

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	2067 超高層免震建物の多点同時地震観測記録及び免震応答性状(構造)
Title	
著者(和文)	小林 裕之, 佐藤 大樹, 北村春幸, 笠井和彦
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura, KAZUHIKO KASAI
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/110007453920

超高層免震建物の多点同時地震観測記録及び免震応答性状

構造—振動

準会員 ○ 小林裕之^{*1} 正会員 佐藤大樹^{*2}
正会員 北村春幸^{*3} 正会員 笠井和彦^{*4}

免震構造 超高層 地震観測

長期観測 時刻歴解析

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震を機に、免震建物は大きな脚光を浴びるようになった。従来は中低層RC建築物に適用されてきたが、現在は超高層建築物への適用も増加してきている。

免震構造は、基礎構造と上部構造の間に免震層を設け、上部構造を地震動の水平成分から絶縁しようとする構造であるが、適用建物の高層化に伴い、免震効果が低減するという問題がある。また、超高層免震建物はまだ新しい技術であることから、観測記録が少なく、大きな地震動を経験していない。したがって、極めて稀に発生する大地震時の安全性を検討する必要がある。

本報では東京工業大学すずかけ台キャンパス（横浜市北部）の超高層免震建物であるJ2棟を対象とし、観測記録を整理し、そこから超高層免震の地震応答特性を把握することが目的である。また、時刻歴応答解析による大地震時の超高層免震建物の応答特性についても検証する。

2. 建物概要及び観測点概要

図1に、対象建物であるJ2棟の概略を示す。J2棟は地上20階、棟屋2階、高さ91.85mの超高層建物であり、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。敷地は傾斜地に位置しており、1階の半分以上が周囲の土に埋もれている状態になっ

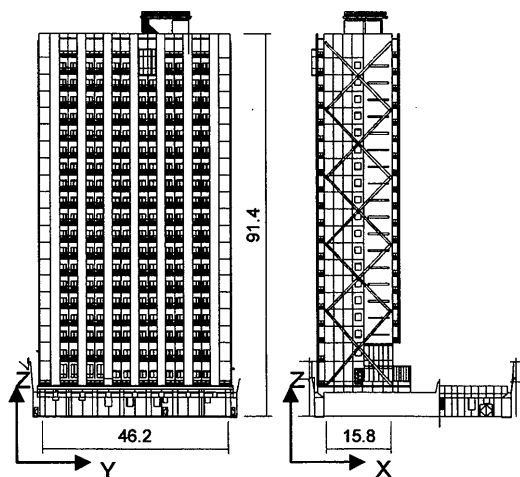


図1. 東京工業大学 J2 棟 (単位:m)

ているため、1階と2階の間に免震層を設けた免震構造を採用している。上部構造は鉄骨構造、基礎および1階は鉄筋コンクリート構造である。構造形式は、上部構造の梁間方向がブレース付きラーメン構造、桁行方向が純ラーメン構造となっている。免震層は直径1100mm～1200mmの天然ゴム系積層ゴム支障(16基)と免震用オイルダンパー(2基)および鋼製ダンパー(一体型12基、別置型2基)で構成されている。建築地盤は第1種地盤であり、建物の基礎形式は直接基礎となっている。なお、この建物の短辺方向をX方向、長辺方向をY方向と定義する(図1)。

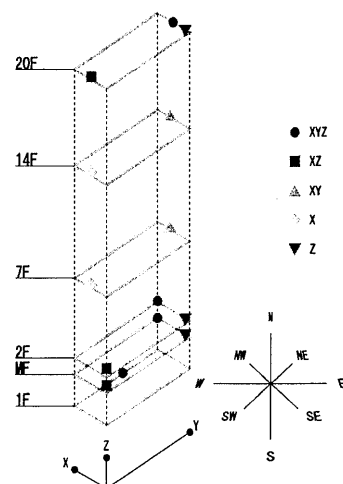


図2. 加速度計設置位置

観測点については、J2棟内に計27chの加速度計が設置されており(図2)、周辺地盤には多数のセンサーが設置されている。本報で対象とした地盤観測点はB2, R2, S6の3点である(図3)。なお、その他の観測システムおよび詳細については文献1～3を参照されたい。

観測点については、J2棟内に計27chの加速度計が設置されており(図2)、周辺地盤には多数のセンサーが設置されている。本報で対象とした地盤観測点はB2, R2, S6の3点である(図3)。なお、その他の観測システムおよび詳細については文献1～3を参照されたい。

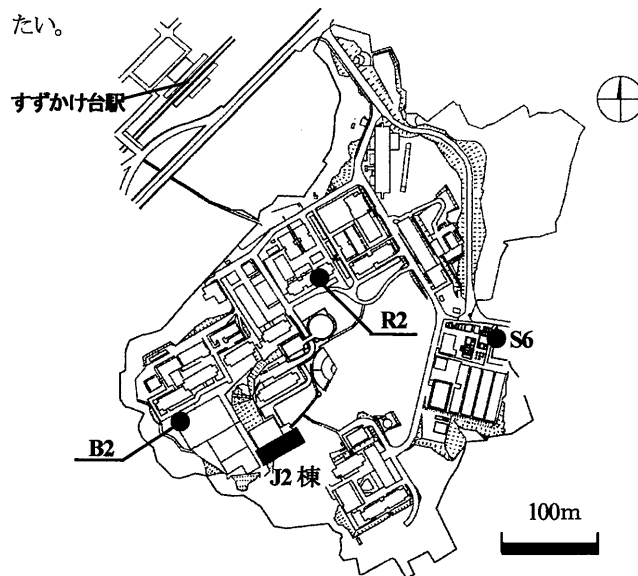


図3. 加速度計設置位置(地盤上)

3. 観測記録の概要

3.1 地震記録の概要

本報では、2005年7月から2007年11月までに発生した計294波の地震動を対象とした。なお、観測記録のうち、J2棟20階の応答加速度が特に大きいものについては表1に示す。

各地震動のマグニチュードとJ2棟からの震源距離を頻度分布として図4、5にそれぞれ示す。図5より、観測された地震動がJ2棟から100km以内、すなわち関東平野内のものが多数を占めているということがわかる。

図6には、上記期間内にJ2棟周辺の地盤上3点(B2, R2, S6)で観測された最大加速度の頻度分布をEW, NS方向について示す。

地震動の震源距離と、観測された地盤の加速度および速度の応答スペクトルより求めた卓越周期の関係を、図7(a), (b)それぞれ示す。ばらつきは見られるが、震源地が遠い程卓越周期が長くなる傾向がみられる。

表1. 地震動の代表例

発生日	震源地	震源深さ (km)		震源距離 (km)	20階Acc (gal)		1階Accgal)	
		M			X	Y	X	Y
2005.7.23	千葉県北西部	73	6.0	60	21.06	12.93	14.24	13.82
2005.7.28	茨城県南部	50	5.1	75	3.77	2.85	4.38	3.51
2005.8.16	宮城県沖	42	7.2	384	24.06	17.06	9.07	8.47
2006.4.21	伊豆半島東方沖	10	5.6	69	5.07	4.66	3.11	2.65
2006.5.2	伊豆半島東方沖	20	5.6	68	9.44	8.80	17.47	18.24
2006.10.14	千葉県南東沖	70	5.0	102	2.52	4.88	5.67	5.95
2007.3.25	能登半島沖	50	7.1	315	5.08	6.16	1.40	1.63
2007.7.16	新潟県中越沖	10	6.6	240	13.89	8.65	4.28	2.77

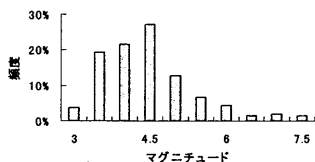


図4. マグニチュードの頻度分布

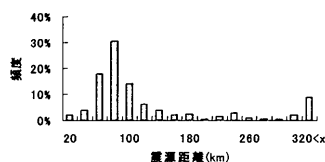


図5. 震源距離の頻度分布

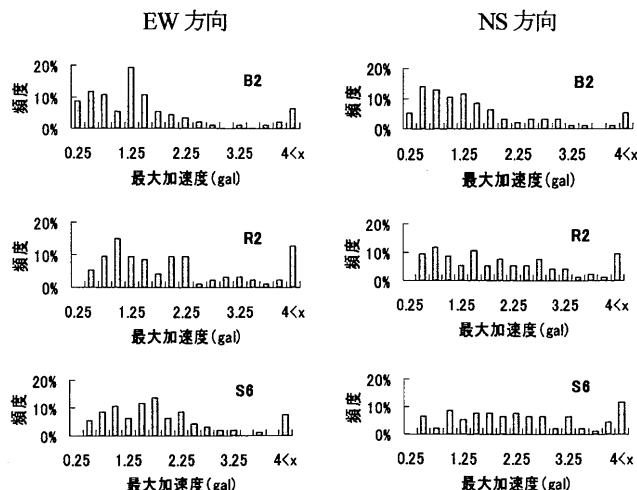


図6. 地盤上3点の最大加速度の頻度分布 (計100波)

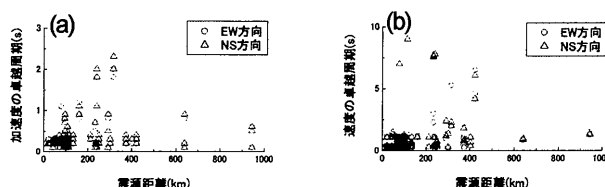


図7. 震源距離と卓越周期

3.2 建物応答

前節に示した期間内にJ2棟20, 7, 1階で観測された最大加速度の頻度分布を図8に示す。7階の最大加速度分布の平均が、他の階よりも比較的大きな値を示していることがわかる。図9(a), (b)には、J2棟で観測された地震動の震源距離と、J2棟1階の加速度および速度応答スペクトルより求めた卓越周期との関係をそれぞれ示す。図9より、周辺地盤面(図7)とほぼ同様な結果が得られた。

図10には、加速度記録の伝達関数から求めた上部構造(2~20F)の1次固有振動数と建物全体(1~20F)の1次固有振動数、それぞれと免震層の最大変位の関係を示した。図10から免震変位が大きくなるほど、建物全体の1次振動数が小さい値をとることがわかり、免震層が動くほど長周期化していることがわかる。

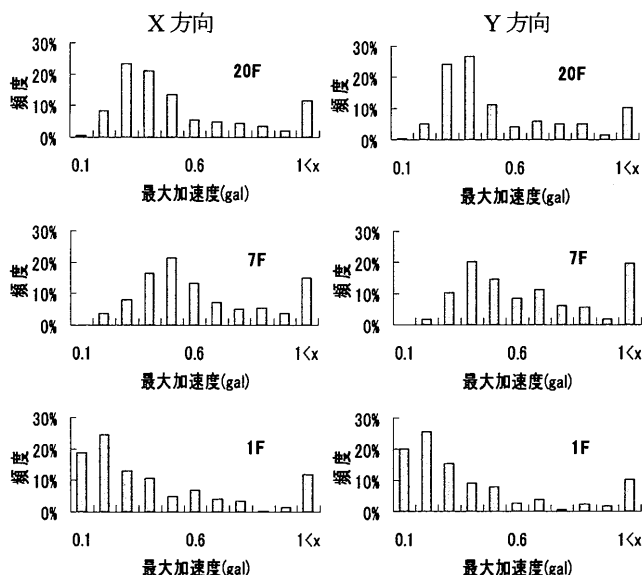


図8. J2棟代表階の最大加速度の頻度分布

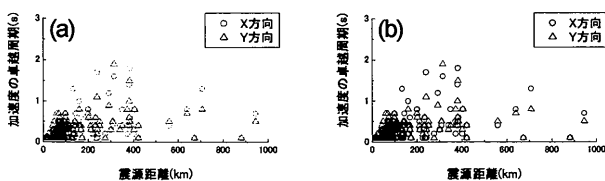


図9. 震源距離と卓越周期

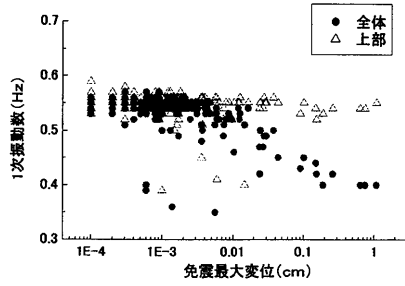


図10. 免震最大変位と1次固有振動数

4. せん断棒モデルによる解析

4.1 解析モデルの概要

建物の固有振動数が観測から得られた上部構造の伝達関数の1次卓越振動数に一致するように上部構造の剛性を決定し、免震層の剛性は、建物全体の伝達関数に一致するように免震剛性を決定した(図11(a)). 減衰については、上部減衰を1次, 2次ともに1%でレーリー減衰とし、免震剛性は積層ゴム・鋼材ダンパーにおいては無減衰とした。粘性ダンパーは粘性係数 $C_d=15$ (kN・s/cm) を使用している(図11(b)). 図11(c)に実際の建物と多質点モデルの対応を示す。

表2. 解析モデルの各層の質量と剛性

層	質量 (kN)	剛性 (kN/cm)
PH	3.7	3000
20	10.7	5400
19	7.2	5800
18	7.1	6600
17	7.3	8400
16	7.1	9300
15	4.3	9900
14	7.3	10500
13	7.4	11600
12	7.3	12300
11	7.4	12600
10	7.3	13100
9	7.5	14400
8	7.4	14900
7	7.5	15300
6	7.7	15900
5	8.0	17300
4	7.8	17900
3	7.5	16400
2	7.8	19700
免震	19.0	2000
1	44.6	372000

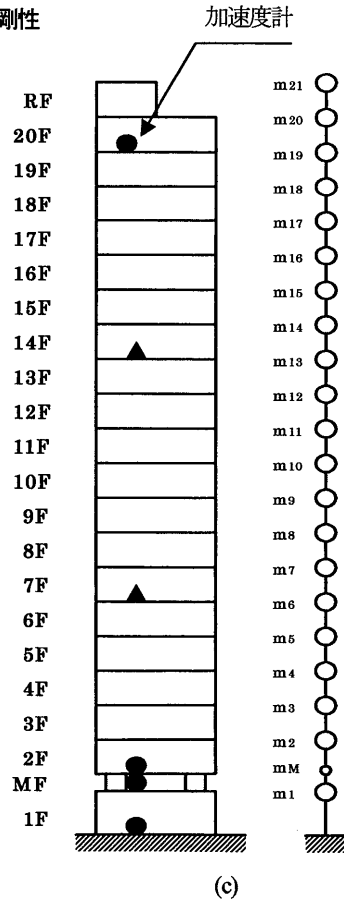
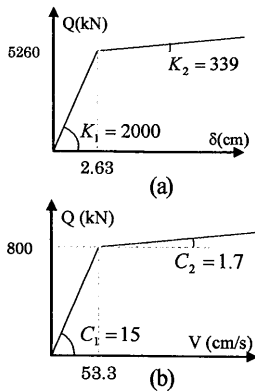


図11(a)~(c). モデル概要

4.2 観測記録との比較

観測記録のうち、頂部の最大加速度が特に大きい2波を時刻歴解析の対象とした。対象とする地震波は、千葉県北西部(2005年7月23日)と宮城県沖(2005年8月16日)で観測された地震波である(表1)。図12に千葉県北西部, 図13に宮城県沖の観測値の比較を示す。それぞれの図において、(a)最大加速度, (b)最大変位の結果である。図12より、観測値を見ると千葉県北西部地震は、建物上部の加速度応答が1階より大きい、もしくは同等であることが確認できる。一方、図13の宮城県沖の観測値は、上部構造の加速度応答が1階より大きいことが分かる。最大変位分布に関しては、両地震で同様の応答性状を示していることが分かる。解析結果も、両地震波での加速度応答性状の違いをよく再現できていることが確認された。

図14, 15に、それぞれ千葉県北西部と宮城県沖の時刻歴波形による解析結果と観測結果の比較を示した。千葉県北西部, 宮城県沖ともに、解析結果は最大値に多少の誤差は見られるが、位相は一致していることから比較的良好な解析結果といえる。

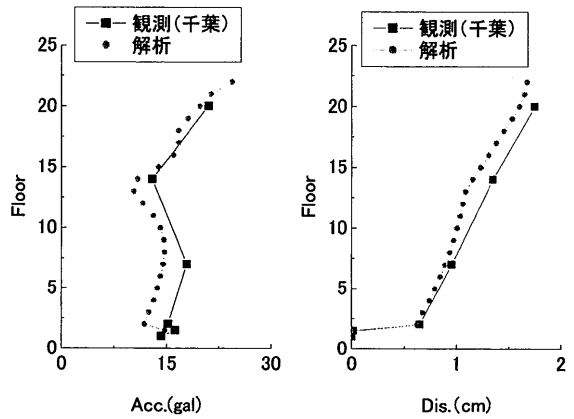


図12. 最大値分布の比較(千葉県北西部)

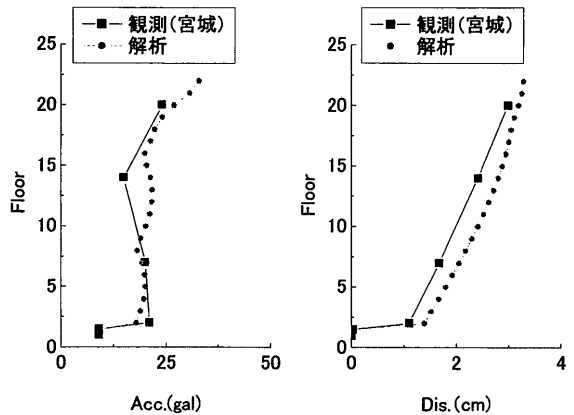


図13. 最大値分布の比較(宮城県沖)

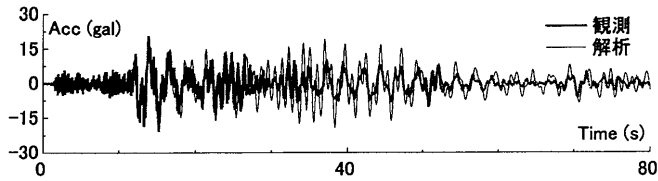


図 14. 20 階加速度時刻歴 (千葉県北西部)

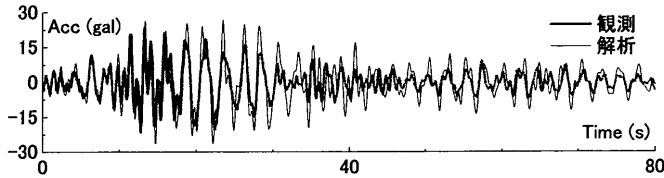


図 15. 20 階加速度時刻歴 (宮城県沖)

4.3 大地震時の建物応答

前節では加速度応答が、1 階に対し上部構造が同等もしくは小さい値を示す千葉県北西部地震と、1 階に対し上部構造が大きな値を示す宮城県沖地震という加速度応答性状の違いが確認された。本節では、さらに大きな地震動が発生した場合、同様な加速度応答性状を示すのかを解析により検討する。

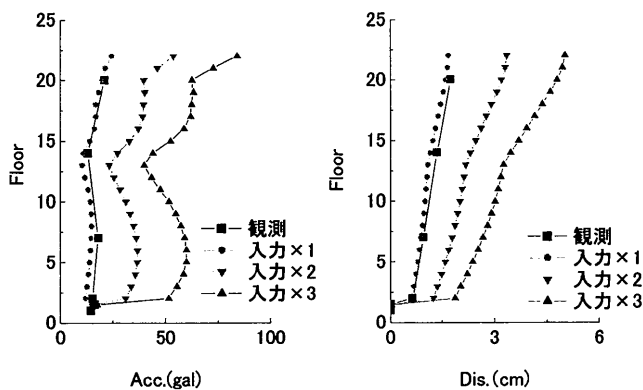


図 16. 最大値分布の比較 (千葉県北西部)

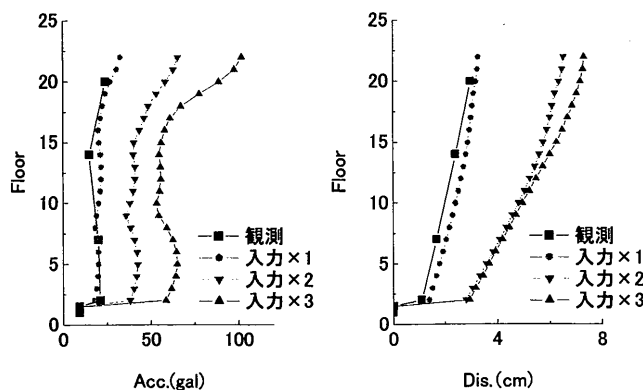


図 17. 最大値分布の比較 (宮城県沖)

千葉県北西部および宮城県沖の入力を 2, 3 倍にした結果を、図 16, 17 にそれぞれ示す。入力地震波を大きくする前は 1 階よりも小さい値を示していた 2 階の加速度応答が、千葉県北西部の地震波を 2, 3 倍とすると、1 階よりも大きな値を示し、加速度応答性状が変化することが確認できる。最大変位においては、入力倍数にほぼ比例して上部応答が大きな値を示していることが分かる。一方、宮城県沖に関しては、入力値が大きくなるとそれに応じて、上部構造の応答加速度も大きくなることを確認できる。最大変位においては、入力地震波 2 倍と 3 倍とで大きな差が生じないことがわかる。

5. まとめ

本報では東京工業大学すずかけ台キャンパスの超高層免震建物 J2 棟とその周辺地盤の観測記録約 300 波を整理するとともに、超高層免震建物の地震応答特性を明らかにした。また、大地震時の超高層免震建物の応答についても時刻歴解析により検証した。

1. 震源距離が遠いと、地震波の卓越周期が長くなる傾向にあるということがわかった。
2. 免震層の変形が大きいくほど、免震建物が長周期化することが確認できた。
3. 千葉県北西部地震と宮城県沖地震とで、J2 棟の加速度応答性状の違いが確認できた。
4. 千葉県北西部地震と宮城県沖地震に対する建物応答性状を、解析でも再現することができた。
5. 上部構造が 1 階よりも小さいもしくは同等な加速度応答を示す地震波でも、入力を大きくした解析では、建物応答の性状が変化することがわかった。

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)」の支援を受けて実施したものです。J2 棟及びすずかけ台キャンパス地盤上の観測データを提供して頂きました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 大木洋司, 山下忠道, 盛川仁, 山田哲, 坂田弘安, 山中浩明, 笠井和彦, 和田章: 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, 第 21 号, P73-77, 2005.6.
- 2) 山中浩明, 山田哲, 盛川仁, 大河原勇太, 大木洋司, 坂田弘安: 東京工業大学すずかけ台キャンパスにおける地震動のアレイ観測, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2, PP251-252, 2007.7
- 3) 山田哲, 大河原勇太, 山中浩明, 坂田弘安, 盛川仁, 大木洋司, 笠井和彦, 和田章: 超高層免震建物における地震観測の概要, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2, PP963-964, 2007.7

- *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)
- *4 東京工業大学建築物理研究センター 教授・Ph.D