

## ■ 報 告 ■

# 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

中 根 進\*

**要 旨：**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管渠劣化データベース Ver.2を公開した。

この劣化データベースに掲載された管きよの異状内訳や、調査時経過年数を使いコンクリート管における異状の発現する順位をカプラン・マイヤー法により推定した。

各異状の有無より調査時経過年数ごとの区間生存率を計算し、累積生存率曲線を示した。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、平均経過年数などにより異状の発現順位を推定した。その結果、汚水、合流、雨水管ともに継手ズレの発現が一番早く表われていた。

**キーワード：**管渠劣化データベース、累積生存率、多重検定、カプラン・マイヤー法

## 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管渠劣化データベース Ver.2<sup>1)</sup>(以下劣化データベースという)を公開した。

この劣化データベースに掲載された管きよの異状内訳や調査時経過年数を使いコンクリート管について異状(不具合)の発現する順位をカプラン・マイヤー法により推定する。

各異状の有無より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、各異状の平均経過年数や各異状の分布間の多重検定により異状の発現順位を推定する。

## 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、突き出しなど全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、調査時経過年数

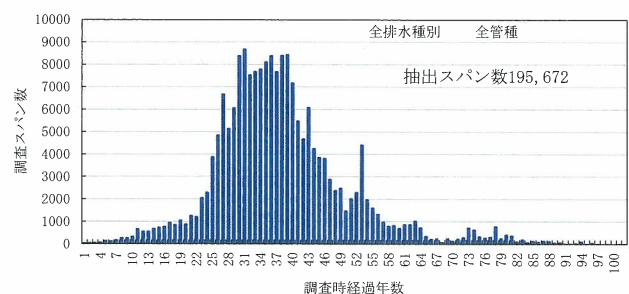


図-1 調査時経過年数のスパン数  
(全排水種別、全管種)

のスパン数は図-1の通りである。

## 3. 劣化データベースに見る異状の内訳

劣化データベースには管種としてコンクリート管、陶管、塩化ビニル管が収録されているが、本稿では排水種別ごとのコンクリート管における異状内訳について着目した。

緊急度(油脂の付着、樹木根侵入、モルタル付着の評価を除く)I, II, IIIは、異状のあるスパンであり、管種が不明なスパンを除き、管種別に緊急度のあるスパン数を全ての排水種別でみると表-1となる。抽出したスパン全数に対してコンクリート管の異状のスパン割合は、 $(1,225 + 56,784 + 69,192) / 238,358 \times 100 = 53.3\%$ にもおよぶことが明らかになった。

表-1 管種別と緊急度のスパン数(全排水種別)

管種	緊急度					計
	I	II	III	劣化無	不明	
陶管	17	33,693	23,320	6,646	399	64,075
コンクリート管	1,225	56,784	69,192	33,034	4,258	164,493
塩ビ管	0	367	2,619	6,804		9,790
計	1,242	90,844	95,131	46,484	4,657	238,358

排水種別ごとのコンクリート管は、おおむね、調査年度は2000~2015年、布設年度は1950~2000年、調査時経過年数は1~60年となっている。

コンクリート管の異状の多くを占める項目は、図-2である。

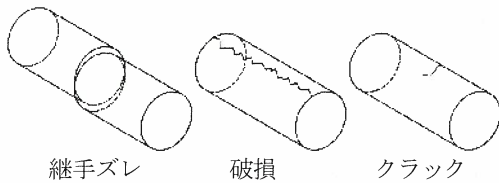


図-2 コンクリート管の代表的な異状の模式図

3.1 汚水管きよ

汚水管きよの異状内訳を劣化データベースから抽出し、どのような異状が多いのか調査する。

劣化データベースでの異状の内訳、例えば、「クラック」という項目は、1スパンに何か所という表示になっている。本稿は、「クラック」の箇所数では整理せず、1スパン中に1つでも「クラック」があれば、ランク(程度)によらず「クラック」のあるスパンとしてカウントする。

汚水管きよの異状のあるスパン数は、1スパンの中に複数箇所あることもあり、異状スパン数の合計は全スパンと異なる。全スパン数に対する比率と累積スパン数に対する累積比率を表-2に示す。

調査年度：1999~2016(不明有)  
 布設年度：1944~2011(不明有)  
 調査時経過年数：2~71(不明有)  
 管径：φ125~3100

表-2 異状スパン数と異状の累積比率計算(汚水)

順位	異状項目	異状スパン数	全スパン数に対する比率	累積異状スパン数	累積比率
		全スパン数	26,189		
1	継手ズレ	13,260	0.51	13,260	0.25
2	クラック	12,451	0.48	25,711	0.49
3	破損	9,175	0.35	34,886	0.67
4	腐食	7,366	0.28	42,252	0.81
5	浸入水	6,506	0.25	48,758	0.93
6	たるみ	2,432	0.09	51,190	0.98
7	突出し	1,214	0.05	52,404	1.00

表-2の異状項目のスパン数と累積比率をパレート図にして図-3に示す。

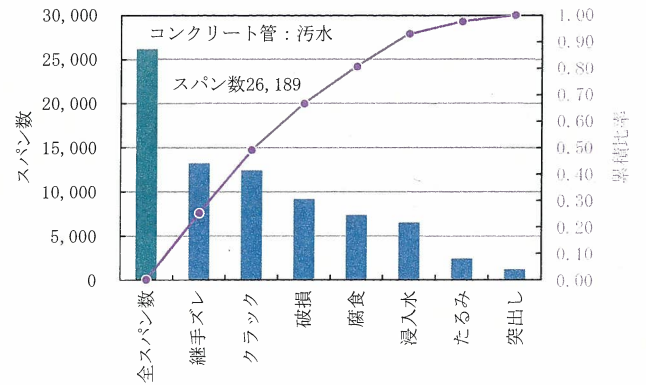


図-3 異状項目のスパン数とパレート図(汚水)

汚水管きよでは、継手ズレ、クラックが全スパン数に対して50%程度に認められ、破損、腐食は各30%程度に認められる。スパンには異状項目が重複していることから、部分補修というよりスパン単位の補修が必要になると思われる。浸入水は25%程度のスパンに見られる。

汚水管きよには、腐食が多く、異状の上位から3位となっているが、合流管きよや雨水管きよにはあまり見られない症状である。

3.2 合流管きよ

汚水と同様に合流管きよについても異状項目のスパン数と累積比率の関係を表-3に、パレート図を図-4に示す。

調査年度：2000~2015(不明有)  
 布設年度：1950~2002(不明有)  
 調査時経過年数：1~63(不明有)  
 管径：φ?~4500(データベース中に特定できない最小値がある)

合流管きよは、浸入水が50%程度のスパンに認められることが特徴となっている。次に継手ズレが40%程度、破損、クラックが各30%のスパンに認められる。

合流管きよは、汚水管のすべての異状が全スパンに対する比率0.05~0.51に対して0.11~0.48であり、異状の比率はほぼ同等である。

表-3 異状スパン数と異状の累積比率計算(合流)

異状項目	異状スパン数	全スパン数に対する比率	累積異状スパン数	累積比率
全スパン数	5,315			0.00
浸入水	2,575	0.48	2,575	0.25
継手ズレ	2,215	0.42	4,790	0.46
破損	1,769	0.33	6,559	0.63
クラック	1,519	0.29	8,078	0.77
たるみ	929	0.17	9,007	0.86
突出し	859	0.16	9,866	0.94
腐食	599	0.11	10,465	1.00

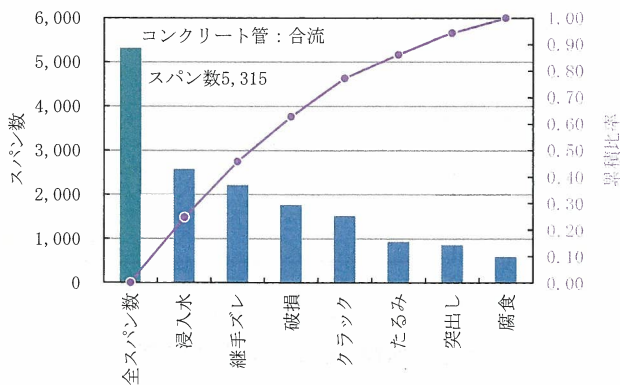


図-4 異状項目のスパン数とパレート図(合流)

3.3 雨水管きよ

汚水、合流管きよと同様に雨水管きよについても異状項目のスパン数と累積比率の関係を表-4にパレート図を図-5に示す。

調査年度：2001～2015(不明有)  
 布設年度：1950～2002(不明有)  
 調査時経過年数：1～63(不明有)  
 管径：φ？～2400(データベース中に特定できない最小値がある)

雨水管きよは、クラック、破損が全スパン数に対して各35%程度認められ、残りの異状項目については30%以下となっている。

表-4 異状スパン数と異状の累積比率計算(雨水)

順位	異状項目	異状スパン数	全スパン数に対する比率	累積異状スパン数	累積比率
		全スパン数	3,272		
1	クラック	1,167	0.36	1,167	0.24
2	破損	1,151	0.35	2,318	0.47
3	浸入水	902	0.28	3,220	0.66
4	腐食	572	0.17	3,792	0.77
5	継手ズレ	498	0.15	4,290	0.87
6	突出し	467	0.14	4,757	0.97
7	たるみ	150	0.05	4,907	1.00

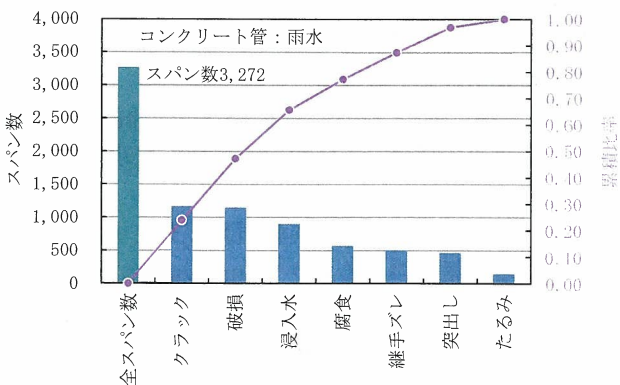


図-5 異状項目のスパン数とパレート図(雨水)

雨水管きよは、汚水管きよの異状が全スパンに対する比率0.05～0.51に対して0.05～0.36であり、合流管

きよと較べても異状が少ない。

分流と合流管きよを持つ自治体では、管内調査や修繕計画の優先順位を異状スパン比率から判断すれば、

1. 汚水管きよ > 2. 合流管きよ > 3. 雨水管きよの順番となる。

ここで、汚水管きよ、合流管きよ、雨水管きよでは、異状項目の全スパンに対する比率の順番が変化している。そこで、排水種別によりどの異状項目の発現が早いのかを調査することにした。

4. カプラン・マイヤー法による生存曲線(累積生存率曲線)

何らかのイベント(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関係を生存率で表わす。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。累積生存率は後述の(1)式を用いる。

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いる。故障などをイベントとした場合、JIS Z 8115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 Kaplan-Meier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生起するイベントに適用する場合、イベントには調査結果に基づき診断した破損など異状があり、そのイベントが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、いつの時点で「ある異状の状態(a, b, c)」になったか不明である。したがって、以下に示す解析の前提は、調査時点で「ある異状状態」になったと仮定している。実際は調査時点よりもっとも以前から、「ある異状状態」になっていると考えられる。

6スパンの仮想データを使い KM 法の手順を示す。管きよ内調査における診断結果が破損のcより劣化しているスパンを例に概説する。診断例を表-5に示す。調査日における管きよの診断結果が「破損なし」や「他の破損」とするとこの時点ではどの破損状態にも達していないので、この解析では打ち切りデータといい、○で表わす。×はイベントの発現を表わし、破損状態(a, b, c)のいずれもイベントとする。表中の「他の異状」は、「破損なし」や「他の破損」を意味する。



表-5 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)	○	×
6	9	破損有(a, b, c)	×	1
3	11	他の異状	○	0
1	14	破損有(a, b)	×	1
4	14	他の異状	○	0
2	21	他の異状	○	0
5	21	他の異状	○	0

計算に際し、表-5のデータを図-6のように時間の小さい順(昇順)にスパンを並べる。

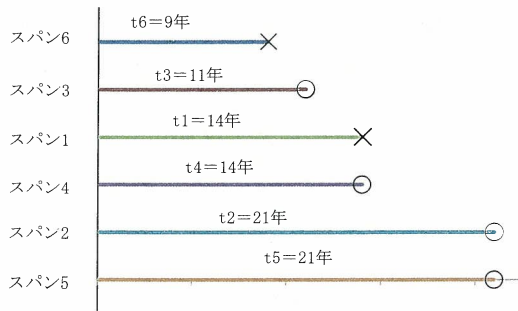


図-6 調査時経過年数とイベントの発現状況

緊急度Ⅱ(Iを含む)の生存曲線の計算例を示す。図-6を表形式にして表-6にする。◎はイベントが発現するまでの時間、「破損なし」を表わす。

表-6 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
								分子	分母	
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

経過年数14年(スパン1)を例に調査経過時間ごとの区間生存率を(1)式で計算する。

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

経過年数ごとの区間生存率から上記表-6のように累積生存率を計算する<sup>2)</sup>。

表-6の累積生存率を図に表わすと図-7となる。これをワイブル分布式で回帰して累積生存率曲線とする。

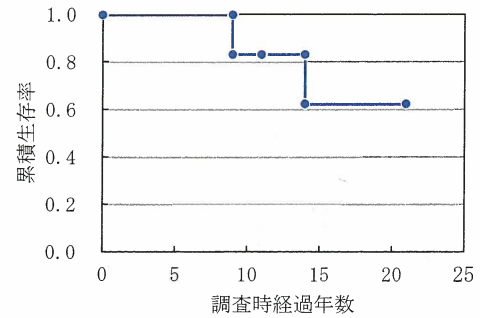


図-7 KM法による累積生存率

ワイブル分布の累積生存率  $R(t)$ は(2)式で表わす。

$$\text{累積生存率 } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} \dots\dots(2)$$

ここに、 $t$  : 時間間隔(調査時経過年数)

$m$  : 形状パラメータ

$\eta$  : 尺度パラメータ

## 5. 管きよの異状発現順位の推定とその検定

### 5.1 管きよの異状の累積生存率

国総研データベース Ver.2にある管きよの異状項目ごとに、Kaplan-Meier法により調査時経過年数を昇順にならべたあとに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計算し、調査時経過年数に沿って累積生存率を算定する。

この累積生存率をワイブル分布などで回帰しておくことにより、異状の発現特性が明らかになり、適切な保全方法を選択する目安となる。

時間経過にしたがって1つのスパンが異状なく残っている率を表わしたものが累積生存率である。この累積生存率を信頼度  $R(t)$ とし、設置当初はすべてのスパンが異状なく残っているため  $R(t) = 1$  であり、時間の経過にしたがって  $R(t)$  値が減少する。

時間経過に伴う累積生存率の低下を表わすのが信頼度曲線である。この曲線は確率としての管きよの信頼性を表わしており、これを求めることが、将来の異状の推移の推定のもととなる。

異状と評価したスパンに対して信頼性曲線を時間  $t = 0$  から  $\infty$  まで積分した時間が、異状が発現する平均時間となる。

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 というプログラム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  $\eta$  も併せて図-8に示す。

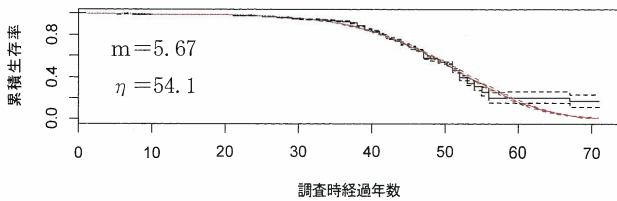


図-8 KM法によるクラック累積生存率とワイブル回帰(汚水：コンクリート管)

尺度パラメータ  $\eta$  が大きな値ほど累積生存率の曲線が右側に寄り、異状の発現が遅いことを表わす。

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-7に示す。

ワイブル分布の平均値を回帰したパラメータ  $m, \eta$  を使って、式  $\eta \cdot \Gamma(1/m + 1)$  で算出し、表-7に併せて示す。

表-7 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
	$\eta$	54.5	81.4	56.4	54.1	47.4	55.6	99.2
	平均 $\mu$	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
	$\eta$	65.1	65.5	57.4	68.4	50.7	48.8	54.8
	平均 $\mu$	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
	$\eta$	355.7	239.1	66.0	105.7	59.3	205.9	61.9
	平均 $\mu$	316.6	212.5	60.5	93.6	54.9	183.6	57.7

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を図-9～図-11に示す。

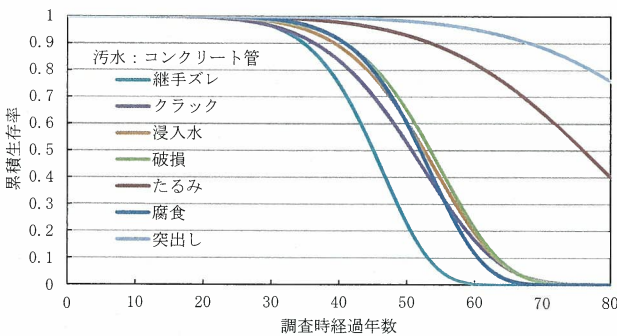


図-9 異状項目のワイブル分布による発現順位(汚水：コンクリート管)

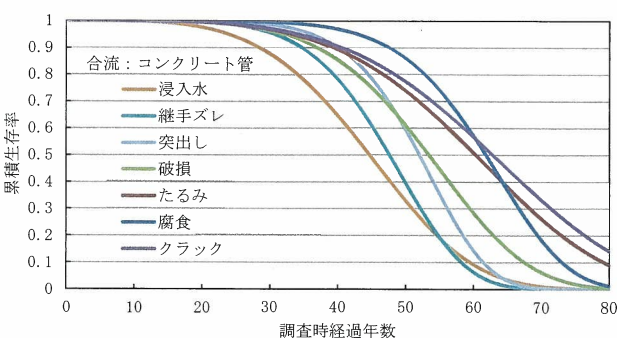


図-10 異状項目のワイブル分布による発現順位(合流：コンクリート管)

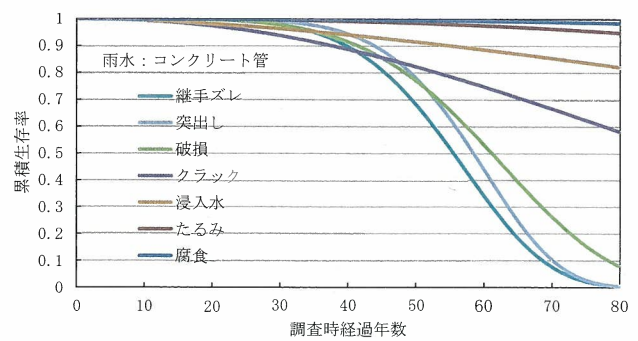


図-11 異状項目のワイブル分布による発現順位(雨水：コンクリート管)

排水種別ごとの同じ異状項目に対する発現順位は、表-7、図-9～11から尺度パラメータ  $\eta$  をみれば、おおむね判断できる。排水種別ごとに調査スパンの多い調査時経過年数40年の継手ズレをみると、汚水管きよ累積生存率0.75、合流管きよ0.78、雨水管きよ0.9の順で発現する。

調査時経過年数40年の排水種別に発現の早い項目をみると、合流管きよでは、継手ズレで累積生存率0.65、汚水管きよでは浸入水の0.75、雨水管きよではクラックの0.89であり、合流管きよの異状の発現が早いことが判明した。

浸入水は、図-9～11で明らかなように合流管きよ、汚水管きよ、雨水管きよの順で発現している。

調査時経過年数が70年では、前述図-8に示すようにKM法の累積生存率とワイブル回帰した結果がずれるため、推測となるが、合流管きよのすべての異状項目の累積生存率が0.2以下となり、雨水管きよ、汚水管きよより劣化が早い。

これら発現順位の遅速の要因は、このデータベースにある管径、土被、スパン長、取付管本数、道路種別、歩車道区分などの項目を使って多変量解析などによって明らかになる可能性もある。

### 5.2 多重検定方法

各異状項目間の分布の違いを比較するには多重検定という方法が用いられる。多重検定では、各異状項目間を群間と呼んで説明されている。

多重検定にも種々の方法があり、分布が正規分布することを前提に有意水準  $\alpha$  を上げずに各異状項目間の分布の平均値(調査時経過年数)の差を比較するパラメトリック検定(Tukey-Kramer法など)と分布を仮定することが困難な際に利用されるノンパラメトリック検定に大別される。

異状項目間の調査時経過年数は、ワイブル分布に従っているので正規分布を前提にした検定が使えない。ここではノンパラメトリック検定の一つであるウィルコクソンの順位検定という群間の検定ができる方法を採用し、R言語の多重検定関数 pairwise.



wilcox を使う。この中で p 値の多重比較補正には、検出力が高い Benjamini & Hochberg 法とした。

この検定の帰無仮説は 2 群間の代表値に差がないことである。検定量の有意水準  $\alpha$  を 5% (0.05) とすると、検定量の p 値  $>$  有意水準  $\alpha$  0.05 で帰無仮説は棄却できず、2 群間の分布 (代表値) に差がないことになる。検定量の p 値  $<$  有意水準  $\alpha$  0.05 で棄却され、2 群間の分布 (代表値) に差があることになる。

### 5.3 管きよの異状発現順位の推定

#### 5.3.1 浸入水とその他の異状項目

異状項目の 1 つである浸入水は、継手ズレ、突き出し、クラック、破損などが起因して地下水水位下にある管きよに発現すると考える。同時に起こると考えれば、その他の異状項目と同じ時期に発現すると考え、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ウィルコクソンの順位和検定 (多重検定関数 pairwise.wilcox) に使い、多重検定を行う。

汚水管きよの異状項目を多重比較した各項目間の検定量の p 値を表-8 に示す。表の白抜きが有意水準  $\alpha$  (0.05) より大となり、分布に差がなく、分布が同じと見なされる。なお、多重検定関数 pairwise.wilcox では、「 $<2e-16$ 」となっているのを表中では 0 と表示した。

表-8 汚水の異状項目の多重比較と p 値

	クラック	たるみ	継手ズレ	浸入水	突き出し	破損
たるみ	0	-	-	-	-	-
継手ズレ	3.50E-07	0	-	-	-	-
浸入水	0.84	0	2.90E-09	-	-	-
突き出し	0	2.30E-10	0	0	-	-
破損	0.35	0	6.90E-14	0.46	0	-
腐食	0.96	0	1.10E-09	0.81	0	0.32

同様に合流管きよ、雨水管きよも多重検定し、浸入水の項目のみ抽出して表-9 に示す。表の白抜きが浸入水と同じ分布とみなされ、その異状項目の発現と浸入水の発現が同時と推定される。

表-9 排水種別の浸入水とその他異状項目の p 値

排除方式	クラック	たるみ	継手ズレ	突き出し	破損	腐食
汚水 浸入水	0.84	0	2.9E-09	0	0.46	0.81
合流 浸入水	3.9E-14	2.4E-09	0.1274	3.10E-05	4.20E-07	0
雨水 浸入水	3.4E-10	0.00386	0	0	0	4.30E-13

汚水管きよは、クラック、破損、腐食が浸入水と同じ時期に発現すると推定された。合流管きよは、図-10 に示すように浸入水が最初に表われてしまい、要因の想定ができにくい継手ズレと同じ時期に発現すると推定される。雨水管きよは、浸入水の発現が遅く、異状項目が要因となっていない結果となった。

雨水管きよ以外では、浸入水は、継手ズレ、突き出し、クラック、破損などが起因して地下水水位下にある管きよに発現すると考えることができる。

### 5.3.2 浸入水を除く異状項目による順位推定

地下水を発現順位から除外して各管種別の発現中に項目を並べ表-10 に示す。発現順位は、回帰したワイブル分布の平均値 (表-7 参照) の若い順とする。

表-10 異状項目のワイブル分布の平均値による発現順位

コンクリート管排水種別	発現順位					
	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	突き出し
合流管きよ	継手ズレ	突き出し	破損	たるみ	腐食	クラック
雨水管きよ	継手ズレ	突き出し	破損	クラック	たるみ	腐食

前述図-9 ~ 図-11 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あやしい。そこで分布に違いがあるか否か多重検定を行った。多重検定は、前述同様、各分布から乱数を使って調査時経過年数を 100 個抽出して行った。その結果を表-11 ~ 13 に示す。白抜きが同じ分布と見なされる。

表-11 汚水の浸入水を除いた異状項目の多重比較と p 値

	クラック	たるみ	継手ズレ	突き出し	破損
たるみ	0	-	-	-	-
継手ズレ	4.40E-03	0	-	-	-
突き出し	0	1.80E-10	0	-	-
破損	0.2802	0	8.20E-07	0	-
腐食	0.2298	0	1.50E-08	0	0.8041

表-12 合流の浸入水を除いた異状項目の多重比較と p 値

	クラック	たるみ	継手ズレ	突き出し	破損
たるみ	0.09186	-	-	-	-
継手ズレ	0.00E+00	6.20E-09	-	-	-
突き出し	2.00E-09	3.10E-04	0.000034	-	-
破損	1.90E-09	0.00013	1.01E-02	0.39177	-
腐食	0.33404	0.34095	0	1.50E-09	2.40E-09

表-13 雨水の浸入水を除いた異状項目の多重比較と p 値

	クラック	たるみ	継手ズレ	突き出し	破損
たるみ	0	-	-	-	-
継手ズレ	1.90E-10	0	-	-	-
突き出し	1.90E-08	0	0.0081	-	-
破損	2.50E-07	0	0.0017	0.2626	-
腐食	0	2.10E-12	0	0	0

有意水準  $\alpha$  0.05  $>$  検定統計量の p 値であれば各異状項目間に有意差があるので分布が異なる。

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っては「クラック・腐食・破損」をまとめ、表-14 に示した。

異状項目の発現順位は排水種別によらず継手ズレが 1 位となった。次に早いのが突き出しであり、腐食が汚水管きよでは次に続き、雨水管きよでは腐食がほと

んどなく、発現が遅い。これは、表-7のη値や平均値によって判る。これら順位の発現要因、とくに継手ズレについては、このデータベースを解析していないため推定できていない。

表-14 異状項目の多重検定後の発現順位

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

5.3.3 たるみと腐食の関連性

汚水管きよ(表-11 参照)では、たるみと腐食は同じ分布とはみなされなく、腐食よりたるみの発現が遅く、たるみが腐食の要因になっていないと考えられる。

合流管きよ(表-12 参照)の場合は、たるみと腐食は同じ分布とみなされ、同時期の発現になっており、たるみが腐食の要因になっていると考えることもできる。

雨水管きよ(表-13 参照)は、たるみと腐食の発現が極めて遅く、同じ分布とはみなされない。

6. ま と め

KM法による累積生存率の計算方法を具体的に示した。データベース Ver.2のデータからKM方法を用いてガイドライン<sup>3)</sup>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、筆者は下水処理場のプラント機械設備の信頼性解析<sup>4)</sup>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生存率曲線を示し、異状項目の発現順位を示した。発現順位より次のことが示される。

- ・いずれの排水種別も継手ズレが始めに発現することが明らかになった。排水種別に継手ズレの発現順位

を示すと、1.汚水管きよ 2.合流管きよ 3.雨水管きよの順番となった。

- ・腐食は汚水管きよについては早い時期に発現し、雨水管きよでは発現が極めて遅い。
- ・異状内訳で合流管に浸入水が50%のスパンに見られ、浸入水の発現が早い結果となっており、要因はこのデータベースからは解析できていない。
- ・汚水や雨水管きよでは、浸入水は継手ズレ、突き出し、クラック、破損などが起因して発現すると多重検定から考えられた。
- ・たるみと腐食の関連性は、合流管きよについて発現が同じ程度とみなされ、たるみが腐食の要因になっていると考えることもできる。汚水管きよ、雨水管きよについては関連がないと考えられる。

異状内訳については、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、累積生存率曲線は、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生存率曲線など、本稿が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ある。

〈参 考 文 献〉

- 1) 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：管渠劣化データベース <http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/rekka-db.html>
- 2) 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
- 3) 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 p.付録IV-
- 4) 中根 進：下水処理場プラント機器の信頼性解析事例下水道協会誌論文集平成18年4月号 pp.95~102

(30.4.25 受付)



\* (なかね すすむ)  
 中日本建設コンサルタント(株)  
 水工技術本部  
 日本下水道協会 特別会員