

粘土-砂混合土のせん断弾性係数に及ぼす砂分含有率の影響

山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正
山口大学大学院 学生会員 ○黒岩友也 金郁基 立場晴司

1. まえがき

一般に土は土粒子の粒径の $75\mu\text{m}$ を境界に粗粒土と細粒土に分けられるが、両者で取り扱いが全く異なっており、さらにそれらが混合し粗粒土と細粒土とも区分しがたい中間土と呼ばれる土も存在する。土のせん断弾性係数 G を表す式において、土の状態量を表すものとして間隙比が用いられる¹⁾が、粘土と砂が混合した土の間隙比が、砂、粘土単体の場合と同様に扱われて良いのか疑問が生じる。本研究では、自然粘土である岩国粘土に珪砂を種々の割合で混合した混合土供試体に対しベンダーエレメント試験を行い、混合土のせん断弾性係数に対する砂の及ぼす影響を調べ、混合土の新たな間隙比の概念に関する提案をおこなう。

2. 試料、実験方法および実験条件

(1) 試料の物理的性質

本研究では粗粒土として三河珪砂、細粒土として岩国粘土を用い、それぞれを種々の混合割合で混合した。表-1 に三河珪砂と岩国粘土および混合土の物理的性質を、図-1 に配合試料の粒径加積曲線をそれぞれ示す。

(2) 供試体作製方法

本研究では予圧密法により供試体を作製した。その作製手順は以下のとおりである。まず、所定の混合割合で砂と粘土を混合し、液性限界の2倍に含水比を調整してセルに投入し、鉛直荷重 $\sigma_v = 10, 20, 50\text{kPa}$ と段階的に载荷し圧密する、3t法により圧密終了を確認後、試料を脱型し、供試体サイズが直径 5cm 、高さ 10cm となるように成形する。

(3) 試験方法および試験条件

まず各供試体に対して有効拘束圧 $\sigma'_c = 20, 50, 100, 200, 400\text{kPa}$ と段階的に上昇し等方圧密を行った。次に、各有効拘束圧で圧密された供試体に対し、起振電圧 $V = 20\text{V}$ 、送信周波数 $f = 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25, 30\text{kHz}$ とした正弦波をそれぞれ与え、得られた送受信波形から start to start 法、正弦波の送信開始時刻から受信開始時刻までを伝達時間とする読み取り法により供試体高さ L を伝わる正弦波の送受信時間差 t を決定し、せん断弾性波速度 $V_s = L/t$ 、せん断弾性係数 $G = \rho t \cdot V_s^2$ をそれぞれ算出した。

3. せん断弾性係数に及ぼす砂分含有率の影響

(1) せん断弾性係数に及ぼす砂分含有率の影響

本研究では粗粒土の一部を間隙とみなす等価細粒分間隙比 e_{feq} の概念²⁾を用い粗粒土が細粒分に与える影響の度合いについて検討した。等価細粒分間隙比 e_{feq} を式(1)に表す。ここで、 V_v は間隙の体積、 V_{sa} は

表-1 珪砂、粘土混合土の物理的性質

Sand content (%)	Fines content (%)	Clay content (%)	G_s	I_p	D_{50} (mm)	U_c
0	0.0	0.0	2.652	47.54	0.007	-
30	68.6	27.2	2.623	37.77	0.014	22.67
50	49.0	19.4	2.631	31.41	0.143	165.88
70	68.6	27.2	2.623	28.65	0.412	165.79
80	78.4	31.0	2.618	14.62	0.552	128.72

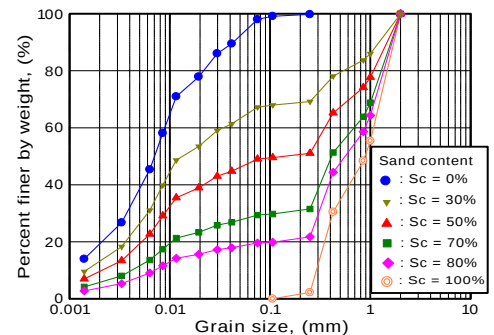


図-1 珪砂、粘土混合土の粒径加積曲線

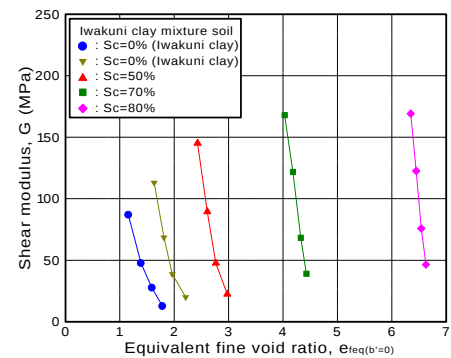


図-2 せん断弾性係数と等価細粒分間隙比の関係($b' = 0$)

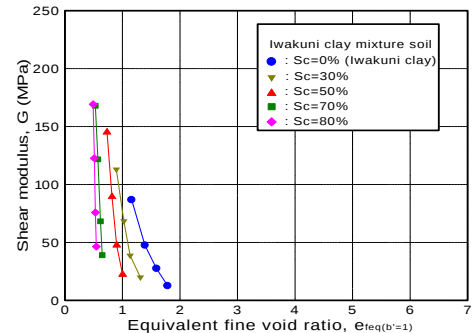


図-3 せん断弾性係数と等価細粒分間隙比の関係($b' = 1$)

土粒子の体積、 V_{ss} は粗粒土の体積、 b' は間隙に対する粗粒土の影響の度合を示す値で砂の寄与率と呼ぶ。ここで、 $b'=0$ のときは粗粒土を間隙とみなし、細粒分間隙比と等価であり、 $b'=1$ のときは粗粒土の存在をすべて認めるため一般の間隙比と等価である。また、図-2、3に $b'=0$ と $b'=1$ のときのせん断弾性係数 G と等価細粒分間隙比 e_{feq} の関係を示す。ここで、 b' の値を0から1まで変化させたときのせん断弾性係数 G と等価細粒分間隙比 e_{feq} との関係の相関性を検討したところ、図-4に示すように $b'=0.64$ の場合に $G-e_{feq}$ 関係で最も良い相関性が得られた。

$$e_{feq} = \frac{V_v + (1-b')V_{ss}}{V_{sa} - (1-b')V_{ss}} \quad (1)$$

(2)せん断弾性係数の評価式の提案

次に、Hardin and Richartらにより提案された一般的なせん断弾性係数の評価式¹⁾ $G=A \cdot f_{(e)} \cdot (\sigma' / \sigma_r')^n$ をもとに本研究での砂分の影響を考慮したせん断弾性係数の評価式を提案する。ここで、 A は実験定数、 $f_{(e)}$ は間隙比定数、 σ' は平均有効主応力、 σ_r' は基準応力、 n はせん断弾性係数の拘束圧依存性を表すパラメータである。本研究では、図-4に示す砂の寄与率を0.64と決定した $y=180.78x^{-4.36}$ の近似曲線の式と等価細粒分間隙比関数より評価式を作成した。本研究で得られた岩国粘土の実験定数は $A=180.78$ であった。また、図-5に示す $G-\sigma_c'$ 関係より拘束圧の増加に伴うせん断弾性係数の増加の傾きを n として検討したところ、 n は砂分含有率0% S_c 50%において $n=0.9$ 、50% S_c 80%において $n=0.009x+0.45$ であった。以上よりせん断弾性係数の評価式を式(2)のように表すことができた。図-6は実験値と計算値のせん断弾性係数をプロットしたものである。図のように対角線上にあることから評価式の妥当性が確認でき、粗粒土の寄与率を考慮したせん断弾性係数の評価式を予測することが可能となった。

$$G = A \cdot \left\{ \frac{e + (1-b') \cdot S_c}{1 - (1-b') \cdot S_c} \right\} \cdot \left(\frac{\sigma'}{\sigma_r'} \right)^n$$

4. まとめ

本研究では、三河珪砂と岩国粘土とを砂分含有率 $S_c=0$ 、30、50、70、80%の配合割合で作製した混合土に対してベンダーエレメント試験を実施した。試験結果より砂と粘土との混合土のせん断弾性係数と間隙比の関係において等価細粒分間隙比の概念を用いることにより砂が粘土に寄与する割合が明らかとなった。 $G-e_{feq}$ の関係で最も良い相関性を示した $b'=0.64$ の値は、粗粒土の内64%が混合土のせん断弾性係数 G に影響を及ぼしていることを示す。さらに、等価細粒分間隙比によって得られた b' の値を用いて砂分の影響を考慮したせん断弾性係数の評価式を作成することができた。

参考文献

- 1) Hardin, B.O. and F.E. Richart Jr.: Elastic wave velocities in granular soils, Proc. ASCE, Vol.94, SM1, pp.33-65, 1963
- 2) S.Thevanayagum: Intergrain contact density indices for granular mixes - , Earthquake Engineering and Engineering Vibration, pp.137, 2007

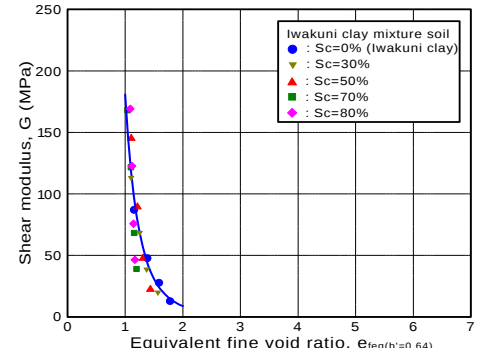


図-4 せん断弾性係数と等価細粒分間隙比の関係($b' = 0.64$)

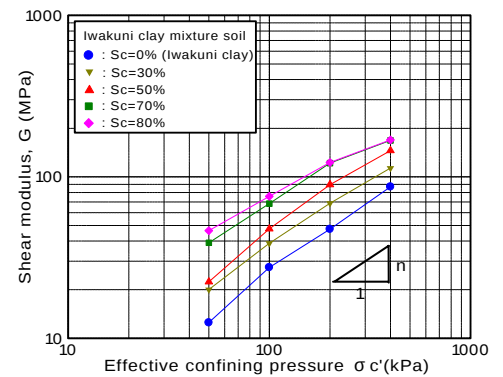


図-5 せん断弾性係数と拘束圧の関係

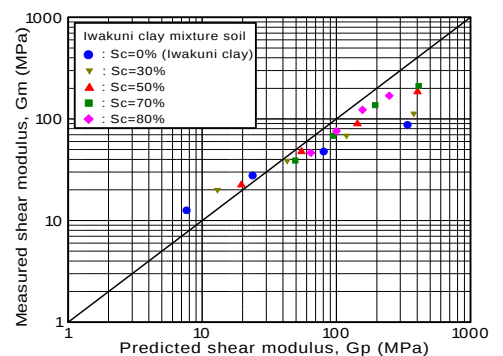


図-6 実験値と計算値の関係