

弾/粘塑性理論にもとづく粘土の非排水クリープ挙動

大阪大学工学部 正員 松井 保
大阪大学工学部 正員 阿部 信晴
大阪大学大学院 学生員 ○林 健二

1. まえがき

基礎地盤、斜面や土構造物の変形及び安定性を評価、予測する上で粘性土の時間依存性挙動を正確に把握することは重要であり、本研究では時間効果を表現しうる弾/粘塑性構成から出発して、降伏値を有する正規圧密粘土の非排水クリープ挙動を考察している。

2. 正規圧密粘土の弾/粘塑性構成式

流動曲面理論にもとづいて次式の弾/粘塑性構成式を提案している。

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

ここに μ , δ は材料定数、 $\dot{v}_r^p$ は基準粘性体積ひずみ速度、 v^p は粘塑性体積ひずみ、 v^p は塑性体積ひずみ、 t は経過時間である。

3. 非排水クリープ破壊と降伏値

(1)式と非排水条件、破壊条件より 非排水クリープ破壊時間を表わす次式が得られる。

$$t_f = \frac{\mu}{\delta \dot{v}_r^p} \ln \left[\frac{\delta \exp \left\{ -\frac{1-K}{\mu(1+e_0)} \left\{ \ln \left(\frac{\bar{\sigma}}{MP_0} \right) + \frac{M-\eta_0}{M} \right\} \right\} - 1}{\delta \exp \left\{ -\frac{1-K}{\mu(1+e_0)} \left\{ \left(\frac{1}{\lambda-K} \right) \ln \left(\frac{\bar{\sigma}}{MP_0} \right) + \frac{M-\eta_0}{M} \right\} \right\} - 1} \right] \quad (2)$$

ここに λ は圧縮指数、 K は膨潤指数、 e_0 は初期間隙比、 p は平均有効主応力、 $\bar{\sigma}$ は軸差応力、 η は $\bar{\sigma}/p$ 、 η_0 は p , η の初期値、 M は破壊時の η である。

この理論ではクリープ軸差応力 $\bar{\sigma}$ が小さい時、クリープ破壊は生じない。非排水クリープが破壊に至る場合と破壊しない場合のこの境界にあたる軸差応力は降伏値と呼ばれるが、降伏値 $\bar{\sigma}_Y$ は (2) 式において、 $t_f \rightarrow \infty$ を満足することより次式で表わされる。

$$\bar{\sigma}_Y = \delta^{\frac{\mu(1+e_0)}{\lambda}} MP_0 \exp \left\{ \left(-\frac{1-K}{\lambda} \right) \left(\frac{M-\eta_0}{M} \right) \right\} \quad (3)$$

図1はクリープ軸差応力と破壊時間の関係の解析

Tamotsu MATSUI, Nobuharu ABE, Kenji HAYASHI

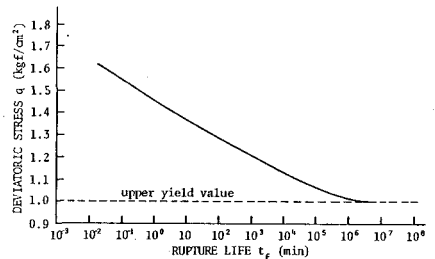


図1

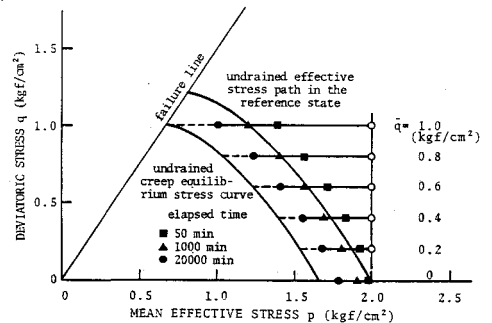


図2

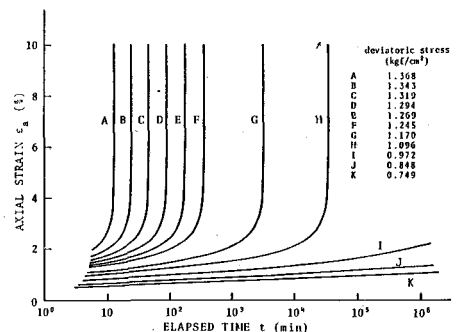


図3

結果である。図中の漸近線が降伏値を与えている。

クリープ停止時の応力状態はクリープ平衡状態と呼ばれ、クリープ平衡応力線は次式で与えられる。この曲線は、基準状態での非排水応力経路に相似であることがわかる。

$$P = \delta \frac{\mu(1+e_0)}{\lambda} P_0 \exp \left\{ \left(-\frac{\lambda-K}{\lambda} \right) \left(\frac{\gamma-\gamma_0}{M} \right) \right\} \quad (4)$$

図2は非排水クリープの途中経過点を求めた図である。軸差応力が0の時ににおいてもクリープは進行している。

4. クリープひずみとクリープひずみ速度

非排水クリープにおける粘塑性偏差クリープひずみ γ^{VP} は、(1)式の構成式より次式のように導かれる。

$$\gamma^{VP} = \frac{K}{M(1+e_0)} \ln \left(\frac{MP_0 - \bar{\sigma}}{MP - \bar{\sigma}} \right) \quad (5)$$

図3はクリープひずみの経時変化を表わしている。降伏値 1.0 kgf/cm^2 を境として、ひずみ特性の変化が見られる。

また、クリープひずみ速度 $\dot{\gamma}^{VP}$ は次式のように導かれる。

$$\dot{\gamma}^{VP} = \frac{\dot{\gamma}_r^V (\delta A - B)(B - \delta)}{\{(\delta A - B) + (1 - A)B \{1 + \frac{\lambda - K}{K} (1 - \frac{\gamma}{M})\}\} (M - \gamma)} \quad (6)$$

$$A = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{-\frac{K}{\mu(1+e_0)}}, \quad B = \exp \left\{ \frac{\lambda - K}{\mu(1+e_0)} \left\{ \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) + \frac{\gamma - \gamma_0}{M} \right\} \right\}$$

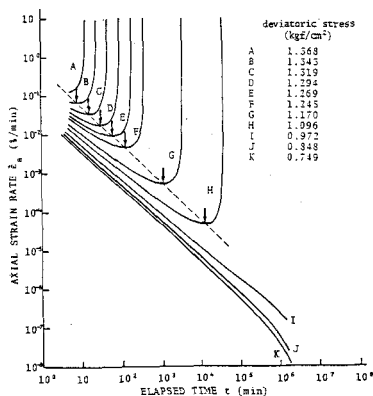


図 3

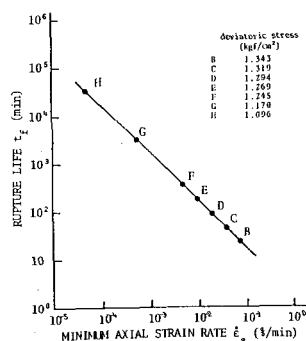


図 4

図4はクリープひずみ速度の経時変化を表わしたものである。軸差応力が降伏値よりも大きい時、すなわち

クリープ破壊を起こすような軸差応力レベルでは最小クリープひずみ速度が現われている。

図5は最小クリープひずみ速度と破壊時間の関係を表わしたものであるが、線形関係が認められ、最小クリープひずみ速度と破壊時間の積は一定となる。

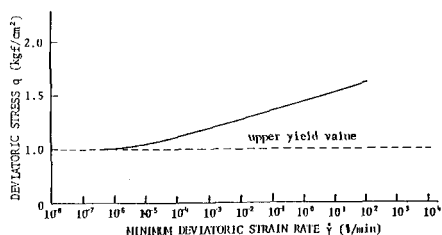


図 5

図6はクリープ軸差応力と最小クリープひずみ速度の関係を表わしたものである。

図7は $\gamma - \bar{\sigma}$ 平面上での最小クリープひずみ速度の現われる応力比 γ_m を示したものである。 $\bar{\sigma} > \bar{\sigma}_Y$ では最小クリープひずみ速度が γ_m で生じ、その後破壊に至る。

一方、 $\bar{\sigma} \leq \bar{\sigma}_Y$ では最小クリープひずみ速度は生じず、応力点はクリープ平衡応力線上に至ってクリープは停止する。

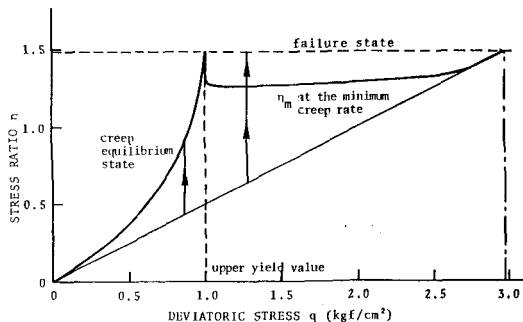


図 6