

下水道用機器の区間データによる信頼性解析事例

中日本建設コンサルタント株式会社 ○鈴木 宏佳 中根 進

1. はじめに

筆者らは、劣化診断調査時に得た故障間隔データを使って下水道用機器の信頼性解析を行ってきた。しかしデータを得た処理場数は、10 処理場にも満たないもので、我国の下水道用機器全体が示す信頼性の尺度とは程遠いものである。下水道維持管理指針(1979, 1991 年版：以下維持管理指針と呼ぶ)に処理場・ポンプ場の揚水施設、水処理施設、汚泥処理施設、計装設備、電気設備、その他機械設備について年度別に故障回数の実績が示されている。このデータを解析することにより下水道用機器の機種毎の状態を定量的に把握し、保全計画などに利用できるよう、各機器の信頼度を表すワイブル分布式のパラメータ(m, η)を提示することを試みた。

2. 下水道維持管理指針の故障データ

過去 2 つの版の維持管理指針に示されている設備数、機種の数および機器数は、下記の通りである。
 1979 年版 昭和 42 年度～昭和 51 年度の 10 年間²⁾ 100 機種 プラント機械設備数 14 設備, 機器数 2,737 基
 1991 年版 昭和 56 年度～昭和 63 年度の 8 年間³⁾ 76 機種 プラント機械設備数 13 設備, 機器数 3,082 基

2.1 機器の年平均故障回数

下水道用機器(機種ごと)の故障回数の一例を表-1 (1991 年版)に示す。本文で機器という場合は、表-1 の機器名とする。表-1 から下式により機器 1 台当たり年平均故障回数を算定して図-1, 2 に示す。この平均故障回数は、「平均故障率」と呼ばれる。

$$\text{機器 1 台当たり年平均故障回数} = \frac{\text{Y 年間の故障回数}}{\text{機器設置数} \times \text{Y 年}}$$

ここで、1979 年版 Y=10 年間
 1991 年版 Y=8 年間

表-1 水処理施設の機器の調査数と故障回数³⁾ (1991 年版)

機器名	設置数	単位	年度別故障回数							計		
			56	57	58	59	60	61	62		63	
最初沈殿池	汚泥かさ寄せ機(チェーンフライン)	129	台	40	46	91	63	54	29	41	26	390
	汚泥かさ寄せ機(タラフフライン)	5	台	1	3	1	5	0	0	-	-	10
	スカム除去装置	24	台	9	6	2	7	8	10	16	14	72
	汚泥ポンプ	111	台	9	8	2	4	2	11	5	7	48
	その他	10	台	3	2	0	3	4	1	6	1	20
計			62	65	96	82	68	51	68	48	540	
エアタン	送風機	88	台	9	14	2	7	5	9	12	10	68
	散気設備	151	槽	1	4	3	11	5	3	11	7	45
	その他	10	場	3	13	4	13	6	5	8	13	65
	計			13	31	9	31	16	17	31	30	178
最終沈殿池	汚泥かさ寄せ機(チェーンフライン)	111	台	64	77	76	75	17	53	14	17	393
	汚泥かさ寄せ機(サイフォン)	40	台	1	3	11	19	16	11	12	14	87
	汚泥かさ寄せ機(ミューダ)	24	台	11	12	19	19	15	27	7	4	114
	汚泥ポンプ	242	台	8	9	11	16	8	9	17	13	91
	スカム除去	24	台	15	5	6	7	9	6	7	11	66
その他	10	台	4	8	6	5	0	1	7	5	36	
計			103	114	129	141	65	107	64	64	787	
薬品設備	塩素	4	場	15	11	18	26	12	14	13	20	129
	次亜塩素酸ソーダ	6	場	1	1	2	3	4	4	11	11	37
	計			16	12	20	29	16	18	24	31	166
高度処理	ろ過池(砂ろ過機)	67	台	15	16	9	10	15	13	15	9	102
	その他	11	台	10	16	9	16	15	23	22	24	135
	計			25	32	18	26	30	36	37	33	237
合計			219	254	272	309	195	229	224	206	1908	

プラント機械設備では、処理工程の下流になるにしたがい、その処理に関わる設備の機器 1 台当たり年平均故障回数は増加していく傾向にある。1979 年版の 10 年間と 1991 年版の 8 年間を比較すると、同一機器を継続調査しているとは限らないが、1991 年版の方が、年平均故障回数が大きく減少している。

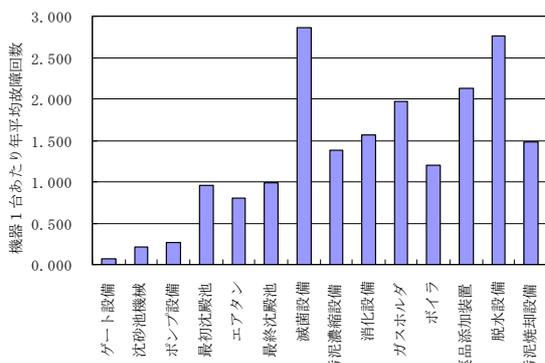


図-1 機械設備の年平均故障回数(1979 年版)

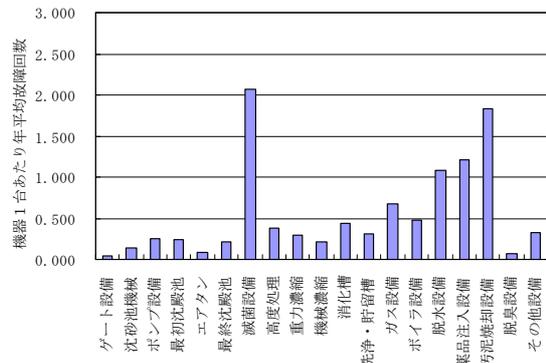


図-2 機械設備の年平均故障回数(1991 年版)

3. 信頼性解析データの種類

3.1 故障間隔データ(打切データ)

信頼性解析の基本となる解析データは、維持管理年報などから対象とする機器の故障を抽出して故障時刻を図-3上のように時系列に表示する。図-3上から故障間隔(時間あるいは年間隔)を抽出し、その故障間隔を昇順に並べ替えて、信頼性解析データとする。累積ハザード法と言われる信頼性解析の手順は文献¹⁾に示す。ここで累積ハザード値は、故障確率F値である。

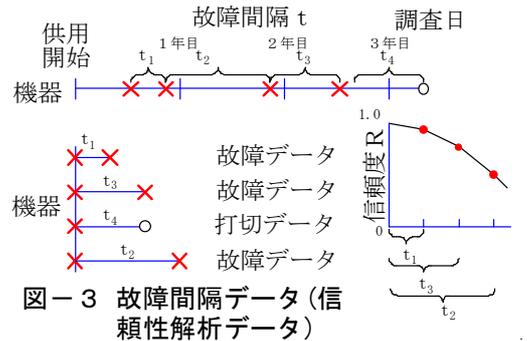


図-3 故障間隔データ(信頼性解析データ)

3.2 区間データ(区間の故障回数データ)

管理している機器数が明らかで、年度毎に故障回数を記録しているデータを本文では区間データと言い、最初沈殿池設備汚泥掻寄機(チェーンフライト)129台を例として図-4上に示す。図-4下は、このデータを棒グラフにしたものである。

今回の信頼性解析は、図-4下の故障回数の山をワイブル分布の確率密度f曲線で近似するものである。このデータを基に各年の故障確率F(t)と信頼度R(t)の値を算定する。

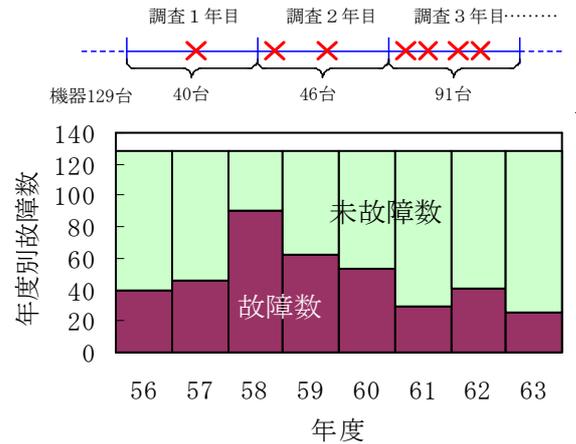


図-4 区間データ(区間の故障回数データ)

4. 維持管理指針の区間データによる信頼性解析

4.1 信頼性解析事例(最初沈殿池設備汚泥掻寄機)

表-1のデータは運転開始直後の年度の故障回数が不明であり、信頼度曲線の横軸(経過年数)が判明していない。

図-4に示した最初沈殿池設備汚泥掻寄機(チェーンフライト)129台を1機種として信頼度を算出する手順を示す。1機種129台の調査年度ごとの故障回数を表-1から抽出して、表-2に示す手順で故障確率F(t)、信頼度R(t)の値を算定する。

表-2 区間データ2による信頼度値の計算手順(最初沈殿池設備汚泥掻寄機)

調査年度	調査開始からの経過年数	故障数 fi	機器数	累積故障数 Fai	故障確率 F(t)	信頼度 R(t)
56	1	40	129	40	0.03876	0.96124
57	2	46	129	86	0.083333	0.916667
58	3	91	129	177	0.171512	0.828488
59	4	63	129	240	0.232558	0.767442
60	5	54	129	294	0.284884	0.715116
61	6	29	129	323	0.312984	0.687016
62	7	41	129	364	0.352713	0.647287
63	8	26	129	390	0.377907	0.622093
計			1,032			

次に図-5に示すように区間の経過年数(調査開始時からの経過年数)の対数値を横軸、信頼度R(t)の逆数の二重対数値を縦軸にして打点し、直線式で回帰する。直線回帰式の傾きが、ワイブル分布の形状パラメータmになる。尺度パラメータηは、回帰式の切片bを使って次式で計算する。

$$\text{切片 } b = -m \times \ln(\eta)$$

信頼度値とワイブル分布で回帰した汚泥掻寄機の信頼度曲線と故障率λ(t)曲線を図-6に示す。故障率λ曲線は、バスタブ曲線と言われるものであり、この故障率λは、瞬間故障率とも言われ、ある時点まで作動してきた機器が引き続き単位期間(年)に故障を起こす割合である。掻寄機は、経過年数が大となると一定値に漸近していく。

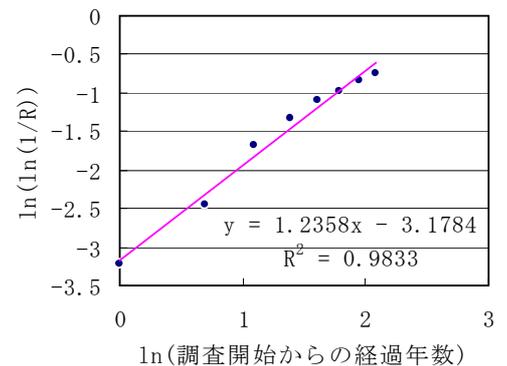


図-5 トーマスプロット法によるワイブル分布のパラメータの同定

4.2 区間データによるすべての機器の信頼性解析結果

維持管理指針にあるすべてのプラント機器名について信頼度解析を行いワイブル分布のパラメータm、η

を推定した。

本文ではすべての機器名のパラメータ m , η の値を示していないが、 m の値に対する機器名数をカウントして頻度分布を作成し、確率密度 f の形にして図-7 (1979), 8 (1991) に示す。確率密度 f の形は、ガンマ分布と極値分布を利用した。極値分布は、ピークから右側のすそ野をうまく表現できる分布である。

今回解析した区間データは、機器の設置年度が不明であるため、パラメータ η 値の評価は難しいが、機器間の相対的な故障間隔の大小は評価できると考えられる。

図-7, 8 中に示す $E(m)$ は、解析したすべての機器に対する m をガンマ分布で回帰した平均値であり、1979 年版で 1.19, 1991 年版では 1.15 でありほぼ同値であった。 $m \geq 2.0$ で故障率 λ は経過年数に対して線形で右方上りで上昇するが、 $m > 2.0$ となる機器は極めて少なく、数機種である。

供用開始後 20 年以上経過している処理場において文献⁴⁾ の別表に m の値を示した。この m は、図-3 の故障間隔データから推定したものであり、機械設備の m を分布にすると、図-9 となり、 $E(m) = 0.98$ であった。この処理場の m 分布も区間データから推定した全国値と同様な結果となった。

5. 信頼性解析のまとめ

維持管理指針の故障回数実績から機器名単位で機器 1 台当たりの年平均故障回数を明らかにした。この年平均故障回数や信頼性解析結果の形状パラメータ (m) 値により、維持管理に重点をおきたい傾向のある機器が明確になる。この形状パラメータ (m) の値から経過時間により保全(経時保全), 状態監視保全, 予測による保全など予防保全と言われる機器保全方法の選択の目安を提示できる。

【参考文献】

- 1) 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 2006.4
- 2) (社)日本下水道協会：下水道維持管理指針－1979 年版－，pp.215～220 昭和 54.8.15
- 3) (社)日本下水道協会：下水道維持管理指針ポンプ場・処理場施設編－1991 年版－，pp.52～59, 1999
- 4) 中根 進：シミュレーション手法を用いた下水道用機器の点検計画の評価，下水道協会誌論文集 2011.9

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

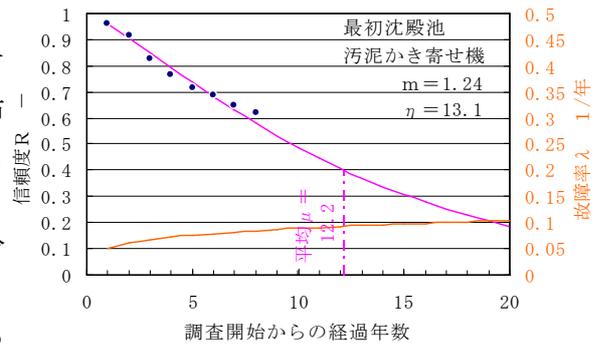


図-6 最初沈殿池設備汚泥掻寄機(チェーンフライト)のワイブル分布による信頼度 R と故障率 λ 曲線(バスタブ曲線)

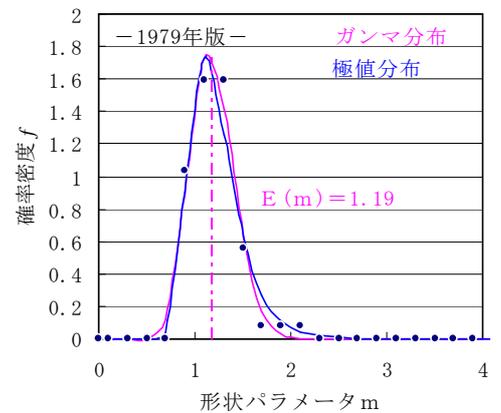


図-7 機械設備パラメータ m の分布 (1979 版)

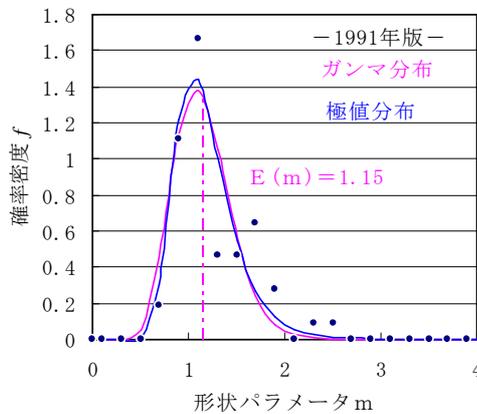


図-8 機械設備パラメータ m の分布 (1991 版)

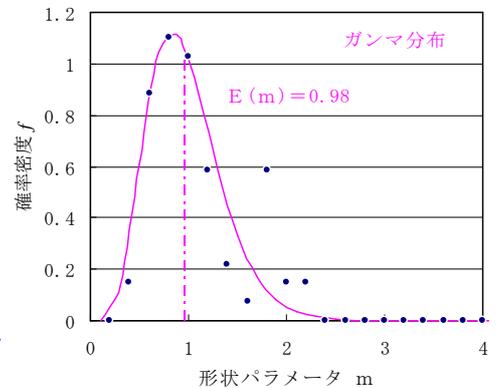


図-9 焼却設備を持たない処理場の機械設備パラメータ m の分布