## 3.1.5 実規模実験の実施

## (1)業務の内容

#### (a) 業務の目的

大地震時における救急救命、被災後の生命維持の拠点となる医療施設、および被災状況 等の情報発信の拠点となる情報通信施設など重要施設の機能保持および耐震性向上を目的 として、実規模実験を実施することにより、震災時における施設の機能保持性能、機能損 傷状況及び復旧性能の評価に資する基礎データを取得する。

## (b) 平成20年度業務目的

実規模振動実験は、E-ディフェンス(防災科学技術研究所所有:実大三次元震動破壊実 験施設(15m×20m、最大搭載質量1,200tonの震動台))を用い、耐震構造及び免震構造の 医療施設の2種類を対象として実施し、震災時における施設の機能保持性能、機能損傷状 況及び復旧性能を定量的に評価するための基礎データを取得する。

### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人防災科学技術研究所	センター長	中島 正愛
兵庫耐震工学研究センター	企画室長	井上 貴仁
	主任研究員	梶原 浩一
	主任研究員	佐藤 栄児
	主任研究員	中村いずみ
	研究員	酒井 久伸
	客員研究員	福山 國夫
東京農工大学	准教授	鎌田 崇義
国立保健医療科学院	施設科学部長	筧 淳夫
	主任研究官	小林健一
	研究員	渡部 美根

#### (2) 平成20年度の成果

#### (a) 業務の要約

重要施設の一部を再現した耐震構造・免震構造の2つの建物モデルに関して、E-ディフ エンスを用いた実規模実験を実施した。そのための建物モデルの構造及び設備の詳細設計 及び製作を行うとともに、加振計画及び複雑な挙動を示すと予想される建物モデル・内部 機器等の詳細計測・映像収録計画の立案を行った。立案した実験計画に基づき重要施設の 機能保持評価のための振動実験を実施した結果、短周期地震及び長周期地震動における耐 震構造・免震構造での機能保持性能が実証された。

#### (b) 業務の成果

#### 1) 試験体

#### a) 試験体概要

試験体は、一般的な医療施設を模した階用途構成とし、実大のスパン、階高を有する鉄 筋コンクリート(以下、RCと略す)造4階建とした。また構造形式として、上部構造と震 動台をボルトで緊結した場合の耐震構造、及びそれらの間に免震装置を介在させた場合の 免震構造の2種類の試験体を採用した。試験体の主な仕様を表1に示す。

衣I 武歌伴任	137
項目	仕様
構造、階数	RC 造 4 階建
質量	760t
高さ	16.55m(耐震)、17.115m(免震)
床面積	10m×8m(1 階あたり)

表1 試験体仕様

#### b) 耐震構造

試験体は、繰り返しの振動実験に耐えられること、及び地震直後においても機能保持が 求められる病院建築であるということを考慮し、現行の耐震基準における標準せん断力係 数 0.2 を 1.5 倍した 0.3 として設計した。

試験体の軸組図及び床伏図を図1に、部材断面リストを表2に示す。スパンは長辺方向 5m×2スパン、短辺方向8m×1スパン、階高は1、3階を3.90m、2、4階を3.40mと した。3階の階高が大きいのは、この階に設ける手術室に必要な天井高を確保するためで ある。

柱については、建物4隅に600mm×600mmの角柱、各隅柱の間には2100mm×300mmの壁柱 を配置した構造としており、この壁柱により局所階の崩壊を防ぎ耐震性能を高めることを 意図している。

基礎梁が成 1250mm、幅 2000m と大きいのは、本試験体を震動台へ設置するため実験施設 内の天井クレーン2基で揚重する際に試験体のひび割れによる RC 架構の剛性低下を極力 生じさせないためである。 試験体の荷重増分解析の結果を図2に示す。図には最大層間変形角1/100 で定義した場合の保有水平耐力もあわせて示めしているが、この時の保有耐力時層せん断力係数は、0.74 ~0.83 となっている。

耐震構造の実験では、試験体の基礎梁と振動台を PC 鋼棒 48 本のプレストレス力により 接合した。

#### c)免震構造

免震構造の実験は、免震装置を組み替えた2種類の免震システムについてメンテナンス 性及び機能保持性能を含めた各種性能の違いを評価する目的で実施した。

1つ目の免震システム(以下、「免震1」という。)は、天然ゴム系積層ゴムと鋼製ダン パー(U型ダンパー)を組み合わせた免震システムであり、積層ゴムを隅柱直下となる位 置に4基、鋼製ダンパーを試験体中央部に1基設置した。2つ目の免震システム(以下、

「免震2」という。)は、高減衰積層ゴムによる免震システムであり、高減衰積層ゴムを「免 震1」の積層ゴムと同じ位置に4基設置した。各システムに用いた免震装置の仕様を表3 に示す。なお、変位量30cmでの免震周期は「免震1」で2.56秒、「免震2」で2.41秒で ある。

それぞれの免震システムにおいて、上部構造と基礎の間で過大な変位が発生した場合の 対策として、構造体のまわりにストッパーとしての擁壁を各方向に4台ずつ、合計8台設 置した。「免震1」では上部構造と擁壁のクリアランス(可動範囲)を50cmとし、「免震2」 においては30cmとした。「免震2」でのクリアランスを30cmにしたのは、免震構造におい て過大な相対変位が発生し、周辺擁壁に衝突することを想定した実験を実施するためであ り、そのクリアランスの設定は事前の振動応答解析により決定した。





図1 試験体伏図

表 2 部材断面リスト

部 材	寸 法 (mm)
C1	600  imes 600
WC1	$2100 \times 300$
WC2	$300 \times 2100$
G1,B1	$(2F)250 \times 1250, (3 \sim RF)250 \times 900$
FG1	$2000 \times 1250$
FG2	1250  imes 1250
b1	300  imes 750
S1,cS1	150



表 3 免震装置仕様

	項目		仕様
		呼称 (形式)	R30-1000
	天然	ゴム外径 :mm	1,000
	ゴム系	ゴム総厚 :mm	285
	積層ゴム	水平バネ定数:kN/m	810
		鉛直バネ定数:kN/m	$2200 imes10^3$
「免震1」		呼称(形式)	$\mathrm{NSUD50}\! imes\!6$
	鋼製 (U型) ダンパー	ダンパー本数	6
		ダンパー板厚:mm	40
		降伏せん断力:kN	348
		初期剛性 : kN/m	12,500
		2 次剛性 : kN/m	216
		呼称 (形式)	$\mathrm{HH075}\! imes\!6$
		ゴム外径 :mm	750
「	高減衰	ゴム総厚 : mm	200
' 冗辰 4 ]	積層ゴム	等価水平剛性*:kN/m	1,370
		等価減衰定数*	0.24
		鉛直剛性 : kN/m	$3090  imes 10^3$

\*200mm 変位での等価剛性・減衰定数

d) 試験体製作

#### i) 躯体工事

医療施設を模擬した RC4 階建ての試験体の製作は、E-ディフェンス内東側屋外ヤードに て実施した。製作エリア図を図3に示す。

試験体は、実験棟内へのキャリアでの運搬を考慮し、あらかじめコンクリート架台6台 (2200×1500 H1700 4台(四隅)、2700×1300 H1700 2台(図4))を製作し、本架 台上で試験体の製作を行った。実際には周辺に配置された架台のみでは、試験体製作時に 中央部の荷重を支えることができないので、試験体下面の全面を支柱と角パイプで支保し ている。(図5)

配筋及びコンクリート打節は、基礎スラブ(基梁と1階床スラブ)、1節(1階柱梁と 2階床スラブ)、2節(2階柱梁と3階床スラブ)、3節(3階柱梁と4階床スラブ)、4節 (4階柱梁とR階床スラブ)の順で行い、各節型枠施工、配筋、コンクリート打節の一連 の工程を10~12日間で実施した。主な施工の状況を図6~図10に示す。

基礎スラブの底面には、免震用積層ゴムと、鋼製ダンパーを取り付けるためのプレート を設置している。積層ゴム用のプレートは2種類のフランジ径の異なる積層ゴムが設置で きるようになっている。





図4 コンクリート架台図





図5 支保工



基礎下型枠工事



免震用プレート



配筋・型枠

コンクリート打節後

図6 基礎工事状況



型枠





配筋・型枠

コンクリート打節後

# 図7 1階節工事状況



配筋

コンクリート打節後

図 8 2 階節工事状況



配筋・型枠

コンクリート打節後

図 9 3 階節工事状況



配筋・型枠



配筋



コンクリート打節後



防水処理後

図 10 4 階節工事状況

## ii) 内装施工

建物の各階では、空間を広くとるため構造体としての柱・壁は外周のみとしている。そのため部屋を分けるための間仕切り壁(軽量鉄骨に石膏ボード仕上げ)等を設けている。 各階の配置図を図11、施工状況を図12に示す。天井に関しては、1階と4階の情報通信 室以外すべて施工した。ただし、3階手術室は、手術室仕様の天井・壁となっている。

床の仕上げは長尺シートで仕上げている。また床には機器の移動などの観察用に建設用 の墨で 500mm 間隔の格子線を引き、さらに消失防止のため、けがきを行った。

1階と4階の情報通信室は、各階とも H100 と H450 の 0A フロアを施工し、それぞれの 段差部分はコンクリートブロックを設けた。



図 11 内装図面



間仕切り壁・天井下地

天井施工後



手術室 天井・壁施工後

OAフロア

図 12 内装施工状況図

#### iii)設備系

試験体に設置された主な設備としては、屋上に、耐震設計震度2.0の高架水槽(以下、 新高架水槽)、耐震設計震度 0.6 の高架水槽(以下、旧高架水槽)、及びそれに接続する給 水給湯管及び消火配管と排水配管である。屋上階の設備施工図を図13に、屋内の配管設置 状況を図14に示す。新高架水槽には、消火配管として100AのSGP管、給水配管として50A の IVP 管と 50A の SGP-VB 管が接続されている。これらは、屋上において約 125[mm]間隔で ブラケット架台上にUボルトで固定されている。一方、旧高架水槽からは、消火配管とし て 100A の SGP 管、給湯配管として 50A の SUS 管、50A の CUP 管が接続されている。これら は、屋上の置き基礎上に固定されているが、耐震支持はなされていない(構造躯体に固定 はしていない)。図15に配管の支持状況を示す。実験時には、これらにグラスウールの保 温材を巻いた上で着色鉄板によるラッキングを施した。これらの配管系は、全て建物内の PS に引き込まれ、旧高架水槽からの消火配管は、建物4階天井裏で横引きされ、スプリン クラー巻出し管に接続している。また、新高架水槽からの消火配管は、建物2階天井裏で 横引きされ、消火配管はスプリンクラー巻出し管と消火用散水栓に接続している。両高架 水槽からの給水給湯配管系は、1階天井裏で横引きされている。横引き配管から洗面器な どへの接続用取り出し配管は設置されておらず、端部はバルブの閉止端となっている。建 物内において主管(立て管)から分岐した横引き配管は、それぞれ口径 50A~20A の配管を

使用した。一方、排水配管は、4 階より PS 内に設置され、立て管は 100A の TMP 管及び DVLP 管を、横引き管は 75A の DVLP 管及び VP 管を使用した。

建物内の各配管の支持方法について述べる。立て管は、管種により階中間部でもサポートが施されている。横引き管は、天井からの自重支持がなされているが、特に耐震支持は なされていない。スプリンクラー巻出し管は、天井バーに固定支持されているものとされ ていないものが混在する。

実験時の配管内は、実際の使用状況とあわせるため、給水給湯管及び消火配管は、水を 充填し水圧を 0.4[MPa]に設定した状態とした。



図 13 配管施工図(R 階)



天井配管

天井配管 (エルボ)







屋上配管サポート(ブラケット) 屋上配管サポート(置き基礎) 図 15 屋上階配管支持状況

## iv) 各種機器の搬入方法

各部屋に設置するための医療機器等(試験体に配管施工等が必要な機器を除く)は建物 の内装等仕上がった後に搬入した。搬入方法は、2階から4階に関しては、建設用足場に 設置した仮設ステージ(図16、図17)から、各階の開口部(窓)から搬入した。1階は、 質量の大きい機器が主であったので、開口部(窓)には立ち上がりを設けず、フォークリ フトにより試験体1階ベランダに直接揚重し搬入した。





図 17 ステージ設置状況

#### v) 試験体の搬入方法

試験体完成後、試験体を実験棟内への搬入直前に、製作時に試験体下面の全面に設置していた支柱と角パイプを撤去した。このスペースに900tキャリアを引き込み、試験体を持ち上げ、実験棟内に搬入した。試験体の荷重が分散するようにキャリア上面に山止め(300mmH鋼)を20本敷いた。搬入ルートを図18に、試験体キャリア搭載図面を図19に示す。

また、搬入時の試験体(高架水槽含む)及びキャリア(定格走行時高さ)及びH鋼の総 高さは、実験棟大戸扉の高さ20mを若干こえるため、高架水槽の上面蓋及び点検用タラッ プを撤去し、さらに大戸扉通過時にキャリアの走行高さを下げて通過させた。試験体運搬 状況を図20に示す。

キャリアによる実験棟内への搬入後、震動台テーブル吊り治具及び吊りワイヤーを用い て、400t 天井クレーン2機の相吊りにより試験体をキャリアから揚重し、震動台に設置し た。試験体吊り揚げ図面を図21に、吊り上げ状況を図22に示す。震動台には試験体搬入 前に、コンクリート基礎、「免震1」用の積層ゴム及び鋼製ダンパー、擁壁をあらかじめ設 置しておいた。

試験体を震動台に設置した後に、高架水槽2台に給水を行い、サッシのガラス障子の取 り外しを行った。





図19 試験体キャリア搭載図



図 20 キャリア運搬状況



図 21 試験体揚重図面



図 22 試験体揚重状況

#### vi) 試験体震動台据え付け状況

実験では、免震構造である「免震1」から始まり、その後免震装置を組み替えた「免震 2」を行った後、免震装置を取り除いた耐震構造での実験を行った。それぞれの据え付け 状況等について述べる。

#### ① 免震構造

2種類の免震システムを用いた免震構造で実験を行っているが、1つ目は、天然ゴム系 積層ゴム4基と鋼製ダンパー1基を用いたシステムであり、2つ目は高減衰積層ゴム4基 を用いたシステムである。「免震1」基礎配置図面を図23に、基礎配置状況を図24に、「免 震2」の基礎配置図面を図25に示す。積層ゴム及び鋼製ダンパーと震動台の間に、高さ 300mmのコンクリート基礎を設置している。免震ゴムと鋼製ダンパー下のコンクリート基 礎は、それぞれ12本のPC鋼棒により震動台と接合されている。また、「免震2」では、鋼 製ダンパー及び鋼製ダンパー用のコンクリート基礎を撤去した。

「免震1」では、上部構造と擁壁のクリアランス(可動範囲)を 50cm とした。一方「免 震2」ではこのクリアランスを 30cm とするため、それぞれの擁壁を 180 度回転させかつ、 震動台との接続用ボルトの位置を変えて設置した。なお、本擁壁は、「免震1」、「免震2」 とも1 個あたり8本で接合しているが、変転させた場合において箇所が共有した穴になる よう工夫している。(1 個あたり12カ所の穴があり、4カ所は「免震1」と「免震2」で 共有)



図 23 「免震1」時基礎配置図



図 24 「免震1」時基礎配置状況



図 25 「免震 2」時基礎配置図

# 2 耐震構造

耐震構造では、免震構造での免震装置を取り除き、図26に示すように免震構造時に用 いていた積層ゴム下のコンクリート基礎4台と、長手方向に壁柱の直下に同様のコンクリ ート基礎2台を配置し、本コンクリート基礎を震動台と試験体基礎梁に挟み込んだ状態で、 PC鋼棒48本で接合した。コンクリート基礎を挟み込んだ理由は、試験体吊り上げ時に用 いた吊り治具の固定ボルトが基礎梁下でボルト止めされ頭を出しているため、直接試験体 を震動台に設置できないためである。



図 26 耐震時の基礎配置図

vii)盛り変え方法

実験では、「免震1」から「免震2」及び「免震2」から耐震構造への盛り換えを2回 行った。

「免震1」から「免震2」への盛り変え方法は、400t 天井クレーン2機を用いて試験体 を相吊りし、試験体を南側(油圧源棟側)に約8m程度移動させ吊り上げた状態にしてお き、50t移動式クレーンを用いて震動台基礎の西または東側から、北側に設置した天然ゴ ム系積層ゴム2基を高減衰積層ゴムへ変更し、さらに中央部の鋼製ダンパーとコンクリー ト基礎を撤去した。その後試験体を北側(制御室側に)約4m程度移動させ、南側に設置 した天然ゴム系積層ゴム2基を高減衰積層ゴムへ変更した。その後試験体を高減衰積層ゴ ム上に設置した。この際、計測用のケーブルは計測用のJ-BOX との結線を外すことなく実 施するため、あらかじめ盛り変え時の試験体の移動距離を考慮した余長(約8m程度)を十 分もたして設置しておいた。組み替え時の状況を図27に示す。また、試験体を設置した後 に各擁壁の組み替えを行った。

「免震2」から耐震構造への盛り換えも同様に、400t 天井クレーン2機を用いて試験体 を相吊りし、南北に試験体を移動させ、高減衰積層ゴムを移動式クレーンにより撤去し、 コンクリート基礎上に試験体を設置した。ただし、免震構造時にコンクリート基礎を固定 していた PC 鋼棒 (コンクリート基礎固定用) は撤去し、試験体を設置した後、基礎梁と震 動台にコンクリート基礎を挟み込んだ形で PC 鋼棒により接合している。なお、耐震時には 長手方向の中間部にコンクリート基礎が配置されているが、本コンクリート基礎2台は、 質量がかなり大きいことを考慮し「免震1」の各基礎を設置した時と同時に設置した。な お免震構造時には震動台と本コンクリート基礎を固定して動かない状態としておいた。擁 壁は「免震2」のまま変更及び撤去は行わなかった。



図 27 盛り変え状況図(試験体が南側に移動)

viii)搬出方法

すべての加振実験終了後、1日の観察日をおいた後、センサーと計測 J-BOX 間を結線した主な計測用ケーブルの撤去、高架水槽内の水の排出、屋上階の漏水対策シートの撤去を 実施した後に、搬入時とは逆の工程で試験体を東側屋外ヤードに搬出した。

屋外への搬出後、サッシの障子の取り付けを行い、保管状態とした。保管位置を図 28 に示す。



# ix)製作工程

主な試験体の製作工程に表4に示す。試験体の搬入、搬出、両盛り変え工事とも3日間 の工程で行ったが、それぞれある程度の余裕をもち完了した。



表 4 試験体製作工程

#### 2) 機器の配置状況

試験体内の各階の部屋の配置を図 29~図 32 に、主な部屋の状況及び機器・設備等の設置状況を図 33 に示す。1 階に撮影室、情報通信室、2 階に診察室、スタッフステーション、透析室、3 階に集中治療室(ICU)室、手術室、4 階に病室、情報通信室を設けた。一般の医療施設では質量がある医療機器は低層階に配置され、また滅菌の関係から手術室や ICU 室は中層階に設置されることが多い。そのため、本試験体の縦方向の部屋の配置は、通常の医療施設と比較して問題のない配置となっている。

各部屋の内部には稼働可能な医療機器も含め、実際の医療機器を多数設置し、通常の使 用状況を考慮した配置及び設置・固定状況として加振実験を行った。

1階と4階に設置した情報通信室は、近年の医療施設では患者のデータ管理のためのサ ーバー類も普及していることを考慮している。

なお、高圧酸素治療装置、人工透析装置、情報通信機器、気送管装置に関しては実際に 稼働させながら加振実験を行った。それ以外の撮影装置などは、放射線シールドの問題等 やさまざまな制約により稼働させることが困難であったため、地震による機器類の健全性 ではなく、機器の挙動観察及び様々な被害調査等にとどめることとなった。



図 29 1 階配置図



図 30 2 階配置図

![](_page_25_Figure_2.jpeg)

図 31 3 階配置図

![](_page_26_Figure_0.jpeg)

図 32 4 階配置図

![](_page_27_Picture_0.jpeg)

1階撮影室(CT スキャン)

![](_page_27_Picture_2.jpeg)

1階撮影室(一般撮影装置)

![](_page_27_Picture_4.jpeg)

1階情報通信室(サーバーラック)

![](_page_27_Picture_6.jpeg)

2階診察室

![](_page_27_Picture_8.jpeg)

2 階人工透析室

2階スタッフステージ

![](_page_28_Picture_0.jpeg)

![](_page_28_Picture_1.jpeg)

3階 集中治療室 (ICU)

3 階手術室

![](_page_28_Picture_4.jpeg)

4階 病室

4階情報通信室

![](_page_28_Picture_7.jpeg)

R 階 高架水槽

図 33 (b)各機器設置状況

#### 3)入力地震動

実験では、短周期地震動と長周期地震動を用いた。短周期地震動として、耐震構造及び 免震構造のそれぞれにエルセントロ波(1940, Imperial Valley Earthquake)、JMA 神戸波 (1995, Hyogoken-Nanbu Earthquake)を用いた。一方、長周期地震動として、東海・東南海 地震連動型(想定新東海地震)時に名古屋の三の丸地区で発生が予想されている地震動(以 下、「三の丸波」という)を用いた<sup>1)</sup>。また、耐震構造においては、首都直下というプロジ ェクトの対象地域を考慮し、関東地震を想定した時に横浜地区で発生が予想される地震動 (以下、「横浜波」という)を用いた<sup>2)</sup>。

加振実験で用いた入力波形を構造別に表5に、各地震動の時刻歴波形を図34に、加速 度応答スペクトルを図35に示す。

ここで、JMA 神戸波を 80%レベルとしたのは、耐震構造での実験において構造体の損傷、 崩壊をさけるため、事前応答解析により決定した。また、「免震2」においては免震構造の 鉛直方向での影響を評価するため JMA 神戸波において、水平2方向のみの加振と水平2方 向に鉛直方向を加えた3方向の加振を行った。

なお、地震動のNS成分を試験体の長辺方向(Y軸方向)にEW成分を短辺方向(X軸方向)に入力した。

また加振は合計6日間で実施した。実験時の日程を表6に示す。

構造	入力地震波	方向	レベル	加振順序
耐震	三の丸波	X,Y	100%	8 🔺
	横浜波	X,Y	100%	9
	エルセントロ波	X,Y	50cm/s	10
	JMA神戸	X,Y,Z	80%	11_V
	エルセントロ波	X,Y	50cm/s	1
免震1	JMA神戸	X,Y,Z	80%	2
	三の丸波	X,Y	100%	3
	エルセントロ波	X,Y	50cm/s	4
免震2	JMA神戸	X,Y	80%	5
	JMA神戸	X,Y,Z	80%	6
	三の丸波	X,Y	100%	7

表 5 入力地震波

![](_page_30_Figure_0.jpeg)

![](_page_30_Figure_1.jpeg)

![](_page_30_Figure_2.jpeg)

## 表 6 加振工程表

月	日	曜	実施項目	備考
	8	月	試験体搬入設置	
	9	火	試験体搬入設置	
	10	水	試験体搬入設置	
	11	木	実験棟内計測準備	
	12	金	実験棟内計測準備	
	13	土:	実験棟内計測準備	
	14	日	実験棟内計測準備	
	15	月	実験棟内計測準備	
	16	火	実験棟内計測準備	
	17	水	実験棟内計測準備	
	18	木	実験棟内計測準備	
12	19	金	実験棟内計測準備	
14	20	±.	実験棟内計測準備	
	21	日	実験棟内計測準備	
	22	月	免震1 加振実験1	
	23	火	観察日	
	24	水	観察日 (補修)	
	25	木	免震1 加振実験2	公開実験
	26	金	観察日、試験体盛り変え	
	27	土	試験体盛り変え	
	28	H	試験体盛り変え	
	29	月		
	30	火		
	31	水		
		_		
			加振日	

休日等

月	日	曜	実施項目	備考
	1	木		
	2	金		
	3	土		
	4	日		
	5	月	実験・計測準備	
	6	火	実験・計測準備	
	7	水	実験・計測準備	
	8	木	実験中止	停電により中止
	9	金	免震2 加振実験1	
	10	土	観察日、試験体盛り変え	
	11	日	試験体盛り変え	
	12	月	試験体盛り変え	
	13	火	実験・計測準備	
	14	水	実験・計測準備	
1	15	木	耐震 加振実験1	
Т	16	金	観察日	
	17	土	観察日(補修)	
	18	日	実験・計測準備	
	19	月	耐震 加振実験 2	
	20	火	観察日	
	21	水	観察日(補修)	
	22	木	耐震 加振実験 2	公開実験
	23	金	観察日(計測撤去)	
	24	土	計測撤去	
	25	日	試験体搬出	
	26	月	試験体搬出	
	27	火	試験体搬出	
	28	水	保管準備	
	29	木	保管準備	
	30	金	保管	

1

# 4) 実施体制

実験は表6に示す工程で業務担当者を中心に実施したが、加振前の機器類の設置状況確 認、加振後の機器類の観察・評価や、次工程のための機器類の復旧等に、以下に示す機器 提供を頂いた機関関係者に多大な協力を得た。ここに謝意を表す。

(株) ブリヂストン	鈴木	重信、鮫島	祐介
文化シヤッター (株)	嶋村	悦典、日高	和幸
(株) イトーキ	清水	俊也	
(株) 岡村製作所	中村	卓治	
(株)日本シューター	安達	和成	
攝陽工業(株)	吉谷	泰彰	
(株) セントラルユニ	元田	忠麿	
東レ・メディカル (株)	金山	洋二	
美和医療電機(株)	河尻	浩司	
ニプロ (株)	三橋	真	
パラマウントベッド(株)	小林	健一	
川崎エンジニアリング(株)	村主	久夫	
エア・ウォーター防災(株)	吉川	健一	
(株) アルダック	藤田	俊男	
摂津金属工業(株)	片岡	<u>一</u>	

大阪大学	高階	雅紀
有限責任中間法人 JISART		
(石川クリニック)	石川	元春

## 5) 計測計画

試験体並びに内部設備の挙動確認のため表7に示す約700点のセンサーの設置を行なっ た。計測点の内訳は、試験体:約180点、内部設備520点である。また、挙動の映像収録 を目的に、約50台のビデオカメラを設置した。試験体内部に実際の使用状況と同一の設置 条件で設置された機器の挙動確認が目的であるため、固定されず単に置かれただけの機材 が多数存在する。それらの機器は、加振による機器の移動量が過大になることなどを考慮 すると変位計での変位計測は困難であるため、加速度計のみの設置としている機器が多く 存在する。また、加速度計の設置に際しても、ケーブルが機器の動きを妨げないよう図36 に示すように天井よりケーブルの余長分をゴム紐にて釣り下げる工夫を行なった。図37~ 図64にセンサーの設置位置・カメラの設置位置を示す。

なお、躯体に埋め込まれたひずみ計のうち、ED-b1321及び ED-22B31 が断線、ED-21B31 及び ED-b2322 が絶縁抵抗の低下により使用不可能であった。

![](_page_33_Picture_3.jpeg)

図 36 計測ケーブルの余長処理

# 表 7 計測点一覧表

		センサタグ名称			44	-17 300		加速度センサ 35 刑							
	計測	位置(加速度)	-	1	1	1	サートキメ	示型 ック製			业 半和1	空 11章都			
			担当	機器	陪	物	TA-25H	TA-25E-10-1 AS-		IBM200	ASW-5AM36		AS-5	GBZ20	
							箇所	ch	箇所	ch	箇所	ch	箇所	ch	
		床応答加速度	ED	ST	0, 1, 2, 3, 4, 5	1	19	57			3	9			
	V 論 編.影 雪	高圧酸素治療器 2.違一些振影な夢	KA	KH	1	1					3	9			
	A際策影坐	ス称一版策ジ波直 CT	ED	CT	1	1					3	21			
1 F L		0 A 7 = 7	IK	OA	1	1,2	6	18							
	情報通信室1	19インチラック	ED	RA	1	1, 2, 3, 4	6	18							
		ヒクオス	BU	HI	1	1					1	2			
	外 (3通り)	防煙シャッター(SS2)	BU	EG	1	1					1	3			
		診療デスク(フリーセント)	OK	FL	2	1					2	4			
	診察室	超音波曲像診断装置(エコー)	ED	EC	2	1					1	3			
		診療育 糖収納2連引込引戸(1-425/9 <sup>7</sup> -)	BU	CS	2	1					2	4			
		ベッド	PA	DB	2	1,2	4	8							
		自動閉鎖装置式引戸(カームステイダー後付仕様)	BU	CS	2	2					1	1			
	人工透析室	透析装置(東レ)	TO	TR	2	1	1	3							
2 F L		透析装置(ニブロ)	NP	NC	2	1	1	3							
		カウンダー	ED	2C	2	1					1	3			
		7 × × × × × ×	IK	TA TA	2	1.2					2	6			
	スタッフ	混注テーブル	IK	KT	2	1					2	4			
	xy=292	メディトレイ(収納棚)	IK	MT	2	1					2	6			
		テーブル	IK	MR	2	1					2	6			
	外 (3通り)	セレスリーン/耐火クロス製防火・防煙スクリーンBJ型(SS3)	BU	BJ	2	1					1	3			
1		7-1パー732(電動分)(*(3-22747-)) 無影灯	BU	LU	3	2			e	10	1	1		1	
		シーリングペンダント	MI	CP	3	1			3	18	-				
		手術台	ED	OT	3	1	2	6							
		吸引器	EÐ	VC	3	1					1	3			
1	手術室	電気メス	ED	EL	3	1					1	3		L	
1		モニターラック	ED	MO	3	1					1	3		I	
9 12 1		淋野器	ED	AN	3	1					1	3		I	
SFL		15. 7 / 7 / 4 自己血回収装置	ED	AU	3	1					1	3		t	
1		天井パネル	MI	RP	3	1							2	6	
		バネル	MI	PA	3	1					4	12			
	前室	タンク	IS	TA	3	1, 2, 3, 4, 5					5	15			
		ベッド	PA	IB	3	1,2	4	8							
	I C U 室	ICU用ペンダント	CU	IP	3	1					6	18			
		1CU用ペンダント(ダミー) U_7F-9式雷動破ロ納什様引戸(カ-525/9 <sup>*</sup> -)	CU	ID LC	3	1					2	6		3	
		×yド	PA	SB	4	1, 2, 3, 4	8	16							
	河主	バーソナル個室ユニット	OK	PE	4	1	10	30							
		床頭==_7ト「7ィネスタ」	OK	FI	4	1	3	9							
		床頭==_7ト「797-7」	OK	AR	4	1	4	12							
		読書灯 (松下ST235)	EÐ	BL	4	1							1	3	
		点滴スタンド フラスレビア (きょいうがっ)	ED	DS	4	1					1	1	2	6	
		ハノイドドノ (# 40/17 ) 回転式防衛たれ壁ヤレウォール(SS1)	BU	KS	4	1	1	3							
4 F L		港取式防煙たれ壁C (SS5)	BU	MS	4	1	1	3							
		4方向ダイバーター(天井懐内)	NS	DI	4	1	1	3							
		エアコン	ED	AC	4	1	1	3							
		ヒクオス(折れ戸)	BU	HI	4	1					1	2			
	情報通信室 2	0 A 7 ¤ 7	IK	0A	4	1,2	6	18						-	
		194 277 277 1794-9- • 37-942	ED NS	AS	4	1, 2, 3, 4	2	24							
		椅子	ED	CH	4	1	-		1	3					
	廊下	ワゴン	TA	WA	4	1			2	4					
RFL		高架水槽(中古)	EÐ	0T	5	1					3	9			
		高架水槽(新品)	ED	NT	5	1					3	9			
		配管	ED	PA	1, 2, R	I			7	21	71	100		10	
							513	248	19	55	71	192	6	18	
ι		·													
				かいれ	ロバカチャ					変位センサ					
	計測	(変位)		L 2 9 1	2 2 40 MP			ワイ	ヤ型		レーザ型	歪型	ワイヤ型		
	11 0		担当	機器	階	物	pp	東京測器製	DD 00	共和電業製	KEYENCE	共和電楽製	1273)製	1	
		<b>岡田</b> 亦 <i>持</i>	ED	CT	01224	1	DP-500DS	DP-1000DS	DP-2000DS	DTP-D-2KS	LK-500	DIH-A-50	CE-65-M	i i	
		12 ··· · · · · · · · · · · · · · · · · ·	ED	C0	1.2	1	12	4	4		10		1	1	
		梁端回転角	EÐ	BE	1, 2	1	8	4						1	
		0 A 7 H 7	IK	0A	1	1,2						4		1	
1 階	情報通信室1	19インチラック	ED	RA	1	1, 2, 3, 4			6			ļ		1	
	影響中	ビクオス  Betrain 9 all 月二 月二 (A + 1-1-1-1)	BU	HI	1	1			1					1	
2 階	10 项重 人工透析室	12:4×〒2 座り12:5112*(J=A3719*-) 自動閉鎖装置式引戸(カ=ム3549*-終行什総)	BU	CS CS	2	2			1					1	
		リニアモーナ式電動引戸(カームスライダー)	BU	LC	3	2			1					1	
3 階	于帝室	手術台	ED	OT	3	1		4						1	
	ICU	リニアモータ式電動壁収納仕様引戸(カームスライダー)	BU	LC	3	1			1					1	
	痢室	ナースコール(子機)	ED	NC	4	1				1				1	
4 54		ヘノ1ドド「(I=437(9=) ドクオス(振れ戸)	BU	CS HT	4	1			1					1	
- 10	情報通信室 2	0A7¤7	IK	0A	4	1, 2, 3, 4			1			4		1	
1	_	19インチラック	ED	RA	4	1, 2			5	1			1	1	
		配管	ED	PD	2, R		5							1	
							25	12	22	2	16	8	1	1	
L							86							ł	
					4 11 11 14			×4 ·'		1 1		e to sh		للقرد ما	
計測位置(歪ゲージ))				センサ	7 // 名称		-	<ul><li> 迎 <i>( ( ( ( ( ( ( ( ( (</i></li></ul>			水位1	- イワ 水槽)	圧力1	: イサ テムFF1	
1	p1 09 15.		担当	機器	階	物	FLA-5-11-15LT	FLA-1-11-10LT	FLA-5-11-3LT		(R F		1223		
		躯体埋込	ED		1,2		68					s		1	
1階	情報通信室1	0 A 7 ¤ 7	IK	OA	1	1		4							
4 階	情報通信室 2	0 A 7 ¤ 7	IK	0A	4	1		4							
	1.01	記官 Treement and Man L	ED	PS	R			14							
る間	1.00	Leom- SZZZ P	CU	rЖ	3	4	ρo		8				1		
							98	22	8		合	計	70	)4	

センサタグ名称:(担当)-(機器)(階)(物)-(セパ種類)(位置)(方向)

![](_page_35_Figure_0.jpeg)

図 37 震動台上加速度計 設置位置図

![](_page_35_Figure_2.jpeg)

図 38 1 階加速度計 設置位置図


図 39 2 階加速度計 設置位置図



図 40 3 階加速度計 設置位置図



図 41 4 階加速度計 設置位置図



図 42 R 階加速度計 設置位置図



図 43 配管加速度計 設置位置図



図 44 層間変位計測 計測位置図



900 :

ED-BE21-DO

900

250

ED-BE21-D04

図 45 柱頭・柱脚・梁端回転計測 計測位置図





図 49 4 階変位計測 計測位置図



図 50 R 階変位計測 計測位置図







図 52 1 階柱頭部埋め込み歪ゲージ図





図 55 梁部埋め込み歪ゲージ図







3階ICUペンダント 吊架台基部歪ゲージ設置位置図 図 57



図 58 屋上配管サポート部歪ゲージ貼り付け位置図



図 59 震動台上カメラ設置位置図



図 60 1 階カメラ設置位置図



図 61 2 階カメラ設置位置図



図 62 3 階カメラ設置位置図



図 63 4 階カメラ設置位置図



図 64 R 階カメラ設置位置図

#### 6) 実験結果

## a)短周期地震動に対する耐震及び免震構造の結果

構造体挙動に焦点をあて、短周期地震動入力時における免震構造と耐震構造の地震応答 について述べる。

#### i) 短周期地震動に対する応答結果

表8に短周期地震動を入力した際の試験体各階床の最大加速度、最大層間変形角を示す。 水平動に関してはY方向(試験体長手方向)のみを以下の考察対象とする。

表 8 最大応答

地震波		免震構造								<b>工+ 雪· 地</b> 注								
		(免震1) 天然ゴム系積層ゴム+U型ダンパー				(免震2) 高減衰ゴム系積層ゴム				則反悟道								
		エルセントロ波 0.5m/s		JMA神戸波 80%		エルセントロ波 0.5m/s		JMA神戸波 80% (3軸)		横浜波		エルセントロ波 0.5m/s		JMA神戸波 80%				
軸		Х	Y	Х	Y	Z	Х	Y	Х	Y	Z	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Z
	R	1.87	1.64	2.49	2.82	5.37	2.12	1.82	2.24	2.69	6.21	18.33	15.49	12.59	15.76	17.22	22.10	9.31
	4	1.70	1.61	2.00	2.45	5.95	1.76	1.60	1.86	2.24	6.31	12.27	10.88	9.47	11.82	13.43	13.81	10.56
最大加速度	3	1.62	1.56	1.27	1.79	5.26	1.51	1.59	1.46	1.84	5.86	9.16	10.40	7.70	8.92	15.37	21.49	9.08
(m/s <sup>2</sup> )	2	1.63	1.57	1.50	1.98	5.12	1.50	1.61	1.40	1.94	5.65	7.12	7.26	5.45	6.14	13.04	20.32	5.99
	1	1.70	1.62	1.70	2.15	4.93	1.50	1.60	1.49	1.99	5.44	7.35	6.54	3.92	4.83	11.05	17.99	5.28
	Т	4.25	5.18	5.88	6.80	3.61	3.73	5.53	6.00	6.96	3.61	6.66	6.50	3.51	4.38	7.50	11.25	4.07
最大層間変形角 (×10 <sup>-3</sup> rad)	4	0.068	0.058	0.068	0.098	Ν	0.084	0.074	0.078	0.097		0.591	0.556	0.721	0.892	1.069	1.740	Ν
	3	0.088	0.082	0.105	0.134		0.102	0.092	0.102	0.132		1.102	1.089	1.192	1.466	1.647	2.320	
	2	0.125	0.119	0.130	0.190		0.130	0.126	0.119	0.169		1.502	1.335	1.408	1.903	2.065	2.845	
	1	0.087	0.089	0.119	0.153		0.097	0.115	0.091	0.161		2.016	1.484	1.598	2.047	2.830	2.889	$  \rangle$

## 水平動に対する応答

図 65 に(a)「免震1」と(b)「耐震」にエルセントロ 0.5m/s を入力した際の、各階床応 答加速度(Y軸方向)を示す。

「免震1」では、免震層を境に入力加速度 5.18m/s<sup>2</sup> が 1.62m/s<sup>2</sup> と 3 割程度に軽減してい る。加速度は上部構造では増幅することなく、1 階床で 1.62m/s<sup>2</sup>、屋上では 1.64m/s<sup>2</sup> とほ ぼ一定の値を保っている。表 8 に示すように上部構造の最大層間変形角は 1/5000 程度と非 常に小さく、上部構造がほぼ剛体として挙動したことが分かる。

一方、「耐震」においては入力した加速度が上層に向かうにつれ増幅し、入力 4.38 m/s<sup>2</sup> に対し、屋上は 3.6 倍の 15.67m/s<sup>2</sup>と、「免震 1」の約 10 倍となった。最大層間変形角も 1/500 と「免震 1」に比べ約 10 倍となった。

### 鉛直動に対する応答

JMA 神戸波 80%を用いて、鉛直動入力に対する「免震 2」における各階床の縦方向加速 度応答を考察する。表 8 より、「耐震」では入力加速度が 4.07m/s<sup>2</sup>に対し、最大加速度は 10.56 m/s<sup>2</sup>に 2.6 倍となった。一方「免震 2」では、入力加速度が 3.61m/s<sup>2</sup>に対し、屋上 階で 6.21 m/s<sup>2</sup>と 1.7 倍となった。鉛直動も免震構造は耐震構造に比べて相対的に緩和さ れる傾向がある。

「免震2」では、入力加速度が3.61m/s<sup>2</sup>程度であるのに対し、免震層を境に5.44m/s<sup>2</sup> と1.5倍となった。しかし上部構造では屋上階床6.21m/s<sup>2</sup>と1階床に比べ15%程度の加速 度の増加しか見られない。免震構造での加速度応答の増幅は、上部構造ではなく、主に積 層ゴムの鉛直振動によってもたらされたと考えられる。図66の各階床加速度応答のフーリ エスペクトルを見ると、免震層を境にフーリエスペクトルの分布と振幅が大きく変わって いる。特に上部構造の床応答で約11.5Hzの成分が増加している。この特徴は耐震構造の場 合は見られず、フーリエスペクトルのピークも6 Hz 前後であることから、11.5Hz の成分 は免震層の縦方向固有周波数に関係すると考えられる。

「免震1」でも、「免震2」と同様に入力加速度3.61 m/s<sup>2</sup>が免震層で37%増幅した後は、 上部構造では10%程度の増幅にとどまる。しかし「免震1」では、「免震2」ほどフーリエ スペクトルの11.5Hz 前後における増幅は明確ではなかった。免震層での増幅が、「免震2」 の50%に対して、「免震1」は37%であったことも考慮すると、「免震1」のほうが鉛直動に 対する減衰が大きい可能性がある。



図 66 鉛直方向応答加速度のフーリエスペクトル(JMA 神戸)

## ii) 耐震構造における固有周期の伸び率

耐震構造において、ホワイトノイズを用いたシステム同定を行った。各加振後の固有周期の変化(Y方向)を、耐震構造実験開始前の固有周期 0.24s からの伸び率として、モードごとに図 67 に整理した。

長周期地震動である三の丸波に対して「耐震」はほぼ弾性応答し、ひび割れもほとんど 生じなかったため、固有周期の伸び率は2%程度である。次の横浜波では、壁柱や梁端のひ び割れが進行し、最大ひび割れ幅は2層の梁端で約0.3mmとなった。結果、固有周期の全 モードの平均伸び率は17%程度まで進み、1次固有周期は0.29sまで伸びた。それに続く エルセントロ波0.5m/sは、Y方向の固有周期はさらに伸びて、固有周期の伸び率は平均25% 程度となった。JMA 神戸波80%ではY方向の2階壁柱下端に新たなせん断ひび割れが入った が、基本的にはこれまでに入ったひび割れの幅が最大のもので0.6mm程度にまで広がった。 その結果、1次固有周期は0.37sとなり固有周期の伸び率は平均48%になった。本実験で一 番大きなひび割れを生じたのは、梁下垂れ壁に貫通スリットを入れた3階梁端で、スリッ トの頂点からひび割れが進行し、JMA 神戸波80%後はひび割れ幅が1mmを越えた。



図 67 加振後の固有周期の伸び率

# iv)まとめ

短周期地震動に対する耐震及び免震構造実験で得た知見は以下の通りである。

- ① 耐震構造に対して免震構造は上部構造に入力する加速度は 1/3 程度になる他、躯体の損傷も最小限に抑えられる。
- ② 免震構造では、鉛直動の増幅は耐震構造に比べ抑えられる。免震構造における鉛直動の増幅はほぼ免震層で生じる。
- ③ 今回の一連の実験の結果、固有周期は全モード平均で50%ほど伸びた。

## b)長周期地震動による耐震及び免震構造の結果

耐震構造と免震構造に対して長周期地震動を入力した場合の結果について述べる。

### i)長周期地震

長周期地震動として用いた、三の丸波は、短周期帯域での成分も含まれているが、兵庫 県南部地震など主要な巨大直下型地震動と比較すると応答値は低い。一方、長周期帯域で の成分がかなり大きく、その卓越周期は、NS方向で約2.6秒、EW方向で約1.1秒と約3 秒で、応答値は400~600cm/s2となる。「免震1」(天然ゴム系積層ゴム+鋼製ダンパー) 及び「免震2」(高減衰積層ゴム)での変位量30cmでの免震周期はそれぞれ2.56、2.41 秒となり、免震の周期と地震動の長周期帯域での卓越周期が近接している。三の丸波での 加振は水平2方向加振とした。

### ii) 実験結果

耐震構造と2種類の免震構造での各階の応答加速度、層間変形、震動台との相対速度の 最大値を表9に、主要な時刻歴波形を図68に示す。収録時刻歴データは50Hzでローパス フィルター処理を施している。

耐震構造では、加振実験前の1次固有周期が、X、Y方向とも約0.24秒であり、三の丸 波の短周期帯域の卓越周期とは近接しているが加速度応答スペクトル値が小さいことと、 長周期帯域の卓越周期と構造物の固有周期とが離れているため、最大応答加速度は 273cm/s<sup>2</sup>、最大相対速度は48cm/s、最大層間変形は1mm以下であった。

一方、「免震1」及び「免震2」では、最上階の最大応答加速度は耐震構造に比べ小さいが、免震の周期と地震動の卓越周期が近接しているため、免震の周期で上部構造体が共振し、入力地震動より応答加速度が低減することはなく、むしろ「免震1」、「免震2」ともに約1.3倍(ただし「免震2」では衝突していない方向)に増幅されている。免震の固有周期で共振し、大きくゆっくりと揺れていることは、時刻歴波形からも確認できる。

構造体への被害としては、耐震構造及び免震構造ともに若干のへアークラックがみられる程度であり、耐震実験前後での試験体の1次固有周期は、加振前が0.244秒、0.238秒 (短辺、長辺)、加振後が0.244秒、0.244秒(短辺、長辺)であった。

なお、施設内部の被害状況は、それぞれの構造の応答加速度の様相とは一変し、免震構 造において施設の機能低下に関わる被害が多くみられた。詳細は後に述べる。

構造	Î	耐	震	免罰	雲1	免震2		
軸	X軸	Y軸	X軸	Y軸	X軸	Y軸		
	R	273	266	256	213	879	207	
目上	4	217	220	250	211	525	205	
一	3	188	165	248	208	507	205	
$(cm/s^2)$	2	183	151	246	204	541	203	
(Cill/ 3 )	1	198	143	244	203	603	203	
	Table	193	143	209	161	200	162	
最大速度 (cm/s)	Table	49.4	47.8	48.6	46.9	48.5	47.1	
最大変位 (cm)	Table	20.1	15.8	20. 2	15.8	20. 2	15.8	
	R	48	45	111	86	93	75	
最大相対	4	47	45	110	86	89	75	
速度	3	46	45	109	86	86	75	
(cm/s)	2	45	44	108	85	87	74	
	1	45	44	107	85	89	74	
	R	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03	
最大 屋門	4	0.05	0.04	0.06	0.04	0.13	0.04	
一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	3	0.05	0.05	0.07	0.06	0.12	0.05	
(cm)	2	0.07	0.07	0.06	0.07	0.13	0.06	
,	1	0.01	0 01	40.88	32 15	28 40	26 45	

表9 実験結果 (「免震2」のX軸方向は、擁壁と衝突あり)



# iii) 擁壁と衝突による影響(「免震2」での被害)

「免震2」では、擁壁と上部構造物の衝突が確認された。衝突時における各階の時刻歴 応答加速度の拡大図を図 69 に示す。この時刻歴は衝撃を確認するためハイパスフィルター 処理を行っていない。衝突は X 軸(短辺方向)でおき、正方向側で1回のみ衝突した。屋 上階で応答加速度が 1005 cm/s2 となり、衝突がない場合として「免震1」との比較ではあ るが、約4倍の加速度が衝突とは逆方向(負方向)に大きく観測された。また衝突後には、 建物の1次固有周期での振動が励起されているのがわかる。衝突が発生した時にかなり大 きな衝突音も確認された。しかし今回の衝突現象は、免震層の相対変位の頂上部、つまり 速度0付近で衝突したため、上部構造体及び擁壁等に大きな破損はみられなかった。 内部被害として、擁壁への衝突による被害としては、床に直接置かれた重量機器(約750kg)が数 mm 動いた程度で、それほど特徴的な被害はみられなかった。



iv)まとめ

E-ディフェンスによる医療施設を模擬した実大実験のうち長周期地震動を入力した場合の耐震構造及び免震構造の結果について報告した。

耐震構造においては、建物固有周期と地震動の卓越周期が異なることにより、構造的に も内部機能に関しても致命的な状況は確認されず、大きく機能を低下させることはなかった。

一方、免震構造においては、構造的な被害はなかったものの、免震周期と地震動の卓越 周期が一致することにより、長周期での共振現象がみられ、大きくゆっくりと揺れる現象 がみられた。これにより、建物の内では様々な被害がみられ、施設機能の低下などが確認 された。

長周期地震動は十勝沖地震や中越沖地震などでも観測されており、耐震対策手法として 非常に有効である免震構造とはいえ、ここの機器に対し地震対策を施した方が、より安全 で被害軽減及び機能保持につながるものと思われる。

#### c)高架水槽の長周期地震動による結果

試験体の屋上階に設置した高架水槽の応答について述べる。

#### i)高架水槽

屋上には、異なる耐震性能の水槽を2機設置し、加振により強度比較を検討することと した。材質は何れもFRP 製で有効貯水量が9.0m3(9.0t)である。1機は、長辺3m、幅2.5m、 高さ1.5mであり、耐震性が、旧仕様のため0.6Gである。水量は6.5tとした。もう1機は、 長辺3m、幅2m、高さ1.5mであり、耐震性の仕様は2.0Gである。水量は7.0tとした。こ こでは、それぞれを旧水槽、新水槽と呼ぶ。既往の計算式より、スロッシングの固有周期 は、水槽の寸法、水位より、新水槽のX方向で2.22秒、Y方向で1.67秒、旧水槽のX方 向で1.94秒、Y方向で2.22秒と推定した。

### ii) 高架水槽の応答結果

図70に、試験体屋上階の加速度応答スペクトルの0.1秒から10秒の成分を震動台X軸 方向とY軸方向について示す。ここでは、試験体が「耐震」、「免震1」と「免震2」の場 合に屋上で計測した加速度時刻歴を用いて、減衰5%で計算した。X軸の加速度応答スペク トルでは、地震動の卓越帯域の約1.1秒と約3秒近傍で応答が高い。特に「免震1」と「免 震2」では、試験体の固有値が地震動の卓越周期に近接しているため、「耐震」の応答の2 倍から2.3倍になっている。「耐震」では、試験体の固有周期が0.24秒近傍のため、その 帯域の応答値と1.1秒の帯域の応答が高い。ここで「免震2」のX軸方において、試験体 の固有値近傍の0.2秒の応答が大きくなっている。この理由であるが、実験時に免震基部 が変位ストッパーの擁壁へ衝突しており、これによる試験体の固有値の励起と考えられる。

試験体を「免震1」の状況とし、三の丸波を入力した際、屋上階に設置した新旧の高架 水槽のスロッシングが励起し、天板に設けられた蓋及びベンチレーターから水を噴出する とともに、特に旧水槽に関しては、蓋の止め具部分の破損により蓋が開き、大量の水がほ ぼ真上に噴出する状況が繰り返された(図71)。

図 72 に水槽の蓋付近に取り付けたフロート型水位計による水位の時刻歴を示す。実験 によるスロッシングの周期は、旧水槽で2.27 秒、新水槽で2.22 秒である。計算による X 方向の周期とほぼ一致していることから、X 方向のスロッシングが主に発生したと推測さ れる。またこれは、図 70 の加速度応答スペクトルにおいて、X 方向の2.2 秒成分が Y 方向 より大きいことから理解できる。次に、水位の振幅を見ると、120cm で頭打ちになってい る部分が 180 秒付近まで見られる。水位計での計測範囲以上に水位が上昇し、蓋に衝突し て外部に噴出したことが推測できる。試験体を「耐震」とした場合においても、地震動の 卓越周期によりスロッシングが励起し、水の噴出が見られたが、免震構造ほどの水量はな かった。この差異についても、図 70 に示した加速度応答スペクトルの2.2 秒近傍の成分が、 免震時のスペクトルと比べ小さいことから理解できる。本実験では、タンク側壁等の構造 体の破損は無かったが、基部のボルトの緩みが生じた。

視点が変わるが、長周期成分の地震エネルギーが水槽のスロッシングを励起するために 入力したことは明らかである。水槽が無い場合との比較を想定すると、建物の応答を低減 した可能性もある。今後、特に長周期地震動による免震構造の大振幅応答の回避を考得た 場合、免震状態の構造物に TMD またはセミアクティブ、アクティブのダンパーを取り付け たハイブリット免震<sup>3)</sup>も有効かもしれない。本研究では、兵庫県南部地震で観測された地 震動を入力とした実験データも取得している。この結果を踏まえ、上記についても引き続 き検討したい。



iii)まとめ

医療施設を想定した試験体に、長周期成分を含む地震波の加振を行い、試験体に設置し た高架水槽の応答例を得た。実験では、免震の固有値に近い長周期の成分により、試験体 が応答し、それに呼応して、実験当初に想定してなかった、水槽のスロッシングによるタ ンク蓋の破損、水の噴出が発生した。これらの現象からは、水槽へ水を自動的に汲み上げ る機器、センサー等の異常動作、損傷等の発生も懸念される。長周期成分を含む地震の発 生を想定し、施設の機能保持を進めるにあたり、特に、免震建物の水槽の設置では、免震 の固有周期とスロッシング周期の検討により、応答の増幅を回避する対策を講ずる必要が ある。



図 71 蓋が破損し水が噴出した瞬間の映像 (三の丸波の加振時)



図 72 新水槽の水位(上図)と旧水槽の水位(下図) (三の丸波による加震時)

# d) 情報通信設備の結果

情報通信設備の実験結果について述べる。

### i)情報通信設備

図 73 に示すように、医療施設の機能保持評価に用いた建物の1階と4階に、情報通信 の要となるネットワークオペレーションセンター(NOC)を再現した。部屋の再現にあたり、 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ている。



図 73 NOC 平面図

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の問題点を検証するため、設置条件として以下の6種類(図 75 内の番号参照)を設定した。

- (1) ラックの移動時に使用するキャスターの状態で、ただ置いたもの
- (2) (1)の状態から、キャスター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 フロア上に置いたもの
- (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を使用して OA フロアに固定したもの
- (5) (2)の状態のラックを2連結したもの
- (6) (4)の状態のラックを2連結したもの

なお、実際の通信機器の挙動を調査するため、(4)及び(6)のラックに実際に機器を設置 し、稼動状態とした。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 としている。 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なわれる設 置方法として、床スラブ上に直接 OA フロアと独立した架台をアンカー固定し、その架台上 にラックを設置することで挙動確認を行なった。ここでは、H=100mm 及び、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 条件を設定した。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=100のラ ックには、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 600kg、連結のラック(10)には、ラック1本当たり 700kg、合計 1400kg を積載した。

通信機器稼動状態での検証を行なうため、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。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 台をルーターとして設定することで、すべての機器を一筆書に接続 し加振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。 加振実験時には、外部に設置された 2 台の計算機の一方から他方へ、帯域使用率が 90%以 上となるような高ネットワーク負荷の通信アプリケーションを用いて通信を行なうことで 実際の機器の稼働条件に近づけた。

## ii) 免震構造での実験結果

免震構造では、1階の(1)キャスターで置かれたラックのみ移動がみられた。エルセン トロ波 50 cm/s 及び JMA 神戸波 80%の短周期地震動では、加振前後の機器中心の移動量は、 50 cm 程度であったが、長周期地震動である三の丸波では、150 cm 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、1 cm 程度の移動が(5) にみられた。「免震 2」実験で発生した擁壁との衝突時には、レベルフットで固定された(2)、 (5)のラックでも1 cm 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)及び、レベルフットの押さえ金物により0A フロアに固定した(4)、(6)では、 移動は見られなかった。(図 74)

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ー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。

### iii) 耐震構造での実験結果

耐震構造における長周期地震動の影響を確認するため用いた三の丸波では、1階の(1) キャスターで置かれたラックのみ50cm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)及び接地面にゴム張りを行なった(3)についても最大で50cm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 トが何れも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、揺動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はなく



加振前



加振後





加振前

加振後

視野B

図 74 1階情報通信室 免震・三の丸波 加振前後

ラックの移動量も、1cm 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。(図 75)

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ーボルトの破損が生じていた。

稼動中の通信機器については、機器の出力するログ情報から機器単体として、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、試験体外部に設置した2台の計算機間での通信速度が、静止時 900Mbps 程度であったものが、加振中に一時400Mbps 程度まで低下したが、加振終了後に は、回復した。

最後に、0Aフロアについては試験全体を通して、1階、4階とも、フリーアクセスフロ ア工業会による1995年兵庫県南部地震の報告4)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。



加振前

加振後

視野A



加振前

加振後

視野B 図 75 1階情報通信室 耐震・JMA 神戸波 80% 加振前後

iv)まとめ

E-ディフェンスによる医療施設を模擬した実大実験のうち情報通信設備についての耐 震構造及び免震構造の結果について報告した。免震構造では、免震装置の擁壁との衝突と いう特殊条件下を除いて簡単な対策で十分な耐震効果が挙げられることが分かった。他方、 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。

### e) 設備系配管の実験結果

免震状態の加振においては、旧高架水槽の損傷と溢水が生じたが、配管類については特 段の損傷、異状は認められなかった。耐震実験では、JMA 神戸波 80%による加振後に設備配 管の被害状況を調査した。

### i)屋上配管

旧高架水槽からの引き出し管では、水槽からの給水継手部からの漏水発生と、水槽固定 金物の、接続配管ラッキング材への食い込みが確認された。また、加振により、旧高架水 槽からの引き出し配管の自重支持用置き基礎の傾き及びずれが発生した(図 76)。



### 図76 置き基礎実験後(傾き)

一方、新高架水槽からの引き出し管では被害は確認されなかった。これらの配管に使用 していた配管サポートのひずみは最大でも 200µ以下であり、十分な裕度を有していたと考 えられる。

### ii) 屋内配管

立て管及び横引き管のいずれにおいても、特にずれや損傷、簡易型サポートの抜けなど の被害は確認されなかった。2階に設置されていた消火用散水栓は、前面扉が開放状態と なったが接続配管には被害はなかった。スプリンクラーヘッド直上部の突き出し配管を天 井バーに固定していないものでは、スプリンクラーヘッドの化粧カバーの落下が確認され たが、配管の機能を損なうような損傷は確認されなかった。目視確認された配管の漏水は、 旧高架水槽の給水継手部のみであったが、漏洩の確認のため実験後に配管の残圧を調査し た。配管の系統と残圧を表 10 に示す。一部の配管では 0.1~0.2[MPa]と、内圧低下が明確 に確認され、実験中に系統内で漏れが発生したものと考えられる。

地震時における配管の被害は、配管を支持する部分の相対変位により配管が許容値以上 の変形を受ける場合、もしくは、配管本体の振動、配管に付属する機器、弁等の振動によ り損傷を受ける場合に大別される 5)が、本加振実験における構造体の層間変形は、最大で 11.5[mm](1層Y方向)、層間変形角で約 0.003[rad]と小さかった。また、立て管には階の 中間でのサポートがあり、横引き管には配管本体と比較して重量の大きい弁等が接続され ていなかったこと等から配管本体の振動による被害も生じにくい状態にあり、屋内配管の 被害がほとんど生じなかったものと考えられる。

表 10 配管の残圧

古加水槽	<b>エ</b> コ <i>た</i> た	内圧初期値	残圧
尚栄水槽	配官	[MPa]	[MPa]
	SGP100A		0.35
新高架水槽	IVP50A		0.3
	SGP50A	0.4	0.2
口百加水埔	SUS50A		0.12
山同禾小僧	CUP50A		0.1*

<sup>\*</sup>計測不備あり(計測時空気混入)

# iii) その他配管

本試験体には上記の一般的な建築設備系配管以外に、病院特有の機能に対する系統とし て、酸素、圧縮空気、吸引の医療ガス用配管、及びエアシュータが整備されていたが、こ れらの配管及びエアシュータにも特に被害は見受けられなかった。エアシュータは、設置 状況から他の機器の転倒・衝突により損傷を受ける可能性があったが、本実験では他機器 による損傷も確認されなかった。

# iv)まとめ

実大の建築構造物に設置された設備配管系について、震動台実験による被害を調査した。 耐震対策の施されていない屋上配管では、基礎のずれや高架水槽との接続部における漏水 が生じたが、耐震支持された屋上配管には被害は生じなかった。屋内配管では、立て管、 横引き管のいずれにおいても被害は確認されなかったが、残圧調査の結果からは、実験中 に漏れが生じた可能性がある。

## f) 天然ゴム系積層ゴム+鋼製ダンパーと高減衰積層ゴムの応答性状

震動台実験は、2種類の免震システムを組み替え、それぞれのシステムでの免震性能、 メンテナンス性、及び機能保持性能を含めた各種性能の違いを評価する目的で実施した。 ここでは、免震システムの違いによる応答性能について述べる。

i)免震システム

繰り返しになるが、1つ目の免震システム(以下、「免震1」という。)は、天然ゴム系 積層ゴムと鋼製ダンパー(U型ダンパー)を組み合わせたものである。2つ目(以下、「免 震2」という。)は、高減衰積層ゴムによる免震システムである。

まず、「免震1」は、実験システムの都合上、上部構造体の四隅に天然ゴム系積層ゴム を設置し、鋼製ダンパーを中央部1カ所に設置した。本鋼製ダンパーは設置方向による性 能差はないが、今回の実験ではスペースの制約により中央部1ヵ所のみの設置となり、上 部構造体のねじれる可能性がある。また、本鋼製ダンパーは、部材本数を増減させること により比較的容易に減衰力を変えられ設計自由度は高い。一方、ある規模の地震後には、 部材の塑性により残留変形が発生することが考えられる。首都直下地震など本震後に余震 が多数発生することが予測される場合は、残留変形が性能に及ぼす影響を検討することが 必要と思われる。

「免震2」は、高減衰積層ゴムを用い、ゴム自体がエネルギー吸収性能を有しているため、別途ダンパーを必要とせず設置コンパクト性に優れる。また、大地震後でも極端な性能低下は生じないと考えられる。しかしながら、復元機構と減衰機構が一体となっているため、設計の自由度が制限される。また、性能の温度依存などの特性を適切に考慮する必要が有る。

### ii) 実験結果

これら2つのシステムの応答特性、及び減衰特性を比較するため、周期(剛性)を以下 の通りほぼ同じレベルに設定し実験を行った。

それぞれの免震固有周期は、「免震1」では 30cm 変位時の等価周期として 2.56 秒、50cm 変位時で 2.70 秒となり、「免震2」では 30cm 変位時で 2.41 秒、50cm 変位時で 2.52 秒となる。

加振は「免震1」及び「免震2」ともに、エルセントロ波、JMA 神戸波、三の丸波の順 で実施した。震動台実験の最大応答値を表 11 に、時刻歴波形を図 77 に示す。表 11 の三の 丸波加振は、上部構造体をX方向の周辺擁壁に衝突させたため Y 軸の最大応答値を示す。 それ以外の加振は水平方向で合成したそれぞれの最大応答値を示す。時刻歴波形は、入力 加速度、一階応答加速度、免震層相対変位、及び吸収エネルギーを「免震1」、「免震2」 でそれぞれ示している。

これより、両システムともエルセントロ波、及び JMA 神戸波では、免震周期の違いによ る影響のため多少差はみられるが、ほぼ同程度の応答加速度低減性能が実現できている。 また、免震層の相対変位は、「免震2」に対して「免震1」の方が約10%~20%程度大きく なった。 一方、三の丸波では免震周期と地震波の卓越周期が近接しているため、免震効果による 応答加速度の低減は見られなかった。また、相対変位は、他の地震波と同様に「免震2」 に対して「免震1」の方が約20%大きくなった。

吸収エネルギーを見ると、地震波によりシステム間の総吸収エネルギー量の大小が異な ったが、免震システムの違いによる顕著な差は見られなかった。

各入力地震波における免震システムの履歴特性を図 78 に示す。これより、「免震1」に 対して「免震2」の剛性が約 10~20%程度高くなっている。この違いが応答変位の差の要 因の一つであると考えられる。なお「免震1」において上部構造のねじれはほとんどみら れなかった。履歴曲線の形状を見ると、システムの違いにより曲線形状は異なるが、両シ ステムとも負勾配の発生など復元力特性の乱れは無いことが分かる。

また、三の丸波での免震装置のエネルギー吸収量は、エルセントロ波の 6.5~7倍, JMA 神戸波の 8 倍~11 倍となった。今回免震装置の温度計測は行っていなかったが、「免震 1 」 において、三の丸波加振後鋼製ダンパーは触ることができないほど高温になっているのが 確認されている。これらより長周期地震動では短周期地震とは比較にならないほどの膨大 なエネルギー吸収の能力が必要となり、設計時においてこれらに十分配慮したほうがよい と考えられる。また、三の丸加振前後の鋼製ダンパーの写真を図 79 に示す。部材が変形し ており、本震後に余震が多数発生する場合など、継続使用の検討が必要と思われる。

同様に、「免震2」の高減衰積層ゴムの長周期地震時の特性、また大規模地震後の特性 など首都直下地震などで想定される事項の検討を行う必要がある。

地震波		エルセン	ントロ波	JMA神	戸80%	三ノ丸波Y		
最大値		免震1	免震2	免震1	免震2	免震1	免震2	
	R	211.8	235.7	294.5	268.3	212.7	206.7	
	4	187.1	202.0	250.4	224.5	210.6	205.2	
加速度	3	175.2	179.1	194.1	194.5	207.6	204.7	
cm/s <sup>2</sup>	2	175.3	179.7	205.9	203.0	204.0	203.3	
	1	185.8	179.1	222.1	207.2	203.2	202.8	
	Т	527.8	565.3	756.3	724.4	161.4	161.9	
免震変位	cm	21.3	17.6	22.2	20.3	32.2	26.4	
免震荷重	kΝ	1364.3	1408.2	1426.5	1503.3	1617.8	1604.5	

表 11 最大応答值結果

三の丸波は、「免震2」において衝突したためY軸の結果とした。



(a) エルセントロ NS 波(左:「免震1」,右:「免震2」)



(b) JMA 神戸 NS 波(左:「免震1」,右:「免震2」)
図 77(i) 実験結果(時刻歴波形)



(c) 三の丸 EW 波(左:「免震1」,右:「免震2」)
図 77(ii) 実験結果(時刻歴波形)



(c) 三の丸波(左:「免震1」,右:「免震2」)図78 免震装置履歴特性



三の丸加振前 図 79 鋼製ダンパー

三の丸加振後
# g)自動閉鎖式引き戸及び折れ戸の結果

病院・福祉施設等に施工される、自動閉鎖式引き戸及び折れ戸の結果について報告する。

# i) 扉の設置状況について

建物試験体(4階建て、RC造)の各階に自動閉鎖式引き戸及び折れ戸を設置している。 設置した引き戸(手動及び電動)、折れ戸(手動)の概要を図80、図81に示す。各試験体 の配置を表12に示す。引き戸は上吊り式であり、上部にレールを配し、吊り金具2個で扉 を吊っている。扉の自閉機能をもたせるため、定トルクばねを用い、吊り車に定トルクば ねのワイヤーを取り付けている。また吊り車には外れ止め金具を取り付けている。



(a) 引き戸写真

(b) 引き戸(CS41)断面図

r:)@>+ t2

市下

図 80 引き戸



図(a) 折れ戸写真

縦断面図

(b) 折れ戸(HI41) 断面図

図 81 折れ戸

階数	試験体 No.	設置箇所	製品	W×H
1F	HI11	X線撮影室	折れ戸、手動	$1200 \times 2100$
2F	CS21	診察室	引き戸、手動、2連引き込み	$1987.5 \times 210$
1777 M	CS22	人工透析室	引き戸、手動、後付仕様	$2625 \times 2100$
3F	LC31	ICU	引き戸、電動	$2570 \times 2100$
	LC32	手術室	引き戸、電動	$2480 \times 2100$
4F	CS41	病室	引き戸、手動、壁収納仕様	$2570 \times 2100$
	HI41	情報通信室	折れ戸、手動	$1200 \times 2100$

表 12 扉の配置

電動タイプの引き戸は手動の構造に加え、リニアモータを配して、電動で開閉できる構 造としている。

折れ戸は親扉・子扉の構成で、親扉・子扉間の連結金具で両方向に折れ、子扉の戸尻に はオートヒンジを設置、ヒンジ内のばねとダンパーで自閉機能を実現している。また親扉 は上吊り構造となっており、中央部にハンガー吊り車を設置してレールから吊っている。

引き戸は扉の応答を加速度計及び変位計で測定し、折れ戸は親扉の加速度を加速度計で、 ハンガー吊り車の変位を変位計で測定した。

## ii) 扉の実験結果について

図 82 に、免震・三の丸波、2 階・人工透析室の手動引き戸(CS22)の応答を示す。引 き戸(CS22)は全開、全閉(変位 130[cm])を繰り返し、戸当りに当たったときの衝撃で 加速度が大きい値を示している。この時の衝撃によって扉機構部内の緩衝装置及び戸当り に塑性変形が残ったが、開閉機能には特に問題はなかった。

耐震、横浜波において、加振開始25~30秒で4階・病室の手動引き戸(CS41)のレー ルから吊り金具が外れ、扉が脱落した。(図83)脱落の際、吊り金具に取付けられていた 外れ止め金具は塑性変形していた。脱落した引き戸(CS41)の応答を図84に示す。

また三の丸波を除く耐震試験において、折れ戸(HI11及びHI41)のレールからハンガ ー吊り車が外れた。耐震・JMA神戸波、折れ戸HI11の応答を図85に示す。加振開始8~10 秒後にハンガー吊り車が外れた。(図86)

上吊り式の引き戸・折れ戸では、扉が振り子のように振動する固有振動モードを持つ固 有振動数が比較的低い周波数帯に存在する。扉の動特性が影響して扉に大きい加速度が発 生し、吊り金具・吊り車が外れた可能性がある。

iii) まとめ

病院・福祉施設で採用される引き戸や折れ戸は開閉力を小さく設定している。このため 地震時には扉が大きく移動している。特に免震では全閉・全開を繰り返しており、人との 衝突の可能性がある。

対策として、地震時の発生加速度で扉をロックする機構の追加を検討していく。

機能保持上の問題点としてレールからの吊り金具・ハンガー吊り車の外れが挙げられる。 吊り金具・ハンガー吊り車の外れにより扉としての機能を喪失するだけでなく、扉が脱落 し、人や他の機材に危害を加えてしまう。実験では脱落した扉が病室内のベッド及びキャ スター付机の上に覆いかぶさるように倒れていた。

対策として、本実験で得られたデータを基に、地震時に発生する荷重でも脱落しないよ う、外れ止め金具の形状及び構造の見直しを進めていく。









図 85 耐震・JMA 神戸波 折れ戸 HI11 応答



図 86 折れ戸吊り車脱落

## h) 主な医療機器及び什器の挙動について

内部に設置された医療機器及び医療什器の挙動について、地震動と構造の違いによる結 果について述べる。

## i)短周期地震波(JMA神戸波等)による機器の挙動

短周期地震動に対して、キャスター付什器(ロックフリー)と床直置き什器の挙動に焦 点をあて、免震構造、耐震構造の場合について比較する。図 87 にエルセントロ波 0.5m/s 入力時の2階ナースステーションの加振前後の状態を示す。各階の短周期地震波による加 振前後の機器状態を計測した結果を,免震構造および耐震構造ごとに図 88 に示す。

## ①免震構造での挙動

キャスターをロックしたキャスター付機器およびキャスター無しの機器では、免震効果 により床応答加速度が低減したため、他のキャスター付什器(ロックフリー)との衝突と いった外因があった場合を除いて加振による移動はほとんど観察されなかった。しかし鉛 直動が加わった場合では、CT スキャンが 50mm 程度移動するなどの現象も少数ではある がみられた。

キャスターフリー機器(ロック解除したキャスター付機器)では振幅 500mm 程度のゆっ くりした反復移動が観察され、残留移動量の最大値は 2m以上になったものもあった。

また転倒については、キャスターフリー機器・キャスターロック機器・キャスター無し 機器のいずれでも観察されなかった。免震構造の条件下では、免震装置により振幅の大き なゆっくりした揺れが発生するため、キャスターフリー機器の累積移動量が大きくなる結 果となっていた。

## ②耐震構造での挙動

キャスターロック機器およびキャスター無し機器については、床応答加速度が大きいた め、移動する機器がいくつかみられ、また機器移動がない場合でも収納物の飛び出しや積 載物の落下が観察された。

キャスターフリー機器では、最大加速度の加振衝撃により 500mm 程度移動した後、その 場で小刻みに振動する様子が多く観察され、残留移動量の最大値は 2m 近くになっていた。



 加振前
 「免震1」
 耐震

 図 87 実験前後の室内状況(2階スタッフステーション)



図 88 短周期地震波 (JMA 神戸波) による実験後機器状態

## ii)長周期地震波(三の丸波)による機器の挙動

長周期地震波に対する免震構造、耐震構造の場合について内部機器の挙動を比較する。 耐震構造と免震構造の主な施設内の被害を表 13 にまとめた。また、図 89 に免震構造での 実験後の被害状況を示す。各階の長周期地震波による加振前後の機器状態を計測した結果 を、免震構造および耐震構造ごとに図 90 に示す。

## ①免震構造

他の移動した機器が衝突し移動する現象を除き、キャスターロック機器およびキャスタ 一無し機器の移動はほとんどみられなかった。

ー方でキャスターフリー機器については、残留移動量が多くの機器で2m程度、最大で 3.5mとなる結果であった。キャスターフリー機器が移動により他の機器等に衝突し転倒す る状況や、かなりの速度で他の機器などに衝突しそれらを損傷する状況が多数みられた。 手術室壁パネルと壁ボードの損傷も機器の衝突が原因である。また、先に述べたスライド 式扉や屋上階に設置した新旧の高架水槽についても被害がみられた。

長周期地震波に対する免震構造は、床応答加速度はそれほど大きくはないが、共振現象 により建物がゆっくりと大きく長時間揺れるため、キャスターフリー機器の大幅な移動が 観察される結果となった。

## 2 耐震構造

キャスターロック機器およびキャスター無し機器では、免震構造の場合と同様にほとん ど移動はみられなかった。

またキャスターフリー機器については、1m程度の移動は観察されたものの、その移動 量は免震構造の場合と比較して小幅であった。

	耐震構造	免震構造
キャスター機器(フリー)	1m程度の移動	3.5m程度の移動
X線撮影装置	移動あり	本体の脱線
液体窒素タンク	移動あり、転倒なし	衝突により転倒
機器の転倒	なし	衝突により転倒
手術室壁パネル	被害なし	機器衝突により損傷
壁ボード	被害なし	機器衝突により損傷
スライド式扉	被害なし	激しい開閉と破損
高架水槽	蓋より溢水	蓋の損傷及び溢水
重量物の移動	なし	なし

#### 表13 内部被害の比較表





図 89 免震構造での実験後状況

iii) まとめ

医療機器・什器の地震発生時の挙動は、地震波の特性(短周期地震波/長周期地震波)、 免震構造/耐震構造、固定の状態(キャスターフリー/キャスターロック/キャスター無 し)といった諸条件により大きく影響されることが分かった。

短周期地震波に対して、免震構造では、キャスターフリーの機器の移動がみられたが、 大きな機能低下はみられなかった。一方、耐震構造では、ほぼすべての機器の移動、扉の 脱落、収納物の飛び出しや積載物の落下が観測され、著しい機能低下が推測される結果と なった。

長周期地震動に対して、免震構造では、キャスターフリーの機器の過大な移動が発生し、 手術室や病室で大きく走り回る状況が観測され、壁などに衝突し損傷するなどかなりの被 害が確認された。このような被害において手術室などでは滅菌状態の継続が困難であり、 手術室の継続使用は困難であると推測される。一方、耐震構造では、キャスターフリーの 機器の移動がみられたが、大きな機能低下にはつながるものでないと推測される結果とな った。

以上のように、耐震構造での短周期地震での機能低下対策の必要性および、免震構造で のキャスターフリー状態の機器の対策の必要性などが確認された。



図 90 長周期地震波(三の丸波)による実験後機器状態

# (c) 結論ならびに今後の課題

重要施設のための実大試験体の建築系、構造系及び設備系の詳細設計を行った。なお設 計については、別節において述べる。本詳細設計に基づき試験体を製作した。同時に実験 における各種計画、加振計画及び計測計画等の実験計画の立案を行った。

製作した試験体を用い、立案した実験計画に基づき重要施設の機能保持評価のための実 大実験を E-ディフェンスを用い実施し、内部機器の挙動等の詳細計測及び映像収録を実施 し、本来の目的を達成できた。

また、実験で得られた詳細な結果については本文に述べたとおりであるが、ここでは主 な結果のまとめを下記に記載する。

- 短周期地震における耐震構造での機能保持性能の著しい低下が認められた。
- 短周期地震における免震構造での機能保持性能が実証された。
- 長周期地震動における免震構造での内部キャスター機器の過大な移動及び激しい衝突がみられ、機能保持性能の低下が認められた。

今後は、機能低下がみられた条件において、その対策方法を含めた検討を行う必要があ ると考えている。

# (d) 引用文献

- 1) 中部地方整備局、名古屋三の丸波 設計用入力地震動について、中部地方整備局 HP
- 2) 佐藤·壇、免震構造設計指針、日本建築学会、pp. 263-274
- 3) 関 松太郎・鈴木哲夫・蔭山 満・野畑有秀・岡田 宏・武田寿一:構造物の制振に 関する研究(その1.概論),日本建築学会大会学術講演梗概集,pp503-504,1988.10
- 4) 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年
- 5) 日本機械学会、「阪神・淡路大震災での機械設備の被害調査写真集」、第7章、1996 年

## (e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果(発表題目、口	発表者氏名	発表場所	発表時期	国際・国
頭・ポスター発表の別)		(学会等名)		内の別
地震災害時における医	井上 貴仁	平成21年度 日本	2009.6	国内
療施設の機能保持評価	佐藤 栄児	建築学会近畿支部		
のための震動台実験概	酒井 久伸	研究発表会		
要	福山 國夫			
- 地震災害時における	鎌田 崇義			
医療施設の機能保持評	小林健一			
恤のための 晨 動	筧 淳夫			
	中島 正愛			

短周期地震動に対する	古川 幸	平成21年度 日本	2009.6	国内
耐震および免震構造の	佐藤 栄児	建築学会近畿支部		
応答性状	紀暁東	研究発表会		
- 地震災害時における	井上 貴仁			
医療施設の機能保持評	酒井 久伸			
価のための震動台実験	福山 國夫			
(その2)-	筧 淳夫			
	小林健一			
	中島 正愛			
長周期地震動による耐	佐藤栄児	平成21年度 日本	2009.6	国内
震および免震構造の機	井上 貴仁	建築学会近畿支部		
能保持性能について	酒井 久伸	研究発表会		
- 地震災害時における	福山 國夫			
医療施設の機能保持評	古川 幸			
価のための震動台実験	小林健一			
(その3)-	筧 淳夫			
	中島 正愛			
地震災害時における医	井上 貴仁	平成21年度 日本	2009.8	国内
療施設の機能保持評価	佐藤 栄児	建築学会大会(東		
のための震動台実験概	筧 淳夫	北)学術講演会		
要	小林 健一			
- 震災時における建物	鎌田 崇義			
の機能保持に関する研	中島 正愛			
究開発(その5) -				
地震災害時における医	福山 國夫	平成21年度 日本	2009.8	国内
療施設の機能保持評価	佐藤 栄児	建築学会大会(東		
のための震動台実験の	酒井 久伸	北)学術講演会		
試験体概要	島野 幸弘			
- 震災時における建物	井上 貴仁			
の機能保持に関する研	中島 正愛			
究開発(その6)-				
短周期地震動に対する	古川 幸	平成21年度 日本	2009.8	国内
耐震および免震構造の	佐藤 栄児	建築学会大会(東		
応答性状	紀暁東	北)学術講演会		
- 震災時における建物	酒井 久伸			
の機能保持に関する研	福山 國夫			
究開発(その7)-	井上 貴仁			

	筧 淳夫			
	中島 正愛			
長周期地震動による耐	佐藤 栄児	平成21年度 日本	2009.8	国内
震および免震構造の機	酒井 久伸	建築学会大会(東		
能保持性能	古川 幸	北)学術講演会		
- 震災時における建物	福山 國夫			
の機能保持に関する研	小林健一			
究開発(その8)-	筧 淳夫			
	井上 貴仁			
医療施設に設置した高	梶原 浩一	平成21年度 日本	2009.8	国内
架水槽の長周期地震動	佐藤 栄児	建築学会大会(東		
による加振実験につい	酒井 久伸	北)学術講演会		
τ	福山 國夫			
- 震災時における建物	井上 貴仁			
の機能保持に関する研	筧 淳夫			
究開発(その9)-				
情報通信設備の機能保	酒井 久伸	平成21年度 日本	2009.8	国内
持性能	佐藤 栄児	建築学会大会(東		
- 地震災害時における	井上 貴仁	北)学術講演会		
医療施設の機能保持評	福山 國夫			
価のための震動台実験	中島 正愛			
(その10)-	小林健一			
	筧 淳夫			
	鎌田 崇義			
震動台実験による設備	中村いずみ	平成21年度 日本	2009.8	国内
配管系の被害状況	佐藤 栄児	建築学会大会(東		
- 震災時における建物	酒井 久伸	北)学術講演会		
の機能保持に関する研	森田 高市			
究開発(その11)-	平山 昌宏			
	井上 貴仁			
天然ゴム系積層ゴム+	鮫島 祐介	平成21年度 日本	2009.8	国内
鋼製ダンパーと高減衰	鈴木 重信	建築学会大会(東		
積層ゴムの応答性状	佐藤 栄児	北)学術講演会		
- 震災時における建物	酒井 久伸			

の機能保持に関する研	古川	幸			
究開発(その12)-	福山	國夫			
	梶原	浩一			
耐震構造での解析と実	池田	周英	平成21年度 日本	2009.8	国内
験結果の比較	島野	幸弘	建築学会大会(東		
- 震災時における建物	鹿島	孝	北)学術講演会		
の機能保持に関する研	石川	裕次			
究開発(その13)-	佐藤	栄児			
	長江	拓也			
	古川	幸			
	福山	國夫			
解析結果と実験結果に	島野	幸弘	平成21年度 日本	2009.8	国内
対する考察	池田	周英	建築学会大会(東		
- 震災時における建物	鹿島	孝	北)学術講演会		
の機能保持に関する研	石川	裕次			
究開発(その14)-	佐藤	栄児			
	長江	拓也			
	古川	幸			
	福山	國夫			
自動閉鎖式引き戸およ	日高	和幸	平成21年度 日本	2009.8	国内
び折れ戸の震動台実験	佐藤	栄児	建築学会大会(東		
- 震災時における建物	酒井	久伸	北)学術講演会		
の機能保持に関する研	筧 泊	享夫			
究開発(その15)-	小林	健一			
	渡部	美根			
	井上	貴仁			
実大実験による震災時	小林	健一	平成21年度 日本	2009.8	国内
の医療機器・什器の挙動	筧 🏻	享夫	建築学会大会(東		
に関する検討	渡部	美根	北)学術講演会		
- 震災時における建物	佐藤	栄児			
の機能保持に関する研	酒井	久伸			
究開発(その16)-	井上	貴仁			
	鎌田	崇義			

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関	発表時期	国際・国
(記事タイトル)		(新聞名・TV名)		内の別
Eーディフェンスを用	佐藤 栄児	NHK、	2008.12 $\sim$	国内
いた地震災害時におけ	井上 貴仁	毎日放送、	2009.1	
る重要施設(医療施設)	酒井 久伸	朝日新聞、		
の機能保持評価のため	筧 淳夫	毎日新聞		
の震動台実験の公開実	福山 國夫	読売新聞		
験		神戸新聞		
		日経アーキテクチ		
		+-		
週刊日本医事新報(【追	佐藤 栄児	日本医事新報	2009.2.14	国内
跡】医療施設の地震対策				
を検証する)				
病院(病院の地震対策に	佐藤 栄児	医学書院	2009.5	国内
向けて)	井上 貴仁			
	酒井 久伸			
	筧 淳夫			

(f) 特許出願, ソフトウエア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

# (3) 平成21年度業務計画案

課題終了のため計画なし。