

ゴムダンパーに生じた剥がれとせん断変形状に関する解析的考察

名古屋工業大学 学生会員 ○小高 大傑
 京都大学大学院 学生会員 渡部 慎也
 名古屋工業大学大学院 韓 子成

名古屋工業大学大学院 正会員 永田 和寿
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. 緒言

1995年に発生した兵庫県南部地震以降、耐震性能の向上を目的にゴム支承およびゴムダンパーの採用が増加している。しかし、近年になって図-1のようにゴムデバイスの積層部底面と下部鋼板の加硫接着部が剥離する劣化現象が報告されている。さらにこの剥がれ現象は耐震性能の大幅な低下をもたらすにも関わらず、剥がれの程度を正確に測定する手法が確立されていない。

そこで本研究では、ゴムデバイスのせん断変形状に着目し、剥がれの程度が変形状に与える影響を解析により明らかにすることを目的とした。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

本研究で対象にしたゴムダンパーを図-2に示す。対象としたゴムダンパーは実橋梁で供用され、剥がれが確認されたものである。

剥がれが生じたゴムダンパーのせん断変形状をシミュレーションするために有限要素解析を行った。

本解析では、汎用構造解析プログラム ABAQUS ver6.14を使用した。解析モデルを図-3に示す。本モデルの積層部は幅及び奥行きが 300mm であり、厚さが 14mm のゴム層 4 枚と 3mm の鋼板(SS400)3枚を交互に重ねている。積層部の側面は 10mm の被覆ゴムで覆っている。さらに積層部の上下には R 値 5mm のフィレット加工を施した。上沓には 370mm×620mm×28mm の上部鋼板(SM490A)を使用しており、下沓には 420mm×420mm×25mm の下部鋼板(SM490A)を使用した。ゴム層、鋼板はともにソリッド要素(C3D8RH)で定義した。

2.2 材料特性

ゴムダンパーに使用しているゴムは超弾性に加えて、粘弾性を有している。しかし、本解析では、超弾性のみ注目して、モデル化を行った。

ゴムのひずみエネルギー関数は Ogden モデルである式(1)を採用した。

$$W = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3) \quad (1)$$

$\bar{\lambda}_j$ ($j = 1, 2, 3$): 各方向の偏差主伸長比



図-1 ゴムダンパーに発生した剥がれ

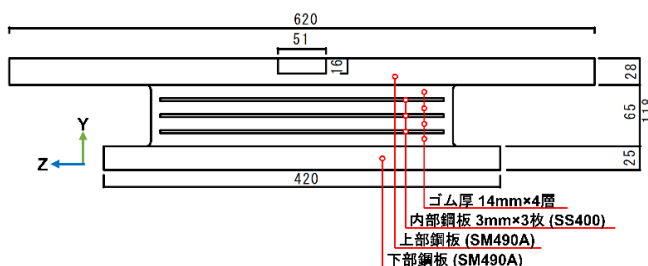


図-2 対象ゴムダンパー (単位:mm)

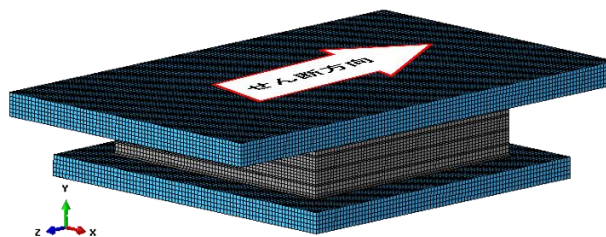


図-3 解析モデル

表-1 Ogden モデルの材料定数

| α_i [-] | 定数 | μ_i [MPa] | 定数 |
|----------------|-------|---------------|--------|
| α_1 | 0.677 | μ_1 | -252.1 |
| α_2 | 0.940 | μ_2 | 123.0 |
| α_3 | 0.435 | μ_3 | 129.2 |

材料定数 α_i 及び μ_i は表-1 を使用した。ただし、この時の初期せん断弾性係数は 0.1MPa であり、一般的にゴムダンパーで使用されるものより柔らかいが、対象のゴムダンパーに対してまだ材料試験を行っていないため、こちらの値を採用している。

鋼板部はヤング率 210GPa、ポアソン比 0.3 の線形弾性体として定義した。

2.3 解析ケース

2.3.1 剥がれのモデル化

本解析では、モデル化したゴムダンパーの下部鋼板と積層部底面を完全結合する面積を変えることで剥がれを表現した。表-2に剥がれ面積のパタ

ーンを示す。橙色が接着部のうち剥離している部分を指す。剥がれが X 軸方向に対して一様に生じているパターンを7つ(1~7)と X 軸方向の半分で剥がれの程度が変わるパターンを2つ(8,9)用意した。

3.2.2 せん断変形

本解析では、下部鋼板底面を完全固定し、上部鋼板天面に剥がれを開口させる方向にせん断変位を与えた。せん断ひずみは常時の点検時を想定しているため、道路橋支承便覧より常時の許容せん断ひずみ 70%とその半分の 35%の2ケースを採用した。ここで、ゴム層の総厚 $14\text{mm} \times 4 = 56\text{mm}$ をせん断変位とした時のせん断ひずみを 100%とする。

3. 結果と考察

図-4に剥がれのパターンが4でせん断ひずみが70%時のゴムダンパーの変形図を示す。積層部の端でゴムの跳ね上がりが確認された。さらに剥がれ部と加硫接着部の境界では、被覆ゴムが圧縮によって膨らんだような挙動がみられた。

ゴムダンパーをせん断変形させた時にゴムの跳ね上がりが顕著にみられる積層部端の鉛直変位を剥がれパターン1~7で比較したグラフを図-5に示す。ただし、パターンの違いによる特徴を見やすくするため、せん断ひずみによって縦軸の倍率を変えている。図-5から剥がれの程度が小さくなるにつれて鉛直変位が増加していることがわかる。ゆえに剥がれの程度の違いがゴムダンパーのせん断変形形状に現れていると考えられる。

次に剥がれの程度が変化する剥がれパターン 8, 9 における積層部端の鉛直変位を図-6,7 に示す。ここで剥がれが一樣のパターンと鉛直変位を比較するといずれの場合も剥がれの割合が対応する一樣剥がれパターンの鉛直変位に収束する挙動を示した。このことからゴムの跳ね上がりの垂直変位を測定することで内部の剥がれの様子を把握できる可能性があると考えられる。

4. 結言

剥がれ面積の違いがゴムダンパーのせん断変形形状に影響を与えていることが確認された。さらに積層部端に発生したゴムの跳ね上がりの垂直変位を測定することで剥がれの形状を把握できる可能性も示した。しかし、常時のせん断ひずみでは垂直変位は微小で現場測定が困難だと思われる。そこで将来的にはゴムダンパーのせん断変形形状の画像から機械学習を用いて剥がれの程度とせん断変形形状を結び付けるシステムの開発を行っていく予定である。

表-2 剥がれの面積のパターン

| | | | | | |
|-------|---|---|---|---|---|
| パターン | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 剥離の様子 | | | | | |
| パターン | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 剥離の様子 | | | | | |

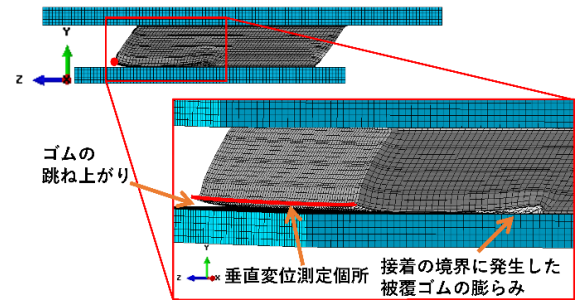
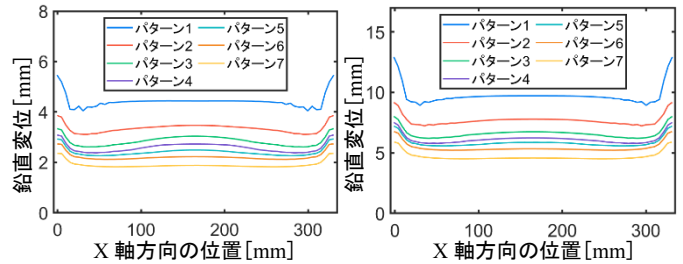
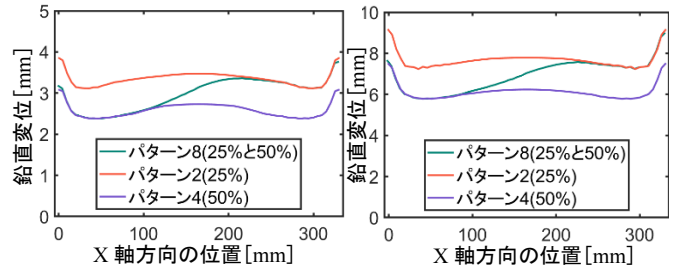


図-4 剥がれパターン4のゴムダンパーを70%せん断させた時の変形図



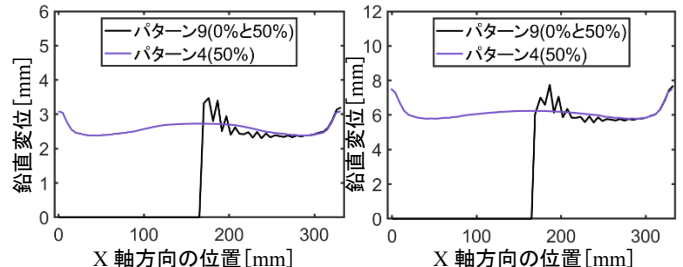
(a)せん断ひずみ 35%時 (b)せん断ひずみ 70%時

図-5 剥がれパターン1~7における鉛直変位



(a)せん断ひずみ 35%時 (b)せん断ひずみ 70%時

図-6 剥がれパターン8における鉛直変位



(a)せん断ひずみ 35%時 (b)せん断ひずみ 70%時

図-7 剥がれパターン9における鉛直変位

参考文献

1) (公社)日本道路協会：道路橋支承便覧(改訂版),丸善株式会社, 1991年7月。