

医療施設が地震に襲われたときの 評価実験

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 棠児 Eiji Sato

1. はじめに

地震が発生した場合、建物の倒壊を防ぐことは重要であり、建物の倒壊・破壊に関する研究はこれまで様々な研究機関で数多く実施され、今後も未解明の部分や社会変化に対応した耐震対策の検討は実施されていくだろう。一方、被災後の政治、経済、医療、情報発信などの社会活動の停止は、被害の拡大防止やその後の復興にも多大な影響を与えるため、これら都市施設・機能を被災後も継続させることも不可欠な課題であり、最近では官公庁および民間機関において災害時などに備えたBCP(Business Continuity Plan:事業継続計画)の策定なども同時に注目されている。

そこで文部科学省では、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」を平成19年度から5年計画で主導した¹⁾。このプロジェクトのテーマの一つとして、「②都市施設の耐震性評価・機能保持に関する研究(1)震災時における建物の機能保持に関する研究開発」を独立行政法人防災科学技術研究所が推進、実施した。

本テーマでは、大地震時の重要施設の機能 保持の研究を進め、特に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 施設の機能を震災時にも維持するための研究 を行った。実際に1995年の兵庫県南部地震 (死者数6434人、負傷者数43792人)の時に は、兵庫県下で地震発生1週間までの患者数 は12万人を超え、そのうち入院を要した患者 数は約2万人にもおよび²⁾、医療施設の総数約3140施設(病院約220、診療所約2920。ただし歯科診療所は除く)のうち半数以上の約1660施設(病院約190、診療所約1470)が被害を受け³⁾、1000を超える医療施設が診療不能となった。そこで我々は、医療施設の機能保持性能向上をめざし、実大三次元震動破壊実験施設(愛称:Eーディフェンス)を用いた医療施設の実大実験を中心に実施し、そこで得られた様々な知見から、地震に備えた重要施設の在り方について取りまとめた。

2. Eーディフェンス

Eーディフェンスとは、図1に示す実大三次元震動破壊実験施設の愛称で、(独)防災科学技術研究所が所有する構造物の耐震性を評価する世界最大の振動実験施設である。1995年1月17日の兵庫県南部地震を契機に、建設計画が立ち上がった。兵庫県南部地震では、これまで地震被害に対して問題ないと考えら

図1 実大三次元震動破壊実験施設(Eーディフェンス)



れていた多くの構造物がいとも簡単に破壊さ れ、6400人余りの貴い命が犠牲となり、さ らに数十万人の人々が家を失うという大惨事 となった。この地震被害を教訓として、実際 の地震動で実物大の建物を揺らし、その破壊 過程を詳細に検証し、さらに構造物の耐震性 向上技術や新たな耐震補強技術などを確立す るための、究極の検証手段として、Eーディ フェンスは建設された。

3. 医療施設を模擬した 実大実験

(1)実験方法

医療施設を模擬した鉄筋コンクリート造4階 建ての試験体(高さ約18m、各階床面積80m² (8m×10m))を建設し、内部に診察室、人工 透析室、手術室、病室などを配置した。模擬 した医療施設の外観を図2に部屋の配置を図3 に示す。室内には人工透析装置、手術用機器、 医療棚など実際に用いられている様々な医療 機器などを、床・壁固定、床置き、キャスター 付き(ロックまたはフリー)などそれぞれの通常 の使用状況にあわせて設置した。

建物の構造形式は、地震の揺れで大きく変 形しないよう丈夫に建物を建設し、地盤に直 接建てた"耐震構造"と、建物に伝わる揺れを 抑えるため積層ゴムなどで構成される免震装 置を地盤と建物の間に介在させた"免震構造" の二つとした。このうち免震構造は、1995年 の兵庫県南部地震以前は病院ではほとんど採 用されていなかったが、地震後に建設が急速 に増加し、現在までに約300件が建設されて いる⁴⁾。ちなみに首相官邸も免震構造である。

入力地震動は、短周期地震動として、1940 年にアメリカで起きたインペリアルバレイ地 震で観測されたエルセントロ波を最大速度 50cm/s(レベル2地震動⁵⁾: 極めてまれに発 生する地震動、入力最大加速度511cm/s²、 震度5強)としたものと、1995年に起きた兵 庫県南部地震で観測されたJMA神戸波(神戸 海洋気象台観測波)を80%(入力最大加速度 654cm/s²、震度6強)にしたものなどを用い た。また長周期地震動としては、東海・東南 海地震で予測されている三の丸波(入力最大 加速度186cm/s²、震度5強)を用いた。

図2 医療施設を模擬した試験体



図3 試験体内の部屋配置状況



(2)耐震構造の医療施設での実験

長周期地震動である三の丸波の加振では、建物室内の床の最大応答加速度は200~250cm/s²程度となり、構造的な被害はほとんどなく、室内被害として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約50~80cm移動した程度であった。

短周期地震動であるJMA神戸波80%などの加振では、建物室内の床の最大応答加速度は、入力地震動の約2~3.4倍に増幅され、最大で2000cm/s²以上に達したものも確認された。構造的には建物の固有周期が伸びたが、致命的な損傷(建物として使用不可能な状態)は発生しなかった。室内被害としては、ほとんどすべての機器が移動し、床や壁に金物など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などの物品の散乱、スライド式扉の脱落、機器の転倒・落下などが確認された。また手術台のマネキン人形(質量45kg)が台上からずり落ちそうになって

おり、大地震時に人体が受ける振動の激しさを物語っている。実験後のこれらの状況を図4に、機能的な被害をまとめたものを表1に示す。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推測される。また大規模地震災害時には放射線機器などによる診断を伴う災害医療が多く必要とされ、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ることが予想される。しかしながら、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、また使用上の安全も確保できないものと考えられる。

(3)免震構造の医療施設での実験

短周期地震動であるエルセントロ波50cm/s、JMA神戸波80%の加振では、建物室内の床の最大応答加速度は200cm/s² ~250cm/s²と入力地震動に比べ大きく低減され、高い免震効果が発揮されたため構造的

図4 耐震構造における 短周期地震波加振後 の室内状況(無対策)









表1 耐震構造の室内被害(無対策)

地震動	短周期	長周期
キャスター機器(フリー)	70cm 程度の移動	50cm 程度の移動
キャスター機器(固定)	50cm 以上の移動あり	移動なし
	衝突による転倒	
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	80cm 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	移動なし
	患者転落しかかる	患者問題なし
手術室壁パネル	ダクトパネルの脱落	被害なし
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

な被害はほとんどみられなかった。室内の被 害としても、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程度の移動で、病院機能に大きく影 響する被害は確認されなかった。

一方、長周期地震動である三の丸波では、 建物の最大応答加速度が250cm/s²程度とな り、免震構造でありながら入力地震動の約1.3 倍に増幅する結果となった。これは、免震構 造の固有周期と地震動に多く含まれる周期成 分とが近接していたため、免震建物が共振し 応答が増幅したと考えられる。しかしながら、 共振しても建物の応答加速度が250 cm/s² 程度であるため、構造的な被害はほとんど確 認されなかった。一方、室内の被害としては、 直接床に設置された機器やキャスターをロッ クした機器には特に問題は無かったものの、 キャスターをフリーにした機器は、室内を動 き回り、多くのものが1m以上移動し、最大で 3m以上移動しているものや、移動により衝突 し転倒した機器もみられた。また、移動した 機器がその周りにある機器などに激しく衝突 し損傷する状況が多数観測され、100kg以上 の機器が衝突したことにより、手術室の壁パ ネルと病室の壁ボードなどの大きな損傷が生 じた。またキャスターをフリーにした透析装 置が移動して床上のケーブル・チューブ類に 引っかかって転倒する現象や、スライド式扉 が激しく開閉して扉の枠およびストッパーな どに衝突し、破損することが確認された。実験 後のこれらの状況を図5に、機能的な被害を まとめたものを表2に示す。免震構造である から大丈夫という過信は危険で、動きやすい 機器の固定など最低限の地震対策は必要であ ることが強く印象づけられる結果となった。

(4)機能保持向上技術に関する評価実験

被災後の機能低下による地震被害を防ぐ対 策方法を検討し、それらを施した医療施設の 震動台実験を実施して、地震対策の効果と限 界について確認を行った。

図5 免震構造における 長周期地震波加振後 の室内状況(無対策)









表2 免震構造の室内被害(無対策)

次と 元辰悟旦の主門版告 (無利泉)		
地震動	短周期	長周期
キャスター機器(フリー)	60cm 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)	1m 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	移動なし
	患者問題なし	患者問題なし
手術室壁パネル	キャスター機器の衝突	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

図6 主な地震対策



(a) キャスター付きワゴンのロック対策



(b) 点滴台をベッドにバンドで固定



(c)引き出しのバンドによる固定



(d)壁面に防護用のステンレスプレートの設置 と機器類のバンドによる壁面固定

図7 実験後の室内状況(地震対策有)



(a) 免震構造内の手術室



(b)耐震構造内の手術室(床応答1G程度)

地震時における医療施設の機能低下による被害を軽減させるための対策として、まず、機器類の確実な固定が有効な方法と考えられるが、医療現場における様々な状況に対応するため、常時、機器類を固定することは現実的でない場合がある。そこで、医療機器類の使用状況も考慮し、①キャスター機器の簡便・高度な固定対策、②機器の壁面などへの簡易固定対策、③衝突対策のための壁面の防護、④免震床・機器免震による対策、などの地震対策について検討した。主な地震対策状況を図6に示す。

実験後の主な室内状況を**図7**に示す。免震構造の場合、実験後の室内状況からもわかるように、前述した地震対策を適切に施すこと

により、キャスター機器の大きな移動により 発生する被害を軽減させられることが示され た。これにより、極めてまれに発生する短周 期地震動(レベル2)はもとより無対策時に被 害を出した長周期地震動においても、施設の 機能は十分保持されることが確認できた。

一方、耐震構造に関しては、JMA神戸波Lv1(レベル1:まれに発生する地震動、入力最大速度25cm/s²、入力最大加速度275cm/s²、震度6弱)加振までは、地震対策が有効に働き、ほとんど機能的に問題となる被害はなかった。一概に入力地震動の大きさのみで被害様相を評価できないが、床の応答加速度が約500cm/s²~600cm/s²までであれば、地震対策を施すことにより、機器の移動、転倒、

物品の散乱などはほとんどみられず、災害後の医療活動に支障がきたすことがない程度であることが確認された。しかし、同じ加振実験においても床応答加速度が、1G(980 cm/s²)近くまで達する階(図7の耐震構造の場合)では、そうでない階と比較し、地震対策を施しても対策機器の限界や破損などにより機器の移動、物品の散乱などがみられた。

4. まとめ

地震対策を実施していない耐震構造の医療施設において、物品の落下・散乱、ドアの脱落などの被害に加えて、施設内にある無固定のほぼすべての機器が移動するのが確認された。CTをはじめとする重量のある高度な医療精密機器の移動や転倒、さらには物品の散乱は、高度な医療行為はおろか、大規模災害時に即座に必要とされる災害医療も実施できない状況を招き、病院の機能を著しく低下させることが明らかとなった。

また、地震対策を実施していない免震構造の医療施設において、短周期地震動に対しては、免震効果が非常に有効に働き、医療施設の機能を十分保持できることが確認できた。しかし、免震構造の医療施設が長周期地震動に遭遇したとき、ロックされていないキャスター付き医療機器の移動により引き起こされる被害が明らかとなった。なかでも衝突による手術室の壁の破損がみられ、医療施設特有の衛生保持機能の低下が懸念される。

一方、地震対策を施した免震構造に関しては、今回用いた長周期地震動において施設の機能保持対策として機器などに適切な地震対策を施せば、地震後においても十分施設の機能を保持できるものと考えられる。また、地震対策を施した耐震構造に関しては、まれに発生する地震動(レベル1地震動)においては、地震対策を施すことにより機能的に大き

図8 実験成果をとりまとめた配布物



病院スタッフのための 地震対策ハンドブック



教育用地震対策啓発映像

な問題となる被害は発生しなかったが、極めてまれに発生する地震動(レベル2地震動)において、機能を十分保持するためには、依然として多くの課題が残った。

今回の研究において得られた結果は、地震対策のためのハンドブックと教育用地震対策 啓発映像($\mathbf{図8}$)に取りまとめ、配布および広 く公表している 6 。

参考文献

- 文部科学省:首都直下地震防災・減災特別プロジェクトの最終成果報告について、
 http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/jishin/1319360.
- 2) 薬業時報社大阪支局編集部: 災害医療 阪神・淡路大震災 の記録 一被災地の命はどう守られたか一、薬業時報社、 pp.14、1995
- 3) 東京都: 阪神·淡路大震災調査報告書-平成7年兵庫県南部地震東京都調査団-、東京都、pp242-249、1995.3
- 4) 社団法人日本免震構造協会集計データより
- 5) 建設省建築研究所、(財) 日本建築センター: 設計用入力地 震動作成手法技術指針 (案)、平成4年3月
- 6) 防災科学技術研究所:病院スタッフのための地震対策ハンドブック ーあなたの病院機能を守るための身近な対策ー、「大地震への備えー機能保持をめざして一」、「大地震、その時病院は・・・」、http://www.bosai.go.jp/hyogo/syuto-pj/outcome1.html

8230200

1998年名古屋工業大学大学院博士前期(修士)課程修了後、科学技術庁 防災科学技術研究所(現(独)防災科学技術研究所)に入所。2009年東京大学にて博士(工学)を学位取得する。現在、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。免震構造および制御工学を中心に耐震工学の研究を行っている。