

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ー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

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

構造—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

正会員 ○ 福田優輝^{*1} 正会員 佐藤大樹^{*2}
正会員 北村春幸^{*3}

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、上下動の時刻歴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^{1)~3)}、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する検証が有利になり、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⁴⁾。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。

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(1200φ)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⁵⁾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⁴⁾。

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

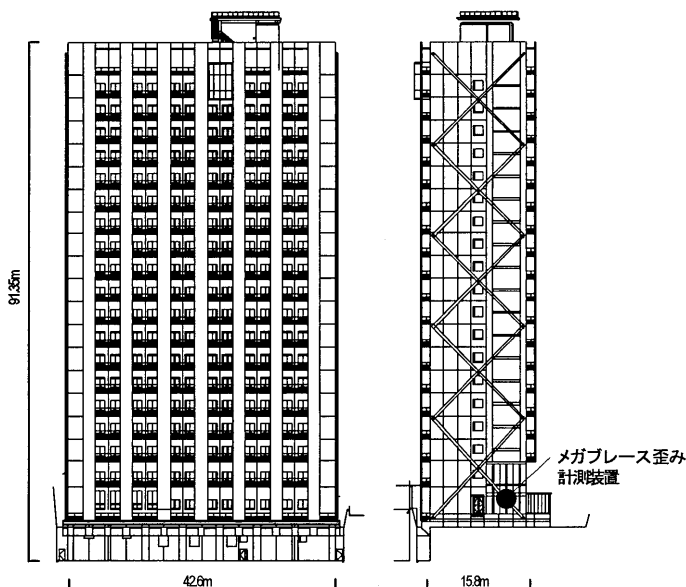


図1 立面図及びブレース歪み計測位置

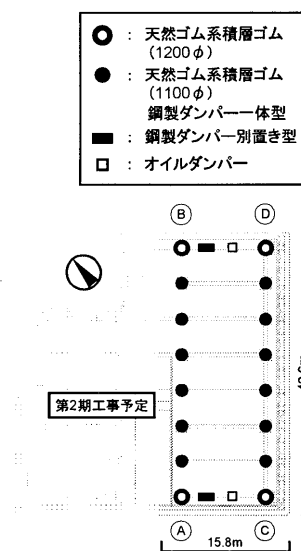


図2 免震装置配置図

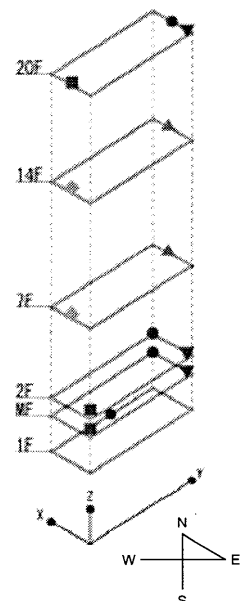


図3 観測装置配置図

表1 採用地震動一覧

震源地	年月日	震源深さ(km)	M	対象建物からの距離(km)	MF最大加速度(gal)		
					X	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

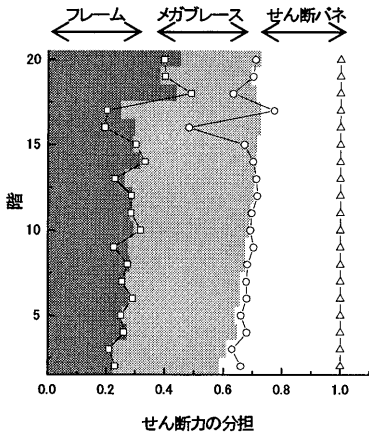


図3 高さ方向せん断力の分担分布

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⁹⁾。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。

メ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。

4.1 水平応答解析

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

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、全バネで一律の値としている。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⁴⁾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

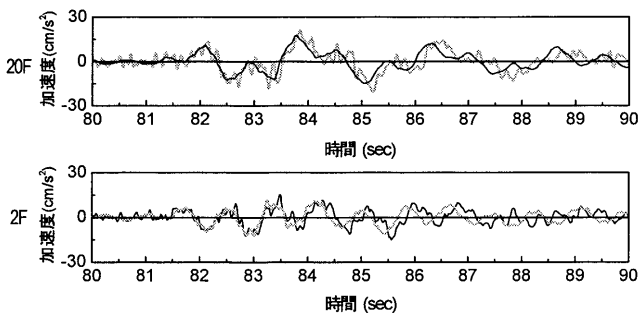


図4 加速度波形 (水平方向)

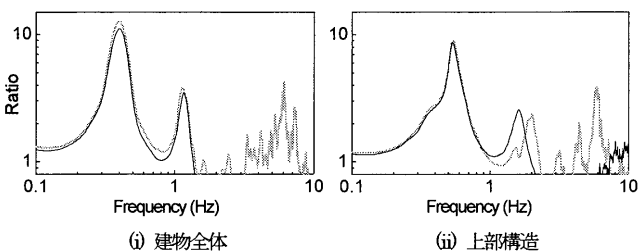


図5 伝達関数 (水平方向)

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

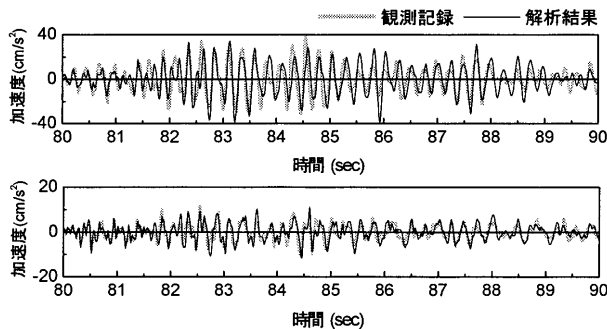


図6 加速度波形 (上下方向)

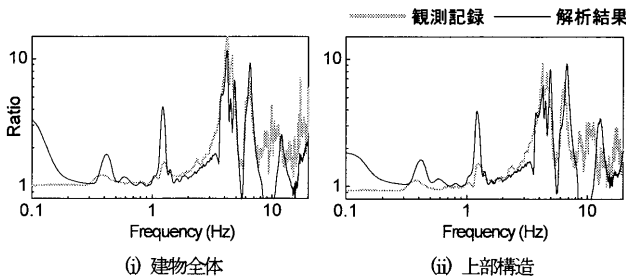


図7 伝達関数 (上下方向)

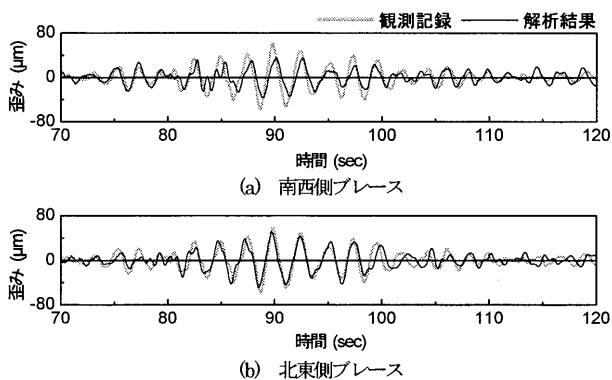


図8 ブレース軸方向歪み

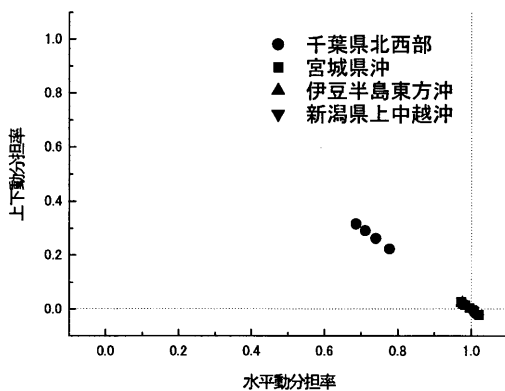


図9 引き抜き力分担率

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

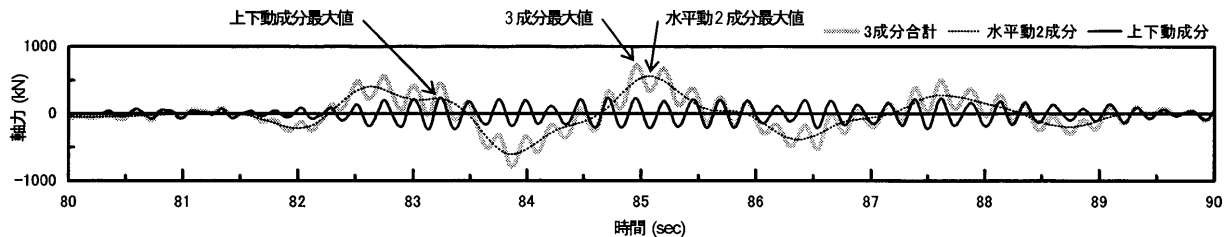


図 11 時刻歴変動軸力 千葉県北西部 アイソレーターB

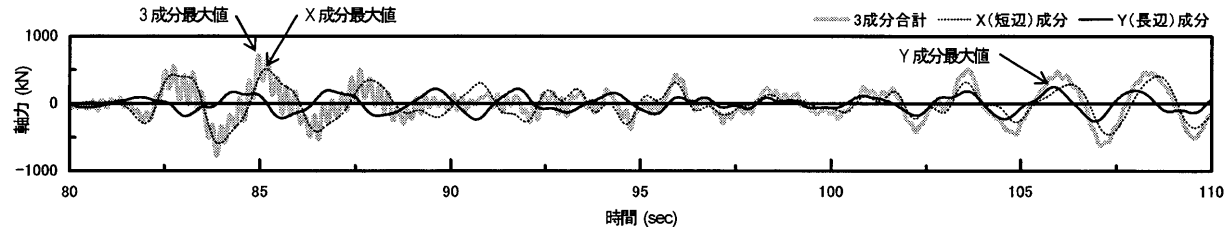


図 12 時刻歴変動軸力 千葉県北西部 アイソレーターB

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⁷⁾を対象として検討を行っていく。

謝辞

本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、JII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, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2, pp.817-818, 1996.9
- 2) 杉木孝裕, 加藤朝朗, 寺村彰, 野畑友秀, 梅木克彦: 免震建物の上下応答特性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2, pp.653-654, 1997.9
- 3) 瓜生満, 近藤俊成, 橋村宏彦: 免震構造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梗概集 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梗概集 B-2, pp.931-932, 2009.8
- 5) 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
- 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
- 7) 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梗概集 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)