

異方圧密後の粘土の中空ねじり試験結果の解析

岐阜大学 (正会員) 岡 二三生

岐阜大学 (正会員) 八嶋 厚

○ 岐阜大学大学院 (学生会員) 奥村 浩

1.はじめに

すでに東大に分布する鋭敏粘土を用いた非排水中空ねじり試験を実施している[1]。本報告は、非線形移動硬化理論を導入した弾粘塑性構成式によって、異方圧密後の非排水中空ねじり試験 (軸方向非拘束) 結果の解析を行い、提案式の自然粘土への適用性を検討したものである。

2.非線形移動硬化理論

Armstrong & Frederick [2]により提案され、Chaboche ら[3]によって一般化された非線形移動硬化理論では、等方硬化則および移動硬化則の複合則が用いられている。また、降伏曲面の移動則が非線形であり、次のように示すことができる。

$$f=J(\sigma_{ij}-\sum_{k=1}^n x_{ij(k)})-R-K=0 \quad (1)$$

R : 等方硬化パラメータ, $x_{ij(k)}$: k 番目の移動硬化パラメータ, K : 初期降伏曲面の大きさ

σ_{ij} : 応力テンソル, J : 応力空間における降伏曲面中心からの距離に対応

3.非線形移動硬化理論を用いた弾粘塑性構成式 [5]

前述した非線形移動硬化理論を導入した静的降伏関数、塑性ポテンシャル関数は次のように示すことができる。

$$\text{静的降伏関数 } f_y, \quad f_y = \{(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)\}^{\frac{1}{2}} + \alpha M_m^* \ln\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{my}}\right) = 0 \quad (2)$$

$$dx_{ij}^* = B^* (A^* d\epsilon_{ij}^{vp} - x_{ij}^* d\gamma^{vp*}) \quad (3)$$

η_{ij}^* : 圧密終了時の応力比, σ_m : 平均有効応力, x_{ij}^* : 移動硬化パラメータの増分

$d\epsilon_{ij}^{vp}$: 粘塑性偏差ひずみ増分テンソル, M_m^* : 最大圧縮応力比, A^*, B^* : 移動硬化パラメータ

$d\gamma^{vp*}$: 粘塑性偏差ひずみ増分テンソルの第二不変量, α : 材料パラメータ, σ_{my} : 硬化パラメータ

$$\text{塑性ポテンシャル関数 } f_p, \quad f_p = \{(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)\}^{\frac{1}{2}} + \tilde{M} \ln\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{ma}}\right) = 0 \quad (4)$$

静的降伏関数および塑性ポテンシャル関数は、それぞれ応力比、平均有効応力に関する関数である。また、静的降伏関数において、 $\alpha = 0$ のとき過圧密粘土に対応した構成式となる。

以上の関数を岡・足立・三村[4]の弾粘塑性構成式に導入すると次の式で示せる[5]。

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{ij} = & \frac{1}{2G} \dot{S}_{ij} + \frac{\kappa}{3(1+e)} \frac{\dot{\sigma}_m}{\sigma_m} \delta_{ij} + C_{01} \frac{\langle \Phi_1(F) \rangle \Phi_2(\xi)}{\sigma_m^*} \frac{(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)}{\eta_x^*} \\ & + C_{02} \frac{\langle \Phi_1(F) \rangle \Phi_2(\xi)}{\sigma_m^*} \left\{ \tilde{M}^* - \frac{\eta_{mn}^* (\eta_{mn}^* - x_{mn}^*)}{\eta_x^*} \right\} \frac{1}{3} \delta_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

e : 間隙比, κ : 膨潤指数, G : 弾性係数, C_{01}, C_{02} : 粘塑性パラメータ, Φ_1, Φ_2 : 第一, 第二材料関数

4.解析結果と考察

非線形移動硬化理論を導入した弾粘塑性構成式を用いて、過圧密条件下の自然粘土に対しての非排水中空ねじり試験結果の解析を行った。解析の対象としたのは、東大に粘土の結果である。東大に粘土の力学特性については、文献[6]を参照されたい。Table.1 に解析に用いたパラメータを示す。Fig.1,2 は圧縮側に異方圧密後、Fig.3,4 は伸張側に異方圧密後、軸応力一定で非排水中空ねじり試験を行った結果の応力-ひずみ関係および有効応力径路の解析結果である。また、Fig.5 は、試験中における軸ひずみ-せん断ひずみ関係を解析したものである。なお、 x_{ij} の初期値は、 $\eta_{ij(0)}$ とした。Fig.1 の応力-ひずみ関係は、解析値の方が軟化の程度が小さくなっている。Fig.2 の有効応力径路では、初期の立ち上がり方に差があるものの最終的にほぼ等しい応力比の値に達している。Fig.3 では、解析値の方がやや軟化傾向がみられるものの、Fig.4 においては、Fig.2 と同様な結果が得られた。Fig.5 は、せん断中の軸ひずみの挙動に対する結果である。圧縮側も伸張側も同様に解析値の軸ひずみの方が、大きい。これは、粘土のもつ初期構造異方性による影響ではないかと考えられる。全体的に提案モデルは、中空ねじり試験時の変形特性を表現できている。

5.まとめ

非線形移動硬化理論を導入した構成式を用いることにより軸応力一定での非排水中空ねじり試験の結果を解析し

た。応力-ひずみ関係、応力経路、軸方向のひずみの変化を定性的に表現することができた。このような軸方向のひずみの変化は、等方モデルや線形の異方モデルでは表現することができない。今後、応力-ひずみ関係における初期構造異方性を考慮することが課題である。

6. 参考文献

- [1] 岡、八嶋、杉山、加藤、岩木；土木学会第45回年次学術講演会概要集、III-75、186-187、1990。
- [2] Armstrong, P.J., Frederick, C.O.; C.E.G.B. Report RD / B / N 731.1966.
- [3] Chaboche, J.L., Rousselier, G.; Journal of Pressure Vessel Technology, ASME, Vol.105, 153-158.1983.
- [4] Oka, F., Adachi, T., Mimura, M.; Proc. of the Int. Conf. on Rheology and Soil Mechanics, Edited by M.J. Keedwell, 12-28.1988.
- [5] Oka, F.; 4th Int Symp on Num. Models in Geomechanics, Swansea, 105-114, 1992.
- [6] Adachi, T. et al.; Proc. 10th, Florence ECSMFE, 1, 1-4.1991.

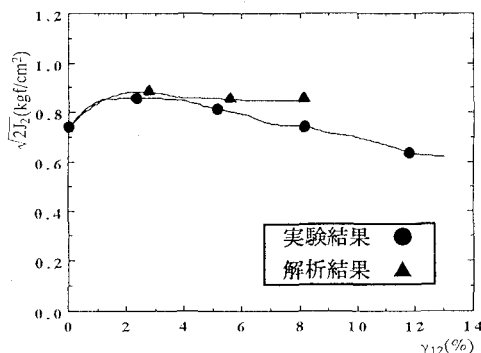


Fig.1 Stress - strain relation

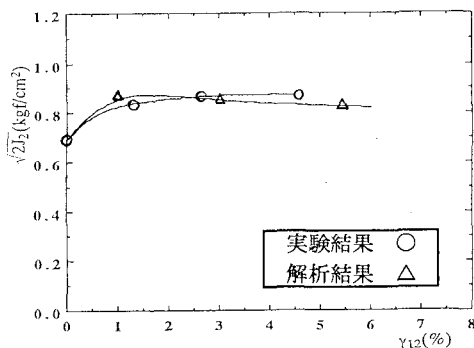


Fig.3 Stress - strain relation

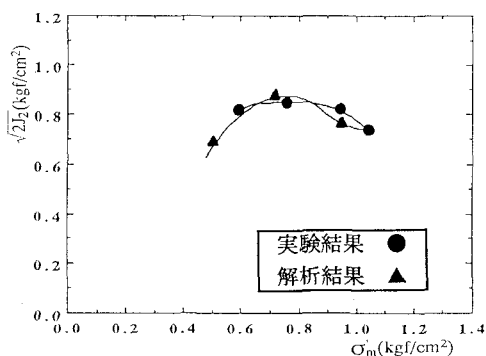


Fig.2 Effective stress path

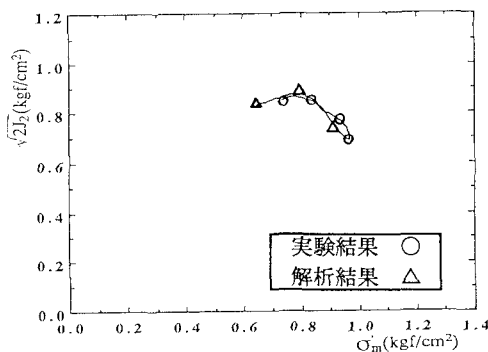


Fig.4 Effective stress path

Table.1 Material parameters

	Compression	Extention
$G(\text{Kgf/cm}^2)$	80	340
M_r^*	1.370	1.370
M_n^*	1.370	1.370
m_o'	15	15
$C_{a1}(\text{1/sec})$	3×10^{-7}	2.75×10^{-7}
$C_{a2}(\text{1/sec})$	7.5×10^{-8}	7.5×10^{-8}
B	200	200
G_2'	410	410
κ	0.0477	0.0477
λ	0.355	0.355
$\gamma_{12}(\%/min)$	1.21×10^{-3}	1.21×10^{-3}
c_0	1.85	1.80

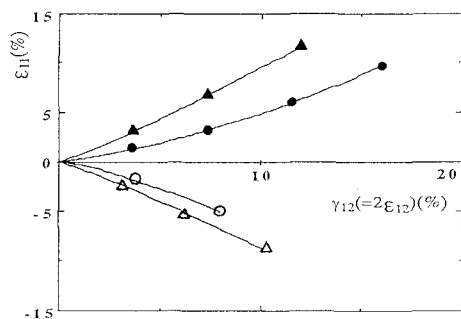


Fig.5 Shear strain versus axial strain