

三主応力下におけるガラスビーズのせん断特性

徳山工業高等専門学校 正員 藤原 東雄
同 上 正員 〇 上 俊二

1. まえがき

粒状体の強度・変形特性は粒子の形状、密度、試料の詰め方、せん断方向によって異方性を生ずる場合があることが明らかになっている¹⁾。本研究では、大・小2種類の等粒径のガラスビーズを用い、せん断方向を変化させた三主応力制御試験を行ない、粒径の大きさ、密度、せん断方向が強度・変形特性にどのような影響を及ぼすかを実験的に検討した。

2. 実験概要

試料は、市販の粒径1.5mm, 0.2mmの2種のガラスビーズを用いた。供試体の作製方法は10cm×10cm×10cmの立方三軸室に試料を3層に分け注入し、直径約5mmの突き棒で突

き詰めながら側面より振動を与えて、相対密度 $Dr=100\%$ (Dence)

$Dr=20\%$ (Loose)の供試体を作成した。物理的性質は、表-1に示

す。実験方法は前報と同様に、平均主応力 ($p=2.0\text{ kgf/cm}^2$) を一定

に保ち、せん断方向パラメータ $b[(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3), \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3]$

を0~1.0まで5通りに変化させ、応力制御方式 (一荷重段階は最大主

応力増分 $=0.05\text{ kgf/cm}^2$)、排気状態としてせん断

を行なった。三方向の主ひずみ $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ は圧力

室に流入・流出する体積変化量より平均的に算出

した。なお、応力パラメータは $p=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$

, $q=\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}/3$, 変形

パラメータは $dV=(d\varepsilon_1+d\varepsilon_2+d\varepsilon_3)/3$,

$d\gamma=\sqrt{(d\varepsilon_1-d\varepsilon_2)^2+(d\varepsilon_2-d\varepsilon_3)^2+(d\varepsilon_3-d\varepsilon_1)^2}/3$

とする。

とす。

3. 実験結果と考察

応力制御方式による三主応力制御試験機では明確な破壊点が表われな

い。そこで次に示す2つの方法により破壊点を決定した。(イ) 図-1に

示すように $q/p \sim \log \gamma$ 曲線の折れ曲り点を破壊点とする方法³⁾。(ロ)

図-2に示すように $q/p \sim \gamma$ 曲線の $q/p = \gamma/(a+b\gamma)$ 関係による係数

$1/b$ を破壊点とする方法⁴⁾。(イ) (ロ) で求めた破壊点を円面上に表示する

と図-3のようになる。破壊時の q/p は(ロ)の方が大きくなるが両者の

破壊曲面はほぼ相似である。粒径小の破壊曲面では $b=1.0$ に近づくに

つれ破壊時の q/p は減少する傾向を示しているが、粒径大の破壊曲面では

破壊時の q/p は b によらずほぼ等しい傾向を示す。図-4(a), (b)に

$Dr=100\%$ の場合の円面上のひずみ増分量とひずみ増分方向の関係を示す。

粒径小は粒径大に較べてひずみ増分方向が時計方向によくずれているこ

とがわかる。粒径大の $b=1.0$ (伸張状態) ではほぼ応力経路とひずみ

表-1. 試料の物理的性質

粒 径	1.5mm		0.2mm	
相対密度 Dr	100%	20%	100%	20%
比 重 G_s	2.49			
密度 γ (g/cm ³)	1.575	1.503	1.566	1.494
間けき比 e	0.581	0.657	0.590	0.657

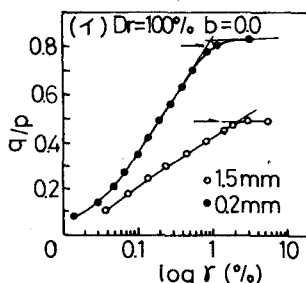


図-1. $q/p \sim \log \gamma$ の関係

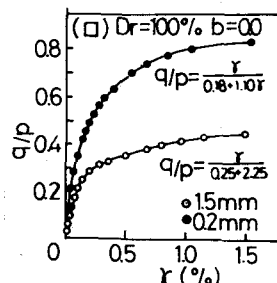


図-2. $q/p \sim \gamma$ の関係

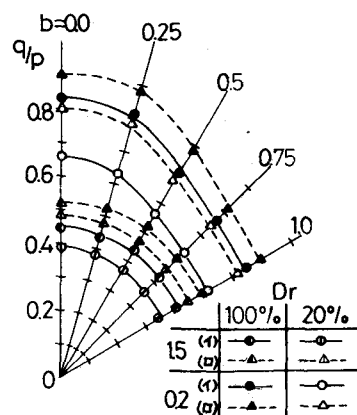


図-3. 円面上の破壊点

増分方向は等しい。また図には示していないが $\frac{q}{p} \sim \epsilon$ の関係で $b=0$ (圧縮状態) において 粒径大小とも ϵ_1, ϵ_2 はよく一致しているが、図-5でわかるように $b=1.0$ ($Dr=100\%$) の場合、粒径小では ϵ_1 と ϵ_2 は一致していないが、粒径大ではほぼ一致している。 $Dr=20\%$ の場合でも同様の傾向がうかがえた。図-6には、 $Dr=100\%$ の場合のせん断時の体積ひずみ $\Delta V/V \sim \gamma$ の関係を示す。 γ の小さい所でダイレイタンスが発生する傾向を示しているが、粒径小ではせん断開始時より常に膨張側であり、粒径大では一端収縮して膨張している。

また、 b の変化にともない粒径小では曲線はずれを生ずるが、粒径大ではほぼ一致している。以上のことより、同体積の三軸室に詰められた等粒径の粒子の集合体では粒子接点数の少ない粒径大の方が等方的に詰まり粒子接点の分布が均一であるが、粒径小の場合

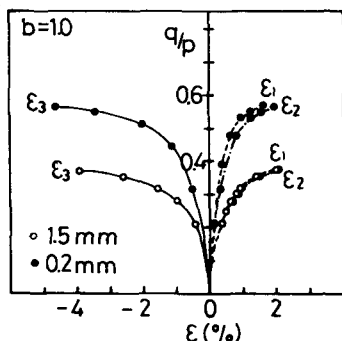


図-5. $\frac{q}{p} \sim \epsilon$ の関係 ($Dr=100\%$)

合では粒子接点数が増加し試料の詰め方により粒子接点の分布が不均一になり異方性を示すようになると思われる。また、水平方向よりは鉛直方向の方が粒子接点数が多くなり(すなわち密度が大きくなる)、せん断方向が鉛直方向より作用する方が水平方向より作用する場合よりせん断強度が強く、変形も小さいことがうかがえる。図-7には、代表的な破壊基準に本研究の破壊点を示した。これによると、等方的に詰まっている粒径大では松岡(SMP)、Ladeらの破壊基準にほぼ一致しているが、粒径小ではどの破壊基準よりもずれている。

4. あとがき

今回は、粒子の粒径を均一にした大小2種類のガラスビーズのせん断特性を検討してきたが粒径小では粒径大に比較すると粒子接点数が多くなり粒子の詰め方により粒子接点密度が不均一になりやすく、せん断方向が変化すると異方性を示すものと考えられる。しかし、粒径大では粒子接点数が少なく詰め方によらず粒子接点密度がほぼ均一になり、せん断方向によらず等方的な挙動を示すものと考えられる。今後、せん断方向、試料の詰め方の影響をさらに検討する必要がある。

5. 参考文献

- 1) 小林: 等方的な力学的性質をもつ砂試料の一作製法, 第15回土質工学研究発表会概要集 pp.381~384
- 2) 藤原: 三主応力下の砂のせん断特性, 第32回土木学会中四国支部学術講演会概要集 pp.192~193
- 3) 宮森: 多軸応力状態における砂のせん断強度と変形特性, 土木学会論文報告集 第255号 pp.81~91
- 4) 春山: 三次元応力下における球粒子集合体の異方的変形・強度特性, 土質工学論文報告集 Vol.21, No.4

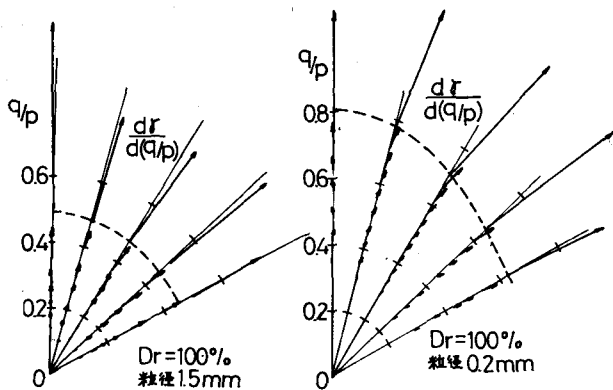


図-4 (a) (b) 元面上のひずみ増分量とひずみ増分方向の関係

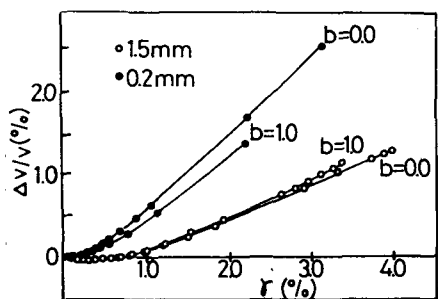


図-6. $\Delta V/V \sim \gamma$ の関係 ($Dr=100\%$)

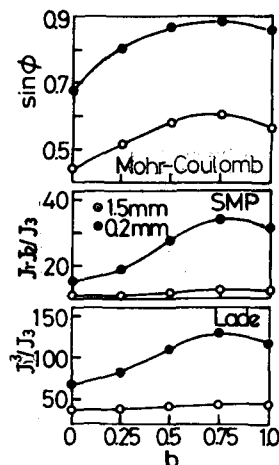


図-7. 各種破壊基準と b の関係 ($Dr=100\%$)