

Ⅲ - A258

平面ひずみ圧縮下における円柱積層体の DEM および実験による変形特性把握

長崎大学工学部 正会員 棚橋 由彦 長崎大学工学部 学生員○吉村 匡弘
 長崎県対馬支庁 正会員 濱崎 正一 長崎大学工学部 持下 輝雄

1. 研究目的

砂等の粒状体がせん断破壊を起こすとき、その過程でせん断帯（shear band）を形成することが一般に知られている。せん断帯とは、せん断変形が局所化した領域のことであり、特に進行性破壊の場合重要視される。しかし、その全容は未だ明らかにされていない。本研究では、平面ひずみ圧縮下における円柱積層体のせん断帯形成過程を実験により把握する。また、個別要素法（DEM）による平面ひずみ圧縮下における円柱積層体の解析結果で得られたいくつかの知見¹⁾の妥当性を、実験結果との比較により検証することを目的としている。

2. 実験概要

本実験は、図.1 のような試験装置を CBR 載荷装置にセットして行う。実験は解析の 1/2 縮尺モデルである。本装置は、両側の塩化ビニルパイプ（縦半割状）と背面アクリル板とをビス止めで剛結し、上面・左右面のアクリル板は移動可能で、前面はフリーである。本装置内にはアルミ丸棒を規則的に積層させる。その際、アルミ丸棒は半径 0.45cm と半径 0.5cm の 2 種類を用い、それぞれに対して 13/14, 15/16, 17/18 配列の 3 パターンずつ行う。ここに、 $(n-1)/n$ 配列とは、容器の最下層に n 個、その上層に $n-1$ 個規則的に積層させたものを示す。実験する際には、鉛直荷重は CBR 載荷装置により、側圧は側面アクリル板と塩化ビニルパイプの間に入れた風船にコンプレッサーからエアレギュレーターを介した空気圧により作用させる。

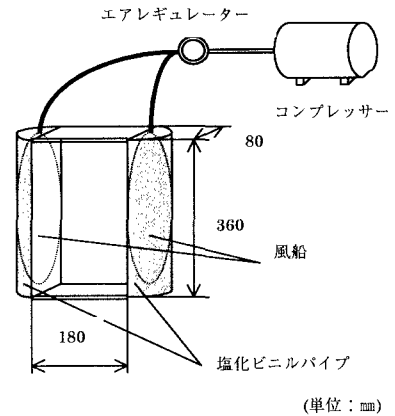


図.1 試験装置

3. 解析結果と実験結果の比較

3. 1 応力比-ひずみ関係

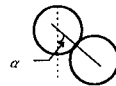
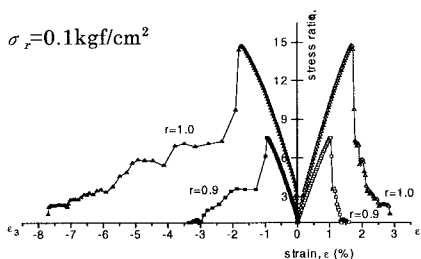
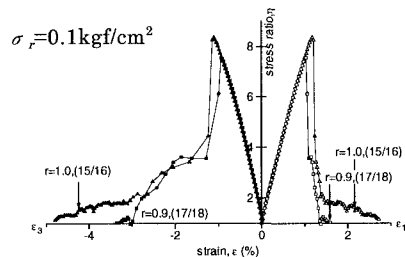
図.2 粒子間接触角 α_i

図.3(a)に解析結果の 17/18 配列（等方圧 図.2 粒子間接触角 α_i 密圧 $\sigma_r = 0.1 \text{ kgf/cm}^2$ ）の要素半径 $r = 1.0, 0.9 \text{ cm}$ における応力比 $\eta (= \sigma_1 / \sigma_3)$ -ひずみ ϵ 関係を示す。ピーク応

(a) 17/18 配列, $r=0.9, 1.0 \text{ cm}$ (b) 17/18 配列, $r=0.9 \text{ cm}$ と 15/16 配列, $r=1.0 \text{ cm}$ 図.3 $\eta - \epsilon$ 関係<解析結果>

キーワード：粒状体 平面ひずみ圧縮試験 個別要素法(DEM) せん断帯

連絡先：〒852-8131 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL095-847-1111 FAX095-848-3624

力比 $\eta_{\max}$ を要素半径 $r=1.0\text{cm}$ と 0.9cm で比較すると、前者が後者の約 2 倍であり、 $\eta_{\max}$ に要素半径 r が大きく影響している。次に、初期の粒子間接触角 $\alpha_i \approx 34^\circ$ のほぼ等しい、17/18 配列、 $r=0.9\text{cm}$ と 15/16 配列、 $r=1.0\text{cm}$ を同じように比較する（図.3(b)参照）。ただし、等方圧密圧は $\sigma_r=0.1\text{kgf/cm}^2$ である。17/18 配列、 $r=0.9\text{cm}$ の $\eta_{\max}$ が多少小さいが、図.3(a)に比べるとこの両者の応力比—ひずみ挙動はほぼ等しいといえる。

同様に、図.3 と同条件の実験結果を図.4 に示す。17/18 配列（等方圧密圧 $\sigma_r=0.1\text{kgf/cm}^2$ ）の要素半径 $r=0.45, 0.5\text{cm}$ における $\eta-\epsilon$ 関係は、解析結果同様、ピーク応力比 $\eta_{\max}$ は $r=0.5\text{cm}$ の方が、 $r=0.45\text{cm}$ の 2 倍となっている。また、初期の粒子間接触角 $\alpha_i \approx 34^\circ$ のほぼ等しい 15/16 配列、 $r=0.5\text{cm}$ と 17/18 配列、 $r=0.45\text{cm}$ における $\eta-\epsilon$ 関係は一致している。すなわち、実験、解析両結果ともに応力比—ひずみ挙動は、初期の粒子間接触角 α_i に左右される結果を得ている。

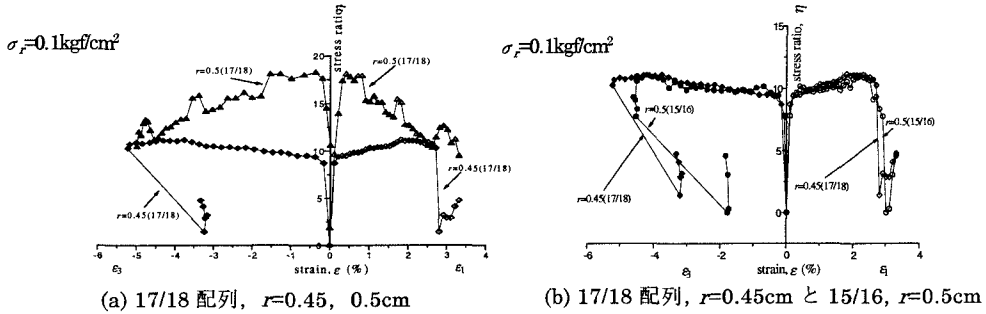


図.4 $\eta-\epsilon$ 関係＜実験結果＞

3. 2 セン断帯形成過程

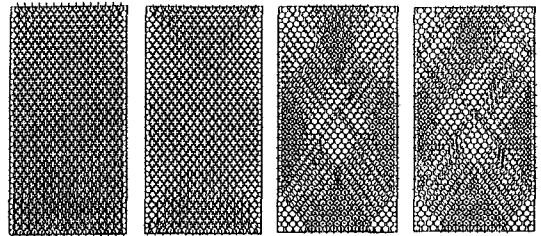
図.5(a),(b)にそれぞれ 15/16 配列 ($r=1.0\text{cm}$ 、 $\sigma_r=0.1\text{kgf/cm}^2$) の解析結果と 15/16 配列 ($r=0.5\text{cm}$ 、 $\sigma_r=0.1\text{kgf/cm}^2$) の実験結果の変形図を示す。解析結果、実験結果ともに応力比 η が $\eta_{\max}$ に達するまで、すなわちひずみ硬化領域では、要素自体の移動はほとんどない。 $\eta_{\max}$ 以降は、ともに X 状のせん断帯を形成しながら変形している。せん断帯は、解析結果では $\epsilon_1=1.66(\%)$ の時、実験結果では $\epsilon_1=3.33(\%)$ の時に顕著に現われている。この差は、ひずみ軟化領域に対する縦ひずみ ϵ_1 の差によるものである。

4. まとめ

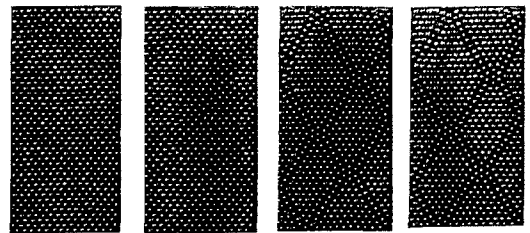
本研究では、アルミ丸棒積層体の平面ひずみ圧縮試験結果とその DEM による解析結果を、 $\eta-\epsilon$ 関係やせん断帯形成過程に着目して比較検討した。その結果、破壊過程は初期の粒子間接触角 α_i に左右され、せん断帯の形状は X 状であるという点では、解析結果、実験結果とも

にはば一致した。この結果から、DEM が粒状体挙動の基本的なメカニズムを研究する解析法として有効であるといえる。また、DEM の欠点として $\eta_{\max}$ 付近の表現が極端すぎることが挙げられる。

【参考文献】1) 棚橋・濱崎・西村・木山：個別要素法による円柱積層体の平面ひずみ圧縮試験下におけるせん断帯形成過程の把握，第 32 回地盤工学研究発表会講演概要集，熊本，249，pp.499-500，1998



(a) $\epsilon_1=0.55(\%)$ (b) $\epsilon_1=1.11(\%)$ (c) $\epsilon_1=1.66(\%)$ (d) $\epsilon_1=2.22(\%)$
(a) 解析結果 ($r=1.0\text{cm}$, $\sigma_r=0.1\text{kgf/cm}^2$)



(a) $\epsilon_1=1.11(\%)$ (b) $\epsilon_1=2.22(\%)$ (c) $\epsilon_1=3.33(\%)$ (d) $\epsilon_1=4.44(\%)$
(b) 実験結果 ($r=0.5\text{cm}$, $\sigma_r=0.1\text{kgf/cm}^2$)

図.5 変形図