

間隙水圧の繰返し増減による砂の平面ひずみせん断挙動

山口大学大学院 学生会員 ○岡元 拓也
 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
 八千代エンジニアリング 非会員 梶原 拓也

1. 序論

豪雨により斜面崩壊が発生する際に地下水位の上昇が観測されることがある。地下水位の増減が斜面崩壊に大きく関係していることが指摘されているが、十分な検討がなされているとは言い難い。そこで、本研究では平面ひずみ試験装置を用い、間隙水圧を繰返し増減させ、その振幅の違いによる砂の平面ひずみせん断挙動を検討した。

2. 平面ひずみせん断試験

2.1 試験装置 図-1に示すような斜面地盤の応力状態に近い条件で実験が可能な平面ひずみ試験装置2)を用いた。本試験装置の特徴として、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。拘束板が観察窓を兼ねておりこの観測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等が挙げられる。

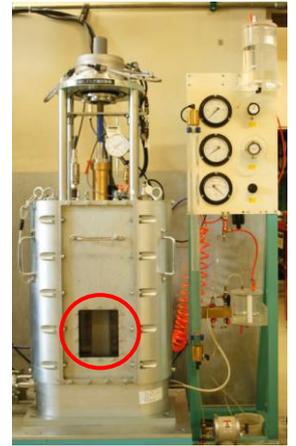


図-1 平面ひずみ試験装置

2.2 試料・供試体作製方法 本研究で用いた試料は豊浦砂である。供試体は60mm×80mm、高さ160mmの矩形であり、5層にわけ空中落下法を用いて目標相対密度80%となるように作製した。

2.3 試験方法 試験は飽和排水条件とし、圧密を行った後、図-2に示すように、設定した軸差応力までひずみ制御0.1%/minで圧縮を行う(①)。設定した軸差応力に達した後、軸差応力を一定に保ちながら間隙水圧を増加させ、平均応力を減少させる(②)。さらに応力を保ちながら、間隙水圧を減少させ平均応力を増加させる(③)。この後②、③のような間隙水圧の増減を繰返し行う。なお、5回繰返して破壊が発生しない場合は間隙水圧をさらに増加させて破壊させる(⑤)。保持する軸差応力の値は別途行った圧縮試験の残留状態時の値とし、初期拘束圧

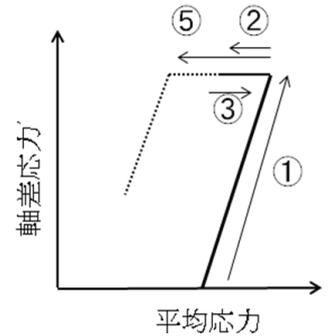
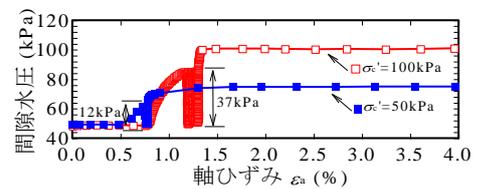
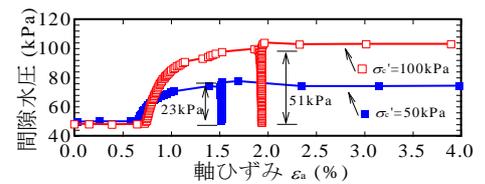


図-2 応力経路概念図

50kPa、100kPaの軸差応力は190kN/m²、320kN/m²とした。間隙水圧の増減振幅が小さい場合として、初期拘束圧 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ で振幅 $u_{\text{cyc}}=12\text{kPa}$ 、初期拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ で振幅 $u_{\text{cyc}}=37\text{kPa}$ とした。すなわち圧縮試験の破壊線から1.0kN/m²手前まで平均応力を変動させている。また、振幅の大きい場合として、 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ で $u_{\text{cyc}}=23\text{kPa}$ 、 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ で $u_{\text{cyc}}=51\text{kPa}$ とした。軸差応力を保持できなくなった所で間隙水圧の増減をやめ、ひずみ制御0.1%/minで圧縮を与える。



(a) 間隙水圧振幅 12kPa 及び 37kPa



(b) 間隙水圧振幅 23kPa 及び 51kPa

図-3 間隙水圧と軸ひずみの関係

3. 間隙水圧の繰返し増減による平面ひずみせん断挙動

図-3は縦軸に間隙水圧、横軸に軸ひずみを示した図である。図3-(a)の振幅が小さい場合では、1回目の間隙水圧の増加時に軸ひずみが進行するが、その後5回目まで間隙水圧を増減させても軸ひずみは初期拘束圧50kPa、100kPaで0.02%、0.08%しか進行しなかった。そのため、間隙水圧をさらに増加し破壊させた。この時の最大応力比は8.0と7.9

であった。また、図 3-(b)の振幅が大きい場合では間隙水圧 1 回目の増加時は軸ひずみが初期拘束圧 50kPa, 100kPa で 0.86%, 1.15% だけ進行した。そして、1 回目の減少時には 0.01%, 0.04%の軸ひずみが生じただけであった。その後 2 回目の間隙水圧増加時に、間隙水圧が 77kPa, 104kPa に達したところで、軸ひずみが一気に生じた。この時の最大応力比は 8.66 と 7.8 であった。図-4, 図-5 は縦軸に軸差応力、横軸に平均応力を示した図である。間隙水圧を繰返し増減させることにより破壊させると、圧縮試験によって求めた破壊線を越えて破壊することがわかる。振幅が小さい場合は初期拘束圧 50kPa, 100kPa でそれぞれ平均応力が破壊線を 7kN/m², 15kN/m² 越え、せん断抵抗角では 3.0°, 5.2° 大きくなった。また、振幅が大きい場合で初期拘束圧 50kPa, 100kPa ではそれぞれ平均応力が破壊線を 7kN/m², 9kN/m² 越え、せん断抵抗角では 3.3°, 3.4° 大きくなった。図-6, 図-7 は縦軸に軸差応力及び体積ひずみ、横軸に軸ひずみを示した図である。振幅が小さい場合は間隙水圧を 5 回繰返し増減させても軸差応力が低下することはなかった。そこで間隙水圧を破壊にいたるまで増加させると、軸差応力は初期拘束圧 50kPa, 100kPa で 110kN/m², 176kN/m² まで低下した。この時のせん断抵抗角は 43°, 41° であった。初期拘束圧 50kPa で繰返し中に軸ひずみは 1 回目増加時に 0.60% から 0.75% まで進行しその後、繰返し 5 回目までで 0.02% だけ進行し、間隙水圧をさらに増加させると破壊に至りこの時軸ひずみは 1.7% まで進行した。初期拘束圧 100kPa では繰返し中に軸ひずみは 1 回目増加時に 0.70% から 1.15% まで進行しその後、繰返し 5 回目までで 0.08% だけ進行し、間隙水圧をさらに増加させると破壊に至りこの時軸ひずみは 1.8% まで進行した。また、振幅が大きい場合は、繰返し 1 回目の間隙水圧増加時に軸差応力が約 10kN/m² の低下が認められたが軸差応力を保った。2 回目の間隙水圧の繰返しで軸差応力が大きく低下し軸ひずみが進行した。初期拘束圧 50kPa では繰返し中に軸ひずみは 1 回目増加時に 0.65% から 1.51% まで進行し 2 回目で破壊し 1.91% まで進行した。初期拘束圧 100kPa では繰返し中に軸ひずみは 1 回目増加時に 0.70% から 1.90% まで進行し 2 回目で破壊し 2.10% まで進行した。

4. 結論

本研究は平面ひずみ試験装置を用い、間隙水圧を繰返し増減させ、砂の平面ひずみせん断挙動を検討した。その結果、破壊線を越えない繰返しにおいて破壊を示すこと、また、一度間隙水圧を受けた後繰返し中には変形が進行しない、さらに破壊に達すると変形が一気に生じることが明らかになった。

【参考文献】 1) Orense, R., Farooq, K. and Towhata, I.: Deformation behavior of sandy slopes during rainwater infiltration, *Soils and Foundations*, 44, 2, 15-30, 2004.

2) 梶原拓也, 庄麗, 中田幸男, 兵動正幸, 吉本憲正: 平面ひずみ圧縮を受けた砂の粒子形状と変形・破壊挙動, 第 46 回地盤工学研究発表会, 377-378, 2011.

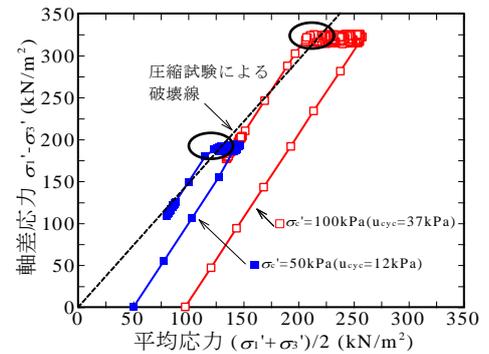


図-4 振幅が小さい場合における応力経路

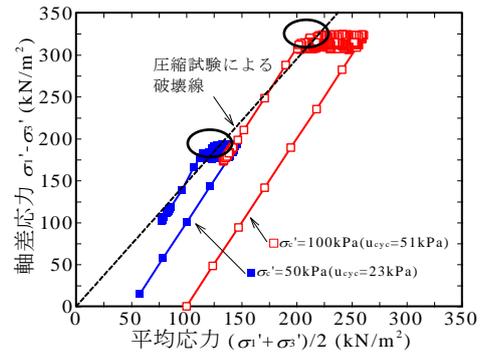


図-5 振幅が大きい場合における応力経路

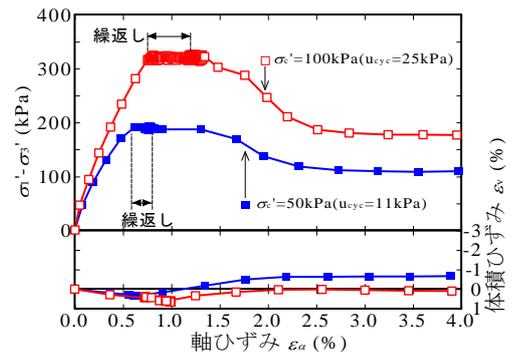


図-6 振幅が小さい場合における軸差応力及び体積ひずみと軸ひずみの関係

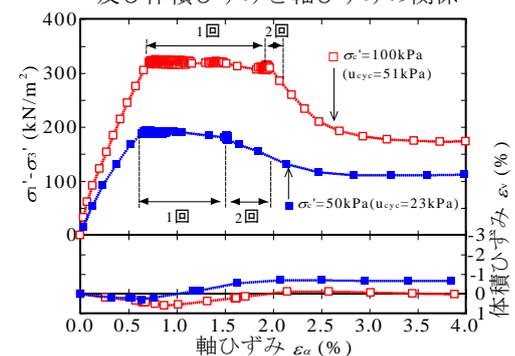


図-7 振幅が大きい場合における軸差応力及び体積ひずみと軸ひずみの関係