

ベンダーエレメント試験によるしらすのせん断剛性率の測定

山口大学大学院 正会員 兵動正幸
 山口大学大学院 学生会員 ○濱田直樹
 山口大学大学院 学生会員 山田 卓
 山口大学大学院 学生会員 兵動太一

1. はじめに しらすは、南九州に広く分布する火山灰土であり、埋め立て材料として用いられることが多い。南九州は、地震の発生頻度が少ない地域とされており、これまでしらすに関する動的変形・強度特性についてはデータの蓄積が少ない現状にある。しかし、しらすの分布が最も多い鹿児島県において、1997年に二度にわたりマグニチュード6クラスの地震が発生しており、しらす堆積地盤で液状化被害が見られた¹⁾。当研究室の近年の研究において、しらすの非活性な細粒分の存在がしらすの液状化特性に大きく影響を与えていることが明らかにしてきた。しかし、動的変形特性についての知見はまだ得られていないことから、本研究において、種々の細粒分含有率から成る乱したしらす試料に対して一連の実験を行った。本研究では、ベンダーエレメント試験（BE 試験）により、しらすの細粒分含有率を FC=0, 10, 20, 30% の4種類に粒度調整をした試料に対し、初期せん断剛性率に与える細粒分の影響を把握することを目的とした。

2. 試料および試験方法 本研究では鹿児島県始良郡で採取してきたしらすを2mmフルイで分粒し、さらに0.075mmフルイで粗粒分と細粒分に分粒した後、細粒分含有率 FC を0, 10, 20, 30%に粒度調整した試料を作製し BE 試験に用いた。これらの他に豊浦砂と珪砂についても BE 試験を行った。用いた試料の物理的性質を表-1に示す。しらすの土粒子は火山ガラスを主成分としており、多孔質の粗い軽石も含んだ構成になっているために、シリカ系の土である豊浦砂および珪砂と比べて比重が小さく、最大最小間隙比が大きくなっている。供試体作成方法は、供試体寸法を直径5cm、高さ10cmとし、豊浦砂と珪砂は空中落下法で作製した。しらすは目標間隙比を定めて所定の打撃回数を与えて供試体を作製した。

試験条件は等方圧力状態で行い、有効拘束圧 $\sigma'_c=50, 100, 200, 400\text{kPa}$ の条件で行った。送信波条件は、波形：正弦波、電圧：20, 40V、周波数：2.5~30kHz を用いて実施した。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 $G=\rho_1 \cdot V_s^2$ 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_1 は湿潤密度である。

3. 試験結果と考察 図-1は間隙比変化量 Δe と有効拘束圧 σ'_c の関係を示す。ここで間隙比変化量 Δe とは、BE 試験を実施した拘束圧に対する間隙比 e_c を供試体作製時の初

表-1 各試料の物理的性質

		比重 Gs	最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$	均等係数 Uc
豊浦砂	Dr48	2.636	0.968	0.628	1.2
	Dr83				
珪砂	Dr50	2.652	0.850	0.524	4.2
	Dr86				
しらす	FC0	2.453	1.869	1.011	4.2
	FC10	2.454	1.767	0.888	5.8
	FC20	2.455	1.720	0.879	22.0
	FC30	2.456	1.757	0.870	36.0

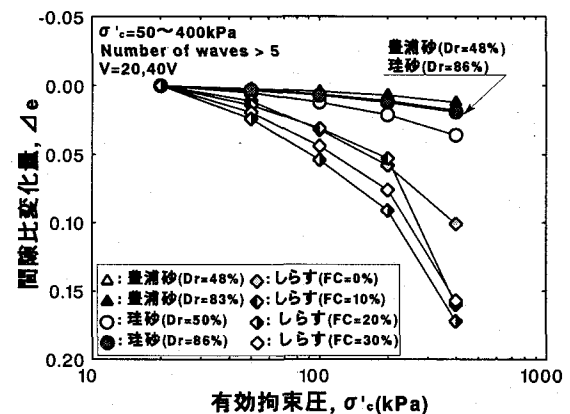


図-1 間隙比変化量と有効拘束圧の関係

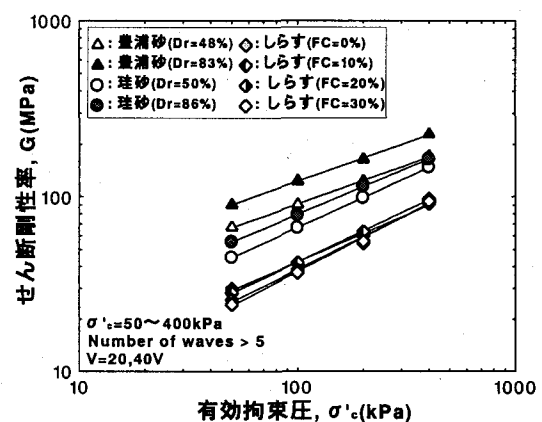


図-2 せん断剛性率と有効拘束圧の関係

期間隙比 e_i から差し引いたものである。豊浦砂と珪砂は拘束圧に対する間隙比の変化が小さいのに対し、しらすは、拘束圧の変化により大きく間隙比が減少し、細粒分を含むことで間隙比変化量はさらに大きくなる様子が伺える。しらすは粒子形状が粗く、低拘束圧下では粒子同士がひっかかり合うような状態であった粒子が、拘束圧の増加により損なわれて間隙比が大きく変化するのであると考えられる。図-2 に全ての砂に対するせん断剛性率 G と有効拘束圧 σ'_c の関係を示す。しらすは 1 を超える間隙比を有するために、シリカ系の土である豊浦砂および珪砂の G と比べて相当小さい G を示す。また、しらすの G に与える FC の影響は低拘束圧域で認められるが、有効拘束圧の増加に伴って失われることがわかる。ここで、FC が異なるしらすの間隙比は様々であるため、しらすの G に及ぼす FC の影響を調べるためには間隙比の影響を除外する必要がある。

Iwasaki and Tatsuoka (1977) ²⁾ は $\gamma = 10^{-6}$ のひずみにおける G に対して次式のように提案した。

$$G = 223 \cdot B \cdot \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \cdot (\sigma'_c)^{0.40} \dots (1)$$

ここで、 G はせん断剛性率 (MPa)、 e は供試体作製時の間隙比、 σ'_c は平均有効主応力 (kPa)、 B は材料定数であり、 B は G に及ぼす粒度の影響を表すパラメータである。式 (1) における B を用いて G に及ぼす FC の影響を検討する。本研究では、拘束圧ごとに B を求め、それらの平均値を各試料の B として用いた。図-3 に B と細粒分含有率の関係を示す。また、図中には Iwasaki and Tatsuoka (1977) が FC を変化させた Iruma sand に対して行った、共振法土質試験の結果を併せてプロットしている。Iruma sand はシリカ系の固い粒子から成る土であり、含まれる細粒分は Iruma sand 自体を砕いて作製されたものである。図中、しらすについては、式 (1) の間隙比に初期間隙比 e_i または拘束圧に対する間隙比 e_c を用いた結果をそれぞれ示している。他の砂については全て初期間隙比 e_i を用いた結果を示している。 e_i を用いて求めたしらすの B と FC の関係は Iruma sand の傾向とは異なり、FC に対して B は一方的に減少しない。これに対して、 e_c を用いて B の値を求めてみると、Iruma sand と同様な傾向が得られ、しらすの G は FC の影響を受けて低下することがわかる。つまり、間隙比一定条件におけるしらすの G は FC の増加にしたがって低下することがわかる。また、式 (1) の間隙比に初期間隙比 e_i を用いた場合と拘束圧に対する間隙比 e_c を用いた場合の B の値に違いがみられる。したがって、しらすの G を適切に評価するためには、FC の影響および拘束圧に対する間隙比の変化を考慮することが必要であると考えられる。そこで、しらすの G に対して、FC と間隙比の変化の両方を考慮しない場合 ($B=1$, $e=e_i$)、FC の影響のみを考慮する場合 (B : 図-3 中□の値, $e=e_i$)、FC と間隙比変化の両方を考慮する場合 (B : 図-3 中■の値, $e=e_c$) を考える。図-4 は、それぞれの場合に式 (1) で求めたせん断剛性率の値と細粒分含有率の関係を $\sigma'_c=100\text{kPa}$ における実験値と比較したものである。図より、FC と間隙比変化の両方を考慮して求めた G が実験値と一致していることがわかる。

4. まとめ しらすのせん断剛性率は細粒分含有率と拘束圧に対する間隙比変化の影響を大きく受けるため、しらすのせん断剛性率を評価するためにはこれらの両方を考慮する必要がある。

参考文献 1) 善功企・山崎浩之・梅原靖文: “地震応答解析のための土の動的特性に関する実験的研究”, 港湾技術研究所, Vol.26, No.1, 1987 2) Iwasaki, T. and Tatsuoka, F.: Effects of grain size and grading on dynamic shear moduli of sands, Soils and Foundations, Vol.17, No.3, pp19~35, 1997

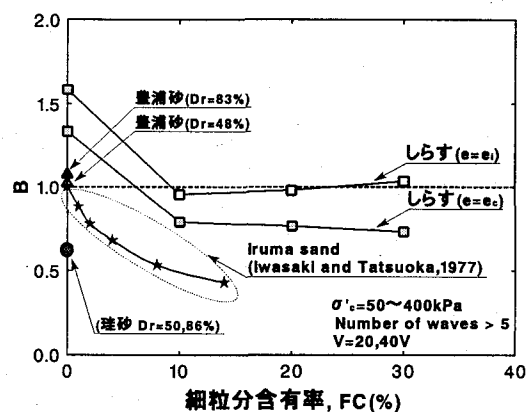


図-3 B と細粒分含有率の関係

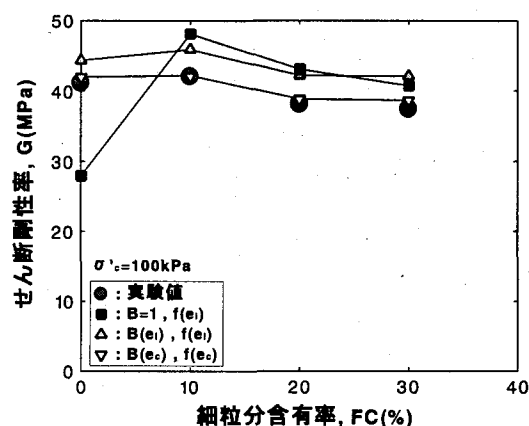


図-4 G の計算値と実験値の比較