

カプラン・マイヤー法によるコンクリート管の異状発生順位の推定

中日本建設コンサルタント株式会社 ○山本 健晴 中根 進

1 はじめに

国土交通省国土技術政策総合研究所は、2017 年度、56 団体約 25 万スパンの TV カメラ調査結果を収録した劣化データベース Ver. 2 を公開した。

筆者は、この劣化データベースの管きよの異状内容と調査時経過年数を用い、コンクリート管の異状発生順位をカプラン・マイヤー法により推定した。

各異状の有無を使って、調査時経過年数ごとの区間生存率を求め、累積生存率を計算する。各異状項目の経過年数による累積生存率をワイブル分布式で回帰し、平均経過年数と分布の多重検定により異状の発生順位を推定する。

2 劣化データベース Ver. 2 の概要

劣化データベースの収録内容は、排水種別、管種×管径(mm)×土被り(m)×路線延長(m)×スパン内の管本数×取付管本数、布設年度、調査年度、経過年数、道路種別、歩車道区部と異状項目(腐食、たるみ、破損、クラック、継手ズレ、浸入水、突出しなど全 12 項目)と異状程度(A, B, C, a, b, c)および緊急度(I, II, III, 劣化なし)である。劣化データベースから調査時経過年数と緊急度が判明しているスパンを抽出したスパン総数は約 196, 000 であり、調査経過年数別のスパン数を図 2. 1 に示す。

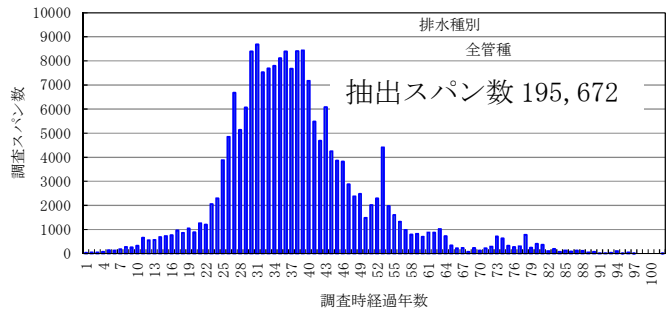


図 2. 1 調査時経過年数とスパン数(全排水種別：全管種)

3. カプラン・マイヤー法による生存曲線(累積生存率曲線)

イベント(event)が起きるまでの時間とイベントとの間の関係に焦点を当てる解析方法に生存時間解析(survival analysis)がある。この解析では時間とイベントとの間の関係を生存率で表す。生存曲線で示される生存率は累積生存率で、区間生存率から計算する。

この解析方法は人間の寿命や地震発生の確率計算などに用いられている。工学分野においては機械システムや製品の故障などを対象とした研究に用いられており、故障を対象とした場合には、JIS では生存曲線を信頼度曲線と呼んでいる。

ノンパラメトリックな生存時間解析法の 1 つにカプラン・マイヤー法(以下 KM 法と略記する)がある。サンプル数が少ないときに用いられることが多いとされている。

この方法を管きよに適用する場合は、イベントとは調査結果に基づき診断した異状状態(a, b, c)などであり、そのイベントが

表 3. 1 管きよの診断結果破損 c 以上の例

スパン	イベント発生間隔 調査時経過年数	調査時の診断状況	
		破損有(a, b, c)	他
6	9	×	1
3	11	○	0
1	14	×	1
4	14	○	0
2	21	○	0
5	21	○	0

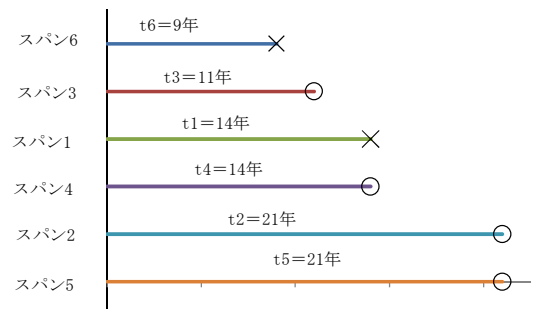


図 3. 1 調査時経過年数とイベントの発生状況

起きるまでの時間を調査時経過年数とする。劣化は年数の経過とともに推移すると思われるが、機械設備の故障と異なり、毎日管きよ内を調査しているわけではないので、

$$\begin{aligned} \text{区間生存率} &= \frac{\text{◎の個数} + \text{○の個数}}{\text{◎の個数} + \text{○の個数} + \text{×の個数}} \\ &= \frac{3+0}{3+0+1} = 3/4 \end{aligned} \quad \dots\dots (1)$$

表 3.2 区間生存率と累積生存率の計算

調査時経過年数	スパン 6	スパン 3	スパン 1	スパン 4	スパン 2	スパン 5	区間生存率	累積生存率の算定		累積生存率
0	◎	◎	◎	◎	◎	◎	6/6	6/6	=	1.00
9	×	◎	◎	◎	◎	◎	5/6	6/6×5/6	=	0.83
11		○	◎	◎	◎	◎	5/5	6/6×5/6×5/5	=	0.83
14			×	◎	◎	◎	3/4	6/6×5/6×5/5×3/4	=	0.63
14				○	◎	◎	3/3	6/6×5/6×5/5×3/4×3/3	=	0.63
21					○	○	2/2	6/6×5/6×5/5×3/4×3/3×2/2	=	0.63

いつの時点で「ある異状」の状態となったかは不明である。したがって、以下に示す解析の前提は、調査時経過年数で「ある異状」になったと仮定している。実際には調査日よりもっと以前から、「ある異状」になっていたと考えられる。

6 スパンの仮想データを使い KM 法の手順を示す。調査日の管きよの診断結果が「劣化なし」とするとこの時点ではどの緊急度にも達していないので、この解析では打切りデータといい、○で表す。×はイベントの発生を表し、異状状態(a, b, c)のいずれもイベントとする。◎はイベントが発生するまでの時間、「劣化なし」を表す。

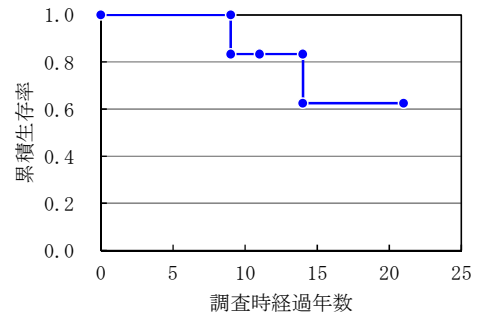


図 3.2 KM 法による累積残存率

計算には表 3.1、図 3.1 のようにまず時間の小さい順にスパンを並べる。表 3.1 のスパン 1 (経過年数 14 年) を例に調査経過時間ごとの区間生存率を(1)式で計算し、表 3.2 に示す。さらに区間生存率から累積生存率を計算する¹⁾。表 3.2 の累積生存率を図に表すと図 3.2 となる。これをワイブル分布式で回帰して生存曲線(累積生存率曲線)とする。

4. 管きよの異状発生順位の推定とその検定

4.1 管きよの異状項目の累積生存率

汚水のコンクリート管の異状項目「クラック」を一例に統計用言語 R のライブラリ survival を使って累積生存率を計算し、ワイブル分布で回帰する。ワイブル分布の形状パラメータ m、尺度パラメータ η も併せて図 4.1 内に示す。

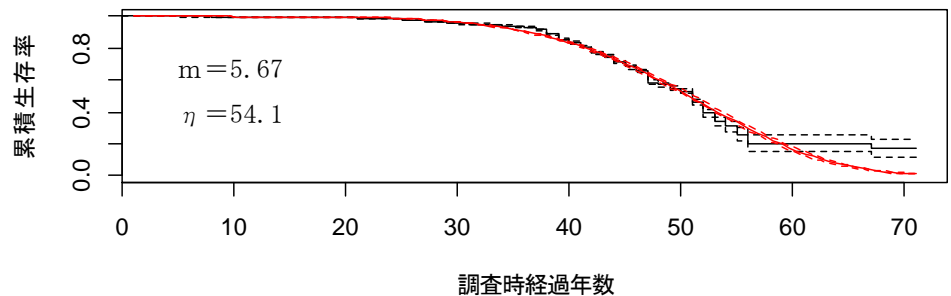


図 4.1 KM 法によるクラック累積生存率とワイブル回帰(汚水：コンクリート)

表 4.1 排水種別の異状項目のワイブル分布パラメータ

排水種別	パラメータ	腐食	たるみ	破損	クラック	継手ズレ	浸入水	突出し
汚水管きよ	m	7.85	5.39	7.04	5.67	7.29	6.51	6.00
	η	54.5	81.4	56.4	54.1	47.4	55.6	99.2
	平均 μ	51.3	75.1	52.7	50.1	44.5	51.8	92.0
合流管きよ	m	7.17	4.39	5.11	4.30	5.94	4.18	7.17
	η	65.1	65.5	57.4	68.4	50.7	48.8	54.8
	平均 μ	61.0	59.7	52.8	62.3	47.0	44.3	51.3
雨水管きよ	m	2.78	2.68	4.86	2.19	5.67	1.71	6.60
	η	355.7	239.1	66.0	105.7	59.3	205.9	61.9
	平均 μ	316.6	212.5	60.5	93.6	54.9	183.6	57.7

尺度パラメータ η が大きな値ほど累積生存率の曲線が右側に寄り、異状の発生が遅いことを表す。

このように得られた排水種別の各異状項目のワイブル分布のパラメータを表 4.1 に示す。また、そのワイブル分布のパラメータを使い累積生存率曲線の一例を図 4.2 に示す。

4.2 管きよの異状発生順位の推定

異状項目の1つである浸入水は、継手ズレ、突出し、クラック、破損などが起因して地下水位以下にある

管きよに発生すると考え、発生順位から除外して各管種別の発生中に項目を並べ表 4.2 に示す。発生順位は、回帰したワイブル分布の平均値の若い順とする。

ワイブル分布の平均値は、回帰したパラメータ m 、 η を使って、式 $\eta \cdot \Gamma(1/m+1)$ で算出した。

図 4.2 のようにクラック、腐食、破損は、その分布が重なっており、分布の平均値は計算できるものの分布として違いがあるか否かはあやしい。そこで分布に違いがあるかどうか多重検定を行った。

各分布から乱数を使って調査時経過年数を 100 個抽出してその値をノンパラメトリックな統計検定であるウィルコクソンの順位和検定を使い、多重検定を行った。この検定にも統計用言語 R の多重検定関数 `pairwise.wilcox.test()` を使った。

この多重検定により異状項目ごとの分布に違いが認められない項目、例えば汚水管きよにあつては「クラック・腐食・破損」をまとめて、表 4.3 に示した。

異状項目の発生順位は排水種別によらず継手ズレが 1 位となった。次に早いのが突出しであり、腐食が汚水管では次に続き、雨水管では腐食がほとんどなく、遅い。これは、表 4.1 の η 値によって判る。これら順位の発現要因、とくに継手ズレは、このデータベースを解析していないため明らかではない。

5. まとめ

KM 法による累積残存率の計算方法を具体的に示した。この方法でガイドライン²⁾ で示されるような健全率予測式も示すことが可能である。また、筆者の一人は下水処理場のプラント機械設備の信頼性解析に使用している。

排水種別のコンクリート管の異状項目ごとに累積残存率曲線を示し、異状項目の発生順位を抽出した。いずれの排水種別も継手ズレが始めに発生することが明らかになった。腐食は汚水管きよについては早い時期に発生し、雨水管きよではほとんど発生しない。異状内容については、修繕などを効率的に実施する際の判断の手助けになると思われる。また、累積残存率曲線は、将来管きよの異状項目ごとのスパン数や修繕費用の推計にも利用できる。異状項目ごとの累積残存率曲線など、ストックマネジメント計画の立案の手助けになれば幸いです。

【参考文献】

- 1) 高橋 信：すぐ読める生存時間解析 東京図書 2010 年 6 月 pp. 30~33
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-平成 27 年 11 月

【問い合わせ先】 中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進 TEL052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp

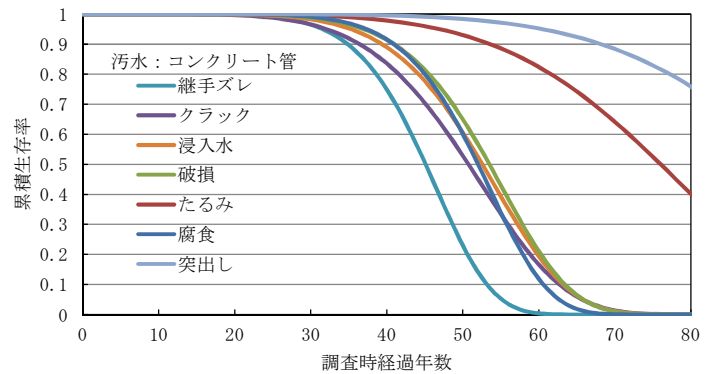


図 4.2 異状項目のワイブル分布による発生順位 (汚水：コンクリート管)

表 4.2 異状項目のワイブル分布の平均値による発生順位

コンクリート管 排水種別	発生順位					
	1	2	3	4	5	6
汚水管きよ	継手ズレ	クラック	腐食	破損	たるみ	突出し
合流管きよ	継手ズレ	突出し	破損	たるみ	腐食	クラック
雨水管きよ	継手ズレ	突出し	破損	クラック	たるみ	腐食

表 4.3 異状項目の多重検定後の発生順位

コンクリート管 排水種別	発生順位			
	1	2	3	4
汚水管きよ	継手ズレ	クラック・腐食・破損	たるみ	突出し
合流管きよ	継手ズレ	突出し・破損	たるみ・腐食・クラック	
雨水管きよ	継手ズレ・突出し・破損	クラック	たるみ	腐食