

東急建設(株) 正員 上遠野 豊
東北大学工学部 正員 佐武 正雄
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、従来は、単に想定する地震に対するリンクおよびノードの破壊のみを考慮して解析を行ってきた。しかし、被災後の復旧により、供給可能な区域が広がり、需要者への供給信頼性が高まる。即ち、早期に復旧が可能ならば、例え被害を受けたも供給の信頼性は高いと考えられる。そこで、本文は、ガス配管網を対象にして、地震直後から順次、時間経過と共に復旧されるネットワークシステムの信頼性の解析を行い、復旧の方法がシステムの信頼性の向上にどのように寄与するかを調べることを目的としたものである。

2. 解析方法

ガス、水道の配管網のライフラインシステムにおける耐震信頼性解析は、ノードとリンクから成るネットワークシステムにモデル化して行われるが、リンク又はノードの破壊確率は、リンクの被害率又は地盤マッシュ分割による応答地盤歪を基として、リンク内の破壊発生がポアソン分布をすると仮定して求められる。著者らは、この破壊確率が相対的に被害の程度(被害件数)を表わすものと考え、復旧による破壊確率の減少率を定義して解析をすべく行っているが、その減少率の物理的意味が不明確であったので、本文では、以下のようにして復旧を考慮したリンクの破壊確率の算定を行った。即ち、リンクの破壊確率 P_f は、リンク内の破壊発生がポアソン分布であると仮定して、

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

を与えられる。次に、復旧により、1日、1人当り α 件の被害箇所が修復されるとすると、復旧を考慮したリンクの破壊確率は、大抵は、

$$P_f = 1 - e^{-RL + \alpha \sum_{i=1}^n n_i} \quad (n_i: \text{作業人数}) \quad (2)$$

を与えられる。このようにして得られるリンクの破壊確率 P_f を用いて、SSSP法と状態確率による方法を⁵⁾用いてネットワークシステムの信頼性の解析を行った。信頼性の評価は、1) 単に、供給点と需要点とが連結されていればよい。2) 供給点と需要点とが連結され、かつ、需要点における条件(例えば必要圧力・流量)が満足される必要がある。等の2つの方法によって行った。また、復旧方法はネットワークの状況により、2種々考えられるが、本解析におけるモデルでは、1) 供給点側優先復旧、2) 均一復旧、3) ループ時計まわり供給側優先復旧、4) ループ時計まわり均一復旧、などの4種類である。

3. 解析結果と考察

解析の対象はガス配管網とし、そのネットワークモデルを図-1に示す。リンクの長さおよび口径はそれぞれ $5m$ 、および $25cm$ である。また、ノードにおける必要需要量(%)は図中に示す通りである。なお、供給点(工場)におけるガス圧力は $6kg/cm^2$ で一定であり、各ノードにおける必要圧力は $2.5kg/cm^2$ とする。リンクの被害率は、仮に図-1のモデルの供給点①付近の地盤が悪いとして $R=0.05\%/km$ 、その他で $R=0.001\%/km$ とすると、リンク

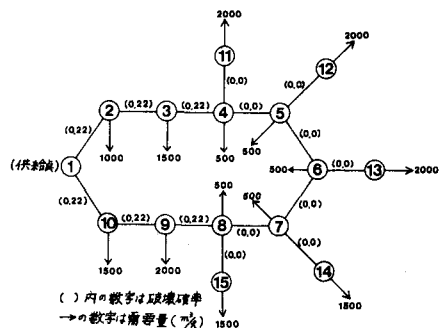


図-1 ガス配管網モデル

の破壊確率は図-1に示す通りである。また、復旧率はここでは 0.006 件/人・日 とし、復旧作業数は被害箇所1件につき最低5人、最高10人、総動員数20人とした。この条件のもとで前述の方法により、被害を受けたりリンクの復旧を行い、(2)式から復旧を考慮した破壊確率を算定し、信頼性を評価する。

1) 連結確率による信頼性

ガス工場と各需要区域の連結確率を、地震直後から求めたものを代表的なノードに対して図-2に示す。いずれも復旧方法によって信頼性に大きな差はないが、ループ時計まわり優先復旧方法が他の方法に比べて、差がみられる。即ち、これらの図から、単なる連結確率の場合、供給臭に近いノード程、供給臭までのリンクの被害の復旧が早く済む方法の方が信頼性が高くなることわかる。

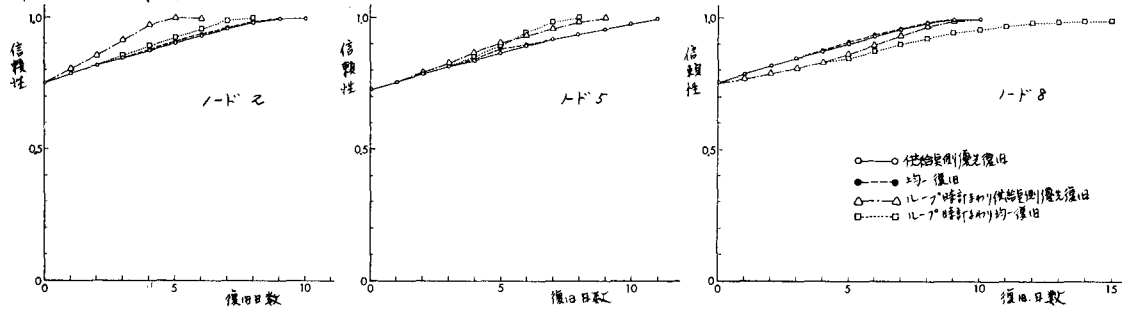


図-2 連結確率による信頼性

2) 機能性を考慮した信頼性

需要量の必要圧力 2.5 kg/cm^2 を満足する信頼性は、図-3に示す通りである。これから、供給臭に近いノードでは単なる連結確率による場合と異なり、ループの両側から復旧を行なうと高い信頼性が得られ、一方、供給臭から最も離れたノードでは信頼性は復旧方法にあまり大きく依存していないことがわかる。これは、全てのノードで必要需要量を満足させるためには、一つの供給臭からの一本のパスでは不十分であることによる。従って、ノードの需要量を適当に減量することにより供給臭に近いノードの信頼性が高まることになり、1)の連結確率による評価の場合の傾向があらわれると考えられるが、一方で、減量又は供給停止による信頼性低下があらわれるノードが生ずることになる。

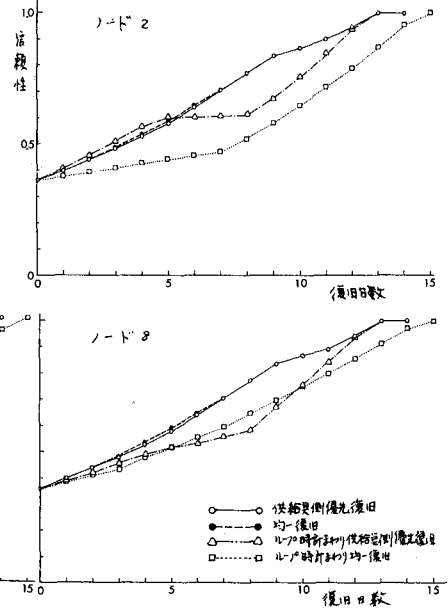


図-3 機能性を考慮した信頼性

4. あとがき

ネットワークの幾何学的形状、リンクの破壊する位置、破壊確率の大きさの分布、ノードの需要量・必要圧力等によって解析結果に影響があらわれるが、これらについての考察は発表当日に行う。

終りに、本解析を行うにあたり、計算・図面作成で平岸文部技官 石見政男氏に御世話になりました。ここに謝意を表します。

5. 参考文献

- 1) 田村重昭, 川上英二, ライフラインネットワークシステムの耐震性の一評価方法について, 主要研究, 30巻 9号, 1978
- 2) 高田部 尚晴, 阪神・淡路大震災の被害調査報告, 建設省研究報告, P.147-P.193, 1979
- 3) 上野謙, 豊野浩次, 浅野照雄, 復旧を考慮したライフラインシステムの信頼性解析, 都市計画・建設技術研究報告, P.25-P.26, 1983
- 4) Taha, Agha, G.; Seismic Risk Analysis of Networks, Seismic Design Decision Analysis-Report No.22, MIT, 1975
- 5) 深田博司, 佐武正雄, 浅野照雄, 配水管網の耐震信頼性の一評価方法について, 第7回都市計画研究所地震災害対策部会報告, 1982