

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	多点同時地震動観測記録に基づく免震建物の上下応答に関する研究(構造)
Title	
著者(和文)	福田 優輝, 佐藤 大樹, 北村春幸
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 80, , pp. 261-264
Citation(English)	, Vol. 80, , pp. 261-264
発行日 / Pub. date	2010, 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/110008729949

多点同時地震動観測記録に基づく免震建物の上下応答に関する研究

構造—振動

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

多点同時地震動観測 低層免震建物 上下応答解析
加速度波形 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きている。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、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。

これまで、免震建物の上下応答に関する研究は行われている。黒瀬ら⁴⁾は、鉄筋コンクリート造低層免震建物について、上下応答解析のモデル化手法と入力方法の検証を行い、立体架構モデルを用いた地震動多点入力解析の有効性を示した。田部井ら⁵⁾は、鉄骨造超高層免震建物について、モデル化手法と解析方法の検証を行い、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。本報は、上記の既往研究を踏まえ、黒瀬ら⁴⁾の使用した低層免震建物を対象に、田部井ら⁵⁾が超高層免震建物において有効性を示した、水平振動に伴う上下動を考慮した解析を適用する。

2. 対象建物および観測システムの概要

対象建物は東京理科大学野田地区講義棟（千葉県野田市、北緯35°37'東経139°57'）であり、2003年竣工の鉄筋コンクリート構造で、地上7階建ての基礎免震建物である。上部構造は短辺方向（南北方向）の梁にプレストレスを導入した純ラーメン構造となっている。図1(a)の通り、1階床下の免震層(PIT)には、天然ゴム系積層ゴム(NRB)、鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)、弾性すべり支承(SLR)、鋼材ダンパー(SD)が配置されている。地震動観測は図1(b)の通り、西側に二成分加速度計(UD・NS成分)を、東側には、三成分加速度計(UD・NS・EW成分)を、各々7F、1F、そして免震PITに取り付けている。また2006年10月より、免震PIT、1F基礎梁に一成分加速

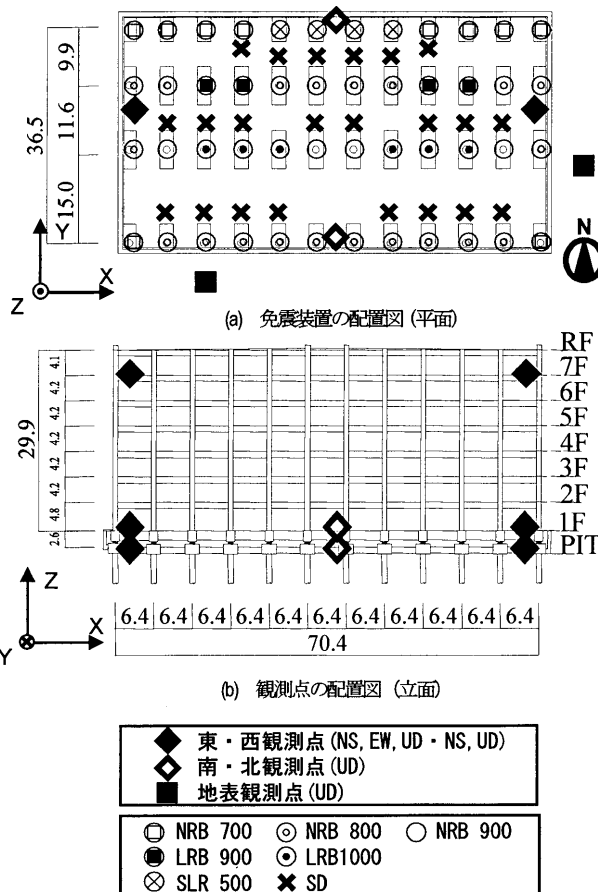


図1 PITにおける免震装置と観測点の配置図（単位 m）

度計(UD成分)が、南側と北側に計4台設置され、加速度UD成分の観測は東西南北の4系列で行われている。

3. 地震観測記録の検証

3.1 使用した地震動観測記録および加速度波形性状

表1に本報で用いた地震動観測記録を示す。対象建物から震源地までの距離が近い観測記録と、距離の比較的離れている観測記録から、地震の規模が異なる計4波の観測記録を選定した。

図2にPITでの東側観測点と西側観測点の加速度応答波形を示す。東西観測点の加速度波形を比較すると、図2(a)NS成分の加速度の波形性状は、東西ではほぼ変わらないことが確認できる。しかし、

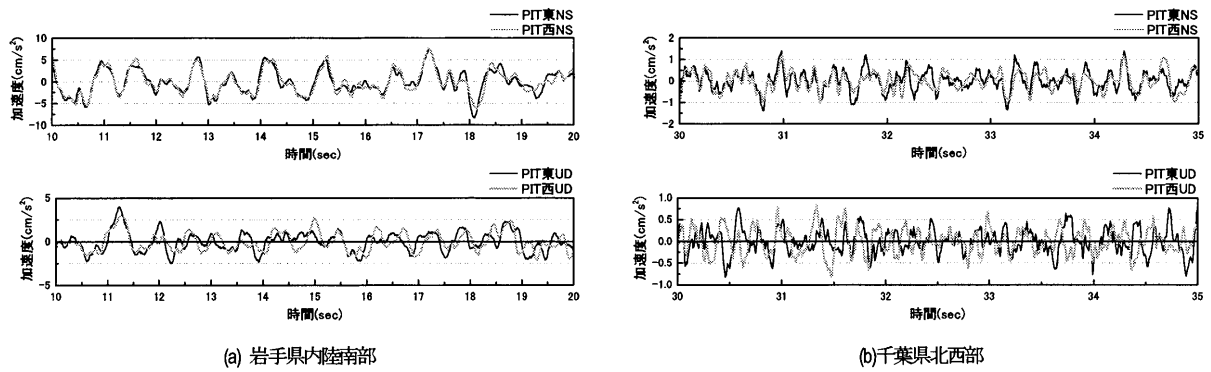


図2 加速度波形の比較 (東側—西側)

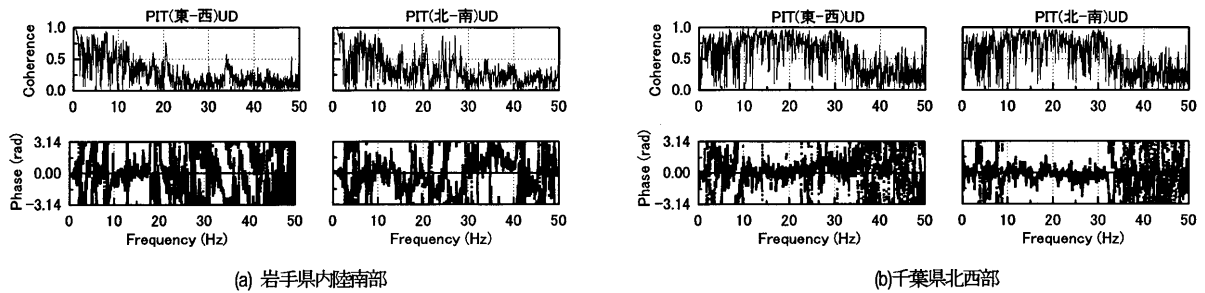


図3 各観測点間のコヒーレンスと位相差の比較

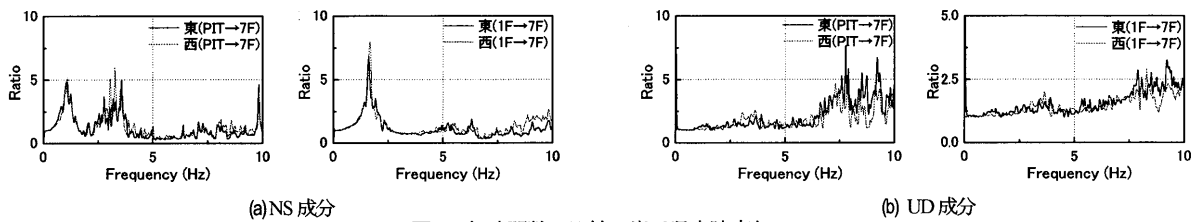


図4 伝達関数の比較 岩手県内陸南部

表1 地震動観測記録

震源地	観測時刻	震源深さ (km)	マグニチュード	対象建物からの距離 (km)	最大加速度 (gal)		
					EW	NS	UD
新潟県上中越沖	2007/07/16 10:13	17.0	6.8	223	20.36	14.91	10.01
岩手県内陸南部	2008/06/14 08:43	8.0	7.2	356	7.13	8.48	3.96
福島県沖	2008/07/19 11:40	32.0	6.9	277	3.28	5.12	2.15
千葉県北西部	2009/08/21 08:51	64.0	4.2	20	1.57	1.45	0.82

図2(b)でのNS成分、そして両地震波でのUD成分の加速度波形では、東西で位相の異なる波形性状を示している。

3.2 同一平面上での観測点間の位相差とコヒーレンス

図3にPIT加速度記録 (UD成分) での各観測点間の位相差とコヒーレンスを示す。震源から距離の遠い図3(a)では10Hz以降において相関性が低下しており、震源が近い図3(b)では観測点間での位相の相関性は高い、という傾向にあることが伺える。

また、図示していないが、建物による影響が少ないと考えられる地表観測点間での、位相差とコヒーレンスからも同様の傾向が伺えた。

3.3 伝達関数

図4にPITから7F、1Fから7Fの伝達関数を示す。図4(a)では、

1次のピークは東西で一致している。しかし、図4(b)では7.0~10.0Hz付近で多数のピークが存在している為、上下方向の伝達特性は同一平面上で異なることが伺える。

4. 上下応答解析

4.1 解析諸元

本報では設計図書に基づき、積載荷重および壁は、実状を考慮した立体架構モデルを使用した。3.1、3.2節より、対象建物に入力される上下方向地震動は同一平面上で異なる、という黒瀬ら⁴⁾と同様の知見が得られた。よって上下応答解析は黒瀬ら⁴⁾と同様のモデルを用いる。モデルには、複数の地震動を同時に入力できるように、解析モデル下部に加振質点を付与し、加振質点に地震動を入力することで振動解析を行う。図5

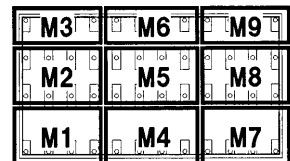


図5 加振質点の配置概略図

に示すように、9つの加振質点M1~M9を配置し、各加振質点に地震動を入力することで多点入力を可能にしている。入力方法の詳細

は、黒瀬ら⁴⁾による研究を参照されたい。また3.3節より、上下方向の建物の伝達特性が柱ごとに異なり、応答値も同一平面上で異なる、という黒瀬ら⁴⁾と同様の知見が得られた。そこで、上下応答解析のモデル化は、層の質量を一点に集約したモデルではなく、柱・梁に質量を分散した立体架構モデルとした。上部構造の減衰定数は、1階柱脚を固定とした場合の上下方向の一次振動モードに対して $h=2.0\%$ となるような減衰とし、免震層では免震部材ごとに $h=1.0\%$ の内部粘性減衰を与えた。雑壁の影響を考慮し、全柱の曲げ剛性、せん断剛性を3.0倍に設定した。

4.2 解析結果

本報で作成した上下応答解析モデルは、図6(a)に示す柱・梁接合部に質点を設けたモデル(mass425モデル)と、図6(b)に示すような位置に質点を設けたモデル(mass766モデル)を用いて比較検討を行った。図7に両モデルでの伝達関数と加速度波形の比較を示す。図7(a)より、mass425モデルは固有振動数、応答倍率が観測記録と著しく異なることが分かる。また図7(b)より、mass766モデルがより精度良く、観測記録を模擬できていることが分かる。

本報では、以降mass766モデルを使用することとする。

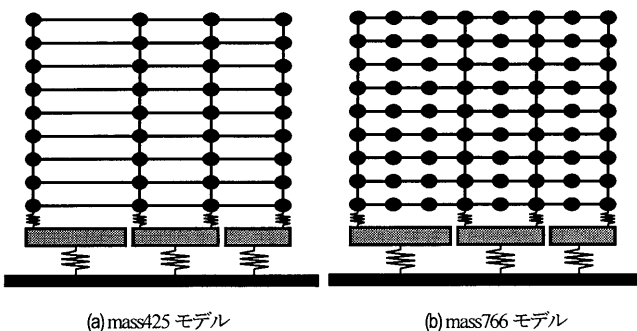
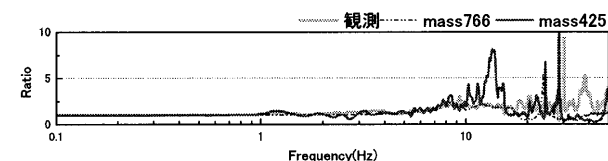
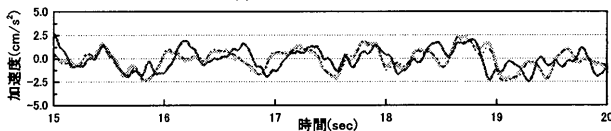


図6 解析モデルの概略図



(a) 伝達関数の比較



(b) 1F 加速度波形の比較

図7 mass425 と mass766 の比較 (UD 方向)

5. 水平振動に伴う上下動を考慮した上下応答解析

5.1 解析諸元

本報では、水平振動に伴う上下動を考慮した上下応答解析を行う為、田部井ら⁵⁾の用いた方法を適用するものとする。以下、田部井ら⁵⁾の行った解析方法を、そして図8に概略を示す。

まずは水平応答解析時に、上下方向に質量を与えず、自由度のみを与えた解析を行う。この解析結果から、上下方向の変位時刻歴応答を出力させる。そして加速度応答波形を算出する為、変位応答波形の振動数領域での2階微分を行った。得られた上下方向の加速度応答波形を、上下応答解析時に得られる加速度応答波形に足し合わせたものを、水平振動に伴う上下動を考慮した上下応答解析結果としている。

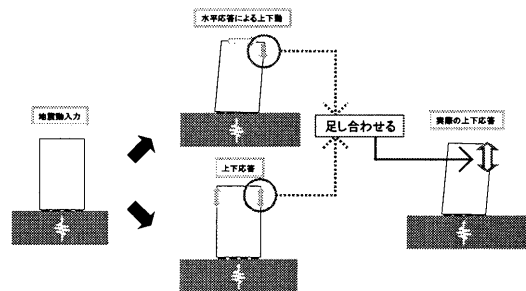


図8 水平振動に伴う上下動を考慮した上下応答解析の概略

水平応答解析は、観測記録の伝達関数を基に、各階床を剛床とし、上部構造は1階柱脚を固定とした場合に、3.0%となる剛性比例減衰を与え、免震層に対しては減衰を0.0%として、解析を行った。さらに、雑壁の影響を考慮し、解析結果と観測記録の伝達関数を一致させる為、以下2つの条件を与えた。全柱の曲げ剛性、せん断剛性を3.0倍に設定した。スラブによる梁の剛性補正係数 ϕ をNS方向では計算値の3.0倍に、EW方向では計算値の1.5倍に設定した。

5.2 解析結果

図9に水平方向の伝達関数・加速度波形の応答解析結果を示す。図9(a)伝達関数の比較から、上部構造の1次固有振動数は、EW方向、NS方向共に観測記録と一致していることが確認できる。また、図9(b)加速度波形の比較からも同様に、EW方向、NS方向共に観測記録を精度良く再現できていることが確認できる。以上2つの比較から、作成した水平応答解析モデルは、観測記録を模擬する適切なモデルであることが確認できた。

図10に、上下方向の伝達関数・加速度波形の応答解析結果を示す。水平振動に伴う上下動を考慮した上下応答解析結果を、以降H-UD解析と表現する。また、考慮していない上下応答解析を以降UD解析と表現し、UD解析、H-UD解析の比較・検証を行う。図10(a)伝達関数の比較から、UD解析とH-UD解析には、ほぼ違いは見られないことが確認できる。さらに図10(b)加速度波形の比較からも、UD解析とH-UD解析に違いは見られず、どちらも精度良く観測記録を模擬できていることが確認された。以上の比較から、低層免震建物においては、黒瀬ら⁴⁾の行った上下応答のみを考慮した解析であっても、適切な上下応答解析方法であることが確認された。

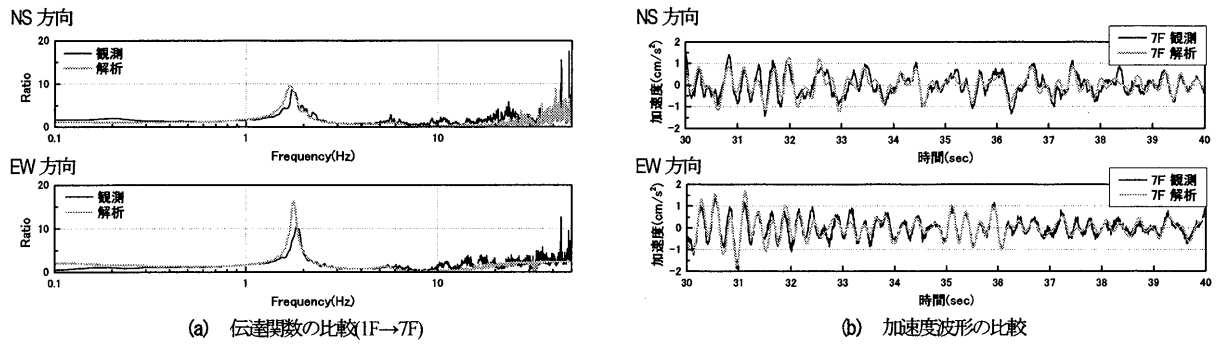


図9 水平応答解析結果(千葉県北西部)

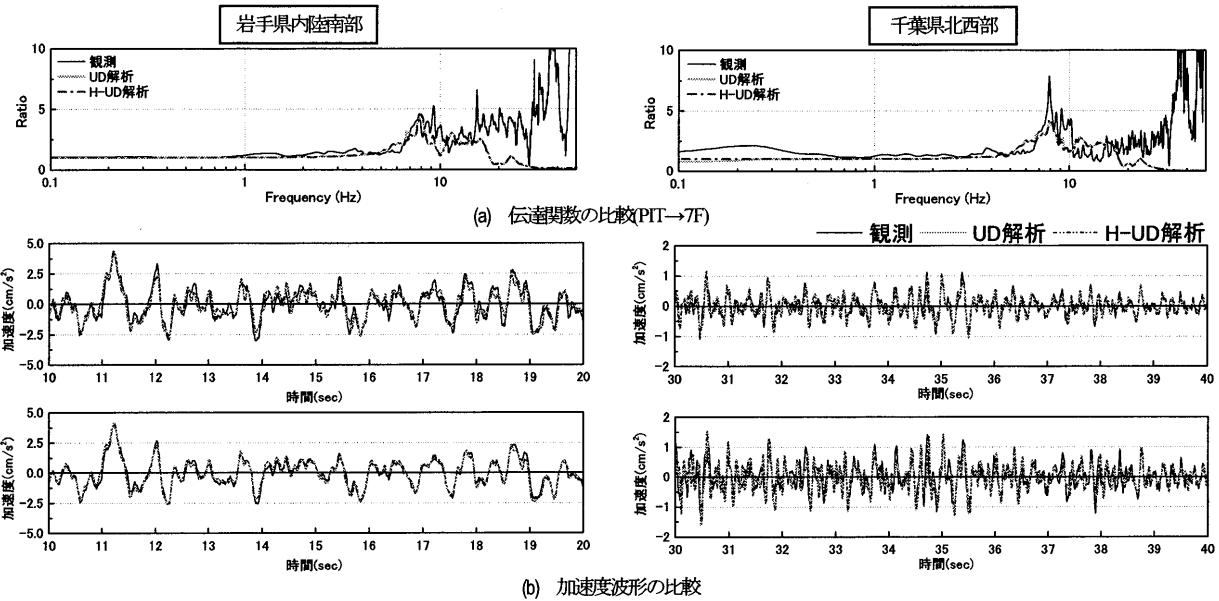


図10 水平振動を伴う上下応答解析結果

なお、図6(a)に示した mass425 モデルを用い、水平振動に伴う上下動を考慮した上下応答の解析も行ったが、水平振動が上下動に与える影響は現れていなかった。

6. まとめ

本報は、観測記録から上下応答の特性についての検証を行い、上下応答解析のモデル化手法と、水平振動が上下応答に与える影響についての比較・検討を行った。

観測記録の検証から、対象建物の同一平面上では、各観測点での上下応答は異なり、また、対象建物からの震源距離に応じて、建物基礎に入力する地震動の位相特性は異なる、という黒瀬ら⁴⁾と同様の知見が得られた。

上下応答解析の結果から、図6(b)に示すような位置に質点を設けた立体架構モデルに観測波を多点入力することにより、応答低減がみられた。ここから、黒瀬ら⁴⁾が示した立体架構モデル・観測波多点入力の有効性、と同様の結果が得られた。

水平振動に伴う上下動を考慮した上下応答解析の結果から、対象建物では、水平振動が上下動に与える影響は、ほぼ現れていないこ

とが確認された。特に最大加速度に着目すると、 $3 \times 10^{-5} \%$ という微小な変化であることが確認できた。田部井ら⁵⁾による研究では、超高層免震建物を対象としていた為、建物の曲げ変形による上下動への影響が顕著に現れていた。しかし本報の対象建物は、鉄筋コンクリート造低層免震建物である為、建物の曲げ変形といった、上下動に影響を与える要素は無く、結果として水平振動が上下動に与える影響は現れていなかった。

以上より、対象建物においては、水平振動が上下動に与える影響は微小であり、黒瀬ら⁴⁾の行った上下応答のみを考慮した解析であっても、充分適切な上下応答解析方法であることが確認された。

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) 柚木孝裕, 加藤明朗, 寺村彰, 野田友秀, 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梗概集 B-2, pp.537-538, 2000.9
- 4) 黒瀬馨, 北村春幸, 佐藤大樹, 田部井正樹: 多点地震動観測記録に基づく免震建物の上下応答解析のモデル化手法(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2, pp.321-322, 2008.9
- 5) 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

*1 東京理科大学理工学部建築学科

*2 東京理科大学理工学部建築学科 助授・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)