

第I部門

水道事業者便益を考慮した病院水道ライフラインの地震リスク分析

神戸大学工学部 学生員 ○中尾 真紀

神戸大学工学部 正会員 鎌田 泰子

神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎

1. はじめに

医療活動において水は非常に重要である。地震時の病院水道ライフライン機能確保のための地震対策は十分に考慮されるべきであり、また、水道事業者は病院への断水を回避する検討を行う必要がある。そこで本研究では、病院への送・配水管路被害と病院内部水道ライフラインの地震リスク分析を行った。また水道事業者の地震時被害額として、損傷管路復旧費用、病院への応急給水および給水収益減少、周辺住民への応急給水および給水収益減少を考慮して算出した。

2. 病院水道ライフライン地震リスク分析

想定される地震に対して、病院への送・配水管路被害と病院内部の地震リスクを評価する。病院への送・配水管路被害について、式(1)に示す大阪市管路耐震化検討委員会の予測式¹⁾を用い、被害率を求める。

$$DI = DI0 \cdot C1 \cdot C2 \quad (1)$$

ここで、 DI ：管路被害率（箇所/km）、 $DI0$ ：平均被害率（箇所/km）、 $C1$ ：管路による補正係数、 $C2$ ：地形による補正係数。本研究では管路を直列系システムとみなし、並列系を含めたネットワーク特性は考慮していない。管路の基本長さが5mであると仮定すると、基本管路長さあたりの損傷確率が式(2)で算出され、式(3)で対象とする配水ルート of 連結性確率が求められる。

$$p_{ui} = DI / 200 \quad (2)$$

$$P_p = 1 - \prod_{i(i \in P)} (1 - p_{ui})^{L_{pi}/\Delta l} \quad (3)$$

ここで、 P_{ui} ：基本管路長さの損傷確率、 Δl ：基本管路長さ(m)、 L_{pi} ：管路長さ(m)。被害件数は管路被害率 DI に管路長さ L (km)を乗じて算出する。また、管路復旧日数は、1 日復旧件数を管径別に設定し²⁾、被害件数を管路1 日復旧件数（表-1）で除して算出した。

病院内部施設の構成要素として、病院建物、水道ライフライン、電気ライフラインを対象とする。建物被害については、地震時の被害程度を無被害、中破、大破の3つの損傷パターンに分ける。建物の fragility は、兵庫県南部地震時のデータを基に、著者らによって求められた図-1 に示す曲線を採用した³⁾。病院内部水道ライフライン関連施設として、受水槽、高架水槽、配管を対象とする。高架水槽と受水槽については、修正震度法に基づいた建築設備耐震設計・施工指針 1997 年版の設計事例を参考に、水槽を固定しているボルトの引き抜け許容値にばらつきをあたえ、fragility 曲線を構築した。配管については、建物の層間変位から生じる配管の曲げ破壊を評価した。図-2 に受水槽、高架水槽、配管の fragility を示す。病院内部電気ライフライン関連施設として、制御盤、自家発電装置、燃料タンク、冷却水槽、冷却用水道水を対象とする。図-3 に病院内部電気ライフラインに関わる施設の fragility を示す。

水道・電気施設の fragility を用いて、フォルトツリー解析により、

Shiro TAKADA, Yasuko KUWATA and Maki NAKAO

表-1 想定復旧件数²⁾

管径	想定復旧件数(件/日)
400mm未満	2.00
400mm以上	0.25

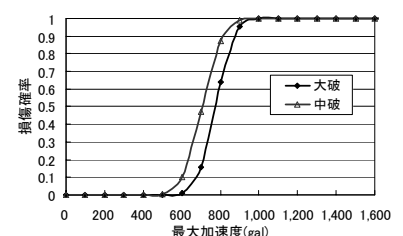


図-1 建物 fragility

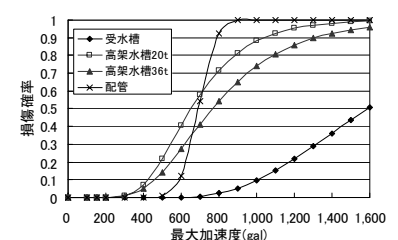


図-2 水道施設 fragility

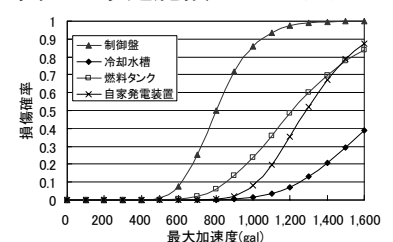


図-3 電気施設 fragility

各システムの損傷確率を導く。さらに、病院の損傷モードを病院建物・水道・電気の損傷の組み合わせによりイベントツリーを用いてモデル化し、9つの病院損傷モードを設定する(図-4)。ある想定地震に対して、病院損傷モードの発生確率の和は1となる。

3. 水道事業者の被害額

本研究では、水道事業者の被害額として表-2に示す5つを考慮した。損傷管路の復旧費用は、被害件数に大阪市水道局の管径別復旧費用の試算額を乗じて求める。病院への送・配水管路の被害により水供給が停止すると、供給が復旧するまでの間、応急給水車を出動させる必要がある。応急給水にかかる費用を、病院での必要水量を賄うための給水車利用料金から算出する。病院の被害状況によって、必要となる水量は異なるため、損傷モード別に応急給水量を設定する(表-3)。表-3中で、病院の通常時における病院の1日使用水量をWとする。損傷モード別の必要応急給水量にモード発生確率を乗じ、その総量を1日必要水量の期待値とする。また、通常時に病院が水を使用することによって発生する給水収益の減少額を、被害額として考慮する。周辺住民への応急給水額は、地震発生後日数別の目標応急給水量(表-4)⁴⁾を用いて算出する。また、通常時に住民が水を使用することによって発生する給水収益の減少額を、被害額として算出する。

表-2 被害額算出方法

被害額	算出方法
損傷管路復旧費用	(被害件数) × (管径別修復費用)
病院への応急給水費用	(1日応急給水量) × (復旧日数) × (応急給水車1台の費用) / (応急給水車1台の容量)
病院への給水収益減少額	(通常時1日水道料金) × (復旧日数)
周辺住民への応急給水費用	(単位水量あたりの水道料金) × (目標応急給水量) × (復旧日数) × (周辺住民数)
周辺住民への給水収益減少額	(単位水量あたりの水道料金) × (1人1日平均使用水量) × (復旧日数) × (周辺住民数)

4. 大阪市内大規模病院への適用

先に示した地震リスクおよび水道事業者への被害額を、大阪市内10箇所の大規模病院に適用した。想定する地震として、5つの断層地震を設定したが、一例として上町断層地震を示す。図-5に各病院の損傷モード発生確率を示す。また、水道事業者の被害額を図-6に示す。

病院の損傷モードとして、モード4(建物被害なし、水道・電気被害あり)が発生する確率がもっとも高いことが知られた。また、水道事業者の被害額としてHP1, 3および9の病院を対象とした場合に被害額が大きいことがわかった。HP1および9は管路被害に関わる周辺住民数が多いため、またHP3は復旧日数が長いために被害額が高くなった。今後、水道施設の損傷確率を低減し、水道事業者としての被害額を低減することを考慮して病院への配水ルートを確認するための管更新事業を検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 大阪市水道管路耐震化検討委員会：地震被害予測に基づく水道管路の復旧戦略と今後の耐震化方策について, pp.41-59. 1997.4.
- 2) 大阪市水道局：大阪市災害対策本部水道部業務実施基本計画書[震災対策編], pp.7-9, 2003.
- 3) 矢部悟：神戸大学工学部建設学科卒業論文, 1996.
- 4) 神戸市水道局：阪神・淡路大震災水道復旧の記録, p.152, 1996.2.

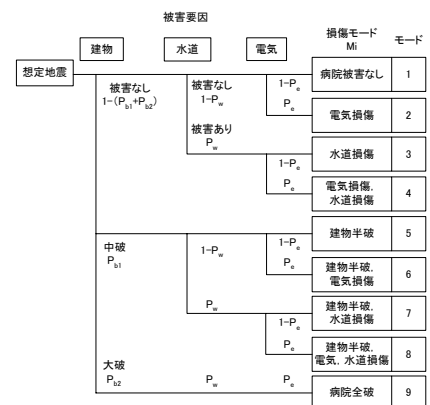


図-4 病院損傷モード

表-3 損傷モード別応急給水量

MODE	建物	水道	電気	応急給水量
1	無被害	無被害	無被害	0
2	無被害	無被害	停止	0
3	無被害	停止	無被害	0.5W
4	無被害	停止	停止	0.1W
5	中破	無被害	無被害	0
6	中破	無被害	停止	0
7	中破	停止	無被害	0.5W
8	中破	停止	停止	0.1W
9	大破	停止	停止	0.1W

表-4 目標応急給水量⁴⁾

地震発生からの日数	目標水量
3日まで	30L/人・日
10日まで	20L/人・日
21日まで	100L/人・日
28日まで	250L/人・日

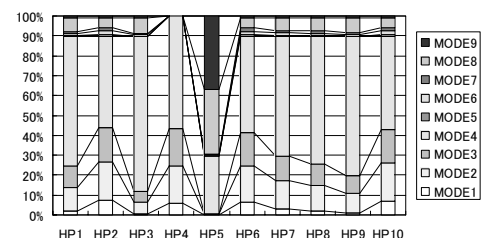


図-5 損傷モード

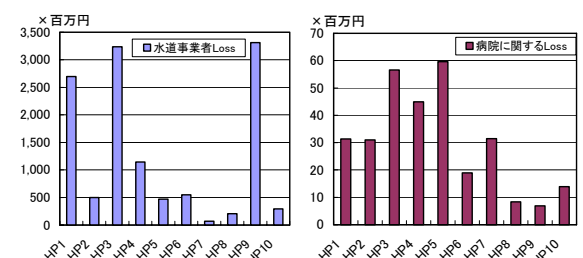


図-6 水道事業者および病院に関する被害額