

ベンダーエレメント試験による砂質土のせん断弾性係数

山口大学大学院 学生会員 ○埤村 修
山口大学大学院 正会員 中田幸男
山口大学大学院 正会員 兵動正幸

1. はじめに 地盤は塑性的な挙動を卓越する材料であるが、 $10^{-6}\%$ 程度以下の微小ひずみ域では弾性的な挙動を示すことがわかっている¹⁾²⁾。地震時に代表されるこのひずみ域での地盤の変形問題を取り扱う場合、せん断弾性係数 G は必要不可欠なパラメータであり、各種室内試験におけるせん断弾性係数 G の測定は、土要素の動的強度・変形特性を知ることにおいてだけでなく、その構造を表す指標として極めて重要である。このせん断弾性係数 G を求める方法の一つにベンダーエレメント試験がある。

本研究では、ベンダーエレメント試験機を用いて、①等方圧密過程、② K 値一定の異方圧過程、③側圧一定条件での圧縮、除荷、伸張、除荷という一連の繰返し過程における任意の応力点でせん断弾性係数 G を測定し、材料の違いによるせん断弾性係数 G の変化の違いを検討した。

2. 試料および試験方法 豊浦砂と岩国まさ土の2種類の試料をBE試験に用いた。用いた試料の物理的性質を表-1に示す。供試体寸法は直径5cm、高さ10cmであり、豊浦砂は空中落下法、岩国まさ土は締め固め法により供試体を作成した。

表-1 各試料の物理的性質

	豊浦砂	岩国まさ土
比重 G_s	2.635	2.637
最大間隙 e_{max}	0.968	1.042
最小間隙比 e_{min}	0.628	0.616

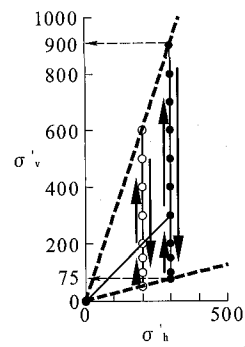


図-1 豊浦砂の応力経路

①等方圧密過程、② K 値一定の異方圧過程の試験では、有効鉛直応力 $\sigma'_v=50, 100, 200, 400$ kPaで圧密を行い、異方圧密時の応力比 $K(=\sigma'_h/\sigma'_v)$ は0.5とした。また③側圧一定条件での圧縮、除荷、伸張、除荷という一連の繰返し過程では、有効水平応力を $\sigma'_h=200$ kPa, 300 kPaそれぞれで一定とし、豊浦砂では図-1に示すような応力経路で行い、岩国まさ土では $\sigma'_h=200$ kPa, 300 kPaの時、 $\sigma'_{vmin}=50$ kPa, 90 kPaとした。送信波条件は、波形を正弦波、電圧を10V、周波数を5~25kHzとした。送受信波電圧時刻歴より伝達時間 Δt を求め、せん断波速度 $V_s=L/\Delta t$ およびせん断剛性率 $G=\rho_t \cdot V_s^2$ を算定する。ここで、 L はベンダーエレメントの先端間の距離、 ρ_t は湿潤密度である。

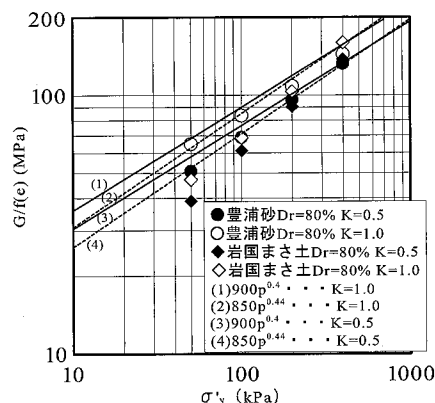


図-2 豊浦砂の $G/f(e)$ と鉛直応力 σ'_v の関係

3. 試験結果と考察 図-2に豊浦砂を用いて等方圧密過程と K 値一定の異方圧過程を行って得られた $G/f(e)$ と鉛直応力 σ'_v の関係を示す。ここで、 $f(e)$ は間隙比関数 $((2.17-e)^2)/(1+e)$ である。図中の実線は $900p^{0.4}$ 、破線は $850p^{0.44}$ で与えられる直線である。ここで p は圧密圧力であり、 $K=1.0$ の場合は σ'_v 、 $K=0.5$ の場合は $2/3\sigma'_v$ である。豊浦砂は、等方圧密過程、 K 値一定の異方圧過程それぞれにおいて、上式の破線 $850p^{0.44}$ の計算結果に比較的一致している。また、どの試験条件においても有効鉛直応力 σ'_v の増加に伴ってせん断弾性係数 G が増加し、有効鉛直応力 $\sigma'_v=100$ kPa付近では等方圧密過程よりも K 値一定の異方圧過程

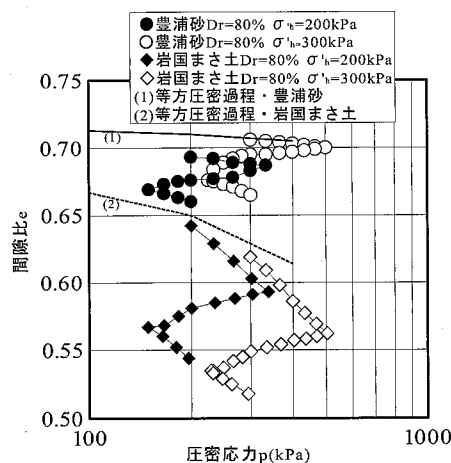


図-3 間隙比 e と圧密応力 p の関係

の場合の方がせん断弾性係数 G は小さくなることを確認できる。さらにこの試験では、岩国まさ土が豊浦砂に比べ、せん断弾性係数 G が小さくなるという結果を得た。傾きに注目すると、豊浦砂よりも岩国まさ土の方が急勾配であり、等方圧密過程よりも K 値一定の異方圧過程の場合の勾配がきつくなっている。

図-3 に等方圧密過程で使用した試験機を用いて、豊浦砂と岩国まさ土において側圧一定条件での圧縮、除荷、伸張、除荷という一連の繰返し過程を行って得られる間隙比 e と圧密応力 p の関係を示す。豊浦砂では間隙比 e が有効水平応力 $\sigma'_h=200\text{kPa}$ の場合よりも $\sigma'_h=300\text{kPa}$ の方が増加しているが、これは初期相対密度が異なったためである。間隙比 e の変位量においては、圧密圧力 $p=200\text{kPa}$ と比較すると、全過程に豊浦砂の間隙比 e が0.05も変動していないにもかかわらず、岩国まさ土は0.1以上も変化していることがわかる。

図-4 に繰返し過程における軸差応力 q と軸ひずみ ε_a の関係を示す。豊浦砂、岩国まさ土両方とも軸ひずみ ε_a は、圧縮側よりも伸張側の方が著しく大きくなっているが、岩国まさ土は豊浦砂に比べ、軸ひずみ ε_a の変位量が大きい。また、岩国まさ土では豊浦砂ほど大きい残留ひずみは見られない。

次に図-5 は繰返し過程を行って得られるせん断弾性係数 G と鉛直応力 σ'_v の関係を示したものである。豊浦砂は圧縮、伸張後の除荷時にせん断弾性係数 G が小さくなり、最終的には初期のせん断弾性係数 G を下回っている。岩国まさ土では、圧縮後の除荷時に圧縮中よりも大きい値を取り、最終的に繰返し過程前のせん断弾性係数 G よりもやや大きい値となる傾向を示している。また、有効水平応力 $\sigma'_h=200\text{kPa}$ の場合と $\sigma'_h=300\text{kPa}$ の場合では傾向にほとんど変化がないことがわかる。

図-6 は有効水平応力 $\sigma'_h=200\text{kPa}$ 時の繰返し過程試験で得た各せん断弾性係数 G を初期の有効鉛直応力 $\sigma'_{v0}=200\text{kPa}$ で除して正規化したものである。各せん断弾性係数 G を初圧縮、除荷、伸張、除荷の全ての過程において豊浦砂よりも岩国まさ土の方が急勾配をしている。

4. まとめ 等方圧密過程、 K 値一定の異方圧過程において、豊浦砂と岩国まさ土では、拘束圧の増加に伴うせん断弾性係数 G の増加割合が異なる。また、側圧一定条件での圧縮、除荷、伸張、除荷という一連の繰返し過程においても、せん断弾性係数 G の変化傾向は異なることから、材料の違うせん断弾性係数 G を評価する場合にはこれらを考慮する必要がある。

参考文献 1)Tatsuoka,F., Sato,T., Park,C.-S., Kim, Y.-S., Mukabi,J.N. and Kohata,Y. : Measurements of Elastic Properties of Geomaterials in Laboratory Compression Tests, Geotechnical Testing Journal, Vol.17, pp.80-94, 1994

2)Shibuya,S., Mitachi,T., Fukuda,F. and Degoshi,T. : Strain rate effects on shear modulus and damping of normally consolidated clay, Geotechnical Testing Journal, Vol.18, No.3, pp365-375, 1995

3)Iwasaki,T. and Tatsuoka,F. : Effects of grain size and grading on dynamic shear moduli of sands and foundations, Vol.17, No.3, pp19-35, 1977

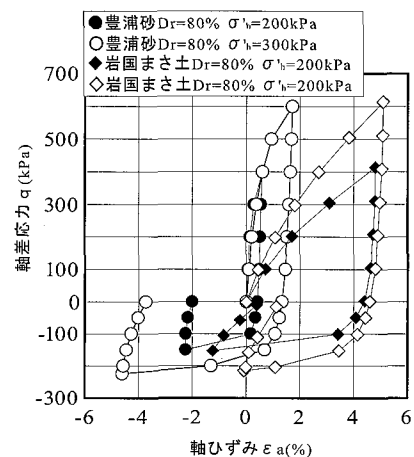
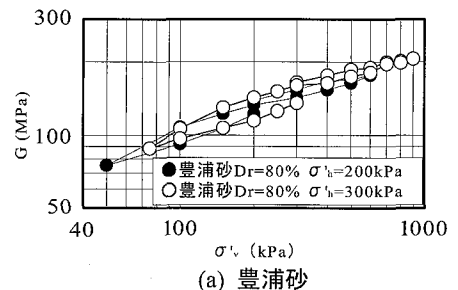
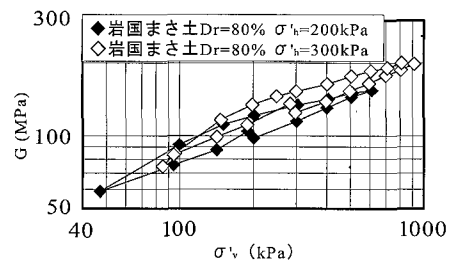


図-4 軸差応力 q と軸ひずみ ε_a の関係



(a) 豊浦砂



(b) 岩国まさ土

図-5 せん断弾性係数 G と鉛直応力 σ'_v の関係

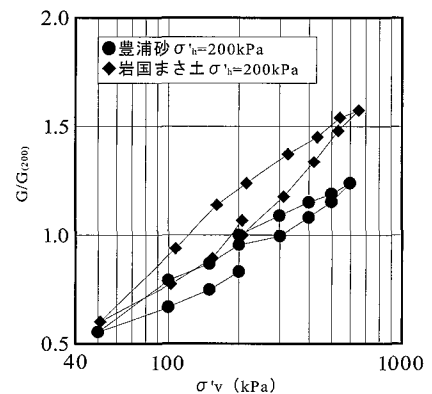


図-6 $G/G(\sigma'_{v=200})$ と有効鉛直応力 σ'_v の関係