

DEM による砂およびタイヤチップの一面せん断シミュレーション

熊本大学大学院

学生会員

堤 洋平

熊本大学 (JSPS 外国人研究員)

非会員

Bastien Chevalier

熊本大学大学院

正会員

大谷 順

1. はじめに

近年、古タイヤのリサイクル材であるタイヤチップを新しい地盤材料として利用することが検討されている。この中で、Hazarika ら¹⁾は粒状体のタイヤチップをケーソンなどの抗土圧構造物の裏込めに使用することで、地震時土圧を軽減できることを水中振動台による模型実験などによって確認している。しかし、タイヤチップのように剛性が低く粒子自体が自由な形状に弾性変形するケースについての研究は少なく、従来の地盤材料に対してどのような特徴を有するか等、タイヤチップの基本的性質については未解明な点が多くあるのが現状である。著者らはこれまでに X 線 CT と一面せん断試験を併用することによって、タイヤチップのせん断時における供試体内部挙動の検討を行ってきた²⁾。本研究では、個別要素法（以下、DEM）を用いて一面せん断試験の数値シミュレーションを行うことで、せん断中の変形や応力伝達の変化について検討を行う。

2. DEMによる数値シミュレーション

DEM は、P.A.Cundall³⁾により提唱された岩盤や地盤材料等の不連続体を対象とした解析手法である。これは、対象を粒子の集合体として表現し、各粒子に運動方程式を適用することによって、粒状体の動力学的挙動を解析する方法である。本研究では、タイヤチップ単体とこれとの比較を目的とした砂（珪砂 3 号）の 2 ケースについてシミュレーションを行った。図 1 に、シミュレーションモデルを示す。モデルの寸法は、幅 80mm、高さ 40mm 奥行き 20mm の直方体である。今回は、DEM 要素として図 2 に示す非球状粒子（clump）を用いることで実際の粒子形状を考慮している。この非球状粒子は 2 つの球状粒子を重ね合わせたものであり、球状粒子間の重なり量と球要素直径との比（angularity）を 0.7 とした。また、粒径は粒子数に依存するため、粒径が珪砂 3 号と同じ約 2mm となるように総粒子数を 5000 個（球形粒子 10000 個）に設定した。供試体の作成については、粒子間摩擦角を 0° に設定し、ランダムに粒子を発生させた後、拘束圧 100kPa で圧縮を行い、所定の間隙比（実験値と同じ値）になるように作成した。その後のせん断過程で、粒子間摩擦角を 0° からそれぞれのケースでの値に変更しせん断を開始した。シミュレーションに用いた DEM パラメータを表 1 に示す。表中の粒子間ばね定数、粒子間摩擦角の値は、実験結果に対応するように試行錯誤的に決定した。

3. 結果および考察

図 3 に、実験結果と解析結果の比較としてのせん断応力-せん断変位関係および鉛直変位-せん断変位関係を示す。珪砂のピークを有する

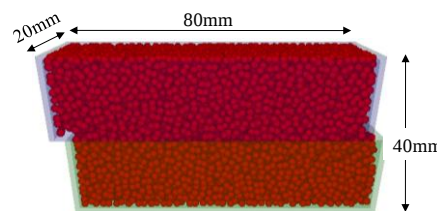


図 1. シミュレーションモデル

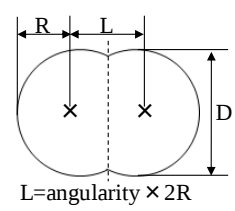


図 2. 粒子形状

表 1. DEM パラメータ

	sand	tire chips
density (g/cm ³)	2.650	1.150
average particle size (mm)	1.950	2.080
angularity	0.7	0.7
number of particle	10000	10000
void ratio	0.59	0.55
confining pressure(kPa)	100	100
Nomal stiffness (N/m ²)	2.24×10^8	1.00×10^7
Shear stiffness (N/m ²)	2.24×10^7	7.50×10^6
Friction angle (deg)	40	10

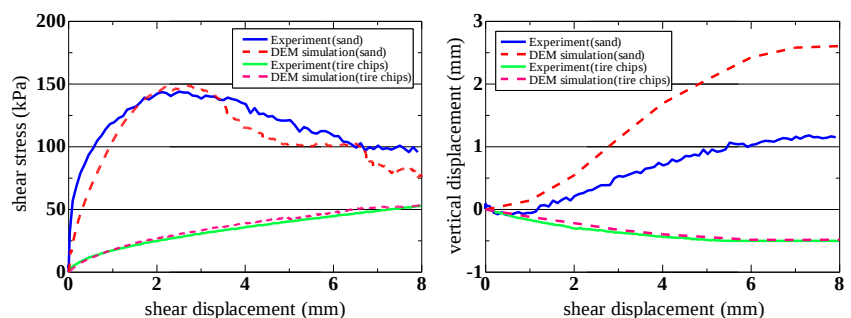


図 3. 実験と解析の比較

Keyword：一面せん断試験、タイヤチップ、DEM

Address：〒860-8555 熊本市黒髪 2 丁目 39 番 1 号 Tel：096-342-3535

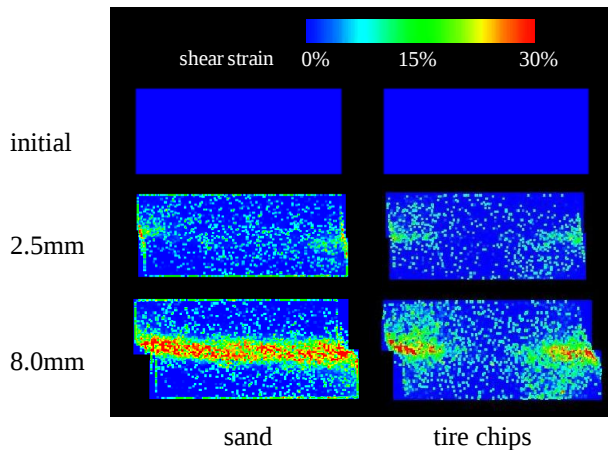


図 4. せん断ひずみ分布

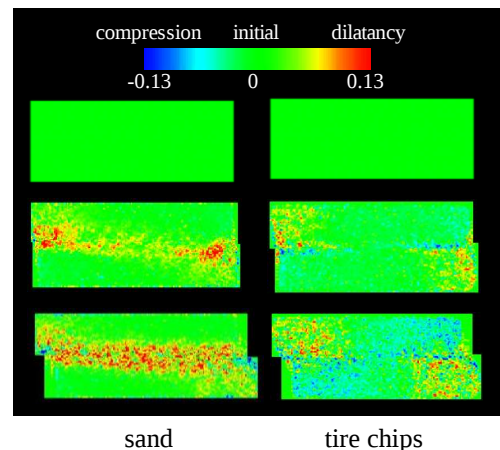


図 5. 体積ひずみ分布

応力経路、せん断に伴う体積膨張やタイヤチップの線形的な応力増加、せん断に伴う体積収縮等、解析結果は実験結果の傾向を表現できているといえる。

図 4、5 に、DEM 解析結果により得られたせん断ひずみ分布と体積ひずみ分布を示す(2.5mm、8.0mm はピーク時およびせん断終了時)。せん断ひずみ分布は初期状態(せん断ひずみ 0%)を青色、30%以上を赤色とするグラデーション、体積ひずみ分布は初期状態を緑色、体積膨張を赤色、体積収縮を青色とするグラデーションでそれぞれ表している。砂はひずみの卓越した幅 1cm 程度の帯状の領域(せん断帯)が形成されており、体積ひずみ分布からこの領域

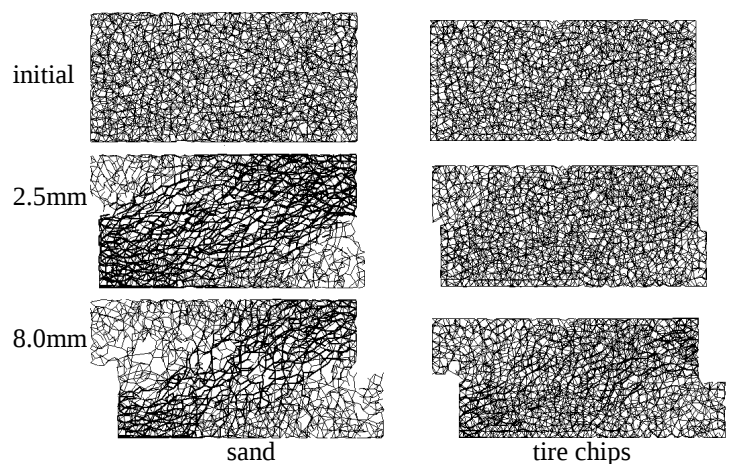


図 6. 接触力分布

においてダイレイタンスに起因すると思われる体積膨張が生じている。タイヤチップでは、せん断面の両端に局所的なひずみが生じているが、その他の場所では小さなひずみが発達する程度で明確なせん断帯は確認できない。体積ひずみ分布において広範囲に収縮傾向がみられることから、粒子の変形および移動によって間隙が埋まってしまうために収縮が生じているものと考えられる。これらは、著者らの X 線 CT による観察結果²⁾からも同様の結果が得られている。

図 6 に、粒子間接触力分布を示す。これは、接触している粒子の重心を直線で結び、その線の太さにより接触力の大小を表している。せん断初期状態では、網目構造をした接触力分布を両ケースにおいて確認することができる。しかし、剛性の高い砂のケースでは、せん断が進行するに従い、網目構造が変化し、せん断変位 2.5mm では大きな接触力が水平方向に卓越している。さらに、せん断変位 8.0mm では、せん断帯に沿うように網目構造が大きく変化している。一方、剛性の低いタイヤチップのケースでは、せん断変位 8.0mm において接触力の水平方向への卓越が見られるが、砂のケースほどの変化はなく、せん断面に沿った接触力の異方性は確認できない。

4. まとめ

本報では、DEM を用いてタイヤチップおよび砂の一面せん断試験シミュレーションを行った。その結果、砂とタイヤチップにおけるせん断中のひずみの発達や接触力分布の変化の相違を確認することができた。今後は、タイヤチップと砂を混合したタイヤチップ混合砂の解析を行い、内部挙動について検討を行う所存である。

参考文献

- 1) Hazarika, H., Yasuhara 「SCRAP TIRE DERIVED GEOMATERIALS」 Taylor&Francis Group, pp.215-222, 2008.
- 2) Tsutsumi Y., Otani J., Hemanta H. and Kikuchi Y.: Elast-plastic behavior of mixed sand with tire chips under direct shear behavior, International Joint Symposium on Geodisaster Prevention and Geoenvironment in Asia, pp.137-142, 2009.
- 3) Cundall P. A. and Strack O. D. L.: A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnic 29 (1), pp.47-65, 1979