

DEM による粒状材料のせん断特性に与える粒径の影響

山口大学大学院 学生会員 ○岡元 拓也
 山口大学大学院 学生会員 波平 達也
 山口大学大学院 正会員 中田 幸男
 山口大学大学院 正会員 兵動 正幸

1. 序論

地盤材料として用いられる砂質土は様々な粒径を有し、地盤の強度や変形特性などに大きな影響を与える要因の一つである。しかし粒径の影響が明確にされていないのが実情である¹⁾。また、個別要素法が注目されており解析条件により様々な物理現象を再現可能である^{2),3)}。本研究では粒径効果の及ぼすせん断特性の影響を明らかにするため、平面ひずみ試験装置を用い、粒子形状が等しく粒径の異なるガラスビーズを試料として試験を行うとともに、粒径の異なるディスクに対し個別要素法による二軸圧縮試験を行った。

2. 平面ひずみ試験による検討

本試験装置の供試体は幅 60mm、高さ 160mm、奥行き 80mm の矩形である。特徴として、供試体の前後に設置した拘束板によって平面ひずみ状態を再現できること。観察窓から供試体のデジタル画像を撮影でき、PIV 解析手法を適用可能なことが挙げられる。用いた試料は粒径の異なる 3 種類のガラスビーズである。供試体は 5 層にわけて自由落下により作製した。落下高さを変える事により 2 種類の初期間隙比をもつ供試体を作製した。それぞれの試料の物理的特性、供試体の初期間隙比及び作製時の幅と平均粒径の比 B_0/D_{50} を表-1 に示す。試験は試料を飽和状態とし排水条件で行った。水平応力を一定に保ち、ひずみ速度 0.1%/min で軸変位を与える圧縮試験を行った。

図 1 はせん断抵抗角と間隙比及び B_0/D_{50} の関係を示した図である。図中には同等の間隙比で比較するため $e=0.65$ と推測される値を実線で示している。せん断抵抗角はピーク時の最大主応力と最小主応力を用いて求めている。せん断抵抗角と間隙比の関係が一つの平行な直線により示すことができるため、せん断抵抗角は粒径の影響がないと言える。図 2 はピーク時の軸ひずみと間隙比及び B_0/D_{50} の関係を示した図である。図中の実線は $e=0.65$ と推測される線である。これに着目すると、粒径の増加に伴い、ピークに至るまでの軸ひずみが増加することがわかる。一般的にせん断帯の幅が粒径の増加とともに増加するといわれている。このため、限界のせん断ひずみに至るまでの軸ひずみが、せん断帯の大きなものほど増加するためだと考えられる。図 3 はせん断帯傾斜角と間隙比及び B_0/D_{50} の関係を示した図である。図中の実線は $e=0.65$ と推測される線である。これに着目すると、粒径の増加に伴いせん断帯傾斜角が減少していることがわかる。

表-1 試料の物理特性

試料	ガラスビーズA	ガラスビーズB	ガラスビーズC
D_{50} (mm)	0.110	0.210	0.590
e_{max}	0.738	0.725	0.726
e_{min}	0.577	0.576	0.576
e_{ini}	0.673	0.690	0.638
B_0/D_{50}	543.82	541.82	285.00

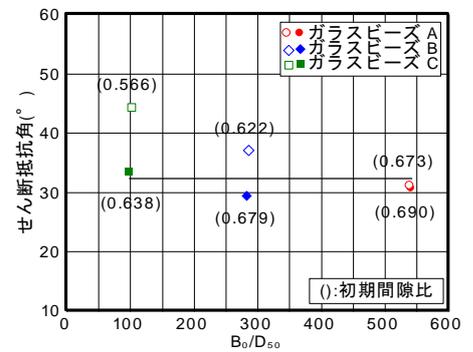


図 1 せん断抵抗角と間隙比及び B_0/D_{50} の関係

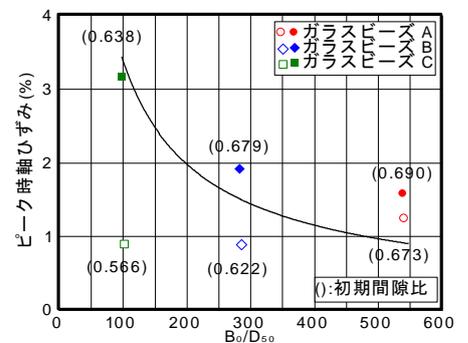


図 2 ピーク時の軸ひずみと B_0/D_{50} の関係

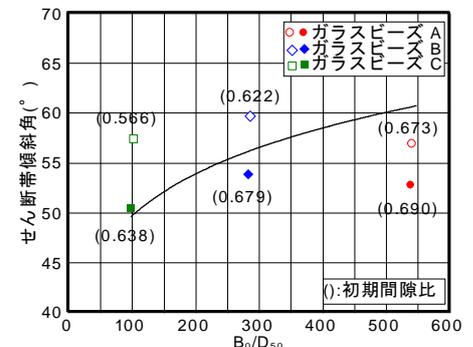


図 3 せん断帯傾斜角と B_0/D_{50} の関係

3. 個別要素法による検討

二次元個別要素法を用い、二軸圧縮試験を行った。供試体は幅 35.1mm、高さ 70.2mm とし、最も密な状態である六方最密充填を避けるように、ランダムな状態になるようにするため、粒度は 0.07 の標準偏差を持たせた³⁾。表 3、図 4 に示す条件の異なる 6 種類の粒度の供試体を作成した。初期間隙比を 1.0 とし、供試体を 5 層にわけ、各層ごとに供試体上部の壁に荷重を与えた。水平方向応力および鉛直方向応力を 100kN/m^2 とし、これらの許容誤差を 0.5% とし 4 方向の壁に荷重を与え、圧密を行った。せん断中の粒子の自由な結果を得るために、側面の壁を粒度分布の最小粒径と同じ粒径のメンブレンに見立てた粒子で置き換えた。この時、メンブレン粒子の結合力は $1 \times 10^{100}\text{N}$ と設定し、数珠つなぎのような状態でメンブレンの挙動を表現した。せん断過程は供試体上部・下部の壁に圧縮方向に変位を与え、せん断を誘発させた。

図 5 はせん断抵抗角と B_0/D_{50} の関係を示した図である。せん断抵抗角は粒径に影響されずほぼ一定の値を示すことがわかる。図 6 はピーク時の軸ひずみと B_0/D_{50} の関係を示した図である。ピーク応力時の軸ひずみは B_0/D_{50} の増加に伴い減少する傾向がみられた。図 7 はせん断帯傾斜角と B_0/D_{50} の関係を示した図である。 B_0/D_{50} の増加に伴いせん断帯傾斜角が増加していることがわかる。

4. 結論

本研究では粒径効果の及ぼすせん断特性の影響を明らかにするため、実験的な検討及び数値解析的な検討を行った。その結果、ピーク応力時の軸ひずみは粒径の増加に伴い増加すること、せん断帯傾斜角は粒径の増加に伴い減少すること、せん断抵抗角は粒径の影響をほぼ受けないことがわかった。以上のことから、粒径の影響は変形特性に影響を与えるが、強度特性に影響を与えないことが明らかになった。

(参考文献)

- 1) Jacques Desrues and Gioacchino Viggiani : Strain localization in sand: an overview of the experimental results obtained in Grenoble using stereophotogrammetry, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 28:313;2004
- 2) Cundall, P.A., Strack, O.D.L. : A discrete element model for granular assemblies, Geotechnique, 29(1), 47-65, 1979
- 3) Takao Ueda, Takashi Matsushima : Micro structures of granular materials with various grain size distributions Powder Technology 217, 533-539, 2012

表 3 粒子数及び粒径と供試体幅の比

粒子数	$D_{50}(\text{mm})$	B_0/D_{50}
548	2.28	15.396
1295	1.48	23.718
1725	1.28	27.406
2415	1.03	32.479
3620	0.88	39.861
6000	0.66	51.595

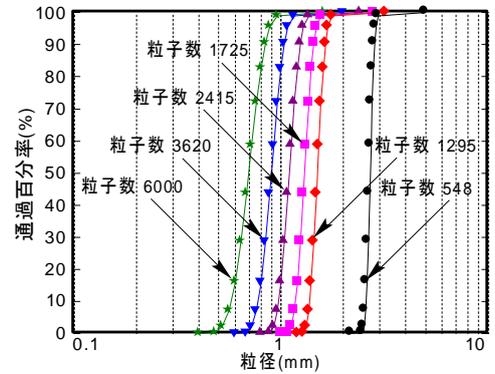


図 4 粒度

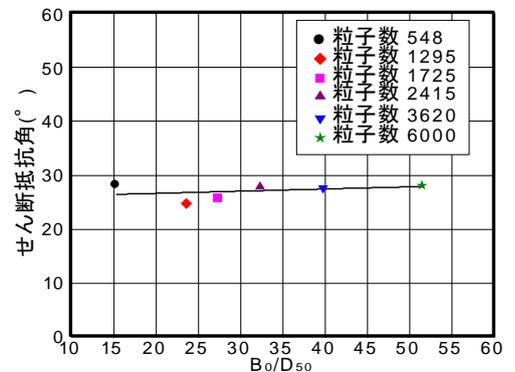


図 5 せん断抵抗角と B_0/D_{50} の関係

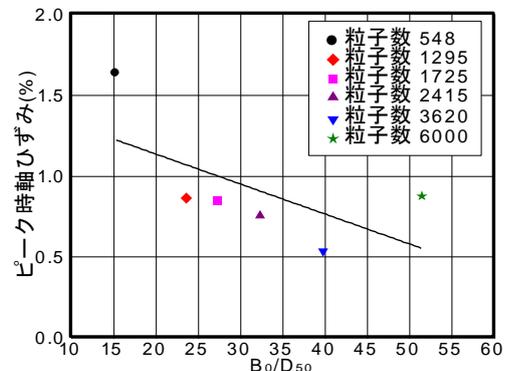


図 6 ピーク時の軸ひずみと B_0/D_{50} の関係

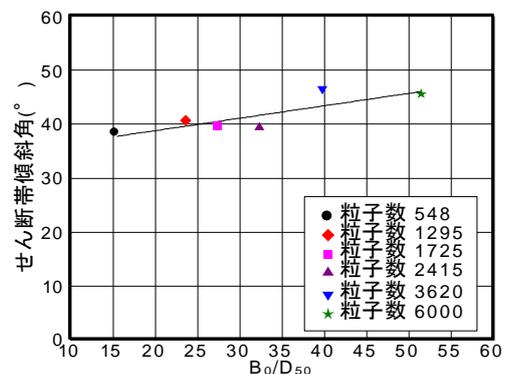


図 7 せん断帯傾斜角と B_0/D_{50} の関係