

等価骨格間隙比を用いたしらすのせん断弾性係数の定式化の試み

早稲田大学 正会員 ○兵動 太一
 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 東京大学 正会員 山田 卓
 山口大学 正会員 兵動 正幸

1. はじめに

地震大国である我が国の中で南九州は、地震の発生頻度が比較的少ない地域とされているが近年 M6.0 以上の地震が度々発生しており、一次しらすの崩積土地盤や二次しらす堆積地盤における液状化が報告されている。しらすは、粒子の突起部等が破碎されてきたと思われる細粒分が多く含まれており、この細粒分の存在が液状化強度特性や静的強度特性に大きな影響を及ぼしていると考えられる¹⁾。しかしながらしらすにおいては、液状化強度特性のみならず、地震応答解析に必要な動的変形特性に関するデータも少なく、特にこの細粒分が微小ひずみ域の変形特性に与える影響は未だ解明されていない。しらすの力学特性をよりの確に把握するためには、細粒分の影響について調べることが重要と考えられる。そこで本研究では、細粒分含有率を調整したしらすの三軸供試体を用いてベンダーエレメント試験を実施し、せん断弾性係数を測定した。しらすは非結晶の火山ガラスを主成分とする脆弱な粒子から成り、細粒分を多く含むことが特徴である。実験より、しらすの細粒分に着目したせん断弾性係数の定式化を試みた。

2. 試験概要

(1) 試験材料 用いた試料は鹿児島県霧島市国分の土取場で採取した一次しらすであり、約 30%の礫分と約 13%の細粒分を含むものであった。実験に先立ち、まず礫分を除去し、水洗いにより 0.075mm フルイで粗粒分と細粒分に分けた後、砂分と細粒分を

混ぜ合わせて細粒分含有率 $F_c=0, 10, 20, 30\%$ の試料を作製し実験に用いた。表-1,図-1 にそれぞれ細粒分含有率 F_c を調整前、後のしらすと豊浦砂の物理的性質、粒径加積曲線を示す。粒度調整前のしらすとは、地山より採取された状態のしらすであるが、これが採取地点のしらすの粒度を代表するものではない。本研究では、しらすのせん断弾性係数に及ぼす細粒分含有率の影響を調べるために、図-1 に示される各細粒分含有率に対応した粒度を忠実に再現した供試体を実験毎に作製した。

(2) 試験方法 ベンダーエレメント (以下、BE) 試験は、上部キャップに受信用 BE、下部ペダスタルに送信用 BE を設置した三軸試験装置を用いて実施した。また、用いた BE はセルフモニタリング式であり、送信側 BE の変形で生じた電圧を入力電圧として取得した。供試体は、含水比 $w=10\%$ で突固め法 17)により $E_c=22, 113, 504\text{kJ/m}^3$ の 3 通りの突固めエネルギー E_c で作製した。供試体寸法は直径 5cm、高さ 10cm である。真空圧でゴムメンブレンを密着させたモールドを三軸セルに設置し、試料をモールド内に 5 層に分けて投入し、一層ずつ鉄製のランマーを用いて所定のエネルギーで突固めることによって三軸供試体を作製した。

表-1. 試料の物理的性質

Soil	F_c (%)	e_{max}	e_{min}	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	U_c	D_{50} (mm)
Shirasu	0	1.869	1.011	2.453	4.2	0.34
	10	1.767	0.888	2.454	5.8	0.30
	20	1.720	0.879	2.455	22.0	0.24
	30	1.757	0.870	2.456	36.0	0.19
Toyoura sand	0	0.968	0.628	2.636	1.2	0.20

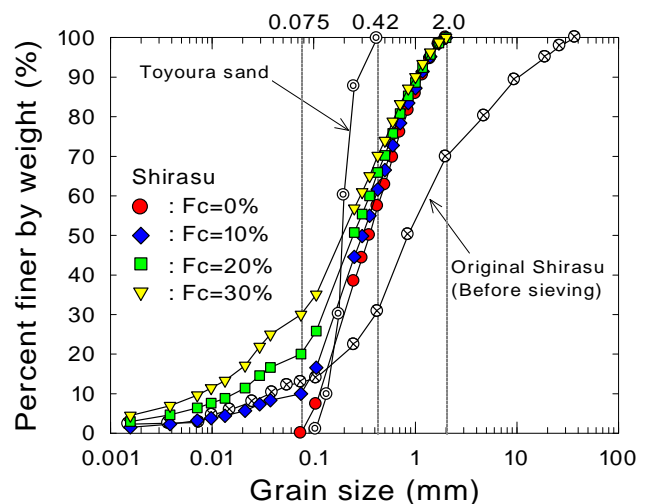


図-1. 粒径加積曲線

キーワード しらす, ベンダーエレメント試験, せん断弾性係数, 細粒分含有率, 等価骨格間隙比

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学 TEL 03-5286-3074

3. しらすの骨格構造

Thevanayagam ら²⁾は等価骨格間隙比 e_{ge} を用いることにより, シルト・砂混合土の定常状態における間隙比-有効応力関係が細粒分含有率 F_c に関わらず一義的關係となることを示している.

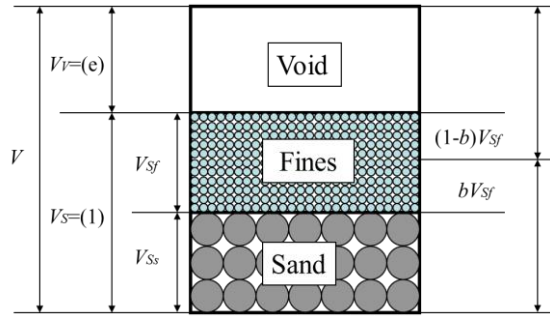


図-2. 土の構成模式図

混合土を構成する粗粒土と細粒土の土粒子密度 ρ_s が同等であると仮定すると, 細粒分含有率は式(1)で表されるので, 等価骨格間隙比 e_{ge} は通常の間隙比 e と細粒分含有率 F_c および寄与率 b を用いて式(2)で表現される. ここで寄与率 b とは, 粗粒分と同等の役割を果たす細粒分の割合であり, 細粒分の特性により異なる.

$$F_c = \frac{V_{sf}}{V_s} \dots (1) \quad e_{ge} = \frac{e - (1-b)F_c}{1 - (1-b)F_c} \dots (2)$$

ここで, V_s は土粒子全体の体積, V_{sf} は細粒分の体積である.

4. せん断弾性係数の定式化

異なる細粒分含有率 F_c を有するしらすのせん断弾性係数 G の評価に骨格構造に対する細粒分の寄与率 b を考慮した等価骨格間隙比 e_{ge} を導入し, 以下の検討を行った. 土のせん断弾性係数 G を評価するための実験式は数多く提案されており, それらの多くは間隙比 e と平均有効主応力 σ'_m の影響を考慮した次式で表現される.

$$G = C P_A^{1-n} f(e) \sigma'_m{}^n \dots (3)$$

ここで C , n は実験定数である. また $f(e) = e^a$ (a は実験定数)とあらわされることから本研究でもこれを用いる. 種々の細粒分含有率 F_c から成るしらすの n を求めるために, $G - \sigma'_c$ 関係より傾きを読み取り, 図-3 に細粒分含有率 F_c との関係でプロットした. これより細粒分含有率 F_c に関係なく n は 0.5 から 0.6 の範囲で一定とみなすことができる. しらすの細粒分と粗粒分の主成分は同一であり, 細粒分を含まない $F_c=0\%$ のしらすの n の値は $n \approx 0.5$ であることから, 細粒分含有率が変化しても n の値は $n \approx 0.5$ と近似する. 本研究において寄与率 b を $b=0 \sim 1$ の範囲で変化させてせん断弾性係数 G と等価骨格間隙比 e_{ge} の関係を調べたところ, 寄与率 $b=0.5$ の場合に全てのプロットが細粒分含有率 $F_c=0\%$ のせん断弾性係数 G と間隙比 e の関係に最も近い曲線になった(図-4). すなわち, 細粒分の体積の 0.5 が粗粒分と等価な働きをしたと解釈することができる. また図-4 より式(3)における実験定数 C は $C=640$ となる. これらの値を式(3)に代入すると式(4)で表される.

$$G = 640 \cdot P_A^{0.5} \cdot \left(\frac{e + 0.5 \cdot F_c}{1 - 0.5 \cdot F_c} \right)^{-0.5} \cdot \sigma'_m{}^{0.5} \dots (4)$$

5. まとめ

細粒分の粗粒分に対する寄与率 $b=0.5$ として, 等価骨格間隙比 e_{ge} の概念を用いることにより, 細粒分含有率 F_c の異なるしらすのせん断弾性係数 G を等価骨格間隙比 e_{ge} との一義的關係で表すことができる. また, しらすのせん断弾性係数 G は式(4)を用いて評価できることを示した.

参考文献: 1) 高田誠ら: 二次しらす地盤の動的力学特性と液状化ポテンシャル, 土木学会論文集, No.631/III-48, pp.61-69, 1999.2) Thevanayagam, S.et.al.:Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandysilts, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 128, No.10, pp.849-859, 2002.

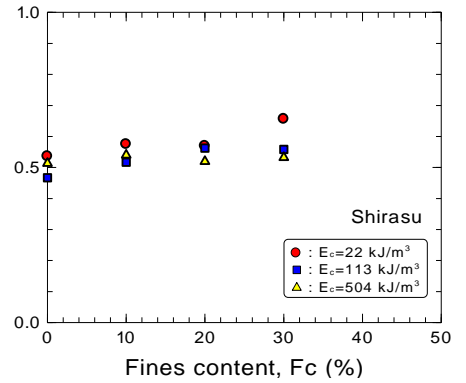


図-3. 実験定数 n と細粒分含有率の関係

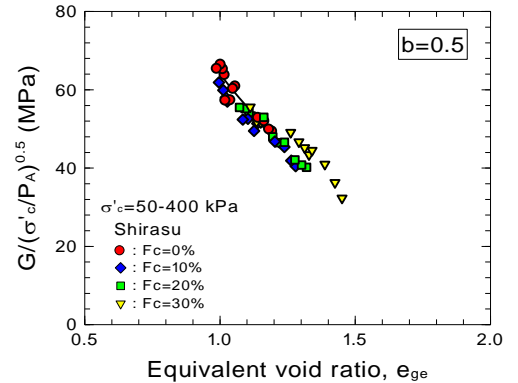


図-4. 平均有効主応力で正規化したせん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係