

砂・粘土混合土の強度特性に及ぼす細粒分の影響

山口大学大学院 学生員 ○Kim, Uk-Gie

山口大学工学部 正会員 兵動正幸、吉本憲正

山口大学大学院 学生員 石川智、貞廣育子

1. はじめに 細粒分を含む混合土に関する研究は、これまでに多く行われてきたが、研究者によって供試体作製方法と初期状態の評価が異なっているため、統一的评价ができていない状況である。Thevanayagam ら<sup>1)</sup>は、同一の間隙比においては細粒分の増加に伴ってせん断強度は減少するが、細粒分がさらに増加して細粒分含有率が約 20~30%を超えると、せん断強度は増加すると報告している。本研究では、活性を有する自然粘土と砂を混合し、種々の細粒分含有率からなる供試体を作製し、非排水単調せん断試験を行なうことで、砂・粘土混合土のせん断特性を調べた。

2. 用いた試料及び供試体の作製方法

Table 1. Physical properties of test materials.

| 岩国粘土含有率(%) | 細粒分含有率(%) | 粘土分含有率(%) | 比重Gs  | Ip    | D50(mm) | Uc     |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|---------|--------|
| 30         | 29.4      | 11.6      | 2.644 | 28.64 | 0.415   | 165.85 |
| 20         | 19.6      | 7.8       | 2.644 | 14.62 | 0.55    | 125.71 |
| 17         | 16.7      | 6.6       | 2.654 | NP    | 0.61    | 105.68 |
| 15         | 14.7      | 5.8       | 2.646 | NP    | 0.64    | 83.64  |
| 10         | 9.8       | 3.9       | 2.648 | NP    | 0.71    | 11.25  |
| 0          | 0         | 0         | 2.652 | NP    | 0.88    | 3.79   |

2.1. 試料の物理的性質 実験に用いた試料は、山口県岩国港で採取した海成粘土と粒度調整した三河珪砂を種々な割合で混合したものである。岩国粘土は自然状態で細粒分を98.0%、粘土分を38.8%含み、塑性指数Ip=50程度の中塑性粘土である。珪砂の最大

間隙比は $e_{max}=0.850$ 、最小間隙比 $e_{min}=0.524$ であり、Table-1に実験に用いた試料の物理的性質を示す。ここで、細粒分含有率Fcが16.7%以下の試料はNPとなり、塑性指数の決定ができなかった。

2.2. 供試体作製方法と試験条件 岩国粘土含有率 17%以下の供試体は、種々の初期密度とするためにそれぞれ締固めエネルギー( $E_c=22, 51, 113, 324, 504kJ/m^3$ )を

変化させて作製し、細粒分含有率20%以上の試料については、予圧密法を用いて供試体を成形した。Fig. 1は100kPaの圧密応力で圧密した後の骨格間隙比と細粒分含有率の関係を示す。図に示した  $D_{rsc}$  一定の直線は、細粒分含有率の変化に対して骨格相対密度が一定となるように締固めた場合のものである。締固めエネルギーの違いにより砂単体ではそれぞれ異なる間隙比を示すが、細粒分含有率の増加に伴い、締固めエネルギーの変化にもよらず砂骨格間隙比の変化は少なくなり、 $Fc=16.7%$ に至ってはほぼ一点に収束している。珪砂の最大間隙比を境界にして、それ以下の骨格間隙比の供試体は砂粒子が骨格を形成し、それ以上の骨格間隙比の供試体は構造の主体が細粒土に支配されていると考えられる。筆者らのこれまでの研究<sup>2)</sup>で粗粒土の骨格構造が混合土の強度特性に大きく影響していることが明らかとなった。しかし、細粒分の存在も強度に影響を与えることが判明したことから、細粒分の存在を等価な粗粒分の骨格とみなす Thevanayagam ら<sup>1)</sup>が提案した次式の等価骨格間隙比の概念を導入する。

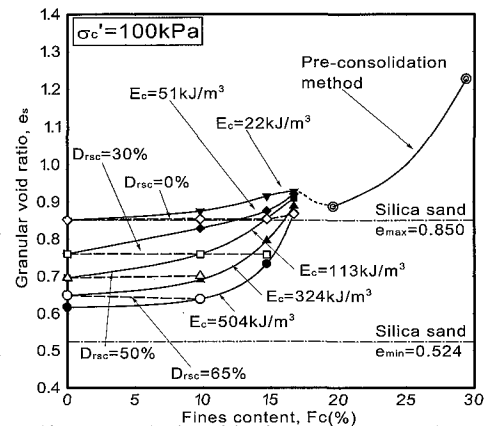


Fig. 1. Relationship between equivalence void ratio  $e_{c(eq)}$  and fines contents Fc for samples after consolidation.

$$e_{(c)eq} = \frac{e + (1-b)f_c}{1 - (1-b)f_c}; \quad f_c = \frac{V_{sc}}{V_s} \quad (1)$$

ここに、 $e_{(c)eq}$  は等価骨格間隙比、 $V_{sc}$  は細粒分の体積、 $V_s$  は土粒子全体の体積、 $b$  は細粒分の種類によって  $0 \leq b \leq 1$  の範囲で変化するパラメータである。即ち、 $b=0$  の場合は細粒分の存在を無視したいわゆる砂骨格間隙比を、 $b=1$  の場合は細粒分を粗粒子と同等みなすこと意味している。いくつかの試行により本研究で用いた岩国粘土の場合  $b=0.25$  として等価骨格間隙比を求めるのが妥当と判明

した。これらの試料に対して単調三軸試験装置を用い、非排水条件で有効拘束圧 100kPa、ひずみ速度 0.1%/min で試験を行った。

### 3. 試験結果および考察

**3.1. 定常状態での等価骨格間隙比** Fig. 2.には非排水試験から得られた定常状態における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。間隙比と平均有効主応力の関係においては、細粒分含有率毎に異なる関係が見られ一義的関係がない。図から分かるように、等価骨格間隙比を用いて整理すると細粒分含有率の違いによらず等価骨格間隙比  $e_{(c)eq}$  と平均有効応力  $P'_{ss}$  の間に一義的関係が認められることが明らかである。

**3.2. 相対密度、PCとせん断強度の関係** Fig. 3.(a)に相対密度と最大軸差応力の関係を示す。ここで、細粒分を含む

試料の相対密度は砂骨格の最大最小間隙比を基準に、各細粒分を含む試料の間隙比から計算したものである。(a)は、細粒分の増加に伴い相対密度は増加するが、所定の相対密度に対する強度は  $F_c$  毎に異なることを示している。また、同一の骨格相対密度の場合、細粒分の増加によって強度が若干増加している。間隙比の代わりに等価間隙比により求めた等価相対密度を用いると(b)のように、強度との間に一義的関係が存在することが明らかとなった。

次、 $PC(\%) = 100(1 + e_{min}) / (1 + e)$

と強度の関係を Fig. 4.(a)に示す。Fig. 3.(a)の相対密度の関係と同じく細粒分含有率の違いによって異なる挙動を示す。 $PC$  の式に等価間隙比を用いた等価相対密度で表すと、(b)のように強度との間に図のような一義的関係が存在することが明らかとなった。

### 4. 結論

砂・粘土混合土について等価骨格間隙比に着目して非排水単調せん断試験結果をまとめた。1. 岩国粘土が細粒分である場合、パラメータ  $b=0.25$  を用いた等価骨格間隙比を用いると砂・粘土混合土のせん断強度および定常状態を、ほぼ一義的に表すことができる。2. 砂が構造を有する状態即ち、細粒分含有率が 20%以下の場合、相対密度と  $PC$  に対して等価骨格間隙比  $e_{(c)eq}$  を用いると混合土の強度は砂のみの強度に近づく。

《参考文献》1)Thevanayagam, S., Shenthan, T., Mohan, S. & Liang, J.(2002) : Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silts. J. Geotech. Geoenviron. Engng 128, No. 10, 849-859. 2) Kim, U., Hyodo, M., Koga, C. & Orense, R.(2006) : Effect of fines content on the monotonic shear behavior of sand-clay mixtures. Geomechanics and Geotechnics of Particulate Media, pp.133-138.

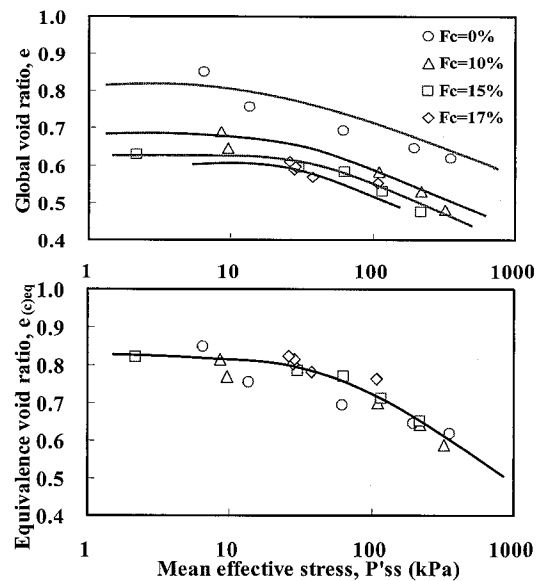


Fig. 2. Relationship between equivalence void ratio and mean effective stress at steady-state.

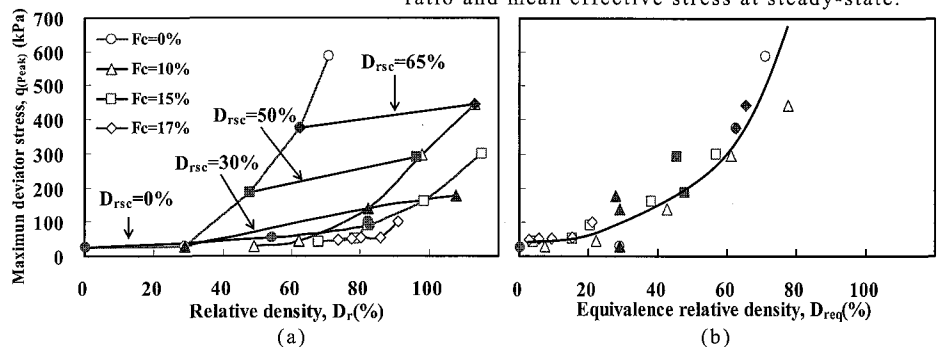


Fig. 3. Relationship between  $D_r$ ,  $D_{req}$  and peak axial stress.

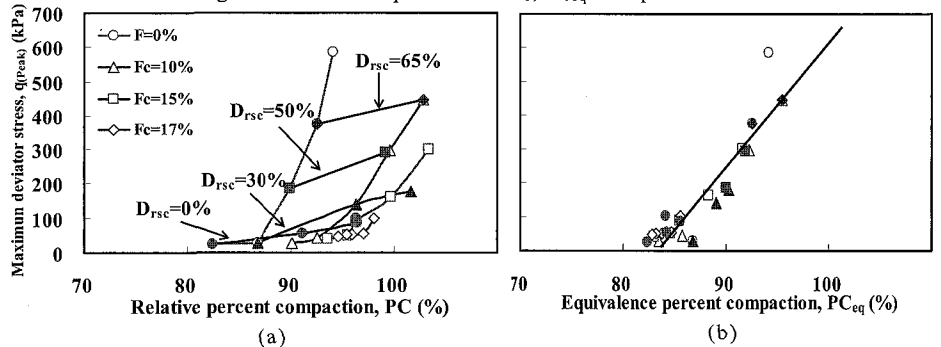


Fig. 4. Relationship between  $PC$ ,  $PC_{eq}$  and peak axial stress.