

設備の状態監視手法の提案

中日本建設コンサルタント株式会社 ○鳥巢 勇二 中根 進

1. はじめに

設備の管理は、運転点検などの日常の維持管理から施設・設備の修理、更新まで含むもので、それらの案件に対して、迅速かつ効率的に対処するため、設備の状態を客観的に知ることが重要である。

日常的に維持管理している際、記録している情報(設備点検表など)を数値化・分析して機器・設備の状態を示す手法を提案するものである。

2. 数値化による状態監視手法

2.1 状態表示の概念信頼度の概念

設備の状態を表す概念に信頼度の考え方を導入する。設備は、機器で構成されているが、その機器が直列に接続されている場合と並列に接続されている場合がある。

機器が直列に接続された設備の場合、1つの機器でも故障すると、設備が故障するもので、信頼性ブロック図として図-1で表す。

直列系の設備における信頼度は、構成機器各々の信頼度を用いて(1)式で表す。

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 i : 構成機器、 t : 経過時間

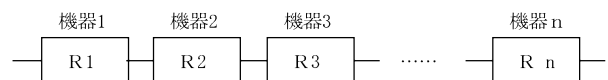


図-1 設備の信頼性ブロック図

並列系設備の信頼性ブロックを示すと図-2と

なる。並列系の設備と構成機器の信頼度の関係は(2)式で表す。

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで注意しなければならないのは、(2)式は、機器1~n台のうち、どれか1台が正常に稼働していれば、この設備が機能することを意味する。

機器n台のうちm台が稼働していないと機能しない並列系の設備は多い。設備の信頼度は、 m/n 冗長系(m-out-of-n system)と言われ、(3)式で表す。

$$\text{設備 } R(t) = 1 - \sum_{r=1}^{m-1} {}_n C_r \{R(t)\}^r \{1 - R(t)\}^{n-r} \dots (3)$$

ここに ${}_n C_r$ は、二項係数といい、次式で表す。

$${}_n C_r = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r! (n-r)!}$$

ここで各機器の t 時点の信頼度 $R(t)$ は、機器が故障した時点で、過去の故障記録(時刻)を含めて、故障間隔のデータを作成し、解析・算定する。解析手法の一つとして累積ハザード法を用いて算定する方法を文献¹⁾に示す。

2.2 設備状態の数値化

設備の信頼性ブロック図を設定した上で、各機器の信頼度値を使って設備としての信頼度値を示すことに

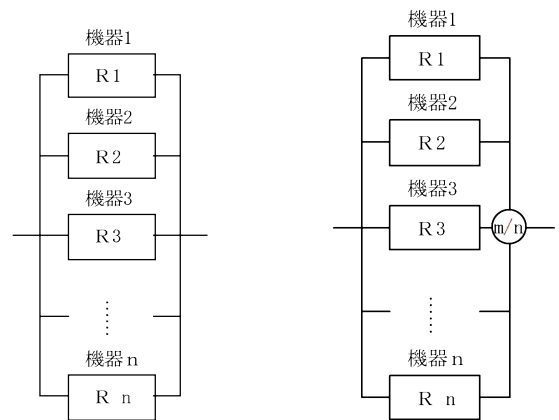


図-2 並列系設備の信頼性ブロック図

図-3 m/n冗長系設備の信頼性ブロック図

より、数値化して設備の状態表示とする。各機器の信頼度値は、点検、故障のたびに最低、更新していく必要があるため、データの更新に伴い自動的に信頼度値も更新できるように自動化することになる。

設備状態の数値化例として、水処理プラント設備を示す。

信頼性解析を行なう上での水処理プラント設備の機器構成を図-4と考える。反応槽設備と終沈設備は、直列系の信頼性とする(図-5)。水処理施設では、処理槽に設置してある各設備は、 m/n 冗長系とする。槽数 n の並列な処理槽のうち槽数 m が正常に作動していれば処理槽は機能すると考える。放流水質基準を守るのに必要な処理槽数 m は、過去の事例や活性汚泥モデル法などを使って処理槽を停止したことによる処理水質への影響を調査し、処理機能維持のための最小槽数を設定する。

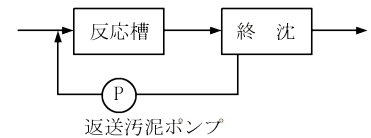


図-4 水処理プラント設備フロー

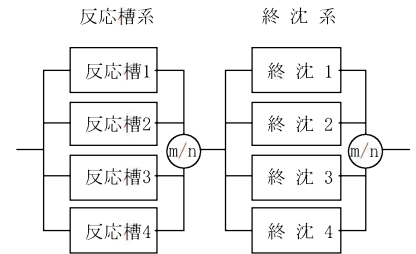


図-5 水処理設備の信頼性ブロック図

(1) 反応槽系

反応槽が散気板によってDO補給と空気攪拌している場合には、散気板が目詰まりすると、空気の吐出機能がなくなる。1槽に複数設置してある散気板は、同時に目詰まりしないので、散気板という機器が並列系となっている設備(図-6)として信頼度を考える。

散気板 n_p 台/槽のうち何台(m_p 台/槽)で必要空気量を送気できるか調査しておき、(3)式で1槽分の信頼度を算定する。

(2) 返送汚泥ポンプ

返送汚泥ポンプは、故障すると反応槽に活性汚泥を返送できなくなり、反応槽の機能に支障をきたすことになるため、反応槽系の信頼度を含むフロー(図-7)、または反応槽、返送汚泥ポンプ、終沈を直列系の設備フロー(図-8)とする。

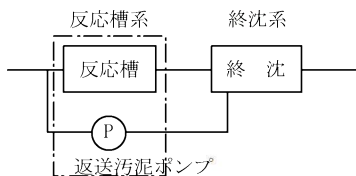


図-7 返送汚泥ポンプを含む設備フロー

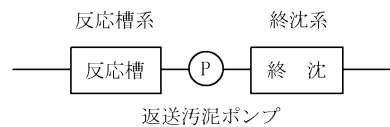


図-8 返送汚泥ポンプを含む3設備フロー

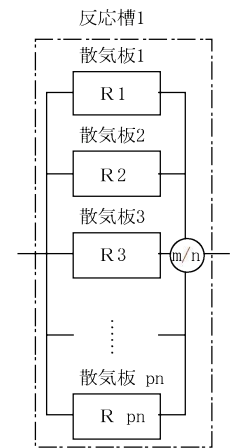


図-6 単位反応槽の信頼性ブロック図

返送汚泥ポンプ設備の信頼度は、予備機がある場合には、 m/n 冗長系の(3)式で算定する。一般的に返送汚泥ポンプは容量予備として考え、予備機は持たない。容量的に100%返送できるポンプ台数を設置してあったが、現状、50%返送運転しているために予備機の状態になっていることはある。

1台でも故障すると所定の返送率を確保できない場合は、直列系と考える。

(3) 最終沈殿池系

池に設置されている汚泥掻寄機(チェーンフライト式)の主要部品は、故障解析上、図-9のように直列に配置されているものとする。

すなわち、主要部品である sprocket が摩耗し許容値以上となると、掻寄機が故障すると考える。

3. 設備状態の数値化事例

反応槽4槽、終沈4池に上記の機器が設置されている水処理施設を対象として、水処理プラント機械設備の信頼度を算出する。

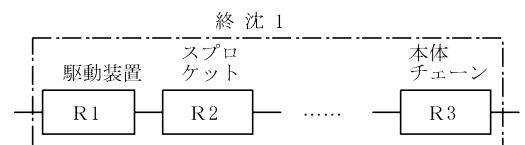


図-9 単位終沈の信頼性ブロック図

プラント機械設備の信頼度は、設備の故障しない確率を示し、設備の状態を表示していることになる。設備毎に表示することによりその処理場の設備の状態を表す。ここでは、処理場間の水処理設備の状態表示(図-5の信頼度値)を示す。

表-1 処理場別機器の調査時経過年数と故障率

処理場名	調査時の		反応槽			返送汚泥ポンプ			終沈汚泥掻寄機		
	経過時間 ×100hr	経過 年数	調査 基数	故障 回数	平均 故障率 λ	調査 基数	故障 回数	平均 故障率 λ	調査 基数	故障 回数	平均 故障率 λ
T	1527.12	17.4			0.00254	3	5	0.001091	3	11	0.002401
U	1513.92	17.3			0.00254	2	5	0.001651	2	5	0.001651
H I	1816.08	20.7			0.00254	2	5	0.001377	1	6	0.003304
H	1625.04	18.6			0.00254	2	0	0	2	3	0.000923

単位: λ 1/100hr

各処理場の設備設置池数と最小機能池数を表-2に示す。

表-2 処理場別設備設置池数と最小機能池数

処理場名	反応槽		返送P		終沈	
	n	m	n	m	n	m
T	5	4	4	3	5	4
U	3	3	2	2	3	3
H I	4	3	3	2	4	3
H	4	3	3	2	4	3

T、U、H I、Hの4処理場の水処理の信頼度を算出して図-10に示す。

図中の△印は、各処理場の調査時の経過年数を示す。

○印は、現在年度の信頼度の推定値である。現在年度で信頼度の低い水処理設備を持つ処理場は、TとH Iの二つであり、本文では機器、部品の故障内容を示していないが、T処理場では、反応槽の散気板、H I処理場では、終沈掻寄機を更新するか部品交換により信頼度を上げることができる。

4. まとめ

処理場では、管理者やメンテ要員が機器あるいは設備のフローを信頼性の観点から分析し、直列系、並列系に分類し、信頼性ブロック図を作成する。

日々の点検内容を更新しながら、部品・機器の信頼度を算定し、設備毎の信頼度を求める。図-10は設備ごとではないが、設備ごとの信頼度を常時モニターなどに表示し、機器や設備の状態の評価や修理時期の優先順位付に利用する。

設備状態の数値化の事例²⁾として、米国東部メリーランド州・バージニア州郊外を集水区域とするBlue Plains 処理場(140万 m³/日)では、信頼度値は算出していないが、簡便な手法で日常の管理データ(点検における機器の状態:問題無,問題小,問題有)をエクセルに入力することにより、直列系、並列系の概念を用いて、設備状態を数値化し、3ランクの状態(適正,危険,不良)に分け、エクセル上に状態と数値を表示し、機器故障の及ぼす範囲や故障の修理順位の決定に利用している。

【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— 機器の累積ハザード解析 —
- 2) Unraveling Maintenance Needs WE&T 2005.4 No.4 Vol.17

【問合わせ先】 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

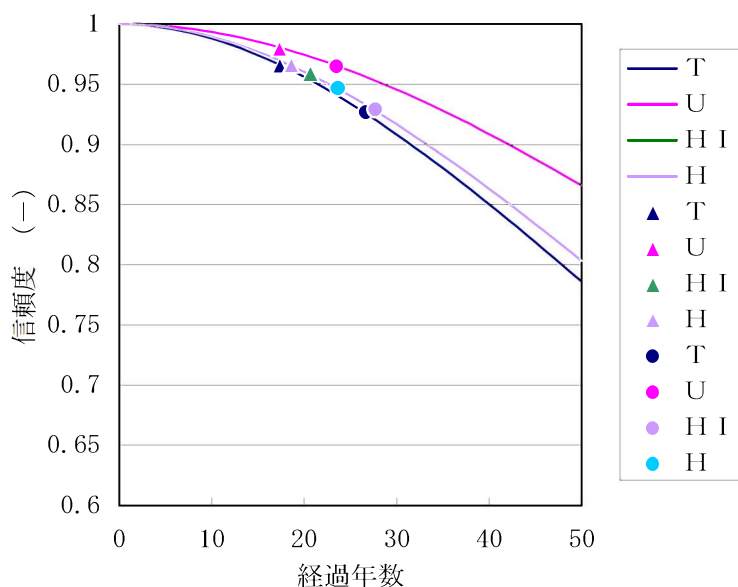


図-10 処理場別信頼度と調査時の信頼度

表－7 水処理設備の現在状態 (2014. 2. 12)

年 月 日
2014 3 12

Process name	系列数	プロセスの使用可能数	機能発揮必要最小数	プロセスの状態			
	Train Total	Available (current)	At risk value	Adequate capacity	At risk capacity	in-adequate capacity	Not fully functional
初沈プロセス	4	4	2	Adequate			95%
エアタンクプロセス	4	4	3	Adequate			100%
終沈プロセス	4	3	3		At risk		82%
滅菌プロセス	1	1	1		At risk		75%

点検項目例

動作状況、塗装・グリス状況、発錆、腐食、変形、亀裂、損傷、各部摩耗、振動、騒音、電動機(減速機)

0：問題無、△：問題小、×：問題有

$$\text{設備機能発揮割合} = \frac{\sum_{t_r=1}^{\text{系統数}} \text{問題の無い機器数}}{\sum_{t_r=1}^{\text{系統数}} \text{設置機器数}} \quad (\text{予備機含まず})$$

適 正：稼働系統数 > 機能発揮最小系統数

危 険：稼働系統数 = 機能発揮最小系統数

不 良：稼働系統数 < 機能発揮最小系統数

稼働系統数 = 設置系統数 × (0 or 1)

系統(直列の機器構成)の機器が1台でも故障した場合：0、稼働中：1