

締め固めた礫の平面ひずみ圧縮試験における画像解析

東京大学生産技術研究所 正会員○堤 千花 非会員 Maqbool Sajjad 正会員 古関潤一

1. はじめに

密な地盤材料がせん断応力を受けると破壊に伴ってせん断層を生じ、変形が局所化されることが知られている。密な豊浦砂で平面ひずみ圧縮試験を行った結果、単調載荷時には供試体にピーク強度が発揮される前にひずみの局所化が開始する場合のあることがこれまでの研究¹⁾により明らかになった。本研究ではせん断中のこのような局所変形挙動を礫質土について調べるため、締め固めた礫質土の大型供試体で平面ひずみ圧縮試験を行い、画像解析により最大せん断ひずみ、体積ひずみ分布を求めた。また画像解析により算定した局所的なひずみと LDT などの局所変位計測装置による測定値を比較し、計測手法による供試体の局所変形測定結果の違いについて検討した。

2. 試験方法および画像解析

三軸セル上に組み立てたモールド内で平均粒径 11mm の千葉礫を突固めて断面 22×25cm、高さ 50cm の矩形供試体(乾燥密度 $\rho_d=1.95\text{g/cm}^3$)を作成し、セル圧は加えずに背圧として 78kPa の負圧を与えた。文献 2) に示す高容量の大型平面ひずみ圧縮試験装置を用い、不飽和のまま排水状態でひずみ速度 $\dot{\epsilon}=0.08\%/min$ として単調載荷した。ペダスタルの下にローラーベアリングを設置し、せん断層発生後の最小主ひずみ ϵ_3 方向の水平変位を拘束しないようにした。中間主ひずみ ϵ_2 方向の水平変位を抑える拘束板は片側をアクリル製とし、この面を通して供試体 ϵ_2 方向の側面全体の変形過程を 800 万画素のデジタルカメラで記録した。このデータの画像解析を行い、メンブレン上に 5mm 間隔で転写した標点の変位を求め、さらに図 1 に示すような 10mm 四方の 4 標点からなる要素内での平均的な最大主ひずみ ϵ_1 、最小主ひずみ ϵ_3 を計算した。

ϵ_3 方向の供試体両側面には供試体上部、中央部、下部においての軸ひずみ ϵ_1 と ϵ_2 方向の水平ひずみを測定するための LDT を各 3 対と、 ϵ_3 方向の水平ひずみを 2 箇所計測するためのカンチレバー型変位計(以降 CLDT)2 対を設置した。図 1 には以降の考察に用いる中央高さに取り付けた LDT と CLDT の設置状況を示す。

3. 試験結果

図 2 に平面ひずみ圧縮試験における偏差応力 $q_1(=\sigma_1-\sigma_3)$ と外部変位計により計測した全体的な軸ひずみ ϵ_{1_EXT} との関係を示す。供試体密度が中程度であるため、 $\epsilon_{1_EXT}=4.3\%$ でピーク強度を発揮するもののピーク前後の偏差応力はゆるやかに変化しており、残留状態への強度低下もそれほど顕著でないことがわかる。

図 2 に示した軸ひずみの各段階 1-5 における局所的な最大せん断ひずみ $\gamma_{max}(=\epsilon_1-\epsilon_3)$ 分布を図 3 に示す。図中のひずみ分布を示していない領域はアクリル拘束板の補剛材の位置と一致している。密な豊浦砂での試験と同様に、ピーク強度以前の $\epsilon_{1_EXT}=2.23\%$ の段階から供試体中央部でくの字型にひずみが局所化していることが分かる。その後もこの部分を中心とした領域でのみ γ_{max} が大きくなり、最終的には 2 方向の交差したせん断層が形成されている。この 2 方向のせん断層はピーク以降で上下端部を除いた供試体の広い範囲に分布したため、残留強度への低下が進行しにくかったものと推測される。図 4 には図 3 の各

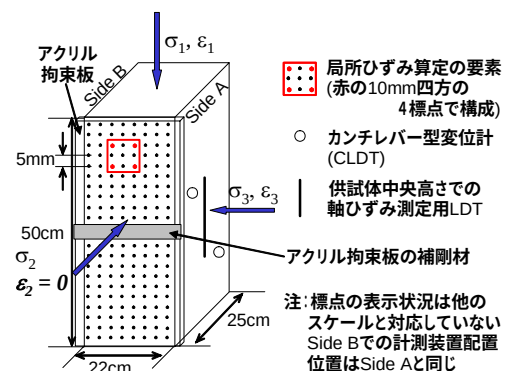


図 1 供試体の概要と LDT, CLDT の設置状況

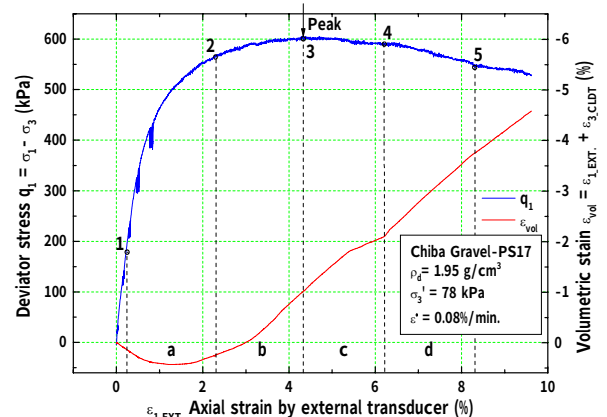


図 2 平面ひずみ圧縮試験における応力ひずみ関係

礫質土、平面ひずみ圧縮試験、画像解析、局所変形挙動

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 古関研究室 Tel 03-5452-6421

段階間での局所的な体積ひずみ増分 $\Delta\varepsilon_{vol}(=\Delta\varepsilon_1+\Delta\varepsilon_3)$ の分布を示す。载荷初期には供試体全体が収縮傾向を示していること、いずれの段階においてもせん断ひずみが局所化した位置では膨張側に体積ひずみが増加していることがわかる。

画像解析から算定したひずみと局所変位計測装置から測定したひずみを比較する。横軸に LDT, CLDT から測定したひずみ、縦軸に画像解析から算定したひずみを取り、図 6 に軸ひずみ、図 7 に水平ひずみの各値を示す。図 5 には各ひずみの定義と位置関係を示し、図 6、図 7 の凡例はこの定義に従うものとする。また LDT の計測範囲の限界により、図 6 では外部変位計による軸ひずみが 2.23%、すなわち図 3 のひずみ分布のちょうど 2 段階目までの計測値について検討する。

図 6 によると、両側の LDT に対応する画像解析結果はおおむね一致している。一方軸ひずみが 1% 以上の範囲において、供試体中央高さの要素の平均値 ε_{1EM} は LDT 計測値の平均値 $(\varepsilon_{1LA}+\varepsilon_{1LB})/2$ よりも大きい。 ε_2 方向の供試体側面 (ε_2 面) における中心部の標点で求めた軸ひずみ ε_{1PC} から分かるように、これは ε_2 面の中心部における変形が左右両端よりも大きいためである。

図 7 で上下の CLDT と対応する画像解析結果は水平ひずみが 4% 程度まではほぼ同じ値を示しているが、その後载荷が進むにつれて下部の計測値の差が大きくなってゆくの分かる。この明確な原因は現時点では不明であり、CLDT の検定精度や設置状況、あるいは設置位置での粒径の大きい礫の存在の影響などについて検討する必要がある。

図 6、図 7 において供試体全体の要素の平均ひずみ ε_{1EW} および ε_{3EW} は中央高さのみの平均値 ε_{1EM} および ε_{3EM} よりも小さい。これは図 3 にも示したように供試体の中央高さでの変形が最も著しく、上下端面に近い部分ではあまり変形が生じていないためである。

4. まとめ

- ・ 締め固めた礫の平面ひずみ圧縮試験においても、密な豊浦砂と同様にピーク強度以前の段階からひずみの局所化が開始することが観察された。
- ・ 供試体の変形は同一の高さであっても一様でないため、両側面に設置した局所変位計測装置による軸ひずみと、画像解析により同一の高さで平均的に求めた値は、载荷が進むにつれてそれぞれ異なった増加傾向を示した。

＜参考文献＞1) 古関潤一ら：密な豊浦砂の平面ひずみ条件下でのピーク強度特性に及ぼす繰返し载荷の影響，日本地震工学会大会，2005 2) 佐藤剛司ら：砂礫材料用高容量平面ひずみ圧縮試験装置の開発，第 40 回地盤工学研究発表会，2005

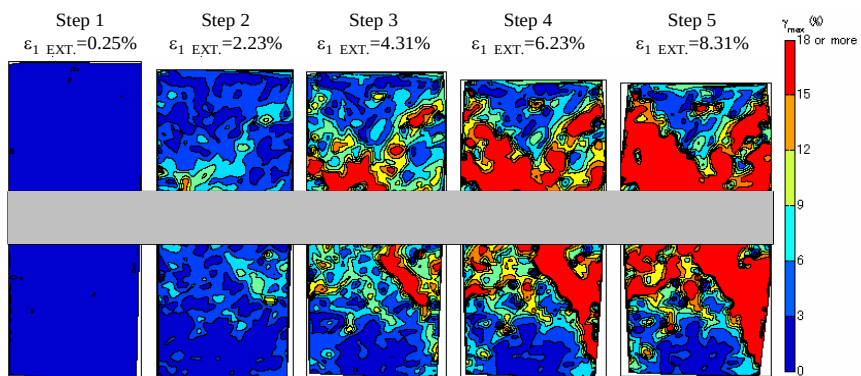


図 3 平面ひずみ圧縮試験中の局所的な最大せん断ひずみ分布

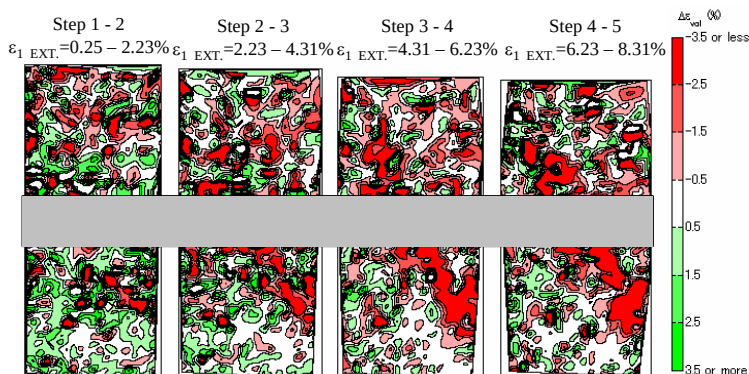


図 4 平面ひずみ圧縮試験における局所的な体積ひずみ増分の分布

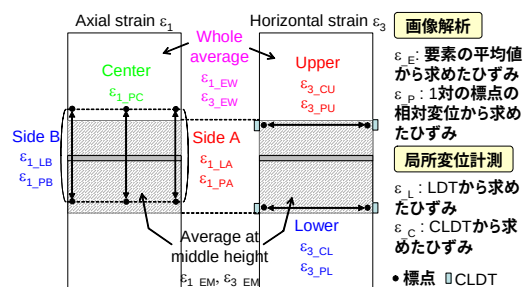


図 5 ε_2 方向から見た各ひずみの定義

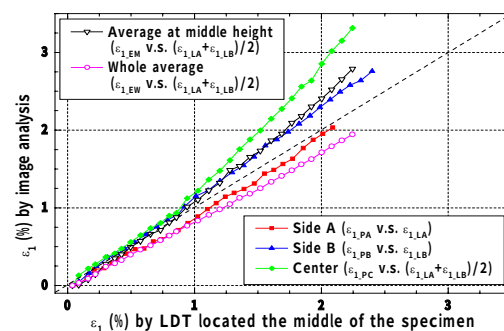


図 6 軸ひずみの計測方法による比較

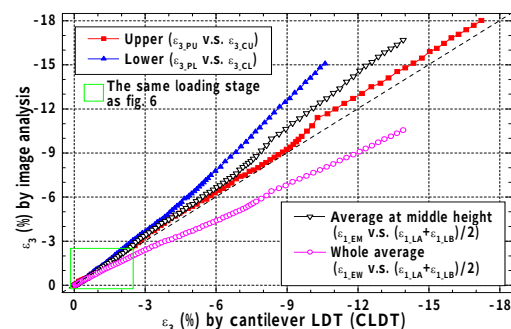


図 7 水平ひずみの計測方法による比較