

# 汚水管路のスパン単位の劣化程度表現と修繕効果

中日本建設コンサルタント（株） ○阿部 将也・中根 進

## 1. はじめに

下水道管路は、耐用年数が 50 年と言われ、耐用年数に達する管路が年々増加している。国は、適正な維持管理をしていることを前提に劣化しているスパン単位の管路の改築を支援している。支援の対象とならない劣化管路については、自治体で建設改良費を使って改築や単費を使い修繕を行い、管きよの異状削減に努めている。

本稿では、TVカメラ調査を行った管きよのスパン内の異状を維持管理指針実務編 2014 年版 p.10 に従い表 1.1 に示す構造的、機能的、管理的異状に分類し、構造的異状に対して異状箇所数と建設後の経過年数を使ってスパン単位の異状を信頼度曲線で表し、修繕による効果も信頼度曲線で示す。

## 2. テレビカメラ調査の診断結果の概要

ある自治体の 40 年経過したヒューム管 200 mm×60 スパンのテレビカメラ調査結果がある。調査診断結果では、当時の長寿命化支援制度の対象となった異状のあるスパン（緊急度判定ではⅡ）は全スパン 60 中、12 スパンであり、緊急度判定Ⅲは、46 スパン、健全なスパンは 2 スパンであった。

維持管理指針では、浸入水は機能的異状に分類されているが、筆者の報告<sup>1)</sup>では浸入水は、破損、クラック、隙間の発現時期と重なり、これらの異状が原因で浸入水が発生していると考えられるので、スパン中の異状の数の二重計上を避けるため、管理的異状に分類した。

また、表 1.1 の管理的異状は日常の清掃等で除去できることになっており修繕の対象としない。ここでは修繕効果を表現するため、構造的異状に着目する。

本稿の調査事例は、スパン全体に腐食がみられ、改築対象となっているが、修繕効果を表現するため、破損、クラック、隙間のみ修繕することを想定する。

## 3. スパン単位の異状箇所数による劣化程度の表現

国総研の管路劣化 DB には分流式污水管きよのコンクリート管に、スパンごとの管本数と異状管の本数がランクごとに記載されている。

異状項目と異状ランクを区別することなく経過年数ごとに腐食を除く破損、クラック、継手ズレの異状管本数と健全管の本数を集計したグラフを図 3.1 に示す。これら異状管本数と健全管本数を使って信頼度を計算した結果を図 3.2 に示す。異状の管本数を使った信頼度は、年数の経過とともに低下する。

そこで、スパン中の管本体 1 本ごとの異状箇所数から信頼度、故障率を(1)式で計算し、スパン単位の信頼度、故障率を(2)式で表す。

$$\text{管 1 本の信頼度 } R_i = 1 - \frac{\text{異状数}}{\text{異状項目総数}} \dots (1) \quad \text{管 1 本の故障率 } \lambda_i = \frac{\text{異状数}}{(\text{異状項目総数} - \text{異状数}) \times \text{経過年数}} \dots (2)$$

表 1.1 異状の分類と項目

異状の分類	異状項目
構造的異状	腐食
	破損
	クラック
機能的異状	隙間
	たるみ
管理的異状	浸入水
	突き出し
	油脂
	侵入木根 異物・モルタル

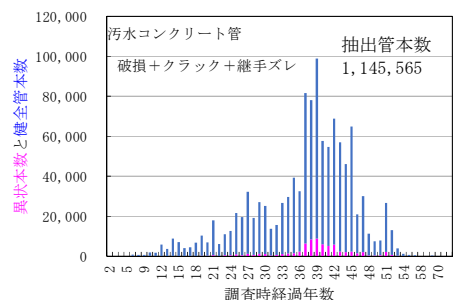


図 3.1 スパン中の異状（破損、クラック、継手ズレ）管本数と健全管本数の推移

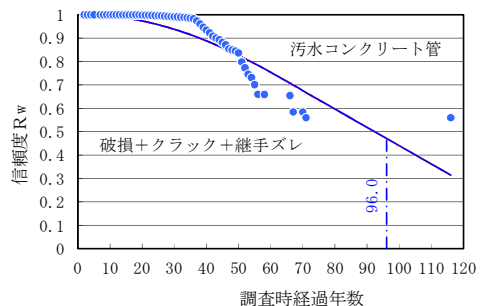


図 3.2 異状管（破損、クラック、継手ズレ）の信頼度

$$\text{スパンの信頼度 } R = \frac{\sum_{i=1}^n \text{管 1 本の信頼度 } R_i}{\text{スパン中の管本数}} \dots\dots (3)$$

スパン M5 を例に計算方法を表 3.1 に示す。スパン M5 では 17 本の鉄筋コンクリート管が布設されており、管番号 1 に対し、(1) 式で管 1 本ごとの信頼度  $R_1$ 、(2) 式で管 1 本の故障率  $\lambda_1$  を計算し、(3) 式でスパン全体 (管 17 本) の信頼度  $R (=0.603)$  を計算する。

なお、緊急度の判定では、各異状に対してその程度 (ランク) により大: a、中: b、小: c というように重みを付けている。このランクにより修繕の可否を判定するが本稿では異状程度によらず修繕するものと考え、異状の管本数で信頼度を算定する。

表 3.1 スパンの信頼度と故障率の計算例 (M5)

スパン名	異状の分類	異状項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	点数	評価値		
M5	構造的異状	腐食	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
		破損																									
		クラック							1						1												
		隙間																									
		小計	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1							
機能的異状	たるみ	信頼度R	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.5	0.75						10.25	0.602941	
		故障率λ	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01					0.308333	0.018137	
		小計 R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					6	0.352941	
		故障率λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	
		小計 λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	

ここで、本稿の事例では上式の経過年数は一点 (40 年経過) しかないため、ワイブル分布のパラメータ  $m, \eta$  を同定できない。文献<sup>2)</sup>による信頼度  $R$  と故障率  $\lambda$  を同時に満足するよう、図 3.3 のようにパラメータ  $m$  と  $\eta$  を同定する。

前掲 2. に示す 12 スパンの構造的異状に係るワイブル分布のパラメータを表 3.2 に示す。このパラメータを使うと各スパンの構造的異状になった平均経過年数を推定できる。

この平均経過年数で各スパンの構造的異状の程度の進み具合を示すことができる。表 3.2 では、構造的異状が最も進んでいるのが平均経過年数の最も小さい M4 スパンであり、このスパンの中で構造的異状が小さいのが平均経過年数の最も経過した M2 スパンであった。

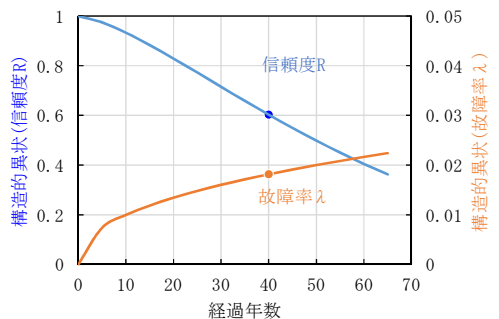


図 3.3 構造的異状の信頼度 R と故障率 λ  
表 3.2 緊急度 II のスパンごとの構造的異状のパラメータと平均経過年数

	m	η	R	λ	誤差	平均年数
M1	1.35	80.0	0.676	0.013	1.6801E-09	73.3
M2	1.23	103.0	0.731	0.010	7.096E-07	96.3
M3	1.76	66.2	0.662	0.018	4.8743E-08	58.9
M4	1.56	64.2	0.619	0.019	1.3951E-07	57.7
M5	1.43	64.3	0.603	0.018	1.7217E-07	58.4
M6	1.60	67.7	0.650	0.017	8.5041E-11	60.7
M7	1.54	74.4	0.681	0.015	8.7738E-10	66.9
M8	1.29	91.4	0.708	0.011	2.0624E-07	84.5
M9	1.34	82.1	0.683	0.013	1.2499E-07	75.4
M10	1.40	72.6	0.647	0.015	1.9629E-08	66.2
M11	1.37	77.3	0.667	0.014	1.8894E-11	70.7
M12	1.36	79.1	0.673	0.013	2.7365E-08	72.4
					平均	70.1

#### 4. スパン中の管の修繕による効果

##### 4.1 緊急度 II スパンの修繕効果

緊急度 II のスパンについては、長寿命化支援制度下では、費用比較などの条件を満たすことにより国の支援を受けられ、改築対象のスパンであり、物理的経済的な寿命を迎えたと考えられる。(4) 式右辺の残存耐用年数は、修繕によって耐用年数は伸びないとして、修繕時における経過年数と標準耐用年数の差としている。

本稿での修繕は、維持管理指針実務編 p.179 の「一部の再建設あるいは取り替え」を想定し、既設と同様の速度で劣化すると考える。修繕によってこの残存耐用年数が伸びることを表すことになる。

$$\frac{\text{改築工事費用}}{\text{新たな耐用年数}} \leq \frac{\text{修繕費}}{\text{残存耐用年数}} \dots\dots (4)$$

M5 スパン中の 17 本の管のうち構造的異状の破損、クラック、隙間のある管 9 本を全部修繕することを想定する。ただし、腐食は修繕していないが修繕により異状箇所数が減少するので新たに信頼度、故障率を計算し、ワイブル分布で回帰し、修繕後の信頼度曲線を作る。修繕箇所については、改築と異なり、現存するスパンと同様に劣化すると仮定する。修繕前、修繕後の信頼度曲線を図 4.1 に示す。あわせて信頼度曲線の

平均値を示す。この平均値は、改築対象となった劣化状態に達するまでの平均年数で、平均寿命といわれるものに相当する。構造的異状の平均寿命が 58.4 年であったものが修繕の効果により寿命が 111.3 年となり、平均的に 53 年延命できると推定される。

#### 4.2 緊急度Ⅲスパンの修繕効果

次に表 3.2 にはないが構造的異状に浸入水のある緊急度Ⅲと判定された M18 スパン(管本数 16 本)の修繕例を示す。この例も腐食を含まずスパン内に 10 箇所の隙間、クラックがある。

スパン内に異状のある管 10 本のうち機能的異状である浸入水に起因する隙間、クラックのみ 3 箇所(概ね 30%の処置)修繕した際の信頼度曲線を図 4.2 に示す。延命効果は約 5 年(=61.95-57.1)に過ぎない。

スパン内に生じた 10 箇所の異状のうち機能的異状である浸入水に起因する隙間、クラックを含め 5 箇所(概ね 50%の処置)修繕すると図 4.3 の信頼度曲線となり、延命効果は約 11 年(=68.18-57.1)となる。

経過年数 40 年目の修繕であるから標準耐用年数 50 年までの残存耐用年数は 10 年であるが、5 か所の修繕で 11 年の延命効果となる。また、50%の修繕では 5 年以上に延長できると推定される。

### 5. まとめ

本稿では、スパン数 60 の限られたデータにより劣化状態の見える化の 1 手法として、経過年数と管ごとの異状箇所数からスパンの信頼度の推定を試みた。

スパンごとの信頼度曲線と平均経過年数でスパン単位の劣化程度を表現することができた。

修繕後も既設管と同様の劣化傾向を示す工法(一部の再建設あるいは取り替え)で修繕することを前提として異状箇所を修繕することにより信頼度曲線を使って延命化することを示した。

本稿では、経過年数 40 年の 1 点だけのデータで信頼度などを計算したが、今後、ストックマネジメント計画に沿って継続的な調査が行われ、複数の経過年数ごとのスパンにおける異状管の数などが得られるようになれば、信頼度の回帰も簡便になり、修繕を含んだ各異状の経年の推移も明らかになってくると考えられる。

### 参考文献

- 1) 中日本建設コンサルタント(株)中根 進: カプラン・マイヤー法によるコンクリート管の異状発現順位の推定 下水道協会誌 Vol.55 No.672 2018/10 pp106-12
  - 2) 中日本建設コンサルタント(株)小島 延連, 中根 進: ローテーション管理データを用いた管きよの物理的耐用年数の推定 2010 年度下水道研究発表会 II-5-1-7
- 問合わせ先: 中日本建設コンサルタント(株) TEL052-232-6055 E-mail [s\\_nakane@nakanihon.co.jp](mailto:s_nakane@nakanihon.co.jp)

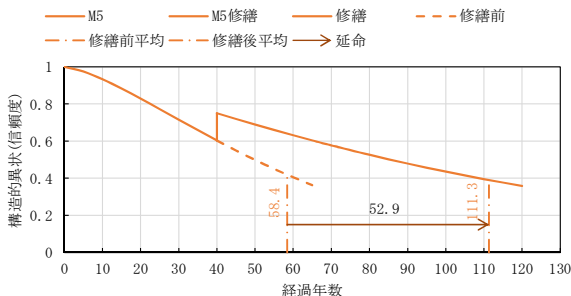


図 4.1 M5 の修繕効果 (信頼度表示)

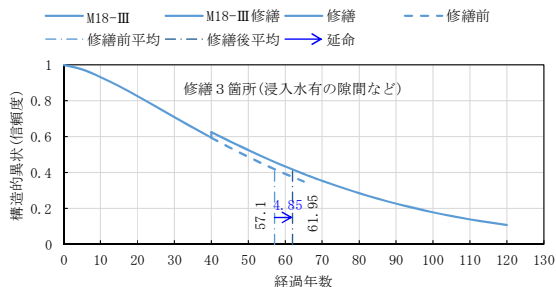


図 4.2 構造的異状のスパン M18 の信頼度

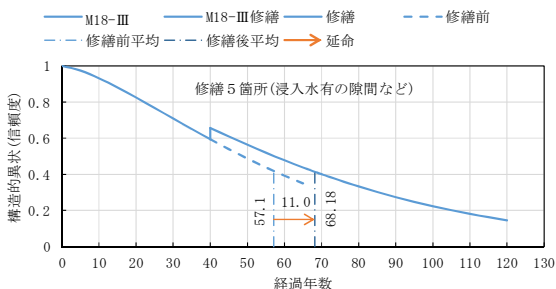


図 4.3 構造的異状のスパン M18 の信頼度