

河川用ゲート設備の点検・診断手法に関する調査試験

1. 調査目的

河川用ゲート設備は、水門・樋門・樋管における逆流防止・水流制御など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、河川ポンプ設備と同様に高度成長期以降急速に整備され、今後老朽化施設の増大が想定されている。

国土交通省では、H20年度より「河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」の運用を開始し、設備の整備・更新の優先度決定プロセスの合理化を図ってきたが、設備の健全度をより効果的に把握する必要性が高まっている現状に鑑み、平成26年度に状態監視型予防保全の推進を主たる目的とした改定を行い、「河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル(案)」としてH27年度より試行している。

しかし、ゲート設備に使用される構成機器は多様で、稼働する時間が少ない待機系設備であるうえ、稼働する部分の速度が低いことなどから振動解析等も実施されておらず、状態監視保全を行うための(計測データによる)傾向管理及び診断手法が確立されていないのが実態である。

本調査では、①河川用ゲート設備の故障傾向の分析(リスク分析)、②対応策としての状態監視項目の抽出、③新たな診断技術による計測・診断マニュアル(案)のとりまとめを行うものである。

平成27年度は、ゲート設備の故障実績に基づくデータ整理・解析、現行の点検手法の枠を超えた新たな診断技術の調査、有効と考えられる一部技術についてのトライアル試験を行った。

2. 過去の経緯

本調査は、現行のゲート設備点検手法の枠を超えた新たな計測・診断技術を提案するものであり、平成27年度を初年度とする。

3. 調査概要

3. 1 故障情報の整理・分析

3. 1. 1 故障情報の整理

関東技術事務所にて全国のゲート設備の故障情報を収集し、分析しやすいように整理する。

3. 1. 2 故障情報の分析

故障情報を元に、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」等の集計を行い、故障発生頻度の高い機器またその要因等について分析する。

3. 2 ゲート設備の新たな状態監視技術の調査

ゲート設備の点検・診断において標準的に使用されていない新たな状態監視技術を対象として、ど

の機器にどのような技術が適用できそうか、幅広く調査を行う。

3. 3 適用性の評価

前項にて幅広く収集した点検・診断技術について、適用できるゲート設備の構成機器を明確にし、適用性を評価する。また、故障分析の結果より診断対象とすべき機器と当該機器を対象とした有用な点検・診断技術を抽出する。抽出した技術のうち、信頼性と経済性を考慮して現実的に活用しやすいものをさらに選定してトライアル試験を実施する。

4. 調査結果

4. 1 故障情報の整理・分析

4. 1. 1 故障情報の整理

構成設備・機器の故障傾向を把握することを目的として、故障情報を収集した結果、河川用ゲート設備分 748 件の有意な情報を得た。

収集した範囲を以下に示す。

①調査対象

直轄施設を主たる調査対象としたが、一部地方公共団体あるいは独立行政法人の管理施設を含むただし、母集団を明確に絞ることはできなかった。

②対象期間

幅広く収集を行った結果、以下の期間に発生した故障データを収集できた。

あくまで収集できた範囲であり、この期間に発生した故障全数ではない。

1967 年～2013 年

③整理方法

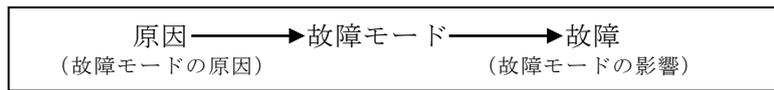
当該情報の整理は、「装置名称」「機器名称」「発生時の状態」「故障モード」「故障原因」「故障の程度」等に区分して整理した。表-1 に集計イメージを示す。

表-1 故障情報集計事例(イメージ)

事務所名	区画	設備大区分	設備細区分	設備名	号機	設置年	原形形式	開閉装置形式	故障発生年月日	故障装置名称	故障機器名称	故障機器部品詳細名称	故障概要	故障発生時状況	故障モード	故障原因	修理の程度	故障形態	故障対策	備考
〇〇河川事務所	〇	堰	堰_洪水吐	〇〇制水ゲート	-	1998	ゴム堰	その他	2003/7/20	その他	電線部	-	本間(転向)させていた制水ゲートが起立しない不具合が発生した。原因は、当該電線の不平衡により、電流が不平衡となりSEIレーン作動したためである。	運転中	01: 動作不良	09: その他	修理	突発	調査	0
〇〇河川事務所	〇	堰	堰_流量調節部	〇〇堰	-	1960	シェルローラゲート	ワイヤロープタイプ	2004/9/7	開閉装置	その他	アンカボルト	機室内の転向シブ装置が転倒した。転倒は、転向シブ装置を固定するアンカボルトの設計耐力不足によるものである。また、ゲート操作時に過負荷アラームが鳴いたが、迅速確認・障害物の除去を行わずに操作したことも直接の原因である。	運転中	01: 破損・損傷・破断	06: 設計の誤り	修理	突発	部品取替	15
〇〇河川事務所	〇	開門	開門	〇〇開門	-	不明	ローラゲート	手動	2004/9/29	戸当り・支索部	戸当り・ガイド	戸当り	操作中に扉体上部のゲート上部ガイドより、扉体ガイドローラが外れて扉体が川裏側に転倒した。外れた原因は、ゲート主軸ガイドがストッパーが抜け落ちていたことが主要原因である。	運転中	06: ゆるみ、はずれ	06: 設計の誤り	修理	突発	修繕(改造)	-
〇〇河川事務所	〇	開門	開門	〇〇水門開門部	-	1963	不明	不明	1998/12/1	開閉装置	減速・動力伝達部	軸受	ドラムドラムコンテナの軸受け部に傷がある	不明	01: 破損・損傷・破断	08: 不明	不明	不明	不明	26
〇〇河川事務所	〇	水門・樋門	樋門・樋管	〇〇樋管	-	不明	不明	不明	-	操作制御装置	電気部品	電磁開閉器	湧きにより電磁開閉器、リレーが故障	不明	10: 過熱・焼損・焼付	04: 過負荷、雷害	修理	突発	不明	-
〇〇河川事務所	〇	水門・樋門	樋門・樋管	〇〇樋管	-	不明	不明	不明	-	操作制御装置	電気部品	リレー	湧きにより電磁開閉器、リレーが故障	不明	10: 過熱・焼損・焼付	04: 過負荷、雷害	修理	突発	不明	-
〇〇河川事務所	〇	水門・樋門	水門	〇〇水門	-	1981	不明	不明	-	開閉装置	減速・動力伝達部	軸受	高水流入によりウォーム輪用ベアリングに異音及びセクション受機等が故障	不明	05: 腐食	10: 不適切な管理	不明	不明	不明	-

4. 1. 2 故障情報の分析

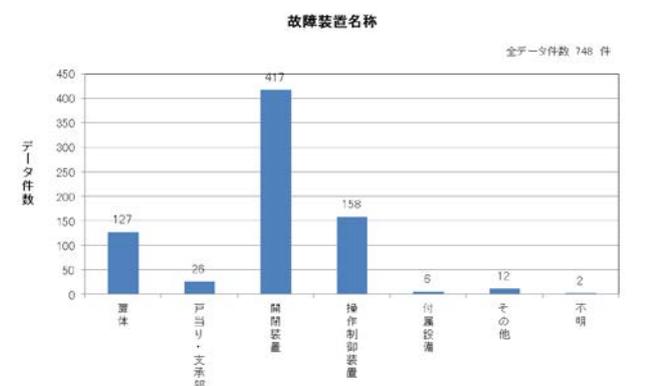
故障情報データを基に、「故障装置別故障件数」「故障形態別故障件数」を集計し、故障装置別に「故障機器別故障割合」「故障モード別故障割合」「故障原因別故障割合」等を分析した。なお、故障モードとは、故障原因そのものではなく、故障原因からもたらされる不具合事象の分類であり、故障とその原因の間にある不具合事象である。この関係は、図-1 のようになる。



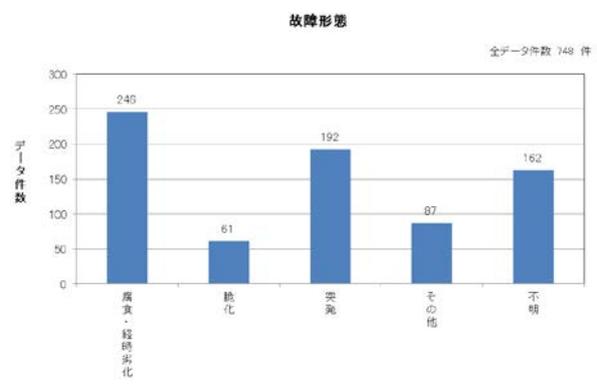
図－1 原因、故障モード、故障の関係

「故障装置別故障件数」は図-2 に示すとおりであり、「開閉装置」の故障件数が最も多く、次いで「操作制御設備」、「扉体」の順に多い結果となった。開閉装置の故障が多い要因としては、構成機器・部品が多く、回転・摺動を繰り返す機器が多いことなどが挙げられる。

「故障形態別故障件数」は図-3 に示すとおりであり、「腐食・経時劣化」が 246 件で最も多いことから、状態監視が有効な維持管理手法になり得ることを示していると考えられる。次いで、「突発」が 192 件で多くの割合を占めている。突発的に発生する故障の原因では、想定外の外力によって故障した事例が 43 件、電機部品等の故障 42 件、設計・施工に改善の余地があった事例が 36 件、水質などの使用環境に依存する故障が 35 件等であり、基本的にこれらは仕様の変更あるいは管理体制によってカバーしていくものである。以下に部品毎の分析結果について述べる。



図－2 故障装置別故障件数



図－3 故障形態別故障件数

1) 開閉装置の分析結果

開閉装置の故障について、「故障機器別」「故障モード別」「故障原因別」に区分し分析した結果を図-4～図-6 に示す。

「故障機器別故障割合」(図-4) では、「減速・動力伝達部」が最も多く、次いで「油圧シリンダ」「油圧配管」「油圧ユニット」及び「制動部」の順となっている。いずれもワイヤーロープウインチ式と油圧シリンダ式の構成機器で、ラック式やスピンドル式に比べて部品点数が多く構造が複雑なため故障が多いと考えられる。

「故障モード別故障割合」(図-5) では、「漏れ」が最も多く、次いで「破損・損傷・破断」となっており、油圧機器の故障が多いことと整合する。

「故障原因別故障割合」(図-6) では、「経年劣化」が最も多く、次いで「使用環境・水質・高温高湿・異物混入」となっている。開閉装置の故障は老朽化がその主たる要因になっていることが分かる。

なお、開閉装置については、図-4 及び図-6 から故障箇所や故障原因が多岐にわたっていることが見て取れるため、状態監視を行う際にも幅広い診断技術が求められると考える。

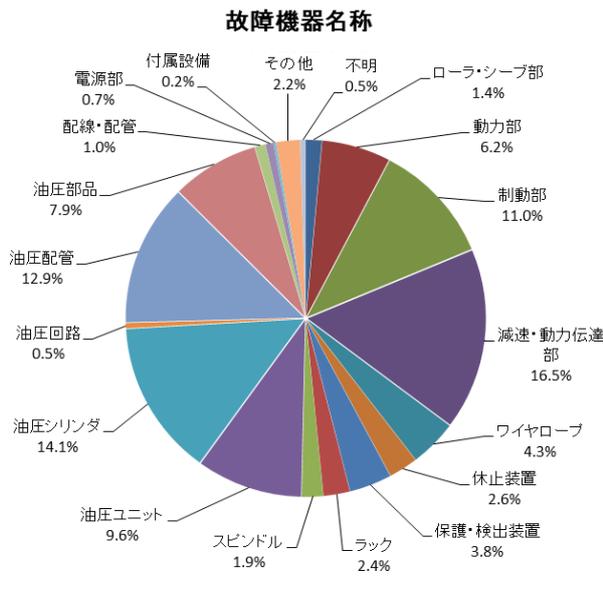


図-4 故障機器別故障割合（開閉装置）

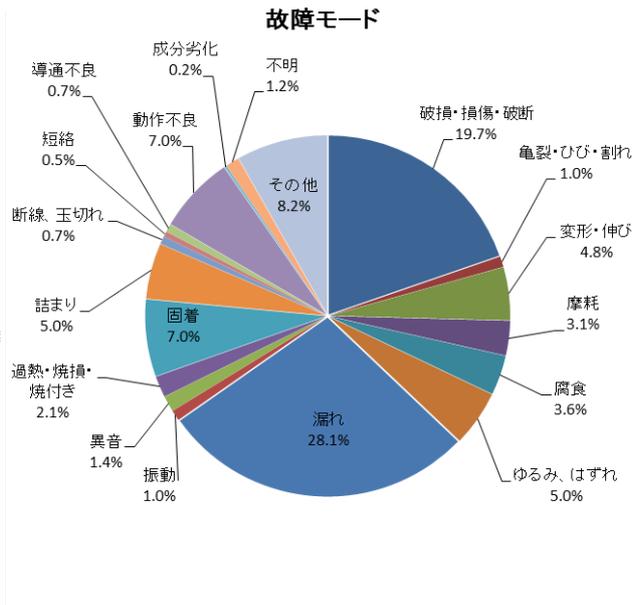


図-5 故障モード別故障割合（開閉装置）

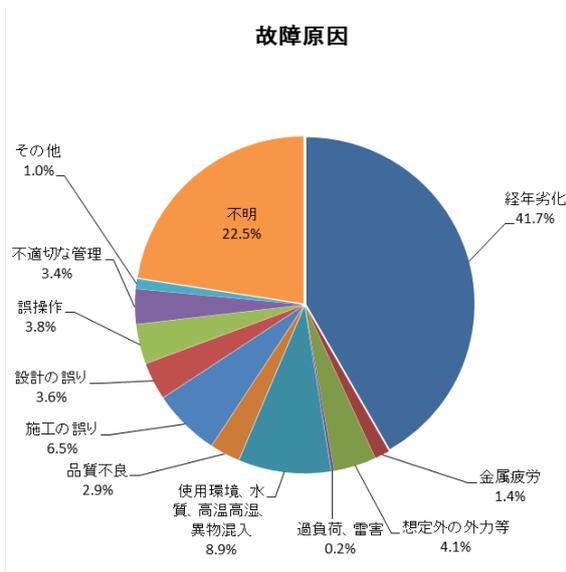


図-6 故障原因別故障割合（開閉装置）

2) 操作制御装置の解析結果

操作制御装置の故障について、「故障機器別」「故障モード別」「故障原因別」に区分し分析した結果を図-7～図-9に示す。

「故障機器別故障割合」(図-7)を示した図であり、「保護・検出装置」が最も多く、次いで「電機部品」となっている。「保護・検出装置」ではリミットスイッチ及び水位計、電気部品ではリレー類及びタイマーで主に故障が発生している。なお、これらの機器については、比較的簡単に現場で交換可能かつ低コストなため、状態監視で不具合を検知するよりも予備品を確保し不具合発生時に迅速に交換できる管理体制とすることが現実的であると考えられる。

「故障モード別故障割合」(図-8)では、「過熱・焼損・焼付き」が最も多く、次いで「導通不良」となっている。

「故障原因別故障割合」(図-9)では、「経年劣化」が最も多く、次いで「過負荷・雷害」となっている。

なお、操作制御装置については、経年劣化に伴う「過熱・焼損・焼付き」「導通不良」が多いため、電動機や配線経路の漏電、機器自体の劣化を把握できる診断技術があれば有用であると考えられる。

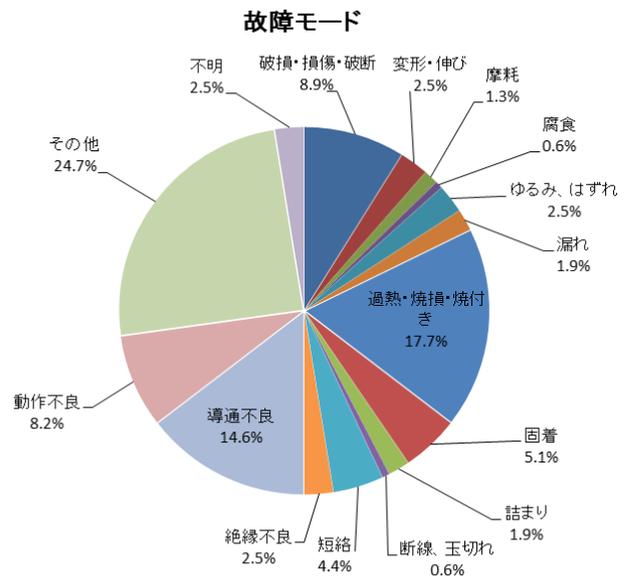
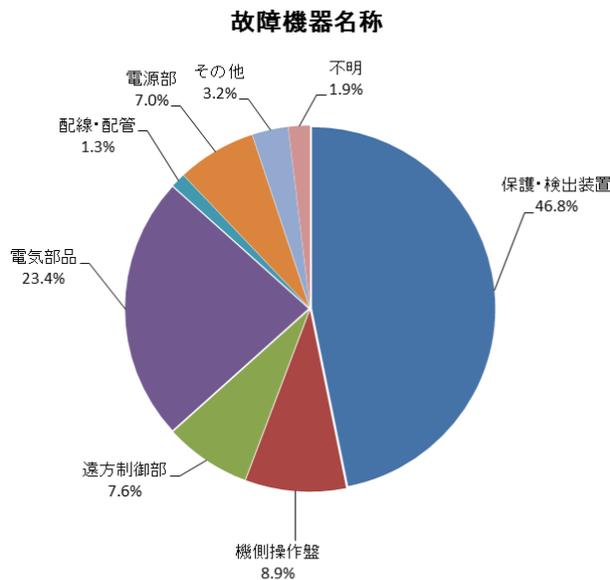


図-7 故障機器別故障割合 (操作制御装置)

図-8 故障モード別故障割合 (操作制御装置)

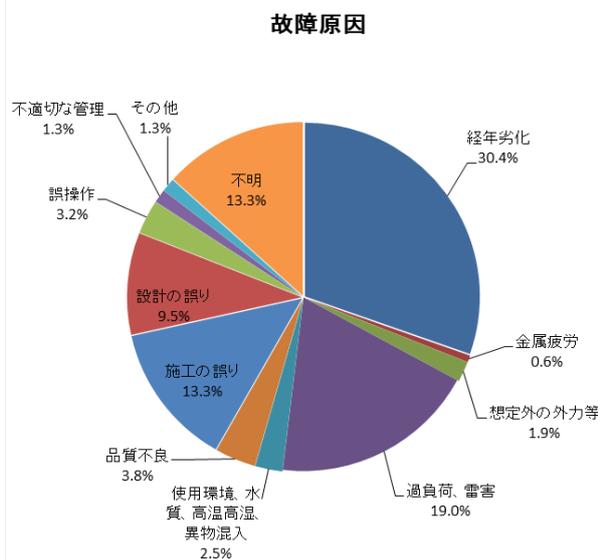


図-9 故障原因別故障割合 (操作制御装置)

3) 扉体の解析結果

扉体の故障について、「故障機器別」「故障モード別」「故障原因別」に区分し分析した結果を図-10～図-12に示す。

「故障機器別故障割合」(図-10)では、「構造部」と「水密部」の占める割合が大きい。

「故障モード別故障割合」(図-11)では、「破損・損傷・破断」が最も多く、次いで「振動」「変

形・伸び」となっており、構造系の故障が多いことが分かる。

「故障原因別故障割合」(図-12)では、「設計の誤り」が最も多く、次いで「経年劣化」「想定外の外力等」及び「使用環境・水質・高温高湿・異物混入」となっている。設計の誤りについては、半数以上が起伏ゲートに付けられるスポイラの設計の誤りによる振動の発生であり、その他には水密ゴムの形状不良及び圧着代が過大であった事例などが挙げられる。

なお、扉体については設計に起因する故障が多かったが、対応策としては設計時に現場条件を十分に勘案した検討を行うことが重要であり、実例を元に改善手法を整理していく必要があると考えられる。

また、故障原因の一つである「経年劣化」に着目し、特に板厚、塗膜厚など目視では困難な劣化を評価できる診断技術に注目するべきと考える。

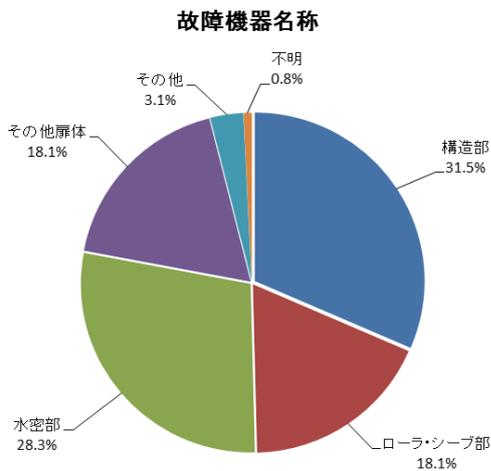


図-10 故障機器別故障割合 (扉体)

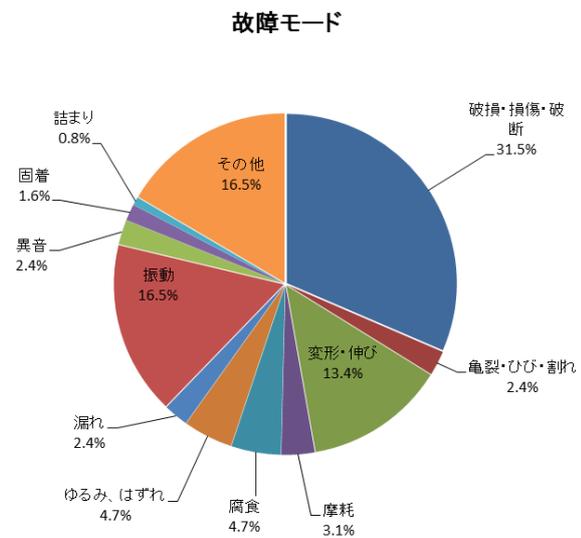


図-11 故障モード別故障割合 (扉体)

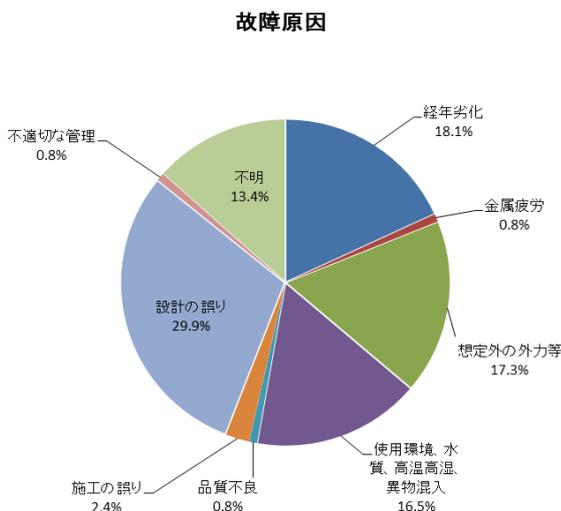


図-12 故障原因別故障割合 (扉体)

4. 1. 3 故障情報分析結果から得られた有効と考える状態監視技術

故障情報分析結果から、経時劣化型故障に適用可能な状態監視技術を機器毎に整理した。特に有効な状態監視技術について、表-2 に示している。状態監視の補足となり得る有効な状態監視技

術については、表-3 に示している。また、整理した状態監視技術が既存の点検項目に存在するか確認を行った。

表-2 特に有効な状態監視技術

故障機器	故障が頻発している機器・部品	適用可能な状態監視技術	既存の点検項目 ^(注)
扉体	水密ゴム	・水密ゴムの硬度の測定	×
	構造部	・構造部にかかる応力の測定	×
		・構造部の板厚の測定	○
		・構造部の変形量・たわみ量の測定	×
		・構造部の腐食電位の測定	△
戸当り・支承部	戸当り	・戸当りの板厚の測定	×
開閉装置	ブレーキ	・ブレーキライニングの厚さ測定	○
	減速機	・歯当りの状態監視（開放歯車の場合）	○
		・バックラッシの状態監視（開放歯車の場合）	○
		・フェログラフィ法による潤滑油の金属粉等混入の分析	×
		・潤滑油の性状分析	△
	油圧シリンダ	・油圧シリンダの作動油の性状分析	○
	ワイヤロープ	・ワイヤロープにかかる応力の測定	×
		・ワイヤロープの変形量の測定	×
		・ワイヤロープの変形状態の監視	○
		・ワイヤロープの素線切れの監視	○
電動機	・運転時に発生する振動の測定	△	
	・運転時に発生する温度の測定	○	
	油圧シリンダ	・作動油の性状分析	△
操作制御装置	開度計	・絶縁状態の監視	○

表-3 有効な状態監視技術（状態監視の補足となり得る技術）

故障機器	故障が頻発している機器・部品	適用可能な状態監視技術	既存の点検項目 ^(注)
扉体	構造部	・構造部の腐食環境の状態測定	×
		・運転時に発生する振動の測定	×
		・運転時に発生する音の測定	×
		・構造部の塗装劣化状態の監視	△
	ローラ	・ローラの回転の確認	○
戸当り・支承部	戸当り	・戸当りの腐食環境の状態測定	×
開閉装置	油圧シリンダ	・油圧シリンダからの漏油の測定	○
		・油圧シリンダの腐食環境の状態測定	×
		・油圧シリンダの内部圧力の測定	×
	油圧配管	・油圧配管からの漏油の測定	×
	油圧ユニット	・油圧ポンプ作動時の油圧配管の内部圧力の測定	×
		・油圧配管の腐食環境の状態測定	×
	チェック弁 (油圧弁類)	・弁の腐食環境の状態測定	×
	自動倒伏装置	・自動倒伏装置の腐食環境の状態測定	×
	ワイヤロープ	・ワイヤロープの腐食環境の状態測定	×
電動機	・運転時に発生する音の測定	×	

注)【凡例】○：ゲート点検・整備要領（案）（一般社団法人ダム・堰施設技術協会 H17年1月）に記載がある
 △：機械設備管理指針（独立行政法人水資源機構 H20年10月）に記載がある
 ×：既存の点検項目に記載がない

なお、「適用可能な状態監視技術」とは固有の技術という意味ではなく、民間で開発された技術のカテゴリとして示しており複数の固有技術を含む。また、既存の点検項目であるか否かは、各技

術を点検内容として取り扱うことの指標として検討するためである。

4. 2 ゲート設備の新たな状態監視技術の調査

4. 2. 1 新たな診断技術の調査

現状のゲート設備点検診断技術の枠を超えて、診断の精度及びコストの優れる技術を見いだすことを目的に、下記の4つの方法で調査を行い、135件の技術を収集した。

- ・ゲートメーカー・検査会社等へのヒアリング調査 : 6件
- ・プラントメンテナンスショー（国内最大の関連展示会）における調査 : 80件
- ・インターネットによる調査 : 49件
- ・公益社団法人日本プラントメンテナンス協会へのヒアリング調査 : 1件（※）

※「プラントメンテナンス協会へのヒアリング調査」の1件の技術は、プラントメンテナンスショーにおける調査技術80件のうちの1件と同じ技術である。

4. 2. 2 新たな診断技術の調査

135件の診断技術について、対象機器毎に何に着目した技術かを整理したものを、以下の表-4に示す。

表-4 対象機器毎の着目技術

対象機器	何に着目した技術か	件数	対象機器	何に着目した技術か	件数
扉体・戸当り	鋼構造物の硬さ	8	開閉装置	AE(弾性波)	3
	鋼構造物のサンプル調査	1		ショックパルス	5
	鋼構造物の損傷・割れ	8		対象機器の温度分布	2
	鋼構造物のひずみ	1		軸受の損傷・割れ	1
	鋼構造物の腐食電位	1		電流の高調波	3
	鋼構造物の変位	5		稼働音	6
	鋼構造物の応力	4		運転データ(振動その他)	4
	鋭敏化	1		油圧シリンダ内部圧力	3
	板厚・減肉	15		漏油	8
	腐食状態	4		ワイヤーロープの劣化	5
	塗装劣化	5		歯車のバックラッシュ	3
	ゴム硬度	3		状態監視技術以外	3
	水中部の状況	1		絶縁劣化	3
	ローラの回転具合	1		漏洩電流	4
開閉装置	振動	11	制御操作装置	高圧ケーブルの部分放電	1
	潤滑油劣化	11		電線ケーブルの損傷・割れ	1

4. 3 適用性の評価

4. 3. 1 適用性の高い状態監視技術

前項でまとめた状態監視技術について、2段階で選定を行い適用性が高いと考えられる技術を絞り込んだ。

一次選定では、監視対象、監視方法、測定性能、機器仕様の観点で有効性を評価し診断技術を絞り込み、二次選定では各技術を保有する関連メーカー及び検査会社等にヒアリングを実施し、その結果を基に更なる技術の絞り込みを行った。

二次選定での評価項目は以下の通りである。

- ・経済性（コスト）
- ・信頼性
- ・操作性
- ・効果の度合い
- ・ヒアリングで得た課題

評価の結果、特に適用性が高いと考えられる状態監視技術を表－5に示す。

表－5 適用性の高い状態監視技術

No	診断技術名	想定診断対象機器	技術概要		
			何を測定するか	何が分かるのか	その他特徴
1	軸受診断技術	開閉装置 【軸受部(転がり軸受)】	物体の亀裂・破壊・摩耗・摺動等に 伴って放出される弾性波(AE: アコースティックエミッション)	低速～高速回転の転がり軸受につ いて、摩耗及び亀裂等の診断が可 能	・AEセンサを用いてAEを捕捉 ・低速回転軸を含む広範な軸受け診断が可能
2	赤外線サーモグラフィ 計測技術	開閉装置 【電動機・減速機等】	測定対象物から放出される赤外線	対象機器の温度分布を面的に視覚 化できる。解析ソフトと併用するこ とで、定量的な温度分析が可能	・解析ソフトと併用することで、計測時の設定パラメータの確認・修 正や温度ヒストグラムの作成等が可能
3	超音波厚さ計測技術	扉体・戸当り 【鋼板及び塗膜】	鋼板の板厚及び塗膜の厚さ	鋼板の板厚及び塗膜の厚さを同時 に3層まで測定可能	・塗膜を剥がさずに母材の厚みの測定が可能
4	潤滑油・グリス診断技 術	開閉装置 【開閉装置・ローラ等の 軸受に使用されるグリス/ 潤滑油】	潤滑油・グリスの鉄粉濃度	鉄粉濃度により、回転機械の軸受や 歯車等の摩耗状態を簡易診断する ことが可能	・磁気バランス式電磁誘導法を採用し高感度であるため、初期摩 耗状態の把握が可能 ・グリス/潤滑油それぞれの専用機器を用いて、少量のサンプル により鉄粉濃度を検知し、鉄粉濃度基準値より診断実施
5		開閉装置 【開閉装置の潤滑油/ 油圧作動油等】	オイルに含まれる不純物による光 の減衰率	オイル汚濁(ゴミ・水分)を瞬時に測 定することが可能	・サンプリングは必要なく、プローブをオイルに浸すだけで測定可 能
6		開閉装置 【開閉装置・ローラ等の 軸受に使用されるグリス】	グリスの鉄粉濃度	鉄粉濃度を測定することで、超低速 (10rpm以下)～低速域(100rpm)の 転がり軸受の劣化状態を診断するこ とが可能	・測定対象機器のグリスを本体に挿入し、初期のグリス中の鉄粉 濃度と比較することにより異常を診断 ・鉄粉によるリアクタンス(誘導抵抗:交流回路における電圧と電 流の比)の変化を周波数とみなし、その周波数の変化から鉄粉濃 度を算出
7	開閉装置 【開閉装置の潤滑油/ 油圧作動油等】	オイルの静電容量及び通電能力	実績データベースよりオイルの劣化 状態を診断可能	・高周波電流(AC)を印加し、オイルの電気を溜めることができる 能力(静電容量)と通電できる能力(導電率)を測定・分析 ・センサ部を油面等に直接当てて測定し、測定結果をセンサに接 続した診断器により、簡易的に劣化状態を評価	
8	高調波診断技術	開閉装置 【電動機とその負荷側 機器】	電流の高調波	対象設備機器の絶縁劣化や異常振 動、軸受損傷等の不具合を、非接触 かつ活線状態で検知・診断するこ とが可能	・高調波を、非接触かつ活線状態で測定可能 ・対象物から離れた場所での測定が可能
9	漏電測定技術	制御操作機器・開閉装 置 【機側操作盤二次側の 機器】	漏洩電流のうち機器に悪影響を及 ぼすI _{gr} 電流	漏洩電流の有無及び漏洩箇所の特 定が可能	・測定に際しては、特別な準備が不要かつ活線状態で測定するこ とが可能 ・基準電圧を非接地でとれるため、雨天等の影響を受けず、測定 値が安定

4. 3. 2 適用性の高い状態監視技術に対しての点検業者等へのヒアリング結果

表－5に示した適用性の高いと考えた状態監視技術について、ゲートメーカー及びゲート点検業者へのヒアリング（アンケート調査）を実施した。

適用性に対する評価を順位付けした結果、上位3件は次の技術であった。

- ・超音波厚さ計測技術（表－5のNo.3）
- ・漏電測定技術（表－5のNo.9）
- ・潤滑油診断技術（表－5のNo.5）

これらの技術は、現状の点検項目に採用できる技術であることから有効性及び実作業をイメージしやすいため、適用性が高くなったものと推察される。

ただし、ゲート設備に適用した場合のコスト負担と有用性がさらに具体化しないと十分な評価はできないと考えている点検業者が多いことから、今後これらの適用性を示していく必要がある。

4. 3. 3 適用性を検討するためのゲート設備を用いたトライアル試験

表－5に示した適用性の高いと考えた状態監視技術のうち、「簡易」かつ「低コスト」で実施可能な技術を選定し関東整備局管内の河川用ゲート設備（E39 水門）においてトライアル試験を実施した。

1) 選定技術

- ①軸受診断技術（表－5のNo.1）固有1技術を抽出
- ②赤外線サーモグラフィ計測技術（表－5のNo.2）固有1技術を抽出
- ③漏電測定技術（表－5のNo.9）固有1技術を抽出
- ④高調波診断技術（表－5のNo.8）固有1技術を抽出

2) トライアル試験対象ゲート設備概要

施設概要：支川の合流部に設置されている比較的稼働頻度が高い逆流防止の水門

設備形式：鋼製ローラゲート

寸法：径間 20.0m×全扉高 8.9m

門数：2

扉体構造：プレートガータ構造

開閉装置：電動ワイヤーロープウインチ式（1M1D）

主・予備電動機

サイクロ減速機

建設年度：1979年

3) 診断結果

①軸受診断

計測機器については、簡単なボタン設定のみで機器を取り扱え、またAEセンサ部がマグネットであることから、磁性体の機器においては測定位置の固定も容易であり、非常に簡単に診断が可能である。

ただし、本機器は転がり軸受には非常に有効な手段だと考えられるが、ドラム部分に採用されているすべり軸受に適用したところ、弾性波が減衰してしまい測定が困難であることが分かった。

河川用ゲート設備では、ドラムギアや中間ギア等のように軸受部にかかる荷重が大きいため、すべり軸受が広く使用されている。したがって、本機器は、河川用ゲート設備においては適用可能範囲が狭いことから、現時点では有効な技術ではないと判断した。

②赤外線サーモグラフィ計測技術

ゲート設備の点検においても赤外線サーモグラフィは導入されているが、一般的にはレーザーポインタで位置決めした1点の温度を計測する手法が殆どである。本技術は、非常に簡単な操作で温度変化を確実に捉え、また機器に発生している温度を視覚化できる技術である。画像で捉えた範囲の温度全般をデータとして同時に保存でき、後にパソコン画面で管理できる点がレーザーポインタ式のサーモグラフィとは異なる。

開閉装置の電動機・減速機に適用したところ、ゲートの開閉に伴う温度変化を構成部品毎に

把握することができ、詳細な分析が可能であったことから、有効な技術であると考えられる。

一方、計測結果（温度）については、事前に設定するパラメータ（放射率、反射温度、対象物までの距離、湿度等）に大きく影響されることが分かった。製作メーカーへ確認したところ、特に被計測物の「放射率」の設定が測定精度に大きく影響することがわかった。また赤外線サーモグラフィの温度計測自体にも計測誤差（対象物からの距離に応じて $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 又は $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ）がある。

したがって、実際の現場での測定においては、アルコールや水銀等の接触式温度計の測定も併用し赤外線サーモグラフィの計測結果と確認し、場合によっては調整が必要であるとする。

③漏電測定技術

河川用ゲート設備の点検においては、一般的に電源を遮断（停電）し電路と大地間の絶縁抵抗値を測定しているが、湿度・温度、電路の静電容量、計測器の印加電圧などが影響因子として結果に現れることが知られている。ゲート設備の絶縁抵抗値では季節的な周期で変動するデータも多い。漏電遮断器は、電路と大地間の零相電流を検知して動作するが、零相電流は対地の静電容量によって決まる I_{gc} と対地間の抵抗成分に対する I_{gr} のベクトル合成値である。

本技術は、活線状態において I_{gr} を直接計測できる技術である。

トライアル試験の結果、計測設備の I_{gr} はいずれの電動機主回路において 3mA 程度であった。計測器製作メーカーの見解では、現状では漏洩電流は充分小さいと判定された。

平成 25 年 7 月 20 日改訂の「自家用電気工作物保安管理規定」に「絶縁抵抗測定が困難な場合には、電路の使用電圧の区分に応じ、それぞれ漏洩電流を測定し、漏れ電流が 1mA 以下であることを確認する」とされているため、しきい値については充分検討していく必要がある。

計測機器の操作は非常に簡単であり、また活線状態で漏洩電流を測定できるため測定対象となる設備に特別な準備が不要であることから、有効な技術であると考えられる。

ただし、付属の電圧入力ケーブルのクリップでの接続が対象箇所によっては難しく、なおかつ接続しても保持力が弱いため、簡単にクリップが外れてしまうことがあった。また、付属のクランプでは既設ケーブルをはさむことが困難な箇所もあった。

したがって、より使いやすくするための測定機器そのものの改良も必要だと考える。

④高調波診断技術

計測そのものは比較的簡単であるが、解析に要する理論は計測機器メーカーの実績と経験に基づくものであり、主成分となる高調波の次数・位相・寄与率などを総合的に判断するため専門の検査機関に依頼する必要がある。

トライアルの結果、開閉装置の電動機についてエアギャップ不均一が発生しているとの診断を得た。供用 37 年を経過しており、充分可能性として高いため今後の管理に置いて注意を要するべきであると判断した。電動機周辺の振動解析等を併用して今後の検証を実施する。

本技術は、専門技術者の派遣期間で費用が決定するため、計測箇所がまとまっていれば 1 箇所当たりにコストが低下する。短期間で様々な箇所の不具合検知が可能であるため、河川用ゲート設備への適用は可能であり、有効な技術であると考えられる。

5. 考察

5. 1 今後の課題

今年度実施した適用性評価の結果を受け、今後の対応として技術の詳細な評価・分析が必要と考える。このため、今後の課題を以下に示す。

1) 適用性評価の継続

今年度は、7. 4. 3. 3に示したとおり実際のゲート設備を用いてトライアル試験を行い、3 技術は有効な技術として判断したが、今回の評価のみで有効だと言い切ることは難しい。特に劣化状態の検知精度についての評価が不十分であると考えている。

したがって、今後は劣化が事前に分かっている設備もしくは模擬的に劣化設備を用意して試験を行い、実際の劣化状態と計測結果を比較し検証することも必要であると考えている。

2) ゲートメーカ等との連携

新たな診断技術を実際の点検・診断に取り入れるには、点検を実施しているゲートメーカ等との連携がさらに重要になると考えられる。実際には次のようなプロセスを経ることが理想的である。

- ①適用性が高いと考えられる技術について、その測定対象及び適用についての協議
- ②詳細な評価を実施する状態監視技術の選定（再評価）
- ③詳細な評価にあたっての評価基準・評価内容の設定
- ④評価内容に沿い、各ゲートメーカ及び検査会社に診断を依頼
- ⑤診断・評価の妥当性検討

3) 新たな診断技術の継続調査

新たな状態監視技術は、民需部門において日々研究開発されていると考えられる。そのため、今年度調査した技術のみで診断技術の調査を終了とせず、継続調査の中で適用性の高い技術が見出された場合は、改めて適用性評価を実施し、より適用性の高い診断技術を提案していく必要があると考える。

4) マニュアル等の作成

新たな診断技術を河川用ゲート設備の維持管理の現場に適用していくにあたっては、その運用や使用方法、判断基準等の整備が必要である。そのため、最終的には適用性評価の結果を根拠として、診断に有用な技術の性能要件を明確にし、マニュアル等として策定することが今後必要になると考えている。

担当課 施設技術課