

砂・シルト混合土のせん断弾性係数に及ぼす細粒分の評価

山口大学大学院 学生会員 ○立場晴司 河田慎治朗 金郁基
山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1.はじめに

細粒分を含む砂の性質は、細粒分含有率の違いにより大きく異なる。細粒分含有率の変化に対し連続的に対応できる動的変形係数の評価式の作成が望まれる。筆者らの既往の研究¹⁾より、種々の混合土における単調及び繰返しせん断試験の結果で大変形領域においては細粒分含有率 $F_c=20\%$ 以下では粗粒分が主体の骨格を形成し、その領域での細粒分の寄与率²⁾は粗粒分と細粒分の粒径比によることが明らかとなっている。しかしながら、微小ひずみ域の変形特性に与える細粒分含有率の影響については不明瞭であるため、その影響を調べておくことは重要である。本研究は、三河珪砂と鳥取シルトの混合土に対してベンダーエレメント試験(BE試験)を行い、各配合割合におけるせん断弾性係数に及ぼす細粒分の影響を把握し、細粒分の寄与率を評価することを目的とした。さらにその結果を用いて混合土において細粒分の影響を考慮したせん断弾性係数を評価できる式の提案を行った。

2.試料及び試験方法

本研究では粗粒土試料として三河珪砂、細粒土試料として鳥取シルトを用いた。三河珪砂に対して鳥取シルト含有率を $F_c=0,10,15,20\%$ の割合で混合したものを試験試料とした。図-1は混合した試料の粒径加積曲線である。供試体はランマーを用いた突固めにより、初期含水比10%で締固めエネルギー $E_c=22, 113, 504\text{kJ/m}^3$ で、緩詰め、中詰め、密詰めめの3つの状態をそれぞれ作製した。供試体寸法は直径5cm、高さ10cmとした。

これらの供試体を三軸セル内にセットし、所定の拘束圧を加え、BE試験を行った。拘束圧 $\sigma'_c=50, 100, 200, 400\text{kPa}$ の4種に対して、それぞれ周波数 $f=2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30\text{kHz}$ のせん断波を送信し、得られた送受信波形からstart to start (送信し始めた部分から、受信し始めた部分)の読み取り法により伝達距離 L を伝わる送受信波の時刻 Δt を決定した。そして、供試体中を伝わるせん断弾性波速度 $V_s=L/\Delta t$ を求め、 $G=\rho_t \cdot V_s^2$ の式からせん断弾性係数 G を算出した。

3.試験結果及び考察

細粒分を含む砂は同一エネルギーの締固めにおいても細粒分含有率の違いにより間隙比が異なり、土の構造を統一して評価することが困難である。そこで、図-2のように混合土の構造を粗粒土相、細粒土相、間隙相の三相に分け、式(1)の等価骨格間隙比の概念²⁾より骨格形成の主となる粗粒土相に対して細粒分がどの程度加担するかを寄与率 b により評価した。

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

ここに、 e は間隙比、 f_c は体積比での細粒分含有率、 b は砂骨格に対する細粒分の寄与率である。

図-3はせん断弾性係数 G 、間隙比 e と細粒分含有率 F_c の関係である。間隙比が減少すると、せん断弾性係数は増加すると考えるのが一般であるが、試験結果では細粒分含有率の増加に伴い間隙比 e 、せん断弾性係数 G 共に減少する傾向が認められる。このことよりシルト分が多くなると間隙比が幾分減少し、密度が増加してもせん断弾性係数が低下していくことが明らかである。

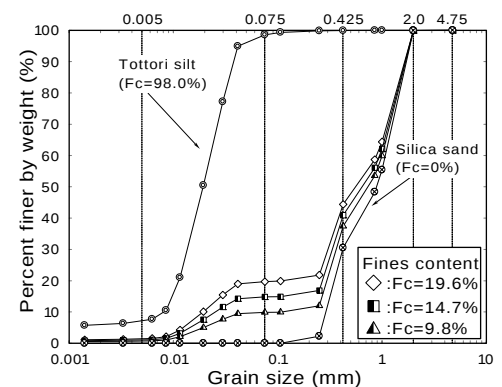


図-1 珪砂・シルト混合土の粒径加積曲線

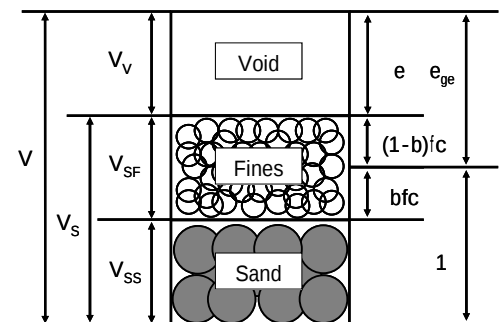


図-2 土の三相モデル

せん断波が供試体中を伝わるのに細粒分がどの程度影響するかを評価するため、等価骨格間隙比における寄与率 b を変化させ $F_c=0\%$ と $F_c=10\sim 20\%$ の供試体におけるせん断弾性波速度 V_s と等価骨格間隙比 e_{ge} との関係を検討したところ、図 - 4 に示すように $b=0.20$ の場合に最も良い相関性が得られた。この結果より $G=\rho_t \cdot V_s^2$ 、 $\rho_t=(\rho_s+e\rho_w)/(1+e)$ の式の中の間隙比 e を $b=0.20$ とした等価骨格間隙比 e_{ge} に置き換え、せん断弾性係数 G を算出した。その結果、 $F_c=0\%$ と $F_c=10\sim 20\%$ のせん断弾性係数 G と等価骨格間隙比 e_{ge} との関係においても良い相関性が得られた。

次に細粒分の影響を考慮したせん断弾性係数を評価できる式を提案した。一般的なせん断弾性係数の評価式は $G=A \cdot f(e) \cdot (\sigma'/\sigma'_r)^n$ で表される³⁾。 A は実験定数、 $f(e)$ は間隙比関数、 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示すパラメータである。本研究では細粒分の影響を考慮するために間隙比関数を等価骨格間隙比関数に置き換えた。まず、図 - 4 に示す $\sigma'_c=100\text{kPa}$ の場合における一義的な G - e_{ge} 関係を近似することにより基準評価式 $G_r=24.49e_{ge}^{-2.2}$ のように表すことができる。

図 - 5 はせん断弾性係数と有効拘束圧の関係である。有効拘束圧の増加に伴いせん断弾性係数が増加していることが分かる。これより拘束圧依存性を検討したところ拘束圧の係数は $n=0.57$ であった。以上より基準評価式と依存性パラメータを用いることより評価式は次式のように表すことができる。図 - 6 は実験値と評価式による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関係が得られることから評価式の妥当性が確認できる。

$$G = 24.49 \left[\frac{e + (1-b)f_c}{1 - (1-b)f_c} \right]^{-2.2} \cdot \left(\frac{\sigma'}{100} \right)^{0.57} \quad \dots (2)$$

4.まとめ

本研究結果より珪砂と鳥取シルトの混合土では同一の締固めエネルギー下においては細粒分含有率の増加に伴い、せん断弾性係数が減少する。等価骨格間隙比の概念から寄与率 $b=0.20$ の場合に G - e_{ge} 関係で $F_c=0\%$ と $F_c=10\sim 20\%$ の間に良い相関性が得られた。これは微小ひずみ域において砂骨格に対して細粒分の 20%が骨格形成に加担し、せん断弾性係数に影響を及ぼしていると考えられる。また、本研究で提案した評価式を用いることで珪砂と鳥取シルトの混合土の微小ひずみ域における細粒分の影響を考慮したせん断弾性係数を評価することが可能となった。

参考文献 1) Kim, Uk-Gie., 兵動正幸, 吉本憲正, 石川智, 貞廣育子 : 骨格間隙比に着目した細粒分混じり砂のせん断強度, 第 43 回地盤工学研究発表会公演集, pp.335-336, 2008. 2) Thevanayagam, S., Shenthan, T., Mohan, S. & Liang, J. : Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silts. J. Geotech. Geoenviron. Engng 28, No. 10, 849-859, 3) Hardin, B.O. and F.E. Richart Jr. : Elastic wave velocities in granular soils, Jour. Of SMF Div., Proc. ASCE, Vol.89, No.SM1, Proc. Paper 3407, Feb., pp.33-65, 1963. 2002

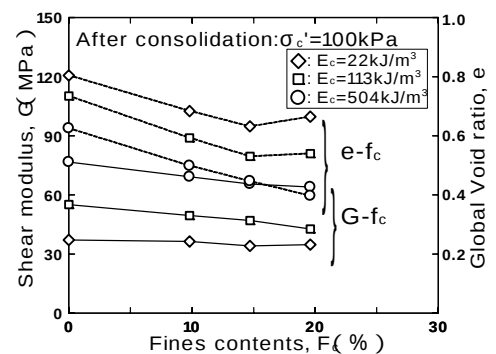


図-3 せん断弾性係数、間隙比と細粒分含有率の関係

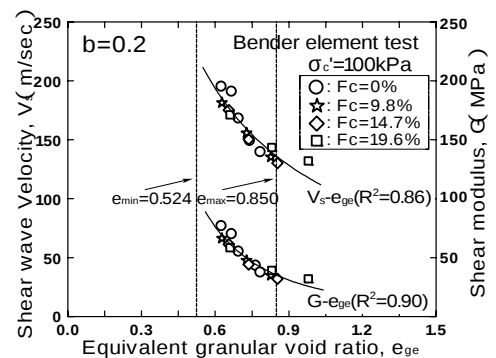


図-4 せん断弾性波速度、せん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係

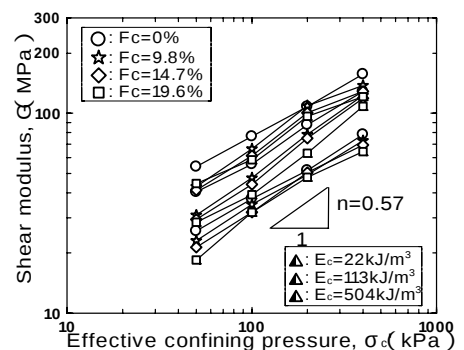


図-5 せん断弾性係数と有効拘束圧の関係

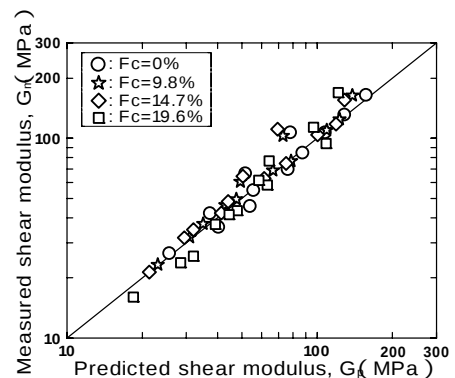


図-6 せん断弾性係数の実験値と計算値の関係