

Network Operation Center (NOC) の耐震性評価 (地震災害時における医療施設の機能保持評価のための震動台実験)

酒井久伸^{*1}，佐藤栄児^{*1}，井上貴仁^{*1}，中島正愛^{*1,*2}，鎌田崇義^{*3}

^{*1} 独立行政法人 防災防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
673-0515 兵庫県三木市志染町三津田字西亀屋 1501-21

^{*2} 京都大学防災研究所 ^{*3} 東京農工大学工学部

The seismic performance tests of network operation center (Research Project on Assessment of Functionality in Medical and Telecommunication Facilities)

Hisanobu SAKAI^{*4}, Eiji Sato^{*4}, Takahito Inoue^{*4},
Masayoshi Nakashima^{*4,*5} and Takayoshi KAMADA^{*5}

^{*4} National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention,
1501-21 Nishikameya, Mitsuda, Shijimi-cho, Miki-shi, Hyogo, 673-0515 Japan

^{*5} Disaster Prevention Research Institute Kyoto University

^{*6} Tokyo University of Agriculture and Technology

The telecommunication network system is one of the important social infrastructures. However, the behavior under the earthquake is not clear. Then, the building where the telecommunication equipment was integrated was constructed. And the seismic test was run. As a result of the experiment, we got two important things below:

1. Minimum fixation is necessary if the equipments in the building of the quake absorbing structure.
2. More strong fixation is necessary if the equipments in the building of the quakeproof structure.

概要

近年における情報通信技術の発展は目覚ましく、この技術を欠いては現代社会は成立しないと言って過言ではない。一方で急速に発展した結果として、大規模災害時における被害事例の報告例は少なく、特に広範囲に多大な被害をもたらす地震災害時の挙動は明らかになっていない。そこで、平成19年度より5カ年の計画で進行している文部科学省の「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」[1]の研究テーマの一つである「都市施設の耐震性評価・機能保持に関する研究②震災時における建物の機能保持に関する研究開発」において、病院施設とともに情報通信施設を試験体内部に再現し、大規模地震災害時の挙動を確認する実験を行ない、被害の一例を得たので報告する。

1 実験方法

図1に示す実際の建物を模した鉄筋コンクリート造4階建ての構造躯体を製作し、内装を施した。情報通信系の施設としてその要となる「ネットワークオペレーションセンタ(NOC)」を再現した部

屋を地上階に設置されたモデルケースとして1階、中層階に設置されたモデルケースとして4階にそれぞれ1部屋ずつ構築した。



図1 実大鉄筋コンクリート造4層試験体

部屋の再現にあたり、その構成要素として、床下にケーブル等の敷設空間を確保するためのフリーアクセスフロア(OAフロア)、情報通信機器を

設置格納するための 19 インチラックシステムを設けた。なお、実際の NOC では、機器の排熱処理として、空調設備が重要設備機器の一つであるが、空調設備については、試験体内部の他の部屋において設置ならびに挙動調査が行われるので、ここでは設置していない。

図 2 に示す 1 階では、実際の現場の問題として少なからず存在する 19 インチラックの不十分な固定による問題点の検証するため、次の 6 条件にて設置した。

- (1) ラックの移動時に使用するキャスタでただ置かれた状態（キャスタは固定していない）
- (2) の状態から、キャスタを浮かせて固定するためのレベルフットと呼ばれる脚を使用して OA フロア上設置
- (3) レベルフットの接地面にゴム張りをし、摩擦抵抗を増大させたもの
- (4) レベルフットの抑え金物で OA フロアに固定
- (5) (2)の状態のラックを 2 連結
- (6) (4)の状態のラックを 2 連結

また、実際の通信機器の挙動を調査するため、(4)および(6)のラックに実際に機器を設置し、稼働

状態とした。機器構成上(4)が積載荷重として 160kg であり、他のラックも同様の積載荷重になるよう、負荷荷重を設置した。2 連結については、1 ラックあたりの負荷荷重が 160kg とした。

図 3 に示す 4 階では、NOC 担当者が「耐震性を考慮した設置方法」と指示した場合に行われる、OA フロアと独立の架台を床スラブ上に直接アンカボルトで固定し、その架台上にラックを設置する方法の挙動確認を行なった。ここでは、H=100mm および、H=450mm の高さの異なる 2 種類の OA フロアを用意し、それぞれに単独設置、2 連結設置の計 4 種類の設置条件とした。H=450mm に設置したラック(7)、(8)には、1 階同様に稼働する通信機器を設置し、1 階の機器との間で 1Gbps の帯域を持つネットワークを構築した。H=100mm に設置したラックでは、ラックメーカー指定の最大積載荷重に相当する負荷荷重として、単独のラック(9)には約 600kg（総重量：700kg）、連結のラック(10)には、ラック 1 本当たり約 700kg、合計 1400kg（総重量：1600kg）とした。

通信機器稼働状態での検証を行なうため、図 4 に示す試験体の外部から、内部の機器すべてを通過して再び外部に戻るネットワークを構築した。

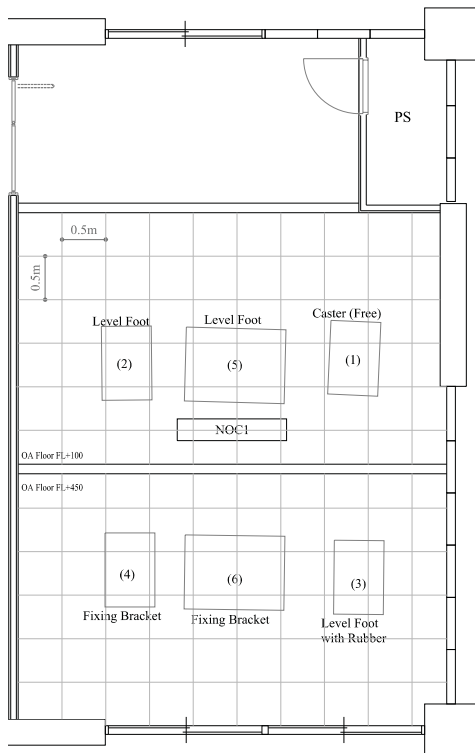


図 2 1 階 NOC 平面レイアウト図

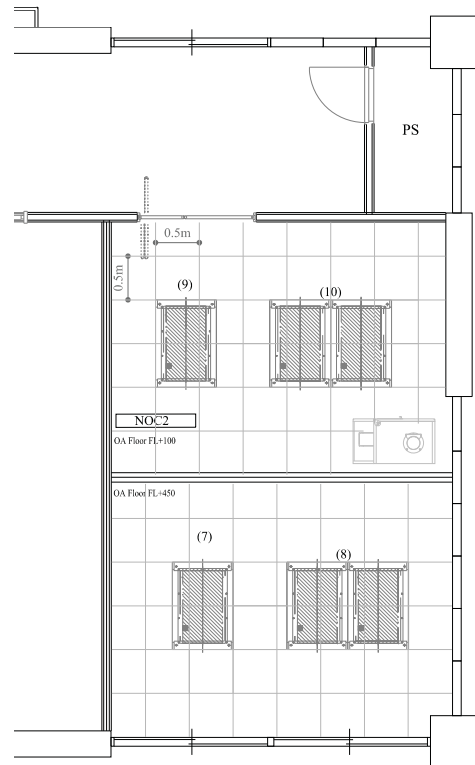


図 3 4 階 NOC 平面レイアウト図

この実験ネットワークの特徴は、設置した通信機器 10 台のうち 8 台をルータとして設定することで、すべての機器を一筆書きで結び加震中の機器の不具合の有無を、通信異常として検知できるようにしていることである。加震実験時には、外部に設置された 2 台の計算機的一方から他方へ、帯域使用率が 90%以上となるよう iperf[2]を用いてワイヤレートでの通信を行なうことで実際の機器の稼働条件に近づけた。

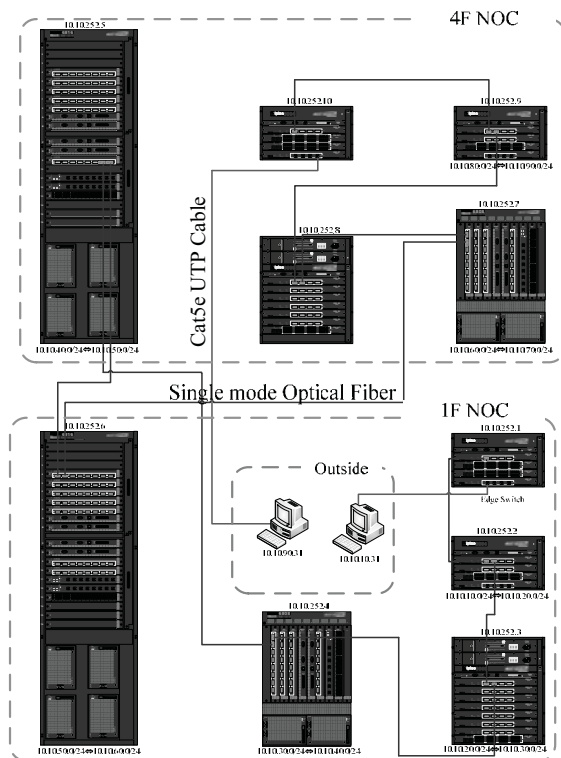


図 4 実験用ネットワーク構成図

2 加振条件

実際に存在する建物の条件を再現するため、震動台と構造躯体の間に免震装置を組み込んだ免震構造（免震装置の違いにより 2 種類）と、震動台に建物を直接固定した耐震構造の計 3 種類の構造条件に対して、El.Centro 波[3]を元に最大速度を 0.5m/s に規格化した地震波（震度 5 強）、1995 年兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された JMA 神戸波[4]を加速度基準で 80%に低減した地震波（震度 6 強）、東海・東南海地震同時発生時において、名古屋三の丸地区で想定される地震動である名古屋・三の丸波[5]（震度 5 強）および、南関東地震時に横浜市内で想定される地震動である横浜波[6]（震度 5 強）の入力地震動をもちいて

実験を実施した。地震動の種類は、名古屋・三の丸波は、長周期成分を多く含む長周期地震動に分類され、その他は、長周期成分をほとんど持たない短周期地震動に分類される。表 1 に入力地震動を示す。

表 1 入力地震動

構造	入力地震動	方向	レベル
免震 1	El. Centro波	XY	0.5m/sec
	JMA神戸波	XYZ	80%
	名古屋・三の丸波	XY	100%
免震 2	El. Centro波	XY	0.5m/sec
	JMA神戸波	XY	80%
	JMA神戸波	XYZ	80%
	名古屋・三の丸波	XY	100%
耐震	名古屋・三の丸波	XY	100%
	横浜波	XY	100%
	El. Centro波	XY	0.5m/sec
	JMA神戸波	XY	80%

免震構造では、既存免震建物で採用されている免震システムのうち、機構の異なる下記 2 種類の免震システムを用いた。

- 1) 免震 1: 天然ゴム系積層ゴム(図 5)+U 形鋼棒ダンパ(図 6)
- 2) 免震 2: 減衰特性の高いゴムを使用しているため、ダンパ設置の不要な高減衰積層ゴム

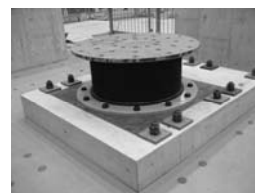


図 5 積層ゴム



図 6 鋼棒ダンパ

免震 1 においては免震システムによる可動範囲を 0.5m とした。

免震 2 では、免震システム設計時の前提条件とした地震規模を超える地震が発生したため上部構造体と基礎との間に過大な相対変位が発生し、上部構造体が周辺基礎（ここでは試験体まわりの擁壁）に衝突することを想定した実験を実施するため、クリアランスを事前での数値応答解析より 0.3m とした。

表 2 最大加速度 (単位:m/s²)

	免震構造1			免震構造2	耐震構造				
	El. Centro 0.5m/s	JMA 神戸波	名古屋 三の丸波	名古屋 三の丸波	名古屋 三の丸波	横浜波	El. Centro 0.5m/s	JMA 神戸波	
Shakingtable	5.35	7.53	2.03	2.03	1.98	8.35	4.90	12.57	
1階	Slab	1.88	5.14	2.52	8.43	1.98	8.92	5.48	19.17
	OA Floor H=100mm	1.89	6.36	2.51	9.49	1.99	9.12	5.61	22.05
	OA Floor H=450mm	1.87	7.34	2.53	7.68	2.06	10.02	6.40	22.30
	Rack (1)	--	--	--	--	--	--	--	--
	Rack (2)	2.26	9.88	2.60	5.07	3.65	11.20	9.98	20.32
	Rack (3)	--	--	--	2.92	3.00	9.68	12.76	16.76
	Rack (4)	3.51	10.32	2.70	8.09	3.86	38.85	31.12	34.01
	Rack (5)	2.58	10.19	26.73	17.23	4.55	10.47	8.56	26.56
Rack (6)	2.19	7.59	2.59	8.47	3.89	21.99	18.25	38.32	
4階	Slab	1.88	6.14	2.59	5.75	2.67	16.92	13.43	19.96
	OA Floor H=100mm	1.87	9.29	2.56	5.55	2.61	20.42	5.61	21.84
	OA Floor H=450mm	1.92	8.56	2.58	5.67	2.71	22.74	6.40	21.29
	Rack (7)	2.49	9.88	2.60	7.42	5.02	41.50	31.12	37.31
	Rack (8)	2.58	7.31	2.60	6.78	4.95	32.37	13.88	26.76
	Rack (9)	3.88	12.83	2.64	5.48	4.29	29.58	9.98	47.57
	Rack (10)	2.69	9.04	2.61	5.44	4.56	30.87	13.64	42.13

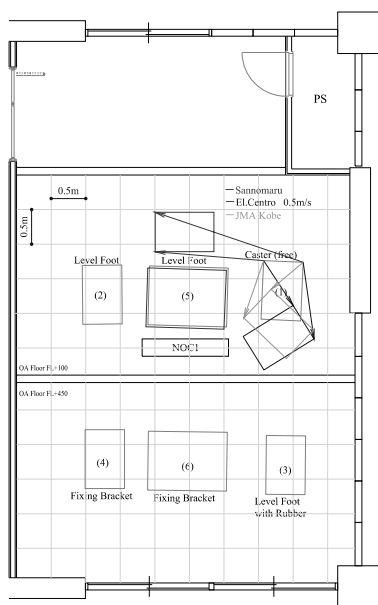


図 7 免震 1 実験前後の機器移動

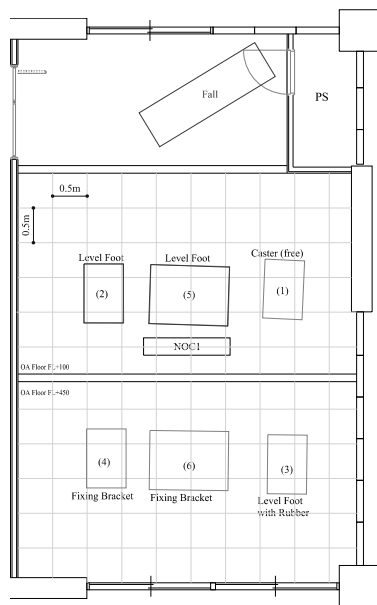


図 8 免震 2 実験前後の機器移動

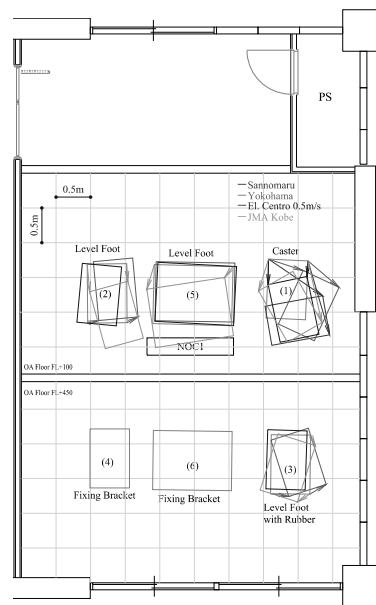


図 9 耐震実験前後の機器移動

4 実験結果

実験で観測された最大加速度を、表 2 にまとめた。それぞれの値は、サンプリングレート 1kHz で取得した各軸毎の加速度センサによる計測値のうち 50Hz 以上の周波数成分を 3 次の Butterworth ローパスフィルタでカットしたうえで、3 次元合成を行ない得ている。また、機器同士の衝突により特異的に計測された値については、網かけとして示した。

免震 2 では、擁壁との衝突による衝撃が観測さ

れたため、免震条件にもかかわらず高い値となっている。

免震構造について

免震構造では、図 7、図 8 で示すように 1 階の(1) キャスタで置かれたラックのみ移動がみられた。エルセントロ波 0.5m/sec および JMA 神戸波 80% の短周期型地震動では、加振前後の機器中心の移動量は、0.5m 程度であったが、長周期地震動である三の丸波では、1.5m 程度の移動量となった。ま

た、このときには、隣接して設置されていた(5)への衝突があり、0.01m程度の移動が(5)にみられた。免震2の擁壁との衝突時には、(1)のキャスタで置かれたラックが、同様に大きく移動した事に加えてレベルフットで固定された(2)、(5)のラックでも0.01m以下の微量ではあるが移動がみられた。レベルフットの接地面にゴム張りをした(3)および、レベルフットの押さえ金物によりOAフロアに固定した(4)、(6)では、移動は見られなかった。

4階では、すべてのラックが専用架台を介して床スラブにアンカ固定されているため、地震動によるラックの移動は生じなかった。しかしながら、ラック自体にしなりが生じ、前後左右のパネルの脱落が発生した。

耐震構造について

耐震構造における長周期地震動の影響を確認するためため用いた三の丸波では、1階の(1)キャスタで置かれたラックのみ0.5m程度の移動がみられたものの、その他の設置方法については、免震構造同様に移動は見られなかった。一方、短周期地震動では、レベルフットで固定された(2)、(5)および接地面にゴム張りを行なった(3)についても最大で0.5m程度の移動がみられた。実験映像を検証したところ、(2)、(5)では、OAフロア及びレベルフット共に金属製であるため摩擦力が小さく、地震動による移動は、滑りによるものであった。一方、接地面にゴム張りを行ない、OAフロアとの摩擦力を高めた(3)では、滑りは見られず、ロック運動による移動であった。レベルフットの押さえ金物によりOAフロアに固定した(4)、(6)では、押さえ金物に変形が生じたものの押さえ金物が脱落することではなく、ラックの移動量も、0.01m程度の軽微な量であった。また、押さえ金物を固定しているOAフロア側には、変形等の損傷は見られなかった。耐震実験における機器の移動を図9に示す。

4階では、ラックの転倒は生じなかったものの、ラックの架台と床スラブを締結するためのアンカボルトの破損が、横浜波による実験では、メーカ持ち込みのアンカが強度的に不適切であったこともありほぼ全てのラックでみられた。また、その後引き抜き強度がメーカ公称値25kNのアンカを用いて施工しなおしたJMA神戸波による実験では、(9)のラックを固定している4本のアンカボルトのうちの1本が破損した。

稼働中の通信機器について、機器の出力するログ情報から機器単体としては、一連の実験中に、ネットワークのリンク状態の変化を含め、障害となるエラー情報の記録は見られなかった。しかしながら、図10に示す試験体外部に設置した2台の計算機間での通信速度が、ラックに設置した加速度計で4Gを超える加速度が記録された横浜波による加振中に3秒程度の速度低下がみられたものの回復不能な障害ではなかった。

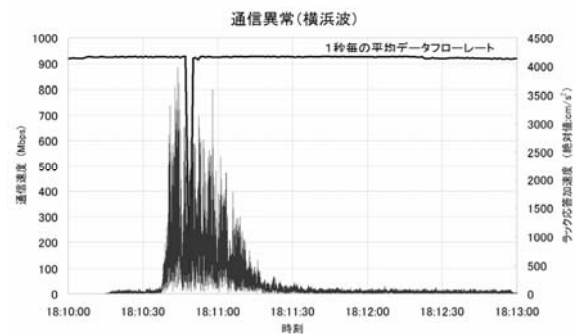


図10 耐震実験横浜波加震中の通信異常

また、OAフロアについて試験全体を通して、1階、4階とも1995年兵庫県南部地震において、フリーアクセスフロア工業会の報告[7]にある、パネルのせり上がり、パネル落下、支柱転倒等の被害の発生はなかった。

4 結果考察

実験では、機器単体として地震動により情報通信システム全体の機能として、強震中の一時的な通信速度の低下がみられたものの回復不能な損傷を受けることはなかった。性能低下については、メーカの協力体制が得られ現在詳細な解析を行なっている状況である。一方で通信機器や、サーバ類を収容する19インチラックシステムには、早急な改善の必要があることが明らかとなった。

まず、床スラブへラックをアンカ固定する場合、アンカ位置を決定するためには、固定用のアンカ位置がメーカ、製品毎に異なるので少なくともラックの選定が完了しておく必要があり、さらにOAフロアを施工するのであれば、OAフロアの施工単位に合わせたラック設置位置となるため、OAフロアの選定の完了が必要となる。これらの要因のため、床スラブ打設時に予めラック固定用のアンカ金物を仕込むことは現実的ではない。結果として、後施工アンカによる設置工事が一般的となる。

次にラックメーカーがオプション部材として用意している架台は、著名なラックメーカー3社のカタログで確認したところ、床スラブとのボルト締結のために用意されている穴は、 $\phi 13\text{mm}$ ～ $\phi 16\text{mm}$ であり、実際の施工で使用できるボルトサイズが、M8～M12に制限されてしまう。その結果、今回の実験で用いたM12メスアンカの場合、カタログ値で1本当たりの引き抜き耐力が25.5kN程度である。実験においてラックは、図11のように実際の使用場面と同様にOAフロアと高さを合わせるため、H=100mmとH=450mmの基礎架台を介して床スラブにアンカー固定されていた。この実験で用いたラックにおける重心位置と、アンカボルトの引き抜き耐力の関係を図12に示す。

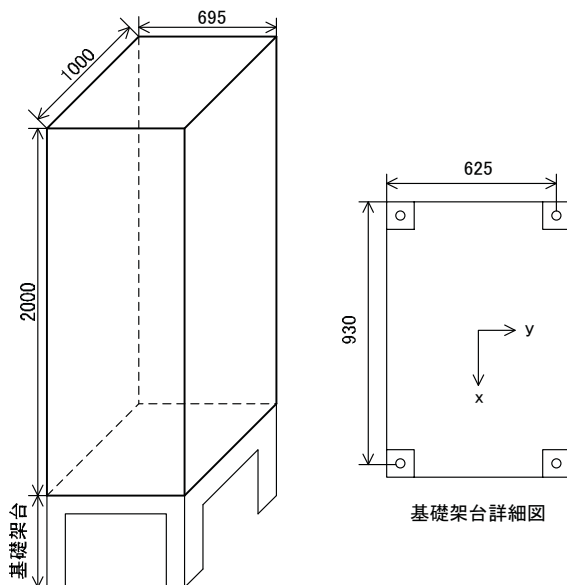


図11 4階NOCのラック設置概要

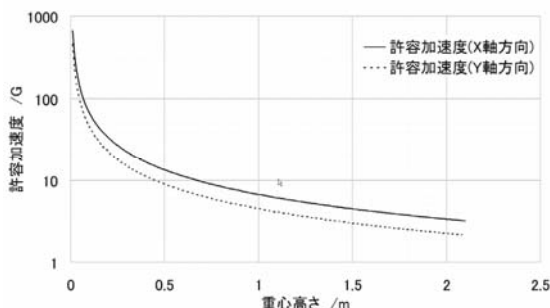


図12 総重量700kg時のアンカ耐力 (M12メスアンカ、公称耐力25kN)

情報通信システムを管理運用する現場では、通

信線、電力線を、OAフロアよりラック内部に引き込むことが多く、ラックの下層は、それらの整線エリアとして利用されるケースが多いため重心位置が高めになることが多い。また、19インチラック自体は、情報通信機器を効率よく収容するという目的であり、設置時に満載状態になるのではなく、日々の運用の中で増設を繰り返しながら満載となるため、ラックの積載荷重管理、重心位置の管理が行われていない。そのため設置時の想定耐震条件と、実運用時の条件とが大きく異なっていることが十分に考えられる。このことから、情報通信設備全体の耐震を考えるに当たっては、ラックの製造者、設置者、使用者の三者の間で耐震に関する共通の認識を確立することが急務であるといえる。

また、表2の最大応答加速度に注目すると免震・耐震のいずれの条件においても、固定することで、床応答加速度がラックが確実に入力されるようになるため、床応答加速度の2倍以上の応答が観測された。このことから、ラック自体の転倒防止には固定することが有効であるが、ラックに収められた機器の機能保持という視点では、ラックに高い応答が出ることは避けるべきである。

一方で免震構造の建物においては、短周期地震動、長周期地震動いずれのタイプの地震動であっても、固定された機器は言うまでもなく、単にキャスタの効果をも無効にするだけのレベルフットによる固定であっても十分な移動防止効果が発揮された。ことから、最低限何らかの方法による固定で被害を激減させられると考えられる。

5 まとめ

本報告は、1つの実験例でしかないが一方で、既存の建物に使用されている既存の免震技術の有効性を実大の建築物を用いて確認した初めての実験である。実験結果として、免震技術の有効性は高く、経済活動における事業継続計画(BCP)への有効性が確認された一方、地震の存在を忘れさせるほどの万能性はなく、従来の地震対策である耐震固定を補強する位置づけであることが分かった。

また、既存の大多数の建物が該当する耐震構造では、現行の十分と考えられる固定方法であっても、使用状況によっては、通信網の確保という観点で十分な耐震効果が得られない可能性があることが分かった。

謝辞

保健医療科学院の笥先生，小林先生ならびに渡部先生および，機材を提供頂いた大阪大学様，ラックメーカー様その他実験に協力いただいた皆様方に感謝の意を表明する。

本稿は，平成 20 年度文部科学省委託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 都市施設の耐震性評価・機能保持に関する研究」の一部である。

参考文献

- [1] 文部科学省 地震調査研究推進本部，地震本部 ニュース，May 2008，pp.10-11
- [2] <http://sourceforge.net/projects/iperf/>
- [3] Strong Motion Earthquake Accelerograms, Digitized and Plotted Data, Report of CALTEC Vol.II, Part A, EERL71-50, 1971
- [4] 震災予防協会：強震動アレー観測，No3 1998
- [5] 愛知県設計用入力地震動研究協議会，愛知県設計用入力地震動の作成－想定地震による強震動予測－改訂版，2005
- [6] 日本建築学会，免震構造設計指針，pp.263-274
- [7] フリーアクセスフロア工業会，兵庫県南部地震におけるフリーアクセスフロア被害状況調査報告，1996