

ライフラインの対話型復旧支援システムの開発に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 山田善一 家村浩和 伊津野和行
建設省 正員 〇東川直正

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。復旧順序を決定するシステムとしては、評価関数を用いて科学的に行なう方法と、専門家の経験的判断を言葉などで入れておいて作成したエキスパートシステムがある。支配方程式が解析的に確立された問題は、大型計算機を用いれば、複雑な計算でも解くことができる。しかし、ここで、問題となるのは、復旧支援システムは末端の管理担当者を対象としているので、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である。

そこで、こういった問題を解決するため、本研究では、大型計算機を用いて、被害を想定したシミュレーション計算を行ない、その結果を用いて復旧順序を決定する簡単な計算方法（シミュレーションに基づく知識ベース）を、水道網を例に考案する。

2. シミュレーション計算

図1のような、仙台市茂庭地区の上水道ネットワークを用い、漏水と言った被害ではなく、何本かのリンクが完全に切断したときの被害を考える。

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。本研究で用いた f を定式化すると次のようになる

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

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。孤立ノードを生じさせないように乱数を発生させることによって、1本切断した場合、および、2、3、4、5本が切断した場合を、それぞれ100通り行ない、 f を求めた結果を表1に示した。平均によると、1本、2本、3本、4本の時の f は、だいたい同じであるが、5本の時は、少し大きい。これは、4本破断した時と5本破断した時の被害の差が、非常に大きいことを示している。分散、最大値によると、4本、5本の時が非常に大きくなっている。これは、乱数の5つの組み合わせによって、ネットワークが、機能上、大変な損失を受ける組み合わせの破断が、何通りかあって、それが起っているためと考えられる。つまり、4本以上ぐらいから、1本での被害では小さいリンクでも、それらが

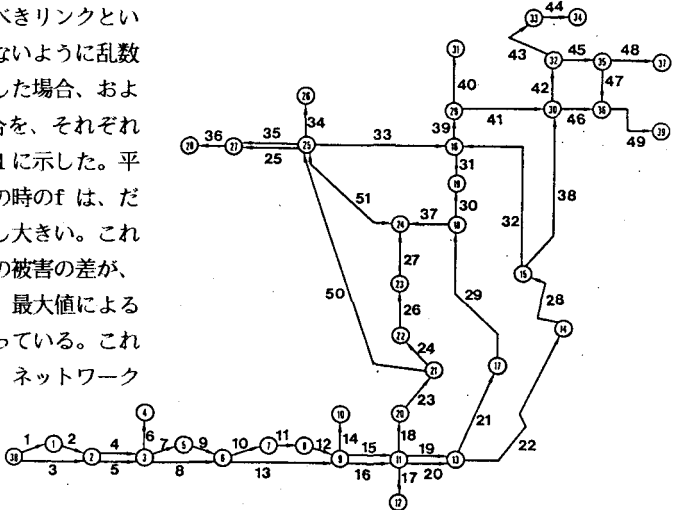


図1 仙台市茂庭地区の上水道網のモデル

Yoshikazu YAMADA, Hirokazu IEMURA, Kazuyuki IZUNO, Naomasa TOGAWA

何本が組み合わさってネットワークの破断が起きると非常に大きくなることを示している。

こういったことが原因で、5本の平均も大きくなったと考えられる。

3. 各水道管の特性を考えた回帰分析

シミュレーションで求めた結果の f は、リンクの特性に関係があると考えて、 f 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。

除く本数	平均	分散	最大値	最小値
1	58.9698	63.9287	201.9028	-23.7371
2	46.2203	58.2931	201.7263	-39.6472
3	56.4639	62.7797	252.4619	-53.4267
4	58.3336	71.7416	385.4138	-116.1846
5	67.5310	86.0970	686.7973	-100.5532

$$f(i) = a_1 x_1(i) + a_2 x_2(i) + a_3 x_3(i) + \dots + a_5 x_5(i) \quad \text{①}$$

$f(i)$; リンク i だけを復旧したときの水理学上の損失の回復 [m]

$x_1(i)$; リンク i の直径 [m]

$x_2(i)$; 水源からリンク i までの最短距離 [m]

$x_3(i)$; リンク i が連結しているノードに接続している他のリンクの本数 [本]

$x_4(i)$; リンク i の長さ [m]

$x_5(i)$; リンク i に代わる迂回路が水が通るために、水がどれだけ遠回りをするかという距離 [m]

これらの計算の結果、リンク22とリンク28を含む切断が起こると、うまく回帰分析が行なえなかった。そこで、それらを除いて回帰分析を行なった時の重相関係数の2乗値、回帰係数とそれぞれの t 値を表2に示す。 t 値はどれだけその因子が従属変数に回帰しているかを示すものでサンプル数から2以上あれば信頼出来るものとした。その結果、合理的復旧のための知識ベースとして、次のようなことが解った。

- (1) 長いリンクの方が重要である。
- (2) 太いリンクのほうが重要である。
- (3) 水は代替路によって遠回りをする、損失が大きくなる。
- (4) リンクは、そのリンクがつながっているノードに接続している他のリンクが少なくないほど重要である。
- (5) リンク全体に対して切断される本数の割合が少ないと、水源に近いリンクが重要である。その割合が大きくなると水源からの距離は、損失にあまり関係しなくなる。これは、 x_2 の回帰係数と t 値から解る。

表2の結果を用い、パソコンシステムを作成した。

表2の結果を用い、パソコンシステムを作成した。

4. あとがき

今後、リンク22とリンク28の特性を考え、これらを含めた回帰分析を行なうことが望まれる。

2本切断した場合 R-SQUARE 0.574

変数	回帰係数	t 値
X_1	82.92	6.25
X_2	-0.001617	-2.55
X_3	-4.936	-2.22
X_4	0.02064	4.74
X_5	0.001487	2.48

4本切断した場合 R-SQUARE 0.713

変数	回帰係数	t 値
X_1	133.86	15.92
X_2	-0.001268	-2.67
X_3	-15.974	-9.98
X_4	0.03426	10.36
X_5	0.001985	1.55

3本切断した場合 R-SQUARE 0.726

変数	回帰係数	t 値
X_1	128.08	13.88
X_2	-0.001643	-3.38
X_3	-12.224	-7.26
X_4	0.02574	7.83
X_5	0.001430	1.04

5本切断した場合 R-SQUARE 0.588

変数	回帰係数	t 値
X_1	135.52	16.05
X_2	-0.001609	0.33
X_3	-18.166	-11.24
X_4	0.03632	10.13
X_5	0.002832	2.45

表2 回帰分析の結果