VE 思考に基づく免震医療施設の耐震価値評価

EVALUATION OF SEISMIC VALUE OF BASE ISOLATED HOSPITAL BUILDINGS BASED ON VE CONCEPT

佐藤 健 ——*1 源栄正人 ——*2

Takeshi SATO ——*1 Masato MOTOSAKA ——*2

キーワード：
価値工学, 免震構造, 医療施設, 耐震価値

Keywords:
Value engineering, Base isolation system, Hospital building, Seismic value

A lot of hospital buildings in Kobe area were damaged by Hyogoken-Nanbu earthquake. But the precious teachings are not reflected in emergency medical treatment system. The questionnaire was performed in order to clarify the present condition of earthquake disaster measures of hospital in Sendai and Kofu city. Consequently, it turns out that the measures are not progressing in the hospitals and the doctors are interested in base isolation system. In this paper, the seismic values of seismic isolated buildings are compared with seismic resistant ones. We propose an evaluation method of seismic value of hospital buildings based on value engineering concept.

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では、本来災害拠点としてその機能を果たすべき医療施設において、建物の崩壊により入院患者や医療従事者が犠牲になったり、建物の過大な損傷により入院患者を避難させる必要のある病院が数多く発生し、我々に対して重大、かつ貴重な教訓を与えた。

また、たとえ建物の構造的な被害が軽微であっても、建築設備や医療機器の損傷、またはライフラインの停止等により医療機能の維持が極めて困難な劣悪な状況下においても、被災地内では医学、あるいは看護学の立場で最大限の医療活動が展開された¹⁾。

しかし、2000年鳥取県西部地震の調査報告²⁾を見ても、兵庫県南部地震の教訓が現在の災害医療に十分反映された社会状況にあるとは言いがたい。一方、仙台市の市民防災意識アンケート³⁾では、市民が行政に対して最も要望する防災対策は、応急医療体制の充実である。このような社会的な要求に対し、医学や看護学の立場からのみならず、建築構造学の立場からも積極的に応えていく必要があると考える。

そこで、本論では、まず災害医療を取り巻く社会状況と医療機関の機能維持対策の現状を整理する。次に、医療施設への免震構造の採用に関する社会的ニーズとその地震応答特性を評価する。最後に、地震時における医療機能の障害要因として、建物の構造的な被害、および建築設備や医療機器の損傷等を考え、それらが地震動入力による建物の振動に起因するという観点から、建築構造学の立場で医療施設を免震構造にした場合の医療機能の維持に対する費用対効果を価値工学 (Value Engineering: VE) 思考に基づいて評価することを目的とする。

2. 1995年兵庫県南部地震における医療施設の被害状況の整理

2. 1 建物被害の概要

医療施設に関する建物被害については、多くの調査報告^{4),5),6),7)}がある。文献7)によれば、災害救助法適用地域内(20市町村)の173病院(全224病院の77.2%)のうち、96%にあたる166病院が施設、設備、機器等に何らかの被害を受けていることが報告されている。

また、神戸市各区における建物全壊率⁸⁾を医療施設と一般建物の比較で図1に示す。激震地域における全壊率の高さに加え、一般住宅よりも医療施設的全壊率が高いことは社会的な問題と考える。

2. 2 機能低下の要因と問題点への立脚

文献7)によれば、医療機能低下の要因が図2のように報告されている。複合要因の中でライフラインの問題が主な要因となっており、施設・設備などの破損は約4割と相対的に少ないが、その絶対量としては少なくはない。加えて、激震地域であった灘区、須磨区における医療施設的全壊率が60%を越えているとした報告⁹⁾からも、施設・設備などの損傷を少しでも軽減することが地震災害時の医療機能の維持に果たす役割は極めて大きいと考える。

そこで、本論では前述したように建物の構造的な被害、および建築設備や医療機器の損傷等の地震時における医療機能の障害要因が地震動入力による建物の振動に起因するという観点に立脚する。

図1 神戸市各区の建物全壊率

図2 医療機能低下の要因

*1 東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 講師・博士(工学)
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06)

*2 東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 教授・工博

*1 Lecturer, Disaster Control Research Center, Tohoku Univ., Dr. Eng.

*2 Prof., Disaster Control Research Center, Tohoku Univ., Dr. Eng.

3. 災害医療を取り巻く社会状況の整理

ここでは、兵庫県南部地震の貴重な教訓が現在の災害医療にどの程度反映されているかについて、社会状況を概観する。

3. 1 厚生労働省

旧厚生省は、「阪神・淡路大震災を契機とした災害医療体制のあり方に関する研究会」による報告書の主旨をふまえた「災害時における初期救急医療体制の充実強化について（健発第451号）」の健康政策局長通知⁸⁾に基づき、災害拠点病院や広域災害・救急医療情報システムの整備等を推進してきている。

しかし、同通知内における施設の耐震性能に関する要求は、「（前略）施設は耐震構造を有するとともに、水、電気等のライフラインの維持機能を有すること。（後略）」とあり、災害拠点病院の指定要件としては、極めて具体性に欠けたものと考えられる。

3. 2 地方自治体

宮城県、および仙台市の災害医療担当部局に対してヒアリングを実施した。前述の通知に基づき、災害拠点病院の指定と独自の救急医療情報システムは整備済みの状況である。また、災害拠点病院の耐震補強などに対する公的な助成制度があるが、制度利用にあたり、各自治体の財政状況に強く依存するシステムとなっている。さらに、一般病院の耐震補強に対する公的な助成制度もあるが、各医療圏で病床数が飽和した状況下においては、助成制度の適用にあたり病床数を減らす必要があることや助成金額も十分でない状況にある。

3. 3 医師会

前述の「阪神・淡路大震災を契機とした災害医療体制のあり方に関する研究会」がまとめた「病院防災マニュアル作成ガイドライン」に基づいて、日本医師会推薦という形で病院防災ガイドブック⁹⁾が発行されている。しかし、同ガイドラインにおける災害強化対策としては、ライフラインや医薬品の備蓄などが主であり、施設としての耐震性能については、「（前略）医療機能の確保に必要な施設・設備などの耐震対策を講じること。（後略）」であり、前述の健康政策局長通知と同様に具体性に欠けたものとなっている。

宮城県医師会、および仙台市医師会の災害医療担当理事に対してヒアリングを実施した。宮城県医師会においては、20床以上の150病院に対して、同様のガイドラインが配布済みである。また、仙台市医師会においては、新しい災害医療計画を検討中である。

3. 4 個々の医療機関

激甚災害の場合、災害拠点病院だけでの対応には限界があるため、地域内のすべての医療機関が連携し、地区医師会とともに効率的な医療活動が展開できるシステムを整備しておくことが必要であり、宮城県においては、前述の救急医療情報システムにより、仙台市を含めた宮城県内95%の医療機関の情報が一元管理されている。

しかし、「災害医療体制のあり方に関する検討会」において、中小病院の災害医療に対する認識や対策が今後の課題となっている¹⁰⁾。

4. 医療機関の地震防災意識と機能維持対策の現状

以上の状況から、個々の医療機関における地震防災意識と機能維持対策の現状を明らかにするために、仙台市と甲府市の医療機関に対してアンケート調査を実施した^{11),12)}。仙台市は、次の宮城県沖地震の発生確率が極めて高く、甲府市は、東海地震の対策強化地域に山梨県の全域が網羅されていることから調査地域として選定した。

4. 1 アンケートの概要

調査対象は、仙台市内の外科を診療科目にもつ169の医療機関、および甲府市内の外科を診療科目にもつ67の医療機関であり、大規模な災害拠点病院から小規模な診療所までを含んでいる。

調査時期は、平成12年11月、および平成13年6月である。

調査方法は、ダイレクトメール方式でアンケート用紙を郵送し、返送してもらった。回収率は、仙台市が61%、甲府市が54%である。

4. 2 主な調査結果の概要

4. 2. 1 大地震発生の危機意識と医療施設の被害程度の認識

大地震発生の危機意識を図3に示す。仙台市で68%、甲府市で78%といずれも大地震の発生に肯定的な認識を持っている。しかし、仙台市の市民防災意識アンケート³⁾では、地震調査推進本部による次の宮城県沖地震の発生確率に関する発表以前にも関わらず79%の一般市民は大地震が起きると認識している。従って、仙台市の医療従事者が一般市民よりも危機意識が高いとは言えない状況である。

また、大地震時における各医療施設の被害程度の認識を図4に示す。両市とも約75%が大きな被害が出ることを想定し、医療機能が麻痺するほどの甚大な被害は、両市とも20%前後が想定している。

4. 2. 2 災害医療の基本的な考え方と機能維持対策の現状

各医療機関の災害医療の基本的な考え方を図5に示す。複数回答であるが、両市とも「個々の機関で機能維持対策をすべき」の回答が「負傷者転送のネットワークの整備」と同程度あり、被災地内においても積極的に災害医療を展開すべきとする意見が少なくない。

また、機能維持対策の現状を図6に示す。両市とも約半分の医療機関が「全く対策していない」状況であり、「検討中」と合わせると80%の医療機関で未対策の状況であることが明らかとなった。

4. 2. 3 機能維持対策の阻害要因と免震構造に対する関心度

機能維持対策が普及するための阻害要因を図7に示す。複数回答であるが両市とも「費用負担・公的助成」が最大要因となっている。

また、免震構造に対する関心度を図8に示す。両市とも約80%の医療機関が免震構造に対して肯定的であり、医療施設への免震構造の採用に関する医学の立場からの潜在的ニーズを確認できる。

図3 大地震発生の危機意識

図4 被害程度の認識

図5 災害医療の基本的な考え方

図6 機能維持対策の現状

図7 対策の普及阻害要因

図8 免震構造に対する関心度

5. 医療施設に対する免震構造の採用動向

平成12年4月までに日本建築センターにおける免震構造評定が完了した791件の免震建物について、データベースを構築し¹³⁾、その評定動向を分析する。全体動向としては、全体の約9割が兵庫県南部地震以後に評定を受けており、年間の評定件数としては、兵庫県南部地震直後の平成8年の207件をピークになだらかな減少化傾向を示している。このような状況をふまえ、兵庫県南部地震の前後で年区分を設けて整理する。

免震構造が採用される建物用途を図9に示す。兵庫県南部地震以前の医療施設への採用割合はわずか1.3% (1件) であるが、兵庫県南部地震以後は、11.4% (90件) と急増しており、共同住宅、事務所について3番目に多く採用されるに至っている。

また、各都道府県にある公立免震医療施設の床面積の合計を各都道府県の人口で割った値¹⁴⁾を図10に示す。免震医療施設の棟数は、東京都に全国の6分の1が集中しているが、人口も多いため、公立免震医療施設の受益率は高いとはいえない。一方、山梨県、滋賀県、山形県は比較的人口が少ないが公立の大規模医療施設に対して免震構造が採用されているために、高い数値となっている。免震構造は、とかくコストアップにより、その採用が見送られることが多い状況下において、地方自治体の地震災害時における医療機能維持に対する危機管理意識の違いがこのような数値に表われると考える。

図9 免震構造の採用建物用途 図10 公立免震医療施設の受益率

6. 免震建物と耐震建物の地震応答特性評価

以上のような免震建物に対する社会的ニーズを受け、医療施設を免震建物とした場合の地震応答特性評価を耐震建物との比較で示す。

6.1 応答評価方法の概要

本論における建物の地震応答評価方法は、確定論として扱う。

まず、免震建物の地震応答評価は、天然ゴム系アイソレータと等価粘性減衰定数 $h_v=15\%$ のオイルダンパーを想定し、15%減衰の1自由度系の弾性応答として近似する。なお、パラメータは、免震建物の固有周期 T であり、3秒～5秒とした。

一方、耐震建物の地震応答評価は、免震建物と同質量で弾性固有周期 $T_0=0.5$ 秒、5%減衰の1自由度系の弾塑性応答として近似するが、エネルギー一定則を用いて簡易的に弾塑性応答量を推定する。なお、塑性率は2とする。

入力地震動は、観測記録を50kineに基準化した表1に示す3ケースとする。5%減衰の加速度応答スペクトルを図11に示す。なお、限界耐力計算法における表層の地盤増幅率 G_s は、第1種地盤として簡略法で設定した。地域係数は1とした。

また、免震建物については、ノースリッジ地震における医療施設の地震応答と機能維持に関する調査報告¹⁵⁾に基づき、各階の応答加速度が200ガル以下であれば、構造的には無損傷(弾性限)、高架水槽や建物内の設備機器類、および立引き配管・配線類、建物内収容物の移動・転倒がないとして、機能維持が可能と考える。

一方の耐震建物については、各階の応答加速度が200ガルを超える場合は、その応答レベルに応じて何らかの損傷や医療機能の低下が生じるため、機能維持のために対策を講じるものとする。各対策のコストについては、後述する。

表1 入力地震動の概要

No	地震名	発生日年	M	観測場所	PGA(gal)
1	宮城県沖地震	1978.6.12	7.4	東北大1階(NS)	350.9*
2	兵庫県南部地震	1995.1.17	7.2	JR 鷹取駅(EW)	265.0*
3	限界耐力計算法	-	-	-	320

注) *は PGV を 50(kine) に基準化した場合の最大加速度値

6.2 地震応答特性の評価結果

耐震建物に対する免震建物の応答加速度比を図12に示す。この場合、応答加速度比はベースシア係数比と等しく、応答加速度比が1より小さい場合は、免震構造がそれだけ地震力を受けていないことを示しており、免震効果があると言える。また、耐震建物の塑性率を大きくすれば、免震効果は見かけ上低下するが、耐震建物はそのためにより大きな損傷を許容する必要がある。

図11 加速度応答スペクトル

図12 応答加速度比

7. VE思考に基づく免震医療施設の耐震価値評価

7.1 VEの基本的な考え方と価値改善パターン

VEにおいて、価値は式(1)により評価される。

$$V = \frac{F}{C} \quad \text{..... (1)}$$

ここに、 V (Value)は価値、 F (Function)は要求機能、 C (Cost)は機能を満足するためのコストである。また、現状の価値 V に対して改善された価値 V' を式(2)で定義する。ここに、 α は機能増大係数、 β はコスト増減係数であり、価値改善率 γ は式(3)で表現される。さらに、価値改善のパターンは図13の4パターンがある。ここで、VEにおける現状価値からの価値改善パターンとして、コストアップは許容するが、たとえ大幅なコストダウンが可能でも現状の機能を低下させることは許容されない。

従って、一般的な建設行為に対して、現実的にはコストアップは許容されないため、パターンDをCに近づける努力が必要となる。

$$V' = \frac{F'}{C'} = \frac{\alpha F}{\beta C} \quad \text{..... (2)}$$

$$\gamma = \frac{V'}{V} = \frac{\alpha F}{\beta C} \cdot \frac{C}{F} = \frac{\alpha}{\beta} \quad \text{..... (3)}$$

7.2 医療施設における機能維持対策コストの設定

まず、免震建物のコスト評価を行う。免震建物のイニシャルコストとして、建物全体の建設コストが10%アップすると仮定する。これは、免震部材や免震層が2重ビットになることによるコストアップ要因と地震力低減によるコストダウン要因を差し引いた最終的なコストアップ率である。いま、建設工事単価を坪あたり50万円とすると、坪当たり5万円のアップとなる。また、簡単のために、免震

部材の維持管理コストを 40 年間で合計してイニシャルコストに加えることとするが、河村ら¹⁶⁾の評価に基づくと坪当たり 2 万円となる。すなわち、機能維持対策として免震構造にした場合、表 2 に示すように非対策の標準的な耐震建物に対して坪当たり 7 万円のアップで坪単価 57 万円となる。なお、免震建物の応答加速度が 200 ガル以下であることと、剛体変形モードの振動特性により、建物の振動に起因する機能障害がないとして、設備の項目の対策は考えない。

一方、耐震建物で機能維持対策を講じる場合、各機能障害要因に対して別々に対策を施す必要がある。河村ら¹⁶⁾によるオフィスビルでの評価に基づき、機器類の耐震仕様アップで坪当たり 1 万円、建物内収容物の移動・転倒防止対策として坪当たり 1 万円とする。また、高架水槽の耐震化費用として、仙台市立病院の工事事例を参考に坪当たり 2 万円とする。すなわち、耐震建物で個別に防災対策をした場合、非対策の標準的な耐震建物に対して、坪当たり 4 万円のアップで坪単価 54 万円となる。

表 2 建設コストの増減表 (坪単価)

	構造的項目			設備的項目			合計
	基準 単価	免震 部材	維持 管理	機器類	建物内 収容物	高架 水槽	
免震建物	50	5	2	-	-	-	57
耐震建物	50	-	-	1	1	2	54

7. 3 耐震建物に対する免震建物の価値改善率

本論における機能増大係数 α は、耐震安全性指標、あるいは機能維持指標として、図 12 に示した応答加速度比の逆数とする。また、コスト増減係数 β は、表 2 に基づいて定数 (57/54) として扱う。以上より、設備的項目で機能維持対策を講じた耐震建物に対する免震建物の価値改善率 γ を図 14 に示す。価値改善率は、免震建物の長周期化により増大する傾向にあるが、本論で扱った入力地震動で 5 秒免震の場合、10 程度の極めて大きな価値改善率となる。

価値改善率に及ぼす影響は、コスト増減係数よりも機能増大係数が支配的である。すなわち、10% 程度のコストアップで応答加速度を約 10 分の 1 に低減可能な構造要素として、免震部材は極めて費用対効果に優れていると言える。

なお、価値改善率を更に向上させるためにコスト増減係数を小さくする 2 つの方法がある。一つ目は、耐震建物の設計用地震力の増大に伴うコストアップである。設計用地震力を大きくすれば建物の構造的な損傷を軽減することができるが、仮に地震力を 2 割上げると全体の建設コストが 2% アップする¹⁷⁾ ため、坪単価が 50 万円の場合、坪当たり 1 万円のアップとなる。この場合、表 2 に示した他の対策コストを変えなければ、非対策の標準的な耐震建物に対して、坪当たり 5 万円のアップで坪単価は 55 万円となり、見かけ上のコスト増減係数が小さくなる。二つ目は、免震部材のコストを単純に下げることである。

図 13 価値改善の基本パターン

図 14 価値改善率

8. まとめ

医療施設の地震災害時における機能維持の観点から、免震建物と耐震建物の耐震価値評価を VE 思考に基づいて行った。ある限定された解析条件のもとではあるが、加速度を制御しながら、建物の損傷を制御し、同時に機能維持させる免震構造は費用対効果に優れた機能維持化方策の一つであることを示した。

また、本論の評価手法は、免震構造以外のパッシブ制震、およびアクティブ制震を採用した場合の耐震価値評価についても適用可能であると考えられる。

建築も災害医療も社会システムの一つであるから、医学と建築学の接点を見い出していくべきであるという指摘¹⁸⁾のように、縦割り行政の弊害を越えた各分野の専門家が融合した形で災害医療のあり方が創造されるべきであると考えられる。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、宮城県医師会の中川祐輔常任理事、仙台市医師会の渋谷一誠理事、宮城県保健福祉部の三岡知古主事、仙台市健康福祉局保健衛生部の小野寺重信主幹、同・赤井由紀子主査には貴重なご助言を賜りました。深く感謝致します。

最後に、アンケート調査にあたり、宮城工業高等専門学校建築・情報デザイン学専攻の佐瀬裕美子、同・建築学科の佐藤春香両名の協力を得たことを付記致します。

参考文献

- 1) 澤田勝寛:病院が地震から学んだこと 神戸・新須磨病院,都市文化社,1995年8月
- 2) 熊谷昌彦:病院の被災状況と避難状況・応急対応,2000年鳥取県西部地震災害調査報告書,日本建築学会,2001年10月,pp.215-220
- 3) 仙台市消防局:仙台市消防・防災に関する市民意識調査報告書,平成13年3月
- 4) <http://www.hyogo.med.or.jp/earthwtop>
- 5) 大西一嘉:災害医療情報,文部省科学研究費特定領域研究(発災対応型都市情報管理システム,研究代表者:鏡味洋史),平成12年3月,pp.157-174
- 6) 鹿島都市防災研究会:地震防災と安全都市,鹿島出版会,1999年5月,pp.72-85
- 7) 阪神・淡路大震災特集編集委員会:阪神・淡路大震災による医療・福祉施設の被害状況,病院建築,No.108,1995年7月,pp.2
- 8) <http://www.mhlw.go.jp/shingi/0106/images/s0629-3a.jpg>
- 9) 石原哲編著:病院防災ガイドブック,真興交易(株)医療出版部,2001年2月
- 10) <http://www.mhlw.go.jp/shingi/0106/s0629-3.html>
- 11) 佐藤健,佐瀬裕美子,渋谷純一,源栄正人:仙台市内の医療機関に対する地震防災アンケート調査,第20回日本自然災害学会学術講演会,2001年10月,pp.101-102
- 12) 佐瀬裕美子,佐藤健,渋谷純一:地震災害時における救急医療の現状と問題点(その2)仙台市の医療機関における地震防災意識と機能維持対策の現状,日本建築学会大会学術講演梗概集,2001年9月,pp.483-484
- 13) 佐瀬裕美子,佐藤健,渋谷純一:免震建物の評定データベースの構築と評定動向の分析,日本建築学会東北支部研究報告集(構造系),第63号,2000年6月,pp.161-164
- 14) 佐藤健,佐瀬裕美子,渋谷純一:地震災害時における救急医療の現状と問題点(その1)医療施設の免震構造化と医療機能の維持について,日本建築学会大会学術講演梗概集,2001年9月,pp.481-482
- 15) 宮崎光生:LA ノースリッジ地震において免震構造の威力実証を現地で確認,MENSHIN,No.4,1994年5月,pp.16-18
- 16) 河村壮一:地震リスクマネージメント(SRM)手法を用いた免震建物のライフサイクルコスト評価(その1)評価手法,日本建築学会大会学術講演梗概集,1997年9月,pp.577-578
- 17) 佐藤健,三瓶昭彦,鳥居次夫,五味晴人:免震建物の経済性に関する基礎的研究,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.18,No.2,1996年6月,pp.209-214
- 18) 中島功:災害医療の現状,建築雑誌,1999年11月,pp.50-53

[2001年10月19日原稿受理 2002年2月18日採用決定]