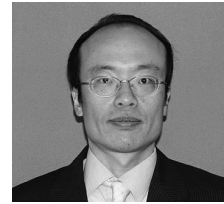


## 第4回（最終回）マクロマネジメント —管きよの改築事業量の予測—



さいたま市建設局副理事（前 国土技術政策総合研究所下水道研究室長） 松宮 洋介

### 1. はじめに

一言でストックマネジメント計画は何かと問われた時、長期事業計画と答えている。必要な事業費を長期的に予測し、その確保に努めることは、事業の継続性を図る上で不可欠であり、下水道管理者の責務である。長期的な必要事業量を合理的に予測することにより、関係者の納得を得て、長期事業計画に盛り込む必要がある。長期の事業量予測は新設や機能向上など改築以外の建設事業ならびに調査、修繕等の維持管理も含まれるが、老朽資産の増加に伴い、今後は改築事業量を適切に見積もることがより重要になると思料する。本稿では、ストックマネジメントのマクロマネジメントとして、管きよの改築事業量の予測手法を提案する<sup>1) 2)</sup>。

なお、本連載は5回の予定であったが、本稿を執筆している3月下旬に著者に異動の内示があったため、今回（第4回）で打ち切りとさせていただきます。手違いにより第2回と第3回の記事内容が大きくダブってしまったことと併せて深くお詫びいたします。

### 2. 健全率予測式の作成方法

将来、発生する改築事業量の予測に当り、過年度に実施した管きよ調査のデータと改築の実績データを活用することを提案する。長期の改築事業量予測に当たっては、法定耐用年数である50年を基本に検討される場合もあるが、これは管きよの劣化進行の実態を反映したものでなく、わかりやすいが説得力に欠ける。

ここで紹介する健全率曲線およびその近似式である健全率予測式は、全体資産数に対する健全資産数の割合の推移を示すものである。個々の管あるいはスパンの健全度の時間的変化を示す「健全度曲線」ではない。

### 2-1 見かけの健全率

まず、管きよ調査結果を整理する。整理する項目は①管種、②経過年数、③スパンの判定結果である。但し、2.と3.では、手法が読者に理解しやすいように、管種別に分けないケースを紹介する。管種別の解析は4.で言及する。

次に経過年数であるが、これは健全率曲線の横軸（X軸）として必須である。布設年度と管きよの調査年度の差が経過年数であり、管齢と呼ばれる場合もある。

最後にスパンの判定結果であるが、これを得るための管きよの調査診断方法は、下水道協会発行の維持管理指針<sup>3)</sup>や手引き<sup>4)</sup>に手法が示されているものの、各自治体で独自の判定方法が採用されている場合もある。特に政令市など歴史の古い団体はその傾向が強いが、これは、おそらく協会で統一的な指針が示される前から独自の基準を設けて実施していたために、そうなっていると思料する。協会の指針ではスパンごとに緊急度Ⅰ（重度）、緊急度Ⅱ（中度）、緊急度Ⅲ（軽度）、劣化なしの4段階に判定されることになる（表-1）。

表-1 緊急度の対応の基準

	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年以上まで延長できる

我々の提案する健全率曲線の縦軸（Y軸）には、協会指針によるスパンの緊急度判定方法に基づき健全なスパン数の割合を用いる。12の自治体から約17万スパンの本管調査データを提供頂き、協会の指針に基づき読み替えて統合している。また、緊急度Ⅰと緊急度Ⅱを改築対象となる劣化ありの状態と定義

し、緊急度Ⅲと劣化なしを改築が必要とならない状態、つまり健全な状態と定義した。これはいくつかの自治体からのヒアリングによると緊急度Ⅰと緊急度Ⅱの状態を改築対象としている例が多かったからである。緊急度Ⅲを健全とすることに違和感を覚える読者がおられると思うが、今求めようとしている健全率曲線は改築事業量を予測するために描く健全率曲線であり、文字通りの健全率ではないことと理解頂きたい。以上、まとめると、経過年数毎の改築が必要とならない緊急度Ⅲと劣化なしのスパン数の割合を健全率と呼び、この割合を管きょ調査の結果のみから求めたものを見かけの健全率と呼んでいる。見かけの健全率の定義を式で示すと以下の通りである。

$$\text{見かけの健全率} = 1 - \frac{(\text{緊急度Ⅰ又はⅡのスパン数})}{(\text{経過年数毎の調査スパン総数})}$$

ここで、簡単な例を示す。表-2のように、経過年数30年、50年、70年（30才、50才、70才）のスパンを30箇所、50箇所、40箇所調査を実施したとする。

表-2 見かけの健全率の計算例

経過年数 (才)	調査スパ ン数 (箇所)	緊急度Ⅰ 又はⅡ (箇所)	緊急度Ⅲ 以下 (箇所)	見かけの 健全率 (%)
30	30	6	24	80
50	50	15	35	70
70	40	24	16	40

このとき、調査結果において緊急度Ⅰまたは緊急度Ⅱとなったスパン数が6箇所、15箇所、24箇所であったとしよう。緊急度Ⅲ以下つまり緊急度Ⅲまたは劣化なしのスパン数は、それぞれ、24箇所（= 30 - 6）、35箇所（= 50 - 15）、16箇所（= 40 - 24）となる。縦軸となる見かけの健全率は、それぞれ、

80%（= 24/30）、70%（= 35/50）、40%（= 16/40）となる。30才、50才、70才のスパンの見かけの健全率80%、70%、40%をプロットし、適当な近似式を引いた場合、これを見かけの健全率曲線と呼んでいる（図-1）。

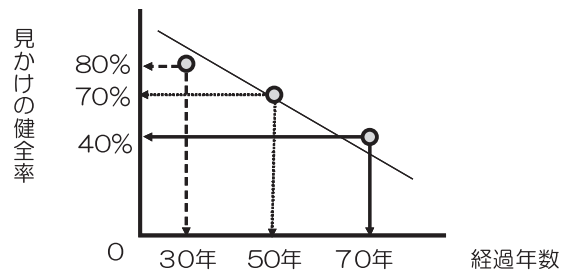


図-1 見かけの健全率曲線の例

実際のデータを用いた結果を図-2に示す。ここで用いた実際のデータとは政令市等大都市8団体と一般市4団体が、1988年～2006年までに実施した調査結果である。スパン数にして約17万に上る膨大な調査の結果である。なお、図中の見かけの健全率は管種別（陶管、コンクリート管、塩ビ管）に計算した後、算術平均をとったものである。

さて、ここでそもそもなぜ「見かけの」と称しているのかに言及する。著者らが図-2を初めて描いた時の感想は、意外と高齢の管、つまり経過年数が相当経たの管の健全率が高いということである。これはなぜか？ そもそも高齢の管きょの調査には、その年齢に達するまでに改築されてしまった管、つまりより若いときに亡くなった（改築された）管が調査の母数に含まれていないということに気付いた。改築されたスパンはその時点で0才として生まれ変わったとして台帳上処理され、老朽管としての調査対象にならない。つまり、管きょ調査結果を経過年数と緊急度判定結果の割合で並べただけでは、生き残った（改築されなかった）管きょだけに着目しているので、劣化進行を正しくとらえられないとの考えに至った。

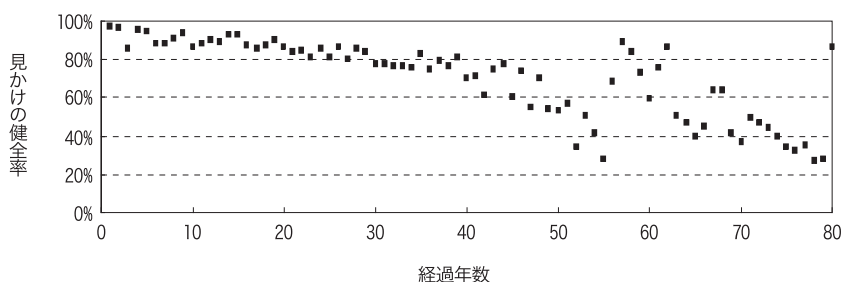


図-2 実データによる見かけの健全率

## 2-2 管きょ生存率

ではどのようにある経過年数までに亡くなった（改築された）管きょの割合を見積もるかという課題が生じる。このような生存、死亡に関する統計計算は人間の平均余命を予測する手法<sup>5)</sup>を参考にすることとした。具体的には、ある年に布設した複数スパンのうち1年目、2年目…n年目までの毎年の改築される割合をR<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>…R<sub>n</sub>とした時のn年目の管きょ生存率を以下の式で計算する。

$$\begin{aligned} n\text{年における管きょ生存率} &= \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \\ &= (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n) \end{aligned}$$

ここに、R<sub>i</sub> = 経過年数毎の改築率

簡単な例を使って説明する。表-3のように、ある年度において、経過年数1年の管が年度はじめに1500mあったとき、その年度内工事で45m改築を行ったとする。

もちろん、施工直後に改築することはまずあり得ないので、あくまで例として受け取って頂きたい。この場合、1歳の管の改築率は3% (= 45/1500)となる。改築された管は“死んだ”と見なすので、1歳の管が2歳になる割合、つまり1歳の管の残存率は97% (= 100% - 3%)となる。同様に2歳の管、3歳の管の年度初めの管理延長、改築延長が表-3

のであったときのそれぞれの経過年数での残存率は95.5%、94%となる。これにより1歳の管が3歳になる割合は、1歳の管が2歳になる割合（1歳の残存率）と2歳の管が3歳になる割合（2歳の残存率）の掛け算と見なしうるので、この例では93% (= 0.97 × 0.955)となる。これを2歳の管の管きょ生存率という。同様に3歳の管の管きょ生存率は87% (= 0.97 × 0.955 × 0.94)と計算される。横軸に経過年数、縦軸に管きょ生存率をプロットし、適当な近似式を描いた場合、これを生存曲線と呼ぶこととしている（図-3）。

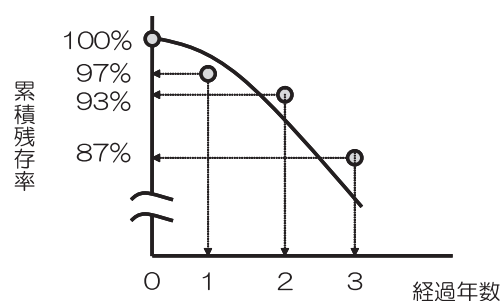


図-3 生存曲線の例

実際のデータを用いた結果を図-4に示す。図中の管きょ生存率は、管理延長および改築延長について、各管種（陶管、コンクリート管、塩ビ管）とその他の管種の総和を用いて計算したものである。

これは、平成17~19年度まで毎年度、全国の年度

表-3 管きょ生存率の計算例

○年度工事において					
経過年数 (年)	管理延長 (m)	改築延長 (m)	改築率 (%)	残存率 (%)	管きょ生 存率 (%)
1	1500	45	3	97	97
2	3000	135	4.5	95.5	93 = 0.97 × 0.955
3	4000	240	6	94	87 = 0.97 × 0.955 × 0.94

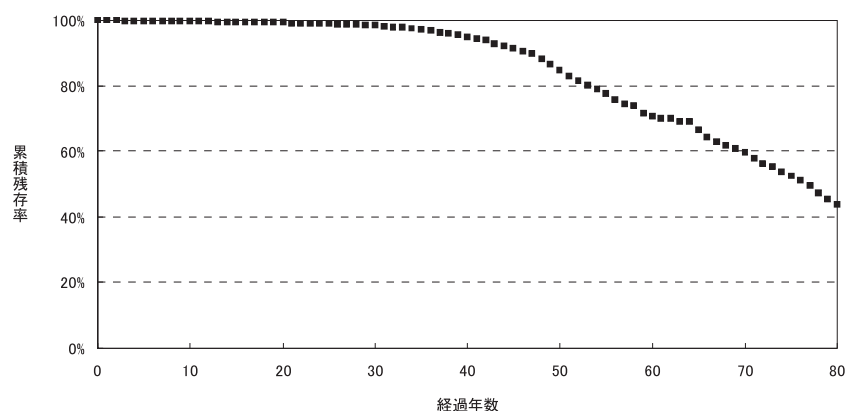


図-4 実データによる管きょ生存率

初めの管きょ資産延長に対する年度内での改築延長の割合を自治体ごとにアンケート調査し、年度毎に経過年数毎の改築率を計算したものを3ヵ年分算術平均した改築率に基づき、管きょ生存率を計算しプロットしたものである。

### 2-3 補正後の健全率と健全率予測式

見かけの健全率は、管きょ生存率と掛け合わせるにより、補正される。見かけの健全率は、改築されずに残存した管に対する劣化管の割合を示している。従って、見かけの健全率に管きょ生存率を乗じたものが、改築を実施しない場合の正味の健全率となる。これは、改築された管はすべて劣化があったとの仮定に基づいている。

例を使って説明する(図-5)。

ある年度に100kmの管を布設したとする。この100kmのうち30年後、50年後、70年後までに改築済みとなった延長はそれぞれ10km、20km、30kmであったとする。これは経過年数30年、50年、70年の管きょ生存率が90% ( $= (100 - 10)/100$ )、80% ( $= (100 - 20)/100$ )、70% ( $= (100 - 30)/100$ )であったということである。さらに30年目に仮に改築されずに残存していた管きょの90kmの全てを調査したところ、うち15kmが劣化あり(緊急度IまたはII)だったとする。同様に50年目に改築されずに残存していた管きょの80kmの全てを調査したところ、うち30kmが劣化あり(緊急度IまたはII)だったと

する。70年目に改築されずに残存していた管きょの70kmの全てを調査したところ、うち45kmが劣化あり(緊急度IまたはII)だったとする。これらのケースの30年目、50年目、70年目の見かけの健全率は83% ( $= (90 - 15)/90$ )、63% ( $= (80 - 30)/80$ )、36% ( $= (70 - 45)/70$ )である。30年目、50年目、70年目までに改築されてしまった延長分は30歳、50歳、70歳時点での管きょ調査対象とはなりえない。実際に長期の改築事業量を予測するためには、すでに改築されてしまった延長分もあわせて予測する必要がある。改築されてしまった延長も考慮した補正後の健全率は管きょ生存率と見かけの健全率を乗ずることによって得られる。この例では30年目、50年目、70年目の補正後の健全率は75% ( $= 90\% \times 83\%$ )、50% ( $= 80\% \times 63\%$ )、25% ( $= 70\% \times 36\%$ )となる。図-5において、100kmのうち、劣化なしの健全管として残っている延長は30年目、50年目、70年目でそれぞれ75km、50km、25kmであり、補正後の健全率はこれらの延長の当初延長に対する割合を示している。

見かけの健全率と管きょ生存率を得る際に用いたデータと同じデータを使用した補正後の健全率と直線近似による健全率予測式を図-6に示す。

## 3. 改築必要延長予測

### 3-1 考え方

図-6の健全率予測式を用いて改築事業量を推計

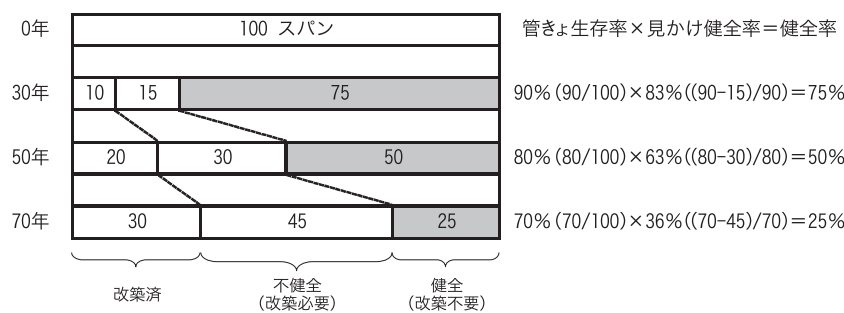


図-5 健全率の計算例

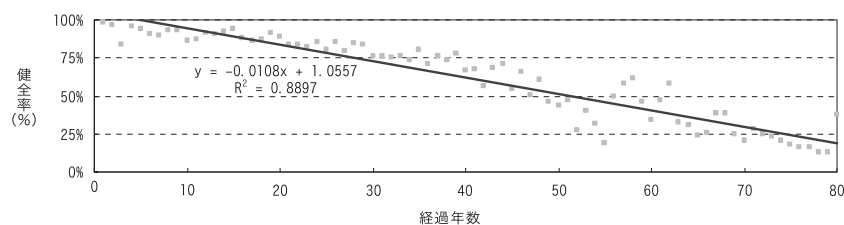


図-6 健全率と健全率予測式



する手法を提案する。基本的な考え方は緊急度ⅠまたはⅡに相当する劣化した管は速やかに改築するということである。具体的手法は図-7の例を用いて説明する。

30年前に布設した（当初布設から現在までの経過年数が30年の）100kmの管きよの改築事業計画を考える。前提として、以下の2点を仮定する。

- ①毎年増える劣化管の延長分は毎年、確実に改築する。
- ②既にある未改築の劣化管は10年で集中的に改築する。

まず、毎年、劣化管はどれくらい増えるのかについては、図-6の健全率予測式の傾きより1.08% (0.0108) となる。100kmを母数としているので延長にすると1.08kmとなる。次に、いつからこのような劣化管が発生するののかは、健全率予測式が100%となっているところの経過年数である5年 ( $= (1.0557 - 1) / 0.0108$ ) となる。さらに、いつまで劣化管が発生し続けるのかについては、健全率予測式がx軸と交わる、つまり補正後の健全率が0%となる経過年数である98年 ( $= 1.0557 / 0.0108$ ) となる。経過年数30年目の現在において、手付かずのままとなっている劣化管の延長は27km ( $= 1.08 \times (30 - 5)$ ) となる。「既にある未改築の劣化管は10年で集中的に改築する」としているのので、既にある未改築の劣化管に対する毎年の改築延長は2.7km ( $= 27 / 10$ ) となる。既にある未改築の劣化管以外にも、劣化管は毎年1.08km増える。但し、増えるのは経過年数98年目までである。よって改築事業計画は、今後10年（経

過年数31年～40年）は3.78km/年（ $= 1.08 + 2.7$ ）、10年以降（経過年数41年～98年）は1.08km/年となる。実際の改築事業計画では、管種別、布設経過年毎に上記を合算し、計画を立てる。

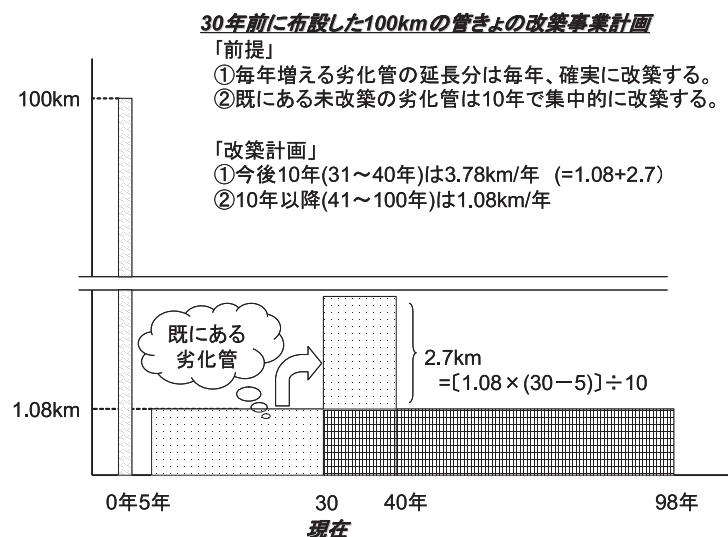
### 3-2 具体例

さらに具体的な事例を用いて改築必要延長の予測方法を解説する。

#### (1) 予測条件

予測期間は、改築必要延長の将来予測にあたり、100年程度の寿命を持つ管きよも存在すること、および2巡目の改築を考慮することを念頭において200年とした。予測に用いる布設経過年数別の管きよ延長は、今後の新設管きよは含めないこととし、図-8の管きよ資産（のべ406km）を有するモデル都市で検討した。なお、モデル都市は全国の管きよ資産の1/1000である。

また、予測に際して適用した改築のシナリオは、「健全率予測式を用いた場合」ととし、比較対象として「標準耐用年数50年で改築した場合」も設定した。なお、健全率予測式を用いた場合は、緊急度Ⅰ+Ⅱの不具合発生と同時に速やかな改築実施を想定した。また、このシナリオの場合は、既に存在している未改築の改築必要延長が予測初期で大きくなるため、これらは初期対応として10年で均等に解消するシナリオとした。一方、標準耐用年数50年の初期対応については、布設経過年数50年以上の管きよを初年度の1年間で改築するシナリオとした。



**実際の計画は、管種別、布設経過年毎に上記を合算する。**

図-7 健全率曲線による改築事業量の推計

(2) 予測結果および考察

図-9に標準耐用年数50年で改築した場合の改築必要延長の将来予測結果を示す。

各年度の改築必要延長に着目すると、年度ごとに延長が大きく変動する傾向を示し、最大値はモデル都市全体における管きょ総延長406kmの約4.1%/年(16.8km/年)、最小値は約0.1%/年(0.5km/年)となった。また最大と最小の差(以下、延長変動幅と示す。)は約4.0%/年(16.3km/年)となり、変動回数も多くなる結果を示した。累計改築必要延長に関しては、予測期間で約1582kmとなった。

図-10に健全率予測式を用いた場合の予測結果を

示す。

初期対応(2017年度)以降における各年度の改築必要延長は、最大で約2.1%/年(8.5km/年)、最小で約1.2%/年(4.9km/年)を示し、延長変動幅は約0.9%/年(3.6km/年)となった。累計改築必要延長は、約1500kmとなった。この結果、直線式型を用いた場合は、標準耐用年数50年の場合と比べて予測期間での累計延長や変動回数が少なくなり、延長変動幅も小さくなる傾向を示した。したがって、健全率予測式を用いた場合は劣化管きょを明確に把握できることに加え、改築必要延長が平準化されることが示された。

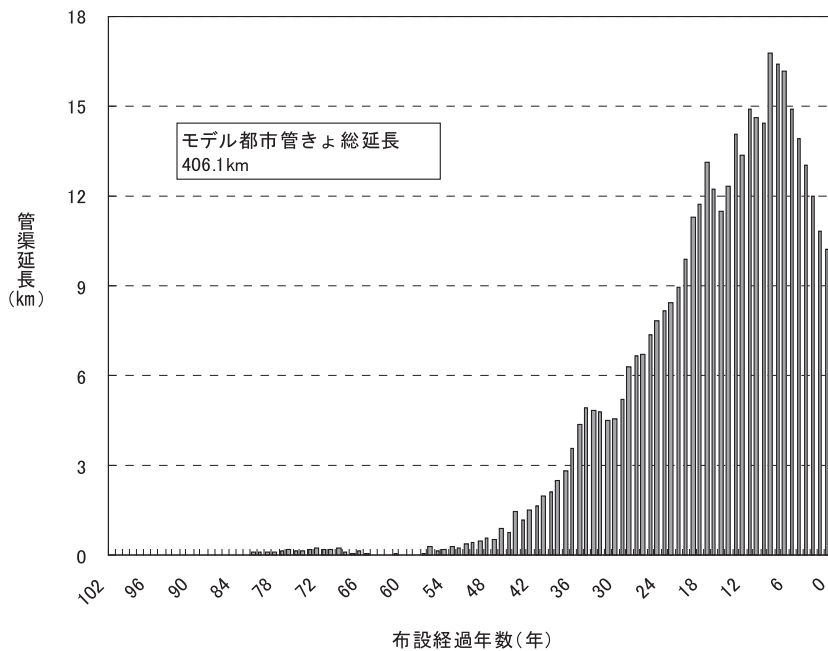


図-8 モデル都市における布設経過年数別管きょ延長

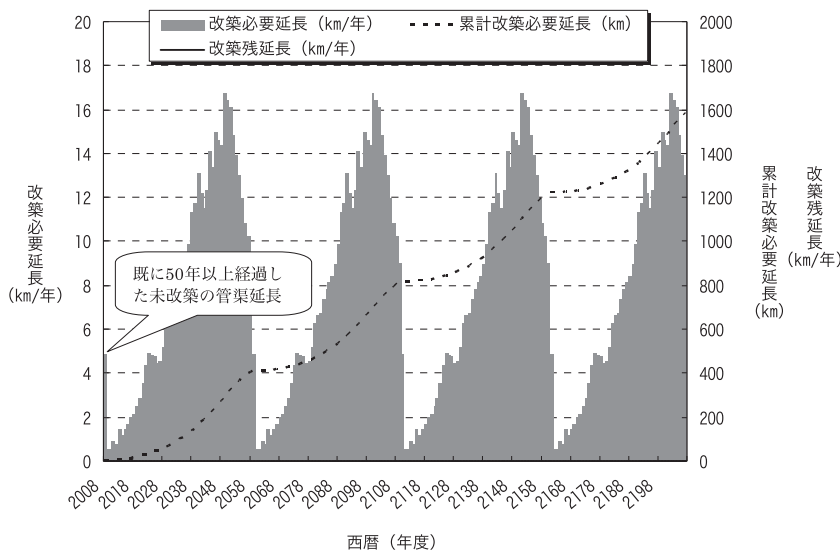


図-9 標準耐用年数50年の場合の改築必要延長予測

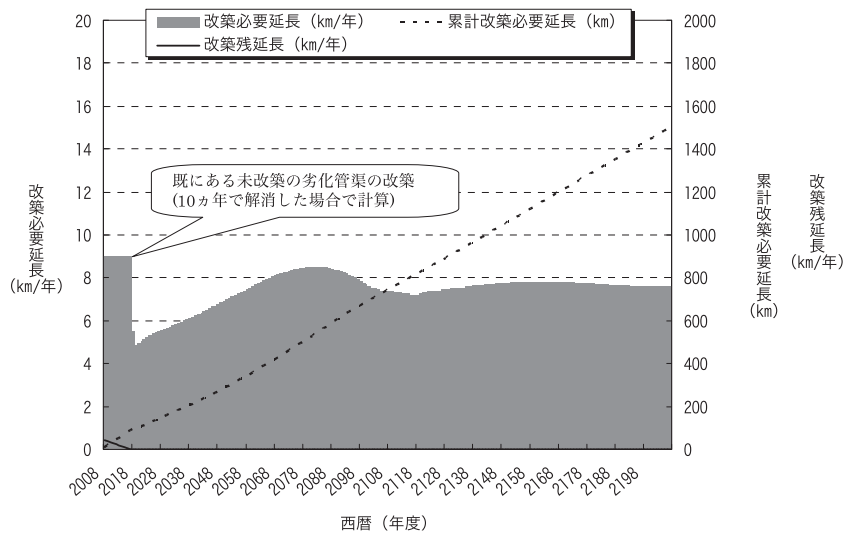


図-10 健全率予測式による改築必要延長予測

#### 4. 管種別健全率曲線

管種について、当研究室では陶管、コンクリート管、塩ビ管に分けて調査している。国内では、陶管・コンクリート管とヒューム管・塩ビ管の2つに分けて検討された例が報告されている<sup>6)</sup>。また、ベルギーでは無筋のコンクリート管とレンガ管に分けて生存曲線を作成した例が報告されている<sup>7)</sup>。ベルギーの分類には日本との下水道の歴史の違いを感じる。いずれにしろ管種は管きよの劣化進行への重要な影響因子である。図-11、図-12に陶管、コンクリート管の健全率曲線を示す。管種ごとの健全率の推移に差異があるため、改築必要延長の予測にあたっては、3.の手順を管種ごとに実施し、管種別に改築必要延長を予測することが望ましいと考える。なお、塩ビ管の健全率曲線を示さない理由については5.で言及する。

#### 5. 考察とまとめ

ここで示した提案手法を実施するに当たり、各自治体が自らのデータを用いて管種別に健全率予測式を作成し、将来の事業費を予測することを基本と考えている。しかしながら、多くの自治体では、調査データの十分な蓄積がない。そこで当研究において、標準的な健全率予測式を管種別に提示した。改築事業費の予算が確保され、実際の事業執行に移されるようになると、その前段として、調査が実施される。これにより調査データの蓄積が行われ、やがては各自治体で健全率予測式が計算できるようになると期待する。

管種別の健全率の推移について、塩ビ管の結果は示さないこととした。この理由は以下の通りである。まず、陶管、コンクリート管は経過年数80年に及ぶデータがあるが、塩ビ管については、陶管、コンク

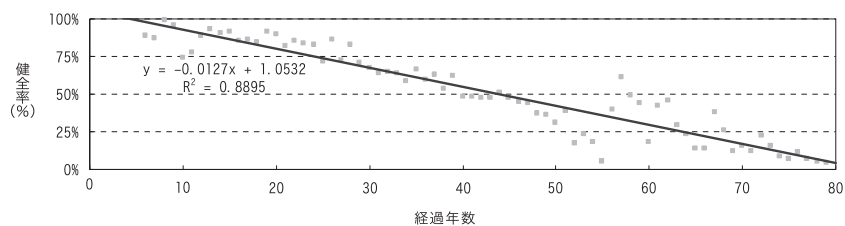


図-11 陶管の健全率予測式

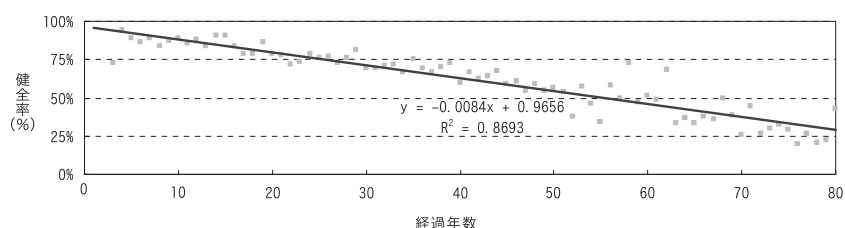


図-12 コンクリート管の健全率予測式

リート管と比べ歴史が浅いため40年強のデータしかない。少ないデータ数に対して描いた健全率予測式の重相関係数は陶管、コンクリート管と比べ著しく小さかった(0.23)。塩ビ管の健全率予測式は他の管種に比べ優れた傾向を示しているが、これは現在の診断基準がクラック等、剛性管(陶管、コンクリート管)に特有な劣化現象を対象としているのに対し、断面のたわみ等、塩ビ特有な不具合項目が含まれていないことが一因であると考えられる。実際、塩ビ管の断面に扁平が見られるという伝聞情報もある。可とう性の塩ビの場合、扁平即破壊となるとは考えられないが、断面縮小の問題が生じるので注意を要する。これらから、塩ビ管の健全率予測式を他の管種に比べ信頼性が劣り、かつ楽観的すぎる結果となっている可能性があるため、ここで紹介するのは危険と判断した。

ここで示した健全率予測式には、作成手法に過小(危険)、当研究で用いたデータに過大(安全)の仮定が含まれている。見かけの健全率計算に当たり、テレカメ等の調査結果を用いることは、過小評価である。実際は、テレカメ調査時点以前に劣化が発生しており、たまたま調査のタイミングで劣化が見つかったものである。一方、本稿で示した実際のデータの累積残存率計算には、能力増強や道路改良のための劣化以外の理由による改築も含まれており、過大となっている。これらは今後の課題である。

本稿の冒頭に法定耐用年数の50年に説得力がないと書いたが、結果的には図-6の健全率予測式の補正後の健全率が50%となるのは約50年であり、概ね法定耐用年数と現在の管きよの耐用年数の平均は一致している。

老朽管の改築については、事業の平準化が問題とされている。しかし、同じ時期に埋設された管きよ

が同時に劣化するわけでない。我々の研究成果は、劣化管の発生量に見合った改築事業を確実に実施すれば、平準化の問題は解消されることを示している。より重要なのは、改築が必要となるようなスパンが布設後間もなく発生することである。もちろん一方で100年近くもつ管もある。しかし、法定耐用年数の50年後まで改築に手をつけないとすれば、50年後には資産の約半分が不良化し、大きな負担を後世に引き継ぐこととなる。

今回の解析に利用した調査データは公共下水道であり、かつ大都市が中心である。劣化のメカニズムや進行速度に差があると想定されるため、改築必要延長の予測精度をより向上させるためには、合流と分流の別、幹線と枝線の別に解析することが必要と考えている。併せて、大都市以外の公共下水道管の調査データの収集も必要と考えており、今後、下水道事業団と連携し、データの収集を図ることとしている。

今回は、改築事業量の把握について述べたが、実際の改築事業の実施に当たっては、まず調査により改築が必要な管きよを発見する必要がある。多くの自治体では調査予算の確保も十分でないため、効率的な調査実施が求められている。また、ある自治体からは、昨年度創設された下水道長寿命化支援制度により、管路調査を実施したいが、どこから実施すべきか迷っているとの相談を受けている。これら課題の解決方法として、リスク評価方法とテレビカメラ等による詳細調査のスクリーニング調査方法を第5回で提案する予定であった。22年度以降、当研究室の新体制がこれらに取り組んでくれることを期待する。

最後に、本研究にデータ提供の協力を頂いた全国の自治体の皆様にお礼を申し上げます。

---

#### 〈参考文献〉

- 1) 松宮洋介、管きよの改築事業量の予測—ストックマネジメントの精度を上げるために—、月刊下水道、pp35-41、環境新聞社、2009年3月
- 2) 榎原隆ほか、下水道管渠の適正な管理手法に関する研究、国総研資料第543号 平成20年度下水道関係調査年次報告書集、国土技術政策総合研究所、2009年8月
- 3) 点検・調査結果の判定及び診断、下水道維持管理指針(前編)-2003年版-、pp122-125、(社)日本下水道協会、2003年8月
- 4) 緊急度の判定、下水道管路施設の緊急点検実施マニュアル(案)、pp27-30、(社)日本下水道協会、2007年3月
- 5) 日本人の平均余命、厚生労働省大臣官房統計情報部、<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life06/index.html>、平成21年1月5日現在
- 6) 松永由久ほか、福岡市のアセットマネジメントを用いた管路施設の再構築計画手法について、第45回下水道研究発表会講演集、pp253-255、(社)日本下水道協会、2008年6月
- 7) E. Ana et al., Investigating the effects of specific sewer attributes on sewer ageing—a Belgian case study, 11<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Scotland, UK, 2008