

上水道送配水施設の安全性の評価に関する研究

鳥取大学工学部 正 員 細井 由彦
鳥取大学工学部 正 員 城戸 由能
鳥取大学大学院 学生員○山内 豊

1. はじめに

近年、水道の配水システムを維持管理することが重要になってきている。水道は、健康で文化的な日常生活を支えるために欠くことのできない施設で、いつでも清浄な水を安定して給水するという信頼性の高いものでなければならない。鳥取市の水道は大正4年10月給水開始以来、生活用水、都市用水として給水を続けてきた。鳥取市では市内に埋設されている管路の老朽化の問題、また今後、使用水量および給水人口が増加することが予想されるために起こるであろう配水池の容量の不足および水圧不足の問題がある。

本研究では、様々な施設で構成されている水道施設のうち送配水系統（管路、ポンプ）についてメカニカルな信頼性（配水システム内の要素が何らかの故障により使用不能となることを考慮した場合の信頼性）および配水池容量に関する信頼性について、具体的に鳥取市の上水道ネットワークを対象として、評価、検討を行う。

2. 研究方法

水道局配管平面図より上水道における送配水管を抜き出し配管系統図を作成した（図1）。図では、各配水池間の管径150mm以上の管路について、種類、径および配水池間の距離を示す。これらのデータと配水管延長当たりの破損発生率及び修理時間¹⁾を用いて各管路系統の破損発生率を求め、平均アベイラビリティを求めて信頼度を評価する。ポンプの破損に関する情報は排水ポンプ施設に対する調査結果²⁾を利用した。管路及びポンプを構成要素とする各系列の信頼度の計算結果結果を表-1に示す。

表-1 管路-ポンプの信頼度

	配水池	送水信頼度	全体信頼度
吐水源池 →	面影	0.9999908	0.9996763
吐水源池 →	津の井ニ	0.9999838	0.9953599
吐水源池 →	下味野	0.9999995	0.9996850
吐水源池 →	徳尾	0.9999989	0.9996844
吐水源池 →	上町	0.9979520	0.9976381
面影 →	小西谷	0.9998915	0.9988915
面影 →	津の井	0.9999785	0.9999785
面影 →	面影	0.9999927	0.9319932
下味野 →	賀露	0.9999539	0.9999539
徳尾 →	吉岡	0.9998386	0.9998386
上町 →	瀬所	0.9999700	0.9999700
吐水源池 →	丸山	0.9999506	0.9953268
小西谷 →	小西谷	0.9999965	0.9953725
津の井 →	越路	0.9991409	0.9945209
面影 →	面影高地区	0.9999928	0.9953688
津の井ニ →	津の井ニ高地区	0.9999954	0.9953714
下味野 →	下味野高地区	0.9999986	0.9953746
賀露 →	賀露	0.9999213	0.9952977
賀露 →	木恒	0.9999563	0.9953325
吉岡 →	吉岡	0.9999891	0.9953652
中の郷 →	川瀬寺	0.9998607	0.9998607
丸山 →	中の郷	0.9999942	0.9953702
丸山 →	浜坂	0.9987822	0.9941638
丸山 →	砂丘	0.9999865	0.9953626
越路 →	越路	0.9999335	0.9319380

送水信頼度とは送配水管路のみの信頼度、全体の信頼度とは管路-ポンプの信頼度を直列システムとして乗じたものである。

次に、故障時における配水池の容量の安全性の評価を行う。ここでは、信頼性評価の対象とする配水池の容量は、施設の故障した場合の緊急事態対応のみを考え、1日の需給のアンバランスを調整するための時間調整機能については考えないものとする。配水池容量が平均配水量の何時間に相当するかを事故発生時にお

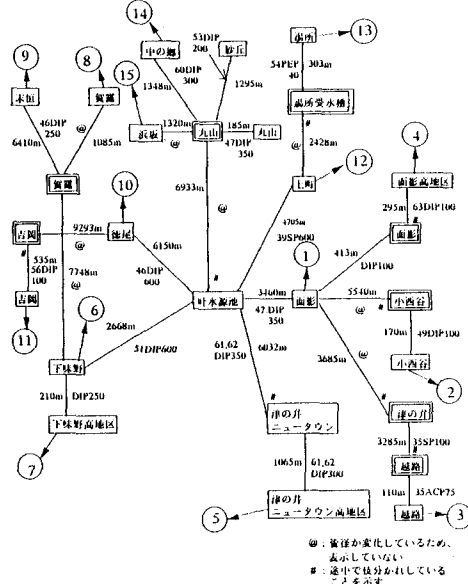


図-1 配管系統図

ける配水池容量の信頼性の指標とする。

配水系統の一例を図-2に表示する。ここで、 D_n は当該配水区域の平均配水量、 V_n は配水池の容量、 P_n は配水池 n より上流側のポンプ-管路および $A V_n$ は配水池 n より上流側のポンプ-管路の全信頼度、 T_n は配水池容量が平均配水量

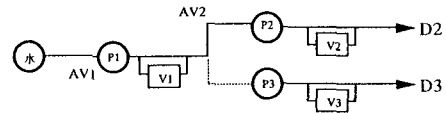


図-2 モデル系統図

の何時間分に相当するかを示す。P2の故障時にはV2の貯水量で対応する。したがって、この配水池はP2の故障に対して区域2では $V2/D2$ 時間分の安全性をもっていると評価できる。同様にP3の故障時についても評価できる。P1の故障時に対する容量は区域2、3を考えればよい。この場合V1の容量の分配可能性を考慮し、(1)、(2)式の条件が成り立つときにはV1を区域2、3に振り分け、両区域の安全性を等しく $(V1+V2+V3)/(D2+D3)$ 時間分とすることができる。

$$(V1+V3)/D3 > V2/D2 \quad (1) \quad (V1+V2)/D2 > V3/D3 \quad (2)$$

V2の容量に対しV3の容量が過小すなわち(1)式が成り立たない場合には区域2に対して $V2/D2$ 時間分、区域3に対して $(V1+V3)/D3$ 時間分の安全性を確保する。同様に(2)式が成り立たない場合についても評価できる。T1は(3)式、T2は(4)式により計算する。

$$T1 = (V1+V2+V3)/(D2+D3) \quad (3) \quad T2 = V2/D2 \quad (4)$$

上式を用いて配水池1の給水区域2、3に対する信頼性を次のように表すことにする。

$$T = (T1 \times AV1 + T2 \times AV2) / (AV1 + AV2) \quad (5)$$

3. 結果および考察

配水池の容量の信頼性と管路-ポンプの信頼度を図3にプロットした。横軸は管路-ポンプの信頼度、縦軸は配水池に対する容量の安全性の評価を示したものである。図中の番号は図-1の配管系統図の系統番号を示している。給水区域1、6、10は管路-ポンプ系統の信頼度は高いが配水池容量が少ない。給水区域11は配水池容量が大きく、給水区域2、3、8、9は配水池容量に問題があることがわかる。また給水区域5、14、15等は管路の更新、ポンプ施設の信頼性向上などが図られるべきであることがわかる。

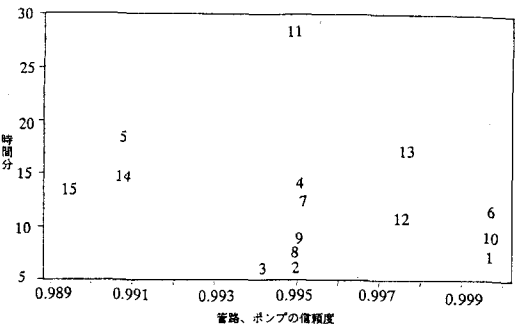


図-3 各給水区域の信頼性

ポンプが直列になっている系統では、ポンプの信頼度が管路より相対的に低いために系統の信頼度が低くなっている。また、管路-ポンプの信頼度の低い区域では、緊急時に対応するため配水池の容量を大きくとって現実には対応する必要がある。あまり配水池の容量を大きくしても、水が入れかわなければ塩素の残存量が減って水質安全上の問題を生じるなど別の問題が発生すること考え合わせると、配水池容量のみを大きくすることは得策ではない。管路-ポンプの信頼度を考慮した上でシステム全体の信頼性にもとづいて、配水池の容量を決定することが望ましく、そのために定量的な信頼性評価が必要である。

- 1) 細井他：徳島市における配水管網の信頼性に関する研究、水道協会雑誌第59巻10号、1990
- 2) 建設省土木研究所：機械設備の信頼性評価に関する調査研究、土木研究所資料、1990