

PIV を用いたひずみの局所化の観察

Observation of strain localizations through PIV

村上 章*・ 西村裕希*・ 西山竜朗*

Akira Murakami, Hiroki Nishimura and Tatsuro Nishiyama

1. はじめに 本研究では、ひずみの局所化挙動の解明を目的として、砂質土供試体に対する平面ひずみ圧縮試験におけるせん断帯発生を測定した。

砂質土供試体を非排水条件下で圧縮せん断した場合、与える強制変位が小さい範囲では、供試体は均一な変形を続ける。強制変位が大きくなり、ピーク強度に近づく、樽型に膨らむ不均一な変形を示すようになる。この時、供試体内部にはひずみの局所化が観察される。その結果、最終的に一つのせん断帯が形成され、供試体は破壊に至る¹⁾。

ここに、有限要素法をはじめとする数値解析^{2),3)}により破壊を伴う大変形を予測するには、せん断帯発生効果を解析に取り込む必要が生じる。そのため、せん断帯内部の局所的な情報を前もって知っておかなければならない。しかし、実際問題として、供試体内部の変形を直接測定することはきわめて困難である。まず、土を構成する個々の粒子の追跡は、土粒子の大きさが微細であるためにほとんど不可能である。また、マーカーを代表点として変位を追跡する方法では、マーカー間の間隔がせん断帯幅より大きくなってしまい、局所的な変形量を測定するに至っていない。

ここでは、より多くの点を解析できるよう PIV 演算および高速度ビデオカメラを用い、砂質土の変形を測定した。

2. 砂質土の圧縮試験 図 1 に試験機の概要を示す。セル内に載荷板を設け、 $L75 \times W85 \times H30\text{mm}$ の直方供試体に底部方向から軸変位を与える。変形を拘束する面 (σ_2 面) には、粒子の挙動が観察できるよう、厚さ 10mm のアクリル板がはめ込んである。一定の側圧を与えるため、注水したゴムスリーブを供試体の左右に配置した。ゴムスリーブはチューブで水槽と連結されており、水压を制御できる。供試体の境界における摩擦を軽減するために、上下載荷板・アクリル板表面にはシリコングリースを塗布した。

供試体材料には豊浦標準砂を用いた。表 1 にその主な物理的性質を示す。供試体の作成においては、乾燥砂を空中落下法によりモールド内に均一に詰め、飽和度 $S_r=70\%$ で所定の寸法に成形後、構造を崩さずにセル内に設置できるように凍結させた。試験時には、凍結供試体をセル内にセットした後、側圧 0.1MPa の下で放置し解凍した。

試験過程においては、0.1MPa 等方圧密の後、定軸ひずみ速度非排水せん断を行った。試験条件を表 2 に示す。

試験の様子を高速度ビデオカメラ (図 2) を用いて撮影した。得られた画像データは、フレームメモリユニットを介して画像計測用パソコンに取り込んだ。取り込んだ画像を PIV 演

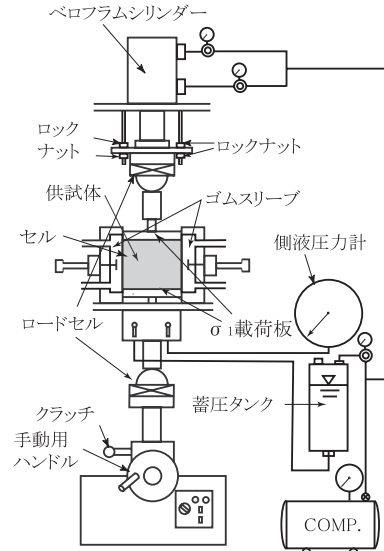


図 1: 平面ひずみ試験機

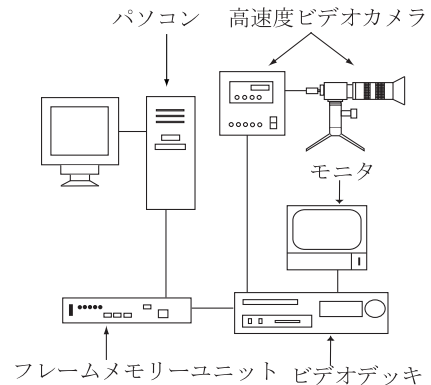


図 2: 画像解析システム

表 1: 豊浦砂の物理的性質

$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.649
d_{max}	0.42
U_c	1.57
e_{max}	0.97
e_{min}	0.60

表 2: 試験条件

平面ひずみ試験	
排水条件	非排水
側方圧	0.1MPa
軸ひずみ速度	0.125%/min

* 岡山大学大学院自然科学研究科, Graduate School of Natural Sci. & Tech., Okayama University

Keywords: PIV, ひずみの局所化, 砂質土

算処理し，供試体内部の変位場（ベクトルマップ）を算出した．

3.PIV 演算 PIV とは流体解析手法の一つで，流れ場の中の粒子画像から流れのベクトルマップを作り，それをもとに様々な解析を行うものである．観察しようとする土にあらかじめマーカーなどを配置することなしに計測できることや，より多くの測定箇所を含む変形に適用できるため，せん断帯発生時における変位の測定に都合がよい．

PIV のアルゴリズムは次の通りである．連続して動作するトレーサ（粒子群）を撮影した画像データがあるとき，データ中のある部分に注目し，その部分が次の時刻の画像上ではどこへ移動したかを求める（図 3）．その演算を画像上に設定する等間隔メッシュ上において実行することにより，画像全体のベクトル成分を算出する．

ここでは，前節に説明した試験において，載荷板上昇開始時を初期状態として各解析時刻までの変位増分を PIV により算出し，次節に説明するひずみ解析の入力データを作成した．

4. ひずみ解析 実験から得られた変位場に対し，有限要素法で一般的に用いられる定ひずみ三角形要素を適用し，最大せん断ひずみ γ_{max} を算出した．有限要素法における節点は，画像解析時に設定した等間隔メッシュの各格子点とした．解析メッシュには，等間隔メッシュを 2 個に分割した定ひずみ三角形要素を用いた．

5. 結果 図 4 に，撮影画像およびこれらに対応するひずみ分布を $\epsilon_a=10.2\%$ および 10.3% 時について示す．なお，撮影画像の全領域を解析対象としたため，ひずみ分布図上には載荷板も描画されている．

図 4 において，下部載荷板の上昇に従い，局所的にひずみが顕在化した様子が見てとれる． $\epsilon_a=10.2\%$ において，左上端部から右斜め下へ向かうものと，供試体中心部に無数のひずみの局所化がみられる．だが， $\epsilon_a=10.3\%$ においては，前者は卓越し，後者は消滅している．したがって，最終的なせん断帯が形成される以前においては局所化したひずみが多数現れたが，最終的なせん断帯形成に寄与したのは供試体の端部から生じたもののみといえる．

6. おわりに 本研究では，砂質土の平面ひずみ圧縮試験におけるせん断帯の発生を測定し，妥当と思われる結果を得た．ここに，せん断帯形成機構を解明するためには 1) 載荷板間の摩擦による影響の定量的な評価，2) 撮影時に発生する振動の影響の補正，が必要と考えられる．

ここに報告した実験は科学研究費補助金（課題番号 14360144）によった．また，実験の遂行においては岡山大学 石橋央祐氏のご助力を賜った．ここに記し，謝意を表したい．

参考文献 1) 志比利秀：平面ひずみ非排水圧縮条件下における供試体寸法比の変化が正規圧密粘土の分岐荷重に及ぼす影響，土木学会論文集 No.666/ -53, pp.181-192, 2000. 2) 中井照夫：粘性土の変形の局所化メカニズムに関する解析的検討，応用力学論文集 Vol.5, pp.1-10, 2002. 3) 小林一三：地盤材料の力学的安定性と破壊現象，学位論文，金沢大学，pp.92-100, 1998.

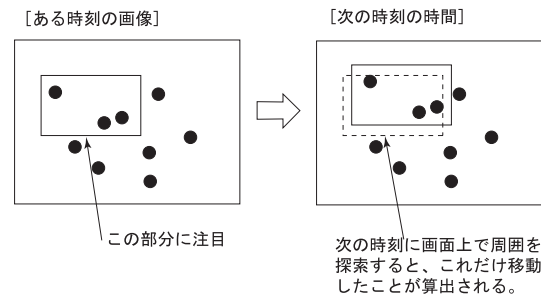


図 3: PIV の概略

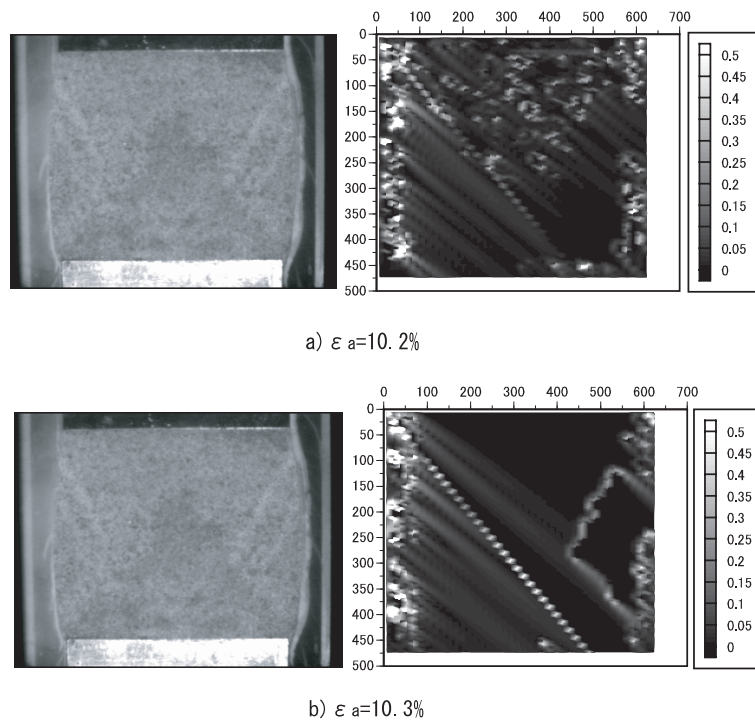


図 4: 解析結果:(左) 撮影画像，(右) γ_{max} 分布