

長岡京市における管路特性を考慮した 下水道施設の更新・維持管理スキームに関する基礎的研究

奈良県

白柳 博章*

摂南大学理工学部都市環境工学科 北村 幸定

1. はじめに

近年、水道・下水道・電気・ガス・道路といった社会的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地震災害や、局地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、上下水道合わせて120兆円（下水道80兆円、上水道40兆円）を越えると考えられる日本全体の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おり、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、事業者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、市民へのサービス向上と説明責任を果たす上でも重要となってきた。

しかしながら、下水道の事業者については、概ね市町村を単位としており、比較的小規模なものが多い。このため、長期的な視点による下水道施設の更新や維持管理の方針検討や、限られた財源の中で適切なレベルのサービスを提供できるのか等について定量的な検証を前提とした議論があまり進んでおらず、大方は目前の修繕等、短期的な視点の対応にとどまっている。それゆえに、施設の更新や維持管理に関するスキームを確立していくことは、事業者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。特に、下水道施設の劣化過程に関する科学的検証については緒に就いたところであり、施設の健全性の調査や判定、劣化予測手法の検討や活用が、今後ストックマネジメントを実践するためには極めて重要であると考えられる。

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、管路特性を考慮した更新・維持管理スキームを提案し、定量的に検証することを目的とする。具体的には、定期点検による劣化度を前提に更新や補修と、故障率を考慮した上で定期的な更新を基本として、更新・補修の方法やサイクルについて、ライフサイクルコストの最小化の観点から考察すると共に、マネジメントを行い実施するための諸問題を整理する。

第2章では、長岡京市の下水道施設における概況を述べた上で、年度別の整備延長と累計の整備延長、運営に対する費用、管種ごとの敷設延長についてまとめる。

第3章では、事業者としての下水道施設の更新・維持計画についての基本的な考え方をまとめた上で、事後保全、予防保全（時間計画保全）、予防保全（状態監視保全）型のそれぞれの試算シナリオを概説し、試算するにあたっての費用や健全率の考え方について述べる。

第4章では、第3章に基づいて試算結果をまとめ、その結果について考察する。

最後に、本研究のまとめと今後の課題について整理する。

2. 現状把握

(1) 概況

長岡京市は、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²⁾。京都市や大阪市の間に位置し、古くからのベットタウンが広がり、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。

長岡京市における下水道事業は1974年に開始されており、下水道管渠の総延長は221.2km³⁾（2012年4月1日現

在), 下水道普及率は99.1% (2012年4月1日現在)
4) となっている。

図-1に年度別の整備延長と累計の整備延長を記す。
敷設されてから20年(処分制限期間)を超過している
管路が約90kmと全体の約4割を占め、さらに30
年を超過している管路も約15kmある。

なお、長岡京市から排出される下水(汚水)の処理
は、京都府が管理する流域下水道の洛西処理場が担
当しているため、市が管理する施設は管路・マンホ
ールやポンプ場が基本である。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。

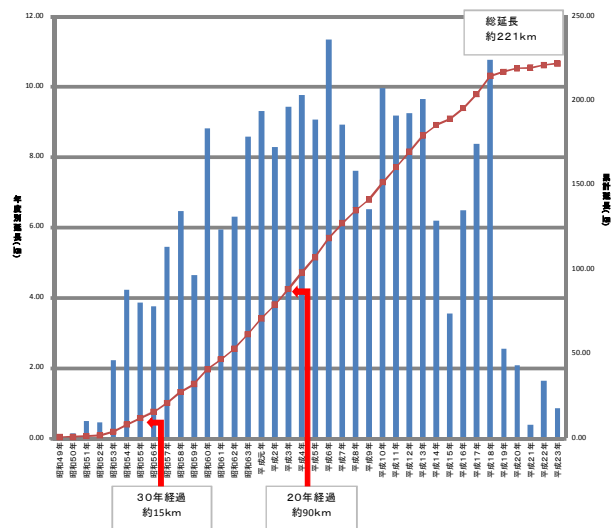


図-1 管路の年度別整備延長

(2) 維持管理に関する直接的費用

下水道施設を維持管理する上で必要な直接的費用として、
以下の3項目が挙げられる。

① 維持管理費

管路・マンホールの破損やつまりに対する緊急維持業務、
管路の清掃といった維持管理業務に係る費用である。

② 流域下水道分担金

長岡京市から排出される下水の処理は、京都府が管理す
る流域下水道の処理場で行っているため、処理場に流れる
流量に応じ、市から府に対して支払う分担金である。

③ 建設費

管渠・マンホールやポンプ場を新たに建設するための費
用である。

図-2に年度別の維持管理費・流域下水道分担金・建設費の内訳
を示す。1995年をピークに建設費は減少しているが、維持管理費
や流域下水道分担金はほぼ横ばいか増加傾向にあり、費用に占め
る割合が年々増加し、大きな負担となっていることがわかる。

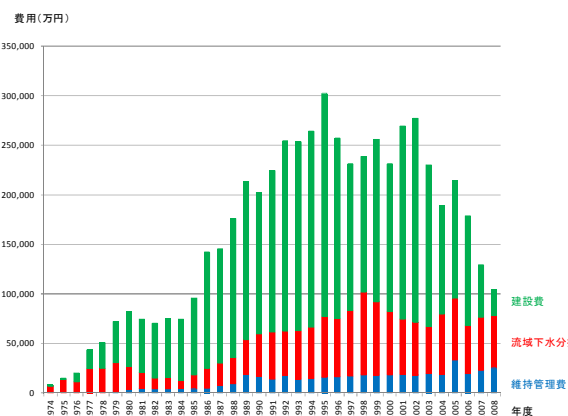


図-2 維持管理に関する年度別費用内訳

(3) 管種の敷設状況

管種の敷設状況として、図-3に敷設延長を示す。陶管 (TP)
が最も多く全体の43.1%を占めており、次に硬質塩化ビニール管
(VU)、ヒューム管 (HP)、塩化ビニール管 (VP) となってい
る。

主要幹線で流量が必要になるところについては主にヒューム管
(HP) が敷設されている。また枝線では主に陶管・VU管・VP
管が敷設されているが、陶管については柔軟性に欠けること、
また継手の処理方法に問題がある等の理由から1999年以降敷

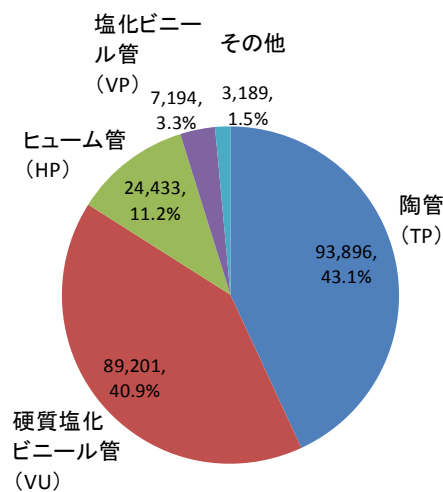


図-3 管種ごとの敷設延長

設されておらず、近年では主に硬質塩化ビニール管（VU）が敷設されている。

3. 事業者としての下水道施設の更新・維持計画の考え方

長岡京市は汚水処理施設をもたないため、事業者としてアセットマネジメントの対象となる施設は主に管路となる。また、下水道事業が開始されてから37年が経過しており、標準的な耐用年数である50年に到達し、更新を必要とする施設が今後数多く発生する。さらに、下水道普及率がほぼ100%となっていることから、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非常時を除いていつでも施設を使用できる状態にすることが要求されている。それゆえに、事業者として管路資産全体を常に健全な形で保有するためには、管路にかかる費用について計画期間内における管路網全体でのライフサイクルコストLCCを最小にすることが求められている。

以下では、更新の費用・管路の調査費用・整備が必要となる（不健全な）管路延長について、

事後保全型：故障の発生時にのみ修繕し更新は行わない。

予防保全型（時間計画保全）：管路の状態を問わず、一定期間ごとに更新する

予防保全型（状態監視保全）：管路の状態に応じて更新する

で試算を行うために必要な費用や管路の健全率についての設定について述べる。

(1) 更新費用の設定

平成18年度における工事価格を用いて、表-1のように設定した。更新方法としては、既設の管路を撤去して新しい管路を敷設する新設と、既設の管路を利用した長寿命化対策を行う管更生、の2パターンとした。なお、陶管（TP）・塩化ビニール管（VP）については更新時には硬質塩化ビニール管（VU）に置き換えるものとした。

表-1 工法・管種ごとの更新費用

工法	管種	口径	費用(円/m)
新設	硬質塩化ビニール管(VU)	200	53,046
新設	硬質塩化ビニール管(VU)	250	85,220
新設	硬質塩化ビニール管(VU)	300	85,220
管更生	TP, VU, VP	200	46,006
管更生	TP, VU, VP	250	70,142
管更生	TP, VU, VP	300	70,142
新設	ヒューム管(HP)	200	290,434
新設	ヒューム管(HP)	250	292,936
新設	ヒューム管(HP)	300	296,233
新設	ヒューム管(HP)	350	300,323
新設	ヒューム管(HP)	400	305,208
新設	ヒューム管(HP)	450	310,886
新設	ヒューム管(HP)	500	317,358
新設	ヒューム管(HP)	600	332,684
新設	ヒューム管(HP)	700	351,185
新設	ヒューム管(HP)	800	372,862
新設	ヒューム管(HP)	900	397,714
新設	ヒューム管(HP)	1000	425,742
新設	ヒューム管(HP)	1100	456,946

(2) 管路の調査費用の設定

管路の調査については、管路施設再構築基本設計（長寿命化計画）業務マニュアル（案）（以下、JSマニュアルと呼ぶ）に基づき劣化・損傷の把握を行うものとする。調査費用については、管径φ800以上については人孔からの潜行目視調査を基本として1,101円/m、φ800未満については管口カメラもしくはTVカメラ調査を基本として1,843円/mと設定する。ただし、硫化水素濃度が高い腐食環境管路については、中性化試験、硫化水素濃度・温度計測を行うといった腐食状況を把握するための調査が別途必要となるが、その費用は考えていない。

(3) 維持管理費の設定

平成20年度における維持管理費254,818千円と敷設延長217.9kmから、全管種共通で1,169円/mと設定する

(4) 管路の健全率の設定

管路の故障確率密度関数を $f(\tau)$ とすると、時期0から時期 t までの間に故障する確率は、累積故障分布関数

$$F(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad \dots (1)$$

と表される。したがって、時期 t まで故障しない確率は $1 - F(t)$ であり、時期 t まで正常に動作してきた管路が、引き続き時期 $t + dt$ の時間内に故障する条件付き確率は

$$\frac{f(t)}{1 - F(t)} dt \quad \dots (2)$$

と表される。ここで関数

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad \dots (3)$$

は寿命が時期 T だけ続いた後、次の瞬間に故障が生じる率を表しており、これを管路の故障率⁴⁾と呼ぶ。式(1)を(3)に代入し、境界条件 $F(0) = 0$ を用いると、

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\int_0^t h(\tau) d\tau\right\} \quad \dots (4)$$

と表される。そして時期 t における管路の故障確率密度関数 $f(t)$ は

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = h(t) \cdot \exp\left\{-\int_0^t h(\tau) d\tau\right\} \quad \dots (5)$$

と表され、一般的には下記で示すようなワイブル分布に近似される。

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad \dots (6)$$

$$h(t) = \frac{m}{\eta^m} \cdot t^{m-1} \quad m : \text{形状パラメータ}, \eta : \text{尺度パラメータ}$$

このとき、健全率 $y(t)$ は、時期 t まで故障しない確率であることから

$$y(t) = 1 - F(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad \dots (7)$$

と表される。国土技術政策総合研究所（以下、国総研と呼ぶ）では、全国自治体から集めた管路のデータを元に、全管種共通の健全率予測式 ($m=1.94, \eta=61.5$) が提案されており、今回の分析ではこの式を用いる。

4. 試算結果

(1) 更新費用と維持管理費

予防保全型（時間計画保全）として、一定期間（50年）ごとに新設での更新を行った場合において、更新費用・維持管理費の推移を図-4に示す。

50年での更新費用・維持管理費の総額は327.3億円となり、年平均では6.6億円と試算された。またピーク時（2044年）には年間14.6億円が必要となる。

また、VU・TP・VP管に対しすべて管更生での更新を行った場合、50年での更新費用・維持管理費の総額は307.6億円となり、すべて新設での更新よりも19.7億円低くなった。

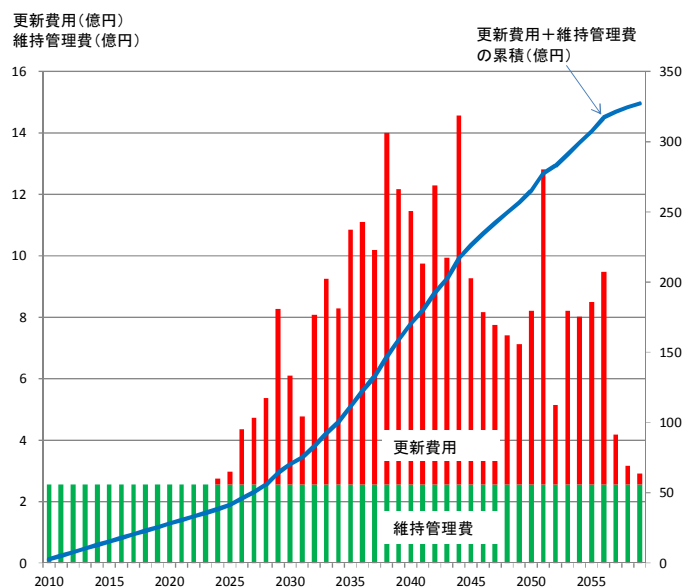


図-4 更新費用・維持管理費の推移

(2) 管路の調査費用

すべての管路を調査したときの調査費用の総額は3.5億円となる。

(3) 整備が必要となる管路延長

式(7)より算出される健全率に基づいて、健全でない管路を整備が必要となる管路と定義する。そして、更新しない場合・一定期間（50・67・100年）ごとに更新する場合の、整備が必要となる管路延長を図-5に示す。

その結果、整備が必要となる管路延長は50年ごとの場合で最大58.8km、67年ごとの場合で最大99.0km、100年ごとの場合で最大161.2kmとなった。また評価期間当初の2010年では17.4kmとなった。

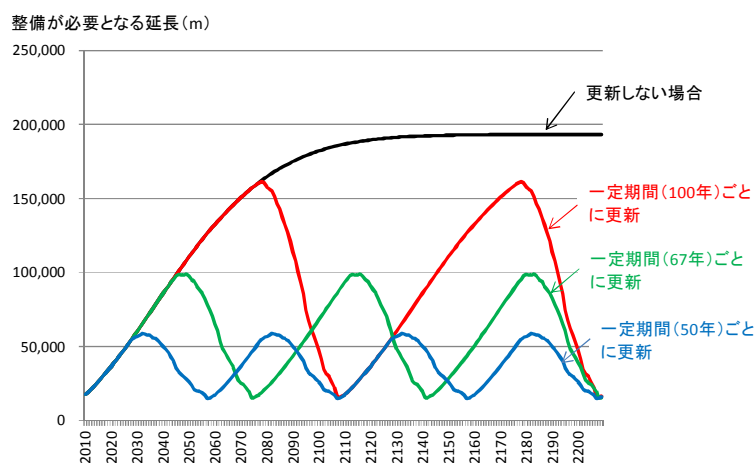


図-5 整備が必要となる延長の推移

(4) 考察

一定期間（50年）ごとに新設での更新を行った場合、更新費用・維持管理費の年平均は6.6億円である。これは、下水道使用料から流域下水道分担金を除いた額とほぼ同じであり、今後人口減少等の影響を考えると厳しい事業計画であるといえる。それゆえに、適切な管路調査により、管路の種別ごと・地域ごとに健全度を予測した上で、管路の重要度に応じて管路調査や新設の頻度にメリハリをつけることが必要である。すなわち、一定期間ごとに一律に更新を行うのではなく、管路の状態に応じて更新する予防保全型（状態監視保全）での事業計画が望ましいと考える。また、新設のみの更新ではなく、場所に応じて管更生を行うといった工法の選定も必要である。しかしながら、一定期間ごとの新設についてその期間が長くなる場合には、整備が必要となってくる不健全な管路が長くなることから、これは構造物としてのリスクが高まっていくことを意味する。それゆえに、そのようなリスクとコストの両方を見据えた上で、施設管理や維持更新のスキームを考えていく必要がある。

5. まとめ

本研究では、下水道施設の適切なストックマネジメントの必要性を認識し、施設管理や維持更新のスキームを提示すべく、京都府長岡京市の事例を挙げて、事業者としての下水道施設の更新・維持計画についての基本的な考え方をまとめた上で、定量的評価にあたっての費用や健全率を定義し、更新費用・維持管理費・整備が必要となる管路延長を試算し、その結果を考察した。

今後の課題として、第1には管路の健全度より詳細に把握した上で、現場の状況と合致した健全率予測式の精度向上に向けた改良が求められる。特に硫化水素濃度が高い腐食環境管路については、通常の管路よりも劣化速度が速く、調査方法・維持管理方法も異なることから、このような腐食環境管路の調査を早急に行う必要があり、より精度の高い管種ごとの健全率予測式を構築することが求められている。そして、現場に即した新設・長寿命化対策に関する費用関数の改良を行った上で、管路の重要度や管種・敷設年度を考慮した複数のアクションプランを作成し、そのLCCや予算といった実現可能性を比較・検討し、最適な更新戦略の策定する。

最後に、下水道管の破損は、埋設される道路の交通や安全に影響を及ぼすとともに、流下機能に支障が生じると地域環境の悪化や市民の日常生活の利便性が損なわれることが危惧される。それゆえ、下水道のシステムを長

期間維持しつづけるための科学的根拠に基づく実用的なアセットマネジメントモデルを提示することは、地域の方々への説明責任を果たす一つの契機になると考える。今後、2014年2月を目途にISOアセットマネジメント (ISO5500X) が策定され、上下水道の国際標準化がますます求められてくる。その中でアセットマネジメントを体系化し、実際の事業に適用・活用することは、事業の持続性確保、説明責任の向上、事業の効率化に資するものである。今後ともアセットマネジメント導入・標準化の機運となるような研究を進めていきたい。

【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、長岡京市上下水道部の皆様には大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- [1] 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, pp.78-86,2010.11
- [2] 長岡京市 HP, <http://www.city.nagaokakyo.kyoto.jp/>
- [3] 長岡京市：長岡京市下水道総合監視システム
- [4] 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
- [5] 日本下水道事業団HP, http://c119galb.securesites.net/gesuidou_jigyuu/am.html
- [6] 新体系土木工学 2 確率・統計解析 第4章 確率過程，土木学会編
- [7] 榊原隆・松宮洋介・深谷渉・福田康雄・西尾称英：下水道管渠の適正な管理手法に関する研究，国総研平成20年度下水道関係調査研究年次報告書集, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn0543pdf/ks054305.pdf>
- [8] 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），2010.07
- [9] 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），2011.07
- [10] 澤井 克紀：アセットマネジメントシステムの国際標準化 (ISO5500x シリーズの動向を踏まえて)，第45回土木計画学研究発表会（春大会），2012.06
- [11] 石川 高輝：上下水道の国際標準化に向けた動向，第45回土木計画学研究発表会（春大会），2012.06
- [12] 河野 広隆：インフラの健全性評価とその課題，第45回土木計画学研究発表会（春大会），2012.06
- [13] 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，2008 vol14
- [14] 国土交通省国土総合研究所下水道研究部下水道研究室：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
- [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)，2006.11
- [16] 白柳博章・北村幸定：長岡京市における下水道施設のリスク要因と劣化過程に関する研究—科学的根拠に基づく更新・維持計画の策定に向けて—，第45回土木計画学研究発表会（春大会），2012.06