

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	2068 多点同時地震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(構造)
Title	
著者(和文)	田部井 正樹, 北村春幸, 佐藤 大樹
Authors	Haruyuki Kitamura, daiki sato
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集 I, , No. 79,
Citation(English)	, , No. 79,
発行日 / Pub. date	2009, 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/110007453921

多点同時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

構造—振動

正会員 田部井正樹*1 正会員 北村春幸*2 正会員 佐藤大樹*3

多点同時地震動観測 超高層免震建物 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た。免震構造で用いられるアイソレーターは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。特に超高層免震建物においては、水平応答による建物の曲げ変位も上下応答に影響すると考えられるため、その影響を考慮した解析を行うことが必要である。

本研究は、超高層免震建物の上下応答を高い精度で評価する解析手法の提案を目的とする。

2. 対象建物および観測の概要

対象建物は東京工業大学すずかけ台キャンパス構内に建設された研究棟（名称：JII棟）であり、高さ 91.35m で、1 階と 2 階の間に免震層を設けた超高層免震建物となっている。平面形状は 46.2m×15.8m となっており、上部構造の塔状比が 5 に達している比較のスレンダーな形状をした建物であるため、短辺方向にメガブレースを設置し水平剛性を確保している。更に、四隅の免震装置に浮き上がりを許容させることで柱脚部の引抜力に対応している。基礎及び 1 階に鉄筋コンクリート造、2 階より上の階に鉄骨造を採用している。

図 1 に示すように、免震層は 1100~1200mm の天然ゴム系積層ゴム支承と免震用オイルダンパー及び鋼製ダンパーで構成されている。鋼製ダンパーは積層ゴムと一体型のものと別置き型のものを併用している。

地震動観測は 1 階、免震層、2 階、7 階、14 階、20 階で行っており、各観測位置・観測方向は図 2 に示す。

3. 地震動観測記録の検証

(1) 使用した地震動観測記録

2005 年 7 月から 2007 年 11 月の間に観測された約 300 の地震動のうち、図 3 に示す免震層最大変位と 20 階の加速度記録より求めた 1 次固有振動数の関係から、免震層が機能したと考えられる 4 波を本研究で使用する。表 1 に本論で用いた地震動を示す。

(2) 伝達関数

図 4 に水平応答と上下応答における建物全体 (1F から

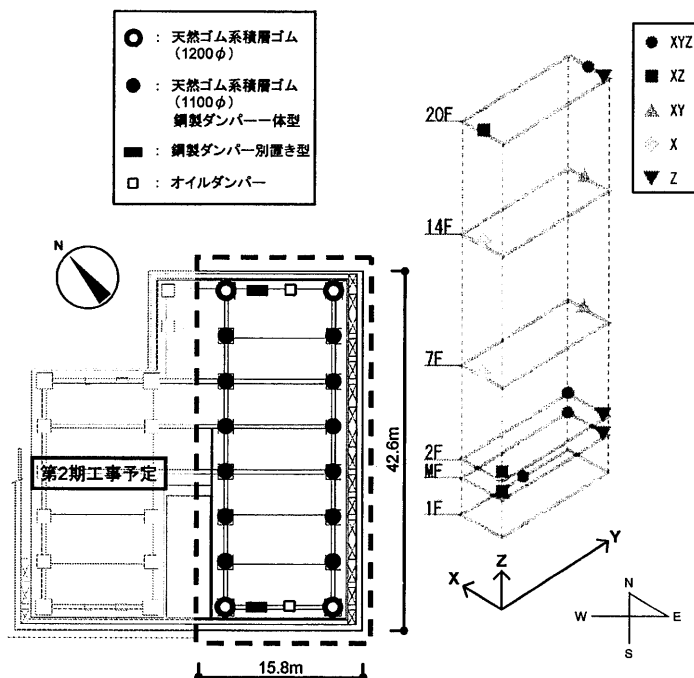


図 1 免震装置配置図

図 2 観測装置配置図

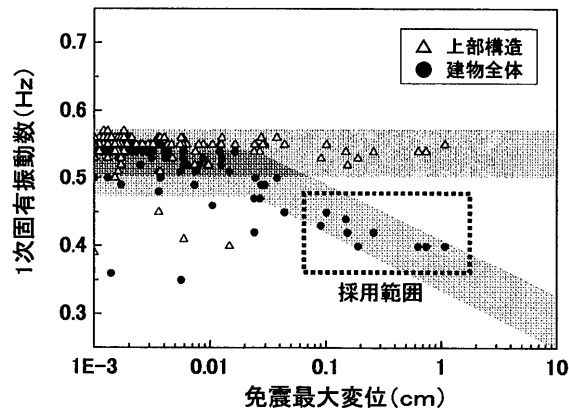


図 3 1 次固有振動数と免震最大変形

表 1 採用地震動の一覧

年月日	時刻	震源地	20F 最大加速度 (gal)		
			X	Y	Z
2005/7/23	16:34	千葉県北西部	21.06	12.93	38.65
2005/8/16	11:47	宮城県沖	24.06	17.06	9.55
2006/4/21	2:50	伊豆半島東方沖	5.07	4.66	7.65
2007/7/16	10:13	新潟県中越沖	13.89	8.65	3.18

20F) と上部構造 (2F から 20F) の伝達関数を示す。伝達関数においては、水平成分で 2 次、上下成分で 1 次までが比較的明確にピークを示しているが、それ以降では各観測点で異なる傾向を示していることが確認できる。

(3) 加速度の波形性状

図 5 に 20 階及び免震層での北側観測点と南側観測点 (図 2) の加速度応答波形を示す。南北観測点の加速度波形を比較すると、観測点の高さに関わらず、水平応答はほ

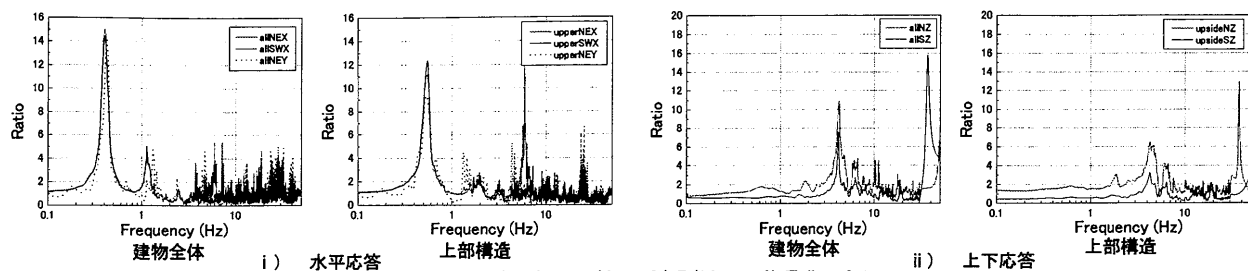


図4 伝達関数の比較 (05/07/23 千葉県北西部)

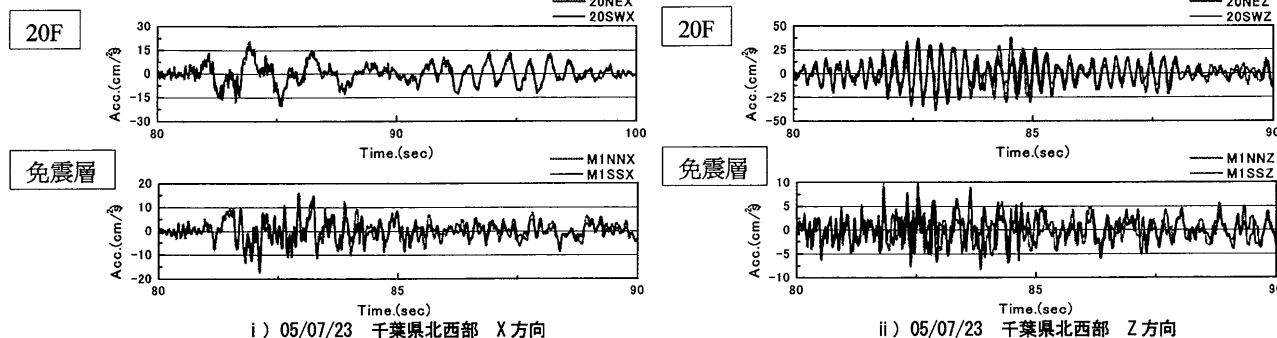


図5 20階・免震層 加速度波形の比較 (北側-南側)

ば同位相で振動しており、上下応答も水平応答ほどではないが、概ね同位相で振動していることが確認できる。

(4) 観測点間の位相差

図4に免震層における各点の加速度観測記録(上下成分)から、それら位相差を求めたものを示す。これらの図から、平面内の最も遠い観測点間(N-S)であっても加速度に位相差は殆どなく、各観測点は全体的に同位相で振動していることが分かる。

(5) 観測記録に関する知見

上述した(2)~(4)の検討を、本研究で採用した地震動(表1)全てで行った結果、同様の傾向を確認することができた。このことからJII棟における地震の水平応答と上下応答はどちらも概ね同位相であるといえる。黒瀬による研究⁴⁾では、平面形状36.5m×70.4m、地上7階建の比較的規模の大きい免震建物で同様の観測がなされているが、免震層での位相のずれや相関性の低下が確認されている。同研究ではそれらの特性から、上下応答解析に地震動の多点入力手法を採用し、その有効性が示されている。本研究では、平面の規模や位相の相関性の高さ等から、地震動の多点入力手法を用いる必要性が低く、地震動の単一入力でも十分な精度を持った上下解析結果を求めることができると判断した。

4. 解析諸元

対象建物のモデル化は設計図書に基づいており、積載荷重および壁は実状を考慮して設定した。

水平応答解析は各階の床を剛床とし、1次減衰定数は上部構造に対して3.0%、2次は4.5%となるレイリー減衰、免震層に対しては0.0%として行った。上下応答解析はmass16モデルを用いて、減衰定数は建物全体に対して1.5%の定値減衰として行った。

本研究で作成した上下応答解析モデルは黒瀬による研究⁴⁾に基づき、図5に示すように柱梁接合部に各層の質

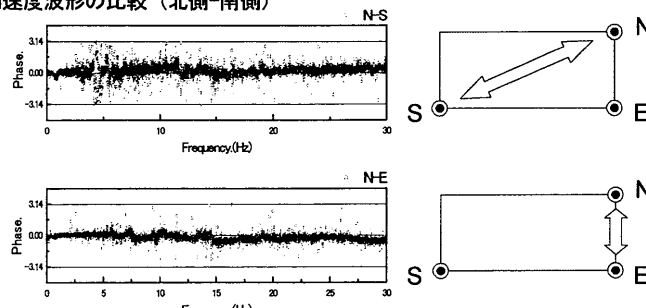


図4 伝達関数の比較 (Pit→7F, Pit→1F)

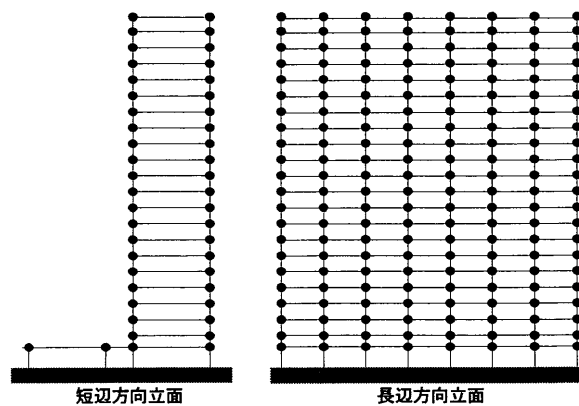


図5 上下応答解析モデルの概略図

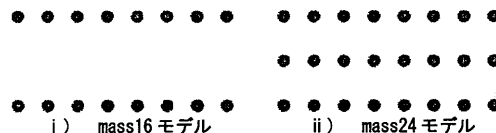


図6 検討モデルの平面概要

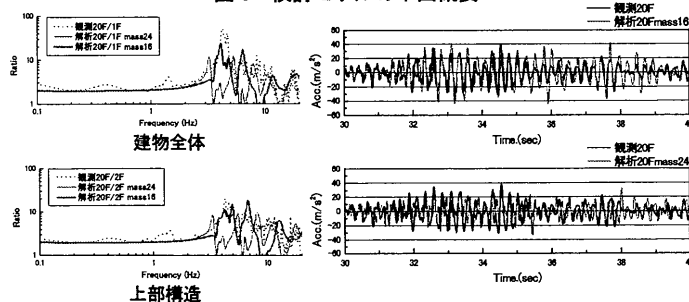


図7 mass16とmass24の比較 (UD方向)

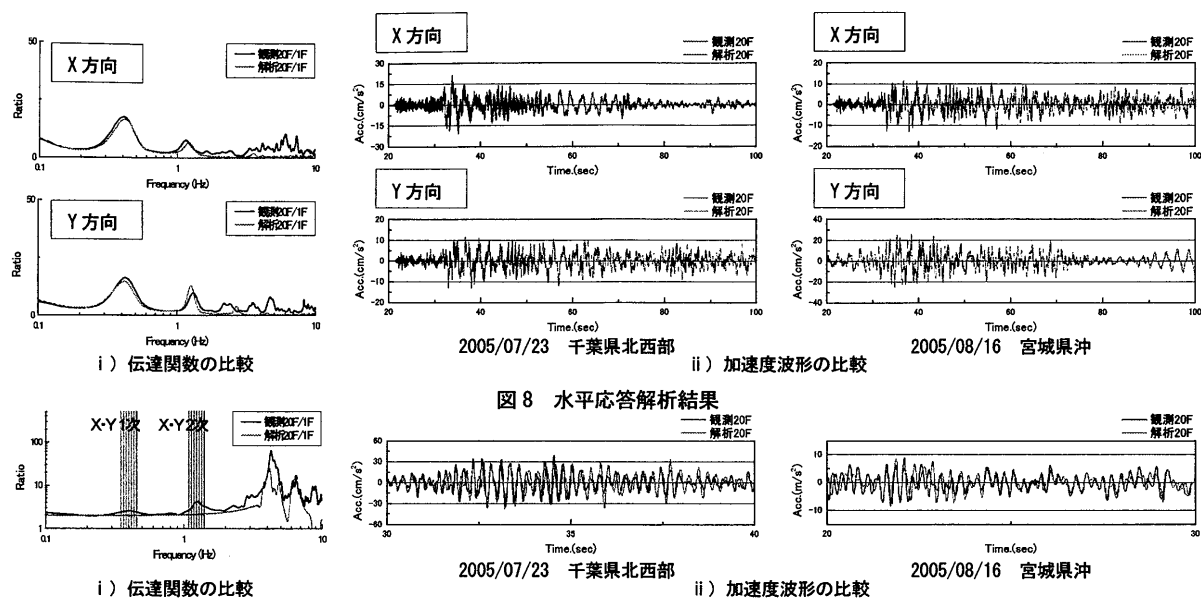


図8 水平応答解析結果

量を振り分けた立体架構モデルとなっている。同研究では、大スパンの梁においてはその梁を2分3分する点にも質点を設けることで上下動における高次の振動を再現できることを示しており、本研究においても短辺方向に大スパンの梁があるため、図6に示すような柱梁接合部のみに質点を振り分けたモデル（mass16モデル）と梁中央にも質点を振り分けたモデル（mass24モデル）を用いて比較検討を行った。図7に示す伝達関数と加速度波形の比較から、両モデルにおける同一節点での伝達関数は著しく異なり、mass24モデルでは観測された応答性状を捉えていないことが伺える。また、加速度応答波形においても、mass16モデルが観測記録の位相特性を精度良く捉えているのに対し、mass24モデルでは位相のずれが顕著に出ていることが確認された。これらの検討から、本研究では図7に示すような柱梁接合部のみに質点を振り分けたmass16モデルを採用するものとする。

5. 解析結果

図8に水平応答解析結果を示す。i)に示す建物全体の伝達関数(4波の平均)の比較より、X方向とY方向における1次と2次の固有振動数のピークが、解析結果と観測記録で一致していることが確認できる。更に、ii)に示す加速度波形の比較から、解析による加速度波形が観測記録の波形性状を精度よく捉えていることも確認できる。このことから、作成した解析モデルが対象建物の応答性状を適切に模擬できているといえる。

次に上下応答解析結果を図9示す。i)に示す伝達関数の比較では、観測記録のピークと解析結果のピークが概ね同値を示していることが伺えるが、観測記録においては水平応答の1次と2次のピークの位置にその影響が出ているのに対し、解析結果ではその影響を表現できていないことが確認できる。ii)に示す加速度波形の比較では、観測記録と解析結果の波形性状は概ね一致しているが、所々で波形のずれが見られる。

6. 水平応答から生じる上下応答

図9の解析結果から、対象の超高層免震建物の上下応答には水平応答から生じる応答が含まれており、上下方向のみの応答解析ではその影響を再現することができないということが確認された。

本研究では、水平応答から生じる上下応答（以降H-UD応答）を解析で再現するため、水平応答解析時における上下方向の加速度応答波形を用いる手法を提案する。そのため、観測地点と同一の節点の上下方向変位を使用する。水平応答解析時に上下方向には質量を与えず、自由度のみを与えて解析を行うことで、剛床下における水平応答解析から上下の変位時刻歴応答を出力させた。上下変位応答波形から加速度応答波形を算出するため、振動数領域で変位応答波形の2回微分を行った。求めた加速度応答波形を純粋な上下応答解析結果（以降UD応答）に足し合わせることで、観測記録の応答性状に近い解析結果を得ることができると考えた。

図10に本研究で使用した4地震動について、H-UD応答の伝達関数（建物全体）を示す。図から、X方向解析の応答は水平の2次応答の影響を、Y方向解析の応答は水平の3次応答の影響を受けていることが確認された。このことから、H-UD応答を考慮した応答解析結果では、2次、3次の水平応答影響を再現できると考えられる。

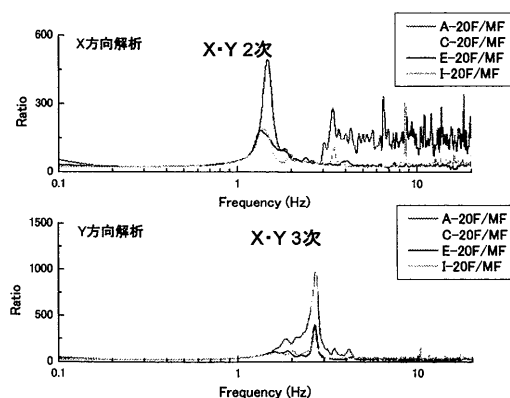


図10 H-UD 応答の伝達関数

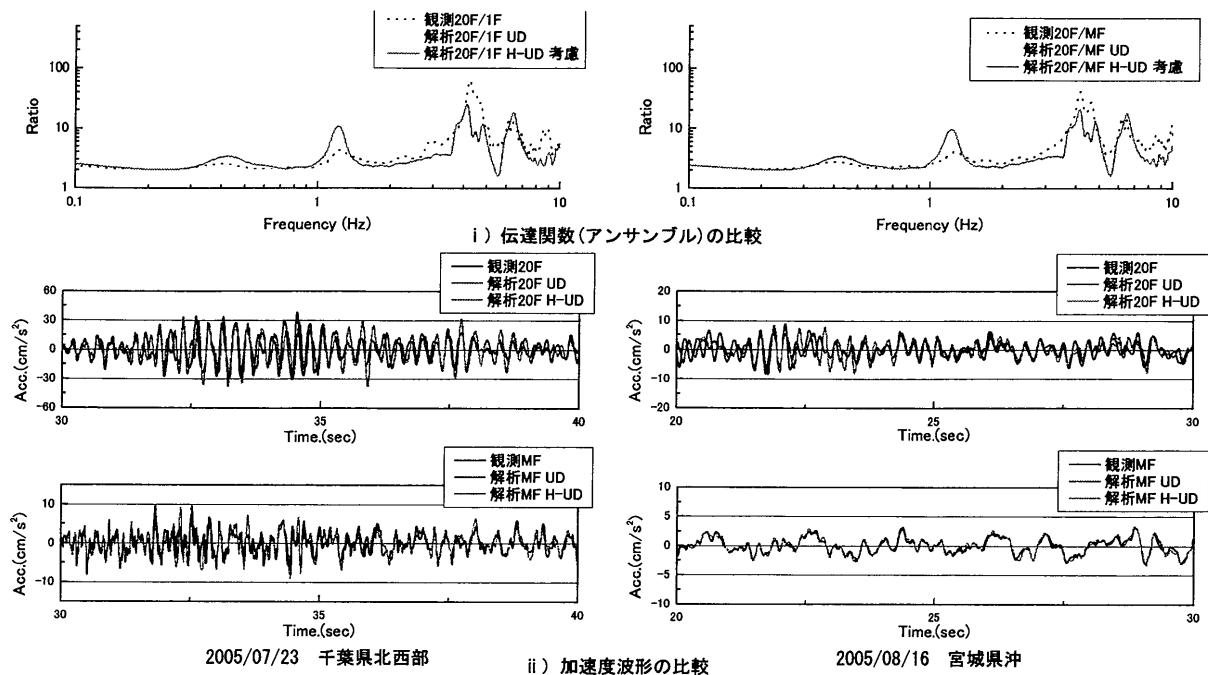


図 11 H-UD を考慮した上下応答解析結果

7. H-UD 応答を考慮した解析結果

6 章で述べた手法を用いて上下応答解析を行った。図 11 i) に伝達関数 (4 波の平均) の比較を、ii) に加速度波形の比較を示す。また、図 12 には上下応答解析手法ごとの最大変位を比較したものを示す。

i) 伝達関数 (4 波の平均) の比較から、H-UD 応答を考慮した解析結果が、水平応答の 1 次、2 次の影響を再現し、より観測記録に近い応答性状を示していることが確認できる。また、建物全体においても上部構造においても同様の傾向が確認できる。

また、ii) 加速度波形の比較では、H-UD 応答を考慮した場合と考慮しない場合では、20F においても免震層においても大きな差が生じなかった。

また、図 12 の最大変位の比較から、変位においては H-UD 応答が UD 応答に比べ大きい値を示しており、UD 応答のみの場合に比べ、H-UD 応答を考慮した場合の最大変位の方が観測記録に近づく事も確認できる。

8. まとめ

本研究では、超高層免震建物の多点地震動観測から上下応答特性についての検証を行い、モデル化手法と超高層免震建物の水平応答が上下応答に与える影響についての検討を行った。

観測記録の検証から、対象建物の様に筒状比の高い超高層免震建物においては、水平方向においても上下方向においても、同一平面内の観測点間で同等の応答性状を示し、上下応答においても位相の相関性が高くなることが確認された。このことから、対象建物の平面規模においては、黒瀬による研究⁴⁾で有効性が示された地震動の多点入力手法を用いなくとも精度の高い上下応答解析が行えるものと判断した。

上下応答解析結果から、各階の質量を柱梁接合部に分

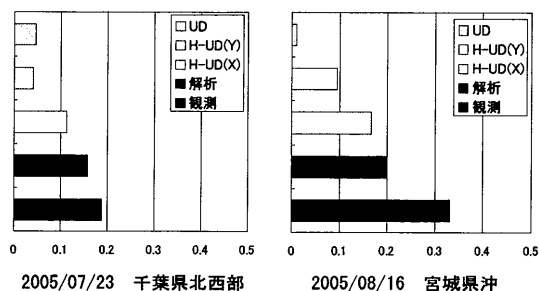


図 12 最大変位の比較

散させた立体架構モデルを用いることで、観測記録の応答性状に近い解析結果を得ることが出来た。しかし、観測記録の上下応答性状には、水平応答から生じる上下応答 (H-UD 応答) の影響が含まれているのに対し、純粋な上下方向の解析による応答 (UD 応答) にはその影響が考慮されていないことが確認された。

H-UD 応答を考慮するため、水平応答解析から上下方向の加速度を算出し、UD 応答に足し合わせることでさらに観測記録に近い応答性状を目指した。

H-UD 応答を考慮した上下応答解析を行った結果、水平方向の 1 次応答と 2 次応答の影響が上下応答解析結果に現れ、観測記録に近い応答性状を再現することが出来た。また、H-UD 応答を考慮した場合の最大変位も観測記録に近づくことが確認された。

謝辞

本研究は東京工業大学 21 世紀 COE プログラム「都市地震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 様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 (近畿) pp. 817-818, (1996)
- 2) 柚木孝裕, 加藤朝朗, 寺村彰 他: 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 (関東) pp. 653-654, (1997)
- 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 no. 21269 (2000)
- 4) 黒瀬孝, 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 (中国) pp. 321-322, (2008)

*1 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻

*2 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

*3 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)