PIV 解析による破砕性材料のせん断挙動の把握

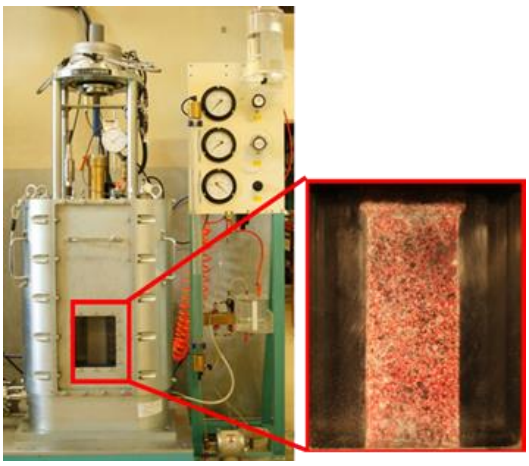
山口大学大学院　学生会員　○西原　尚輝
山口大学大学院　正会員　中田　幸男

１．目的 土の力学的挙動の中でもピーク強度を発揮するまでの挙動は重要な研究課題であり，ひずみの局所化について様々な研究[1)]が行われている．ただし，ひずみの局所化と粒子破砕の関係についてはほとんど研究が行われていない．粒子破砕は粒子形状を変化させること[2)]からひずみの局所化に影響を与えると考えられる．そこで本研究では破砕性材料，非破砕性材料を用い平面ひずみ圧縮試験及び PIV 解析（画像解析）を行い，粒子破砕がせん断帯挙動，特にひずみの局所化に与える影響について検討を行った．

２．試験概要

２-1. 用いた試料　非破砕性材料として豊浦砂，破砕性材料としてサンゴ砂を用いた．豊浦砂は石英の粒子を多く含み，粒子破砕を生じにくい．一方，サンゴ砂は炭酸カルシウムを主成分とするため，粒子破砕を起こしやすい．

２-２．平面ひずみ圧縮試験　本研究では写真 1 に示す平面ひずみ圧縮試験機を用いて実験を行った．この装置は拘束板を試験機前後に設置し，中間主応力方向の変形を拘束することで実地盤の応力状態に近い条件で実験することを可能としている．また，透明な拘束板を用いることで供試体が変形する様子を確認できる．供試体は 6×8×16cm であり，相対密度は 65%あるいは 75%を目標とし，5 層に分けて締め固めて作製した．試験は有効拘束圧 200kPa，軸ひずみ 0.1%/mm で軸ひずみ 10%に達するまで静的せん断を行った．せん断の際に軸ひずみ 0.1%毎に供試体を撮影した．以降では 0.1%/mm 毎に生じるひずみの増分をコンター図と示し考察する．せん断後に粒度分布を測定し粒子破砕の確認を行なった．



(a)試験機写真　　(b)供試体写真

写真 1　平面ひずみ圧縮試験機

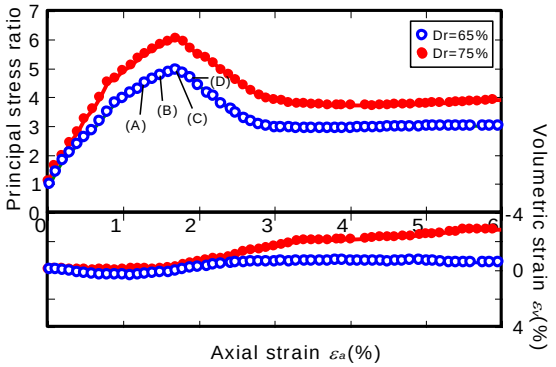


図 1　豊浦砂の応力ひずみ関係

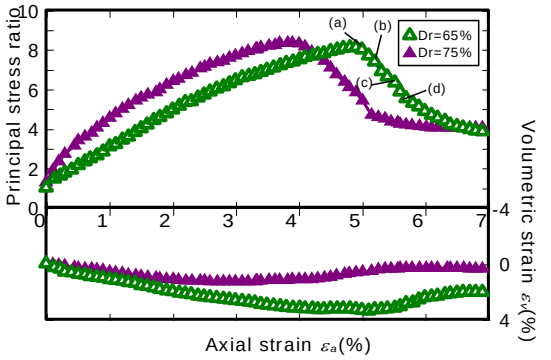


図 2　サンゴ砂の応力ひずみ関係

３．試験結果

３－１．応力ひずみ関係　豊浦砂およびサンゴ砂の応力ひずみ関係を図 1，図 2 に示す．主応力比における，ピークの軸ひずみは豊浦砂の D_r=65%で 1.8%，D_r=75%で 1.8%，サンゴ砂では D_r=65%で 5.0%，D_r=75%で 4.0%であった．ピークに達するまでにサンゴ砂は豊浦砂よりも多くの軸ひずみを要することがわかる．また，サンゴ砂は豊浦砂よりも強度が高い結果となった．体積ひずみでは，すべての供試体で収縮から膨張傾向に移り変わる様子が観察できる．ただし，サンゴ砂は豊浦砂よりも収縮傾向が非常に強く，また収縮から膨張に移り変わるには大きな軸ひずみを要することが確認できる．

キーワード　PIV，粒子破砕，せん断帯
連絡先　〒755-0097 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1　山口大学大学院
ＴＥＬ　0836-85-9300

３－３．粒子破砕の確認　図 3 にサンゴ砂相対密度 65%に対する試験前後のせん断帯形成部における粒度分布を示す．粒度分布の変化からせん断の際，サンゴ砂は粒子破砕を起こすことがわかる．

３－４．ひずみの局所化　図 4 に豊浦砂 D_r=65%，図 5 にサンゴ砂 D_r=65%の最大せん断ひずみ増分（以降要素$d\gamma_{max}$）のコンター図を示す．本研究では図 4 のように要素$d\gamma_{max}$がある一部分に集中していくことをひずみの局所化と定義し，図 4(C)のようにある帯状に要素$d\gamma_{max}$が集中した時を局所化の終了つまりせん断帯形成と定義した．豊浦砂 D_r=65%では軸ひずみ 2.0%時 D_r=75%では 2.1%の時にせん断帯形成が確認された．豊浦砂はピーク強度付近でせん断帯が形成されることがわかる．一方でサンゴ砂 D_r=65%では軸ひずみ 5.7%時 D_r=75%では軸ひずみ 4.9%の時にせん断帯形成が確認された．サンゴ砂は残留強度付近でせん断帯が形成されることがわかった．

３－５．体積ひずみ増分の分布　図 6 に豊浦砂，図 7 にサンゴ砂の体積ひずみ増分のコンター図を示す．いずれのコンター図でもせん断が形成された時，せん断帯形成部は膨張であることがわかる．しかし，せん断帯が形成される前の軸ひずみを見ると，豊浦砂は膨張の要素が多くみられる（図 6(C)）が，サンゴ砂の場合収縮，膨張どちらの要素を含むこと（図 7(c)）が観察される．また，せん断帯部の体積ひずみ増分は，豊浦砂のピーク状態である軸ひずみ 1.8%では，膨張であるのに対し，サンゴ砂のそれである軸ひずみ 5.0%では，収縮であることがわかる．

４．まとめ　本研究では破砕性材料と非破砕性材料の平面ひずみ試験及び画像解析の結果を比較することで粒子破砕がせん断帯形成に与える影響について検討を行った．いずれの材料でも軸ひずみが大きくなると，せん断帯形成部では膨張を起こし，ひずみが局所化することによってせん断帯が形成されることがわかった．しかし，粒子破砕が生じる材料では収縮傾向を示すためせん断帯の形成には大きな軸ひずみを要することがわかった．

参考文献

1)J.Desrues , G.Viggiani ：Strain localization in sand: an overview of the experimental results obtained in Grenoble using stereophotogrammetry ,International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 28,pp.279-321,2004

2)三浦哲彦,山内豊聡：砂のせん断特性に及ぼす粒子破砕の影響,土木学会論文報告集,第 260 号,1977.

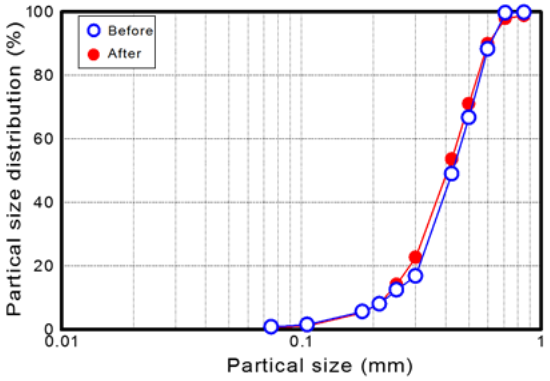


図 3　粒子破砕の確認

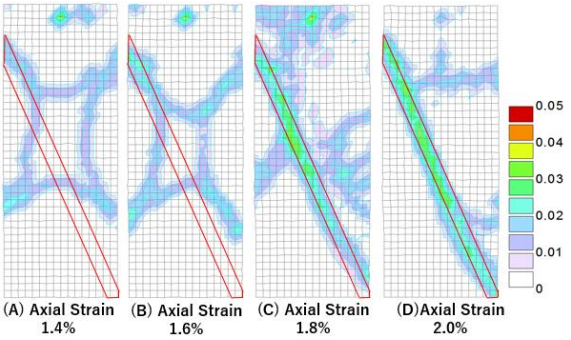


図 4　豊浦砂 D_r=65 の要素$d\gamma_{max}$

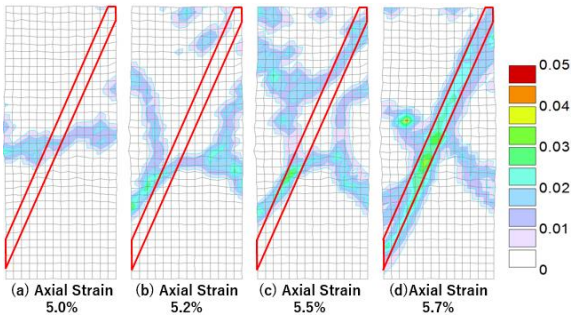


図 5　サンゴ砂 D_r=65%の要素$d\gamma_{max}$

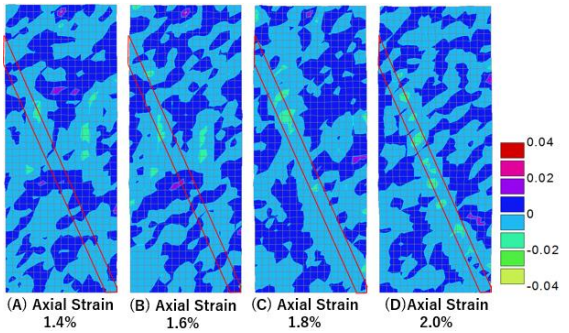


図 6　豊浦砂 D_r=65%の体積ひずみ増分

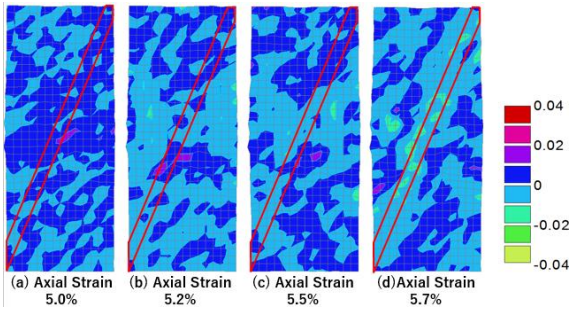


図 7　サンゴ砂 D_r=65 %体積ひずみ増分