

下水道管路施設での維持管理・更新における性能規定に基づく調査時期や更新サイクルに関する定量的評価 —長岡京市での下水道施設のアセットマネジメントをふまえて—

白柳 博章¹・北村 幸定²

¹正会員 奈良県県土マネジメント部地域交通課（〒630-8501 奈良県奈良市登大路30）
E-mail: crr_437f@maia.eonet.ne.jp

²正会員 摂南大学理工学部都市環境工学科（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8）
E-mail: kitamayu@mbox.kyoto-inet.or.jp

近年、公共施設ストックの膨大な蓄積とともにその老朽化が進んだ結果、快適な市民生活を妨げる事案が顕在化しつつあり、財政状況の逼迫と合わせて、その維持管理について長期的な視点からの議論が不可欠となっている。しかし下水道の事業体は市町村を単位とした小規模な所が多く、事業体として長期的な視点から限られた財源の中で下水道施設の更新や維持管理をどのようなサービスレベルで進めていくか、について定量的な検証を前提とした議論が遅々として進んでいない。

そこで本研究では、京都府長岡京市を対象として、下水道管路の劣化度に関する評価指標を用いて、ライフサイクルコスト最小化の観点から下水道施設のアセットマネジメントを考慮した管路更新・補修のサイクルや工法提示、また性能規定に基づく調査時期やサイクルに関する定量的評価を行うことを目的とする。最後に、下水道施設のアセットマネジメントを実践するための課題について整理する。

Key Words : *Asset management, Sewerage systems, Optimum renewal and maintenance planning
Deterioration characteristic, Social benefit and costs*

1. 研究の背景と目的

近年、水道・下水道・電気・ガス・道路といった社会的共通基盤施設ストックの膨大な蓄積とともにその老朽化の進行が危惧されており、それは、日常の快適な市民生活を脅かしつつある。また、東南海・南海地震や活断層地震による災害や、局部的豪雨による浸水被害等といった自然災害に関するリスクも増大し、更なるリスクが蓄積している。他方、社会的情勢をみると、少子高齢化や人口減少により、利用料金や税収の低迷といった財政状況の逼迫が予想され、今後、日本全体で上下水道合わせて120兆円（下水道80兆円、上水道40兆円）を越えるとされる資産の適正な維持管理・改築更新の確実な実施に向けた事業推進等がこれからの大きな課題となっている。快適な市民生活の維持を図るためには、サービスレベル維持を鑑みつつ、事業体として施設の更新や維持管理の費用を最小化していく議論を進めることが、説明責任を果たす上でも重要となってきている。

アセットマネジメントの既往研究は多数あるが、その中で、宮坂ら¹⁾の研究においては、マネジメントシステムを構築するにあたっての枠組みとして、目標と手段の因果関係を明示する「ロジックモデル」と民間ノウハウを活用する「契約型システム」の導入による公共経営（NPM: New Public Management）型マネジメントを構築することが重要であるとともに、その効果的な運用にあたっては、評価計画に基づくマネジメントサイクルを構築・運用することが重要であると主張している。しかしながら、下水道の事業体については、概ね市町村を単位としており、比較的小規模な所が多い。そのようなところでは、長期的な視点から下水道施設の更新や維持管理をどのように進めていくか、また限られた財源の中でどのようなサービスレベルを提供できるか、について定量的な検証を前提とした議論が進めにくく、短期的な視点にとどまりがちである。それゆえに、短期的・長期的な視点から施設の更新や維持管理に関するスキームを確立することは、事業体として施設のアセットマネジメント

を実践する上で重要であると考え。

そのような状況の中で、2011年9月、国土交通省国土総合研究所より下水道事業へのアセットマネジメント導入支援を目的として、下水道施設維持管理指針（以下、指針）²⁾に準拠した管路劣化データベース（以下、国総研DB）³⁾が公開された。それを活用し、松宮ら⁴⁾の研究では健全度予測式の推定や改築事業量予測を定量的な観点から行っている。しかし健全度予測式は管種・管径によらず敷設年数のみを説明変数としているため、管種や管径、敷設箇所の違いによる劣化度の違いは表わしていない。また藤生⁵⁾の研究では残存率にワイブル分布を適用することにより、敷設年数と緊急度ごとの延長割合の時系列での変化を定量的に算出している。しかしどのようなレベルで施設の更新を行っていくか、費用や便益の観点から論じるまでには至っていない。

その中でも、貝戸ら⁷⁾の研究は、コンクリート管渠に着目して、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、その期待寿命を推計する方法を提案した上で、管渠の目視調査や修繕・改築更新に関する最適改築修繕計画を、リスクを考慮した形で期待ライフサイクル費用の最小化に基づいて決定する方法論を提示し、大阪市の実データへ適用することにより、ストックマネジメントに資する基礎的情報を提供している。しかしながら今回対象とした長岡京市における下水道管路における管種ごとの延長割合は陶管・塩ビ管で84.0%を占め、Co管はわずか11.2%にすぎず、陶管・塩ビ管の劣化過程を定量的に把握することが重要であると考え。

そこで、本研究では、京都府長岡京市における下水道事業を対象として、下水道管路の劣化度に関する評価指標を用いて、ライフサイクルコスト最小化の観点から下水道施設のアセットマネジメントを考慮した管路更新・補修のサイクルや工法提示、また性能規定に基づく調査時期やサイクルに関する定量的評価を行うことを目的とする。具体的には、第2章にて長岡京市における下水道事業の現状と課題を概説する。そして、第3章では、管・スパンの劣化度に関する定量的な指標を提案した上で、マルコフ連鎖を用いた劣化過程モデルの構築を行う。第4章では、本研究で提案する性能規定と管路更新時期ルールを概説した上で、第5章にて長岡京市での陶管の更新時期と再調査時期の評価を行う。最後に、第6章にて、本研究のまとめを行うとともに、下水道施設においてアセットマネジメントを実践するための課題について整理する。

2. 下水道事業の現状と課題

本研究で対象となるのは、京都府長岡京市（以下、本

市）であり、京都盆地の南西部に位置する面積19.18km²、人口約8万人の都市である⁸⁾。京都市や大阪市の間に位置し、古くからのベッドタウンが広がり、名神高速道路や国道171号沿いに工場が数多く立地している。

本市における下水道事業は1974年に開始されており、1970～80年代に急激に人口が増加したのに合わせて、下水道普及事業が急ピッチで進められ、2014年4月1日現在下水道管渠の総延長は219.695km⁹⁾、下水道普及率は99.6%（2014年4月1日現在）¹⁰⁾となっている。長岡京市が管理する下水道管渠全体では、陶管（TP）が最も多く全体延長の43.1%を占めており、次に塩ビ管（VP）の40.9%、Co管（HP等）の11.2%の順となっている。内主要幹線は23.8kmで全体延長の10.9%を占め、その内訳はCo管（HP等）が72.3%、塩ビ管（VP）が20.4%となっている。また、長岡京市から排出される下水（汚水）の処理は、京都府が管理する桂川右岸流域下水道事業の洛西処理場が担当しているため、市が管理する施設は管路・マンホールやポンプ場である。汚水の処理費については、市から府に対する流域下水道分担金で対応している。

また、事業体における収入や費用の状況は1999年度以降、総収入（使用料+国庫補助+市債）が総費用（維持管理費+流域下水道分担金+建設費）を上回り、2000年度以降、使用料が維持運営費（維持管理費+流域下水分担金）を上回っている。しかしながら、今後は人口減少と下水処理量の減少に伴う総収入の減少、下水道施設の劣化量の増大に伴う維持管理費の増加が予測され、現状の維持管理方法では急激に下水道施設の劣化が進行し支障なく快適に施設を使用できない状態になる懸念が高まっている。

下水道事業が開始されてから37年が経過しており、今後標準的な耐用年数とされる50年に到達し、更新を必要とする施設が数多く発生する。さらに下水道普及率がほぼ100%であることから、施設に求められるサービスレベルとして、下水道を利用する人々が常時支障なく快適に施設を使用できる状態にすることが要求されている。

どの管路をどの時期にどのように対応するかを定量的に決定する方法として、管路の劣化度が一定水準以上にならないようにするために、一定水準に到達する前に更新等の施策を講じるとともにその水準を量的に定めることが重要となってくる。これは言い換えればインフラのリスク管理における管理水準の設定を定量的に行う必要があることを意味しており、そのために、次章では管路の劣化度を数量的に評価する指標の提案と劣化過程モデルを構築する。

3. 管の劣化確率の提案と劣化過程モデルの構築

(1) 劣化の判定基準

本研究では構造関連（小項目1～6）において指針³⁾に

基づく表-1に示すようなランクでの判定基準を採用する。

表-1 視覚調査結果に対する判定基準

小項目n(1~10)	管種k(1~3)	管渠内径	ランク(m=1~3)		
			c(軽度) m=1	b(中度) m=2	a(重度) m=3
1)管の腐食	-	-	表面が荒れた状態	骨材露出状態	鉄筋露出状態
2)上下方向のたるみ	-	700mm未満	内径の1/2未満	内径の1/2以上	内径以上
	-	700mm以上 1650mm未満	内径の1/4未満	内径の1/4以上	内径の1/2以上
	-	1650mm以上	内径の1/8未満	内径の1/8以上	内径の1/4以上
3)管の破損	1)陶管(TP)	-	-	軸方向のクラックが管長の1/2未満	欠落もしくは軸方向のクラックが管長の1/2以上
	2)Co管(HP等) 3)塩ビ管(VP等)	-	軸方向のクラックで幅2mm未満	軸方向のクラックで幅2mm以上	欠落もしくは軸方向のクラックで幅5mm以上
	1)陶管(TP)	-	-	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3未満	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3以上
4)管のクラック	2)Co管(HP等) 3)塩ビ管(VP等)	-	円周方向のクラックで幅2mm未満	円周方向のクラックで幅2mm以上	欠落もしくは円周方向のクラックで幅5mm以上
	1)陶管(TP)	-	スレが50mm未満	スレが50mm以上	脱却
	2)Co管(HP等) 3)塩ビ管(VP等)	-	スレが70mm未満	スレが70mm以上	脱却
5)管の継手ずれ	-	-	にじんている	流れている	噴き出ている
6)浸入水	-	-	-	-	-

出典：「下水道施設維持管理指針-2003年度版-」(日本下水道協会)第3章 管路施設
表3.2.8 視覚調査結果に対する判定基準の例

(2) 基準長での劣化確率の提案と算出方法

本節では、基準長での管の劣化確率の提案を行った上で、その算出方法について述べる。

スパン s に属する管はすべて同一の経過年数 T 、管種 k とし、管の状態が構造関連の小項目 n について状態 m と評価される確率 $p_{s,n,m,T}$ は、調査データから式(1)のように求める。

$$p_{s,n,m,T} = S_{s,n,m} / TS_s \quad (1)$$

$p_{s,n,m,T}$: 経過年数 T でのスパン s において小項目 n の状態が m と判定される確率、 $S_{s,n,m}$: スパン s において小項目 n の状態が m と判定されている管の本数、 TS_s : スパン s に属する管の総本数、 k : 管種 ($k = 1$: 陶管, $k = 2$: Co管, $k = 3$: 塩ビ管)、 n : 小項目 (表1に示す: $n = 1, 2, \dots, 6$)、 T : 布設からの経過年数 ($T = 0, 1, \dots$)、 m : 状態 ($m = 0$: 正常, $m = 1$: ランクc (軽度)、 $m = 2$: ランクb (中度)、 $m = 3$: ランクa (重度))

スパン s に属する管路 i において、構造関連の小項目 n が1項目でも状態 m ($m = 1, 2, 3$) 以上と判定される劣化確率を $P_{i,m,T}$ とすると、本研究で提案する管の劣化確率は、スパンに属する管の総本数に関係なく比較できるよう管1本あたりに相乗平均にて換算することにより、式(2)のように定義する。

$$P_{i,m,T} = 1 - \prod_{n=1}^6 \left(1 - \sum_{r=m}^3 p_{s,n,r,T} \right)^{1/TS_s} \quad (2)$$

さらに管路1本あたりの平均長を L_k としたとき、管路 i において状態 m ($m = 1, 2, 3$) 以上と判定される基準長での劣化確率 $PS_{i,m,T}$ を、式(2)から算出される管1本あたりの劣化確率 $P_{i,m,T}$ を用いて式(3)のように表わす。

なお、本研究で提案する基準長での劣化確率は、統一した観点での数値比較を可能とするため、長岡京市での下水道幹線の1スパンあたりの平均延長41.5mを基準長 L^* として換算したものとする。

$$PS_{i,m,T} = 1 - \left(1 - \sum_{r=m}^3 P_{i,r,T} \right)^{L^*/L_k} \quad (3)$$

(3) マルコフ連鎖を用いた劣化過程モデルの構築¹¹⁾

管路 i の状態変数を式(4)のようなベクトル $\bar{P}_{i,T}$ で表す。

$$\bar{P}_{i,T} = \begin{pmatrix} \bar{P}_{i,0,T} \\ \bar{P}_{i,1,T} \\ \bar{P}_{i,2,T} \\ \bar{P}_{i,3,T} \end{pmatrix} \quad \bar{P}_{i,0} = \begin{pmatrix} \bar{P}_{i,0,0} \\ \bar{P}_{i,1,0} \\ \bar{P}_{i,2,0} \\ \bar{P}_{i,3,0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$\bar{P}_{i,m,T}$: 経過年数 T での管路 i において構造関連の状態が m と判定される劣化確率の推定値

式(4)の後半部は、布設した時 ($T = 0$) には状態は必ず正常であることを示している。

次に、経過年数 T から経過年数 $T + 1$ の間に、管路 i において構造関連の状態が x から y へ遷移する確率を $w_{i,x,y}$ とする。なお本研究では状態2以上 (中度+重度) を共にランクa (重度) と安全側で判断することとし、式(5)のような遷移確率行列 W_i として表記する。

$$W_i = \begin{pmatrix} w_{i,0,0} & w_{i,1,0} & w_{i,2,0} & w_{i,3,0} \\ w_{i,0,1} & w_{i,1,1} & w_{i,2,1} & w_{i,3,1} \\ w_{i,0,2} & w_{i,1,2} & w_{i,2,2} & w_{i,3,2} \\ w_{i,0,3} & w_{i,1,3} & w_{i,2,3} & w_{i,3,3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \delta_i \alpha_k & 0 & 0 & 0 \\ \delta_i \alpha_k & 1 - \delta_i \beta_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_i \beta_k & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

α_k, β_k : 標準的な管種 k の管路の状態が各々 $0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 3$ に遷移する遷移確率パラメータ、 δ_i : 標準状態に対する管路 i の状態を表すパラメータ

ここでいう標準的な管路の遷移確率パラメータとは、筆者らの既往研究¹⁰⁾において国総研DB²⁾により管種ごとに推定したパラメータを意味している。すなわち $\delta_i < 1$ のときは標準的な劣化曲線より劣化が遅れていること、 $\delta_i > 1$ のときは標準的な劣化曲線より劣化が進んでいることを意味している。

そして、管路がマルコフ連鎖を用いた劣化過程モデルに従うものとして式(4) (5)より式(6)が成立し、これより $\bar{P}_{i,m,T}$ が算出される。

$$\bar{P}_{i,T+1} = W_i \bar{P}_{i,T} \quad (T = 0, 1, \dots) \quad (6)$$

さらに管路 i において状態 m ($m = 1, 2, 3$) 以上と判定される基準長での劣化確率 $\bar{PS}_{i,m,T}$ を式(7)より算出する。

$$\bar{PS}_{i,m,T} = 1 - \left(1 - \sum_{r=m}^3 \bar{P}_{i,r,T} \right)^{L^*/L_k} \quad (7)$$

4. 性能規定による管路の更新・再調査年数ルールの提案

本章では筆者らの既往研究¹⁶⁾に基づき、状態2以上(中度+重度)と判定される基準長での劣化確率が30%を性能規定として、管路の更新・再調査年数ルール(以下、更新ルールと称する)について算出方法を示すとともに、その概要を図-1に示す。

まず、スパン*s*に属する管路*i*での調査年*T_i^{*}*における基準長での劣化確率*PS_i^{*}*を式(3)により求めた上で、*PS_i^{*}*の値により下記1)～5)の更新ルールに基づき管路更新年数と再調査年数を決定する。

- 1) *PS_i^{*}*が①(0%)のとき、調査年から標準的な劣化が始まる($\delta_i=1$)として、式(7)より基準長での劣化確率が30%となるときの経過年数を算出し、その経過年数を管路更新年数*T*①とする。そして経過年数の10年前に再調査を行い劣化状態を判定し再度更新ルールを適用する。
- 2) *PS_i^{*}*が②のとき、布設年から劣化が始まるとして($\delta_i < 1$)、式(7)より δ_i と基準長での劣化確率が30%となるときの経過年数を算出し、それが*T*①より大きい場合には、*T*①を管路更新年数*T*②とする。そして経過年数の10年前に再調査を行い劣化状態を判定し再度更新ルールを適用する。
- 3) *PS_i^{*}*が③のとき、布設年から劣化が始まるとして($\delta_i < 1$)、式(7)より δ_i と基準長での劣化確率が30%となるときの経過年数を算出し、それが*T*①より小さい場合には、その経過年数を管路更新年数*T*③とする。
- 4) *PS_i^{*}*が④(30%より下)のとき、布設年から劣化が始まるとして($\delta_i > 1$)、式(7)より δ_i と基準長での劣化確率が30%となるときの経過年数を算出し、その経過年数を管路更新年数*T*④とする。
- 5) *PS_i^{*}*が⑤(30%より上)のとき、調査年を管路更新年数*T*⑤とする。

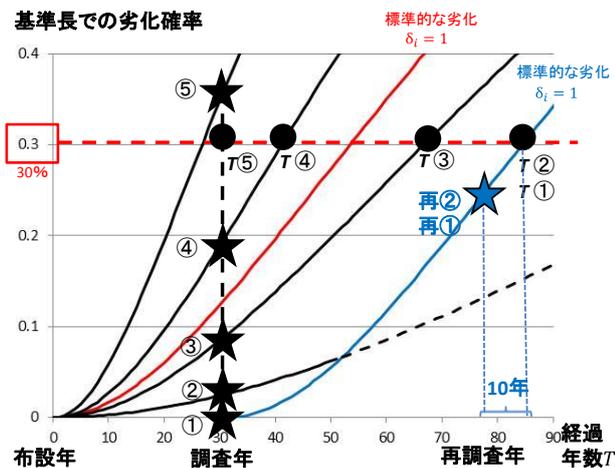


図-1 性能規定に基づく更新ルール

さらに、上記の更新ルールに基づく調査年*T_i^{*}*における基準長での劣化確率*P_i^{*}*と管路更新・再調査年数との関係を図-2に示す。

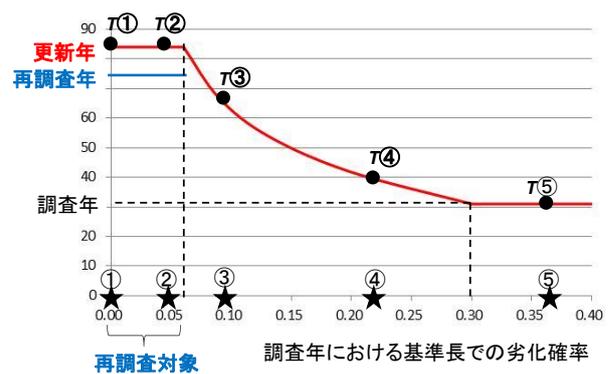


図-2 更新ルールに基づく調査年における基準長での劣化確率と管路更新年数と再調査年数との関係

5. 管路更新に関する評価

(1) 長岡京市全体の管路調査状況

長岡京市では支線の一部を抽出して指針³⁾に基づくTVカメラによる目視調査をH23～H25年度にかけて実施している。その概要を表-2に示す。

本調査では有収率(水道使用量+工場水量を下水処理水量で除した値)が低い系統について構造・水理状態を把握することを目的としたため、陶管については全体延長の4.92%の調査が行われているが、塩ビ管については0.47%、Co管については調査が行われていない。

表-2 長岡京市TV調査の概要

管種k(1-3)	TV調査対象				全体 延長(m)	抽出率 (%)
	経過年数(最大)	スパン数	管本数	延長(m)		
1)陶管(TP)	31	177	4,355	4,333	88,028	4.92%
3)塩ビ管(VP,VU)	31	24	140	394	83,424	0.47%
2)Co管(HP等)・その他	-	-	-	-	24,275	0.00%
計	-	201	4,495	4,727	195,727	2.42%

※経過年数=調査年-布設年

(2) 陶管の更新・再調査年数の割合の算出

前節より、抽出率の比較的高い陶管についてのみ更新ルールを適用し、陶管の更新・再調査年数の割合について算出を行う。まず、スパン毎に更新ルールに基づく陶管の更新・再調査年数を算出した上で、スパンの延長にて重みづけすることにより長岡京市全体の陶管に反映させることとした。

なお、陶管については1978～1998年の間に布設されており、調査は布設から15～31年の間に実施されている。

陶管の更新・再調査年数とその割合について図-3に示す。その結果、長岡京市の陶管全体における更新年数は布設から16～85年後でその平均年数は69.6年となった。

そのうち、調査年において既に基準長での劣化確率が30%以上のもの(図-1・図-2の⑤に該当)は布設から16～29年後でその平均年数は19.4年となりその割合は全体の1.07%となった。また、再調査を行う管(図-1・図-2

の①②に該当)は布設から59~75年後でその平均年数は65.7年となりその割合は全体の74.6%となった。

陶管全体に占める割合

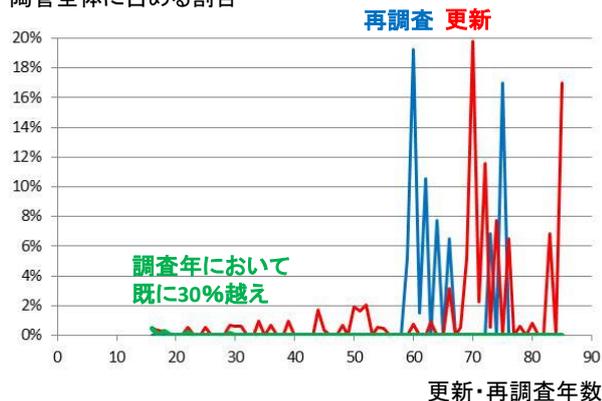


図-3 陶管の更新・再調査年数とその割合

(3) 長岡京市での陶管の更新・再調査時期の評価

前節で得られた結果に、長岡京市での陶管の敷設時期や延長を考慮した上で、陶管の更新・再調査時期の評価を行う。更新ルールに基づく陶管の更新・再調査時期とその延長を図-4に示す。



図-4 陶管の更新・再調査時期とその延長

国総研データに基づく陶管の状態2以上(中度+重度)と判定される基準長での劣化確率が30%となる54年で一律に更新した場合、その更新時期は2032~2052年の21年間で陶管全体88,028mを更新することとなり、年最大8,284mの更新が必要となる。

次に更新ルールに基づく更新・再調査を行った場合には、1994~2083年の90年間で陶管全体88,028m(年最大3,985m)を更新する予定となる。

そして、2037~2073年の37年間に陶管全体の74.6%にあたる65,628m(年最大3,690m)を再調査し、その劣化度合いを元に再度更新ルールに基づき更新・再調査時期を決定することとする。これにより、再調査時点でも劣化確率が低ければ更新・再調査を再度延長することとなる。

また、2014年時点ですでに更新が必要だと考えられる延長は陶管全体の2.3%にあたる2,052mとなった。

(4) 考察

更新ルールに基づく更新・再調査を行った場合、更新の平均年数は下水道施設の改築に関する運用について¹⁷⁾で明記されている年数である50年、筆者らの既往研究¹⁶⁾での国総研データに基づく状態2以上(中度+重度)と判定される基準長での劣化確率が30%となる年数である54年を上回る値となっている。これは本研究で提案するような更新ルールを適用した場合において、従来想定されてきた年数よりも長い期間、性能規定に基づき管路を使用することが可能であることを意味している。

また、一律の年数で更新する場合と比較して、年最大の更新延長が8,284mから3,985mへとピークカットできるとともに、事業期間が2032~2052年の21年間から1994~2083年の90年間へと延長されるため、更新事業の平準化が図られる。

しかし、2014年時点ですでに更新が必要だと考えられる延長は陶管全体の2.3%にあたる2,052mある。それについては敷設状況等の影響、有収率の低い系統、過去の管破損や漏水の履歴、住民からの下水管異常に関する通報等を元に、調査や更新・補修箇所を特定し、早急に効果的な更新・補修計画を立案することが望ましい。

6. まとめと今後の課題

本研究では、まず統一した観点で数値比較を可能とした劣化確率の提案と劣化過程モデルの構築した上で、長岡京市における管路劣化状況を定量的に把握した。

その結果、性能規定による管路の更新・再調査年数ルールの提案を行った上で、それを長岡京市の陶管全体に対し適用した場合に更新事業の平準化が図られることを数量的に表すことができた。そして、本研究で提案した劣化確率や性能規定による管路の更新・再調査年数ルールが有用であることを示すことができた。

今後は、長岡京市の陶管だけでなく塩ビ管・コンクリート管も含めた枝線・幹線全体で、調査や更新費用を含めた全体のライフサイクルコストが最小となるような調査方法や時期、更新・補修方法や時期を決定したい。さらに、更新・補修箇所の優先順位の決定ならびに管理基準の設定に対するさらなる議論を進めた上で、持続可能な下水道のより実用的な管理システムの構築を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 宮坂典男・岩田雄三, “社会資本における NPM 型マネジメントシステムの構築に関する研究”, 『季刊 政策・経営研究』 vol. 4, 2008 年
- 2) (社)日本下水道協会, 『下水道施設維持管理指針—2003 年度版— 第 3 章 管路施設』
- 3) 管渠劣化データベース
<http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/rekka-db.html>,
国土交通省国土技術政策総合研究所, 2011 年 9 月
- 4) 松宮洋介・吉田敏章・深谷渉・福田康雄, “下水道管渠におけるストックマネジメント導入に関する検討調査”, 『国土交通省国土総合研究所平成 22 年度年報』, 国土交通省国土総合研究所下水道研究部下水道研究室
- 5) 藤生和也, “管渠マクロマネジメント解析における諸課題の検討”, 『下水道協会誌』 vol. 50, No. 609, 2013 年 7 月
- 6) 藤生和也, “管渠劣化に係る必要年間調査延長の算出及び調査箇所を選定のための統計的手法”, 『下水道協会誌』 vol. 50, No. 605, 2013 年 3 月
- 7) 貝戸清之・鎌田敏郎・大谷明・山中明彦, “下水道コンクリート管渠のストックマネジメント”, 『下水道協会誌』 vol. 47, No. 577, 2010 年 11 月
- 8) 長岡京市 HP, <http://www.city.nagaokakyo.kyoto.jp/>
- 9) 長岡京市, 長岡京市下水道総合監理システム
- 10) 長岡京市, 京都府桂川右岸流域関連長岡京市公共下水道事業計画,
- 11) 土木学会編『新体系土木工学 2 確率・統計解析』第 4 章 確率過程
- 12) 上地進・細井由彦・増田貴則, “水利用機能を考慮した下水道管路の耐震化決定方法”, 『下水道協会誌』 vol. 49, No. 599, 2012 年 9 月
- 13) 森正幸・稲員とよの・小泉明・渡辺晴彦・沼田篤男, “水道管路の超長期的な更新投資の経済性評価に関する研究”, 『水道協会雑誌』第 79 巻第 7 号 (第 910 号), 2010 年 7 月
- 14) 森正幸・稲員とよの・小泉明・渡辺晴彦・荒井康裕・沼田篤男, “水道管路更新事業の合理的計画方法に関する研究”, 『水道協会雑誌』第 80 巻第 7 号 (第 922 号), 2011 年 7 月
- 15) (社)日本下水道協会, 『下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)』, 2006 年 11 月
- 16) 白柳博章, 北村幸定: 長岡京市での下水道施設のアセットマネジメントを考慮した管路更新・補修の方法やサイクルに関する基礎的研究—第 51 回日本地域学会年次大会, 2014. 10
- 17) 国都下事第 77 号国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課長通知: 下水道施設の改築について, 2003 年 6 月 19 日付