

# 高密度強震観測に基づく免震建物の立体振動特性の分析と分析支援ツールの開発

正会員 ○広野 衣美\*1 同 福和 伸夫\*2  
同 飛田 潤 \*3 同 小島 宏章\*4

免震 強震観測 立体振動  
三次元アニメーション Flash

## 1. はじめに

免震建物の高密度強震観測は、単に上部構造の応答低減の確認のみならず、設計時の性能確認と設計で考慮されていない特性の検出、大地震時の性能変化や継続使用の可否の判断、ヘルスモニタリングなどの様々な目的がある。本論文では高密度強震観測で蓄積された地震応答データの基本的な分析を行なうとともに、特に立体振動特性を検討するために開発したFlashアニメーションを用いた分析ツールを紹介する。

## 2. 対象建物及び強震観測概要

対象建物は名古屋市昭和区に位置する鉄骨鉄筋コンクリート造、地上7階・地下2階の病院建築であり、地下1階と地下2階の間に免震層を持つ中間階免震構造となっている。また、長辺方向9.0m×13スパン、短辺方向7.2m×7スパンの長方形の建物である。免震層の擁壁とのクリアランスは70cmである。表1に建物概要を示す。

強震観測は、固有周期・減衰定数・ねじれ・動的相互作用・地盤増幅・杭の挙動等の影響を確認できるよう、図1に示す地点にセンサーを配置している。水平成分24ch、上下成分13chの計37chの観測体制である。センサーには、建物と地表、地中-100mの地点にサーボ型加速度計を、杭中と地盤-26mの地点に静電容量型加速度計を使用し、データの収録は100Hzサンプリングで行なっている。また、開始トリガ設定を1階と地表で行い、ストップトリガ設定を建物頂部のセンサーで行なっている。これにより、後揺れの記録まで収録可能となる。

2005年6月2日から2007年3月25日までに表2に示す23の地震記録が得られている。図2に各地震・各観測点での短辺方向の応答最大速度をまとめて示す。地震動の卓越振動数を表す指標として、地表最大加速度(PGA)と地表最大速度(PGV)の比から算出した等価卓越振動数(PGA/PGV/2π)を用い、横軸は等価卓越振動数が小さい順に地震を並べてある。この図から、短周期が優勢な地震ほど地盤(gr01)に比べ免震層下(bm)の応答が小さく入力損失が大きいことが確認できる。免震層上(b1)と免震層下(bm)の応答の差は小さく、これらの地震動では免震効果が現れる振幅レベルになっていない。また、建物top(08・07)と免震層上(b1)の応答の差から建物内での応答増幅効果が認められる。表2に免震層の上下の記録から求めた免震層の変形を示す。これより、今回までに観測

表1 建物概要

面積	建築面積:5,911m <sup>2</sup> 基準面積:5,759m <sup>2</sup> 述べ床面積:43,936m <sup>2</sup>
階数	地上:7階 地下:2階
高さ	建築物高さ:GL+33.82m 基礎底深さ:GL-16.75m 基準階高:4.30m
構造種別等	上部構造:構造種別 鉄骨鉄筋コンクリート造 骨組形式 B1階・PH階:耐震壁付ラーメン構造 1階~7階:純ラーメン構造 下部構造:構造種別 鉄筋コンクリート造 骨組形式 耐力壁付ラーメン構造
基礎	杭基礎(場所打ち鋼管コンクリート拡底杭・アースドリル工法)
免震装置	鉛ブレーグ挿入型積層ゴム:72基 転がりローラー支承:4基 天然ゴム系積層ゴム:34基 オイルダンパー:8基
免震周期	初期周期:1.5秒(層間変位:12mmまで) 等価周期:4.2秒(層間変位:700mm)
地盤	地盤卓越周期:3.5秒(地震基盤上) 工学的基盤:GL-45.3m(海部・弥富累層) 地震基盤:GL-600m(東海層群)

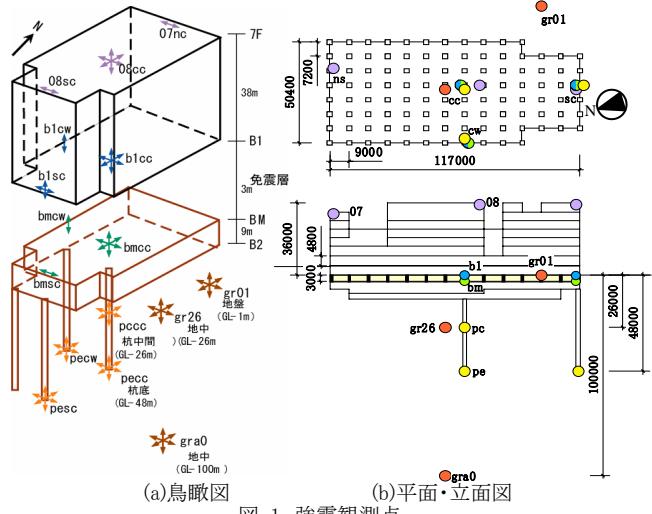


図1 強震観測点

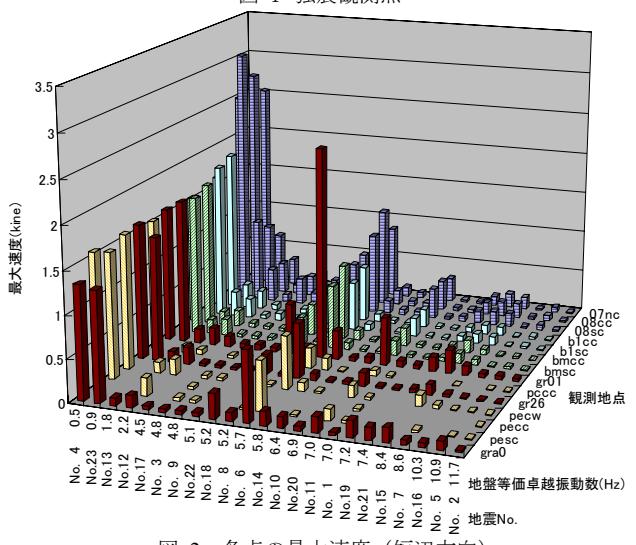


図2 各点の最大速度(短辺方向)

された地震動では免震層は鉛ダンパーが降伏する範囲に達しない微小変形レベルであることが分かる。

### 3. 振動性状分析ツール

高密度観測によるデータから時間的に変化する複雑な立体振動挙動を適切に捉えることは、一般的な波形やスペクトル等の分析のみでは困難である。そこで、立体振動挙動を直接見て確認できる振動分析支援ツールを開発した。本ツールを用いることにより、地震時の建物の複雑な立体挙動を容易に理解でき、新たな現象解明への足がかりともなる。図3に作成したツールの画面例を示す。

ツール作成にはFlash(Adobe社)を用い、付属のスクリプト言語であるActionScriptで作成した。アニメーション作成環境は多種あるが、Flashを用いた理由として、ファイルサイズが小さいこと、デザインとプログラムが同じ環境で行えること、アニメーションとマウスを用いた操作性を備えたツールを容易に作成できること、ほとんどのWebブラウザで利用可能であること等が挙げられる。

具体的な手順として、Flashの動作を軽快にするために、10Hzにダウンサンプリングし、バンドパスフィルタを施し、着目したい振動数範囲を抽出する。これらの変換作業をあらかじめ行なって振動の時刻歴データを作成し、プログラムに読み込む方法をとっている。

例として、No.6の地震のねじれ成分、並進成分、逆せん断型モードのモード図を経過時間、抽出した振動数範囲とともに図3、図4に示す。変位はそれぞれ拡大して表示している。このように、任意の振動数範囲で抽出したアニメーションを見ることにより、時刻歴での立体振動モードが確認できた。この他にも、建物上部の3点の記録から、面内変形しているモードなども確認している。また、ねじれ成分、並進成分が含まれる振動数範囲で抽出し、時刻歴で見ることにより、初めは並進成分が優勢であるが、途中でねじれ成分が優勢になる様子なども確認できた。

上記の波形変換作業も、本ツール内で行なえるように改良しつつあり、得られた観測記録からその場で着目したいモードをアニメーション等で確認可能となる。また、建物形状や視点も任意に設定可能とすることで、本ツールの適用範囲を広げていく予定である。

### 4. まとめ

免震建物の多点同時強震観測システムを整備し、記録を蓄積しており、ここではその分析について述べた。複雑な立体振動を3次元で可視化するツールを開発し、それにより立体モードの時間変化を捉えることができた。本建物に隣接して建設中の基礎免震建物との比較も含めて、記録の蓄積と分析を継続する予定である。

表2 観測記録概要

地震No.	地震日付	震央地名	規模(Mj)	深さ(km)	震源距離(km)	免震最大変位EW(mm)	地盤最大速度EW(kine)	地盤等価卓越振動数(Hz)
1	05.06.02	愛知県西部	2.7	13	16	0.01	0.08	7.0
2	05.06.16	伊勢湾	2.9	15	27	0.01	0.03	11.7
3	05.06.20	岐阜県美濃中西部	4.6	9	73	0.07	0.06	4.8
4	05.08.16	宮城県沖	7.2	42	560	1.46	1.60	0.5
5	05.12.22	三重県北部	3.5	42	65	0.01	0.04	10.9
6	05.12.24	愛知県西部	4.8	43	44	0.53	2.49	5.7
7	05.12.28	愛知県西部	3.8	13	21	0.05	0.11	8.6
8	06.01.09	愛知県東部	3.9	41	61	0.04	0.11	5.2
9	06.02.16	岐阜県美濃中西部	4.4	14	76	0.03	0.07	4.8
10	06.02.18	岐阜県美濃中西部	4.1	13	76	0.02	0.05	6.4
11	06.03.16	岐阜県美濃東部	4.0	43	47	0.13	0.57	7.0
12	06.04.21	伊豆半島東方沖	5.8	7	184	0.09	0.20	2.2
13	06.06.12	大分県西部	6.2	146	522	0.31	0.17	1.8
14	06.07.16	愛知県西部	4	35	48	0.06	0.35	5.8
15	06.08.25	愛知県西部	3.9	43	49	0.06	0.28	8.4
16	06.08.29	愛知県西部	2.9	43	48	0.01	0.04	10.3
17	06.12.14	愛知県西部	3.5	40	47	0.04	0.12	4.5
18	06.12.19	愛知県西部	4.3	10	31	0.16	0.60	5.2
19	06.12.29	愛知県中部	2.6	15	21	0.04	0.08	7.2
20	06.12.29	愛知県西部	2.9	16	22	0.05	0.05	6.9
21	07.01.05	岐阜県美濃東部	4	54	69	0.04	0.17	7.4
22	07.01.22	岐阜県美濃中西部	4.5	13	84	0.03	0.05	5.1
23	07.03.25	能登半島沖	6.9	11	248	1.43	1.71	0.9

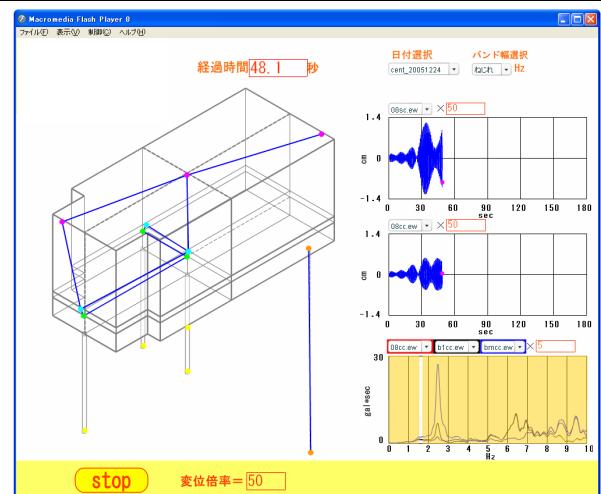


図3 Flash画面 (モード:ねじれ振動)

経過時間: 30.8秒 振動数範囲: 1.5~1.7(Hz)

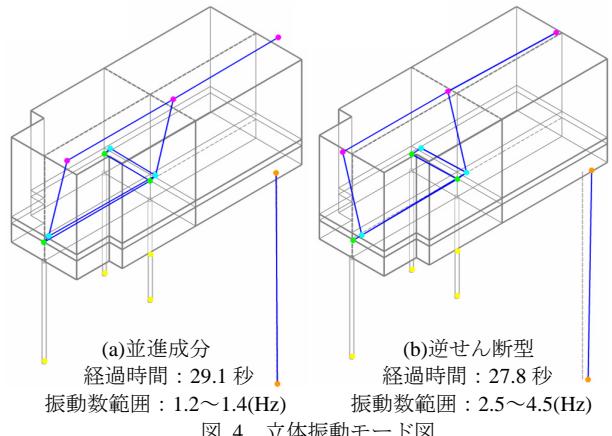


図4 立体振動モード図

\*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生

\*2 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博

\*3 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・工博

\*4 名古屋大学大学院環境学研究科・助教・博士(工学)

\*1 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

\*2 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*3 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*4 Assistant Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.