T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

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

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	○横田伶未*	正会員	佐藤大樹**	正会員	北村春幸***
引張変形	モデル化	11	松田頼征***]]	森 隆浩****]]	中村昌弘****
水平・上下同	時入力	11	加藤秀章****	11	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/mm²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¹⁾。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 ¹⁾。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, M₀ 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(Mo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,ME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(ME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 $^{\circ}$ 。並列ばねモデルのせん断ばね特性は線形弾 Influence of differences in modeling considering tensile deformation of

laminated rubber bearings on response of base-isolated building

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



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⁾。SE 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

**** ブリヂストン

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。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 SE 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、SE モデルは ME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 ME 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 ME 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。

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。

- 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 震構造物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
- 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
- 日本建築学会:免震構造設計指針第2版,pp.545-563,1993
- 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
- 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
- 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

A

鉛直ひず

(b) 東北大学

 $[N/mm^2]$

張応力 2

0.04

3-

n

0

0.01

 S_E モデル

0.08-

0.06

0.04

0.02

-0.02-

0

-4

M₀モデル

積層ゴム2

-2

0

せん断ひずみ

■ M_Eモデル

0.02 0.03

引張ひずみ

(d) 東北大学

0.04

M_rモデル

2



**** Bridgestone