

救命ライフラインの地震時信頼性評価

八代工業高等専門学校 学生員 田中隆浩
八代工業高等専門学校 正員 淵田邦彦

1. はじめに

地震時におけるライフライン施設の機能確保は重要な問題であるが、とくに、病院のライフライン機能維持は病院患者の生命に直接影響を及ぼすことになるため、かかるライフラインの地震安全性を検討し事前の対策など地震時災害対応計画を立てることが重要となる。そこで本研究では、モンテカルロ法に基づいたライフラインネットワークの信頼性評価手法を用いて¹⁾、病院施設につながる救命ライフラインの地震時信頼性について検討するものである。ここでは、単純な仮想モデル及び八代市上水道管路網のネットワークモデルを用いて、地盤、管路等の諸条件とライフラインネットワークシステムの信頼性との関連等について検討する。

2. 解析手法

(1) 数量化理論による被害率予測

リンクの破壊確率を推定する際に、被害個所数が必要となる。そこで水道管の1km当たりの被害個所数を目的変量(外的基準)として、数量化理論第類を用いて導かれた被害予測式を利用する。表1は、地中埋設管路の地震被害に影響を与える要因(アイテム)、各アイテムの範疇(カテゴリ)、およびカテゴリ数量を示したものである。ここで、カテゴリ数量の値は過去にライフラインに被害を及ぼした日本海中部地震、宮城県沖地震、釧路沖地震、兵庫県南部地震の資料をもとに、算出されたものである。

(2) モンテカルロ法による信頼性評価手法

対象地域を格子状に分割し、管路網を節点(Node)と管路(Link)よりなるシステムにモデル化する。このとき1メッシュ範囲内の地盤条件は一定とする。ある節点*i*, *j*間のリンク*L_{ij}*の耐震性の評価は、節点間の連結性によって評価する。連結性は節点ペアに対して確率で与えられることになるが、節点ペア間に1つ以上のパスが存在する場合に、そのペアは連結であると定義し、その確率(連結確率 s_{qij})が耐震性を表す値と考える。そこで、各リンクの破壊は

表1 カテゴリー表

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数量
震度	(80~250gal)	0.301
	(250~400gal)	2.331
	(400gal~)	23.292
地盤種別	1種	1
	2種	12.61
	3種	12.8
液状化程度	顕著	2
	若干	0.732
	無し	0.137
管種	铸铁管	0.517
	ダクタイル铸铁管	0.065
	鋼管	0.045
	石綿セメント管	0.676
管径	塩化ビニール管	0.046
	50~125mm	1
	150~300mm	0.446
	350~600mm	0.052
	700mm~	0.012

互いに独立であるとし、モンテカルロ法により一様乱数を発生させて、各リンクの破壊・非破壊の検討を行う²⁾。

各リンクの非破壊確率 s_{qij} の算定する方法としては、同じ震度の地震と表1のアイテム・カテゴリ(地盤条件・管条件)に対して、前節で述べた数量化理論により、リンクが横切るメッシュごとに破壊個所数を求め、リンク*L_{ij}*間の破壊個数の和をとって*L_{ij}*間の平均破壊個数 e_{ij} としたあと、これより非破壊確率 s_{qij} を算出する。

3. 数値計算結果と考察

解析モデルとして、図1に示すような2km×2kmの範囲を対象とする仮想モデルを考える。この範囲を500m×500mのメッシュに分割し、各メッシュごとに一定の地盤条件を設定する。各メッシュの中央部に配水池(図中左上隅)および管路の分岐点を配置し、管路網を格子状に設定する。また実際のモデルとして、図3に示すような、八代市給水区における上水道管路網の中央部を、138個のノードと145のリンク、および3つの配水池で構成されるネットワークとしてモデル化したものについて解析する。

図2は仮想モデルにおける管路網全体の信頼性を

求めた結果を管種別に示したもので、管種以外の条件は、震度 5，地盤種別 1種，液状化無し，管径 350～600mm の条件としている。図に示すように，鑄鉄管，石綿セメント管では信頼性は低く，逆にダクトイル鑄鉄管，鋼管，塩化ビニール管等では，高い信頼性が得られており，そのため同一管径での耐震化を図る際に，管種の変更は，効果的な耐震化の 1つといえる。

表 2 は震度 5，震度 6 に対する八代市の 9 個の病院ノードの信頼性（配水池との連結確率）の結果である。図 3 中には各病院施設の位置を表 2 の病院の番号で表している。八代市全体における信頼性の平均は震度 5 で 0.787，震度 6 で 0.203 である。震度 5 の結果より，八代病院は全体の信頼性より低いことが分かる。その理由として八代病院は海側に位置し，液状化の起こりやすい軟弱地盤であるためと考えられる。労災病院や総合病院など山側に位置している病院では高い信頼性を得た。一方，震度 6 の場合には丸田病院以外はすべて平均を下回る結果となっており，物理的な耐震化以外にソフト的な対策を検討することも必要と考えられる。

5. まとめ

八代市上水道管路網をネットワークモデル化し，信頼性解析を行った。その結果，震度 5 の場合は，海側の病院に連結する管路の信頼性は低かったが，その他の病院では高い信頼性であることが分かった。しかし，震度 6 ではすべての病院で信頼性が大幅に低下する結果となり，地盤や管種等の条件を改良する以外に何らかの対策が必要なことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 秋吉卓，淵田邦彦，前田修一：第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集第 3 分冊，pp.3187～3192，1999.
- 2) 田村重四郎，川上英二：土木学会論文報告集，第 311 号，pp37～48，1981.

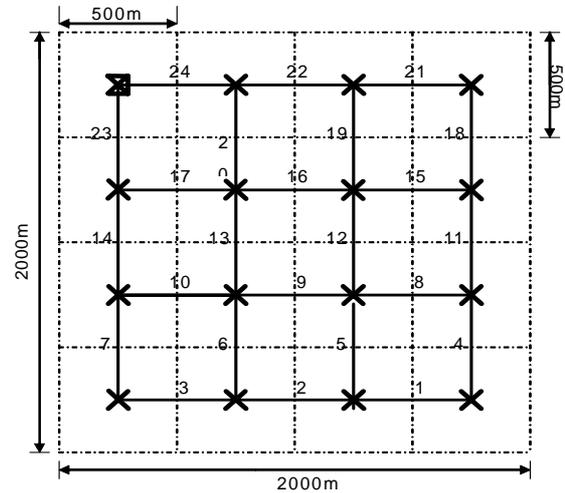


図 1 仮想モデル

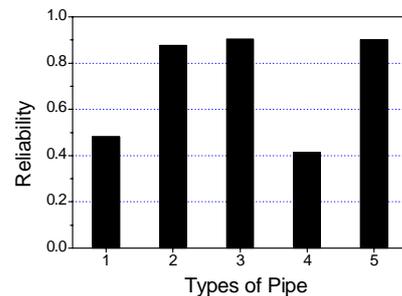


図 2 管種と信頼性の関係

(1:鑄鉄, 2:ダクトイル鑄鉄, 3:鋼, 4:石綿セメント, 5:塩化ビニール)

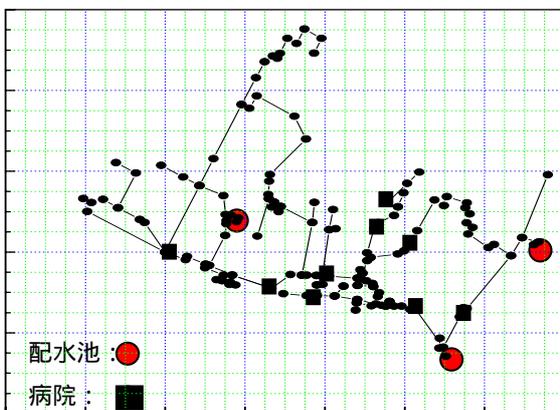


図 3 八代市上水道管路網のモデル

表 2 病院に接続する管路の信頼性

病院	リンク番号	ノード番号	信頼性	
			震度 5	震度 6
八代病院	49	16	0.642	0.021
開病院	63	60	0.860	0.058
総合病院	72	67	0.935	0.058
西産婦人科	77	70	0.931	0.160
坂本病院	87	82	0.879	0.101
敬仁病院	91	85	0.790	0.048
労災病院	97	93	0.918	0.132
丸田病院	124	117	0.937	0.239
市立病院	136	126	0	0