

## 廃タイヤゴムパッドの材料特性と変形性能の検討

京都大学大学院 学生会員 ○松島 弘  
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃  
 京都大学大学院 Mishra Huma Kanta

**1. はじめに** 大型車用廃タイヤのトレッド部（接地面の部分）を矩形状に切り出すことで作製される廃タイヤゴムパッド（Scrap Tire Rubber Pad, 以下 STRP）の、低コスト免震材料としての利用が提案されている<sup>1)</sup>。典型的な自動車用ゴムタイヤは、方向の異なる鋼線群が層を成すようにゴム材料の中に埋め込まれて形成されているため、STRP は積層ゴム支承と同様に、構造物重量を支持する際の面圧に対しては鋼線層によるゴムの拘束効果により比較的高い鉛直剛性を発揮する一方、水平力によるせん断変形に対しては剛性が小さい特性を持つためである。STRP を複数枚重ねて免震材料とすることで、特に発展途上国において採用可能な小規模構造物向けの安価な地震対策となることが期待されるが、実際の免震材料としての性能には不明な点が多い。材料特性試験の結果に基づき、複数枚重ねられた STRP の面圧作用下のせん断変形時の挙動を、載荷試験および有限要素解析により検討した。

**2. 対象とする STRP の例** 大型車用ラジアルタイヤから作製した STRP 供試体を図-1 に示す。平面形状は寸法 100mm×100mm の正方形であり、タイヤ路面側・ホイール側両面の表面に近いゴムをフライス加工およびベルトサンダーにより取り除き、ほぼ平らな面としている。厚さ約 12mm の STRP の内部には 5 つの鋼線層が確認され、その配置は図-2 に示すとおりである。円周に直交する方向に配置された最下層のカーカスコードに対して、上の 4 層のブレーカーコード（ベルト層）は交互に $\pm 70^\circ$  の角度の方向をなしている。

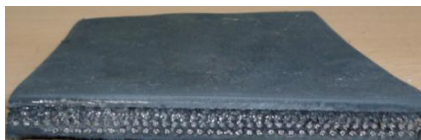


図-1 STRP 供試体

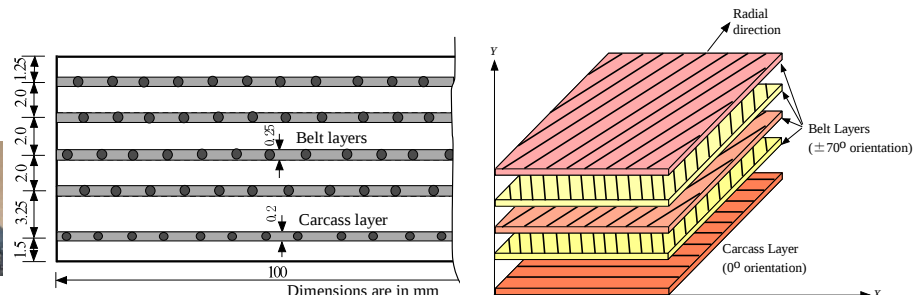
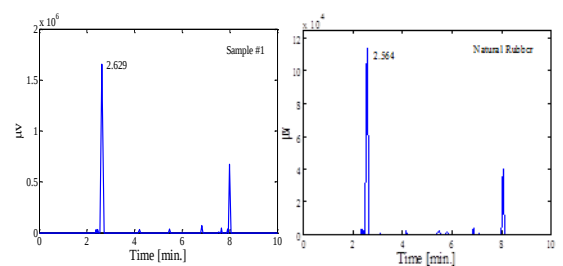


図-2 STRP の内部構造の概要

**3. ゴム材料の同定** 自動車用タイヤでは一般に天然ゴム(NR)、合成ゴム(SBR など)あるいは双方が用いられており、対象 STRP のゴム材料を把握する必要がある。STRP に加工する際に最外部のベルト層より上側の部分よりゴム試料を採取し、熱分解ガスクロマトグラフィー (Py-GC) による材料分析を行った。Py-GC はゴムを含むポリマー材料の同定法として JIS 規格 K6231 においても規定されている手法であり、熱でポリマーを分解し気体状態にした低分子成分をキャリアーガスに乗せて分離カラム中に展開することで分離を行う手法である。試料成分は長さ 30m のカラムの一端より導入され、沸点の低い順に通過するため、カラム他端位置での水素炎イオン化検出器 (FID) の出力の時間データがクロマトグラムとして得られる。これを既知の物質の標準クロマトグラムと比較・分析することにより、試料の組成を判定する。図-3 に示すクロマトグラムより、作製された STRP のゴムは天然ゴム(NR)と判断される。



(a) STRP 試料 (b) 標準:天然ゴム

図-3 Py-GC によるクロマトグラム

キーワード STRP, 免震材料, 熱分解ガスクロマトグラフィー, Mooney-Rivlin モデル

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3245

**3. 水平せん断载荷試験** 図-4 に示すような STRP を 6 枚重ねた供試体 (STRP-6 と呼ぶ) の水平せん断载荷試験を行った. STRP-6 に面圧 9.19MPa に対応する軸力を鉛直方向のアクチュエータで与えつつ, 水平方向アクチュエータにより単調増加および漸増繰返しの変位を与えた. 载荷中に STRP 間のすべりは観察されなかった. 図-6a の試験結果に示すように, 単調载荷では 100%のせん断に相当する 60mm 程度が変形の限界であった. 図-6b の繰返し载荷で得られた履歴復元力特性の履歴は, STRP のゴムが減衰の小さい NR であることより予想されるよりも大きく, 等価減衰定数で 12%程度となっている. これは既往研究の結果<sup>1)</sup>でも同様で, 鋼線ストランド内での摩擦による効果と考えられているが, 今後詳細な解明を要する点である.

**4. 有限要素解析** 2次元の有限要素モデルによる STRP-6 供試体のせん断挙動の解析を行った. 前述の図-2 に示す STRP の寸法に基づき, 各々の STRP の断面に対して図-7 に示すような有限要素モデルを作成し, これを 6 層重ねることで要素数 47,200 のモデルとした. ゴムは, 一般的に用いられる Mooney-Rivlin モデルで表現される非圧縮性等方超弾性体の構成則を与えた四辺形要素を用いている. JIS 規格 K6251 に定める 3 号ダンベル試験片に準拠した試験片による一軸引張試験を別途行い, Mooney-Rivlin モデルにおける材料定数  $C_{10}$ ,  $C_{01}$  および  $C_{11}$  を設定した. ゴム材料内に埋め込まれた鋼線層を表現するため, 鋼線層の位置のゴムの四辺形要素に rebar 要素を図-8 に示すように結合している. STRP 間の界面は接触時のクーロン摩擦係数 0.5 を設定した. 図-9 に示す解析結果からも, 本検討で用いた STRP-6 の変位性能限界はせん断 100%程度までと考えられる. 水平変位が小さい領域での水平力は解析結果が実験よりもやや小さいものの, 実験と解析結果は概ね良好な一致が見られ, 妥当な結果と考えられる.

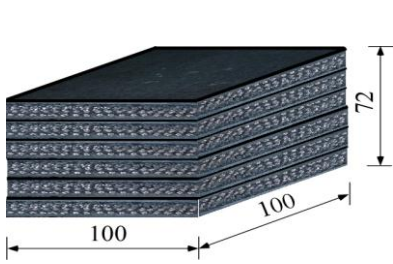


図-4 STRP-6 供試体

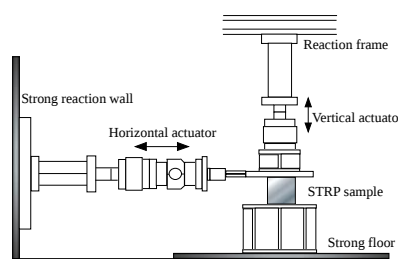


図-5 せん断試験概要図

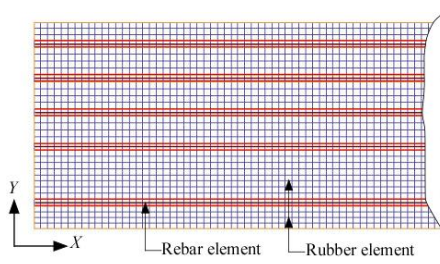


図-7 STRP の有限要素モデル

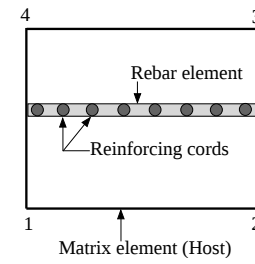


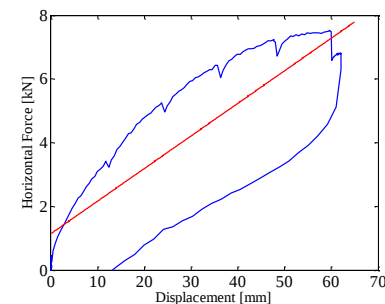
図-8 rebar 要素の母材への埋込み

表-1 モデル化および材料の定数

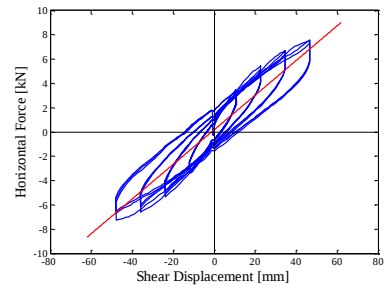
|    |           |                        |
|----|-----------|------------------------|
| ゴム | $C_{10}$  | 0.400 MPa              |
|    | $C_{01}$  | 1.223 MPa              |
|    | $C_{11}$  | 0.188 MPa              |
| 鋼線 | 断面積(カーカス) | 0.44mm <sup>2</sup> /本 |
|    | 断面積(ベルト)  | 0.63mm <sup>2</sup> /本 |
|    | 鋼線間隔      | 0.4mm                  |
|    | ヤング係数     | 200 GPa                |
|    | ポアソン比     | 0.3                    |

注: Mooney-Rivlin モデルのひずみエネルギー密度関数 ( $I_1, I_2$ :Green ひずみ不変量)  
 $W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3)$

参考文献 1) A. Turer, B.Özden (2008) Seismic base isolation using low-cost Scrap Tire Pads (STP). *Materials and Structures*, Vol. 41, No.5, pp.891-908

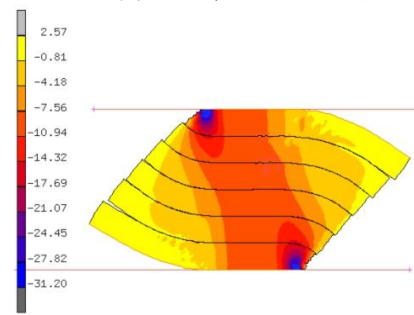


(a) 単調载荷

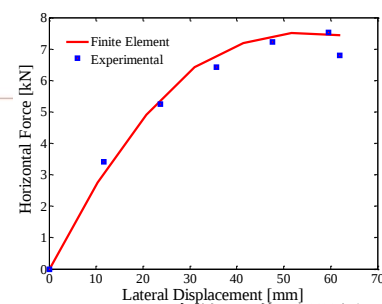


(b) 漸増繰返し载荷

図-6 载荷実験結果



a) 変形と直応力 $\sigma_{yy}$ の分布



b) 変位-荷重関係

図-9 せん断 103%における解析結果