

論文題目	浄水場の信頼性と保全性の評価に関する研究				
学籍番号	CK001010	氏名	武市久仁彦	研究室名	電気工学

第1章 緒言

近代水道の浄水場は、水需要の増大と水質向上対策により機械化がなされた。しかし、複雑化した浄水機器は部品や装置の増加によって信頼度が低下すると共に、保全作業量も増大させ、これに係る経費の増加を招くことになる。このような状況の下、水の安定供給のため浄水場の良好な信頼性と安価な水道料金確保には、浄水プラントの「高信頼性設計と保全作業の合理化」が求められる。これにはプラントの信頼性と保全性の解析と評価が必要である。その解析と評価が可能になれば、種々の解析結果と評価指数即ち改善すべき問題点やその目標値等に基づいた高信頼性設計と保全性管理の向上が適宜可能となる。

本研究は信頼性・保全性解析手法を用いて、浄水場の信頼性と保全性の体系化を構築するものである。

第2章 浄水プラント

本研究では規模と稼働年度がほぼ等しい三田浄水場と神出浄水場を調査対象とした。平成6年度には三田浄水場で増設工事を行い、その際には経験に基づいた信頼性向上対策を講じた。図1は運転操作設備における対策の一例である。これは送水ポンプ用配電制御盤とリレー盤である。三田浄水場では全送水量を4台のポンプで送水する。このため予備機を含め5台を設置する。当初は図1(a)に示すように5台のポンプの電源供給を1つのブロックの配電制御盤から供給するものであった。

しかし、これではポンプ本体だけの故障発生時には予備機が有効に働くが、配電制御盤の共通部分に発生した場合には停止は送水ポンプ全台数に及ぶことになる。これを解消するため図1(b)に示すように2台、3台分割供給構成とし、2台又は3台の並列冗長系統を構成するようにした。こうすることで、単一系統の一方の障害時にも50%または75%の送水を可能にした。

第3章 信頼性・保全性データ

「信頼性・保全性データ」は一般的な実験室データと性格を異にする。そこで、信頼性データの特徴を勘案し、本研究結果を基に新しい「浄水場専用信頼・保全性データ収集フォーム」(表1)を考案した。このフォームには、これまでに無かった時間パラメータを随所に盛り込む改良を加えてあり、浄水場の信頼性と保全性の解析に必要なデータを得ることができ、精度の高いデータが得られる様に考慮した点は以下のとおりである。

1. 記入者の個人差を少なくするため、記号の選択を採用した。
2. 記載方法を準備した。(個人の裁量範囲制限)
3. 軽微な故障も記録するため作業工数表も準備した。

第4章 信頼性解析評価

図2は二重並列冗長の2系増設設計を行った三田浄水場を対象として浄水場を信頼性ブロック系統図化したものである。

単一素子7箇所、並列冗長13箇所、待機冗長10箇所の合計30装置であり、20個(10個は2系列分)の直列系で総計83ブロックで表現することができた。これにより、信頼性向上にはどの機器に予備を設置すればよいか、また、経済性から設備の無駄な部分を知る手がかりとしても有効である。また、ブロック線図化できたことにより、故障データから信頼度を求めることが可能になった。

Availability (稼働率A)を用いて浄水場の信頼性評価を行った。三田浄水場が当初計画と改良計画によるものでは、どの程度信頼性が向上できたか Availability により検証するものである。

Availability A(t)はTuを動作可能時間、Tdを動作不可能時間とすれば(1)式で求められる。

$$A(t) = Tu / (Tu + Td) \quad (1)$$

浄水場において停電を伴う電気設備点検は計画的に年に1回実施する予防保全作業である。浄水場は高圧受電であり点検整備作業は安全のため通常停電にて実施する。改良前では点検停電に伴う浄水場の系の停止時間は18[時間]であったが、改良後では1.17時間に短縮できた。(1)式により Availability (稼働率A)を検証すれば、適切に並列冗長系を取り入れることにより、浄水場の平均稼働率を99.79%から99.99%に大幅に改善できたことが明らかになった。

第5章 保全性解析評価

平成7年度に三田浄水場内の設備に発生した故障一件当たりの作業人数の分布特性を調べた。全データ数は43[件](=No)で解析にはポアソン分布を用いた。ポアソン分布は(2)式で示される。

$$pi = M^n \times \exp(-M) / n! \quad (2)$$

ポアソン分布を代表する母数である代表値Mが、平均作業人数Xiに等しいと仮定している。平均作業人数Xi=1.35[人/件]を代入して(1)式より期待値piを得る。このポアソン分布統計により

引込	送水ポンプ	送水ポンプ	送水ポンプ	送水ポンプ	送水ポンプ
送水	送水	送水	送水	送水	送水
電	電	電	電	電	電
機	機	機	機	機	機

(a) 従来設備

引込	送水ポンプ	送水ポンプ	送水ポンプ
送水	送水	送水	送水
電	電	電	電
機	機	機	機

引込	送水ポンプ	送水ポンプ
送水	送水	送水
電	電	電
機	機	機

(b) 改良設備

図1 送水ポンプ設備配電制御盤

表1 故障・点検整備報告書

故障・点検整備報告書		作成者
1. 発生年月日	年 月 日	月 日
2. 設備名	送水ポンプ	コード番号
3. 故障内容		
4. 点検内容		
5. 点検結果		
6. 点検者		
7. 備考		
8. 備考		
9. 今後の対応		
10. 点検者の署名		
11. 点検内容	1. 送水ポンプ停止 2. 送水ポンプ停止 3. 送水ポンプ停止 4. 送水ポンプ停止 5. 送水ポンプ停止 6. 送水ポンプ停止 7. 送水ポンプ停止 8. 送水ポンプ停止 9. 送水ポンプ停止 10. 送水ポンプ停止 11. 送水ポンプ停止 12. 送水ポンプ停止 13. 送水ポンプ停止 14. 送水ポンプ停止 15. 送水ポンプ停止 16. 送水ポンプ停止 17. 送水ポンプ停止 18. 送水ポンプ停止 19. 送水ポンプ停止 20. 送水ポンプ停止	
12. 備考		

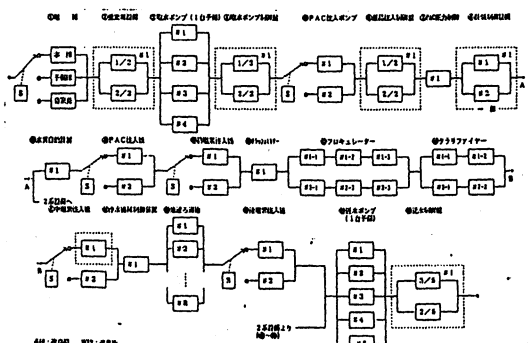


図2 浄水場信頼性ブロック線図

得られた結果を図3に示す。期待度数 $f_i (N_0 \cdot P_i)$ は、(2)式から得られた値に修理作業件数43 [件] ($= N_0$) を乗じたものである。

ここで、棒グラフは実測値 n_i 、折れ線グラフはポアソン分布による期待度数 f_i である。この図から職員が対応した場内での故障一件当たりの作業人数の分布特性はポアソン分布に従う傾向であることが分かるが、厳密には分布の適合検定を行う必要がある。その結果は χ^2 検定で明らかにする。なお、対応人員が0人については実データ n_i に表れない。これは、作業量がゼロであったため記録にないからである。しかし、期待度数 f_i ($p_0 = 0.1, \dots$) からは全体の約4分の1程度発生することになる。

さらに、実績値と期待値それぞれの累積値をグラフにしたものが図4である。この図では、左Y軸では件数値が読みとれる他、右Y軸から見ると理論的に三田浄水場では、この浄水プラントの故障対応の適正配置人員を読みとることができる。すなわち、ポアソン分布に従うならば場内の故障のみに限り例えば2名では、全ての故障の84.7 [%] の故障に対応出来ることが予測できる。

また、 χ^2 検定の結果、 $\chi^2_{0.05} = 29.58$ であり、 $\chi^2_{0.005} = 20.30 < \chi^2_{0.05} = 29.58$

となり、母数を $M = \bar{x}_i = 1.35$ [人/件] としたポアソン分布に適合する (近似する) ことは、若干無理であることになる。

この検定により近似でなかったのは次の原因が考えられる。

1. 浄水場の管理人員による。(通常3名が最大対応人員となり、観測人員が3名まででしかなかったこと)
2. 理論値には作業人員0人が存在するのに実測されなかったこと。

作業人数0人が知的作業とし、その値を2人の場合と同数の11件あったと仮定すれば、平均作業人数 $M = \bar{x}_i = 1.07$ [人/件]、 $\chi^2_{0.05}$ は15.88 となり

$$\chi^2_{0.05} < \chi^2_{0.05} < \chi^2_{0.01} \\ 14.07 < 15.88 < 18.48$$

母数を $M = \bar{x}_i = 1.07$ [人/件] としたポアソン分布に1~5 % の危険率で適合することから、今後は、知的作業についても緻密に記録としてデータをとる必要があることが分かった。

第6章 信頼性・保全性総合評価

信頼性と保全性を結び付けた総合信頼性・保全性評価手法を提案した。それらは3つの評価指数として、平均作業工数: m_h 、発生率: λ 、配員指数: $M_I (= \lambda \times m_h)$ を用いた。神出浄水場の浄水プラントシステムの点検・整備・修理作業について解析を行い、保全性に関する評価指数をまとめた結果を図5に示す。

図5は点検、整備、修繕の3つの保全作業の平成8年度1年間のデータを x 軸に発生率: λ [件/1000時間]、 y 軸には一件当たりの平均作業工数 [MH/件] をそれぞれ対数軸に離散プロットしたものである。これら3つの点を結んだ曲線が、修繕を下方向に凹型曲線になっていることに注目される。この特性曲線は神出浄水場の保全管理体制を裏付けると共に、各種の保全作業相互間の関係を示している。

まず、発生率 λ に注目してみると点検、修繕、整備の順に発生率が高く、その割合は各1桁違っている。一方、平均作業工数では修繕と点検がほぼ同じ工数であるのに対して、整備工数は2桁も高い値を示している。これは整備工数以上の修繕工数を必要とするような重大故障はほとんど発生していないことを意味しており、その修繕工数も通常点検程度の工数で修復できることを表している。反対に整備工数が極めて低いために、整備工数を上回る重大故障が発生するケースでは、この特性曲線が修繕を上方向に凸型曲線を描くことになる。

図5の一点鎖線は M_I が一定であり、線上の保全作業が M_H と λ との間で1対1で作業量の互換が可能であることを示唆している。これは、浄水プラントシステムに必要な保全作業を把握するために重要な評価指数であり、ここでは浄水場を1000時間運転した場合の保全作業量を意味している。また、維持管理費は配員指数に比例して増加し、配員指数の高い線上では高ランニングコストである。特性曲線から点検と整備では200 [MH/1000時間] 前後の作業量であり、修繕は点検や整備と比べて1桁低い作業量であることが分かる。

点検と整備作業量が最小かつ故障発生が極めて少ない理想的な保全体制下の高信頼性設備を有する浄水場では、この特性曲線が図5の左下方向に集中する。すなわち M_I の低い値の配員指数線に近づく程、理想的な浄水場であると言える。点検・整備は予防保全作業であり、修繕は事後保全作業である。これらの保全作業の配分には、設備別に点検・整備作業量とその故障発生率を分析し、故障発生率が上昇しない若しくはその上昇が容認できる範囲で点検・整備周期の見直しを行い、この特性曲線をより低い配員指数の線上にスライドさせることで最適配分点を見出すことが可能である。更に、点検・整備工数と頻度を固定しているにも関わらず特性曲線が修繕方向に突出した場合には、設備の寿命も考えられ設備更新時期の推定にも有効である。このように、この3つの保全作業相互間の関係を一見して把握でき総合評価には有効な手段であり、配員指数が最適指数であることが明らかになった。

第7章 結言

高品質・高信頼性への取り組みは他の産業界では古くからあり、現在でも多くの企業がTQCに取り組み、中でもISO 9000シリーズの認証取得が日本の産業界で進んでいる。ところが、品質向上を目的にISO 9000の認証取得に取り組んだ多くの企業が、その業績にも著しい改善がみられたのである。ISO 9000の認証取得には、品質記録の管理や統計的手法の提示が要求事項として必要とされる。本研究の成果は、将来取り組むであろう浄水場のISO 9000認証取得に向けた各種指標に活用することも可能である。

今後は、よりよいデータの取得に努め、信頼性と保全性のトレードオフ関係を明らかにし、更に浄水場の高信頼設計と保全性管理の向上を計って行きたい。

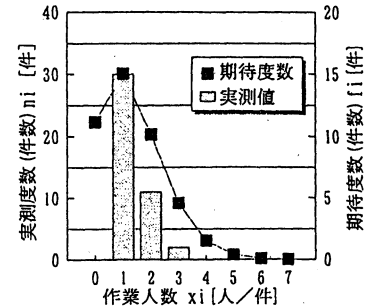


図3 故障1件当たりの作業人数

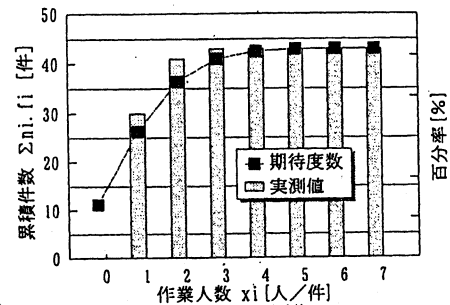


図4 故障1件当たりの作業人数分布累計

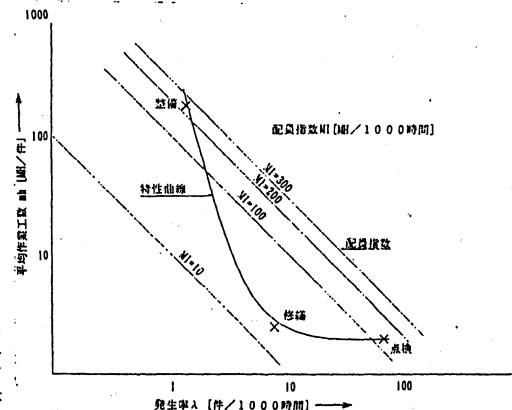


図5 点検・整備・修繕の発生率 λ 、平均保全工数 m_h 、配員指数 M_I の総合評価