

復旧を考慮したライフラインシステムの信頼性解析

東北大学工学部 学生員 〇上遠野 豊

同上 正員 岸野 佑次

同上 正員 浅野 照雄

1. まえがき

ライフラインシステムの耐震信頼性については、従来、単にリンク又はノードの破壊のみを考慮して解析を行ってきたが、被害後の需者への供給信頼性を評価するには、復旧過程を考慮に入れて解析が必要と考えられる。本文は、このような観点から、二、三の簡単なネットワークシステムのモデルを例に、復旧方式の違いにより、システムの需者への供給信頼性がどのように影響されるのかを検討したものである。

2. 解析方法と概要

ネットワークシステムにおいて、地震によるリンク内の破壊発生は、ポアソン分布であると仮定して、リンクの破壊は破壊確率で表わされる。この破壊確率は、リンクの破壊の程度(破壊件数)を相対的に表わすものであると考えると、復旧により、リンク内の破壊個数が減少していくのであるから、リンクの破壊確率も小さくなっていく。即ち、完全復旧の時のリンクの破壊確率は0となる。そこで、リンクの復旧がリンクの破壊確率の減少で表わされるとすると、復旧に要する人員一人一日当りの破壊確率の減少率(ここでは復旧係数と呼ぶ)を以下のようにして決める。リンクの破壊確率 P は、ポアソン分布と仮定して、

$$P = 1 - e^{-RL} \quad R: \text{被害率(ヶ所/km)}, L: \text{リンク長(km)} \quad (1)$$

復旧係数 $\alpha = 0.01/\text{人日}$ と仮定すると、 $RL \leq 0.1$ では、表-1からもわかるように、リンク長と復旧日数には、ほぼ比例関係があるが、一方、 $RL \geq 0.1$ においては、この比例関係は満足されない。従って、次のように α を補正する。即ち、

$$\alpha' = \alpha / (0.06 \times L_0 + 1) \quad (2) \quad L_0 = RL/R_0 \quad (3)$$

ただし、 R_0 : 基準被害率(0.1ヶ所/km) L_0 : 基準換算長(km)

と新たに定義して補正すると、表-1に示すようにリンク長と復旧日数に間に、 $L = 20.0\text{km}$ までは、ほぼ比例関係にある。従って(1)式から、被害率と復旧日数にも同様に、ほぼ比例関係がある。なお、 L_0 は予想する被害率でのリンク長を基準被害率に換算したリンク長である。

宮城県沖地震においては、中庄A、B管について、被害率 $R = 0.0255\text{ヶ所/km}$ 、復旧人員延べ141人、 L (平均的なリンクの長さ)が1.2kmであるから、復旧係数は、 $\alpha = 0.0355/\text{人日}$ となる。解析には、 $\alpha = 0.035/\text{人日}$ を使用する。

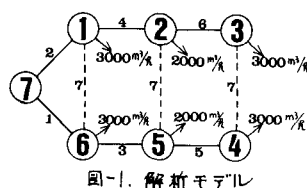
信頼性の解析は、SSSP法と状態確率法³⁾を用い、機能性の評価は、本文では例としてガス配網を対象とし、必要圧力(2.0 kg/cm²)を満たすかどうかで判定する。復旧方法は、1)破壊した複数のリンクの平均的な復旧(平均復旧方式)、2)供給点に近いリンクよりの復旧(供給側復旧方式)、3)被害の小さいリンクからの復旧(小被害優先復旧方式)の3つを考える。

3. 解析結果および考察

具体例としては、図-1のような、リンクが位置をかえた3つのモデル(ノード①~⑥は需者点、⑦は供給点)を考える。即ちモデル1: リンクAがノード⑤とノード②を結ぶ。モデル2: リンクAが③と④を結ぶ。モデル3: リンク

表-2. データ

リンク番号	直 径(mm)	長 さ(km)	破壊確率
1	3.0	4.0	0.1
2	3.0	4.0	0.1
3	2.0	3.0	0.2
4	2.0	3.0	0.2
5	2.0	3.0	0.2
6	2.0	3.0	0.2
7	2.0	5.0	0.1



7がノード①と⑥を結ぶ。また、リンクの長さ、直径、破壊確率は表-2に示した通りである。これから、ネットワークの性質としてノード①から④とノード①から③は対称となっている。なお、復旧は対称に行うものとする。また、動員最大人員は7人である。

3-1. 地震直後の信頼性

連結のみの信頼性において、図-2に示したように各モデル間の信頼性の差が最も小さいモデルは、モデル2である。これは、各ノードが独立な2つのシナプルパスを持つためである。連結だけで判定する場合（電気や電話など）には、モデル2のような形が望ましい。

機能性を考慮した信頼性においては、各モデルでのノード間の信頼性の差が最も小さいモデルは、モデル3である。これは、モデル1、2に比べて供給点に近い位置で分流するため、摩擦損失エネルギーがより少なくなるためである。また、必要圧力が大きいほど許される摩擦損失が小さいことを考えても、高圧管ほどモデル3が有利なことがわかる。

3-2. 復旧を考慮した信頼性

図-4に、復旧を考慮した場合のノード③の信頼性を示す。連結のみの信頼性は、平均復旧を行う場合は、初期のうちは他の方法と比べ信頼性は高い。これは、ループ部において図-3の(a)は(b)より信頼性が低いことを考えてもわかる。供給側復旧は、リンク7（対称的な復旧のため、リンク7による機能向上はない）の復旧を最後に行っているため、初期の信頼性は低い。後半の復旧による信頼性の向上は良好である。小被害優先復旧の場合は、供給側よりの復旧方法に比べ、信頼性の向上の効果が遅れる傾向となる。連結のみの信頼性を考える場合は、モデル1においては、平均復旧方式、モデル2、3では、供給側復旧が最良となる。

機能性を考慮した信頼性では、連結のみの信頼性と異なり、きやてのモデルで供給側復旧方式が高い信頼性を示す。これ

れらのモデルが、リンク2の破壊によって機能性を十分発揮できない状態となるが、供給側よりの復旧によって、この状態がいち早く解消されるためである。

4. あとがき

本文に述べた復旧を考慮した耐震信頼性評価によれば、被災した管網の復旧の際に従来より行われている供給側からの復旧の方法が最も望ましいということが結論づけられる。今後更に複雑なモデルに関して考察を行いたいと考えている。

参考文献 1) 磯山龍二・片山恒雄 大規模水道システムの地震時信頼度評価法

2) 仙台市ガス局・宮城県沖地震とガス復旧の記録

3) 沢田 博・第37回土木学会年次学術講演会講演概要Ⅰ P633~634. 1982

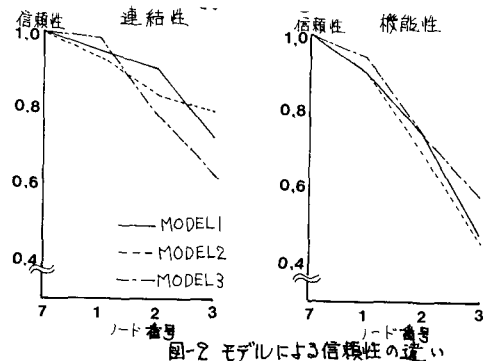


図-2 モデルによる信頼性の違い

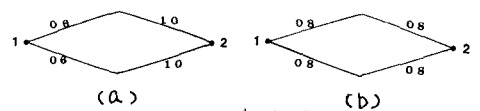


図-3 連結例

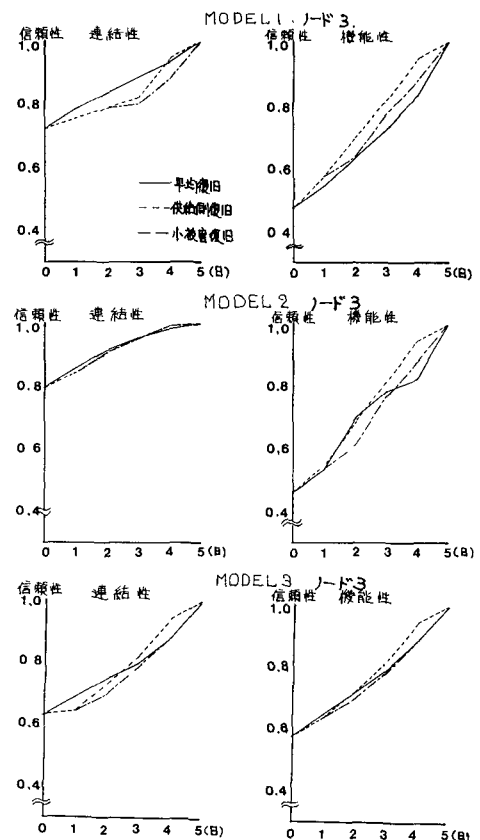


図-4 復旧を考慮した信頼性