

地震により被災したライフラインの重要度に基づく復旧戦略

京都大学工学部 正員 山田善一 京都大学工学部 正員 野田 茂  
 京都大学大学院 学生員 西森正至

1. はじめに 震災後に、ライフラインの合理的な復旧・改良計画を策定することは重要な課題である。本研究は、システム内の構成要素（リンク）の重要度を時々刻々評価することにより、重要度の高い被災リンクから優先的に修理していく復旧戦略を提案したものである。復旧率は、現実に即する様に考えた。また、被害程度の大小に応じた復旧方針を立てることにより、現実的かつ合理的な方法を提示した。

2. 本研究の概要 前論文<sup>1)</sup>と同じように、各リンクは数個の要素より構成されているとした。モンテカルロ法を用いることにより、被災リンクと被害位置を決定し、損傷ネットワーク網をシュミレートした。被害程度の状態変化はマルコフ過程に従うものと仮定し、各復旧段階において被害状態ベクトルを求めた。このとき、被害程度としては、大・中・小被害とそれらの被害が一樣に生起するケースを定義した。

図1、は各被害程度における被害率と供給率の関係を示したものである。これより、被害程度に応じて、被災リンクの連結性を示す各指標を導入した。図2は、大被害が生じたときの被害状態の確率密度関数であり、被災リンクの連結性の程度を決定するのに用いた。以上の結果から、連結性の尺度を定義することにより、被災リンクの重要度を定量的に評価して修理箇所を決定し、各復旧段階における修復活動を実施した。

重要度<sup>2)</sup>としては、Birnbaumの重要度・Criticalityの重要度・Barlow-Proschanの重要度・Fussell-Veselyのcut set重要度の4種類を用いた。また、前論文<sup>1)</sup>で提案した復旧方針を採用し、被災リンクの破損箇所の期待数から復旧リンクを決定する手順と本研究の方針との相互比較を行った。

震後の時刻tの復旧率 $\gamma$ は、図3で示すように、復旧率の最大値 $\alpha_p$ と最大となる時刻 $t_p$ を用いて、
$$\gamma(t) = \alpha_p \frac{t}{t_p} \exp\left(1 - \frac{t}{t_p}\right)$$
より算定した。システムの復旧状態を示す指標としては、システム内の需要端と供給端間の連結確率により評価した。

3. 数値計算例および考察 仙台市の水道網モデルを対象とし、復旧戦略について考察した。図4は、4つの重要度と前論文<sup>1)</sup>の手法に基づいて、被災リンクの復旧を進めたとき、システムの非連結確率の変化を示したものである。同図より、破壊箇所の期待数の変化を

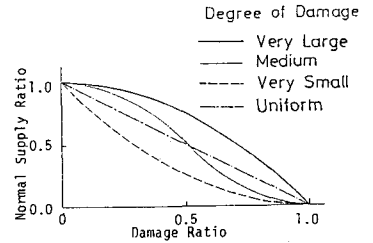


図1 4種類の被害程度に対応した被害率と供給率の関係

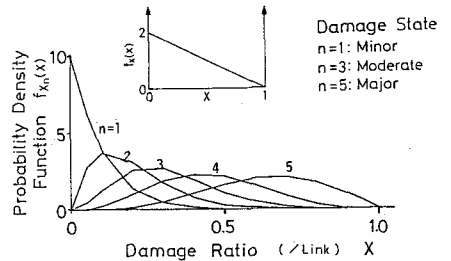


図2 大被害時における被害状態の確率分布

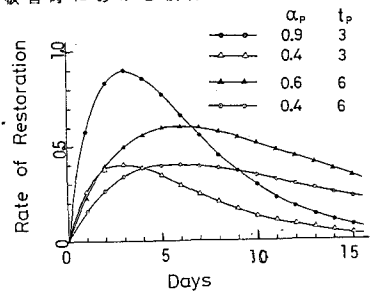


図3 復旧率の経時変化

用いて、復旧活動を行なうと（前論文の方法）早急に平常状態に回復することがわかる。但、これは、重要度に基づく戦略と異なり、1ステップで複数個の被災リンクを同時に復旧できる様にしたからに他ならない。Birnbauの重要度を用いると、早急に復旧できるが、修理の難易度を考えていないため、多大な費用を要する可能性がある。

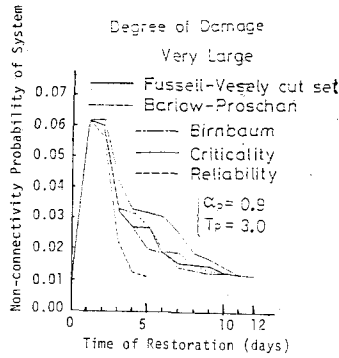


図4 復旧戦略の相違によるシステムの非連結確率の変化

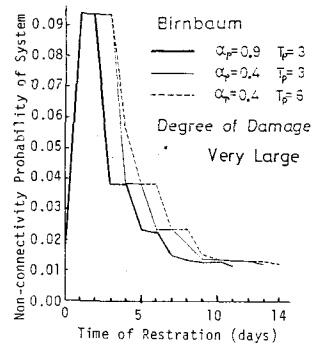


図5 復旧率の相違が復旧過程に及ぼす影響

Criticalityの重要度によると、復旧は容易に実施できるが、速やかな復旧が得られていない。Barlow-Proschanの重要度によると、他の復旧戦略に比べて、完全復旧までに1日余分にかかっている。Fussell-Veselyのcut set重要度を用いると、これらの中間的な復旧過程を示している。

図5ではBirnbauの重要度に基づく復旧過程を用いた場合の、復旧率による相違を示した。これによれば、初期段階にできるだけ早急に修理を行なう戦略をとることで、システムの機能が速やかに回復できる。

図6は被害程度による復旧過程の相違を示したものである。小被害から大被害まで一様に被害が生じた場合、地震直後にシステムの機能が最も悪くなっており、復旧作業も手間どっている。しかし、大・中・小の各被害が生じた場合、被害が小さいほど早く平常状態に回復しているが、完全に復旧する日数はほぼ同じである。この結果から判断すると、被害状態を小さくするためシステムの耐震性を図って多大な投資をしても、復旧の途中ではシステムの連結性が大きく異なっているが、最終的にはあまり効果があるとは限らない。

4. 議論 図7は、Birnbauの重要度に着目したときの被災リンクの重要度の順位の経時変化および、修理リンク

を示したものである。図中の●・▲・◇は被災リンクについて修理した要素数を示す。この結果は、復旧率・被害状態・修理リンクの決定法の相違によって復旧の様相が異なってくる事を示唆している。そのため、これらの特徴を考慮して、それに見合った復旧戦略をたてる必要がある。しかし、初期の段階に復旧作業を集中的に行なうと、復旧効果をより一層高めることが可能である。

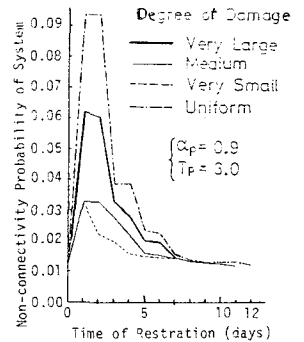


図6 被害程度が復旧過程に及ぼす影響

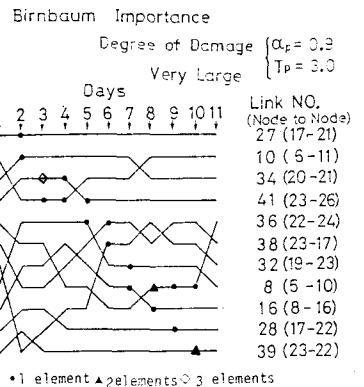


図7 重要度に基づく被災リンクのランキングの経時変化

参考文献 1)山田、家村、野田、小笠原、土木学会報告集、Vol.326,pp.1~13,1982.10.

2)Henley,E.J,and Kamoto,H,Re liability Engiariing and Risk Assessment,Prentice-Hall,1981.