

橋梁用免震ゴムの多軸力学特性の把握

山梨大学 学生会員 ○成田 廣道, 山梨大学大学院 正会員 吉田 純司
山梨大学大学院 正会員 竹谷 晃一

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震をきっかけに免震、制振といった地震対策の増加¹⁾が見られるようになった。この地震対策の増加に伴い道路橋を代表する土木構造物には免震用積層ゴム支承が数多く用いられている。しかし2011年の東北地方太平洋沖地震や2016年の熊本地震で免震装置の破損²⁾がみられた。これらの橋梁や免震装置の破損原因を究明するためには、ゴムの高精度なモデル化が必要となる。しかし橋梁用免震ゴムの材料試験データは一般的に公開されておらず、現状ではゴムを応用したデバイスの性能を数値計算により精緻に把握することは困難といえる。本研究では橋梁用の免震ゴムを対象とし、ゴムの高精度なモデルを用いた数値解析に必要な十分な材料試験データの収集を目的とする。

2. 材料試験の概要

材料試験は動的せん断試験、拘束ゴム層の圧縮/引張り試験、引張り試験の3種類を行う。

動的せん断試験ではゴムの繰り返し载荷での挙動や振幅、振動数の影響、二方向のせん断による応力の連成を調べるために振幅、振動数、载荷経路を複数設定しせん断試験を実施する。

拘束ゴム層の圧縮/引張り試験では変位-荷重データを収集し、微圧縮性(体積変形と静水圧の関係)調べる。

引張り試験では静的でひずみ500[%]以上の大変形域における挙動を把握するための単軸引張り試験、変形(応力)の連成効果を調べる均等二軸引張り試験を行う。

全試験において試験の精度向上のため同一条件下で試験体を変えて複数回実施する。試験装置は動的せん断試験、拘束ゴム層の圧縮/引張り試験は動的3軸载荷試験装置³⁾を用い、引張り試験は二軸引張り試験機⁴⁾を用いる。各試験機は外部制御により変位を入力する。試験片の材質は全試験共通でG10天然ゴムを用いる。試験片の形状は動的せん断試験、拘束ゴム層の圧縮/引張り試験ではゴム層の上下を鋼板で挟んだサイズの異なる円柱状の試験体を用い、引張り試験は厚さ1[mm]のシート状の試験体を用いる。動的せん断試験、拘束ゴム層の圧縮/引張り試験における試験装置、試験片の概要を図-1に示し、引張り試験における試験装置、試験片の概要を図-2示す。

3. 動的せん断試験

試験から得られた変位-荷重関係から応力-ひずみ関係を算出し力学特性の把握を行った。まず振動数を1[Hz]に固定した際のひずみ増加に伴う応力-ひずみ関係を比較すると応力-ひずみ関係の履歴ループの変位-

荷重が反転する位置での履歴形状が振幅の増加に伴い鋭利な形になることがわかった。このことから振幅が応力-ひずみ関係に及ぼす影響が大きいことがわかった。次にひずみを100[%]で固定した際の振動数の増加に伴う応力-ひずみ関係を比較すると応力-ひずみ関係の履歴形状が振動数の増加にともないほとんど変形していないことから振動数が応力-ひずみ関係に及ぼす影響は微小であることがわかった。

二方向の载荷経路である八の字経路での応力-ひずみ関係を水平一方向の応力-ひずみ関係と比較したものを図-3に示す。図-3より二方向のせん断試験では応力の連成がみられた。他の二方向の载荷経路である、円経路や四角経路でも同様な結果がみられた。

4. 拘束ゴム層の圧縮/引張り試験

拘束ゴム層の圧縮/引張り試験の結果を図-4に示す。圧縮試験では変位-荷重関係の履歴ループの1サイクル目は変位に対して荷重が大きくなることがわかった。また変位-荷重関係は直線的で弾性的な性質がみとれ、残留変位はほとんど見られなかった。

引張り試験でも圧縮試験と同様に1サイクル目は変位に対して荷重が大きくなることが確認できた。また引張り試験では変位の一定値までは弾性的な性質をみせたが、一定値を越えると剛性が一気に低下し降伏したような挙動が見てとれた。

5. 引張り試験

ゴム材料のモデル化⁵⁾⁶⁾を行うにあたって単軸引張り試験結果のみでは、ゴムの多軸挙動を精度よく表す汎用的なパラメーターを同定できないことが知られている。そこで単軸引張り試験、均等二軸引張り試験の2つの試験を実施する。単軸引張り試験、均等二軸引張り試験は試験機から得た変位-荷重関係から図-5のような伸張比-公称応力関係を算出した。例として均等二軸引張り試験の試験結果の1つを示す。単軸引張り試験、二軸均等引張り試験の両試験において最大経験ひずみ依存性(Mullins効果)・ハードニング・履歴ループなどのゴム材料の特徴的な力学特性がみられた。また公称応力の値は単軸引張り試験と比較すると同じ変位の変形でも均等二軸引張り試験のほうが小さくなることが分かった。

6. まとめ

結論としては橋梁免震用ゴムの被害分析等で利用できるような材料試験データを収集することが出来たことである。また、本研究での材料試験データはデータベースとしてWeb上で公開する予定である。

キーワード 材料試験, 橋梁, 免震, 積層ゴム支承

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 TEL: 055-220-8521

謝辞 :

本研究の材料試験で用いた試験体は日本ゴム支承協会, 並びに東京ファブリック工業株式会社からの製作, 提供をしていただいております。ここに記して謝意を表します

【参考文献】

- 1) 免震構造協会: 免震構造入門, 出版社, オーム社, 1995.
- 2) 日本橋梁建設協会: 熊本地震橋梁被害報告書, 2016.
- 3) 望月野亜: ゴムの多軸力学特性の把握, 土木学会第73回年次学術講演会, 2018.08.
- 4) 柚木和徳, 吉田純司, 塩畑英俊, 今井隆, 杉山俊幸: 有限要素モデルを用いた積層ゴム支承の回転限界の把握と設計式の構築, 土木学会論文集 A Vol. 65, No. 3, pp. 574-588, 2009.
- 5) 吉田純司: ゴムの力学特性と構成モデルに関する基礎 [I], 日本接着学会誌 Vol144, No9, pp356-362, 2008.
- 6) 吉田純司: ゴムの力学特性と構成モデルに関する基礎 [II], 日本接着学会誌 Vol144, No10, pp392-400, 2008.

