

せん断モードの異なる破砕性粒状体の強度 - 変形特性

北海道大学大学院	正会員	石川 達也
北海道大学大学院	学生会員	堀田 大介
北海道大学大学院	フェロー	三浦 清一
北海道大学		柏谷 匡胤

1. はじめに

従来、中空ねじりせん断試験機を用いた単純せん断試験が行われてきたが、中空円筒供試体を用いて単純せん断変形を満足させるには、供試体内・外壁の変位を許さないよう側圧を独立に制御する必要がある。北海道に広く分布する火山性粗粒土は多孔質で脆弱な粒子で構成され、破砕に伴う変形が卓越すること、メンブレンペネトレーションの影響が無視し得ないことから、中空ねじりせん断試験機による単純せん断試験は困難が予想される。このことから、著者らは新たに粗粒材料の単純せん断試験機を開発し、ねじりせん断モード、単純せん断モードにおける粒状体の強度 - 変形 - 破砕特性を詳細に調べた。

2. 試験試料および試験方法

試験に用いた試料は、直径5mmのガラスビーズと北海道中標津町当幌地区から採取された当幌火山灰土である。当幌火山灰土は既往の研究において強い粒子破砕性が認められており、本研究ではガラスビーズに近似した粒度分布を得るため5.6mmふるいを通し4.75mmふるいに残留したものだけを用いた。なお、各試料の物理的性質をTable 1に示す。

試験には中空ねじりせん断試験機と多重リングせん断試験機(Fig.1参照)を用いた。多重リングせん断試験機は剛なリングによって供試体側面の変形が拘束されているため、半径方向ひずみ、周方向ひずみはゼロとなり単純せん断変形条件を満足する。この他の特徴については文献1)を参照されたい。試験供試体はいずれの試験においても空中落下法により試料を堆積させ準備した。リングせん断試験(RING SHEAR TEST)は乾燥状態でしか試験を行えないため、ねじりせん断試験(TORSIONAL SHEAR TEST)は負圧拘束により試験を行った。また、負圧拘束によるねじりせん断試験ではせん断に伴う供試体の体積変化が測定できないため、別途飽和供試体を用いた試験も行っている。所定の拘束圧で等方圧密(ねじりせん断試験)または、所定の上載圧で一次元圧密(リングせん断試験)したのち、定圧条件下でせん断試験を行った。ねじりせん断試験は内外側圧一定、平均主応力一定、リングせん断試験は上載圧一定の条件を保持し、いずれもせん断ひずみ速度0.1%/minでせん断を行った。なおねじりせん断試験においては、メンブレン張力に対する補正のみを行った。また、本研究においては粒子破砕を評価するための指標として細粒分増加量 F_c を用いた。

3. 試験結果と考察

ねじりせん断試験におけるねじりせん断モード(Torsional shear mode)とリングせん断試験における単純せん断モード(Simple shear mode)の変形挙動をFig.2(a), (b)に示す。ここで、ねじりせん断試験は等方圧密状態からせん断している

キーワード 火山性粗粒土, ねじりせん断, 単純せん断, 粒子破砕, 強度 - 変形特性, 主応力回転

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL 011-706-6203

Table 1 Physical properties

SAMPLE NAME	GLASS BEADS (D=5mm)	TOUHORO VOLCANIC SOIL (5.6 D > 4.75mm)
$s(g/cm^3)$	2.50	2.55
$d_{max}(g/cm^3)$	1.485	0.277
$d_{min}(g/cm^3)$	1.395	0.236
$D_{50}(mm)$	5.00	5.17
U_c	1.0	1.1
$F_c(\%)$	0.0	0.0

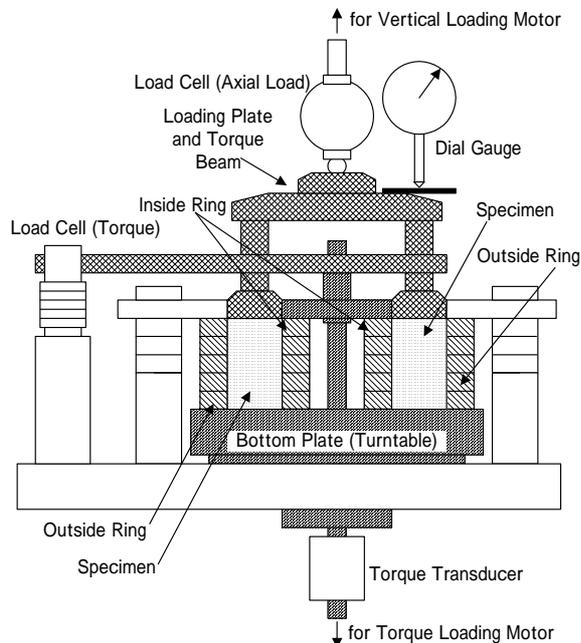


Fig.1 Multi-ring shear apparatus

ので半径方向ひずみと周方向ひずみは等しくなる。一方、前述のようにリングせん断試験では半径方向ひずみ、周方向ひずみともゼロであり、鉛直方向にのみ変形が許されるため鉛直ひずみは体積ひずみに等しくなる。Fig.2(a)より、ねじりせん断モードにおいてはガラスビーズの体積ひずみ、火山灰土の鉛直ひずみにダイレイションの反転が伺えるものの、いずれの供試体においても半径方向ひずみ(または、周方向ひずみ)は単調な圧縮傾向にあることがわかる。また、火山灰土は全てのひずみ成分が圧縮側で変化しているが、ガラスビーズは載荷直後から鉛直ひずみが伸張側に推移し、体積ひずみもせん断後半には伸張側に達していることが確認できる。次に、Fig.2(b)より、単純せん断モードにおいてはいずれの供試体も圧縮側で変形が推移していることが指摘できる。しかし、ガラスビーズには僅かながらダイレイタンスの反転が認められた。また、火山灰土の圧縮傾向はねじりせん断モードにおける火山灰土の体積ひずみ挙動と類似しているようである。

Fig.3 は両試験から得られた水平面上におけるせん断抵抗角についてまとめたものである。なお、多重リングせん断試験機は現在側圧の測定ができないので、試験時の上載圧に対して整理している。ここで注目すべきは、ねじりせん断モードでは両供試体の違いが見られないが、単純せん断モードでは上載圧によるせん断抵抗角の変化に明確な違いが現れている。つまり、ガラスビーズのせん断抵抗角は上載圧によらず一定値を示しているにも関わらず、火山灰土においては上載圧の増加とともにせん断抵抗角が減少している。これは粒子破碎に伴うせん断抵抗角の低減現象と考えられる。

Fig.4 には火山灰土に対して行った試験後にふるい分析を実施し、得られた細粒分増加量を上載圧に対してプロットした。せん断モードの違いにより粒子破碎量には違いが認められるものの、粒子破碎に及ぼす上載圧の貢献度は乾燥供試体においてほぼ同程度と見なせるようである。しかし、同じねじりせん断モードでも、供試体の乾湿によって粒子破碎量に違いが見られたことは特筆すべき事実であり、今後更なる検討が必要になるものと考えられる。

4. まとめ

- 1) せん断モードの違いは供試体の変形挙動に明確な違いをもたらす。更に、試料の破碎性の有無によっても変形特性に違いが表れることが明らかとなった。
- 2) 単純せん断モードにおけるせん断抵抗角は、火山灰土において拘束圧依存性が認められた。これは、粒子破碎によるせん断抵抗角の低減現象(=破壊包絡線の凸化)によるものと考えられる。
- 3) 火山灰土においては供試体の湿乾状態が粒子破碎挙動に違いをもたらすことが示された。この点については今後、更に詳細な検討を試みる予定である。

参考文献

1) 石川・堀田・柏谷・三浦:粗粒材料を対象とした単純せん断試験機の試作と性能評価, 第39回地盤工学研究発表会, 2004(投稿中).

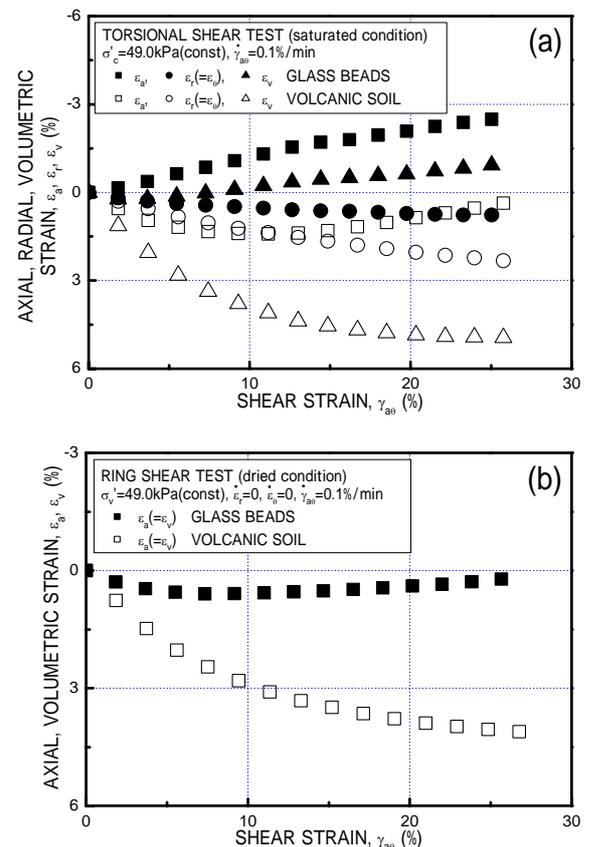


Fig.2 Deformation behavior:

(a) Torsional shear mode, (b) Simple shear mode

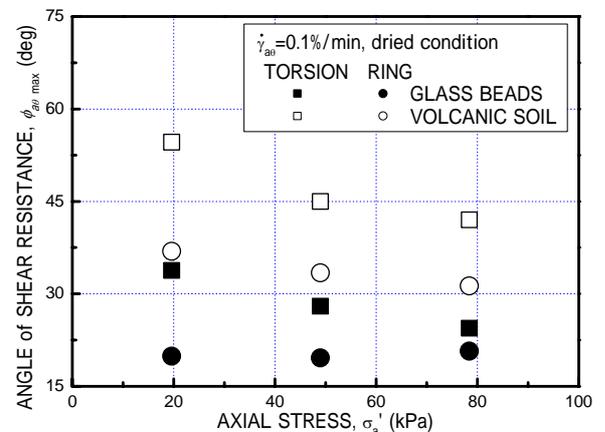


Fig.3 Angle of shear resistance

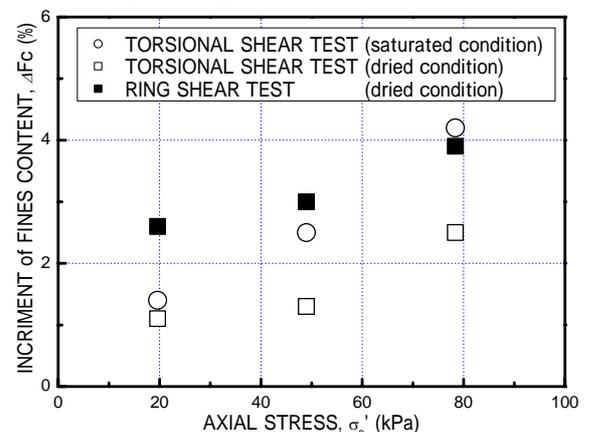


Fig.4 Particle breakage