山口大学大学院	学生員	加登文学	篠田龍一	HAM teagew
山口大学工学部	正員	中田幸男	兵動正幸	村田秀一

1.まえがき

砂のような粒状材料に対し様々な圧力域において室内試験を行うと,圧縮特性やせん断特性などの力学特性に 変化が生じることが知られている.特に拘束圧の増加に伴う圧縮性の増加,負のダイレイタンシーの増加,さら にせん断強度の低下などの変化は工学的に重要な問題である.本研究では広範な応力域において排水せん断試験 を行い,試験中のせん断強度の拘束圧依存性及び,砂の粒子破砕と全エネルギーとの関係について考察を行う. 2.試料及び試験の概要

本研究では粒径を 1.4mm ~ 1.7mm, 0.18mm ~ 2.0mm に粒度調整したシリカ砂及び, カーボナイト系のチイビシ 砂を用いた.以下,それぞれの試料をシリカ<sub>1.4-1.7</sub>砂,シリカ<sub>0.1820</sub>砂,チイビシ砂と呼称する.それぞれの試料 の特徴としては,シリカ砂は形状が整っており比較的堅固である.チイビシ砂は,骨格となる粒子が海中微生物 の遺骸で構成されおり,形状が複雑な上,脆弱であり破砕性材料としての特徴を有している.三軸供試体は相対 密度 90%,直径 50mm,高さ 100mm を目標に作成した.せん断試験は,所定の拘束圧まで等方圧縮した後,側 圧一定条件にて変位速度 0.1mm/min で軸応力を載荷させ行った.

## 3. 試験結果及び考察

図1は各試料において所定の拘束圧でせん断試験を行っ た結果得られたピーク時のセカントアングル 'peak と平均 有効主応力pの関係である.各試料において応力域は異な るものの , 拘束圧の増加に伴い 'peak が低下し , 高圧域で は一定の値に収束するという拘束圧依存性が確認された. また,シリカ<sub>0.18-2.0</sub>砂の 'peakの低下する応力域は,シリカ 14-17 砂と比較して広範囲にわたっており,その低下の度合 いも大きなものとなっている.このことは,均一粒径のシ リカ<sub>14-17</sub>砂では粒子破砕が平均有効主応力1~10MPaの狭 い応力域で発生し, 粒度分布の良いシリカ 0.182.0 砂では, 平均有効主応力の増加に伴い段階的に生じるためであると 考えられる.また,シリカ<sub>1417</sub>砂では,平均有効主応力 10MPa 以降, '<sub>peak</sub>の再上昇が認められた.チイビシ砂は 2 種類のシリカ砂と比較すると低圧域の 'peak が 50°以上 と高くなっている.このことは,チイビシ砂の複雑な粒子 形状に依存しているためであると考えられる.チイビシ砂 の 'peak の減少は,シリカ砂と比較して低圧域(p=100kPa 付近)から始まっており,粒子の角の破砕などが低い圧領域 から顕著に生じるためと考えられる.

図2は,試験中の平均有効主応力pと体積ひずみ、の関係・軸差応力とせん断ひずみの関係より求めた全エネルギーWと粒径加積曲線より得られる表面積 $S^{1}$ との関係である.全エネルギーW(J/cm<sup>3</sup>)及び表面積 $S(cm^{2}/cm^{3})$ は,

キーワード:砂,粒子破砕,全エネルギー,せん断強度





-36-



それぞれ次式で定義される.

$$W = \int p \quad \boldsymbol{e}_{v} + \int q \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (1) \qquad S = \Sigma \frac{F}{100} \cdot \frac{4\boldsymbol{p}(d_{m}/2)^{2}}{(4/3)\boldsymbol{p}(d_{m}/2)^{3}G_{s}\boldsymbol{g}_{w}} \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで, F(%)は,各試料の残留率を表し, <sub>w</sub>(kN/cm<sup>3</sup>)は水の単位体積重量), d<sub>m</sub>(cm)は平均粒径, <sub>d</sub>(kN/cm<sup>3</sup>)は 試料の乾燥単位体積重量である.

図2より,全ての試料において,エネルギーの増加に伴い,粒子破砕が進行していることが分かる.また,同 ーのエネルギーでも,各試料ごとに粒子破砕による表面積の増加量が異なっており,試料物性や粒度分布の違い により供試体になされた全エネルギーが粒子破砕に用いられる効率の違いがみてとれる低いエネルギーでは, 粒度分布の良い試料や角張りの多い試料の方が初期表面積からの増加量が大きく 破砕し易いことを示している. 均一な粒径で構成された材料であるシリカ<sub>14-1.7</sub>砂においては,W=1J/cm<sup>3</sup>付近から表面積が急増し,W=10J/cm<sup>3</sup> 付近から,表面積が一定となっていることが分かる.この領域は,図1より得られた 'peak が低下挙動を示した 後,再び増加する応力域と対応している.また,図1と図2より,シリカ<sub>0.1820</sub>砂とチイビシ砂においても, 'peak の低下するエネルギー領域と,表面積の増加するエネルギー領域は良い対応を示しており, 'peak と表面積の相 関性が確認された.

図3は全エネルギーWと表面積Sの関係の概念図であるS-logW関係は低圧域の表面積の変化しない領域, 中圧域の表面積が顕著に増加する領域,高圧域の表面積がある値に漸近する領域に分けられると考えられる.三 浦ら<sup>1)</sup>は,S-W曲線から表面積・仕事増分比(dS/dW)を定義し,これをせん断応力下における粒子破砕特性を 現す指標としている.そこで本研究では,図3に示すようにdS/dlogWを供試体になされたエネルギーが粒子破 砕に用いられる割合を示すものと考えS-logW曲線で割線勾配をとりエネルギーに依る破砕効率と定義した.

図4に,dS/dlogWと 'peakの関係を示す.全ての試料において破砕効率の増加に伴い, 'peak が減少している. このことは,粒子破砕により消費されるエネルギーの割合が増えると伴に,強度増加の割合が低下することを示 している.また,粒度分布の近いシリカ 0.18-2.0 砂とチイビシ砂の勾配はほぼ等しくなっていること,粒径の均一 な材料では低下の度合いが小さいことが分かる.

4.まとめ

- 1) 粒度分布の違いや試料の違いによるピーク時のセカントアングル 'peakの拘束圧依存性が把握できた.
- 2) 供試体に与えられた全エネルギーW と表面積 S には相関性が見られ,その割線勾配 dS/dlogW と 'peak の関係 より全ての試料において dS/dlogW の増加に伴う 'peak の減少傾向が確認された.また,その勾配は,初期粒 度分布に依存していると考えられる.

<参考文献>

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

-37-