

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

中日本建設コンサルタント（株） 水工技術本部 ○小島 延連
水工技術本部 中根 進

1. はじめに

維持管理指針¹⁾には、目視、テレビカメラ調査は、単年度整備区域を1ブロックとして計画的に順次実施していくような維持管理のローテーションが模式図（図-1）として示されている。

ある年数経過した整備区域を順次ローテーションして調査を行っている、この調査診断結果から修繕や改築を行うことになるので、過去の修繕量、改築量を調査すると、同一の経過年数のデータしか得ることができず、管きよの耐用年数を推定するなどの解析を難しくする。同一経過年数のデータ（改築量）を使って管きよの物理的耐用年数の推定する手法を提案する。

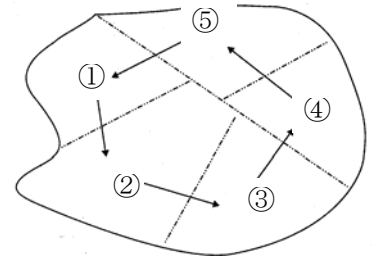


図-1 維持管理のローテーション

2. ワイブル分布による管きよの物理的耐用年数

建設年度毎の建設管きよ延長に対し、その管きよを改築した年度（経過年数）と改築延長を調査することにより、改築量をワイブル分布（信頼度曲線）で数値化することができる。改築時の経過年数を管きよの物理的耐用年数とする。

ある年度に建設した管路の経年変化による改築の様子を図-2に示す。経過年数とともに改築したスパンが増加していく様子を示す。

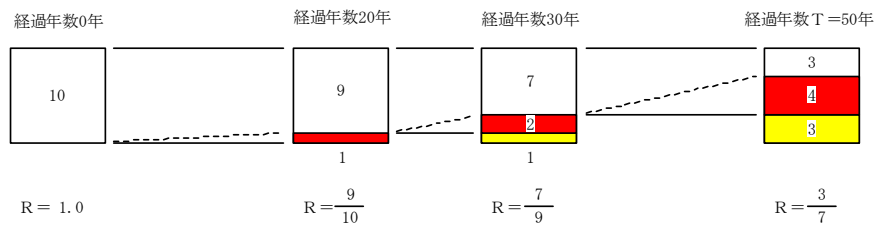


図-2 信頼度Rの算定と推移

ある年度に建設した管きよの総スパンをnとすると、この年度に建設した管きよの信頼度（残存率）は、図-2中に示す。図中のRを信頼度という。ワイブル分布では管きよの信頼度（累積残存率）を次の3式で表す。全国の改築データから推定したワイブル分布²⁾（パラメータm=2.84、η=104.6）を図-3に示す。

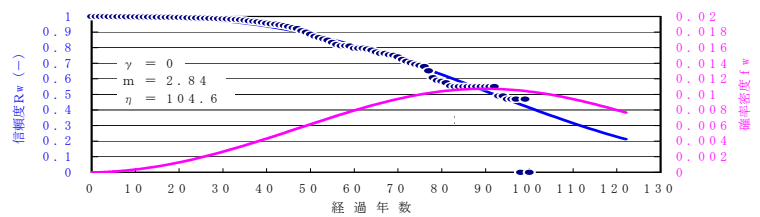


図-3 全国の下水道管きよの信頼度と確率密度

・信頼度関数R

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad \dots\dots (1)$$

・確率密度関数f

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad (2)$$

・故障率（改築率）

$$\lambda(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 t : 経過年数
m : 形状パラメータ
η : 尺度パラメータ
γ : 位置パラメータ

2.1 解析データ

管きよをローテーション調査（40年）している文献³⁾データから調査延長と改築延長を抽出し、表-1に示す。この実績データをもとに管きよの物理的な耐用年数を推定する。

表-1の解析データから次式を用いて、信頼度、改築率（(3)式の故障率）を計算して表-1に併せて示す。

$$\text{信頼度} = 1 - \frac{\text{改築延長}}{\text{調査延長}}$$

$$\text{改築率} = \frac{\text{改築延長}}{(\text{調査延長} - \text{改築延長}) \times \text{経過年数}}$$

表-1 改築と修繕実績データ（解析データ）

	①	②	③	④	⑤	平均
経過年数	33	38	40	40	40	
調査延長	277	306	410	853	1009	
改築延長	32	92	100	144	136	
信頼度	0.8845	0.6993	0.7561	0.8312	0.8652	0.8073
改築率	0.0040	0.0113	0.0081	0.0051	0.0039	

信頼度や改築率と経過年数との相関を調べるには最小二乗法を使うのが簡便であるが、実績の信頼度Rが一点（40年経過）しかないため、最小二乗法を使ってワイブル分布のパラメータ m, η を推定できない。そこで2つの推定手法を提案する。

3. 解析手法と推定結果

3.1 信頼度Rと故障率 λ を使って推定する方法

ワイブル分布のパラメータ $m > 2$ 程度、 $Y <$ 変曲点の場合、確率密度曲線の面積F（不信頼度を表す）は、図-4の三角形の面積に近似できる。

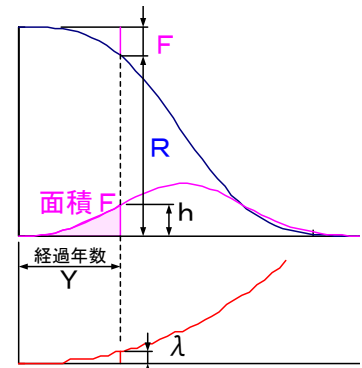


図-4 改築率（不信頼度）

$$F \leq h \cdot Y / 2$$

ここに、F：不信頼度（改築延長）

h：確率密度値

Y：経過年数

$$h \geq 2F / Y$$

故障率を次のように表す。

$$\lambda = h / R$$

ここに、R：信頼度（残存延長）

不信頼度Fは次式であるから、

$$F = 1 - R$$

$$h \geq 2(1 - R) / Y$$

故障率 λ は、次のように表せる。

$$\lambda \geq 2(1 - R) / R / Y$$

信頼度Rと故障率 λ を推計値（下添字s）と同時に満足するよう、次式の誤差が最小になるパラメータ m と η を推定する。

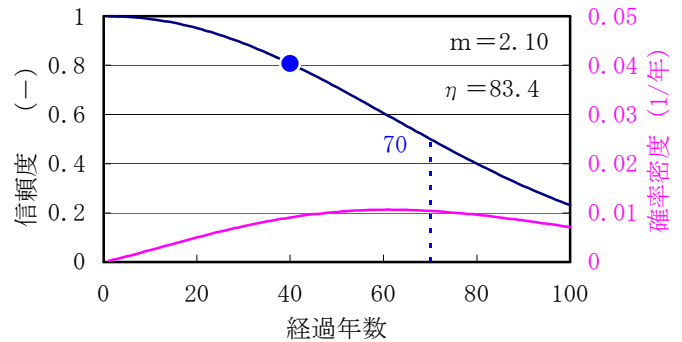


図-5 解析データ管路の信頼度と改築率

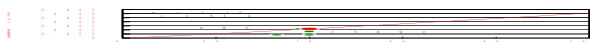


図-6 解析データ管路故障率

表-1の解析結果は、図-5, 6となる。この改築実績から推定した管きよの物理的な耐用年数は、70年となる。

3.2 ベイズ推定

ベイズ推定とは、事後分布は尤度と事前分布の積に比例するというものである。

事後分布 $f \propto$ 尤度 $L \times$ 事前分布 f

事前分布(確率密度)を全国の改築データから推定したワイブル分布²⁾(図-3)とする。改築データ(経過年数と信頼度値)から尤度を算出し、事後分布を求めることにより、事後分布の中央値を物理的耐用年数とするものである。

経過年数40年の改築データ(信頼度値0.807)しかないため、尤度関数が得られない。事前分布と同じパラメータ $m=2.84$ を使い、経過年数40年で信頼度値0.807(図-7)になるパラメータ η をトライアルで算定し、これらのパラメータを使って尤度関数を仮定する。

ベイズ推定により事後分布は、図-8となる。この事後分布(確率密度)の平均値、すなわち物理的耐用年数は68年と推定された。

4. まとめ

経過年数40年の管きょ改築データから信頼度と平均故障率を使って耐用年数を推定すると70年であり、ベイズ推定の結果では68年の推定結果を得た。いずれも故障確率(改築確率)が正規分布する様なワイブル分布に見立てているので、ほぼ同値であった。

効率的な下水道整備のため、適正な下水道計画区域などを設定するためのマニュアル⁴⁾では、管きょの償却年数を次のように設定している。

償却年数 … 建設費、維持管理費を経済比較する際に参考となる年数

平成20年9月発行 → 「2007年現在で下水道供用開始後30年以上経過している240市町村(組合含む)に対して、管渠の施工年度(10年区切り)ごとの総延長とそのうちの更新済延長及び使用している最古管渠について調査し、その平均経過年数である72年と設定する。」

解析事例の管きょデータは、これらのマニュアルの基となったデータに内包していると思われるが、推定2値(68年、70年)は、その平均経過年数(72年)とほぼ同じ年数となった。

解析の改築データは経過年数が40年のものしかないが、点検調査の継続に従いローテーションが一巡し、二巡目の調査に入る管きょが出てくる。この時には、経過年数が40年以上のデータが取得できるようになるので、解析データを更新し、さらに精度の良い物理的耐用年数が推定できると考えられる。

管路施設を劣化の全容を効率的に知るためには、統計的に考えれば、管きょの調査スパンをランダムに抽出し、目視、テレビカメラ調査し、診断して解析することが有効である。

<参考文献>

- 1) 下水道維持管理指針 前編 -2003年版- p101 (社)日本下水道協会
- 2) 全国事業量等に関するアセットマネジメント導入検討調査 国土技術政策総合研究所 藤生和也 松宮洋介 宮内千里 平成18年度下水道関係調査研究年次報告書集
- 3) 名古屋市における下水道管きょ整備の現状と老朽管対策 Vol.44.No538 2007/08 (社)日本下水道協会
- 4) 効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想策定マニュアル(案) 平成20年9月 国土交通省都市・地域整備局下水道部

問合わせ先: 中日本建設コンサルタント(株)中根 進

〒460-0003 名古屋市中区一丁目18番6号 052-232-6056 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp

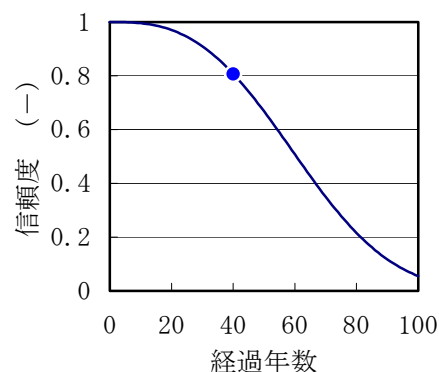


図-7 データに基づく信頼度

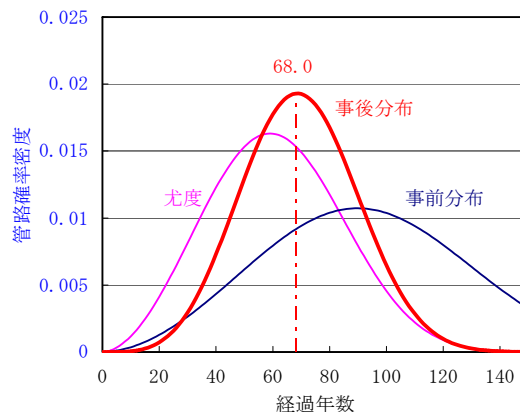


図-8 ベイズ推計による物理的耐用年数