

しらすの初期せん断剛性と細粒分の評価

早稲田大学 正会員 兵動太一 東京大学 正会員 山田卓
 山口大学大学院 非会員 濱田直樹 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1. 目的 南九州一帯にはしらすが多く堆積しており、埋立て材や盛土材などの地盤材料として用いられている。しらすには、その母粒子が粉碎してできた細粒分が20~30%含まれており、その存在が強度特性に大きな影響を及ぼすことが知られている¹⁾。細粒分含有率は場所によって異なるので、しらすの変形・強度を適切に評価するためにはその影響を知ることが重要になってくる。本研究では、細粒分含有率を変化させたしらすを用いてベンダーエレメント試験(BE 試験)を実施し、得られたせん断弾性係数について細粒分含有率に着目した検討を行った。

2. 試料および試験条件 (1)試料 用いた試料は鹿児島県始良郡隼人町で採取した一次しらすであり、約5%の礫分と約30%の細粒分を含むものであった。まず礫分を除去し、0.075mmフルイで水洗いにより粗粒分と細粒分に分けた後、これらを再度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。(2)物理的性質 本研究で用いた試料の物理特性値の一覧を表1に示す。しらすは、非結晶の火山ガラスを主成分としており、多孔質で表面の粗い軽石を含んでいるため、シリカ砂である豊浦砂と比べて表面形状が粗く、比重が小さい。また、最大最小間隙比が大きくなっている。(3)供試体作成方法 供試体は、突固め法により $E_c=22, 113, 504\text{kJ/m}^3$ 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。突固め法での供試体作製方法は、まず試料をモールドに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作製した。これらの突固めエネルギー E_c は次式で算出し、調整を行った。

$$E_c = (W_R \cdot H \cdot N_L \cdot N_B) / V \quad (1)$$

ここで、 W_R はランマー重量(=0.00116kN)、 H は落下高さ(m)、 N_L は層数(=5)、 N_B は1層ごとの突固め回数とする。

3. 試験結果および考察 一般に非活性の細粒分を含む砂は含まない砂に比べ、同じ間隙比でも強度が低いと言われている。細粒分を含む砂は細粒分の粒子の大きさや形状によって間隙比が異なるため、間隙比を状態量として評価することは困難である。砂・細粒土混合土の組成は試料が飽和態である場合、図2に示す三相モデルで表される。本研究では細粒分と粗粒分を独立に評価する方法を導入する。もし、細粒分の存在を無視し間隙とみなすと、骨格間隙比となり、次式で示される。

$$e_g = (V_v + V_{sf}) / V_{st} \quad (2)$$

ここで、 V_v を空隙の体積、 V_{sf} を細粒分の体積、 V_{st} を粗粒土の体積である。図3は有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ における間隙比 e

および骨格間隙比 e_g と細粒分含有率 F_c の関係を示したものであり、供試体作製時における突固めエネルギー E_c ごとにプロットしている。また、図中には F_c の変化に伴う最大間隙比 e_{max} と最小間隙比 e_{min} の変化を破線で描いている。いずれの突固めエネルギー E_c で作製した供試体においても、細粒分含有率 F_c の増加に伴い

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

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学術院土質実験室 TEL 03-5286-3074

表 1 試料の物理特性値

Name of sample	Fc (%)	e_{max}	e_{min}	Gs	Uc	D ₅₀ (mm)
Aira Shirasu (Fc=0%)	0	1.869	1.011	2.453	4.2	0.34
Aira Shirasu (Fc=10%)	10	1.767	0.888	2.454	5.8	0.30
Aira Shirasu (Fc=20%)	20	1.720	0.879	2.455	22.0	0.24
Aira Shirasu (Fc=30%)	30	1.757	0.870	2.456	36.0	0.19
Toyoura sand	0	0.968	0.628	2.636	1.2	0.20

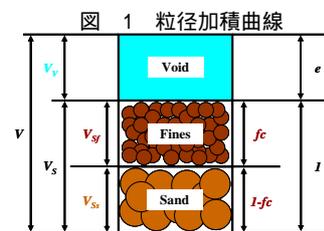
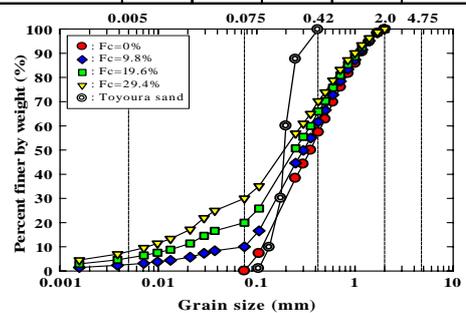


図 2 土の三相モデル

間隙比 e は低下している．しかし，骨格間隙比 e_g は細粒分含有率 F_c の増加にしたがって大きく増加しており， $E_c=22\text{kJ/m}^3$ で作製した $F_c=30\%$ の e_g に関しては， $F_c=0\%$ の e_{max} を上回っている．このことは，しらすの骨格構造を粗粒分と細粒分に単純に分けて考えた場合に， F_c の増加に対して粗粒分変化の様子を表している．図 4 は有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ におけるせん断弾性係数 G と間隙比 e の関係を示したものであり，供試体作製時における突固めエネルギー E_c ごとにプロットしている．一般的に，土の密度が高い程，すなわち間隙比 e が小さいほどせん断弾性係数 G は大きいと考えられる．しかし，しらすの場合，間隙比 e の低下に伴いせん断弾性係数 G も低下している．これは，細粒分が骨格構造に大きな影響をもたらしているからであると考えられる．図 5 は有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ におけるせん断弾性係数 G と骨格間隙比 e_g の関係を示したものであり，細粒分含有率 F_c ごとに色分けしている．骨格間隙比 e_g を用いることにより，間隙比の増加に伴い G も低下するという関係が得られる．しかし， G の変化は突固めエネルギー E_c もしくは細粒分含有率 F_c にも依存し，一義的な関係を得ることはできない．ここで，細粒分を含む砂の間隙比を考える場合，通常の間隙比 e は細粒分を砂と同等の固体で骨格を形成するとみなす．一方，骨格間隙比 e_g の定義では，細粒分を間隙と見なし骨格形成に全く寄与しないとしている．本研究では，これらの中間に位置し，細粒分をある程度の割合で骨格構造の形成に加担する要素とみなす等価骨格間隙比 e_{ge} の概念を用い，細粒分がしらす全体の構造に与える影響の割合について検討した．等価骨格間隙比 e_{ge} は，骨格間隙比 e_g を拡張したものであるとして，砂が骨格を形成し得る範囲の細粒分含有率において成立し，次式で表される．

$$e_{ge} = \frac{e + (1 - b)fc}{1 - (1 - b)fc} \quad ; \quad fc = \frac{V_{sf}}{V_s} \quad (3)$$

ここに， e は間隙比， fc は体積による細粒分含有率， b は砂骨格に対する細粒分の寄与率である．式(3)において，等価骨格間隙比は， $b=1$ のときは通常の間隙比 e であり， $b=0$ のときは骨格間隙比 e_g である．Ni^ら³⁾は， b が取り得る範囲を，細粒分が塑性を有する場合は $-8 \leq b \leq 0$ ，非塑性の場合は $0 \leq b \leq 1$ としている．本研究では，様々な砂骨格を持つ $F_c=10 \sim 30\%$ の G e 関係が $F_c=0\%$ の G e 関係と等しくなるような b を検討し，最も良い相関を示す b を細粒土の寄与率 b として定義した．これより， $b=0.5$ としたときの等価骨格間隙比 e_{ge} が $F_c=0\%$ における G e 関係と等価となり最も良い相関を示す結果が得られた．図 6 に有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ におけるせん断弾性係数 G と寄与率 $b=0.5$ としたときの等価骨格間隙比 e_{ge} の関係を示す．図から細粒分含有率の違いに拘わらず，せん断弾性係数 G と等価骨格間隙比 e_{ge} の関係は一義的な関係として表せることが明らかである．

4.まとめ(1) しらすの細粒分の体積を粗粒子の体積とみなせる割合が粗粒分に対して約 50%である．(2) 寄与率 $b=0.5$ とした等価骨格間隙比により，しらすのせん断弾性係数と等価骨格間隙比の間には細粒分含有率と密度の違いに依らず一義的な関係が存在する．

参考文献1) 兵動正幸, 中田幸男, 澤村仁志, 山脇大輔: しらすの非排水繰返しせん断強度に及ぼす細粒分の影響, 土木学会年次学術講演会講演概要集第3部(A), Vol.55, pp.92-93, 2000. 2) Mitchell, J.K.: Fundamentals of Soil Behaviour, New York, Wiley, 1976.

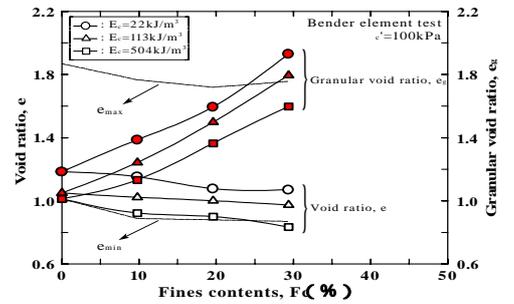


図 3 間隙比および骨格間隙比と細粒分含有率の関係

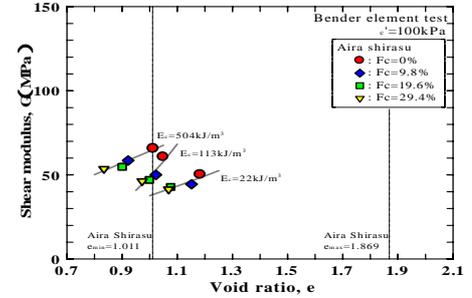


図 4 せん断弾性係数と間隙比の関係

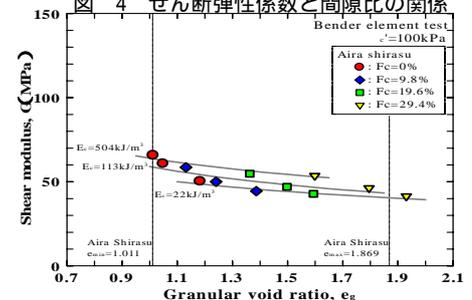


図 5 せん断弾性係数と骨格間隙比の関係

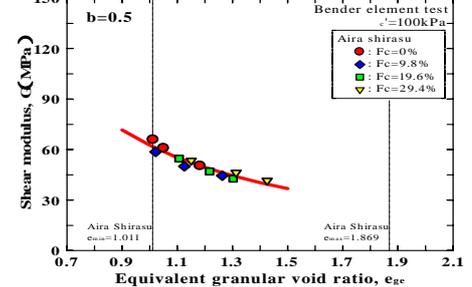


図 6 せん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係