

タイヤチップ混合土の圧縮特性に関する基礎的研究
-積層体模型におけるヘルツ接触と円柱配列を考慮したモデル化の検討-
Basic Research about Compression Characteristic of Tire tips mixed soil
-Consideration of modeling on laminate model by Hertz contact and cylindrical array-

○中田 遼 木全 卓 工藤 庸介
 Ryo NAKATA Takashi KIMATA Yosuke KUDO

1. はじめに 環境問題への対応策として、廃棄物のリサイクルおよび軽量地盤材料の有効利用の観点から、タイヤチップ混合土の基礎地盤としての適用可能性について検討してきた。タイヤチップ混合土は過剰間隙水圧の抑制や靱性の改善の利点から軟弱地盤への適用が考えられるが、タイヤチップ自身が変形するため、通常地盤よりも圧縮量が増加することが懸念されている。これまでに、圧縮量の増加分を「変形性粒子の圧縮による体積ひずみ」[1]の成分、「変形性粒子の変形に起因する間隙減少による体積ひずみ」[2]の成分、「変形性粒子の移動に伴う間隙減少による体積ひずみ」[3]の成分に分類することで、圧縮のメカニズムについて考察してきた(以下[1][2][3]とする)¹⁾。また、積層体を用いた一次元圧縮試験による要素実験を通して、圧縮成分は幾何学的に導出したモデル式により概ね評価できることがわかった。しかし、モデル式のパラメータに試験結果を使用していたことやモデル式が混合比に対応していなかったことなど課題が残っていた。そこで本研究では、粒子の移動を制限した制限構造([1][2]のみが抽出)である正方構造および六角構造(Fig. 1, Fig. 2)について上述した課題を克服することでモデル化の改善を試みた。

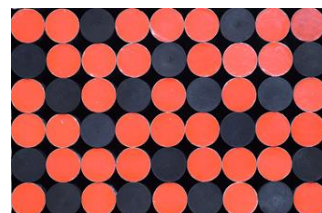


Fig. 1 正方構造
Square structure

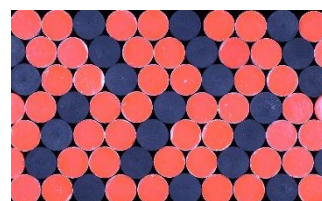


Fig. 2 六角構造
Hexagonal structure

2. 試験概要 試料には、直径 15 mm、長さ 50 mm の円柱状である土粒子とタイヤチップを模擬したアルミニウム棒とゴム棒を使用した。これらから積層体を作製し、一次元圧縮試験を行った。ゴム棒の混合比は 1.0, 0.67, 0.33 とした。[1][2]は積層体の正面からデジタルカメラを用いて 20 秒間隔で撮影し、画像を画像処理ソフトに取り込み、ピクセル数をカウントすることで算出した。

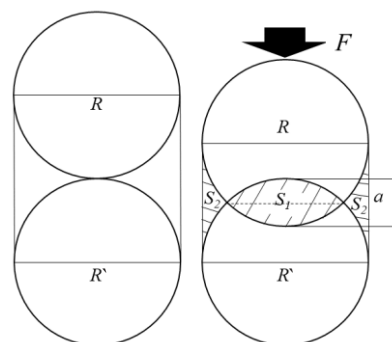


Fig. 3 円柱の接触
Contact between two cylinders

3. モデル化の改善 円柱試料の重なり(Fig. 3)から圧縮による断面積変化量とそれに伴う間隙減少量についてモデル式(1)(2)が導かれている。 a は縦圧縮量(円柱同士の接近量)を表している。これについてヘルツ接触の理論をランダウの”弾性理論”²⁾に示されたとおりに円柱接触に拡張して適用した。接触の幅 $2b$ をこの理論を用いて式(3)の通りに算出、幾何学的関係から導出した式(4)の通りに a を算出することで試験結果を利用せず算出した。これらの式は円柱の接触部のみについて示したものであり、ゴムの混合比

については考慮できていない。そこで、円柱の配列の全パターン(正方構造では連続した縦3つの円柱に対して6パターンの配列、六角構造では鉛直方向から30°の方向に接触した5つの円柱に対して12パターンの配列)について提案した式を適用、全てのパターンの出現する確率を算出し、それらを用いた期待値として[1][2]の値を求めることで、混合比に応じたモデル値を算出することにした。

$$S_1 = \frac{1}{2}(1 - 2\nu) \left\{ \arcsin \left(\frac{\sqrt{2aR - a^2}}{R} \right) R^2 - (R - a)\sqrt{2aR - a^2} \right\} \quad (1) \quad S_2 = aR - S_1 \quad (2)$$

$$2b = \sqrt{\frac{16Fr^*}{\pi L} \left(\frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu'^2}{E'} \right)} \quad (3) \quad a = R - \sqrt{R^2 - 4b^2} \quad (4)$$

F : 荷重 N, r^* : 相対曲率半径 mm, L : 長さ mm, E, E' : ヤング率 N/mm², ν, ν' : ポアソン比

4. 結果および考察

ヘルツ接触および円柱配列の出現確率を用いて、各混合比のモデル値を算出し、実測値との比較を行った。それらは概ね同様の結果が得られたため、ここには一例として混合比 0.67 のものを図に示す。ゴムはポアソン比 0.5 に近い値をとることがわかっている。Fig. 4 より、[1]の実測値が発生しているのは、ゴムの軸方向への伸長を抑制していないことから生じる実験上の誤差であると考えられる。それを補正して計算したモデル値は両構造ともに実測値に概ね近い値をとった。[2]は特性上、初期間隙率に影響を受けると考えられ、Fig. 5 より、試験結果からもその特性による違いが見て取れる。モデルにおいてもその違いをよく表現できることがわかり、挙動は概ね一致していた。しかし、六角構造において、50 kPa 付近ではモデル値と実測値は一致していない。これは試料を積み上げる際に生じた間隙による誤差であり、圧縮試験の改善の必要性が示された。

5. おわりに

本研究では、制限構造でのヘルツ接触および円柱配列を考慮して、これまでのモデル化のプロセスを改善した。その結果、骨格構造の違いにかかわらず提案した手法により[1][2]のモデル値は実測値の挙動をよく表現できることがわかった。しかし、今回は[3]について検討しておらず、粒子の移動が供試体に与える影響については、新たな積層体を作製して圧縮試験を実施し、定量的に検討を行っていきたいと考えている。

参考文献

1)木全ら(2010): EPS 破砕片混合土の圧縮特性に関する考察—積層体模型実験による圧縮成分の評価—, ジオシンセティックス論文集, Vol.23, pp.83-88. 2)佐藤常三ら (1989): 固体接触, “佐藤常三, 石橋善弘訳, 弾性理論”, 東京図書株式会社, pp.37-44.

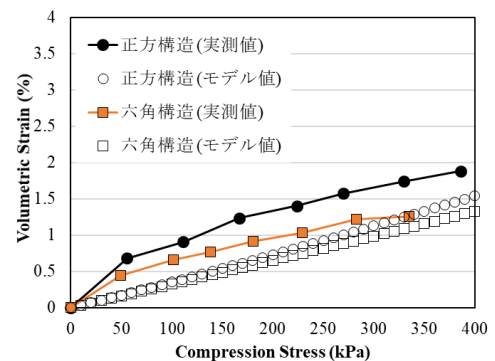


Fig. 4 変形性粒子の圧縮による体積ひずみ [1]
Volumetric strain due to compression of deformable particle [1]

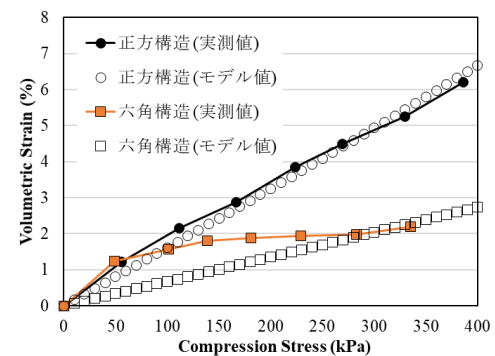


Fig. 5 変形性粒子の変形に起因する間隙減少による体積ひずみ [2]
Volumetric strain due to gap reduction caused by deformation of deformable particles [2]