

剥がれが生じたゴムダンパーのせん断変形に着目した解析的考察

名古屋工業大学大学院 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 のようにゴムダンパー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、ゴムダンパーのせん断変形形状に着目し、剥がれの程度が変形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。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。ゴム層はソリッド要素(C3D8RH)で、鋼板はソリッド要素(C3D8R)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、超弾性のみに注目して、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。

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

$\bar{\lambda}_j$ ($j = 1, 2, 3$): 各方向の偏差主伸長比
 J^{el} : 弾性体積比



図-1 ゴムダンパーに発生した剥がれ

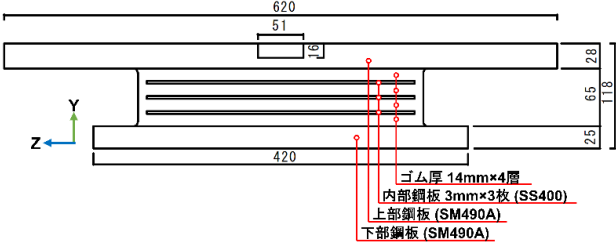


図-2 対象ゴムダンパー (単位:mm)

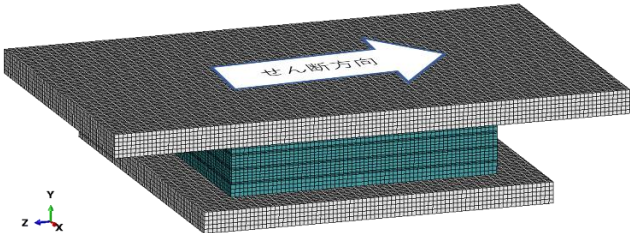


図-3 解析モデル (剥がれパターン:4)

表-1 Ogden モデルの材料定数

α_i [-]	定数	μ_i [MPa]	定数	D_i [1/MPa]	定数
α_1	0.9909	μ_1	0.4963	D_1	0.03448
α_2	5.6971	μ_2	0.0624	D_2	0
α_3	-4.3378	μ_3	0.0064	D_3	0
α_4	1.0006	μ_4	0.6028	D_4	0

材料定数 α_i, μ_i 及び D_i は非線形 CAE 協会が公開している表-1 を使用した。ただし、ポアソン比 0.49 として、若干の圧縮性を認めている。

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。紅色のハッチング部分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。

2.3.2 セン断変形

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2でせん断ひずみが70%時のゴムダンパーの変形図を示す。積層部の端辺でゴムの反り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。

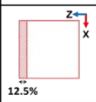
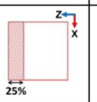
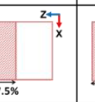
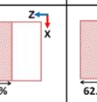
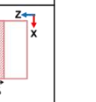
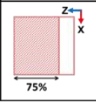
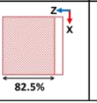
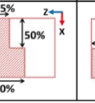
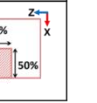
ゴムダンパーをせん断変形させた時にゴムの反り上がりが顕著にみられる積層部端の鉛直変位(反り上がり量)を剥がれパターン 1~7 で比較したグラフを図-5に示す。ただし、パターンの違いによる特徴を見やすくするため、せん断ひずみによって縦軸の倍率を変えている。図-5から剥がれの程度が小さくなるにつれて鉛直変位が増加していることがわかる。ゆえに剥がれの程度の違いがゴムダンパーのせん断変形状に反映されていると考えられる。

次に剥がれの程度が変化する剥がれパターン 8, 9 における反り上がり量を図-6,7 に示す。ここで剥がれが一様な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様剥がれパターンの反り上がり量に漸近する挙動を示した。このことから剥がれの形状が複雑でも規則性を持ってせん断変形状に反映される可能性があると考えられる。ただし、剥がれパターン 8, 9 のどちらにおいても剥がれパターン 4 の反り上がり量に収束しきれていないことが確認できる。これは剥がれの程度が小さい方に引っ張られていることが原因として考えられる。

4. 結言

ゴムダンパーの反り上がり量をみることで剥がれの形状の違いがせん断変形状に影響を与えていることが確認された。そこで将来的にはゴムダンパーのせん断変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					
剥離の割合	12.5%	25%	37.5%	50%	62.5%
パターン	6	7	8	9	
剥離の様子					
剥離の割合	75%	82.5%	25% 50%	50% 50%	

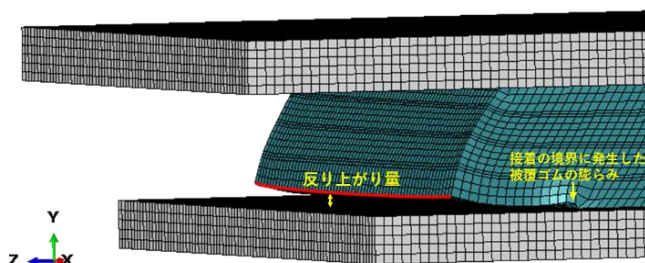
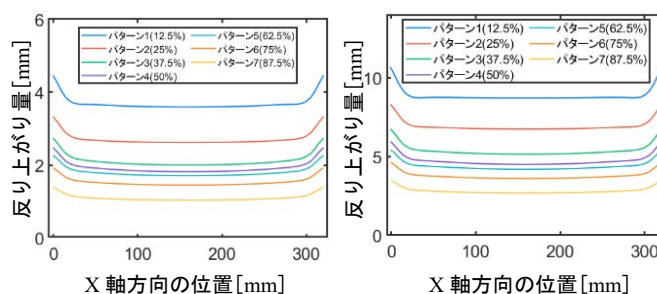
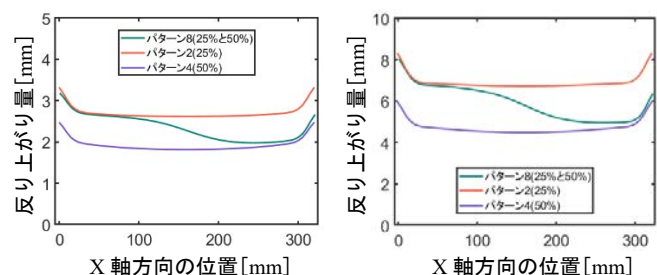


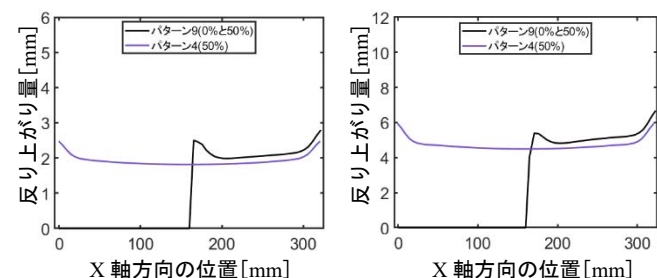
図-4 剥がれパターン2のゴムダンパーを70%せん断させた時の変形図



(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における反り上がり量



(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における反り上がり量



(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における反り上がり量