

III-A 339 くり返し載荷をうける軟岩の除荷・再載荷の変形特性について

(財)電力中央研究所 正会員 岡田 哲実
同上 正会員 田中 幸久

1. はじめに

原位置での基礎地盤の変形特性を評価するため、平板載荷試験やプレッシャーメータ試験などがよく用いられる。この試験結果から剛性を評価する場合、静的な除荷・再載荷過程の勾配から解析的に弾性係数を求めることが多い。しかし、この除荷・再載荷過程の剛性の位置づけについて十分な解釈を示した例はほとんどない。また、もう一つ解釈を困難にするのがベッディングエラーである。軟岩試料で三軸圧縮試験等を行う際、供試体端面とキャップとペダスタルの間のベッディングエラーの影響を受けて変形係数をかなり過小評価することがよく指摘されている¹⁾。平板載荷試験やプレッシャーメータ試験に関しても、載荷板(面)の変位から剛性を評価する限りベッディングエラーの影響をさけることはできないであろう。本文では以上の点に、静的な段階的くり返し載荷を与える三軸圧縮試験(CU)で検討を行った。

2. 試験方法

試料(直径100mm, 高さ200mm)は、2種類の人工軟岩²⁾で、利根川砂を主とする砂質軟岩(配合S3:圧密圧力6.11MPa)とカオリンを主とする泥質軟岩(配合M2:圧密圧力6.11MPa)である。軸ひずみ量は、両端面のベッディングエラーの影響を受けないように、供試体の側面に金属ターゲットを取り付けて非接触変位計により変位を計測した(内部変位)。また、あえてベッディングエラーの程度を計測するため、載荷ピストンの変位も非接触変位計で計測した(外部変位)。圧密圧力は、 $\sigma_c' = 0.098, 0.49, 0.98\text{MPa}$ の3種類である。

載荷方法は、載荷途中で軸差応力を0まで数回除荷させながらピークまで載荷した(図-1)。載荷速度は、およそ0.05%/分である。また、全てのケースで載荷初期に最大軸ひずみ $\epsilon_1 \cong 2 \times 10^{-5}$ 以下の微小な載荷・除荷を行い、その範囲では線形弾性的性質を示すことを確認し、その勾配を(E_{max})₀とする。

3. 試験結果および考察

試験結果の一例を図-1に示す(人工砂岩, $\sigma_c' = 0.98\text{MPa}$)。図-2に今回用いた剛性の定義を示す。E_{sec}は処女載荷過程の割線剛性である。Eurは除荷開始点と再載荷開始点を結ぶ除荷勾配である。除荷の応力-ひずみ関係は非線形であるが、除荷勾配は除荷直後にクリープの影響を含むという問題があり³⁾、今回は非線形性を考慮せず回復ひずみという観点から除荷・再載荷のピーク/ピークの直線勾配を除荷勾配Eurとした。(E_{max})_nは再載荷の初期勾配($\epsilon_1 \cong 2 \times 10^{-5}$)である。

以上のE_{sec}, Eur, (E_{max})_nを(E_{max})₀で割って、せん断レベル(q/qf)で比較した(図-3)。ただし、Eur, (E_{max})_nのせん断レベル(q/qf)とは、せん断履歴であり、それまでにうけた最大軸差応力を意味する。図-3(a)は人工砂岩、図-3(b)は人工泥岩の結果である。両岩種ともに $\sigma_c' = 0.48\text{MPa}$ と0.98MPaの傾向はよく似ているが、0.098MPaの場合は傾向が異なる(特に人工泥岩の場合)。これは、内部変位を計

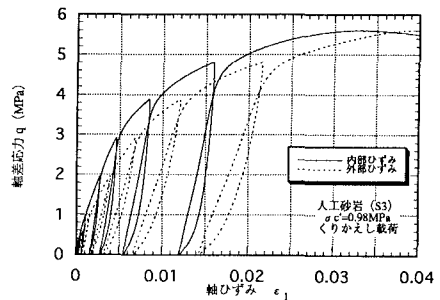


図-1 試験結果の一例

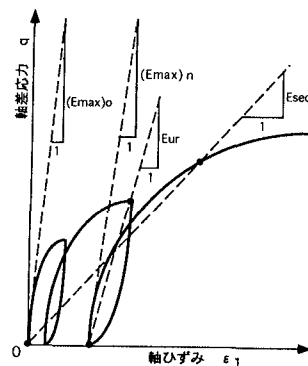


図-2 剛性の定義

測しても圧密圧力が小さい場合には、供試体作製時に形成された乱れやマイクロクラック等の影響を受けるためではないだろうか。

除荷剛性 E_{ur} は、砂岩、泥岩ともにせん断履歴の影響を受けており、その傾向は E_{sec} の傾向に似ている。再載荷の初期勾配 $(E_{max})_n$ について、砂岩は E_{sec} 、 E_{ur} と同様の傾向を示すが、泥岩の場合はせん断履歴をうけていても関わらず、 $(E_{max})_o$ より大きな剛性となった。これは、除荷から再載荷の反転直後にクリープの影響を受けている可能性がある。

次に、“除荷・再載荷により得られる剛性は、ベッディングエラーの影響をうけにくいのだろうか”，という点について検討する。図-3に示した内部変位から得られた割線剛性（ E_{sec} ）、除荷剛性（ E_{ur} ）、再載荷剛性（ $(E_{max})_n$ ）を真の剛性とする、外部変位から得られる割線剛性（ E_{sec}^{BE} ）、除荷剛性（ E_{ur}^{BE} ）、再載荷剛性（ $(E_{max})_n^{BE}$ ）は、ベッディングエラーの影響を含んだ剛性である。外部変位から得られる剛性を内部変位から得られた剛性でそれぞれ割って、ベッディングエラーによりどれくらい剛性が低下するかをせん断レベル（ q/q_f ）と比較した（図-4）。図-4(a)は人工砂岩、図-4(b)は人工泥岩の結果である。この図より、両岩種とも除荷剛性 E_{ur} は、割線剛性 E_{sec} と同程度のベッディングエラーがあるとと言える。言い換えると、処女載荷過程にベッディングエラーの影響がある場合は、除荷剛性もまた同程度のベッディングエラーを含むことになる。再載荷剛性 $(E_{max})_n$ は、砂岩に関しては除荷剛性とほぼ同程度のベッディングエラーが存在し、泥岩に関しては割線剛性や除荷剛性よりむしろその影響は大きい。

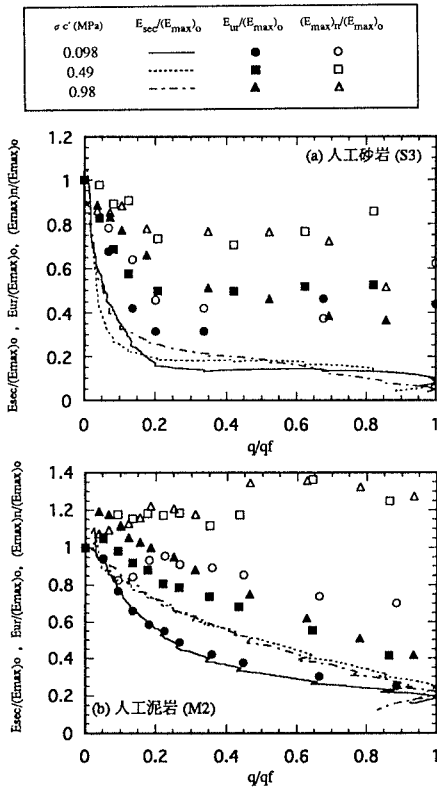


図-3 $E/(E_{max})_o \sim q/q_f$ の関係

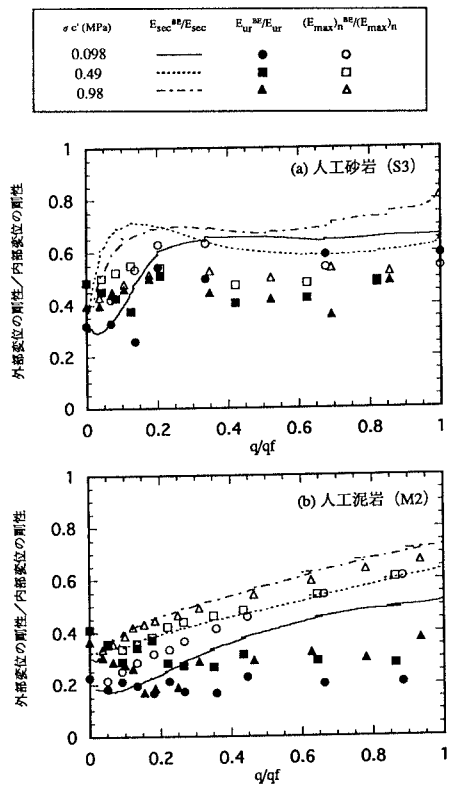


図-4 外部変位の剛性/内部変位の剛性 $\sim q/q_f$ の関係

参考文献：1) 例えば、龍岡文夫ら(1991)：三軸試験と原位置試験法との関連（変形特性について），三軸試験方法に関するシンポジウム，pp39-84。 2) 谷和夫ら(1992)：人工軟岩の作製法，第24回岩盤力学に関するシンポジウム，pp251-255。 3) 谷和夫ら(1995)：三軸圧縮試験の除荷・再載荷過程から評価されるシルト質軟岩の変形特性，第30回土質工学研究発表会，pp1163-1166。