

等価骨格間隙比による砂・シルト混合土の非排水繰返しせん断強度の評価

山口大学 学生会員 ○石川智 貞廣育子
 山口大学 正会員 兵動正幸 吉本憲正
 山口大学 正会員 中田幸男 オレンセロランド

1. まえがき 自然地盤における砂のほとんどは細粒分を含んでいる。これまでの細粒分を含む砂に関する研究においては、研究者ごとに異なる供試体作製方法、初期状態で行われていたため、その液状化強度に対して統一的な見解が示されてこなかった¹⁾²⁾。そこで、筆者らは砂に非塑性のシルト細粒分を連続的に混合した試料を用い、突固め法によって作製した供試体に対して非排水繰返しせん断試験を行い、実験結果に対し、砂骨格間隙比³⁾および等価骨格間隙比の概念⁴⁾を導入し、砂シルト混合土（以下、混合土）の液状化強度における細粒分の働きを評価した⁵⁾。本稿は、その結果について、破壊を規定するひずみおよび強度を規定する繰返し回数を種々に変化させた際の、細粒分が混合土の強度に及ぼす寄与率を検討したものである。

2. 試料および試験方法 本研究では、粒度調整を行った三河珪砂 ($F_c=0\%$) と鳥取県西部地震の際に境港市の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 ($F_c=98\%$, $I_p=NP$) 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, 90:10, 85:15, 80:20, 70:30, 50:50, 0:100 の7通りである。なお、鳥取シルトにはもともと砂分が2%含まれているため、例えば鳥取シルト含有率50%の混合試料の細粒分含有率は49.0%となる。供試体は突固め法⁶⁾によって作製し、有効拘束圧100kPa、載荷荷重周波数0.02Hzの条件下で非排水繰返しせん断試験を行った。図-1に圧密応力100kPaで圧密した後の供試体の間隙比 e と細粒分含有率 F_c の関係を示す。図より、供試体の間隙比は、低いエネルギーで突固めた初期に緩い試料では $F_c=29.4\%$ で、高いエネルギーで突固めた初期に密な試料では $F_c=19.6\%$ で最小となる。また、 $F_c=29.4\%$ 以上の試料においては、通水過程時においてコラプスによる著しい体積収縮を起こし、特に、初期に緩い試料の方がより大きな体積圧縮を起こしたため、圧密後の骨格間隙比が逆転する現象が生じた。加えて、シルトは粒状体としての構造を持つため、シルト単体 ($F_c=98.0\%$) においても最大・最小間隙状態が存在することも示された。

細粒分を含む砂の力学特性は、砂の骨格構造が支配要因と考えられる。そこで本研究では、細粒分を間隙とみなす砂骨格間隙比の概念を用い、砂のみで形成される骨格の状態を把握することを試みた。

図-2に供試体の圧密後の骨格間隙比 e_g と細粒分含有率 F_c 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、珪砂のみの場合の最大間隙比に近づき、やがてそれを超えていく様子がわかる。供試体の骨格間隙比が珪砂の最大間隙比付近においては、最も緩い状態の砂骨格構造の間隙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の場合は砂骨格構造が不安定となりやがて、細粒が支配する構造へと推移していくと考えられる。また、初期に密な試料において、 $F_c=20\%$ 付近で供試体の骨格間隙比が砂の最大間隙比を超えることが示されている。これより、細粒分は砂の骨格構造の形成を阻害する働きを持つと推察される。

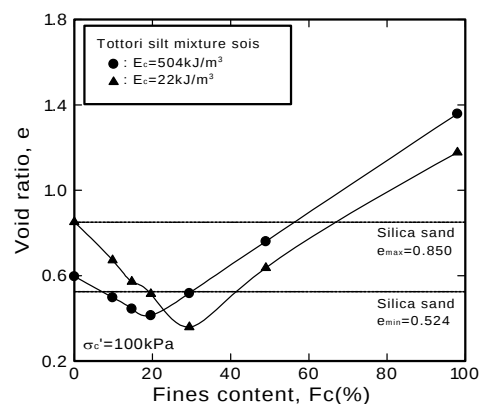


図-1 間隙比と細粒分含有率の関係

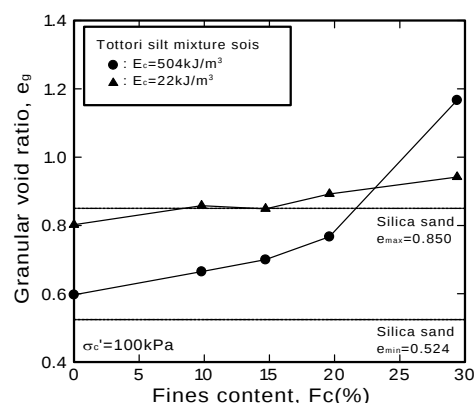


図-2 骨格間隙比と細粒分含有率の関係

キーワード 砂シルト混合土, 骨格間隙比, 等価骨格間隙比, 繰返しせん断強度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学 理工学研究科 地盤工学研究室 TEL(0836)85-9344

3. 試験結果および考察 筆者ら⁵⁾は、鳥取シルト混合土に対し、砂が骨格を形成し得る領域において、シルト分が全体の繰返しせん断強度（以下、強度）に寄与する割合は30%程度であるとの知見を示した。図-3に、繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と等価骨格間隙比 $e_{g(b=0.3)}$ の関係を示す。なお、この図において、繰返しせん断強度（以下、強度）は、繰返し回数20回（ $N=20$ と表現する）で軸ひずみ両振幅5%（ $\varepsilon_{DA}=5\%$ と表現する）を生じる繰返しせん断応力比である。また、等価骨格間隙比は以下に示す式によって算出されるものであり、式中の b を $0 \leq b \leq 1$ の範囲で変化させることで、 $F_c > 0\%$ の強度が $F_c = 0\%$ と等しくなるような b を検討する。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。また、等価骨格間隙比は、 $b=1$ のときは細粒分が砂と同等の骨格を形成するとみなす通常の間隙比と等価であり、 $b=0$ のときは細粒分が骨格形成に全く寄与しないと考える骨格間隙比と等価である。

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

図-3より、 $F_c = 29.4\%$ 以下において、強度と $b=0.3$ とした際の等価骨格間隙比との間に良い相関が見られ、等価骨格間隙比によってシルト分が強度に及ぼす影響が適切に評価できるといえる。

図-4に破壊を規定するひずみを1%および10%とした際の、繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と等価骨格間隙比 $e_{g(b=0.3)}$ の関係を示す。図より、どちらの破壊規定ひずみにおいても、強度と等価骨格間隙比の間に良い相関が見られる。これより、非排水繰返しせん断試験において、1~10%程度のひずみレベルでは、シルト分が混合土の強度に寄与する割合は一定であると推察される。次に、図-5に強度を規定する繰返し回数を5回および50回とした際の、繰返しせん断強度 R_L と等価骨格間隙比 $e_{g(b=0.3)}$ の関係を示す。図より、どちらの強度規定繰返し回数においても、強度と等価骨格間隙比の間に良い相関が見られる。これより、シルト分が混合土の強度に寄与する割合は、繰返し载荷のどの段階においても一定であることがわかる。以上のことは、非塑性シルト混合土の繰返しせん断挙動が、シルトの含有率によらず一定であるためであると推察される。したがって、混合土中の細粒分が活性を有する場合においては、繰返しせん断中の変形の様式が非塑性細粒分混合土と異なるため、改めて検討する必要があると考える。

4. まとめ 本稿では、破壊規定および繰返し载荷段階の違いによる、シルト分が混合土の強度に及ぼす影響の違いを考察した。これによって、 $F_c = 29.4\%$ 以下において、混合土中のシルト分が混合土の強度に寄与する割合は概ね一定であり、これらは等価骨格間隙比によって適切に評価できるとの知見が得られた。

参考文献

- [1]桑野二郎ら：粘土分含有率が砂質土の非排水繰返しせん断特性に及ぼす影響、粘性土の動的性質に関するシンポジウム論文集, pp. 143-148, 1995. [2]黄大振ら：シルトを含む砂のせん断特性について、土木学会論文報告集, No. 463, pp. 25-33, 1993. [3]Mitchell, J. K.: Fundamentals of Soil Behaviour, Wiley, 1976. [4]Thevanayagam, S. et al: Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silts, J. Geotech. Geoenviron. Engng 128, No. 10, pp. 849-859, 2002. [5]貞廣育子ら：シルト・砂混合土の非排水繰返しせん断特性, 第42回地盤工学研究発表会, 2007. [6]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.

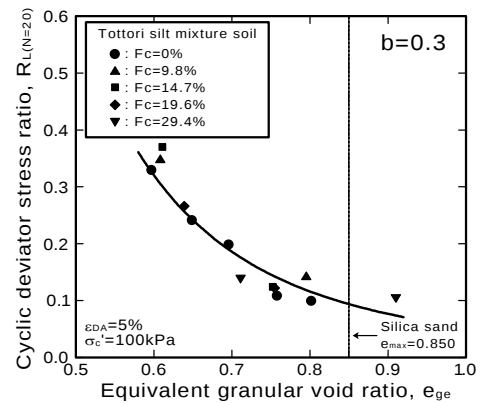


図-3 繰返しせん断強度比 ($N=20$, $DA=5\%$) と

等価骨格間隙比の関係

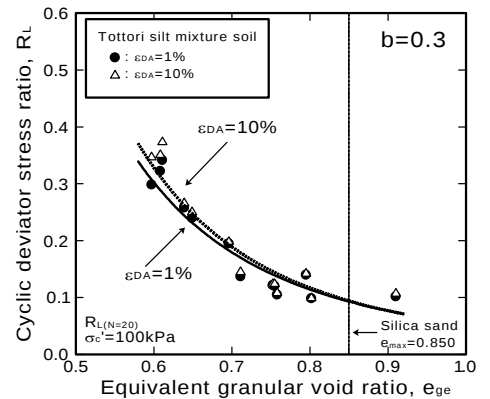


図-4 破壊規定ひずみを変化させた繰返し

せん断強度比 ($N=20$) と等価骨格間隙比の関係

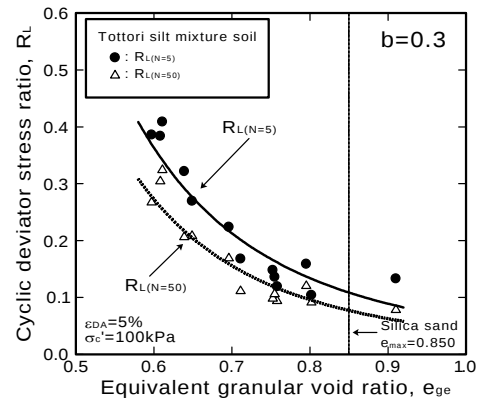


図-5 強度規定繰返し回数を変化させた繰返し

せん断強度比 ($\varepsilon_{DA}=5\%$) と等価骨格間隙比の関係