

維持管理システムを用いた下水道施設の劣化予測に関する検討

管清工業 (株) ○亀田 瞬 日大生産工 保坂 成司

1. はじめに

我が国の下水道普及率は、平成 24 年 3 月末時点で 75.8% (岩手県・福島県を除く) まで向上したが、下水道事業は「建設の時代」から「維持管理の時代」への移行が重要課題となっている。一方、平成 24 年 3 月末時点の下水道総延長は約 44 万 km であり、この膨大な量の施設の維持管理を効率的に進めるには、コスト、人員、時間など多くの課題がある。

現在、多くの自治体では、下水道施設の老朽化に起因する事故が発生した際に処置を行う、発生対応型の管理方法がとられている。効率的な管路管理の観点だけでなく、事故防止の観点から見ても、管理方法の見直しが必要と言える。

そこで本検討では新たな管理方法として、管きよの劣化状況をあらかじめ予測することにより、重点管理が必要な管きよの抽出が行える予防保全型に則した手法の検討を行う事とした。この手法は、過去に下水道施設において発生した異常に関するデータを用いて、潜在的に異常が発生する要素を持ち合わせている管きよを解析により抽出するものである。この手法により重点的に管理が必要な施設の特定を行う事で、重大事故を未然に防ぎ、効率的な維持管理を行う事が可能となる。

2. 劣化予測式の構築方法

2-1 本手法の目的

膨大なストックを抱える下水道施設を効率的に維持管理を行うには、危険性の高い管きよから優先的に調査を行い、早期に修繕・改築を行う事にある。こうした背景から、今回構築を試みる手法は、過去の調査データのから劣化予測式を構築し、この予測式より視覚調査を行っていない管きよの劣化度を定量的に予測し、劣化予測による管理手法の有効性を確認することを目的とした。

2-2 危険度の定義

本検討において、危険度とは「管に異常が発生しやすいかどうかを数値化したもの」と定義した。現状、管きよ内の異常は視覚調査を行う事により判定を行っている。視覚調査に使用されている異常ランクの判定基準例を表-1 に示す。

本検討における解析項目は、一般的な緊急性の判定で使われている不良発生率の診断項目を参考とした。本来の診断項目は「クラック」「破損」「隙間ズレ」「浸入水」であるが、浸入水に関しては過去の検討より調査データから得られる情報のみでは予測が難しいことが判明していたため、今回の検討項目からは除外した。また、危険度の基準として異常ランク C 以下は継続的に監視するものとされて

表-1 異常ランクの判定基準例

項目		ランク	異常ランクA	異常ランクB	異常ランクC	異常なし
破損	鉄筋コンクリート管		欠落または軸方向のクラックで幅5mm以上	軸方向のクラックで幅2mm以上	軸方向のクラックで幅2mm未満	-
	陶管		欠落または軸方向のクラックが管長の1/2以上	軸方向のクラックが管長の1/2未満	-	-
クラック	鉄筋コンクリート管		円周方向のクラックで幅5mm以上	円周方向のクラックで幅2mm以上	円周方向のクラックで幅2mm未満	-
	陶管		円周方向のクラックでその長さが円周の2/3以上	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3未満	-	-
隙間ズレ	鉄筋コンクリート管			70mm以上	70mm未満	-
	陶管	脱却		50mm以上	50mm未満	-
異常確認時の処置			早急に対応するもの	任意の期間内に対応するもの あるいは継続的に監視するもの	継続的に監視するもの	継続的に監視するもの

参考: 下水道管路施設 維持管理マニュアル2007

Predicting the Deterioration of Sewage Facilities using Maintenance Management System.

Shun KAMEDA. Seiji HOSAKA

おり、異常ランク B 以上のものに関して何らかの処置が必要と定めている。よって、本検討においては異常ランクが B 以上のものを危険性のある管、異常ランク C 以下のものを危険性のない管とした。

2-3 多変量解析による劣化予測式の構築

解析方法としては、今回解析するデータが管きよの基礎データや詳細調査より得られた異常データなど多くの変数を含むデータであることから、多変量解析による統計解析を行う事とした。多変量解析とは多くの変数を総合的に取り扱う解析手法の総称であり、解析する変数の内容により多くの手法が存在する。本検討では、劣化度を定量的に予測し、危険度の順位付けをすることが目的であることから、判別分析法による解析を行う事とした。

この判別分析法により構築された線形判別式を本検討における劣化予測式とし、算出される判別得点から管きよの劣化状況の判別および順位付けを行う。

3. 設定条件および解析手順

本検討における劣化予測式構築までのフローを図-1 に示す。

3-1 データ収集

本手法の検討における基礎データとしては、実際に詳細調査として視覚調査が行われた上で、維持管理システムにより管理されている

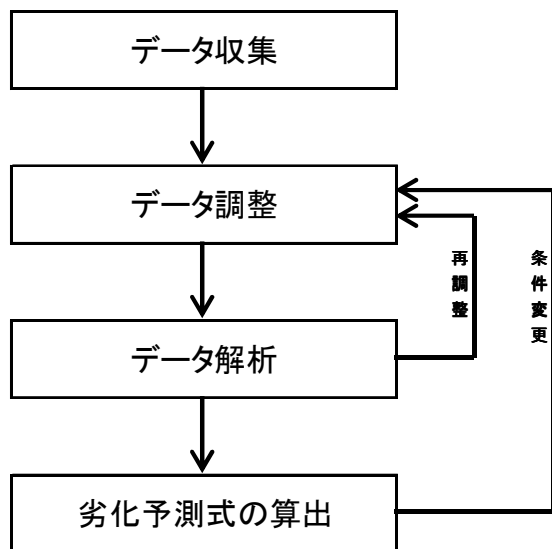


図-1 劣化予測式算出のフロー

データを解析することとした。解析対象としたデータは、17 の市区町村の維持管理履歴とし、6,129 路線のデータを採用した。

また、国土技術政策総合研究所よりアセットマネジメント支援ツールとして「管渠劣化データベース」(以下、国総研 DB) が公表されている。この国総研 DB は自治体の既設管きよの維持管理計画の策定や改築事業量予測を行う際の補完データとしての活用を目的としたもので、下水道台帳や詳細調査結果が記録されたものである。今回の解析には、この国総研 DB に記載されている 105,187 路線のデータも解析対象とし、計 111,316 路線を解析対象とした。

3-2 データ調整

本検討において扱う判別分析法は定量的な変数を扱う手法であるため、適切な変数を選定する必要がある。本検討において選定した変数は「管種」「管径」「路線延長」「経過年数」「土被り」「取付管本数」とし、111,316 路線のうち、上記のデータが不明であるものを除外し、25,404 路線を解析対象とした。

3-3 データ解析

本検討において判別分析法による分析を行ったところ、管種や管径をある程度グループ化し解析を行わないと、予測精度が低下することが判明した。よって、中でも特に重要な因子である「管種」「管径」「土被り」「経過年数」に関しては以下の通り場合分けを行う事とした。条件毎に分類したものが表-2 である。

- ・管種：HP、TP による場合分け
- ・管径：0mm～300mm、300mm～800mm
- ・土被り：0m～1.5m、1.5m～4m
- ・経過年数：0年～30年、30年～50年

表-2 条件分類表

条件番号	管種	管径	土被り	経過年数	分析対象数
1	TP	～300	～1.5	～30	2317
2	TP	～300	～1.5	～50	2642
3	TP	～300	～4	～30	1011
4	TP	～300	～4	～50	756
5	HP	～300	～1.5	～30	4535
6	HP	～300	～1.5	～50	2172
7	HP	～300	～4	-	5406
8	HP	～800	～1.5	～30	1249
9	HP	～800	～1.5	～50	1397
10	HP	～800	～4	-	3919

この条件で場合分けを行った場合 16 通りとなるが、母数が少なかったものに関しては、判別分析法による予測式の精度が低下するため、似た条件のものと合わせて 10 通りの条件により解析を行う事とした。また、これらの条件にあてはまらない管についても母数の不足により除外している。

3-4 劣化予測式の構築

判別分析法により、下記のような線形判別式が得られる。

$$D = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + a_0 \dots \text{式①}$$

D：判別得点

a_n ：判別係数

x_n ：説明変数

a_0 ：定数項

この式は x_1, x_2 に「管種」「管径」・・・と言った数値を代入することで、判別得点 D を得る式である。本来、判別得点は要素が 2 グループどちらに近いかを正か負かで判断するものであるが、この値の大きさから、よりグループに近い性質を持っているか判断ができるため、この数値の大きさを順位付けし判断することとした。

判別分析法により得られた劣化予測式を表-3 に示す。

なお、式中で係数が 0 となっているものに関しては、ステップワイズ法により多重共線性が認められたため、除外したものである。

4. 劣化予測式の検証

構築した劣化予測式の精度確認の為、今回の解析には使用していない市区町村 A 地区の維持管理データ 5809 路線を新たに抽出し、

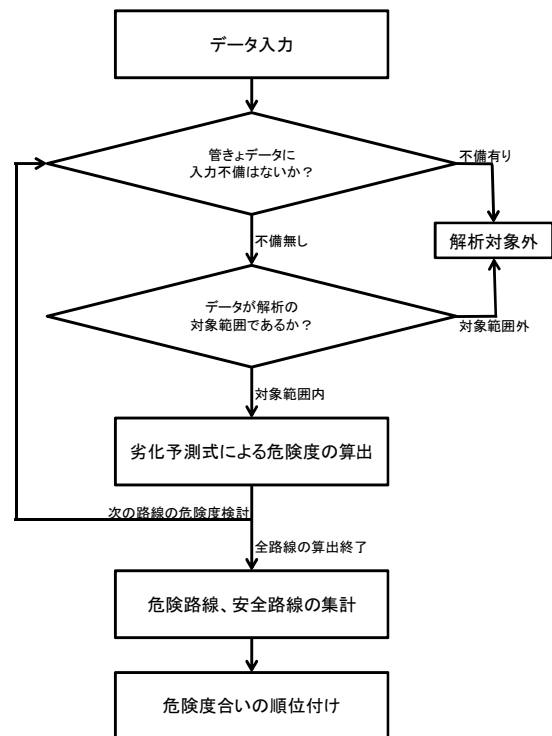


図-2 危険度算出のフロー

検証を行った。検証の手順は図-2 に示す危険度算出のフローの通りである。

4-1 入力データ条件

A 地区の維持管理データを用いた検証において、劣化予測式の構築と同様に、データに不備があるものやデータが解析の対象範囲外であるものを除外した 5220 路線を解析対象とした。

4-2 検証結果

A 地区の検証結果を表-4 に、算出した危険度の分布図を図-3 に、危険度の基本統計量を表-5 に示す。表-4 は実際に視覚調査により得られた異常の有無と劣化予測式により得られ

表-3 条件別劣化予測式

条件1の危険度 =	-0.0113 × 管径	+ -0.0485 × 路線延長	+ 0 × 経過年数	+ 0.46742 × 土被り	+ 0.06028 × 取付管本数	+ 3.39545
条件2の危険度 =	0 × 管径	+ -0.0255 × 路線延長	+ -0.0826 × 経過年数	+ 0 × 土被り	+ 0 × 取付管本数	+ 3.70602
条件3の危険度 =	-0.007 × 管径	+ -0.0312 × 路線延長	+ -0.0633 × 経過年数	+ 0 × 土被り	+ 0 × 取付管本数	+ 4.02556
条件4の危険度 =	0 × 管径	+ -0.0213 × 路線延長	+ -0.0702 × 経過年数	+ 0 × 土被り	+ 0 × 取付管本数	+ 3.14464
条件5の危険度 =	0 × 管径	+ -0.0305 × 路線延長	+ -0.0211 × 経過年数	+ -0.3932 × 土被り	+ -0.044 × 取付管本数	+ 1.31754
条件6の危険度 =	0.00363 × 管径	+ -0.0289 × 路線延長	+ 0.04776 × 経過年数	+ -0.6462 × 土被り	+ 0 × 取付管本数	+ -0.9987
条件7の危険度 =	-0.0044 × 管径	+ -0.0218 × 路線延長	+ -0.059 × 経過年数	+ 0 × 土被り	+ 0 × 取付管本数	+ 3.18172
条件8の危険度 =	0.00231 × 管径	+ -0.01 × 路線延長	+ 0 × 経過年数	+ 0 × 土被り	+ 0 × 取付管本数	+ -0.7254
条件9の危険度 =	0.00312 × 管径	+ -0.0133 × 路線延長	+ 0 × 経過年数	+ 0 × 土被り	+ 0 × 取付管本数	+ -1.0015
条件10の危険度 =	0.0025 × 管径	+ 0 × 路線延長	+ -0.0161 × 経過年数	+ 0 × 土被り	+ -0.0372 × 取付管本数	+ -0.6578

た異常の予測結果をクロス集計したものであり、実際の判定と判定結果が合致していないものが誤判別であったものである。集計すると予想が的中したものが 50.08%、誤判別は 49.92%であった。

図-3 は予測した危険度がどのように分布しているか表した分布図である。表-5 の基本統計量の平均や中央値と合わせてみると全体的に A 地区は危険側と判別される管きよを多く抱えていることがわかる。

5. 考察

5-1 予測劣化式に関する考察

表-3 に示す劣化予測式の結果の信頼性について検討を行った。今回算出している危険

度は、正の値であれば安全側、負の値であれば危険側として判別するものである。五項目の変数については通常「管径」「土被り」に関しては小さければ危険側に、「路線延長」「経過年数」「取付管本数」は大きければ危険側に働くと推察される。しかし、条件 1,3,5,6,7 に関しては符号の逆転が生じていた。この 5 条件に関しては実際の現象とは矛盾しており、予測の精度としては良いものとは言えない。

5-2 検証結果に関する考察

表-4 に示す検証結果では、本検討における誤判別率は 49.92%と算出されたが、その中でも実際に異常があった箇所ですべて予測結果では異常なしと判断した路線、すなわち異常を見落とした箇所が 14.73%であった。こうした危険側への誤判別が少ない結果という事は実際に維持管理に転用した際に有利であると言える。

6. 総括

本検討により、多変量解析により劣化予測式を構築することで管きよの危険度を定量的に算出できることが示唆された。また、下記の項目の改善を行う事により、より予測精度の向上が見込まれる。

- ①多変量解析により得られる劣化予測式の矛盾を解消する。
- ②解析の母数を増やすことで多変量解析の精度を向上させる。

今後は、上記 2 点の改善として、「解析に使用する維持管理データの追加」「場合分け、解析条件の変更」を行う事で精度の向上を検討したい。

表-4 検証結果

		判定結果		合計
		異常あり	異常なし	
実際の判定	異常あり	1,051 20.13%	769 14.73%	1,820
	異常なし	1,837 35.19%	1,563 29.94%	3,400
合計		2,888	2,332	5,220

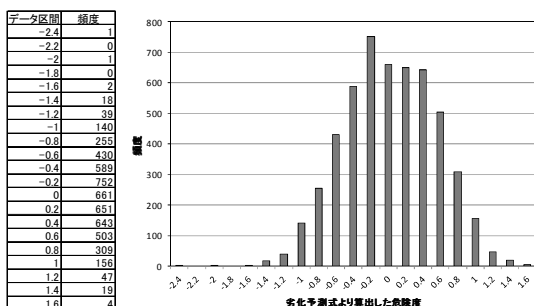


図-3 危険度のヒストグラム

表-5 危険度における基本統計量

危険度における基本統計量	
平均	-0.07758486
標準誤差	0.007285508
中央値	-0.0890345
最頻値	-0.2374
標準偏差	0.526374767
分散	0.277070396
範囲	3.892030012
最小	-2.41123
最大	1.480800012
合計	-404.9929667
標本数	5220

参考文献および引用データ

- ・国土技術政策総合研究所：アセットマネジメント支援ツール「管渠劣化データベース」
- ・社団法人日本下水道管路管理業協会：下水道管路施設 維持管理マニュアル-2007-(2007) P194-195
- ・国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道長寿命化支援制度に関する手引き（案）平成 21 年度版(2009) P11-23