

第IV部門

劣化速度の異質性を考慮した重点維持管理地域の可視化手法の提案

大阪大学大学院 学生員 ○篠崎 秀太

大阪大学大学院 正会員 貝戸 清之

1. はじめに

我が国では、下水道管渠（以下、管渠）の更新が盛んに行われており、中でも管渠間の劣化速度の差異に着目した維持管理が着目されつつある。現在、管渠の更新について、予防保全の観点から次期に更新を行うべき、劣化速度の大きな管渠が密集した地域（以下、重点維持管理地域）の特定が課題となっている。重点維持管理地域の特定は、管渠の更新に対する説明責任を果たすためにも可視化して表現することが望ましい。現在は、地図上に点検データを散布する等の分析は行われているが、既往の手法で、重点維持管理地域の設定で重要となる劣化速度の大きな管渠の密度を得ることは困難である。

本研究では、劣化速度に着目した重点維持管理地域の設定手法の提案および提案手法に従った場合の重点維持管理地域の変化をシミュレーションする。2.に本研究で用いる推定モデルを劣化予測と可視化に分けて示し、3.に点検データを用いた推計を行い、4.に本研究で得た知見を示す。

2. 推定モデル

(1) 管渠間における劣化速度の差異の推定

本研究では、劣化速度の推定に混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いる¹⁾。管渠の劣化速度 θ_i^k を、

$$\theta_i^k = \varepsilon^k \exp(\beta_i x^k) \quad (1)$$

と表現する。なお、 i は健全度、 k は施設番号を表す。点検項目が M 項目存在しているとき、 $x^k = [x_1, x_2 \dots x_M]^T$ 、 $\beta_i = [\beta_{i,1}, \beta_{i,2} \dots \beta_{i,M}]$ と表記できる。また、 $x_1 = 1$ より $\beta_{i,1}$ は定数項である。なお、可観測要因による劣化速度の変動を表す未知パラメータ β_i 、特性変数 x^k では表現しきれない不可観測要因の影響を管渠区間単位に対して1つのパラメータに集約し、確率変数 ε^k で表現する。このパラメータを以降、異質性パラメータ ε^k と称す。本研究で課題となる管渠間の不可観測要因による劣化速度の差異を異質

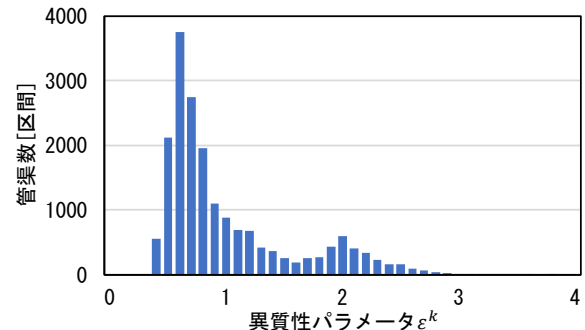


図-1 異質性パラメータの推定結果

性パラメータ ε^k の大小により表現する。

(2) 重点維持管理地域の可視化

本研究では、重点維持管理地域を可視化するために、カーネル密度推定法を用いる。一般的にカーネル密度推定量は、

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{k=1}^n K\left(\frac{x - x^k}{h}\right) \quad (2)$$

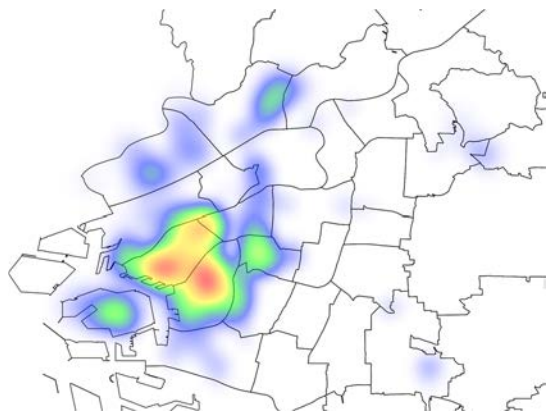
と記述される。 n は管渠数、 h は $f(x)$ の滑らかさを表す平滑化パラメータを示す。本研究では、1区間の管渠が地域全体に与える影響を表現するカーネル関数 $K(x)$ に標準正規分布を用いる。式(2)に示すカーネル密度推定量は、管渠密度のみを表現する。これに、劣化速度の差異を情報として与えるために、異質性パラメータ ε^k で重み付けたカーネル密度推定量を、

$$f'(x) = \frac{1}{nh} \sum_{k=1}^n \varepsilon^k K\left(\frac{x - x^k}{h}\right) \quad (3)$$

と定式化する。式(3)に示す重み付けカーネル密度は管渠間の劣化速度の差異に関する情報を有するが、極端に管渠密度の偏りがある場合には、管渠密度の影響を過剰に反映し、劣化速度の差異を表現できない。よって、本研究では式(2)式(3)より、

$$g(x) = \begin{cases} f'(x) - f(x) & g(x) \geq 0 \\ 0 & g(x) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

として、密度の過剰な偏りを考慮したデュアル・カー



劣化速度の大きな管渠の密度： 密  疎

図-2 更新前デュアル・カーネル密度の推定結果

ネル密度推定量²⁾を定式化する。

3. 実証分析

本研究では、大阪市建設局が管理する管渠の点検台帳を用いて実証分析を行う。点検台帳から必要項目の欠損があるサンプルを除くと、使用できるデータサンプルが18,849個の得られた。なお、式(4)において劣化速度の差異は異質性パラメータ ε^k のみで重み付けたため、劣化速度の差異はなるべく異質性パラメータ ε^k のみに集約することが好ましい。そこで、特性変数 x^k は、定数項 $\beta_{i,1}$ のみで可観測要因を表現した。

図-1に推定された全18,849区間の異質性パラメータ ε^k のヒストグラムを示す。本研究では、異質性パラメータ ε^k を管渠の点検単位1区間ごとに設定するため、 ε^k の大きさが対応した区間の平均的な劣化速度に対する劣化速度の大きさを表す。なお、 $\varepsilon^k = 1$ は平均的な劣化速度を表現し、劣化速度について $\varepsilon^k > 1$ は平均より大、 $\varepsilon^k < 1$ は、平均より小であることをそれぞれ示すことを留意されたい。

図-2には、管渠を更新する前のデュアル・カーネル密度推定による重点維持管理地域の推定結果を示す。実際は、管理者が維持管理に費やす予算等により、重点維持管理地域に設定する水準は変化する。仮に本研究では、重点維持管理地域をカラースケールの赤色から黄色の場合とする。このとき、図-2より更新前の重点維持管理地域は大正区中心部、港区周辺になる。

図-3には、図-2に基づき管渠の更新後のデュアル・カーネル密度推定による重点維持管理地域の推定結果を示す。更新は、図-2におけるデュアル・カーネル密度の上位5%に対応する地域に対して行う。更新後の

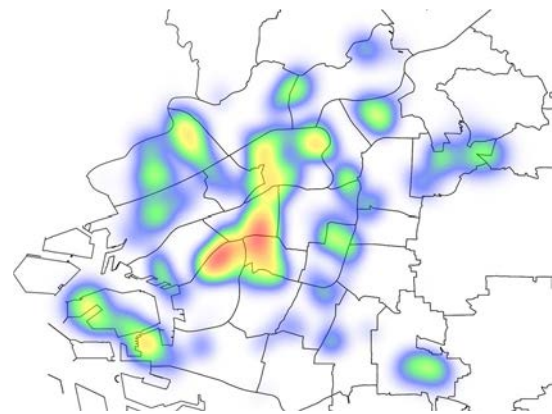


図-3 更新後デュアル・カーネル密度の推定結果

地域は、次期に更新する地域には該当しない仮定を置き点検データから除外し、再度2.の手法を適用した。図-2と図-3の比較により、重点維持管理地域の変遷が確認される。具体的には、大正区中心部、港区周辺の呈色は無くなり、大正区北部、西区、北区への重点維持管理地域の変遷が確認される。なお、本研究で例示した管渠更新シミュレーションの更新基準は、任意で設定したものであるため、維持管理者との協議の上設定すべきことを留意されたい。

4. おわりに

本研究では、管渠の地理的な劣化速度の差異に着目し、更新に伴う重点維持管理地域の変遷についてシミュレーションした。以下に得られた知見を示す。

- 劣化予測に地理的な可視化を行うモデルを併用することにより、劣化速度が大きな管渠が密集した地域を視覚的に特定する手法を提案した。
- 劣化速度が大きな管渠の地理的な密度に準拠した管渠更新施策を提案し、大阪市の観測データを用いたシミュレーションを例示した。

しかし、カーネル密度推定法を始めとする空間統計の分野で議論される境界の議論を行っていないため、今後、検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推定, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.
- 2) 西村圭太, 杉本興運, 菊地俊夫: コミュニティサイクル利用観光者の回遊行動特性-埼玉県川越市を事例に-, 日本観光研究学会機関誌, Vol.29, No.2, pp.29-42, 2018