

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

粘土のクリープ挙動に関して上限降伏値の存在の可能性が Murayama and Shibata [1] によって示されて以来、多くの実験的研究〔2〕,〔3〕,〔4〕,〔5〕によってこの仮説は支持されている。したがって、上限降伏値は粘土のクリープ特性の重要な属性と考えられる。本報告は著者らが提案している粘土の弾粘塑性構成式から導かれるクリープ平衡状態曲面と降伏値について考察したものである。

2. 流動曲面モデルのクリープ平衡状態曲面と上限降伏値

著者らは流動曲面モデルに基づく粘土の弾粘塑性構成式を提案しているが、ここでは次式の流動曲面を仮定するモデルを考える。

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

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次式のクリープ平衡応力線の式が得られる。

$$\lambda \ln \left(\frac{p^*}{p_0^*} \right) + (\lambda - \kappa) \frac{\eta^*}{M} = 0 \quad (2) \quad p_0^* = p_0 \delta^{\frac{\mu(1+e_0)}{\lambda}} \quad (3)$$

(2)式のクリープ平衡応力線は基準状態の非排水有効応力経路に相似である。図-1は両者の関係を示したものである。したがって、一般に次式のクリープ平衡状態曲面を仮定することができる。

$$e_0^* - e^* = \lambda \ln \left(\frac{p^*}{p_0^*} \right) + (\lambda - \kappa) \frac{\eta^*}{M} \quad (4)$$

いま、軸差応力一定の三軸非排水クリープを考えると、クリープ破壊は応力比がMに達した時に生じると仮定すれば、クリープ平衡応力線が破壊線と交わる点の軸差応力が上限降伏値を与える。すなわち、

$$q_Y = M p_0 \exp \left[\frac{\mu(1+e_0)}{\lambda} \ln \delta - \left(\frac{\lambda - \kappa}{\lambda} \right) \right] \quad (5)$$

また、上限降伏値と基準状態の非排水強度の比は次式で与えられる。

$$\frac{q_Y}{q_F} = \delta \frac{\mu(1+e_0)}{\lambda} = \delta \frac{C_\alpha}{C_c} \quad (6)$$

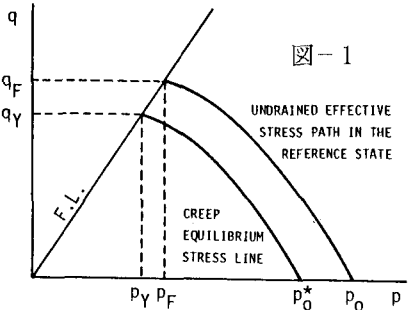


図-1

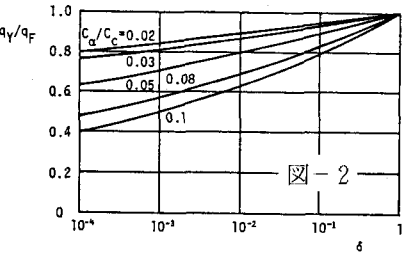


図-2

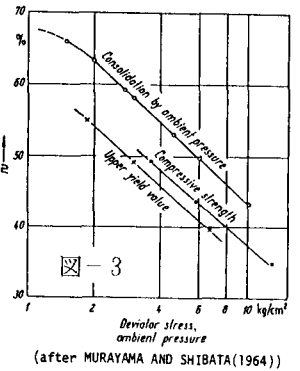


図-3

(after MURAYAMA AND SHIBATA(1964))

表-1

λ	0.3
κ	0.03
M	1.485
e_0	1.725
p_0	2.0 kgf/cm ²
μ	0.003
δ	0.001
$\dot{\gamma} t$	3.0 x 10 ⁻⁶ /min

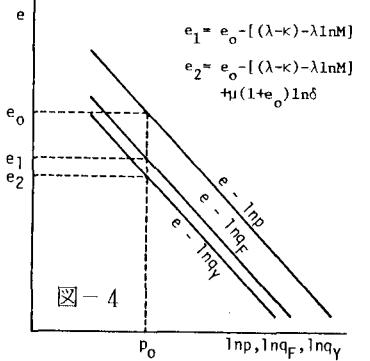


図-4

δ は理論上 $0 \leq \delta \leq 1$ の範囲の値をとり、 c_α/c_c は Mesri et al.〔6〕によれば、自然粘土では0.025-0.1程度の値をとると言われている。図-2は q_Y/q_F と δ 、 c_α/c_c の関係を示したものである。

3. クリープ平衡状態曲面とクリープ挙動

ここではクリープ平衡状態曲面の存在の妥当性をクリープ挙動から考察する。Murayama and Shibata〔7〕は、提案する応力制御圧縮試験による測定方法によって上限降伏値をもとめ、図-3に示す結果を得た。すなわち、図中の3本の直線は平行となり、降伏値の直線是非排水強度のその下方に位置することを示した。この結果は本モデルのクリープ平衡状態曲面の存在を示唆するものであり、本モデルによって以下の様に導かれる。間隙比と平均有効応力、基準状態の非排水強度、上限降伏値の関係は、それぞれ次式で与えられる。

$$e_o - e = \lambda \ln\left(\frac{p}{p_o}\right) \quad (7)$$

$$e_o - e = \lambda \ln\left(\frac{q_F}{Mp_o}\right) + (\lambda - \kappa) \quad (8)$$

$$e_o^* - e^* = \lambda \ln\left(\frac{q_Y}{Mp_o^*}\right) + (\lambda - \kappa) \quad (9)$$

これらの関係は図-4に示す様に互いに平行な直線となり、 $\delta < 1$ であれば(9)式は(8)式の下方に位置する。また、彼等は p/q_Y 、 q_F/q_Y の値を求めているが、これらについても以下の様に与えられる。(7) - (9)式を変形して、

$$p = [p_o \exp\left(\frac{e_o}{\lambda}\right)] \exp\left(-\frac{e}{\lambda}\right) = A_p \exp\left(-\frac{e}{\lambda}\right) \quad (10)$$

$$q_F = [Mp_o \exp\left(\frac{e_o - (\lambda - \kappa)}{\lambda}\right)] \exp\left(-\frac{e}{\lambda}\right) = A_F \exp\left(-\frac{e}{\lambda}\right) \quad (11)$$

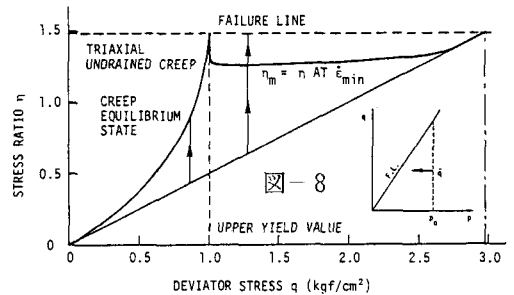
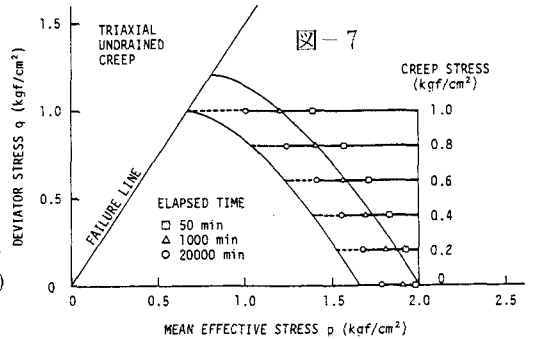
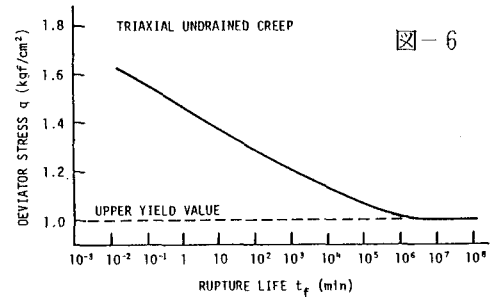
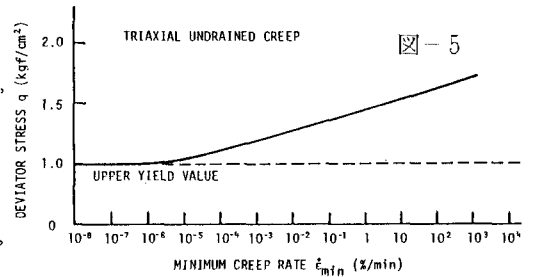
$$q_Y = [Mp_o^* \exp\left(\frac{e_o - (\lambda - \kappa)}{\lambda}\right)] \exp\left(-\frac{e}{\lambda}\right) = A_Y \exp\left(-\frac{e}{\lambda}\right) \quad (12)$$

したがって、(13)、(14)式を得る。表-1に示す粘土について p/q_Y 、 q_F/q_Y を求めてみると、それぞれ1/0.5, 1/0.83となる。図-5, 6は表-1に示す粘土についてクリープ応力と最小クリープ速度、クリープ破壊時間の関係を示したものであるが、文献〔2〕 -

〔4〕の実験結果の傾向と一致している。これらの実験結果は降伏値を考慮したクリープモデルによって予測されうるものである。図-7, 8についての説明は講演時参考文献

に譲りたい。

- 〔1〕 Murayama and Shibata(1961) 〔2〕 Campanella and Vaid(1972) 〔3〕 Campanella and Vaid(1974)
〔4〕 Vaid and Campanella(1977) 〔5〕 Finn and Snead(1973) 〔6〕 Mesri and Godlewski(1977) 〔7〕
Murayama and Shibata(1964) 〔8〕 Arulanandan, Shen and Young(1971)



$$\frac{p}{q_Y} = \frac{A_p}{A_Y} = \frac{1}{\frac{\mu(1+e_o)}{\lambda} \exp\left(-\frac{\lambda - \kappa}{\lambda}\right)} \quad (13)$$

$$\frac{q_F}{q_Y} = \frac{A_F}{A_Y} = \frac{1}{\frac{\mu(1+e_o)}{\delta \lambda}} \quad (14)$$