

第 I 部門

病院ライフラインの耐震化パイロット事業に関わる費用便益算定法の提案

神戸大学工学研究科 正会員 ○ 鯨田 泰子
 神戸大学工学研究科 フェロー 高田 至郎
 神戸大学工学部 非会員 辰野 由佳

1. 研究目的：多数の負傷者が生じる震災初期において救急医療活動は必要不可欠であり、各病院は重要な役割を担う。近年の地震被害から救急医療活動に水確保は重要であり、病院建物の耐震化だけではその確保は不十分なことが判明している。本研究では病院内水道ライフラインに注目し、病院耐震化対策の評価手法を構築する。既往の研究では水道事業体の立場で評価を行っているが、本研究では災害時における医療活動の継続を視野に入れ、医療活動の用途に応じた必要水量を考慮した評価法の提案を行う。

2. 想定地震下における病院機能の損傷評価方法：病院機能損傷評価方法の概要は図-1 に示す通りである。大阪市内の災害拠点病院2箇所（病院A、B）で建物・施設を調査し、評価対象を決定した。建物の fragility関数は著者らによって得られた経験式に基づいて誘導した値を用いている¹⁾。各ライフライン施設では、設備を基礎据付型と架台設置型の2つに分類し、各々のアンカーボルトの引抜力で評価した。病院の施設機能損傷における評価は、施設機能を建物・電気ライフライン・水ライフラインの損傷組み合わせをイベント・ツリーモデルを用いて設定した。この際、水ライフラインは上水・雑用水と区別しているため施設機能は4つに分けられる。ここで、病院Aは市水と他水源を併用する医療機関であり、病院Bは市水のみ使用する医療機関であるため、被災モードに違いがある（表-1、2 参照）。各被災モード発生確率は施設状態確率（ P_{bi} ：建物、 P_{Ei} ：電気、 P_{Wi} ：上水、 $P_{W'i}$ ：雑用水）を乗じることと算出できる。

$$P_i = \Pi P = P_{bi} \cdot P_{Ei} \cdot P_{Wi} \cdot P_{W'i} \quad (1)$$

想定地震下における必要水量の算出は、病院内人数と、1日の病院内項目別水使用量から算出する。表-4、5は病院Aの値である。ここで、病院機能を、水に注目して高度医療・軽度医療・生活・透析の4つに分類した（表-3）。各病院機能人数算出式は式（2）～（4）に示す通りである。

$$k_A = k_{se} + k_I / 2 \quad (2)$$

$$k_S = k_{sl} + k_O + k_I / 2 \quad (3)$$

$$k_L = k_T \quad (4)$$

ここで、 k_A ：1日当たりの高度医療利用人数、 k_S ：1日当たりの軽度医療利用人数、 k_L ：1日当たりの生活利用人数。また、各病院機能必要水量は式（5）～（7）で示される。

$$W_A = (W_H / 2 + W_M + W'_C) / (k_I / 2) \quad (5)$$

$$W_S = (W_H / 2 + W_{Dr} + W_K) / (k_O + k_I / 2) \quad (6)$$

$$W_L = W'_W / (k_T - k_E) \quad (7)$$

ここで W_A ：1日当たりの高度医療利用水量、 W_S ：1日当たりの軽度医療利用水量、 W_L ：1日当たりの生活利用水量。

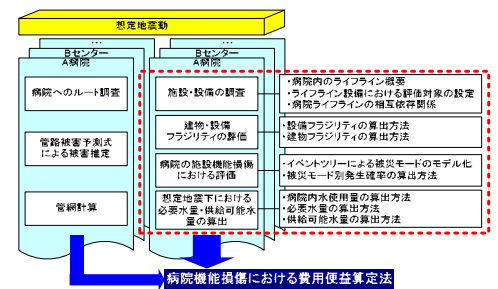


図-1 病院機能損傷評価方法概要図

表-1 被災モード（病院A）

建物	電気	上水	雑用水	被災モード	機能配当表			
					高度医療 A	軽度医療 S	生活 L	透析 D
正常	○	○	○	1	○	○	○	6クール
正常	○	○	△	2	○	○	×	6クール
正常	○	△	△	3	○	○	×	6クール
正常	○	×	△	4	○	○	×	6クール
正常	○	×	○	5	×	×	○	×
正常	○	×	△	6	×	×	×	×
正常	×	△	△	7	×	○	×	3クール
正常	×	×	△	8	×	×	×	×
中破	○	△	△	9	×	○	×	3クール
中破	○	×	△	10	×	×	×	×
中破	×	△	△	11	×	○	×	3クール
中破	×	×	△	12	×	×	×	×
大破	—	—	—	13	×	×	×	×

表-2 被災モード（病院B）

建物	電気	上水	雑用水	被災モード	機能配当表			
					高度医療 A	軽度医療 S	生活 L	透析 D
正常	○	○	○	1	○	○	○	6クール
正常	○	○	△	2	○	○	×	6クール
正常	○	△	△	3	○	○	×	6クール
正常	○	×	△	4	×	×	×	×
正常	×	△	△	5	×	○	×	3クール
正常	×	×	×	6	×	×	×	×
中破	○	△	△	7	×	○	×	3クール
中破	○	×	×	8	×	×	×	×
中破	×	△	△	9	×	○	×	3クール
中破	×	×	×	10	×	×	×	×
大破	—	—	—	11	×	×	×	×

表-3 病院機能詳細

病院機能	用途	対象者
高度医療	手術など高度医療に必要な水	重傷者、入院患者
軽度医療	飲み水を含む軽度医療に必要な水	軽傷者、外来・入院患者
生活	トイレ洗浄水に必要な水	病院内全体
透析	透析治療に必要な水	透析患者

式 (4) ～ (6) に使用されている病院内項目別水使用量の算出式は表-6 に示す通りである。ここで、 n_{ij} : 定数 (上水), n'_{ij} : 定数 (雑用水), w_{ij} : 上水量, w'_{ij} : 雑用水量, i : 使用目的, j : 利用分数。とくに, n_{21} は病院スタッフの勤務体制, n_{41} は一日に透析治療ターム数, n'_{11} は 1 日のトイレ使用回数, をそれぞれ表している。本研究では w および w' は, 図-2 を参考に算出する。図-2 は, 一般家庭における 1 日の水使用量およびその比率から算出したものである²⁾。想定地震下の供給可能水量は 1 日の病院内上水使用量とする。期待必要水量は各被災モードの必要水量と供給可能水量との差を取り, 被災モード発生確率を

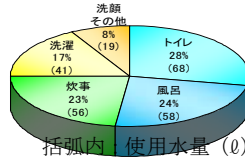


図-2 家庭内水使用目的³⁾

乗じることで算出する。したがって, 算出される値は通常時の上水使用量に追加して必要となる上水量を表わしている。病院 A は市水と他水源を併用していることから, 通常井戸水使用量を差し引いて期待必要水量とする。

3. 病院機能損傷における費用便益算定法: 本研究では, (A) 耐震性貯水槽の設置, (B) 自家発電に関わる設備の耐震補強, (C) 水槽まわりの緊急遮断弁設置, (D) 配水本管から病院までの給水管の更新, を耐震化対策事業と設定する。有効事業の意思決定は, 期待必要水量の変化による費用便益比の値だけではなく, 救急可能人数の変化にも重点をおく。救急可能人数は, 高度医療および軽度医療が必要な患者数とした。救急可能人数は, 各被災モード内での受入可能人数と, その発生確率を乗じることで算出できる。

4. 適用例: 兵庫県南部地震を契機に実施されてきた大阪府・市の被害想定³⁾より, 内陸直下型地震は上町断層地震, 生駒断層地震, 有馬・高槻構造線地震, 中央構造線地震, 海溝型地震は南海・東南海地震である。このうち, 大阪市内の災害拠点病院である病院 A と病院 B で加速度が最大となるのは上町断層地震で, それぞれ最大加速度 456, 568gal が

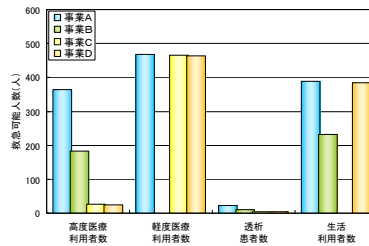


図-3 救急可能人数の変化

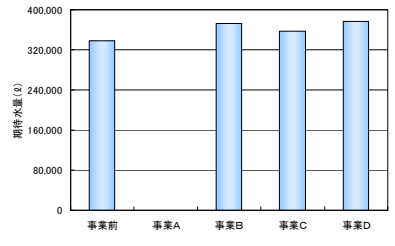


図-4 期待水量の変化

予測されている。図-3, 4 は病院 A の結果であり, 費用便益比の観点では B 事業が有効であると判断できる。また, 救急可能人数の観点では A 事業が有効であることがわかった。

5. まとめ: 病院 A に対しては費用便益比および救急可能人数の 2 つの要素を勘案して, 耐震化対策事業の優先順位を設定した。順位は B, A, C, D 事業である。一方, 病院 B に対しては, 他水源との併用を行っていないため, 費用便益比は算出されず, 救急可能人数のみで判断して, 耐震化対策事業は A, C 事業となった。各病院の施設状況に応じて被災モードは異なるが, イベント・ツリーモデルによって被災モードを確定できれば, 本手法は他病院への適用が可能である。

【参考文献】1) 中尾真紀, 鉄田泰子, 高田至郎: 救命ライフラインとしての病院内外水道システムに対する脆弱管路更新評価法, 土木学会論文集 A Vol.62, No.2, pp.233-242, 2006.7, 2) 東京都水道局: 一節水の習慣—くパンフレット—, 3) 大阪府: 大阪府自然災害総合防災対策検討 (地震被害想定), 報告書 (概要版), 2007.3.

表-4 病院内人数

人工透析装置	10
来院患者数 k_O	2,800
入院患者数 k_I	880
職員数 k_{Staff}	1,500
軽傷者 k_{sl}	1,398
重傷者 k_{ss}	153
高度医療利用者 k_A	593
軽度医療利用者 k_S	4,638
生活利用者 k_L	6,741
透析利用者 k_{Di}	10

表-5 項目別水使用量

用途/水源	上水 W	井戸水 W'
飲料 W_{Dr}	8,440	
給食 W_K	110,400	
衛生 W_H	256,960	
医療 W_M	93,000	
透析 W_{Di}	40,000	
トイレ洗浄水 W_W		433,420
冷却水 W_C		129,907
合計 W, W'	508,800	563,327
水合計 W_T	1,072,127	

表-6 病院内項目別水使用量算出式

水源	用途	算出式
上水	飲み水	$W_D = (k_O * W_{D1}) + (k_I * W_{D2}) + (k_S * W_{D3})$
	給食	$W_K = (k_I + k_S / n_{21}) * W_{21}$
	衛生	$W_H = k_I * (W_{31} + W_{32} + W_{33})$
	透析	$W_{Di} = k_{Di} * W_{41} * n_{41}$
	医療	$W_M = W_{My} - \sum W$
井戸水	トイレ洗浄水	$W_W = \{(k_O * n'_{11}) + (k_I * n'_{12}) + (k_{Staff} * n'_{13})\} * W'_{11}$
	冷却水	$W_C = W_T - (\sum W + W_W)$

表-7 耐震化対策事業費用

事業	詳細	費用 (千円)
A	耐震性貯水槽の設置	容量 (m³)
		40 8,000
		100 50,000
		200 90,000
B	アンカーボルトの打ち替え・増設	大きさ φ13~25 2
		数 (基)
C	緊急用遮断弁の設置	1 2,000
		8 15,000
D	給水管の更新	5,000

表-8 費用便益比

	費用便益比
事業前	-
事業A	0.05
事業B	31.75
事業C	0.08
事業D	0.18