

◆特集：下水道が守る水、環境、資源の循環◆

下水道管きよのアセットマネジメント研究

松宮洋介* 福田康雄** 深谷 渉*** 榎原 隆****

1. 背景

近年、下水道管きよに関連した道路陥没が多発しており、国交省は下水道管理者である地方自治体へ緊急点検を要請し、結果を公表した¹⁾。道路陥没は、東京や大阪など古くから下水道に取り組んでいる大都市で大きな問題となっており、管きよの老朽化との関連が注目されている^{2), 3)}。国全体で見た場合、法令の標準耐用年数の50年を過ぎた管きよは全資産のほんの一部であり⁴⁾ 今後、老朽管が増えた場合、さらなる道路陥没が生じ、交通障害や人身事故の恐れがある。このような状況のもと、アセットマネジメント (AM) による効率的かつ効果的な管きよの管理が現在、必要となっている。

2. 管きよのAMの方向性

2.1 長期経営計画の策定

管きよのAMの第1の目的として長期改築事業量予測に基づく長期経営計画の策定があげられる。ある自治体からのヒアリングによると将来の改築等事業量を合理的に説明できないために技術者の採用を人事当局に認めてもらえない状態にあるという。新規採用職員の雇用期間を考え30～40年後の長期事業量予測を的確に行い、技術者の採用、教育を行う必要がある。

下水処理場のアセットマネジメントとして、点検調査の結果から個別の資産に対し、将来の健全度と期間費用 (LCC) を予測する手法が提案されている⁵⁾。しかしながら、管きよの場合、個別の管きよの劣化進行を予測して、その積み上げで、長期改築事業量の予測を行うのは現実的でない。その理由を以下に示す。

管きよの場合、マンホールからマンホールの1路線 (スパン) を基本単位として、劣化診断を行う。自治体からのヒアリングによると、既設管は

30m程度を1スパンにしている場合が多いとのことである。38万kmに及ぶ国内の管きよ資産はスパン数に直すと約1300万となり、膨大な資産数となる。下水道事業を実施しているのは約1100自治体である。1自治体が管理するスパン数は平均で1万を超える。このような膨大な資産に対し、点検調査結果から、残寿命やLCCを推測することは、実施可能性の面で問題がある。

管きよの劣化はコンクリート管の腐食のように時間とともに徐々に進行するものもあるが、自治体からのヒアリングによると他の道路埋設管工事による想定外の外力で、ある日突然、損傷する場合が多いとのことである。また、他工事による損傷があったとしても、電気、水道、ガスに比べ、問題が直ちに顕在化することが少ないため、後に陥没等の被害が発生して判明することが多いようである。このようなケースに対しては、定期的に点検調査を実施していても、それら点検調査が外的損傷前では、的確に残寿命や将来の健全度を推測できない。

そこで、平均経済耐用年数とマクロな劣化曲線から長期改築事業量予測を行うことを提案する。

2.2 事業実施優先順位決定の合理化

管きよのアセットマネジメントの第2の目的は事業実施優先順位決定の合理化と考えられる。

財政事情が悪化する中、台帳作成、診断調査、改築・更新・補修事業の実施にあたり、リスク評価を導入し、優先順位決定の合理化を図ることにより、効率的な事業実施を行う必要がある。リスクは以下の式で定義される⁶⁾。管きよの場合、スパン毎に把握するのが妥当である。

$$(\text{リスク}) = (\text{不具合の可能性}) \times (\text{不具合による事故等の影響の大きさ}) \quad (1)$$

当研究室は、リスク評価ツールとして、劣化箇所予測式、リスク点数計算表の開発に取り組んでいる。また道路陥没リスクを的確に把握するための基礎的調査として経年管の外圧試験を実施した。

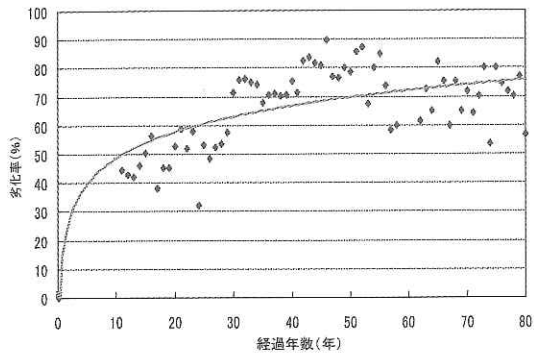


図-1 7都市平均劣化曲線 (3管種平均)

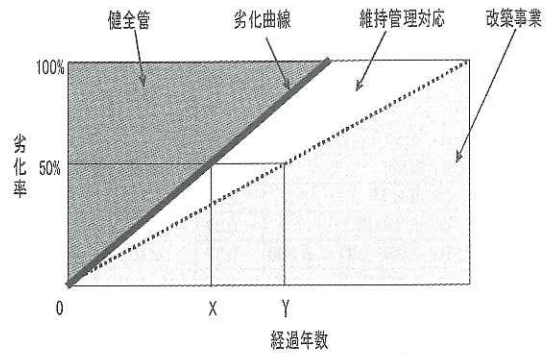


図-2 長期改築事業量の予測方法

3. 国総研の研究

3.1 マクロな劣化曲線

下水道統計⁷⁾でスクリーニングした後、ヒアリングを行い、管渠調査を面的に行っている7都市(大都市3団体、中小都市4団体)を選定した。面的調査とは一定の年数を過ぎた管渠に対する網羅的調査または経過年数に関係なく特定地区の管に対する網羅的調査を意味する。悪臭やつまり等、不具合被害が発生している管だけを調査している自治体のデータを用いて劣化曲線を書くと、劣化進行が実際以上に早く進む誤差が生じるために、このような事前選定を行った。これらの自治体から2000～2004年度に実施したテレビカメラまたは目視調査の結果を提供頂いた。これをもとに自治体毎に、代表的3管種(硬質塩化ビニル管、鉄筋コンクリート管、陶管)に分けて、経過年数毎の劣化率を算出し、対数近似曲線をグラフ化したものを劣化曲線とした。

$$\text{劣化率}(\%) = \frac{(\text{劣化ありスパンの総数})}{(\text{診断スパン総数})} \times 100(\%) \quad (2)$$

7都市平均劣化曲線(3管種平均)を図-1に示す。

本劣化曲線は、経過年数毎の各自治体の管種別劣化率を算術平均している。自治体毎の診断スパン数に大きな差があるため、特定の自治体の傾向に引っ張られるのを回避するため各自治体の診断スパン数と劣化スパン数を分母、分子で総和をとり劣化率を計算する方法は採用しなかった。

3.2 平均経済耐用年数

平均経済耐用年数の検討は現在、実施中である。平均経済耐用年数が定まった場合、先述のマクロな劣化曲線と組み合わせて、以下のような方法により将来改築事業量を推定することができる。

まず、管きょ調査結果に基づき、平均的な劣化曲線を描く(図-2参照)。図-2では劣化曲線を模式的に実線の直線で示してある。この場合、劣化した管きょを全て改築するとすれば、管きょの「平均寿命」は劣化率50%に対応する経過年数Xとなる。劣化した資産のうち、一部を維持管理対応(白)とし、残りを改築する(黄色)こととする。その割り振りは、適正な維持管理により延命化された「平均寿命」が平均経済耐用年数(Y年)となるようにする(図の例では、X才をY才に延命することとなる)。この手法により長期にわたる改築延長を算出できる。

3.3 劣化箇所予測式⁸⁾

東京都の管路内調査結果を用いて多変量解析による劣化箇所予測式が提案されている^{9),10)}。事業の歴史が浅い中小都市が、個々にモデル開発することは、データ数に限りがあり困難である。そこで、本研究では中小都市における活用を念頭に既往研究にならない劣化箇所予測式を作成した。本予測式によるスパン毎の計算結果の大小により、不具合の可能性が判断できる。

劣化箇所予測式は、5市の有効スパン7,518スパンから作成した。尚、5市は劣化曲線作成にデータ提供頂いた中小都市4市と比較的小規模な政令市1市である。5市の有効スパン数は最大5,679スパンから最小1,010スパンと大きく異なっており、スパン数の多少による偏重を避けるため、各市1,000～2,000スパンとなるようにデータを無作為に抽出し、予測式の作成に採用した。解析手法には質的な形で与えられた目的変数(外的基準)を質的な要因に基づいて予測する方法である数量化第Ⅱ類を適用した⁹⁾。説明変数については、5市全てにおいてデータが収集された管種、管径、埋

表-1 解析結果

説明変数		区 分	全損傷		腐 食		破損・クラッシュ			継手ズレ				
			カテゴリ スコア	レンジ	カテゴリ スコア	レンジ	カテゴリ スコア	レンジ	カテゴリ スコア	レンジ				
A	管種	A ₁ ヒューム管	- 0.17	2.98	①	- 0.32	1.72	②	- 0.13	3.32	①	- 0.16	1.91	②
		A ₂ 陶管	- 0.41			1.44			- 0.70			0.07		
		A ₃ 塩ビ管	2.58			1.30			2.62			1.75		
B	管径	B ₁ φ 350 以下	- 0.24	2.10	②	- 0.24	1.32	③	- 0.24	1.84	②	- 0.21	1.04	①
		B ₂ φ 350 < D < φ 800	0.57			0.66			0.66			0.47		
		B ₃ φ 350 以下	1.87			1.11			1.60			1.83		
C	埋設 経過 年間	C ₁ 0～9 年	- 0.18	1.19	③	- 0.20	3.16	①	- 0.23	1.61	③	- 0.12	1.68	③
		C ₂ 10～19 年	0.25			0.04			0.20			0.46		
		C ₃ 20～29 年	0.19			0.71			0.16			0.69		
		C ₄ 30～34 年	- 0.60			- 0.65			- 0.58			- 0.99		
		C ₅ 35～39 年	0.51			0.38			0.48			0.44		
		C ₆ 40～44 年	- 0.13			- 0.01			0.18			- 0.66		
		C ₇ 45～49 年	0.51			0.96			0.91			- 0.01		
		C ₈ 50 年以上	- 0.68			- 2.20			- 0.71			- 0.90		
相間比			0.22		0.11		0.16			0.11				
判別の中華			76%		65%		67%			68%				

設経過年数の3項目とした。劣化項目の分類のうち「全損傷」とは「腐食」、「たるみ」、「破損・クラック」、「継手ズレ」、「浸入水」のいずれかがあるものを指し、「取付け管の突出し」や「樹木根侵入」等の清掃時等で除去できる項目は除外した。

解析結果と例として劣化箇所予測式を示す。

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.17A_1 - 0.41A_2 + 2.58A_3 - 0.24B_1 \\
 & + 0.57B_2 + 1.87B_3 - 0.18C_1 + 0.25C_2 \\
 & + 0.19C_3 - 0.60C_4 + 0.51C_5 - 0.13C_6 \\
 & + 0.51C_7 - 0.68C_8
 \end{aligned} \quad (3)$$

カテゴリスコアは、各カテゴリが劣化に与える相対的な影響度合いを示している。その値が負で、0を下回る度合いが大きいカテゴリほど管が劣化しやすい区分であることを意味する。劣化予測式はこのカテゴリスコアに基づいて作成した。レンジ(範囲)は、各説明変数のカテゴリスコアの範囲(最大値と最小値の差分)であり、その説明変数が目的変数に与える影響度合いを示す。レンジが大きい説明変数ほど劣化への影響度合いが高い変数であることを意味している。判別の中率は、作成した劣化箇所予測式を基に「判定群と実績群が一致したサンプル数/全有効サンプル数」の割合をパーセント表示したものである。判別基準は、全損傷の場合を例にとると、各スパンで式(3)を計算し、左辺のY値がマイナスであればそのスパンは全損傷ありと判断する。各式のY値の計算は、管種、管径、経過年数の該当する各区分の変数に

1を代入し、該当しない区分の変数に0を代入する。判別の中率が76%であったことから、劣化箇所予測式に基づく判別により劣化の有無をおおまかに予測することは可能と考える。3つの説明変数のレンジを比較すると、「管種」、「管径」、「埋設経過年数」の順にレンジが高くなった。「管種」では陶管、「管径」では直径350mm以下のもの、「埋設経過年数」については30年以上経過した施設が劣化しやすいものと考えられる。予測の精度向上を図るためには、説明変数となるデータの蓄積整理とあわせて、下水道台帳と劣化診断結果データの相互リンクを進める必要がある。

3.4 リスク点数計算表¹¹⁾

諸外国の中で最もAMが進んでいる豪州¹²⁾のイップススイッチウォーターでは、個々の資産のリスク評価を行うための点数計算表を作成している。資産ごとに、不具合事故の影響の大きさと不具合が生じる可能性の点数計算を行う。点数計算はそれぞれの要因ごとの重みにより加重平均される。各資産のリスクはリスク判定行列(5行5列)により、決定される。社会経済状況が異なるため豪州の尺度はそのまま使えないが、現場での経験が重視される管きょ管理において、現場の知見を体系的にまとめた点数計算表によりリスク評価を行うことは有効と考えられる。そこで、我が国の事情を考慮した管きょ限定のリスク計算表の作成を行うこととした。

表-2 不具合が生じる可能性の点数計算表

要 因	影響点数	要因細目	影響点数
水質 (コンクリート管)	4.7	ビルピット排水を受ける	4.1
		圧送管下流	4.6
		伏越、不良勾配、工場排水	3.9
		素焼き陶管	4.1
管材料	3.9	コンクリート管 (場所打ち)	3.7
		コンクリート管 (手詰め管)	4.1
		陶管 (新規格)	3.4
		ビューム管	2.7
		塩ビ管	1.1
		FRPM等	0.7
地 盤	3.6	海面埋立て	3.7
		ため池、水路の埋め立て地	3.9
		盛土	3.1
		地下水が高い	3.1
		終戦直後or繁忙期	2.6
施工時期	2.4		2.6
維持管理困難箇所	2.1		2.3
他企業工事	2.9	下部掘削	3.6
		離隔がない (下部掘削ではない)	2.4
		繁華街 (油)	3.3
地表の状況	2.3	公園、学校、グラウンド (砂)	2.0
		植樹帯	2.6
		交通量 (幹線道路下)	3.7
荷 重	3.0	浅埋 (0.6~1.0m)	4.0
		盛土追加部	3.1
		0~10年	0.6
経過年数	3.0	10~30年	1.4
		30~50年	2.4
		50年~	3.7

大阪市都市環境局下水道部の職員計7名にご協力頂き、リスク計算表の作成を行った。KJ法¹³⁾を模したワークショップを4時間実施し、不具合事故の影響の大きさ、不具合が生じる可能性に関わる要因及びこれらをさらにブレイクダウンした要因細目を抽出した。後日、7名に対し、各要因と要因細目の影響度合いについてアンケート調査した。アンケートでは要因、要因細目とも、6段階で質問した。6段階とは、影響なし (0点)、ほとんどない (1点)、小さい (2点)、ある (3点)、大きい (4点)、とても大きい (5点) である。7名の回答の平均値を各要因と要因細目の影響度合い (影響点数) とした。

不具合が生じる可能性の点数計算表を表-2、不具合事故の影響の大きさの点数計算表を表-3に示す。

本表によるリスク計算方法は以下の通りである。
(1) スパン単位で不具合が生じる可能性と不具合事故の影響の大きさの点数を計算する。

表-3 不具合事故の影響の大きさについての点数計算表

要 因	影響点数	要因細目	影響点数
交通影響	4.7	軌道下	4.6
		幹線道路下	4.3
		歩行者の多いところ	3.0
復旧時間	3.6	開削での復旧工事の可否	3.6
		河川横断	4.0
		バイパスルートの有無	3.0
		人口密集地区 (住宅)	4.1
下水道 サービスの 継続性	3.4	商店密集地区	3.7
		観光地	2.7
		公的機関への影響が出るところ	2.9
		浸水常襲地域	3.0
		お年寄りが多い地区	2.4
		ターミナル駅	3.6
		幹線	3.7
		送水管 (圧送管)	3.7
		排流きょ (放流きょ)	4.3
		ガス管近接	3.9
二次災害	3.4	NTT管近接	2.9
		電線、水道、地下鉄	3.0
		鉄道高架近接	3.0
		高架道路近接、河川構造物近接	3.1
		緊急輸送路	3.9
災害時の 危機管理	3.1	避難路	3.3
		防災拠点と避難所を結ぶ管きょ	3.3

(2) それぞれの点数は各要因で計算し、総和をとる。

(3) 各要因の点数は以下の式で計算する。

(各要因の点数)

$$= (\text{各要因の影響点数}) \times$$

(スパンが該当する要因細目の影響点数の最大値)

$$\div (\text{細目の影響点数の最大値}) \quad (4)$$

この式の意味は、例えば、あるスパンがコンクリート管でかつ圧送管下流である場合、4.7点 (= $4.7 \times 4.6/4.6$) を獲得する。圧送管下流ではないがビルピット排水を受ける場合、4.2点 (= $4.7 \times 4.1/4.6$) を獲得する。仮に、圧送管下流かつビルピット排水を受けるスパンであっても、水質に関しては4.7点止まりである。

(4) 不具合が生じる可能性の点数と不具合事故の影響の大きさの点数の積をリスクの大きさとする。

本手法による不具合が生じる可能性の点数計算表は、経験に依存している。適用に当たっては、実際の管きょの診断結果と照合しつつ改良を加えればより良いものとなる。

表-4 外圧試験の結果

基礎情報			劣化診断結果						外圧試験結果	
			管内面			管外面			規格値に対する試験結果値の割合 (%)	
管 種	管径 (mm)	敷設年	腐 食	破 損	クラック	腐 食	破 損	クラック	ひび割れ	破 壊
台付手詰	φ 520	S10	B	C			C	C	初期クラック	137%
台付手詰	φ 520	S10	B				C		98%	142%
台付手詰	φ 520	S10	B						166%	154%
B 形	φ 250	S26							280%	182%
B 形	φ 250	S26							274%	178%
B 形	φ 250	S26							263%	172%
手 詰	φ 450	不明	B			B			141%	152%
手 詰	φ 450	不明	B			B			103%	119%
手 詰	φ 450	不明	B			B			134%	138%
手 詰	φ 450	不明	B			B			126%	143%
手 詰	φ 450	不明	B			B	C		122%	133%
手 詰	φ 450	S2	C	C		B			174%	183%
手 詰	φ 450	S2		C		B			240%	146%
手 詰	φ 450	S2	C			B			160%	188%
手 詰	φ 450	S2		C		B	C		74%	207%
A 型	φ 250	S25							214%	140%
A 型	φ 250	S25							169%	151%
A 型	φ 250	S25							164%	146%
台付手詰	φ 530	不明	B						151%	141%
台付手詰	φ 530	不明	B						152%	208%
台付手詰	φ 530	不明	B						158%	138%
B 形	φ 600	H2							182%	124%
B 形	φ 250	S43		C			C	C	232%	151%
B 形	φ 250	S43	C						258%	168%
B 形	φ 250	S43	C						243%	163%
スパンパイプ	φ 450	不明		C					154%	133%
スパンパイプ	φ 450	不明		C					92%	111%

3.5 経年管の外圧試験¹⁴⁾

敷設後年数の経過した管渠（経年管）の鉄筋コンクリート管の耐荷力を明らかにするため、A自治体の改築工事で不要となった管渠を回収し、劣化診断、外圧試験を実施した。改築工事は下水管渠の劣化により実施されたのではなく、計画の見直しに伴い、流下能力向上のための管径変更を目的としたものである。従って、回収した下水管渠はある程度劣化しているものもあれば、劣化していないものもある。対象管の基礎情報、劣化診断の結果、外圧試験の結果を表-4に示す。異常判定Bは「中程度の劣化、異常がある」、異常判定Cは「劣化、異常の程度は低い」を意味する。今回はなかったが異常判定Aが「劣化、異常が進んでいる」を意味する。

腐食、破損等がB、Cレベルの経年管は、ひび割れ荷重が規格を下回る場合もあったが、破壊荷重は全て規格値を満足していた。一方、別途実施

した下水管渠破損部分への地盤材料の引き込みに関する実験によると、スリット幅が10mmを超えると、地盤材料の種類を問わず土砂崩壊の危険性が著しく増加することが判明している。自治体からのヒアリング結果では「道路陥没は、本管同士の継ぎ手のずれ、本管と取り付け管の接合不良箇所により埋め戻し土が引き込まれて生じているケースが多い。また、取り付け管が他企業工事で破損し、道路陥没を引き起こす場合も多い。但し、本管の管体そのものが破損し陥没する例は少ない。」と言われており、今回の実験結果はこのような自治体の声と符合する。

4. おわりに

本研究の意図はアセットマネジメントの手法の提示であり、各自治体がマクロな劣化曲線、平均経済耐用年数、劣化箇所予測式、リスク計算表を作成するのが基本と考えている。しかしながら、

蓄積データ等の制約により困難な場合も想定されるため、標準的なマクロな劣化曲線等の作成にも取り組んでいる。これらの手法が下水道事業に活用されるよう実務者との対話を図りながら研究を継続する所存である。本研究に協力頂いた各自治体の方に感謝申し上げます。

管渠の適正な管理手法に関する研究、平成18年度下水道関係調査年次報告集、国土技術政策総合研究所(印刷中)

参考文献

- 1) 国土交通省下水道事業課：下水管路の損傷状況に関する点検等調査の結果について、平成18年12月7日
- 2) 東京都下水道局：区部下水道主要施策の展開、東京都下水道局事業概要 平成18年版
- 3) 大阪府都市環境局：下水管渠のリフレッシュ、平成16年度の都市環境局の下水道にかかる業績評価結果
- 4) 松宮洋介、福田康雄、深谷 渉、榊原 隆：下水道管きよのアセットマネジメント研究、下水道協会誌、Vol.44, No.536、2007年8月(印刷中)
- 5) 日本下水道事業団：下水道におけるアセットマネジメント手法導入検討報告書、平成18年5月
- 6) (社)日本下水道協会：下水道統計、平成16年度版、
- 7) USEPA：Advanced Asset Management Training Workshops, Training Slides, December 2006
- 8) 岩元 誠、濱田知幸、松宮洋介：多変量解析による下水道管渠の劣化箇所予測の検討、第44回下水道研究発表会講演集、(社)日本下水道協会、平成19年度(印刷中)
- 9) 小泉 明、何 善、孫 躍平：数理化理論による下水道管渠の損傷判別分析、環境工学研究論文集、第38巻、2001年
- 10) 保坂成司、大木宣章、梶ヶ谷勝、高橋岩仁：既設下水道管腐食の実態調査結果に基づく多変量解析による下水道管の腐食予測の検討、下水道協会誌、Vol.42, No.517、2005年11月
- 11) 松宮洋介、岩元 誠、田本典秀：管きよのストックマネジメント方法に関する提案、文献7)と同じ
- 12) 水谷哲也：オーストラリアにおけるアセットマネジメントの現状、海外におけるアセットマネジメント報告会、下水道新技術推進機構、H19年1月
- 13) 川喜多二郎：KJ法の展開と応用、続・発想法、昭和45年2月
- 14) 藤生和也、松宮洋介、濱田知幸、岩元 誠：下水道

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、主任研究官
Yosuke MATSUMIYA

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

深谷 渉***



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
Wataru FUKATANI

榊原 隆****



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
Takashi SAKAKIBARA