

III-198 自然粘土の中空ねじり試験結果の解析

岐阜大学

岡 二三生

岐阜大学

八嶋 厚

○ 岐阜大学大学院

奥村 浩

1. はじめに

すでに東大阪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、中空ねじり試験の結果を弾粘塑性構成式によって解析検討したものである。まず、等方圧密後の非排水中空ねじり試験(軸方向非拘束)の結果について解析を行い、実験結果を提案式が表現しうることを示した。さらに、異方圧密後の非排水試験結果について考察を行い、既存の構成式と構成式開発における問題点を明らかにした。

2. 弾粘塑性構成式²⁾

現在応力に依存した疑似異方性について、変換応力を用いた弾粘塑性構成式をすでに提案しているが、ここでは特性テンソルを圧密後の応力状態に対して導き、変換応力テンソルを決定した。以下に構成式の概要を示す。

変換応力テンソル

Boehlerら⁴⁾により提案された異方性理論を参考にして、材料に含まれる特性面を考慮した構成式が導かれる。この特性面として、変形過程での応力状態における松岡・中井の空間滑動面(SMP)を導入することもできる。この場合、SMPに対する単位垂直ベクトルを n_i とすると、特性テンソル A_{ij} は次のようになる。

$$A_{ij} = n_i \otimes n_j \quad (1) \quad n_i = \sqrt{I_3 / (I_2 \sigma_i)} \quad (2)$$

I_3 : 第三不変量($\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$) I_2 : 第二不変量($\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1$) σ_i : 主応力($i=1, 2, 3$)
特性テンソル A_{ij} とコーシーの応力テンソル σ_{ij} を用いて、異方圧密終了時の異方性を考慮した変換応力テンソル σ_{ij}^A を示すと次のようになる。

$$\sigma_{ij}^A = \alpha(A_{mn} \sigma_{mn}) A_{ij} + \beta \sigma_{ij} + \gamma(A_{ik} \sigma_{kj} + \sigma_{ik} A_{kj}) + \zeta \delta_{ij} \quad (3)$$

α, β, γ : 材料定数 ζ : A_{ij} と σ_{ij} の共同不変量の関数($\zeta = \zeta(A_{mn} \sigma_{mn}, \sigma_{mn})$)

このことより等方体に対する関数 $F(\sigma_{ij})$ 内のコーシーの応力テンソル σ_{ij} を異方圧密終了時の異方性を考慮した変換応力テンソル σ_{ij}^A で置き換えることにより、異方体に対する関数 $F(\sigma_{ij}^A)$ に拡張できる。

変換応力テンソル σ_{ij}^A を用いた粘土の弾粘塑性構成式²⁾

過圧密粘土の弾粘塑性構成式内の応力項を変換応力テンソル σ_{ij}^A に置き換えることにより、異方性を考慮した降伏関数 f_v^A 、塑性ポテンシャル関数 f_p^A を用いて、構成式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{ij} = & \frac{1}{2G} \dot{S}_{ij} + \frac{\kappa}{3(1+e)} \frac{\dot{\sigma}_m'}{\sigma_m'} \delta_{ij} + C_{01} \frac{\langle \Phi_1^A(F) \rangle \Phi_2^A(\xi)}{\sigma_m'^A} \frac{S_{ij}^A}{\sqrt{2J_2^A}} \\ & + C_{02} \frac{\langle \Phi_1^A(F) \rangle \Phi_2^A(\xi)}{\sigma_m'^A} (\tilde{M}^{*A} - \frac{\sqrt{2J_2^A}}{\sigma_m'^A}) \frac{1}{3} \delta_{ij} \end{aligned} \quad (4)$$

J_2^A : σ_{ij}^A の偏差応力テンソルの第二不変量 $\sigma_m'^A$: σ_{ij}^A の平均有効応力

3. 解析結果と考察

過圧密粘土の弾粘塑性構成式を用いて、非排水中空ねじりせん断状態のシミュレーションを行った。解析の対象としたのは東大阪粘土である。東大阪粘土の力学特性については文献³⁾を参照されたい。Figs. 1, 2は等方応力0.8kg/cmまで圧密後非排水での中空ねじり試験結果の応力-ひずみ関係及び有効応力経路である(NT2-3、 $\dot{\gamma}^* = 5.25 \times 10^{-3}$ (%/min)、 $\dot{\gamma}^* = \sqrt{e_{ij} \dot{e}_{ij}}/2$)。解析に用いたパラメータをTable. 1に示す。Fig. 1は、応力-ひずみ曲線の立ち上がり勾配は実験値の方が大きい、大ひずみでの強度はほぼ等しい。Fig. 2では、有効応力経路はほぼ等しい

が、軟化の傾向はみられるものの程度は実験に比べて小さい。全体的にはねじり試験時の変形特性を定性的に表現できている。今回解析と比較した試験結果はせん断時における軸方向を固定していない試験装置を用いて得たものである。Fig.3に軸ひずみ ε_{11} —せん断ひずみ γ 関係を示す。等方圧密後の試験では ε_{11} はほぼ0に近く計算結果とも一致するが異方圧密後の試験では ε_{11} の変化が観察される。

4. おわりに

変換応力テンソル σ_{ij}^A を用いた構成式によりねじり試験の結果を解析した。本報告では等方圧密時のシミュレーション結果との比較を行い粘土の変形特性を定性的に表現することができた。今後異方圧密後の試料のねじり試験時の挙動の解析を行いたい。

5. 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)岡、第46回土質工学会研究発表会講演概要集、III-142、306-307、1991。3)Adachi, T et al., Proc. 10ECSMFE, 1,1-4,1991。(4)Boehler, J.P., "Applications of tensor Functions in Solid Mechanics", CISM COURSES AND LECTURES No.292. INTERNATIONAL CENTRE FOR MECHANICAL SCIENCES.1987。

Table.1 解析パラメータ(等方圧密)

ヤング係数	E	340 kgf/cm ²	
圧密指数	λ	0.355	
膨潤指数	κ	0.0477	
破壊時の応力比	Mf	1.45	
最大圧縮点の応力比	Mm	1.45	
せん断ひずみ速度	γ̇*	5.25×10 ⁻³ %/min	
γ̇*~η*の初期勾配	G ₁	150	
	G ₂	500	
	m ₀	12.8	
	C _{e1}	8.0×10 ⁻⁸ 1/sec	
	C _{e2}	5.5×10 ⁻⁸ 1/sec	
	α	0	
	β	1	
	γ	0	

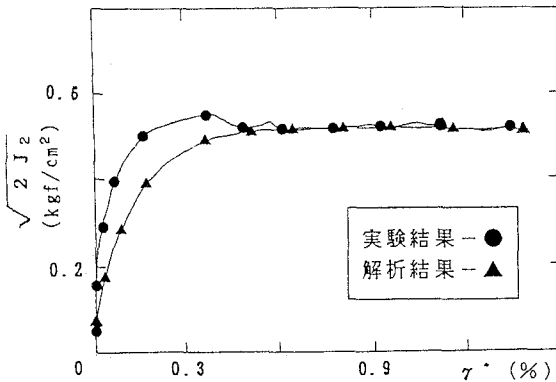


Fig.1 応力-ひずみ関係

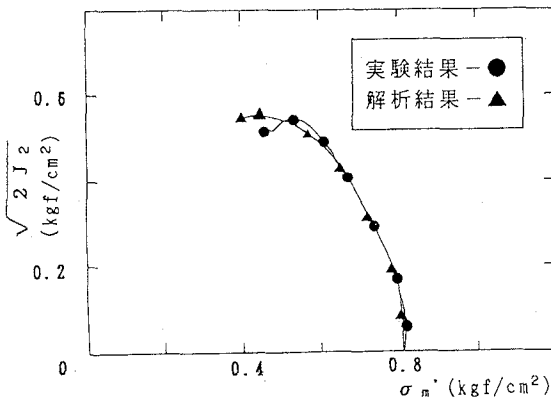


Fig.2 有効応力経路

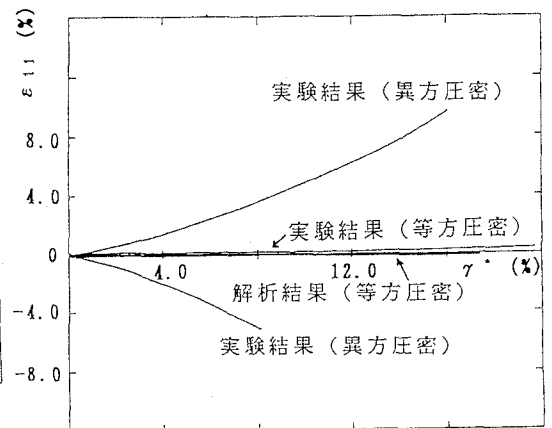


Fig.3 軸ひずみ ε_{11} —せん断ひずみ γ 関係