

下水道管渠の改築事業量予測及び不具合リスク評価

吉田敏章* 福田康雄** 松宮洋介***

1. はじめに

下水道事業の進展に伴い下水道管渠ストックが蓄積され、都市からの下水の収集・排除が行われるようになった。平成19年度末において、下水道処理人口普及率は72%であり、下水道管渠延長は約40万km¹⁾、これは地球約10周に達する。この膨大なストックは、昭和40年代以降から急速に構築されたものであり、欧米先進国と比べれば若い。しかし、管路施設に起因した道路陥没は毎年約4,000箇所が発生しており¹⁾、老朽化の問題が顕在化している。

管渠が機能を発揮し続けるために必要となる維持管理及び改築については、ストックの増大及び老朽化に見合った規模で実施されてきたとは言い難い。財政逼迫等がこの理由として挙げられるが、老朽化した管渠が増大していく中、改築事業費を確保し、限られた予算の中で効率的に維持管理を実施していくことが求められている。適切な対応が実施されなければ、下水道の歴史が長い欧米諸国で発生している汚水流出²⁾の問題にまで発展しかねない。

そこで、管渠の改築事業費の確保に資するために、全国レベルであれ地方公共団体レベルであれ、管渠の中長期の改築事業量を予測する方法を構築した³⁾。また、改築事業量の予測ができていても具体的にどの管渠から改築していけばよいか判断ができないため、維持管理の優先度付けを可能とする管渠の不具合のリスク評価方法について検討した⁴⁾。本稿では、これらを紹介する。

2. 改築事業量予測

2.1 方法

改築事業量を予測するためには、管渠がいつ改築を要するかを把握しなければならない。管渠は法定耐用年数が50年であるが、実態は50年を経過せずに硫化水素又は荷重の影響等により破損す

るものがあつたり、50年を経過しても機能を発揮し続けているものがあつたりする。時間の経過により個々の管渠がどのように劣化し、改築を要するようになるかは、確率的な現象であり、地下に埋設されているという管渠の特性上、把握が難しい。そこで、管渠全体をマクロ的に捉え、改築を要する管渠の割合により評価し、統計的に扱うこととする。全国レベルであれ地方公共団体レベルであれ、我々の提案する手法を用いれば基本的に、年度ごとの管渠敷設延長のデータが分かれば、改築事業量を予測することができる。なお、改築事業量は改築必要延長として予測することとする。

(1) 健全率予測式の構築

改築を要する管渠の割合は、過去に下水道管理者が実施した管渠の診断⁵⁾ データを活用して求める。管渠内調査の結果より、改築又は維持管理の措置の必要性が緊急度によりスパン（マンホールで区切られる管渠）ごとに診断されることが多く（表-1）、地方公共団体へのヒアリング結果からは、緊急度I又は緊急度IIの状態を改築対象としている例が多い。よって、緊急度III又は緊急度なしと診断された状態を健全な状態とし、健全なスパンの割合（以下「見かけの健全率」という。）を考える。

診断データは改築がなされていない管渠が対象となっているので、既に改築が必要となり、改築がなされた管渠が除外されており、見かけの健全率は実際の健全率と比較して高目になる。これを補正するために、経過年数ごとに改築がなされていない管渠の割合（以下「累積残存率」という。）を見かけの健全率に乗じることにより、実際の健全率を求める。この健全率を、経過年数により推定した式が健全率予測式であり、改築事業量予測の核となる。なお、経過年数 n 年における累積残存率 R_n は次式のとおり表現される。

表-1 緊急度の診断基準例

	区分	対応の基準
緊急度I	重度	速やかに措置することが必要
緊急度II	中度	簡易な対応により必要な措置を5年未満まで延長できる
緊急度III	軽度	簡易な対応により必要な措置を5年以上にまで延長できる

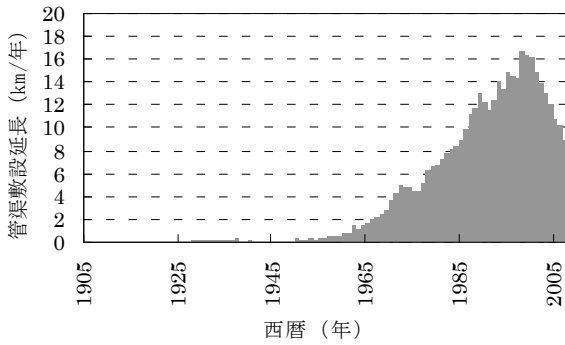


図-1 モデル都市における管渠敷設延長

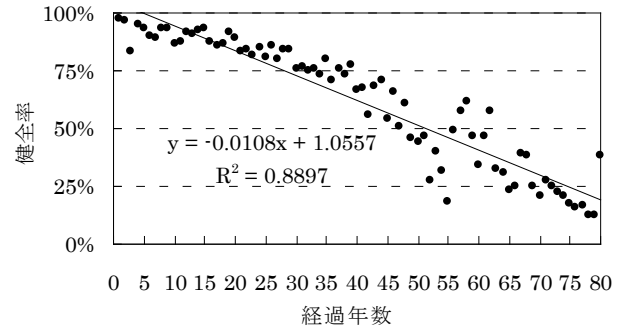


図-2 健全率予測式

$$R_n = (1 - r_1) \times (1 - r_2) \times \dots \times (1 - r_n)$$

(r_i : 経過年数 i 年に管渠が改築される割合)

ここでは、全国平均的な健全率予測式の算定を行った。12の地方公共団体から得られた約17万スパンの管渠内調査結果を用いて、見かけの健全率のデータを整理し、平成18～20年度に実施した全国的な管渠延長に係る調査結果を用いて、累積残存率のデータを整理し、健全率予測式を求め

(2) 健全率予測式による改築事業量の予測

将来におけるある年度の改築事業量は、その年度の管渠総延長からその年度に健全な状態である管渠延長を差し引いたものである。ある年度に健全な状態である管渠延長は、過去に敷設された経過年数ごとの管渠延長に、予測式から計算される経過年数ごとの健全率を乗じて総計することにより求められる。

ここでは、図-1の管渠敷設延長を持つモデル都市（管渠総延長406km）を対象にして、改築事業量を予測する。法定耐用年数で改築する場合との比較も行う。

2.2 結果

(1) 健全率予測式の推定

経過年数ごとの健全率のプロット及び線形関数で推定した健全率予測式を図-2に示す。年度あたりに改築を要する管渠の割合は、経過年数によらず一定であると考えることができ、その割合は約1.08%であることが分かった。管渠の平均的な耐用年数は、 51.5 年 $(= [1.0557 / 0.0108 + (1.0557 - 1) / 0.0108] / 2)$ ということになり、法定耐用年数とほぼ等しい。なお、この健全率予測式は、全国レベルの改築事業量予測に使えるだけでなく、十分な管渠の診断データを有さない地方公共団体での改築事業量の推定にも有用である。

(2) 健全率予測式による改築事業量の予測

健全率予測式を用いた場合、法定耐用年数を用いた場合の改築事業量予測の結果を、それぞれ図-3、図-4に示す。健全率予測式を用いることは、老朽化の実態を踏まえた合理的な改築必要延長の予測方法であるだけでなく、改築事業量が平準化されることにより安定した下水道経営に資することが分かった。

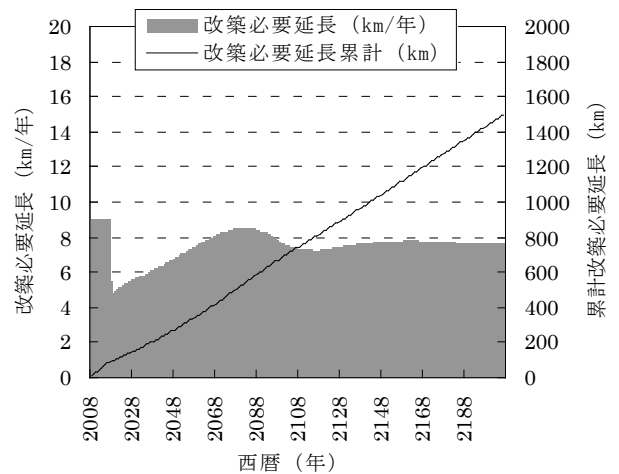


図-3 健全率予測式による改築事業量予測

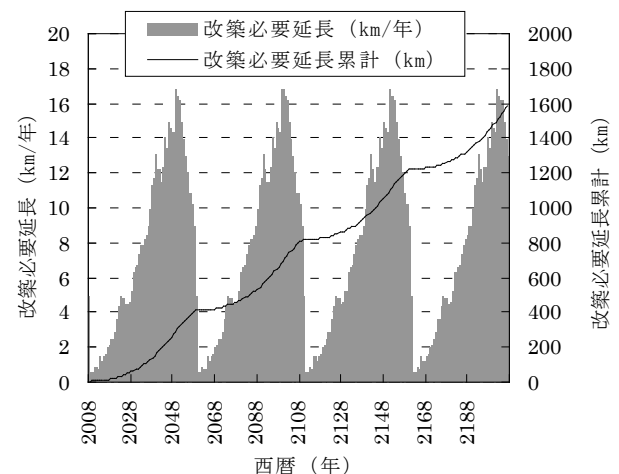


図-4 法定耐用年数による改築事業量予測

3. 不具合リスク評価

3.1 方法

管渠には、破損、腐食、たるみ・蛇行といった様々な不具合が発生する可能性が潜んでいるが、管渠の状態の調査にはテレビカメラ調査等の経費及び道路占用時間を要することから、効率的に不具合の発生箇所を把握することが求められる。つまり、管渠内調査の優先度付けが必要となる。当然のことながら、不具合の発生確率が高い箇所を優先するのであるが、管渠には歩道下の小口径のものから幹線道路下にあり陥没すると交通障害等の社会経済的に大きな影響を与えるものまであり、その重要度を勘案して優先度付けを行うべきである。そこで、不具合発生の可能性と管渠の不具合事故の重大性を乗じたもの（以下「不具合リスク」という。）により、管渠内調査の優先度付けを行うこととする。

(1) 不具合発生の可能性の定量化

過去に下水道管理者が実施した管渠内調査結果から、管渠の属性と不具合発生の有無との関係を分析し、属性に応じた不具合発生の可能性を定量化する。下水道台帳等で整理されていないために分析の対象とすることが難しいが、不具合発生に比較的強く影響すると考えられる属性については、分析の対象とした属性をAHP法で比較評価することにより、不具合発生の可能性の説明変数にすることができる。

ここでは、2.1 (1) で説明した約17万スパンの管渠内調査結果を活用し、全国平均的な不具合発生の可能性を定量化する。分析の対象とする管渠の属性としては、下水道台帳より経過年数(年)、取付管本数(本/スパン)及び土被り(m)を抽出する。ロジスティック回帰分析を用い、管渠の属性を説明変数とした不具合の発生確率 $Pr(Y=1)$ を次式のとおり求める。

$$Pr(Y=1) = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_r X_r)]}$$

(β_i : 係数、 X_i : 説明変数、 r : 説明変数の個数)

なお、ロジット($\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_r X_r$)と $Pr(Y=1)$ との関係は図-5のとおりである。経過年数、取付管本数及び土被り以外で、不具合発生に比較的強く影響すると考えられる属性としては、地盤の良し悪し、木根侵入に影響を与える植樹帯

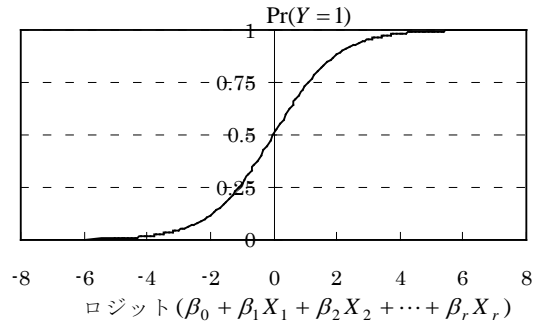


図-5 ロジスティック曲線

左が極めて重要である	左が非常に重要である	左がやや重要である	同じくらい重要である	右がやや重要である	右が非常に重要である	右が極めて重要である
------------	------------	-----------	------------	-----------	------------	------------

経過年数	9	7	5	3	1	3	5	7	9	植樹帯の有無
植樹帯の有無	9	7	5	3	1	3	5	7	9	特殊排水の有無

図-6 AHP法の一対比較例

の有無及び圧送管開放等による硫化水素等の特殊排水の有無の3つが挙げられる。これらを経過年数、取付管本数及び土被りと、AHP法の一対比較により評価する(図-6)。

(2) 管渠の不具合事故の重大性の定量化

管渠の不具合事故の重大性は、不具合に起因する事故の影響の重大性と捉えて評価する。事故の影響の具体的な項目としては、復旧工事費の発生、交通途絶の被害、鉄道等の二次被害、災害時の悪影響及び下水道サービスの停止が挙げられる。これらは、金銭化等の定量化が難しいものが多いことから、管渠の属性間の比較と同様、一対比較によって相対的な評価を行うことが考えられる。埋設されている道路や地域特性といった情報から、管渠に重大性という属性を付加することができる。

3.2 結果

(1) 不具合発生の可能性の評価

管種ごとの特性を検討するために、陶管、鉄筋コンクリート管及び硬質塩ビ管の区分ごとに分析を行った。あわせて管種を統合し、全管種としての分析も行った。また、不具合については、破損、腐食、クラック、継手ずれ、たるみ、浸入水及び取付管突き出しという項目ごとの分析並びにこれら不具合のどれか一つでもあれば不具合があったとする全損傷の分析を行った。統計的な評価、工

表-2 不具合発生の可能性の定量化結果

不具合の項目	管種の区分	説明変数の係数				分析データ数
		経過年数	取付管本数	土被り	定数項	
全損傷	全管種	0.066	0.071	-0.087	-1.253	27560
	陶管	0.080	0.175		-1.683	9591
	鉄筋コンクリート管	0.041	0.043		-0.643	15503
破損	全管種	0.062	0.047	-0.264	-2.798	29379
	陶管	0.054	0.065		-2.461	11410
	鉄筋コンクリート管	0.050	0.049	-0.206	-2.890	15503
継手ずれ	全管種	0.067	0.042		-3.125	29379
	鉄筋コンクリート管	0.057	0.044	-0.153	-2.714	15503
浸入水	全管種		0.060	0.679	-2.983	29379
	鉄筋コンクリート管	0.035	0.056	0.585	-3.875	15503
取付管突き出し	全管種	0.062	0.098	-0.237	-3.927	29379
	陶管	0.076	0.107	-0.175	-4.697	11410
	鉄筋コンクリート管	0.057	0.087	-0.330	-3.376	15503

学的な判断及び実データとの対比結果を踏まえ妥当であると判断された分析結果を表-2に示す。硬質塩ビ管、腐食、クラック及びたるみについては、有効な分析結果が得られなかった。管渠内調査の優先度付けにおいて最も重要と考えられる全損傷については、陶管と鉄筋コンクリート管とで明らかに定量化結果が異なり、どちらも経過年数及び取付管本数が説明変数であるものの、陶管の方が2つの説明変数の影響を強く受け、特に、取付管本数の影響が大きいことが分かった。地盤の良し悪し、植樹帯の有無及び特殊排水の有無に関する一対比較については、複数の下水道管路管理技士の協力を得て実施するものであり、今後結果を公表していく。

(2) 管渠の不具合事故の重大性の定量化

地方公共団体の協力を得て、不具合に起因する事故の影響の項目について一対比較を実施し、具体的な定量化方法を構築していくこととしている。

4. まとめ

管渠の健全率予測式を推定することにより、改築が必要となる管渠の割合は毎年約1.08%であり、平均的な耐用年数は51.5年で法定耐用年数とほぼ等しいことが分かった。健全率予測式を用いた改

築事業量の予測は、改築の必要性の実態を踏まえており、改築事業量の平準化も見込める。

管渠の不具合発生の可能性を定量化することができ、例えば、陶管及び鉄筋コンクリート管において全損傷が発生する確率の説明変数は経過年数及び取付管本数であった。今後は、管渠の他の属性も取り込んだ不具合発生の可能性の定量化を行うとともに、管渠の不具合事故の重大性についても定量化し、不具合リスク評価を進めていく。

謝 辞

本調査の実施にあたりデータ提供等の協力をいただいた地方公共団体の皆様に謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成21年度下水道事業概算要求概要、p24、p66、2008
- 2) 松宮洋介：欧米諸国の下水道管路老朽化問題、水環境学会誌、Vol.32、No.4、pp.22～25、2009
- 3) 福田康雄、西尾称英、松宮洋介：下水管きよの健全率を考慮した中長期改築事業量予測に関する調査、第46回下水道研究発表会講演集、pp.83～85、2009
- 4) 西尾称英、福田康雄、松宮洋介：下水道管きよの不具合リスク評価に関する検討、第46回下水道研究発表会講演集、pp.110～112、2009
- 5) (社)日本下水道協会：下水道維持管理指針 前編 -2003年版-、pp.122～125、2003

吉田敏章*



国土交通省国土技術政策総合
研究所下水道研究部下水道研
究室 主任研究官
Toshiaki YOSHIDA

福田康雄**



国土交通省国土技術政策総合
研究所下水道研究部下水道研
究室 研究官
Yasuo FUKUDA

松宮洋介***



国土交通省国土技術政策総合
研究所下水道研究部下水道研
究室長
Yosuke MATSUMIYA