土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）

VII－142

効率的な配水管の漏水調査間隔の決定法

鳥取大学工学部　正会員　細井　由彦
鳥取大学工学部　正会員　城戸　由能
鳥取大学大学院　学生会員　市平　雅美

１．はじめに

配水量は有収水量と無収水量から成っており、無収水量の大部分を占める漏水量を減少させ、有収率の向上が図られている。そこで、漏水を迅速に発見し修理することが必要となる。

本研究では、漏水調査によってのみ漏水箇所が発見可能で、毎年計画的に調査を行っている場合の最適な漏水調査間隔を求めるモデルを開発し、実際に適用して配水管の漏水調査法の効率化に対するモデルの有効法を検討する。

２．漏水調査効率化モデルについて

１）モデルの概要

地下漏水は、漏水していても調査されるまで発見されない場合が多く、当然入るべき収入を失うこととなる。したがって、漏水防止活動が行われるが、調査間隔が短いと必要以上に調査費用がかかり、逆に長いと未発見の漏水の放置に伴う損失が大きくなる。また、事前の管路情報があれば漏水の発生のしやすさが予測でき、それにしたがって各地区ごとに調査間隔を変化させる方がより効果的な発見につながると考えられる。そこで、調査によってのみ漏水箇所が発見可能で、管路情報により漏水発生率が予測できる場合における、最適な定期調査間隔を求めるモデルを検討する。

漏水防止作業は定常的に行われており、水道管は一定間隔で調査されるものとする。破損が発見されると直ちに修理が行われる。破損発生率をλとしλを一定とすると、破損時間分布は指数分布となり破損時間分布関数は$F(t)=1-\exp(-\lambda t)$と表される。$F(t)$は時間tまでに対象としている地域で破損が発生する確率を示している。１回の漏水調査、修理に要する時間は調査時間間隔に比べて無視しうるくらい小さいとする。１回の漏水調査、修理に要する費用をC_1、C_2とし、単位時間あたりの漏水の放置に伴う損失をC_3とする。

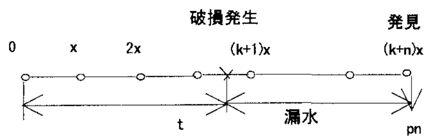
図１に示すように、xの調査間隔で調査を行うとき$k=1,2,\cdots\cdot$に対して$(kx, (k+1)x)$の間の任意の時刻tで漏水が発生したとする。この漏水は時刻$(k+1)x$の調査で発見確率p_1で発見されるとする。この漏水が発見されずに次の調査時に発見される確率をp_2とする。同様に$(k+n)x$の調査時に発見される確率をp_nとする。漏水が発見され修理された後、つぎの漏水が発見されるまでを１サイクルとすると、１サイクルの期待費用はつぎのようになる。

$$\sum_{k=0}^{\infty}\int_{kx}^{(k+1)x}\left[\left\{\sum_{i=1}^{\infty}(k+i)p_i\right\}C_1+C_2+C_3\sum_{i=1}^{\infty}p_i\left\{(k+i)-t\right\}\right]\lambda e^{-\lambda t}dt \qquad (1)$$

同様に、１サイクルの期待時間はつぎのようになる。

$$\sum_{k=0}^{\infty}\left[\left\{\sum_{i=1}^{\infty}(k+i)xp_i\right\}\int_{kx}^{(k+1)x}\lambda e^{-\lambda t}dt\right] \qquad (2)$$

したがって、長時間における単位時間あたりの期待費用は、（１サイクルの期待費用）／（１サイクルの期待時間）で表される。配水区域全体を分割し、破損発生率が同じ区域を集めてグループを作る。第jグループに属する区域数をm_j、その区域の調査間隔をx_jとすると、単位時間あたりの期待費用は式（１）を式（２）で割り、m_jをかけたものとなり、配水区全体の総期待費用は、それをすべてのグループにつき加え合わせたものでそれぞれつぎのように表される。



○:漏水調査　×:漏水発生
図1 調査方法

キーワード　漏水防止、有収水量、最適化
連絡先　〒680－8552　鳥取県鳥取市湖山町南４－101

$$C_j(x_j)=\left[C_{3j}+\frac{C_1}{x_j}+\frac{\left(1-e^{-\lambda_j x_j}\right)\left(C_2-C_{3j}/\lambda_j\right)}{x_j\left\{e^{-\lambda_j x_j}+\left(1-e^{-\lambda_j x_j}\right)\sum_{i=1}^{\infty} ip_i\right\}}\right]m_j \quad (3) \qquad C=\sum_{j=1}^{N} C_j\left(x_j\right) \quad (4)$$

単位時間あたりの総調査費用を$\overline{C_1}$とすると総期待費用が最小となる調査間隔は次の非線形最適化問題を解くことにより得られる。

$$Min\left[\sum_{j=1}^{N} C_j\left(x_j\right)\right]$$

$$s.t.\sum_{j=1}^{N}\frac{m_j}{x_j}C_1=\overline{C_1} \quad (5)$$

2）モデルの特徴

このモデルの特徴をつかむため、１つのパラメーターの値を変化させて感度解析を行った。基本的な値としては$C_1=5$（万円／km）、$\lambda=0.035$（件／月・km）、$C_2=8$（万円）、$C_3=0.87$（万円／月）とする。漏水発見確率は幾何分布に従うとし、基本値としては$p_1=1$を与えた。

解析の結果、調査費用、破損発生率については最適調査間隔に与える影響が他のパラメータより大きく、修理費用については、最適調査間隔に与える影響が小さいことが分かった。

３．鳥取市を対象とした検討

鳥取市千代川以東地域を対象として、モデルを適用してみる。鳥取市水道配管平面図を用いて、配水区を 250 mメッシュを基本として 334 の調査地区に分ける。この調査地区ごとに、管種・管径別に管路長を測り、それらの破損発生率の報告[1)]をもとに、破損発生率を求めた。破損発生率が同じような地区を集め６つのグループに分け、実際にモデルに適用して、総調査費用制約なしの最適調査間隔を求めた結果が表１である。ただし漏水は必ず発見される（$p_1=1$）とした。このときの調査費用は１ヶ月 103 万円となった。そこで、調査費用の制約を１ヶ月 50 万円として、最適化を行った結果が表２である。これらの表より、漏水発生率が高くなるにつれ、最適調査間隔は短くなっていることが分かる。

つぎに同じ費用で、本モデルにしたがった間隔で調査を行った場合と、どの地区も同じ間隔で調査を行った場合を比較する。50（万円／月）の予算のもとでは、１ヶ月あたり 10km 調査できることになるので、全域一定間隔（総管路長 485.6km）の場合では 49 ヶ月間隔で調査することとなる。100 年間最適調査間隔で調査を行った場合と、全グループ同じ調査間隔で調査を行った場合を比較したものが表３である。最適調査間隔で調査を行った場合の方が全グループ同じ調査間隔で調査を行った場合より、修理件数・漏水量ともに減少させることが可能であることが分かる。特に、修理件数の差は小さいにも関わらず、漏水量の違いは大きい。このことは、本モデルによる調査が破損発生後発見までの間隔を短くし、効率的な調査が行われたことを示している。

表１　制約なしの最適調査間隔

グループ	漏水発生率(件/km・月)	最適調査間隔（月）
1	0.005(0～0.01)	49.0
2	0.015(0.01～0.02)	28.2
3	0.025(0.02～0.03)	22.1
4	0.035(0.03～0.04)	18.8
5	0.045(0.04～0.05)	16.7
6	0.065(0.05～0.08)	14.1

表２　制約ありの最適調査間隔

グループ	漏水発生率(件/km・月)	最適調査間隔（月）
1	0.005(0～0.01)	98.0
2	0.015(0.01～0.02)	57.7
3	0.025(0.02～0.03)	45.5
4	0.035(0.03～0.04)	38.9
5	0.045(0.04～0.05)	34.6
6	0.065(0.05～0.08)	29.4

表３ 最適調査間隔で調査を行った場合と全グループ同じ間隔で調査を行った場合の比較

	漏水量(m3)	漏水修理件数(件)	漏水発生件数(件)
制約ありの最適調査	3,698,780	12,977	13,228
同じ間隔で調査	4,257,360	12,942	13,228

４．まとめ

漏水調査効率化モデルを用いて、鳥取市を対象として行った検討では、最適な調査間隔で調査を行った方が漏水量を減少させることが可能となった。よって、最適な調査間隔で調査を行うことは、有効水量の増加・有収率の向上につながると言える。

ここでは、破損後の漏水量はすべて一定としている。また、破損は必ずその直後の調査で発見される場合のみを考えた。今後、より現実的な仮定を取り入れていく予定である。

〈参考文献〉１）細井由彦・村上仁士ほか：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、1990