

神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○金 芸花
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 鯨田 泰子
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎

1. 研究の目的：地震時の人的被災軽減のために病院への水道供給サービス機能維持することは重要である。このため、医療施設外部の水道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。病院の内部・外部システム損傷による医療施設の復旧過程を兵庫県南部地震における病院への市水の復旧状況から分析した。さらに、外部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信頼性と管路システムの機能損傷が与える影響について評価した。

2. 兵庫県南部地震における病院の水道システムの被災：神戸市域にある比較的病床数の多い救急病院である 10 病院について兵庫県南部地震の際の水道の被災状況および復旧要因を分析した。病院内の水道復旧日数¹⁾と神戸市水道局による病院該当地域の水道復旧日数を図 1 に示す。その結果、病院該当地域の配水管路の水道復旧活動が終了した後に病院内の施設に通水が完了した場合と、該当地域より先に病院へ通水した場合の二種類の傾向があった。後者の場合は、病院までの配水管に損傷が軽微であったことと一般の復旧工事とは別に病院施設へ優先的に復旧・供給されていたことが挙げられる。図 2 は、病院の所在と配水池から病院までの水道管路網を示している。病院 A, B, C, F の復旧が早い病院は中部センターから供給されている。中部センターは多くの企業へ供給しているため、水を流したまま復旧活動を行った。一方、東部センターでは、上流管路の復旧を確認しながら徐々に供給地域を広げていった。水道事業体の復旧戦略の違いによる復旧過程に関する要因が挙げられる。また、病院 D, J は人工島への供給ラインの復旧に時間を要したため、比較的遅い復旧となった。病院内の水槽も損傷を受けていたが使用可能であった病院 (A, B, C, H) では、内部施設が機能したため早期の復旧に貢献していた。病院内部・外部の構造物被害がともに復旧に影響していることが知られた。

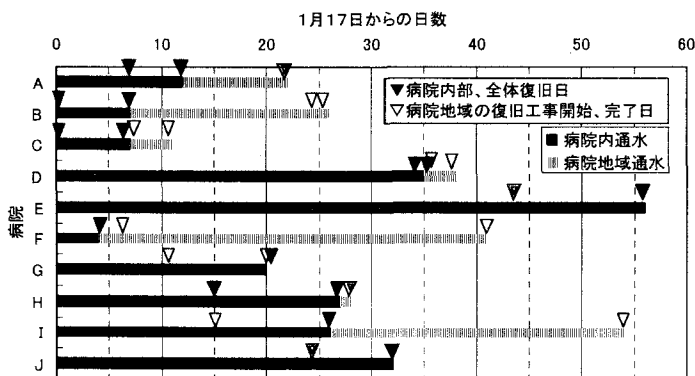


図 1 10 病院の水道復旧過程

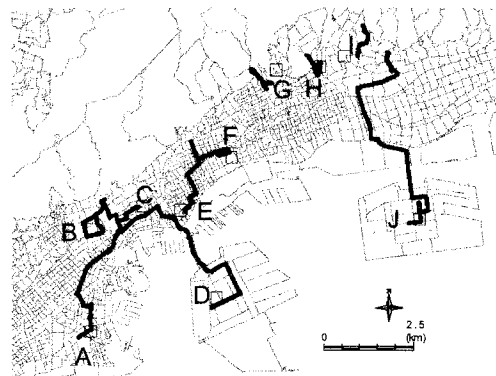


図 2 病院から配水池までの水道管路網

3. 水道管路システムの評価手法：管路からの水道供給の場合、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機能損傷による影響度は、水が供給されない時にサービスを受けられない病院の入院患者の期待値 $B(1-F_W)$ であるとした。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。

4. 適用例：先に分析した図2中の病院の水道管路システムについて検討した。水道管路網に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分けを変化させることは難しい。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。

入力地震動を兵庫県南部地震の折に推定された震度分布に基づいて換算し、配水池および病院内部施設には最大加速度値を、管路には最大速度値を用いた。配水池の被害確率は、HAZUS99²⁾の推定方法を適用した。管路の機能確率は、高田ら³⁾による管路予測式を応用した。

該当予測式では、地震動から推定される標準管路被害率に管種、口径、液状化の程度に関する補正係数(表1)を乗ずることで管路被害率 S_i (件/km)が算出される。管路の連結性を評価するため管路損傷確率を導入する必要がある。管路の基本長さが5mであることと、基本管路長さあたり被害は1箇所のみ発生することを仮定すると、基本管路長さ Δl あたりの損傷確率 P_{ui} が算出される。対象とする管路網が直列であることから、式(3)で信頼性確率が算出される。

$$S_i = S_{di} * C_{pi} * C_{di} * C_{li} \quad (2)$$

$$p_{ui} \cong S_i / 200 \quad (3)$$

$$F_P(A_P) = \prod_{i \in P} (1 - p_{ui}(A_{pi}))^{L_{pi} / \Delta l} \quad (4)$$

内部施設は、多くの水槽や内部配管により複雑である。RC建物の被害関数を用いて算出される被害率で内部施設を代替して評価した。

表2は、10病院の各構造物と水道管路システムの信頼性確率を示している。内部施設を建物として代替したため高い信頼性確率となった。病院Fは小口径の管路が高震度階域に多くあったこと、病院Jは液状化の影響が大きかったことが確率を低くする結果となった。山手にある管路長の短い病院は比較的高い確率となった。また、管路の信頼性がシステム全体の信頼性に大きく寄与していることが知られた。図3は各病院の病床数を用いて水道管路システム機能損傷による影響度について評価した結果を示している。病院BやGのように信頼性確率が高くてサービスを受ける患者が多いため、機能損傷による影響の期待値は最も低い病院CやGの10倍程度も大きいことが知られた。

5. まとめ：兵庫県南部地震の場合、市水の復旧を長引かせた要因は、事業体の管理センターの復旧戦略の違いがあったことと病院施設内の水槽の損傷によって使用不可能になったことが顕著であった。水道管路システムの信頼性確率を評価した結果、配水池や病院よりも管路の信頼性が全体のシステムの中で支配的であった。病院の規模を考慮して機能損傷による影響度を評価した結果、その値が10倍程度差あることが知られた。

参考文献

河口豊：阪神・淡路大震災による病院被災に関する調査研究報告書，国立医療・病院管理研究所，320P，1996.3

FEMA：HAZUS99，Technical Manual，1999.

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.

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。

表1 管路の補正係数

管種	C_{pi}	直径(mm)	C_{di}	液状化有無	C_{li}
DIP(A,K,T)	0.3	$\phi 75$	1.6	無	1.0
DIP(S, SII)	0.0	$\phi 100$ - $\phi 150$	1.0	(0<PL<5)	
CIP	1.0			一部	2.0
SP	0.3	$\phi 200$ - $\phi 250$	0.9	(5<PL<15)	
VP	1.0	$\phi 300$ - $\phi 450$	0.7	全体	2.4
SGP	4.0			(15<PL)	
ACP	2.5				
その他	-	$\phi 500$ -	0.5		

表2 水道管路システムの信頼性確率

病院	配水地	管路	内部施設	水道システム
A	0.97	0.81	1.00	0.79
B	0.97	0.76	1.00	0.73
C	0.97	0.90	1.00	0.88
D	0.97	0.77	1.00	0.75
E	0.90	0.86	0.99	0.77
F	0.90	0.64	0.99	0.57
G	0.97	0.94	1.00	0.91
H	0.97	0.71	1.00	0.69
I	0.90	0.94	1.00	0.84
J	0.90	0.56	1.00	0.50

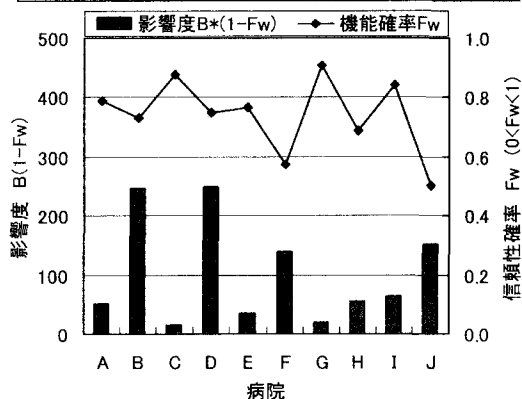


図3 信頼性確率と影響度