

劣化したゴムダンパーの耐震性能に関する基礎検討

名古屋工業大学 学生会員 澤田慎太郎

名古屋工業大学 正会員 永田和寿

名古屋工業大学 学生会員 大野桂樹

1. はじめに

1995 年に発生した兵庫県南部地震以降、構造物の耐震性能を向上する目的で、ゴム支承やゴムダンパーが採用されている。近年、これらのゴム製のデバイスにおいて硬化やき裂などオゾンが要因と思われるゴムの劣化が報告されている。そのため、地震時においてこれらのデバイスが所定の性能を発揮することができるか確認する必要が生じている。そこで、本研究では劣化したゴムダンパーを対象としてその耐震性能を明らかにすることを目的とし、基礎的な検討を行った。

2. 研究概要

2.1 劣化したゴムダンパーについて

本研究ではオゾン劣化によって硬化したゴムの耐震性能を解析していくことを研究内容としている。図 1 のようなゴムダンパーにオゾン劣化が進んでいることとして研究を行う。

ゴムダンパーが劣化している要因として主にあげられるものはオゾンである。オゾンによって劣化したゴムダンパーは健全なものに比べ、剛性が高くなっており¹⁾、また、下鋼板付近のゴムのき裂も報告されている²⁾。

また図 1 を参考にしたゴムダンパーは通常ゴムがもとも持つ超弾性に加え、粘性の性質を有している。この粘性により地震時にエネルギーを吸収する。

本検討ではこのゴムダンパーの性質のうち、超弾性のみに着目してゴムの劣化現象である硬化の確認を行うことにした。

2.2 解析手法

解析モデルを図 2 に示す。本研究で参考にしてしている図 1 のゴム一層は寸法 320mm×320mm×12mm である。これを汎用構造解析ソフト ABAQUS によって、ソリッド要素(C3D8RH)で 1 辺 12mm の立方体要素で分割し、解析を行うことにした。境界条件はゴム層下側を完全固定、上側を変位制御に設定して 0mm→24mm→0mm→-

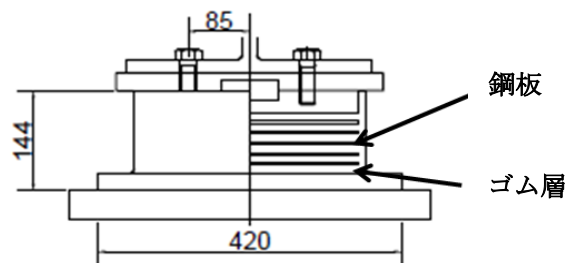


図 1 参考にしたゴムダンパー(mm)

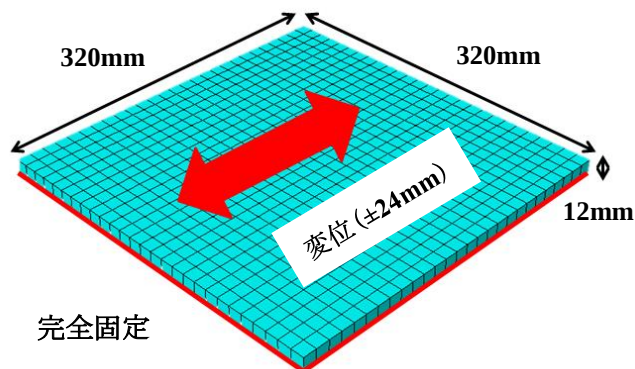


図 2 ゴム一層のモデル

24mm→0mm という変位の変化を 2 ループ繰り返した。

この解析によりゴムの硬化が変形時の挙動にどのように影響するかについての検討を行った。

3. 解析条件

3.1 ひずみエネルギー関数について

今回採用したひずみエネルギー関数 W は Neo-Hookean モデルであり、式(1)を用いた³⁾。

$$W = C_{10}(I_1 - 3) \quad (1)$$

このうち C_{10} は材料試験からカーブフィッティングすることで得られる材料定数、 I_1 はひずみの第 1 不変量である。

せん断弾性率 G は Neo-Hookean モデルだけでなくいづれのモデルにおいても

$$G = 2 \left(\frac{\partial W}{\partial I_1} + \frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \quad (2)$$

であり、 I_2 はひずみの第 2 不変量であるが、Neo-Hookean モデルは I_2 を用いていないため、式(2)から

$$G=2\frac{\partial W}{\partial I_1} \quad (3)$$

この式(3)と上記の式(1)をまとめると

$$G=2C_{10} \quad (4)$$

となる．つまりゴムのせん断弾性率というのは材料試験から得られた材料定数 C_{10} に依存するということが分かる．そこで公表されている Treloar のゴムの材料試験データ⁴⁾から材料定数 C_{10} とその定数値を変化させた定数とでどのようにゴムの挙動が変化するか確認することにした⁵⁾．解析に用いた材料定数 C_{10} を表 1 に示す．解析結果を図 3 に示す．

3.2 結果及び考察

図 3 に示されているゴム層の荷重－変位関係においてせん断弾性率が高いほど荷重が大きく示されているがわかり、反対に値が低いものほど、変位が大きくなっても低い荷重を示すことがわかる．また、表 2 から同様のことがいえる．以上のことからゴムが硬くなるにつれて変位と荷重の勾配が大きくなること¹⁾が確認された．

また、変位がゴム層の厚さ 12mm に対し、変位を 24mm まで与えたが、ハードニングは現れなかった．このゴム層のひずみエネルギー関数が Neo-Hookean モデルのために 200%の変位でもハードニングが起きなかった．また、粘性が考慮されなかったために、このような線形に近い挙動が生じたのだと考えられる．また図 4 では、変位方向から見た、せん断変形のコンター図であるが、変位方向に変形されていることが確認された．

4. 今後の研究予定

簡単なひずみエネルギー関数を採用したが、今後の研究を進めていくにあたり、図 3 に示される変位よりも大きい変位でゴムの挙動を解析していく必要があるため、現段階で使用しているひずみエネルギー関数も含め、適切なモデルを検討し、ゴムダンパーに対してふさわしいモデルを決定する必要がある．

また、図 1 に示すような実際のゴムダンパーを対象として粘性も考慮したオゾン劣化によるゴムダンパーの硬化とき裂が生じた際の挙動を静的解析、動的解析で検討していく予定である．

表 2 解析ケース

解析ケース	C_{10}
硬化なし	0.198
10%硬化	0.218
20%硬化	0.238

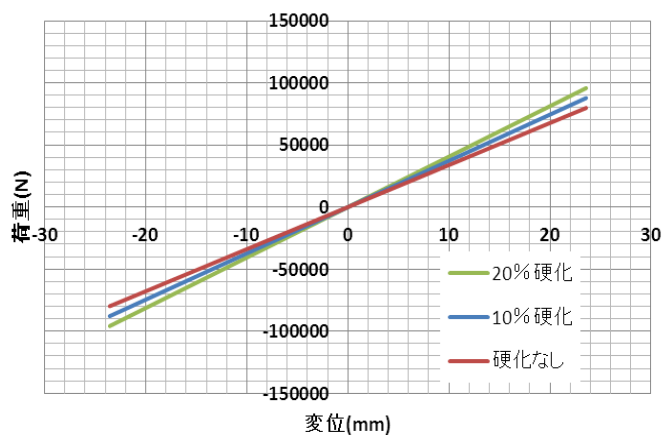


図 3 変位と荷重

表 2 ゴムを硬くした場合の各変位(u(mm))に対する荷重(N)

$G \backslash u$	5	10	20
硬化なし	1.77E+04	3.40E+04	6.65E+04
10%硬化	1.95E+04	3.73E+04	7.31E+04
20%硬化	2.12E+04	4.07E+04	7.98E+04



図 4 変位方向から見た変形前(上)と変形後(下)の図

参考文献

- 1) 廣畑幹人, 伊藤義人, 汪深: 環境劣化因子とひずみによる天然ゴム支承のき裂発生に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.61A, 土木学会, pp.302-312, 2015 年 3 月.
- 2) 大門大, 鈴木信勝, 山下章, 長谷川秀也: 亀裂損傷が確認された既設ゴムダンパー(HDR-S)の残存性能と劣化要因の分析, 中部地方整備局管内事業研究発表会.
- 3) 石川覚志: ゴムの有限要素法の学び方—超弾性体の基礎理論と実践—, 日刊工業新聞社, 2015 年 12 月.
- 4) Treloar, L.R.G, Trans. Faraday Soc., 50, (1954), pp.881-896.