

III-210

過圧密粘土の弾粘塑性構成式

岐阜大学

岡 二三生

岐阜大学 八嶋 厚

(株)大林組

○ 奥村 浩

岐阜大学 安田 克博

(元岐阜大学大学院)

1. はじめに

従来より、自然粘土を用いた過圧密領域内での三軸圧縮せん断試験を行っている。これに対する解析としては、過圧密境界面付近の軽過圧密粘土の挙動、すなわち負のダイレイタンスーとひずみ軟化を示すもの(1)の研究を中心に行ってきた。本研究においては、重過圧密粘土の挙動、すなわち正のダイレイタンスーとひずみ軟化を示すものについての構成モデルの考察を行った。本報告では、弾粘塑性構成式(2,3)において、構造の劣化をひずみ履歴に対する破壊応力比 M_f^* の変化の発展式をとって表現し、重過圧密条件下の自然粘土への適用性を検討した。

2. M_f^* の変化に関する発展式

従来、構成式内の破壊時の応力比 M_f^* は一定として数値解析を行ってきた。しかし、重過圧密粘土は荷重を加えると徐々に強度が増していき、一度破壊線を越えピーク強度に達した後軟化傾向を示し、再び破壊線にあたることになる。 M_f^* の値を固定してしまうと破壊線を越える現象が説明できなくなる。この問題を解決するために、新たな破壊時の応力比 M_f^* の発展式を次式のように定義する。

$$\dot{M}_f^* = -\alpha \{M_f^* - (M_1 - M_2)\} \quad (1) \quad dz = (de_{ij}^{vp} \cdot de_{ij}^{vp})^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで、 $t=0$ のとき $M_f^* = M_1$ 、 $t=\infty$ のとき $M_f^* = M_1 - M_2$ であるとし、(1) 式を積分することにより次式が得られる。

$$M_f^* = M_1 - \{1 - \exp(-\alpha z)\} M_2 \quad (3)$$

$$\begin{array}{llll} \alpha & : & M_f^* \text{ の変化率} & M_1 : M_f^* \text{ の初期値} & M_2 : M_f^* \text{ の減少量} \\ M_1 - M_2 & : & M_f^* \text{ の最終値} & dz & : \text{粘塑性ひずみ測度} \end{array}$$

3. 過圧密粘土の弾粘塑性構成式

前節で定義した M_f^* を岡(2)、岡・足立・三村(3)の弾粘塑性構成式の M_f^* と置き換えることによって過圧密粘土の構成式の一般化を行う。静的降伏関数 f_y および塑性ポテンシャル関数 f_p は次のように表すことができる。

静的降伏関数 f_y

$$f_y = \bar{\eta}^* - k_s^* = 0 \quad (4) \quad k_s^* = \frac{M_f^{*2} G_1' \gamma^{vp*}}{(M_f^* + G_1' \gamma^{vp*})^2} \dot{\gamma}^{vp*} \quad (5)$$

$$\begin{array}{ll} k_s^* & : \text{ひずみ硬化パラメータ} \\ d\gamma^{vp*} & : \text{粘塑性偏差ひずみ増分テンソルの第二不変量} (= \sqrt{de_{ij}^{vp} \cdot de_{ij}^{vp}}) \end{array} \quad \begin{array}{ll} G_1' & : \gamma^{vp*} \sim \bar{\eta}^* \text{ 曲線の初期勾配} \\ \bar{\eta}^* & : \text{相対応力比} \end{array}$$

$$\gamma^{vp*} = \int_0^t d\gamma^{vp*} \quad (6)$$

塑性ポテンシャル関数 f_p

$$f_p = \bar{\eta}^* + \tilde{M}^* \ln(\sigma_m' / \sigma_{mc}') = 0 \quad (7)$$

$$\tilde{M}^* = -\frac{\eta^*}{\ln(\sigma_m' / \sigma_{mc}')} \quad (8) \quad \sigma_{mc}' = f(v^p, \gamma^{vp*}), \text{ 又は一定} \quad (9)$$

σ_m' : 平均有効応力

以上の関数を考慮した構成式は次式(10)のように示すことができる。

$$\begin{aligned} \dot{e}_{ij} = & \frac{1}{2G} \dot{S}_{ij} + \frac{\kappa}{3(1+e)} \frac{\sigma_m'}{\sigma_m'} \delta_{ij} + C_{o1} \frac{\langle \Phi_1'(F) \rangle}{\sigma_m'} \frac{\Phi_2(\xi)}{\bar{\eta}^*} (\eta_{ij}^* - \eta_{ij(0)}^*) \\ & + C_{o2} \frac{\langle \Phi_1'(F) \rangle}{\sigma_m'} \frac{\Phi_2(\xi)}{\bar{\eta}^*} (\tilde{M}^* - \frac{(\eta_{kl}^* - \eta_{kl(0)}^*) S_{kl}}{\bar{\eta}^*} \frac{1}{\sigma_m'} \delta_{ij}) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Phi_1'(F) = \sigma_m' \exp\{m_o'(\bar{\eta}^* - k_s^*)\} \quad (11) \quad \Phi_2(\xi) = 1 + \xi = 1 + \frac{\bar{\eta}^* M_f^*}{G_2^*(M_f^* - \bar{\eta}^*)} \quad (12)$$

G : せん断弾性係数 C_{o1}, C_{o2}, m_o : 粘塑性パラメータ

4. 自然粘土への適用

新たに提案した M_f^* の発展則を導入した弾粘塑性構成式を等方圧密された東大阪粘土に適用し、重過圧密された非排水三軸圧縮せん断試験の解析を行い、その適用性の検討を行った。試験試料は、東大阪粘土であり物理特性に関しては文献⁽⁴⁾を参照されたい。Table.1 に解析に用いたパラメータを示す。試験結果の応力-ひずみ関係、有効応力径路を Fig.1, Fig.2 に、解析結果の応力-ひずみ関係、有効応力径路を Fig.3, Fig.4 に示す。

Fig.1, Fig.3 より、初期の立ち上がりや残留応力において同様な値を示しているが、ピーク強度に若干の差がでた。Fig.2, Fig.4 の有効応力径路では、解析結果の方がピーク強度が小さいため、試験結果はどの軟化は見られなかった。しかし、有効応力の増加（正のダイレイタンスの発生）やひずみ軟化において定性的に表現することができている。

Table.1 試験条件

ヤング係数	E	240(kgf/cm ²)
圧縮指数	λ	0.355
膨潤指数	κ	0.0477
圧密応力	σ_{m0}	0.2 (kgf/cm ²)
軸ひずみ速度	$\dot{\epsilon}_{11}$	1.00×10^{-2} (%/min.)
$\gamma^{vp*} \sim \dot{\eta}^*$ の初期勾配	G_1'	500
最大圧縮点の応力比	M_m	2.24
粘塑性パラメータ	G_2	50
	m_0	12.8
	C_{01}	2.0×10^{-8} (1/sec.)
	C_{02}	2.0×10^{-8} (1/sec.)
破壊パラメータ	M_1	2.3
	M_2	0.7
	α	25

4. おわりに

破壊応力比 M_f^* を新たにひずみ履歴に関する発展式として与えることにより、ひずみ軟化とともに正のダイレイタンスの発生が表現することができた。また、この発展式を導入することは、軸差応力の増減に大きく影響を与えるが、平均有効応力にはほとんど影響を与えないことがわかった。

5. 参考文献

- (1) 岩木宏 (1992): "自然粘土の異方応力履歴依存変形特性に関する研究" 岐阜大学大学院修士論文
- (2) Oka, F. (1982): Proc. Int. Symp. on Numerical Models in Geomechanics, Zurich, pp.13-17.
- (3) Oka, F., Adachi, T., Mimura M. (1988): Proc. of the Int. Conf. on Rheology and Soil Mechanics, Edited by M.J. Keedwell, Coventry, UK, 12-16 September, pp.12-28.
- (4) Adachi, T. et al. (1991): Proc. 10th, Florence ECSMFE, 1, pp.1-4.

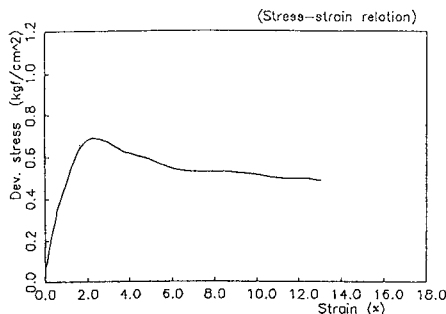


Fig. 1 試験結果の応力-ひずみ関係

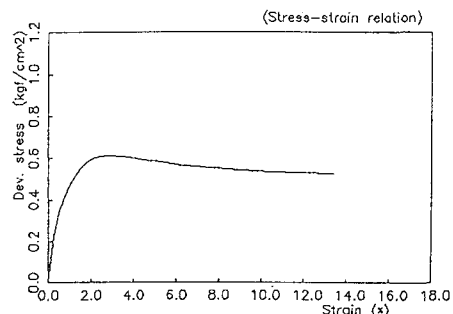


Fig. 3 解析結果の応力-ひずみ関係

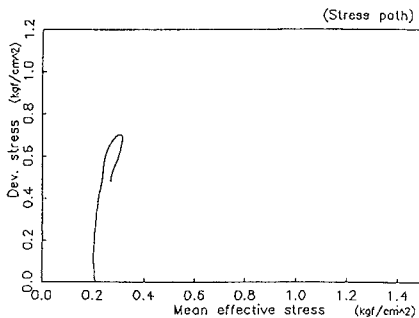


Fig. 2 試験結果の有効応力径路

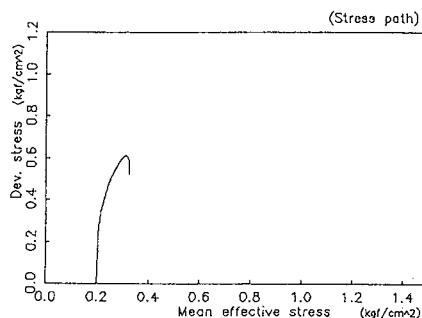


Fig. 4 解析結果の有効応力径路