

粒子形状及び破碎性が砂の排水せん断特性に及ぼす影響

山口大学大学院 学生員 ○HAM tae gew 加登文学 篠田龍一
山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一

1. まえがき 本研究は、粒度分布や粒子形状、粒子強度の異なる試料を用い、それぞれに対し低圧から高圧に至る広範な応力域で排水三軸せん断試験を行い、砂の圧縮特性・せん断特性に及ぼす粒子形状や粒子破碎の影響を明らかにすることを目的としたものである。

2. 試料及び試験方法 実験に用いた試料は粒径を 1.4mm-1.7mm と 0.18mm-2.0mm に粒度調整した silica 砂と 0.1mm-2.0mm に粒度調整したカーボネイト系の Chiibishi 砂である。以下、それぞれの試料を“silica_{1.4-1.7} 砂” “silica_{0.18-2.0} 砂” “Chiibishi 砂” と呼称する。図-1 にこれらの試料の粒子 90 個に対して調べた真円度¹⁾ (Roundness coefficient: R_c) と縦横比 (Aspect ratio) を示している。真円度は、 $R^2/4\pi A$ (R : 粒子の周囲長、 A : 粒子の断面積) で定義され、その値が 1 に近いほど円に近いという意味をもち、大きいもののほど粒子が角張っているか表面が粗いということを意味している。また、縦横比はその値が大きいほど形が扁平であることを表している。図-1 より、silica 砂は円に近い形状の粒子から構成されているが、Chiibishi 砂は様々な形状の粒子から構成されていることが分かる。

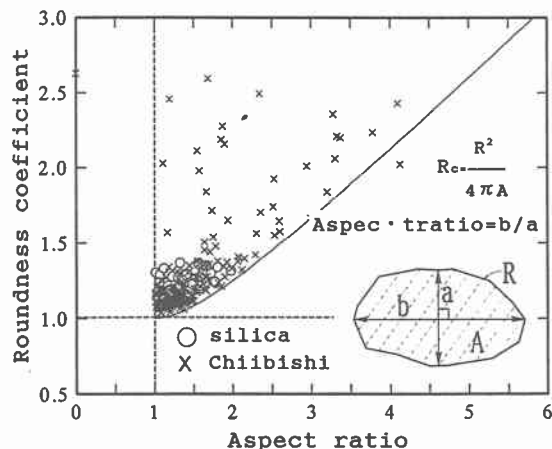


図-1 真円度と縦横比

三軸試験は直径 50mm、高さ 100mm の寸法から成る供試体をタンピング法により相対密度 90% を目標に作製し、低圧及び高圧三軸試験機を用いて様々な拘束圧下でひずみ速度 0.1%/min の排水条件により行った。また、試験終了後の供試体についてはふるい分析を行い、粒子破碎量を調べた。

3. せん断特性 図-2 (a), (b), (c) は、各試料の排水せん断試験結果を主応力比と軸ひずみ、体積ひずみと軸ひずみの関係で表したものである。全ての試料において低拘束圧下ではせん断中にピークが現れているが、拘束圧の増加に伴いピーク強度がしだいに消失していく傾向とダイレイタンスが正から負に転じる傾向がみられ、ピーク強

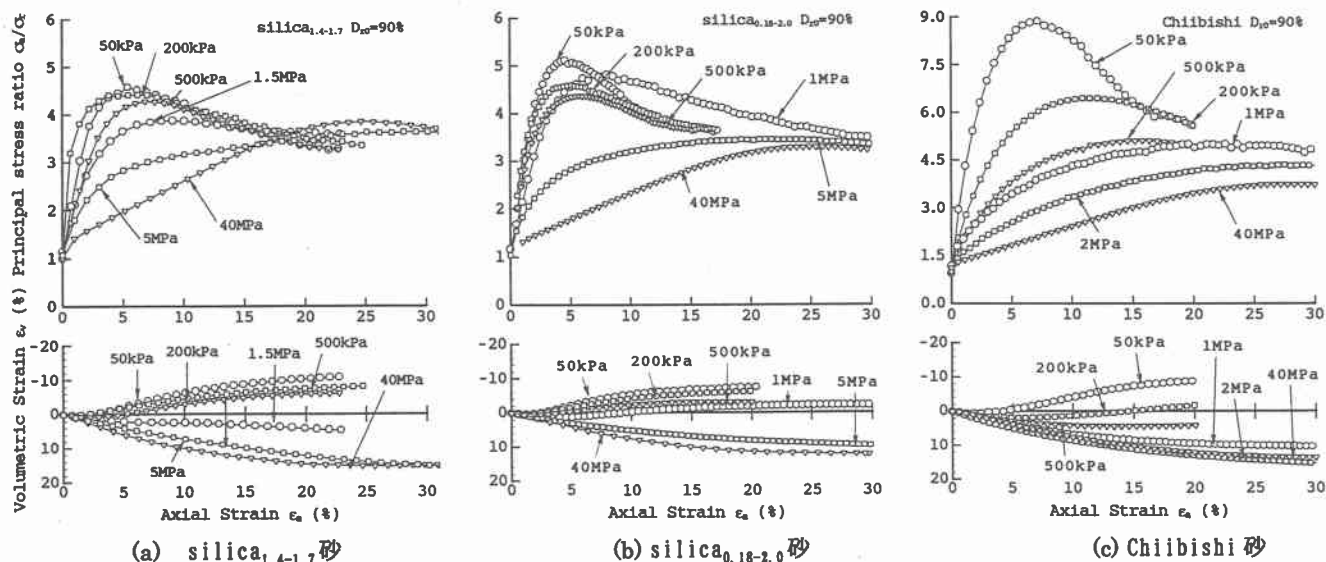


図-2 応力ひずみ関係

度の現れ方とダイレイタンスの生じ方に拘束圧依存性が確認される。また、粒子形状の複雑な Chiibishi 砂は、silica 砂と比較して、低圧域ではせん断中のピーク強度が大きいことが分かる。図-3 は各試料において所定の拘束圧でせん断試験を行った結果得られたセカントアングルの最大値 ϕ'_{peak} とその時の平均有効主応力の関係を示したものである。全ての試料において、拘束圧の増加に伴い ϕ'_{peak} が低下し、高圧下では ϕ'_{peak} の低下がほぼ収束するという拘束圧依存性が確認された。silica 砂と比較して Chiibishi 砂は、低い応力域 (0.1 MPa~1.0MPa) で ϕ'_{peak} の低下が顕著になっていることがわかる。図-4 はピーク時と残留時のセカントアングルの差 ($\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$) と粒子形状を表す真円度との関係を silica_{0.18-2.0} 砂と Chiibishi 砂について示したものである。Chiibishi 砂は silica 砂より低拘束圧域における ($\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$) の値が大きく、粒子形状が複雑なものほどダイレイタンスによる強度増加が大きいことを裏付けている。しかし拘束圧が高くなるにつれて ($\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$) は減少して行き、粒子形状の影響は小さくなることわかる。図-5 は、試験後の両試料の単位体積当たりの粒子表面積 S_w と平均有効主応力との関係を示したものである。表面積 S_w は次式より与えられる。

$$S_w = \Sigma \frac{F}{100} \cdot \frac{4\pi(d_m/2)^2}{(4/3)\pi(d_m/2)^3 G_s \gamma_w} \cdot \gamma_d \quad (1)$$

$F(\%)$ は、各粒径の試料の残留率を表し、 γ_w は、水の単位体積重量(kN/m³)、 γ_d は、乾燥単位体積重量(kN/m³)、 d_m は平均粒径であり、 $d_m = \sqrt{d_1 \cdot d_2}$ (d_1 、 d_2 は二つのふるいのひらき目寸法)である。表面積の値は粒子破碎が生じることにより増加するものである。この図と図-3 からいずれの試料もピーク時のセカントアングルが低下し始める応力域から表面積が増加していることが分かる。0.5 MPa から 20MPa までの Chiibishi 砂と silica_{0.18-2.0} 砂の表面積を比べると Chiibishi 砂の方が高い値を示している。このことが Chiibishi 砂の ϕ'_{peak} の低下度合いが silica_{0.18-2.0} 砂のそれより大きいことの理由であると考えられる。また、silica_{1.4-1.7} 砂が 10MPa から表面積の値が一定となっているのは、 ϕ'_{peak} が 10MPa から再び上昇していることに対応しているものと考えられる。

4. まとめ 本研究で得られた知見を以下に示す。

1. ピーク強度の現れ方とダイレイタンスの生じ方に拘束圧依存性が確認された。
2. 粒子の形状が複雑なものほど低拘束圧域におけるピーク時のセカントアングル ϕ'_{peak} が高くなる。
3. ピーク時のセカントアングル ϕ'_{peak} の変化の要因には粒子の破碎が密接に関係しており、粒子強度が小さいものほどセカントアングル ϕ'_{peak} が低下する応力域が低くなる。

<参考文献> 1) 加登文学他(2001): 地盤材料の単粒子破碎特性, 土木学会論文集, No.673/III-54, pp.189-19.

2) 三浦哲彦他(1977): 砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響, 土木学会論文集, 第 260 号, pp.109-118.

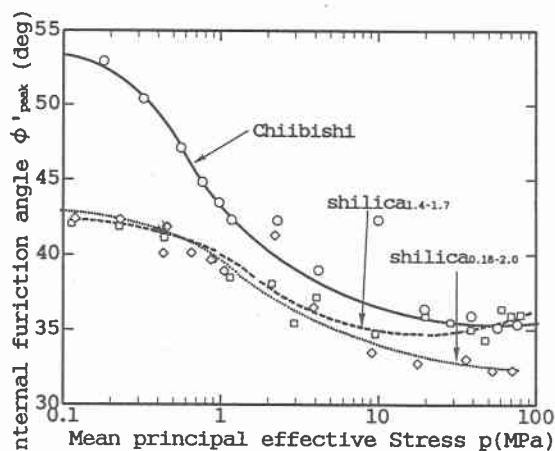


図-3 ϕ'_{peak} と平均有効主応力の関係

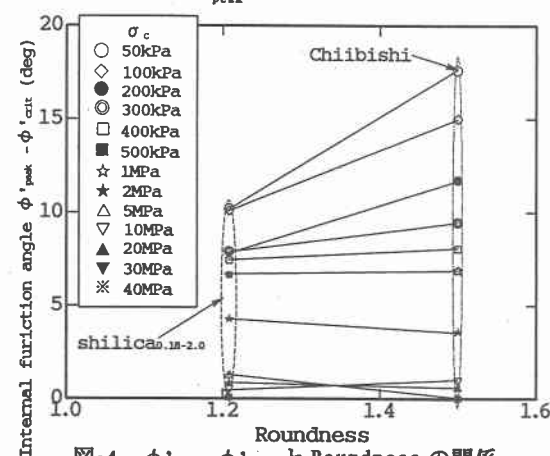


図-4 $\phi'_{peak} - \phi'_{crit}$ と Roundness の関係

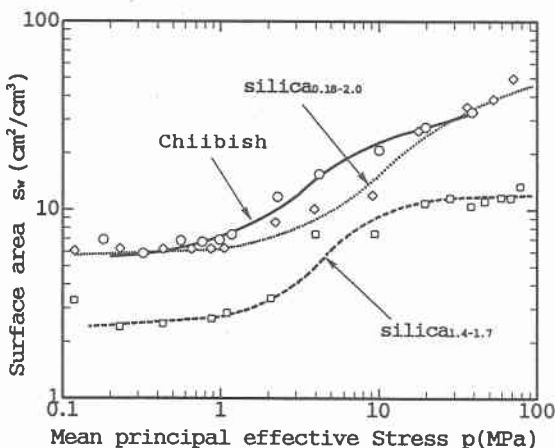


図-5 表面積 S_w と平均有効主応力 p の関係