

(194) 上水道管網の重要度評価と供給支障率予測

福山大学 正員 ○千葉 利晃
三菱建設 正員 清水 洋治

1. まえがき

ライフラインの供給支障率予測を重回帰式を用いて簡便に行う研究がなされている¹⁾。このモデルは、複雑な管網の連結性解析のような数値解析を用いないので非常に簡略なモデルであり、被害復旧対策を決定する際に必要となる時々刻々の被害率を瞬時に計算することができるため利用価値は高いものと思われる。しかしながら、このモデルを用いてライフラインの供給支障率の予測を行うには、まず適切な重回帰式を求めておく必要がある。このためには、ライフラインの各施設の重要度の評価を適切に行っておくとともに、被害の散らばり方によっても被害率が異なるため、この被害の分散度をも適切に評価しておく必要がある。

原田らはガスネットワークを対象にし、供給基地から各需要家へ至る最短経路を見つけることにより、ガス管の重要度を評価している²⁾。この方法は複雑な管網解析などを用いずに、ネットワーク理論における最短経路を求める方法(ダイクストラ法)を用いてガス管の重要度評価を行ったものである。本研究では、この最短経路による重要度評価法を上水道管網に適用し、節点および管路の重要度を評価した。また、各配水池から水が供給される供給エリアも、管網解析などを行うまでもなく、この最短経路を求めることにより、簡単に求められることを示した。なお、被害の分散度(被害のちらばりの度合)の評価については、物理的な説明が明瞭な断面2次極モーメントで評価を試みている。なお、対象とした上水道管網は福山市上水道管網である。

2. 供給支障率予測モデルの概要と問題点

今回検討した被害復旧予測モデルは、実際の管網をそのまま使用するのではなく、予測対象地域を500m×500mのメッシュで表現した後、管路の存在するメッシュ(オーバーレイメッシュ)で管網を表現する簡易モデルであり、復旧戦略をも組み込めるものとなっている。詳細は参考文献(1)を参照頂きたい。

供給支障率 F_t は時刻 t における上水道機能の供給支障の程度を表わし、複雑な管網解析を用いずに次に示す重回帰式より直接求める。

$$F_t = b_0 + b_1 \cdot D1_t + b_2 \cdot D2_t + b_3 \cdot D3_t \quad (1)$$

全面的な水供給停止時を $F_t=1.0$ とし、平常時の水供給時を $F_t=0.0$ とする。ここで、 $D1_t$ 、 $D2_t$ 、 $D3_t$ はそれぞれ物理的被害率、物理的被害分散度および重要施設の被害率を表わす。管網解析より算出したデータ(あるいはエキスパートへのアンケート調査結果)を用いて重回帰分析を行ない、物理的被害と機能支障の関係、すなわち式(1)の偏回帰係数 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 を求めておけば、式(1)より直ちに F_t が求まる。したがって、本モデルはネットワークの連結性や管網解析などの数値解析を避けたいきわめて簡潔なモデルとなっている。

しかしながら、重回帰分析を行う際のデータ数の多小によって偏回帰係数 b_1 、 b_2 、 b_3 が負になったり重相関係数が下がったりなど、解析に不安定な面が見受けられる。この様な重回帰分析結果を不安定にしている要因は、ある節点あるいはある管路に被害を与えるとその先には水が供給されない、すなわち迂回路が全く存在しない管路が存在することと、 $D2_t$ あるいは $D3_t$ の評価法の不備によるものと思われる。したがって本研究は、節点ならびに管路の重要度評価を行い、この物理的分散度 $D2_t$ および重要施設被害率 $D3_t$ の検討と改良を目的としたものである。

3. 最短経路による管網の重要度評価

ダイクストラ法による最短ルートの決定は、管路の長さのみで最短ルートを決するため、管径の大小

は無視され、また、配水池の排出量の大小も無視される。しかしながら、管径の大きい管路および排出量の多い配水池から出ている管路の方が重要度は高いはずである。したがって、細い管路の管路長は長く評価し、また排出量の小さい配水池につながる管路長も長く評価するとともに、各配水池の受け持つ供給エリアごとの通過回数を比較して重要度を決定する必要がある。したがって、最大管径および配水池の最大排出量を基準とし、細い管径の管路長を長く評価し、小さい排出量の配水池につながる管路長も長くなるように再評価して、各配水池より各節点に至る最短経路を求めた。このように評価し直した評価管路長を次式に示す。

$$\text{評価管路長} = \text{実管路長} \times \left\{ 2 - \frac{\text{各配水池の排出量}}{\text{配水池の最大排出量}} \right\} \times \left\{ 2 - \frac{\text{実管径}}{\text{管路の最大管径}} \right\} \tag{2}$$

式(2)で表される評価管路長は元の管路長が最大で2倍になるように考えたものである。以下の解析ではすべてこの評価管路長を用いた結果である。この他にも、評価管路長＝実管路長×（配水池の最大排出量／各配水池の排出量）×（管路の最大管径／実管径）として、管路長を評価することも考えられる。

ダイクストラ法による管網の重要度評価法は、1つの配水池から各需要家に至るネットワークの経路の中で最短ルートを通るとき、通過回数が多い経路ほどネットワークの中で重要な管路であると解釈する。この方法を用いて3つの配水池から各節点に至る最短経路を求め、各節点の通過回数（3つの配水池ごとに求めた通過回数の合計）を最大通過回数で正規化したのち、大きい順に並べて示したものが図-1である。この図を元に表-1に示すように重要度を5段階評価し、節点の重要度を図示したものが図-2である。

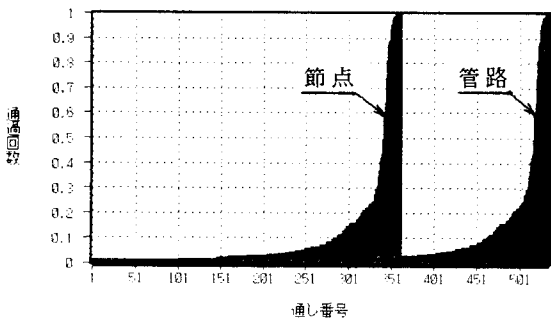


図-1 節点および管路の通過回数

表-1 節点および管路の重要度レベル

重要度レベル L	正規化通過回数 N
1 (重要度：低)	$N < 0.1$
2	$0.1 \leq N < 0.2$
3	$0.2 \leq N < 0.4$
4	$0.4 \leq N < 0.7$
5 (重要度：高)	$0.7 \leq N$

一方、各節点に被害が発生したものととして管網解析を行い、その供給支障率の大小より各節点の重要度を5段階評価すれば図-3に示すようになる。図-2と図-3を比較すると配水池に近い節点の方が重要度が低くなるなど、ダイクストラ法を直接利用した場合には問題が残る。

上水道システムにおいては、各配水池が受け持つ供給エリアが概略決まっているのが一般的である。福山市上水道システムには3つの配水池があり、それぞれの配水池が受け持つ供給エリアを管網解析を行って求めると、各エリアは図-4に示すようになっている。そこで、節点に水を供給する配水池は、その節点から3つの配水池へ至る最短経路の内でも最短の経路を持つ配水池であるとする。このようにして求めた3つの配水池の供給エリアを図-5に示す。実際に管網解析を行って求めた実情に近いと考えられ

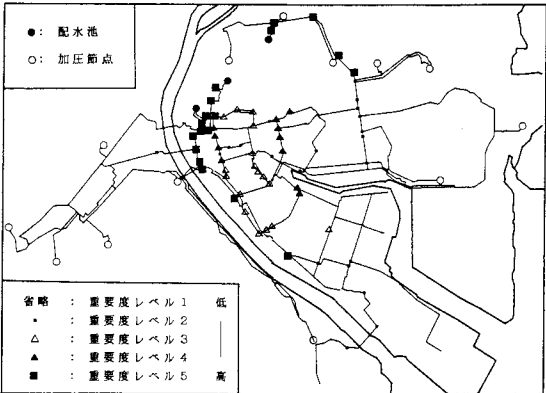


図-2 ダイクストラ法による節点の重要度評価（供給エリア無視）

る図-4とダイクストラ法を適用した図-5を比較すれば、両図ともほぼ似たような供給エリアを示していることが分かる。したがって、ダイクストラ法を利用して最短経路を求めることにより、おおむね配水池の受け持つ供給エリアを求めることができることが分かる。すなわちこのことは、各配水池から水が供給されるエリアは管網解析を行うまでもなく、最短経路を求めることにより簡単に求めることができることを示している。したがって以後、通過回数はある配水池からその配水池が受け持つエリア内の節点の通過回数を表すものとする。

節点の通過回数を最大通過回数で正規化した通過回数をもとに、表-1に従って各節点の重要度レベルを5段階評価することにする。なお、重要なもの程、重要度レベルを大きく表している。このようにして求めた福山市上水道管網の節点の重要度レベルを図-6に示す。図-6と、実際に管網解析を行って求めた実情に近いと考えられる図-3とを比較すると、若干異なる部分もあるがほぼ同程度の重要度を示していることが分かる。したがって、ダイクストラ法を用いて求めた重要度評価結果も妥当な結果であると判断できる。

メッシュの重要度評価は、節点および管路の重要度評価結果を利用して行うことができる。例えば、あるメッシュに含まれる節点あるいは管路の重要度のうち、最大の重要度をそのメッシュの重要度とする。このようにして、すべてのオーバーレイメッシュの重要度を決定すれば良い。

4. 重要施設被害率D3の評価

以上のようにして求めた管網ならびにメッシュの重要度をもとに重要施設被害率D3_tの評価を行うことにする。重要施設被害率D3_tは本来、被害の中に重要施設被害がどれだけ含まれているかの割合を示すものであり、物理的被害率（被害メッシュ数／全メッシュ数）D1_tとは独立な説明変数でなければならない。したがってここでは、D1_tとは独立な説明変数となるように、次式によって重要施設被害率D3_tを評価することにした。

$$D3_t = \frac{\text{重要施設評価被害件数}}{\text{評価最大被害件数}} \quad (3)$$

ここで重要施設評価被害件数とは重要度レベルLの1被害は重要度レベル1のL²件分の被害件数とみなした被害件数である。すなわち、

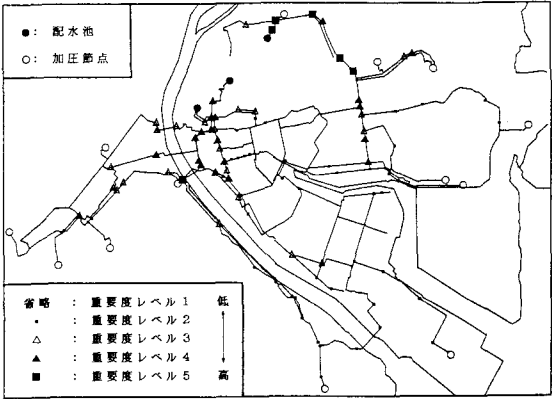


図-3 管網解析による節点の重要度評価

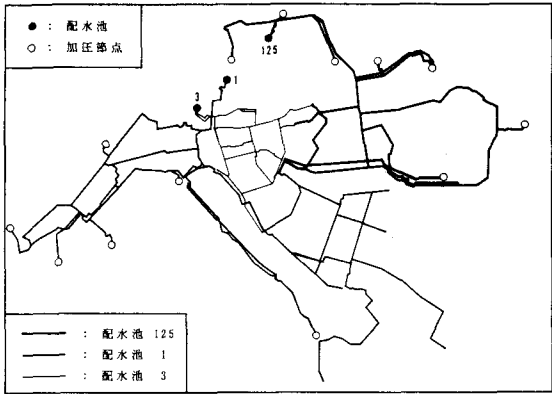


図-4 管網解析による供給エリア

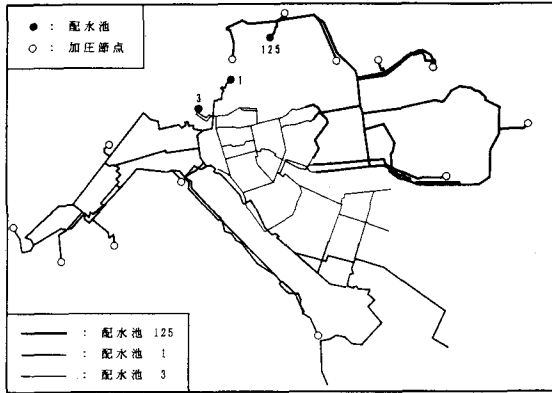


図-5 本方法による供給エリア

重要度レベルLの被害を重要度レベル1の被害件数に換算したものである。重要度レベルLの被害件数を重要度レベル1の何件分の被害に見積もるかは問題が残るが、今回は上述のように、 L^2 件と見積もることとした。分母の評価最大被害件数は被害が総て重要度レベル5に起こったものと仮定したときの重要度レベル1の被害に換算した被害件数である。したがって、実際に重要度レベル5にのみ被害が発生した場合の重要施設被害率 D_{3i} は1となる。

5. 被害分散度 D_{2i} の評価

物理的被害分散度 D_{2i} は上水道管網上の被害のバラツキの度合いを表すものである。被害のバラツキは復旧戦略ならびに、時刻(t)における供給支障率に影響を与えるものと思われる。参考文献(1)では物理的被害分散度 D_{2i} の評価を、被害の存在するオーバーレイメッシュ間の距離の総和と、全オーバーレイメッシュ間の距離の総和との比で表しており、物理的な説明がつけにくく、被害件数に直接依存する説明変数である。したがってここでは、物理的な説明が明瞭であり、分散を表す断面2次極モーメントを用いて D_{2i} の評価を行う事とした。したがって、被害分散度 D_{2i} を次式で表すことにする。

$$D_{2i} = \frac{\text{被害の存在するメッシュの図心を通る軸に関する断面2次極モーメント}}{\text{全オーバーレイメッシュの図心を通る軸に関する断面2次極モーメント}} \quad (4)$$

式(4)を使用した重回帰分析結果は紙面の都合上省略するが、式(4)を用いた D_{2i} は文献(1)によるものより被害分散度を大きめに評価する傾向がある。被害件数(被害の存在するメッシュ数)が少ない場合にはこの傾向はより顕著となる。また、式(4)で表される D_{2i} も被害件数が増加するにしたがって増大するが、被害件数に依存する度合いは小さい。重回帰分析の説明変数は互いに相関を持たない事が望まれるが、分母に各被害件数ごとの最大断面2次極モーメントを採用すれば、 D_{1i} と相関を持たない説明変数 D_{2i} とすることができ、より良好な説明変数となろう。この点については今後検討を行う予定である。

6. あとがき

管網解析を行って求めた福山市上水道管網の重要度評価とはほぼ同程度の結果を、ダイクストラ法を用いて得ることができた。また、この方法を用いて、配水池の受け持つ供給エリアを求めることができることも示した。最短経路はこのような方面への応用も可能であり、またダイクストラ法を用いて簡単に求めることができるので、今後利用できるものと思われる。

重要施設被害率 D_{3i} の評価においては、重要施設被害率 D_{3i} が示すべき被害の中に含まれる重要施設の割合を明瞭に評価できたものと思われる。また重要施設の存在するメッシュを5段階評価する事で、重要施設被害のレベルを評価することができた。また、物理的被害分散度 D_{2i} の評価については、断面2次極モーメントを用いて評価する事によって若干改良できたと思われる。

しかしながら、重回帰分析の不安定性については未だ完全に改良するところまではいっていない。また、被害のバラツキの大小が本当に目的変数である供給支障率に与える要因となりえるかどうかについても問題が残る。このような問題点が残されているが、これらの点については今後検討を行う予定である。

【参考文献】 1) 大野, 星谷: 実務者の経験法則を用いた震災時上水道機能の復旧予測システム、土木学会論文集, No. 422-I-14, 1990.10, pp. 353-360、 2) 濱浦, 原田, 大谷: ライフラインネットワークシステムの重要度評価に関する基礎的研究、土木学会全国大会(I), 1992.9, pp. 1484-1485

【連絡先】 〒729-02 広島県福山市学園町一番地三蔵、 福山大学工学部土木工学科

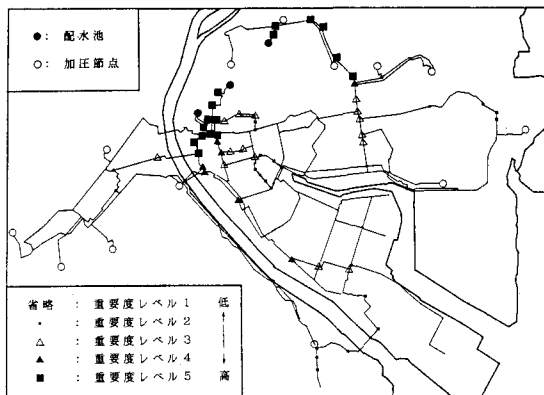


図-6 本方法による節点の重要度評価