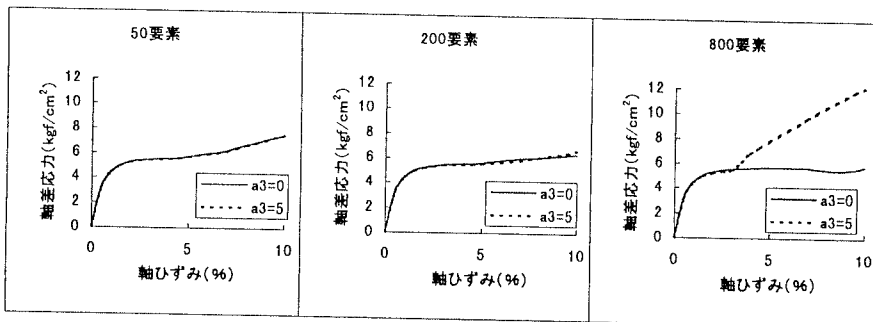


図3 軸ひずみ-応力関係図