

病院への給水システム耐震化による機能損傷低減効果

神戸大学 学生会員 ○ 鍛田 泰子
 神戸大学 フェロー会員 高田 至郎

1. 目的: 地震時の人的被災軽減のために病院への水供給サービス機能維持することは重要である。このため、医療施設外部の水供給管路網と病院内にある緊急医療用水施設の相互の耐震信頼性確保と緊急時の水供給対策の両面から考慮していく必要がある。本研究は前者について検討したものである。病院への水道システムの耐震性の評価手法を提案し、神戸市域の病院ごとの耐震性と機能損傷による影響度を示した。また水道管路の耐震化対策による期待機能損傷度の低減効果について検討した。

2. 病院水道システムの耐震性評価と機能損傷度¹⁾: 管路から病院への水供給の場合、配水池、管路、医療施設内部の三つの要素で一般に構成されている。過去の地震事例からみても配水池より上流の構造物ではある程度耐震性が確保されているので、配水池より下流の構造物について考慮した。ある地震 M_j の地震動 A が与えられた場合の水道管路システムの信頼性確率 F_w を配水池、管路、内部施設の信頼性確率 F_R, F_P, F_{IN} の積で評価した。

$$F_w(V_R, V_P, V_{IN} | M_j) = F_R(A_R) * F_P(A_P) * F_{IN}(A_{IN}) \quad (1)$$

さらに、水道管路システムの期待機能損傷度 MI は、水が供給停止時にサービスを受けられない病院の入院患者の期待値 $B(1-F_w)$ と定義した。本稿ではこの入院患者数 B を病院の病床数と同じであると仮定した。

図1中に示す病院の水道管路システムについて検討した。水道管路網では多くの経路で供給することは可能であるが、緊急時にそれらの系統切替えを行うことは難しい。そこで、緊急時の水供給経路が通常時のものに相当するとして直列した管路の連結性を評価する問題に帰着させた。図中の太線が対象となる管路である。地震動については、兵庫県南部地震で観測推定されたものを用いた。配水池と病院内部施設は最大加速度値で、管路は最大速度値で評価した。配水池の信頼性確率は、HAZUS99を用いた。管路の信頼性確率は、高田ら²⁾の予測式を応用して算出した。これは、地震動強度の他に管種、口径、液状化条件のパラメータで評価される。内部施設は建物の耐震性として代替して算出した。表1は、10病院への水道システムの信頼性確率 F_w と期待機能損傷度 MI を示している。信頼性確率は病院FやJで低い値が見られたが、病床数の多い病院BやDで機能損傷による影響度が大きくなることが示された。

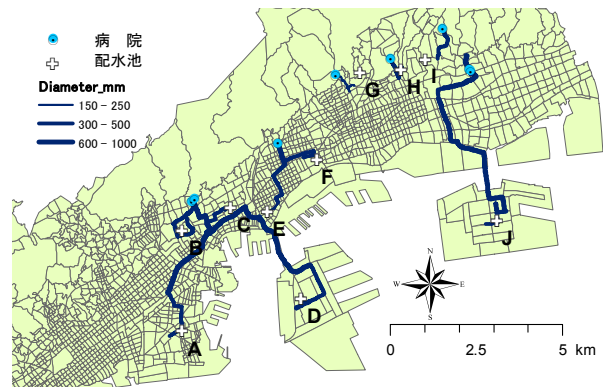


図1 病院への給水管路システム

表1 信頼性確率と期待機能損傷度

病院	F_w	MI
A	0.79	51.9
B	0.73	246.0
C	0.88	15.5
D	0.75	251.2
E	0.74	39.0
F	0.57	139.1
G	0.91	20.1
H	0.69	55.8
I	0.84	62.9
J	0.50	152.8

3. 水道管路耐震対策と期待損傷度への効果: 表1で示した信頼性確率は、管路の信頼性確率に大きく依存される。管路の耐震化対策を行なう場合、以下に示す二つの対策を講じることができる。まず、現在神戸市域で進められている大容量送水管による耐震性および冗長性の向上である。図2に示すように既存送水管に平行して、住宅地側に送水管路を敷設する計画が進められている。病院Dへは沈埋トンネル内を通して耐震管路が

キーワード 病院給水システム, 救命ライフライン, 機能損傷度, 管路敷設取替効果
 連絡先 〒675-8501 神戸市灘区六甲台町1 神戸大学工学部建設学科 TEL 078-803-6037

敷設される。二つ目の対策は、脆弱な管路の取替による耐震性の向上である。神戸の地震では、CIP(铸铁管)に被害が集中した。そこで、DIP(ダクタイル管)に取替えた場合の信頼性確率と機能損傷の低減効果について検討した。取替対策は、管路基本長さを5mとして、最大500本又は1,000本まで順次一本ずつ取替える場合を考えた。取替費用は、既往研究³⁾から表2に示す値を用いた。取替手順は次の2ケースを導入した。

Case1: CIPが含まれ、かつ水道管路システムの信頼性確率 F_w が最も低い病院への管路網を選択し、その管路網内の単位管路あたりの最も被害率の高いCIPをDIPに取替える。他の管路網の確率より高くなるまでその管路網内の次に被害率の高いCIPを取替える。

Case2: CIPが含まれかつ機能損傷度 MI が最も高い病院への管路網を選択し、Case1と同様にして単位管路あたりの最も被害率の高いCIPをDIPに取替る。表3はこれらの対策を遂行した場合の取替費用と機能損傷度の低減効果を示している。対策1については、病院施設以外にも地域の水道復旧に大きく貢献するものと期待できる。対策2の

投資と低減効果は比例的な関係を持っていない。図3に示すように、病院給水の信頼性確率は、対策1では病院Dに、対策2のcase2では病院Bの確率を上げることで機能損傷度を大きく低減させていることが知られる。図4は取替手順による機能損傷の低減効果を示している。手順の違いによって期待損傷度に150人程度の差異が見られるが、CIPの取替えが進むにつれてその差異は無くなっていく。また、11億円ほどのCIP取替によって対策1相応の低減効果を期待できる。

4. **まとめ:** 病院への給水システムの信頼性および機能損傷度を評価した。また、管路耐震化対策を行なった場合の信頼性向上、機能損傷の低減効果の検討を行なった。対策案の選択は、地域全体の機能損傷度を確保するのか、各病院に同様の信頼性を持たせるかということに関わる。また、緊急医療施設だけでなく地域住民への中長期的な生活支障や機能損傷の低減との関わりも検討していく必要がある。

参考文献
 1)金芸花, 鎌田泰子, 高田至郎: 病院水道システムの被災とリスク評価, 平成15年度関西支部年次学術講演会概要集, 2003(投稿中)。
 2)高田至郎, 藤原正弘, 宮島昌克, 鈴木泰博, 依田幹雄, 戸島敏雄: 直下型地震災害特性に基づく管路被害予測手法の研究, 水道協会雑誌, 第798号, pp.21-37, 2001。
 3) Takada, S: Direct and indirect economic losses of Kobe water systems during the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake”, Proc. of Third China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, Kunming, 291-300,1998。

謝辞: 研究遂行にあたり、神戸市水道局松下眞氏に多くの助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

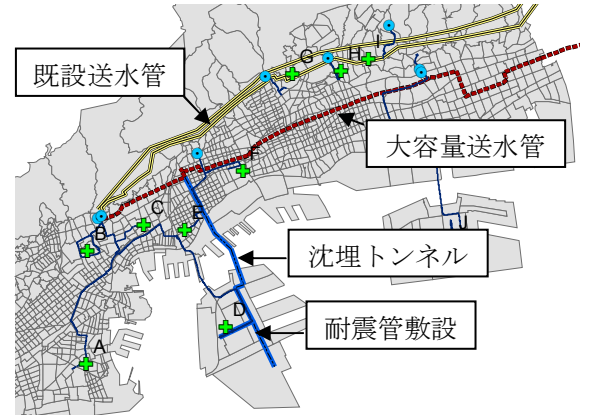


図2 大容量送水管と病院Dへの水道管路

表2 取替費用

管径(mm)	取替費用(千円)
- φ 150	350
φ 200 - φ 300	500
φ 300 -	1,100

表3 対策費用と機能損傷度

対策		備考	敷設取替費用(億円)	全機能損傷度(人)
0		対策前	--	1034.2
1		大容量送水管及び耐震管路敷設	500	783.0
2	case 1	500p	3.0	961.7
		1,000p	8.2	925.0
	case 2	500p	2.5	836.1
		1,000p	7.3	798.1

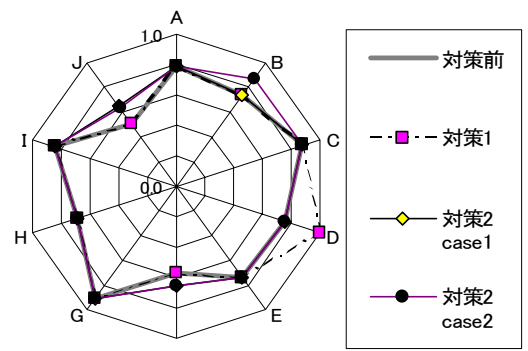


図3 病院ごとの信頼性確率 F_w

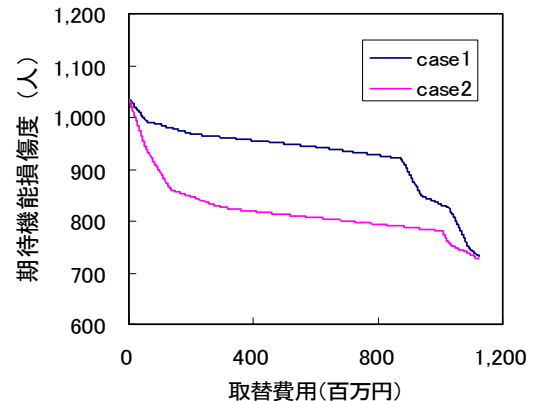


図4 取替手順による機能損傷の低減効果