

Ⅲ-A310

非可逆ひずみのひずみ速度依存性による三軸排水クリープの予測

東京大学生産技術研究所 正会員 ○早野 公敏

東京大学 工学部 フェロー 龍岡 文夫

東京大学生産技術研究所 正会員 古関 潤一

はじめに 近年、堆積軟岩地盤を対象としたプロジェクトが増加している。長大橋梁の基礎やLNGタンクのような重要構造物の施工や都心部での近接施工では特に地盤の小ひずみレベルでの変形問題が重要となる。そこで、本研究では堆積泥岩の三軸圧縮クリープ試験より、小ひずみレベルにおける排水クリープの予測について考察する。

用いた試料 神奈川県相模原市において地下約50mからブロックサンプリングで採取した上総層群の固結度が比較強い堆積泥岩を用いた。初期含水比は約24%である。

実験装置および方法 中圧三軸セル内に円柱供試体(φ:50×h:125mm)をセットし、供試体の側面にろ紙を短冊状に巻き、二重負圧法を用いて飽和化した。原位置上載圧の5kgf/cm²まで等方圧密して一晚放置後、排水条件で三軸圧縮せん断を行った。ひずみの測定には、既往の研究^[1]で明らかにように単調載荷時やクリープ載荷時のひずみにBedding Errorが影響を与えることから、LDT(Local Deformation Transducer)を用いて局所的測定を行った。せん断中には、排水クリープ載荷を3日間程度、段階的に与え、またひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ を100倍変化させた載荷や微小繰返し載荷を行った。

応力・ひずみ・ひずみ速度特性 せん断中の微小繰返し載荷から鉛直方向の等価ヤング率 E_v が得られる。 E_v は、基本的に鉛直応力 σ'_v に依存する^[2]ことから $E_v = E_{v0}(\sigma'_v/\sigma'_{v0})^m$ (E_{v0} 、 σ'_{v0} は等方状態における E_v 、 σ'_v 、 m は依存性の大きさを表し、本研究では $m=0.029$)と表現し、全軸ひずみ ϵ'_v を弾性・非可逆成分 ϵ_v^e 、 ϵ_v^{ir} に分離して軸差応力 q に対しプロットしたものを図1に示す。実験の範囲で E_v は $\dot{\epsilon}$ の影響をほとんど受けないので $q-\epsilon_v^e$ の $\dot{\epsilon}$ による変化はほとんどない。一方で $q-\epsilon_v^{ir}$ は $\dot{\epsilon}$ の急変による影響を受け、最大軸差応力 q_{max} も $\dot{\epsilon}$ により変化している。図2に同様の試験による3供試体の結果も合わせて破壊時のひずみ速度 $\dot{\epsilon}_f$ と q_{max} の関係を示す。 $\dot{\epsilon}_f$ が小さい程、 q_{max} が小さくなる。図中の b は、近似直線の傾きで q_{max} の $\dot{\epsilon}$ による変化率の大きさを表す。

クリープ変形予測 図3のように応力・ひずみ・ひずみ速度特性を簡単に表現する。すなわち、 σ'_v の関数として E_v から ϵ_v^e を評価する。一方、 ϵ_v^{ir} は $\dot{\epsilon}$ に一義的に依存すると仮定し、 $\dot{\epsilon}$ の急変時には $q-\epsilon_v^{ir}$ 曲線が乗り移り、 q の変化率は $\dot{\epsilon}$ の変化率と b のみによって決まるとする。このモデル化では図1に見られる $\dot{\epsilon}$ の急変直後に別な曲線に乗り移るまでの接線剛性の非線形性は評価できない。しかし、以下のようにクリー

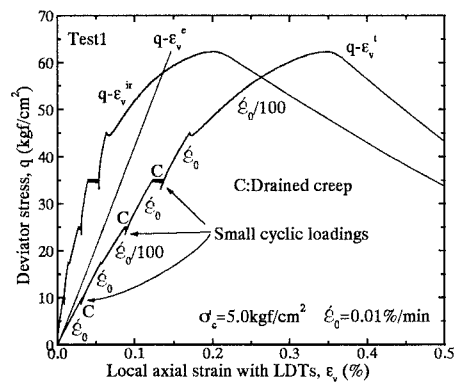
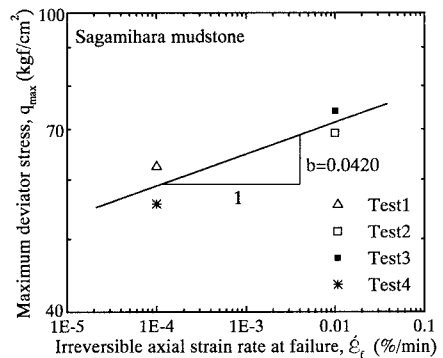


図1 軸ひずみと軸差応力の関係

図2 破壊時軸ひずみ速度と q_{max} の関係

キーワード: 堆積泥岩・三軸クリープ試験・非可逆ひずみ・弾性ひずみ・ひずみ速度

〒106-8558 東京都港区六本木7-22-1 TEL:03-3402-6231(Ext.2570) FAX:03-3479-0261

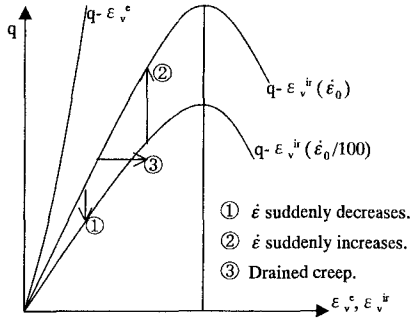


図3 非可逆ひずみのひずみ速度依存性

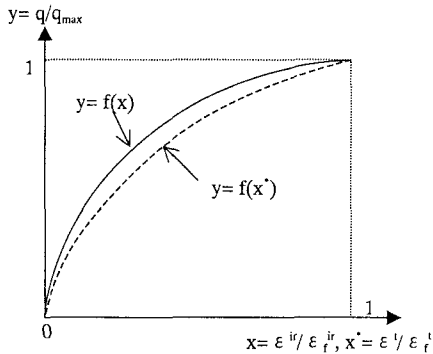


図4 正規化した応力・ひずみ曲線

プ中のひずみ ε_{creep} の予測に適用できる。以下、式中の ε は ε_v である。

$$q \text{ を } q_{\max} = a(\dot{\varepsilon}^{ir})^b, \quad q/q_{\max} = f(\varepsilon^{ir}/\varepsilon_f^{ir}) \text{ より}$$

$$q = a(\dot{\varepsilon}^{ir})^b \cdot f(x) \quad (x = \varepsilon^{ir}/\varepsilon_f^{ir}) \text{ として表現する。破壊時非}$$

可逆ひずみ ε_f^{ir} は一定と仮定し、 $y = f(x)$ は図4のように ε_f^{ir} と $q_{\max}$ を用いて正規化した応力・ひずみ曲線である。 $x^* = \varepsilon^i/\varepsilon_f^i$ (ε^i :全ひずみ, ε_f^i :破壊時全ひずみ)による正規化曲線 $y = f(x^*)$ も合わせて記入した。 $f(x)$ は ε によらないと仮

$$\text{定する。クリープ载荷時の } dq = \frac{\partial q}{\partial \varepsilon^{ir}} \cdot d\varepsilon^{ir} + \frac{\partial q}{\partial \dot{\varepsilon}^{ir}} \cdot d\dot{\varepsilon}^{ir} = 0$$

の条件より $d\varepsilon^{ir} = -C_r \cdot d\dot{\varepsilon}^{ir} / \dot{\varepsilon}^{ir}$ ($C_r = (b \cdot f \cdot \varepsilon_f^{ir}) / (\partial f / \partial x)$) が導かれる。 C_r 一定として積分し、クリープ初期のひずみ速度を $\varepsilon_{initial}$ とすると最終的に ε_{creep} は、時間 $t(\text{min})$ に対し、

$$(\varepsilon)_{creep} = C_r \cdot \ln(\dot{\varepsilon}_{initial} / C_r) \cdot t + 1 \text{ として求まる。}$$

この式の C_r に図2より得られる $b=0.040$, 表1に示す $\varepsilon_f^{ir}=0.23\%$ (4供試体の平均値)を用いて図1の $q=25,35\text{kgf/cm}^2$ におけるクリープ量を予測した結果を図5に示す。図5に

は、全ひずみによる正規化曲線 $y = f(x^*)$ および ε_f^i を用いて同じ方法で計算した場合もプロットした。実測値と計算値を比較すると非可逆ひずみによる破壊ひずみおよび正規化曲線 $y = f(x)$ を用いた予測のほうが全ひずみによる方法よりも精度良く予測できている。全ひずみによる方法がクリープ量を大きめに予測するのは、正規化した剛性の過小評価が一因と考えられる。

まとめと今後の課題 弾性ひずみと非可逆ひずみを分離し、非可逆ひずみのひずみ速度依存性について考察を行い、クリープ载荷中の変形量を精度よく予測した。今後は、側方ひずみを含めた応力・ひずみ・ひずみ速度特性につ

	$q_{\max}$ (kgf/cm ²)	ε_f^i (%)	ε_f^{ir} (%)
Test1	62.4	0.347	0.203
Test2	69.1	0.469	0.285
Test3	74.0	0.375	0.190
Test4	55.7	0.387	0.239
Ave.	*	0.395	0.229

* 破壊時ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_0, \dot{\varepsilon}_0/100$ の $q_{\max}$ の平均値は $71.6, 59.1\text{kgf/cm}^2$

表1 各試験における $q_{\max}, \varepsilon_f^i, \varepsilon_f^{ir}$

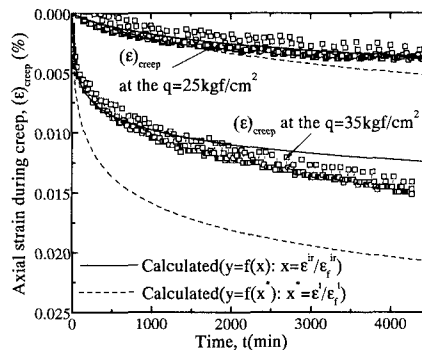


図5 排水クリープの計算値と予測値

み速度特性について議論を深める必要がある。

参考文献 (1)早野・松本・龍岡・古関: 堆積軟岩の三軸クリープ試験およびクリープ変形予測モデルの検討, 第29回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.8-14, 1999, (2)浜田・

早野・古関・龍岡: 堆積泥岩のヤング率の応力状態誘導異方性に関する実験的検討, 第34回地盤工学研究発表会(投稿中).