

Ⅲ - A273

三軸試験の繰返し载荷が砂質軟岩の応力・ひずみ関係に与える影響

東京大学大学院 学 早野 公敏
 東京大学大学院 河上 定弘
 川崎地質 正 吉泉 直樹
 東京大学 正 龍岡 文夫

はじめに 堆積軟岩地盤の変形挙動を正確に予測するためには、応力状態および応力履歴が地盤の変形係数に与える影響を調べる事が重要である。本研究では、三軸試験装置を用いて、砂質軟岩供試体に数回の繰返し载荷を与え、弾性係数の応力状態依存性、および応力履歴が応力・ひずみの非線形挙動に与える影響を考察した。

実験装置・方法 本研究では、佐藤ら^[1]の中圧三軸試験装置のシステムを用いた。三軸セルは、アクリル円筒製で30kgf/cm²まで耐圧可能であり、軸载荷装置は、低速度でも遊びがなく载荷方向の反転が可能である。供試体の軸ひずみは、Bedding errorを含まず測定するために、L.D.T.^[2]を供試体の側面に用いて、直接測定した。実験には、上総層の砂質軟岩(D₅₀=0.756mm)を用いた。供試体を二重負圧法で飽和後、0.3~18kgf/cm²まで等方応力で圧縮したその後、側圧 $\sigma'_h=8\text{kgf/cm}^2$ 一定で、まず供試体を三軸圧縮し、圧縮強度以前で三軸伸張領域まで除荷を行い、再び载荷($\Delta q > 0$)を行うことを、軸差応力 $q = \sigma'_v - \sigma'_h$ の振幅をしだいに拡大させながら行った。等方圧縮状態およびせん断時には、弾性的性質を調べるために小さな除荷・再载荷を繰返し行った。

実験結果 図1は、 $\sigma'_h=8\text{kgf/cm}^2$ 一定で供試体に通じるバルブを開いて、排水条件でせん断した時の q - ϵ_a 関係である。大きい繰返し载荷により、供試体が次第に柔らかくなっている。図1に対して図2に、接線ヤング率 E_{tan} と等価ヤング率 E_{eq} の定義を示した。 E_{tan} は、全軸ひずみ増分 $d\epsilon_a^t$ に対して、 E_{eq} は、弾性軸ひずみ増分 $d\epsilon_a^e$ に対して軸差応力増分 dq の傾きを求めたものである。

$$E_{tan} = \frac{dq}{d\epsilon_a^t} = \frac{dq}{d\epsilon_a^e + d\epsilon_a^p} \quad E_{eq} = \frac{dq}{d\epsilon_a^e} \quad (1)$$

図3、図4は砂質軟岩の E_{tan} と E_{eq} を载荷時と除荷時に分けて q に対しプロットしたものである。 E_{eq} は、鉛直応力 σ'_v に依存して、 σ'_v が大きいほど大きな値をとる^[3]。

キーワード 砂質軟岩・三軸試験・弾性係数・繰返し载荷

106 東京都港区六本木 7-22-1 TEL 03-3402-6231 FAX 03-3402-6231

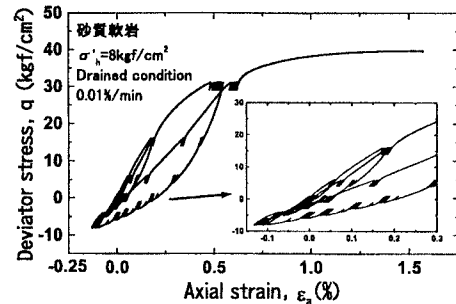


図1 軸ひずみと軸差応力

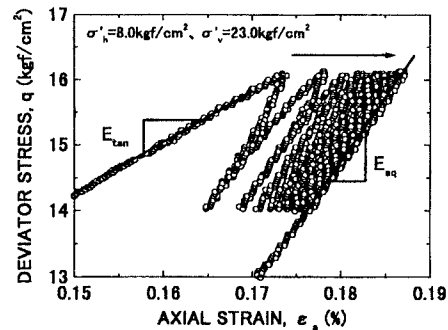


図2 接線・等価ヤング率の求め方

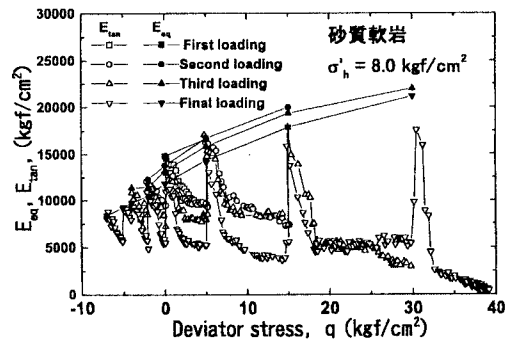


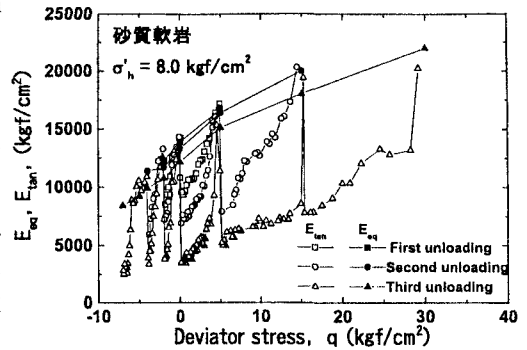
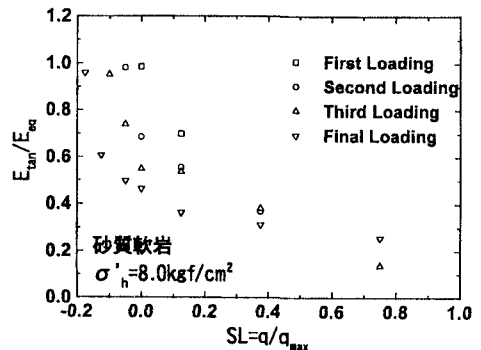
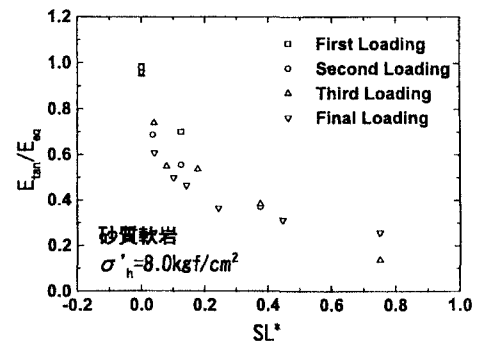
図3 E_{tan} ・ E_{eq} と q (载荷時)

一方で、大きい繰返し載荷に伴い載荷時も除荷時も E_{eq} が同じ q に対して低下している。これは、繰返しに伴う構造の損傷によるものと考えられる。 E_{tan} も、載荷(もしくは除荷)が進むにつれて低下する。載荷時においては、過去に受けた最大の q 時に E_{tan} は履歴がない時の値に近づく傾向にある。また、小さな繰返し直後の E_{tan} は、大きな値を取り、その後、載荷または除荷が進むにつれ、急激に低下している。これは、異方応力状態での微小繰返し載荷による軸ひずみの増加による弾性領域の発生が主原因であり、小さな繰返し載荷に伴う排水方向の反転による排水性の低下の影響もあると考えられる。繰返し載荷により、 E_{eq} と E_{tan} は、同じ q に対し、次第に低下するという非回復的性質は、セメンテーションの損傷や粒子同士のすべりに起因すると考えられるが、現時点では、その詳細なメカニズムは、明らかでない。

図5は、小さな繰返しを行う直前の E_{tan} をその直後におこなった小さな繰返しから得た E_{eq} で除した E_{tan}/E_{eq} の値を、 q を圧縮強度 $q_{max}(=40.3 \text{ kgf/cm}^2)$ で正規化した $SL(=q/q_{max})$ に対しプロットしたものである。大きい除荷で載荷方向が反転する時は、小さな繰返し直後の E_{tan} で直前の E_{eq} で正規化している。 E_{tan}/E_{eq} は(1)式より、 $d\varepsilon_a/d\varepsilon_a^t$ を表して、構造の損傷と σ'_v の依存性の影響を取り除いた「ひずみによる非線形性」を表すパラメータと考えられる。図5より、 E_{tan}/E_{eq} は SL に対して、一義的に定まらず、 E_{tan}/E_{eq} は、大きな繰返しの回数が増えるにつれ、同じ SL に対して低下している。ここで図6に図5の E_{tan}/E_{eq} と SL の関係を各載荷時において過去に受けた最大の SL まで相似であると仮定し、相似な部分を各載荷時の SL の初期値が0になるように比例を用いてシフトさせた SL^* に対して E_{tan}/E_{eq} をプロットすると比較的一義の関係が得られる。これは、損傷と σ'_v の影響を取り除いた繰返し曲線の載荷曲線の骨格の基礎を与える。今後は、繰返し載荷に伴う E_{tan} と E_{eq} の関係、特に除荷時の骨格曲線を求めることが重要な課題である。

結論 三軸試験を用いて、砂質軟岩に排水条件で大きな繰返し載荷を与えた結果、 E_{tan} と E_{eq} は、繰返しに伴い、同じ q に対して、徐々に低下する。これは、セメンテーションの損傷や粒子同士のすべりに起因すると考えられる。また、 E_{tan} と E_{eq} の比は、同じ q/q_{max} に対して、一義的に定まらず、 E_{tan}/E_{eq} は、繰返しの回数が増えるにつれ、低下するが、各載荷時において過去に受けた最大の q/q_{max} まで相似であると仮定すると比較的一義の関係が得られる。

参考文献 1) 佐藤・王林・早野・龍岡、"高精度中圧三軸試験システム"、第31回地盤工学研究発表会、1996
 2) Goto, Tatsuo, Kim, Shibuya, Kim, Sato, "A simple gauge for local strain measurements in the laboratory", SOILS AND FOUNDATIONS, 1991
 3) 早野・龍岡・河上・吉泉、"堆積軟岩の応力状態依存性"、第32回地盤工学研究発表会、1997


 図4 E_{tan}/E_{eq} と q (除荷時)

 図5 E_{tan}/E_{eq} と SL

 図6 E_{tan}/E_{eq} と SL^*