

## SRM 手法を用いた病院ライフラインの地震リスク評価法

神戸大学工学部 正会員 ○ 鍛田 泰子  
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎  
 神戸大学大学院 学生員 金 芸花

1. 研究の目的：本研究では，SRM 手法を用いて病院内部・外部のライフライン施設を含めた病院の緊急医療における地震リスク評価法を構築して，今後の地震対策を確立することを目的としている。

2. 病院の地震リスク：地震後の病院の緊急医療における地震リスクは，以下に示す 3 つのリスクとして示すことができる．一つは，医療活動を支える各病院・ライフライン施設の構造被害リスクである．二つは，各病院・ライフライン施設がそれぞれ機能し，病院が一つのシステムとして医療活動を行う機能の損傷リスクである．最後に，入院患者や外来負傷者への医療活動に着目した場合，病院の医療活動の停止が人命に影響を及ぼす危険性があり，それらは病院システムがもたらす社会的影響リスクといえる。

3. 病院の構造被害リスク：本研究で考慮する病院ライフラインの構造被害リスクは病院建物と病院施設内外のライフライン各施設である．ライフライン施設として配水池，配水ライン，受水槽，高架水槽，屋内配管，水冷式自家発電機を考慮した．建物<sup>1)</sup>，配水池<sup>2)</sup>，水冷式自家発電機<sup>3)</sup>は著者の研究成果を含む既往の評価方法を用いた．配水ラインは管路の連結性を評価する問題に帰着させて評価した．また受水槽と高架水槽の fragility 曲線は水槽と配管の接続部分の曲げ破壊評価を導入し，屋内配管の fragility 曲線は建物の層間変位による管路の曲げ破壊の評価方法を新たに構築した．

4. 病院の機能損傷リスク：イベントツリー(ET)により病院機能リスクをモデル化した．建物，水道，自家発電機の機能損傷の有無を考慮して ET を図 1 に示すように作成した．建物被害，水道故障，電気故障の事象により 9 つの損傷モードに分類できる．その内，病院の機能損傷リスクはモード 2 からモード 9 の発生確率の和である．

ET で  $P_{b1}$ ， $P_{b2}$  は建物の fragility 曲線により， $P_w$  は病院内部・外部の水道施設を含んだ水道システム全体の機能損傷確率で，フォルトツリー(FT)によって求める (図 2)． $P_e$  は電気の機能損傷確率で，水供給機能の依存性を考慮した FT によって求められる (図 3)．

5. 社会的影響リスク：地震時，病院の役割は入院患者と外来負傷者を治療し，必要であれば入院させることである．そこで，これらの医療ニーズに合わせて病院の医療活動の機能を一般治療，応急治療，収容機能に分類し，病院システムの機能損傷モードと関連づけた．各医療活動機能の損傷確率を社会的影響リスクと定義づけた．

被害要因	被害要因			治療ランク				
	建物	水道	自家発電機	損傷モード $M_i$	モード $i$	一般治療	応急治療	収容機能
想定地震	被害なし $1-P_{b1}, P_{b2}$	被害なし $1-P_w$	被害なし $1-P_e$	病院被害なし	1	○	○	○
				電気故障	2	×	×	○
				水道故障	3	×	○	○
				電気故障, 水道故障	4	×	×	○
	半壊 $P_{b1}$	被害なし $1-P_w$	被害なし $1-P_e$	建物半壊	5	○	○	○
				建物半壊, 電気故障	6	×	×	○
				建物半壊, 水道故障	7	×	○	○
	全壊 $P_{b2}$	被害あり $P_w$	被害なし $1-P_e$	建物半壊, 電気, 水道故障	8	×	×	○
				病院全壊	9	×	×	×

図 1 病院ライフラインの機能損傷モード

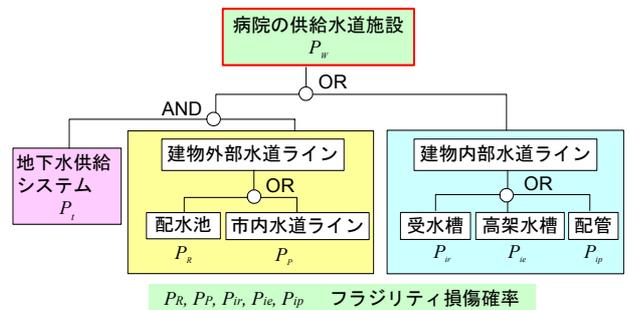


図 2 病院の供給水道施設のフォルトツリー

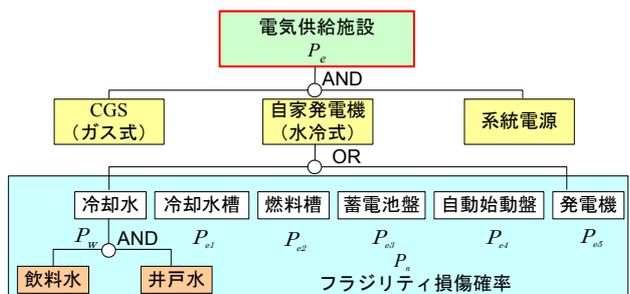


図 3 病院の電気供給施設フォルトツリー

6. **経済損失**：病院建物とライフライン施設の期待経済損失の値を評価する方法を述べる．ここで扱う経済損失は、構造物の被害による被害額を評価するもので、直接的被害の損失に相当する．また、治療可能患者数低下等による間接的な経済損失は本研究では考慮していない．構造被害による地震ロス関数  $L_{ST}$  を式(1)に示す．

$$L_{ST} = \sum_{i=1}^n P_{ST}(i) \cdot C_{ST}(i) \quad (1)$$

ここで、 $P_{ST}(i)$ ：施設の被害確率、 $C_{ST}(i)$ ：施設の修繕費． $i$ はライフラインを含めた病院施設の種類．

7. **社会的影響度**：社会的影響度は病院の治療ランク別機能（一般治療、応急治療、そして収容機能）の損傷による影響患者数の期待値で評価される．ロス関数  $L_{IN}$  を式(2)に示す．

$$L_{IN} = \sum_{i=1}^k P_{IN}(i) \cdot C_{IN}(i) \quad (2)$$

ここで、 $L_{IN}$ ：地震時の社会影響度関数、 $P_{IN}(i)$ ：治療ランク別の機能損傷確率、 $C_{IN}(i)$ ：要治療人数．

8. **年間地震リスク**：上記で示した評価方法を神戸市域の病院に適用した．各病院の施設データはアンケート調査から入手し、配水池から病院までの配水管は神戸市水道局からの資料をもとにした．損失額を建物再建費で正規化して損失率ロス関数を求め、地震ハザード曲線を乗じることで年間地震リスクを算出した(図4)．社会的影響度は、被災状況に応じて病院近郊から発生する要治療人数で正規化して影響率を求め、経済損失と同様にして年間地震リスクを算出した(図5)．年間経済損失を算出した結果、発生基盤加速度の比較的小さい範囲で年間経済損失がピークの値になる．これは比較的小さい加速度値を生じる地震に対して、被害を受けやすい施設の耐震対策も重要であることを示している．一方、社会的影響は病院外部からの負傷者によって変動し、経済損失よりも大きな期待地震動に対して敏感影響するため、病院内では受け入れが困難になる状況が表れる．病院ごとの被災特性を把握した上での患者への影響程度別の対策が必要である．

9. **地震リスク低減策に関する検討**：リスク低減対策として、病院建物耐震化(対策1)、ライフライン施設補強(対策2)を検討した(図6,7)．病院建物を耐震化すると経済的損失・社会的影響面へも大きくリスク軽減はできるが、地震動が大きくなった場合

の患者への影響低減には大きく影響せず、病院施設以外において抜本的な対策が必要である．一方、投資費用に対しての経済的損失の低減率からみればライフラインを補強することが効果的であることが知られた．

10. **まとめ**：地震リスク危機管理であるSRM手法を病院施設に適用して病院ライフラインの機能リスク評価方法の構築を行った．さらに、神戸市域の病院に適用し、病院機能低下減少のための耐震対策の検討を行った．

#### 参考文献

- 1) 日本建築防災協会：改訂版・既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説
- 2) Federal Emergency Management Agency: Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS99, pp.8-12-8-18, 1999.
- 3) 高橋一郎：地震リスクマネジメント手法による総合病院の機能損傷評価、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.17-18, 1997.

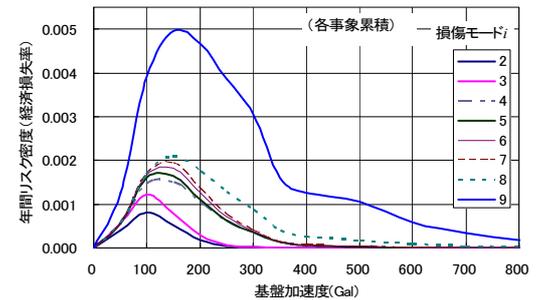


図4 年間経済損失率

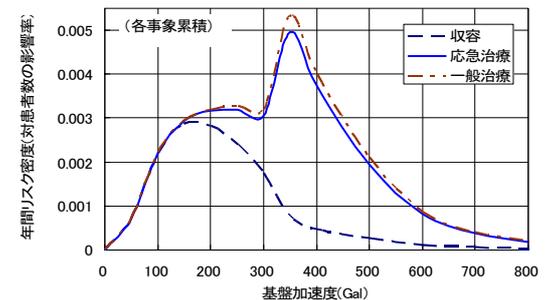


図5 年間社会的影響率

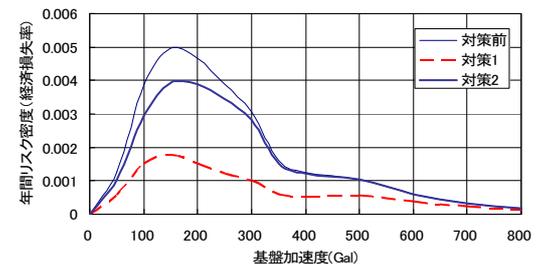


図6 年間地震リスク低減効果(経済損失)

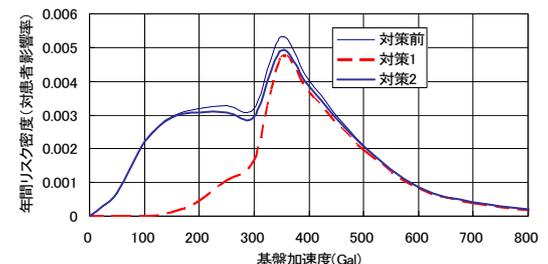


図7 年間地震リスク低減効果(影響度)