

京都大学工学部 正会員 赤井浩一
 “ “ 足立紀尚
 電中央研究所 “ “ 西好一

1. 序

軟岩は降伏後、ヒズミ硬化を呈しつつ顕著な体積膨脹を示すことを実験的に明らかにし、これら実験事実から降伏関数を決定して粘塑性理論にもとづく構成式を誘導した。^(1,2) 本報告は軟岩のこのような複雑な挙動をより理想化した完全粘塑性体として説明できることを示し構成式を誘導し、さらにこの構成式によるクリープ破壊に関する議論を行うものである。この結果は軟岩盤を対象とする土木構造物の安定問題と論ずる上に有益な知見を与えるものと考えらる。

2. 実験結果

用いた試料、実験装置は別に報告したものと同一である。図-1, 2は初期拘束圧が5気圧に15 kg/cm²で行ったクリープ試験結果の一部をクリープヒズミ速度と時間の関係として示したものである。これらの図には主として降伏後の挙動について示し、他の材料の高応力下でのクリープ特性と類似性が認められる。なお、降伏前は通常の粘弾性モデルで数々のクリープ挙動を記述できることをすでに明らかにしている。⁽²⁾ 図-3は定常クリープ時、ヒズミ速度と負荷応力の関係を示す。これから軟岩の降伏後の流動はBingham流動として知られている単純なものでなく、拘束圧に依存した非線形な特性を有している。

3. 構成式

すでにダイレイタシーを考慮し、ヒズミ硬化を加味した構成式の誘導を行っている。^(1,2) したがって、定常クリープに着目した構成式は容易に導かれる。まず実験事実にもとづく降伏関数は次式で表わされる。

$$f_s - K_s = C^* \sigma_m' \left\{ \frac{1 + \alpha^* / \left(\frac{127}{\sigma_m'} \right)}{C^* \left(\frac{\sigma_m'}{\sigma_m} \right)} \right\}^{\frac{\alpha^*}{\alpha^* - 1}} - K_s \quad (1)$$

粘塑性理論により構成式を求めるとき、動的降伏関数の与え方が問題になるが、ここでは一応上式と同型の降伏関数であると仮定する。すなわち、

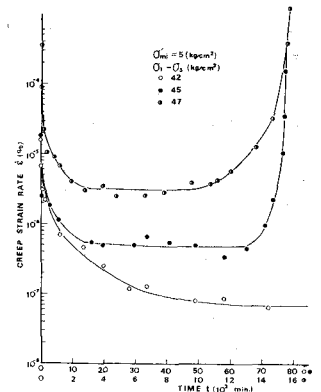


図-1

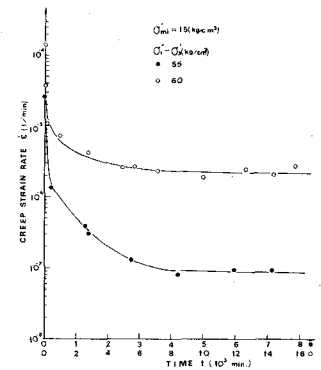


図-2

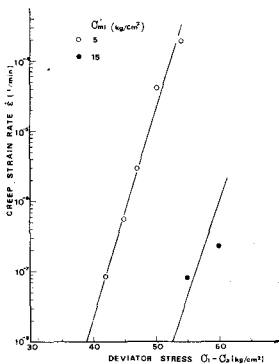


図-3

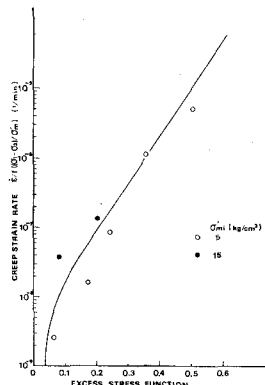


図-4

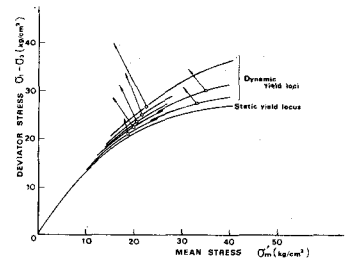


図-5

$$f_d - K_d = C^* \sigma_m' \left\{ \frac{1 + \frac{\alpha^* - 1}{\alpha^*} \left(\frac{\sqrt{2} F}{\sigma_m'} \right)}{\alpha^*} \right\}^{\frac{\alpha^*}{\alpha^* - 1}} - K_d \quad (2)$$

$$F = K_d / K_s - 1 \quad (3)$$

こゝに F は静的降伏係数と動的降伏係数の差を表わすものであり、完全粘塑性体と考える場合はヒズミに依存しないパラメータと考えられる。これから次の構成式が求まる。

$$\dot{\epsilon}_{ij}^{TP} = \gamma < \bar{\sigma}(F) > f \left(\frac{\sqrt{2} F}{\sigma_m'} \right) \left\{ \left(\frac{C^* - \frac{\sqrt{2} F}{\sigma_m'}}{\alpha^*} \right) \frac{\delta_{ij}}{3} + \frac{\delta_{ij}'}{\sqrt{2} F} \right\} \quad (4)$$

$$f \left(\frac{\sqrt{2} F}{\sigma_m'} \right) = \left\{ \left(1 + \frac{\alpha^*}{C^*} \left(\frac{\sqrt{2} F}{\sigma_m'} \right) \right) / \alpha^* \right\}^{\frac{\alpha^*}{\alpha^* - 1}} \quad (4)'$$

(4), (4)' 式より軸対称三軸圧縮条件では次式がよくなる。

$$\dot{\epsilon}^{TP} = \sqrt{\frac{2}{3}} \gamma < \bar{\sigma}(F) > f \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_m'} \right) \quad (5)$$

フリーア時は応力条件が既知であるから $\bar{\sigma}(F)$ 係数は容易に決定しうる。

図-4 は図-1, 2 から決定される F と $\dot{\epsilon}_s / f \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_m'} \right)$ の関係を表すが、これから第一近似として次式を得る。

$$\bar{\sigma}(F) = C_2 \exp(\delta_2 F) \quad (6)$$

こゝに C_2 , δ_2 は材料定数である。結局、完全粘塑性体としこゝに γ の軟化の構成式は (5), (6) 式から次式として与えられる。

$$\dot{\epsilon}^{TP} = \sqrt{\frac{2}{3}} \gamma \cdot C_2 \exp(\delta_2 F) f \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_m'} \right) \quad (7)$$

図-5 は定常フリーア時のヒズミ速度・方向と応力平面上 ($\sigma_1 - \sigma_3$, σ_m') に

示しているが Normality の条件をほぼ満たし、(2) 式の動的降伏曲面の妥当性がうかがえる。

4. 軟岩のクリープ破壊の予測

軟岩は降伏値以上の応力が作用すると応力レベルに応じたヒズミ速度で流動し、ある時点を経過後フリーア破壊に至る。図-6 は軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) と定常フリーア開始時および加速フリーア開始時のヒズミ $\dot{\epsilon}_s$, $\dot{\epsilon}_a$ (%) の関係を示したものである (ただし、 $\sigma_m' = 5 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_1 - \sigma_3 = 4.2 \text{ kg/cm}^2$ と $\sigma_m' = 15 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_1 - \sigma_3 = 5.5 \text{ kg/cm}^2$ の場合、今回の計測範囲ではフリーア破壊に至らなかった)。この図から、加速フリーア開始時のヒズミはほぼ同一の値を取ることはわかり、ヒズミ量で破壊を規定することが可能と思われる。図-7 は拘束圧 $\sigma_m' = 5 \text{ kg/cm}^2$ における定常フリーアヒズミ速度 $\dot{\epsilon}_s$ と破壊時間 t_r 、および加速フリーア開始時間 t_a との関係を示したものである。この図から粘性土に対して一般に成立するといわれている次の関係式が得られる。

$$\dot{\epsilon}_s \cdot t_r = \text{const.}, \quad \dot{\epsilon}_s \cdot t_a = \text{const.} \quad (8)$$

この関係は拘束圧 $\sigma_m' = 15 \text{ kg/cm}^2$, 軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) = 60 kg/cm^2 のもとでも同じ直線上にあり、拘束圧には依存しないようである。定常フリーア時のヒズミ速度は (9) 式で評価されるので上式は次式のように表わされる。

$$t_r = \text{const.} / \sqrt{\frac{2}{3}} \gamma \cdot C_2 \cdot \exp(\delta_2 F) f \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_m'} \right) \quad (9)$$

(8), (9) 式は現地でのヒズミ速度の計測によって、地盤の破壊時間を予測しうる有効な手段と考えられ斜面崩壊予測等に利用されている。一方、破壊時間の応力により規定された (10) 式によると、あらかじめ地盤内の応力分布を推定することにより、フリーア破壊を予測できることを示している。いずれにしても、実際の境界値問題と解析する上には構成式が必要であって、単に (9) 式で与える材料定数では不充分である。

参考文献

- 1) 赤井, 足立, 西, (1975) "軟岩の降伏特性", 第10回土木工学研究発表会講演集, pp. 791~794.
- 2) 赤井, 足立, 西, (1975) "軟岩のクリープ特性", 第10回土木工学研究発表会講演集, pp. 795~798.
- 3) 青藤 (1968), "斜面崩壊発生時刻の予知に関する研究", 鉄道技術研究所報告 No. 626

