

故障シミュレーションによる点検計画の評価

中日本建設コンサルタント株式会社 ○山内 俊明 中根 進

1. はじめに

下水道用プラント機器の信頼性解析を行うことにより、機器の故障特性（初期故障型、偶発故障型、摩耗故障型）が明らかになる。機器の故障特性はワイブル分布のパラメータ（ m, η ）で表現できる。一般的に機器の故障特性を把握することにより、点検保全方法（予防保全、事後保全）が選択できる。

筆者らの調査¹⁾の範囲では、下水道機器の故障特性は、初期故障型（ $m < 1$ ）か偶発故障型（ $m = 1$ ）を示し、予防的な時間計画保全を行っても予防保全の効果が期待できない²⁾としている。このような初期故障型、偶発故障型を示す機器に対し、ワイブルの累積故障分布を用い機器の故障間隔を擬似的に発生させる故障シミュレーションを使って、時間計画保全と言われる定期点検計画について保全コストで評価する。

2. シミュレーション手法

2.1 定期点検計画

機器の定期点検は、聞き取り調査の結果、1ヶ月の中で設定した日時で行うのではなく、随時設定した回数を行うとのことであった。そこで、月に m 回定期点検を行う場合には、1ヶ月毎に0～1までの値をとる一様乱数を m 個生成し、月の点検日を設定する。この乱数を12ヶ月分発生させ年間点検計画とする。

2.2 年間保全コストの推定

1回当たり定期点検費用と定期点検以外の偶発的な故障による緊急保全費用を以下のように設定する。

図-1に示すように定期点検間隔 T_m より機器の故障間隔 T_f が大きい時は、偶発的な故障を未然に防止できることもある（適切に保全された）と仮定して、1回当たりの定期点検費用 C_m を計上する。

$$\text{点検間隔 } T_m \leq \text{故障間隔 } T_f$$

定期点検間隔 T_m より機器の故障間隔 T_f が小さければ、定期点検ではその機器の故障を見つけることができないものとして、機器別に故障1回当たり緊急保全費用 C_f を計上する。

$$\text{点検間隔 } T_m > \text{故障間隔 } T_f$$

定期点検費用と故障による緊急保全費用を1年間、積み上げて年間保全コストとする。

2.3 故障間隔の生起

機器毎に信頼性解析を行い、ワイブル分布のパラメータ m 、 η を推定する。

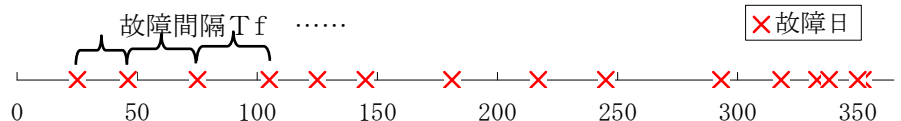


図-2 故障間隔 T_f の生起

機器毎に0～1までの値をとる一様乱数 r を生成し、この乱数値 r をワイブル分布（累積確率 $F(t)$ ）の逆関数に代入し、故障間隔 T_f を生成し、図-2のように並べておく。

なお、定期点検時において各機器をすべて分解し、必要に応じて部品の交換まで行なうような整備を想定

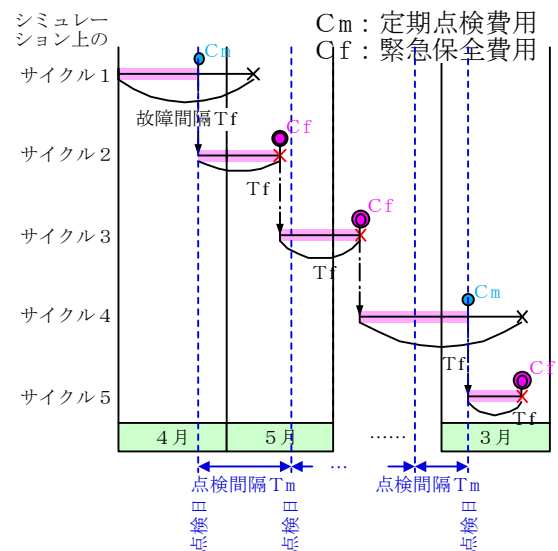


図-1 機器の故障と点検費用の発生の関係

する場合は、シミュレーションの考え方として、分解整備直後に故障間隔を生起させる。今回のシミュレーションは、分解整備を想定せず、各機器に対して予め故障間隔Tfを生起させておくものとする。

2.4 年間保全コストの設定

(1) 点検コスト

平成20年度版公共下水道統計により該当する処理場の「人件費」と「運転管理費」を調査し、これらを加算した費用を年間の点検費用とし表-1に示す。

シミュレーションする処理場の定期点検回数は、聞き取り調査により、以下の回答を得た。

- ・ 日常点検回数：週5回（五感）／全機器
- ・ 定期点検回数：機器1基につき1回

年間の総点検回数を表-2のように算出し、点検1回当たりの点検費用を算出する。

$$116,840 \text{ 千円/年} \div 437 \text{ 回/月} \times 12 \text{ ヶ月/年} = 22.3 \text{ 千円/回}$$

この点検費用を1としてシミュレーションした年間の定期点検回数を乗じて定期点検コストとする。

(2) 緊急保全コスト

文献³⁾に表-3に示す主ポンプ、送風機、反応タンク（機械曝気装置）のオーバーホール費用の調査値が記載されている。このオーバーホール費用には、機器の仕様(諸元)は不明であるが、調査台数が明らかになっているので、機器1台当たりの平均オーバーホール費用を算出する。

これら機器の平均オーバーホール費用と今回シミュレーションする同種機器費の比を算出し、機器費に対するオーバーホール費用の比の費用関数を算出した。機器別の緊急費用は、この費用関数による機器のオーバーホール費用と仮定する。

機器によって定期点検費用より緊急保全費用が安価にならないように、緊急保全費用には定期点検費用を可算するものとする。すべての機器に対して1年間の緊急保全費用を集計したものを緊急保全コストとする。緊急保全コストと定期点検コストを加算し、年間保全コストとする。

3. 解析結果

3.1 シミュレーションデータ

ある処理場を例にとり主ポンプおよび水処理設備の主機を用いて、全20基の機器で年間保全計画を検討する。

今回シミュレーションする機器と信頼性解析によって得られたワイブル分布のパラメータm、ηを表-4に示す。予備機は常時運転していないので、故障がないため、表-4の機器には予備機を除外する。

3.2 年間点検計画

評価する年間点検計画を表-5に示す。現状行われている月1回の定期点検による保全を点検計画2とし、故障回数を減少させることを目的に点検頻度を月2回とする計画を点検計画1とする。また、保全コストの低減を目的に点検頻度を半減（月0.5回）する計画を点検計画3とする。

表-1 点検費用

単位：千円/年	
人件費	12,651
運転管理委託費	104,189
計 点検費用	116,840

表-2 主機数と聞き取り調査による点検回数

設備名	主機の数	月当たり点検回数	
		定期点検 月1回/機器	日常点検 5回/(全機・週) ×4週/月
沈砂池ポンプ ・水処理	367	367	20
汚泥処理	50	50	
計		437 回/月	

表-3 実績オーバーホール費用²⁾

機器名	機種	1台当たり オーバーホール 費用(千円)
主ポンプ	立軸渦巻斜流	7,870
	立軸斜流	11,120
	水中汚水ポンプ	2,430
送風機	ターボブロウ	10,175
	ロータリブロウ	1,578
反応タンク	機械式曝気装置	2,261

表-4 シミュレーションデータ

機器名	機器仕様	機器数	パラメータ	
			m	η ×100hr
主ポンプ	150φ	1	2.797	89.1
主ポンプ	150φ	1	2.797	89.1
ブロウ	350×300φ×125kw	2	1.000	350.5
初沈掻寄機		3	0.722	409.3
初沈汚泥引抜ポンプ	100φ	2	0.900	1209.9
散気板セット	12枚組×15組/池	3	1.000	876.5
終沈掻寄機		3	1.006	480.1
返送汚泥ポンプ	200φ	3	0.829	792.8
余剰汚泥ポンプ		2	0.900	1209.9
計		20		

表-5 年間点検計画

	定期点検回数	備考
点検計画1	月2回	
点検計画2	月1回	現状
点検計画3	月0.5回	

3.3 シミュレーション試行状態

機器の故障を生起させるための試行回数は、年間保全コスト分布を作成するのに必要な回数を想定して500回とした。シミュレーション実行中の試行回数に対する年間保全コストの変動を図-3～5に示す。

シミュレーション回数(500回)による年間保全コストの変動から平均値を算出して年間保全コストとする。またシミュレーション回数(500回)の中で緊急保全の必要となった回数の平均値を算出し、表-6に示す。

現状行われている点検は、点検計画2であり、この計画での年間保全コストが最も安価な結果となった。点検回数を月0.5回に半減する(点検計画3)と定期点検費用は半減するものの緊急保全コストが増加し、年間保全コストは、現状の点検計画2よりわずかではあるが大きくなった。点検計画1では点検間隔を多くすることにより緊急保全の回数は、点検計画2より2/3程度に減少したが、定期点検費用が2倍となり、年間保全コストは、最も高価となった。

4. まとめと課題

故障シミュレーションにより年間の定期点検回数を多くすれば故障回数が減少し、減らせば、増加することが再現できた。定期点検費用と緊急保全費用を設定し、機器の故障をシミュレーションすることにより複数の点検計画に対して年間保全コストで評価することができた。

故障シミュレーションの際、機器の緊急保全費用を費用関数から推定したが、故障の内容により緊急保全費用は大きく異なることが予想される。この年間保全コストを含む故障シミュレーション手法が、実際の処理場での年間保全コスト分布の中に納まるかの確認が必要となる。

【参考文献】

- 1) 下水処理場プラント機器の信頼性解析事例 中根 進
下水道協会誌論文集 2006.4月号
- 2) 信頼性工学入門 p163 北川賢司著 コロナ社
- 3) トリボロジーを活用した設備診断に関する技術マニュアル(潤滑診断による状態監視保全) 2009年12月
(財)下水道新技術推進機構

【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

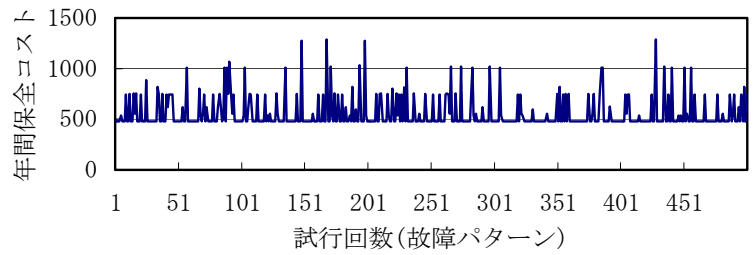


図-3 点検計画1(点検頻度:月2回)の年間保全コスト

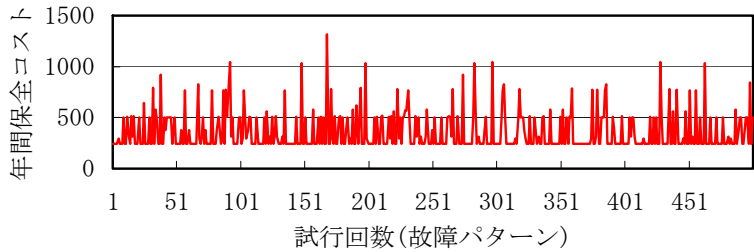


図-4 点検計画2(点検頻度:月1回)の年間保全コスト

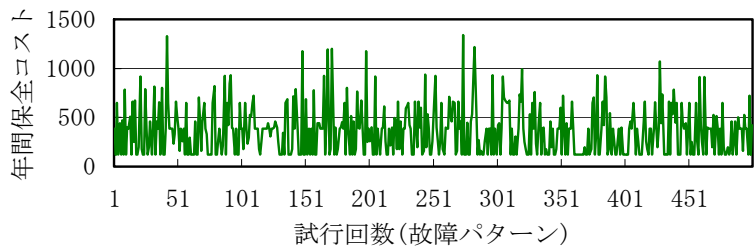


図-5 点検計画3(点検頻度:月0.5回)の年間保全コスト

表-6 シミュレーション結果

年間予定点検回数	点検計画1	点検計画2	点検計画3
年間緊急保全回数	0.37	0.54	1.23
①定期点検コスト	480	240	120
②緊急保全コスト	76	114	241
①+②年間保全コスト	556	354	361

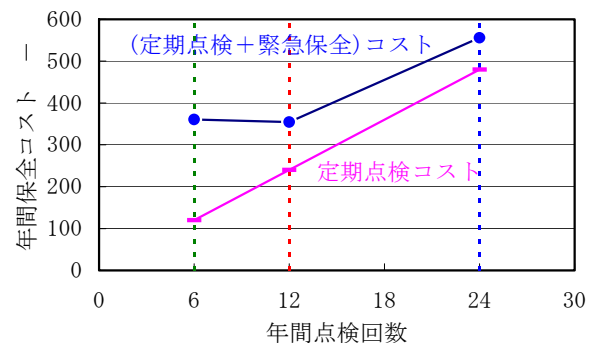


図-6 点検計画と年間保全コストのシミュレーション結果