

III-418

側圧一定三軸圧縮試験での弾性ヤング率の σ_1' 依存性について

東京大学生産技術研究所 正員 ○木幡 行宏

東京大学生産技術研究所 正員 龍岡 文夫

1. まえがき 地盤材料の等方圧密排水三軸圧縮試験での応力～ひずみ関係は接線変形係数 E_{tan} 減少型・増加型に分類でき、両者の関係を、弾性ヤング率(非損傷)の σ_1' 依存性・損傷関数・非線形化関数を用いて解釈することが可能であると考えられる¹⁾。本報告では、LDT²⁾を用いた等方圧密側圧一定排水三軸圧縮試験からベッディングエラーの影響を含まない正確な軸ひずみの測定によって得られる弾性ヤング率は、 σ_1' の変化に依存することを示す。

2. 弾性ヤング率の σ_1' 依存性 図-1(a)に単調載荷中に微小な除荷・再載荷を行った場合の応力～ひずみ関係から得られる弾性ヤング率 E_{max} と等価弾性ヤング率 E_{eq} 、図-1(b)には繰返し載荷時の E_{eq} の定義をそれぞれ示した。図に示すように、単調載荷から得られる E_{eq} は、繰返し載荷から得られる E_{eq} と比較するために、以下の図では履歴曲線の中立点での q_m とひずみ $(\epsilon_a)_m$ に対してプロットした(文献(1)では q_p に対してプロットしてある)。図-2に堆積軟岩(砂岩)試料の E_{max} ・ E_{eq} と最大有効主応力 σ_1' の関係を対数目盛りで示した。図中の記号●, ■, ◆, ▲は、同一供試体に対して種々の拘束圧($\sigma_3' = 2.0, 5.2, 8.0, 10.0$ kgf/cm²)で等方圧密した供試体の三軸圧縮試験での載荷初期のヤング率 E_{max} を示している。記号○, □, ◇, △は、単調載荷三軸圧縮試験($\sigma_3' = 5.2, 10$ kgf/cm²)の途中で微小な除荷・再載荷を行うことによって得られた等価弾性ヤング率 E_{eq} を示している³⁾。また、図中の m は、 $\Delta \log(E_{max} \text{ or } E_{eq}) / \Delta \log(\sigma_1')$ である。図より、等方圧密中に計測した E_{max} は σ_1' の増加にともなって増加している。せん断中の E_{eq} は、せん断開始直後では $m=0$ になっているが、全体的には σ_1' に対応して増加している。この場合、 $m \approx 0.73$ であり、 E_{max} と E_{eq} はともに σ_1' の0.73乗に比例して増加している。図-3は、非常に密に締め固めた礫に対して実施した三軸圧縮試験結果($\sigma_3' = 0.8$ kgf/cm²)である⁴⁾。図中、virginは等方圧密後に行った微小な除荷・再載荷を含む単調載荷試験を、prestrainedは、0.1Hzの正弦波で10,000回の中ひずみ履歴を与えた後に、処女供試体と同様に行った三軸圧縮試験の結果である。この場合にも E_{eq} は処女供試体・繰返し履歴を受けた供試体ともに σ_1' の増加にともない増加し、 $m = 0.5$ となっている。図-4は、豊浦砂の側圧一定繰返し三軸試験($\sigma_3' = \sigma_a' = 0.5, 0.8$ kgf/cm², $\sigma_3' = 0.5, \sigma_a' = 1.26$ kgf/cm²)で求めた0.001%以下の軸ひずみ振幅でのピークとピークの割線ヤング率 $(E_{eq})_{max}$ を $F(\epsilon)$ で除した値と σ_1' の関係を示している⁵⁾。砂については、これまで E_{max} は等方圧密拘束圧 σ_3' に依存する経験式が提案されているが、図-4によれば砂の場合についても弾性ヤング

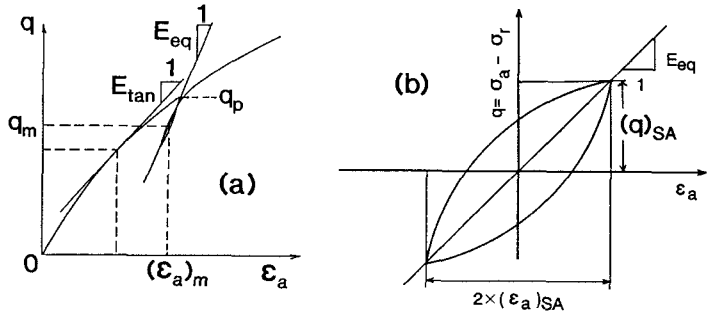


図-1 弾性ヤング率の定義: (a) 単調載荷, (b) 繰返し載荷

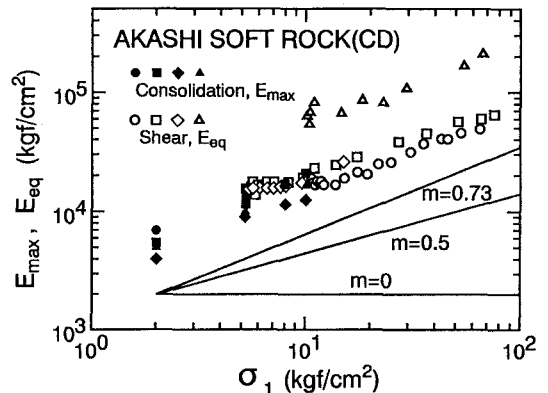


図-2 堆積軟岩(砂岩)の $\log(E_{max}, E_{eq})$ と $\log \sigma_1'$ 関係

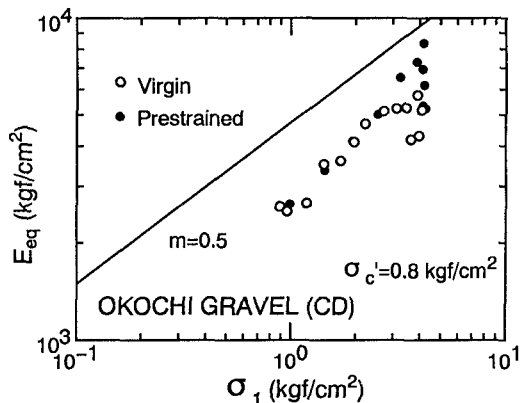


図-3 礫の $\log E_{eq}$ と $\log \sigma_1'$ 関係

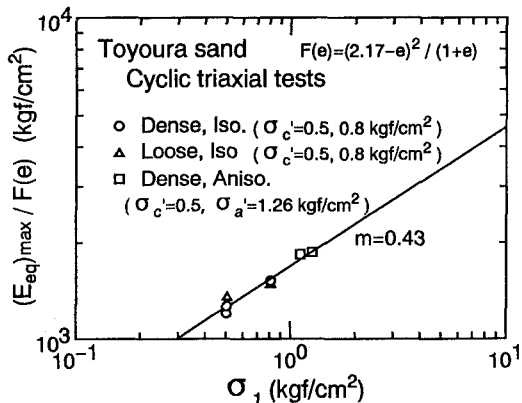


図-4 豊浦砂の $\log E_{max}$ と $\log \sigma_1'$ 関係

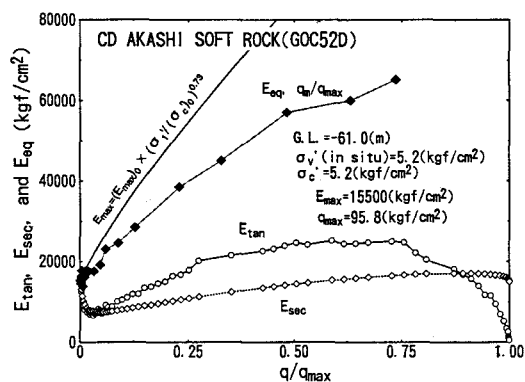


図-5 堆積軟岩(砂岩)の弾性ヤング率と q/q_{max} 関係

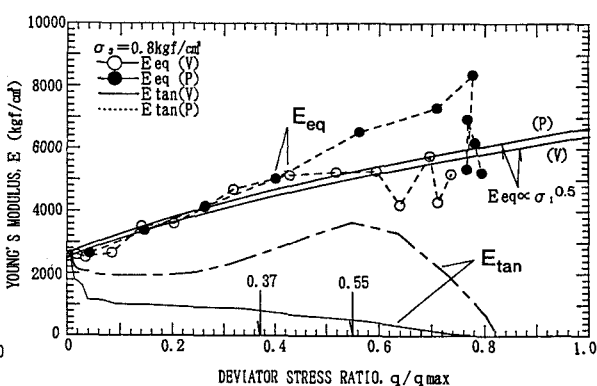


図-6 礫の弾性ヤング率と q/q_{max} 関係

率は σ_1' の関数である。この場合、 $m=0.4$ である。上述のことを言い替えると、 E_{max} および E_{eq} は σ_1' の m 乗に比例して増加すると言える。図-5に、砂岩の排水三軸圧縮試験の応力～ひずみ関係(図-2中の□に対応)から得られる E_{tan} 、 E_{sec} 、および E_{eq} と q/q_{max} 関係を示した⁶⁾。図中の実線は、弾性ヤング率がせん断中に $(\sigma_1')^{0.73}$ に比例するとしてプロットしたものである。なお、 E_{eq} と実線の差は、セメンテーションの損傷によるものと考えられる¹⁾。図-6は礫の場合の同様な結果である⁴⁾。礫の E_{eq} は $(\sigma_1')^{0.5}$ にほぼ比例して増大していることが確認できる。

3. まとめ

LDTを用いた等方圧密側圧一定排水三軸圧縮試験からベッディングエラーの影響を含まない正確な軸ひずみの測定によって得られる弾性ヤング率は $(\sigma_1')^m$ に比例して増加する。したがって、 E_{max} および E_{eq} は σ_1' の関数であることが分かった。ただし、実測の E_{max} 、 E_{eq} の σ_1' 依存性は、弾性ヤング率(非損傷)の σ_1' 依存性と損傷関数の総合した結果である。

- 1) 龍岡文夫・木幡行宏・Teachavorasinskun, S.・董軍・水本桂輔(1993): 地盤材料の側圧一定三軸試験での応力～ひずみ関係の考察, 第28回土質工学研究発表会講演集。
- 2) Goto, S., Tatsuoka, F., Shibuya, S., Kim, Y.-S., and Sato, S. (1991): A simple device for local small strain measurements in the laboratory, Soils and Foundation, Vol. 31-1.
- 3) 水本桂輔・内田武司・龍岡文夫・木幡行宏(1993): 堆積軟岩の変形係数の拘束圧依存性について, 第28回土質工学研究発表会講演集。
- 4) 中島寿・鈴木剛・玉野浩之・龍岡文夫・木幡行宏(1993): ダムロック材の変形特性におよぼす中ひずみ履歴の影響について, 第28回土質工学研究発表会講演集。
- 5) Teachavorasinskun, S. (1992): Deformation Characteristics of sands at small strains, 東京大学博士論文。
- 6) 水本桂輔(1993): 堆積軟岩の変形・強度特性, 東京大学修士論文。