

目視調査データを用いた下水道コンクリート管渠の統計的劣化予測

パシフィックコンサルタンツ (株)

正会員 ○山中・前之園・大山

大阪大学大学院 正会員 貝戸清之

大阪大学大学院 正会員 鎌田敏郎

大阪市建設局 非会員 大谷 明

1. はじめに

下水道管渠などの埋設構造物は、橋梁や舗装などの土木施設に比べ、目視調査(TV カメラ調査を含む)データの取得に多大な労力を要する。したがって、調査データが得られた際には、調査データを劣化予測に有効的に活用させることが極めて重要である。本研究では、下水道コンクリート管渠に着目し、管渠に対する目視調査データに基づいて統計的劣化予測を行う。具体的には管渠の劣化過程をマルコフ劣化ハザードモデルで記述し、その期待劣化パスや期待寿命を推計する方法を提案する。最後に、本モデルを大阪市の実データへ適用し、管渠の劣化予測を行うことで、今後のストックマネジメントに資する基礎的情報を提供する。

2. マルコフ劣化ハザードモデルの概要

マルコフ劣化ハザードモデルは汎用性の高い統計的劣化予測モデルである。詳細は参考文献 1) に譲るが、多段階の指数ハザード関数を用いると、調査間隔 z の間で健全度が i から j に推移するマルコフ推移確率を、

$$\pi_{ij}(z) = \sum_{m=i}^j \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\theta_s}{\theta_s - \theta_m} \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\theta_s}{\theta_{s+1} - \theta_m} \exp(-\theta_m z) \quad (i=1, \dots, J-1; j=i, \dots, J) \quad (1)$$

と表せる。上式は複雑な式となっているが、ハザード率 θ と調査間隔 z の 2 変数で構成されていることがわかる。調査間隔 z は既知情報であるために、ハザード率を推計すれば、マルコフ推移確率を完全に算出することができる。目視調査データを用いたハザード率(未知パラメータ)の推計の詳細も参考文献 1) に譲るが、ハザード率を推計するために必要となる情報は、総サンプル数を K としたときに、任意のサンプル k に対して、

$$\Xi^k = \{(i^k, j^k), z^k, \mathbf{x}^k\} = (\text{健全度ペア, 調査間隔, 特性変数}) \quad (2)$$

となる。ここで (i^k, j^k) はサンプル k に対する 2 回の目視調査データ(健全度)であり、推計のためには同一施設に対して少なくとも 2 回の目視調査を実施する必要がある。また、健全度 (i^k, j^k) と調査間隔 z^k は目視調査を通して獲得することができる既知情報である。一方で特性変数 $\mathbf{x}^k$ は、劣化過程に影響を及ぼす要因を考慮するために導入されるパラメータであり、要因が複数存在する場合にはベクトルとなる。例えば、内径や土被りが管渠の劣化過程に影響を及ぼすと考えられる場合には、これらの変動により劣化予測結果がどの程度変動するかを分析することが可能である。特性変数には、内径や土被り等の定量的な変数だけでなく、管種や継手形式などの定性的な変数も考慮することができる。通常、特性変数には台帳データに収録されている情報が適用され、特性変数を設定するために別途調査を実施する必要はない。以上より、劣化予測を行うために要求されるデータは目視調査データと台帳データのみであり、マルコフ劣化ハザードモデルが実務データと極めて整合的な統計的劣化予測手法であることが理解できる。

3. 適用事例の概要

大阪市が管理する 12 の下水処理区のうち、A 処理区内を適用事例として取り上げる。A 処理区内の下水道管渠は 8 行政区に敷設されており、その総延長は約 600km に及ぶ。また、使用されている管種は、コンクリート管、硬質塩化ビニル管、陶管など、様々な管種が使用されている。昭和 26 年から昭和 37 年まではコンクリート管と陶管が大半を占めており、昭和 38 年以降はコンクリート管が、さらに平成 10 年以降は硬質塩化ビニル管が多く使用されている。

キーワード 下水道, コンクリート管渠, 劣化予測, ハザードモデル, マルコフ推移確率

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科フロンティア研究センター TEL: 06-6879-7199

表-1. マルコフ劣化ハザードモデルの推計結果

健全度	定数項 $\beta_{i,1}$	区間距離 $\beta_{i,2}$	内径高さ $\beta_{i,3}$
1	-3.52 (-105.8)	- -	-0.654 (-11.6)
2	-1.90 (-17.9)	-1.15 (-3.32)	-1.50 (-13.9)
3	-2.11 (-15.7)	-1.78 (-3.97)	-0.843 (-5.79)
4	0.271 (1.14)	-5.34 (-7.56)	-0.817 (-3.39)

大阪市では、下水道管渠に対する目視調査結果に関して、大阪市建設局による平成 20 年 4 月「管路施設の維持管理指針」に基づき、管渠の変形、クラ

ック、目地不良等を加点点評価した老朽度点を算出し、さらに老朽度点を用いて老朽度を A, B, C の 3 段階で評価している。本研究ではこれらの老朽度を参考にしながらも、独自に 5 段階の健全度を設定した。健全度は数値が大きくなるほど、老朽化が進展していることを意味する。

4. コンクリート管渠の期待劣化パスの算出

コンクリート管渠に関して、健全度を 5 段階に設定したので、推計すべきハザード率 θ_i は合計 4 つになる。例えば、ハザード率 θ_1 は健全度 1 から 2 へ推移する際のハザード率を表している。さらに特性変数の影響を考慮するために、最終的にハザード率を

$$\theta_i^k = \exp(\beta_{i,1} + \beta_{i,2}x_2^k + \beta_{i,3}x_3^k + \dots) \quad (i=1, \dots, 4, k=1, \dots, K) \quad (3)$$

と定義した。ここで $\beta_{i,1}$ は定数項であり、定数項には劣化過程の共通要因が集約されていると考えてよい。共通要因では説明できない劣化の不確実性を表現するために、特性変数が採用される。具体的には、特性変数として x_2 に区間距離、 x_3 に内径高さを採用したモデルが最適モデルとなった。さらに、上式 (3) の構成から読み取れるように、 $\beta_{i,2}$ 、 $\beta_{i,3}$ は、区間距離 x_2 と内径高さ x_3 がハザード率に及ぼす影響の強さを表している。なお、ハザード率は指数関数形であるので、非負の値を取ることが保証される。また、区間距離 x_2 は定量的パラメータである。一方、内径高さに関する特性変数 x_3 は定性的なデータである。本来内径高さも定量的なデータではあるが、維持管理上の取り扱いを考慮して、内径高さ 300mm 以上 600mm 未満、600mm 以上の 2 つのクラスに分類した。したがって、 x_3 はダミー変数であり、

$$x_3^k = \begin{cases} 0 & \text{内径高さ 300mm 以上 600mm 未満} \\ 1 & \text{内径高さ 600mm 以上} \end{cases} \quad (4)$$

目視調査データを用いたマルコフ劣化ハザードモデルの推計結果を表-1 に示すとともに、コンクリート管渠の期待劣化パスを図-1 に示す。推計に用いたコンクリート管渠の総サンプル数は 2,679 個であり、図中の青色が内径高さ 300～600mm、赤色が 600mm 以上の管渠を表す。また、それぞれ実線は区間距離として平均値を使用し、点線と一点鎖線は区間距離の下限 10%と上限 10%の値を使用している。例えば、内径高さ 300mm～600mm のコンクリート管渠に着目すると、その期待寿命は平均で 60.3 年であり、期待寿命を中心に 20 年程度のばらつき（下限 10%：52.2 年，上限 10%：74.3 年）を有することが読み取れる。また、600mm 以上の管渠では平均：146.0 年，下限 10%：123.6 年，上限 10%：183.1 年であった。さらに全体的な傾向として、健全度が悪くなるにつれ、劣化の進行が速くなることがわかる。このようにマルコフ劣化ハザードモデルを適用することで、コンクリート管渠の期待劣化パスや期待寿命を獲得できるだけでなく、様々な条件の多寡によるこれらの変動を定量的に評価することが可能となる。

【参考文献】津田尚胤，貝戸清之，青木一也，小林潔司：橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計，土木学会論文集，No.801/I-73，pp.69-82，2005。

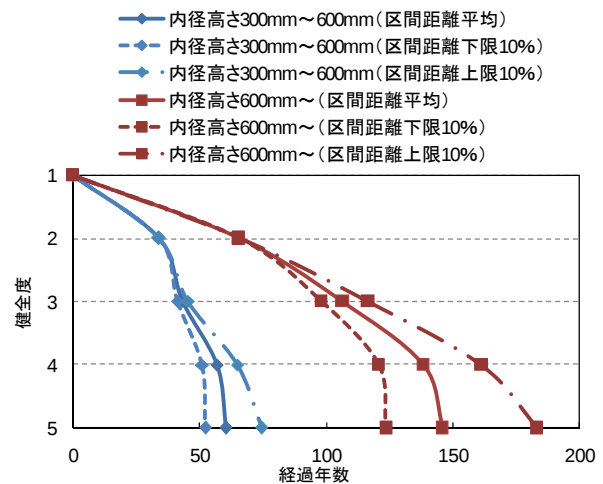


図-1. コンクリート管渠の期待劣化パス