

兵庫県企業庁猪名川広域水道事務所 ○武市久仁彦
鳥取大学工学部社会開発システム工学科 細井由彦

1. はじめに

水道の高普及時代を迎え維持管理中心の時代に入った。維持管理は人的に関与することが多く、運転現場での長年の経験を下に行われてきており、定量的な検証は管路^{1) 2)}において僅かに見られるが、あまりされてこなかった。そこで本研究では、今後の浄水場の維持管理を科学的な視点で検討することができるようにすることを目的とし、既存浄水場に残されている維持管理記録をもとに可能な限り定量的な基礎データを整備することを試みた。そして得られたデータをもとに、浄水場機器の故障発生特性について考察を行った。

2. 浄水場の故障

表1 設備別の故障発生状況

2.1 設備別故障発生 表1は、5 箇所の浄水場（横流沈殿、急速ろ過方式）について電気設備、計装監視制御設備、自動水質計器、ポンプ設備、浄水機械設備、ろ過池設備別の年間故障状況である。浄水場規模と稼働年数は異なるが、割合だけで見ると電気設備の故障が少なく、逆に自動水質計器と薬品注入設備の故障が多く占める傾向がある。

	A		B		C		D		E	
	[件]	[%]	[件]	[%]	[件]	[%]	[件]	[%]	[件]	[%]
計装監視制御設備	2	7.1	3	8.6	1	2.7	2.8	41	0.8	14
自動水質計器	4	14	8	23	16	43	0.8	12	2	36
浄水機械設備	1	3.6	0	0	2	5.4	1.2	18	1.2	21
ポンプ設備	5	18	5	14	3	8.1	0	0	0.4	7.1
薬品注入設備	11	39	11	31	10	27	1.2	18	0.4	7.1
電気設備	0	0	1	2.9	3	8.1	0.4	5.9	0	0
ろ過池設備	5	18	7	20	2	5.4	0.4	5.9	0.8	14
合 計	28	100	35	100	37	100	6.8	100	5.6	100

故障件数では、浄水量が10万t規模で稼働年数が10年間以上のA、B、C各浄水場に比べて浄水量が1万t以下で稼働年数が3年未満であるD、E浄水場では年間に発生した総故障件数が少ないことがわかる。

2.2 自動水質計器 自動水質計器の設置台数と計器一台当たりの故障件数を表2 自動水質計器の詳細表2に示す。この3箇所の浄水場の計器一台当たりの故障件数に注目してみるとA浄水場が最も少なく、C浄水場はB浄水場に比べて2倍の件数が観測されている。A、B、C浄水場の調査年度直近の原水年平均水質と比較してみると、濁度はA浄水場の2.5度、B浄水場の6度であったが、C浄水場は32度と5～12倍以上であり、マンガンはA浄水場の0.01mg/L、B浄水場の0.04mg/Lに対しC浄水場では0.116mg/Lと約3～11倍もの高い値であった。更に鉄はA浄水場の0.04mg/L、B浄水場の0.1mg/Lに対してC浄水場が0.45mg/Lと4.5～11倍である。すなわち稼働年数のほぼ等しいB、C浄水場を比べた場合、B浄水場の原水水質がかなり良好であることがわかる。またA、B浄水場を比較すると、A浄水場の方が稼働年数も短い上に、原水水質もやや上回っている。以上のことから濁質や鉄・マンガンは自動水質計器の検出部や反応槽に付着し清掃作業工数を増加させるだけでなく自動水質計器の故障発生の一因となっていると考えられる。自動水質計器の故障発生には、稼働年数と水質の双方が影響を及ぼすものと考えられる。

2.3 ろ過池設備 ろ過池設備のろ過池数は浄水場によって異なる。また、本研究対象の浄水場ではサイフォン式とパルプ式の2種類のろ過池を採用している。ろ過池の故障発生特性の比較をするため浄水場ごとの方式、ろ過池数、故障発生件数の関係を図1に示した。B浄水場とC浄水場は施設能力と調査時の稼働年数が同じである。池数はB浄水場が6池であるのに対しC浄水場は約2.7倍の16池であるにも関わらず故障件数は3分の1以下の2

	台数[台]	件/年・台
A浄水場	25	0.16
B浄水場	23	0.35
C浄水場	23	0.70
D浄水場	14	0.06
E浄水場	9	0.22

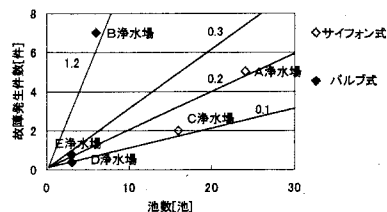


図1 ろ過池数別故障発生件数

件である。更に稼働年数が20年、池数24池のA浄水場の故障件数は5件であり、B浄水場の故障件数より少ない。これはバルブレスのサイフォン式の方がバルブ式に比べて故障が少ないと言える。また、原点と各描点を結ぶ直線の傾きが大きいほどろ過池1池当たりの故障件数が多い。A浄水場は稼働年数がC浄水場の約2倍であるが、この傾きから稼働年数が増しても故障発生件数のオーダーは変わらないことが分かった。D浄水場とE浄水場はバルブ式であるが傾きから1池あたりの故障発生件数はサイフォン式と同じオーダーであることがわかる。D浄水場とE浄水場は稼働年数が少ないため今後データの蓄積が必要であるが比較的小規模浄水場では方式の違いは故障発生件数に影響しにくいことが考えられる。

2.4 ポンプ設備 ポンプ設備の故障件数はA、B、C3箇所の浄水場

表3 ポンプ設備の詳細

	台数[台]	Kw/台	件/年・台
A浄水場	20	162.7	0.20
B浄水場	5	69.6	0.29
C浄水場	16	109.3	0.15
D浄水場	6	11.5	0.00
E浄水場	6	4.7	0.04

に比べてD、Eの2箇所の浄水場の方が一桁以上故障が少ない。稼働年数は前者の10年以上に比べ後者は3年未満と新しいことも考えられるが、ポンプ1台当たりの電動機容量(Kw/台)に着目してみると前者が約70Kw以上の特注品であるのに対し後者では11.5Kw以下の汎用品や標準品である。従って特注品は汎用品・標準品に比較して故障が多いことも考えられる。更に大型の特注品では補機などの機器点数も小型ポンプに比べて多いことも故障件数が多くなる一因であると考えられる。また、ポンプ1台当たりの年間故障発生件数は、保守点検方法が異なるであろう他の水道事業体の大型ポンプの年間故障発生件数³⁾(0.11件/年・台)とも同じオーダーである。

2.5 薬品注入設備 薬品注入設備にはPAC注入器、次亜塩素酸ソーダ注入

表4 薬品注入設備の詳細

	台数[台]	件/年・台
A浄水場	20	0.55
B浄水場	12	0.92
C浄水場	16	0.63
D浄水場	10	0.12
E浄水場	10	0.04

器、アルカリ剤注入器、粉末活性炭注入器を対象とした。A、B、C浄水場では1年間に10～11件の薬品注入設備の故障が発生しており、これは浄水場で発生する故障の約3分の1に当たる。注入器1台当たりの故障発生に注目すれば、A浄水場とC浄水場に比較してB浄水場の故障が多い。これはA、C浄水場が流量計+流量コントロール弁による注入方式であるがB浄水場は定量ポンプ方式であり方式の違いによるものと考えられる。またD、E浄水場は小規模であり小型薬液ポンプが用いられている。

2.6 浄水機械設備 浄水機械設備は急速攪拌池から薬品沈殿池に設置され

表5 浄水機械設備の詳細

	台数[台]	件/年・台
A浄水場	20	0.05
B浄水場	5	0.00
C浄水場	16	0.13
D浄水場	6	0.20
E浄水場	6	0.20

ている機械装置でフラッシュミキサー、フロキュレーター、クラリファイアーなどの装置である。これらの機器は施設規模や稼働年数による故障発生件数の顕著な差は認められなく、浄水場の設備で比較的安定に稼働している設備である。特にB浄水場の故障発生件数は観測年度中ゼロであったが、これは5箇所の浄水場の中で唯一、緩速攪拌が上下流方式を採用しており機械攪拌のようなメンテナンスが不要であることが要因であると考えられる。また、機器の設置台数も5箇所の浄水場中最低の台数であった。

2.7 電気設備・計装監視制御設備 表6に示すように電気設備は故障発生件

表6 設備別総故障件数

設備名	総故障件数
計装監視制御設備	9.6
自動水質計器	30.8
浄水機械設備	5.4
ポンプ設備	13.4
薬品注入設備	33.6
電気設備	4.4
ろ過池設備	15.2

数が一番少なく、計装監視制御設備は浄水機械設備に次いで故障発生件数が少ない設備である。両設備の大部分は静止機器で構成されていることが、他の設備と大きく異なる点である。更に設備の設置場所も屋内の塩素ガスなどの腐食性ガスに曝されない環境下であることが多いことなどが、故障発生件数が少ない要因として考えられる。故障発生件数の絶対値が小さいので、浄水場間の比較検討は難しいが、表1から稼働年数と規模のほぼ等しいD、E浄水場の計装監視制御設備の故障発生件数で3倍以上の開きがある。これは無人のE浄水場を常時有人運転監視であるD浄水場から遠隔監視制御を行っており、E浄水場に比べてD浄水場の方が計装監視制御設備の制御点数が多いためであると考えられる。

3. 浄水場稼働初期の故障発生特性⁴⁾

信頼性工学では、故障発生件数は常に一定ではなく、設備の稼働初期から廃棄に至るまでの間に3種類の故障期間があると言われている。まず、設備稼働初期に発生し時間の経過と共に故障件数の減少する「初期

故障期間」、故障発生件数がほぼ一定である「偶発故障期間」そして時間の経過と共に故障発生件数が増加する「摩耗故障期間」である。この稼働時間と故障発生件数の関係を描いた曲線が洋式の浴槽のカーブに似ていることから、この曲線はバスタブ曲線と呼ばれている。そこでD浄水場とE浄水場はほぼ同時期に稼働を開始し、この稼働間もない時期から故障データが得られたので、稼働初期の故障発生特性について調査した。

3.1 設備別故障発生件数と設備別発生状況 図2はD浄水場とE浄水場で発生した故障を年度と設備別に示したものである。平成12年度に両浄水場で18件発生した故障が平成13年度では10件にまで低減している。これは稼働初期の初期故障が運転経過と共に低減し、偶発故障期間へと移行しているためと考えられる。各設備について比較すると、ろ過・浄水機械設備の初期故障は平成12年度に概ね出尽くしたものと考えられる。平成13年度からは、ポンプ設備と自動水質計器について専門業者による委託点検整備を開始したが、委託点検整備によって両設備共、故障が減少しており、特に点検整備を実施した同年10月以降では自動水質計器の故障1件だけであり分解点検整備の効果があつたと考えられる。

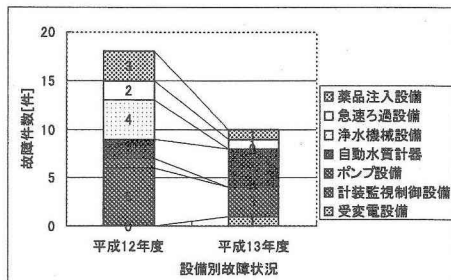


図2 設備別故障状況

3.2 故障発見の発端 表7は、故障発見の発端別を年度ごとに示したものである。ここで他警報とは故障機器以外の警報による発見を意味する。他警報も含めると全体の約40～55.5%は警報によって発見されている。平成12年度から開始した職員による点検によって警報に至るまでに4件の故障発見が観測されているが平成13年度にはゼロである。これは警報を有しない機器の故障が初期に発生したことが考えられる。また、施設の運転を通じて故障を発見したケースが4件から6件に増えており、これは職員の1年間余りの運転経験により通常状態の把握が進んだと考えられる。なお、平成14年度は上半期のみであるが発見はすべて警報によるものであった

表7 故障発見の発端

	平成12年度		平成13年度	
	件数[件]	割合[%]	件数[件]	割合[%]
警報	8	44.4	4	40.0
他警報	2	11.1	0	0.0
点検	4	22.2	0	0.0
運転上	4	22.2	6	60.0
不明	0	0.0	0	0.0
合計	18	100.0	10	100.0

3.3 故障の原因 「初期」とは機器設置時から有していた欠陥による故障、「設計」は設計段階で予測できなかった原因による故障、「偶発」は疲労などによる故障、「施工」は設備工事の施工上の不良が原因の故障、「不明」は原因の特定できないものとして、稼働初期の故障の原因を5種類に分類した結果を表8に示す。初期故障と設計上の故障は運転経過

表8 故障の原因

	D浄水場		E浄水場	
	平成12年度	平成13年度	平成12年度	平成13年度
初期	2	0	5	2
設計	7	1	2	0
偶発	0	2	0	2
施工	1	0	1	0
不明	0	2	0	0
合計	10	5	8	4

に従い減少しており平成13年度ではD浄水場の初期故障はほぼ収まっている。一方、偶発故障は平成12年度では両浄水場ともにゼロであるが、平成13年度には各2件ずつ発生している。施工が原因の故障も平成12年度だけに観測されており、浄水場の稼働初期には潜在的に存在していた要因による故障が多いことが明らかになった。

参考文献

- 1) 川北和徳「配水管破損事故における季節変動の実態とその分析」水道協会雑誌 55号 5巻 1986.
- 2) 細井由彦・村上仁士・香西正夫・鎌田圭朗・奥田義郎「徳島市水道における配水管の破損特性に関する研究」水道協会雑誌 57巻 8号 1988.
- 3) 細井由彦・村上仁士・香西正夫・鎌田圭朗・奥田義郎「取水ポンプ施設の信頼性評価」水道協会雑誌, 61巻, 1号, 1992.
- 4) 武市久仁彦・細井由彦「フィールドデータに基づく浄水場の信頼性と保全性解析 第5報」第54回全国水道研究発表会講演集 pp508-509 2003.5