

京都大学工学部 正会員 足立紀尚
 京都大学大学院 学生会員 張 鋒
 京都大学大学院 学生会員 ○曾良岡宏

1. はじめに

本研究では、足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式¹⁾をもとに軟岩の排水クリープ挙動を表現できる弾-粘塑性構成式を誘導し、さらに、高瀬²⁾によって行われた大谷石に対する排水クリープ試験の結果を用いてその適用性を検討する。

2. 弾-粘塑性構成式の誘導

足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式に以下の2つの仮定を加えることによって、弾-粘塑性構成式を誘導した。

1) 引張り強度に相当するパラメタ b^* の導入

b^* の導入に伴って、応力履歴比 η^* も新たに定義する。 b^* は後述するように排水クリープ試験を行うことによって実験的に決定できる。

$$\eta^* = \sqrt{2J_2} / (\sigma_m^* + b^*) \quad (1)$$

2) 時間測度 z の導入

従来のひずみ測度に替えて時間測度を用いる。式中の α は、遷移クリープ過程でのクリープひずみ加速度の絶対値である。

$$z = \tau \alpha \ln t \quad (2)$$

仮定(1)より次式で示す弾-粘塑性構成式の塑性ひずみ成分が誘導される。

$$d\epsilon_{ij}^p = A \left(\frac{S_{ij}}{\sqrt{2J_2}} - \frac{\sqrt{2J_2}}{\sigma_m^* + b} \frac{\delta_{ij}}{3} + \bar{M} \frac{\delta_{ij}}{3} \right) \left(\frac{S_{mn}^*}{(\sigma_m^* + b^*) \sqrt{2J_2}} - \frac{\sqrt{2J_2}}{(\sigma_m^* + b^*)^2} \frac{\delta_{mn}}{3} \right) \frac{d\sigma_{mn}^*}{\sigma_m^* + b} \quad (3)$$

ここに、

$$A = \frac{M_f^{*2}}{G(M_f^* - \eta^*)^2} \frac{\gamma^p \bar{\eta}}{e_{ij}^p \bar{\eta}_{ij}} (\sigma_m^* + b) \quad \bar{\eta}_{ij} = S_{ij} / (\sigma_m^* + b) \quad (4)$$

ただし、 b は塑性ポテンシャルパラメタであり、本研究で導入した引張り強度に相当する状態量 b^* とは異なる。この構成式に含まれる材料定数をまとめると以下の9個になる。

G :せん断弾性係数 K :体積弾性係数 M_f^*, G' :ひずみ硬化-軟化関数パラメタ

σ_{mb}, b :塑性ポテンシャルパラメタ $\bar{M}$:過圧密境界面パラメタ τ :応力履歴パラメタ

b^* :引張り強度に相当するパラメタ

3. 排水クリープ挙動の表現

先に示した弾-粘塑性構成式に対して、軸対称応力状態での排水クリープ条件を代入し、仮定(2)を適用すると、式(5)が得られる。

$$\ln \dot{\epsilon}_{11} = \ln \frac{2q\alpha}{3G'b^*} - \alpha \ln t + 2 \ln \left(\frac{M_f^*}{M_f^* - \eta^*} \frac{b^*}{\sigma_m^* + b^*} \frac{1}{\sqrt{t}} \right) \quad (5)$$

Fig.1に軸差クリープひずみ速さ-時間曲線の模式図を示すが、右辺第1項は時間的に不変であるので曲線の切片、第2項が遷移クリープ成分を表わし、第3項が加速クリープ成分に対応しているものと考えられる。そこで、この加速クリープ成分を表わす関数を $g(t)$ と名付ける。

$$g(t) = \left(\frac{M_f^*}{M_f^* - \eta^* \sigma_m^* + b^*} \frac{1}{\sqrt{t}} \right)^2 \quad (6)$$

また、第1項より、

$$\dot{\epsilon}_{11}^1 = \dot{\epsilon}_{11}^1|_{t=1} = \frac{2q\alpha}{3G^*b^*} \quad (7)$$

この関係式より b^* は次のように求められ、排水クリープ試験を行えば実験的に決定できる。

$$b^* = \frac{2q\alpha}{3G^*\dot{\epsilon}_{11}^1} \quad (8)$$

クリープ破壊するためには $g(t)$ が有限時間内に無限大に発散することが必要である。そのためには M_f^* が時間の減少関数でなければならないことは式(6)より明らかである。そこでFig.2に示すように2つの仮定を設ける。

1) M_f^* は時間の減少関数である。

2) b^* は時間に依存せず一定である。

これらの仮定にもとづき、 M_f^* を時間と応力の関数として次のように定式化した。

$$M_f^*(t) = B t^{-A} \quad (9)$$

$$A = -A_1 + A_2 \eta_{res}^* \quad (10)$$

$$B = B_1 \eta_{res}^* \quad (10)$$

ここに、

$$\eta_{res}^* = \eta^*|_{t=\infty} = \frac{q}{\sigma_m^* + b^*} \quad (11)$$

4. 排水クリープ試験への適用

高瀬²⁾による大谷石の排水クリープ試験から得られたクリープひずみ速度-時間関係(側圧 1kgf/cm²)と、式(5)および式(9),(10)による計算結果の比較をFig.3に示す。

5. おわりに

本研究では引張り強度に相当するパラメタ b^* を導入することによって弾-粘塑性構成式を誘導し、軟岩の排水クリープ試験に対する適用性を検討した。その際、簡単のためにパラメタ b^* を時間に依存せず一定であると仮定したが、引張り強度は残留状態で0となるように減少すると考えられるので、この点を考慮して M_f^* の関数形を改良する必要がある。

【参考文献】

1) 足立紀尚、岡二三生：軟岩のひずみ軟化型弾塑性

構成式、土木学会論文報告集445号、pp.9~16、1992.

2) 高瀬昭雄：軟岩の長期変形・強度特性に関する研究、京都大学工学部修士論文、1980.

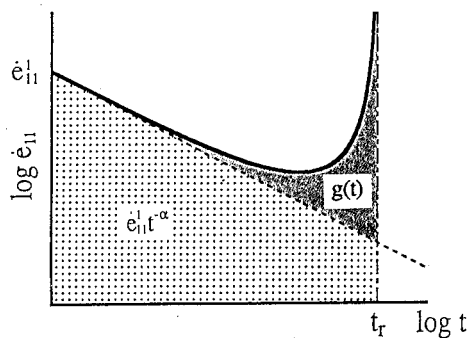


Fig.1 加速クリープ成分を表す関数 $g(t)$

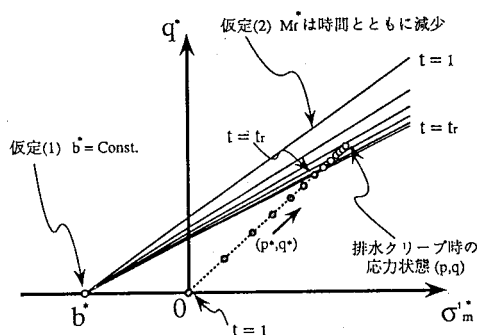
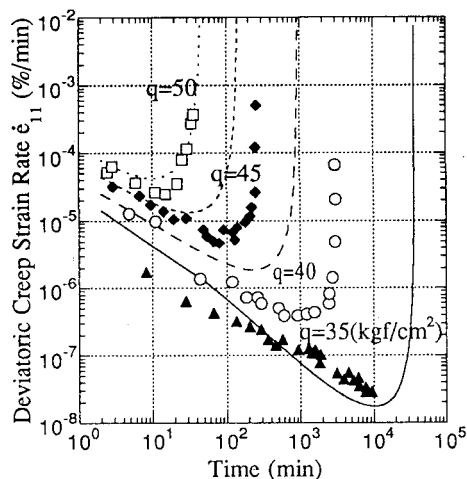


Fig.2 M_f^* および b^* に対する仮定



プロット：実験値

実線および破線：計算値

Fig.3 解析結果と実験結果の比較