

IV-53

配水管網ネットワークの信頼性に関する研究

鳥取大学工学部 正員 岡田 憲夫
(株)日水コン 正員 ○若林 善仁

1. はじめに 現在、我が国では、上水道の整備が進み、どの家庭においても常に水が満足以供給できるのが普通となりつつある。換言すれば、上水道は、都市生活を維持する上で、もはやライフラインシステムの一つとなっている。従って、もし、このシステムが故障したとすれば、修復にかかるまでの期間は、通常の生活を営むことができなくなる。それゆえ、上水道の配水管網整備の計画設計に当っては、できるだけ、システムの故障の起きにくい方式を選択すべきである。そこで、本研究では、この配水管網ネットワークの信頼特性を取り上げるとともに、その布設形態とシステムの信頼特性との関係を取り上げる。

2. 配水管網ネットワークシステムの特殊性 従来の研究として、道路ネットワーク機能の信頼特性に関する基礎的分析に関する内山らの論文¹⁾が上げられよう。この研究では、道路をライフラインシステムとして位置づけ、信頼性を考慮した道路整備水準の分析モデルを取り上げている。配水管網ネットワークシステムの場合は、故障を「管の欠損；漏水」と考え、各給水地に水が、許容水圧以上で、供給できることの信頼性を分析する。この場合、解析手法として、上記の内山らの方法が採用できるが、これをそのまま適用することは不適切である。その理由は以下のとおりである。

(1) 道路ネットワークの場合は、出発地に対して目的地は1つであったのに対し、配水管網ネットワークの場合は、取水地に対し給水地が複数存在する。

(2) 道路ネットワークでは、1つでも物理的に接続しているルートが存在していれば、システムの故障は生じないが、配水管網ネットワークでは、故障した管に流れていた水が、利用可能な代替ルートに流れ込むため、そこでの損失水頭が大きくなり、たとえ、給水地にまで、物理的に水が到達しえたとしても、許容水圧を満たせず、給水サービスが十分にできないという状態が起り得るのである。この場合もシステム故障とみなすべきであろう。

このように、配水管網ネットワークの信頼性を分析するためには、その水理機能的特殊性をふまえた手法が提示されなければならない。

3. 配水管網ネットワークシステムの解析手法 このような観点から岡田・出口・若林²⁾は、配水管網ネットワークシステムの信頼性解析に適合した方法論を開発している。以下、その手順を要約する。

1) 基礎的な解析手法(極小カット) : いくつかのユニット(リンク)の組がすべて故障しているとき、他のすべてのユニットが稼働していたとしても、システムは故障している場合、そのユニットの組をカットという。さらに、カットを形成しているユニットの中で任意のユニットが故障から稼働の状態に変わったとしても依然としてカットを形成しているとき、この任意のユニットは、システムの故障を規定する上で本質的ではない。このようなユニットをすべて除いたものを極小カットという。

図-1において、出発地を0, 目的地(給水地)を1とすると、このときの極小カットは以下になる。

(link {1,2,3}, link {1,2,5}, link {1,4})

このときの信頼性を求めるには、各リンクの信頼確率を求め、これと・モルガンの定理とブール代数和を用いることにより、システム全体の信頼性を求めることができる。

2) 複給水地の処理 : 配水管網ネットワークシステムが正常に機能し

ているとは、即ち、かく給水地で、常に所定の水供給サービスが達成され

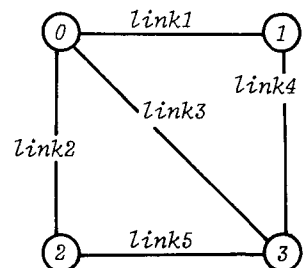


図-1 ネットワークの一例

ている状態であると定義する。換言すれば、ただ1つの給水地で水が十分に供給できなければ、即、システム全体の故障であるとみなす。先の例では、1の給水地の他に2、3を加え、全域的な極小カットを求めれば良い。すなわち、全体の極小カットは、以下のようになる。

(link{1,4}, link{3,5}, link{1,2,3}, link{1,2,5}, link{2,3,4}, link{2,4,5})

3) 水理機能的カット : 1つの極小カットのユニットの内、任意の組を取り出し、その状態で、任意の目的地(給水地)で、許容水圧が満たされない場合、このユニットの組を水理機能的カットと呼ぶ。この水理機能的カットは、いずれかの給水地で所定のサービスができないという点で、極小カットと同様の意味を持つこととなる。この水理機能的カットは、極小カットの部分集合であるため、すべての極小カットを取り出し、水理機能的カットを求めることにより、システムの信頼度が計算できる。

4. モデルの分析 ここでは、²⁾の研究で扱った配水管網よりも上位の配水管幹線ネットワークを考える。すなわち、図-2に示すように浄水地(出発地)から各配水池(目的地=供給地)への用水の供給を考える。このような、ネットワークでは、部分的な故障がひとたび発生すると、システム全体の機能が阻害され、多大な損害が生じる恐れがある。このため、その布設方式の選定は非常に重要なものとなる。

ここで、本モデルを解くための設定条件を以下のようにする。

- (1) 浄水地と各配水池の地盤高は同じである。(2) 各配水池での許容最低水圧は0とする。(3) 各配水池での流出量は、 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ である。(4) 配水管の信頼確率はpipe3のみが0.704で、これ以外は0.78の値をとる。(5) 送水は、加圧ポンプ方式を用いる。

このときの全建設費用は以下のように表される。

$$\Sigma (50000 D_i^{1.5} + 3000) l_i + 11.76 \times 10^6 Q H$$

ここに、 D_i, l_i はpipe i の管径と管長を表わす。また、 Q, H は加圧ポンプの取水量と揚程をあらわす。

分析ケースとしては、次の2ケースを取り上げ、このときの最小布設方式を求める。

ケース1 : 1本の管が故障したとしても、それだけでは、水理機能的カットは存在しない。(信頼確率 0.686)

ケース2 : 水理機能的カットは存在せず、極小カットのみが生じる場合。(信頼確率 0.87)

5. 結果のまとめ 各ケースの結果は、表-1のようになる。

これより経済性と信頼度のトレード・オフの関係が定量化できることが分かる。その他、詳細な分析は講演時に譲る。

《参考文献》

- 1) 内山勝利・岡田憲夫：道路ネットワーク機能の信頼特性に関する基礎的分析、中・四国支部研究発表会、昭和60年
- 2) 岡田憲夫・出口和也・若林善仁：配水ネットワークシステムの信頼性に関する基礎的研究中・四国支部研究発表会、昭和61年

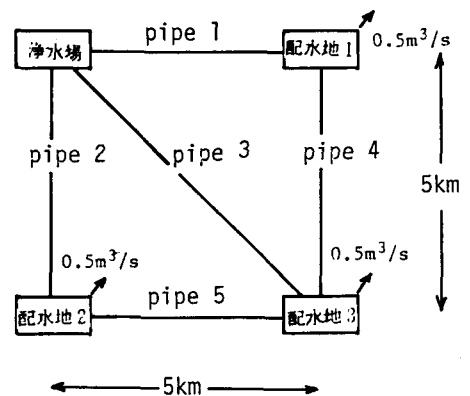


表-1 各ケースの結果

ケース	管 径 (m)					揚 程 (m)	建設費用 (億円)
	管路1	管路2	管路3	管路4	管路5		
1	0.65	0.85	0.90	0.75	1.00	15.6	11.33
2	1.00	1.00	1.05	1.65	1.55	1.47	11.90

図-2 対象ネットワーク