

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	積層ゴムの引張変形を考慮したモデル化の違いが免震建物応答に与える影響
Title(English)	Influence of differences in modeling considering tensile deformation of laminated rubber bearings on response of base-isolated building
著者(和文)	横田伶未, 佐藤大樹, 北村春幸, 松田頼征, 森隆浩, 中村昌弘, 加藤秀章, 脇島健二, 石田安澄
Authors(English)	Reimi Yokota, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Yoriyuki MATSUDA, Takahiro Mori, Masahiro Nakamura, Hideaki Kato, Kenji Wakishima, Azumi Ishida
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 1039-1040
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 1039-1040
発行日 / Pub. date	2017, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

積層ゴムの引張変形を考慮したモデル化の違いが免震建物応答に与える影響

免震構造	積層ゴム	正会員	○横田 侑未*	正会員	佐藤 大樹**	正会員	北村 春幸***
引張変形	モデル化	〃	松田 頼征****	〃	森 隆浩****	〃	中村 昌弘****
水平・上下同時入力		〃	加藤 秀章****	〃	脇島 健二****	〃	石田 安澄****

1. はじめに

積層ゴムの引張限界の制約を緩和するため、引張限界応力 1N/mm^2 に代わり引張限界ひずみ 5% で規定し、引張剛性を圧縮剛性の 1/50 以下とした直線で規定する方法が提案されている。この方法は積層ゴム単体の実験に基づいた提案であり、免震建物全体としての挙動を評価することが必要となる。

積層ゴムは引張剛性や引張降伏応力が水平変形に依存する。引抜き時の挙動を詳細に評価できる水平・上下同時入力の時刻歴応答解析では、このような積層ゴムの引張側の水平、鉛直特性の連成を考慮したモデルが望まれる。

本論文では、積層ゴムの引張側の水平、鉛直特性の連成を考慮したモデルを考案して免震建物の水平・上下同時入力による時刻歴応答解析を行い、積層ゴムのモデル化の違いが建物応答に与える影響を評価する。

2. 積層ゴムの引張変形を考慮したモデル化

圧縮力を受ける積層ゴムは水平変形の増大に伴い水平復元力や鉛直剛性が低下する²⁾。このような圧縮側の水平、鉛直特性の連成を表現できるモデルとして、大変形マクロモデル³⁾に軸ばねを追加した修正モデル^{4), 5)}がある。このモデルの軸ばねに引張特性を考慮した非線形特性を導入し、引張側の水平、鉛直特性の連成も表現できるモデルを考案する。図1に大変形マクロモデル(修正モデル)の概念図を示す。せん断ばね特性⁴⁾を図2に、回転ばね特性⁴⁾を図3に、軸ばね特性⁴⁾(以下、 M_0 モデル)を図4(a)にそれぞれ示す。図5(a)に引張特性のオフセットせん断ひずみ依存性(M_0 モデル)の実験¹⁾と解析の比較を示す。図より、せん断ひずみの大きさにより引張降伏する応力が変化することで、引張特性のせん断ひずみ依存性を表すことが確認できる。一方、解析結果の初期引張剛性は実験結果と比較して大きくなっている。そこで、初期引張剛性の低下を表現するため、図4(b)に示したバイリニア型の非線形特性(以下、 M_E モデル)を軸ばねに導入する。引張降伏応力、初期引張剛性の圧縮剛性に対する比は単純引張試験の引張応力-引張ひずみ曲線を再現するように決定した。引張特性のオフセットせん断ひずみ依存性(M_E モデル)を図5(b)に示す。図より、初期引張剛性の低下や引張特性のせん断ひずみ依存性を表現できていることがわかる。

3. 免震建物の水平・上下応答解析

3.1 免震建物モデル

免震建物のモデルとして、RC造で建物幅 10m、建物高さ 51m としたアスペクト比 5.1 の 17 階建て集合住宅を想定する。免震部材は天然ゴム系積層ゴムに履歴系ダンパーを並列型に組み合わせたものとする。免震層弾性時の水平 1 次固有周期は 4.59s、上下 1 次固有周期は 0.09s である。

3.2 解析モデル

積層ゴムのモデル化は、一般的に積層ゴムの水平、鉛直特性の連成を考慮せずにせん断ばねと軸ばねを並列に配置したモデル(以下、並列ばねモデル)とすることが多い。そこで、 M_E モデルを精算解として並列ばねモデルと大変形マクロモデルで積層ゴムのモデル化を行う。解析モデルを図6に示す。解析モデルは上部構造の重量を重心位置に集約した 1 質点モデルで、質点の自由度は重心における水平、鉛直、回転の 3 自由度である⁹⁾。並列ばねモデルのせん断ばね特性は線形弾

性とし、軸ばね特性は図7に示すものとする。 S_0 モデルは、引張限界を応力で規定した場合、引張応力を安全側に評価する線形弾性モデルである。 S_1 モデルは、一般的に用いられる

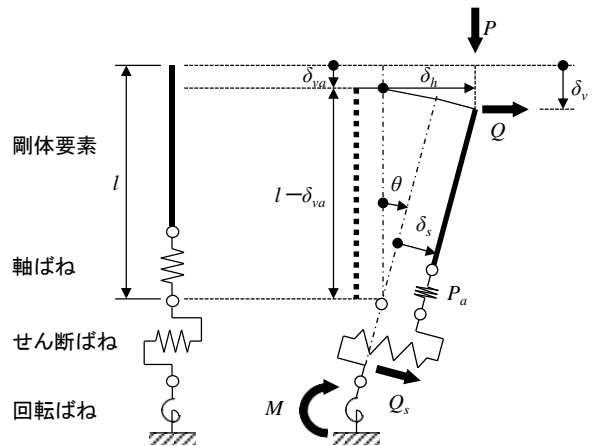


図1 大変形マクロモデル(修正モデル)の概念図

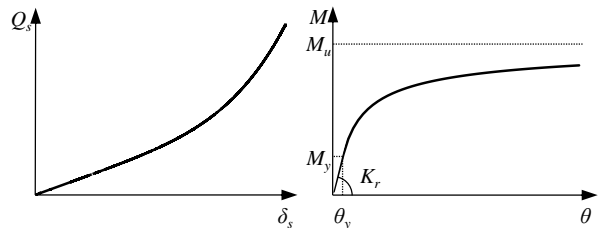
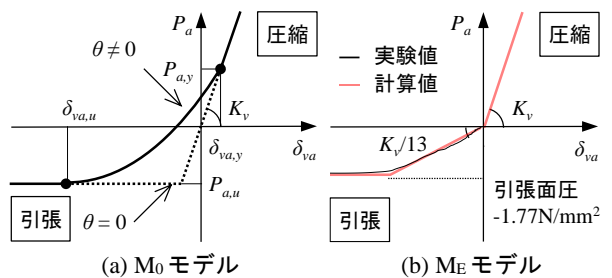


図2 せん断ばね特性

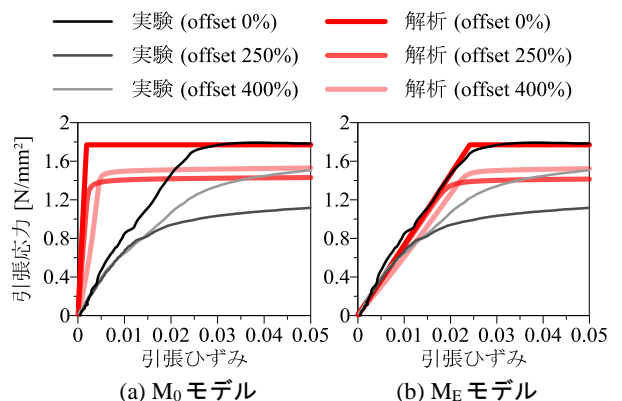
図3 回転ばね特性



(a) M_0 モデル

(b) M_E モデル

図4 大変形マクロモデルの軸ばね特性



(a) M_0 モデル

(b) M_E モデル

図5 引張特性のせん断ひずみ依存性

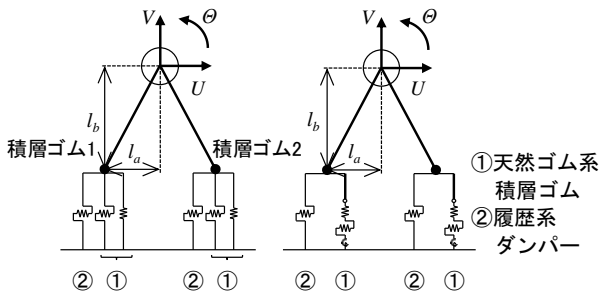
Influence of differences in modeling considering tensile deformation of laminated rubber bearings on response of base-isolated building

YOKOTA Reimi, SATO Daiki, KITAMURA Haruyuki
MATSUDA Yoriyuki, MORI Takahiro, NAKAMURA Masahiro
KATO Hideaki, WAKISHIMA Kenji, ISHIDA Azumi

引張特性をバイリニア型としたモデルである。S₂, S₃ モデルは、引張限界をひずみで規定した場合、引張剛性を圧縮剛性の1/50以下とする直線で規定することで引張ひずみを安全側に評価するモデルである¹⁾。S_Eモデルは、単純引張試験をバイリニア型として再現したモデルである。履歴系ダンパーの復元力特性は完全弾塑性モデルによって表し、ダンパーの降伏変形2cmに対して降伏せん断力係数0.04を設定する。構造減衰は鉛直方向のみ考慮し、鉛直方向の1次固有振動数に対して減衰定数2%の初期剛性比例型とする。

3.3 入力地震動

地震動は水平・上下方向に同時入力する。位相特性は内陸型地震として1995年兵庫県南部地震のJMA神戸(NS, UD成分)、2004年新潟県中越地震のJMA川口(EW, UD成分)、海溝型地震として1968年十勝沖地震の八戸港湾(NS, UD成分)、1978年宮城県沖地震の東北大学(NS, UD成分)を採用する。



(a) 並列ばねモデル (b) 大変形マクロモデル

図6 解析モデル

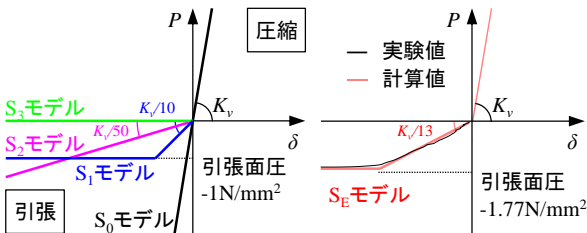


図7 並列ばねモデルの軸ばね特性

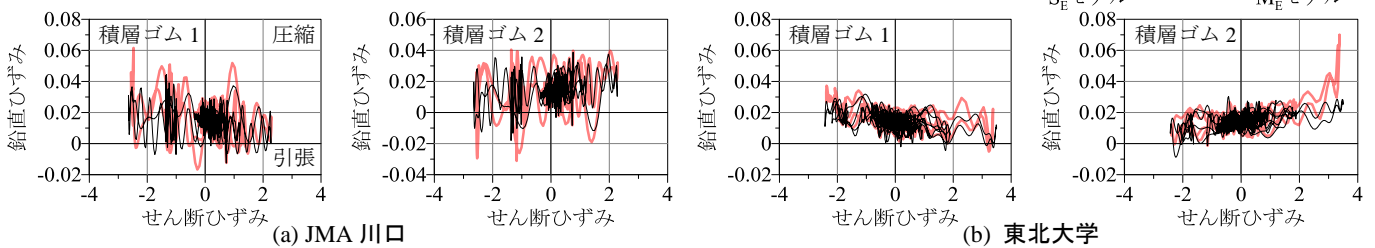


図8 積層ゴムの鉛直ひずみとせん断ひずみの関係

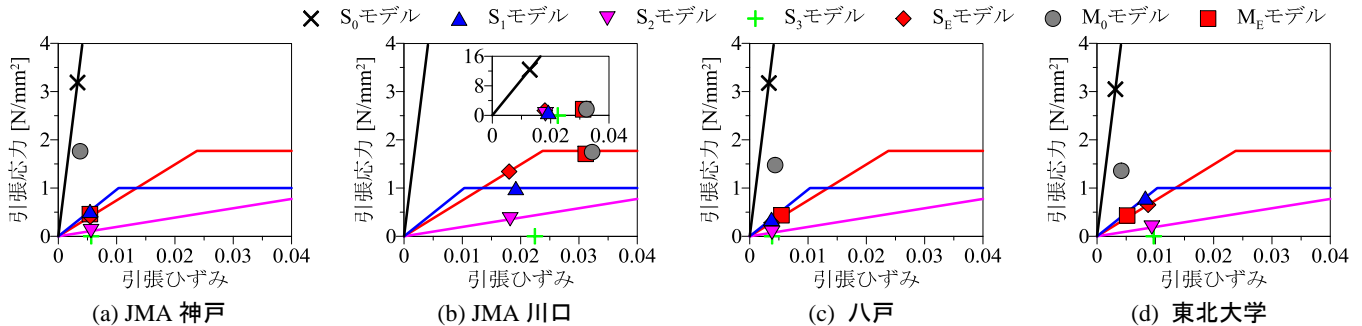


図9 積層ゴムの最大引張応力と最大引張ひずみの関係

用する。水平方向は最大速度振幅を100cm/sで基準化したものを用い、上下方向は水平方向の基準化レベルに応じた倍率を入力地震動に乗じる。

3.4 解析結果

積層ゴムの鉛直ひずみとせん断ひずみの関係を図8に示す。図より内陸型地震のJMA川口に着目すると、一般的な並列ばねモデルのS_Eモデルは、引張側の水平、鉛直特性の連成を考慮したM_Eモデルと比較して鉛直ひずみを小さく評価する場合がある。海溝型地震の東北大学に着目すると、S_EモデルはM_Eモデルに近い精度で引張ひずみを評価できるが、圧縮ひずみを小さく評価する場合がある。積層ゴムの最大引張応力と最大引張ひずみの関係を図9に示す。図より並列ばねモデルとM_Eモデルを比較すると、海溝型地震の場合、最大引張ひずみがほとんど同じであるが、内陸型地震の場合、並列ばねモデルはM_Eモデルと比較して最大引張ひずみを小さく評価する場合がある。

4. まとめ

本論文では、積層ゴムの引張側の水平、鉛直特性の連成を考慮したモデルを考案して免震建物の水平・上下同時入力による時刻歴応答解析を行い、積層ゴムのモデル化の違いが建物応答に与える影響を評価した。その結果、海溝型地震の場合、積層ゴムのモデル化による差はほとんどないが、内陸型地震の場合、一般的なせん断ばねと軸ばねを並列に配置したモデルは、引張側の水平、鉛直特性の連成を考慮したモデルと比較して、最大引張ひずみを小さく評価する場合がある。

参考文献

- 1) 森隆浩, 中村昌弘, 室田伸夫, 北村春幸, 佐藤利昭: 引張限界ひずみによる免震構造設計のための積層ゴムの引張特性の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第718号, pp.2021-2031, 2015.12
- 2) 高山峯夫: 免震構造用天然ゴム系積層ゴムアイソレータの限界性能, 日本建築学会技術報告集, 第1号, pp.160-165, 1995.12
- 3) 日本建築学会: 免震構造設計指針第2版, pp.545-563, 1993
- 4) 飯塚真巨: 積層ゴムの大変形挙動をシミュレートする巨視的力学モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第568号, pp.83-90, 2003.6
- 5) 高岡栄治, 竹中康雄: 積層ゴムの座屈及び引張り特性を考慮した免震建物の終局挙動解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.845-846, 2009.8
- 6) 高岡栄治: 積層ゴムの座屈破壊を対象とした免震建物振動台実験のシミュレーション解析, 日本建築学会構造系論文集, 第613号, pp.51-57, 2007.3

* 日立建設設計 (元 東京理科大学)
 ** 東京工業大学
 *** 東京理科大学
 **** プリヂストン

* Hitachi Architects & Engineers
 ** Tokyo Institute of Technology
 *** Tokyo University of Science
 **** Bridgestone