

中空ねじりによるせん断弾性係数に及ぼす細粒分含有率の影響

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 地盤の地震時挙動を正確に把握するために土の動的変形特性を適切に評価する必要がある。動的変形特性に関する既往の研究の成果によって、比較的粒径の揃った砂や粘土についての特性が明らかにされている¹⁾。しかし、実地盤は様々な性質をもつ砂や粘土が混在しており、砂と粘土の中間的な性質を示す土もある。このような土の動的変形特性に関する有意な実験データは十分に蓄積されておらず、それらの動的変形係数の推定法も不明確であるのが実状である。著者らの過去の研究²⁾において、細粒分を有する砂の初期せん断弾性係数 G_0 に対し、細粒分が寄与する割合を寄与率 b と表現した等価骨格間隙比の概念を適用することで、せん断弾性係数と間隙比の関係を適切に表現できることが明らかとなった。本研究では、さらに広範なひずみレベルに対する細粒分の寄与率を明らかにするために、種々の細粒分含有率から成る粘土混じり砂に対し、中空ねじりせん断試験機により動的変形試験を行った。

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 ($F_c=98\%$, $I_p=47.5$) を用い、様々な細粒分含有率から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 の4通りである。なお、岩国粘土は 2%の砂分を含んでいたため、混合土試料の細粒分含有率はそれぞれ $F_c=0$ 、4.9、9.8、14.7%である。

供試体は乾燥した砂と初期含水比が約 140%の粘土を所定の体積比で混合し、均一になるように十分に混ぜた。次に、 $F_c=16.7\%$ 以下の混合土試料については高さ 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、373kJ/m²) で突き固めることにより作製した。

動的変形試験は、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いている。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、繰返しせん断は非排水条件で供試体に周波数 $f=0.1\text{Hz}$ の正弦波形の繰返し荷重を 11 回与えて行なった。繰返しせん断後は、排水状態にして過剰間隙水圧を消散させた。

3.試験結果 図-1(a)(b)に有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ 、突固めエネルギー $E_c=5$ 、373kJ/m² とした時の繰返し載荷 10 回目の等価せん

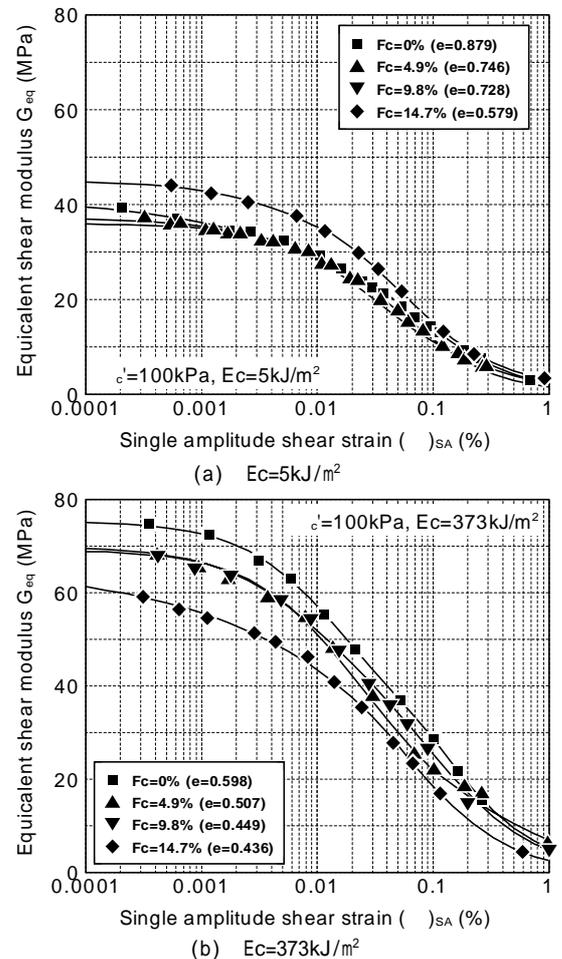


図-1 動的変形特性と片振幅せん断ひずみの関係

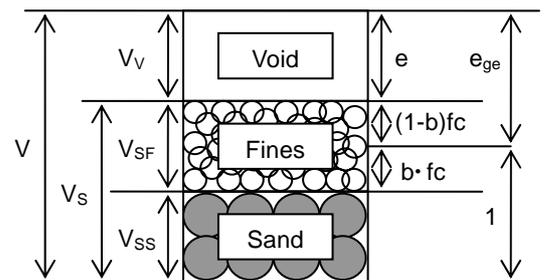


図-2 土の三相モデル

断弾性係数 G_{eq} と片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ の関係を示す。図より、等価せん断弾性係数は、 $E_c=5\text{kJ/m}^2$ の場合、 $F_c=14.7\%$ ($e=0.579$) のときに最大となり、 $E_c=373\text{kJ/m}^2$ の場合、 $F_c=14.7\%$ ($e=0.436$) のときに最小となっており、この挙動に対して間隙比を用いて適切に表現することができない。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、細粒分をある程度の度合い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³⁾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、細粒分が砂と同等の骨格を形成するとみなす間隙比と、骨格形成に全く寄与しないと考える骨格間隙比⁴⁾の間に位置し、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、 fc は体積比での細粒分含有率、 b は細粒分の寄与率である。

$$e_{ge} = \frac{e + (1-b)fc}{1 - (1-b)fc} \quad fc = \frac{V_{SF}}{V_S} \quad (1)$$

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 を検討した結果、片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ では $b=0.1$ としたときの等価骨格間隙比が等価せん断弾性係数と最も良い相関を示すという結果が得られた。

図-3 に片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ のときの等価せん断弾性係数 G_{eq} と等価骨格間隙比 e_{ge} の関係を示す。図は、最適な b による等価骨格間隙比について示している。すなわち、片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ のとき、細粒分が 10% の割合で等価せん断弾性係数に寄与していることを意味している。

図-4 に片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=1.0\%$ までの各ひずみにおいて片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ のときと同様に最適な寄与率 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 0.1 程度で推移している。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。片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ が 0.1% を超えるあたりから寄与率 b は増加し、片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=1.0\%$ では $b=0.35$ となり、細粒分が 35% の割合で等価せん断弾性係数に寄与するという結果となった。

4.まとめ 本研究では中空ねじりせん断試験機によって粘土混じり砂の動的変形特性を把握することを目的とした。その結果、細粒分が等価せん断弾性係数に寄与する割合はひずみに依存し、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 0.1% を超えるあたりから増加することが確認された。

【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, 港湾技術研究所報告, Vol.26, No.1, 1997.
 2) 立場晴司, 兵動正幸, 河田慎治朗, 金郁基: 砂・知ると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.
 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.
 4) Mitchell J. K.: Fundamentals of Soil Behaviour, Wiley, 1976.

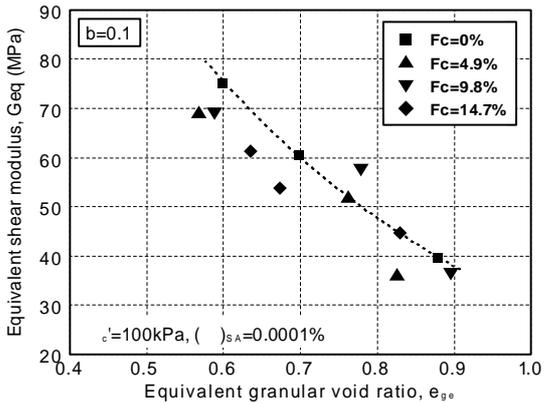


図-4 等価せん断弾性係数と等価骨格間隙比(b=0.1)の関係

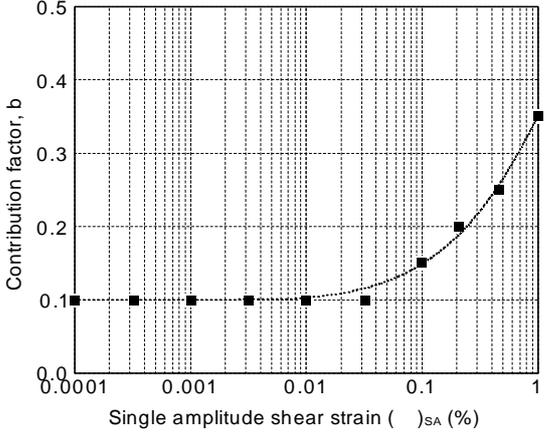


図-5 寄与率と片振幅せん断ひずみの関係