

ゴムの動的多軸力学特性の把握

山梨大学 学生会員 ○望月野亜

山梨大学 正会員 吉田純司

1. はじめに

ゴムはタイヤをはじめとして構造物の免震装置、機械の防振装置、船舶の防絨材など様々な工業用途に広く利用されている¹⁾。特にタイヤはゴム全体のシェアの8割以上を占めるといわれているが、近年では車両全体の燃費を向上させるため、これまでの走行性能を維持したまま燃費に貢献できるタイヤの開発が求められている。このような多機能なタイヤを開発するためには、製品を試行錯誤的に実験するだけでなく、数値計算による性能予測が必要不可欠であり、そのためにはゴム材料の詳細な力学特性を把握し、それを精度よくモデル化することが必要となる。しかし、ゴムの動的な多軸力学特性を把握できる試験装置は希少であり²⁾、精緻なモデル化に先立ち、そのベースとなる詳細な動的力学特性のデータ収集が求められている。

そこで本研究では、タイヤ用ゴム材料の精緻な構成モデルの構築を最終目的として、それに必要な多軸の動的せん断試験を実施できる試験装置を開発し、その力学特性を把握した。

2. ゴムの動的二方向単純せん断試験

(1) 動的多軸材料試験のための3軸載荷試験装置

本載荷試験装置は図-1(a)に示すように試験装置本体と制御ボックスからなり、試験装置はいずれも電動のアクチュエータを用いている。以後、図-1(a)にあわせて横方向を X 軸、縦方向を Z 軸、紙面垂直方向を Y 軸と呼ぶ。試験装置本体では、3つのアクチュエータにより、中央にある載荷板(図-1(b))に変形を与えることができる。水平方向(X軸、Y軸)の最大ストロークは $\pm 20\text{mm}$ 、Z軸の最大ストロークは $\pm 50\text{mm}$ である。各アクチュエータの制御は、図-1(c)に示す制御ボックスにより操作し、その主な動作は外部から電圧を入力する変位制御であり3つの軸に任意の変位経路を設定することができる。荷重計(ロードセル)は、図-1(b)に示す載荷板と対になる上部固定板の上に治具を介して設置されており、アクチュエータの動作とは独立して固定されていることから、計測された荷重に慣性力は一切含まれない。なお、本試験装置の設計目標は、 0.1mm の振幅で 100Hz の繰り返し載荷を目標としており、

(2) 試験片

試験片は幅 60mm 、長さ 300mm 、厚さ 5mm のゴム板から、幅・長さ 25mm のゴム片を切り出し使用する。試験装置の載荷版には、試験片取り付け用の平板が設置してあり、そこに試験片を接着剤で固定する。

(3) 試験方法

本試験では、鉛直方向(Z方向)に固定し水平一方向(X方向)のみに変位を付与する一方向単純せん断試験と、水平二方向に付与する二方向単純せん断試験を行った。これらの試験で与える変位は、いずれも正弦波 α 余弦波を組み合わせたものであり、特に水平二方向の試験では、二方向の変位経路として円形、八の字形、四角形を設定している。これらの波の振動数を $1\sim 40\text{Hz}$ 、振幅(ひずみ)を $1\sim 40\%$ で変えて付与し、その際の水平二方向の変位・荷重を計測してせん断ひずみ・せん断応力に換算している。

3. ゴムの多軸力学特性

(1) 試験結果

図-2に、3つの振幅で振動数を変化させた場合の一方向のせん断試験の結果を示す。図-3より、振動数が大きくなると、せん断応力値が大きくなる上昇していることがわかる。特に 40Hz 載荷での最大応力値は、 1Hz 載荷での値の2倍になっている。また、高振動数になるほど履歴ループも大きくなり、その形状が円形に近づいている。

次に、図-3にひずみレベルが $20\sim 40\%$ での二方向載荷で得られたX方向のせん断応力とせん断ひずみの関係を示す。図をみると、一方向載荷での関係と比較して履歴ループの傾きや形状が異なっていることがわかる。なお、紙面の関係上、図等は省略するが、この履歴ループの差異は、ひずみレベルが大きくなるにつれて現われてくる傾向にあった。

(2) 考察

上述した試験結果より、ゴムの応力-ひずみ関係は、ひずみレベル、載荷振動数によって大きく変化するといえる。また、ゴムの応力は二方向載荷の影響により連成し、その連成レベルはひずみが大きくなるに連れて顕著に現われてくるといえる。このことから構成モデルの構築では、このような連成挙動が表せる汎用性の高いモデル³⁾を採用する必要があるといえる。

4. まとめ

本研究では、ゴムの動的多軸力学特性を把握するための試験装置を開発し、それにより水平一方向および二方向の動的単純せん断試験を実施した。その結果、ひずみレベルで $1\sim 40\%$ 、振動数 $1\sim 40\text{Hz}$ の範囲におけるゴムの応力-ひずみ関係のデータを収集することができた。

今後は、得られたデータをベースに構成モデルの構築を行う予定である。

参考文献

- 1) (株)ブリヂストン編：自動車用タイヤの基礎と実際，東京電機大学出版，2008
- 2) P. Haupt and K. Sedlan: Viscoplasticity of elastomeric materials: experimental facts and constitutive modelling, *Archive of Applied Mechanics*, Vol.71, pp.89-109, 2001.
- 3) 吉田純司, 杉山俊幸：エネルギー吸収性能のひずみ依存性を考慮したゴムの超弾性粘弾塑性ダメージモデル，土木学会論文集 A2, Vol.71, No.1, pp.14-33, 2015

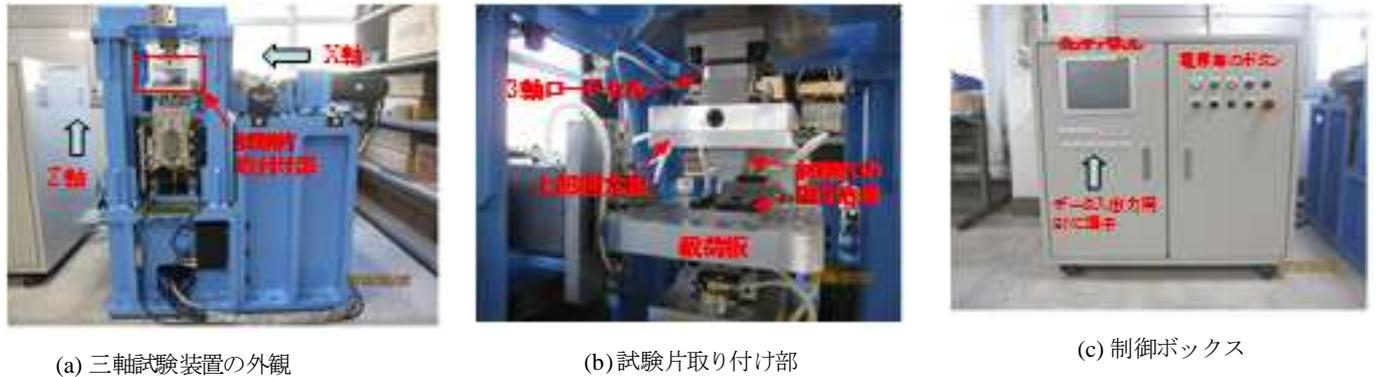


図-1 三軸载荷試験装置と制御ボックス

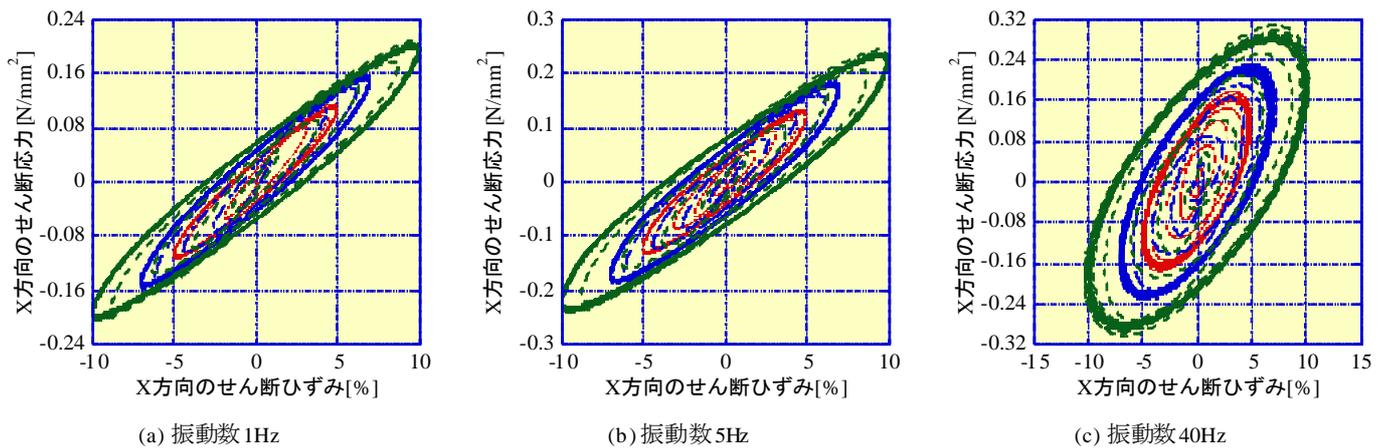


図-2 一方向の単純せん断試験結果 (ひずみ 5~10%)

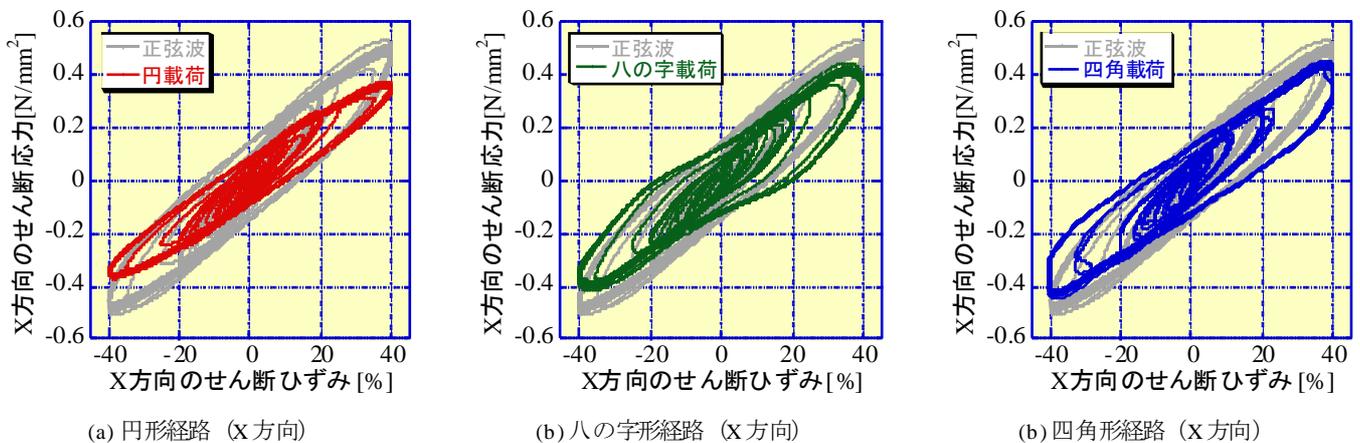


図-3 振動数 1Hz での二方向の単純せん断試験結果 (ひずみ 20~40%)