

下水道コンクリート管渠の劣化予測における最適モデルの提案

大阪大学大学院工学研究科 学生員○田中 伸幸
大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎

大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之
パシフィックコンサルタンツ(株) 非会員 山中 明彦

1. はじめに

本研究では、大阪市の千島処理区にある下水道コンクリート管渠を対象として、管渠のスパンごとに獲得された3,047サンプルの目視点検データに対してマルコフ劣化ハザードモデル¹⁾を適用するにあたり、1) クラスタ分析によりモデルに用いる説明変数を選定し、2) 最適モデルの決定方法を提案し、さらに、3) 提案した最適モデルを用いて、管渠の期待劣化パスを導出し、大阪市におけるストックマネジメントに資する有用な情報を示すことを目的とした。

2. マルコフ劣化ハザードモデル¹⁾

マルコフ劣化ハザードモデルについて以下に述べる。多段階の指数ハザード関数を用いて、調査間隔 z の間で健全度が i から $j (>i)$ に推移するマルコフ推移確率 π_{ij} を、

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

$$(i=1, \dots, I-1; j=i+1, \dots, I)$$

と定義する。ここで、健全度1が新設状態であり、健全度 I は最も劣化が進行した使用限界状態である。上記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)を推計するために必要な情報は、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、

$$\Xi^k = \{(i^k, j^k), z^k, x^k\}$$

$$= (\text{健全度}, \text{調査間隔}, \text{説明変数}) \quad (2)$$

となる。健全度 (i, j) と調査間隔 z は目視調査を通して獲得することができる。一方で説明変数 x 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、管内径や土被りあるいは管種や継手形式などが管渠の劣化過程に影響を及ぼすと考えられる場合に、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。さらに、考慮した変数の中で、いずれの変

数が劣化過程に真に影響を及ぼすか、あるいは採用された要因の影響力に関する順位についても、各種の検定統計量により評価できる。

3. 適用事例

3.1 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、千島処理区を適用事例として取り上げる。千島処理区の下水道管渠の総延長は約137kmに及び、使用されている管種は、コンクリート管、塩化ビニル管など、様々である。管種の構成割合をみると、コンクリート管が全体の約67%を占めており、平均経過年数は、平成24年度末時点で約45年と老朽化が進んでいることから、劣化予測の対象として、コンクリート管渠を取り上げる。また、大阪市では、下水道管渠に対する目視点検の対象として、変形・クラック等の5つの項目があり、本研究では、全処理区のデータ分析において劣化評価の支配的な項目と判断される、「変形・クラック」に着目した。なお、変形・クラックは、管渠の状態に応じて4段階の健全度で評価される。

3.2 クラスタ分析による説明変数の分類

マルコフ劣化ハザードモデルを適用するにあたり、クラスタ分析を用いてモデルに用いる説明変数を決定した。具体的には、まず、表-1に示す管渠台帳の中から使用可能な7項目の説明変数の候補に対して、クラスタ分析を実

表-1 説明変数の候補

番号	項目	ダミー変数の設定	
1)	区間距離(mm)	x_1	なし
2)	土被り(m)	x_2	なし
3)	管内径	x_3	1 600mm 以上
			0 600mm 未満
4)	施工年度	x_4	1 1954~1981 年
			0 1954~1981 年以外
5)	液状化判定	x_5	1 極めて発生しやすい
			0 極めて発生しにくい
6)	重要路線	x_6	1 重要路線
			0 一般路線
7)	用地種別	x_7	1 車道
			0 車道以外

キーワード 下水道コンクリート管渠, マルコフ劣化ハザードモデル, クラスタ分析, 目視点検データ

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL06-6879-7618

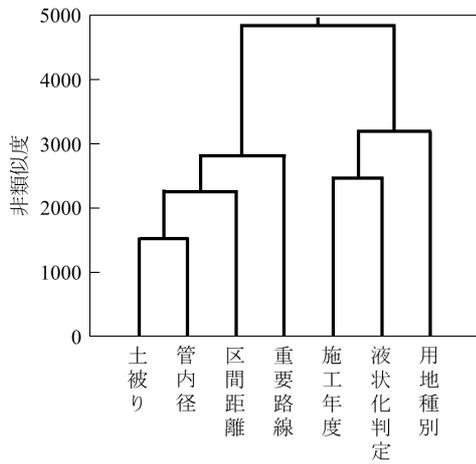


図-1 デンドログラム

施し、その結果をもとにデンドログラム（樹形図）を作成する。デンドログラムにより、説明変数の候補をいくつかのクラスターに分類し、各クラスターから説明変数の候補を1つずつあげ、マルコフ劣化ハザードモデルの説明変数として採用する。本研究では、クラスター分析を実施した結果、図-1に示すデンドログラムが得られ、説明変数の候補を2つのクラスターに分類できることがわかった。

3.3 最適モデルの推計

3.2で得られた結果を利用し、マルコフ劣化ハザードモデルにおける最適モデルを提案する。具体的には、まず2つのクラスターからそれぞれ説明変数を1つずつ採用し、合計4×3=12種類のモデルの推計を行う。次に、推計結果より得られた説明変数のt値およびモデルのAICをもとに、最適なマルコフ劣化ハザードモデルを決定する。

まず、推計する12種類のマルコフ劣化ハザードモデルを定義する。各モデルの健全度*i*におけるハザード率を、

$$\theta_i = \beta_{i,1} + \beta_{i,2}x_m + \beta_{i,3}x_n \quad \begin{cases} m = 1,2,3,6 \\ n = 4,5,7 \end{cases} \quad (3)$$

と定義し、パラメータβの推計を行った。これらのパラメータβのうち、t値の絶対値が1.96以上（有意水準5%）となるものが説明変数として採用される。例えば、ある説明変数のt値の絶対値が大きくなればなるほど、その説明変数の説明力が強い、すなわち、その説明変数を考慮することによって生じるハザード率の変化が大きくなる。次に、最適モデルを決定するためにAICを算出する。AICは次式で定義される。

$$AIC = -2\ln(L) + 2k \quad (4)$$

AICは対数尤度*L*と未知パラメータの数*k*で決定され、AICが小さくなるほど、観測データとモデルの当てはまり具合の観点から最適なモデルであると言える。

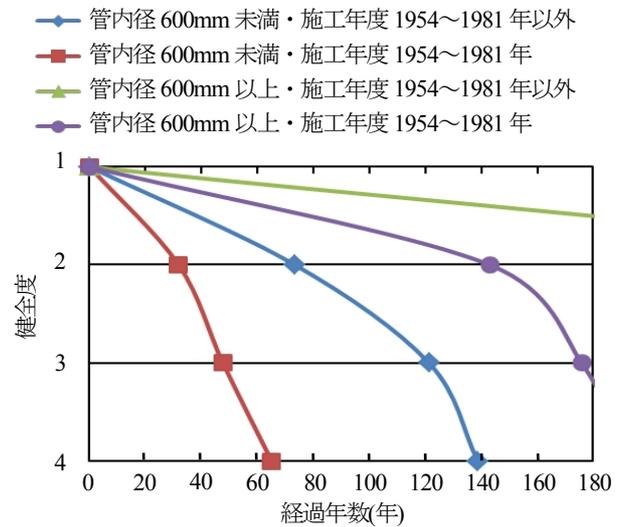


図-2 期待劣化パス

以上の2つの指標（t値およびAIC）より総合的に判断して、最適モデルを決定する。その結果、本研究では、3) 管内径および4) 施工年度を説明変数としたマルコフ劣化ハザードモデルを最適モデルとして提案した。

3.4 期待劣化パス

3.3で推計した最適モデルのパラメータを用いて、期待劣化パスを算出する。算出したコンクリート管渠の期待劣化パスを図-2に示す。その結果、最も劣化の進行が速いコンクリート管渠は、「管内径 600mm 未満・施工年度 1954~1981 年」のコンクリート管渠であり、その期待寿命は約65年であることがわかった。

4. まとめ

本研究では、大阪市の下水処理区にあるコンクリート管渠に着目し、管渠に対する目視点検データを用いた統計的劣化予測における最適モデルの決定方法を提案した。その結果、管内径および施工年度という2種類の説明変数を含むモデルを最適モデルとして提示した。さらに、提案した最適モデルを用いて、コンクリート管渠の期待劣化パスを導出した結果、管内径 600mm 未満・施工年度 1954~1981 年の管渠の劣化の進行が最も速いことがわかった。よって、今後は特に、上記のコンクリート管渠に対して重点的な点検を実施することで、老朽化に伴う道路陥没等の事故の未然防止に資すると考えられる。

参考文献

1) 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.