

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	水平上下重ね合わせによる積層ゴムの引張剛性を考慮した引張歪みの予測手法の提案
Title(English)	Tensile strain prediction method in combination of horizontal and vertical response considering tensile stiffness
著者(和文)	吉江一馬, 佐藤大樹, 松田頼征, 北村春幸, 中村昌弘, 森隆浩, 加藤秀章, 脇島健二, 石田安澄
Authors(English)	Kazuma Yoshie, Daiki Sato, Yoriyuki MATSUDA, Haruyuki Kitamura, Masahiro Nakamura, Takahiro Mori, 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. 1037-1038
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 1037-1038
発行日 / Pub. date	2017, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

水平上下重ね合わせによる積層ゴムの引張剛性を考慮した引張歪みの予測手法の提案

			正会員	○吉江一馬*1	同	佐藤大樹*2	同	松田頼征*1
免震構造	水平上下重ね合わせ	引張歪み	同	北村春幸*1	同	中村昌弘*3	同	森 隆浩*3
積層ゴム	エネルギー一定則		同	加藤秀章*3	同	脇島健二*3	同	石田安澄*3

1. はじめに

積層ゴムの引抜き要因には上下動によるものと水平動によるものがある。水平と上下で一般的に固有振動数と減衰も異なるため、設計時にはそれを考慮しなければならない。既往の研究<sup>1)~4)</sup>において、水平と上下を別々に解析して重ね合わせる方法が提案されているが、積層ゴムの引張剛性が圧縮剛性に対して小さくなることを考慮した重ね合わせ法は提案されていない。

これらを踏まえて本報では、積層ゴムの引張剛性が圧縮剛性に対して小さくなる場合に、水平および上下それぞれの時刻歴解析結果から、水平上下同時入力した際の積層ゴムの引張歪みを予測する手法を提案する。

2. 検討用モデルの概要

2.1 上部構造の設計

対象建物は、地上 24 階、高さ 96.0m、長辺方向 32.0m、短辺方向 24.0m、搭状比 4.0 の鉄骨造免震建物を用い、基準階伏図と X1, X6 通り軸組図を図 1 に示す。上部構造の固有周期は 2.70s で、以降の検討では減衰は水平上下共に定値減衰で 2% としている。

2.2 免震層の概要

免震層は、天然ゴム系積層ゴム<sup>5)</sup>と履歴減衰型ダンパー<sup>6)</sup>で構成した。天然ゴム系積層ゴムは、柱の長期軸力に対する面圧が 10~15N/mm<sup>2</sup> となるようにゴム径を定め、各柱下に配置した。履歴減衰型ダンパーは、建物総重量の 3% で降伏するように設定した。せん断歪み 250% 時の免震建物の固有周期は 4.48s である。免震層の構成として図 2 に積層ゴムの配置を、図 3 にダンパーの配置を示す。

2.3 積層ゴムの引張特性のモデル化

図 4 に各ケースの面圧  $\sigma$ -ひずみ  $\epsilon$  関係を示す。同図に示す通り、Type-0 は、圧縮側と引張側で剛性を同一としたモデルである。残る 2 タイプは、森ら<sup>7)</sup>が提案している引張剛性を圧縮剛性の 1/50 とした Type-1、引張剛性を圧縮剛性の 1/10、引張応力 1N/mm<sup>2</sup> 以降で引張剛性を 0 とした Type-2 とする。なお、森ら<sup>7)</sup>は引張限界に引張歪みを用いることを提案していることから、以降の重ね合わせ法では水平上下の付加歪みの重ね合わせにより引張歪みを推定する。

3. 検討用地震動

入力は水平上下二方向入力として、水平動はコーナー周期  $T_c = 0.64s$  以降で擬似速度応答スペクトルを 100cm/sec で一定とした波を用いた。上下動は設計用入力地震動作成手法技術指針(案)<sup>8)</sup>による方法により水平動の応答スペクトルに上下動成分係数を乗じて設定した。位相特性は、1995 年兵庫県南部地震 - 神戸海洋気象台記録(JMA KOBE)NS 成分を用いる。図 5 に加速度  $A$  と擬似速度応答スペクトル  $pS_v$  を示す。

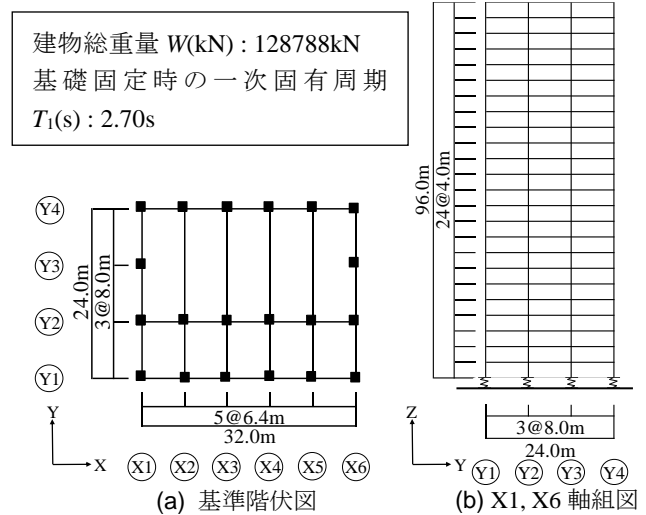


図 1 建物モデル概要

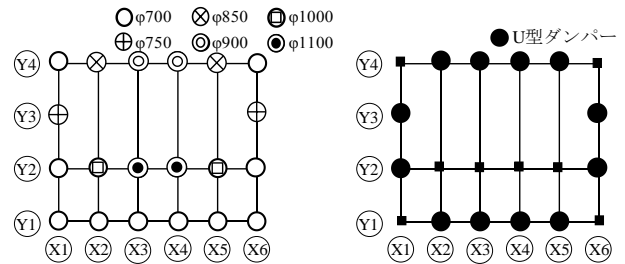


図 2 積層ゴム配置図

図 3 ダンパー配置図

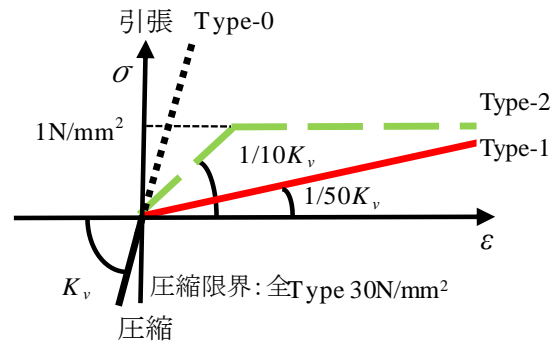


図 4 鉛直方向の面圧  $\sigma$ -ひずみ  $\epsilon$  関係

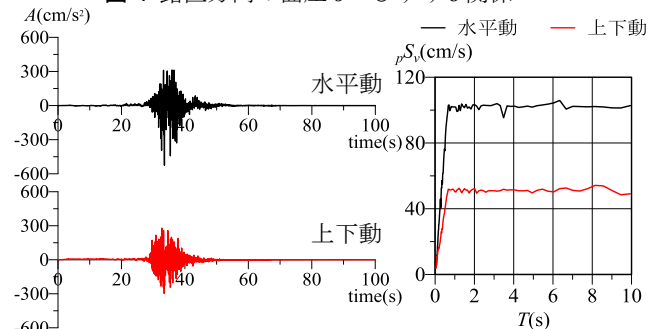


図 5 入力動の(左)加速度  $A$  と(右)擬似速度応答スペクトル

#### 4. 時刻歴和法による検討

本章では時刻歴和による積層ゴムの鉛直歪みと水平上下同時入力における積層ゴムの鉛直歪みを比較する。図 6 に水平動単独，上下動単独，時刻歴和，水平上下同時入力における積層ゴムの引張歪みの時刻歴を示す。

図 6 より，水平上下単独入力は積層ゴムに引抜きが生じていないため時刻歴和法では積層ゴムの引張剛性を考慮することが出来ていない。そのため，水平上下同時入力よりも引張歪みが小さくなることを確認できる。よって，引張剛性を考慮すると時刻歴和法では評価できない。そこで，次章よりエネルギー一定法による水平上下の重ね合わせ法を提案する。

#### 5. エネルギー一定法による検討

##### 5.1 エネルギー一定法の概要

図 7 にエネルギー一定法の概要を示す。エネルギー一定則<sup>9)</sup>を用いて，弾性系 (Type-0) における水平上下単独入力による面圧から各ステップにおける時刻歴和による引張面圧  $\sigma_{y+z}(t)$  を予測し，そのときのポテンシャルエネルギーを算出する。算出したポテンシャルエネルギーと，引張剛性が圧縮剛性に対して小さくなる場合 (Type-1, Type-2) におけるポテンシャルエネルギーとが等しくなる引張歪み  $\epsilon_e(t)$  をステップごとに算出する。

##### 5.2 エネルギー一定法により算出した引張歪みの検討

図 8 に積層ゴムの引張歪みをエネルギー一定法によって算出した時刻歴波形を示している。図より，Type-1, Type-2 のどちらでもエネルギー一定法を用いると，水平上下同時入力の結果と概ね対応していることが分かる。

よって，エネルギー一定法を用いると引張剛性と圧縮剛性が等しい弾性系における水平および上下それぞれの時刻歴解析結果を用いて，引張剛性を考慮した場合での水平上下が同時に作用した場合での応答を予測することが可能であると言える。

#### 6. まとめ

本報では，積層ゴムの引張剛性が圧縮剛性に対して小さくなる場合に，弾性系における水平および上下それぞれの時刻

歴解析結果から，引張剛性を考慮した際の応答を予測する手法を提案した。その結果，エネルギー一定法を用いることで，引張剛性と圧縮剛性が等しい弾性系モデルの水平上下の時刻歴解析結果から，引張剛性を考慮した際の引張歪みを概ね表すことができる。

#### 参考文献

- 1) 日本建築センター：評価・評定を踏まえた高層建築物の構造設計実務，2002
- 2) 西山隆，杉山達也，柏崎琢也：観測波を用いた水平応答と上下応答による組合せ法の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1697-1698，1994.7
- 3) 松平有生，木本幸一郎：多数の観測強震動を用いた免震層の最大変位の解析的検討その 5 水平上下最大値の重ね合わせ方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.503-504，2016.8
- 4) 本郷貴之，佐藤大樹，北村春幸：地震動観測記録を用いた超高層・中高層免震建物の水平・上下応答解析に基づく積層ゴムの軸力評価，日本建築学会技術報告集，pp.905-910，2014.10
- 5) ㈱ブリヂストン：天然ゴム系積層ゴム技術資料，2009，4
- 6) 日本免震構造協会：免震部材標準品リスト 2009，第 3 版，p.616，2009.10
- 7) 森隆浩，中村昌弘，室田伸夫他：引張限界ひずみによる免震構造物設計のため積層ゴムの引張特性の評価，日本建築学構造系論文集，pp.2021-2030，2015.12
- 8) 日本免震構造協会：JSSI 時刻歴応答解析による免震建物の設計基準・同マニュアル及び設計例，pp.70-71，2010.3
- 9) 柴田明德：最新耐震構造解析，第 3 版，pp.132-133，2014.12

$\sigma_{y+z}$ ：水平上下の時刻歴和による積層ゴムの引張応力  
 $\epsilon_e$ ：エネルギー一定法による積層ゴムの引張歪み

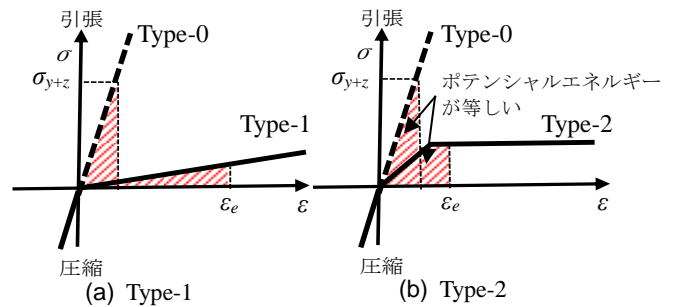
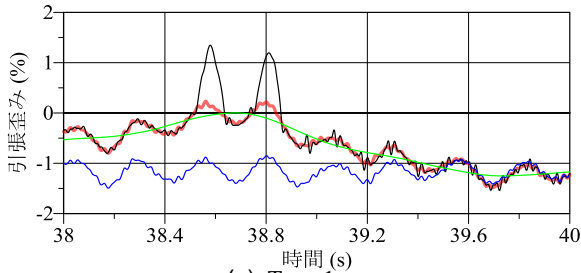
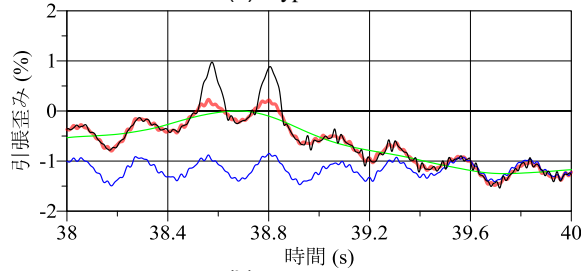


図 7 エネルギー一定法の概要

— 水平動単独 — 上下動単独 — 時刻歴和 — 水平上下同時入力



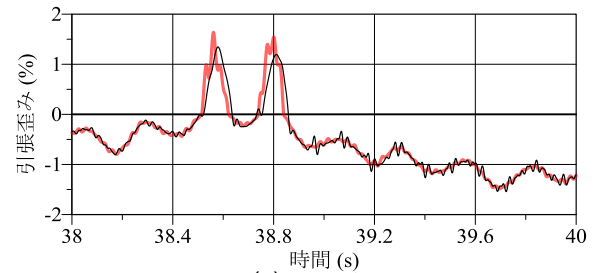
(a) Type-1



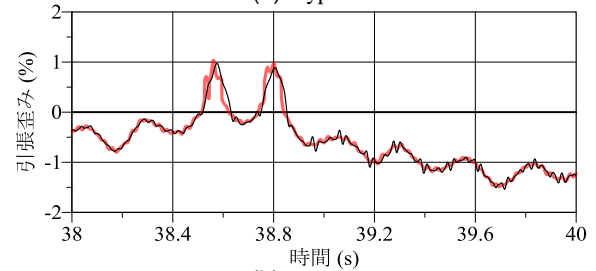
(b) Type-2

図 6 Type-1, Type-2 における鉛直歪みの時刻歴波形

— 水平上下同時入力 — エネルギー一定法



(a) Type-1



(b) Type-2

図 8 エネルギー一定法より算出した時刻歴波形

\*1 東京理科大学 \*2 東京工業大学

\*3 株式会社ブリヂストン

\*1 Tokyo University of Science \*2 Tokyo Institute of Technology

\*3 Bridgestone Corporation