地区の相関を考慮した配水管破損予測手法

社会開発システム工学科 環境計画研究室 長野美咲

背景・目的

高度経済成長期に整備された配水管の老朽化が進行→今後10~20年で更新時代のピーク→計画的な更新が課題

破損予測が必要

中国地方の人口10万人以下の
91水道事業体への調査(細井2013)

●管種，口径，埋設年情報の
揃っていない事業体は32%
●地盤情報のない事業体は96%（図1）

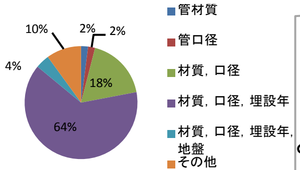

図1 配水管路情報の整備状況

□ 豊富なデータを持つ事業体 → 開発された式を援用し破損予測

ex. $\lambda = a^{*} C_1 C_2 C_3 t^{b}$

出典：(財)水道技術センター2011)

λ：破損率(破損件数/km/年)
a*,b：管種によって決まる定数
t：埋設年数
C_1：仕様に関する補正係数
C_2：口径に関する補正係数
C_3：地盤条件に関する補正係数

既存の破損予測式は地区の相関を考慮していない
しかし，隣接地区間の埋設環境が似ている管路の破損予測には**地区相関を考慮すべき**

□ データが揃っていない事業体→ 開発された式の援用困難

目的
破損データを得たときに
隣接地区間の相関を考慮し
配水管の破損予測を行う

1-A	1-B	1-C	1-D	1-E	1-F	1-G	1-H
2-A	2-B	2-C	2-D	2-E	2-F	2-G	2-H
3-A	3-B	3-C	3-D	3-E	3-F	3-G	3-H
4-A	4-B	4-C	4-D	4-E	4-F	4-G	4-H
5-A	5-B	5-C	5-D	5-E	5-F	5-G	5-H

隣接地区数2
隣接地区数3
隣接地区数4

図4 モデル地区

研究方法

□ 破損率 λ をどのように推定するのか？

ベイズ推定　　事後分布∝尤度×事前分布

期待する効果◆事前分布に既存の情報を取り込むことで，
突飛な観測値が推定値に直接影響を与えるのを防ぐ
◆事後分布を更新していくことで推定精度を上げる
(細井 2013)

破損の発生数はポアソン分布に従う
→**尤度はポアソン分布**とする

$$P(n) = \frac{(\lambda L)^{n} e^{-\lambda L}}{n!}$$

λ：破損率(破損件数/km/年)
L：対象管路延長
n：管路延長あたりの破損件数

□ 研究の流れ

●事前情報を取り込まない推定（自分の地区のデータのみで推定する）	一般化線形モデル
●事前情報を取り込んだ推定（他事業体のデータを参考にする）●自然な共役分布[1]を利用した解析的推定（事前分布にガンマ分布を仮定）	ベイズ推定（解析的推定）
●パラメータが複雑な場合に数値的推定（MCMC法を用いて推定する）（地区の相関を考慮した推定をする）	ベイズ推定（数値的推定）

検証①
事前情報を取り込むことで
推定精度は高まるのか

検証②
破損率の更新によって
推定精度は高まるのか

検証③
地区相関を考慮することで
推定精度は高まるのか

※【1】自然な共役分布：事前分布と事後分布が同じ形の分布になるように
母集団の分布と事前分布をマッチングさせる方法である．統計量の算出が容易になる．

□ 検証に使う手法

一般化線形モデル

●ポアソン回帰による破損率の推定を行う
●「破損数のみ」，「破損数，管種」等所有情報別に推定

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j r_j \qquad r_j = 0 (j \neq i),\ r_j = 1 (j = i)$$

ベイズ推定（解析的推定）

●尤度をポアソン分布，事前分布をガンマ分布とする

$$f_{i,1}(\lambda) = k \frac{(\lambda L)^{n} e^{-\lambda L}}{n!} \frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} \lambda_i^{\alpha-1} e^{-\beta\lambda}$$

$$= \frac{\beta^{n_i+\alpha}}{\Gamma(n_i+\alpha)} \lambda_i^{n_{i,0}+\alpha-1} e^{-\beta\lambda} = G(\lambda \mid \alpha + n_{i,0}, \beta+1)$$

$$f_{i,2}(\lambda) = G(\lambda \mid \alpha + n_{i,0} + n_{i,1}, \beta+2)$$

●事前情報として α=6.25，β=125とする
(水道技術センター 2011)

ベイズ推定（数値的推定）

●尤度をポアソン分布，a，Bの事前分布を正規分布とする

$$f_1(a,b) = \prod_i \frac{(\lambda L_i)^{n_i} e^{-\lambda L_i}}{n_i!} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} \exp\left\{-\frac{(a-\mu_a)^2}{2\sigma_a^2}\right\} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp\left\{-\frac{(b-\mu_b)^2}{2\sigma_b^2}\right\}$$

●地区相関を考慮する場合は次の式を更新に使う

$$\mu_{a,i}^{next} = \sum_k w_k \mu_{a,i}^{k}$$

$$\sum_k w_k = 1 \qquad (b も同様)$$

この式は平均値に隣接地区の平均値を取り入れている

研究結果

検証①の結果

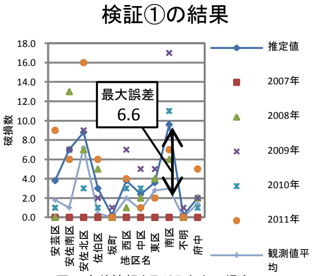

図1 事前情報を取り入れない場合

事前情報を取り入れることで
推定精度は高まる

破損データに表われなかった
現実世界の影響を考慮したため
と考える

検証②の結果

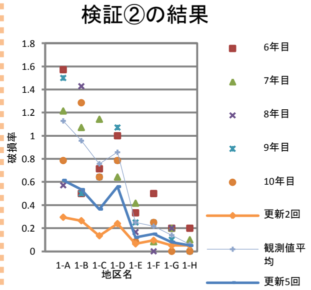

図2 破損率更新の様子

破損率の更新によって
推定精度が高まる

新しいデータが得て更新する度に
その地区の特徴がよく表われた
モデルになると考える

検証③の結果

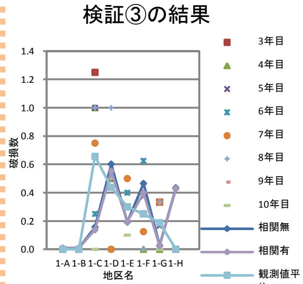

図3 地区相関の有無による破損率

地区相関を考慮しても
推定精度はほぼ変わらない

配水管の破損数は少ないため
破損数に地区の特徴が表われにくく
推定に影響を与えなかったと考える

結論

検証①，②より　□ベイズ推定による破損予測は有効である

検証③より　□配水管では地区相関を考慮して推定精度を高めることは困難である