


**共同研究**

## 平面形状の大きな免震建物の地震時の 振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)-8)</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>7)8)</sup>。

これらの変形により、振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>。

これらの影響が実際の建物においてどのような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、今後の長大免震構造物の設計・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6.0m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<sup>11)12)</sup>。

\*建築学科 助教授

\*Associate Professor, Department of Architecture

\*\*建築学科 教授

\*\*Professor, Department of Architecture

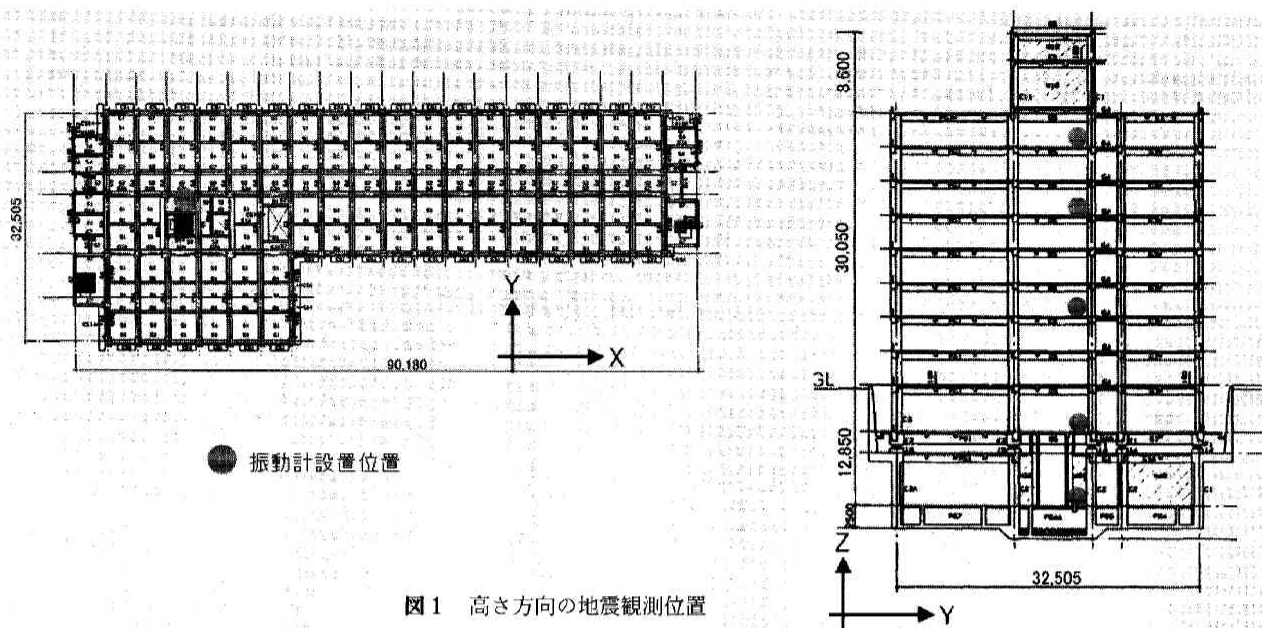


図1 高さ方向の地震観測位置

2.2 地震観測概要

1) 地中観測

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。工学的基盤より浅い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。

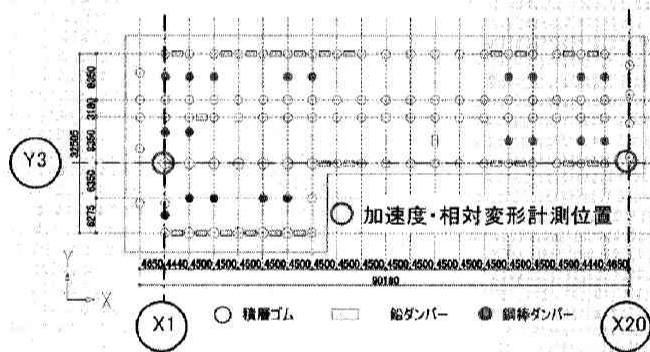


図2 免震層の平面方向の地震観測位置

表1 記録された地震動記録

No.	発生日	震源時	震央地名	緯度	経度	深さ km	規模 Mj	震度	
								神奈川区	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	宮城県沖	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	2004/10/8	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	8.3	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	5弱	
21	2005/7/23	16:37	千葉県北西部	35° 36.4'	140° 7.9'	68	4.5	2	
22	2005/7/23	19:16	茨城県南部	36° 7.5'	139° 50.7'	51	5.0	3	

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>。

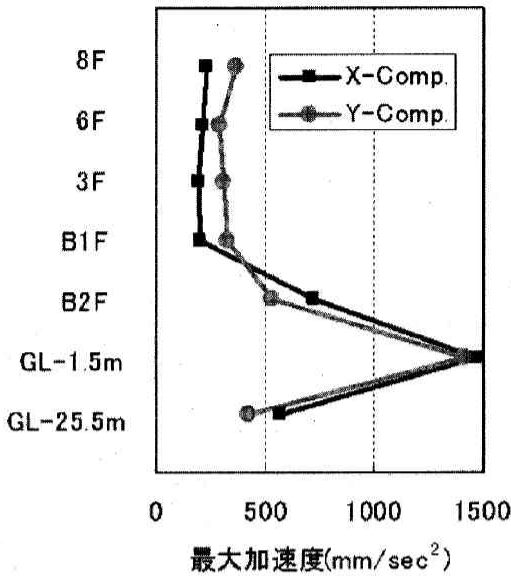


図3 2005年7月23日千葉県北西部地震の最大加速度の高さ方向の分布

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秒間のフーリエ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(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

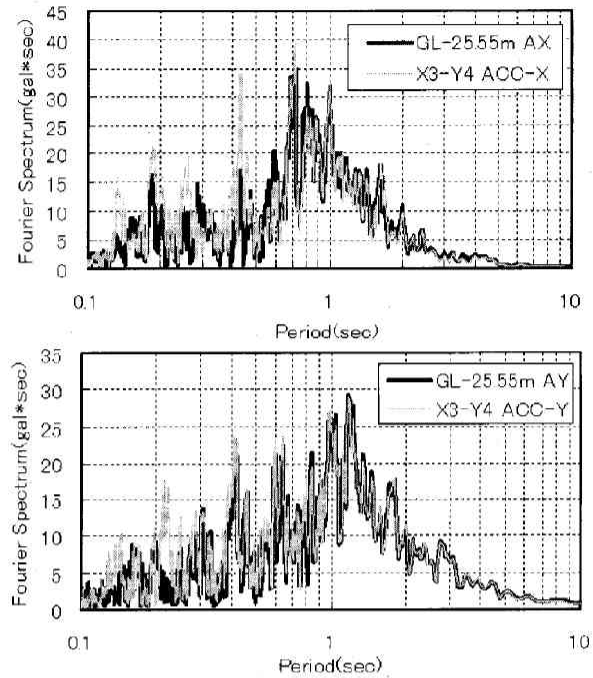


図4 地中とB2Fで記録された地震動のフーリエ振幅スペクトル

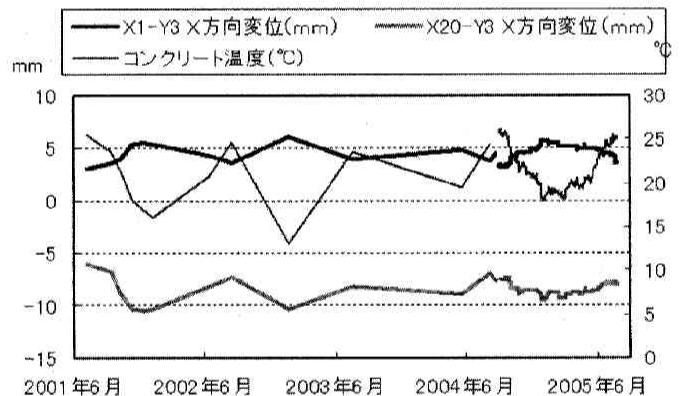


図5 建物のX(長辺)方向変形の経緯

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

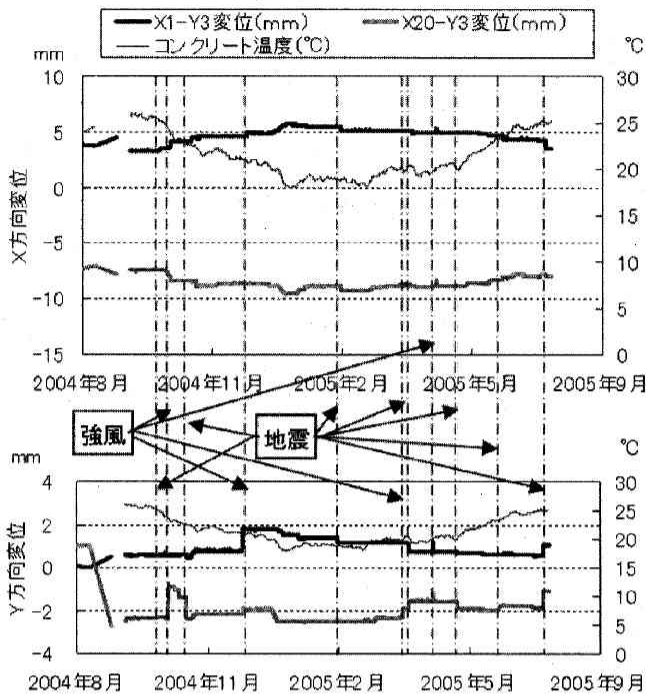


図6 建物のY(短辺)方向変形の経緯

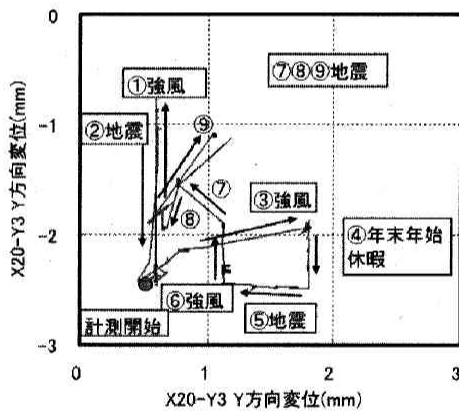


図7 建物のY(短辺)方向変形の相関

相関を示す。イベントにより、振れが大きくなったり解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20mm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

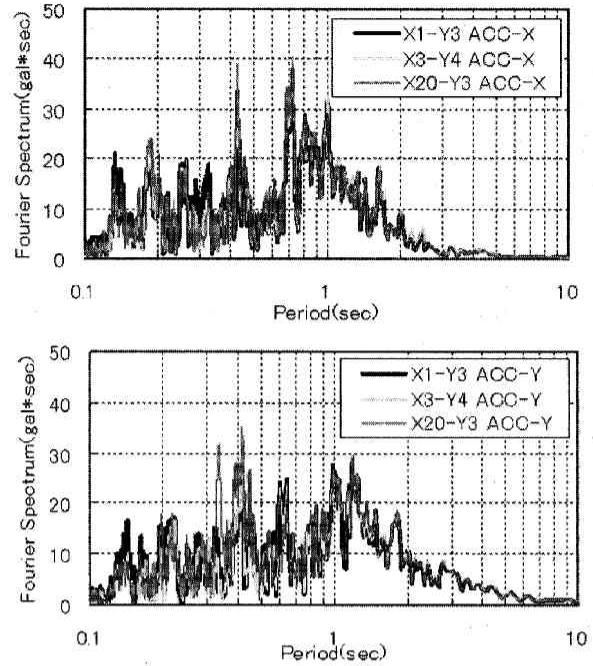


図8 B2Fで記録された地震動のフーリエ振幅スペクトル

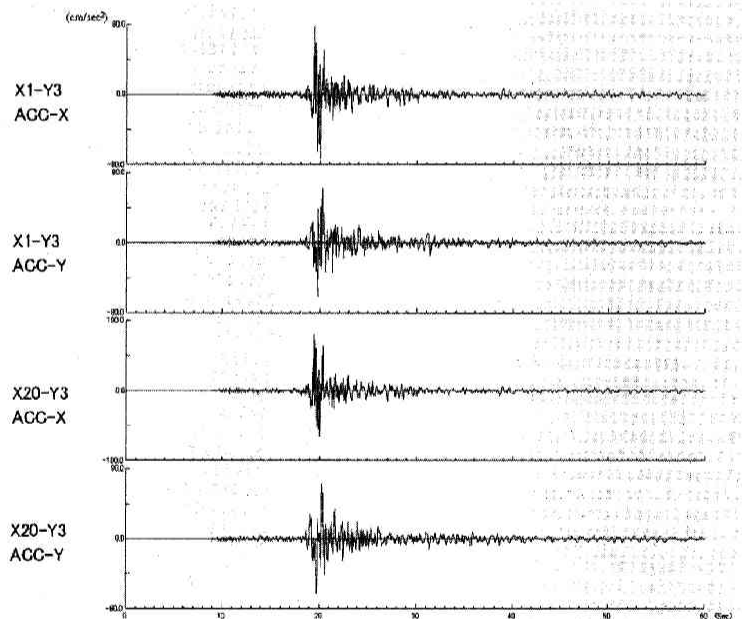


図9 建物の両端で記録された加速度記録の時刻歴

～0.4秒付近でX20通りの記録に違いが見られ、0.34秒付近のピークは、X20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、振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振れ角の時刻歴も示したが、大振幅の後も同じ大きさの振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、繰り返し起こるような地震の場合に、この振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

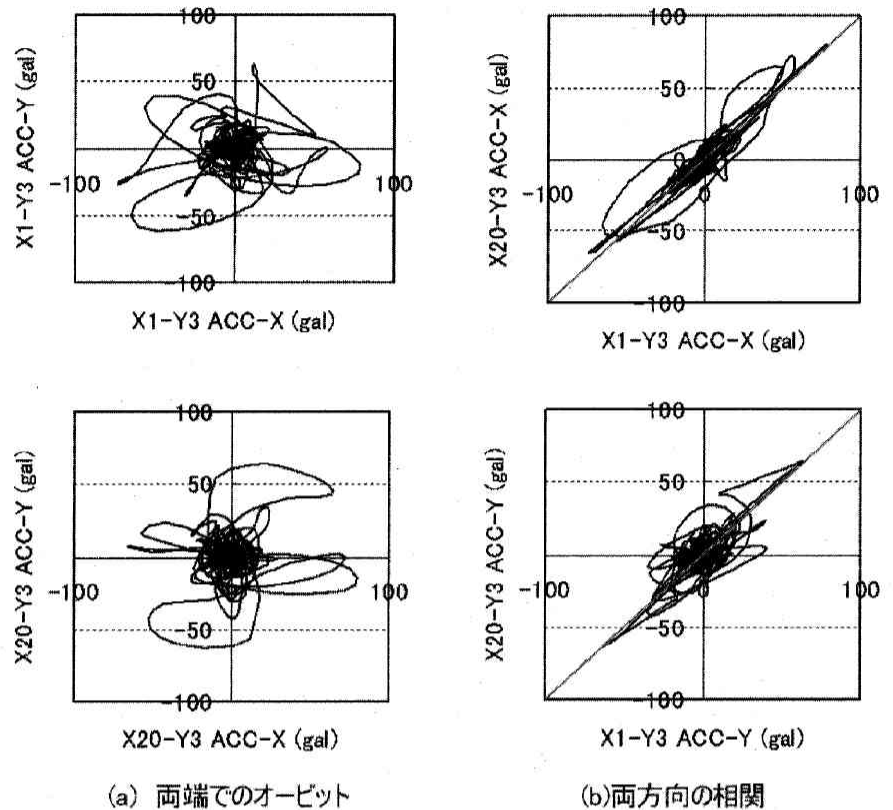


図10 建物の両端で記録された加速度記録のオービットと相関

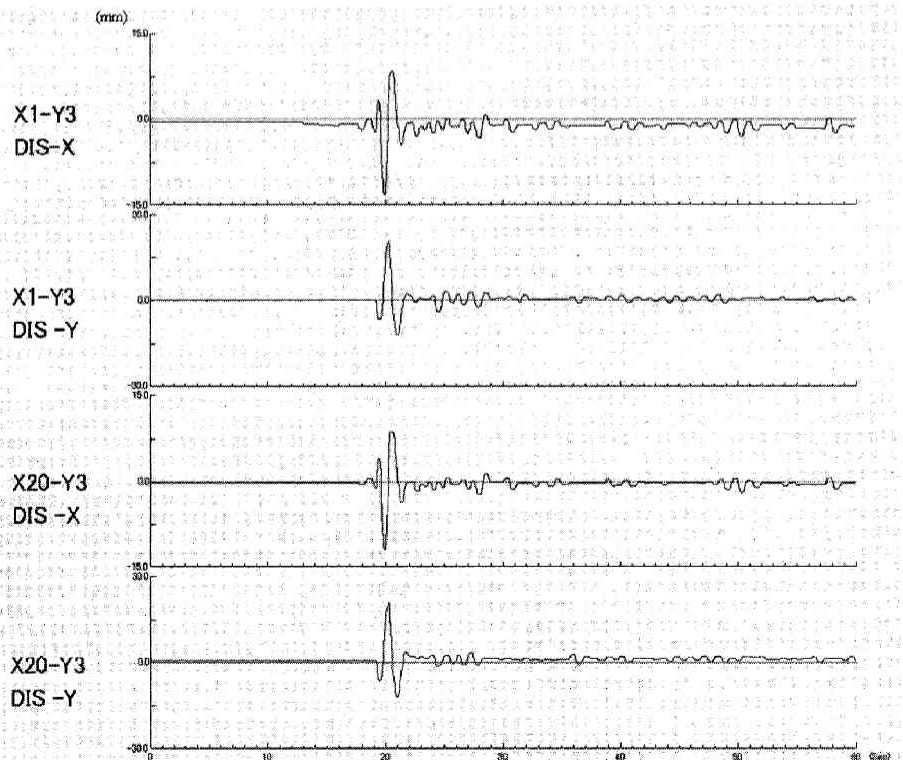


図11 免震層の両端免震装置の変位記録の時刻歴

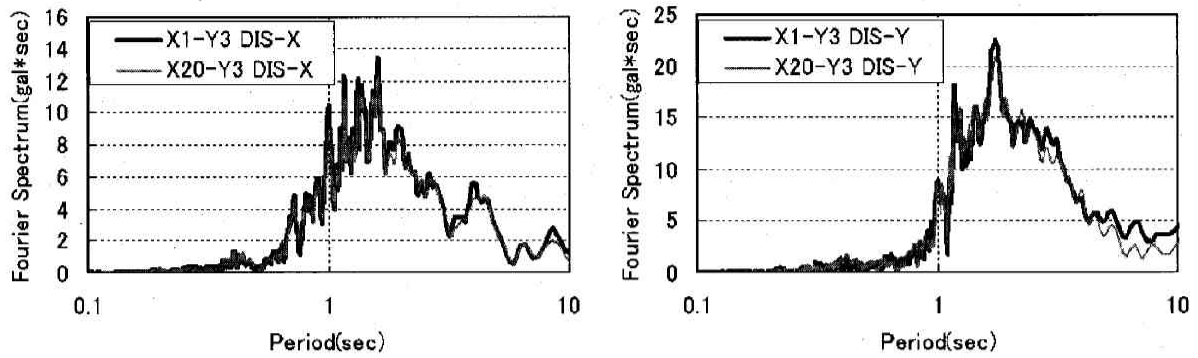


図12 免震層の変位記録のフーリエスペクトル

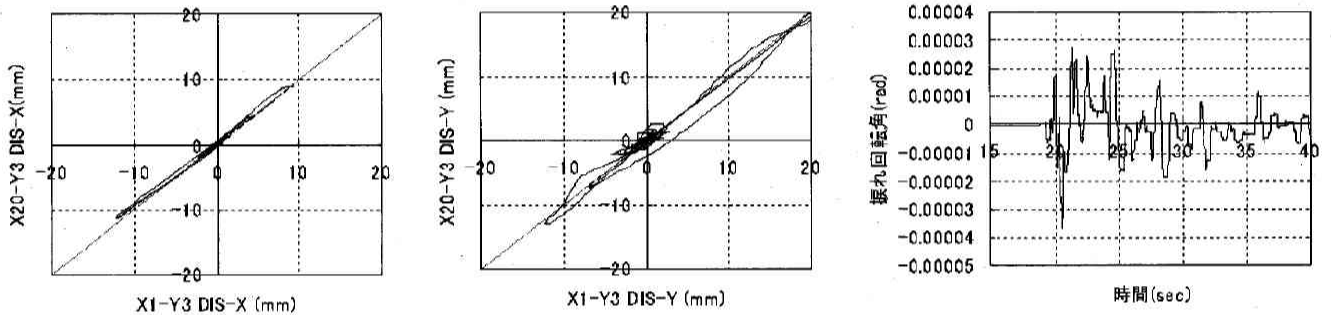


図13 建物の両端で記録された変位記録の相関と振れ角の時刻歴

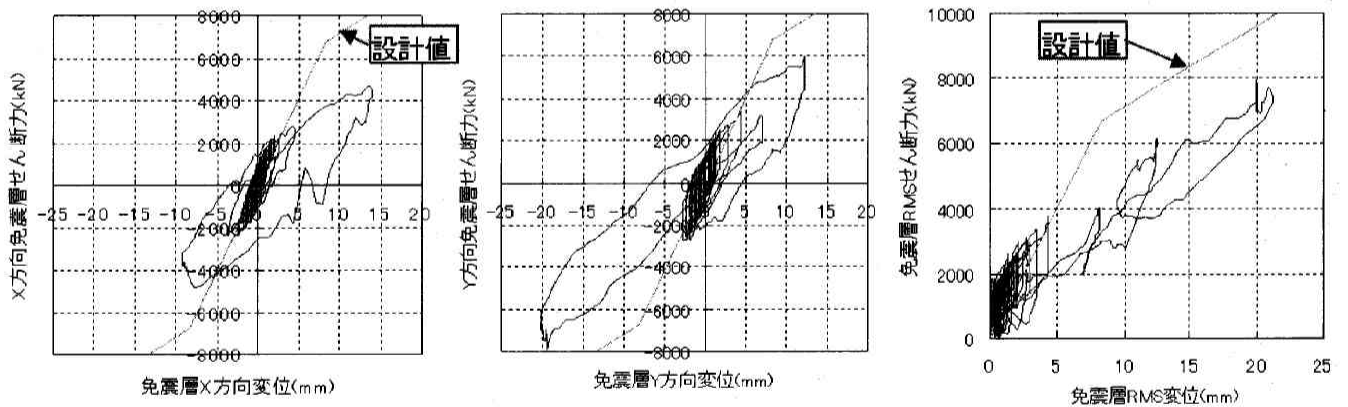


図14 推定した免震層の復元力特性

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。

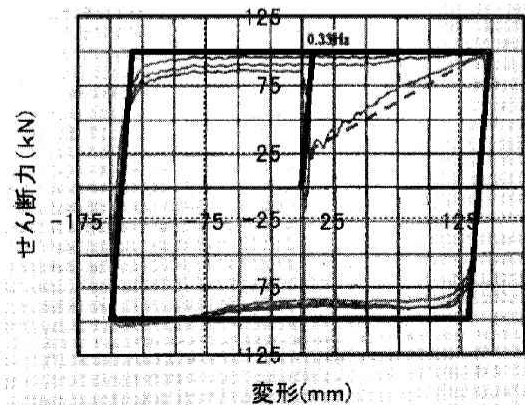


図15 設計で想定した鉛ダンパーの復元力

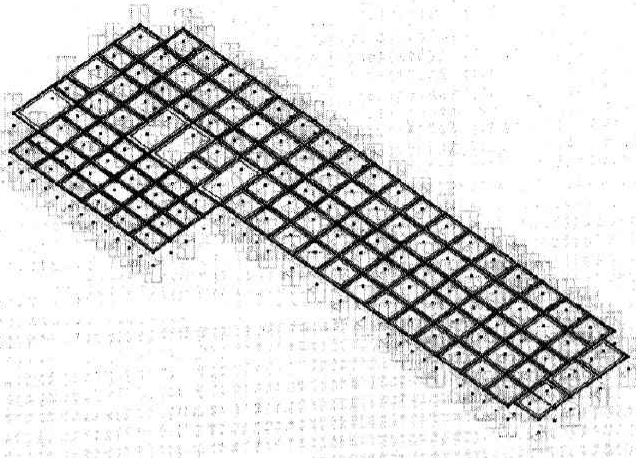


図16 解析モデル

#### 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>14)</sup> により動的解析を行った。解析モデルは平面的な振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600φ82基、800φ12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D132、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。

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	600φ	0.92	—	—	—
積層ゴム	800φ	1.23	—	—	—
鉛ダンパー		11.76	0.62	24.5	8.3
鋼棒ダンパー		7.84	0.25	254.8	32.5

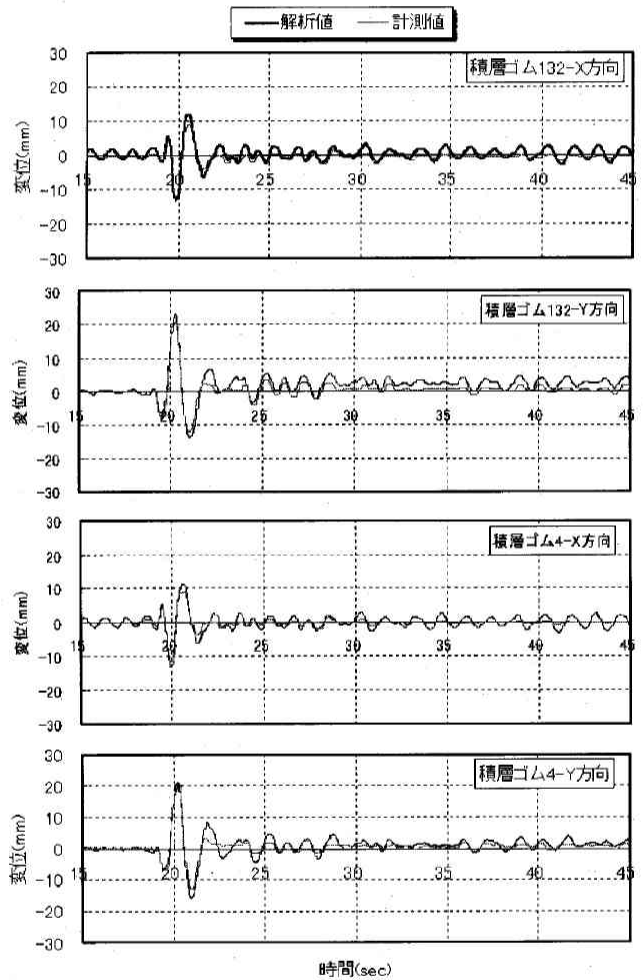


図17 解析と実測の応答変位の比較

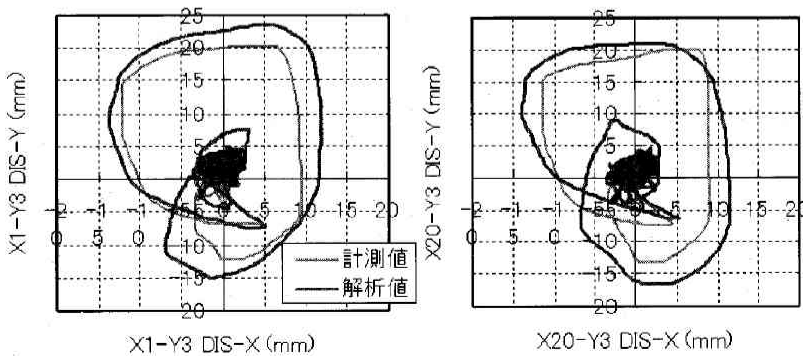


図18 解析と実測の応答変位のオービットの比較

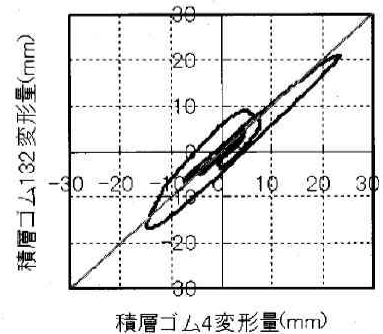


図19 解析による両端のY方向変位の相関

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はほぼ整合している。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、振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アの形状であるが、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。

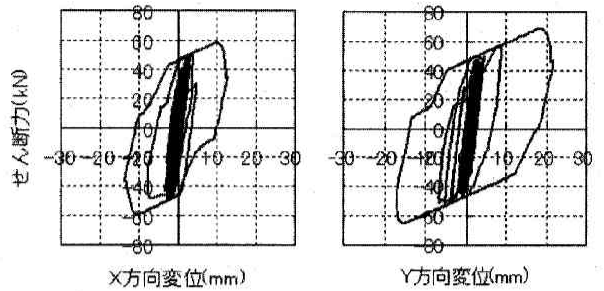


図20 鉛ダンパーのせん断力-変形関係

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、建物の振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



図22 公開中のデータ一覧



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B2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、ねじれをとま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振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) 荻本孝久、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・低減に関するシンポジウム-制振・免震構造と実挙動観測-、神奈川大学 TEDCOM プロジェクト pp.53-62, 2002.3
- 2) 栗山利男、荻本孝久：23号館の地震時実挙動観測に基づくシミュレーション-制振・免震構造と実挙動観測-、神奈川大学 TEDCOM プロジェクト pp.63-68, 2002.3
- 3) 栗山利男、山本俊雄、荻本孝久、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) 荻本孝久、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（免震棟）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、荻本孝久、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重を拘束する免震装置の変形性状に関するクリープ解析、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
- 10) 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-制振・免震構造と実挙動観測-、神奈川大学 TEDCOM プロジェクト pp.43-46、2002.3

- 12) 荏本孝久、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、p.317、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)
- 15) 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 都市環境学専攻 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