

人工軟岩のクリープ試験と画像解析によるひずみの計測及び変形特性の解明

東京大学 学生会員 飛内 英明

東京大学 正会員 井上 純哉

1. まえがき

大震度地下構造物など応力比が高い構造物が増えてくると、既存のひずみが収束するクリープモデルではなく、最終的にはひずみが急激に増え破壊に至るという可能性を考慮したモデルが必要になってくる。軟岩の変形がどのように起こっているかを知ることは、実際の現象をよく表しているモデルを作るには不可欠である。既存の研究では空隙の圧密や、クラックの進展などに着目した研究があるが、本研究では面外方向を拘束する平面ひずみ試験を行い、その変形の様子を画像解析を用いることにより、一次から三次クリープまでの変形の様子を明らかにすることをを行った。

2. 平面ひずみ試験概要

本研究で用いる人工軟岩は $5 \times 5 \times 15 \text{ cm}$ で一軸圧縮強度が 1 MPa 程度になるように作成した。平面ひずみ試験の装置概要を figure1 に示す。供試体のまわりは十分剛性の高い金属板で囲まれ、間には摩擦を切るためにシリコングリースとメンブレンが挟まれている。前面のガラスからパターンのつけられたメンブレンの移動を観察することにより、供試体の変形とみなす。側圧と面外拘束圧はエアークンプレッサーと面外拘束器で約 0.2 kgf/cm^2 に設定し、鉛直方向の荷重は油圧式のサーボパルサーを用いて制御した。サーボパルサーの制御は以下の通りにした。

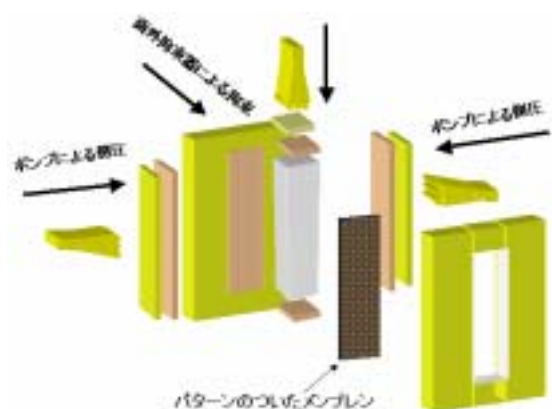


figure 1

- ・ 単調荷重試験（荷荷板の荷重速度と変位を制御）

2%/h で 240s 間に 0.2mm 変位させ、4%/h で 60s 間に 0.1mm 戻し、380s 間、変位が変わらないように維持する操作を繰り返す。380s 間維持しているところで全面のメンブレンを撮影。

- ・ クリープ試験（荷荷板にかかる応力を制御）

1.26MPa を 200s 維持し、16.7kPa/s で 60s 間かけ 0.26MPa まで下げ、0.26MPa を 380s 維持、それから 4.2kPa/s で 240s で荷重という操作を繰り返した。0.26MPa を 380s 間維持しているところでメンブレンを撮影。

3. 画像解析

画像解析の概要を figure2 に示す。変形前の中心部から比較するための MASK 画像を 8bit のビットマップデータとして抜き出す。それを変形後のリージョン画像全部の面に対して照合していき、一致したところが元の画像が変形した場所ということになる。照合の方法は、各 dot において、マスク画像とビットマップデータの差の 2 乗を取り、それが最小となるところが元のマスクが変形して移動した場所であるとみなした。本研究では変位は画像の最小点 1dot = $3.5 \mu\text{m}$ 確認でき、ひずみレベルで約 0.07% の微小ひずみまで計測できる。

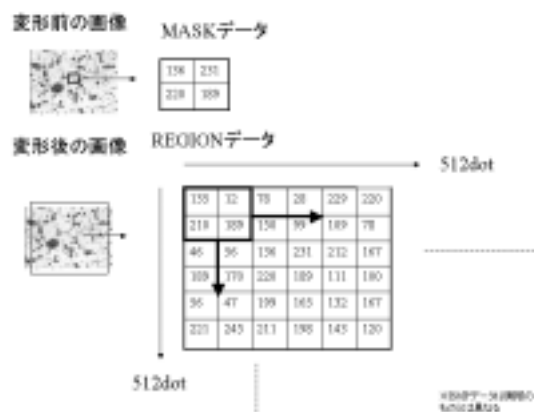


figure 2

キーワード：軟岩、クリープ、平面ひずみ、画像解析、応力比、地下構造物

連絡先：東京大学工学部土木工学科応力／岩盤研究室

4. 試験結果

画像解析によって得られた変位から単調載荷試験とクリープ試験について最大せん断ひずみを計算した結果を figure3、figure4 に示す。ともに左側の color bar を用いているが、figure4 の step48($\varepsilon = 0.78\%$) と step58($\varepsilon = 1\%$) は step36($\varepsilon = 0.63\%$) と比較されている。変形が小さく、同じ目盛りではデータ表示が難しいため、30%で表示されている。ちなみに color bar で 5 のところは約 1.75% のひずみに相当する。

Figure3 より、単調載荷では step4($\varepsilon = 0.25\%$) あたりで右下にひずみが局所化し、それ以降他の場所の変形は少なく、局所化した場所に変形が集中して破壊に至っていることが分かる。

Figure4 より、クリープの場合は供試体全体にひずみが分布し、変形が進んでいることが分かる。Step36 あたりで見られる供試体下部から右側中央部にかけてのひずみに後半は変形が集中し変形していることが分かる。Step36 と比べている step58 を見ると、前半で変形していた上部の変形はあまり見られず、局所化した部分の変形に集中していることがよく分かる。また、クリープ試験の方が、破壊までのひずみ量が多い。

他にもいくつか実験を試みたが、上記とほぼ同様の結果が得られた。

5. あとがき

本実験を行う前に予備実験として本実験と同じ配合で直径 5cm×高さ 10cm の供試体を作り、一軸試験を行った。Figure5,6 はクリープ試験の応力ひずみ図と、それに似た挙動を示す単調載荷試験の応力ひずみ図を抽出したものである。Figure5 は前述の結果どおり、クリープの方が単調載荷よりもひずみが多いことが分かるが、figure6 のほうは単調載荷と同じぐらいのひずみでクリープ破壊している。これは最大圧縮応力に対しての応力比が高いためにクリープに移る前に局所化した変形が進んでしまったものであると考えられる。よってクリープ変形というのは供試体全体で変形を持つために、破壊までにより多くの変形が可能であると考えられる。また、応力が圧縮強度付近の高いところまでいき一度局所化された変形が現れてしまうと、その後クリープ試験に移ったとしてもその局所化したところに変形が集中し、単調載荷と似たような破壊の進行になるということも予測される。その裏づけとして平面ひずみ試験においても、応力比が高いと思われるクリープ試験では初期段階からひずみが局所化しているという結果が得られている。

<参考文献>

山内 優、山崎 貴博、山下 秀、杉本 文男、軟岩の圧縮クリープ過程と一軸圧縮破壊過程の関連性、資源と素材 Vol14 p.163-168(1998)

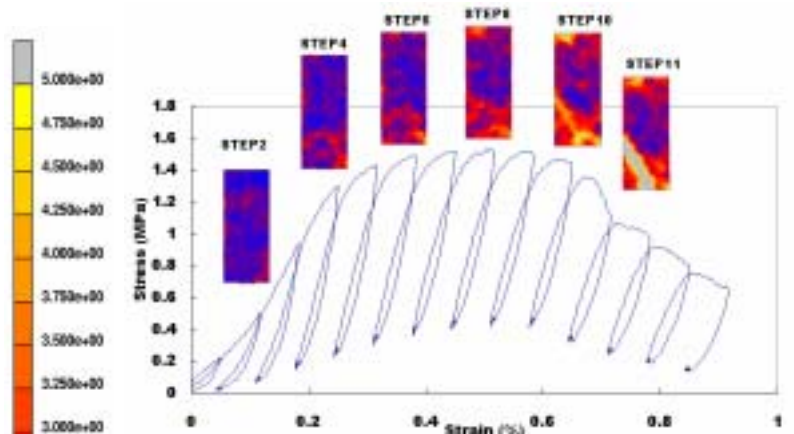


figure 3

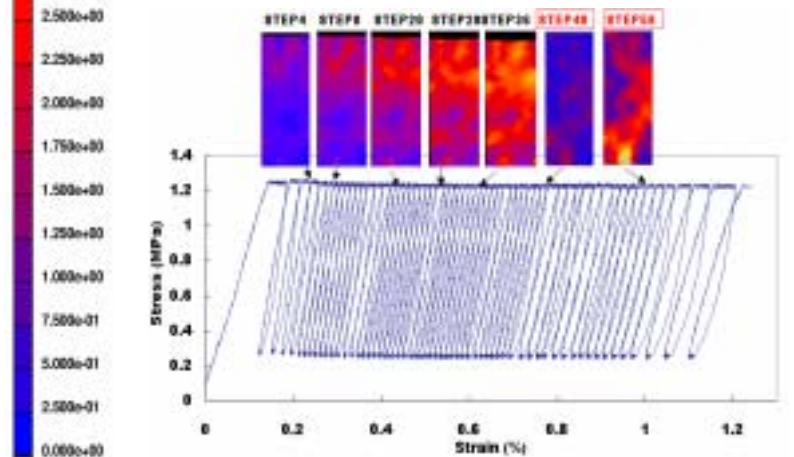


figure 4

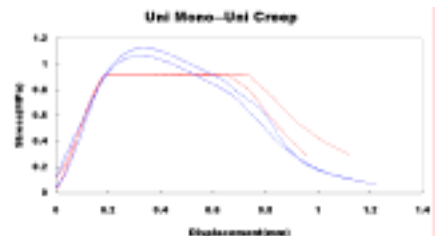


figure 5

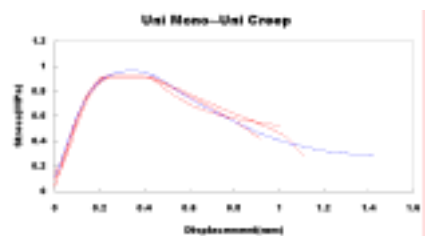


figure 6