

大阪大学工学部 正会員 松 井 保
大阪大学工学部 正会員 阿 部 信 晴
大阪大学大学院 学生会員 林 健 二

1. まえがき

本報告には上限降伏値を考慮した正規圧密粘土の非排水クリープ理論が示されている。すなわち、流動曲面理論に基づく粘土の弾／粘塑性構成式の有用性を明らかにするために、この構成式から正規圧密粘土の非排水クリープ特性に関する関係式を導くとともに、数値計算例を示してその妥当性を考察している。

2. 正規圧密粘土の非排水クリープ特性

ここでは次式の流動曲面を仮定するモデル〔1〕,〔2〕,〔3〕を考える。

$$f = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{\delta}{\mu} \dot{\gamma}_r^v t \right) \right\} \exp \left[\frac{\lambda - \kappa}{\mu(1+e_0)} \left\{ \ln \left(- \frac{p}{p_0} \right) + \frac{n}{M} \right\} \right] + \delta \exp \left(- \frac{\delta}{\mu} \dot{\gamma}_r^v t \right) \right] - v^v p = 0 \quad (1)$$

このモデルでは、等方正規圧密粘土を対象としており、基準状態における粘土の力学挙動はCam-clayモデルによって記述されるものと仮定されている。(1)式と非排水条件から以下に示す非排水クリープに関する関係式が得られる。

(1) 上限降伏値

本モデルでは、非排水クリープにおいてクリープ破壊が生じない軸差応力の上限值、すなわち上限降伏値が次式で与えられる。

$$q_y = M p_0 \exp \left[\frac{\mu(1+e_0)}{\lambda} \ln \delta - \left(\frac{\lambda - \kappa}{\lambda} \right) \right] \quad (2)$$

なお、このモデルのクリープ平衡状態曲面については文献〔4〕を参照されたい。

(2) 非排水クリープの推移とクリープ破壊時間

軸差応力一定の三軸非排水クリープにおいては時間の経過とともに過剰間隙水圧が生じ、平均有効応力は減少してゆく。(3)式は経過時間と平均有効応力の関係を与えるものである。

$$t = \frac{\mu}{\delta \dot{\gamma}_r^v} \ln \left[\frac{1 - \delta \exp \left[- \frac{\lambda - \kappa}{\mu(1+e_0)} \left\{ \ln \left(- \frac{p}{p_0} \right) + \frac{n}{M} \right\} \right]}{1 - \delta \exp \left[- \frac{\lambda - \kappa}{\mu(1+e_0)} \left\{ \left(\frac{\lambda}{\lambda - \kappa} \right) \ln \left(- \frac{p}{p_0} \right) + \frac{n}{M} \right\} \right]} \right] \quad (3)$$

非排水クリープが進行し、応力比がMに達した時クリープ破壊が生じるので、クリープ破壊時間は次式で与えられる。

$$t_f = \frac{\mu}{\delta \dot{\gamma}_r^v} \ln \left[\frac{1 - \delta \exp \left[- \frac{\lambda - \kappa}{\mu(1+e_0)} \left\{ \ln \left(- \frac{\bar{q}}{M p_0} \right) + 1 \right\} \right]}{1 - \delta \exp \left[- \frac{\lambda - \kappa}{\mu(1+e_0)} \left\{ \left(\frac{\lambda}{\lambda - \kappa} \right) \ln \left(- \frac{\bar{q}}{M p_0} \right) + 1 \right\} \right]} \right] \quad (4)$$

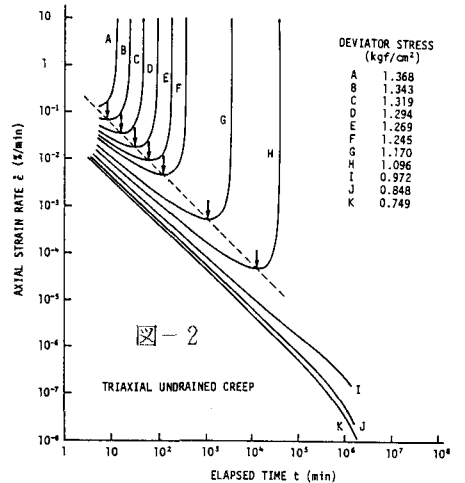
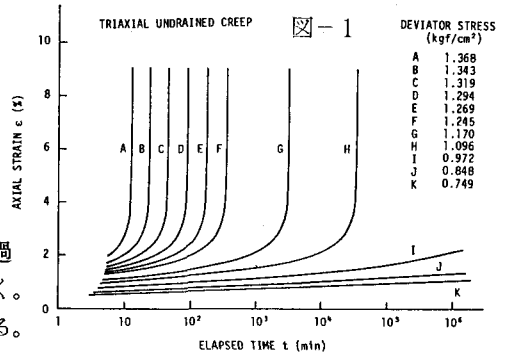
軸差応力が(2)式で与えられる上限降伏値に等しい時、クリープ破壊時間は無限大となる。

(3) クリープひずみとクリープひずみ速度

非排水クリープ時の軸ひずみおよびその速度は、それぞれ次式で与えられる。

表-1

λ	κ	M	e_0	μ	δ	$\dot{\gamma}_r^v$	p_0
0.3	0.03	1.485	1.725	0.003	0.001	3.0×10^{-6}	2.0
							(1/min)(kgf/cm ²)



$$\epsilon = \frac{\kappa}{M(1+e_0)} \ln \left[\frac{M p_0 - \bar{q}}{M p - \bar{q}} \right] \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\gamma}_r^V (\delta A - B) (B - \delta)}{[(\delta A - B) + (1 - A) B \{1 + (\frac{\lambda - \kappa}{\lambda}) (1 - \frac{\eta}{M})\}] (M - \eta)} \quad (6)$$

ここに,

$$A = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{-\frac{\kappa}{\mu(1+e_0)}} \quad (7)$$

$$B = \exp \left[-\frac{\lambda - \kappa}{\mu(1+e_0)} \left\{ \ln \left(\frac{p}{p_0} \right) + \frac{\eta}{M} \right\} \right] \quad (8)$$

$$\eta = \frac{\bar{q}}{p} \quad (9)$$

3. 数値計算例

図-1～6は、表-1に示された等方正規圧密粘土の三軸非排水クリープについての数値計算結果を示したものである。

この例では、粘土の上限降伏値は1.0kgf/sq.cmとなる。図-1, 2はクリープひずみ、クリープひずみ速度の経時挙動を示したものである。軸差応力が降伏値より大きい場合、粘土は最小クリープ速度状態を経た後、加速クリープ領域に入り破壊に至る。図-2の矢印は最小ひずみ速度の生じる点を示しているが、これらの点は直線上に位置する。軸差応力が降伏値以下の場合（特に、J, K）、クリープひずみ速度はこの最小ひずみ速度線に平行に減少してゆく。この挙動は、Finnら〔5〕によって指摘されており、またCampanellaら〔6〕の実験結果にも認められるものである。図-3, 4は軸差応力と最小ひずみ速度、破壊時間の関係を示したものである。両関係とも示された軸差応力の範囲ではほぼ直線的に変化しているが、軸差応力が降伏値に近づくに伴い降伏値を通る水平軸に漸近することがわかっている。図-3には、定ひずみ速度試験におけるひずみ速度と非排水強度のプロットも示されているが、クリープの結果と良い一致を示している。図-5は最小ひずみ速度とその生じるまでの経過時間、破壊時間の関係を示したものであるが、両対数プロットで互いに平行な直線となる。図-6は非排水クリープ時のひずみ速度と破壊までの時間の関係を示したものである。加速クリープ領域に移行後、両者の間に両対数紙上で直線的な関係が存在することがわかる。このような特性は実験的にも明らかにされており、クリープ破壊予測〔7〕に用いられていることは良く知られている。

4. あとがき 提案している弾粘塑性構成式によって粘土の時間依存性を統一的に表現することができるが、本報告ではその非排水クリープ特性について述べた。そして、実験的に明らかにされている正規圧密粘土の非排水クリープ特性の多くを定性的ではあるが説明しうることを示した。

参考文献 (1) 松井・阿部(1984) 第19回土質工学研究発表会発表講演集 (2) 松井・阿部(1984) 第39回土木学会年次学術講演会概要集 (3) Matsui and Abe(1985) Proc. 5th ICONMIG (4) 松井・阿部(1985) 第40回土木学会年次学術講演会概要集 (5) Finn and Snead(1973) Proc. 8th ICSMFE (6) Vaid and Campanella(1977) Jour. GE Division, ASCE (7) Saito(1969) Proc. 7th ICSMFE

