

排水ポンプ設備のリスクマネジメントに関する調査

1 調査目的

排水ポンプ設備は、洪水時の内水排除を行うことで国民の生命・財産を守る重要な社会資本であるが、近年信頼性と経済性を向上させる技術改善が進められ、昭和40～50年代に整備されたポンプ設備も更新にあわせて仕様が変更されつつある。

技術的な改善事項としては、系統機器等を主体としたシステムの簡素化、機器の長寿命化、確実な操作制御の実現などがあり、技術要素としては、水中軸受のセラミック化あるいは樹脂化、ガスタービンの採用、操作制御設備におけるPLCの導入などを挙げることができる。

このような技術動向に伴って、信頼性を確保するために高度な維持管理技術が要求されることも事実であり、老朽化設備の故障が懸念される一方で、黎明期以降採用された設備においては従前とは異なる故障発生パターンが散見される。

よって、今後は点検における計測データや故障情報を含む維持管理情報のデータベース化と、故障実績に鑑みた適切な保全計画の立案及び実施が重要となってくる。

本業務では、①不具合・故障事例の把握及び致命的機器に発生しうる故障の想定（リスク分析）、②発生頻度・影響度の評価（リスクアセスメント）、③リスク低減対策を講ずるべき事象とその方法の明確化（リスク対策）を行うものである。

平成25年度は、排水ポンプ設備の故障実績に基づくデータ整理・解析、リスク低減手法の検討、主原動機における電動機採用検討を行った。

2 過去の経緯

平成23年に土木研究所において、排水ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究^{※1}を行っており、排水ポンプ設備を対象として、点検や修理に関するデータを基に、維持管理費と設備の信頼性を解析し、維持管理の方法と設備の信頼性の関係を明らかにし、信頼性と経済性を考慮した効果的な維持管理手法を提案している。

本調査は、前述の成果における信頼性評価手法を取り入れ、故障リスクを低減するマネジメント手法を提案するものであり、平成25年度を初年度とする。

3 調査概要

3.1 故障情報の整理

全国の直轄排水機場を対象とし、構成設備・機器の故障傾向・機器単位の故障率を把握するため、有意な記録のある故障情報データを収集するものとした。

3.2 故障情報の解析

（1）故障傾向

故障した機器、発生時の状態（通常運転時あるいは点検時など）、故障モード、故障原因、故障の

程度、故障した機器の使用年数(故障までの年数)などを故障データから抽出し、「故障モード別故障件数」「機器部品別故障件数」等の集計を行うことによって、どのような故障がどのような機器に発生し、その要因は何であるか可能な限り分析するものとした。

(2)故障率の算出

「河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」に示される設備・構成機器毎に故障率を算出する。故障率は、構成機器毎の故障の発生回数を当該機器の供用時間で除した値を採用している。

有意な故障率を算定出来た場合は、今後の FMEA・FTA に活用していくものとする。なお、FMEA(故障モード影響解析)とは、システムを構成する機器に故障が発生したときに、その故障が全体に与える影響を解析し、システムにとって致命度の高い機器を明確化する手法である(設備構成毎の故障発生頻度・システムへの影響・故障モード発見の可能性を総合評価)。また、FTA(故障の木解析)は、起こしてはならない事象をトップ事象として設定し、発生要素(事象)を樹状に掘り下げ、発生する確率を評価する手法である(トップ事象の故障発生確率の算出)。

3. 3 リスク低減手法の立案

本調査におけるリスクアセスメントは、明らかな人為的ミスに関連するリスクは対象とせず、設備の設計・設備構成・運転及び経年などの条件と故障実態を明らかにすることで、排水ポンプ設備の機能が低下あるいは喪失するリスクを分析する。

次に、分析結果に基づいて、排水機場のリスクを低減する方策について検討・立案する。立案にあたっては、故障実績の多い機器に着目した対策や、故障モード発生頻度に基づく設計上および保全上の対策等を総合的に検討する。

3. 4 主原動機における電動機採用の検討

主原動機は、主ポンプの動力となる最も重要な機器である。主原動機の機種は主にディーゼルエンジン、ガスタービン及び電動機であるが、電動機の採用事例は少ない。

しかし、電動機は電源が確保できれば構造的にシンプルで、維持管理もしやすいことから、小規模な機場を想定した信頼性と経済性の評価を行うものとした。主原動機の出力規模は1台当たり250kWの主ポンプ設備2台を有する規模を想定し、「ガスタービン」「ディーゼルエンジン」「電動機」の3パターンについて機器構成及び仕様をとりまとめ、各パターンについて、FTAや故障実績に基づく信頼性評価を行うとともに、イニシャルコスト及びランニングコストの評価も実施した。

4 調査結果

4. 1 故障情報の整理

構成設備・機器の故障傾向・機器単位の故障率を把握することを目的として、国土交通省の各地方整備局が管理している直轄機場の故障情報を収集した結果、排水機場分636件、救急排水機場分26件の有意な情報(調査結果として1982年から2012年までの情報)を得た。

当該情報の整理は、「機器名称」「発生時の状態」「故障モード」「故障原因」「故障の程度」に区分し、表計算ソフトにて整理した。表-1に集計イメージを示す。

表-1 故障情報集計事例(イメージ)

地盤名	施設名	設置年	日付	号機 機	機器名称	運転 回数	点検 回数	発生時の 状態	λ for $\lambda 2$	故障率 算定	直轄	整備形態	故障モード	故障原因	故障の程度	使用 年月	その他の場合の名 称
〇〇地盤	㊦排水機場	H7	H9.10.22	1	主ポンプ駆動設備 主原動機 ガスター ビン プリード弁			月点検 (管理運 転時)	1	×	○	部品取替	動作不良	品質不良	重故障	2	排気温度上昇
〇〇地盤	㊦排水機場	H9	H10.8.4	2	主ポンプ駆動設備 主原動機 ガスター ビン 潤滑油クーラ			通常運転 (実排水 運転)	2	○	○	部品取替(改良)	過熱・焼損・焼付き	設計の誤り	重故障	1	
〇〇地盤	㊦排水機場	H7	H13.5.17	3	主ポンプ駆動設備 主原動機 ガスター ビン タービンブレード	332		年点検 (管理運 転時)	1	○	○	部品取替	破損・焼損・破断	品質不良	重故障	6	
〇〇地盤	㊦排水機場	H12	H13.8.28	2	主ポンプ駆動設備 主原動機 ガスター ビン 点火装置			月点検 (管理運 転時)	1	○	○	修繕(調整)	動作不良	設計の誤り	重故障	1	
〇〇地盤	㊦排水機場	H13	H13.10		主ポンプ駆動設備 主原動機 ガスター ビン 燃料フィルター			通常運転 (実排水 運転)	2	○	○	部品取替	詰まり	設計の誤り	不明	0	

4. 2 故障情報の解析

(1) 故障傾向の把握

故障情報データを基に、「故障モード別故障件数」「機器部品別故障件数」を集計した。なお、故障モードとは、故障原因そのものではなく、故障原因からもたらされる不具合事象の分類であり、故障とその原因の中間にある不具合事象である。この関係は、図-1 のようになる。

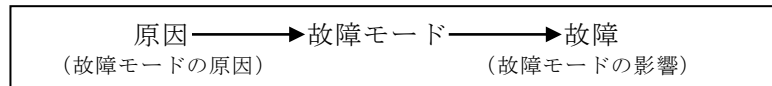


図-1 原因、故障モード、故障の関係 ※2

図-2 は、「故障モード別故障件数」を示した図であり、「動作不良」「破損・損傷・破断」といった突発的に発生する故障モードの件数が多いことが分かった。本来「動作不良」は機能が発揮出来ない状態を示す「故障」であり、動作不良を引き起こした部品及びその故障モードを掘り下げなければならないが、機器の調整不良や設計の誤りといった人的要因、初期不良などの品質不良が要因であることが明らかな場合及び記録において故障モードの特定が出来ないケースを「動作不良」と仕分したことにより、件数が多くなっている。

図-3 は、「機器部品別故障件数」を示した図であり、主原動機・主ポンプに関する故障件数が多いことが分かった。主原動機のうち、ディーゼルエンジンが 147 件で最も多く、ガスタービンが 52 件と次いで多い。これら機器に対する故障を低減させることが、排水機場全体としての信頼性にも繋がると考える。又、同じディーゼルエンジンエンジンであっても、主原動機より自家発電設備原動機の故障件数が少ないのは、比較的負荷が一定であることや、ラジエータ等の冷却方式に代表される簡素なシステムを採用できる場合があること等が要因であると考えられる。

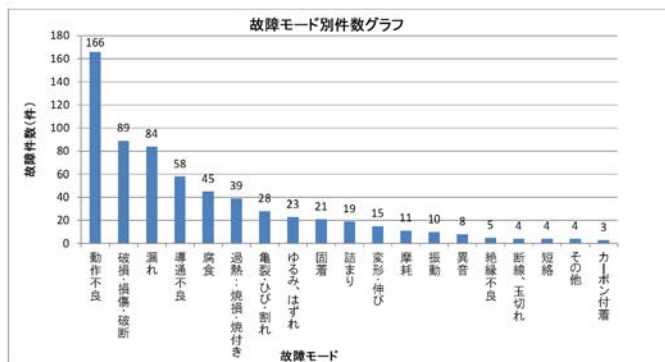


図-2 故障モード別件数

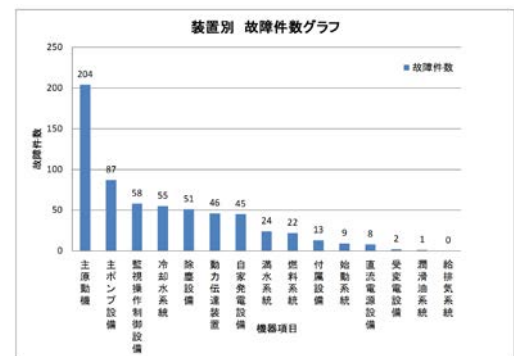
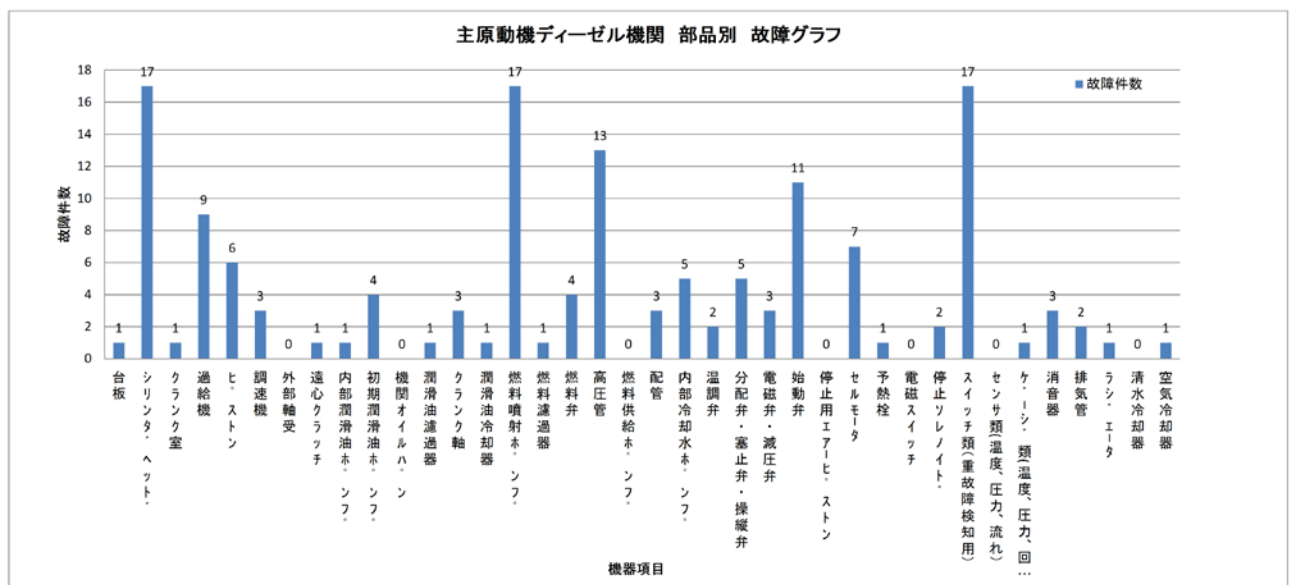
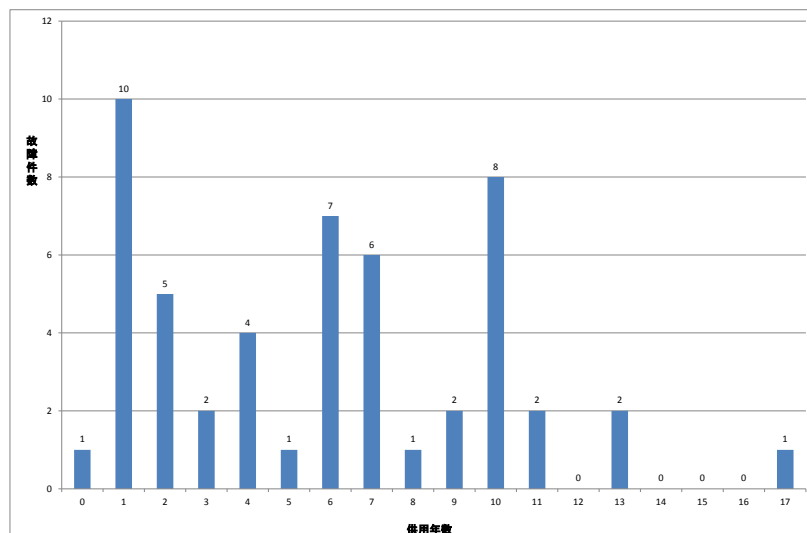


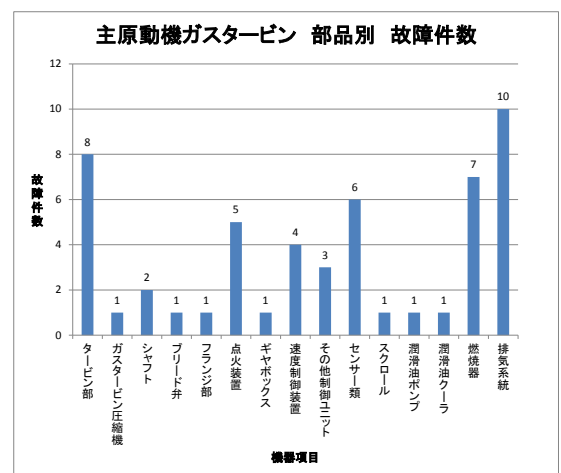
図-3 装置別故障件数



図－４ ディーゼルエンジン部品別故障件数



図－５ ガスタービン供用年数別故障件数



図－６ ガスタービン部品別故障件数

図－４は、最も故障件数の多い主原動機ディーゼルエンジンについて、部品別故障件数を示している。シリンダヘッド、燃料噴射ポンプ等の故障件数が多いことが分かった。

一方ガスタービンは、故障発生と供用年数の関係に特徴がある。図－５にガスタービンの故障と供用年数の関係を示す。供用開始後、10年以内に全体の約90%の故障が発生し、さらに供用後3年以内に約30%の故障が集まっている。この30%に及ぶ故障は、初期不良であり、使用環境や始動頻度などの条件と設備仕様が合っていない事例も見受けられ、改善後は故障が発生していない設備も多い。図－６は、ガスタービンの部品別故障件数を表しているが、タービン部、排気系統、燃焼部と高温にさらされる箇所が多いことがわかる。

(2) 故障率の算出

故障率の算出については、「河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル（案）」に示される設備・構成機器毎に算出した。

機器の故障率については、過去に土木研究所において 1989～1997 年の故障情報を元に故障率をとりまとめた事例がある。そのときの資料が「機械設備の信頼性評価に関する調査研究（第二報）平成 13 年 2 月土木研究所」（以下、資料①とする）である。本調査では、資料①と、今回収集した故障情報のうち資料①に含まれない 1998 年以降のデータを用い、供用時間当たりの故障回数として故障率を算定した。なお、供用時間については、「河川ポンプ施設総覧 2010」に記載されている情報を基に求めた。

4. 3 リスク低減手法の立案

（１）故障リスク低減対策の検討

図－３及び図－４に示す事例のように、機器あるいは部品別の故障集計結果からは、リスク対策をとるべき対象を炙り出すことができる。リスク低減対策については、故障モードも考慮することによって、排水ポンプ設備に対する機能的あるいは運転条件に係る横断的要因への対応と、対象機器・部品毎に具体的な技術的対策を検討することができる。しかし、点検において不具合が発見されれば迅速な復旧が最優先であり、消耗性部品や機器については可及的速やかに交換・調整が実施されることから、故障 1 件毎に故障モードやその原因等の情報が明確になるとは限らないことがわかった。本調査では、表－２に示す主要機器における故障モードも勘案し、故障リスクを低減するために必要となる今後のアプローチを検討した。

表－２ 故障モード別機器内訳表

「動作不良」166件		「破損・損傷・破断」89件※3		「漏れ」84件		「導通不良」58件	
機器名※1	頻度	機器名	頻度	機器名	頻度	機器名	頻度
主原動機（）内はGT※2	48(12)	主原動機（）内はGT	46(11)	主原動機（）内はGT	24(3)	主原動機（）内はGT	14(6)
自家発電設備	15	自家発電設備	16	主ポンプ設備	15	監視操作制御設備	7
監視操作制御設備	15	主ポンプ設備	14	冷却水系統	14	監視操作制御設備	7
計装設備	14			系統機器設備	11	機側操作盤	7
系統機器設備	14			燃料系統	6	監視操作制御設備	7
滴水系統	13			動力伝達装置	5	計装設備	5
除塵設備	11			減速機			
主ポンプ設備	9			系統機器設備			
動力伝達装置	8			始動系統			
減速機							
系統機器設備							
冷却水系統							

※1:それぞれの故障モードにおいて故障頻度が5件以上の機器を抽出
 ※2:表－6に記載の主原動機はディーゼル及びガスタービンのみで電動機は含まれていない。
 ※3:「破損・損傷・破断」に関する該当部品例は次のとおりとなる。
 主原動機：シリンダヘッド、燃料噴射P等
 自家発電設備：ピストン、シリンダヘッド等
 主ポンプ設備：水中軸受、流体継手等

表－２の集計結果から、主原動機、自家発電設備、操作制御盤、計装機器、主ポンプ、除塵設備を主たる対象として、次の１）～３）を具体的な視点とした対応方針(案)を示す。

1) 重点管理の実施

①主ポンプにおける振動解析、主原動機における潤滑油分析等の状態監視技術の確立

- ・主ポンプ主軸の振動計測における変位計の導入
- ・エンジンオイル及び減速機潤滑油におけるフェログラフィ、SOAP の導入
- ・状態監視可能な機器については、点検時計測値の傾向管理必須化

②FMEA の導入

- ・動作不良が多い機器・部品の故障情報解析の細分化
- ・機械設備維持管理システムの有効活用

- ・FMEAによる致命的機器の明確化と仕様変更(故障モードとその原因の明確化)

③主原動機等に関する管理方法の改善

- ・各種シール類、スイッチ類に、漏れ、破損、導通不良が多いことから細部点検の強化を検討
- ・ディーゼルエンジンを用いたシステムでは、系の危険速度を把握し、定格速度の下にあるときには起動時（あるいは停止時）の共振による各部の影響を考慮
- ・排気系統における結露対策
- ・ガスタービンでは、最適な管理運転の方法及び高温部の状態監視方法を確立

④維持管理情報蓄積による時間計画保全の精度向上

2) 調達性の向上

- ①各部品レベルの復旧日数（MTTR）を把握し、そのうちの部品調達期間自体が点検サイクルを超える部品・構成機器については予備品としての有効性を検討
- ②消耗性部品、計装機器及び小型機器については、汎用品の適用を検討
- ③系統機器などの簡素なシーケンスでよい機側操作盤の標準化

3) 信頼性の向上

①初期故障が多い技術の適用性再検討

- ・ガスタービン、セラミック軸受は使用環境、運転方法等が(機器固有の)特性に適合しているか検討が必要。近年開発された気中運転型セラミック軸受の使用環境や運転方法の評価も必要。

②故障モードとその原因が経年劣化あるいは偶発故障であるケースの危機管理対策

- ・予備品管理計画立案、致命的機器である汎用部品の共用化
- ・配管の漏れなどに対応する緊急補修材の確保

③長寿命化・簡素化の推進

- ・主ポンプ設備は羽根車・水中軸受・グランド部シールなどの耐久性のバランスを保ち、分解整備間隔が長く取れる設計を推進する。
- ・小規模な機場においては、システム構成や制御アルゴリズムをある程度簡素化することによって、操作制御設備の標準化を図る。PLC とリレー回路のバランスを考慮する。

(2) 予備品保管の有効性検討

前項で示したとおり、予備品の確保は危機管理上非常に重要である。しかし、予備品を増やせば調達及び保管コストは増大し、保管を誤れば修復に使えない事態も想定される。よって、構成機器や部品に関し事前に予備品として保管することの有効性について検討しておく必要がある。

予備品保管の有効性を検討するために、図-7の選定フローを提案した。選定フローは、「①事前準備・調査」と「②保管可否の選定」の2つに大きく分けている。

①の作業は、排水機場毎に排水ポンプ設備の構成機器・部品の調達日数が異なることから事前に行うものである。まず、FMEAを実施するために、部品毎の市場性(調達日数)復旧作業日数などを調

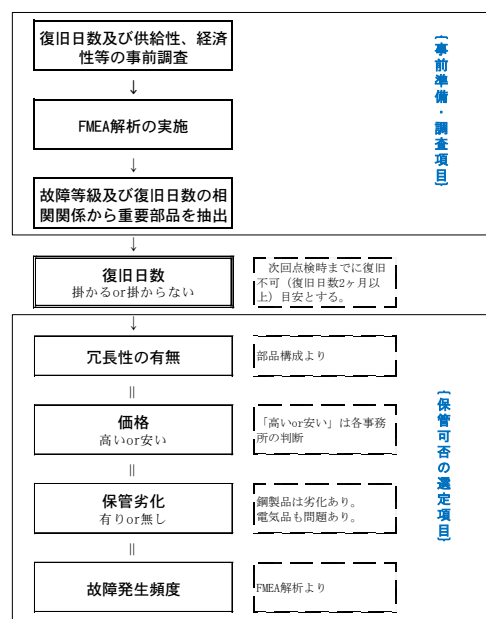


図-7 予備品選定フロー(案)

査し、解析結果の故障等級から重要部品の抽出を行う。

故障等級は、システムへの影響度、故障発見の容易性、発生頻度を考慮して決定する。

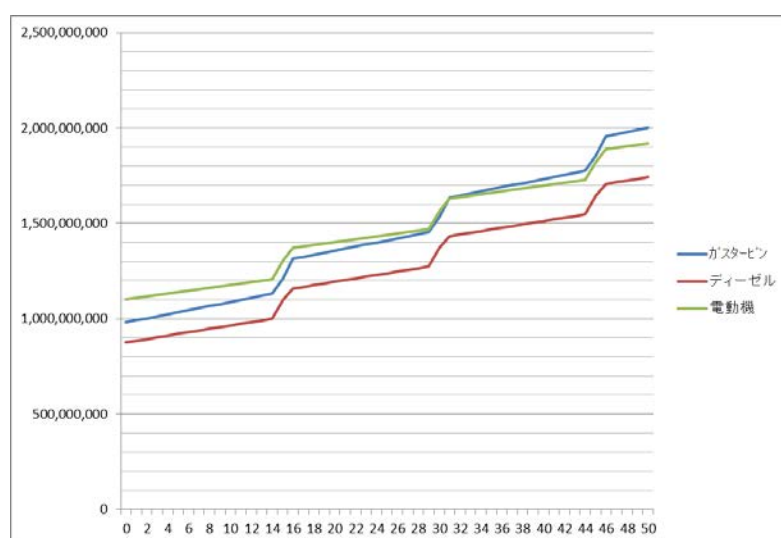
②の作業は、①の作業により抽出した重要部品から予備品として保管すべき部品を選定ものである。具体的には、冗長性の有無、当該部品あるいは機器の価格、保管の容易性（劣化せずに保管できるかどうか）、想定される故障の発生頻度を総合的に考慮して決定する。

4. 4 主原動機における電動機採用の検討

電動機は管理が容易であり、連続運転時の耐久性も充分あることから常用系設備の動力として標準的に使用されているが、排水ポンプ設備では出水時に「商用電源断」となる停電対応を考慮して導入される事例が少ない。しかし、停電の実績を考慮した信頼性の比較を行った事例は少ない。

本調査では、主原動機の出力が 250kW の主ポンプ設備 2 台を有する排水機場を、主原動機の種類により 3 ケース（ケース 1：ガスタービン、ケース 2：ディーゼル、ケース 3：電動機）想定し、経済性・信頼性の観点から電動機採用の検討を行った。ケース 3 の電源方式は「低圧受電（保安用）＋自家発電設備（2 台）」とし、自家発電設備 1 台で主ポンプ 2 台を駆動できる仕様とした。自家発電設備には予備機 1 台を設けるため 2 台となる。

経済性については、インシヤルコスト（建設費）とランニングコスト（維持管理費）を算出し LCC（ライフサイクルコスト）の比較を行った。経済性評価では、図－8 に示すとおり、インシヤルコストでディーゼルエンジンが最も経済的であり、電動機は自家発電設備に要する費用が嵩みガスタービンよりも高価となった。ランニングコストは、ディーゼルと電動機がほぼ同等でガスタービンは高価という結果が得られた。また、50 年間のライフサイクルコストとしては、ディーゼルが最も経済的で、電動機はガスタービンよりは良いもディーゼルには及ばない結果となった。



	インシヤルコスト	ランニングコスト(毎年)	ポンプ+減速機(2台分)		原動機+自家発(2台分)	
			15年毎	16年毎	15年毎	16年毎
ガスタービン	981,260,000	10,713,584				
ディーゼル	876,250,000	8,844,766	70,500,000	88,620,000	90,900,000	52,460,000
電動機	1,103,700,000	7,489,943	88,620,000	88,620,000		58,264,000

図－8 50 年間におけるライフサイクルコスト

信頼性評価では、FTA による評価及び故障実績に基づく評価を行った。結果的に電動機方式は、ガスタービン方式及びディーゼルエンジン方式より経済性には劣るものの、信頼性は高いという結果が得られた。なお、信頼性評価では、表－3 に示すとおり、FTA では、停電等による「商用電源断」を考慮しても、電動機が最も故障率が低い結果となった。また、故障実績に基づく故障率においても、表－4 に示すとおり電動機が最も故障率が低い結果が得られた。従って、信頼性評価においては電動機が最も高い結果となった。

表－３ FTA による故障率算出表

No.	停電発生率 (1/h)	パターン	FTA算出結果※1 アンペアリビリティ(1/h)
		実在ディーゼル駆動排水機場※1	1.591890E-05
1	11E-6	東京電力(2010年を除く)※3	0.904393E-05
2	32E-6	10電力平均(2004、2010年を除く)※4	0.904389E-05
3	793E-6	東京電力(2010年)※5	0.904548E-05

※1: 通常のディーゼルエンジン機場のFTA結果について、1～3の比較のために記載する。

※2: FTAで設備の仕様と構成機器・部品の故障率を基に算出された、トップ事象の発生する確率

※3: 東京電力における最近10年間の停電発生率平均値を反映する。ただし、2010年東日本大震災は除く。

※4: 国内電力10社における最近10年間の停電発生率平均値を反映する。ただし、2011年東日本大震災は除く。

※5: 東京電力における2010年東日本大震災発生年の停電発生率を反映する。

表－４ 故障実績に基づく故障率算出表

項目	電動機	ディーゼル	ガスタービン
故障件数	5件	147件	52件
対象台数	220台	581台	158台
供用時間 (h)	20,235,600	69,046,320	15,697,920
故障率	0.25×10^{-6}	2.1×10^{-6}	3.3×10^{-6}

5 考察

5. 1 技術的なニーズ

本調査における故障実態の調査結果から、今後の技術的ニーズについてとりまとめる。

1) ガスタービン

- ①本調査では、表－４に示すとおりディーゼルエンジンより約 57%故障率が高い。

揚排水ポンプ設備設計指針(案)同解説では、ガスタービンを採用することで、系統機器が簡素化できることからシステム全体の信頼性は高いとされているが、ガスタービン本体の信頼性向上は必要。

- ②タービン翼や燃焼室部で故障が多い。熱膨張・収縮が故障にどの程度影響があるか十分な検討が必要であるが、特に短時間で運転を停止する管理運転に対応できる設計仕様の明確化あるいは対応部品の開発が必要になる。

- ③排気系統の故障が多い。排気管の設計は排水機場独自のものがあり、施工方法を含めた高温耐久性の向上が期待される。

- ④点検方法の合理化が必要。年点検時にはファイバースコープを活用した内部調査を実施することもあるが、点検技術は高度であり管理者側で実施内容を把握しきれない。管理者が保全計画をコントロールできる点検方法の合理化が必要。

- ⑤点火及び運転システムが比較的複雑であり、多くの場合 PLC に頼らざるを得ない。大型ガスタービンでは電子ガバナの PLC 調達に時間を要するものがあり、市場性を高める改善が必要。

2) ディーゼルエンジン

- ①シリンダヘッドの故障が多い。腐食が 1 つのポイントになっている。排気管からマニホールドを伝って結露水が戻りやすいと考えられる。一般的にエンジンオイルに水分が多いこともこの可能性を示唆している。過給機、冷却水系統とあわせて防錆対策の向上が必要である。

- ②高圧管、燃料噴射ポンプについては、経年劣化による故障が多いが、点検で劣化傾向を発見しにくい。軽負荷運転は、従前から避けるように管理されているがカーボン付着が原因の事例もある。時間計画保全の精度向上が急務ではあるが、点検作業において状態監視ができる工夫が望まれる。

- ③低温による始動渋滞で排気管内に燃料が滞留した事例がある。また、燃料である A 重油を硫黄含有率の高い 2 号から 1 号(硫黄分が低く流通性が高い)に変更して始動渋滞が発生するようになった機種もあったことから、冬期にも起動ニーズがあるエンジンには始動性を確保するための工夫が必要。

3) 軸封部(主ポンプ設備)

- ①主ポンプ関係で致命度が高い部品は羽根車・水中軸受であるが、故障件数に着目すればグラ
ンド部のシールが多い。従来型であるグランドパッキンは経年劣化で漏れコントロールが効
かない、あるいは焼き付く事例が多いが、原因が劣化であるので寿命統計による時間計画保
全が行いやすい部品でもある。近年無水化に伴い実績が増加しているメカニカルシールは、
精密機器であるがために設計の不適合で故障する事例がある。防塵性向上、ポンプ構造と土
木構造物を考慮した施工性向上など改善の余地がある。
 - ②グランドパッキンは潤滑に伴う漏れ量管理方法が確立しており、交換も比較的容易であるが、
潤滑及び吸気防止などのため封水が必要である。グランドパッキンの維持管理性を確保し封
水を合理化できる素材と方法の開発が望まれる。
 - ③メカニカルシールの代替品としてラビリンスシールが採用されたポンプ設備がある。耐圧、
防塵性、耐久性など適用範囲の拡大を図る技術開発が望まれる。
- 4) 水中軸受(主ポンプ設備)

- ①平成年代以降導入が増大したセラミック軸受の故障が散見される。ゴム軸受に比べ耐摩耗性
が高く長寿命化が期待できるうえ、潤滑水が不要であることから標準的に使用されているが、
故障は「摩耗」ではなく「破損」がポイントになっている。ゴム軸受からの変更に伴う据付
作業、土木構造物の劣化など主軸の芯精度に与える要因との因果関係を明確化していく必要
がある。危険速度と定格速度の条件によるが、危険速度通過時(起動加速時)の耐衝撃性の向
上も必要。
- ②セラミック軸受より脆性破壊に強い樹脂系素材の水中軸受が採用される事例がある。揚排水
ポンプ設備設計指針(案)同解説では、土砂が混入する揚液には使用できないとされている。
これらの得失について管理者が採用検討できる技術資料が少なく、河川ポンプ設備における
適応性が充分検討できない。特に河床が砂質土やシルトである場合の耐摩耗性を明らかにす
る必要がある。

5. 2 構成機器・部品の MTTR

予備品計画においては、各部品の MTTR(平均復旧時間)の把握が重要である。従来、ポンプ場の FMEA においては、主要機器(主ポンプ、主原動機等)の形式が同一な場合 MTTR を同様と扱ってきたが、今回の調査で、設備規模、製作メーカー等の要因で MTTR が異なることが判明した。特に計装機器、燃料系統のフィルタ類、系統機器の弁類、除塵設備の電動機などは汎用品を用いる場合と受注生産品を用いる場合では大きく異なっている。

汎用品の採用可否は、設備規模、設置環境、運転方法など多様な条件を勘案して決定されるべきもので、MTTR が優先事項とはならないが、同条件で採用できる汎用品がある場合は MTTR が短い部品を採用すべきことは明らかである。

現場において、故障リスク低減策検討に FMEA を採用する場合は、故障等級が高い機器の予備品検討に活用するため、機場ごとに構成機器・部品の MTTR を調査する必要がある。

5. 3 主原動機における電動機採用の可能性

排水機場における電動機の採用については、経済性評価では、ディーゼルエンジンより劣る結果となったが、信頼性評価では「商用電源断」を考慮しても最もよい結果となった。今回は 250kW 相当を想定した比較であるため、250kW 以下に検討範囲を広げ、信頼性と経済性の評価を行う必要が

ある。

6 今後の計画

6. 1 リスク低減の観点から見た新技術の採用

近年ポンプ場で採用された新技術がいくつかあるが、これらの新技術は故障発生の少なさ、信頼性向上を目的としたものが多い。具体的には、耐摩耗性に優れたセラミック軸受、連続運転での効率的稼働性に優れたガスタービン等が挙げられる。今回の故障情報の解析において、ガスタービンの故障発生率はディーゼルエンジンよりも高い結果となっていた。セラミック軸受に関しては、故障報告は少ないが破損している事例がある。近年、ゴム軸受からの変更時にセラミックではなくフェノールやテフロンなどの樹脂製軸受を採用する事例もあり、十分な検討が必要である。

排水ポンプ設備ではポンプ場の運転頻度を考慮した場合、設備全体の寿命が到来するまでに分解整備は避けられない。羽根車、水中軸受は分解整備時に確認と修理ができる部品であることから、運転頻度を考慮したうえで、適正な整備サイクルとなるような羽根車材質及び水中軸受材質の組み合わせがあると思料する。

新技術については、当該機場の運転条件、大型設備の整備サイクル及び更新周期、併せて、土木構造との関連等も考慮し、設備全体としてのマッチングを考慮した採用検討を行う必要がある。本調査では、考察で示したニーズに基づき、ポンプ設備メーカーをはじめ関連産業界における技術開発動向を把握し、適用性を明らかにしていく。

6. 2 予備品保管に関する要領（案）の作成

本調査で整理した予備品選定フローに基づき、一般的に予備品として具備すべき機器・部品を明らかにしていく。また、モデルとして個別施設を選定し、具体的に予備品の選定を行って妥当性を検証していく。

成果としては、予備品計画策定要領(案)としてとりまとめる予定である。

6. 3 主原動機における電動機適用範囲の検討

出力250kW相当2台規模の排水機場では、ディーゼルエンジンより経済性に劣る結果となったが、信頼性評価では優位であるという結果が得られた。今後は、さらに信頼性に関する検討を行うとともに、1台250kW以下の規模における経済性評価を行い、電動機が信頼性と経済性双方で優位となる適用範囲をさらに精査していく。

施設技術課

参考文献

- ※1. 藤野 健一、田中 義光、山元 弘、林 輝、河北 憲治 土木研究所報告 2011.2 No.217（河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究） 独立行政法人土木研究所
- ※2. 久米 均 設計開発の品質マネジメント P.142 日科技連