

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

鳥取大学工学部 正員 岡田憲夫
運 輸 省 正員 ○出口和也
日 水 コ ン 正員 若林善仁

1. はじめに

上水道の目的の一部である水理的信頼性や経済性からみた配水管の合理化に関する研究は数多く実施されているが、そのライフラインとしての機能に着目し、その性能評価を試みた研究はその重要性にもかかわらずほとんど見受けられない。

本研究では、配水ネットワークシステムとしての機能診断、評価問題を信頼性理論を用いてモデル化し、これを解析する。さらに、ケーススタディとして、鳥取市末恒ネットワークシステムを取り上げ、本モデルを用いて実証的な信頼性評価を行うことにする。

2. 物理的極小カットおよび水理的極小カット

ネットワーク機能としての信頼性に関する研究としては内山¹⁾らが道路ネットワーク機能について論じたものが挙げられる。この研究では、グラフ理論と確率理論を併用したシステムの信頼性解析法を提示している。配水管路網がトポロジ的には道路網と基本的には類似している点に着目し、内山らの研究で提示された信頼性解析法を基本的には本研究でも採用する。しかしながら、配水ネットワークの水理的特性は点と線の集合としてのトポロジ的な取り扱いのみでは説明しきれないものがある。例えば、配水ネットワークの場合、水が利用者に到達しても有効圧が許容最低水圧以下では上水道の機能を十分満たしているとは言えない。つまり、所定のサービスが水理機能的には利用者（目的地）に到達したとは言えない。そこで配水ネットワークの場合は目的地までの到達可能性をチェックする制約条件としてトポロジカルな接続性の他に水理条件を加えなければならない。

このような観点から本研究では、トポロジカルな接続性（物理的可達性）のみならず、水理機能的可達性をも明示的に分析、評価し得るように信頼性解析アプローチを修正、拡張する。ここで前者が成立しない状態を「物理的カット」が生じている」と定義し、後者が成立しない状態を所与の水理水圧条件が充足しえないという意味で「水理機能のカット」が生じている」という。さらに、それぞれの中に真部分集合として「物理的極小カット」および「水理機能のカット」を含まないものを「物理的極小カット」ならびに「水理機能の極小カット」と呼ぶことにする。なおこれらのカットの関係を図1に示す。

3. 配水ネットワークシステムの信頼度

配水ネットワークシステムの場合、発点は複数または単数の配水池であり着点はこれら配水池を除くすべての節点（需要地点）であると考えられる。図2 配水ネットワークシステムつまり発点と着点是一对一对応ではなく一对多対応か多対多対応になっていると考えられる。このような特殊性を考慮して次の手順によりシステムの信頼度を計算する。（1）水圧条件を考えずに解析する。例えば、図2の場合、着点が節点A～Eのそれぞれの場合について物理的極小カットを求め、その和集合{1}, {2, 3

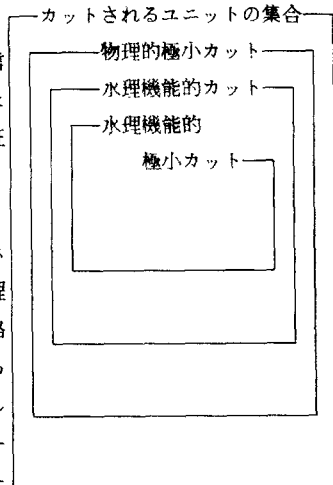
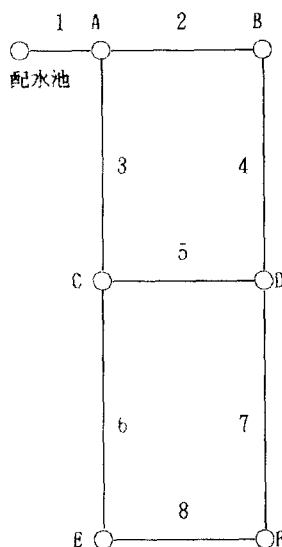


図1 各カットの関係



), {2, 4}, {2, 5, 6}, {2, 5, 7}, {3, 4}, {3, 5, 6}, {3, 5, 7}, {4, 5, 6}, {4, 5, 7} ならびに {5, 6} がこの複着点に関する物理的極小カットの和集合であると考え、(2) この極小カットを構成するユニットの集合に対し任意の真部分集合のユニット故障を選定し、管網計算を行い「水理機能的カット」が生じているかどうか判定する。

(3) すべての物理的極小カットについてこれをチェックし、その極小カットを構成するユニット集合が「水理機能的カット」とみなせる場合にはこれを物理的極小カットの組に順に付加する。(4) このように拡大された極小カットの集合のうち真部分集合をもたないものだけをあつめ、これを「配水システムにおける極小カット」とする。この「配水システムにおける極小カット」の数を数え上げることによりシステムの故障率を求め、最終的にはシステムの信頼度を求める。

4. ケーススタディ

ケーススタディとして、末恒ネットワークシステムを取り上げるとともに図3のように単純化されたモデルを用いて解析を行う。ここで各ユニットの故障は配水管の突発的な故障を意味し、各ユニットの故障は独立でそれぞれ指数分布に従うとする。図3の各ユニットの信頼度は表1のようになる。この数値を用いると現在のシステム信頼度は $R(T)=0.9317$ である。また図4を用いて管径を変動させた場合のシステム信頼度と配水管費用の関係について解析する。

5. 結果のまとめ

配水システムの信頼度を高める方法には

(1) 配水管径の拡大および (2) 配水システムの規模、形状の拡大の2種類がある。(1)の方法は水理機能的極小カットの数を減少させ、システムの信頼度を高めるものである。このときシステムの信頼度を高めるたびに配水管費用が増大するが、このような信頼度の向上には物理的に自ら限界がある。(2)の方法は物理的到達確率を高めることによりシステムの信頼度を上げるものである。理論的にはシステム信頼度は限りなく1に近づけることができるが、そのための費用は急増していく。したがって信頼性と経済性のバランスを図った合理的な配水管ネットワークシステムの設計は(1)と(2)の方法をいかに的確に組み合わせるかを見い出すことに他ならない。また同程度のシステム信頼度を保証し得る配水ネットワークシステムの設計代替案は管径および配水管費用を変更することにより複数存在する。

図3 対象地域配水ネットワークシステム

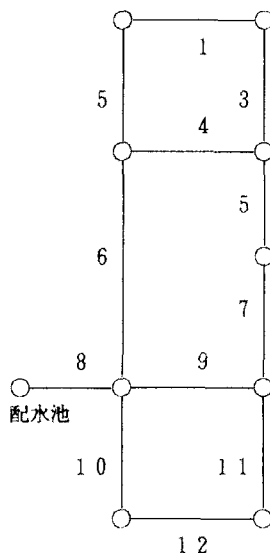


表1 各ユニット信頼度

ユニット番号	ユニット信頼度
1	0.96258
2	0.91340
3	0.91019
4	0.96579
5	0.95296
6	0.93478
7	0.94655
8	0.96792
9	0.97007
10	0.93585
11	0.92302
12	0.94333

システム信頼度

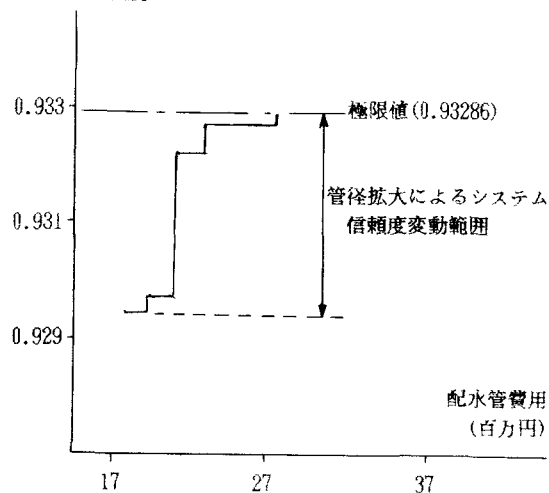


図4 システム信頼度と最小配水管費用

なお紙面の都合上、各節点の給水量、管長、管径および信頼度の詳細な算出法は講演の中で補足する。

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性に関する基礎的分析」
中・四国支部研究発表会、昭和60年