

## 粘土混じり砂のせん断弾性係数の評価

山口大学大学院 学生会員 金子崇 正会員 兵動正幸  
 山口大学大学院 学生会員 石田純也 正会員 中田幸男  
 山口大学大学院 正会員 吉本憲正

1.まえがき 筆者らは過去の研究において、砂に種々の割合で粘土を混合した混合土の動的変形特性について調べてきた。これまでの研究では含水比一定の粘土を混合してきたが、本研究では、粘土の含水比を変化させて砂と混合した試料を対象に、ベンダーエレメント試験（以下、BE 試験）および中空ねじり試験機による動的変形試験を行った。その結果から、混合土のせん断弾性係数におよぼす細粒分含有率・含水比の影響について検討を行った。

2.実験試料及び実験条件 本研究では、砂試料として粒度調整を行った三河珪砂（ $F_c=0\%$ ）、粘土試料として山口県岩国市の岩国港で採取した岩国粘土（ $F_c=98\%$ ， $w_L=77.3\%$ ）を用い、細粒分含有率・含水比の異なる混合土試料を作製した。試料の混合割合は、乾燥重量比で 100:0，95:5，90:10，85:15，80:20 の 5 通りである。

供試体は乾燥した砂と初期含水比が液性限界の 1.0，1.5，2.0 倍の粘土（ $w_0=1.0, 1.5, 2.0w_L$ ）を所定の体積比で混合し、均一になるように十分に練り混ぜた。

BE 試験の供試体は、高さ 10cm，直径 5cm のモールドに対して試料を 5 等分に分けて投入し、所定の 3 種類の突固めエネルギー（ $E_c = 22, 113, 504\text{kJ/m}^3$ ）で突き固めることにより作製した。これらの供試体に対して有効拘束圧  $\sigma'_c=50, 100, 200, 400\text{kPa}$  の等方圧密状態とし、周波数  $f=2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20\text{kHz}$  のせん断波を送信し、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間  $t$  を求めた。そして、せん断弾性波速度  $V_s=L/t$ ，せん断弾性係数  $G=\rho \cdot V_s^2$  をそれぞれ算出した。

一方、中空ねじり試験の供試体は、高さ 10cm，外径 10cm，内径 6cm の中空円筒モールドに対して試料を 5 等分に分けて投入し、所定の 3 種類の突固めエネルギー（ $E_c = 5, 47, 373\text{kJ/m}^3$ ）で突き固めることにより作製した。繰返しせん断は、地盤工学会基準「土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法」（JIS 0543-2000）に定められる方法に基づき、圧密条件は各試料に対し有効拘束圧  $\sigma'_c=100\text{kPa}$  の等方圧密状態としている。また、 $F_c=0\%$  の供試体の圧密後の相対密度がそれぞれ 0%，50%，75%となるよう供試体を作製しているので、BE 試験と中空ねじり試験で突固めエネルギーが異なっている。

3.実験結果 図-1 に  $w_0=1.0w_L$ ， $\sigma'_c=100\text{kPa}$  のときの BE 試験のせん断弾性係数  $G$  および  $w_0=1.0w_L$ ，片振幅せん断ひずみ  $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$  のときの中空ねじり試験の等価せん断弾性係数  $G_{eq}$  と間隙比の関係を示す。図より混合土のせん断弾性係数  $G$  は、間隙比の増加に伴い減少する傾向を示しているが、間隙比と一義的な関係にはない。一方、BE 試験と中空ねじり試験の結果は概ね一致することが確認できる。そこで、混合土において、細粒分を砂と同等の存在とみなす一般的な間隙比  $e$  と、細粒分の存在を完全に無視して定義される骨格間隙比<sup>2)</sup>の間に位置し、細粒分がある程度の度合いで砂分の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  $e_{ge}$ <sup>3)</sup> の概念を用い、細粒分が混合土全体の構造に与える影響の度合いについて検討した。等価骨格間隙比  $e_{ge}$  は、骨格間隙比を拡張したものとして、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。ここに、 $e$  は間隙比、 $f_c$  は体積比での細粒分含有率、 $b$  は細粒分の寄与率である。

$$e_{ge} = \frac{e + (1-b)f_c}{1 - (1-b)f_c} \quad (1)$$

式(1)より、等価骨格間隙比は、 $b=1$  のときは通常の間隙比と等価であり、 $b=0$  のときは骨格間隙比と等価である。 $F_c>0\%$  の等価せん断弾性係数が  $F_c=0\%$  の値と等しくなるような  $b$  を検討し、細粒分が混合土のせん断弾性係数に寄与する割合とする。

キーワード せん断弾性係数，細粒分，含水比，中空ねじり試験，ベンダーエレメント試験  
 連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院理工学研究科 Tel:0836-85-9344

図-2 に  $w_0=1.0w_L$ ,  $\sigma'_c=100\text{kPa}$  のときの BE 試験のせん断弾性係数  $G$  と等価骨格間隙比の関係を示す。図は、種々の細粒分含有率に対してせん断弾性係数  $G$  と等価骨格間隙比  $e_{ge}$  の関係が最も一義的となる  $b$  を用いて計算した等価骨格間隙比に対して示しており、最適な  $b$  の大きさは 0.78 であった。すなわち、 $w_0=1.0w_L$ ,  $\sigma'_c=100\text{kPa}$  のとき、細粒分が 78% の割合でせん断弾性係数の発現に寄与することを示唆する。

図-3 に同様に BE 試験結果から各拘束圧において最適な寄与率  $b$  を検討した結果を示す。図より、有効拘束圧の増加とともに寄与率  $b$  も増加する傾向にあることが分かる。また、寄与率  $b$  は粘土の含水比によって大きく変化し、 $w_0=2.0w_L$  の場合には、混合土のせん断弾性係数に対してほとんど寄与しないことが示されている。

図-4 に中空ねじり試験結果から片振幅せん断ひずみ  $(\gamma)_{SA}=1.0\%$  未満の各ひずみにおける最適な寄与率  $b$  を検討した結果を示す。図より、寄与率  $b$  は微小せん断ひずみ域では、ほとんど変化がなく推移している。これは微小せん断ひずみ域では細粒分が構造に及ぼす影響に変化が無いことを示す。その後、片振幅せん断ひずみ  $(\gamma)_{SA}$  が 0.01% を超えるあたりから寄与率  $b$  は減少する傾向が認められる。

4.まとめ 本研究では BE 試験および中空ねじり試験により粘土混じり砂のせん断弾性係数について検討することを目的とした。その結果得られた知見を以下に示す。

- 1) 粘土混じり砂のせん断弾性係数は、等価骨格間隙比の概念を用いることで一義的に表現することができ、その寄与率  $b$  は有効拘束圧の増加とともに大きくなる。
- 2) 寄与率  $b$  は粘土の含水比によって変化し、含水比の増加とともに小さくなり、 $w_0=2.0w_L$  の場合には、混合土のせん断弾性係数に対して寄与しない。
- 3) 寄与率  $b$  はひずみに依存し、微小ひずみ域では一定のまま推移し、片振幅せん断ひずみ  $(\gamma)_{SA}$  が 0.01% を超えるあたりから減少する。

【参考文献】

- 1) 立場晴司, 兵動正幸, 河田慎治朗, 金郁基: 砂・シルト混合土におけるせん断弾性係数に及ぼす細粒分の影響, 第 44 回地盤工学研究発表会発表講演集, 論文 No.139, pp.277-278, 1997.
- 2) Mitchell J. K.: Fundamentals of Soil Behaviour, Wiley, 1976.
- 3) Thevanayagam S., Shenthan T., Mohan S. & Liang J.: Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silts, J. Geotech. Geoenviron. Engng, 128, No.10, pp. 849-859, 2002.

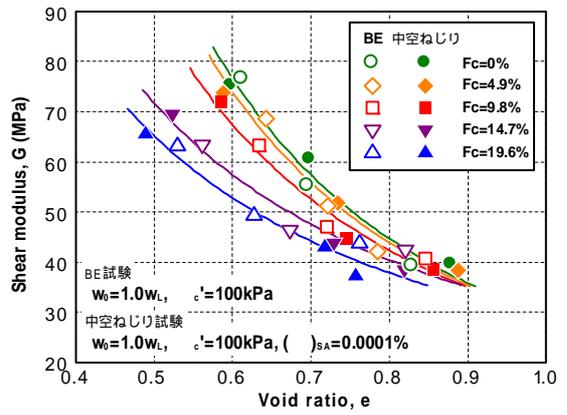


図-1 せん断弾性係数と間隙比の関係

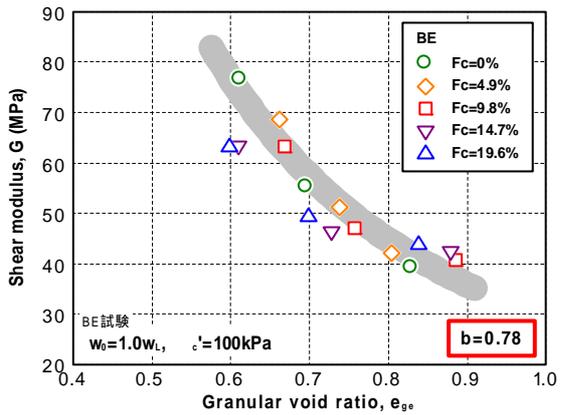


図-2 せん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係

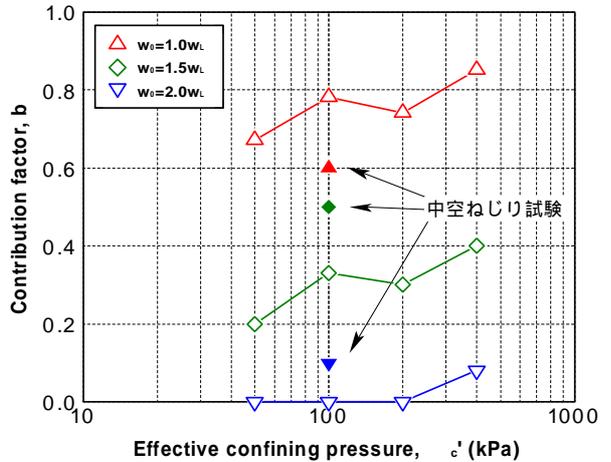


図-3 寄与率と有効拘束圧の関係

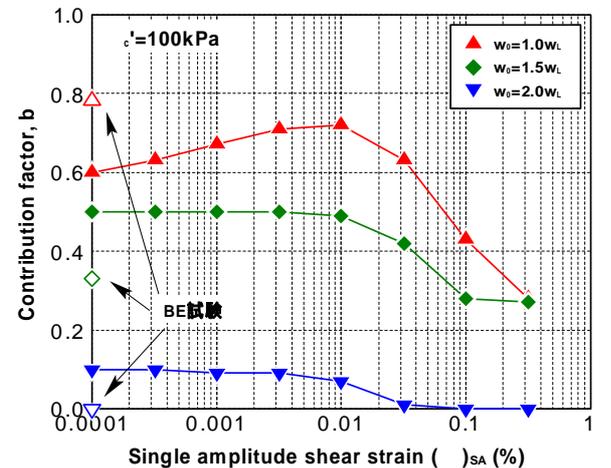


図-4 寄与率と片振幅せん断ひずみの関係