

### 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 重要施設における過去の震災被害調査

##### (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、医療機器など重要機器およびシステムの耐震性に関して調査検討を行い、地震災害に対する脆弱性を定量的に評価する。

###### (b) 平成19年度業務目的

重要施設における過去の地震災害に対する被害調査を行い、災害時における問題点を抽出する。文献による調査や実際に被害にあった施設を訪問し、聞き取り調査等を行う。これらの調査結果を取りまとめ、災害時における問題点を洗い出し、より具体的な研究の方向性を明確にし、今後の実験計画立案等の参考データを得る。

###### (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	主任研究員	佐藤 栄児
兵庫耐震工学研究センター		
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
千葉大学	教授	中山 茂樹
名古屋大学(現工学院大)	准教授(教授)	山下 哲郎

##### (2) 平成19年度の成果

###### (a) 業務の要約

地震発生時に医療提供機能が期待される重要施設である病院にもたらされた過去の震災被害について、文献調査およびヒアリング調査によって概観した。本節で対象とした過去の大規模地震は2つである。

まず、大規模な都市型地震である兵庫県南部地震(1995年)による被害について、既往文献のレビューを行い、問題点を抽出した。

また、本研究の実施期間中に新潟県中越沖地震(2007年)が発生したことを受けて、被災地域の病院の現地視察およびヒアリング調査を行い、問題点を抽出した。

###### (b) 業務の成果

###### 1) 兵庫県南部地震における病院の被害状況調査

兵庫県南部地震についての被害調査のうち、病院の被害に関する報告書<sup>1) 2)</sup>のレビューを行った。以下では特に医療機能の低下に関連するものについて記述する。

#### a) ライフラインの寸断による影響

兵庫県南部地震では、都市機能を支える水道・電気・ガスが停止することにより生活に支障を来したが、病院の診療機能に対しても大きな影響を与えた。

また電話が不通となり情報伝達に支障が出て、その結果として病院での診療活動が円滑に行われなかった例もある。被災地域のそれぞれの病院では、被害の程度に応じて連携して効率的な医療提供を行うことが望ましいが、混乱した災害時にはデマ・流言も広まるために、病院外部の被災状況について正確な情報を獲得することが重要である。

これらライフラインの寸断に対しては、それぞれの病院としては対策を立てることができない。従って復旧するまでは個々の病院は独立して対応しなければならない。各事例でみたように、過去の事例からライフラインの寸断によってどのような状況が発生するのかを把握し、有効な代替手段を確保する必要がある。

#### b) 二次部材・什器の被害

多くの病院において、カルテやレントゲンフィルムを保管するラック、医局などにある本棚、薬品棚が転倒して収納物が散乱したことが報告されている。薬品瓶などガラス製品が放り出されることにより、室内が混乱するだけでなく危険で使用不可能な状況に陥ったという。つまり二次部材や什器の被害は、医療提供を行う場所を混乱させ使用困難にする可能性がある。

二次部材・什器は種類が多いこと、用途がさまざまであること、関連業者が多岐に渡ること等の理由から、建築構造と異なり統一的な耐震性能指針を出すことは困難である。しかし大型什器は強い地震動により転倒し、人に危害を加える凶器となり得ることを考えると、平常時における機能性と同時に安全性の確保が必要である。二次部材・什器の被害が医療機能を低下させることは避けなければならない。

#### c) 建築設備の被害

大規模地震時では水道・電気・ガスなどのインフラを病院内で用いるための建築設備も損傷し、建物の基本的な機能が低下する。

兵庫県南部地震発生直後の病院では、水が不足することで滅菌・検査・手術・洗浄などが行えず、医療提供に支障をきたした例が報告されている。

電気は停電時には非常用発電機により供給されるが、非常用発電機が水冷式である場合には、水の不足により使用不可能となった事例が報告されている。これは電気と水の供給が、それぞれ無関係に計画されていたことによるものである。

エネルギーの供給については、都市部においてはプロパンガスではなく都市ガスによりまかなっている。ガスの復旧は、火災の危険がなくなるまで不可能なため、電気と比較して遅くなるので、とくに入院患者への給食に支障をきたしたことが報告されている。

またコンピュータに対する依存度が高まっているが、停電や端末処理機の落下・転倒による破壊によりコンピュータが使用できなくなることで、事務作業にも支障が出た。

つまり、建築設備機器が機能の多くを支えている現在の病院では、建築設備機器が破壊することで診療行為自体に支障が出るほか、事務手続や患者の生活にも大きな支障が出るということが明らかになっている。

#### d) 医療設備の被害

固定式機器についてみると、床や壁にアンカーボルトで固定されたものについては転倒を免れた例が多いが、固定されていないものについては重量装置ですらも激しく移動された例が報告されている。また手術や検査のための天井吊り下げ式のアーム機器、モニタなどの据置式機器については、落下して衝撃を受け故障した例があった。

ワゴンやベッドなどキャスター付きの可動機器については、キャスターがロックされているものでは転倒し、ストッパーのないものは転倒を免れたという報告がなされている。しかしストッパーなしの場合は激しく動き回ることにより、他の機器に衝突した例もみられた。また可動機器では重心が高い位置にあるものほど転倒危険性が高い。

病院の機能は建築設備に対する依存度が高く、医療機器自体が無傷にも関わらず、ライフラインおよび病院内の建築設備の被害により、事実上使用不可能となった例が報告されている。

医療設備機器の地震対策は、機器そのもの耐震性能を高めること（医療機器メーカーによる対策）、設置に際しての工夫（設計・施工者による対策）、そして整理整頓など使用に際しての対策（病院運営者・ユーザーによる対策）というように、各段階での対策を総合的に行う必要があると思われる。

#### 2) 新潟県中越沖地震における病院の被害状況調査

新潟県は近年、中越地震（2004年10月、M6.8）、中越沖地震（2007年7月、M6.8）という2つの大規模地震に見舞われた。本研究班では、中越沖地震により震度6を記録した地域（市）に位置する病院のうち、とくに多数の患者を受け入れた<sup>3)</sup>以下の4病院を対象として、現地視察および震災発生時の状況についてヒアリング調査を実施した。調査期間は2007年9月18日～20日である。

- ・ A病院（柏崎市、350床、9月18日調査）
- ・ B病院（柏崎市、440床、9月19日調査）
- ・ C病院（長岡市、748床、9月19日調査）
- ・ D病院（長岡市、529床、9月20日調査）

以下、病院ごとにヒアリング内容をまとめる。

##### a) A病院（柏崎市、350床、9月18日調査）における被害状況

###### 概況：

- ・ 各棟をつなぐ接続部分（エキスパンションジョイント）が弱く破損した。
- ・ 耐震補強工事中だったが、配管のダメージが大きかった。構造体は問題なかった。

###### 中材：

- ・ オートクレーヴ、ガス滅菌装置にダメージあり。ガス滅菌装置は修繕できず、更新した。

###### 水：

- ・ 受水槽（容量160t）・高架水槽はダメージなし。
- ・ 配管に亀裂が入り水漏れした。

###### 電気：

- ・ 停電しなかったので自家発電機は稼働しなかった。

#### エネルギー：

- ・ ガス復旧までの食事提供としては、ボイラーによる水蒸気を使って、炒め物などを調理し提供した。

#### 医療配管：

- ・ ダメージは小さかった。

#### 手術：

- ・ 手術室のパネルの背後にある構造体の壁が落下した。古い建物なので、パネル構造の手術室ではなかったのかもしれない。

#### 放射線関係：

- ・ M R I はアンカーを打っていなかった。20cm平行移動し、ケーブルが切断された。
- ・ ガンマカメラはアンカー固定されており、移動しなかった。
- ・ C T はダメージなく、地震当日から使用できた。ガントリーをケミカルアンカーで床に固定していた。
- ・ 単純撮影もダメージなし。
- ・ C R (Computed Radiography) 装置のハードディスクにダメージあり、インストールし直して復旧するのに1日かかった。
- ・ M R I (P社製、1.0テスラ、重量4t)は患者を撮影中だった。人的被害はなかったが、ガントリーがずれ、復旧に4日を要した(写真1)。なおP社は設置にあたりボルト固定しない方針をとっており、本院でも台車に乗っているだけの状態で使用されていた。
- ・ R I 装置はアンカー固定されている寝台が動いてずれ、3日間使用不能になった。
- ・ X線テレビはアンカーボルトが抜け落ちた。

#### 検査：

- ・ 検査台は固定されておらず動いたが、機器は落下せず。ダメージは小さい。
- ・ 検査台の給排水配管はダメージなし。超音波滅菌装置は水がなく故障した。

#### 病棟：

- ・ 人工呼吸器は70台あるが、転倒やダメージなし。人工呼吸器はキャスター固定していない。
- ・ 病棟ではコンピュータの落下があった。
- ・ スプリンクラーのダメージなし。
- ・ エレベータ(4機+仮設棟1機)はすべて停止した。地震当日の夜遅くにメーカーにより復旧した。

#### 給食：

- ・ 早い時期から非常食が支援提供されたため問題なかった。

#### 空調：

- ・ (冷温水管、ロスない換気)外来で冷房できなくなった。

#### その他：

- ・ エントランスホールの壁：コンクリートが崩れ鉄筋が露出していた。(写真2)



写真1 A病院：MRI装置：脚部分は床への固定なし



写真2 A病院：エントランスホールの壁：仕上げモルタル破損

## b) B 病院（柏崎市、440 床、9 月 19 日調査）における被害状況

### 概況：

- ・地震発生翌日の 7 月 17 日のみ休診したが、18 日より通常診療を開始した。
- ・中越地震では大きな被害がなかったため、その後とくに対策はしていなかった。
- ・公共施設としてみなされ、トイレ利用目的で来院する市民が多数あった。
- ・地震発生から 3 時間後に最初の D M A T が到着した。最終的には、40 施設から 43 チームが当院に集まり、そのうち 27 チームが滞在して活動した。
- ・D M A T の拠点として会議室を使用した。この地域の唯一の総合病院なので、D M A T の調整・コントロールにも混乱はなかった。D M A T のほか医療救護班も来院した。
- ・トリアージとヘリ搬送がうまくいっていなかったため、D M A T が到着したときにマネジメントを依頼した。
- ・医療ヘリよりも報道ヘリが先行した。近くに原子力発電所があるためと推察される。
- ・市内の開業医（外科）が診療支援でかけつけた。平時より夜間救急などで病診連携ができていた。

### 電気：

- ・一般外来に非常用コンセントがなく困った。薬局から延長ケーブルで引いた。
- ・自家発電機は水冷式である。冷却塔に冷却水を供給する配管が破断した。

### 水：

- ・水槽は 1 階に 150 t の受水槽あり。1 階から高架水槽 40 t へポンプアップし給水する方式である。
- ・1 階の受水槽（150 t）の上部天板が破損した（パネル交換）。側板も破損した。
- ・高架水槽は壊れなかった。
- ・地下の雑用水槽 800 t あり。井戸水を一時貯蔵する水槽で、通常は消雪パイプなどに使っている。この雑用水槽の水を活用することができ助かった。
- ・当院では当初、井戸水を導入する計画があったが、水質が悪くトイレの栓が詰まる事態となり、井戸水は使っていなかった。
- ・スプリンクラーが少し下がった箇所があるが、損傷はない。
- ・配管が地表に露出した箇所があった。（写真 3）

### ガス：

- ・ガスは停止したため、ガス熱源の給湯・滅菌・空調・調理機器が使えなくなった。

### 空調：

- ・空調の完全復旧は 8 月 8 日であった。

### 病棟：

- ・汚物処理に困った。ポータブルトイレに溜めてまとめて流すなど、水節約の工夫をした。
- ・非常用電源は全病室には整備されていないので、ハイリスクの患者を集めて収容した。
- ・透析機器は転倒せず。キャスターで移動しただけで被害はなかった。
- ・入院透析患者が 6 階に入院しているが、透析室が 2 階にあり、エレベータが停止したため階段での移動を強いられた。
- ・天井の破損および上階からの漏水があった。（写真 4）

#### 放射線：

- ・機器の被害はなかったが、ポータブルX線が6階に置いてあり、エレベータが停止したため地上階まで降ろせず、被災患者の撮影に活用できなかった。
- ・放射線部門には非常用電源がない。一時的に大容量の電流を要するので非常用電源での対応が難しいと思われる。
- ・CTとMRIにはパッケージエアコンがついており空調できた。

#### 検査：

- ・内視鏡が洗浄できなかったために1週間使えなかった。
- ・オートクレーブ、内視鏡が壊れた。

#### 手術部門：

- ・機器の被害はなし。
- ・水の影響で空調が2週間ほど完全には使えない状況になった。温度管理ができなくなったが、カラ空調で稼働し、簡単な手術は実施した。
- ・地震発生時は整形外科の手術を始めるところだった。手術を続行する判断をし、30分で手術を終了した。
- ・手術室内のキャスター付きワゴンは重いのでそれほど動かなかった。そのワゴンにつかまって揺れに耐えた。

#### 薬剤部：

- ・ほとんど損害なし。

#### 空調：

- ・中央コントロール方式である。換気は空調と一体なので、空調が止まると換気できなくなる。
- ・冷温水発生器の点火装置、冷温水の配管が壊れた。
- ・ガスエンジンヒートポンプが震災後の動作テスト中に壊れた。



B病院：外構：配管が地表に露出した箇所



写真4 B病院：天井：破損および上階からの漏水があった箇所

c) C病院（長岡市、748床、9月19日調査）における被害状況

概況：（被害が少なかったため概況のみのヒアリングとなった）

- ・中越地震のときは激しい揺れで被害が大きかった（地震発生から数日後に无影灯が外れた等）が、中越沖地震ではゆっくりした横揺れであり、被害は少なかった。柏崎地区への支援を中心に活動した。
- ・階段室の壁、スラブの打ち継ぎ部分にクラックが発生した。
- ・7月16日（地震当日）の受診者68名はほとんど近隣の患者だった。
- ・トリアージは救急センター入り口前で実施した。軽症者はリハビリ室、重症者は救急センターにて対応した。
- ・ガス・水道・電気は問題なし。電話は輻輳し不通になった。
- ・生化学自動分析装置が振動で薬液がこぼれたことにより作動しなくなった。中越沖地震による医療機器の被害としては、この程度であった。（写真5）



写真5 C病院：生化学自動分析装置：薬液漏れにより故障した

d) D病院（長岡市、529床、9月20日調査）における被害状況

概況：

- ・この地域は、中越地震では震度6強、中越沖地震では震度6弱を記録した。
- ・築15年と築30年の建物が渡り廊下で繋がっている。中越沖地震では、廊下の接続部で段差が生じたが、それ以外に建物に大きな被害はなかった。
- ・中越地震の後に耐震診断・耐震補強などの対策はしていない。機器の固定などについても、中越地震の後もとくに対策は行っていない状況だった。

- ・新しい建物のほうが大きな揺れを感じた。7階の小児科病棟では特に揺れが大きかった。
- ・エレベータが余震のたびに停止するため、東芝のサービスマンが病院に常駐した。
- ・病歴室（8階）のカルテが飛び出したが、カルテ庫が倒れるような被害はなかった。（写真6）

#### 電気：

- ・地域のライフラインは停止しなかったが、病院内の設備（変圧トランス）が断線故障したため、地震発生当日から翌日の夜中にかけて48分間停電し、非常用発電機が作動した。余震が続いたことにより、過度な変形が生じたための低サイクル疲労だと思われる。

#### 水：

- ・水道は止まったが高架水槽で十分まかなえた。
- ・8階のスプリンクラーヘッドが下がった。
- ・水槽は90t、30tの2つである。水槽の汚れが振動で混じったようだが、飲用に問題なく、苦情は多くなかった。

#### ガス：

- ・ガスの引き込み管が余震により壊れた。
- ・平時はガス炊飯器を使っているため、給食（後述）に影響が出た。

#### 給食：

- ・平成15年に厨房システムを更新し、炊飯器以外はオール電化としていたため、調理に支障はなかった。米については電気炊飯器を借り、米をどんどん炊いて冷凍した。
- ・真空調理法のため地震発生時の対応が容易だった。平時より無洗米を使用していた。
- ・地震発生当日に、家屋倒壊を恐れて病院に避難してきた近隣住民に食事提供した。

#### 空調：

- ・理事長室のパッケージエアコン（天井埋め込み吹き出し口）の加湿用導管が壊れて水浸しになったが、被害としては軽微なものであった。

#### 病棟：

- ・人工呼吸器（ストック）1つが壁にぶつかり故障した。転倒はしなかった。

#### 手術：

- ・地震発生時には手術や心カテなどは実施しておらず、機器の転倒・破損などの被害もなかった。

#### 放射線：

- ・CT、MRIは地下階にある。機器の移動もなく、地震発生直後から使用できた。

#### 検査：

- ・機器の転倒・落下なし。

#### 薬剤：

- ・劇薬・麻薬の瓶は固定トレイに収納しているので落下なし。
- ・上部に収納しているバイアルが倒れ、アンプルは落下し破損したものあり。
- ・落下はしなくても、瓶どうしでぶつかり割れたものがあった。
- ・瓶のフタはすぐ開くようになっており、倒れて中身がこぼれたものがあった。中越沖地震のあと、可能なものはスクリュウキャップに変更した。
- ・薬品容器はガラス瓶からソフトパックに移行してきており、ガラス破片が飛び散り部屋

が使いなくなるような被害はなかった。

通信：

- ・電話は不通となった。



写真 6 D病院：病歴室：カルテが飛び出す被害があった（棚の倒壊はなし）

### (c) 結論ならびに今後の課題

以上、兵庫県南部地震による病院の被害状況について、既往調査文献のレビューにより整理した。また、新潟県中越沖地震による病院の被害状況について、柏崎市および長岡市の4病院を対象としたヒアリング結果を紹介した。

兵庫県南部地震では、固定式の医療機器において、床や壁へのアンカーボルト固定の有無が、機器の挙動を左右したことが報告されている。またベッドやワゴンなどキャスター付きの可動機器については、キャスターロックの状況により移動・転倒の挙動が異なっていたことが報告されている。

中越沖地震では、患者や職員に対する深刻な人的被害はなかったものの、放射線機器や検査機器などが使用できずに診療活動に影響を与えた事例がみられる。

また機器自体の損壊はなくても、水が供給できず使用不能となったもの（超音波滅菌装置など）、停電のためエレベータで機器の搬送ができず活用できなかったもの（高層階においたポータブルX線装置など）といったように、ライフラインの被害に連動して使用不能となった事例がみられた。また放射線機器については、アンカー固定していてもボルトの抜け落ち等で移動したものがあり、固定の方法も重要な検討課題であることが示唆された。

さらに近年の病院の傾向として、業務全般にわたりコンピュータを多用していることが挙げられる。医療機器の使用においても、操作するコンピュータ部分が故障することで、大きな影響が出ることが想定される。

これらの結果を踏まえた今後の課題として、以下が挙げられよう。

まず固定式の医療機器を評価する際には、機器自体の耐震性に加えて、床もしくは壁に対する据付（固定）方法についても検討する必要があることが示唆される。

またキャスター付きの可動機器については、キャスターのストッパーの状況（ロックもしくはロック解除）や、積載物による重量・重心の変化等を考慮した検証実験が必要と思われる。

すなわち、医療機器の耐震性試験に当たっては、実際の使用状況を踏まえた検証が求められるといえよう。

### (d) 引用文献

- 1) 河口豊：阪神・淡路大震災による病院被災に関する調査研究報告書、平成7年度健康政策調査研究事業、1996年
- 2) 中山茂樹：兵庫県南部地震病院被災調査報告書、1994・95年度課題研究、社団法人日本医療福祉建築協会、1996年
- 3) 患者の受け入れ状況について新潟県のホームページより情報収集し、調査対象を選定した。

(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	国内・外の別
震災時における医療施設の重要機器の分類調査 震災時における建物の機能保持に関する研究開発（その2） 口頭発表	小林健一、笈淳夫、中山茂樹、山下哲郎、佐藤栄児、井上貴仁、鎌田崇義	広島大学 2008年度日本建築学会大会（中国）	2008年9月	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	国内・外の別
なし				

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関（新聞名・TV名）	発表時期	国内・外の別
なし				

(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20年度業務計画案

重要施設における過去の地震災害に対する被害調査を引き続き実施するとともに、昨年度実施した調査結果と必要機器の耐震実験結果を整理し、地震災害時における重要施設の耐震性を評価し、これらの結果を本年度実施する実規模実験に応用する。

