

浸透を受けた締固め土の変形特性に与える初期応力の影響

山口大学大学院 学生会員 ○劉 丹 Qiao Hui

山口大学大学院 正 会 員 中田幸男 兵動正幸 吉本憲正

1.はじめに

近年の降雨による盛土の斜面崩壊の発生により、崩壊メカニズムの解明が望まれるようになってきている。この解明のためには、斜面内の要素が不飽和から飽和状態となる過程での力学特性を調べる 것이重要である。さらに、この過程における浸透の影響を理解すること¹⁾により、詳細な不飽和土のモデルの提案につながり、数値解析および斜面安定解析に取り込むことでメカニズムの解明できることになる。本研究では、下部から浸透を受けた締固め土の変形特性を把握するために一連の要素実験を行った。ここでは、特に、浸透を受ける応力状態の影響を把握することを目的とした。

2.実験概要

本研究に用いた試料は宇部まさ土である。供試体は、初期含水比 10%に調整した宇部まさ土をモールドに入れた後、相対密度 90%となるように締固めするという作業を繰り返して作成した。なお、供試体寸法は直径 50mm、高さ 100mm であり、ラバーメンブレンは厚さ約 0.25mm のものを使用した。今回の試験では、まさ土を有効拘束圧は $\sigma_3 = 50\text{kPa}$ 、 100kPa 、 200kPa まで等方圧密した後、応力比 $R = \sigma_1 / \sigma_3$ がそれぞれ 2.5, 3, 4 まで 0.1mm/min の変位速度一定でせん断を行い、供試体が安定するまで保持した後、1 時間応力を保持しながら水を供試体の下部から浸透（定水位と変水位）させた。1 時間経過後、浸透を停止して、軸ひずみ 15%まで続けてせん断を行った。

用いた三軸試験機は、軸と供試体が連動して回転し供試体全周面をデジタルカメラで撮影できる軸・供試体連動回転三軸試験機である²⁾。この装置により三軸試験時の供試体のデジタル画像を取得し、画像を解析することで三軸試験時の供試体の全体的な体積変化量や局所変形量の取得が可能となる。

3. PIV 解析手法により求められた速度ベクトル

本研究では供試体の局所変形を観察するため PIV による画像解析を導入した。ある変位状態の画像とその次の変位状態の画像を比較することで、最初の画像内の局所的な移動量 (pixel) を求め、それを実値(mm)に直し計測するものである。今回の実験に用いた画像の倍率は 0.041

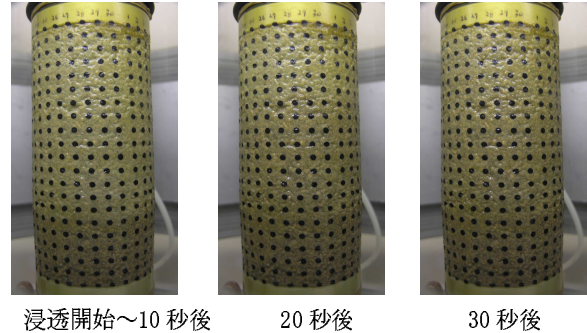


図-1 拘束圧 50kPa R 値=4 の実物写真

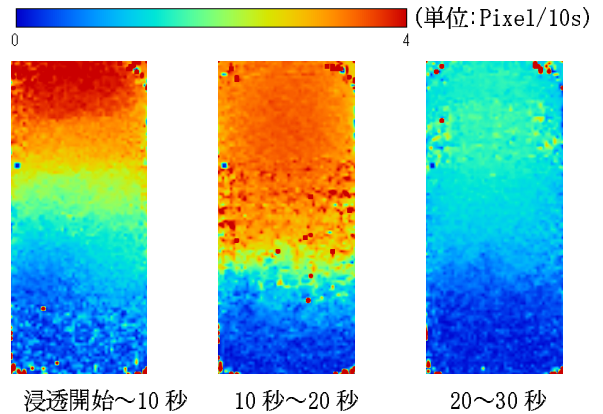


図-2 拘束圧 200kPa R 値=3 の解析できた速度ベクトル

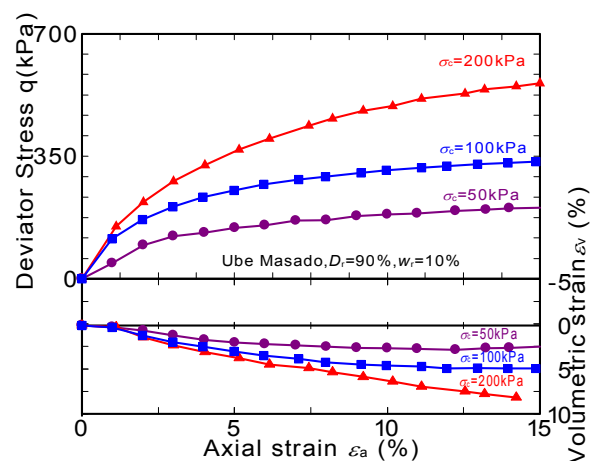


図-3 不飽和宇部まさ土の軸ひずみと体積ひずみ、主応力差の関係

mm/pixel となる。

図-1 は拘束圧が 50kPa, $R=4$ の場合、浸透開始から 10 秒、20 秒、30 秒後に取得した画像である。この画像から明らかに浸透による供試体内部で飽和度の変化が下部から上部に移動していることがわかる。また、浸透と共に、供試体の高さが減少していることも認められる。図-2 は拘束圧 200kPa, $R=3$ の場合、浸透開始から 10 秒、10 秒から 20 秒、20 秒から 30 秒の間において PIV により解析された速度分布を示している。速度分布は 0~4(pixel/10s) の範囲にある。解析された結果により、速度の大きな領域が供試体の上部に認められ、時間とともに徐々に小さくなっていくことがわかる。

4.浸透実験における変形特性

図-3 は、PIV 画像解析により計測された不飽和宇部まき土の三軸せん断試験の結果について応力ひずみ関係を示したものである。いずれの拘束圧においても体積は膨張する傾向にある。膨張量は、拘束圧が大きくなるほど、増加する。図-4 は一定な応力状態($\sigma_3 = 50\text{kPa}$, $R=2.5, 3, 4$ を例として)のもとで浸透を与えた不飽和三軸せん断試験結果と浸透を与えていない三軸せん断試験を比較したものである。クリープの部分に着目すると、 R の値が大きくなるほど浸透中の軸ひずみの変化も大きくなる。 $R=4$ の場合には、浸透中軸ひずみが 15%に達した。図-5 は拘束圧 50kPa, 100kPa, 200kPa の $R=3$ の結果について浸透中の軸ひずみと時間の関係を示したものである。時間の経過とともに、速度ひずみが小さくなる。また、拘束圧の増加とともに軸ひずみ速度は大きくなる。図-6 は拘束圧 50kPa, 100kPa, 200kPa の $R=3.8$ の場合の時間と軸ひずみの関係である。図-5 の傾向と異なり、時間が経過するほど、軸ひずみ速度が大きくなり、浸透中供試体の軸ひずみは 15%に達した。

5.まとめ

本研究では、浸透を受けた不飽和締固め土の三軸試験を行い、主応力比、拘束圧の応力状態が浸透中の変形特性に与える影響を検討した。その結果、主応力比が高い場合に軸ひずみが 15%を超えることが認められた。

6.参考文献

- 1) Khalid Farooq, Rolando Orence and Ikuo Towhata: Response of unstaturated sandy soils under constant shear stress drained condition, Soil and foundations, Vol.44, No.2, 1-13, 2004
- 2) 吉川直孝, 中田幸男, 兵動正幸, 村田秀一, 西尾伸也: 画像処理技術を用いた三軸試験における砂質土のせん断層の評価, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.1, pp.59-71, 2007.

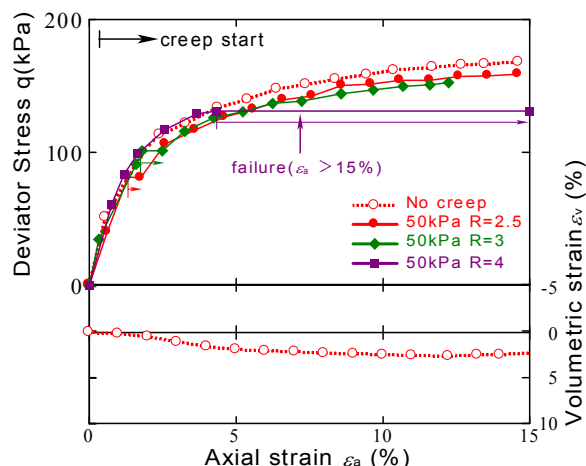


図-4 浸透中拘束圧 50kPa の場合の軸ひずみと主応力、および体積ひずみの関係

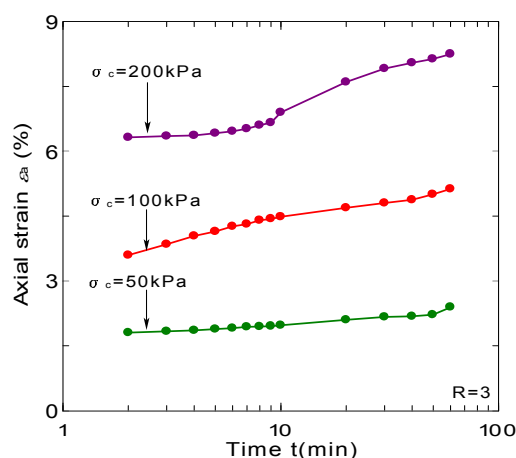


図-5 浸透中時間と軸ひずみの関係 $R=3$

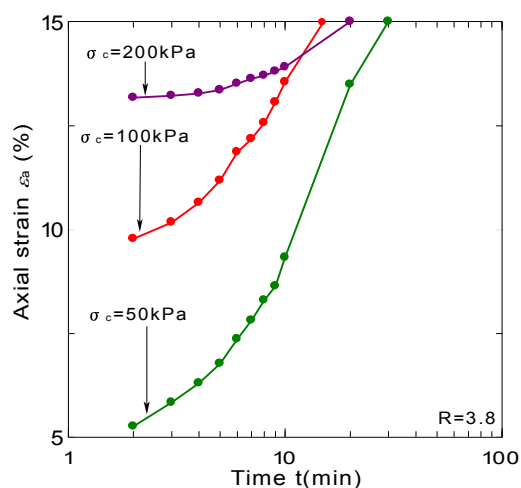


図-6 浸透中時間と軸ひずみの関係 $R=3.8$