**T2R2** 東京工業大学リサーチリポジトリ Tokyo Tech Research Repository

# 論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	2053 多点同時地震動観測記録に基づく超高層免震建物の積層ゴムアイ ソレターに生じる引き抜き力に関する研究(構造)				
Title					
著者(和文)	福田優輝, 佐藤 大樹, 北村春幸				
Authors	Yuuki Fukuda, daiki sato, Haruyuki Kitamura				
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 81, No. 0, 2053				
Citation(English)	, Vol. 81, No. 0, 2053				
発行日 / Pub. date	2011, 2				
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/110008730293				

# 2053

# 多点同時地震動観測記録に基づく超高層免震建物の 積層ゴムアイソレターに生じる引き抜き力に関する研究

構造一振動

多点同時地震動観測	超高層層免震建物	上下応答解析
引き抜き	伝達関数	応答性状

# 1. はじめに

近年、免震構造を採用した建物の件数は増加しており、高層建築 物などにも積極的に採用されるようになっている。免震構造で用い られるアイソレーターの上下方向の許容引張応力度は、許容圧縮応 力度に比べると極めて小さく、許容引張応力度を超えると非線形挙 動をを示す特性がある。このような特性から、引き抜きによるアイ ソレーターの損傷が危惧されている。一方、上下動の時刻圏応答解 析で一般的に用いられる多質点系モデルは、建物の観測記録に対し て過大な応答結果を与える傾向にあり<sup>1)-3</sup>、アイソレーターに作用 する引張力の検証を不明瞭なものにしている。

観測記録に近い解析結果を得ることのできる解析モデルがあれ ば、現状に比べアイソレーターの引き抜きに対しての検証が有利に なり、免震技術の適用範囲拡大に繋がる。

田部井らは、鉄骨造超高層免震建物について、観測記録を精度良 く再現するための、モデル化手法と解析方法の検討を行い、立体架 構モデルの使用、水平振動に伴う上下動を考慮した解析の有効性を 示した<sup>4</sup>。本報では、上記の既往研究を踏まえ、同対象建物モデル を用いて、アイソレーターに作用する引き抜き力の検討を行う。 正会員 〇 福田優輝<sup>\*1</sup> 正会員 佐藤大樹<sup>\*2</sup> 正会員 北村春幸<sup>\*3</sup>

# 2. 対象建物および観測システムの概要

2005 年竣工の鉄骨造高さ91.35m の地上20 階建て、2 階床下に免 震層を設けた中間層免震建物であり、アスペクト比5 というスレン ダーな立面、縦横比が 1:2.7 という比較的細長い平面形状である。 図1 に立面図及びメガブレース歪み計測位置を、図2 に免震装置配 置図を、図3 に観測装置配置図を示す。本報では、地震時に最も引 き抜き力の作用する、図2 中 A~D に示す四隅に設置されている天 然ゴム系積層ゴムアイソレーター(1200 ¢)を検討の対象とする。 建物詳細及び観測詳細については文献<sup>5)</sup>を参照されたい。

## 3. 採用地震動

観測された地震動について、本論文で用いる地震動観測記録の一 覧を表1に示す。用いる観測記録は、現在までに観測された約300 の地震動のうち、比較的規模が大きく、対象建物から震源地までの 距離が近いもの、比較的離れているものを計4地震動選定した<sup>4</sup>。

### 4. 解析諸元

アイソレーターに生じる引き抜き力は観測を行っていないため、 本章及び次章において、頂部加速度、伝達関数及び、2階付近のメ



-305-

表1 採用地震動一覧

震源地	年月日	<b>震</b> 源深さ (km)	М	対象建物 からの距離(km)	MF最大加速度(gal)		
					Х	Y	Z
千葉県北西部	05/7/23	73	6	61	16.21	14.59	9.9
宮城県沖	05/8/16	42	7.2	384	9.08	8.43	5.14
伊豆半島東方沖	06/4/21	7	5.8	69	4.04	2.8	2.15
新潟県上中越沖	07/7/16	17	6.8	237	4.25	2.65	1.71
_ /			r				



ガブレース軸方向歪み を観測記録と解析結果 を比較し、アイソレータ ーに生じる引き抜き力 が実状を捉えられてい ると判断する。

# 解析モデルは設計図 書に基づき、作成した。 しかし観測記録と固有 周期を比較すると、作成

した解析モデルは観測記録に対して、両方向とも上部構造では約 1.35 倍、免震層を含んだ建物全体では約 1.3 倍長い結果となった。 固有周期は、伝達関数を基に算出している。上部構造の伝達関数は 2階と20階の加速度を用い、建物全体は免震層と20階の加速度を 用いて算出した。設計図書に基づいた解析モデルでは考慮していな い。そこで本解析モデルでは、上部構造の各階重心位置にせん断バ ネを両方向に配置し、固有周期の一致を図った。せん断バネの剛性 は、設計図書での各階層剛性の高さ方向分布を保持するよう設定し た。続いて免震層においては、積層ゴムの微小変形時の剛性上昇を 考慮するため、天然系積層ゴムの水平剛性を設計値の3倍に設定し、 建物全体の固有周期を一致させた。

解析時には各階の床を剛床と仮定し、減衰は1次減衰定数が上部 構造に対してh=3.0%、2次がh=4.5%となるレイリー減衰、免震 層に対してはh=0.0%として行った。

図3にX方向でのフレーム・メガブレース・せん断バネの、せ ん断力分担の高さ方向分布を示す。層全体のせん断力に対するフレ ームの分担する割合を左の領域に示す。メガブレースの分担する割 合を中央に、せん断バネの分担する割合を右の領域に示す。静的解 析の結果を色つきの領域とし、動的解析の結果をプロットで示した。 図3より、メガブレースが全体の約4割を負担し、フレームとせん 断バネが約3割負担していることが分かる。菊地らはメガブレース のせん断力負担率は約半分程度であると示している。よって本報 のモデル化は概ね設計に則っていることが確認できた。また 16~ 18 階で多少乱れているものの、概ね静的解析でのせん断力の分担 を動的解析においても保持していることが確認できる。

# 4.2 上下応答解析

上下応答解析様モデルは、水平応答解析と同様、解析モデルは設 計図書に基づき、作成した。しかし、伝達関数を基に固有周期を比 較すると、水平方向と同様に作成した解析モデルは観測記録に対し て約1.38 倍長い結果となった。そこで水平応答解析と同様、非構 造部材による剛性上昇の影響を考慮するため、全柱位置に軸方向バ ネを配置し、固有周期の一致を図った。軸方向バネの剛性は、全バ ネで一様の値としている。また上下解析時の減衰はh=1.5%となる 定値減衰とした。

#### 5. 観測記録との比較

#### 5.1 加速度時刻歴の比較

図4に千葉県北西部の2階及び20階の水平方向加速度時刻歴を 示す。また図5に、建物全体(MF→20F)と上部構造(2F→20F) の水平方向伝達関数を4地震動アンサンブルしたものを示す。図4 及び図5より、解析モデルが精度良く観測記録を模擬できているこ とが確認できる。

図6に千葉県北西部の2階及び20階の上下方向加速度時刻歴を 示す。また図7に、建物全体と上部構造の上下方向伝達関数を4地 震動アンサンブルしたものを示す。解析結果には、田部井らの提案 した H-UD 解析を採用している。H-UD 解析とは、3 成分(X,Y,Z) 独立で解析を行い、時刻歴波形を足し合わせることで解析結果とす る手法である。詳細については文献<sup>4)</sup>を参照されたい。図6及び図 7より、観測記録を精度良く模擬していることが確認できる。

#### 5.2 ブレースの軸方向歪みの比較

免震層直上のブレース軸方向歪みを、観測記録と解析結果で比較 する。解析は3成分(X,Y,Z)独立で行い、解析結果の波形を足 し合わせる手法を用いている。図8(a)、(b)に宮城県沖地震での北東 側及び南西側のブレース軸方向歪み時刻歴の主要動部 50 秒間を示 す。図8(a)、(b)より、南西側及び北東側どちらのブレースにおいて も、軸方向歪みを精度良く再現できていることが確認できる。

2 階及び 20 階の加速度時刻歴、伝達関数及びブレース軸方向歪 みの結果より、解析モデルのアイソレーターに生じる引き抜き力が 実状を捉えられていると判断する。

## 6. アイソレーターに生じる引き抜き力の検討

# 6.1 軸力分担率

図9に3成分(X,Y,Z)の解析結果を足し合わせた引張軸力の 最大値が発生する時刻における、3成分の解析結果を足し合わせた 引張軸力に対する、水平動2成分(X,Y)の解析結果を足し合わ



せた引張軸力、上下動の解析結果の引張軸力の分担率を示す。水平 動2成分の解析結果を足し合わせた引張軸力を3成分の解析結果を 足し合わせた引張軸力で除した値を「水平動分担率」、上下動の解 析結果の引張軸力を3成分の解析結果を足し合わせた引張軸力で 除した値を「上下動分担率」と呼び、各地震動毎にA~Dの4アイ ソレーターの結果をプロットしている。図9より、直下型の地震動 である千葉県北西部のみ上下動分担率が0.2~0.3の値を取って おり、その他の3地震動では上下動分担率が0付近にプロットが集 中していることが確認できる。直下型地震動の様に入力される上下 成分が大きな地震動は観測されていないため、水平動によって生じ る引き抜きが支配的となる傾向がみられた。

# 6.2 軸力の時刻歴波形 -上下動成分と水平動2成分の比較 -

図 10 に千葉県北西部でのアイソレーターB の時刻歴変動軸力を 示す。同図より、上下動成分の波形は、水平動2成分の波形に比べ、 高振動数で振動していることが確認できる。また、上下動成分のピ ークが水平動2成分のピークと重なることで3成分合計の最大値を 取っていることがわかる。しかしながら3成分合計の最大値が発生 している時刻は、上下動及び水平2成分それぞれの最大値ではない ことが確認できる。図 10 には千葉県北西部の結果を示したが、他 の3地震動では上下動の解析結果が水平動2成分の解析結果に比べ て微小であり、完全に水平動2成分によって生じる引き抜きが支配 的であった。本報の対象建物は、アスペクト比が5というスレンダ ーな形状であるため、現在観測されている程度の地震動であれば、 水平動2成分によってアイソレーターに生じる引き抜き力が支配 的であり、上下動により生じる引き抜き力には依存せず、水平動2



成分によって、3成分合計の引き抜き力の最大値が決定することを 確認した。

#### 6.3 軸力の時刻歴波形 -- X 成分と Y 成分の比較 --

6.2 節では、水平動2成分によって生じる引き抜き力が支配的で あることを確認した。そこで本節では、平面形状による特徴を捉え





るため、X 成分での解析結果の引張軸力と Y 成分での解析結果の 引張軸力の比較を行う。図11に3成分を合計した引き抜き力とX 成分、Y成分それぞれの解析による引張軸力を示した。3成分合計 での引張軸力の最大値は85秒に現れている。X成分での引張軸力 の最大値は3成分合計とほぼ等しく85.2秒に、Y成分での引張軸 力の最大値は105.9秒に現れている。このことから、3成分合計で の引張軸力が最大値となる時刻は、X成分の最大値となる時刻付近 となっており、水平動2成分の中でもX成分によって生じる引き 抜き力が支配的であることが分かる。

また図12には、X成分によって生じる引張軸力の最大値をY成 分によって生じる引張軸力の最大値で除した値を、各地震動毎にA ~Dの4アイソレーターの結果をプロットしている。地震動により 若干のばらつきはあるが、全地震動において Y 方向入力に比べ X 方向入力時の引き抜き力の最大値は2~3倍となっている。こ れは平面形状が1:2.7という比較的細長い長方形平面であるため と考えられ、対象建物では、入力される地震動の X 成分 Y 成分が 同程度であれば、水平動2成分の中でも短辺であるX方向入力時 に生じる引き抜き力が支配的であることを確認した。

## 7. まとめ

本報では、鉄骨造超高層免震建物を対象に、観測記録を精度良く 模擬する解析モデルの作成及び、 アイソレーターに生じる引き抜き 力の検討を行った。

- (1) 設計図書に基づいた解析モデルにおいて、水平及び上下の固有 周期は観測記録に対して、約1.35倍長くなっている。
- (2) 直下型地震動の様に入力地震動の上下成分が大きな地震動でな ければ、水平動2成分によって生じる引き抜きが支配的である ことを確認した。

- (3)3成分を合計したアイソレーターに生じる引き抜き力の最大値 が発生する時刻は、上下動及び水平2成分それぞれの最大値が 発生する時刻ではなく、支配的である水平2成分の最大値が発 生する時刻付近となることを確認した。
- (4) 対象建物は1:2.7 という比較的細長い長方形の平面形状である ため、入力地震動の X 成分、Y 成分の規模が同程度であれば、 アイソレーターに生じる引き抜き力は、Y 成分によって生じる 引き抜き力最大値に対するX成分によって生じる引き抜き力の 最大値は約2~3倍となり、X成分によって生じる引き抜き力が 支配的になることを確認した。

本報で対象とした建物は、鉄骨造超高層免震建物であり、さらに アスペクト比が5というスレンダーな形状であるため、水平動によ ってアイソレーターに生じる引き抜き力が支配的であるという結 論が得られた。今後は、建物形状による違いを把握するため、他の 形状の異なる建物<sup>7</sup>を対象として検討を行っていく。

#### 謝辞

#### #研究は東京工業大学21世紀COE プログラム「都市地盤工学の発展と体系 化(代表者:大町達夫教授)」と共同で行ったものであり、Ⅲ 棟の地震動観 測データを提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 北村春幸, 楊志勇, 多田英之:免震建物の鉛直地震応答に関する一考察, 日
- 1017年刊、第30555、117551、105557、3118-557551、115557 1997 9
- 3) 瓜生満, 近藤俊成, 橋村宏彦: 免震構造物の上下動地震応答特性に関する
- 研究(その8) 日本建築学会大会学術講演使概集 B-2, pp.537-538, 2000 9 4) 田部井正樹, 北村春幸, 佐藤大樹:多点地震動観測記録に基づく超高層免 震建物の上下応答に関する研究 日本建築学会大会学術講演使概集 B-2, pp.931-932, 2009.8
- 5)
- 6)
- pp 951-952,20098 大木洋司他:超高層免震建物の長期観測システム構築に関する具体的取 り組み 日本建築学会技術報告集 pp 73-77,2005,6 菊地岳史,藤森智,竹内徹、和田章:メガブレースを用いた超高層免震鋼 構造建築物の設計 日本建築学会技術報告集 pp 212-222,2005,12 福田優輝,佐藤大樹,北村春幸:多点同時地震動観測記録に基づく免震建 物の3次元応答解析手法に関する研究 日本建築学会大会学術講演便概 集 P2 m 257,288,2010.00 7) 集 B-2, pp.257-258, 2010.9
- \*1 東京理科大学大学院
- \*2 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)
- \*3 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)