

## 免震建物を活用した多様な振動実験・計測

鵜生明穂<sup>1)</sup>, 飛田潤<sup>2)</sup>, 福和伸夫<sup>3)</sup>

- 1) 名古屋大学環境学研究科, 大学院生  
e-mail : unoh.a@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
- 2) 名古屋大学災害対策室, 教授 工博  
e-mail : tobita@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
- 3) 名古屋大学減災連携研究センター, 教授 工博  
e-mail : fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp

### 要約

名古屋大学減災館は、基礎免震建物の屋上に免震装置を介して加振可能な実験室を設置した建物である。本建物は免震建物・装置の特性に関する実験に加えて、制振、相互作用、土圧などに関する多様な振動実験を想定して計画され、建設段階から継続的に実験・計測を行い、実験環境を構築してきた。常設の加力装置を用いた建物全体の自由振動実験と屋上実験室の加振による強制振動実験の2通りの振動実験が可能である。また、多点の加速度や免震層の相対変位・擁壁の土圧など、高密度の観測体制を整備した。本論文では、本建物の振動実験に基づき実際の運用下での免震建物・装置の特性やその変化、建物応答による擁壁に作用する動土圧などについて考察する。

キーワード： 免震, 振動実験, 常時微動計測, 地震観測, 動土圧

### 1. はじめに

名古屋大学減災館（以下対象建物）は、屋上に加振可能な実験室をもつ基礎免震建物（写真1）で、建物自体が多様な振動実験に対応するよう計画された<sup>1)</sup>。常設の加力装置を用いた自由振動実験と強制振動実験の2種類の振動実験が可能で、地盤挙動や土圧を含む高密度の観測体制により、実在建物の環境条件や経年変化などの影響も含めた応答特性の検討を、建設段階から長期にわたり繰り返し行い行うことが特徴である。

本論文では、建物と振動実験の概要、振動実験および計測に基づく基本的な振動特性、免震特性の評価について述べる。



写真1 対象建物全景

### 2. 対象建物の概要

対象建物は、名古屋大学東山キャンパスに位置し、平成26年2月に竣工した地上4階+屋上実験室1階のRC造基礎免震建物である。敷地の制約条件から平面形状は三角形に近く、建築面積731 m<sup>2</sup>、延床面積2,898 m<sup>2</sup>である。図1に示す断面図からわかるように、対象建物の屋上には免震装置を介して実験室が設置されており、基礎免震層と合わせて上下2段の免震層を持つ。敷地は北側が1層分低くなっており、免震層

は北を除く3面を擁壁に囲まれている。写真2は免震層の様子で、写真の左側のガラスを通して免震層を直接見ることができ、免震・制震・耐震技術に関する展示ギャラリーになっている。

図2に屋上免震層と基礎免震層の免震装置および加力装置の配置図、表1・2に免震装置の諸元を示す。建物全体の免震の固有周期は5.2秒の設定で、免震装置は天然ゴム系積層ゴムアイソレータ（以下積層ゴム）5基、直動転がり支承（以下CLB）9基、オイルダンパー8基の組み合わせであり、復元力特性がほぼ線形弾性となるように設計され、初期剛性が小さいことから後述する多様な振動実験を可能としている。図3に対象建物に使用されているオイルダンパーの履歴特性を示す。また、万一の共振に備えて水平クリアランスは90 cmを確保し、等価減衰は30 %としている。

屋上実験室は、図2および写真3に示す通り、南北10 m、東西7 mの各方向1スパンの大きさであり、四隅をCLBで支持し、2段積層ゴムで復元力を与える構造となっている。実験時以外はシアピンにより水平方向に固定している。また、東西方向に減衰可変ダンパーが設置されており、平時の高減衰状態（減衰係数1.67 kNs/cm）と加振実験時の低減衰状態（減衰係数0.11 kNs/cm）に切り替えが可能である。固有周期は基礎免震と同じ5.2秒である。実験室の質量は約400 tで、建物本体の約5,800 tの約7%に当たり、屋上に常設のアクチュエータで加振することで建物本体を強制加振できる。また、5.で述べるように免震層の変形が小さい範囲では対象建物の固有周期が設計より短いため、小振幅範囲の共振点に近い振動数での加振を行うため、写真4のように屋上免震層の2段積層ゴムの下段を固定することで短周期化を行った。これにより屋上免震層の固有周期が $1/\sqrt{2}$ 倍の3.7秒程度になることが期待される。

### 3. 振動実験の概要

対象建物は、固有周期が等しくなるよう調整した基礎免震層と屋上免震層の上下2段の免震層を持つ点に特徴があり、以下に示す自由振動実験と強制振動実験の2種類の基本的な振動実験が可能である。

#### 3.1 自由振動実験

一般に、免震建物の自由振動実験では、急速解放ジャッキにより押して初期変位を与えている。対象建物でも、当初は急速解放ジャッキを用いて自由振動実験を行っていたが、継続的な実験のため写真5に示す安価な一般の油圧ジャッキにより引いて初期変位を与えて自由振動実験を行うシステムを開発した。加振方法は、建物側のプレートをジャッキ側のチャックで掴み、上部構造を西側に引いて初期変位を与え、チャックを開くことで自由振動を励起させる。急速解放ジャッキと同等の記録が得られており、新たに開発した油圧ジャッキによる方法が有効であることが確認したり。ジャッキは図2に示すように東西方向に加振するように計3本設置されている。1本あたり最大1000 kNの性能で、上部建物を初期変位140 mmまで引くことができる。2.で述べたように対象建物では初期剛性が小さく、比較的小さなジャッキで初期変位が得られる点も特徴である。

#### 3.2 強制振動実験

免震装置で支持された屋上実験室に、水平2方向に電動アクチュエータを接続し、実験室そのものを加振できる（写真6）。アクチュエータの最大加振力は80 kN程度と小さいが、屋上免震層の固有周期である5.2秒で定常加振し、共振させ、応答を増幅することで片側最大70 cm（南北方向）、30 cm（東西方向）の加振を可能とした。共振を利用しない場合には振幅は小さくなるが、より短周期での正弦波加振や地震波加振も可能である。これにより免震建物全体の強制振動実験が可能である。

### 4. 計測体制の概要

対象建物では、地震時や振動実験時の建物応答を長期的に計測する体制を整えている。常時の観測体制と常時微動計測の臨時観測体制について述べる。

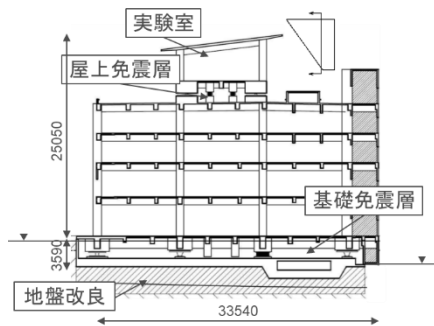
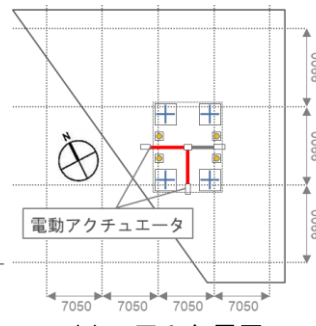


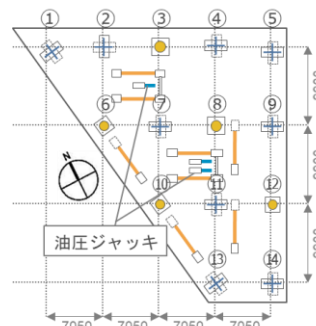
図1 建物南北の断面図



(a) 屋上免震層

表1 屋上免震層の免震装置諸元

免震装置	規格	配置
減衰可変ダンパー		
天然ゴム系積層ゴム	400φ	2段×4ヵ所
直動転がり支承	CL133	4基



(b) 基礎免震層

表2 基礎免震層の免震装置諸元

免震装置	規格	配置
オイルダンパー		
天然ゴム系積層ゴム	1200φ 低弾性	⑥ ⑩
	1200φ 高面圧	⑫
	1400φ 高面圧	③ ⑧
動転がり支承	CL500	② ⑨ ⑬
	CL500A	①
	CL500H	⑭
	CL780	④ ⑦ ⑪
	CL780H	⑤

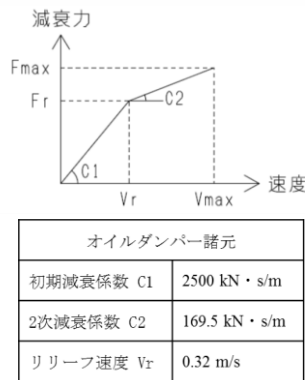


図3 オイルダンパーの履歴特性

図2 免震装置・加力装置の配置図

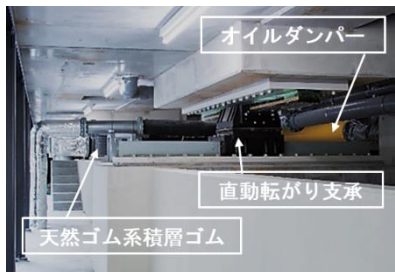


写真2 基礎免震層 (北側)



写真3 屋上実験室

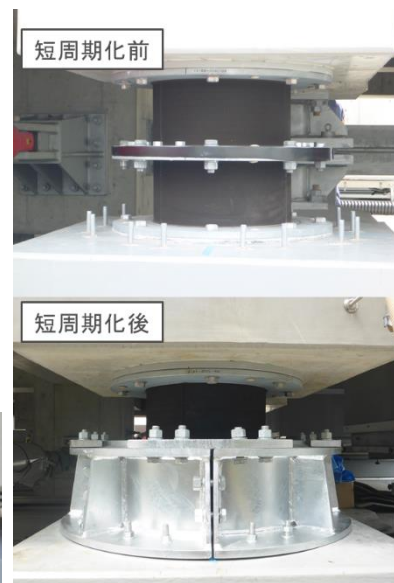


写真4 屋上免震層の積層ゴム  
上：短周期化前  
下：短周期化後

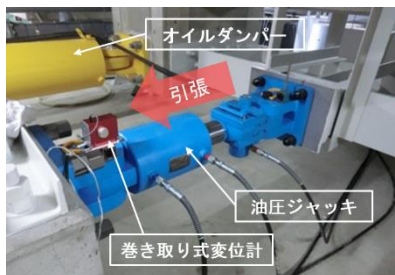


写真5 油圧ジャッキ

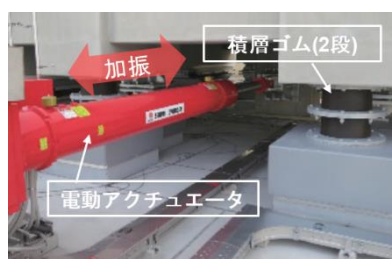


写真6 電動アクチュエータ

#### 4.1 常時の観測体制

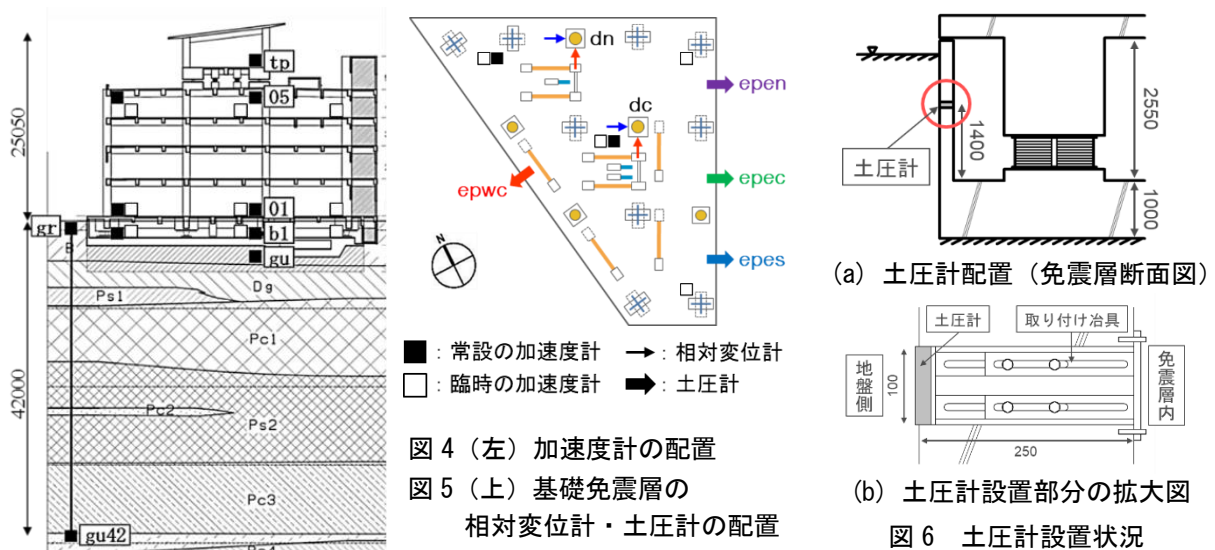
常設の計測機器として加速度計 (10点), 基礎免震層の巻き取り式相対変位計 (2点2方向), 免震層擁壁に土圧計 (4点) を設置している. 各センサーは建物内LANを利用してリアルタイムのデータ集約と表示を行うシステムとなっている. 計測機器の配置及びセンサー名を図4, 5に示す. 建物のねじれ応答

計測を行うために重心点の他に免震層，1階，屋上の平面端部にも加速度計を設置している．計測機器はトリガー式で振動実験時にも起動し，計測するよう設定されているが，手動で計測を開始し，平時や強風時の常時微動観測を行うことも可能である．

免震層擁壁に作用する土圧については，擁壁底面から擁壁高さ（約3,600 mm）のおよそ3分の2の高さで，地盤との間に土圧計を設置して土圧を計測している．対象建物では地震時動土圧の計測に加えて，加振源が明確な自由振動実験や強制振動実験の際の記録も得られるため，土圧の発生メカニズムをより詳細に検討できる．図6に土圧計設置状況を示す．一般に土圧計は基礎と地盤の間に埋め込む形で設置するが，計測器の不具合や経年変化などに対応するため，擁壁に穴を開け，治具の先端に取り付けた土圧計を免震層内側から挿入して地盤に押し付ける方法を取った．これにより土圧計が接する土の状況を調整することができ，計測結果を確認した上で問題があれば再調整や再設置が可能である．

#### 4.2 常時微動計測

常時微動計測により詳細な立体振動特性の検討を行う．常設の加速度計と重複する点も含めて基礎上，1階，4階の3フロアに三角形平面の頂点と重心に4点ずつ，計12点に常時微動計測用の加速度計を設置した．（図4・5）



### 5. 振動実験および常時微動計測に基づく免震建物の振動特性

#### 5.1 免震建物全体の静的加力

ジャッキにより強制変位を与えた時の力と免震層相対変位を計測することによって，基礎免震層の水平剛性と摩擦力を評価する．異なる実験条件（計測日，強制変位，基礎免震層のオイルダンパーの有無）で行った建物の静的加力時のジャッキの油圧から求めた力と免震層の相対変位の関係を図7，実験条件と10mm～強制変位までを最小二乗法で近似した直線の傾きと切片を表3に示す．傾きが免震層の接線剛性，切片が摩擦力にあたる．case4，case5はほとんど重なっており，静的加力時には免震層の剛性や摩擦力にオイルダンパーの有無による差はほぼ見られない．case1，case3，case5より，強制変位が大きくなるほど剛性が小さくなり，摩擦力が大きくなる傾向がある．変位138 mmと80 mmの剛性と摩擦力の差はそれぞれ4.1%，7.2%の差である．case2，case3より2014年10月から2017年2月の2年4か月の経年変化は，剛性が6.6%減少，摩擦力が40.9%増加しており，後述する自由振動波形にも変化が見られる．



基礎免震層の5基の積層ゴムの剛性の設計値は9.21 kN/mmである。積層ゴムの剛性には面圧やせん断歪の依存性があることがわかっており、実基検査データをもとにこれらの要因を考慮した剛性を図8に示す<sup>2)</sup>。変位100 mmにおいて剛性は12.6 kN/mmとなり、2017年2月の計測結果との差は2.8 %となる。

CLBによる摩擦力は、設計に用いたCLBの摩擦係数0.0039と9基のCLBが負担する軸力の総和4220 tの積から161.5 kNとなる。case2の摩擦力および計測日の異なるcase1およびcase3~5の平均値は算出した値よりそれぞれ3.8 %と44.6 %大きい。免震層の摩擦力のほとんどはCLBによる摩擦力であると思われるが、実験時にはエキスパンションジョイントなどの干渉も含まれると考えられる。

## 5.2 免震建物全体の自由振動実験

図9に自由振動実験で得られた東西方向の計測結果を示す。加振条件は(1) オイルダンパーあり（初期変位140 mm・80 mm）、(2) オイルダンパーなし（初期変位138 mm・100 mm・80 mm）である。(1)の場合、振動せずに中立軸に漸近する応答となり、1cm程度の残留変形が生じる。(2)の場合には減衰自由振動となり、残留変形は(1)に比べ小さい。図10に建物慣性力と免震層相対変位の履歴ループを示す。(1)より、平時の自由振動実験では小振幅範囲でオイルダンパーによって急激にエネルギーが吸収されていることがわかる。(2)より、ノイズが含まれるが履歴が平行四辺形を描き、静的加力時の力-変位関係ともよく対応し、免震層の摩擦による影響が表れている。

自由振動実験から得られた免震層の相対変位波形について、減衰自由振動の理論式とのフィッティングを行い、それぞれ減衰特性を推定した。(1)の場合、オイルダンパーによる減衰がほとんどであるため、残留変形に基線補正を施した自由振動波形について1自由度粘性減衰モデルで行った。(2)の場合、CLBの摩擦が減衰特性に影響していることから、軸力負担率を考慮したCLBによる摩擦減衰とその他の等価粘性減衰を組み合わせたモデルを用いたフィッティングを行った。実験時のジャッキ解放直後のチャックと建物側のプレートの摩擦を考慮し、フィッティング区間は、1階加速度が最大となる時刻から振動が収まるまでとし、フィッティングの際に初速度をパラメータとして与えた。図11に推定した相対変位波形、表4に推定した初速度、固有周期、減衰定数、摩擦係数を示す。推定した波形は実測波形とほぼ一致した。固有周期は4秒前後と設計より短く、また、振幅が小さくなるほど短くなっており、免震層の振動特性に振幅依存性があることがわかる。(1)より減衰定数がオイルダンパー4基分の等価粘性減衰定数31 %に対し2倍以上となっている。これはオイルダンパーの減衰力が速度に対してバイリニア特性であり、リリース速度以下では減衰力が大きくなるのが影響していると考えられる。(2)について、同じ初期変位でも(1)に比べて固有周期が短くなっている。推定した摩擦係数はCLBの規格値0.0039に概ね対応する結果が得られた。

図12に2014年10月と2017年2月に行った初期変位100 mの自由振動実験の免震層の相対変位を示す。5.1より2年4か月で免震層の剛性と摩擦力に変化が見られる。自由振動波形においても減衰が大きくなっていることがわかる。これは免震装置の特性の変化だけでなく、環境条件による変化や実験のばらつきも含まれることが考えられる。今後も継続して振動実験を行い、免震建物の振動特性の経年変化について検討する必要がある。

図9(b)の動土圧については、建物全体の固有周期に対応する傾向が見られ、(2)の場合では、上部建物が繰り返し振動するのに合わせ動土圧も振動する様子が確認できる。全ての場合で、上部建物の加速度(01)と東側3点(epen・epcc・epes)の土圧波形が逆位相で、西側(epwc)では同位相で生じていることから、上部建物の慣性力が基礎免震層擁壁に作用し、動土圧が生じていると考えられる。加振条件によらず西側(epwc)で最も大きい値を示し、東側擁壁では、端部(epen・epes)に比べ中央(epcc)での値が小さくなっている。免震層擁壁の土圧計設置位置とその間の5点に直加速度計を設置し、擁壁の変形を計測した際にも、極微小範囲ではあるものの計測点によって変位振幅が異なっており、擁壁の面外方向の変形があることが考えられる<sup>3)</sup>。この点については今後の検討課題である。

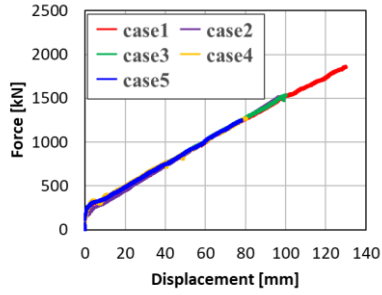


図7 静的加力時のカー変位関係

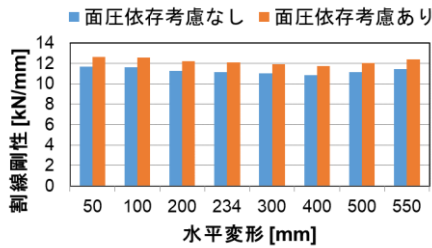
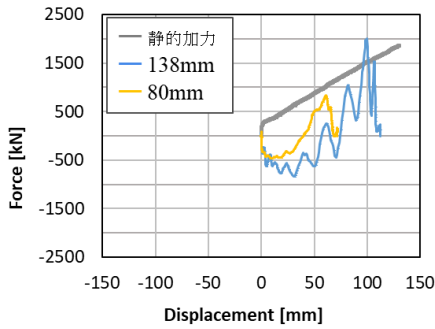
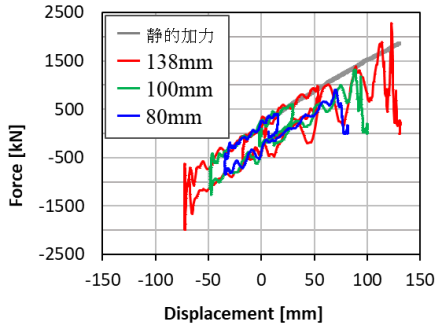


図8 面圧を考慮した積層ゴムの剛性



(1) オイルダンパーあり



(2) オイルダンパーなし

図10 履歴ループ (自由振動)

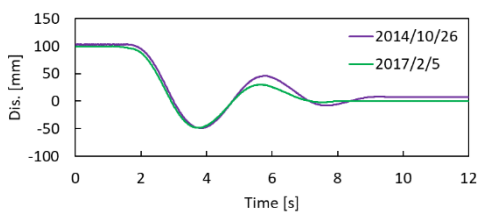
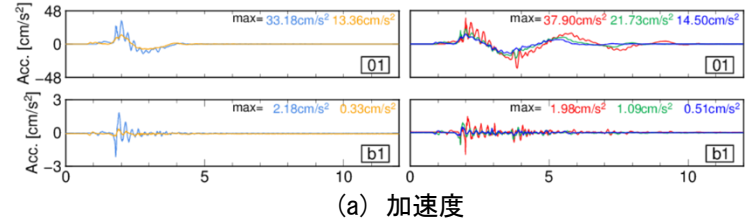


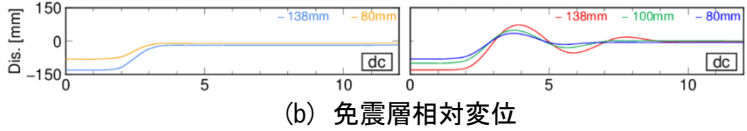
図12 自由振動波形 (経年変化)

表3 実験条件と線形近似の傾きと切片

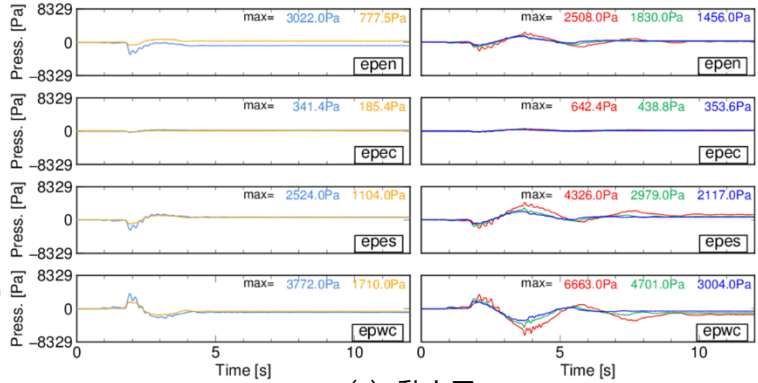
	計測日	強制変位 [mm]	オイルダンパー有無	傾き (接線剛性) [kN/mm]	切片 (摩擦力) [kN]
case1	2017/2/5	138	なし	12.65	239.66
case2	2014/10/26	100	なし	13.87	168.82
case3	2017/2/5	100	なし	12.95	237.86
case4	2017/2/5	80	あり	12.73	234.39
case5	2017/2/5	80	なし	13.17	222.46



(a) 加速度



(b) 免震層相対変位

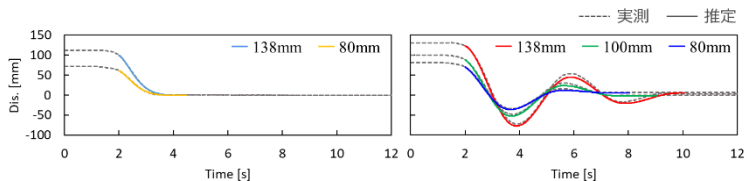


(c) 動土圧

(1) オイルダンパーあり (2) オイルダンパーなし

図9 自由振動実験の計測結果 (東西方向)

(各図の□は図4.5に示すセンサー配置に対応する)



(1) オイルダンパーあり (2) オイルダンパーなし

図11 推定した波形 (破線: 実測, 実線: 推定)

表4 実験条件と推定したパラメータ

強制変位 [mm]	オイルダンパー有無	初速度 [cm/s]	固有周期 [s]	減衰定数	摩擦係数
138	あり	2.95	4.58	0.84	/
80		1.19	4.04	0.82	
138	なし	2.86	3.95	0.11	0.0025
100		4.67	3.81	0.10	0.0039
80		4.23	3.79	0.14	0.0033

### 5.3 屋上実験室による強制振動実験

図13に屋上実験室による強制振動実験の結果を示す。加振条件は(1) 南北方向で片振幅70 cm, (2) 東西方向で片振幅30 cmで、両者ともオイルダンパーありの状態である。3.2で述べたように、アクチュエータは小さな加力であるが、周期5.2秒で加振することで、共振を利用して400tの実験室を100 cm/s<sup>2</sup>程度まで加振できる。(1)より、屋上実験室 (tp) が約50 cm/s<sup>2</sup>を超える時刻から建物本体の応答が増大していることから、オイルダンパーありの場合でも、免震建物の応答特性にCLBの摩擦の影響が表れていると考える。(2)では、実験室の最大加速度50 gal以下で、(1)のように建物応答の増大はせず、建物の加振力が免震層の静摩擦を上回らないが、免震層が微小変形していることがわかる。

加振条件(加振方向、オイルダンパーの有無)が異なる強制振動実験の屋上実験室と建物本体の加速度にそれぞれの質量を乗じた慣性力の合計で加振力を求め、基礎免震層の相対変位との関係を図14に示す。南北方向加振の履歴が自由振動実験と同様に平行四辺形を描き、ここでもオイルダンパーの有無に関わらず免震層の摩擦の影響が確認できる。図14から、加振力が約200 kNを超えたところで相対変位が生じることが分かり、5.1の静的加力の結果とよく対応している。

強制実験時の土圧は、計測点ごとの大小関係も自由振動実験と整合していることが分かる。(2)の東西方向加振の土圧については、自由振動実験と同様に、包絡形や周期特性が、屋上実験室の加速度波形と似ていることや、屋上実験室の加速度波形と東側の動土圧は逆位相、西側の動土圧は同位相で生じていることが分かり、屋上実験室からの慣性力によって擁壁が応答し、動土圧が生じていると考えられる。(1)の南北方向加振では、西側(epwc)からも同様の傾向が見られる。また、加振方向と並行である東側擁壁にも土圧が生じ、自由振動実験や東西方向加振と異なり、擁壁の端点同士の土圧波形は逆位相となっている。加振方向による東側擁壁の動土圧の位相特性の違いは免震層北側に根入れがないことや免震層が不整形な三角形平面であることが影響していると考えられる。

### 5.4 常時微動計測による免震建物の立体振動特性

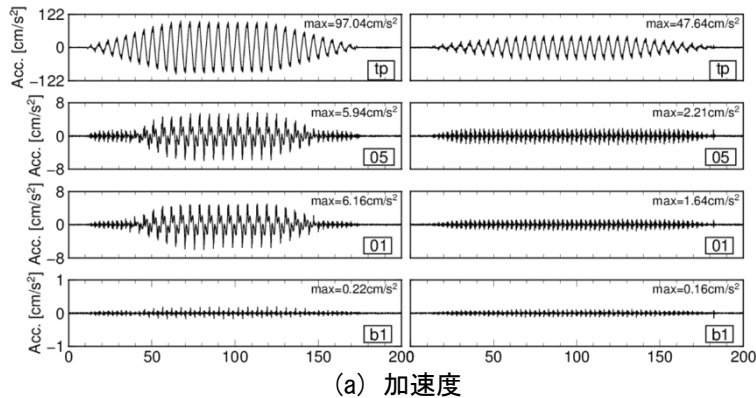
常時微動計測は交通振動の影響が少ない深夜に行い、ほぼ無風の条件であった。観測記録からノイズの少ない部分を約1時間選び、スペクトル解析を行った。

ねじれも含む振動特性の考察のため、北西端の計測点のスペクトルと伝達関数を図15に示す。両方向とも約2.1Hzと3Hz付近に建物全体の固有振動数があることが分かる。2.1Hzは免震建物の微動時の1次固有振動数と考えられ、設計周期5.2秒や5.2で自由振動実験から推定した4秒前後よりかなり短周期となっている。3Hzはねじれのピークと予測される。

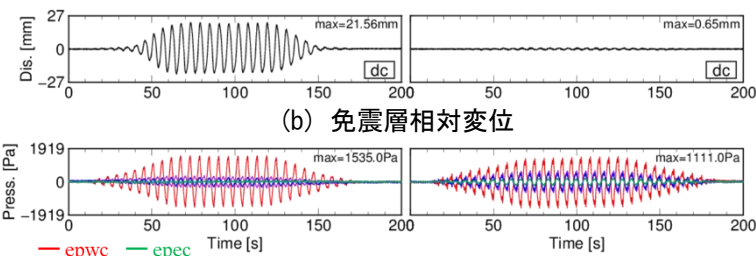
各階平面の北西端部と中央の観測成分の差を観測点間距離で割ってねじれ角加速度を求め、そのスペクトルと伝達関数を図16に示す。各方向成分から求めた特性はほぼ一致し、図15と同様に約2Hzと3Hzに明確なピークがある。これらのピークの振動数で全観測点の記録を用いた立体振動特性のアニメーションのスクリーンショットを図17に示す。約2Hzの成分は並進にねじれが連成したモード、3Hzは純ねじれに近いモードであることが分かる。以上から、常時微動では上部構造も含めて比較的大きなねじれ挙動の影響があることが分かる。一方、微動計測時より免震層の変形が大きい地震時や振動実験時の応答に建物のねじれ挙動はほぼ見られない<sup>4)</sup>

## 6. 地震観測に基づく振動特性の分析

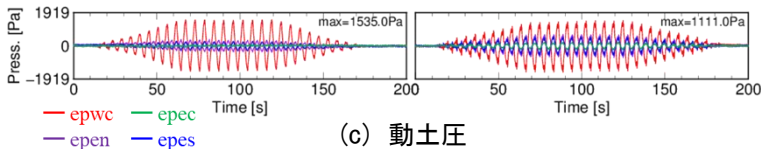
対象建物では、竣工から2018年6月までの4年4か月で33の地震観測記録が得られている。2018年6月18日の大阪府北部の地震において地表(gr)でこれまでで最大の計測震度2.4、2016年4月16日の熊本地震で長周期地震動階級1を観測した。図18に観測した地震の震央地、震源深さ、マグニチュードを示す。これらの地表の地震記録についてPGA、PGV、卓越周期(PGA/PGV×2π)と震央距離の関係



(a) 加速度



(b) 免震層相対変位



(c) 動土圧

(1) 南北加振 (70cm・0.18Hz) (2) 東西加振 (30cm・0.18Hz)

図 13 強制振動振動実験の計測結果

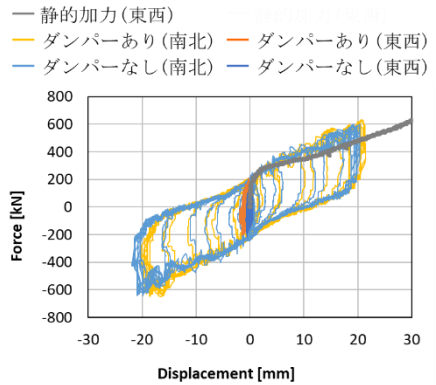


図 14 履歴ループ (強制振動)

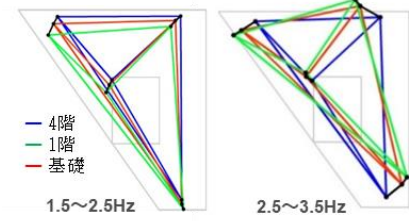
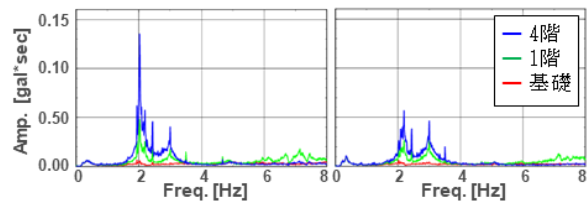
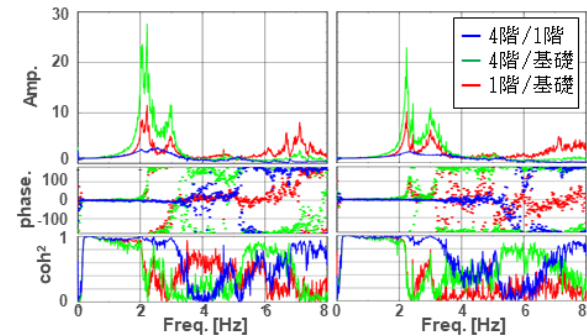


図 17 建物のアニメーション (上から見た図)



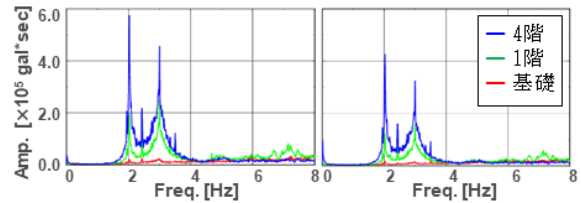
(a) 加速度フーリエスペクトル



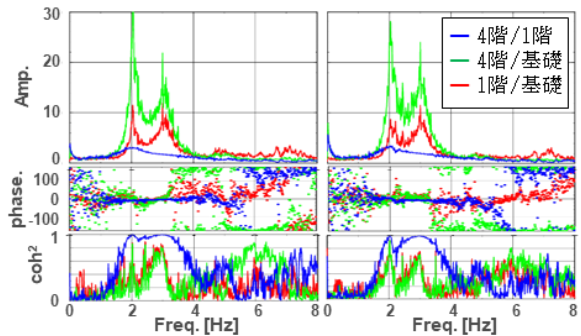
(b) 伝達関数とコヒーレンス

(1) 南北方向 (2) 東西方向

図 15 加速度フーリエスペクトルと伝達関数



(a) ねじれの角加速度フーリエスペクトル



(b) 伝達関数とコヒーレンス

(1) 南北方向 (2) 東西方向

図 16 ねじれの角加速度フーリエスペクトルと伝達関数

を 図 19, 免震層の変形と地表の卓越周期の関係を 図 20 に示す. 図 19 より, 震央距離が長い程, PGA は小さく, PGV, 卓越周期が大きくなる傾向が見られる. 図 20 より, 卓越周期が長い程, 免震層の変形が大きくなっている. これは, 5.で述べたように対象建物の 1 次固有周期は微動レベルで約 0.5 秒, 100 mm 程度で 4 秒前後と振幅に依存し, 地表の卓越周期が長い程, 数 mm 程度の小振幅範囲での建物の固有周期に近づくためであると考えられる.



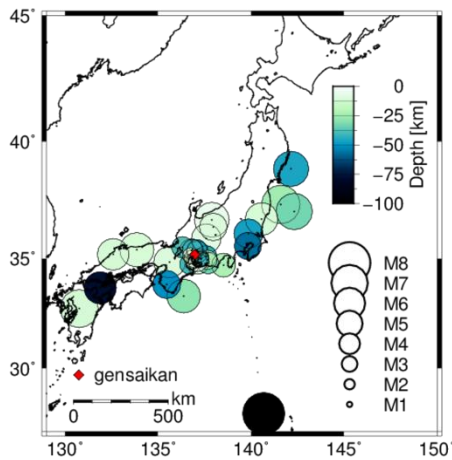


図 18 対象建物で観測された地震

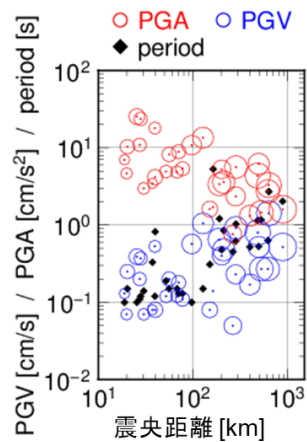


図 19 PGA、PGV、卓越周期と震央距離の関係

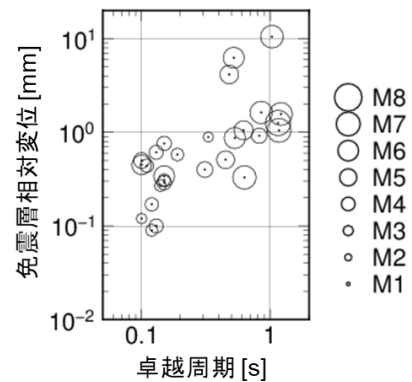
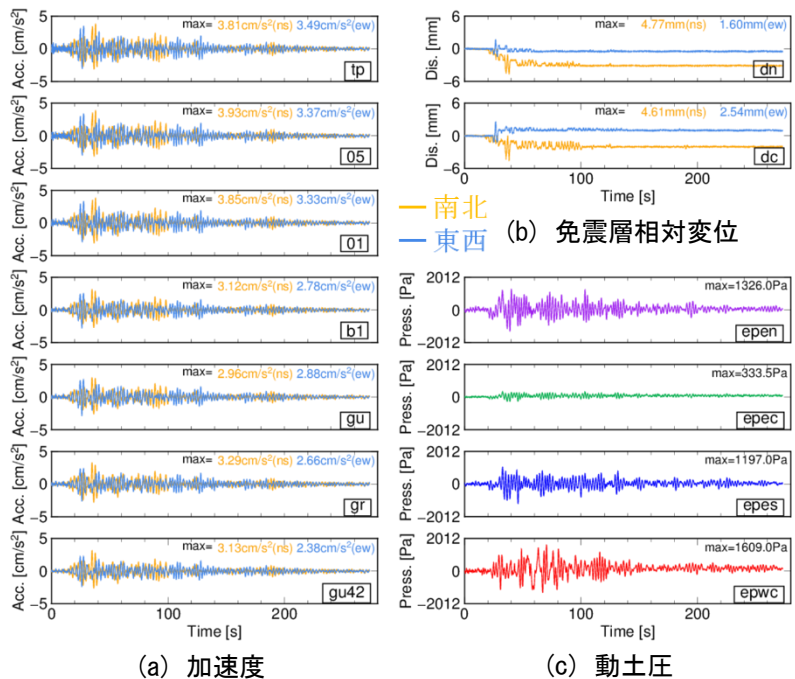


図 20 免震層の相対変位と卓越周期の関係

図21に地震記録の一例として熊本地震の観測記録を示す。建物応答が  $3 \text{ cm/s}^2$  程度と小さな応答であり、5.で述べたようなCLBの摩擦の影響による免震層の剛性が大きい範囲での応答となっているため、基礎免震層の変形は数mm程度に留まっている。また、地盤と建物の両方で波形が類似しており、免震建物としての特性は十分に発揮されていないことが推測される。動土圧については、加速度波形と動土圧波形の包絡形が近い形状をしており、各計測点の大小関係も振動実験と整合した結果が得られている。地震時の動土圧は振動実験と異なり、建物応答だけでなく地盤震動も影響するため、今後、振動実験結果と合わせて地震時動土圧の検討を行う。



(a) 加速度 (b) 免震層相対変位 (c) 動土圧  
図 21 地震観測記録 (2016年4月16日 熊本地震)

## 7. まとめ

本研究では、免震・制振に関する多様な振動実験環境を構築した免震建物について、実験および計測から、建物の振動特性に関する検討を行った。本論のまとめは以下の3点である。

- (1) 建物全体の静的加力実験の結果から、設計時と運用下での免震装置の特性の整合性を確認した。
- (2) 振動実験および常時微動計測から、運用状態での免震装置の特性や対象建物の基本的な振動特性について考察し、ダンパーの特性やCLBの摩擦等により、小振幅範囲では設計時の想定より周期は短く、減衰は大きいことを確認した。自由振動波形の同定より初期変位100 mm前後で固有周期が約4秒と推定され、変位が大きいほど周期が長くなる。一方、微動レベルでは1次固有周期は約0.5秒と推定され、対象建物の振動特性の振幅依存性を確認した。

(3) 免震層の擁壁に作用する土圧について、2種類の振動実験に基づき、建物応答に対する周期特性や位相特性について検討した。また、地震観測記録の特性に関しても同様に検討した。

今後も免震装置・建物の特性や地盤と建物の相互作用等に関して継続的に多様な条件での実験を行い検討していく予定である。

## 謝 辞

本建物を実現するにあたり、名古屋大学の施設管理部をはじめとする関係各位、建物の計画・設計・施工及び免震装置関連の各社には、多大なご協力をいただいた。本報告の一部は大学院生の平野貴士氏（現静岡県庁）、成澤健太氏（現東海旅客鉄道株式会社）、梅村巧氏によるものである。記して御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 成澤健太他：実在免震建物を利用した振動実験環境の構築，構造工学論文集 vol.63B，2017年3月
- 2) 平野貴士他：免震建物の加力実験および振動実験に基づく性能評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，2015年9月
- 3) 実在免震建物の多様な振動実験・計測に基づいた振動特性の分析（その3 免震層擁壁の変形特性と動土圧発生の特性），日本建築学会大会学術講演梗概集，2018年9月
- 4) 梅村巧他：実在免震建物を活用した多様な振動実験・計測（その2 常時微動・振動実験・地震観測に基づく立体振動特性），日本建築学会大会学術講演梗概集，2018年9月

# Various dynamic experiments and measurements using a base-isolated building

UNO Akiho <sup>1)</sup>, TOBITA Jun <sup>2)</sup> and FUKUWA Nobuo <sup>3)</sup>

- 1) Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
- 2) Prof., Disaster Management Office, Nagoya Univ., Dr.Eng
- 3) Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.

## ABSTRACT

Research facility for advanced dynamic experiments is developed using a base-isolated building equipped with experimental devices. Two types of vibration experiments are available: a free vibration test by 3 jacks on base-isolation layer, and a forced vibration test by add-on vibratable structure of 400 tons. Observation devices and systems are also developed e.g. acceleration sensors for spatial response, relative displacement of the base-isolation layer and dynamic earth pressure of the basement. In this paper, following results of experiments are discussed: dynamic characteristics of the building, performance of devices under actual operation condition, and dynamic earth pressure subjected to vibration experiments.

*Keywords: Base-isolate, Dynamic experiments, Microtremor measurement, earthquake response measurement, Dynamic earth pressure*