

# 平面形状の大きな免震建物の地震時の 捩れ振動を伴う挙動に関する研究

島崎 和司\* 荏本 孝久\*\* 大熊 武司\*\*

Torsional Response of a base isolated large building

Kazushi SHIMAZAKI\*, Takahisa ENOMOTO\*\*, Takeshi OHKUMA\*\*

# 1. 序

免震建物の地震時の挙動については、設計との対応を 目的とし、全体的な挙動、高さ方向の挙動を把握するた め多くの地震観測が行われており、その結果の評価も進 んでいる。免震建物で平面的にも100m 近い長大構造物 である本学23号館は、文部科学省学術フロンティア・横 浜市産官学共同研究総合プロジェクト「地震・台風災害 の制御・低減に関する研究(TEDCOM)」(研究代表者: 大熊武司建築学科教授)により地震時の挙動観測が行わ れ、これまでに中小地震に対する多くのデータが蓄積さ れてきており、免震建物の地震時の高さ方向の挙動評価 に有益なデータを得ている<sup>1)-6)</sup>。

免震構造物は、その耐震性能に加え、基礎の拘束度が 小さいため乾燥収縮による内部応力の発生が少なく、ク ラックが入り難い構造であることもあり、一般の建物と 比べて長大な構造物が建造されている。これらの建物で は、基礎梁の乾燥収縮や温度変化により、免震装置に変 形が発生する。この変形量が無視できない量である事が 現場で認められており、その報告がなされている<sup>7180</sup>。

これらの変形により、捩れ応答が生じて耐震性能に影響を与える可能性があることが解析的に示され、維持管理上、これらの変形量を把握する必要のあることも示されている<sup>9)</sup>。また、長大な建物においては、地震動の伝搬速度により、建物の両端部に入力する地震動に位相差が生じ、その影響が建物の平面的な応答に影響を及ぼすと考えられる<sup>10</sup>。

\*建築学科 助教授

\*Associate Professor, Department of Architecture

\*\*建築学科 教授

\*\*Professor, Department of Architecture

これらの影響が実際の建物においてどのようであるか を計測した例は少ない。免震装置の変形については、建 設会社で建設中の建物の経次変化を計測した例はあるが、 長期の観測例はほとんどない。また、地震時の平面的な 挙動観測例も報告は少ない。

本研究は、TEDCOM プロジェクトでの高さ方向での 観測に加え、免震層の平面的な挙動を観測し、解析シミュ レーションと合わせて、長大な免震構造物の地震時挙動 の評価を行おうとするものである。また、観測されたデー タのうち、代表的なデータを公表することにより、今後 の長人免震構造物の設計・評価手法に関する研究の礎に なるものと考えられる。

## 2. 地震動観測

### 2.1 23号館概要

23号館は、地下2階・地上8階・塔屋2階の工学部研 究室、実験室、講義室及び図書館書庫からなる建物であ る。軒高は30.05m、最高部高さは39.25m で、階高は地 上階3.7m、地下1階実験室は5.0m、地下2階書庫は6.0 m である。構造種別は鉄筋コンクリート造で、地下2 階と地下1階床の間に免震部材を設置した免震建物となっ ている。免震部材には、アイソレータとして天然ゴム系 積層ゴム、エネルギー吸収部材として鉛ダンパー及び鋼 棒ダンパーを用い、上部構造の重心と免震部材の剛心が 一致するように配置されている。上部構造の架構形式は、 X 方向 (長手方向)、Y 方向 (短手方向) 共に純ラーメン 構造とし、下部構造(地下2階部)は、上部構造の基礎部 として十分な剛性、耐力を持つ剛構造としている。基礎 は、鉄筋コンクリート造べた基礎とし、GL-14m 付近よ り現れるN値50以上の相模層群砂礫層に直接支持させて いる11)12)



地中および地表での振動計測はボーリング坑を利用し て、工学的基盤レベル(GL-21.8m)と地表レベル (GL-1.5m)において各々3成分の振動計測を行ってい る。工学的基盤以浅の地盤は主にローム層で構成され、 N値10以下の軟弱層がGL-21.8mまで堆積している。 2)高さ方向観測

設置した地震計はサーボ型加速度計(一部サーボ型速 度計を併置)で8階、6階、3階、B1階、B2階の5 箇所に、各設置階共にほぼ同位置に設置してある。設置 位置および観測成分(X,Y,Z方向)は図1に示した。 3)平面方向観測

免震層の平面的な挙動の観測のため、図2に示す ように、長手方向の両端(X1-Y3, X20-Y3)に、 XY2方向の免震層の相対変形が計測できるように 変位計を設置した。この変位計では、熱電対による 温度計測とあわせて1日8回3時間毎に長期変動も 計測する。また、同一位置の免震層下部に3方向地 震計を設置し、それぞれの位置での入力地震動を計 測している。

## 3. 観測記録

## 3.1 高さ方向観測

2005年7月末までに記録されたデータのうち、23 号館 B2 階の水平最大加速度値が5 gal 以上を記録 したデータの一覧を表1に示す。これらの地震動記 録に対する解析を行い、免震建物の地震時挙動に関 する検討結果が報告されている<sup>1)-6)</sup>。



2 免震層の平面方向の地震観測位置

#### 表1 記録された地震動記録

-	and the second second	941 AL 2311	20 2	0.000	深さ	規模	震度
No.	発生日 震源時	₹  震央地名	緯度	経度	km	Mj	神奈川[2 神大寺
1	2001/4/10 10:04	千葉県南部	35* 18.4'	140* 20.8*	99	4.6	3
2	2001/11/17 1:32	千葉県北西部	35* 37.1	140* 4.7*	73	4.6	3
3	2002/5/19 5:00	千葉県北西部	35* 38.7	140* 12.7*	72	4.6	3
4	2002/6/14 11:43	茨城県南部	36* 12.9'	139* 58.6*	57	5.1	3
5	2003/5/10 11:46	千葉県北西部	35* 48.7'	140' 6.5'	70	4.6	3
6	2003/5/12 0:57	茨城県南部	35* 52.1'	140* 5.1'	47	5.3	3
7	2003/5/26 18:26	宫城県沖	38* 49.2'	141* 39.0'	72	7.1	2
8	2003/8/18 19:00	千葉県北西部	35° 48.2'	140° 6.5'	69	4.8	3
9	2003/9/20 12:55	千葉県南部	35* 13.1'	140° 18.0'	70	5.8	4
10	2004/7/17 15:10	房総半島南東沖	34* 50.2'	140* 21.3*	- 69	5.5	3
11	2004/8/6 3:23	千葉県北西部	35* 36.9'	140* 3.3*	75	4.6	3
12	2004/8/25 1:49	東京湾	35* 32.5'	139* 53.6'	51	4.4	2
13	2004/10/6 23:40	茨城県南部	35" 59.3'	140' 5.3'	66	5.7	4
14	2004/10/23 17:56	新潟県中越地方	37° 17.5'	138* 52.0'	13	6.8	2
15	2004/10/23 18:34	新潟県中越地方	37* 21.2'	138* 59.0*	9	6.3	2
16	2005/2/16 4:46	茨城県南部	36° 2.3'	139* 53.3'	46	5.3	4
17	2005/4/11 7:22	千葉県北東部	35° 43.6'	140* 37.2'	52	6.1	3
18	2005/4/11 15:34	千葉県北西部	35° 34.1'	140* 11.0'	73	4.4	3
19	2005/6/1 20:44	東京湾	35* 33.0'	139* 48.9'	28	4.3	2
20	2005/7/23 16:34	千葉県北西部	35° 34.9'	140* 8.3'	73	6.0	533
21	2005/7/23 16:37	千葉県北西部	35° 36.4'	140* 7.9'	68	4.5	2
22	2005/7/28 19:15	茨城県南部	36°7.5'	139* 50.7'	51	5.0	3



図3 2005年7月23日千葉県北西部地震の 最大加速度の高さ方向の分布

図3は、これらの記録のうちで最も震度が大きかった 2005年7月23日千葉県北西部地震の記録の最大加速度を 高さ方向にプロットしたものである。工学的基盤である GL-25.5mで、500mm/sec<sup>2</sup>程度であった最大加速度は、 地表面近くで3倍に増幅されているが、建物への入力は およそ1/2~1/3となり、工学的基盤とほぼ同じ値と なっている。免震層でそれが約1/2に低減され、建物 上層部ではほとんど増幅されておらず、免震効果が確認 できる。また、上部構造の加速度分布はほぼ一定であり、 剛体的に振動しているといえる。

図4は、工学的基盤中とB2Fで記録された地震動の 主要60秒間のフーリェ振幅スペクトルを示したものであ る。X方向で0.4秒付近、Y方向で0.2秒付近にやや違い がみられるが、全体的に大きな違いは見られない。本建 物は直接基礎で工学的基盤に支持されており、建物の入 力地震動として、基盤の地動を用いて良いと思われる。

### 3.2 平面方向観測

## 1) 長期変動

図2に示した変位計測位置においては、竣工後1年を 経過した後、免震装置の変形を、下げ振りを用いた手動 による計測方法により、季節ごとに行っている。図5は この手動計測を含めた X1-Y3の積層ゴムと(図2の左側)と X20-Y3の積層ゴム(右側)の変位量の経過をコンクリート の表面温度とともに示している。自動計測のデータには、 設置時に手動で計測した値を初期値として加算してある。 自動計測を行っている変位計の最小分解能は1mmであ



図4 地中とB2Fで記録された地震動のフーリエ振幅スペクトル



り、精度的には誤差が含まれることになるが、傾向をつ かむことが出来る。符号は、図2に示した XY 両方向 の矢印の方向を正としている。

未計測期間である竣工後1年までの間で、コンクリートの乾燥収縮により全体的に内側に変位し、その後コン クリート温度の上下とともに、収縮量が変動している。 最近は温度変化に伴う基礎梁の変動が大きい。

図6は両方向の変位について自動計測期間のおよそ1 年間のデータを示したものである。同図中には、地震や 強風などのイベントも示したが、イベント時に変位して いることから、地震や強風により上部構造が残留変形を 残していると考えられる。強風時にY方向が大きく変位 しているのは、Y方向の風に対して壁面の見付け面積が 大きいためと考えられる。図7に両端のY方向変位の

50





図7 建物のY(短辺)方向変形の相関

相関を示す。イベントにより、捩れが大きくなったり解 x 消されたりしており、地震、強風としての特徴はないよ ^ うである。

## 2) 地震加速度記録

水平方向の地震観測開始後最大の地震である、2005年 7月23日千葉県北西部を震源とする地震で、免震層で20 mm 近い変位が記録されたので、このデータについて 検討を行う。

この建物では、免震装置を支持している B2Fで、高 さ方向の計測点とあわせて 3 箇所で加速度記録を計測し ている。図8は、この 3 箇所で計測された XY 両方向 の主要60秒間のフーリエ振幅スペクトルを示したもので ある。X 方向ではほとんど違いがない。Y 方向では、0.3



図9 建物の両端で記録された加速度記録の時刻歴

~0.4秒付近で X 20通りの記録に違いが見られ、0.34秒 付近のピークは、X 20通りにしか現れていない。

図9は、建物の両端のX1、20通りで記録された加速 度記録の時刻歴を、図10はそのオービットと相関を示し たものである。図10(a)に示した両端のオービットの形 状はかなり異なったものとなっている。図10(b)は、両 端のそれぞれの方向の記録をXとY軸に取り、その相 関を示したものである。図中には45°方向に線を入れた

が、記録されたデータがこの線上にあ れば両端でのデータが同じで、これか ら外れるに従い、両端での記録に違い があることになる。X方向に比べ Y 方向の相違がやや大きいようである。

これらの相違は、X 20通り側にのみ 隣接建物が存在する事、敷地が段差状 になっている事の影響や、地震計の設 置場所等の影響が考えられるが、詳細 は今後の検討課題である。

3) 地震時変位記録

図11は、図2に示した建物の両端で 記録された免震層の変位時刻歴を示し たもの、図12はそのフーリエ振幅スペ クトルを示したものである。フーリエ 振幅スペクトルは、X方向は、変位計 が直線状に配置されており、ほぼ同一 となっている。Y方向では1.3秒付近 のピーク値に差が見られ、また5秒以 上の長周期に違いがみられる。

図13は、建物の両端の免震装置の変 位記録を X と Y 軸に取り、その相関 を示したものである。X 方向は、45°線 上を推移し、同一変形を示しているの に対し、Y 方向では、45°の線から外 れ、捩れを伴う振動をしている。また、 図13には、両端の Y 方向変位から求 めた捩れ角の時刻歴も示したが、大振 幅の後も同じ大きさの捩れ振動が続い ている。今回の地震は、大振幅が1回 しかない地震であったが、繰返し起こ るような地震の場合に、この捩れがよ り励起されるかどうか検討が必要であ る。

4) 免震層の復元力特性

図1に示した高さ方向の加速度観測 位置に、その上下層の質量を集中させ て掛け合わせたものを足し合わせるこ とにより、免震層に作用するせん断力 を推定できる<sup>2)</sup>。図14は、こうして推 定した免震層の層せん断力と、計測さ れた変形から求めた復元力特性を X,Y 両方向と、両方向の変形とせん断力の 2 乗和平均平方根(RMS)で示したも のである。微小変形時の剛性は、設計



図11 免震層の両端免震装置の変位記録の時刻歴





時より高いが、第1折れ点耐力は、設計値より小さな値 となっている。これは、設計では、大変形時の安全性を 考慮することを目標として、図15に示したように、鉛ダン パーの大変形時の繰返し挙動<sup>13)</sup>から復元力を定めているの に対し、今回の地震レベルでは、図中に破線で示した復 元力を取るためだと考えられる。





図16 解析モデル

## 4. 地震応答解析

計測された記録をシミュレーションするために立体弾 塑性解析プログラム (RESP-T)<sup>10</sup> により動的解析を行っ た。解析モデルは平面的な捩れ応答を検討するため、**図** 16に示すように上部構造は剛体振動するとして、全層の 重量を基礎梁フレームの各節点に集中させた。スラブの 面内剛性を考慮するため、スラブ厚200mm のシアパネ ル要素を組み込んだ。

免震装置は4本のバネに置換した MSS モデルとした。 積層ゴム600 $\phi$ 82基、800 $\phi$ 12基、鉛ダンパー24基、鋼棒 ダンパー20基を図2に示した本建物の配置に準じて配置 した。2基1組となっている鉛ダンパーは、2倍の剛性 と耐力を持つ1基の鉛ダンパーとして設置した。免震装置 の復元力特性は、設計値を参考にして表2に示す値を設定 した。鉛ダンパーの復元力特性は、図15の破線となるよう 設定した。

応答変位の最大値は約20mm で、鉛ダンパーは降伏 し、鋼棒ダンパーは弾性であった。図17は積層ゴム D 132、D4の X,Y方向の変位応答時刻歴を、図18はその オービットを、解析値と計測値で比較したものである。



図18 解析と実測の応答変位のオービットの比較

#### 表2 免震装置の基本特性

免震 装置	外径 (mm)	初期 剛性 (kN/mm)	二次 剛性 (kN/mm)	降伏せ ん断力 (kN)	降伏 変位 (mm)	
天然ゴム系	600 Ø	0.92				
積層ゴム	800 Ø	1.23	_	—		
鉛ダンパー		11.76	0.62	24.5	8.3	
鋼棒ダンバー		7.84	0.25	254.8	32.5	







解析値は、最大応答変形時だけでなく、その後の小振幅 時を含めて実測値とほぼ整合している。図19は両端の Y方向変位を XY 軸にとり、その相関を示したもので ある。図13に示した計測結果に比べやや太く、捩れを大 きく評価しているが、おおむね対応しているといえる。 図20は、X 20通り側の鉛ダンパーの復元力を示したも のである。せん断力は2基分の値となっている。Y方 向の復元力はおおむねバイリニアーの形状であるが、X 方向は、XY のインターラクションによりややいびつな 形状となっている。これは、図14に示した免震層の推定 復元力の図にも表れている。

これらの結果より、ここで用いたモデルにより免震層 の地震時挙動がシミュレーションできることがわかった ので、今後は建物両端での入力地震動の相違による影響 (位相差入力)や、建物の乾燥収縮や温度変化に伴う免 震装置の初期変形の影響が、建物の捩れ振動にどのよう に影響し、耐震性能の評価にどのように関わってくるか を検討する予定である。

5. データの公開

## 5.1 サーバー概要

阪神淡路大震災以降、強震時の構造物の挙動や、耐震 性の評価には地震動の記録が必要で、そのための十分な データが必要であることが広く認識されるようになった。 防災科学技術研究所を初めとして多くの機関で地震観測 が行われるようになり、そのデータも公開されるように なってきた<sup>15)-17)</sup>。これらは、基盤や地表面の観測デー タであり、地盤の振動と建物で記録されたデータを同時 に公開している例は名古屋大学<sup>18)19)</sup>など少数しかない。 今後の耐震設計の向上のためには、こうしたデータの公 開が重要である。そこで、名古屋大学強震観測 Web を 参考に、名古屋大学大学院都市環境学専攻福和研究室よ りソースの提供を受け、データ公開用サーバーを立ち上 げた。サーバーには、以下のアドレスよりアクセス可能 である。

http://www.arch.kanagawa-u.ac.jp/TEDCOM/

上記アドレスよりサーバーにアクセスすると、図21の ようなページが現れ、建物データ、地盤データ、地震動 記録、観測機器情報などを得ることが出来る。

### 4.2 内容

サーバーには、地震観測を行っている建物概要、構造 概要、ボーリングデータ、構造図面、常時微動計測・起 振機実験結果、強震観測概要、建物の写真など各建物の 詳細なデータが示してある。以下にコンテンツのリスト





図21 地震観測公開サーバーのホームページ

	- 345											
1010 // 1010         単体に換         101011         クローク         10101	- Mi							4	1.194		4-28 L	110
11. 約2. 1. 2. 4. 1. 2. 2. 2. 2. 2. 1. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2.		一位 转数分	~午 计子 建铁管子系	<b>.</b> ###21	*	相称		÷ r 🔐				i de com
4点のデータ収録状況 - テータ取録の部分をクリックするださんが、バーラが男方几ます。 を1日 第2813 第4や名、単原 を データ化 本部 単純化 第二 他名をビアーラ切換 コンジ たりついて 16:35 千男母毛田創 かう4 ドードログ 72 50 52 0 数元年 月間2017 - パリンク3 10:34 ド月月日中間を方 37-212 130*59 9 53 2 0 数元年 月間2017 - パリンク3 10:34 ド月月日中間を方 37-212 130*59 9 53 2 0 数元年 月間2017 - パリンク3 11:36 16 16 1月月日中間を方 37-11:5 130*52 13 65 2 0 14:59	1:1	本に、計測チャーク	201 3 97.	0-itte		232	100.13		99	( State	A LANGE A CONTRACT	(dentaria)
	4	調査さかデート	06814-00								346.24	
-データ現種の部分をかりかするだちにおよいデータが努力れます。 電子目 無意味 (新年、新年、新年、新年、新年、新年、新年、新年、新年、新年、新年、新年、 たが7/23 18-55 千葉県毛田郡 (140°67 73 60 538 0 巻大松 (140°67 74 60 538 0 巻 74 0 140°67 74 60 538 0 – 4/10/23 18-56 秋美美華中国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 巻大松 (140°67 14 140) 4/10/23 18-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 4/10/23 18-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 4/10/23 19-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 4/10/23 19-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 4/10/23 19-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 4/10/23 19-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 4/10/23 19-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 4/10/23 19-56 秋美美華国地方 37*12 18*520 13 68 2 0 513 0 – 5000000000000000000000000000000000000		- <b>WUR9/kit</b> (/ ) = 31	<u>አ</u> ቻጽ1ሊ/ዱ									1.1.1.1
データ理解的部分をかったするだちが、課人パー・少好用みれます。 電子目 無波時 一時代の「「「「「「」」」」、「「」」」」、「」」」、「」」」、「」」」、「」」」、	- 531	NARAMAR SW 12	74755	2 15-154 (Part)	121						1112.33	
株式日田加311         教科地名         株式         長式         日本	H.	2点 名とデータ取除の音	のもクリックするとさらに、課	しれテータが見る	shty.				19		field fait	- 治疗
たま日 第2011 第月本で名。 韓 度 と 図 ハー (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	en an h			ine ganana ine	men an	35	泉橋	* *	波	地点名とデータ収録		Sec.
5×07/23 16:35 手類視測開設 26*34.97 14(0*63* 73 66 566 6 第六後 前形533 - ∠10:23 10:34 15月4年1941年7 37*21.2* 100*650* 9 63 2 0 数103*5 1 - ∠10:23 10:54 15月4年1941年7 37*125 131*23* 6 6 2 2 0 数103*5 1 - ∠10:24 23:40 天桃道電話 25*53 14,0*53* 6 57 4 0 24*8* - ∠10:26:23:40 天桃道電話 25*53* 14,0*53* 64 57 4 0 24*8* - ∠10:26:23:40 天桃道電話 25*53* 14,0*53* 64 57 4 0 24*8* - →	6	売生日 豊涼時	領央地名	韓度	経度	30	Mi	-	影	商さる由	Amath	-
4/10/23 10 34 新潟森中和地27 31*21.2* 100*59.0*9 6.3 2 (3) 19(3 - 5) 4/10/23 11 66 所潟森中和地27 31*115 138*220*13 68 2 (3) 19(3 - 5) 4/10/23 11 66 所潟森中和地27 31*115 138*220*13 68 2 (3) 19(3 - 5) 4/10/24 23.40 東京和御殿3 55*523 14753*64 57 4 (3) 19(5 - 5) 4/10/24 21 (4) 東京和 (3) 232 14753*64 57 44 (2) (1) 19(5 - 5)	0.68	2805/07/23 16:3	5 千葉還北南部	35*24.9	140"8 2	13	8.9	822	120	8 x 4	100 R-2158	ic -
4/10/23 11 86 (43第4年9月91年75) 57 17 8 (32 22 0) 13 66 2 (2) 59 55 5 - -/10/06 23 40 天城市東部 56 56 33 147 52 66 57 4 (2) 66 57 - -/20/08/25 01 46 第47 4 (2) 68 57 5 (2) 68 57 4 (2) 68 57 5 (2) 58 5 (2)	15	2004/10/23 18.3	****	37 21 2	138*898	9	83	in the second	ñ	10184 9	Sector Sector	a pi anna
4/10/26 23-40   天教県事務2   35*59.3'   40*5.3'   66 5.7 4 ○   26/87-2	14	2004/10/23 12.6	5 16 14 d cp 50 16 7	37*176	138*62.0*	13	68	5	8	28:36 - 7	2	14-14
4/08/25 01 49 ¥ #14 2 € 18/8≠ 2 -	13	2004/10/06 23.4		95°59 3'	140" 5 3'	46	\$ 7	<b>7</b>	n"	10.22.00	hine in a long and a	alinetree.
the second se	12	2004/08/25 01 4		35*32.5'	139' 59 6'	51	44	Ser mana	ň	183 (A. J. W.	ann a muunn me	- to
4/08/06 03 23 千葉連非洲部 355*359 140*32* 75 46 3 3 10 10 10 10 10	11	2804/08/06 03 2	19月1日	35'35.9'	140' 3.3'	78	4.6	3	õ	107 -10- A	Santa di se serie da se Se se	- frame
LOTAT HAD WILL BURNIN DATED LADDEN TO BE A CONTRACT	10	2004/07/17 15:1		34 " 80.2"	740"21 3"	69	55	3	õ	Sec. 1	Jahar Sameran	- initial and a second
47U(7) 7 10 10 material and an 27 to 40 002 (140 21.3 09 50 to 1.7 18:007 18:00 million − 27	09	2803/02/20 12.5	5 千澤県南部	35"131"	140'18.0'	70	58	4	0	10.87 - 15	fan in de ser an de ser de La ser de ser d	eifeduine jee
a/02/20 12.55 千間県1855 35"131'  40"18.0' 70 58 4 〇 //3/	90	2003/08/18 19.0	) 千葉桑北西郡	35"49.2"	140" 6.5"	69	4 9	3	ò	10.94	<u> </u>	1.
-7027/13 10:10 (1143-15555) (114) (110) (113) (113)	07	2003/05/26 18-2	5 宮橋遺沖	30*49.2	141*39.0'	72	7.1	2	0	WT 12	F	Construction of the second sec
***//1 1010 1044 - 1041 1011 1011 1011 1011 1	046	2603/65/12 00.5	7 沈禄是南部	156'021'	140" 5.1"	47	53	3	õ	82:27-2	and a second and a s	a di sebutuan An
***//1 10:10 時44-800 第217 時 002 (112 (13 ) 69 55 3 () () 第3777	05	2003/05/10 11:4	4 千黄条北西部	35 48.7	140"6.5	70	4.6	3	0	5- 1912	-	1 printer
777/171111101000000441000000000000000000	04	2002/06/14 11:4	) 茨城岛南部	36"12.9"	139'586'	57	5.1	3	Ó	57157 7	45 CO 10 TO 2	-
************************************	03	2002/05/19 05 0	) 千葉桑北西部	35*39.7	148'12.7'	72	4.6	3	0	38:5- 2		1
777/17:10100 雨44-8688(第17) 0月 002 (102)(13) 09 00 月 (2) (112)(13) 09 00 月 (2) (112)(12)(12)(12)(12)(12)(12)(12)(12)(12	A	2001/11/17 01 0	? 千葉県北西部	35*37.1*	140" 4.7"	23	36	3	1677	18127 · X		1
(1777/1)1010 雨44-8000(東大) 0-0 042 (150 (13) 69 55 (3) (2) (3777-5)	102	y and has not do as a company with the same to a supervise data or other	the second second	an service and the service of the se		and the second	dates and	and the second	in the second	The second second	and the second	- Station
4/08/06 03:23 千葉県北海部 355*35.5* 140*33* 75 4.6 3 〇 世級テーター	012 011 010 009 009 007 006 005 005	2007/08/25 01 4 2007/08/25 01 4 2007/08/26 03 2 2007/07/17 151 2003/08/20 12 5 2003/08/20 12 5 2003/05/26 16 2 2003/05/26 16 2 2003/05/10 11 4 2002/05/10 11 4	<ul> <li>支末消費</li> <li>大濃原北西部</li> <li>千濃原北西部</li> <li>一千濃原北西部</li> <li>一千濃原北西部</li> <li>三千県高小</li> <li>二千県高小</li> <li>二十二</li> <li>二十二<td>35 '32 5' 36 '32 5' 34 '50.2' 36 '13 1' 35 '48 2' 36 '49 2' 35 '48 7' 35 '48 7' 35 '12 9'</td><td>139' 59 6' 140' 3.2' 140' 21.3' 140' 18.0' 140' 6.5' 141' 39.0' 140' 5.3' 140' 5.3' 140' 5.5'</td><td>51 75 69 70 89 72 47 70 57</td><td>44 48 55 58 49 71 53 40 51</td><td>2 3 4 3 2 3 3 3</td><td>0000000000</td><td>10.37 0 10.37 0 10.</td><td></td><td></td></li></ul>	35 '32 5' 36 '32 5' 34 '50.2' 36 '13 1' 35 '48 2' 36 '49 2' 35 '48 7' 35 '48 7' 35 '12 9'	139' 59 6' 140' 3.2' 140' 21.3' 140' 18.0' 140' 6.5' 141' 39.0' 140' 5.3' 140' 5.3' 140' 5.5'	51 75 69 70 89 72 47 70 57	44 48 55 58 49 71 53 40 51	2 3 4 3 2 3 3 3	0000000000	10.37 0 10.37 0 10.		
		0000/03/08 12.5		00001314	1101100	-	day para		Sinn	Same - fr	Salar Capage and an	
4/9///12 10/19 (mata-4-06/96)98/17 509 00/2 (149/21.3 [69 0.0 [3 [6] [6] [6] [6] [6] [6]	39	2003/02/20 12.5	5 千葉湯南郡	38.131.	140'18.0'	70	58	4	Q	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	-	-
3/08/20 12:55 千葉県南部部 38 13 11 140 18:01 70 58 4 〇 ビジェー -	90	2003/08/18 19.0	) 千葉桑北西郡	35"49.2"	140" 6.5"	69	49	3	0	10.94	-	-
7/07/13 10:10 (maga+manna),	17	2003/05/26 18.2	5 宮橋連沖	30*49.2	141* 39 0'	72	7.1	2	0	Ar 194	E	Constraints Sec. 1
***//1 1010 第44 - 500 第41 - 500 20 2 (140 (13) 500 50 3 (2) 第37 / 2	16	2803/03/12 00.5	7 7844 82	155'321'	140"5.1	47	53	3	8	89.29 - 12	and the second	e de statue Na
***//1 10:10 m44-m078,11 0042 (142 (13 05 05 3 0 05 3 0 0 14 15 1 14 15 1 15 1 15 1 15 1 15 1	18	2003/05/10 114	A	35 497	140" 6 5'	70	4.6	2	ň	20.00	المراسلة والمراسخ	سبليعة
***//1 1010 第44 - 80 第24 ***********************************	24	2902/06/14 114		261120	130'586'	57		2 2	X-	10.85	E	Fami
***//1 1310 第44-1668 第41 14012 140 143 69 50 3 0 51 0 1437 5	н.	SB02205714 11:4	()大联紧围部	32.153	138.280	51	b.1	3	Ω.,	182125 - 2		.T
************************************	13	2002/05/19 05 0	) 千葉處北海部	36*387	153'127'	72	4.6	3	õ.	34.84 12		din 1
マイパー1 1010 1044 - 1040 1042 (104 C13) 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00		2002703718 030	3 T##+6236P	00 30.1	140-121		4.0	8 <b>.</b>	Sec.	Bold X	Coloring and some	. F
************************************		2001/11/17 01:0	? 千葉婆北西部	35*371*	140*4.7	23	3 6	3	Ø.	5X127 - 28	F 1 1 1 1 1	1400
(11/1/1)1010 第44-800 第41(1)1010(1)100(1)00(1)0	12 .	which has a second second second second second second	a second s	1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1		131 Q 144 A	anti-ma	Sanit hereinen	in the second	The second second	L. and speciming	i production of the

図22 公開中のデーター覧

を示す。

#### ■ホーム

□はじめに、□サイトマップ、□更新履歴

■建物データ

- □はじめに、□マップ、□建物リスト、□各建物デー
   タ、□構造概要、□写真集
- ■地盤データ

□はじめに、□敷地地盤概要、□地質調査概要

■地震記録

□はじめに、□記録データ、□ダウンロード方法

■観測機器

□はじめに、□Etna

■参考文献

■データ利用

□はじめに、□ユーザー登録、□注意事項、□問い合 わせ

#### TEDCOM

□はじめに、□研究概要、□研究総括、□発表論文

#### 4.3 公開地震動記録

これまでに観測されたデータのうち、23号館 B 2 階の 水平最大加速度値が 5 gal 以上を記録したデータで、観 測後およそ1年を経過したものを公開している。2005年 度は、2001年度~2004年度のデータで、図22に示した15 記録(2001年度: 2 記録・2002年度: 2 記録・2003年度: 5 記録・2004年度: 6記録)を公開している。公開デー タは、それぞれの地震動の震源と、図23に示した波形図、 図24に示したデジタルデータである。また、2005年 7 月 23日の千葉県北西部を震源とする地震のように震度が 5 を超えるような地震の場合には、計測値の最大値と波形 図を速報として掲載している。

## 6. まとめ

免震構造物はその高い耐震性と、温度と乾燥収縮によるコンクリートの変形を拘束しないという特性により、 長大な構造物に適用されてきている。一方、免震構造物 は、免震層において地震時の建物変形と振動エネルギー を吸収する、いわゆる静定構造に近い構造形式である。 そのため、免震層の設計には細心の注意が必要である。 中小規模の免震構造物については、多くの設計例や地震 観測により、設計において考えなければならないこと、 あまり考慮しなくてもいいことの区分が進み、設計法も 一般化してきている。ところが、長大構造物においては、 その実施例も少なく、設計時においても、設計者が適宜 判断して安全性を確保するように努力しているが、長大 構造物であるからこそ想定しなければいけない事項につ いては、まだ全てが設計に織り込まれているとはいえな い。特に、ねじれをともなうような振動性状については、 その影響が耐震性能にどの程度の影響があるのかの評価 が確立していない

このような中、実際の長大構造物である本学23号館に おいて、平面的な挙動の長期の計測や地震時の捩れ振動 を含めた挙動を計測しその検討をすることと、そのデー タ公表することは今後計画の進む免震長大構造物や免震 人工地盤の実現性に対して貴重であるといえる。今後観 測を続け、大地震時の挙動について検討、データの公開 を行うことが必要である。

## 謝辞

本研究は、文部科学省学術フロンティア・横浜市産官 学共同研究総合プロジェクト「地震・台風災害の制御・ 低減に関する研究(TEDCOM)」(研究代表者:大熊武 司建築学科教授)の成果を取り入れています。平面方向 観測のデータ処理と解析は2004年度島崎研卒論生の加藤 咲さん(現:富士ハウス)の労に負う所が大きい。関係 者各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 在本孝久、山本俊雄、栗山利男:1号館・23号館の地震時実挙動観測、地震・ 台風災害の制御・低減に関するシンボジウムー制振・免震構造と実挙動観測ー、 神奈川大学 TEDCOM プロジェクト pp.53-62, 2002.3
- 2) 栗山利男、荏本孝久:23号館の地震時実挙動観測に基づくシミュレーショ ンー制振・免震構造と実挙動観測ー、神奈川大学 TEDCOM プロジェクト pp.63-68, 2002.3
- 3) 栗山利男、山木俊雄、荏本孝久、RC 造免震構造建物の地震観測結果に基づく動的挙動の検討、第一回日本地震工学研究発表・討論会概要集、p.136、2001年11月
- 4) 荏本孝久、山本俊雄、栗山利男、神奈川大学23号館(免震棟)の地震時挙動 その1.地震観測システムおよび観測結果の概要、日本建築学会学術講演 梗概集、B-2, p.567、2002
- 5)内山正次、安達直人、引田智樹、大熊武司、神奈川大学23号館(免霞棟) の地震時挙動 その2.免震層の地震時復元力特性、日本建築学会学術講演梗 概集、B-2, p.5679、2002
- 6) 栗山利男、山本俊雄、荏本孝久、神奈川大学23号館(免震棟)の地震時挙動 その3.地震観測記録による動的解析結果、日本建築学会学術講演梗概集、 B-2, p.571、2002
- 7) 能森雅己:長大な免震建物の自己歪を拘束する免震装置の変形性状に関するクリーブ解析、日本建築学会学術講演梗概集、B-2, pp.757-758、2000.9
- 8) 松浦恒久、若本武三、島崎和司他:大型免震構造物における乾燥収縮の計 測、「コンクリート構造物のクリープおよび収縮による時間依存変形」シン ポジウム論文集、日本コンクリート工学協会、2001.7
- 9)島崎和司:乾燥収縮により初期変形を受けた免震建物(LRB)の耐震性能の評価、日本建築学会構造系論文集、pp.45-51,2002.4
- 中西龍二、山村一繁、西川孝夫:位相差入力を考慮した構造物の動的挙動 に関する研究 基礎の剛性が及ぼす影響、日本建築学会学術講演梗概集、B-2分冊, p.345 2003.9
- 11) 常木康弘、大熊武司、吉田和彦、23号館(免震校舎)の構造設計、地震・台 風災害の制御・低減に関するシンポジウムー制振・免震構造と実挙動観測一、 神奈川大学 TEDCOM プロジェクト pp.43-46, 2002.3

- 12) 
  存本孝久、神奈川大学23号館の免震構造概要、神奈川大学工学部報告、pp. 5-6、2002.3
- 13)日本建築構造技術者協会編、応答制御構造設計法、p317、彰国社、2000年 12月
- 14) 構造計画研究所、RESP-T (3次元立体構造物の静的・動的非線形解析プロ グラム)
- K-net、http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/ 独立行政法人・防災科学 技術研究所
- 16) KiK-net、http://www.hinet.bosai.go.jp/ 独立行政法人・防災科学技術 研究所
- 17) 港湾地域強震観測システム、http://www.eq.ysk.nilim.go.jp/ 独立行政 法人港湾空港技術研究所
- 18) 名古屋大学強震観測 Web、http://sharaku.nuac.nagoya u.ac.jp/~smsr/ higashi/ 名古屋大学大学院 都市環境学専政 福和研究室
- 19) 小島宏章、福和伸夫、飛田潤、中野優:建物強震観測 DB 公開用 web シス テムの構築、建築学会技術報告集、第17号、P.553、2003年6月