

プラント電気設備の信頼性解析

中日本建設コンサルタント株式会社 ○山本洋一 中根 進

1. はじめに

下水処理場のプラント電気設備を1つのシステム（機器、部品で構成された）として考え、信頼性解析を行うことにより、そのシステムの状態を定量化することができる。

処理場のプラント機械・電気設備あるいは建築機械・電気設備は、故障した場合、放置しておくことは無く、故障発生の都度、修理修復して使用を続けるものである。信頼性解析上、これらの設備は修理系アイテムという。修理系アイテムは、それを構成する機器数、部品数が多いほど、故障間隔時間の分布は、指数分布に近づくことが知られており、プラント機械設備も指数分布すると報告¹⁾されている。

プラント電気設備については、解析事例を見聞しないので、2処理場の維持管理年報から抽出した不具合の発生件数を使って信頼性解析を試みた。その結果、機械設備とは異なる設備の状態が明らかになった。

2. 信頼性データの種類と信頼性の表現

一般的に信頼性解析というと設備、機器の故障を定義し、故障間隔や故障件数を拾い出しその状態を数値化する。本文では、故障を不具合と読み替え、下水処理場プラント電気設備の不具合の発生件数から設備の状態を定量化する。

不具合データの解析には、不具合の確率を①ワイブル分布②ポアソン分布（指数分布）③非定常ポアソン分布などの式に当てはめる。本文には、①ワイブル分布の詳細を示していないので文献¹⁾などを参照する。

2.1 ポアソン分布による信頼性

一定の微小期間において機械の故障や停電の発生頻度などの事象の生起頻度は、ポアソン分布で表すことができる。ポアソン分布は、単位期間中に平均 μ 回発生する事象が r 回（ r は0を含む自然数、 $r = 0, 1, 2, \dots$ ）発生する確率 $P(r)$ を言い、(1)式で表す。

$$P(r) = \frac{\mu^r \exp(-\mu)}{r!} \quad \dots \quad (1)$$

(1)式において単位期間中の故障数 $r = 0$ 、すなわち故障の起こらない確率 $P(r = 0)$ は、(2)式となり、信頼度 R となる。

$$P(r = 0) = \frac{\mu^r \exp(-\mu)}{0!} = \exp(-\mu) = R \quad \dots \quad (2)$$

②の指数分布とポアソン分布は、偶発事象を異なった視点でとらえたものである。偶発事象の発生時間間隔（例えば故障までの時間間隔） t をデータとした場合には、それが指数分布となり、一定期間の発生回数 r をデータとした場合には、ポアソン分布となる。

指数分布の信頼度は、 $R = \exp(-\lambda t)$ であり、(2)のポアソン分布の故障の起こらない確率 P と一緒にすると(3)式となる

$$R = \exp(-\lambda t) = \exp(-\mu) \quad \dots \quad (3)$$

期間中平均発生回数 μ は、 $\mu = \lambda t$ であり、ポアソン分布のパラメータは、故障率 λ で表すこともできる。

2.2 非定常ポアソン分布による信頼性

上記のポアソン分布は、期間中において単位時間当たり生起確率は一定であるが、こうした事象の生起確率は、季節変動的であったり、時間の経過とともに増加あるいは減少したりすることがある。

非定常ポアソン分布は、ポアソン分布のパラメータ λ を時間の関数にとり、時間経過とともに生起確率の増加あるいは減少を表現するものである。

ポアソン分布は、以下のように式を分割できる性質がある。

対象期間 T を極めて大きな数 n 個の微小期間 ΔT に分割する。 $T = n \times \Delta T$ 、各期間 i ($i = 1, 2, \dots, n$)について、ポアソンのパラメータ λ が T の関数 $\lambda_i(T)$ であるとすると、期間 T における事象の生起数 N_r は(4)式となる。

$$N_r = \sum_{i=1}^n \text{Poisson}(\lambda_i \cdot \Delta t) = \text{Poisson}\left(\sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot \Delta t)\right) \quad \dots\dots (4)$$

ここで、経過時間(t)に対して不具合件数を(5)式の指数関数で回帰し、 N_i とする。

$$N_i = a e^{b t} \quad \dots\dots (5)$$

(4)式のポアソンのパラメータ λ_i は、回帰不具合件数 N_i を使って

$$(6) \text{式で求めた。} \quad \lambda_i = \frac{N_i}{\Delta t \sum_{j=i}^n N_j} \quad \dots\dots (6)$$

表-1 電気設備不具合件数

処理場名	A	B
供用開始	H12年 4月	S56年 4月
現有施設	m3/日 12,800	m3/日 31,800
⋮		⋮
H10年度		26
H11年度		35
H12年度	27	23
H13年度	25	12
H14年度	23	5
H15年度	14	14
H16年度	14	30
H17年度	15	27
H18年度	14	24
H19年度	7	11
H20年度	13	10

3. 不具合件数による信頼性解析

3.1 プラント電気設備不具合データ

供用開始時期が異なる2処理場の電気設備の不具合件数を表-1に示す。表-1の不具合件数は、沈砂池・主ポンプ設備、水処理設備(初沈+反応+終沈+塩混)、汚泥処理設備(濃縮+脱水)に係わる電気設備の不具合件数である。

処理場毎の不具合件数の推移を図-1, 2に示す。A処理場の不具合件数は、供用開始以来年々減少傾向にある。B処理場は、平成11年度から減少にあったが、平成16年度に一旦上昇し、その後減少している。

B処理場は、平成16年度より新たな系列の運転が開始されており、設備数の増加と初期不良と思われる不具合件数が増加したものと推察される。A処理場は、増設が無く平成20年度まで推移していると推察できる。

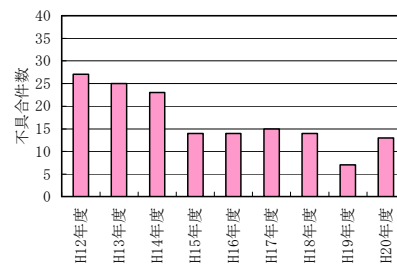


図-1 A処理場電気設備不具合件数の推移

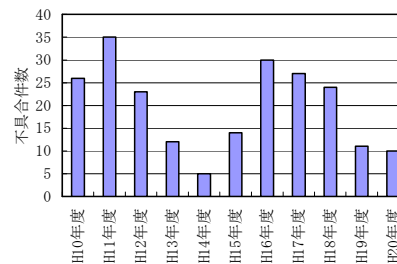


図-2 B処理場電気設備不具合件数の推移

3.2 非定常ポアソン分布による解析

1) A処理場電気設備の信頼性

図-3に経過時間と不具合件数の関係を示す、これを最小二乗法により指数関数で近似する。

表-1に示す不具合件数から文献¹⁾の表-3に示す故障率の算定に従い不具合率 λ を算出する(調査値 λ と言う)。これを(5)式で近似し、(6)式で λ を算出して図-4の実線で示す。

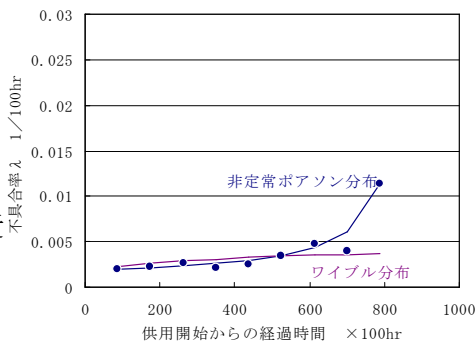


図-3 不具合件数の指数関数回帰 (A処理場)

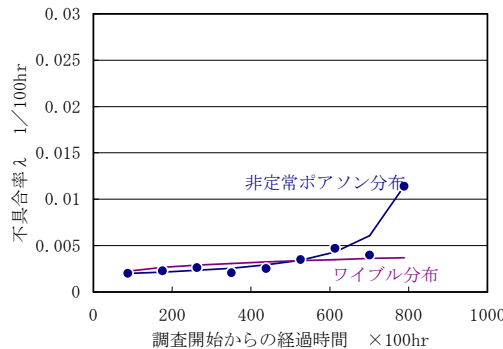


図-4 非定常ポアソン過程の不具合率 λ (A処理場)

図-4には、ワイブル分布で回帰した不具合率も合

わせて示した。

視覚的にも非定常ポアソン分布で回帰した方が良好にフィットしている。

2) B処理場電気設備の信頼性

B処理場は、系列の設備増設による不具合件数の影響を考慮して、平成10年度から15年度と平成16年度から20年度に分けて解析する。平成16年度から20年度には、増設前の設備の不具合件数が含まれるので、平成10年度から15年度の不具合件数を(5)式で回帰して、その回帰式から平成16年度から20年度の増設前設備の不具合件数を推定する。平成16年度から20年度の不具合件数から増設前設備の不具合件数を差し引き、新系列分の不具合件数とする。図-5に増設を考慮した不具合件数を示す。1)と同様に回帰した不具合率 λ を図-6に示す。A処理場と同様、不具合率 λ が年々増加する傾向を示す。

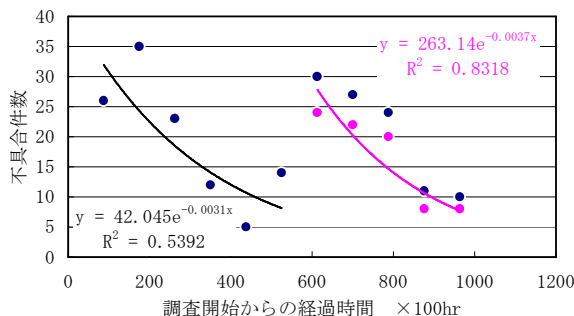


図-5 増設を考慮した不具合件数(増設前と新系列増設設備の不具合件数: B処理場)

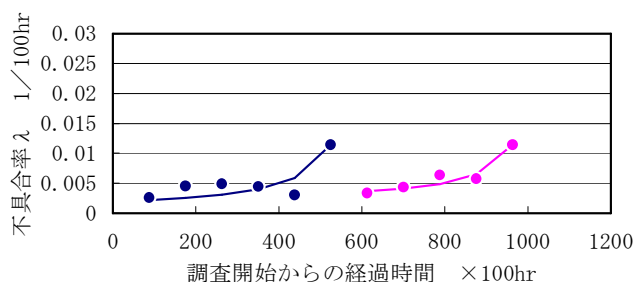


図-6 増設を考慮した非定常ポアソン過程により算出した不具合率 λ (B処理場)

3.3 各分布の適合度

調査値 λ と各分布の当てはまり具合(適合度)を判断する規準として赤池情報量規準(AIC)を用いる。

$$AIC = -2 \times L(\text{最大対数尤度}) + 2 \times P(\text{パラメータの数})$$

AICは、小さい値ほど調査値と回帰式がよく適合していると言われる。

本文には、ワイブル分布、ポアソン分布、非定常ポアソン分布のパラメータ同定方法については示していないが、調査値 λ を3つの分布で回帰した時の確率密度分布 f のAICを表-2に示す。

表-2 調査開始からデータに基づく各種分布の適合度(AIC)

処理場名	分布名	A		B			
		パラメータ	AIC	パラメータ	AIC	パラメータ	AIC
ワイブル分布	m	1.2278	129.6	1.00	84.7	0.629	78.2
	η	388.6		311.5		66.5	
ポアソン分布(指数分布)	λ	0.0025	129.5	0.0040	82.9	0.0046	67.9
	非定常ポアソン分布	μ		16.889		19.167	
	λ	0.193		0.219		0.187	

AICが最も小さい値を示したのが、非定常ポアソン分布であった。

2処理場ともプラント電気設備は、修理系アイテムに多い指数分布ではなく、ワイブル分布のパラメータを借りて言えば、 $m > 1.0$ の摩耗故障型で、年々不具合率が増える故障モードになっている。

4. 信頼性解析のまとめ

設備の信頼性解析は、故障間隔時間のデータのみならず、故障件数、本文では表-1の不具合件数によってもデータ解析することができる。2処理場のプラント電気設備不具合件数は、非定常ポアソン分布での回帰が最も適合しており、不具合率 λ が年々増加する傾向になり、筆者らが示した機械設備¹⁾すなわち不具合率 λ が一定とは異なる傾向となった。今後、不具合の内訳を調査し、不具合率 λ が増加する機器を特定していくことにより効果的な維持管理ができると思われる。

【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) 改訂版信頼性工学入門 真壁 肇 日本規格協会

【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