使用済み材料の混合土への有効利用に関する考察
ー幾何学的分析による体積圧縮量の算出手法ー
Effective Utilization of Used Materials for Mixed Soil
- Method for Calculating Volumetric Compression by Geometric Analysis -

○木全 卓，工藤庸介
KIMATA Takashi, KUDO Yosuke

1. はじめに

環境問題への対応策として使用済み材料のリサイクルは重要な課題の一つであり、カーボンニュートラルを目指す際にも不可欠なテーマである。我が国では毎年約 100 万トンの廃タイヤが発生しているが、そのリサイクル率は 98%である。ただし、**Fig.1** に示すように燃料としての利用が 66%を占めており、材料として再利用されるのは 15%に留まっている [1]。したがって、CO_2 の排出量を削減するためにも、燃やすのではなく材料としてリサイクルする方策を考える必要がある。このような観点から、廃タイヤをチップ化し混合土として有効利用する研究も数多くなされている。ここでは、ゴムの変形性に起因する混合土の圧縮量を評価するために実施してきた著者らの研究 [2]を紹介し、カーボンニュートラルについて考える際の話題提供とする。

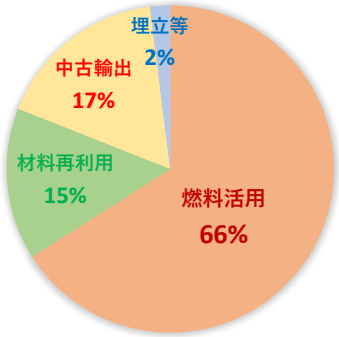

Fig.1 廃タイヤのリサイクル
Waste tire recycling

2. ゴムチップ混合土のメリット

タイヤチップを混合することで期待できるメリットとしては、ゴムの密度が土粒子よりも小さいことによる軽量化の効果、ゴムの変形性に起因する衝撃吸収効果や地震時の減震効果などのほか、凍上防止効果や排水改善効果などが挙げられる。このように、ゴムの変形性は様々なメリットにつながる一方で、地盤としての変形や圧縮量を増大させるため、その評価方法を明らかにする必要がある。
これが以下で紹介する研究の目的である。

3. ゴムチップ混合土の圧縮特性

ゴムチップの混合比が異なる供試体を作製し、一次元圧縮試験を行った結果を **Fig.2** に示す（凡例の数字はゴムチップの混合比）。試験では供試体を飽和させ、排水量を測定して間隙の体積変化も求めており、これを破線で示している。この図より、ゴムチップが 1/3 混合されただけで体積ひずみは約 5 倍に増加していることから、圧縮特性解明の重要性が確認される。また、ゴム自身は圧縮されにくい材料であっても変形することで間隙部分の体積変化を引き起こし、これが体積ひずみの大部分

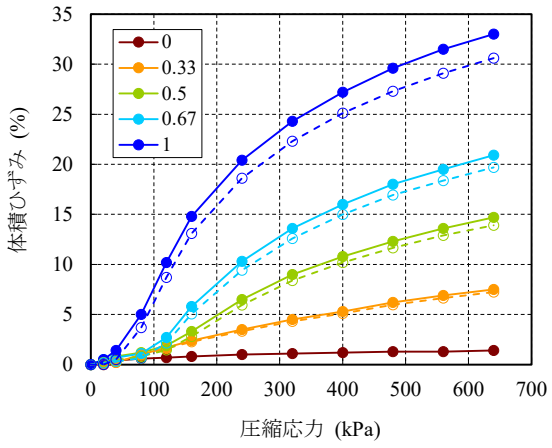

Fig.2 ゴムチップ混合土の圧縮試験
Compression test of rubber chip mixed soils

大阪公立大学大学院農学研究科，Osaka Metropolitan University，キーワード：リサイクル，混合土，圧縮特性

を占めていることもわかる。そこで、混合土の圧縮特性を粒子レベルの観点から分析し、圧縮量を算出する方法を検討した。

4. 幾何学的検討による体積圧縮量の算出

圧縮特性の分析は円柱状のアルミとゴムの積層体模型により行い、画像解析により圧縮量を成分（ε_{v0}：通常の骨格変形による圧縮、ε_{v1}：ゴム自身の圧縮、ε_{v2}：ゴムの変形による間隙の圧縮、ε_{v3}：ゴムの移動による間隙の圧縮）に分けて検討した。実験結果の一例を **Fig.3** に示す。この結果を分析し、各圧縮成分の算出方法を検討するため、**Fig.4** に示すような幾何学的な圧縮モデルを考えた。基本的な考え方は、ゴムの圧縮係数から S_1 を求め、ポアソン比も考慮して ε_{v1} を計算した後、a をパラメータとして間隙の体積を幾何学的に算出して ε_{v2} を求めるという流れである。なお、今回は ε_{v0} については混合比 0 の実験値を、ε_{v3} は圧縮応力に閾値を持つ直線で近似している。このようにして求めた混合土全体の圧縮量を、各混合比（凡例に示した数値）について実験結果とともに示したものが **Fig.5** である。この図より、圧縮初期段階における挙動の再現にはまだ課題もあるが、概ね圧縮挙動を計算できていると言えよう。

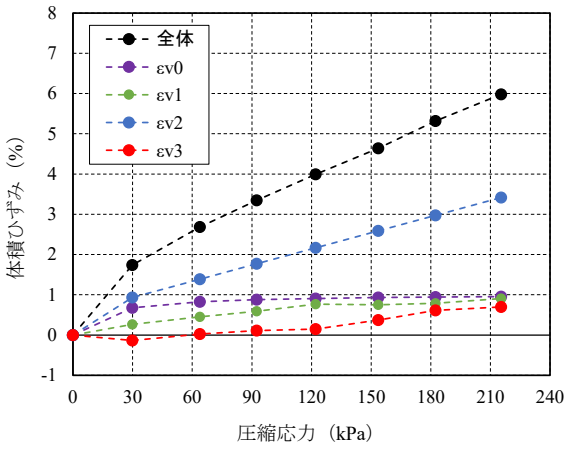

Fig.3 体積ひずみの比較（混合比 0.67）
Comparison of overall volumetric strain

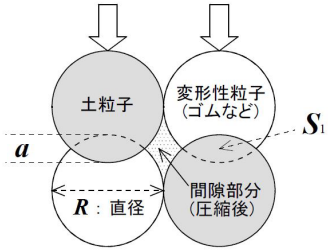

Fig.4 圧縮の幾何学的イメージ図
Geometric Image of Compression

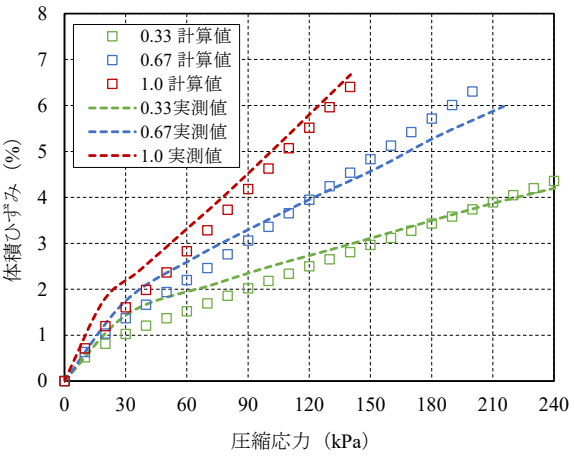

Fig.5 全体の体積ひずみの比較
Comparison of overall volumetric strain

5. おわりに

本報告では、排出量の 2/3 が燃料にされている廃タイヤを材料として有効利用するための研究事例として、著者らが行ってきたゴムチップ混合土の圧縮特性の解明に関する研究を紹介した。カーボンニュートラルを目指すには CO_2 の排出量削減が不可欠であり、使用済みになったものを燃料ではなく材料としてリサイクルすることは有効な対策になる。その際、「材料」が有する特性を生かした有効利用を考えることはもちろんであるが、「施工」における対応策についても考慮する必要がある。そして、目先のことだけ考えた対策ではなく、長いスパンで捉えて検討していくことが非常に重要であると思っている。

参考文献 1) 日本自動車タイヤ協会(2024)：廃タイヤのリサイクル，https://www.jatma.or.jp/environment_recycle/aboutscraptyres.html，2024.3.25 参照． 2) 例えば、中田・木全・工藤(2022)：タイヤチップ混合土の圧縮特性に関する基礎研究，2022 年度大会講演会要旨集，pp.469-470.