

救命ライフラインの地震時信頼性と費用評価

八代工業高等専門学校 正 員 淵田邦彦
(株)九 建 田中隆浩

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、その地震安全性を確保し事前の対策を検討する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、また直接・間接被害等の費用との関係についても検討する。

2. 解析手法

(1)数量化理論による被害率予測

表1は、埋設管路の地震被害に影響を与える要因(アイテム)、カテゴリーおよびカテゴリー数量を示したもので、ライフラインに被害を及ぼした新潟地震(1964)、日本海中部地震(1983)、宮城県沖地震(1978)、兵庫県南部地震(1995)の資料をもとに算出されたものである¹⁾。ここでは、水道管の1km当たりの被害個所数を目的変数(外的基準)として、数量化理論第Ⅱ類を用いて導かれた被害予測式を利用する。

(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メッシュ内の地盤条件は同一とする。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、各リンクの破壊は互いに独立であるとし、モンテカルロ法により一様乱

表1 カテゴリー表

アイテム	カテゴリー	カテゴリー数量
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
	塩化ビニール管	0.046
管径	50~125mm	1
	150~300mm	0.446
	350~600mm	0.052
	700mm~	0.012

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} の算定方法としては、表1のアイテム・カテゴリー(震度、地盤・管路条件)に基づく被害予測式により、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} を算定し、これより非破壊確率 s_{qij} を算出する。

一方、直接・間接の被害額や復旧費などの費用や地盤改良などの事前投資より、総費用を算定する¹⁾。

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、各メッシュに一定の地盤条件を設定する。各メッシュの中央部にノードを配置し、管路網を格子状に設定する。図中No.16ノードを配水池とする。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を対象として、138個のノードと145本のリンクおよび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 Ⅴ，地盤種別 Ⅰ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，逆にダクタイル鑄鉄管，鋼管，塩化ビニール管等では，高い信頼性が得られている。

図 3 は，前メッシュの地盤種別 Ⅱ種の条件から Ⅰメッシュづつ地盤種別 Ⅰ種に条件を変えた場合の信頼性と費用との関係を示したものである。信頼性を確保するに要する事前・事後の費用との関係は，ネットワークの耐震化を図る際の有益な資料と考えられる。

表 2 は震度 Ⅴ，震度 Ⅵ 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 Ⅴ で 0.787，震度 Ⅵ で 0.203 である。震度 Ⅴ の結果より，山側（図中右側）に位置している病院 Ⅰでは高い信頼性を得たが，海側（図中左側）に位置する病院 Ⅱは全体の信頼性より低く，これは液状化の起こりやすい軟弱地盤の影響と考えられる。一方，震度 Ⅵ の場合には病院 Ⅲ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が必要と考えられる。

5. まとめ

仮想モデル及び八代市上水道管路網ネットワークモデルの信頼性解析を行った。その結果，震度 Ⅴ の場合はある程度の信頼性を得られたが，震度 Ⅵ では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.

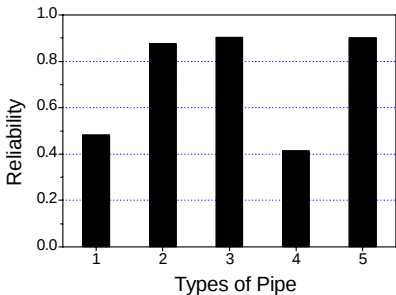


図 2 管種と信頼性の関係
(1: 鑄鉄，2: ダクタイル鑄鉄，3: 鋼，
4: 石綿セメント，5: 塩化ビニール)

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.

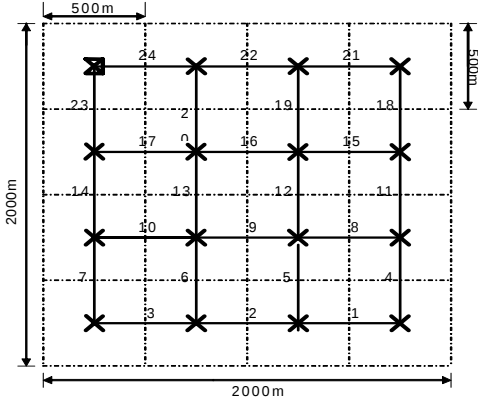


図 1 仮想モデル

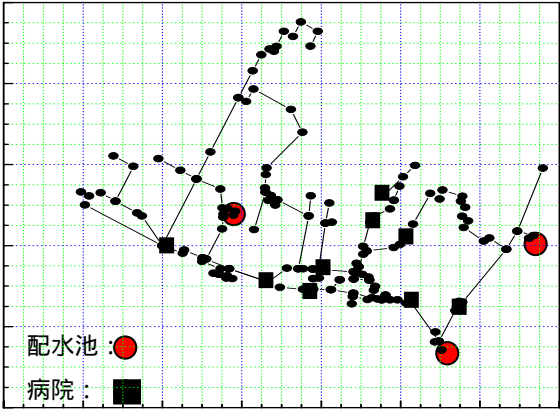


図 3 八代市上水道管路網のモデル

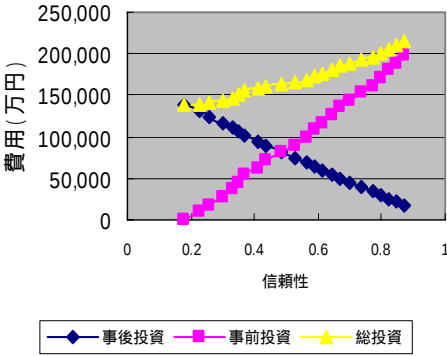


図 3 信頼性と費用との関係

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
	49	16	0.642	0.021
	63	60	0.860	0.058
	72	67	0.935	0.058
	77	70	0.931	0.160
	87	82	0.879	0.101
	91	85	0.790	0.048
	97	93	0.918	0.132
	124	117	0.937	0.239
	136	126	0	0