

I-513

震災ライフラインの復旧過程の最適化

日本道路公団 正員 関谷富彦

京都大学防災研究所 正員 佐藤忠信 土岐憲三

1. はじめに 従来のライフライン網の復旧方法は¹⁾、導管敷設区域をブロックに分けて、被害の少ないブロックから復旧作業を行うという方法がとられてきた。本研究では、復旧方針の基準として被害の大きさのほかにネットワーク特性を考慮できるアルゴリズムを開発し、復旧過程の効率に関する考察を行う。

2. 想定被害と復旧方法の評価 復旧過程のシミュレーションを行うのに対象としたライフラインシステムは、湘南地区ガス管網であり、中圧A管からなるネットワークである。すでに開発されている地震時信頼度解析のアルゴリズム²⁾を利用してネットワーク全体の損傷状態の中で、最も被災要素数の多い組合せを想定被害状況とした。想定した地震は1923年の関東地震級のものであり、マグニチュードは6.8とした。ガス管網のネットワーク及び想定被害状況を図1に示す。○印の部分が被害を受けた構成要素になっている。また各構成要素の被害程度については、各構成要素の破壊ポテンシャルを用いて次式のように定めた。

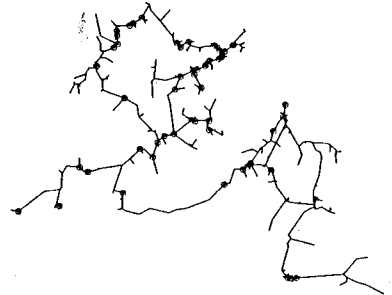


図1 想定被害状況

$$T_i = (\text{要素}i\text{の破壊ポテンシャル}) / \beta \quad (1)$$

β は、破壊ポテンシャルを復旧作業班数に換算するための係数である。この T_i を被災要素 i が機能を再開するまでに要する総作業班数とする。復旧単位時間に、被災要素 i に対して作業班が x だけ配分された場合、 $T_i/x > 1$ なら被災要素 i は復旧が未完了であり、次の計算ステップまで復旧作業が残ることになり、 $T_i/x = 1$ になれば復旧が完了すると仮定してシミュレーションを行う。復旧作業における破壊箇所への移動、天候などの種々の条件により生ずる時間ロスここでは考えない。総復旧作業班は50組と定め、作業は班単位で行い、各作業班の作業能率は一定とする。

復旧のシミュレーションを行う場合には、復旧率を定義する必要がある。一般需要家へのガスの供給は中圧A管→中圧B管→低圧管→供給管というルートを通じて行われる。一般需要家への供給を考えると、中圧A管から中圧B管へは完全に接続されなければならない。対象としたネットワークは中圧A管であるので、中圧B管への接続点を需要点として次式のような復旧率を定義した。

$$\text{復旧率} = (\text{供給点から到達可能な需要点}) / (\text{需要点総数}) \quad (2)$$

復旧方法の最適性を図2の斜線部分の面積で評価する。この面積は累積非復旧率を表し、これを最小にするような方法が最適復旧方法とした。図2の場合は、実線より破線で示される復旧過程が良いことになる。

3. ダイナミックプログラミングによる復旧過程 実際のライフライン網の復旧作業では、多数の被災要素を同時に復旧することになるので、復旧作業人員の配分が重要な課題となる。本研究ではこの問題を解くために数計画法の1つであるダイナミックプログラミングを用いる。その場合の目的関数は、 i 番目の被災要素に x_i だけの作業班が配分された時の、システムの機能的な復旧率の向上である。式(1)の仮定より、被災要素が完全に復旧した場合

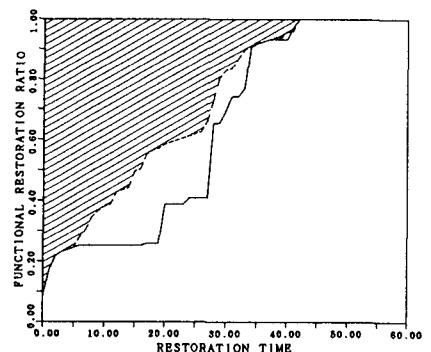


図2 復旧過程の最適性の評価

と復旧が未完了の場合で区別して、ここでは目的関数 $f_i(x_i)$ を次のような形で定義する。

$$f_i(x_i) = \begin{cases} 0 & (T_i/x > 1) \\ P_i & (T_i/x \leq 1) \end{cases} \quad (3)$$

式(3)の P_i は被災要素が改善されることによるネットワーク全体の機能の回復量を表す指標である。なお、 $T_i/x > 1$ の場合には、被災要素は x だけ復旧が進み、残りの $(T_i - x)$ の被害程度が次の復旧時間ステップに持ち越される。この P_i の大小によって、ダイナミックプログラミングの被災要素への作業班数配分が決定されるため、この値が復旧方法の基準となっている。この目的関数を決定する要因として次の3つの事項を取り上げた。

①被災要素 i の被害程度 ②被災要素 i を改善することによって、到達可能となる需要点数

③被災要素 i と他の被災要素との関連の強さ

①を表す指標として式(1)の T_i を使い、②を表す指標としては被災要素 i を改善することによって、到達可能となる需要点の数 ΔM_i を用いる。③を表す指標を C_i とし、各要因間の重みを表す係数及び要因間の単位の換算係数を用いると式(3)の p_i は次式のように表すことができる。

$$P_i = A_1 \cdot C_i + A_2 \cdot \Delta M_i + A_3 \cdot \frac{1}{T_i} \quad (4)$$

被災要素 i と複数個の要素間の関連の強さ C_i に関しては、要素間の相関マトリックスの要素の和を用いて次のように評価した。

$$C_i = \sum_{k=1}^n a_{ik} \quad (5)$$

ここで要素間の相関マトリックスは次のように定義した。

マトリックス1: このマトリックスの要素 a_{ij} は、ネットワークが正常な状態から構成要素 i と構成要素 j が破壊した場合に、供給点から到達不可能となる需要点の数。このマトリックスは事前に計算しておくことが可能なので、復旧のシミュレーションを行う時には既知とすることができる。**マトリックス2:** このマトリックス要素の a_{ij} は、ネットワークが損傷状態にある場合に被災要素 i と被災要素 j とが復旧した時の到達可能な需要点の増加数である。このマトリックスは復旧段階の時々刻々で大きさ・値とも変化するるので、復旧期間の各時間断面で計算する。

表1 重みの配分と累積非復旧率

マトリックス	A_1	A_2	A_3	評価値
1	1.0	1.0	1.0	7.750
	1.0	0.0	0.0	8.294
	0.0	1.0	0.0	7.994
	0.0	0.0	1.0	10.282
	1.0	$10^4 \sim 10^6$	1.0	6.997
2	1.0	1.0	1.0	7.089
	1.0	0.0	0.0	7.058
	0.0	1.0	0.0	7.994
	0.0	0.0	1.0	10.282
	1.0	1.0	10^2	6.942
*	10^{-2}	1.0	1.0	6.942

式(4)の $A_1 \sim A_3$ のうち2つのものは固定し残りの1つのものを変動させてダイナミックプログラミングを行い、どの要因が復旧過程に及ぼす影響が大きいのか、さらにどの要因に対して重みを大きくすることが効率的な復旧につながるかを調べた。評価値として累積非復旧率を用いて、マトリックスを変えて4通りの計算を行った結果が表1に示されている。各要因に対する重みを等配分にしたもの、及び3つの要因各々について単独に重みを与えた場合の評価値と、重みの組合せの中で最も効率的な復旧が行われた組合せ(*印)を比較している。この結果から、目的関数の係数に3個の要因を考えた方法が、他の方法に比べて効率的な復旧を行うことができることがわかる。

4. 参考文献 1) 自然災害科学総合研究班(研究代表者乗富一雄): 日本海中部地震による災害の総合的調査研究, 1983年. 2) Sato T.: Seismic Reliability Analysis of Lifeline Network Taking into Account Fault Extent and Local Ground Condition, Natural Disaster Science, Vol.6, No. 2, pp51-72, 1982.