

主働状態における粒状体の平面ひずみせん断挙動

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
山口大学大学院 学生会員 庄麗
山口大学大学院 学生会員 梶原拓也

1. 序論

長大な盛土・堤防・トンネルのような土木工事に関する多くの地盤の応力状態は、一方向に直ひずみの生じない平面ひずみ状態としてとらえることが可能である。また、開削、トンネル工事、切土などの土工では、最小主応力が減少する主働状態となることが考えられるが、その条件下におけるせん断挙動の検討や、破壊に至る過程に対する観察や分析は多くない。そこで、本研究では平面ひずみ試験を実施し、粒子形状に着目して主働状態における平面ひずみせん断挙動を検討するとともに、PIV(Particle Image Velocimetry:粒子画像流速測定法)解析から局所変形挙動を分析した。

2. 平面ひずみせん断試験

供試体は断面 60mm×80mm、高さ 160mm の矩形である。飽和排水条件とした。試験機の特徴として、対面の拘束板が観察窓を兼ねており中間主応力面全体を観察することができ、平面ひずみ試験時のデジタル画像を取得できる。今回用いた試料は豊浦砂と粒子形状や粒径が均一な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密な状態となるよう作成した。試料を飽和させた後、等方圧密または異方圧密($K=0.5$)を1時間行い、以下の二つの試験を行った。一つは、最大主応力を一定に保ち、最小主応力を手動で減少させるので、最小主応力減少試験である。最小主応力の減少とともに減少する、最大主応力を所定の値に保つために、コンピュータ制御により、ひずみ速度 0.1%/min の鉛直変位を与える。もう一つは、等方圧密を1時間行った後、最小主応力を一定に保ち、ひずみ速度 0.1%/min で軸変位を与える最大主応力増加試験である。なお、試験中は2分ごとにデジタル画像を取得した。

3. 主働状態における平面ひずみせん断挙動

図-1、図-2 は縦軸に軸差応力、横軸には平均有効応力をとった応力経路を示した図である。ここで、平均有効応力は最小主応力と最大主応力の平均によって与えられる。ガラスビーズ・豊浦砂のどちらに関してもほぼある破壊線上でピークを迎えていることがわかった。破壊線の傾きは、ガラスビーズは 1.35、豊浦砂は 1.56 を示した。図-3、図-4 は軸ひずみと主応力比及び

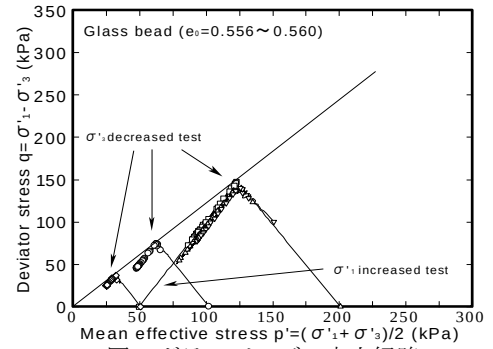


図-1. ガラスビーズの応力経路

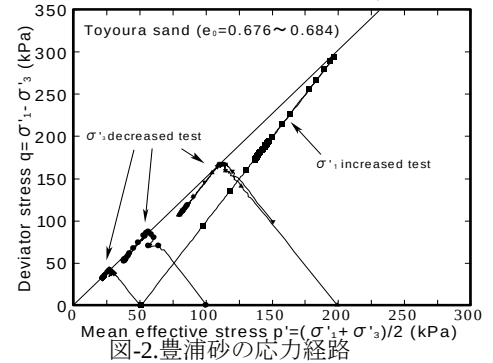


図-2. 豊浦砂の応力経路

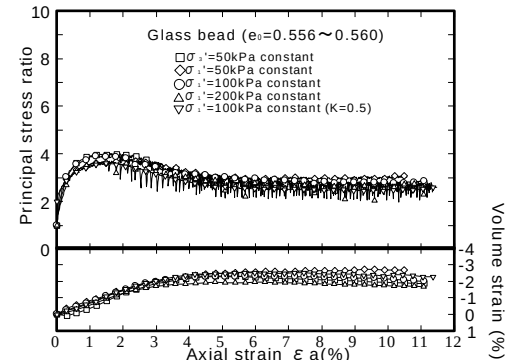


図-3. 軸ひずみと主応力比及び体積ひずみの関係

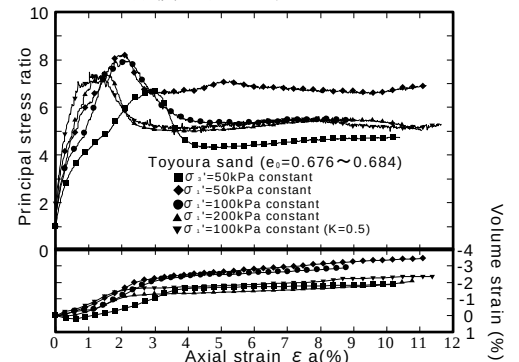


図-4. 軸ひずみと主応力比及び体積ひずみの関係

体積ひずみの関係を示したものである。ガラスビーズの応力ひずみ挙動が初期拘束圧及び応力経路にほとんど依存しないことがわかる。一方、豊浦砂のそれは、拘束圧が増加するにつれ主応力比が減少し、体積変化は拘束圧が増加につれておおきな膨張を示す傾向がみられた。また、どちらの試料に関しても、体積変化は最大主応力増加試験の場合、最初収縮した後、膨張に向う傾向を示したが、最小主応力減少試験の場合では、最初から膨張し続ける傾向がみられた。豊浦砂のピーク応力比は、ガラスビーズのそれよりも2~3 大きな値を示した。図-5 はひずみ 0.2%時におけるヤング係数と初期拘束圧を示したものである。どちらの試料においても、初期拘束圧の増加とともにヤング係数も増加することや、豊浦砂のヤング係数の方が大きいことがわかる。また、異方圧密は正規圧密よりも低い値を示す。図-6 はせん断抵抗角と破壊主応力の関係を表した図である。この関係は、どちらの試料においても、ほぼ一本の直線で示すことができ、せん断抵抗角において応力経路依存性はみられない。豊浦砂では、破壊時の平均応力の増加に伴いせん断抵抗角が減少しており、破壊時の平均応力の影響が認められる。ガラスビーズでは、ほぼ近似線が水平であるため破壊時の平均応力の影響は認められない。また、豊浦砂のせん断抵抗角はガラスビーズより約 15° 高い結果であった。

図-7、図-8 はガラスビーズ、豊浦砂の最小主応力減少試験における初期拘束圧 100kPa の軸ひずみ 1~5% 付近の PIV 解析手法により得られた最大せん断ひずみのコンター図である。ガラスビーズにおいては、せん断帯傾斜角は豊浦砂より緩く、せん断帯がほぼ左右対称に形成されている。これは粒子形状及び粒径にばらつきがなく、均一であるために起きたと考えられる。また、豊浦砂においては、ガラスビーズよりも急なせん断帯傾斜角を形成し、せん断帯は右上から左下に一つだけ発達した。

4. 結論

本研究では、ガラスビーズと豊浦砂を用いて、粒状体の主働状態となる最小主応力減少試験を実施し、以下のことを明らかにした。(1) 粒子形状や粒径が均一なガラスビーズでは、応力ひずみ関係は、応力経路の影響を受けない。(2) 豊浦砂の応力ひずみ関係には初期拘束圧、応力経路の影響を受ける。(3) 豊浦砂のせん断帯抵抗角と破壊時の主応力の関係は破壊時の平均応力が増加するにつれて、せん断抵抗角が減少する傾向を示す。(4) ガラスビーズは左右対称のせん断帯、豊浦砂は 1 つのせん断帯を形成しやすい。

参考文献 1) 梶原拓也：PIV 解析手法を適用可能な砂の平面ひずみ試験装置の開発 土木学会中国支部論文集 第 62 回 III-29 平成 22 年

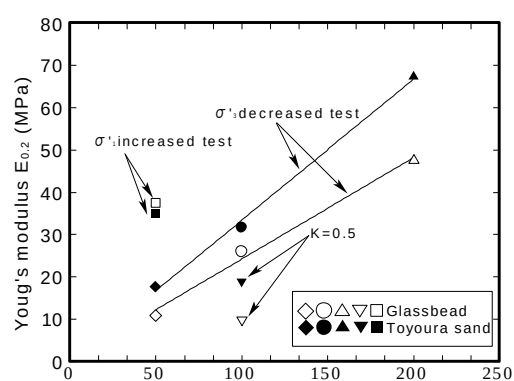


図-5.ひずみ 0.2%時のヤング係数と初期拘束圧

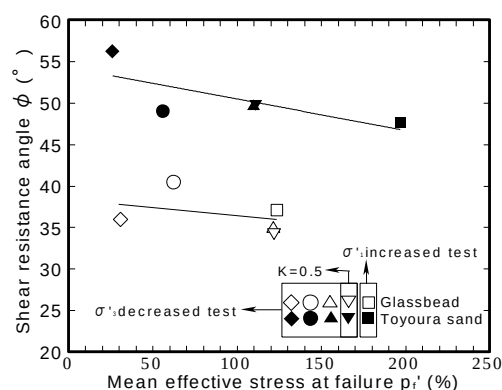


図-6.せん断抵抗角と破壊時の主応力の関係

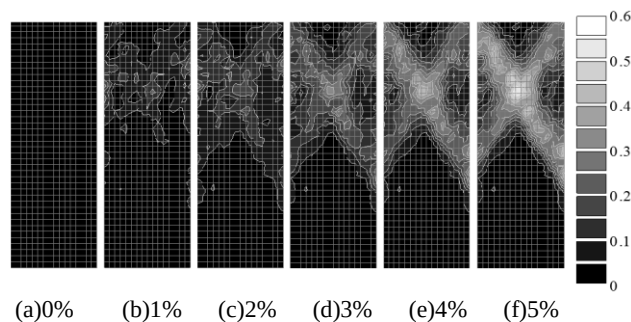


図-7.各軸ひずみにおけるガラスビーズの最大せん断ひずみコンター図

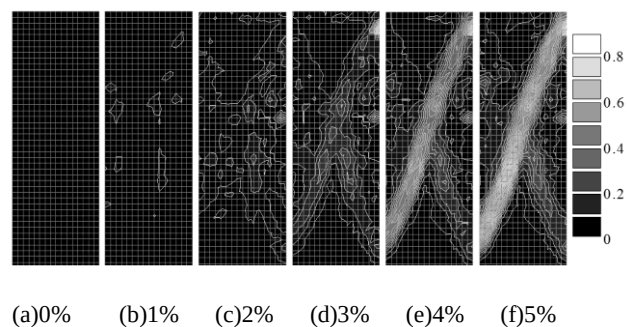


図-8.各軸ひずみにおける豊浦砂の最大せん断ひずみコンター図