

## 下水道管渠の劣化速度と密度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 ○元木宏志朗

JFE エンジニアリング 非会員 篠崎 秀太

大阪大学大学院 正会員 貝戸 清之

### 1. はじめに

我が国の下水道管渠（以下、管渠）は、老朽化が進んだものを中心に改築や更新が盛んに行われている。本研究では、管渠を集合的に維持管理する手法を提案する。

一般的な社会基盤施設では、目視点検データ、およびそれによる統計的劣化予測を用いた維持管理が有効とされている<sup>1)</sup>が、管渠は地下埋設物であるため、目視点検が困難な場合がある。また、特に都市部の場合は、更新時に掘削工事による道路の通行規制などの社会的影響が伴うため、管渠の更新は対象地域を集中的に行うことで対処するが、このとき対象地域内の個別の管渠の劣化状態それぞれを考慮して対処することは不可能である。一方で、対象範囲に劣化の進んだ管渠をより多く含む位置が地理的に把握可能であれば、管渠をより効率的に更新することが可能となる。

また、リスクの定義は、現行のガイドラインにより（発生確率）と（被害規模）の指標を設定し、それらの積により定義する手法が示されている。しかし、現行手法では、指標の設定において定性的な指標が用いられ、恣意性が介在する可能性がある。

そこで本研究では、現行手法の（発生確率）を管渠の劣化速度により定義し、リスクを新たに定量化し表現する。上述の手法をもとに、リスクの大きな管渠の粗密を視覚化するためにカーネル密度推定を援用する。これにより、現行手法に準拠しつつ、定量化されたリスクに基づいた管渠の集合的な維持管理手法を提案する。

### 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

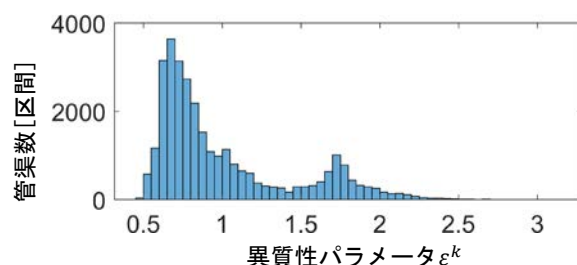


図-1 異質性パラメータの推定結果

ハザードモデルを用いる<sup>1)</sup>。管渠の劣化速度 $\theta_i^k$ 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、 $x^k = [x_1, x_2 \cdots x_M]^T$ 、 $\beta_i = [\beta_{i,1}, \beta_{i,2} \cdots \beta_{i,M}]$ 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 $\beta_i$ 、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 $\varepsilon^k$ で表現する。このパラメータを以降、異質性パラメータ $\varepsilon^k$ 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性パラメータ $\varepsilon^k$ 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、以下の式(2)のように記述される。

$$f_h(x, y) = \frac{1}{Nh^2} \sum_{k=1}^N K\left[\frac{x - x_k}{h}, \frac{y - y_k}{h}\right] \quad (2)$$

ここで、 $N$ は管渠数、 $h$ は $f(x, y)$ 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 $K(x, y)$ 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している。こ

キーワード 地理情報 下水道管渠 統計的劣化予測

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 工学研究科 AR 棟 605 号室 TEL 06-6879-7622

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 $\varepsilon^k$ で重み付けたカーネル密度推定量を、式(3)のように定式化する。ここで $\varepsilon^k$ は、基準化した異質性パラメータ $\varepsilon^k$ を示す。

$$g_h(x, y) = \frac{1}{Nh^2} \sum_{k=1}^N \varepsilon^k K \left[ \frac{x - x_k}{h}, \frac{y - y_k}{h} \right] \quad (3)$$

式(3)における重み付きカーネル密度推定量では、点検データを持つ管渠の密度が大きく反映されてしまう。このため、本研究では式(2)式(3)より、

$$\varepsilon^k = \frac{\varepsilon^k}{n_r} \quad (4)$$

式(4)のように、 $\varepsilon^k$ を該当測定地点から半径 $r(m)$ 内にある測定地点数 $n_r$ で除した値により基準化することで、点検された管渠の密度の偏りを平準化し、カーネル密度推定量<sup>2)</sup>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 30,692 個得られた。なお、式(4)において劣化速度の差異は異質性パラメータ $\varepsilon^k$ 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 $\varepsilon^k$ 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 30,692 区間の異質性パラメータ $\varepsilon^k$ の等高線図を示す。本研究では、異質性パラメータ $\varepsilon^k$ を管渠の点検単位 1 区間ごとに設定するため、 $\varepsilon^k$ 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、管渠の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、式(4)の基準化するための点数収集範囲を半径 $r = 300(m)$ とし、重点維持管理地域を赤色で囲んだ部分とする。このとき、図-2 より主に港区の 2 か所、此花区、西

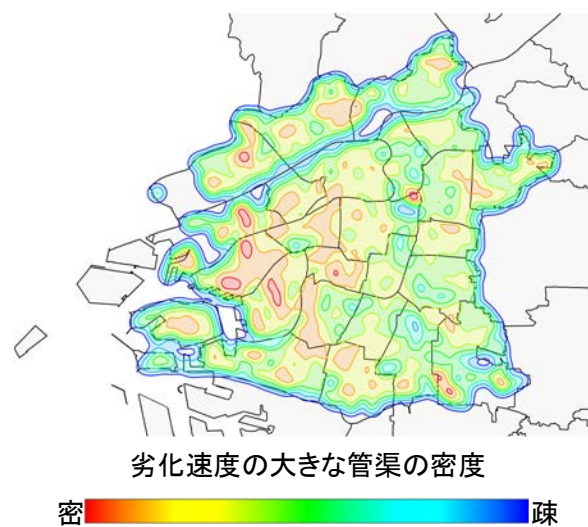


図-2 カーネル密度の推定結果

淀川区、大正区の 5 か所に異質性パラメータ $\varepsilon^k$ の大きい測定地点が多数密集しており、沿岸部の沖積や埋め立てなどに由来する低地を中心に重点維持管理地域が指定されることがわかる。

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、重点維持管理地域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.