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)	地震動観測記録を用いた免震建物の積層ゴムの応答変動引張軸力の評 価
Title	
著者(和文)	本郷貴之, 佐藤大樹, 福田優輝, 北村春幸
Authors	daiki sato, Yuuki Fukuda, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 83, , 2049
Citation(English)	, Vol. 83, , 2049
発行日 / Pub. date	2013, 3
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf:http://ci.nii.ac.jp/naid/110009769795

地震動観測記録を用いた免震建物の 積層ゴムの応答変動引張軸力の評価

構造一振動

正会員 〇 本郷貴之^{*1} 正会員 佐藤大樹^{*1} *"* 福田優輝^{*2} *"* 北村春幸^{*1}

免震建物 多点同時地震動観測

アスペクト比 積層ゴム 変動引張軸力

1. はじめに

阪神・淡路大震災以降,免震構造の有用性が広く周知 され,近年では超高層建物にも積極的に採用されるよう になった。さらに、2011年東日本大震災により,広範囲 にわたって継続時間の長い長周期地震動を受けたにも関 わらず,免震建物の躯体の被害がほとんどなかったこと や免震構造による応答低減効果が多く報告されており¹⁾, 震災後も免震構造の採用が増え続けている。免震建物に おける免震部材の引き抜きの検討方法は,応答転倒モー メントによって生じる変動軸力や上下地震動による変動 軸力の組み合わせに対して,引き抜き力を評価すること が一般的である²⁾。また,水平動と上下動による応答値の 時刻歴上での組み合わせには,水平動と同時に観測され た上下動の位相を用いることが,水平動との整合性に関 して有効とされている³⁾。

本報では、観測記録を精度良く評価できる立体架構解 析モデル⁴⁾を用いて、地震動による積層ゴムの実挙動の把 握を目的としている。まず、対象建物における積層ゴム に作用する引張軸力について、水平動と上下動入力時の どちらにより強く影響を受けるかを比較する。その際、 建物形状の違いに注目し、引張軸力の性状に及ぼす影響 を検討する。さらに、引張軸力の評価について、時刻歴 上での足し合わせによる評価と各方向解析時の最大引張 軸力を用いた評価を比較し、観測記録に基づく引張軸力 の評価と設計で用いる引張軸力の評価の関係性を示す。

2. 対象建物および計測の概要

2.1 建物概要と観測概要

東京理科大学講義棟(以後,講義棟)は,2003 年竣工 の7 階建て鉄筋コンクリート造中高層免震建物であり, 高さ36.1m,平面形状36.5m×70.4m,短辺方向のアスペク ト比が1と比較的平面形状の大きな建物である。東京工 業大学J2棟(以後,J2棟)は,2005年竣工の20 階建て 鉄骨造超高層免震建物であり,高さ90.9m,平面形状 15.8m×46.2m,上部構造のアスペクト比が5と比較的スレ ンダーな形状である。講義棟とJ2棟の外観および免震部 材配置図を図1(a),(b)に示す。なお,図1(a)(ii)中の_kI₁ ~_kI₄,(b)(ii)中の_JI₁~_JI₄は,本報で軸力の検討を行う積層



図1 対象建物の概要

ゴムの名称である。

2.2 使用地震動

講義棟の観測記録の中で,本報で用いる地震動を表1(a), (b)に,対象建物と震源位置の関係を図2(a),(b)に示す。 採用地震動は,それぞれの対象建物の近傍で発生した地 震動(K-1~3 および J-1~3),比較的遠方で発生したもの (K-4~6 および J-4~6)を,6地震動ずつ選定した。本報 では,観測記録の最大水平速度を50cm/sに基準化したレ ベル2相当の地震動(以後,レベル2)も用いて検討を行 う。使用地震動の例として,K-4およびJ-4(表1)につ いて,水平動と上下動の速度応答スペクトルS_V(h=5%)

(d) 時我1本								
震源地 [名称]	年月日	震源深さ (km)	м	距離 (km)	MF 最大加速度(cm/s ²)			
					_X A _{max}	YAmax	ZAmax	
茨城県南部 [K-1]	11/3/24	52	4.8	31	80.8	64.7	30.2	
茨城県南部 [K-2]	11/4/16	79	5.9	47	65.9	59.7	26.9	
千葉県北東部 [K-3]	12/6/1	44	5.1	13	111.2	138.5	36.6	
福島県浜通り [K-4]	11/4/11	6	7	134	36.3	50.6	25.1	
宮城県沖 [K-5]	11/4/7	66	7.1	314	18.3	17.9	10.5	
新潟県中越沖 [K-6]	07/7/16	17	6.8	216	20.4	14.9	10.0	

表1 採用観測記録一覧 (。) 護姜雄

(b)) J2	棟
-----	------	---

震源地 [名称]	震源地 [名称] 年月日 震源深さ (km) M	м	M 距離 (km)	MF 最大加速度(cm/s ²)			
[4] [42]		()		()	_X A _{max}	_Y A _{max}	_Z A _{max}
千葉県北西部 [J-1]	05/7/23	73	6	61	16.1	14.6	9.9
伊豆半島東方沖 [J-2]	06/4/21	7	5.8	69	4.0	2.8	2.2
駿河湾沖 [J-3]	09/8/11	23	6.5	121	12.5	6.7	5.1
三陸沖 [J-4]	11/3/11	24	9	413	50.0	67.3	34.1
茨城県沖 [J-5]	11/3/11	43	7.7	172	21.3	26.0	13.4
福島県浜通り [J-6]	11/4/11	6	7	191	8.9	7.0	5.4

をそれぞれ図 3(a), (b)に, 観測原波およびレベル2 で比 較して示す。図3の(a)水平方向および(b)上下方向より, K-4 では短周期成分が, J-4 では長周期成分が卓越した地 震動であることが確認でき、(ii)レベル2では1秒から3 秒付近の周期帯で概ね同程度の Svを示している。

2.3 解析モデル概要

本報では、文献4)で提案されている講義棟および J2 棟 の観測記録を精度良く表現できる立体架構解析モデルを 用いて検討を行う。よって本報では、解析結果のみを述 べるものとし,モデル化の詳細,観測記録と解析結果の 整合性については、文献 4)を参照されたい。また、時刻 歴応答解析はX,Y,Zの3方向それぞれ単独に入力する 1方向入力の応答解析を行う。

3. 積層ゴムに加わる応答引張軸力の検討

3.1 積層ゴムに作用する変動軸力時刻歴の比較

X,Y,Zの1方向入力の応答解析から得られた積層ゴ ムに作用する変動軸力において、引張側最大値をそれぞ れ_xN_{max} yN_{max}, zN_{max}とし, 各方向入力時の変動軸力を時 刻歴上で足し合わせた軸力(総和軸力)の引張側最大値 を最大引張軸力 sNmax とする。ここでは、比較的遠方で発 生した2つの地震動(K-4, J-4)について, 観測原波およ びレベル2相当を入力地震動とした際の積層ゴムに作用 する変動軸力時刻歴を図 4(a), (b)にそれぞれ示し、入力 レベルの違いによる応答値の比較をしている。図 4 に示



図3 速度応答スペクトルSv(h=5%)

す軸力の時刻歴波形は偶各部アイソレータの内、観測原 波を入力した際に sNmax が最大となる積層ゴムを選定し ている(図1)。なお、図の縦軸は正値が引張を表す。講 義棟では最大引張軸力付近の 10 秒間を, J2 棟では 20 秒 間を示している。図4より,講義棟とJ2棟の応答の共通 点として、Z 方向入力の変動軸力が水平方向の変動軸力 と比較して、短周期成分で振動していることが確認でき る。また、地震動の3成分をそれぞれ入力して求まる最 大引張軸力は必ずしも同じ時刻に発生するわけではない ことが分かる。図 4(a)講義棟の(i)観測原波では、_{SNmax}に ついて,Y 方向(短辺方向)入力による引張軸力が支配 的である。対して,(ii)レベル2では,Z方向入力による 変動軸力が増加していることが分かる。一方, J2 棟がア スペクト比5とスレンダーな形状をしていることに起因 して,図4(b)J2棟では,(i)観測原波と(ii)レベル2ともに 水平動による変動軸力が支配的となっている。

3.2 引張軸力に対する上下動寄与率

 $_{S}N_{max}$ の発生時刻に着目して、 $_{S}N_{max}$ に占める上下動の 割合について検討する。_SN_{max}を_SN_{max}の発生時刻の上下 動引張軸力の応答値で除した値を「上下動寄与率」と呼 ぶ⁵⁾。上下動寄与率を縦軸に,対象建物からの震央距離(表



図4 変動軸力時刻歴



 を縦軸に取り,講義棟とJ2棟について観測原波とレベル2入力時の偶各部アイソレータ毎の応答値を図5(a),
(b)にそれぞれ示す。図5(a)講義棟(i)観測原波において,
積層ゴムの位置によりばらつきはあるが,講義棟からの 震央距離が100km以下の地震動では上下動寄与率が高く,
震央距離が遠くなるほど上下動寄与率が低下しているこ とが分かる。対して,(ii)レベル2では震央距離に関わら ず上下動寄与率が高い値を示している(図4(a))。図5(b)J2 棟では,(i)観測原波の近傍で発生した地震動においても 上下動寄与率が低い値を示しており,*sN*maxにおいて水平 動が支配的であることが分かる(図4(b))。また,(ii)レベ ル2では,震央距離が100km付近の地震動における上下 動寄与率が高い値を示しているが,講義棟と異なり,遠 方地震の上下動寄与率は増加していない。なお,講義棟 とJ2棟において,レベル2入力時に上下動寄与率が増加 した原因として,入力地震動が増幅され,免震層におけ る水平方向に作用する免震部材が塑性化したことで,水 平応答による変動軸力が低下したと考えられる(図5)。

3.3 最大引張軸力の評価法

ここでは、X、Y、Z の 3 方向にそれぞれ単独に入力す る 1 方向入力時の応答解析から求まる 3 つの最大引張軸 力 $_{X}N_{max}$, $_{Y}N_{max}$, $_{Z}N_{max}$ を用いて、 $_{S}N_{max}$ を推定する方法 を検討する。最大軸力の組み合わせとして以下の 3 式を 対象とする。

$${}_{1}N_{\max} = {}_{X}N_{\max} + {}_{Y}N_{\max} + {}_{Z}N_{\max}$$
(1)

$${}_{2}N_{\max} = \sqrt{{}_{X}N_{\max}^{2} + {}_{Y}N_{\max}^{2} + {}_{Z}N_{\max}}$$
(2)

$${}_{3}N_{\max} = \sqrt{{}_{X}N_{\max}^{2} + {}_{Y}N_{\max}^{2} + {}_{Z}N_{\max}^{2}}$$
(3)

図 6 に(1)~(3)式より求めた $_iN_{max}$ と最大引張軸力 $_SN_{max}$ の比を示す。図 6(a)は講義棟, (b)は J2 棟において, $_SN_{max}$ が最大となる隅角部アイソレータの算出結果であり, (i) 観測原波および(ii)レベル 2 をそれぞれ示している。

(1)式は、各成分の引張軸力の最大値が同時に発生する と仮定する評価であり、講義棟、J2 棟ともに全ての地震 動で1.0を上回り SNmax に対して安全側の評価式になる。 (2)式は、水平動入力時の引張軸力の最大値は同時に発生 しないと仮定する評価であり、(a)講義棟では、全ての地 震動において 1.0 を上回っているが、(1)式より小さい値 を示しており, sNmax に近い値を示している。(b)J2 棟でも 概ね講義棟と同様の傾向を示しており、特に(i)観測原波 では、多少のばらつきが生じているが推定精度が高いと 言える。(3)式は、3 つの引張軸力の最大値が同時に発生 しないと仮定する評価であり、(a)講義棟では(i)観測原波 における K-3~6 について, 若干危険側となるが _SN_{max} に近 い値を示している。(b)J2 棟においても *SN*max に対して近 い値とは言えないが、多少のばらつきを容認すると(ii) レ ベル2における(3)式が SNmax に対して概ね 1.0 に近い値を 示している。従って, 講義棟では(1), (2)式では概ね_SNmax に対して安全側,(3)式では観測原波において SNmax に近 い値を示す。J2 棟においても講義棟と同様の傾向を示し ているが,多少のばらつきを容認するのであれば,(a)観 測原波では(2)式,(b)レベル2では(3)式が_SNmaxに対して 概ね1.0に近い値を示している。

4.まとめ

本報では、観測記録の水平・上下応答性状を精度良く 再現できる立体架構解析モデルを用いて、建物形状の違いに着目し、対象建物における積層ゴムに作用する引張 軸力について、水平動入力時と上下動入力時のどちらに より強く影響を受けるかの検討を行った。次に、水平 2 成分および上下動の合計 3 成分単独入力で時刻歴応答解 析を行い、各方向入力時の積層ゴム軸力を時刻歴上で足 し合わせた軸力(総和軸力)の引張側最大値_SN_{max}を推定 する方法を検討した。なお、時刻歴応答解析では、観測 記録原波と観測原波をレベル 2 相当(50cm/s)に基準化 した地震動を入力した。以下に得られた知見を示す。

(1)変動軸力の時刻歴波形および最大引張軸力に占める 上下動の割合についての検討では、平面規模が比較的 大きい講義棟では観測原波で短辺方向入力時に作用 する変動引張軸力が支配的となった。また、レベル2 相当の入力地震動では、上下方向入力による変動軸力 が増加していることが分かる。対して、アスペクト比 5 とスレンダーな形状をしていることに起因して、J2 棟では観測原波とレベル2において水平方向入力が支 配的となった。しかし、レベル2における震央距離が 100km付近の地震動では、上下動による影響も大きい 傾向を示す。講義棟とJ2 棟に共通して、レベル2入



カ時に上下動による影響が大きくなる原因として,入 力地震動が増幅され,免震層における水平方向に作用 する免震部材が塑性化したことで,水平応答による変 動軸力が低下したことが考えられる。

(2) 最大変動引張軸力を推定する式の検証として, 講義棟 について, 水平動入力時の引張軸力の最大値は同時に 発生しないと仮定する式では, 概ね_SN_{max}に対して安 全側であるが, SN_{max}に近い値を示す。J2棟において も, 講義棟と同様の傾向を示しているが, 多少のばら つきを容認するのであれば, レベル2における3つの 引張軸力の最大値が同時に発生しないと仮定する評 価が_SN_{max}に対して概ね1.0に近い値を示している。

謝辞

本研究は,東京工業大学グローバル COE プログラム「震災メガリ スク軽減の都市地震工学国際拠点」と共同で行われたものでありま す。特に,東京工業大学 笠井和彦教授には多大なご協力を賜りまし た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本免展構造協会:応答制御建築物調査報告書,2012.1
- 日本免震構造協会:免震建築物の耐震性能評価表示指針及び性 能評価例, pp.E-1-E-5, 2005.11
- 3) 日本免震構造協会:免震建築物のための設計用入力地震動作成 ガイドライン, pp.15-17, 2005.11
- 村春幸:多点同時地震動観測記録に基づく免護建物の上下応答 解析手法,日本建築学会構造系論文集 第682号,pp.2853-1862, 2012.12
- 5) 池田雄一,長橋純男:セットバック立面形状を有する高層免震 建物の積層ゴムアイソレータの引き抜きに関わる地震応答性 状 強震動水平・上下両成分同時入力が高層免震建物の地震応 答性状に及ぼす効果に関する研究その 2,日本建築学会構造系 論文集第 651 号, pp.913-922, 2010.5

*1 東京理科大学

*2 元 東京理科大学