

Material Point Method を用いた三軸圧縮試験の三次元解析

その2：破壊形態に影響する各種要因

清水建設 桐山貴俊・○福武毅芳

1. はじめに 地盤の破壊現象に伴う変形の局所化が、地盤内のいずれの箇所で発生するかは、対象地盤の形状、物性、荷重、境界等の各種条件に依存している。本論文ではその1に続き、実地盤に比べ単純な三軸圧縮試験を対象に、解析的なパラメータスタディを実施し、破壊形態、特に、せん断帯の発生位置およびその形状に影響する各種要因について考察する。数値解析は Material Point Method^{1),2)} を3次元で実装したプログラムを用いて実施した。

2. 解析条件 その1で採用した DL クレイの三軸圧縮試験³⁾(初期拘束圧 10kPa)を対象に、試験体の形状(円柱, 角柱), 材料物性 ($\phi=30.5^\circ$, $c=8.5\text{kPa}$), キャップの水平自由度(固定, 自由), ペDESTALの水平自由度(固定, 自由), の条件を組み合わせることで解析を実施した。組み合わせた条件の一覧を表1に示す。表1に示す物性の欄で空欄の箇所はその物性が無い(解析的にゼロと置く)ことを意味している。円筒および角柱の解析モデルを図1に示す。円柱モデルの詳細はその1に示す通りである。角柱モデルは、試験体上部に載荷用キャップ, 下部にペDESTALを配置した。試験体は、一辺 5cm, 高さ 10cm の立方体で、キャップおよびペDESTALは一辺 5cm, 高さ 0.8cm の粒子群でモデル化した。マテリアルポイントは1格子あたり8粒子とし、モデル全体で270,000粒子(試験体250,000粒子, キャップ・ペDESTAL各10,000粒子)配置した。試験体はモールクーロン弾塑性モデルとし、引張には抵抗しない処理を施した。キャップおよびペDESTALへ速度条件を付与することで鉛直・水平方向の拘束条件, ひずみ制御の載荷条件を再現した。

表1 実施した解析ケースと条件組み合わせの対応

No.	形状		物性		キャップ 水平自由度		ペDESTAL 水平自由度	
	円筒	角柱	ϕ	c	固定	自由	固定	自由
1	✓		✓	✓	✓		✓	
2	✓		✓	✓		✓	✓	
3	✓		✓	✓	✓			✓
4	✓			✓	✓		✓	
5	✓			✓		✓	✓	
6		✓	✓	✓	✓		✓	
7		✓	✓	✓		✓	✓	
8		✓		✓	✓		✓	
9		✓		✓		✓	✓	

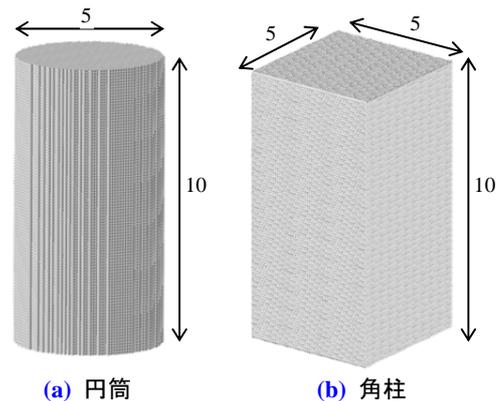


図1 試験体粒子モデル

3. 破壊形態に与える各種要因 ①荷重・境界条件 図2は降伏直後の最大せん断ひずみ分布である。図2(a)によれば、試験 No.1 は、view1からの断面を見ると4つの初期せん断帯(1,2,3,4)が確認できる。直交するview2から見た断面においても4つの初期せん断帯(5,6,7,8)が確認できる。試験 No.1 は最終的に試験体上部に2つのせん断帯を持つX型せん断帯を形成することから、この8つの初期せん断帯の内、上部にある1,2または5,6の初期せん断帯がきっかけとなり最終的なX型破壊面を形成した

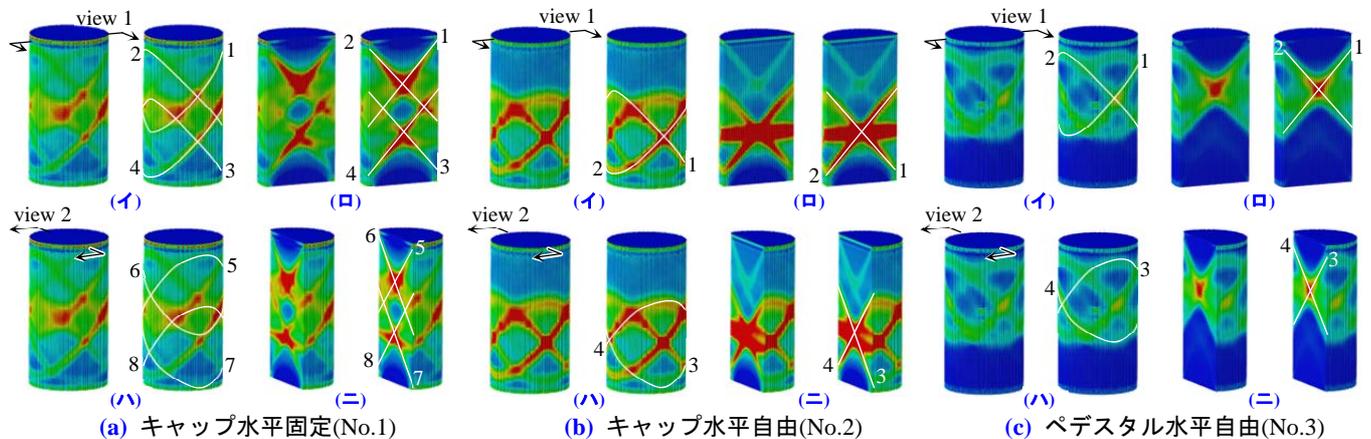


図2 荷重・境界条件の違いによるせん断帯の生成状況(最大せん断ひずみコンター)

キーワード
連絡先

MPM, 三軸圧縮試験, 大変形解析, 局所化
〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 Fax 03-3820-5955

ものと判断できる。図 2(b)によれば、上端部の水平自由度が拘束されない場合、試験体上部では明瞭な初期せん断帯が見られず、下部に1つの断面につき2つ、合計4つの初期せん断帯が確認できる。試験体 No.2 がたすき型せん断帯を形成することから、図 2(b)に示す 1,2,3,4 いずれかの初期せん断帯が最終的な破壊面を形成するものと判断できる。また、図 2(c)によれば、下端部の水平自由度が拘束されない場合、試験体下部では明瞭な初期せん断帯が見られず、試験体上部にのみ初期せん断帯が確認できる。

図 2(a)から、初期せん断帯は荷重位置に近いものが卓越し、最終的なせん断帯を形成することが分かる。また図 2(b), 図 2(c)から、端部の拘束条件を拘束している箇所から初期せん断帯が発生し、端部の水平自由度を拘束しない場合、その端部周辺からは明瞭な初期せん断帯は発生しないことが分かる。②物性 図 3 は試験 No.1, No.2 において内部摩擦角をゼロとした場合の最大せん断ひずみ分布である。図 3(a)によれば、試験 No.4 はたる型の変形を示し、粘土試料でたびたび観察される変形形状を示す。上下端それぞれ独立して形成された X 型せん断帯が試験体中央付近で連結し、上端から下端へ向けて1つの大きなせん断帯を形成している様子が確認できる。③形状 図 4, 図 5 は角柱試験体を用いた摩擦性材料(c, ϕ を考慮)および粘着性材料(c のみ考慮)の最大せん断ひずみ分布を示す。図 4 によれば、摩擦性材料の場合、キャップの拘束条件にかかわらず、上端頂部から対角線上にある下端頂部へ向けせん断帯が形成される。キャップの水平自由度を拘束した場合に X 型、自由とした場合にたすき型のせん断帯を形成するのは円柱試験体と同様である。一方、図 5 に示す粘着性材料の場合、上下面の特定の一辺に平行する向きにせん断帯が形成される。以上のことは、角柱試験体を用いた場合、使用する材料物性の摩擦性・粘着性を根拠に、形成されるせん断帯の位置を推測できることを示している。

参考文献 1) Sulsky, D., Chen, Z. and Schreyer, H.L. : A particle method for history-dependent materials, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. Vol.118, pp179-196, 1994. 2) Bardenhagen,S.G. and Kober,E.M. : The generalized interpolation material point method, Computer Modeling in Engineering and Science, Vol.5, No.6, pp447-495, 2004. 3) 桐山貴俊 : GIMPM を用いた三軸圧縮試験の破壊シミュレーション, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.69, No.2 (応用力学論文集 Vol.16), pp.I_321-I_332, 2013.

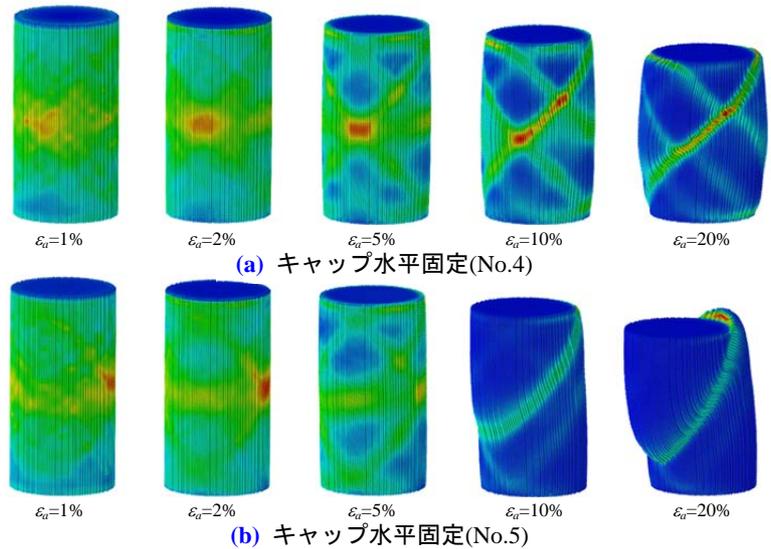


図 3 粘着性材料のせん断帯の形成過程 (円柱)

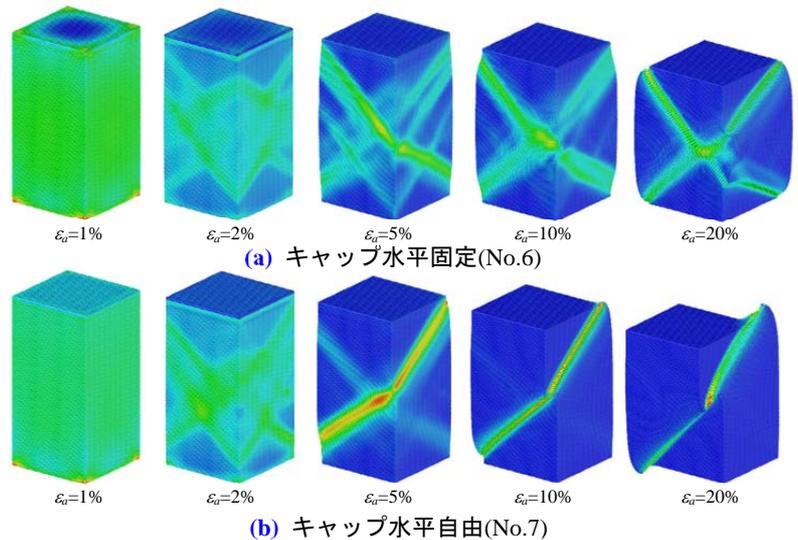


図 4 摩擦性材料のせん断帯の形成過程 (角柱)

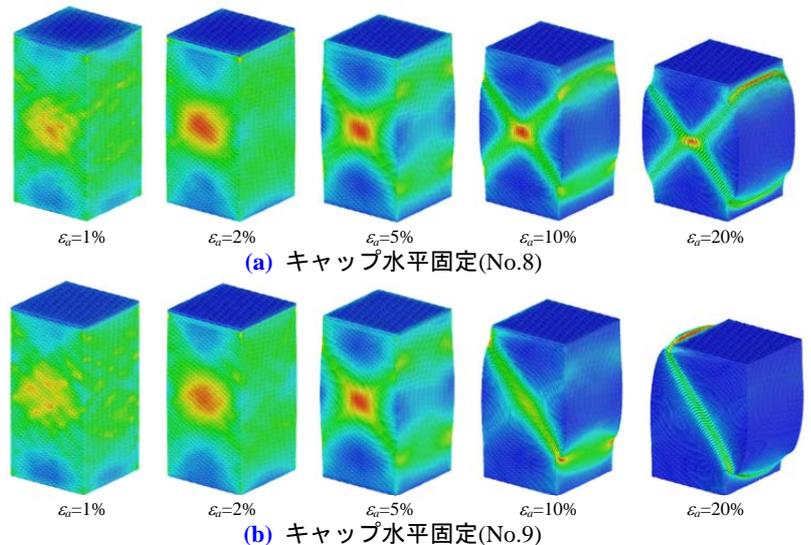


図 5 粘着性材料のせん断帯の形成過程 (角柱)