

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	2082 E-ディフェンス高層建物試験体の長期モニタリング：その1 常時微動記録に基づく振動特性評価(構造)
Title	
著者(和文)	森本 真史, 金澤健司, 佐藤 大樹, 北村春幸, 長江拓也
Authors	Kenji KANAZAWA, daiki sato, Haruyuki Kitamura
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/110007453935

E-ディフェンス高層建物試験体の長期モニタリング その1 常時微動記録に基づく振動特性評価

構造—振動

固有振動数 常時微動 高層建物

震動台実験 長期モニタリング

正会員 ○森本真史^{*1} 正会員 金澤健司^{*2}
正会員 佐藤大樹^{*3} 正会員 北村春幸^{*4}
正会員 長江拓也^{*5}

1. はじめに

近年、構造物の振動特性が損傷によって変化する現象を利用した構造ヘルスモニタリングに関する研究が国内外で活発に実施されている。実際に、既往の研究によって大地震等の過大な荷重を受けた後に固有振動数が低下する現象が報告されており¹⁾²⁾、構造ヘルスモニタリングの評価指標として振動特性が積極的に用いられている。しかし、建築物の建設初期段階から解体に至るまでの、建築物の一生にわたる振動特性の遷移過程に着目した研究は多くない。

本研究では、実大建物の震動台実験の機会を利用して、建築物の一生にわたる振動特性の変化に着目し、その建方終了時から加振による損傷、解体に至るまで微振動の長期モニタリングによって、建築物の振動特性を長期的に評価した。

2. 試験建物概要

対象建物は、(独)防災科学技術研究所の兵庫耐震工学研究センター(兵庫県三木市)にある実大三次元振動破壊実験施設(E-ディフェンス)において、2008年3月下旬に実施された長周期地震動を受ける高層建物の震動台実験の試験建物である³⁾。この試験建物は1月15日に建設が始まり、3月3日に鉄骨部が完成し、3月8、9日にかけて3層の縮約層を設置し完成した。その後、試験建物の動特性を確認するために積層ゴム固定装置⁴⁾を取り付け、加振初日の3月17日に取り外し、各種の加振実験を経て、解体された。

試験建物は、高さ80m、21階建て建物を想定して設計された、高さ約22mの縮約7層モデルである。下部4層の鋼構造架構は高層建物下層4階を模擬し、その上に大重量コンクリート錘と積層ゴムを中高層階の縮約層として配することで試験体全体が長周期化されている。縮約層の試験体コンクリート錘は21層モデルの19層、14層、9層に相当する。下層4階の平面形状はX方向(南北方向)8m×1スパン、Y方向(東西方向)6m×2スパンである。試験建物の1階、23階平面図および断面図を図1に示す。また、試験建物の施工工程を図2に示す。

3. 微振動観測概要

試験建物の鉄骨建方終了時から解体に至るまで、微振動の長期連続モニタリングを実施した。この観測は、三成分加速度計を計11

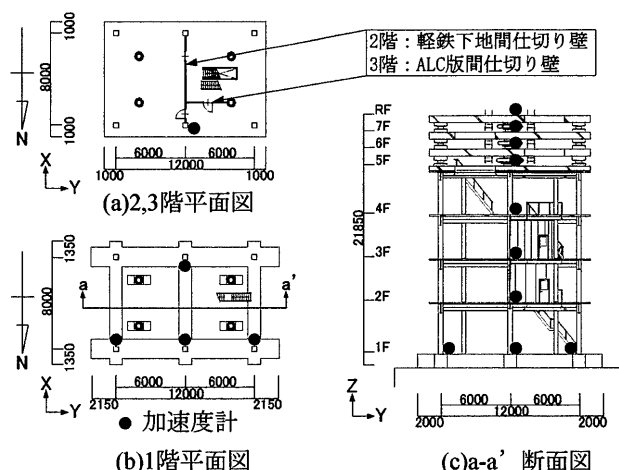


図1 試験建物の平面図と断面図および微振動計測点

台用いて、2008年1月29日から3月25日まで行った。収録装置のサンプリング周波数は200Hzで、1時間ごとに観測記録を保存した。図1に、観測装置の設置地点を示す。加速度計は試験建物の北側中柱を中心として、各階柱脚に配置した。さらに、試験建物のロッキング振動を捉えるために基礎コンクリート上にも、4台の加速時計を配置した。なお、試験建物の建設開始から床スラブ打設後までは各階の床版が存在せず、床上での計測ができないことから、当該箇所の大梁下部に治具を用いて加速時計を取り付けた。

4. 評価方法

2008年1月29日から3月25日までの微振動の長期モニタリングの観測記録を用いて、試験建物の振動特性を同定した。これらの観測記録に対して1時間毎の記録を5分間のサンプルデータに分割した後、それぞれのサンプルデータに対してARMA-Burg法⁵⁾⁶⁾を適用して、5分毎の固有値(固有振動数と減衰定数)を同定した。さらに、全観測点の観測記録を用いて、複素固有モード(以下、モード)を同定した。ここで、3月17日から3月21日までの加振実験期間においては密に解析結果を得るために、5分間のサンプルデータを1分ずつずらしながら1分毎の固有値を同定した。

ARMA-Burg法の適用に際しては、5階のセンサにおけるX方向およびY方向の加速度記録を基準として振動特性を同定した。建物に縮約層の載る前の4階鉄骨建物のとき(1月29日から3月9日)には、AR次数を40次とし、デシメーション数は8とした。一方で、

表1 地震波加振実施日時

3月17日			3月18日			3月19日			3月21日		
18:42	東扇島	30%	14:10	気象庁	60%	15:02	東扇島	100%	15:00	三の丸	100%
19:03	東扇島	50%	14:27	気象庁	100%				19:53	三の丸(EW)	100%
19:20	三の丸	20%	15:47	El-レベル2	100%				20:44	三の丸(EW)	100%
19:39	三の丸	35%									
19:54	El-レベル2	30%									
20:11	El-レベル2	50%									... 弾塑性応答加振

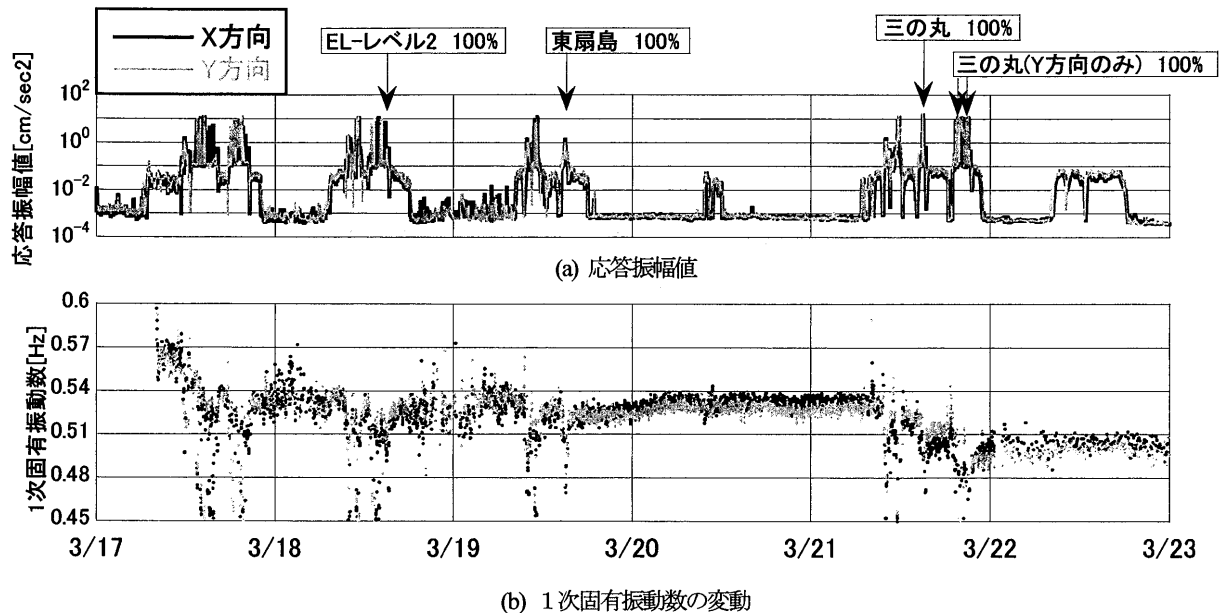


図3 加振期間における試験建物の応答振幅値および固有振動数の変動

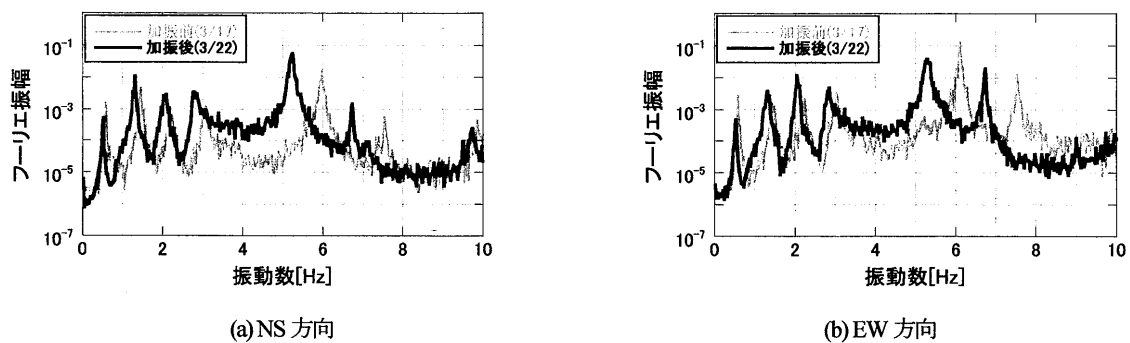


図4 パワースペクトルの同定結果

はなく、構造ヘルスマモニタリングを実用化する上でも、非構造部材が建築物に与える影響を詳細に把握する必要があるといえる。

3月8,9日では、縮約層が増える毎に、1次固有振動数が減少していく傾向が確認できる。詳細には、4層から7層へと増加するにつれて、1.68Hz→1.08Hz→0.81Hz→0.59Hzと減少している⁹⁾。一方で、3月23,24日の縮約層撤去に伴い固有振動数の増加が確認できる。また、3月11日から加振初日の17日までの間には、積層ゴム固定装置の取り付けに伴い、1次固有振動数の増加が見られた。

以上のように微振動の長期モニタリングから試験建物の状態変化に伴う1次固有振動数の変動を捉えることができた。次節では、加振実験期間に着目して考察を行う。

6. 加振実験期間における振動特性評価の結果と考察

表1に加振実験期間における地震波加振の実施日時を示す。また、地震波加振の他に、ホワイトノイズ加振、パルス加振、スイープ加振を行った。地震動の弾塑性応答加振として、El Centro波レベル2 100% (最大速度 50kine)、東扇島波 100%、三の丸波 100%による加振を行った。また、3月21日の実験においては、三の丸波 100%の加振後、梁破断が確認されなかったY方向に対して、三の丸EW波 100%の一方加振を2回繰り返した。

図3に加振期間を含んだ3月17日から23日までの応答振幅値および1次固有振動数を示す。応答振幅値は、振動特性評価で用いた5階の加速度記録のRMS値である。また、図4に試験体完成後の加

振を受けていない状態の3月17日と全ての加振終了後の3月23日のX,Y方向のパワースペクトルを示す。ここで、図4においては、両者とも応答振幅値が同程度となる9時前後の状態をピックアップした。

6.1 加振期間前後における比較

図3(b)より、1次固有振動数の加振に伴う減少が確認出来る。詳細には、3月17日の加振前においてX方向、Y方向ともに約0.57Hzあったのに対し3月22日の加振後には約0.50Hzまで減少している。このことは、加振実験によって試験建物に損傷が発生し、試験建物の建物剛性が低下したため生じたと考えられる。また、このことは図4のパワースペクトルからも確認できる。また図4より、1次だけでなく2次以降の振動数も減少していることが確認できた。

6.2 各加振日における固有振動数の変化

加振初日における3月17日においては、弾性応答加振が多数行われた。基本性状を把握するホワイトノイズ加振やスイープ加振を行ったことによる固有振動数の減少が確認できる。このことは、加振未経験の状態から加振を経験することで、建物試験体の性状が変化したと考えられる。一方で、その後の地震波加振を経験しても固有振動数の減少は見られなかった。

次に3月18日に弾塑性応答加振であるEl Centro波加振が行われたが、18日と19日の朝の固有振動数の値がどちらも約0.54Hzであることから、この加振による損傷はあまりなかったといえる。一方で、3月19日に行われた東扇島波加振では加振により固有振動数の減少が見られ、建物試験体に損傷が生じたと考えられる。その後、加振が行われなかった3月20日においては、固有振動数がゆるやかに増加する傾向が認められる。

3月21日の三の丸波100%加振に伴う固有振動数の減少について考察を行う。ここで、より詳細に考察を行うために図6に21日の12時から24時の変動を示す。まず、一回目の三の丸波加振により、固有振動数の減少が確認できる。詳細には、X方向は0.02Hz、Y方向は0.01Hzの減少があり、特にX方向の減少幅が大きい。これはこの加振によりX方向の梁端が破断するような大加振を経験したことで、X方向の剛性が低下したためであると考えられる。その後、Y方向のみの加振が行われ、Y方向の梁端が破断するような大加振の経験に伴い、X方向の固有振動数に変化がないのに対し、Y方向には0.02Hzの減少が見られた。以上のように、3月21日の3度の三の丸波加振の前後で固有振動数の減少を検出することができた。

7. 結語

本研究では、長周期地震動を受ける高層建物の震動台実験の試験建物において取得した微振動の長期モニタリングのデータを用いて、

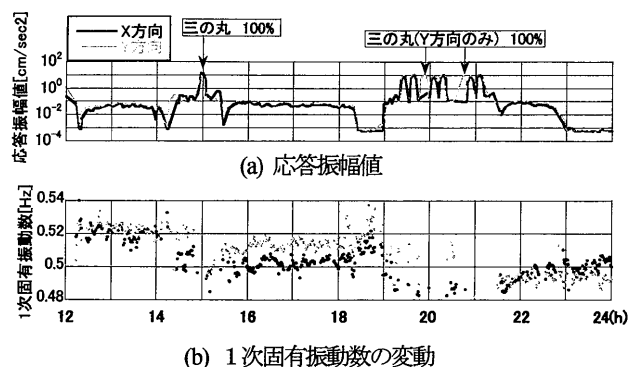


図5 三の丸波100%加振の実験前後における試験建物の
応答振幅値と固有振動数の経時変化

その生涯にわたる構造モニタリングを試みた。その結果、建設時から加振時、解体における試験体建物の状態変化に伴う固有振動数の変動を把握することができた。特に梁端破断に至るような大加振によって固有振動数が減少する傾向を把握することができた。

謝辞

本研究は、文部科学省が推進する「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の下で防災科学技術研究所からの委託研究として東京理科大学が実施した「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発（その2）」の研究成果の一部である。

参考文献

- (1) 濱本卓司：建築物のヘルスモニタリング、性能評価における地震荷重と風荷重、日本建築学会関東支部、構造専門委員会、pp.41-46, 1993.3.
- (2) 例えば、大場新太郎、濱川尚子：1995年兵庫県南部地震における杭の損傷による建物固有周期の変化、日本建築学会構造系論文集、第495号、pp.63-70, 1997.5.
- (3) 井上、長江ほか：高層建物の耐震性評価に関するE-ディフェンス実験—その1〜3、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1, pp.823-828, 2008.9.
- (4) 平田悠貴、飛田潤、福和伸夫：常時微動計測による高層建物試験体の振動特性とその変化、建築学会東海支部研究報告集、第47号、pp.189-192, 2009.2.
- (5) 金澤健司、平田和太：クロススペクトル推定法による多自由度系構造物の振動モード同定、日本建築学会構造系論文集、第529号、pp.89-96, 2002.4.
- (6) 森本真史、金澤健司、桐田史生、北村春幸：耐震補強における低層鉄筋コンクリート造建物の振動特性の経時変化、構造工学論文集、Vol.54B, pp.493-500, 2008.
- (7) Lieven, N.A.J. and D.J. Ewins : Spatial correlation of mode shapes, the coordinate modal assurance criterion (comac), Proc. of the 6th International Modal Analysis Conference, pp.690-695, 1988.
- (8) 桐田史生、金澤健司、北村春幸、松岡祐一：実大4層建物における固有振動数の長期モニタリング (E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その30)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1, pp.851-852, 2008.9.
- (9) 森本真史、金澤健司、佐藤大樹、北村春幸、長江拓也、福山國夫、梶原浩一、井上貴仁、中島正愛：常時微動計測に基づく高層建物試験体の固有振動数の評価 (高層建物の耐震性評価に関するE-ディフェンス実験—その11)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1, pp.883-884, 2008.9.

*1 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻

*2 電力中央研究所地球工学研究所 主任研究員・博士(工学)

*3 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)

*4 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

*5 (独) 防災科学技術研究所 研究員・博士(工学)