

## 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

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。一般に故障特性から機器の保全手法（予防保全，事後保全）を選択する。機器の故障特性はワイブル分布のパラメータ  $(m, \eta)$  で表現できる。

筆者らの調査の範囲では，下水道プラント機器（以下機器と言う）の故障特性は，初期故障型  $(m < 1)$  か偶発故障型  $(m = 1)$  を示す<sup>1)</sup> ため，時間計画保全を行っても予防保全効果が期待できない<sup>2)</sup> と言われている。そのため機器の保全は，状態監視保全といわれる予防保全手法をとることが必要となる。しかし，現状では機器の状態を示す情報を常時監視記録する装置や状態を解析する手法が用意されていないことが多く，状態監視保全ではなく，摩耗故障型の機器に対して有効な時間計画保全を行っているのが実情である。本文は，機器の不具合間隔について信頼性解析を行い，その不具合間隔をワイブル分布で表し，計画する定期点検日以前の不具合については機器の故障とするシミュレーションにより，時間計画保全の内，定期保全と言われる点検計画について緊急保全コストを導入した年間保全コストによって評価する。

### 2. プラント機械設備の不具合間隔

#### 2.1 日常点検および定期点検

本文では，指針<sup>3)</sup> に示される次のような点検を日常点検および定期点検とする。

- ① 日常点検：日常巡視点検を言い，五感（音，熱，振動，臭い等），計器の指示値のチェックなどを1日1回行う点検を言う。
- ② 定期点検：週に何回，月に何回というような日常巡視点検以外の弛み，漏れ，変色などの外見的点検や必要に応じて給油，給脂あるいは増締，清掃等の手入れを行う点検を言う。

#### 2.2 点検保守記録と不具合間隔

機器の故障や安全保護装置の作動に伴う原因確認や簡易な修復・修理作業などの故障，修復・修理の内容，発生時刻の記録を点検保守記録とする。

故障，修復・修理作業など時間的な間隔を本文では不具合間隔と定義する。維持管理年報などの点検保守記録から不具合発生日を特定し，機器毎に不具合間隔  $t_i$  を算出し，図-1の不具合間隔  $t_i$  を得る。今回の信頼性解析では，機器の運転時間でなく，運転しているものとして設置されている時間で整理し，修復・修

理に要する時間は考慮していない。

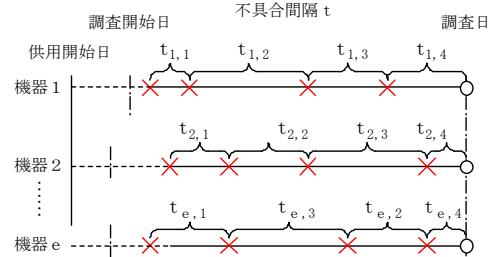


図-1 点検保守記録に基づく機器毎の不具合間隔  $t_{e,i}$  の整理

保管されている記録から故障，修復・修理の時刻を調査したが，収集記録の始点が機器毎に異なっていた。

機器毎に点検保守記録の最初に現れる不具合の時刻を基準として図-2のように不具合間隔  $t_{e,i}$  を昇順に並べて，信頼性解析データを作成する。

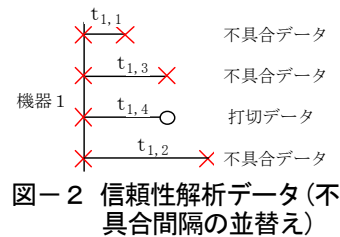


図-2 信頼性解析データ(不具合間隔の並替え)

#### 2.3 不具合間隔の定式化

不具合間隔をシミュレーションするため，機器毎に不具合間隔を定式化する。機器がある確率のもとで不具合が生じるものと考え，不具合までの時間（不具合間隔）が確率分布に従うと仮定する。この確率を累積した累積確率分布をワイブルの分布式で表す。

不具合の累積確率分布を累積不具合確率として，(1)式で表す。

累積不具合確率  $F$ ：

$$F(t_i) = 1 - e^{-\left(\frac{t_i}{\eta}\right)^m} \dots (1)$$

ここに， $m$ ：形状パラメータ  
 $\eta$ ：尺度パラメータ

本文では，累積ハザード法によって調査値を累積不具合確率  $F(t)$  で近似する。累積不具合確率  $F(t)$  はハザード関数  $H(t)$  を使って (2) 式で表す。

$$F(t_i) = 1 - e^{-H(t_i)} \dots (2)$$

不具合の回数  $n$  と不具合間隔  $t_i$  の昇順に並び替えたデータ(図-2)を使って不具合間隔  $t_i$  毎のハザード値  $H(t_i)$  を算定する。

$$\text{ハザード値} : H(t_i) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{n-i+1} \cdot \delta_i \right)$$

ここに， $\delta_i$ ：ダミー変数（1：不具合データ，0：打

切データ)

算定したハザード値 $H(t_i)$ から(2)式を使って不具合確率 $F(t_i)$ を算出する。

(2)式は、両辺に2回対数を取るにより不具合間隔 $t$ と $F(t_i)$ の関係が線形となり、線形近似ができる。この直線の傾きが(1)式の形状パラメータ $m$ となり、切片 $b$ から尺度パラメータ $\eta$ を同定できる<sup>4)</sup>。本文では、機器のパラメータの同定までを便宜上、信頼性解析と呼ぶ。

この信頼性解析を機器毎に行い、ワイブル分布のパラメータ $m$ 、 $\eta$ を推定し、不具合間隔を定式化する。

## 2.4 シミュレーションデータ

ある処理場(汚水処理水量:2,379千 $m^3$ /年)<sup>7)</sup>の沈砂池・主ポンプ設備、水処理設備、汚泥処理設備の点検している機器すべて158基を対象にして信頼性解析を行い、時間計画保全による年間保全計画について評価する。

今回、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 $m$ 、 $\eta$ の一部を表-1に、全機器を別表に示す。

表-1 シミュレーションデータ

設備名	機器名	ワイブル分布パラメータ		指数パラメータ	
		$m$	$\eta$	$\lambda$	
沈砂池設備	流入ゲートNo.1	0.73	246.6	0.0043	
	流入ゲートNo.2			0.0098	
	粗目スクリーン			0.0098	
	粗目スクリーン	1.75	72.8	0.0003	
	沈砂掻揚機	1.10	195.3		
	トラフコンベア	0.44	181.6		
	細目自動除塵機No.1	0.78	317.2		
	沈砂洗浄ブロワ	0.87	256.5		0.0003
	電動ホイス				
	脱臭ファン				
	活性炭吸着塔				
	床排水ポンプ				
	計装用コンプレッサー				
計装用コンプレッサー					
計	158				

表-1では予備、常用機の区分は不明であるが運転時間は同じとして解析した。流入ゲートなどについては、不具合履歴が極めて少なく、ワイブル分布のパラメータ $m$ 、 $\eta$ を推定することができない。このため不具合回数が3回以下の場合には指数分布<sup>5)</sup>を仮定する。調査開始日からある調査日までの調査期間内の不具合率 $\lambda_i$ は、指数分布とすると下式で求められる。

$$\text{不具合率 } \lambda_i = \frac{\text{不具合回数 } X_i}{\text{調査期間 } T_i}$$

累積不具合確率 $F(t_i)$ は、不具合率 $\lambda_i$ をパラメータとして次式で表す。

$$F(t_i) = 1 - e^{-\lambda_i t_i}$$

不具合実績の無い機器は、シミュレーションする期間で不具合の発生する確率を小さくするように、不具合回数 $x_i$ を1として(調査期間 $T_i \times 2$ )で除して不

具合率 $\lambda_i$ を算出した。

散気板は、反応槽1槽にライザー管を通じて多くのユニットに収納されているが、解析では、反応3槽分の散気板を1つの機器として扱い指数分布を仮定した。

## 3. シミュレーション手法

### 3.1 定期点検計画

機器の定期点検は、本処理場での聞き取り調査の結果、1ヶ月の中で決められた日時で行うのではなく、機器毎に設定した回数を1ヶ月の中で随時行うとのことであった。シミュレーション上の定期点検は、図-3のように月に $k$ 回定期点検を行う場合に、一ヶ月毎に0~1までの値をとる一様乱数 $r$ を $k$ 個生成し、月の点検日を設定する。この乱数を12回(12ヶ月分)発生させ、時間保全計画による年間点検計画とする。

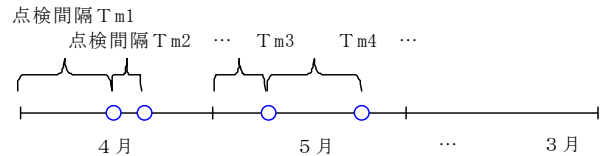


図-3 点検間隔 $T_m$

今回評価する年間点検計画を表-2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

表-2 年間点検計画

	定期点検回数 $k$	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	

とし、不具合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。

### 3.2 不具合間隔の生起

信頼性解析を行って機器毎に得た累積不具合確率 $F$ のパラメータ $m$ 、 $\eta$ を用いる。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(2)式の累積不具合確率 $F(t)$ の逆関数に代入し、不具合間隔 $T_f$ を生成する。不具合間隔 $T_f$ を図-4に示すように並べると×印が不具合日となる。

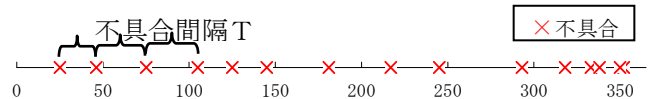


図-4 機器毎の不具合間隔 $T_f$ の生起

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うような整備を想定する場合、シミュレーションとしては、分解整備直後に不具合間隔 $T_f$ を生起させる。指数分布する機器のある下水道機器では、不具合間隔が短くなる。ただし、今回のシミュレーションでは、分解整備を想定せず、各機器に対して予め図-4の不具合間隔 $T_f$ を生起さ

せ、この不具合間隔 $T_f$ を定期点検の後や偶発故障の後に使用する。

### 3.3 年間保全コストの推定

点検計画の評価を行うために緊急保全費用という指標を導入する。通常の点検に要する費用を定期点検費用とする。定期点検で見つけられなかった偶発的な故障による保全費用を緊急保全費用とし、それらを以下のように設定する。

#### ①1回当たり定期点検費用 ( $C_m$ )

図-5に示す定期点検間隔 $T_m$ より機器の不具合間隔 $T_f$ 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。

$$\text{点検間隔 } T_m \leq \text{不具合間隔 } T_f$$

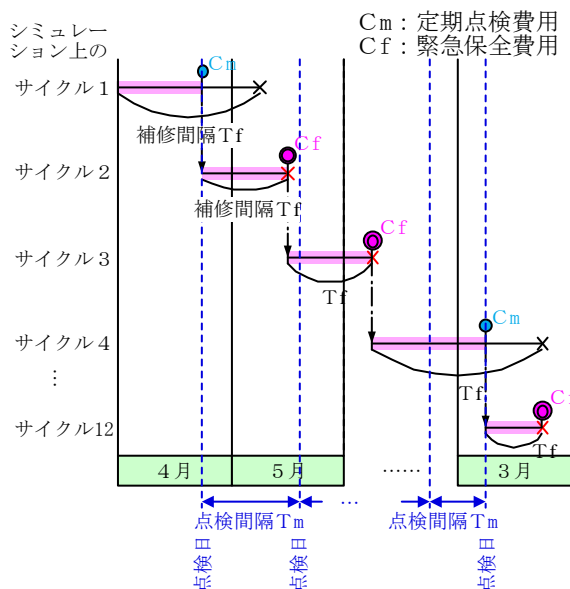


図-5 機器の不具合と点検費用の発生の関係

#### ②機器別故障1回当たり緊急保全費用 ( $C_f$ )

定期点検間隔 $T_m$ より機器の不具合間隔 $T_f$ が小さければ、定期点検ではその機器の不具合を見つけないことができないとして、その不具合を故障と考え、緊急保全費用 $C_f$ を計上する。

$$\text{点検間隔 } T_m > \text{不具合間隔 } T_f$$

以上の①定期点検費用と②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。

### 3.4 点検コストの設定

#### 3.4.1 点検コスト

下水道統計<sup>7)</sup>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て表-3に示す。

表-3 実績年間定期点検費用(H17年度)

	金額 千円/年	H17公共下水道統計 項目番号
運転管理委託費	42,423	1346
= 点検費用	42,423	

定期点検回数は、シミュレーションする処理場の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)
- ・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-4のように算出し、機器1基当たり点検1回の点検費用を算出する。

$$42,423 \text{ 千円/年} \div (275 \text{ 回/月} \times 12 \text{ ヶ月/年}) = 12.9 \text{ 千円/回}$$

この点検費用を定期点検費用とし、シミュレーションでは12.9千円/回を1とし、定期点検回数を乗じて定期点検コストとする。

表-4 点検機器数と聞き取り調査による点検回数

大分類	中分類	点検機器数		月当たり点検回数		
		中分類別	大分類別	①日常点検	②定期点検	
				5回/(全機・週)×4週/月	月1回/機器	
プラント 機械設備	沈砂池	13	13	20	13	
	主ポンプ	13	13		13	
	送風機	9	9		9	
	水処理	初沈	19		79	79
		エアタンク	8			
		終沈	17			
		滅菌	7			
		ろ過水	18			
	汚泥処理	その他	10		44	44
		濃縮	9			
		薬注	8			
		脱水	24			
		脱臭	3			
小計		158		158		
プラント電気設備		37		37		
建築設備		60		60		
計		255		275 回/月		

#### 3.4.2 緊急保全コスト

故障の内容によりオーバーホールするような修理・修繕となるかどうか明らかでないが、オーバーホール費用を故障に対する緊急保全に要する費用と考える。

文献<sup>6)</sup>に表-5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台当たりのオーバーホール費用を算出する。

表-5 主機の実績オーバーホール費用<sup>6)</sup>

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	ターボブロワ	10,175
	ロータリブロワ	1,578
反応タンク	機械式曝気装置	2,261

このオーバーホール費用と機器費の比を今回シミュレーションする処理場を含む5処理場について算出し、機器費に対するオーバーホール費用の費用関数を算出した。

$$y = 0.5618 \cdot \exp(-0.00003x)$$

ここに、 $y$  : オーバホール費/機器費  
 $x$  : 機器費 千円

故障機器に対して、上式に (機器費/12.9 千円) を乗じ、無次元化した緊急保全費用を算出する。

機器費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加算するものとする。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。

#### 4. シミュレーション解析結果

##### 4.1 シミュレーション試行過程

機器の不具合を生起させるための試行回数は、年間保全コストの分布を描くに必要な回数を想定して 500 回とした。一般にデータを線形で回帰する場合、データの個数は、30 個以上、非線形の場合には 50 個以上必要とされているので、10 倍のデータ数があれば十分と考え、500 回とした。

##### 4.1.1 故障の発生状況

故障回数は、定期点検日以前に発生した不具合日である。シミュレーションした年間故障回数の生起状況を図-6~8に示す。

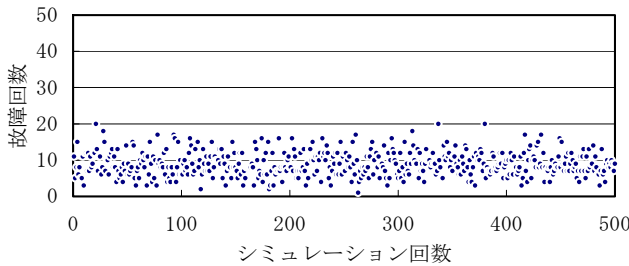


図-6 点検計画1(点検頻度:月2回)における年間故障生起回数

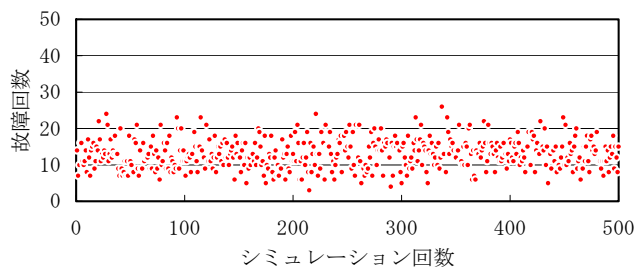


図-7 点検計画2(点検頻度:月1回)における年間故障生起回数

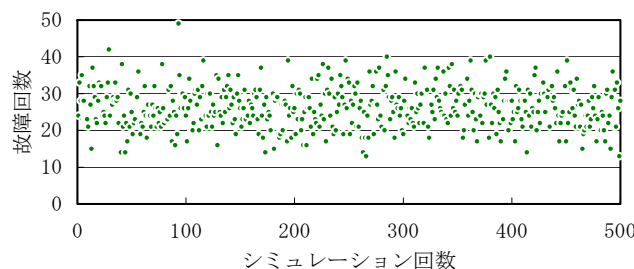


図-8 点検計画3(点検頻度:月0.5回)における年間故障生起回数

点検頻度を減らした点検計画3では、故障回数が機器 158 基当たり最大 40 回程度生起している。点検計画1のように点検頻度を多くとることにより、故障回数が最大 20 回程度に減少させる効果がシミュレーションできている。

##### 4.1.2 年間保全コストの変動状況

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-9~11に示す。

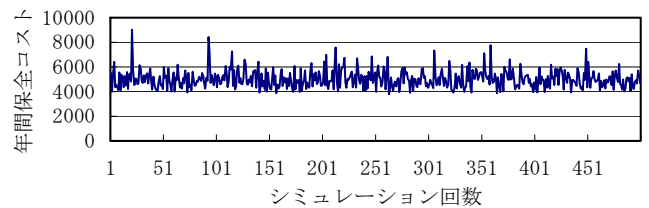


図-9 点検計画1(点検頻度:月2回)の年間保全コスト

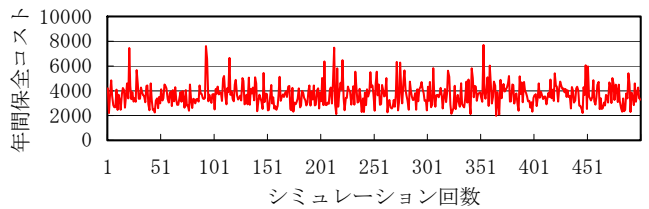


図-10 点検計画2(点検頻度:月1回)の年間保全コスト

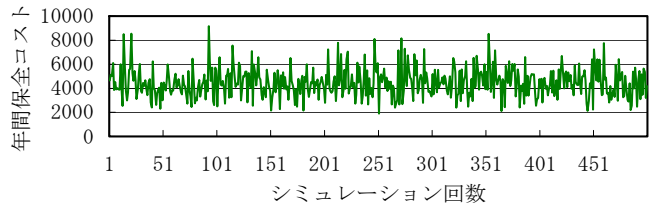


図-11 点検計画3(点検頻度:月0.5回)の年間保全コスト

##### 4.2 シミュレーションによる緊急保全回数と年間保全コスト

シミュレーション回数による年間保全コストの変動を打点(・印)して分布図とし、図-12に示す。この分布を対数正規分布で近似し、合わせて図-12に示す。

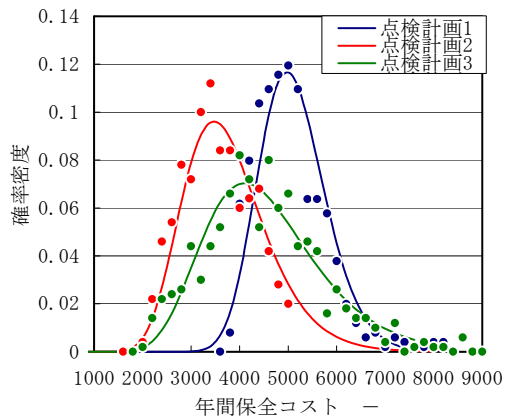


図-12 点検計画別年間保全コストの分布

この分布図から機器 158 基当たりの年間保全コストの平均値と 90%区間推定値を算出して表-6と図-13に示す。

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
年間予定点検回数	24	12	6
定期点検コスト	3,792	1,896	948
緊急保全コスト	1,227	1,777	3,523
年間保全コスト	5,019	3,673	4,471
年間保全平均値	5,019	3,673	4,471
信頼下限 5%	3,957	2,408	2,754
信頼上限95%	6,240	5,284	6,750
年間緊急保全回数	9.0	13.0	26.3
信頼下限 5%	3.5	6.3	17.0
信頼上限95%	14.5	19.6	35.5

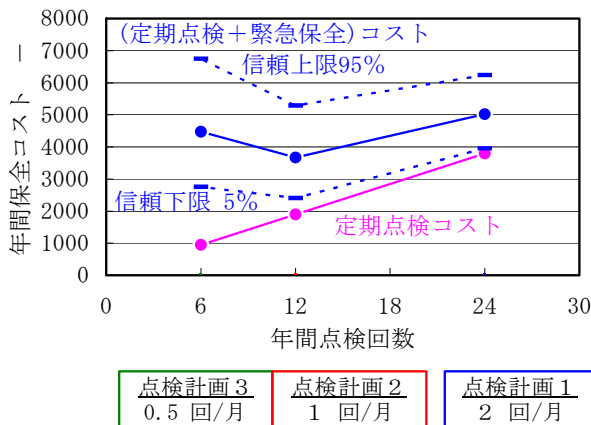


図-13 点検計画と年間保全コストのシミュレーション結果

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、定期点検コスト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は、現状の点検計画2の2倍の点検回数とするが、緊急保全回数は、点検計画2の2/3程度であり、定期点検コストが2倍となり、年間保全コストとして最も高価となった。

#### 4.3 シミュレーション結果と実績コストとの比較

汚水処理量に対して統計<sup>8)</sup>から算出した実績の修繕費/点検費用を図-14に示す。

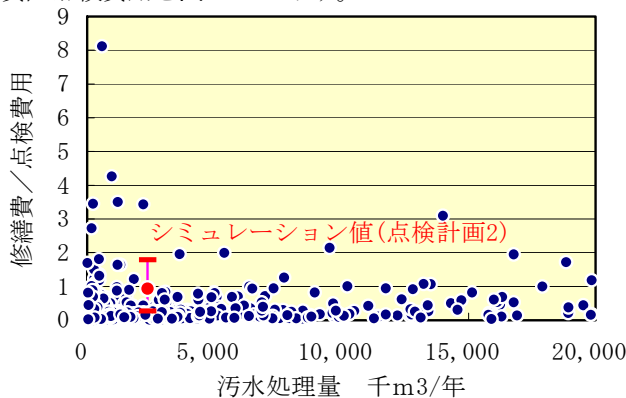


図-14 実績の修繕費/点検費用とシミュレーション値の比較(単独公共下水道)

このシミュレーション値には電気、建築設備などの緊急保全コストを含んでいないが、シミュレーション

結果を図-14に打点して示す。実績の修繕費/点検費用に対し、シミュレーション結果が大きい。これは、シミュレーションでは修繕費を算出しているのではなく、故障による緊急保全費用を算出しているためであり、費用関数による機器別の緊急保全費用が、機器のオーバーホール費用を利用していることによって、修繕費より大きな値になっている。

#### 5. まとめ

コスト削減に聖域はなく、処理場の維持管理費削減も課題となっているのが現状である。年間保全計画を評価する1手法を示すことができた。各機器の不具合発生間隔をシミュレーションすることにより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。これにより、定期点検費用と緊急保全費用を設定した上で、定期点検以前の不具合を故障と考え、機器の故障回数を推定し、時間計画保全による点検計画を年間保全コストで評価することができた。シミュレーションの試行回数に対する年間保全コストの変動を分布で示すことにより、年間保全コストの平均値、信頼区間値を推定した。

年間保全コストの分布には、シミュレーションの機器数が少ない場合は不連続な分布しか得られず、保全コストの信頼区間値を示すことができない恐れがある。そのため本シミュレーションは、小規模な処理場で点検する機器が少ない場合には推定する年間保全コストにバラツキが生じることが懸念される。

また、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。シミュレーションの精度をあげるには、故障の内容と緊急保全コストを整合させることが重要と考えている。

#### <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) 下水道維持管理指針-2003年版- 後編 p724 (社)日本下水道協会
- 4) 改訂版信頼性工学入門 p117 真壁 肇 編 日本規格協会
- 5) ベイズ推計による下水道機器の故障解析 中根 進 下水道協会誌論文集 2010.9月号
- 6) 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
- 7) 平成17年度版下水道統計(電子版) 26-4 維持管理費・財源内訳 (単独).xls (社)日本下水道協会
- 8) 平成17年度版下水道統計(電子版) 26-6 施設別維持管理費 (単独).xls (社)日本下水道協会

別表：シミュレーションデータ（沈砂池・主ポンプ，水処理設備不具合分布のパラメータ）

設備名	機器名	ワイブル分布パラメータ		指数パラメータ $\lambda$	設備名	機器名	ワイブル分布パラメータ		指数パラメータ $\lambda$			
		m	$\eta$				m	$\eta$				
沈砂池設備	流入ゲートNo.1	0.73	246.6	0.0043 0.0098 0.0098	エアタン設備	散気装置×3槽分	1.88	206.7	0.0024 0.0003			
	流入ゲートNo.2	1.75	72.8			流入水路可動堰×13						
	粗目スクリーン					床排水ポンプNo.1				0.0041		
	粗目スクリーン			床排水ポンプNo.2								
	沈砂掻揚機	消泡水ポンプNo.1	0.0044 0.0022									
	トラフコンベア	消泡水ポンプNo.2										
	細目自動除塵機No.1	オートストレーナ										
	沈砂洗淨ブロワ	0.78	317.2	終沈設備		散気装置吊上機	1.90	188.9	0.0048 0.0195 0.0007			
	電動ホイスト	0.87	256.5			汚泥掻寄機No.1ー1						
	脱臭ファン					汚泥掻寄機No.1ー2						
	活性炭吸着塔					汚泥掻寄機No.2ー1						
	床排水ポンプ	1.27	265.2			終沈流入ゲート	0.0007 0.0007 0.0007					
	計装用コンプレッサー	1.20	344.8			終沈流入ゲート						
	主ポンプ設備	主ポンプNo.1ー1	0.98			75.7		終沈流入ゲート	0.0018 0.0124 0.0124 0.0124 0.0016 0.0016			
主ポンプNo.1ー2		1.64	79.2		返送汚泥ポンプNo.1ー1							
主ポンプNo.2		1.73	171.0		返送汚泥ポンプNo.1ー2							
吐出電動弁No.1ー1		0.0024 0.0012 0.0012	0.0031 0.0031 0.0030		返送汚泥ポンプNo.2ー1							
吐出電動弁No.1ー2					余剰汚泥ポンプNo.1							
吐出電動弁No.2					余剰汚泥ポンプNo.2							
逆止弁No.1ー1		0.0031	0.0003		終沈汚泥引抜弁	0.0124 0.0124 0.0124						
逆止弁No.1ー2		0.0031			終沈汚泥引抜弁							
逆止弁No.2		0.0030		終沈汚泥引抜弁								
流量計用仕切弁No.2		0.0003		滅菌設備	床排水ポンプNo.1ー1	1.68	116.6	0.0003				
流量計用仕切弁No.1ー1		0.0003			次亜塩素酸注入設備							
床排水ポンプNo.1ー2		0.0009			放流水次亜塩素酸注入ポンプNo.1							
床排水ポンプNo.2		0.0009			0.0009	放流水次亜塩素酸注入ポンプNo.2	0.98	69.1	0.0003			
送風機設備		送風機No.1ー1			0.44	127.2				濾過水次亜塩素酸注入ポンプ		
	送風機No.1ー2	1.14			245.8	濾過水次亜塩素酸注入ポンプ				0.87	113.4	0.0003
	送風機No.2	0.64			104.9	次亜塩素酸貯留タンク						
	湿式空気濾過機	0.0032 0.0024 0.0057			0.0003	次亜塩素酸室床排水ポンプNo.1						
	乾式空気濾過機					次亜塩素酸室床排水ポンプNo.2	1.10	393.5	0.0003			
	クーリングタワー					0.98				386.2	ろ過水設備	1.48
	電動吐出弁	砂濾過器No.1										
	冷却水ポンプNo.1	砂濾過器No.2	0.51		76.1		0.0003					
	冷却水ポンプNo.2	0.72				154.4		原水ポンプNo.1				
	初沈設備	汚泥掻寄機No.1ー1				2.09		499.2	原水ポンプNo.2	0.83	103.6	0.0003
		汚泥掻寄機No.1ー2	逆洗ポンプNo.1									
		汚泥掻寄機No.2ー1	逆洗ポンプNo.2									
		初沈流入ゲート	0.0003 0.0003 0.0003	0.0003	空洗フロアNo.1	0.26	9293.3	0.0003				
		初沈流入ゲート			空洗フロアNo.2							
初沈流入ゲート		濾過装置コンプレッサーNo.1										
スクラムスキマ		1.74	532.6	濾過装置コンプレッサーNo.2	1.69	120.1	0.0003					
スクラムスキマ		1.74	532.6	濾過装置空気槽								
スクラムスキマ		1.74	532.6	濾過装置除湿機								
生汚泥引抜ポンプNo.1ー1		0.56	287.4	濾過水高置水槽水処理用	0.68	290.1	0.0003					
生汚泥引抜ポンプNo.1ー2		0.51	448.5	濾過水高置水槽汚泥処理								
初沈汚泥引抜弁		0.0003 0.0003 0.0003	0.0003	濾過水ポンプ(水)No.1								
初沈汚泥引抜弁				濾過水ポンプ(水)No.2	0.52	275.8	0.0003					
初沈汚泥引抜弁				濾過水ポンプ(汚)No.1								
初沈汚泥引抜弁	0.84	178.6	濾過水ポンプ(汚)No.2	0.0003 0.0003 0.0009								
床排水ポンプNo.1ー1	6.72	303.1	ろ過水設備		砂濾過器No.1	1.48	49.7	0.0003				
床排水ポンプNo.1ー2	0.83	393.6			砂濾過器No.2							
床排水ポンプNo.2	1.26	183.1		原水ポンプNo.1								
バイパスゲート	0.0003	0.0003		逆洗ポンプNo.1	0.17	635.4	0.0003					
点検機器数				54				0.0003	逆洗ポンプNo.2			
				その他設備					上水揚水ポンプNo.1	1.38	413.6	0.0024 0.0050 0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0009
					上水揚水ポンプNo.2							
					上水揚水ポンプNo.3							
					上水受水槽	0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0009						
					上水高置水槽							
					揚水ポンプNo.1							
					揚水ポンプNo.2	0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0003 0.0009						
					上水受水槽							
					上水高置水槽							
			床排水ポンプ		0.0009							

別表：シミュレーションデータ（汚泥処理設備不具合分布のパラメータ）

設備名	機器名	ワイブル分布パラメータ		指数分布パラメータ $\lambda$	設備名	機器名	ワイブル分布パラメータ		指数分布パラメータ $\lambda$
		m	$\eta$				m	$\eta$	
濃縮設備	汚泥スクリーン	0.54	413.3	0.0031 0.0003	汚泥脱水機No.1ー1	1.15	47.2	0.0003	
	汚泥スクリーンしき脱水機								汚泥脱水機No.1ー2
	コンテナ吊上機								ケーキコンベア
	濃縮汚泥掻寄機	0.42	462.6	0.0001		脱水ケーキホッパ	0.97	425.7	
	濃縮汚泥引抜ポンプNo.1	0.86	213.7			ろ布洗浄水ポンプNo.1			
	濃縮汚泥引抜ポンプNo.2	2.07	152.7			ろ布洗浄水ポンプNo.2			
	濃縮汚泥引抜弁	0.48	451.6	0.0010		ろ布洗浄水ポンプNo.3	0.73	245.4	0.0027 0.0015 0.0064
	濃縮槽床排水ポンプNo.1					脱水設備コンプレッサーNo.1ー1			
	濃縮槽床排水ポンプNo.2					脱水設備コンプレッサーNo.1ー2			
	薬注設備	薬品定量フィーダ	0.63	217.6		0.0003 0.0033 0.0012 0.0003	除湿機	1.08	63.5
薬品溶解タンクNo.1		1ー2脱水機コンプレッサーNo.1							
薬品溶解タンクNo.2		1ー2脱水機コンプレッサーNo.2							
薬品供給ポンプ(ポリマー)		0.67	259.4	0.0056 0.0003	除湿機	0.67		259.4	
薬品供給ポンプ(ポリ鉄)					汚泥貯留槽流入弁				
薬品搬入ホイスト					汚泥検計装用コンプレッサーNo.1				
床排水ポンプNo.1		0.64	413.1	汚泥検計装用コンプレッサーNo.2	0.0003 0.0083 0.0016 0.0003				
床排水ポンプNo.2		0.75	64.0	除湿機					
汚泥供給ポンプNo.1ー1	天トクレーン								
汚泥供給ポンプNo.1ー2	活性炭吸着塔			0.0003 0.0016 0.0003					
汚泥供給ポンプNo.1ー3	脱臭ファン								
貯留槽攪拌フロアNo.1	0.17	113.7	チェンブロック						
貯留槽攪拌フロアNo.2	0.0058	0.0058	点検機器数	23	0.0058				
セジメントトラップ									