

ライフライン網の震災復旧における構造重要度の応用とその考察

京都大学工学部 正員 山田善一 家村浩和 伊津野和行
住友金属工業(株) 正員 竹内大輔

1. はじめに ライフライン網が地震によって被害を受けた際に、復旧順序を決定することは、重要な問題である。末端の管理担当者を対象とした復旧支援システムは、手軽なパソコンなどで作成することが望ましいが、ライフライン計算は複雑で、パソコンレベルでは、非常に時間がかかったり解けなかったりすることがある。これらの問題を解決するため、本研究では、大型計算機で被害を想定した計算を行い、その結果を用いて復旧順序を決定する簡単な計算方法を水道網を例に考案する。しかし、すべての破壊パターンを想定することは不可能に近く、そのため、ある程度の量の結果から回帰分析により近似解を求める。その際、ネットワーク形状が復旧順序に影響を与えるのではないかと考え、構造重要度を回帰変数に導入し、その有効性を考察する。

2. 水道網計算 図1のような仮想の上水道ネットワークを用い、何本かのリンクが破壊しそこで漏水が生じるといふ被害を考える。評価関数としては、最も簡単に扱うため、水理学上の損失の回復を最大にするように順序を定めた。

本研究において用いた評価関数Fを定式化すると

$$F(i) = \left\{ \begin{array}{l} n本のリンクを切断した \\ 時のすべてのノードの \\ 全水頭の和 \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} n本のリンクのうちのi番目の \\ リンクだけが復旧完了した時の \\ すべてのノードの全水頭の和 \end{array} \right\}$$

このFが大きいものほど、早く復旧すべきリンクということになる。

管路網解析法には2つの方法があり、損失水頭Hを消去して流量Qを未知数とした場合が流量法すなわち管路流量を未知数とした解析法であり、これに対して流量Qを消去して定式化するとエネルギー位法すなわち節点のエネルギー位を未知数とした解析法が導出される。本研究においては、エネルギー位法を採用した。また、管路網計算における連立一次方程式の演算にはクラウト法を用いることにより高速化を可能にした。

3. 構造重要度 重要度という概念は、元来フォールト・ツリー解析(Fault Tree Analysis, FTA)で用いられたものであり、頂上事象と呼ばれるシステムのある特定の破壊と、基本事象と呼ばれる互いに独立と考えられる構成要素の破壊との関連をブール理論によって樹系図として表現したものである。従って、システムの破壊がどのような原因(あるいはその組合せ)によるかを示したものと言える。今回は、モンテカルロ・シミュレーションを用いて構造重要度の算定を行なった。この場合はリンクの特性値として扱うという意図から、

- (1) 供給点と各需要点との非連結
- (2) 各点相互の非連結

の2通りの頂上事象について考えた。この2つを比較してみると、(1)はややネットワーク全体の形状を表わす指標なのに対し、(2)は部分的な形状を表わす指標であると考えられる。本研究では、(1)、(2)の構造重要度をそれぞれ構造重要度A、構造重要度Bとして区別し算定結果を表1に示した。

4. 回帰分析 水理学計算で求めた結果のFはリンクの特性に関係があると考えて、F

Yoshikazu YAMADA, Hirokazu IEMURA, Kazuyuki IZUNO, Daisuke TAKEUCHI

を従属変数とし、次のようなものを独立変数とし、回帰分析によって式①の回帰係数 $a_1 \sim a_5$ を決定した。

$$F(i) = a_1 x_1(i) + a_2 x_2(i) + a_3 x_3(i) + a_4 x_4(i) + a_5 x_5(i) \dots \textcircled{1}$$

$f(i)$: リンク i だけを復旧したときの水理学上の損失の回復

$x_1(i)$: 構造重要度 A, B

$x_2(i)$: リンクの長さ (m)

$x_3(i)$: 管径 (m)

$x_4(i)$: 水源からリンク i までの最短距離 (m)

$x_5(i)$: 平常時流量 (l)

表1 各リンクの構造重要度

リンク	構造重要度 A	構造重要度 B
1	0.00935	0.01746
2	0.00934	0.01776
3	0.00764	0.00264
4	0.01127	0.01698
5	0.00111	0.00118
6	0.00162	0.00230
7	0.00742	0.00340
8	0.00300	0.00304
9	0.00755	0.00678
10	0.00244	0.00708
11	0.00111	0.00264
12	0.00751	0.00776
13	0.00669	0.00652
14	0.01581	0.01770
15	0.00337	0.00732
16	0.00669	0.00244
17	0.00221	0.00340
18	0.00292	0.00350
19	0.00823	0.00726
20	0.00767	0.00786
21	0.00810	0.00760
22	0.00296	0.00254
23	0.00412	0.00416

5. パソコンシステム 回帰分析によって決定した $a_1 \sim a_5$ を用いて、復旧順序を決定するシステムを構築した。構築したシステムのフローチャートを表2に示す。すなわち、孤立節点を生じる切断を最も重要と考え、次に損失の回復が最大となるものを①式にしたがって求め優先順を決定する。

6. パソコンシステムと大型計算機との比較、及び今後の問題

孤立節点を生じないリンク2本と3本の切断を、乱数により50通りずつ行い、パソコンシステムの結果と大型計算機の結果を比較した。比較としては、はじめにどのリンクを復旧するかだけを考えた。その結果、2本の時で38通り3本の時で36通りが一致した。今後は、このモデルだけではなく、あらゆる場所に適用できる実用的な復旧支援システムとすることが望ましい。

表2 フローチャート

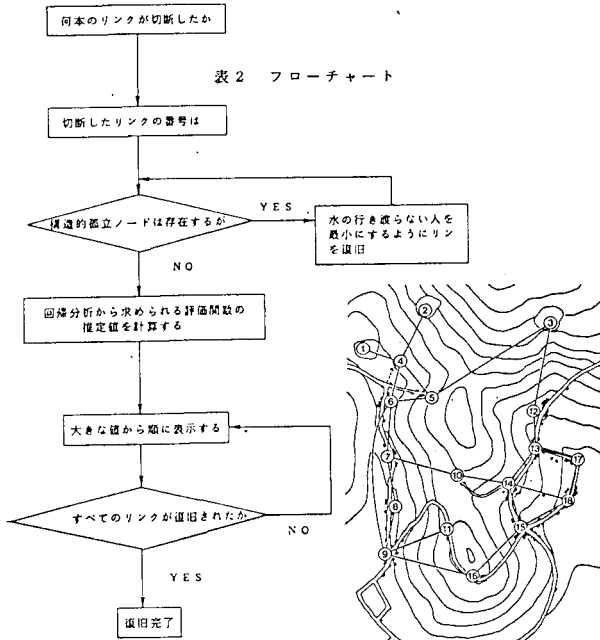


図1 仮想モデル

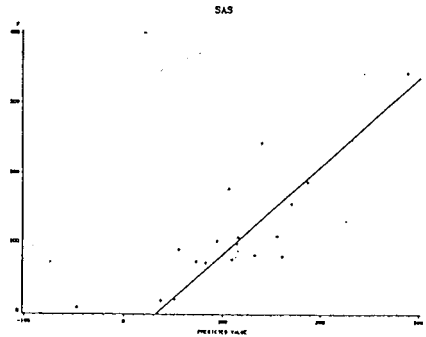


図2 構造重要度Aを用いた回帰分析結果

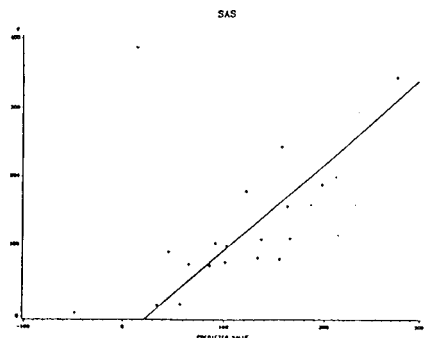


図3 構造重要度Bを用いた回帰分析結果