

3. 研究報告

3.1 震災時における建物の機能保持に関する研究開発

3.1.1 重要施設における機能保持性能評価

(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、医療業界および建築業界の民間企業や学協会等と連携し、機能保持を目指した重要施設の地震対策指標と具体的な対策手法を取りまとめ、既存および新規施設の耐震対策として普及を促すガイドラインを示す。

(b) 平成21年度業務目的

平成20年度実施したE-ディフェンス実験の結果から、耐震構造及び免震構造における重要施設の機能保持性能、機能破損状況、限界性能、復旧性能を定量的に評価する。

機器数値モデルと組み合わせた重要施設の数値モデルを構築し、重要施設の機能保持を含めた耐震評価の基礎データを得る。

(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 兵庫耐震工学研究センター	主任研究員	佐藤 栄児
	センター長	中島 正愛
	企画室長	井上 貴仁
	研究員	酒井 久伸
	客員研究員	福山 國夫
国立保健医療科学院	施設科学部長	笥 淳夫
	主任研究官	小林 健一
	研究員	渡部 美根

(2) 平成21年度の成果

(a) 業務の要約

平成20年度に実施したE-ディフェンス実験の結果から、耐震構造及び免震構造における重要（医療）施設の機能保持性能、機能破損状況を定量的に評価した。具体的には地震災害時における耐震構造時の医療施設の被害状況から、施設の機能（医療行為）との関係性を評価したところ、巨大地震時（レベル2以上）が発生した場合、構造体には著しい損傷が無くとも、内部機能に対し無策の状況ではCTを始め様々な機器移動が発生し迅速な復旧は困難であり、災害医療の実現が困難であることが予想されることが明らかとなった。また、免震構造時では、構造体の損傷を大幅に低減できるとともに、施設の機能保持性能

が著しく向上できることが明らかになった。しかし長周期地震動に対しては、いくつかの機能の低下が見られ、いくらかの医療行為に支障が起きることが明らかになった。

さらに、機器数値モデルと組み合わせた重要施設の数値モデルを構築として、実際の実験結果から機器モデルの応答について検証を試み、良好な結果を得ることができた。これらより機器における地震対策の評価が数値解析的に実現できることとなる。

(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、全景を図1に示す。

表1 試験体の主な仕様

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）



図1 試験体

b) 耐震構造試験体

本試験体は、繰り返しの振動実験に耐えられること、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、および官庁施設の総合耐震計画基準¹⁾などを考慮し、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。試験体の軸組図および床伏図を図 2 に、部材断面リストを表 2 に示す。試験体の総質量は **760t** で、スパンは短辺方向 (X 方向) **8m**×**1** スパン、長辺方向 (Y 方向) **5m**×**2** スパン、階高は 1、3 階を **3900mm**、2、4 階を **3400mm** 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ている。

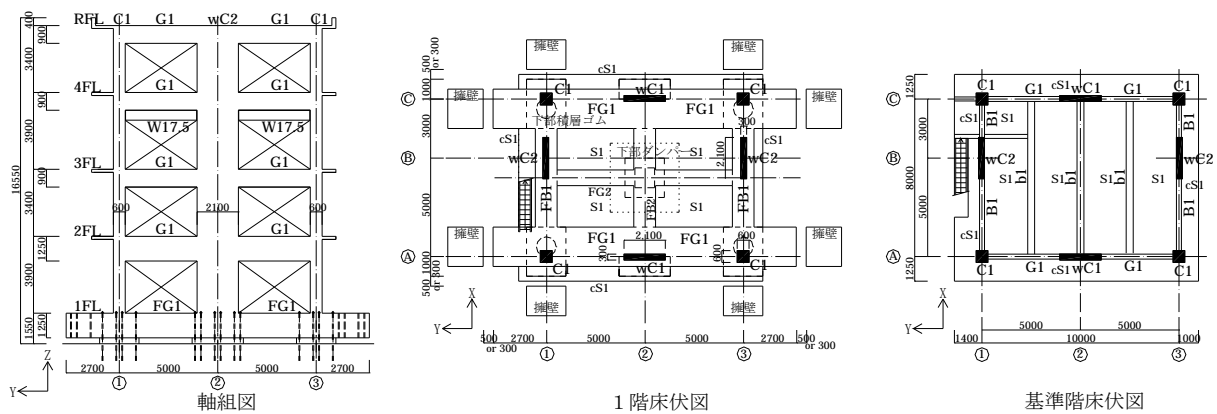


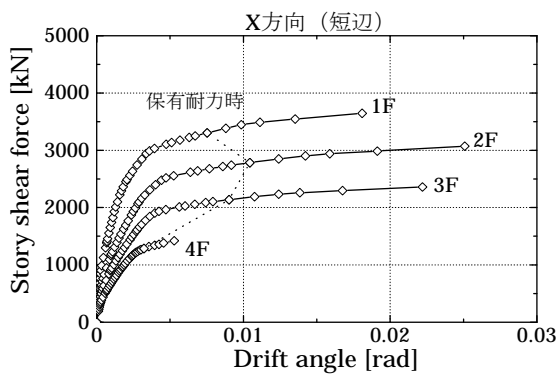
図 2 試験体図面

表 2 部材断面リスト

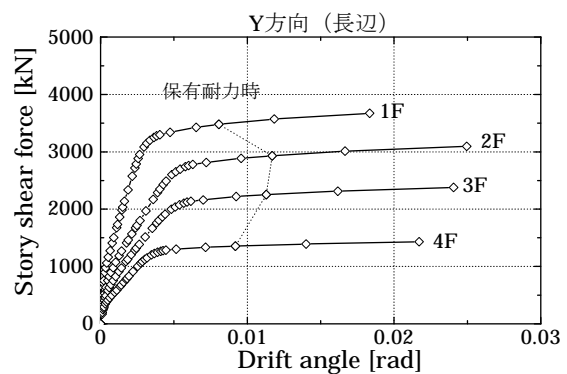
部材	寸法 [mm]
C1	600×600
wC1	2100×300
wC2	300×2100
G1,B1	(2F)250×1250,(3~RF)250×900
FG1,FB1,FB2	2000×1250
FG2	1250×1250
b1	300×750
S1,cS1	150

設計した試験体の荷重増分解析の結果を図 3 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しているが、このときの層せん断力係数は **0.74**～**0.83** となる。これは、建築基準法で定める最低限の強度である保有水平耐力時の層せん断力係数 **0.30**～**0.55** を上回るが、既存 RC 造建物の耐震診断資料等によれば、内外壁を有する低層の RC 造建物においてほぼ一般的な値である。

耐震構造の実験では、試験体の基礎梁と震動台を、PC 鋼棒 **48** 本のプレストレス力により接合した。試験体の設計時の 1 次固有周期は短辺方向 **0.23** 秒、長辺方向 **0.24** 秒である。



(a) X方向（短辺方向）



(b) Y方向（長辺方向）

図3 荷重増分解析結果

c) 免震構造試験体

既存の免震支承として積層ゴム支承や滑り支承などがあるが、本試験体の免震構造では、現在の普及率などを考慮し、以下に示す2種類の免震システムを採用した。

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を組み合わせた免震システムである。天然ゴム系積層ゴムは、免震支承として最も普及率が高く約30%強を占めている。天然ゴム系積層ゴムとの組み合わせで用いる減衰装置としては、履歴型ダンパーが最も用いられており、ここでは代表例として鋼製ダンパーを採用した。装置の配置は、天然ゴム系積層ゴムの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基とした。

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る。高減衰積層ゴムはダンパー機能が積層ゴムと一体となっているため、省スペースで実現できる。同様のダンパー一体型の積層ゴムとして鉛プラグ入りがあり、普及率は、鉛プラグ入りが30%程度、高減衰が20%程度となっている。ダンパー一体型の積層ゴムの代表として、環境性も考慮し高減衰積層ゴムを採用した。高減衰積層ゴムの配置は、免震1の積層ゴムと同じ位置に4基とした。

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。これは、免震構造が建設された初期の免震周期が約2秒で、現状での免震周期が約3～5秒であるため²⁾、既存の免震構造の周期と同程度となっている。

表3 免震装置仕様

項目		仕様	
免震1	天然 ゴム系 積層ゴム	呼称(形式)	R30-1000
		ゴム外径[mm]	1,000
		ゴム総厚[mm]	285
		水平バネ定数[kN/m]	810
		鉛直バネ定数[kN/m]	2200×10³
	鋼製 ダンパー	呼称(形式)	NSUD50×6
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	
免震2	高減衰 積層ゴム	呼称(形式)	HH075X6
		ゴム外径[mm]	750
		ゴム総厚[mm]	200
		等価水平剛性*[kN/m]	1,370
		等価減衰定数*	0.24
		鉛直剛性[kN/m]	3090×10³

d) 部屋の配置および機器類

試験体内の各階の部屋の配置を図4に、主な部屋の状況および機器・設備等の設置状況を図5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重量がある医療機器を低層階に配置し、また滅菌の関係から手術室やICU室を中層階に配置することが多い。そのため、本試験体の縦方向の部屋の配置は、通常の医療施設と同様にしている。

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および設置・固定条件として加振実験を行った。

給排水設備として配管、屋上に新旧の高架水槽等を設置するとともに、消火設備としてスプリンクラー、消火栓も設置した。また医療ガス配管も設置した。

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、設置上の問題や様々な制約により稼働させることが困難であったため、地震動による機器類の挙動観察および様々な被害調査を行い、施設の機能保持性能を評価することとした。

設置した機器の内訳は、直接床に置いただけの機器・棚等が31台、キャスター機器が57台(内43台はキャスターをロック)、アンカーまたは金物等で固定した機器が26台、

天井吊り機器が 6 台、扉類が 10 台、その他の機器等が約 50 台である。

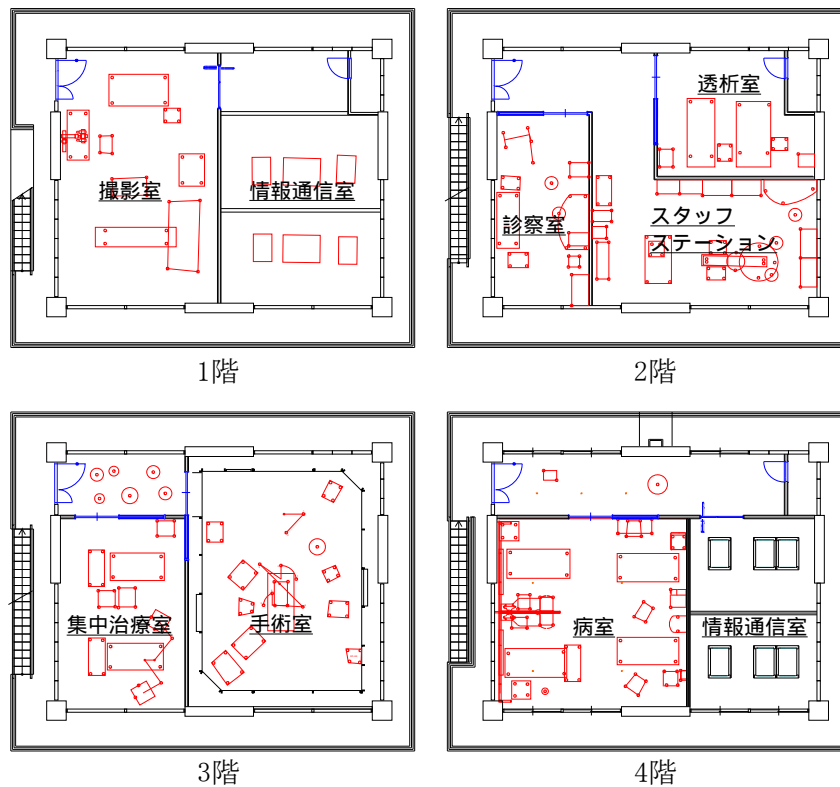


図 4 部屋配置図

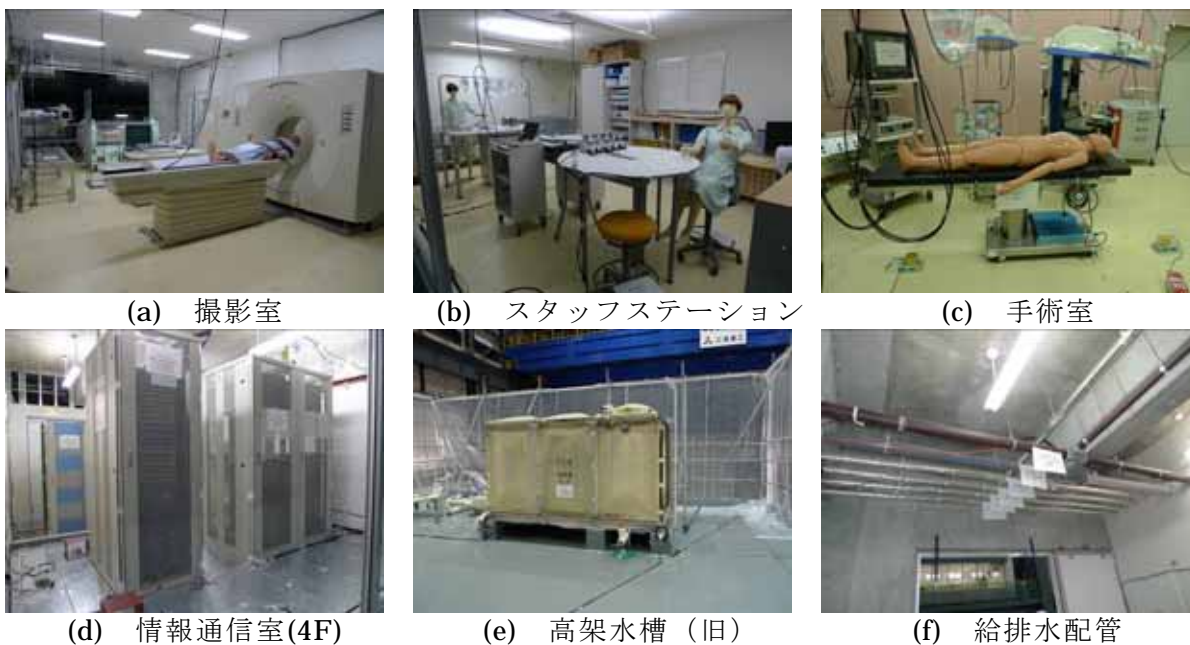


図 5 配置状況

2) 加振条件

加振実験で用いた入力波を構造別に表 4 に示し、加振順序も記載しておく。短周期地震動として、耐震構造および免震構造のそれぞれにエルセントロ波(1940、Imperial Valley

Earthquake)50cm/s、JMA 神戸波³⁾ (1995、兵庫県南部地震)80%を用いた。また長周期地震動として三の丸波⁴⁾ (想定新東海地震) 原波を用いた。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、横浜波⁵⁾ (想定関東地震) 原波を用いた。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、崩壊を避けるため、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における鉛直動の影響を評価するため、JMA 神戸波を水平2方向のみの加振と水平2方向に鉛直方向を加えた3方向の加振で行った。鉛直動の影響についての詳細な報告は稿を改めて行う予定であり、ここでは JMA 神戸波3方向入力時の場合についてのみ述べる。

入力方向については、各地震動とも NS 成分を試験体の長辺方向 (Y 方向) に EW 成分を短辺方向 (X 方向) に入力した。

表4 入力地震動

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
免震1	エルセントロ波	X, Y	50cm/s	1
	JMA神戸	X, Y, Z	80%	2
	三の丸波	X, Y	100%	3
免震2	エルセントロ波	X, Y	50cm/s	4
	JMA神戸	X, Y	80%	5
	JMA神戸	X, Y, Z	80%	6
	三の丸波	X, Y	100%	7

3) 計測

構造体について加速度、変位、歪みなどを約 170ch、内部設置機器のうち約半数の機器について、主に加速度による応答計測を約 530ch、合計約 700ch の計測を行った。また、今回の実験では、加振中の内部の状況観察が重要となるため、50 台以上の CCD カメラを設置し、動画の記録を行った。

4) 実験結果および評価

a) 入力地震動の評価

実験時に震動台上で計測された入力波 (再現波) の速度応答スペクトルを図 6 に示す。JMA 神戸波 80%の Y 方向において、耐震構造時に試験体の固有値付近で差がみられるが、それ以外の入力波形では比較的良好に一致しており、各構造間で比較する上で問題ないと考えられる。

以下では、短周期地震動による結果と長周期地震動による結果に分けて述べる。また、免震構造における擁壁との衝突の結果についても分けて述べることとする。

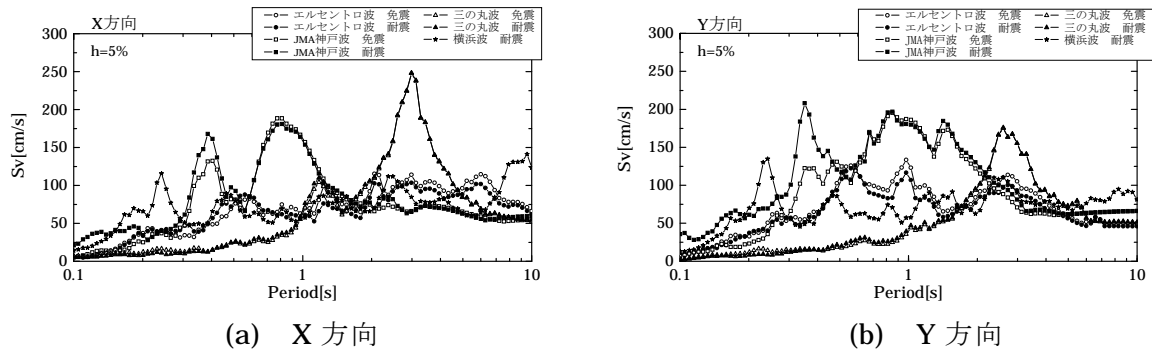


図6 再現波の速度応答スペクトル

b) 短周期地震動に対する評価

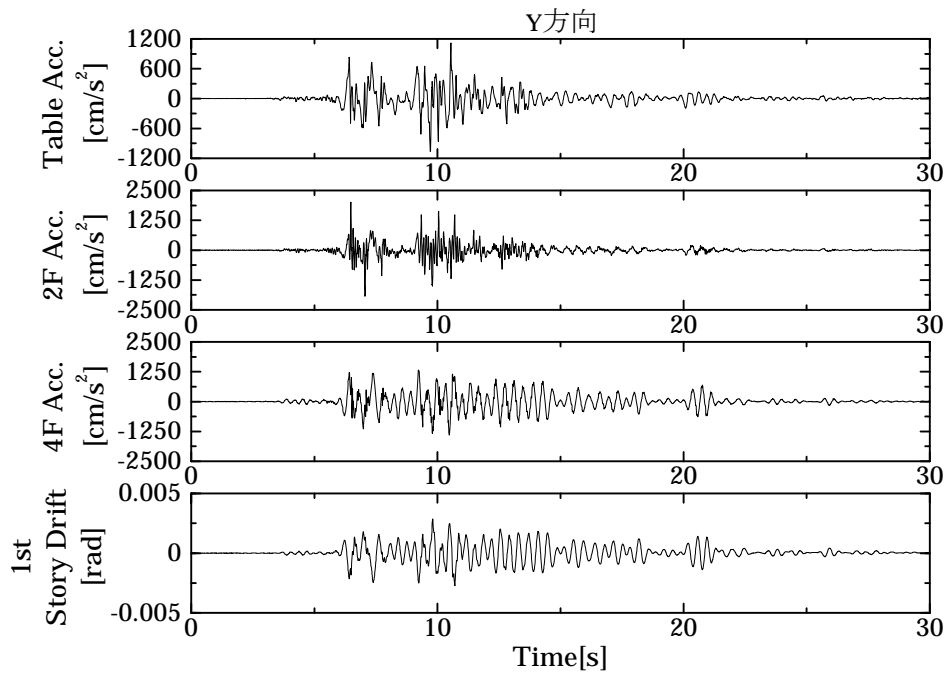
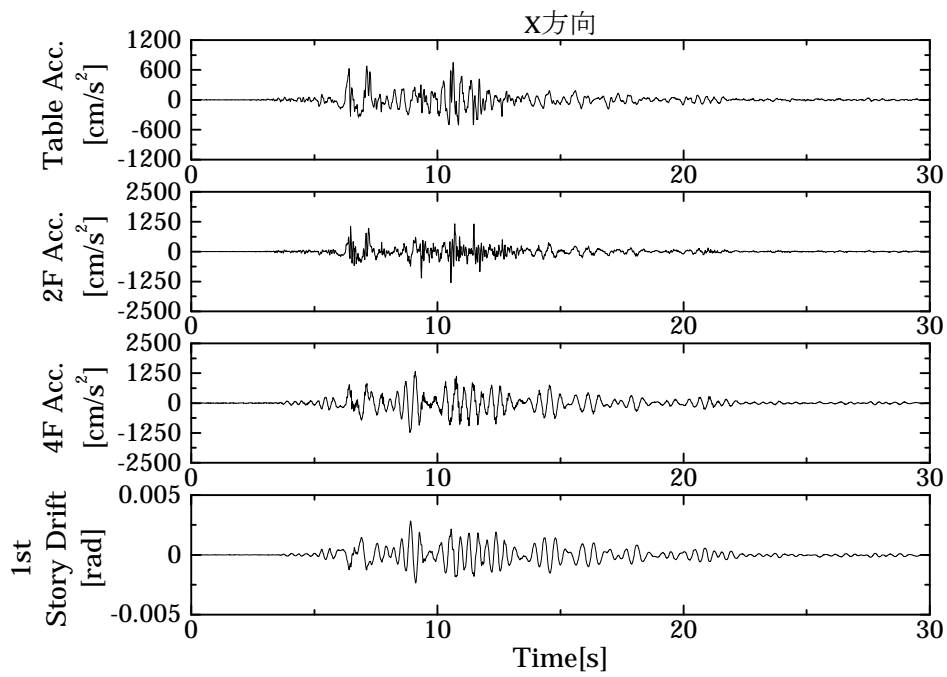
耐震および免震1、2での各階の応答加速度と層間変位および入力波の加速度、速度、変位の最大値を表5に示す。また、JMA神戸波80%加振時の耐震および免震1、2の時刻歴波形も図7に示す。耐震での時刻歴波形では、入力加速度、2、4階の応答加速度、1階層間変形角を示し、免震では、入力加速度、2、4階の応答加速度、免震層変位を示す。耐震におけるJMA神戸波80%加振では、免震時と比較し震動台上の最大加速度がかなり大きく計測されているが、これは後述する試験体の震動台上での滑りによる影響と考えられる。

表5 (a)短周期実験結果(耐震構造)(最大応答値)

		短周期地震動						
構造		耐震						
地震波		横浜波		エルセントロ波		JMA神戸波80%		
項目	階	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	Z方向
最大加速度 (cm/s ²)	R	1507	1434	1176	1480	1556	1971	1762
	4	1144	1113	947	1182	1323	1406	1005
	3	916	1040	770	892	1538	2149	909
	2	712	726	545	614	1304	2032	599
	1	735	654	392	483	1105	1799	528
	台	666	650	351	438	750	1125	407
最大速度 (cm/s)	台	50.5	45.1	50.3	46.8	61.5	68.1	30.0
最大変位 (cm)	台	35.2	32.7	33.0	14.1	16.1	15.3	8.0
最大層間 変位 (cm)	4	0.20	0.19	0.25	0.30	0.36	0.59	
	3	0.43	0.42	0.46	0.57	0.64	0.90	
	2	0.51	0.45	0.48	0.65	0.70	0.97	
	1	0.79	0.58	0.62	0.80	1.10	1.13	
	B	0.09	0.06	0.06	0.07	3.55	4.28	

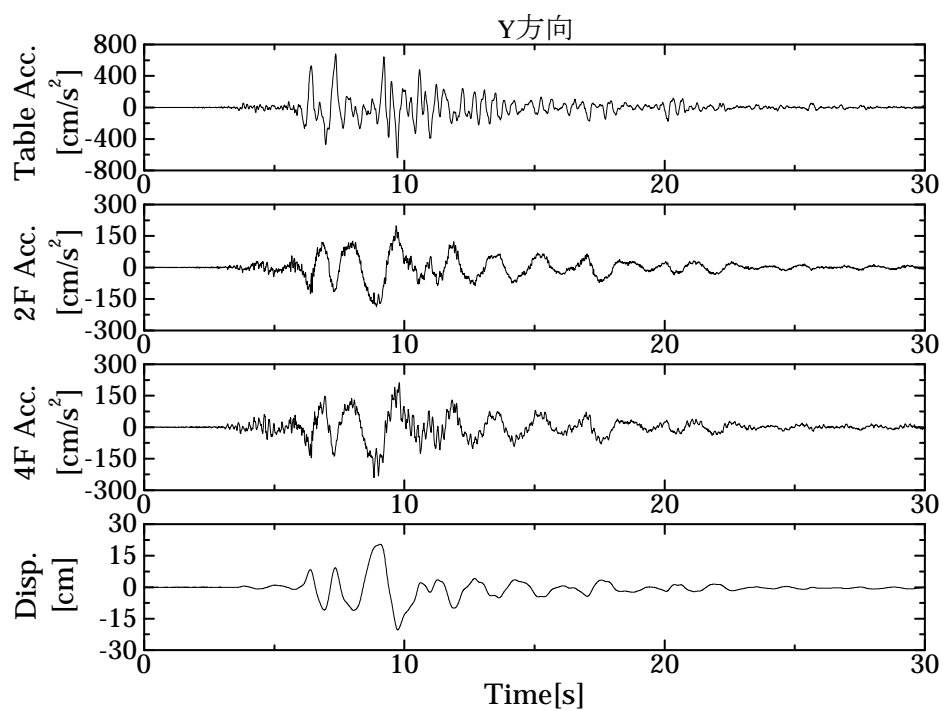
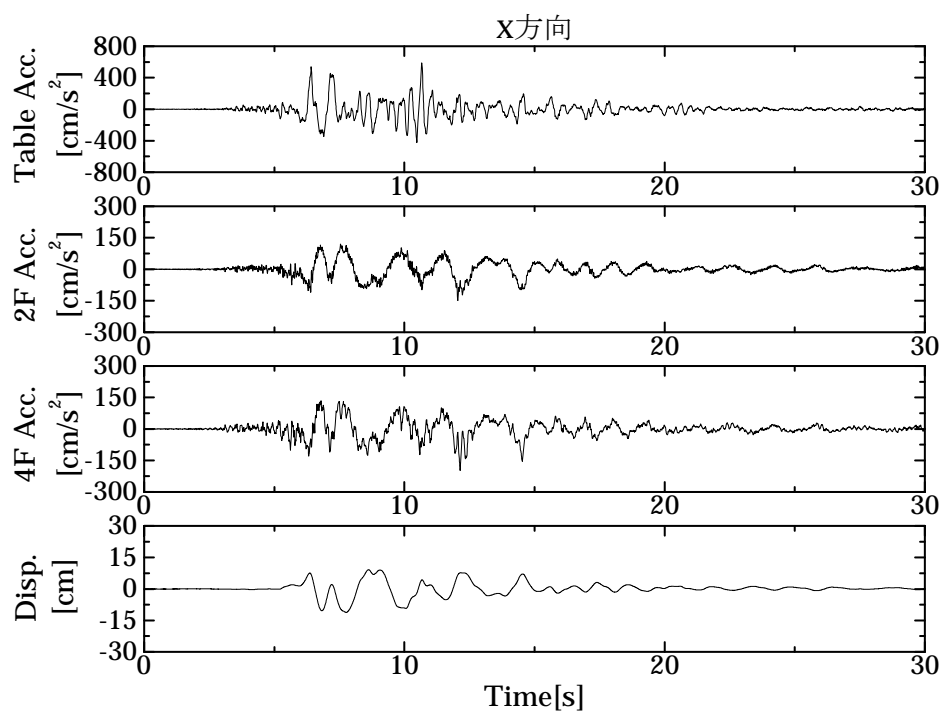
表5 (b)短周期実験結果(免震構造)(最大応答値)

		短周期地震動									
構造		免震1					免震2				
地震波		エルセントロ波		JMA神戸波 80%			エルセントロ波		JMA神戸波 80%		
項目	階	X方向	Y方向	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	Z方向
最大 加速度 (cm/s ²)	R	177	151	238	261	552	201	166	202	247	711
	4	171	159	198	242	548	176	160	186	224	631
	3	162	156	127	179	526	151	159	146	184	586
	2	163	157	150	198	512	150	161	140	194	565
	1	170	162	170	215	493	150	160	149	199	544
	台	425	518	588	680	361	373	553	600	696	361
最大速度 (cm/s)	台	53.0	50.7	57.2	68.1	28.8	54.1	51.9	59.2	69.0	29.7
最大変位 (cm)	台	36.9	15.7	16.4	15.2	7.7	36.9	15.8	16.6	15.6	7.8
最大層間 変位 (cm)	4	0.02	0.02	0.02	0.03		0.03	0.03	0.03	0.03	
	3	0.03	0.03	0.04	0.05		0.04	0.04	0.04	0.05	
	2	0.04	0.04	0.04	0.06		0.04	0.04	0.04	0.06	
	1	0.03	0.03	0.05	0.06		0.04	0.04	0.04	0.06	
	B	19.46	18.92	11.16	20.41		13.34	15.85	10.38	18.54	



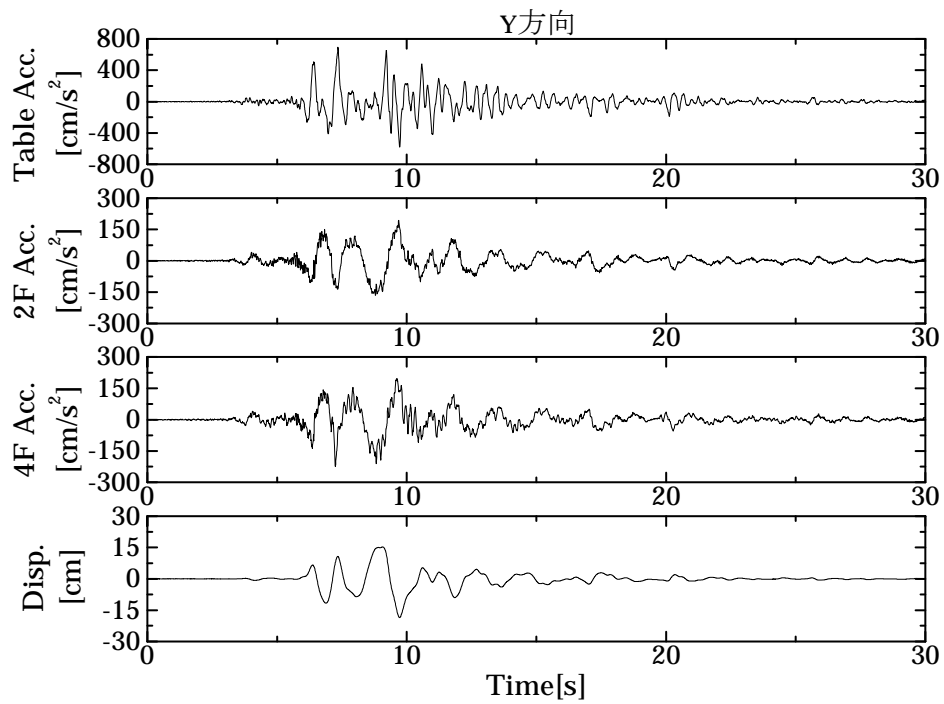
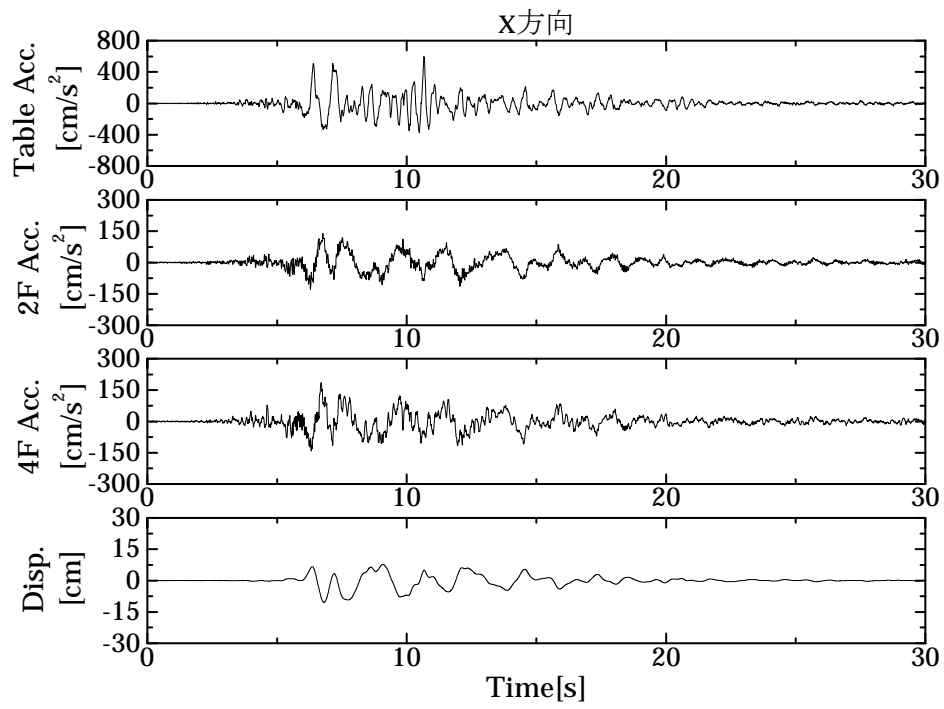
耐震

図7 (a)JMA 神戸波 80%による応答時刻歴波形 (上図：X方向、下図：Y方向)



免震 1

図 7 (b)JMA 神戸波 80%による応答時刻歴波形 (上図：X 方向、下図：Y 方向)



免震 2

図 7 (c)JMA 神戸波 80%による応答時刻歴波形 (上図 : X 方向、下図 : Y 方向)

）耐震構造時の評価

耐震構造において、最上階の応答加速度が、入力加速度より、横浜波で最大約 **2.3** 倍、エルセントロ波 **50cm/s** で最大約 **3.4** 倍、**JMA 神戸波 80%** で最大 **2.1** 倍に増幅され、各階床応答加速度が相当大きなものとなった。図 8 に示す各加振前後でのランダム波より求めた試験体の応答倍率から推定される固有周期が、全加振後では初期より約 **1.5** 倍に伸びていた。また、図 9 に示す全加振での 1 階の層間変位と層せん断力の履歴より、全加振後では剛性が初期剛性の約 **1/2** に低下しており、これは固有周期の変化と一致している。なお、ここでの層せん断力は各層の応答加速度と各層の質量より算出している。この剛性低下は、RC 造構造物の損傷としては比較的軽微なものといえる。

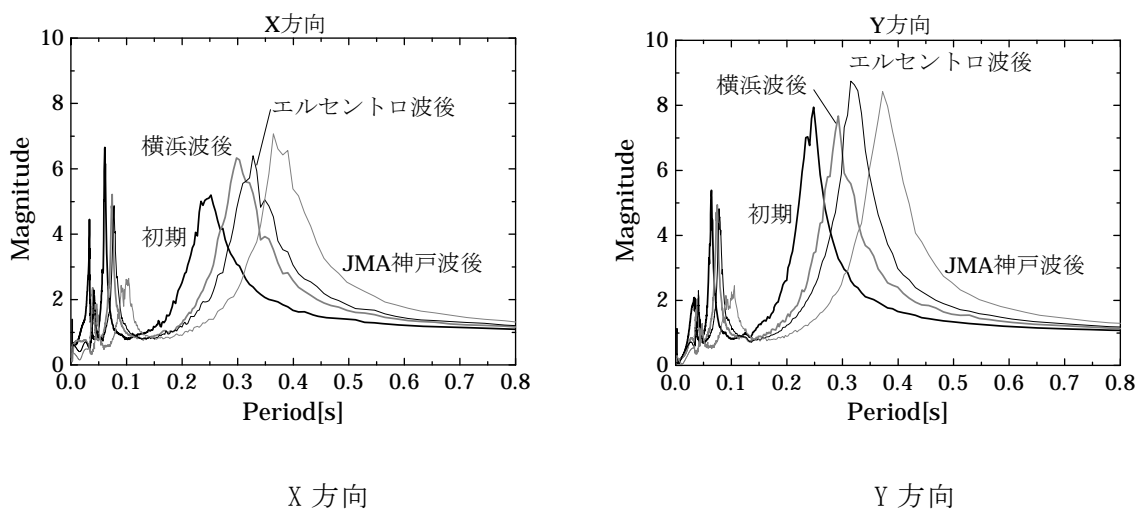


図 8 耐震構造の応答倍率（固有周期の変化）

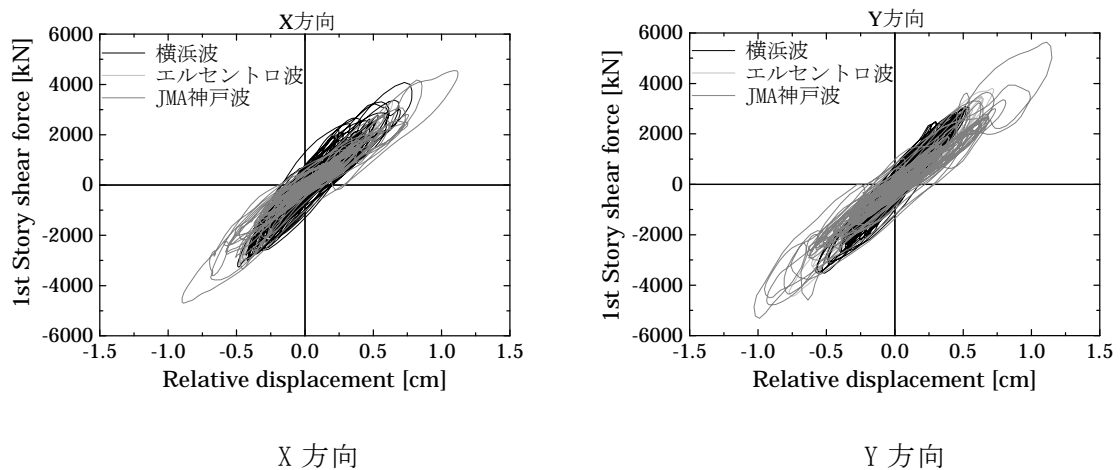


図 9 層間変位と層せん断力の履歴

一方、歪みの計測値からは極一部ではあるが鉄筋が塑性化していることが確認された。加振後の試験体観測でも柱梁端部に複数のクラックはみられたが、幅 **0.2mm** 以下でほとんどがヘアクラックであり、その他の大きな損傷箇所も特にみられなかった。ただし、**JMA 神戸波 80%** では、加振中に上部構造体と震動台間に最大約 **4cm** の滑りが発生し、試験体

基礎固定用 PC 鋼棒と試験体との当たりが生じたため、各加速度に瞬間的な高加速度の発生がみられた。上下動の入力も影響するが、最初に水平方向合成入力加速度が約 730cm/s^2 を超えたとき滑り、その後は安定した摩擦特性とはなっていないものの、PC 鋼棒と試験体との衝突時の高加速度を無視すると、滑りにより試験体基礎部の加速度は 650cm/s^2 以上になることはなかった。事前の検討では JMA 神戸波 80%加振時に、1 階層間変形角が約 $1/100$ に達すると予測していたが、実験では 1 階層間変形角が約 $1/350$ 程度であった。変形および構造的な損傷が事前の予測より小さいものとなった原因の一つとして、この滑りにより試験体への入力荷重が想定よりも小さくなったためと考えられる。

耐震構造における室内状況として、床や壁に金物等で固定されていない機器（CT スキャナ撮影部、手術台など）および什器の移動、棚内に納められていた医薬品等の物品の散乱、スライド式扉の脱落、機器の転倒・落下などが確認された。これらの一部の状況を図 10 に示す。本研究に参加および協力している医療施設に関する研究者等は、このような状況下では、高度な医療行為は当然のことながら通常の医療行為ですら即座に実施することは困難であると判断した。また大規模地震災害時には放射線機器等による診断を伴う災害医療が多く必要となることが予想され、さらに災害後しばらく経過すると CT スキャナなども利用され始め、こうした精密または重量機器の移動などはユーザーが即座に解決できる問題ではなく使用上の安全も確保できないとも判断した。なお、今回用いた CT スキャナは撮影部の質量が約 $1,700\text{kg}$ であり、アンカー固定をしていないタイプである。以上の実験結果から、耐震構造における短周期地震動については、震災時の機能保持のために抜本的な対策の検討が今後必要であると考えられる。



図 10 (a)短周期地震動加振後の室内状況（耐震構造）



診察室



タンク

図 1 0 (b)短周期地震動加振後の室内状況 (耐震構造)

免震構造時の評価

免震構造においては、エルセントロ波 50cm/s 、で各階の応答加速度をほぼ 200cm/s^2 以下に、JMA 神戸波 80% では上層階の一部で $240\sim 260\text{cm/s}^2$ となっているがおおむね 200cm/s^2 以下に低減できている。また、図 1 1、1 2 に JMA 神戸波 80% での免震 1 および 2 の免震層の変位と層せん断力の履歴を示す。なお、ここでも層せん断力は各層の応答加速度と各層の質量より算出している。最大変位置での等価周期と等価粘性減衰定数を求めると、免震 1 で 2.26 秒、 17.1% 、免震 2 で 2.1 秒、 25.4% となり、減衰定数としてはほぼ一般的である。これらの免震周期と減衰の違いが、応答加速度と変位の差となったが、免震 1、2 とも十分に免震効果が発揮されている。

内部の状況に関しても、ほとんど機能的な被害はなく、キャスター付き機器・ベッドでキャスターをロックしていないものが最大で約 1m 移動しているものもあるが、ほとんどが 60cm 程度であった。この移動により他機器等への衝突はみられたが大きな被害はなかった。ロックしてある機器および床に直接置かれた機器などの移動はほとんどみられなかった。また、高架水槽は、蓋および換気口（ベンチレータ）から水の噴出がみられたが、水槽本体への被害はほとんどみられなかった。棚に収められた物品や書籍類の散乱もほとんどみられなかった。以上より、震災後に大きな混乱は生じないと判断できる。

最後に各構造での機能的な被害を表 6 にまとめて示す。なお機器の摩擦係数は、キャスター機器・ベッド（フリー）が約 $0.02\sim 0.05$ 、キャスター機器（固定）が約 $0.3\sim 0.5$ 、置き型機器・手術台が約 $0.5\sim 0.6$ であった。

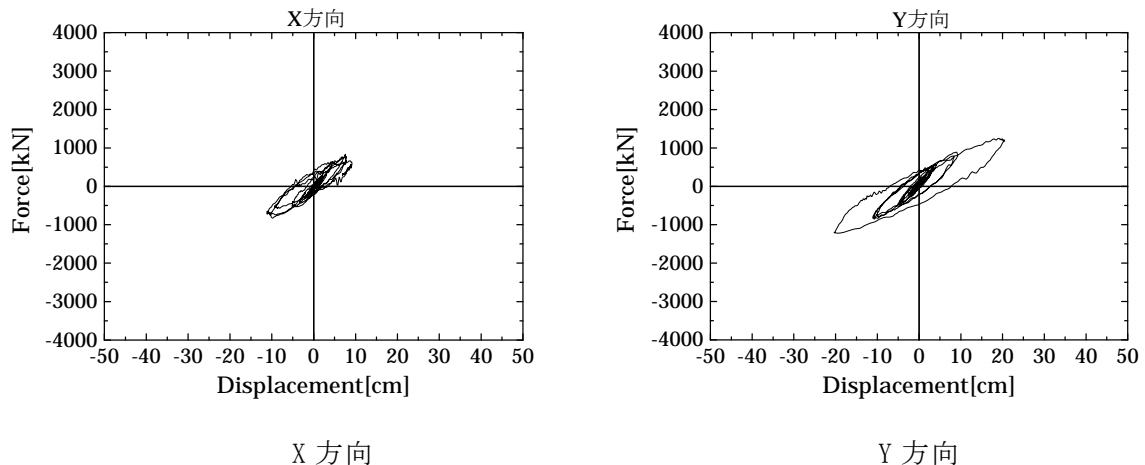


図 1 1 免震 1 免震層変位と層せん断力の履歴 (JMA 神戸波 80%)

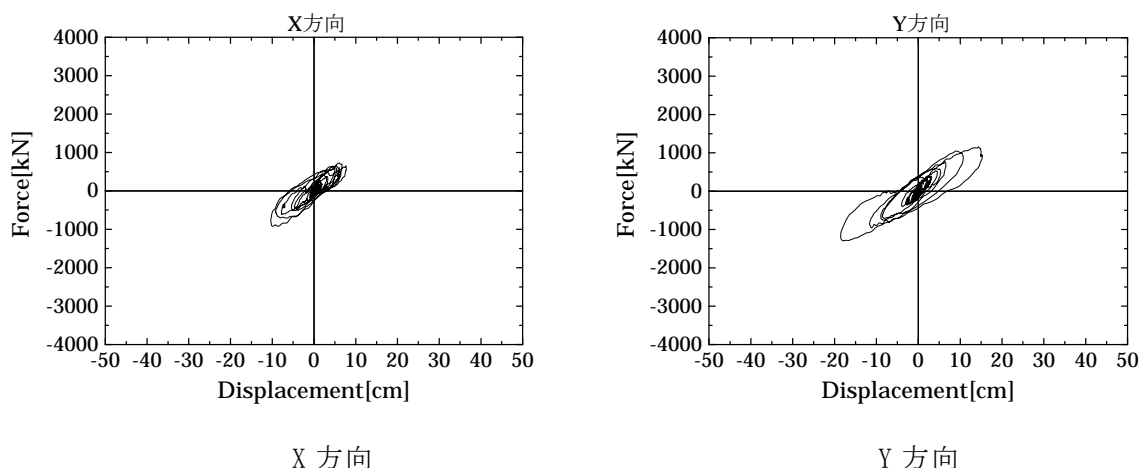


図 1 2 免震 2 免震層変位と層せん断力の履歴 (JMA 神戸波 80%)

表 6 短周期地震動による室内被害

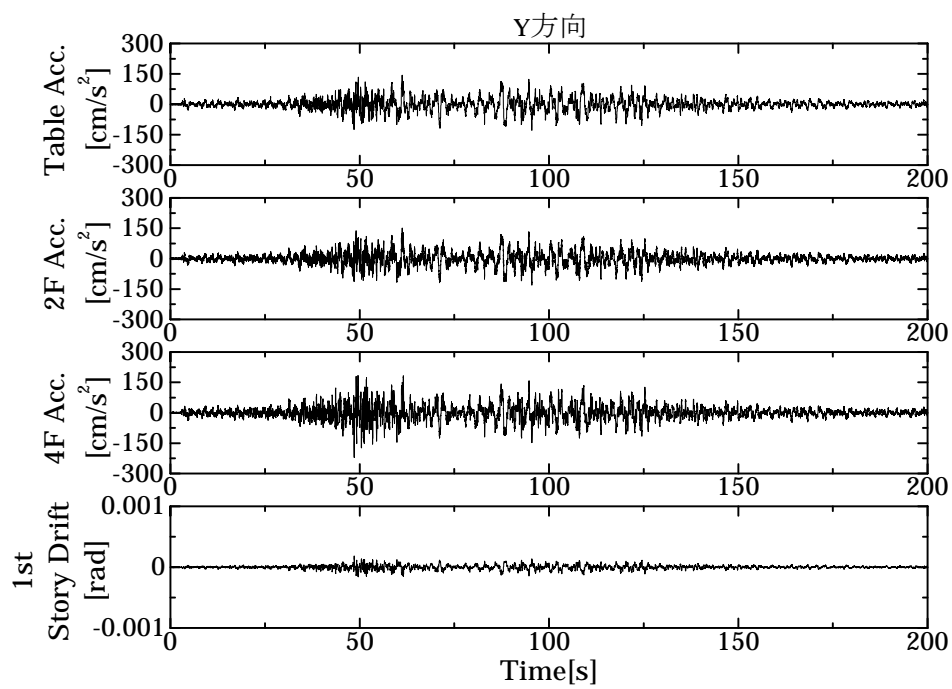
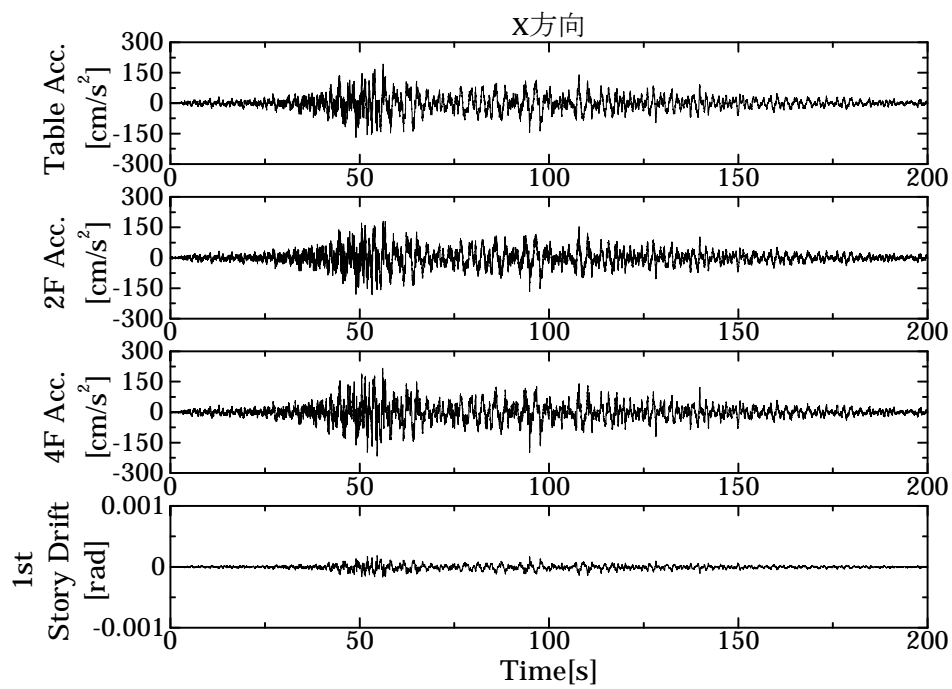
構造	耐震構造	免震構造
キャスター機器 (フリー)	70cm 程度の移動	60cm 程度の移動
キャスター機器 (固定)	50cm 以上の移動あり 衝突による転倒	移動なし
置き型機器	モニターの落下	移動なし
重量物の移動	CT 等の数 cm の移動	なし
ベッド (フリー)	1m 程度移動	1m 程度移動
ベッド (固定)	ロックはずれる	移動なし
手術台	移動あり 患者転落しかかる	移動なし 患者問題なし
手術室壁パネル	ダクトパネルの脱落	キャスター機器の衝突
壁ボード	被害なし	被害なし
引き出し	全開、落下なし	多少の開き
棚	物品の散乱	物品の散乱なし
吸引ビン	脱落あり	被害なし
スライド式扉等	扉の脱落	扉の開閉
高架水槽	蓋より溢水	蓋より溢水

c) 長周期地震動に対する評価

長周期地震動を入力した場合の耐震構造とそれぞれの免震構造での各最大応答値を表 7 に示す。また、時刻歴波形も短周期地震動の結果と同形式で図 1 3 に示す。なお、免震 2 で X 方向の応答加速度が過大となっているのは、擁壁との衝突が発生したためである。

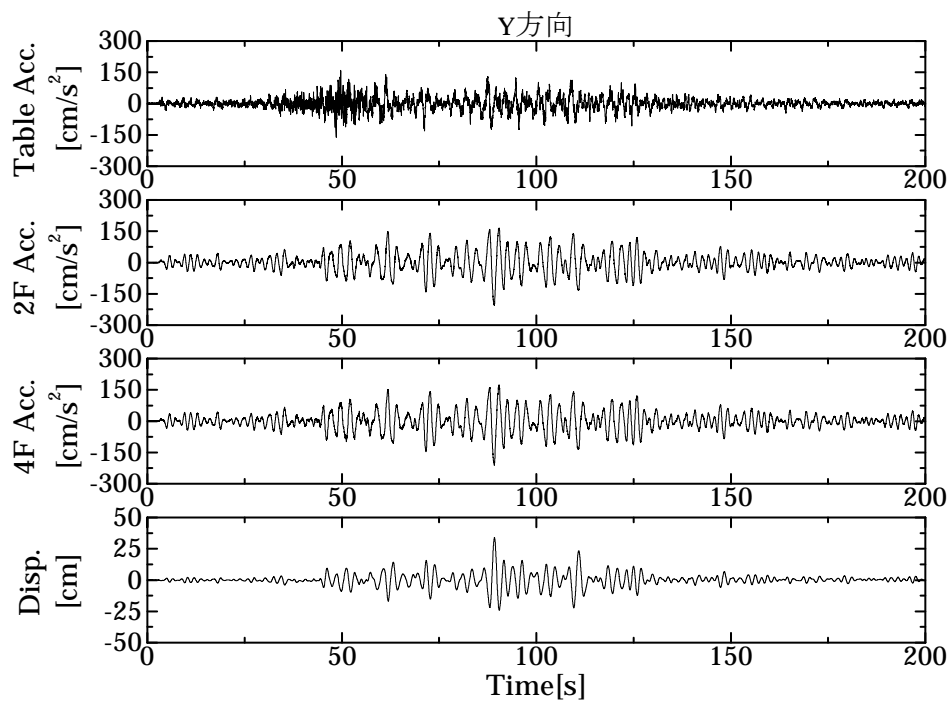
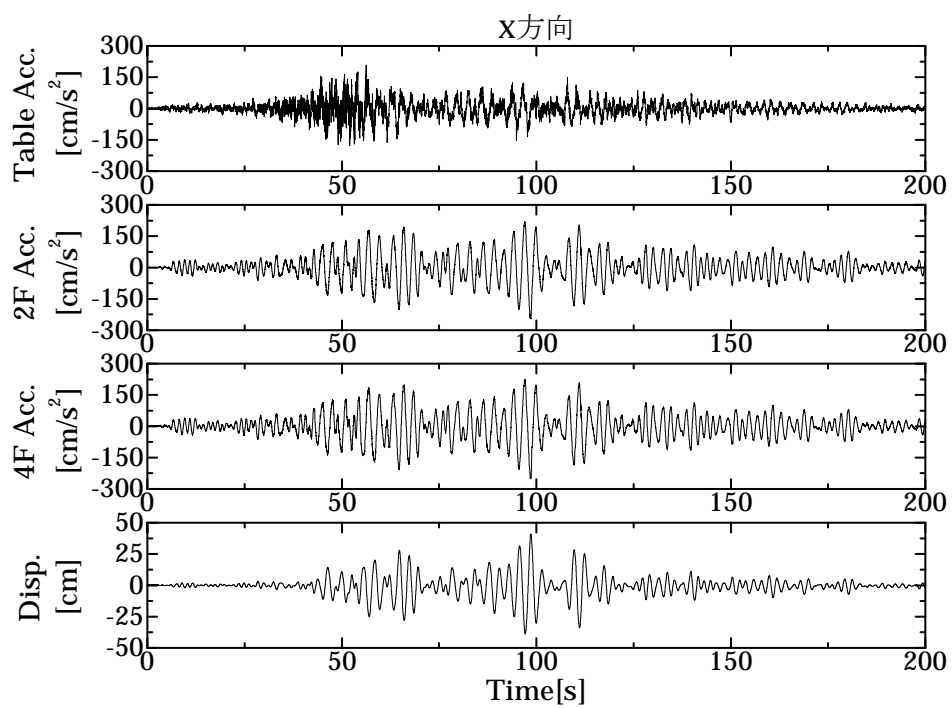
表7 長周期実験結果（最大応答値）

		長周期地震動					
構造		耐震		免震1		免震2	
地震波		三の丸波		三の丸波		三の丸波	
項目	階	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
最大 加速度 (cm/s ²)	R	252	254	233	203	539	197
	4	217	220	250	211	524	205
	3	188	165	248	208	507	205
	2	183	151	246	204	541	203
	1	198	143	244	203	603	203
	台	193	143	209	161	200	162
最大速度 (cm/s)	台	49.4	47.8	48.6	46.9	48.5	47.1
最大変位 (cm)	台	20.1	15.8	20.2	15.8	20.2	15.8
最大層間 変位 (cm)	4	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03
	3	0.05	0.04	0.06	0.04	0.13	0.04
	2	0.05	0.05	0.07	0.06	0.12	0.05
	1	0.07	0.07	0.06	0.07	0.13	0.06
	B	0.01	0.01	40.86	33.89	28.61	27.63



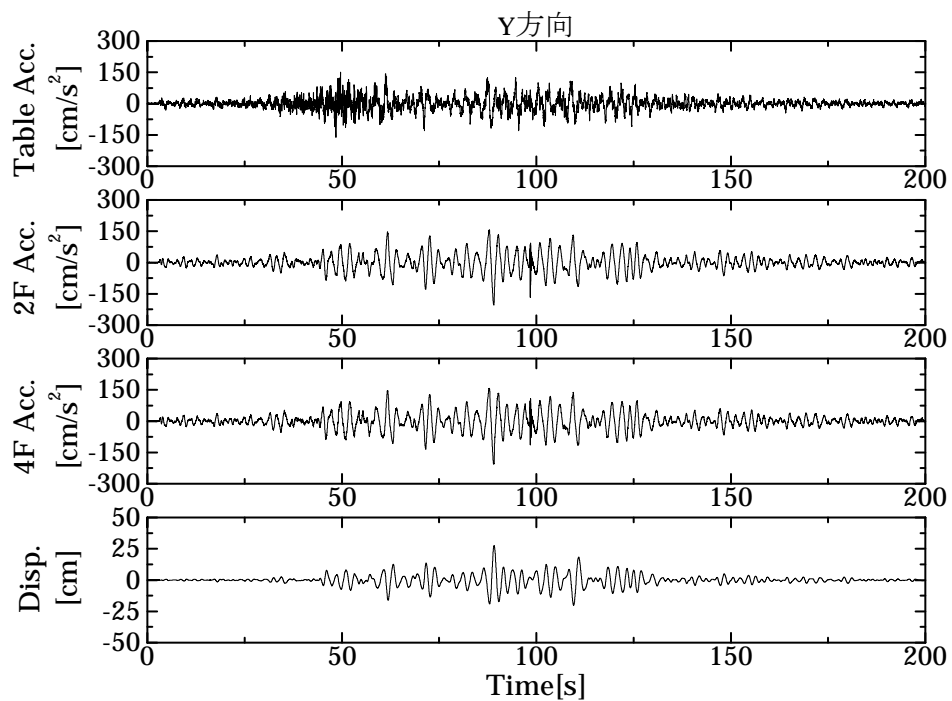
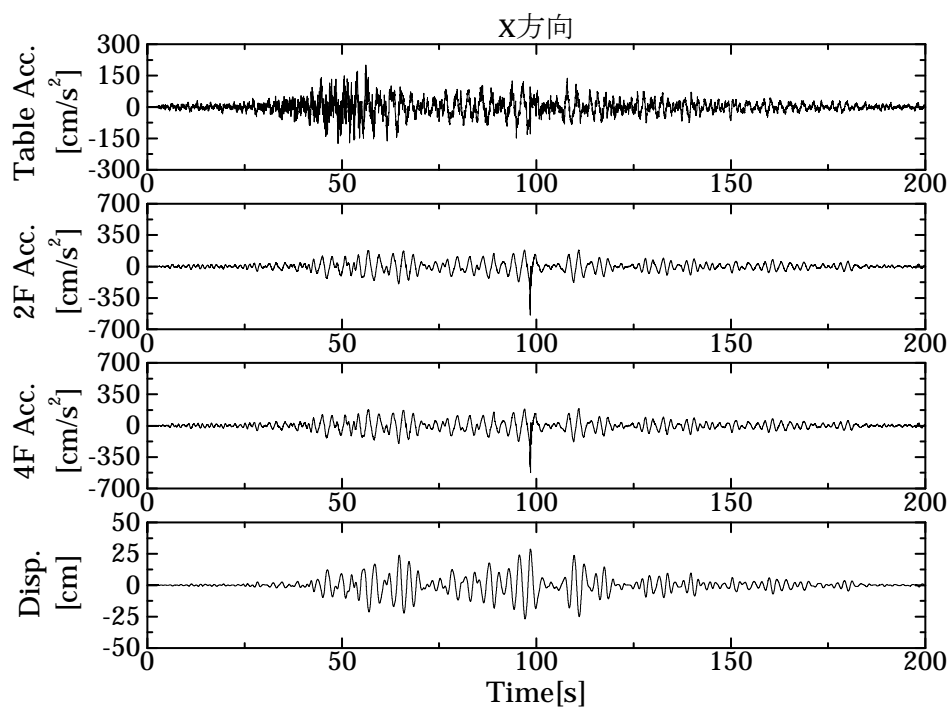
耐震

図 1 3 (a)三の丸波による応答時刻歴波形 (上図：X方向、下図：Y方向)



免震 1

図 1 3 (b)三の丸波による応答時刻歴波形 (上図：X 方向、下図：Y 方向)



免震 2

図 1 3 (c)三の丸波による応答時刻歴波形 (上図：X 方向、下図：Y 方向)

) 耐震構造時の評価

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、三の丸波の卓越周期と構造物の固有周期とが離れているため、応答加速度はそれほど大きくなく最上階で最大254cm/s²で、最大層間変位も1mm以下である。

構造体の被害としては、若干のヘア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0.240秒、0.237秒（短辺、長辺）、加振後が0.244秒、0.244秒（短辺、長辺）であった。

内部被害に関しては、ほとんどみられず、キャスター付き機器・ベッドでロックしていないものが約50~80cm移動した程度であった。

) 免震構造時の評価

免震1および2では、最上階の最大床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共振現象により、応答加速度が入力加速度より免震1および免震2ともに約1.2~1.3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。免震層の変位も入力波の変位より免震1で約2倍、免震2で約1.7倍と大きくなっている。共振現象により応答の増幅が発生し免震効果があまり発揮されない結果となった。

免震1、2の免震層の変位と層せん断力の履歴を図14、15に示す。最大変位量での等価周期と等価減衰定数を求めると、免震1は2.59秒、14.5%、免震2は2.43秒、20.1%であり、減衰定数としては一般的であるが、免震周期が地震動の卓越周期の近傍であることで、応答が増幅する結果となってしまった。構造体の被害としては、ほとんどみられなかった。

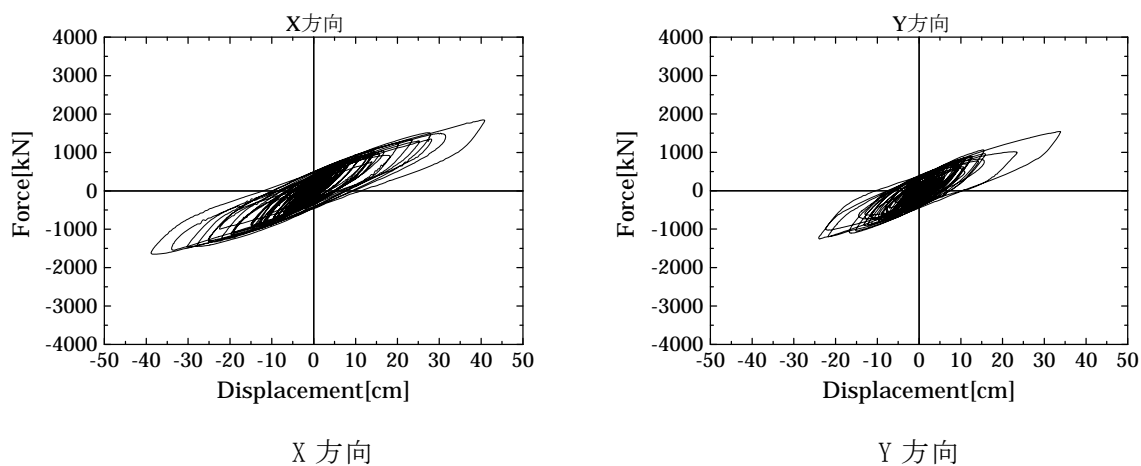
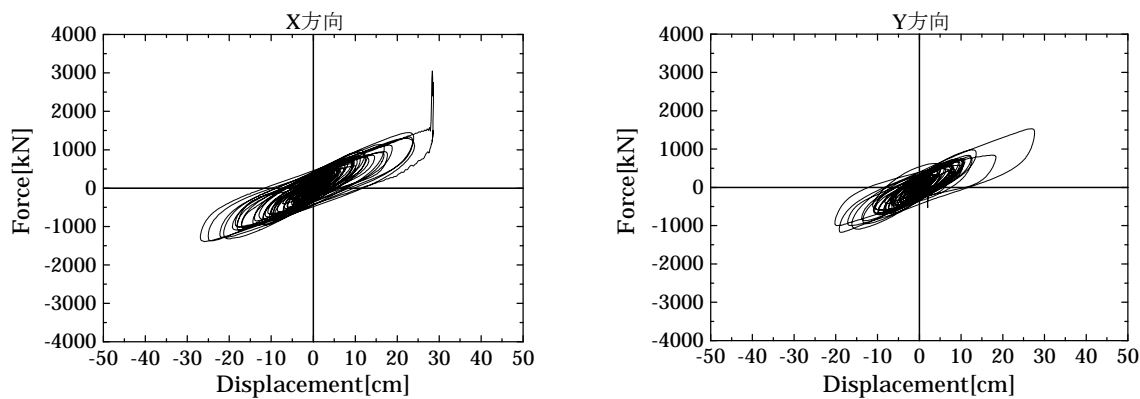


図14 免震1 免震層変位と層せん断力の履歴（三の丸波）



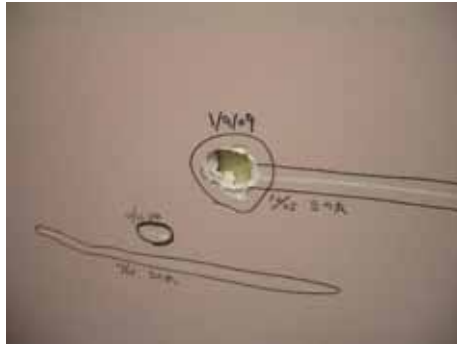
X 方向

Y 方向

図 1 5 免震 2 免震層変位と層せん断力の履歴（三の丸波）

内部被害の状況は、短周期地震動時の結果とは一変し、機能に関わる被害が多くみられた。キャスターなしで直接床においた機器はほとんど移動することはなく、たとえ移動したとしても、他の移動した機器の衝突による移動であった。キャスター付き機器でロックをしていない機器の加振後の残留移動量は、耐震時の 2 倍以上となり、多くのものが 1m 以上移動しており、最大で 3m 以上移動しているものや、移動での衝突により転倒した機器もみられた。また、移動した機器が約 50cm/s～90cm/s 以上の速度を持ち、その速度でまわりの影響を受けていない機器などに衝突し損傷する状況が多数みられ、手術室壁パネルと病室壁ボードなどの大きな損傷は、100kg 以上の機器が約 80cm/s 以上で衝突したことにより発生した。スライド式扉は、激しく開閉し、扉の枠およびストッパーなどに約 90cm/s で衝突し、扉、枠、ストッパーの破損などがみられた。ただし、実験後に開閉に支障が起きることはなかった。屋上階に設置した新旧の高架水槽がスロッシングの影響により、天板に設けられた蓋およびベンチレーターから水を噴出するとともに、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噴出する状況となった。水槽の大きさは、旧水槽が長辺 3m、幅 2.5m、新水槽が長辺 3m、幅 2m であり、それぞれ水位を 1m とした。それぞれのスロッシングの周期は既往の算出式⁶⁾より約 1.6～2.2 秒となり、これが地震動の卓越周期および免震の周期と接近していることと、スロッシングの減衰が低いことからこのような被害が発生したものと思われる。他の入力波および耐震構造でも高架水槽からの溢水はみられたが、免震構造における長周期地震動の場合が最も被害が大きかった。長周期地震動に対する免震構造での状況を図 1 6 に示す。以上の実験結果から、免震構造においても機器・什器に対する何らかの地震対策を今後検討する必要があると考えられる。

最後に、各構造での長周期地震動による機能的な被害を表 8 にまとめて示す。



手術室壁パネル



病室壁



人工透析装置



高架水槽

図 1 6 長周期地震動加振後の室内状況（免震構造）

表 8 長周期地震動による室内被害

構造	耐震構造	免震構造
キャスター機器（フリー）	50cm 程度の移動	最大 3m の移動 多数の衝突
キャスター機器（固定）	移動なし	移動なし
置き型機器	移動なし	移動なし
重量物の移動	なし	なし
ベッド（フリー）	80cm 程度移動	1.5m 程度移動
ベッド（固定）	移動なし	移動なし
手術台	移動なし 患者問題なし	移動なし 患者問題なし
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
引き出し	多少の開き	全開、落下なし
棚	物品の散乱なし	物品の散乱なし
吸引ビン	被害なし	被害なし
スライド式扉等	扉の開閉	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

d) 医療機器の評価

ここでは、試験体内部に設置した、医療用ベッドについて実験結果の評価を行うこととする。実験に用いた医療用ベッドを図 1 7 に示し、主な仕様を表 9 に示す。



図 1 7 医療用ベッド

表 9 医療用ベッド仕様

項目		仕様
ベッド 上面高さ	低	330mm
	高	690mm
奥行き×幅		1,080mm×2,110mm
質量		130kg
おもり質量		60kg
摩擦係数	解除	0.03
	固定	0.56

医療用ベッドは、病院試験体の4階にある病室に4床設置した。それぞれのベッドの高さを最低高さと最高高さの2種類、またキャスターのロックを解除した物と固定した物の2種類をそれぞれ組み合わせ、全部で4種類の条件で設置した。キャスターのロックは、1カ所のペダルを足で操作し4輪とも固定・解除が可能なものである。すべてのベッドの上には約**60kg**のおもり、**5kg**の人形、リネン類を置き、患者が寝ている状態を再現した。ここではベッドの高さを最高位に設置し、キャスターを解除した条件（以下、「解除ベッド」という。）とキャスターのロックを固定した条件（以下、「固定ベッド」という。）について述べる。

病院試験体を耐震構造とした時、**JMA** 神戸波を入力した場合の解除ベッド、固定ベッドの時刻歴波形を図18に示す。この時、4階床の応答加速度の最大値が**1,323cm/s²**であった。

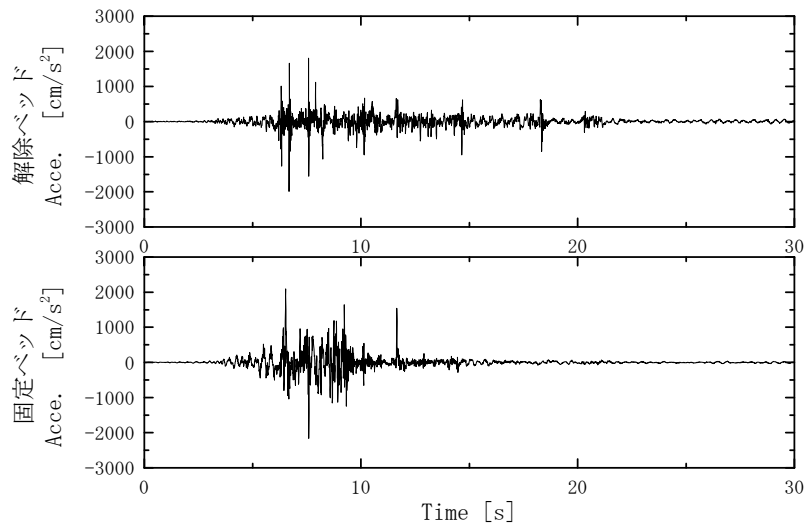


図 1 8 ベッド加速度（耐震構造 JMA 神戸）
（上図：解除ベッド 下図：固定ベッド）

キャスターの固定の有無にかかわらず、ベッドの応答加速度は、最大値は $2,000\text{cm/s}^2$ 以上となった。解除ベッドの場合、ベッド自体が移動し周りの物に衝突して、また固定ベッドは、周りのキャスター付き機器（オーバーヘッドテーブルやワゴンでキャスターのロックはできないもの）が固定ベッドに衝突して、瞬間的に大きな加速度が発生している。固定ベッドでは、約 9 秒後に振動によりロックが外れ、その後約 30cm 移動した。衝突などの瞬間的な加速度の影響をできるだけ除去するため、 10Hz でのローパスフィルター処理を施した波形を図 1 9 に示す。

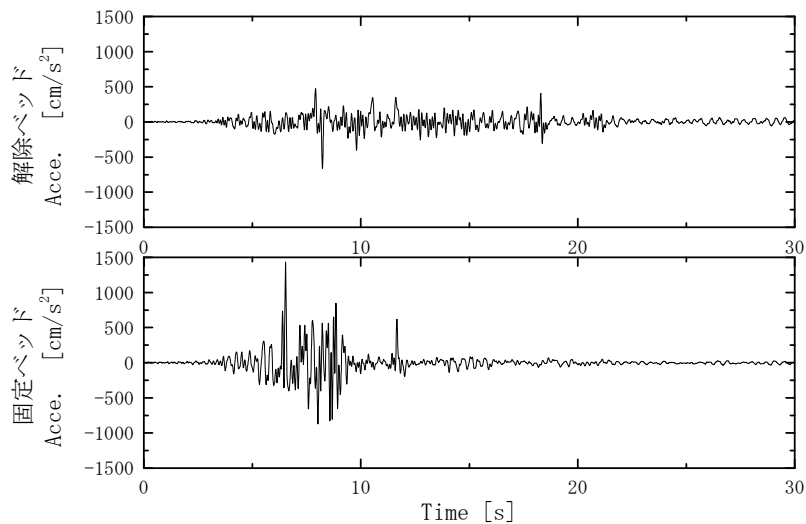


図 1 9 ベッド加速度 10HzLPF 処理（耐震構造 JMA 神戸）
（上図：解除ベッド 下図：固定ベッド）

解除ベッドの場合は、動き出すことにより応答加速度の増加は見られず、フィルター処理後ではあるがさらに衝突による加速度の影響を無視すると、概ね 200cm/s^2 以下となっ

ていることが確認できる。一方、固定ベッドの場合は摩擦係数が高いため、加速度が $500 \sim 600 \text{cm/s}^2$ を受けたとき滑り始め、それ以上の応答加速度の増加は見られない。約 9 秒後に応答加速度が急に小さくなっているのはロックが外れたためである。解除ベッドはある程度の加速度が加わると動き出すため、応答加速度は増加しないが、まわりの機器に衝突することで、瞬間的な加速度が発生し、ベッドの質量が大きいため大きな被害を出す。一方、固定ベッドは、摩擦係数にもよるが今回の場合では $500 \sim 600 \text{cm/s}^2$ 以上にならないと移動せず、周りの機器が移動し衝突されることで瞬間的な加速度が発生したが、衝突してくる機器が比較的軽かったため、解除ベッドの場合に比べ被害は小さい。今回、固定ベッドは加振中にロックが外れ移動したが、ベッドの高さを低く設定した固定ベッドのロックは固定されたままであり、その移動量はわずか 3cm であった。

免震構造の時、JMA 神戸波を入力した場合の解除ベッド、固定ベッドの時刻歴波形を図 20 に示す。建物自体が免震されているため、4 階の床応答加速度は 198cm/s^2 であった。固定ベッドの応答加速度は、周りの機器の衝突を無視すると概ね 200cm/s^2 以下であり、移動もみられなかった。解除ベッドも、衝突を無視すると、概ね 200cm/s^2 以下であるが、ベッド自体の移動による衝突の加速度は $1,000 \text{cm/s}^2$ 以上に達するものもあり、激しい衝突は 4 回ほどみられる。

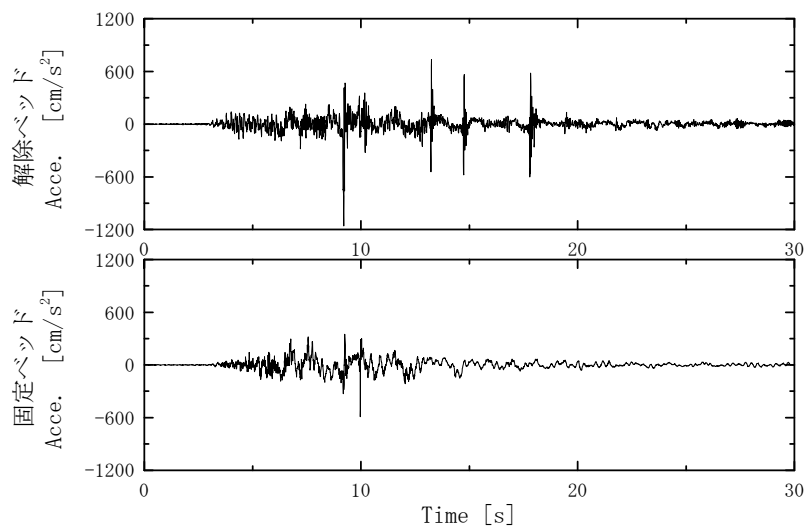


図 20 ベッド加速度 (免震構造 JMA 神戸)
(上図：解除ベッド 下図：固定ベッド)

一方、免震構造の時、三の丸波（長周期地震動）を入力した場合の時刻歴波形も同様に図 21 に示す。4 階の床応答加速度は 250cm/s^2 であるが、解除ベッドの加速度は、 $6,000 \text{cm/s}^2$ 近くまで達している。固定ベッドは約 80 秒までは、周りの比較的軽い機器の衝突で $1,600 \text{cm/s}^2$ であるが、約 80 秒以降は、解除ベッドが固定ベッドに衝突する現象がみられ、加速度が $3,500 \text{cm/s}^2$ に達している場合もあり、解除ベッドに衝突される場合は質量が大きいため、他の機器より影響がより大きいことがわかる。

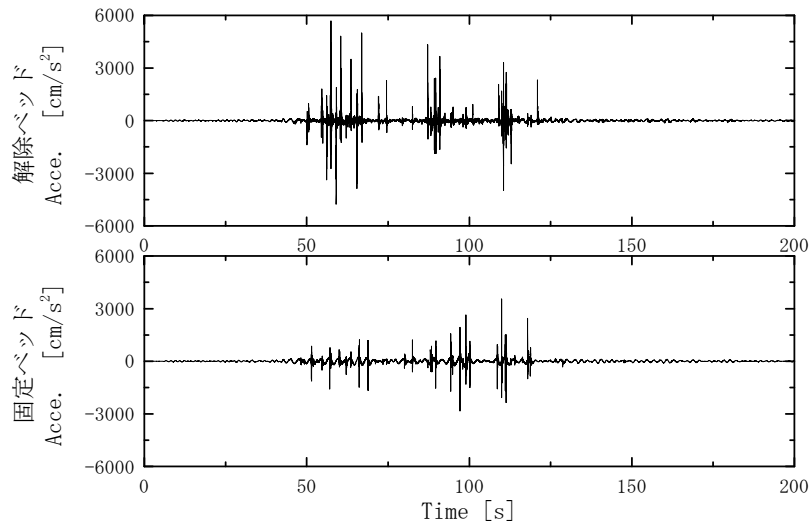


図 2.1 ベッド加速度 (免震構造三の丸)
(上図：解除ベッド 下図：固定ベッド)

免震構造の場合は、床の応答が長周期地震の場合でも 300cm/s^2 に達していないため、摩擦係数は 0.3 程度でよいが、耐震構造の場合は、多少の移動も許さないのであれば床の応答加速度を考慮すると摩擦係数を 1.0 以上とするか、アンカー、金物、バンド等で壁や床に固定する必要がある。ただし、医療用ベッドの場合、アンカーや金物での固定は現実的ではない。最終的にどの程度の加速度が加わったときに滑ることを許すかが問題となるが、今回の実験の条件では $500\sim 600\text{cm/s}^2$ の間で滑り出す摩擦係数 0.58 程度であったが、変位量としては 3cm 程度と小さいことを考えると、摩擦係数は妥当な数字と思われる。

e) 数値解析評価

部材系立体架構を用いて地震応答解析を行う。応答解析には HYPER-SD ((株) 竹中工務店開発のプログラム) を用いた。なお、解析に当たっては、竹中工務店・鹿島孝、島野幸弘、石川裕次、池田周英の四氏に多大な協力を得た。

主な解析条件を以下に示す。

解析モデル：静的弾塑性解析で用いた全体モデルの架構

応答解析法：直接数値積分法 (Newmark- β 法、 $\beta = 1/4$ 平均加速度法)

質量：各節点に配置し、各階剛床

剛性、復元力特性：柱・梁の曲げ特性に竹中劣化型 Tri-Linear モデル、せん断特性に修正 D-Tri-Linear モデル (ただし、せん断ひび割れによる剛性低下は無視する)、柱の軸特性はスリップ型 Bi-Linear モデル

基礎支点：固定支持

柱梁接合部：剛域とし剛域入り込み寸法は部材成の $1/4$

減衰マトリクス：瞬間剛性比例型

減衰定数： 3%

減衰特性：減衰は内部粘性減衰型とし、要素剛性マトリクスと要素に定義された

減衰定数から減衰マトリクスを作り、それらを重ね合わせて全体減衰マトリクスと設定。

剛性低下率：初期剛性に対する降伏後の剛性低下率はモデルによる。

梁曲げ耐力に考慮するスラブ筋：モデルによる。

部材系モデルのモデル図を図 2 2 示す。

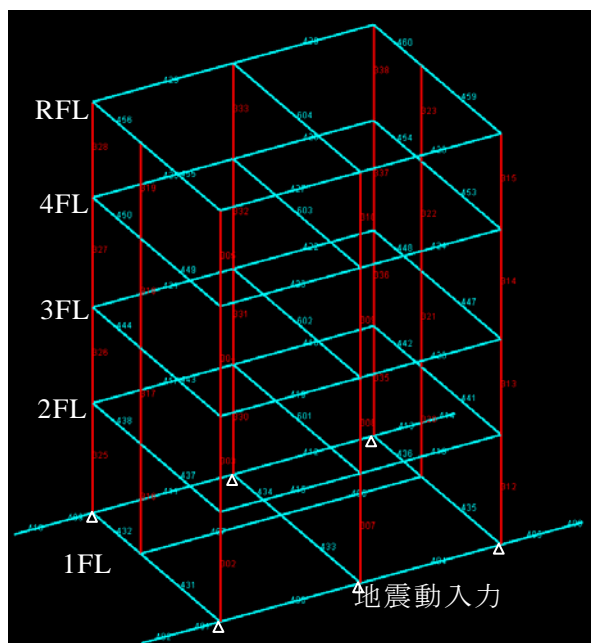


図 2 2 部材系地震応答解析モデル

また、柱、大梁の代表断面、材料条件等を表 1 0 ～ 1 4 に示すものを用いた。

表 1 0 柱代表断面

階	符号	幅×成 (mm)	主筋			帯筋			
			本数	径	種別	本数	間隔	径	種別
3	C1	600×600	4,4 (12)	25	SD345	2,2	100	13	SD295
	WC2	300×2,100	3,4 (10)	25	SD345	2,4	100	13	SD295
2	C1	600×600	4,4 (12)	25	SD345	2,2	70	13	SD295
	WC2	300×2,100	3,4 (10)	25	SD345	2,4	100	13	SD295
1	C1	600×600	5,5 (16)	25	SD345	4,4	100	13	SD295
	WC2	300×2,100	3,4 (10)	25	SD345	2,4	100	13	SD295

注) 主筋本数は X、Y 方向本数を、() 内は総本数を示す。

表 1 1 大梁代表断面

階	符号	幅×成 (mm)	主筋				肋筋			
			端部本数		径	種別 (SD)	本数	間隔 (mm)	径	種別 (SD)
			上端	下端						
3	G1	250×900	2,2	2,2	25	345	2	125	13	295
	B1	250×900	2,1	2,1	25	345	2	100	13	295
2	G1	250×1,250	2,2	2,2	25	345	2	125	13	295
	B1	250×1,250	2,2	2,2	25	345	2	100	13	295
1	FG1	2,000×1,250	15,0	17,13	25	345	4	175	16	295
	FB1	1,250×1,250	10,0	10,0	25	345	4	200	13	295

注) 端部本数は「1、2 段筋本数」を示す

表 1 2 コンクリート圧縮試験結果

設計基準強度	使用箇所	圧縮強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 Ec (N/mm ²)
Fc24	下記以外	49.9	3.57×10 ⁴
Fc30	1F 大梁	59.9	3.87×10 ⁴

表 1 3 鉄筋引張試験結果

鉄筋 径・種別	使用箇所	降伏応力 fy (N/mm ²)	ヤング係数 Es (N/mm ²)	ヤング係数比	
				Fc24	Fc30
D10,SD295	床筋,肋筋	379	-	-	-
D13,SD295	床筋,帯筋,肋筋	346	-	-	-
D22,SD345	大梁主筋	374	2.00×10 ⁵	7.08	7.16
D25,SD345	柱,大梁主筋	384	1.89×10 ⁵	6.69	6.77

表 1 4 各階重量

階	階高 (m)	積載荷重	固定荷重	各階重量 (kN)	合計重量 (kN)	平均重量 (kN/m ²)
R	-	0	981	981	-	7.60
4	3.40	0	1,187	1,187	981	9.12
3	3.90	0	1,116	1,116	2,168	8.57
2	3.40	0	1,181	1,181	3,284	9.07
1	3.90	0	2,972	2,972	4,465	21.71
B	1.61	0	600	600	7,437	0.00

また、サッシの立上形状、隅柱および中柱を、鉄筋剛性を考慮した柱剛性とした。柱の緒言を表15、16に示す。

表15 柱鉄筋を考慮した断面二次モーメント（曲げ剛性）

階	柱位置	柱形状		断面二次モーメント (cm ⁴)
		せい (cm)	巾 (cm)	
4~2	中柱	210	30	25,805,874
	隅柱	60	60	1,236,337
1	中柱	210	30	25,805,874
	隅柱	60	60	1,287,731

表16 柱鉄筋を考慮した断面積（柱軸剛性）

階	柱位置	柱形状		鉄筋考慮 有効断面積 (cm ⁴)
		せい (cm)	巾 (cm)	
1~4	中柱	210	30	6,680
	隅柱	60	60	4,092

さらに、中柱（2100×300）を壁曲げ耐力としてモデル化した。以下に耐力算定式(7)を示す。

$$M_{wu} = 0.9a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.4a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot D + 0.5N \cdot D \left(1 - \frac{N}{B \cdot D \cdot F_c} \right) \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{wu} = a_t \cdot \sigma_y \cdot \ell_w + 0.5a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \ell_w + 0.5N \cdot \ell_w \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

ここで、

a_t : 引張側柱の主筋全断面積 (mm²)

σ_y : 引張側柱の主筋の降伏強度 (N/mm²)

a_w : 耐力壁の縦筋の断面積で、耐力壁の中間に柱がある場合にはその主筋断面積も含める (mm²)

σ_{wy} : 耐力壁の縦筋の降伏強度 (N/mm²)

D : 耐力壁の全長 (mm)

B : 耐力壁の圧縮側外縁の幅で、圧縮側外縁に柱がある時はその柱幅 (mm)

N : 耐力壁の軸方向力 (N)

ℓ_w : I形断面耐力壁の場合の両側柱中心間距離 (mm)。長方形断面の場合は0.9Dとする

また、層間変位について、実験時の計測は、本来の層間変位を正確に計測できていなかったと考えられる。実験時の層間変位計測の状況と節点角が生じた場合の層間変位計測の概念図をそれぞれ図23、24に示す。



図 2.3 層間変位計測用アングル治具

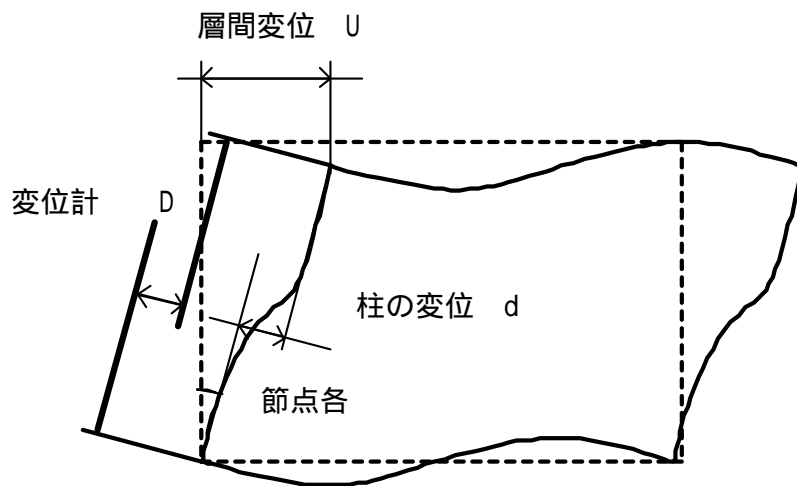
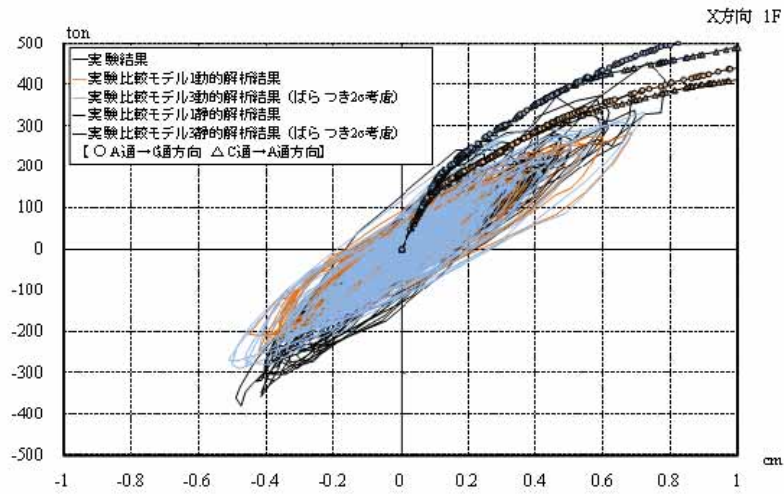


図 2.4 節点角が生じた場合の層間変位計測の概念図

層間変位計測用に柱脚および柱頭にアングル治具を設け、変位計を治具先端に取りつけ測定した。本計測方法では、節点角（床の回転）が生じるとアングル治具が部材角と同じように回転するため、柱の変形を測定していることとなる。階の節点角は下層の節点角の影響を受けるため、階数が多いほど柱の変位と層間変位のずれは大きくなる。これを解析結果での層間変位と同条件の結果比較とするため、解析で柱の変形を算出し、これと実験結果とを比較することとした。

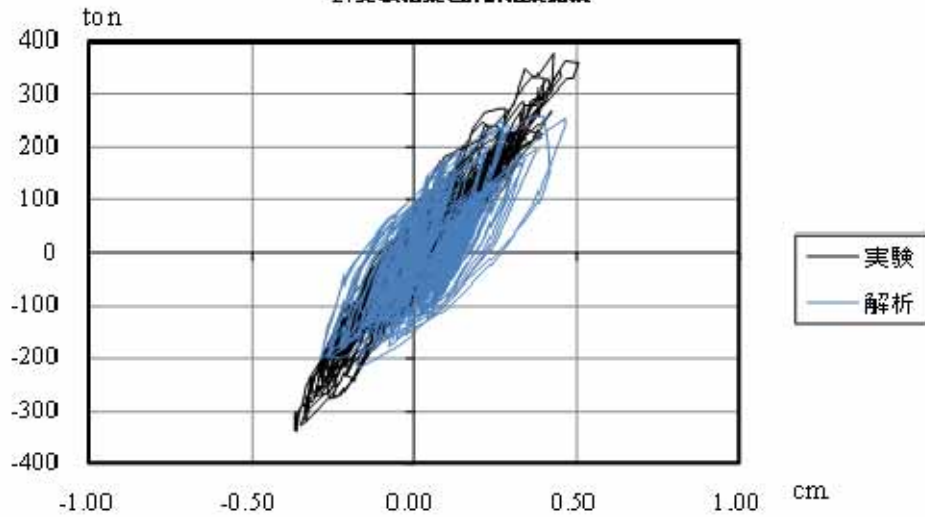
以上の条件に置いて解析した結果について、実験結果の内、JMA 神戸波は耐震実験時において基礎部滑りが発生したため解析との比較は除外し、最も応答加速度が大きかった横浜波について、実験と解析の比較を行った。各層での履歴特性を図 2.5 に示す。

解析結果と実験結果が良好に一致しており、解析モデルおよび材料特性の選定等の条件設定の妥当性が確認された。



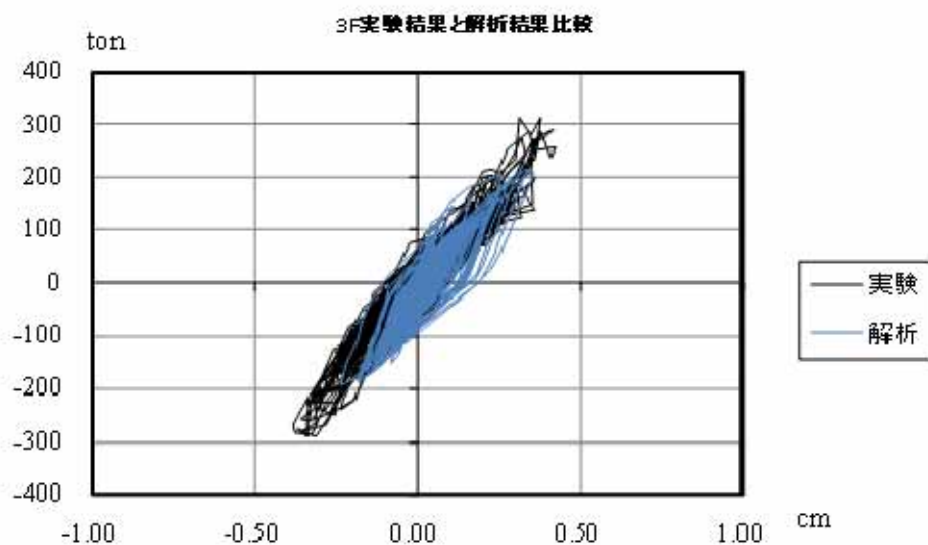
1 階

2F 実験結果と解析結果比較

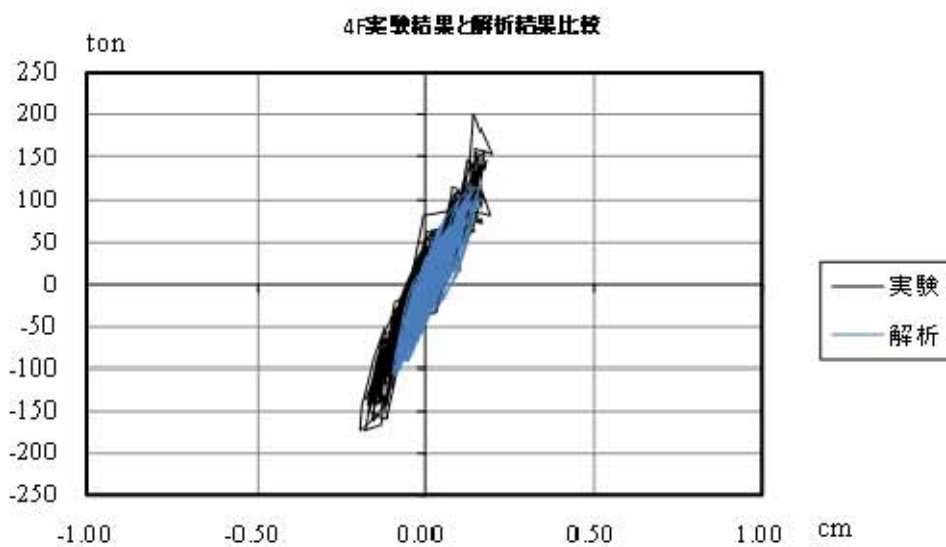


2 階

図 2 5 (a) 実験結果と解析結果の比較 (変形-層せん断力関係)



3 階



4 階

図 2 5 (b)実験結果と解析結果の比較 (変形-層せん断力関係)

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 21 年度では、平成 20 年度実施した E-ディフェンス実験の結果から、各構造での機能保持性能を中心に評価をおこなった。耐震構造では、長周期地震動を入力した場合はそれほどの被害は発生しなかったものの、短周期地震動を入力した場合は過去の震災時での甚大な被害と同様に、著しい機能低下が確認され今後の対策方法の検討に大きな課題を残した。免震構造に対して、短周期地震動を入力した場合、免震効果により非常に高い機能保持性能が実現できることを確認した。一方、長周期地震動を入力した場合、地震に対し非常に有効である免震構造においても、地震動の卓越周期と免震周期が近接している

場合は、想像を超えるキャスター機器の移動などが発生し、それらによる致命的な被害が確認された。

重要施設の数値モデルを構築し、実験データとの比較検証をおこない良好な結果を得ることができた。

今後は、ここで得た評価内容をガイドラインへと展開していく予定である。

(d) 引用文献

- 1) 国土交通省：官庁施設の総合耐震計画基準、1996
- 2) (社)日本免震構造協会：免震構造入門、オーム出版局、1995
- 3) 気象庁：87型電磁式強震計波形データ（1993年～1997年3月）、(財)気象業務支援センター、2002
- 4) 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
- 5) 佐藤俊明、壇一男：関東地震による首都圏の広帯域強震予測、免震構造設計指針、日本建築学会、pp.263-274、2001
- 6) Robert D. Blevins: FORMULAS FOR NATIONAL FREQUENCY AND MODE SHAPE, pp.337-385, 1997
- 7) 国土交通省住宅局建築指導課ほか：2007年版建築物の構造関係技術基準解説書、2007.8、pp.626-627、pp.637-638

(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、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
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概要 —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（その1）—	井上 貴仁 佐藤 栄児 酒井 久伸 福山 國夫 鎌田 崇義 小林 健一 笥 淳夫 中島 正愛	平成21年度 日本建築学会近畿支部研究発表会	2009.6	国内
短周期地震動に対する耐震および免震構造の応答性状 —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（その2）—	古川 幸 佐藤 栄児 紀 暁東 井上 貴仁 酒井 久伸 福山 國夫 笥 淳夫	平成21年度 日本建築学会近畿支部研究発表会	2009.6	国内

	小林 健一 中島 正愛			
長周期地震動による耐震および免震構造の機能保持性能について －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（その3）－	佐藤 栄児 井上 貴仁 酒井 久伸 福山 國夫 古川 幸 小林 健一 笥 淳夫 中島 正愛	平成21年度 日本建築学会近畿支部研究発表会	2009.6	国内
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概要 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その5）－	井上 貴仁 佐藤 栄児 笥 淳夫 小林 健一 鎌田 崇義 中島 正愛	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
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の試験体概要 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その6）－	福山 國夫 佐藤 栄児 酒井 久伸 島野 幸弘 井上 貴仁 中島 正愛	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
短周期地震動に対する耐震および免震構造の応答性状 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その7）－	古川 幸 佐藤 栄児 紀 暁東 酒井 久伸 福山 國夫 井上 貴仁 笥 淳夫 中島 正愛	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
長周期地震動による耐震および免震構造の機能保持性能 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その8）－	佐藤 栄児 酒井 久伸 古川 幸 福山 國夫 小林 健一 笥 淳夫 井上 貴仁	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内

医療施設に設置した高架水槽の長周期地震動による加振実験について －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その9）－	梶原 浩一 佐藤 栄児 酒井 久伸 福山 國夫 井上 貴仁 笥 淳夫	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
情報通信設備の機能保持性能 －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（その10）－	酒井 久伸 佐藤 栄児 井上 貴仁 福山 國夫 中島 正愛 小林 健一 笥 淳夫 鎌田 崇義	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
震動台実験による設備配管系の被害状況 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その11）－	中村いずみ 佐藤 栄児 酒井 久伸 森田 高市 平山 昌宏 井上 貴仁	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
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 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その12）－	鮫島 祐介 鈴木 重信 佐藤 栄児 酒井 久伸 古川 幸 福山 國夫 梶原 浩一	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
耐震構造での解析と実験結果の比較 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その13）－	池田 周英 島野 幸弘 鹿島 孝 石川 裕次 佐藤 栄児 長江 拓也 古川 幸 福山 國夫	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
解析結果と実験結果に対する考察 －震災時における建物	島野 幸弘 池田 周英 鹿島 孝	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内

の機能保持に関する研究開発（その14）－	石川 裕次 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び折れ戸の震動台実験 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その15）－	日高 和幸 佐藤 栄児 酒井 久伸 笥 淳夫 小林 健一 渡部 美根 井上 貴仁	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
実大実験による震災時の医療機器・什器の挙動に関する検討 －震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その16）－	小林 健一 笥 淳夫 渡部 美根 佐藤 栄児 酒井 久伸 井上 貴仁 鎌田 崇義	平成21年度 日本建築学会大会（東北）学術講演会	2009.8	国内
医療施設を模擬した実大構造物の震動台実験	佐藤栄児 梶原浩一 井上貴仁 福山國夫 酒井久伸 阿部健一 中島正愛 笥淳夫 小林健一	2009年日本機械学会運動と振動の制御シンポジウム	2009.9	国内
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	佐藤栄児 酒井久伸 井上貴仁 福山國夫 梶原浩一 中島正愛 笥淳夫 小林健一 鎌田崇義 古川幸	日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会	2009.8	国内
医療施設の実大加振実	梶原浩一	日本機械学会機械	2009.8	国内

験によるタンクの挙動について	佐藤栄児 酒井久伸 井上貴仁	力学・計測制御部門講演会		
Network Operation Center (NOC)の耐震性評価	酒井久伸 佐藤栄児 井上貴仁 中島正愛 鎌田崇義	インターネットコンファレンス2009	2009.10	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
急性期病院 これからの診療部門 医療施設の実物大振動実験結果… E-ディフェンス報告…	笈淳夫 佐藤栄児	医療福祉建築	2009.7	国内
医療施設は地震に耐えられるか?震災時における医療施設の機能保持評価のための実大実験を行って	渡部美根 笈淳夫 小林健一 佐藤栄児 井上貴仁	看護学雑誌	2010.2	国内
震災時における医療施設の機能保持評価のための実大震動台(E-ディフェンス)実験	佐藤栄児	日本医療・病院管理学会誌	2009.11	国内
実大実験による震災時の病院建築・医療機器・什器の挙動に関する検討-震災時における建物の機能保持に関する研究(その2)-	小林健一 笈淳夫 渡部美根 佐藤栄児 鎌田崇義	病院設備	2009.9	国内
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 佐藤栄児 井上貴仁 中島正愛 鎌田崇義	インターネットコンファレンス論文集	2009.10	国内
医療施設の機能保持性	佐藤栄児	日本建築学会構造	2010.4	国内

能を検証するための実 大震動台実験 震災時 における都市施設の安 全性・機能性評価	酒井久伸 福山國夫 井上貴仁 古川幸 鎌田崇義 笥淳夫 小林健一 中島正愛	系論文集		
--	--	------	--	--

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成22年度業務計画案

課題終了のため計画なし。

