

徳島市水道における配水管網の信頼性に関する一考察

徳島大学工業短期大学部 正 細井由彦
 徳島大学工業短期大学部 正 村上仁士
 日 水 コ ン 正 ○香西正夫
 徳 島 大 学 大 学 院 学 丸高茂幹

1. まえがき 本研究は、安定配水体制の確立する上で重要な老朽配水管の更新手法を立案するための基礎的資料を得ることを目的としている。著者らは、昨年度の本研究発表会において、徳島市および全国の水道事業体を対象に配水管の破損特性に関する考察を行った。本報告では、これらの資料を基に配水システムの信頼性について検討し、その解析方法を提案している。これらを徳島市水道の配水管網に適用し、管破損にともなう配水システムの機能低下を定量的に評価することを試みた。

2. 配水システムの信頼性に関する研究

水配水システムの信頼性の問題は、節点(要求点)での要求水量、および最小水压基準を満たし、その上でシステム内の要求箇所へ水を供給する能力に係属している。

配水管網の信頼性解析のシミュレーションプログラムの構成は、以下のとおりである。

1. シミュレーション期間内における配水管網を構成する任意の管路の破損件数の算出（各管の破損の発生は破損確率分布に従う）、および破損事故に対する修理時間の算出。
2. 任意の管路が破損したときの配水管網内の節点におけるエネルギー位（残存水頭）および不足水量（取り出し水量の低下）とその割合の計算。さらに、破損管路以外の管路における管路内流量および損失水頭の計算。

また、シミュレーションに必要なデータはつぎのようなものである。

- (1) 配水管網情報：①節点番号と管路番号、②各管路延長、管径、管種（H-W式の流量係数）等
- (2) 需要量と境界条件：①節点需要量、②配水池の水位、許容地盤上水頭
- (3) 破損確率および修理確率（あるいは修理時間決定法）：①各管路の破損間隔確率密度関数の形とそのパラメータ、②各管路の修理時間確率密度関数の形とそのパラメータ
- (4) シミュレーション期間（250年）

この概要のフローチャートを図-1に示す。

破損率の要因としては、最もデータがそろっており、破損率の違いがみられる管種と管径を考慮し、破損率分布関数をワイブル分布として回帰を行った。その結果を表-1に示す。

$$\text{ワイブル分布: } Y = a \cdot b \cdot x^{(b-1)} \cdot \exp(-a \cdot x^b) \quad (1)$$

ここで、Y：破損率（件／km・年）、 $x = X/100$ （管径比、100mmを1とした）、a、b、n：回帰係数である。

この破損率分布関数により、シミュレーション期間内における各管路の破損率を算出した。

管路の破損回数はポアソン分布を用いて決定した。

$$P(x) = \frac{\exp(-\bar{b} \cdot t) \cdot (\bar{b} \cdot t)^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

ここで、x：破損回数、 $\bar{b}$ ：時間 [0, t] の間の平均破損事故発生率である。

破損確率 b は、

$$b = \sum_{x=1}^{\infty} P(x) = 1 - P(0) = 1 - \exp(-\bar{b} \cdot t) \quad (3)$$

表-1 回帰結果(ワイブル分布)

	CIP+DIP	C I P	D I P	A C P	V P
a	0.880	0.880	0.800	0.750	0.350
b	1.010	1.050	1.150	1.360	1.630
rm	0.410	0.660	0.045	1.080	2.370

したがって、管路 j の破損確率はつぎのように表される。

$$b_j = 1 - \exp(-\bar{b}_j \cdot t) \quad (4)$$

ここで、 b_j : 破損確率 (件/年) , $\bar{b}_j$: 平均破損確率 (=平均破損率, 件/年) t : 年である。そして、

$$b_j = \nu_j \cdot L_j \quad (5)$$

ここで、 ν_j : 管路 j の単位長さ当たり平均破損事故発生率 (件/km・年) , L_j : 管路 j の延長(km)である。ポアソン分布の場合、この $\bar{b}_j$ が式(2)の期待値となる。

また、シミュレーションにおいて、おのおのの破損は独立であり、本配水管網内において、同時に2箇所以上の破損は発生しないと仮定する。

いったん管路が破損すると、その管路は修繕を行うか、あるいは布設替えが行われる。本シミュレーションでは、対象としている配水管網が徳島市の中心部であることと、管径が150mm以上の管路ということから、管路が破損したときには、すべて修繕により復旧されると仮定した。

管路の修繕時間に関する適当なデータは徳島市水道には現存しない。Wagnerら (1988, ASCE, WR. Vol.114, No.3, pp.276-294) は、管路の修繕時間として、3~72時間の一定値を、一様乱数を3~72の間で発生させることにより与えており、本シミュレーションにおいても同様の方法により修繕時間を決定した。

シミュレーションの結果、表-2のような信頼性指標が得られた。

以上の方法に従い、徳島市水道の配水管網に關して250年におよぶシミュレーションを行った。その結果、徳島市中心部の150mm以上の管で構成されている配水管網においては、1年当たり約7件の破損事故が発生、それにとまう縮小状態、あるいは断水の時間は1年当たり10.5日である。また破損事故が頻繁に発生していたのは、石綿管であり、特に配水池周辺の石綿管の信頼度は低い。さらに、任意の配水管が破損したとき、管内の流量および水頭の変化率が大きいのは、配水ブロックを結んでいる小口径の管であることが予測された。

3. あとがき 本研究では、配水管の破損事故発生特性および配水システムの評価に信頼性の概念を導入して検討を行った。その結果、わが国の水道における配水管の破損事故の平均的な発生特性については明らかにすることができた。そして、信頼性の概念を水道の配水システムに適用し、評価できることが明らかになった。最後に、本研究を進めるに当たって、資料の収集、整理、さらには御討議をいただいた徳島市水道局長、参事をはじめとして、徳島市水道局工務課、工事課の各位に謝意を表する。

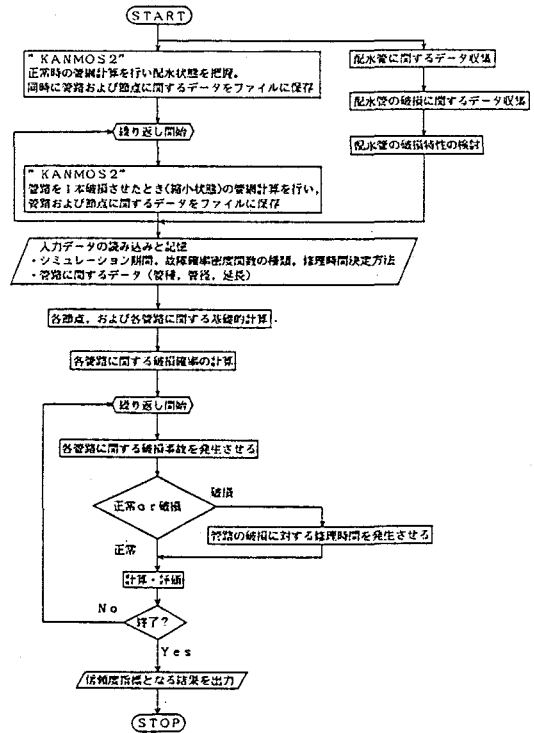


図-1 配水管網の信頼性解析フローチャート

表-2 シミュレーション結果(信頼性指標)リスト

【節点関係】	
・シミュレーション期間中における節点における断水発生率	・断水発生率
・各節点における断水発生率	・断水発生率
・シミュレーション期間中に節点に不足水量が発生する時間	・断水発生率
・シミュレーション期間中に節点に不足水量が発生する時間	・断水発生率
・シミュレーション期間中に節点に不足水量が発生する時間	・断水発生率
【管路関係】	
・各管路の破損率	・断水発生率
・各管路の破損回数	・断水発生率
・各管路の破損時間(縮小状態)の割合	・断水発生率
・各管路の破損時間(縮小状態)の割合	・断水発生率
・各管路の破損時間(縮小状態)の割合	・断水発生率
・1管路が破損することによって発生する他の管路の断水発生率の割合	・断水発生率
・シミュレーション期間中に各管路を通過する他の管路の断水発生率の割合	・断水発生率
・1管路が破損しても水頭が変化しない割合	・断水発生率
・シミュレーション期間におけるシステム内の断水発生回数	・断水発生率
・シミュレーション期間におけるシステム内の断水発生時間	・断水発生率
・シミュレーション期間において正常である時間の割合	・断水発生率