

III-149

内部変数理論に基づく正規圧密粘土の弾粘塑性挙動の定式化

岐阜大学工学部 正員 岡 二三生

京都大学工学部 正員 足立 紀尚

京都大学防災研究所 正員 三村 衛

1. はじめに 飽和粘性土の変形挙動は時間依存性を示すためこれまでに多くの弾粘塑性構成式が提案されてきた。飽和粘土、特に正規圧密粘土の力学モデルに関してはそのモデル化の方法として大きく分けて二つの方法が提案されている。まず、足立、岡による¹⁾超過応力に基づくPerzynaの弾粘塑性理論に基づくもの、第二に、関口²⁾、松井ら³⁾による降伏関数に陽に時間を導入する時間軟化型の降伏関数を用いる方法が代表的である。この両者の違いはいくつか在るが、特にクリープ破壊に関して、流動曲面モデルと呼ばれる時間軟化型の降伏関数を用いる方法では、加速クリープの挙動を説明出来る事が報告されてきた。一方、Perzynaの理論に基づく超過応力理論では、一定ひずみ速度下で発生するひずみの量などとも実験結果をよりよく説明できるが、加速クリープにかぎって難点があるとされてきた⁴⁾⁵⁾。本研究では、超過応力型の弾粘塑性理論においても新たな材料関数を導入することにより、加速クリープを表現出来る弾粘塑性モデルを提案し、正規圧密粘土の変形と破壊を記述しうる構成式を導いた。

2. 弾粘塑性構成式の定式化 Aubry ら⁶⁾は超過応力型の粘塑性理論にKachanov & Robotnov らの金属にするクリープ破壊のDamage Law を適用し加速クリープの記述を試みている。本研究では既に提案している弾粘塑性理論に内部変数とその発展式、及び新たな材料関数を導入して、正規圧密粘土の変形と破壊を表現しうる弾粘塑性構成式をもとめる。

粘塑性ひずみ速度テンソル $\dot{\varepsilon}_{ij}^p$ は次式で求められるとする。

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = \gamma \Phi_2(\xi) \langle \Phi_1(F) \rangle \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \quad (1)$$

ここで、 $F = (f - x) / x$,

$\langle \Phi_1(F) \rangle = 0$; $F < 0$, $\Phi_1(F)$; $F > 0$, $\Phi_1(F)$: 第一材料関数, γ : 粘性係数 $\Phi_2(\xi)$: 第二材料関数, ξ : 破壊に関するスカラー型の内部変数, $\xi \geq 0$ 。(1)式から,

$$f(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^p) = x(\varepsilon_{ij}^p) \left[1 + \langle \Phi_1^{-1} \left(\frac{(\varepsilon_{ij}^p \varepsilon_{ij}^p)^{1/2}}{\gamma \Phi_2(\xi)} \left(\frac{\partial f}{\partial \sigma_{mn}} - \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{mn}} \right)^{1/2} \right) \rangle \right] \quad (2)$$

ここで、 $\langle \Phi_1^{-1}(x) \rangle = 0$; $x = 0$, $\Phi_1^{-1}(x)$; $x > 0$ とする。 f は降伏関数, x はひずみ硬化関数である。(2)式は明らかに降伏関数のひずみ速度依存性を示しているが、新たに、次の仮定をもうける。

仮定** $\xi \rightarrow \infty$ のとき $\Phi_2(\xi) \rightarrow \infty$ となるように第二材料関数を選ぶ。*

このとき、内部変数が無限大の極限において、 $f = x(\varepsilon_{ij}^p)$ となりひずみ依存性が消えることになる

$\Phi_2 = (1 + \xi)$ とし、 ξ の発展式として、次式を一般的に採用する。

$$\dot{\xi} = f_0(\xi, \sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^p) + f_{k1}(\xi, \sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^p) \dot{\sigma}_{k1} + f_{k2}(\xi, \sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^p) \dot{\varepsilon}_{k1} \quad (3)$$

ここでは、具体的な発展式として $\dot{\xi} = \frac{M_f^2}{C_2 (M_f - X)^2} \dot{X}$ (4)とする。 $X: \sqrt{2} J_2 / \sigma_m$

J_2 は偏差応力テンソルの第二不変量, σ_m は平均有効応力である。

表-1 土質材料定数

σ'_{m0}	E	M	e_0	λ	κ	m'	C_1	C_2
4kgf/cm ²	370kgf/cm ²	1.5	0.85	0.10	0.02	22.8.	1.96×10^{-9} 1/sec	2000.

3. 等方圧密後の非排水クリープの挙動

すでに報告している正規圧密粘土の構成式¹⁾を参考に第一材料関数 Φ_1 及び土質定数を決定した。

$$\gamma \Phi_1 = C_1 \exp \{ m' (2 J_2 / \sigma'_m + \ln (\sigma'_m / \sigma'_{m0}) - (1 + e_0) / (\lambda - \kappa) \varepsilon_{11}) \}$$

図-1に等方圧密後の非排水クリープにおける軸ひずみ速度と時間の関係を示す。図より明らかに加速クリープ現象が提案式によって表現出来る事がわかる。また、図-2では斎藤-上沢⁷⁾にならって、破壊時間と最小ひずみ速度の関係を整理すると、関口²⁾の結果と同様に斎藤らの経験式の予測範囲にはいつている。

4. まとめ及び謝辞 以上のような拡張を行うことによりより多くの時間依存性挙動の記述が可能となった。なお、本研究の一部はP.Perzyna 教授討論にもよっている。記して謝意を表わしたいと思います。

参考文献 1)Adachi,T.&F.Oka,1982:Soils&Foundations,Vol.22,NO.4. 2)Sekiguchi,H.,1977:Proc. of 10 th ICSMFE,Vo.1. 3)Matsui,T.&N.Abe,1985:Procof 5th Int. Conf. on Num. Meth. in Geomechanics, Vo.1 4)Oka,F.,1985:Computer&Geotechnics,Vol.1 5)三村, 関口,1985:第40回土木学会年講, III-231 6) Aubry,D.E.Kodaissi and Y.Meimon,1985:Proc. of 5th Int. Conf. on Num. Methods in Geomech., Vol.1. 7)Saito,M. &Uezawa,H:1961,Proc. of ICSMFE VOL.1

