

震災時における医療施設の機能保持実験

大地震時に病院は機能するか



兵庫耐震工学研究センター 主任研究員 佐藤栄児

はじめに

都市部に大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Eーディフェンスを含め数多く実施されてきました。今後も未解明の現象や社会変化に対応した耐震対策の検討のため、Eーディフェンスの活用が期待されています。一方、被災後の政治、経済、医療、情報発信等社会活動の停止は、被害の拡大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・機能を災害後も継続させることも不可欠な課題であり、また最近では官公庁および民間機関において災害時等に備えたBCP（Business Continuity Plan: 事業継続計画）の策定なども注目されています。

そこで本テーマでは、大地震時の重要施設（医療施設・通信施設等）の機能保持の研究を進めることとし、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ています。実際に1995年の兵庫県南部地震（死者数6434人、負傷者数43792人）時には、兵庫県下で地震発生後1週間までの患者数は12万人を超え、うち入院を要した患者数は約2万人にも及んでいます¹⁾、医療施設の総数約3100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1600施設（病院約190、診療所約1470）が被害を受け²⁾、1000を超える



写真1 試験体全景

医療施設が診療不能となりました。

ここでは医療施設の機能保持性能向上をめざし、Eーディフェンスで行った医療施設の実大実験について紹介します。

医療施設を模擬した実大実験

医療施設を模擬した鉄筋コンクリート造4建ての試験体（写真1）（高さ約18m、各階床面積80㎡（8m×10m））を建設し、1階に撮影室、情報通信室、2階に診察室、人工透析室、スタッフステーション、3階に手術室、集中治療室（ICU）、4階に病室、情報通信室を配置しました（図1）。室内にはX線撮影装置、人工透析装置、手術用機器、医療棚、情報通信機器など実際に用いられている様々な医療機器等を、床・壁固定、床置き、キャスター付き（ロック又はフリー）などそれぞれの通常の使用状況にあわせた設置



図1 配置図(試験体断面図)

方法で設置し、通信機器については1階と4階を光ケーブルにより接続し実際に通信しながら実験を行いました。また、機能保持性能の比較を意図し、屋上に新旧2つの高架水槽を配置し、複数材質の給排水管、形式の異なるスプリンクラーを設置しました。

建物の構造形式として、建物を震動台に直接固定する従来の“耐震構造”に加え、建物の揺れを抑えることを意図して積層ゴム等で構成される免震装置を介して建物を支持する“免震構造”の2つの形式を採用しました。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1例もありませんでしたが、地震後に建設が急速に増加し、現在までに約100件が建設されています。(ちなみに首相官邸も免震構造です。)

入力地震動は、短周期地震としてインペリアルバレイ地震(1940)時に観測されたエルセントロ波をレベル2地震(最大速度50cm/s)として(入力最大加速度511cm/s²、震度5強)、兵庫県南部地震(1995)時に観測されたJMA神戸波を80%にして(同654cm/s²、震度6強)、関東地震(1923)時での推定波である横浜波(同

449cm/s²震度5強)の3つを用い、また長周期地震動として東海・東南海地震で想定されている三の丸波(同186cm/s²、震度5強)を用いました。

耐震構造の病院での実験結果

長周期地震である三の丸波の加振では、床の最大応答加速度は200～250cm/s²程度で、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移動した程度でした。また、屋上の高架水槽にスロッシングが発生し、新旧両方の水槽から水が噴出するのが確認されました。

短周期地震である横浜波、エルセントロ波50cm/s、JMA神戸波80%の加振では、床の最大応答加速度は約2～3.4倍に増幅され、最大で2000cm/s²以上に達しているものも確認されました。構造的には建物の固有周期が初期状態の約0.24秒から最終的に1.5倍の約0.36秒に伸びましたが、致命的な損傷(建物として使用不可能な状態)は発生しませんでした。

室内被害としては、ほとんど全ての機器が移動し、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ました。また手術台のマネキン人形(重さ45kg)が台上で回転して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ます。実験後のこれらの状況を写真2に、機能的な被害をまとめたものを表1に示します。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ます。また大規模地震災害時には放射線



写真2 耐震構造における短周期地震波加振後の室内状況

表1 耐震構造の室内被害

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 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	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 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	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

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、また使用上の安全も確保できないものと考えられます。

免震構造の病院での実験結果

短周期地震であるエルセントロ波 50cm/s、JMA 神戸波 80% の加振では、床の最大応答加速度は 200cm/s² ~ 250cm/s² と低減され、高い免震効果が発揮されており、構造的な被害はほとんどみられませんでした。室内の被害としては、

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りましたが、ほとんどが 60cm 程度で、病院機能に大きく影響する被害は確認されませんでした。

しかし、長周期地震である三の丸波では床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約 1.3 倍に増幅してしまいました。これは、免震構造の固有周期と地震動が持っている最もパワーのある周期(卓越周期)とが近接しているため、免震建物が共振し応答が増幅してしまったためです。この共振により建物はゆっくりゆらゆらと大きく揺れるのが観測されました。共振しても応答加速度が 250cm/s² 程度であるため、構造的な被害はほとんどみられませんでした。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なかったものの、キャスターをフリーにした機器は、室内を走り回り、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ました。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



写真3 免震構造における長周期地震波加振後の室内状況

表2 免震構造の室内被害

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 患者問題なし	移動なし 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
吸引ピン	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

器などに激しく衝突し損傷する状況が多数観測され、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ました。キャスター付きの機器を有効に移動しながら使用する手術室の混乱やキャスターをフリーにした透析装置が移動し床上のケーブル・チューブ類につまづき転倒するのが観測されました。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衝突し、扉、枠、ストッパーの破損などがみられました。ただし、実験後に開閉に支障が起きることはありませんでした。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りました。

免震構造であるから絶対に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でした。

まとめ

今回の実験より、免震構造では短周期地震が襲ってきた場合、機能保持が可能であることが確認されました。しかし、免震構造はどの地震動に対しても構造的な被害軽減に有効ですが、今回の長周期地震に対する免震構造の室内被害から、苦手とする長周期地震などでは思わぬ室内被害が発生し折角費用をかけて免震構造にしても地震対策の効果が半減してしまうことが考えられます。免震構造といえども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と考えられます。

今後、大地震時に病院機能を守るため、今回取得できた実験データより明らかになった知見、情報を広く公開していく予定です。

<参考文献>

- 1) 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
- 2) 東京都：阪神・淡路大震災調査報告書一平成7年兵庫県南部地震東京都調査団一、東京都、pp.242-249、1995.3