

第 I 部門

ゴム製支承の高機能化に関する基礎的検討

京都大学工学部 学生員 ○峯 滉典 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征
 京都大学大学院 正会員 松村 政秀 京都大学大学院 正会員 鈴木 康夫

1. はじめに

免振ゴム支承はあらゆる水平方向に曲げ、変位に追従でき、地震時にはアイソレート機能・ダンパー機能を期待し、兵庫県南部地震後に急速に普及した。ゴム支承には上部構造のジョイント保護のため、橋軸直角方向の変位を制限するためにサイドブロックを併設することがある。しかし、支承部分が湿潤であり腐食が進みやすいこと、狭隘空間であることから、こういった鋼材料は少ない方がよく、また、コンパクトな形状であることが望ましい。現在使用されている免震ゴム支承は設置面積が大きく、サイドブロックを設置することでさらに広い面積が必要となる。

そこで本研究では、橋軸方向および橋軸直角方向で異なる剛性を有する免震ゴム支承の開発に向けて、従来型の高減衰ゴム支承と内部鋼板を異なった配置・形状としたゴム支承との両モデルを有限要素解析により比較・検討する。解析は汎用有限要素解析コード Abaqus(ver.6.14)を用いる。

2. 解析概要

2.1 従来型の高減衰ゴム支承（以下、従来型）

従来型の高減衰ゴム支承は図-1 示すとおり、3層のゴムと2層の平鋼板(板厚 2.30mm, SS400)の積層構造であり、上下鋼板(板厚 28.0mm, SM490A)で挟まれた構造である。上下の鋼板はシェル要素とし、その他の部分はソリッド要素とした。要素分割は、ゴム層、内部鋼板それぞれ高さ方向に4分割し、要素サイズは幅 5.00mmとした。解析に用いた各材料特性を表-1 に示す。ゴム材料のエネルギー密度関数として Ogden 則¹⁾を用いることによって、大ひずみ下におけるゴム材料の挙動を再現できるようゴム材料のモデル化を行った。

従来型では内部鋼板は SS400、上下鋼板は SM490A を使用した。鋼板-ゴム間は、実構造物において、加硫接着であり強固な接着であることから一体結合とする。境界条件は、ゴム支承下部を完全固定とし、上部鋼板は水平に変形するように拘束した。載荷手順は、STEP1: 上部鋼板に死荷重相当の鉛直下向き荷重(6.00N/mm²)を載荷し、STEP2: 上部鋼板の x 方向に強制変位を与える。

2.2 内部鋼板を波状にしたゴム支承（以下、波状型）

内部鋼板を波状にしたモデルを図-2 に示す。このモデ

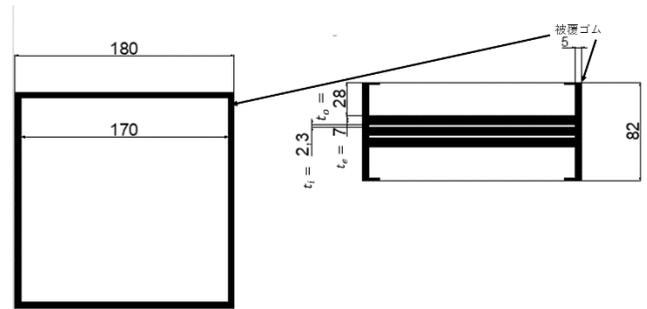


図-1 従来型高減衰ゴム支承モデル

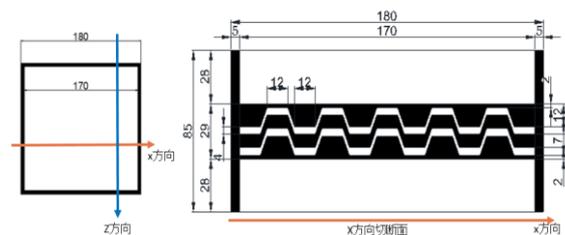


図-2 内部鋼板変形ゴム支承モデル

表-1 各材料定数

	SS400	SM490A	ゴム材料
ヤング率(N/mm ²)		205000	-
ポアソン比		0.3	0.495
降伏応力(N/mm ²)	245	315	-

ルは、橋軸直角方向はせん断変形に作用するゴム層を薄くし、橋軸方向は従来型と等しいゴム厚でせん断変形をすることを想定している。波状型は、従来型と同様に3層のゴムと2層の波状鋼板としているが、図-2 に示すように、内部鋼板の形状を波状へと変更し、異方性をもつ構造とした。内部鋼板が塑性変形を起こさないように、鋼板板厚を 2.30mm から 4.00mm とする。要素分割は従来型と同様とし、内部鋼板、中間のゴム層は高さ方向に2分割とする。メッシュサイズは節点が重なるように上下のゴム層は 2.175mm 幅とし、その他の部分は 4.25mm とした。使用材料・材料特性は従来型と同様(表-3)である。また、x 方向は橋軸直角方向、z 方向は橋軸方向に設置を想定している。波状型の載荷では、STEP2 にて上部鋼板の x 方向、z 方向、それぞれの方向に 105kN (従来型で 250%変形時) のせん断力を載荷する。

各せん断変位は道路橋支承便覧を参照した。²⁾

Kosuke Mine, Kunitomo Sugiura, Masahide Mastumura, Suzuki Yasuo
 mine.kosuke.72n@st.kyoto-u.ac.jp

表-2 従来型の水平反力, 水平剛性

変位(mm)	反力(kN)	剛性(kN/mm)
水平方向		
31.5(150%)	46.8	1.49
36.75(175%)	57.2	1.56
52.5(250%)	105	2.00
鉛直方向		
1.71	173	101

表-3 波状型水平剛性

変位(mm)	反力(kN)	剛性(kN/mm)
水平方向(x方向)		
6.32(30.1%)	46.8	7.41
7.36(35.1%)	57.2	7.77
11.2(53.1%)	105	9.41
水平方向(z方向)		
10.7(51.0%)	46.8	4.37
12.2(58.1%)	57.2	4.69
18.0(85.5%)	105	5.85

3. 解析結果・考察

3.1 ゴム支承の変形性能

表-2 に, 従来型の上部鋼板の下部鋼板に対する x 方向の変位が 31.5mm (150%), 36.75mm (175%), 52.5mm (250%) のときの水平反力および水平剛性のまとめたものを示し, 表-3 に波状型の水平反力, 水平剛性を示す。

従来型は, 水平方向の変位が増加に伴い, 水平剛性が增大している。これは, Ogden 則を用いることで, 変形量が増えるとゴムの硬化を再現できているためである。一方で, 波状型では x 方向, z 方向で異なる水平剛性を示し, 従来型と比較して大きな水平剛性が得られることがわかる。これは, x 方向は鋼板の波状部分間のゴム層にせん断変形が生じず, z 方向は従来型に比べ鋼板の表面積が大きく, 鋼板の引張力によりゴムの移動が制限されることから, それぞれ剛性が大きくなったものと考えられる。橋梁設計にあたり, ゴム支承の上柵とサイドブロックとの遊間量は約 5mm であるため, 今回検討した波状型はサイドブロックと同等な変位制限機能の発現には至らなかったが, 橋軸方向と橋軸直角方向において異なる剛性を有することが可能である。

3.2 ゴム支承のひずみ分布

従来型の x 方向のせん断ひずみ分布を図-3, 波状型の x, z 方向のせん断ひずみ分布を図-4, 5 に示す。従来型は, 水平方向に変形を生じ, 各ゴム層が一様なせん断ひずみが生じる。一方で, 波状型は, 内部鋼板が波状なため, 従来型と比べて, ゴム変形に伴うひずみが局所的に生じるため, 局所のせん断ひずみが大きくなり, 局所的な破断の可能性もある。また, x 方向の水平載荷時(図-4)に, もっともせん断変形が大きくなるのは上下の 2.00mm のゴム層であり, この層のせん断変形が 137%となり, この部分におけるゴ

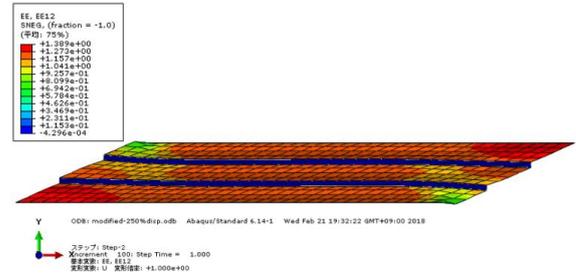


図-3 従来型 (x 方向せん断ひずみ)

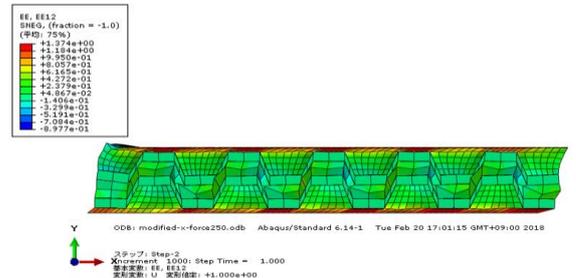


図-4 波状型 (x 方向載荷時 x 方向せん断ひずみ)

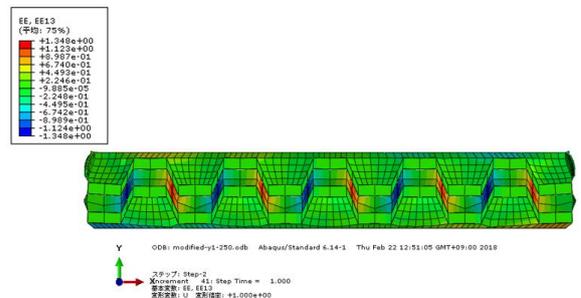


図-5 波状型 (z 方向載荷時 z 方向せん断ひずみ)

ムの破断, あるいはゴムと鋼板の剥離が生じる可能性がある。z 方向載荷時(図-5)では, 波状鋼板の波上部に挟まれるゴム層のせん断ひずみが最大で 134%となった。x 方向と同様, 局所的な変形に伴う破壊の可能性があるので, 今後, さらなる検討が必要である。

4. まとめ

本研究では, 高減衰ゴム支承の内部鋼板に波状鋼板を適用し, 波状型ゴム支承の性能評価を行った。その結果, 波状型ゴム支承の橋軸直角方向の剛性は, 400%以上増加した。しかし, 波状形状なため, 全体の変形に対して局所的にせん断ひずみが大きくなるため, その箇所でのゴム層の破断や鋼板とゴム層との剥離の可能性もある。

参考文献

- 1) Ogden, R. W.: Large deformation isotropic elasticity on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids, Proc. of the Royal Societu of London, Series A 326, pp.565-584, 1972
- 2) 社団法人日本道路協会 “道路橋支承便覧(改訂版)”, 2011 第 6 刷