

塑性の異なる細粒分を含む砂のせん断特性

山口大学院 学生員 ○Kim, Uk-Gie, 貞廣育子
山口大学部 正会員 兵動正幸, 吉本憲正
山口大学部 正会員 中田幸男

1. はじめに 混合土の研究において、多くの研究者たちが初期状態を表す方法として、骨格間隙比 $e_g^{1)}$ を用いている。しかし、骨格間隙比は細粒分の存在を無視したものであり、混合土の初期状態の評価には十分ではなく、混合土の強度を統一的に評価することは困難である。本研究では、混合土の骨格構造の形成に細粒土が及ぼす影響を調べるため、塑性の異なる細粒土(岩国粘土、鳥取シルト、カオリン粘土)を砂と混合し、砂が構造を有する領域からそれぞれの細粒分が卓越する領域までの様々な供試体を作製し、一連の非排水せん断試験を行った。本研究は、これらの結果を用いて、塑性の異なる細粒土を含む砂の強度を統一的に評価することの出来るパラメータを策定することを目的とする。

2. 試料及び実験方法 実験に用いた試料は、粒度調整を行った三河珪砂 ($e_{max}=0.850$, $e_{min}=0.524$)と細粒土としては山口県岩国港で採取した岩国粘土、鳥取県西部地震の際に境港市竹内工業団地において液状化により噴出した鳥取シルト、低い塑性を有するカオリン

表-1 試料の混合割合と細粒分含有率の関係

Silica sand			Iwakuni clay		Tottori silt		Kaolin clay	
Mixture rate by weight (%)	Mixture rate by weight (%)	Fines content (%)	Mixture rate by weight (%)	Fines content (%)	Mixture rate by weight (%)	Fines content (%)	Mixture rate by weight (%)	Fines content (%)
100	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
90	10	9.8	10	9.8	10	10.0	10	10.0
85	15	14.7	15	14.7	15	15.0	15	15.0
83	17	16.7	-	-	-	-	-	-
80	20	19.6	20	19.6	20	20.0	20	20.0
70	30	29.4	30	29.4	30	30.0	30	30.0
50	50	49.0	50	49.0	-	-	-	-
0	100	98.0	100	98.0	100	100.0	100	100.0

粘土の3種類である。表-1に示したようにこれらの試料を用い、様々な細粒分含有率からなる混合土試料を作製した。供試体の作製は、塑性を有する試料に対しては予圧密法によって、非塑性の試料に対しては湿潤突固め法を用いて突固めエネルギーを緩詰めと密詰めの状態の2通り ($E_c=22, 504\text{kJ/m}^3$)に変化させ作製し、有効拘束圧 100kPa, ひずみ速度 0.1%/min の条件下で非排水単調せん断試験を行った。図-1にそれぞれの混合土の圧密応力 100kPa で圧密した後の間隙比と細粒分含有率の関係を示す。図より、岩国粘土とカオリン混合土の間隙比は $Fc=10\sim15\%$ 程度で、鳥取シルト混合土は $Fc=30\%$ 程度で最小になる。岩国粘土混合土 $Fc=19.6\%$ とカオリン粘土混合土 $Fc=30\%$ 以上においては間隙比が所定の圧密応力に対応して一義的な大きさとなったが、鳥取シルト混合土は、細粒分であるシルトも粒状体としての構造を持つため、異なる間隙比が存在する。また、 $Fc=29.4\%$ 以上では、通水過程時にコラプスによる体積収縮を起こし、緩詰めと密詰めの供試体の間隙比が逆転する様子が認められる。図-2に圧密後の骨格間隙比と細粒分含有率の関係を示す。図より骨格間隙比は細粒分含有率の増加に伴い増加し、粗粒子の e_{max} に近づき、やがてそれを超えていく様子が分かる。この状態は、最も緩い粗粒子骨格の間隙内に細粒分が充填されている状態と推察され、これ以上の骨格間隙比においては骨格構造が失われ、細粒土が支配する構造へと推移していくと考えられる。

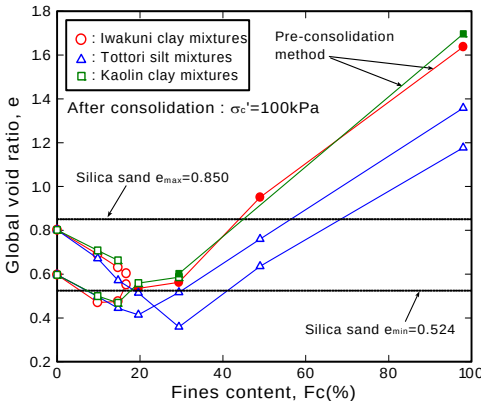


図-1 間隙比と細粒分含有率の関係

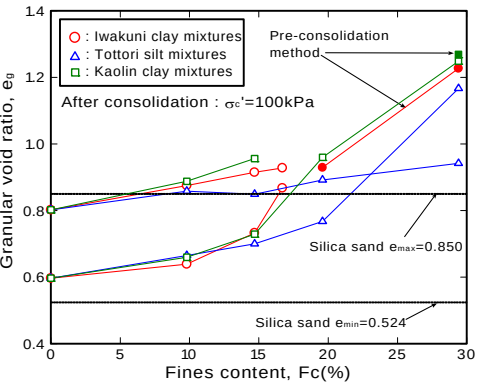


図-2 骨格間隙比と細粒分含有率の関係

この状態は、最も緩い粗粒子骨格の間隙内に細粒分が充填されている状態と推察され、これ以上の骨格間隙比においては骨格構造が失われ、細粒土が支配する構造へと推移していくと考えられる。

3. 実験結果および考察 筆者らのこれまでの混合土に関する研究^{2, 3)}で混合土の構造の主体は細粒分含有率によって変化し、特に細粒分含有率の低い場合には、粗粒分が形成する骨格構造が混合土の強度特性に強く影響していることが明らかとなった。しかし、骨格間隙比では細粒土は完全に間隙とみなされるため、細粒分の影響を過小評価してしまう可能性がある。そこで、細粒分の一部を粗粒分の骨格と等価とみなす Thevanayagam ら⁴⁾が提案した次式の等価骨格間隙比の概念を用いた。

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

ここに、 e_{ge} は等価骨格間隙比、 V_{sf} は細粒分の体積、 V_s は土粒子全体の体積、 b は細粒分が骨格形成に寄与する割合を示す。

非排水せん断試験結果から、軸ひずみ $\varepsilon_a=20\%$ 時における間隙比と平均有効主応力の関係を表す曲線において、曲線が一義的となる等価骨格間隙比を求め、寄与率 b を決定した⁴⁾。図-3 に岩国粘土混合土の間隙比および等価骨格間隙比と平均有効主応力の関係をそれぞれ示す。図-3(a)より、間隙比と平均有効主応力の関係を表す曲線は細粒分含有率毎に個々に存在し、細粒分含有率の増加に伴い下位に位置することがわかる。

図-3(b)は等価骨格間隙比と平均有効主応力の関係で表したものである。図のように寄与率を $b=0.30$ とした時、細粒分含有率の違いにもかかわらず $e_{ge}-\log(p')$ 関係が一義的となる結果が得られた。他の混合土についてもこのように寄与率を求めた結果、鳥取混合土においては $b=0.43$ 、カオリン混合土は $b=0.14$ となった。これら寄与率 b は軸ひずみ $\varepsilon_a=20\%$ の結果であり、ひずみの大きさにより寄与率は異なると考えられる。そこで、せん断過程の各軸ひずみレベルで寄与率を求めてみた。図-4 に各混合土における寄与率 b と軸ひずみの関係を示す。図より軸ひずみが増加するにつれ寄与率 b は減少する傾向が認められる。ちなみに、軸ひずみ $\varepsilon_a=0.1\%$ においては、 $b=0.5$ となり、細粒分が混合土の強度に寄与する度合いは50%と評価される。岩国粘土とカオリン粘土では、カオリン粘土の方がひずみの増加に対する減少の度合いがより顕著となっている。

4. 結論 広範な粒度からなる細粒分混じり砂について等価骨格間隙比に着目し、非排水単調せん断試験結果を行った。その結果以下のような結論を得た。1) 軸ひずみ $\varepsilon_a=20\%$ 時の $e_{ge}-\log(p')$ 関係から、細粒子が粗粒子骨格に寄与する度合い b (寄与率)を求めたところ、寄与率 b は岩国粘土が0.3、鳥取シルトが0.43、カオリン粘土が0.14となった。2) 岩国粘土とカオリン混合土に対し、寄与率 b と軸ひずみの関係を調べたところ、寄与率 b は軸ひずみの増加に伴い減少する傾向が認められた。

《参考文献》1) Mitchell, J. K. : Fundamentals of Soil Behaviour, New York, Wiley, 1976. 2) Kim, U., Hyodo, M., Koga, C. & Orense, R. : Effect of fines content on the monotonic shear behavior of sand-clay mixtures, Geomechanics and Geotechnics of Particulate Media, pp.133-138, 2006. 3) 石川智ら:粘土混じり砂の非排水繰返しせん断特性, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 474-477, 2006. 4) 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, 2002.

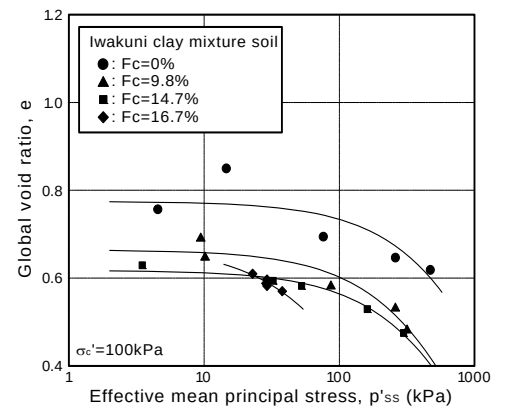
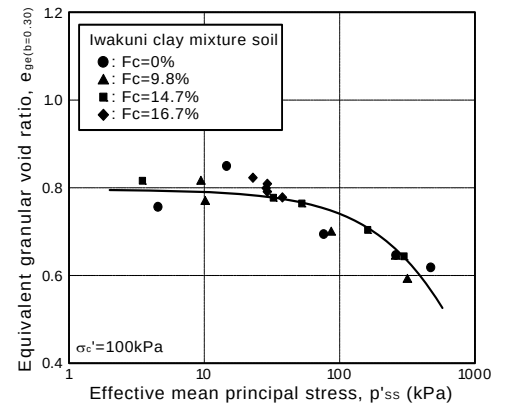


図-3 (a) 間隙比と平均有効主応力の関係



(b) 等価骨格間隙比と平均有効主応力の関係

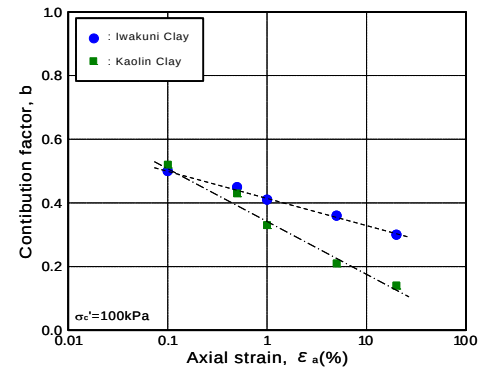


図-4 寄与率と軸ひずみの関係