

# 免震構造建物の地震時応答

- 地震観測結果の検討 -

安藤建設技研 藤本利昭

## 1. はじめに

埼玉県ふじみ野市の研究所建物を対象に継続的に地震観測を実施してきた。観測を開始した1991年から現在までに、マグニチュード M4.0 を超える地震に対して100を超える観測記録が得られている<sup>1)</sup>。

本報では、2004～2005年に記録された代表的な地震を対象に、地震の特性、地盤ならびに免震建物の振動特性の概要について報告する。

## 2. 地震観測概要

### 2.1 建物および地盤概要

観測建物は、1989年に在来構法で建設された第1研究棟（以下、在来棟）と、1991年に鉛プラグ入り積層ゴム（LRB）を免震装置として採用した第2研究棟（以下、免震棟）の2棟である。在来棟および免震棟の写真を写真1に示す。

建物規模は、地上3階建て、軒高11.6m、延床面積は在来棟が522m<sup>2</sup>、免震棟が545m<sup>2</sup>で、構造形式はX、Y方向共に純ラーメンの鉄筋コンクリート造である。

免震棟基礎部には、外形が450、550の2種類、各4体の合計8体の鉛プラグ入り積層ゴムが設置されている。

敷地は青梅を扇頂とする扇状地の東端付近に位置しており、地盤はGL-5mまでがローム層、GL-5m以下が武蔵野・所沢礫層と続く第二種地盤であり、建物の基礎はローム層に直接基礎としている。

### 2.2 地震観測システム概要

地震観測は、地盤、建物（免震棟、在来棟）の8点について行っている。地震計の設置場所およ



写真1 在来棟(右前)と免震棟(左奥)

表1 地震計の測定位置および測定項目

観測場所：埼玉県ふじみ野市大井中央 (北緯 35 度 51 分 22 秒, 東経 139 度 30 分 17 秒)			
地震計設置場所		測定項目	測定成分
地中-30m	GL-30m	加速度	水平 2 方向 NS,EW (X, Y)  鉛直 1 方向 UD(Z)
免震棟	地下ビット上 (GL-2.9m)		
	1階中央		
	1階隅部		
	最上階中央		
非免震棟	最上階隅部		
	最上階隅部		

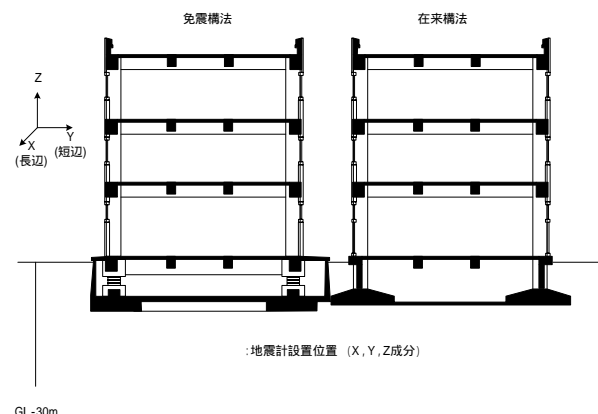


図1 観測建物と地震観測位置

The Earthquake Response of the Base Isolated Building  
- Investigation Based on the Earthquake Observation Result -

Toshiaki FUJIMOTO

び測定項目を表1, 図1に示す。

各測定点に設置された地震計では, 建物の長辺方向 X, 短辺方向 Y の水平 2 方向 (NS, EW) および鉛直方向 Z(UD) の 3 成分を測定している。また地盤については, 地中 GL-30m で観測を行っている。

### 3. 観測地震とその概要

#### 3.1 検討地震

本報では, 表2に示す2004~2005年に観測された3つの記録を用いて考察する。なお以降の検討では, 建物の短辺方向である東西方向 (EW) を対象に結果を述べる。

検討対象とした3つの地震記録は, 2004年10月23日に発生した新潟県中越地震の本震(震源地:新潟県中越地方, M=6.8), 2005年7月23日に発生した千葉県北西部地震(震源地:千葉県北西部, M=6.0), 2005年8月16日に発生した宮城県沖地震(震源地:宮城県沖, M=7.2)とした。なお, 対象建物のある埼玉県ふじみ野市大井中央の震度は, 新潟県中越地震が震度2, 千葉県北西部地震と宮城県沖地震が震度3であった。

#### 3.2 地震動の比較

図2に, 免震棟の基礎部で観測された地震波形を示す。なお図に示した速度波形は, 地震計で得られた加速度波形を積分して求めた値である。

新潟県中越地震では, 地震発生後, P波S波が到着し, その後表面波と考えられる長周期の地震動が2分以上にわたって続いている。宮城県沖地震においてもやや長周期の地震動が観測されているが, 千葉県北西部の地震ではそのような波は認められない。

図3に基礎部の速度応答スペクトル(減衰定数

$h=0.05$ )を示す。3つの地震を比較すると, 新潟県中越地震では, 6~7秒の長周期の応答が卓越しているのに対し, 千葉県北西部地震では1秒以下が卓越し, 宮城県沖地震では約1~3秒が卓越していることが分かる。

古村の報告<sup>2)3)</sup>によれば, 関東地方で長周期の地震動が強く生成されるためには, マグニチュードがおおよそ M6.2~6.5 以上と大きく, 震源深さが

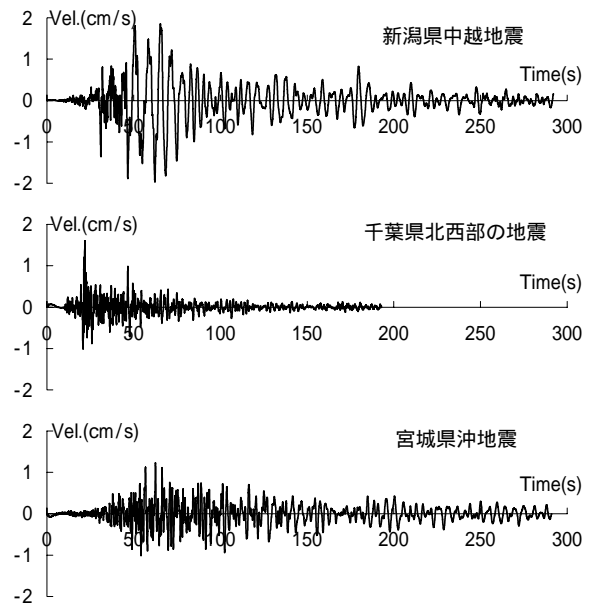


図2 基礎部の速度波形

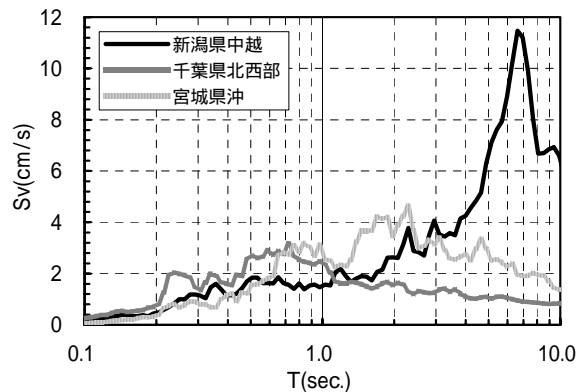


図3 基礎部の速度応答スペクトル ( $h=0.05$ )

表2 検討対象地震

No.	W1	W2	W3
発生日時	2004年10月23日17時56分	2005年7月23日16時35分	2005年8月16日11時46分
震源地	新潟県中越地方	千葉県北西部	宮城県沖
震央	北緯 37.3°, 東経 138.8°	北緯 35.5°, 東経 140.2°	北緯 38.1°, 東経 142.4°
震源深さ	約 12km	約 73km	約 42km
マグニチュード	M6.8	M6.0	M7.2
最大震度	7(新潟県川口町川口)	5強(東京足立区伊興)	6弱(宮城県川崎町前川)
ふじみ野市大井中央	震度 2	震度 3	震度 3

およそ 20km 以下と浅い場合に起きることから，今回検討した地震では，震源深さが約 12km と浅かった新潟県中越地震では約 6~7 秒の長周期地震動が発生したものの，宮城県沖地震では震源深さが約 43km と深かったため新潟県中越地震のような長周期地震動が発生しなかったものと考えられる。また，千葉県北西部の地震では，新潟県中越地震（震源距離 204km），宮城県沖地震（震源距離 398km）に比べ震源距離が 81km と近かったため，他の地震のような後揺れが無かったものと考えられる。

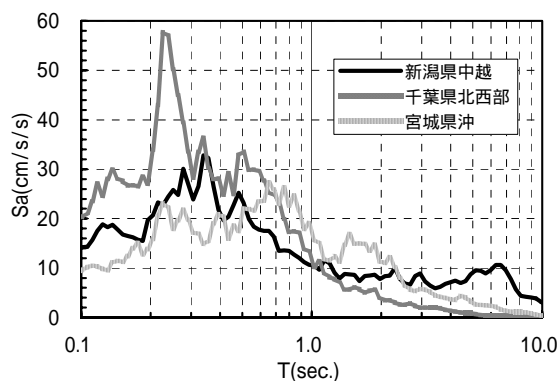
#### 4. 観測地震による応答

##### 4.1 表層地盤の応答性状

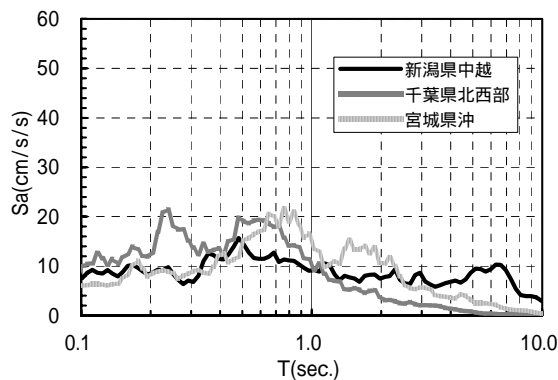
図 4 には，基礎部と地中（GL-30m）での加速度応答スペクトル（減衰定数  $h=5\%$ ）を示す。

3つの地震の比較では，千葉県北西部の地震で，周期 0.2~0.3 秒付近の加速度が極めて大きく，他の地震の 2 倍程度となっている。

基礎部（図 a）と地中（図 b）の比較では，地



(a) 基礎部



(b) 地中(GL-30m)

図4 加速度応答スペクトル ( $h=0.05$ )

中の加速度スペクトルに対して，周期 1 秒以下の短周期の領域において，基礎部のスペクトルが大きく増幅していることが分かる。特に周期  $T=0.26\sim 0.28$  秒での増幅割合が大きく，周期が 1 秒を超えるとほとんど増幅は認められない。なお，各周期における加速度応答スペクトルの増幅割合は地震波によらず同様である。

表 3 に観測記録のフーリエスペクトルから求めた伝達関数を用いて算定した表層地盤，建物の固有周期を示す。表 3 に示すように表層地盤の固有周期は約 0.28 秒であり，加速度スペクトルの増幅傾向と一致している。

##### 4.2 在来棟(RC)の応答性状

フーリエスペクトルより求めた在来棟短辺方向の固有周期は，表 3 に示すように 0.285 秒であり，表層地盤の固有周期とほぼ等しかった。そのため，在来棟は表層地盤の影響を大きく受けやすいものと考えられる。

表 4 に最大応答値の一覧を，表 5 に応答倍率の

表3 1次固有周期一覧

	固有周期
表層地盤	$T=0.286$ 秒
在来棟短辺方向	$T=0.285$ 秒
免震棟短辺方向	(上部構造 : $T=0.282$ 秒)
	(震度 1 程度の地震 : $T=0.437$ 秒)
	新潟県中越地震 : $T=0.443$ 秒
	千葉県北西部地震 : $T=0.479$ 秒
	宮城県沖地震 : $T=0.482$ 秒

表 4 最大応答加速度 ( $\text{cm}/\text{sec}^2$ )

	新潟県中越地震	千葉県北西部地震	宮城県沖地震
在来棟最上階	53.87	97.90	22.96
免震棟最上階	14.85	19.66	15.64
免震棟 1 階床下	13.04	15.74	11.83
免震棟基礎	8.72	21.76	8.24
免震棟地中	5.34	7.08	4.68

表5 最大加速度応答倍率

	新潟県中越地震	千葉県北西部地震	宮城県沖地震
在来棟最上階 / 基礎	6.18	4.50	2.78
免震棟最上階 / 基礎	1.70	0.90	1.90
免震棟 1 階床下 / 基礎	1.50	0.72	1.43
免震棟 / 在来棟	0.28	0.20	0.68
免震棟基礎 / 地中	1.63	3.07	1.76

一覧を示す。在来棟最上階では、基礎の最大応答加速度に対して、2.8倍～6.2倍の加速度を示し、大きく増幅していることが分かる。

#### 4.3 免震棟の応答性状

表3に示すように、フーリエスペクトルより求めた免震棟の固有周期は、上部構造のみの固有周期は $T=0.282$ 秒で、在来棟とほぼ同様の周期であることが分かる。震度1程度の他の地震記録から求めた免震棟全体の固有周期は、 $T=0.437$ 秒程度であり、免震装置により建物の固有周期が在来棟の1.5倍となっている。同様に新潟県中越地震では $T=0.443$ 秒、千葉県北西部地震では $T=0.479$ 秒、宮城県沖地震では $T=0.482$ 秒と固有周期が若干延びている。

これらの3つの地震では、震度1程度の地震に比べ、建物への入力加速度が大きく、免震装置の変形の増大、鉛プラグの降伏により固有周期が延びたものと考えられる。

表5に示した基礎部の最大応答加速度に対する建物各部の最大応答加速度倍率を図5に示す。新潟県中越地震、宮城県沖地震では、最大応答加速度が免震棟の1階で1.43～1.40倍、最上階で1.70～1.90倍に増幅しており、免震装置による応答加速度の低減効果が少ない。一方で、千葉県北西部の地震では、免震棟1階で最大加速度が72%に、最上階においても約90%に低減されており、免震装置による応答加速度の低減効果が認められる。

これらの結果から、千葉県北西部の地震では、特に建物への入力加速度が大きく、鉛プラグの降伏による減衰の付加効果により、最大応答加速度が低減されたものと考えられる。

#### 4.4 在来棟と免震棟の応答性状の比較

表5、図5より、免震棟最上階の最大応答加速度は在来棟最上階の20%～68%であり、免震装置による応答低減効果が認められる。

図6に千葉県北西部の地震における在来棟と免震棟最上階の加速度波形( $T=20\sim 50$ 秒)を示す。先に述べたように、この地震では在来棟の固有周期での加速度が卓越したため最大応答加速度が極めて大きかったこと、入力加速度が大きく、免震

効果が顕著だったことから2棟の建物の応答の際が極めて顕著に出た例と考えられる。

### 5. まとめ

以上、2004～2005年に発生した3つの地震記録を対象に観測結果の概要を報告した。その結果、震度がほぼ等しい地震においてもその特性は異なり、建物の応答も異なることが分かった。また、観測された地震は、震度3程度ではあるが、これらの地震に対しても、免震建物の応答低減効果が確認できた。

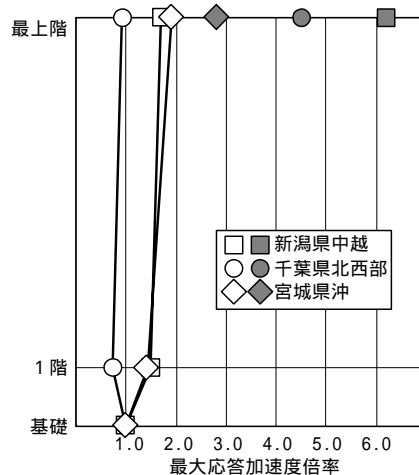


図5 建物の最大応答加速度倍率

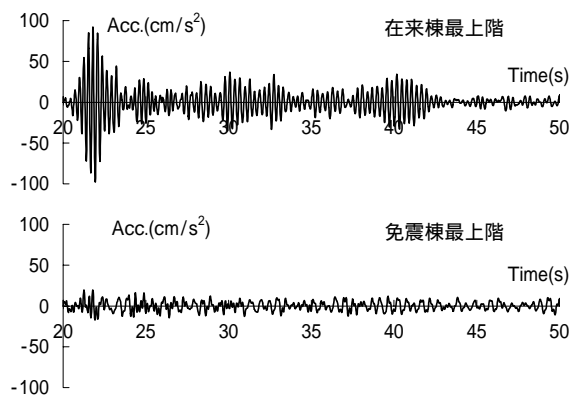


図6 最上階の加速度応答(千葉県北西部地震)

#### 参考文献

- 1) 藤本利昭, 根本恒, ハッ繁公一, : 免震構造物の地震観測報告 その1 観測システムおよび観測結果の概要, 安藤建設技術研究所報, Vol.9, pp.9～18, 2004年
- 2) 古村孝志: 2004年新潟県中越地震の地震波動伝播と関東平野の強い揺れ, 東京大学地震研究所HP, 2004
- 3) 古村孝志: 宮城県沖地震の地震波の伝わり方と関東の揺れ, 東京大学地震研究所HP, 2005