

積雪寒冷地における河川用機械設備の維持管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：寒地機械技術チーム

研究担当者：片野浩司、山口和哉、田中隆夫
永長哲也、岸寛人

【要旨】

河川用機械設備は、その多くが建設後 30 年から 40 年を迎え、老朽化の進行に伴う信頼性の低下、それを回復するための維持管理費用の増加が問題となっており、設備の延命化や信頼性を確保しつつ効率的で効果的な維持管理が求められている。

本研究は、積雪寒冷地の河川用機械設備の劣化状況や環境条件、運用実態等の現地調査を行い、簡易で的確な劣化判断手法と維持管理手法、及び冬期稼働に適した構造や運用・維持管理技術について分析・検討を行うものである。

平成 24 年度は、平成 23 年度に実施した現地調査結果において、潤滑状態が厳しいと評価された樋門開閉装置を中心に潤滑油の追跡調査を実施した。その結果、計数汚染度及び金属成分が劣化傾向の把握（傾向管理）の要素となり得ることがわかった。

キーワード：河川用機械設備、維持管理、樋門開閉装置、潤滑油

1. はじめに

河川に設置されている樋門は、治水設備であり、設備が故障しその機能を失った場合、浸水被害により国民の生命、財産に影響を及ぼす恐れがあり、社会経済的影響が大きい設備である。また、通常時は待機状態で運転されていない設備（待機系設備）であるが、出水時には確実に機能しなければならない。したがって、日頃の維持管理が重要となる。特に積雪寒冷地においては設置環境も厳しく通常の機械設備とは異なった特性を有している。

これまで建設されてきた樋門設備の多くが、建設後 30 年から 40 年を迎え、老朽化への対応が課題となる設備も年々増加し、維持管理費用も増加すると考えられる。

しかし、公共事業費は年々削減されている現状であり、設備の信頼性を確保しつつ効率的、効果的な維持管理が必要となる。

本研究は、積雪寒冷地の河川用機械設備の劣化状況や環境条件、運用実態等の現地調査等を行い、簡易で的確な劣化判断手法と維持管理手法及び冬期稼働に適した構造や運用・維持管理技術について分析、検討を行うものである。

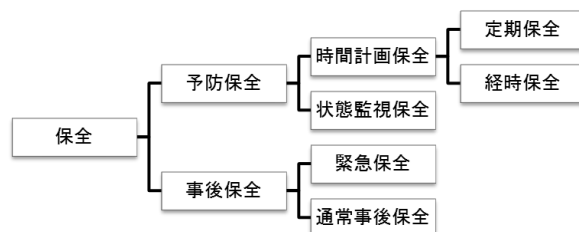
これにより、積雪寒冷地における河川用機械設備の

延命化ならびに稼働の信頼性向上を図り、維持管理コストの縮減に寄与するものである。

2. 機械設備の維持管理について

2.1 予防保全と事後保全（保全の分類）

J I S では信頼性用語のなかで保全とは「アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠陥などを回復するための全ての処置及び活動」と規定されている。また保全は、予防保全と事後保全に大別される（図－1）。



図－1 保全の分類

予防保全とは、設備の使用中的故障を未然に防止し、設備を使用可能状態に維持するために計画的に行う保全をいう。予防保全には時間計画保全と状態監視保全があり、時間計画保全は、保全スケジュールに基づく予防保全の総称で、時間基準保全（TBM）とも言われる。計画的に実施する定期点検や定期整備は、

時間計画保全となる。

一方、状態監視保全（以後、「CBM」という。）は、設備使用中の動作確認、劣化傾向の検出等により動作値及び傾向を監視して予防保全を実施することをいう。CBMは、劣化状態を定量的に傾向把握し、劣化の進行を予測し機械設備が故障する前にメンテナンスを行うものである。データの精度の問題もあるが、メンテナンスコストや故障損失を最小に抑えることが期待できる。

事後保全とは、設備が故障した後に使用可能状態に回復する保全であり、通常事後保全と緊急保全に分類される。通常事後保全とは、管理上、予防保全を行わないと決めた機器の故障に対する処置をいい、緊急保全とは、予防保全を行っている機器等が故障を起こした場合に対する措置をいう。

河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル（案）（平成 20 年 3 月 国土交通省 総合政策局 建設施工企画課、河川局治水課）によれば、樋門は設備区分 I（高）予防保全対応の設備となり、重要度が最も高い分類となる。また、樋門の開閉装置は設備機能に致命的な影響を与える機器に位置づけられており、故障が発生した場合、樋門の基本機能を確保できなくなる。

開閉装置のほとんどは潤滑油を使用しているが、定期点検時の管理基準がなく、目視による量と水の混入の有無の判断のみといった状況である。

2. 2 トライボロジーを活用した設備診断

トライボロジーとは、「**相対運動しながら互いに干渉しあう二面、ならびに関連した諸問題と実地応用に関する科学と技術**」と 1969 年 OECD（ヨーロッパ経済協力機構）の研究会にて定義され、機械の信頼性、耐久性、経済性に大きく影響する潤滑、摩耗、摩擦の問題を機械工学、化学、材料学等の関連分野を通じて扱う技術分野である。保全の分野においても、潤滑油の量や温度を測定するといった「メンテナンストライボロジー」が多くの保全現場で実施されている。

トライボロジーを活用した設備診断技法である潤滑診断は、回転機器等の潤滑油中の摩耗粒子等が軸受け等の表面損傷と表裏の関係にあることに着目して、潤滑油を詳細に分析することにより機械設備の健全性を評価する技術である。潤滑診断の分析要素は潤滑油の劣化、潤滑油の汚染、軸受等の摩耗の三点である。

そこで、樋門の開閉装置の維持管理において、潤滑診断の適用性について検証した。

なお、最近では機械設備を安全に運転し続けるため

に、設備そのものを劣化させないことが重要であるとの考え方からプロアクティブ保全も提唱されている。

プロアクティブ保全とは、前述の予防保全のように設備の劣化を検知し、それに対応して機能を維持回復させるのではなく、劣化の根本要因の排除により設備の劣化遅延、長寿命化を目指す保全方式である。この保全方式には、**図-2**に示すとおり、油分析法つまり潤滑油の管理が有効である。

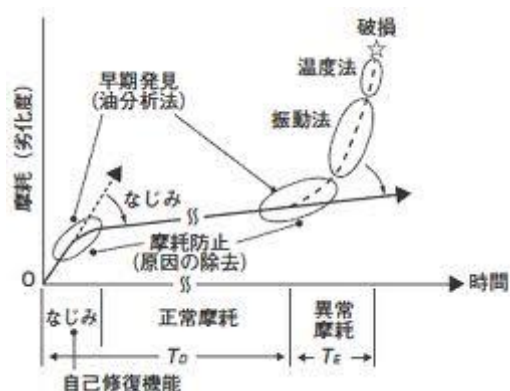


図-2 摩耗劣化カーブと診断法

3. 河川用機械設備の劣化に関する追跡調査

平成 24 年度は、潤滑油中の劣化要因要素を簡易に見いだす手法について検討を実施した。

3. 1 追跡調査箇所の選定（樋門開閉装置の潤滑油）

平成 23 年度に現地調査を実施した、全道 70 樋門（北海道開発局が管理する河川用樋門設備）のうち 22 樋門を選定し、追跡調査を実施した。対象樋門は、潤滑状態が厳しいと評価された樋門開閉装置を中心に選定した。**図-3**に追跡調査対象樋門箇所図を示す。

3. 2 追跡調査対象樋門の供用年数による整理

上記で選定した調査対象樋門の開閉装置について、設置年数を 5 年ごとに区切り供用年数を整理した。今回追跡調査を実施した開閉装置は、設置後 10~20 年経過したものが 73%を占めている（**図-4**）。

3. 3 樋門開閉装置の潤滑油状態追跡調査

選定した調査対象樋門の開閉装置の潤滑油を採取し潤滑油の劣化、汚染、潤滑状態（摩耗）について分析を行った。

3. 3. 1 潤滑油の採油箇所及び採油方法

樋門開閉装置は、設置箇所において種々の型式がある。代表的な開閉装置を**写真-1**に示す。採油箇所、採油方法、採油量は平成 23 年度と同様とした。

採油箇所は、メインギヤボックス、可逆装置、スタンドボックスの 3 箇所を標準とした。採油方法は給油

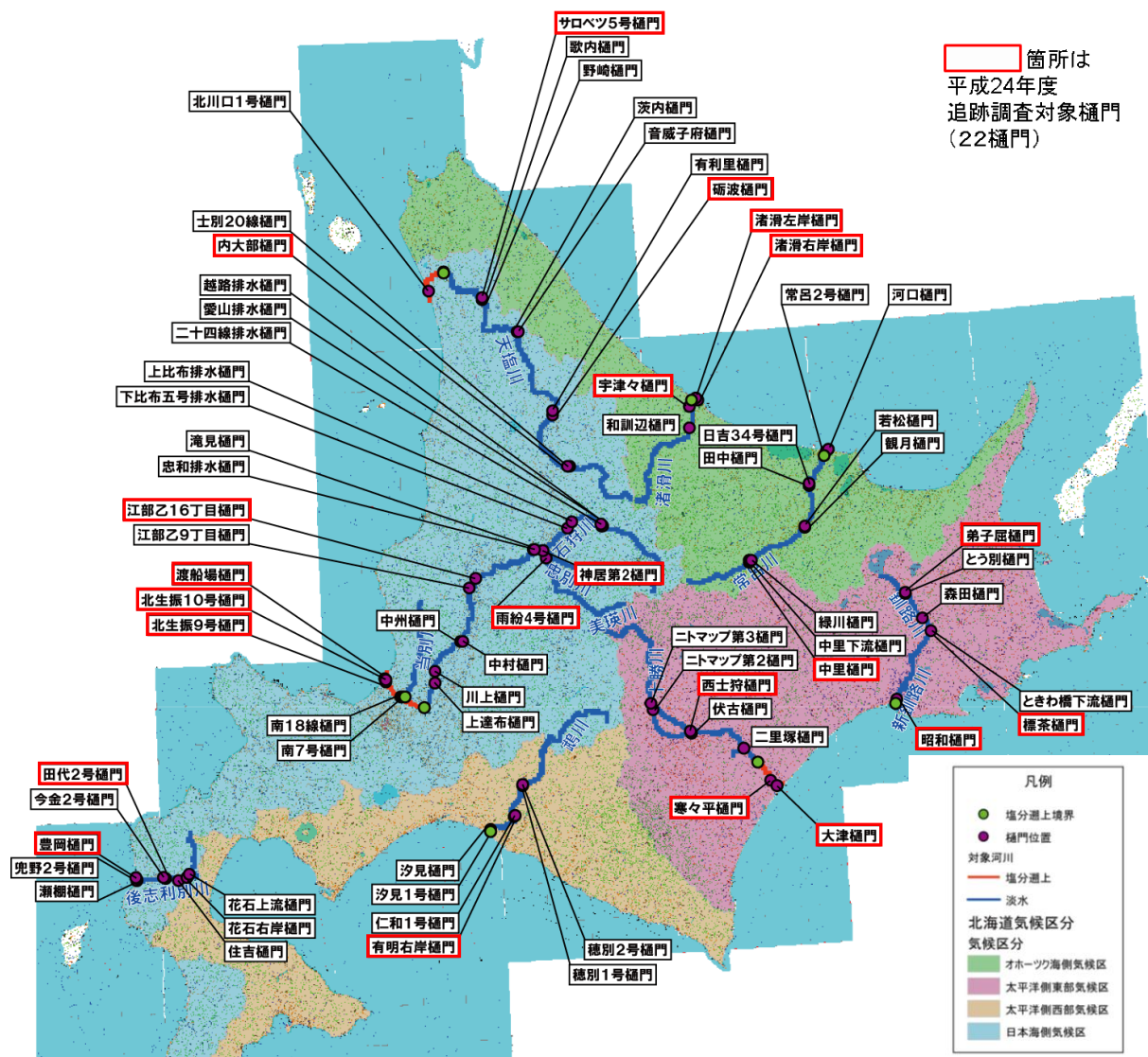


図-3 追跡調査対象樋門箇所図

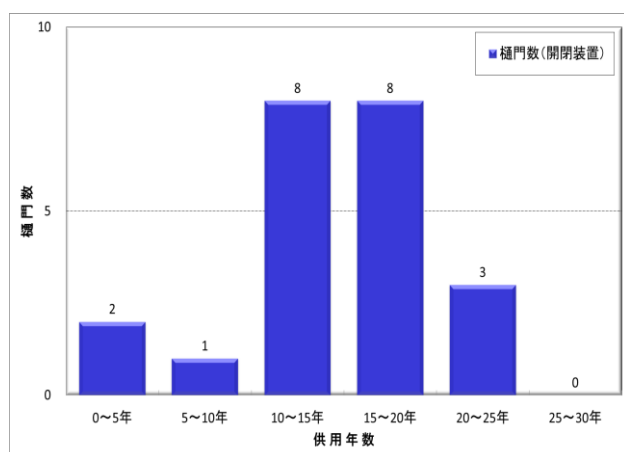


図-4 樋門開閉装置の供用年数

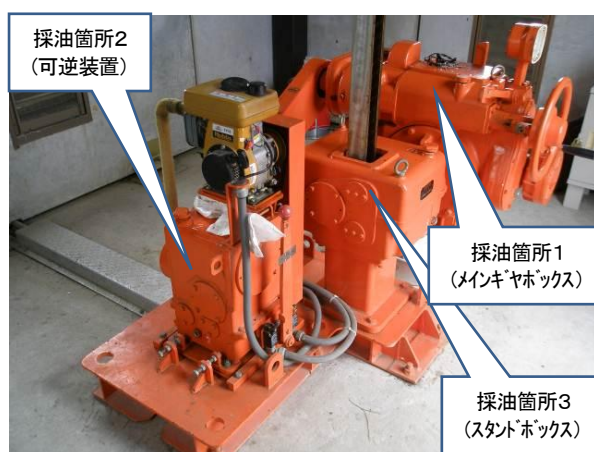


写真-1 開閉装置全景及び採油箇所

口より真空引き吸引ポンプによる採油とし、サンプリングチューブが採油箇所の底部に接触しないように概ね油槽の中層部から採油した。採油箇所毎にサンプリ

ングチューブを新しいものに交換し、クロスコンタミネーション（サンプル間での混入）の防止に努めた。採油量は、各箇所 500ml 程度とし、潤滑油が機械内

部で均一な状態になるように樋門の開閉操作を十分に行ってから採油した。採油検体例を写真－2に示す。



写真－2 潤滑油採油検体例

3. 3. 2 潤滑油の分析項目

採油した潤滑油について、劣化傾向の把握を行うため、性状、汚染、潤滑状態（摩耗）について表－1の各項目の分析を行った。性状分析は潤滑油の劣化を判定するものであり、粘度、水分、酸価について分析した。潤滑油の汚染は、摩耗粒子等によって生じる内部からの汚染と砂等の混入による外部からの汚染があり、汚染の測定として計数汚染度を実施した。また、潤滑状態（摩耗）としてフェログラフィー及び金属成分（SOAP法）分析を実施した。

3. 3. 3 潤滑油性状及び汚染度の分析結果

性状分析、汚染度分析の分析結果を下記に示す。なお、検体数は、52 検体である。検体の採油箇所別検体数を図－5に示す。

(1) 粘度

粘度について、平成 23 年度分析値に対して数値が低下した検体が 67%、上昇した検体が 29%となり低下傾向となった。

(2) 水分

水分について、平成 23 年度分析値に対して数値が減少した検体が 61%、上昇した検体が 37%となった。平成 24 年度の分析結果において基準値（500ppm）を超過した検体は 3 検体であった。これらの 3 検体は平成 23 年度分析時においても、管理基準値を超えていた検体であり、継続的な水分の混入が考えられる。

(3) 酸価

酸価について、平成 23 年度分析値に対して数値が減少した検体が 96%、上昇した検体が 1 検体のみとなった。平成 24 年度の分析結果において基準値（0.3mgKOH/g 以上）を超過した検体は 3 検体であった。

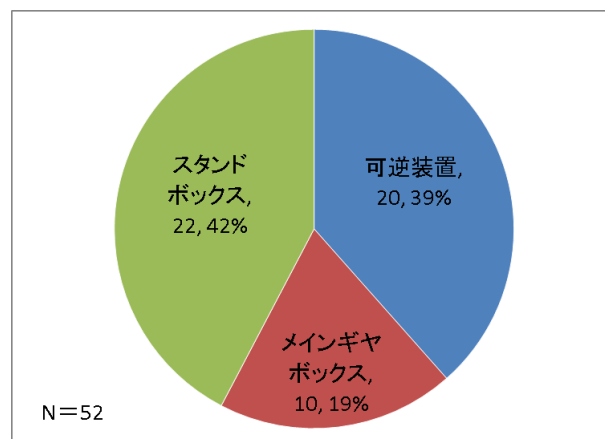
(4) 計数汚染度（NAS 等級）

① 仮等級の設定

計数汚染度について、平成 23 年度の分析結果において 76 検体（約 49%）で管理限界値（NAS12 等級）を超過する結果となった（表－2）。NAS12 等級を超える

表－1 潤滑油の分析項目

調査項目	分析項目	試験規格等
油性状	動粘度(40℃)	JIS K 2283
	水分(カルフィッシャー法)	JIS K 2275
	全酸価	JIS K 2501
油汚染	計数汚染度	JIS B 9930
潤滑状態(摩耗)	摩耗粒子分析(フェログラフィー)	大摩耗粒子を15μm以上、小摩耗粒子を5μm以下とする。
	金属分析(SOAP法)	JIS K 0116



図－5 採油箇所別検体数

表－2 計数汚染度(NAS等級)分析結果(平成23年度)

計数汚染度(NAS等級)	検体数
12等級以下	78
12等級を超える	76

検体について汚染度の違いを明確に評価することが困難であった。そこで、平成 24 年度データとの比較を行うにあたり汚染度を詳細な等級で評価できるように仮等級「以下 CCL (Contamination Control Limit) という。」を定義した。仮等級 CCL の策定方法として、NAS 規格では 1 等級上がるごとに、各サイズレンジの粒子数が 2 倍となるため、同じ法則に則り CCL21 等級までの等級を策定した。NAS コード表を表－3、CCL 等級表を表－4に示す。

② 計数汚染度の比較

比較検証にあたっては、平成 23 年度の採油後に採油分を新油に更油（500ml の補給）しており、摩耗粉の濃度が希釈されたため、平成 24 年度のデータを次の更油率係数により補正した。

更油率係数 =

$$1 - (\text{補給量}) / (\text{開閉装置の標準油量})$$

分析の結果、平成 23 年度分析値に対して等級が低

下した検体が 15%、上昇した検体が 60%、変わらなかった検体が 25%となった。また、等級が変わらなかった検体について、計測粒子の増減にて振り分け検証すると、69%が上昇、31%が低下という結果となった。検体別計数汚染度 (NAS・CCL) 比較図を図-6 に示す。本図から概ね各等級が上昇する傾向が確認できる。

なお、等級が 6 等級増加している検体が 3 検体確認されたが、本検体は全て前述の水分の管理基準値を超えている検体である。水分混入による錆の発生等により計数汚染度を上昇させていると推察される。

(5) 分析結果の考察

潤滑油の性状分析の結果、潤滑油の粘度、酸価値は、減少傾向となった。主な理由として、平成 23 年度の採油後に更油した影響によるものと推察される。

水分に関しては、基準値 (500ppm) を超過した検体が 3 検体あった。これらの検体は水分が増加しており継続的な水分の混入が考えられる。水分混入要因の調査が必要である。

計数汚染度については、60%で等級が上昇する結果となり、悪化の割合が高い結果となった。また、比較対象検体からは除外しているが、粘度、水分、計数汚染度値が測定不能だった検体が 1 検体あり、油槽内に大量の水分混入が考えられる。水分の混入経路を調査する必要がある。

以上のことから粘度、酸化、水分について平成 23 年度の分析データと比較しても、変化がなく概ね良好な結果となり劣化傾向の判断要素とはならないと考える。一方、計数汚染度については、60%で等級が上昇していることが確認され、劣化傾向の判断要素となり得るものとする。

3. 3. 4 設備の潤滑状態 (摩耗分析) の分析

設備の潤滑状態の分析として、摩耗分析を行った。比較対象検体は、前年度に摩耗分析データがある 30 検体とし、フェログラフィー及び金属成分 (SOAP 法) 分析を実施した。なお、比較検証にあたっては、前述した更油率係数による補正を同様にを行った。

(1) フェログラフィー

フェログラフィーは、希釈剤で混合された潤滑油中の摩耗粒子を、勾配をもった強力な磁場で分離し、摩耗量の測定や粒子観察が容易にできるように大ききの順に配列する方法であり、分析フェログラフィーと定量フェログラフィーに分けられる。分析フェログラフィーは摩耗粒子を直接顕微鏡によって観察し、その形状等から潤滑状態を推定するものである。また、定量フェログラフィーは、潤滑油中の摩耗粒子の量を定

表-3 NASコード表

	NAS等級						
	00	0	1	2	3	4	5
5-15µm	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
15-25µm	22	44	89	178	356	712	1,425
25-50µm	4	8	16	32	63	126	253
50-100µm	1	2	3	6	11	22	45
over 100µm	0	0	1	1	2	4	8

	NAS等級						
	6	7	8	9	10	11	12
5-15µm	16,000	32,000	64,000	128,000	256,000	512,000	1,024,000
15-25µm	2,850	5,700	11,400	22,800	45,600	91,200	182,400
25-50µm	506	1,012	2,025	4,050	8,100	16,200	32,400
50-100µm	90	180	360	720	1,410	2,880	5,760
over 100µm	16	32	64	128	256	512	1,024

表-4 CCL 等級表

	CCL等級						
	13	14	15	16	17	18	19
5-15µm	2,048,000	4,096,000	8,192,000	16,384,000	32,768,000	65,536,000	131,072,000
15-25µm	364,800	729,600	1,459,200	2,918,400	5,836,800	11,673,600	23,347,200
25-50µm	64,800	129,600	259,200	518,400	1,036,800	2,073,600	4,147,200
50-100µm	11,520	23,040	46,080	92,160	184,320	368,640	737,280
over 100µm	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072

	CCL等級	
	20	21
5-15µm	262,144,000	524,288,000
15-25µm	46,694,400	93,388,800
25-50µm	8,294,400	16,588,800
50-100µm	1,474,560	2,949,120
over 100µm	262,144	524,288

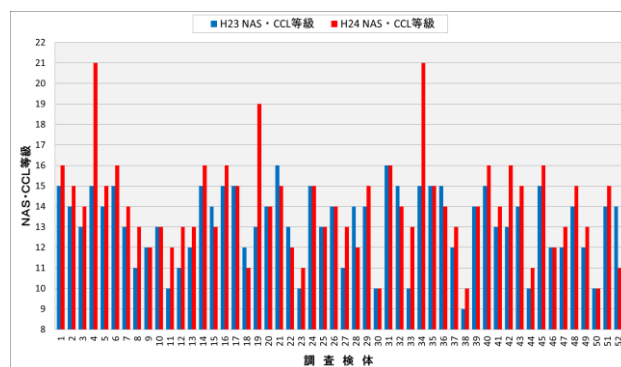


図-6 検体別計数汚染度 (NAS・CCL) 比較図

量的に測定するものであり、光学的に測定した粒子を大摩耗粒子と小摩耗粒子に分け、それぞれの密度から全摩耗量と摩耗過酷度指数を求め、定量的に摩耗の進行度合いを管理するものである。ここで全摩耗量と摩耗過酷度指数は、次の式で表すことができる。

$$WPC = P_L + P_S$$

$$I_S = (P_L + P_S) \times (P_L - P_S) = P_L^2 - P_S^2$$

ここで、WPC : 全摩耗量 (%/ml)

I_S : 摩耗過酷度指数

P_L : 大摩耗粒子 (%/ml)

P_S : 小摩耗粒子 (%/ml)

※%/ml=試料 1ml のデータプレート上に捕集された摩耗粒子の影の被覆率 (%)

(2) フェログラフィーの分析結果

フェログラフィーについては、分析と定量の両方を実施した。平成 24 年度の分析結果、摩耗状態が良好と

判断された検体は 30 検体中 8 検体、摩耗状態がやや
 厳しいと評価された検体は 19 検体、厳しいと評価され
 た検体は 3 検体となった。また、平成 23 年度分析値に
 対して数値が低下した検体が 30%、上昇した検体が
 40%、変わらなかった検体が 30%となり、特段の傾向
 は確認できなかった。これは、平成 23 年度の採油時に
 採油した潤滑油と同容量の新油を補充しているため、
 摩耗過酷度が厳しい検体ほど清浄化される形となった
 ものと推察される (図-7)。

(3) 金属成分 (SOAP法)

金属成分分析 (SOAP法) は、潤滑油中に分散し
 ている金属元素の量を知るためのもので、油中の金属
 濃度を元素別に分析し、測定元素の組成や濃度からそ
 の金属材料及び摩耗の発生源や原因を推定でき、異常
 の兆候を早期に知る有力な手がかりとなる。

(4) 金属成分 (SOAP法) 分析の結果

金属成分分析には、イオン化分析 (粒子サイズが小
 さい場合) と固形分析 (粒子サイズが大きい場合)
 があり、今回はイオン化分析数値と固形分析数値を
 合計した数値を用いて解析を行った。

金属濃度 (Fe 値) については、平成 23 年度にフェ
 ログラフィーで良好と評価された検体については、金
 属濃度 (Fe 値) 平均値が上昇する結果となった。また、
 やや厳しい及び、厳しいと評価された検体については、
 金属濃度 (Fe 値) が減少する結果となった。

次に金属濃度 (Cu 値) については、平成 23 年度に
 フェログラフィーで良好、やや厳しい、厳しいと評価
 された検体ともに金属濃度 (Cu 値) が増加している結
 果となった (図-8)。

金属濃度 (Cu 値) の増加は、一般的に転がり軸受け
 (ベアリング) の摩耗が進行している可能性がある。
 特に摩耗状況がやや厳しいと評価された検体の金属濃
 度 (Cu 値) 平均値は 2 倍程度に増加しており、転がり
 軸受けの保持器の摩耗が進行することで転動体とのギ
 ャップが大きくなるとともに振動が増大し、さらに摩
 耗の進行につながると考えられる (図-8)。

(5) 摩耗分析と計数汚染度の関係の検証

平成 23 年度の分析結果の比較により、潤滑油の計数
 汚染度が高い NAS12 等級以上の検体が全体 (154 検体)
 の 49%となり汚染比率が高いことが明らかになった。

そのため、NAS 等級のサイズ別にレンジ分けし (5
 ~15 μ m、15~25 μ m、25~50 μ m、50~100 μ m、100 μ m
 以上の 5 レンジ)、いくつのレンジで NAS12 等級を超過
 したか検証した。

その結果、全てのレンジ (5 レンジ) で NAS12 等級

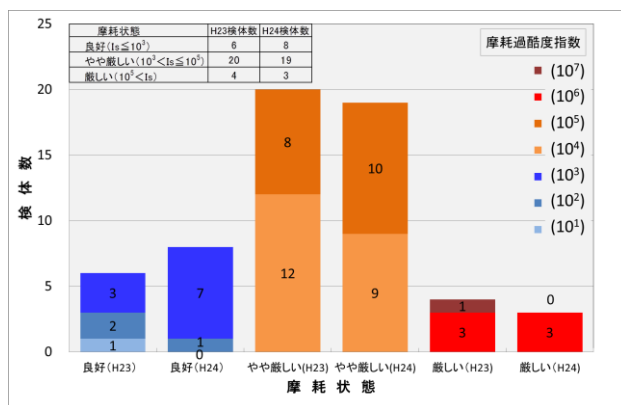


図-7 摩耗状態別検体数比較図

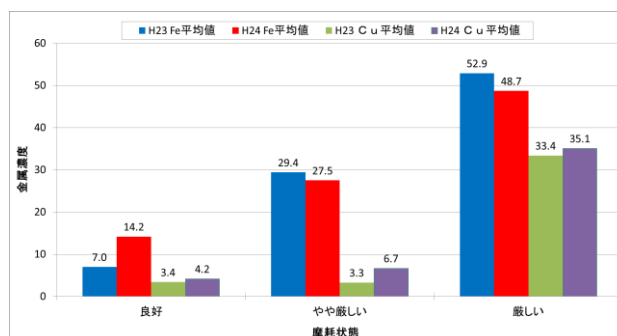


図-8 摩耗状態と金属濃度平均値

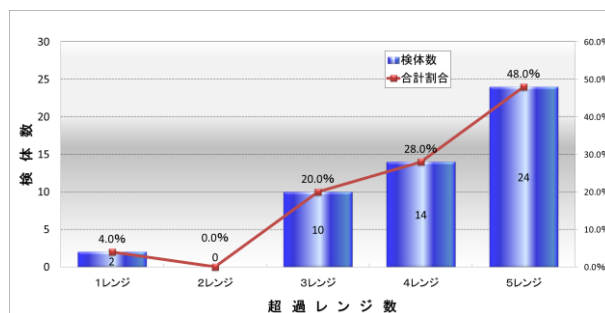


図-9 レンジ数別 NAS12 等級超過数

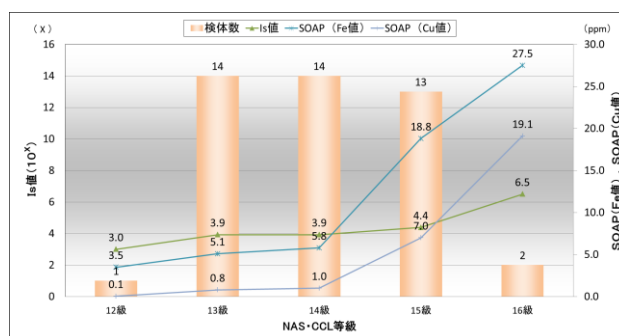


図-10 NAS-CCL 等級別摩耗状況

を超過検体が全体の 48%となり、超過レンジ数が増加
 するに従い金属濃度の上昇も確認され、潤滑状態に悪
 影響があることがわかった (図-9)。

平成 24 年度は、前述した、計数汚染度の仮等級
 (CCL : Contamination Control Limit) を用いて、摩

表-5 摩耗形態の分類

摩耗の形態	名称	発生形態	形状
正常摩耗	ラッピング	表面薄層の剥離、境界潤滑、始動	15μ m以下の薄片
	なじみ	なじみ、始動	長方形の薄片
切削	カッピング	硬い異物の混入、突起物の切削効果	
シビア(鉄)	シビアスライディング	片当り、すべり、高速、高荷重	15μ m<表面に条痕
	スカフティング	ギヤ高速、高荷重、潤滑油不足	15μ m以上、テンパーカラー局在
	球状	溶着、高速、高荷重	球形(~200μ m)
疲労	スポール	ピッチング、フレーキング、ギヤ軸受の疲労	表面ピット15μ m以上
	ラミナー	疲労粒子の圧延、転がり軸受けの疲労	15μ m以上薄片孔、不規則周
	チャンク	ギヤ、転動部の疲労	5μ m<薄片
	球状	転がり軸受の疲労	球形(~10μ m)
シビア(銅系) (メタルブッシュ摩耗)	銅合金	軸受、リテーナー、ポンプの摩耗	黄金色
	ホワイトメタル	軸受の摩耗	白色
化学変化	フリクションポリマー(FPF)	摩擦部、油、添加剤などの重合反応	ころ状、無定形
	反応生成物	異物油の混入、添加剤の反応物	粒子状

耗分析と計数汚染度の関係について NAS12 等級以上の評価となった潤滑油を CCL13~21 等級に細分化した上で評価した。なお、対象検体は水分による錆の発生が金属濃度 (Fe 値) へ影響を与える可能性があることから、水分値が基準値を大幅に上回っていた 6 検体を除き、44 検体とした。

その結果、摩耗過酷度指数 (Is 値) 及び金属濃度 (Fe 値、Cu 値) は、NAS、CCL 等級の上昇に伴い上昇率が大きくなることを確認した (図-10)。潤滑油の汚染度の悪化は、ギヤやギヤボックスに使用されるベアリング (Fe)、又はベアリング保持器 (Cu) の摩耗状態へ影響を及ぼす。特に CCL15 等級を境に Fe 値、Cu 値が急激に上昇していることから油中に混入した異物が一定の数量を超えた際には、機器の摩耗促進への大きな影響があると考えられる。

次に計数汚染度の違いによりどのような形態の摩耗粉が発生しているかを等級毎に検証した。摩耗形態の分類表を表-5に示す。なお、比較にあたって検体数の少ない NAS12 等級、CCL16 等級を除いた。本検証において、異物の摺動面への混入により発生する切削摩耗粒子、及び摺動面が凝着、剥離するなど過酷な運転状態により発生するシビア摩耗粒子について発生割合の比較を行った (図 11~13)。

その結果、切削摩耗粒子、シビア摩耗粒子とも汚染度の上昇に伴い、その発生割合も上昇する傾向にあることを確認した。切削摩耗粒子及びシビア摩耗粒子 (Fe、Cu) の割合が増加する理由は次のとおりと考えられる。
 ①外部異物 (又は水分混入による錆) の混入増加 (汚染度上昇) によって摺動面への噛み込みが起り、切削粒子が発生した。
 ②増加した切削摩耗粒子が新たな異物となって摺動面

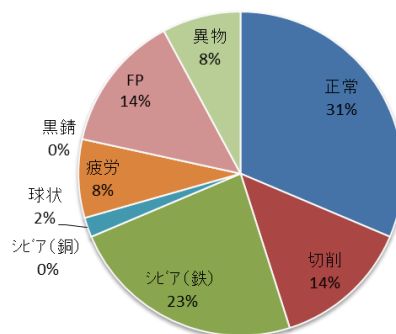


図-11 CCL13 等級 摩耗粉形態

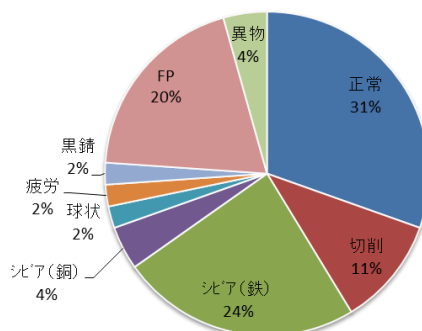


図-12 CCL14 等級 摩耗粉形態

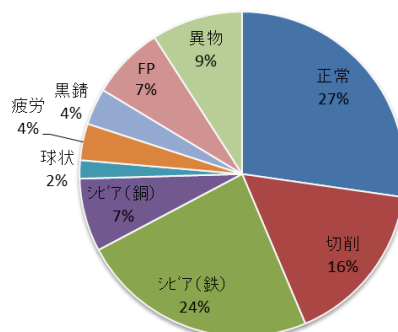


図-13 CCL15 等級 摩耗粉形態

に移着・凝着し、それらが二次的な異物となり切削作用が加速して、更に切削摩耗粒子やシビア摩耗粒子が発生した。

③発生した切削・シビア摩耗粒子がさらに摺動面に凝着し悪循環を繰り返す、粒子数が増加した。

更に、計数汚染度別に平成 24 年度分析データとの傾向を整理した。比較可能検体は、30 検体である。摩耗過酷度指数 (Is 値) 及び金属濃度 (Fe 値、Cu 値) の関係を検証した。図-14 にその結果を示す。図から各項目は概ね上昇傾向であることが確認できた。特に金属濃度 (Cu 値) が上昇傾向にありベアリング保持器の摩

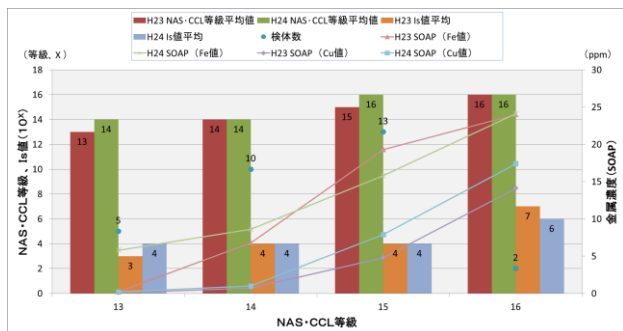


図-14 NAS・CCL 等級別摩耗傾向比較図

耗の進行が想定される。

(6) 摩耗分析結果のまとめ

今回の摩耗分析では、平成 23 年度データを用いて計数汚染度の仮等級 (CCL:Contamination Control Limit) を設定し、摩耗分析と計数汚染度の関係について再検証を行った。再検証の結果、潤滑油中の汚染物が増加することによって、機器の摩耗量が増加することがわかった。更に、汚染物の混入及び発生量が増加することによって、切削摩耗粒子やシビア摩耗粒子の増加にもつながることがわかった。

また、平成 24 年度データを用い、1 年経過後の計数汚染度金属濃度 (摩耗状態) について確認を行った。その結果、計数汚染度の上昇に伴い金属濃度 (Cu 値) の上昇が確認された。

4. 河川用機械設備の維持管理に関する現況調査

4. 1 冬期樋門の現況調査

積雪寒冷地における河川用樋門設備は、融雪出水や津波等の有事の際においても確実に稼働することが求められる。冬期間の樋門設備は、気温低下による河川結氷や降雪による積雪により門扉が全閉できないことが想定される。平成 23 年度に道南、道東、道北地区において実施した現地調査結果を整理し、各地区における積雪や凍結状況を確認し冬期稼働に対する課題及び対策について検討を行った。調査対象樋門を表-6、調査対象箇所図を図-15 に示す。

4. 1. 1 現況調査の実施時期及び調査内容

現況調査は、各地区において平成 24 年 2 月～3 月の期間で実施した。

調査内容は、次のとおりである。

- ①現地までのアクセス状況 (市街地、幹線道路からの距離) 及び堤防の積雪状況 (除雪の有無等)
- ②施設周辺、扉体、戸当たり、管理橋、河川等の凍結・積雪状況

表-6 調査対象樋門

調査地区	対象河川名	対象樋門数	対象区間
道南	後志利別川	11	河口より約10kmまで
道東	十勝川	6	河口より約13.2kmまで
	浦幌十勝川	5	河口より約4.5kmまで
	浦幌川	1	河口より約4.2km
道北	天塩川	5	河口より約51.2km
	留萌川	4	河口より約21.9km

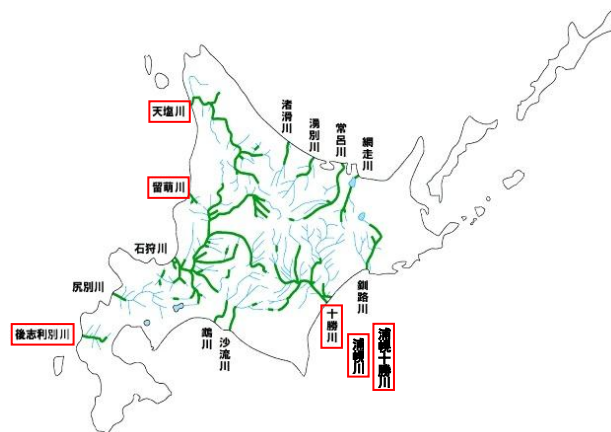


図-15 冬期樋門調査対象箇所図

- ③凍結・積雪による影響の発生状況 (樋門扉開閉の可否等)
- ④天候、気温、風向、積雪深、氷厚、水深、の計測
- ⑤上記項目の写真撮影

4. 1. 2 現況調査の結果

現況調査の結果、道南地区では、厳冬の 1 月から 2 月にかけては、多くの樋門で結氷や積雪の影響で樋門の開閉が不可能であった。しかし、水温や水量の関係で結氷しない樋門があることがわかった。また、厳冬期において堤防の除雪が実施されていない樋門が多くあり、厳冬期に樋門まで行くことが困難な場合があることが想定される。なお、3 月中旬には気温の上昇に伴い全ての樋門において開閉可能な状況であった。

道東地区では、他地区に比べ積雪深が多くはないが日平均気温が低いため 3 月上旬においても融雪が進んでおらず、調査対象樋門のゲート開口部の水路については、全て結氷している状態であった。自動開閉ゲートにおいては、扉体が結氷しており、開閉できない状態であった (写真-3)。その他のローラーゲート、スライドゲート、オーバーリンクゲートについては、扉体が全開状態で冬期管理されており、扉体が結氷しているという状態ではなかった。冬期工事箇所及び生活道路となっている箇所では、堤防除雪されている箇所もあった。

道北地区では、積雪深が多い環境であり積雪により水路が埋没し、樋門の設置箇所の確認が困難なものもあった。

調査結果一覧を表-7に示す。写真-3～6に冬期状況の各地区における一例を示す。

4. 1. 3 気象データの整理

気象庁で提供している気象統計情報のデータにて平成23年度の気象状況の傾向を確認した。観測データは、現地調査地点直近の観測所データを使用した。平成13～平成23年度12月～3月までの気温、積雪を整理した(図-16)。

その結果、平成23年度は、気温は各地区とも過去10年間で最も低く、積雪量も多い年となった。冬期間の状況としては、過酷な状況であったと推察する。

このため融雪が進まず、道東地区では、開氷期の3月上旬にもかかわらずゲート開口部が結氷している樋門が多く見られた。道南地区では、他地区に比べ降雪量が多かったが、気温が高いことから、融雪が進み3月中旬では、全ての樋門で開閉可能な状況になったものと考えられる。道北地区については、積雪量も多くほとんどの樋門で樋門の開閉ができない状態であった。

4. 1. 4 堤防等の積雪状況の整理

現地調査により実測した堤防、管理橋、ゲート開口部の積雪深状況を整理した(図-17)。

その結果、各地区により積雪深に差があることが明らかとなり、道北地区においては、100cm程度の積雪があり樋門設備の操作に向かうにも過酷な状況である(写真-7)。

4. 2 結氷対策について

冬期間の樋門に対する有効な結氷対策を検討するため、凍結防止方法として、ダムゲートに施されている技術を確認した。また、樋門製作メーカーに対するヒアリング調査を実施した。本調査は、道南支所と連携し実施した。

4. 2. 1 既往の結氷対策技術

ダム・堰施設技術基準(案)によると、「冬期に操作を必要とする水門扉で、結氷によってその開閉に支障をきたすおそれのあるものには、凍結防止装置を設ける」となっており、以下の方式が掲載されている。また近年、ダムの取水設備において、水中ミキサーを使用した凍結防止対策についても多くの事例がある。

(1) 鋼管発熱式

鋼管に電流を流した時の表皮効果による過電流により、鋼管自体が発熱するもので、凍結防止対象部に埋設したり、凍結防止対象物に直接取付けて使用する。

表-7 冬期樋門調査結果一覧

樋門名 ゲート形式	調査日 天候	積雪深(cm)			全高 (cm)	氷厚 (cm)	水深 (cm)	気温 (℃)	水温 (℃)
		堤	防	管理橋					
道南地区									
兜野2号樋門 スライドゲート	3月15日	-	-	80	-	-	-	4.3	1.5
兜野3号樋門 スライドゲート	3月15日	-	-	-	-	-	-	3.2	1.9
兜野樋門 スライドゲート	3月15日	-	-	-	-	-	-	3.4	-
豊岡樋門 スライドゲート	3月15日	-	-	-	50	-	50	3.5	5.6
愛知2号樋門 オートゲート	3月16日	-	-	-	8	-	8	4.7	3.5
愛知3号樋門 オートゲート	3月16日	20	-	-	-	-	-	5.6	-
西丹羽1号樋門 オートゲート	3月16日	-	-	-	-	-	16	5.6	4.8
西丹羽2号樋門 オーバーリングゲート	3月16日	-	-	-	-	-	-	3.8	-
瀬棚樋門 スライドゲート	3月15日	-	-	-	38	-	38	5.5	9.5
真駒内1号樋門 オートゲート	3月15日	-	-	-	-	-	-	3.2	4.3
真駒内2号樋門 スライドゲート	3月16日	-	-	-	-	-	-	3.1	-
道東地区									
大津市街樋門 オーバーリングゲート	3月1日	-	22	68	53	53	-	2.2	-
大津第2樋門 スライドゲート	3月1日	晴	除雪済	管理橋無	全氷	-	-	-	-
大津樋門 ローラーゲート	3月2日	晴	-	12	58.5	48	10.5	3.0	0.5
寒々平樋門 ローラーゲート	3月2日	晴	19	17	29	9.0	4.0	5.0	2.1
旅来第1樋門 ローラーゲート	3月2日	晴	17	37	16	68	-	2.4	0.5
旅来第2樋門 スライドゲート	3月2日	曇	23	34	42	33	29	4.0	1.2
十勝本東5線樋門 ローラーゲート	3月2日	曇	除雪済	-	85	50	35	0.6	0.5
豊北樋門 フラッグゲート	3月2日	曇	10	-	60	208	77	131	0.3
豊北第1樋門 ローラーゲート	3月2日	曇	40	40	31	83	82	1	0.2
静内川第1樋門 オートゲート	3月2日	曇	68	68	-	86	76	13	0.3
道北地区(天塩)									
北川口3号樋門 門柱レスゲート	3月14日	晴	-	-	-	-	-	-0.7	-
サロベツ4号樋門 スライドゲート	2月14日	曇	81	106	45	-	22	28	0.8
幌延5号樋門 ローラーゲート	2月14日	曇	53	64	32	-	10	0	-0.4
歌内樋門 ローラーゲート	2月15日	晴/雪	127	139	-	-	2	8	-6.7
国府右岸樋門 ローラーゲート	3月15日	曇	103	104	-	-	3	3	0.4
道北地区(留萌)									
川北1号樋門 スライドゲート	2月24日	晴	60	0	-	-	-	-3.7	-
川北2号樋門 スライドゲート	2月24日	晴	44	-	-	-	-	-3.7	-
藤山18線樋門 ローラーゲート	2月24日	晴	112	110	11	-	8	19	-3.1
西幌樋門 スライドゲート	2月24日	晴	176	155	-	-	-	-3.7	-

(2) 電熱線式

テープ状または丸形の電熱線を凍結防止対象物に取付け、電流を流した時の抵抗熱(ジュール熱)を利用する。

(3) 気泡式

水中にノズルを取付けて圧縮空気を噴出させ、この気泡が下層水と表層水の循環を起こすことによって結



写真-3 オートゲート冬期状況 (道東地区)



写真-4 スライドゲート冬期状況
(道北地区 天塩)



写真-5 スライドゲート冬期状況 (道南地区)



写真-6 スライドゲート冬期状況
(道北地区 留萌)

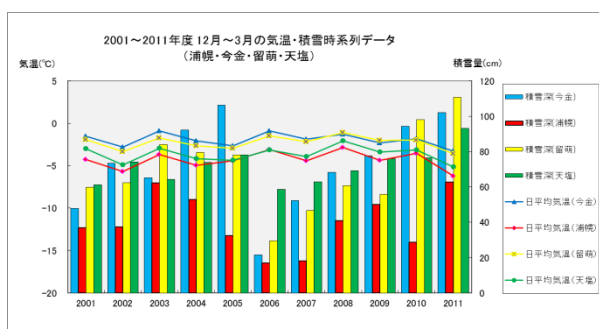


図-16 気温・積雪データ

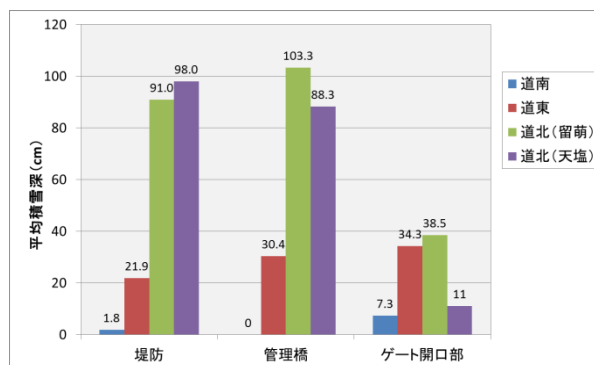


図-17 堤防・管理橋・ゲート開口部積雪平均

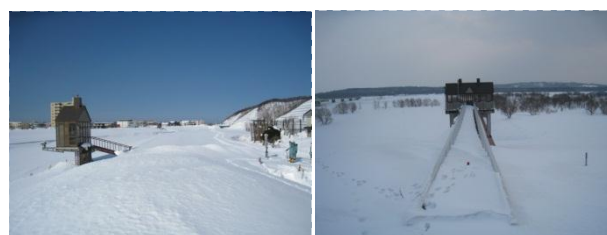


写真-7 堤防積雪状況(左) (道北地区 留萌)
管理橋積雪状況(右) (道北地区天塩)

氷を防止する。

(4) 水中ポンプ式

水中ポンプ等を使用して下層水を水面に噴出させ、下層水と表層水の循環を起こすことによって結氷を防止する。

(5) 熱媒循環式

凍結防止対象部に敷設した配管に、温風等の熱媒をファンを使用して循環させ、凍結を防止する。

(6) 曝気式

貯水池底部に鉛直に自立した揚水筒から、圧縮空気を気泡弾として間欠的に噴出させ、下層水と表層水との間に循環を生じさせることにより、表層水の凍結を防止する。

(7) 保温材被覆式

保温材で凍結防止対象物を被覆して保護するもので、単独のほか他の方式との併用が多い。

(8) 水中ミキサー式

水中モーターとスクリュウを一体化したもの(水中ミキサー)を水中で運転し、水を攪拌して流れを作り凍結を防止する。

上記方式の設置場所の選定は、表-8のとおりである。

以上の対策を実施するには、前提として、電力の確保が必要である。

4. 5. 2 樋門製作メーカーに対するヒアリング調査

樋門製作メーカーにおける、冬期間の樋門の維持管

理方法及び結氷対策について確認するため、樋門製作メーカー2社に対してヒアリング調査を実施した（写真-8）。

ヒアリング内容及び回答は次のとおりである。

(1) 樋門にて結氷対策を実施した事例

通常の樋門に施工した事例はない。

水道や流雪溝の取水用樋門に水中ミキサーを設置した事例はある（旭川開発建設部旭川河川事務所の旭正取排水樋門等）。

(2) 冬期間樋門に津波が遡上した場合の対策

樋門個々での対策は設置数が多いので難しい。河口部に防潮水門を設置した方がよい。

(3) 樋門川表側の翼壁に防寒蓋を設置した事例

取水を目的とした樋門以外での設置事例はない。

旭川開発建設部名寄河川事務所（以下、名寄河川）では、ローラーゲートとフラップゲートの2重化（ダブルゲート）が実施されており、ゲート間には水密蓋が設置されている。

(4) フラップゲートの冬期間の維持管理方法

冬期間も夏期と同じくメンテナンスフリーである。

(5) 樋門に対する有効な結氷対策

戸当り部の四方に鋼管発熱式ヒーターを施し、門扉及び戸当り部・ガイドローラーが結氷や積雪により動作不能にならないようにする。

以上の結果、樋門製作メーカーにおいて冬期間の津波来襲に対応した結氷対策事例等がないことがわかった。

5. まとめ

5.1 樋門開閉装置の潤滑油状態調査

(1) 平成24年度は、計数汚染度（NAS等級）と金属濃度の関係を確認した。平成23年度の分析結果によって、NAS12等級以上の検体が49%となったことから、NAS等級のサイズ別にレンジ分け（5～15μm、15～25μm、25～50μm、50～100μm、100μm以上の5レンジ）しどのレンジでNAS12等級を超過したのか検証を行った。その結果、超過レンジ数が増加するに従い金属濃度の上昇も確認され、潤滑状態に悪影響があることがわかった。

(2) 平成24年度は、NAS12等級以上の検体を詳細に評価するため、計数汚染度の仮等級（CCL:Contaminatio Control Limit）を設定し、NAS12等級以上の潤滑油をCCL13～21等級に細分化した。

(3) CCL13～21等級の潤滑油について金属濃度との評価を行い、CCL15等級以上について、金属濃度の上昇率

表-8 凍結防止方式による設置箇所一覧

設置場所 方式	水面	水中	扉体内部	水密部	埋設戸当り	取水呑口部	露出管・弁類
鋼管発熱式	x	x	○	○	○	x	△
電熱線式	x	x	x	△	x	x	○
気泡式	x	○	x	x	x	○	x
水中ポンプ式	○	○	x	x	x	○	x
熱媒循環式	x	x	x	△	△	x	x
曝気式	x	○	x	x	x	○	x
保温材被覆式	x	x	x	x	x	x	○
水中ミキサー式	○	○	x	x	x	○	x

注) ○:採用することができる △:場合によっては採用することができる x:採用することが不適当な方式



写真-8 ヒアリング状況

が大きくなることを確認した。

今後は、計数汚染度（NAS・CCL）の簡易計測方法として、ASTM色、RGB色相やパーティクルカウンター（計数汚染度計測器）等を用いた点検方法について検討する。

5.2 冬期樋門の現況調査

(1) 冬期樋門の現況調査

全道の冬期樋門の調査資料について整理し現況の確認を行った。その結果、ゲート開口部の水路については、各地区で違いが確認された。道東地区では3月でも結氷しており、道南地区では解氷しているという状態であった。また、道北地区は積雪の影響により、樋門設備に向かうことも困難な状況の箇所も確認された。自動開閉ゲートにおいては、扉体が結氷しており、開閉できない状態のものも確認された。また、ローラーゲートのローラー部の凍結も確認された。

(2) 既往の結氷対策技術の確認及び調査

ダム・堰施設技術基準（案）に掲載されている凍結防止方式を確認し、その適用について検討した。その結果、結氷対策の動力となるべき電力がきている樋門が少ないため、機械的に融雪を行うことは困難であること、機械的に融雪を行うには多大な電気料金が必要となり、近年の維持管理コスト削減により、イニシャ

ル及びランニングコストが大きくなる方式では導入は難しいことがわかった。

また、冬期間の樋門の維持管理方法及び結氷対策について確認するため、樋門製作メーカーに対してヒアリング調査を実施した。その結果、樋門製作メーカーにおいて冬期間の津波来襲に対応した結氷対策事例等がないことがわかった。

今後は、他地域での現地調査等により基礎資料収集を進め、問題点等を抽出するとともに樋門開閉装置の原動機の燃料や潤滑油の状態等を確認し、冬期稼働に向けた分析・検討を行っていく。

参考文献

- 1) 小岩祐太, 佐藤大輔, 蝦名健二: 樋門開閉装置の効率的な維持管理手法に関する検討, 第 54 回 (平成 22 年度) 北海道開発局技術研究発表会 (発表論文集), 2011
- 2) 出光興産 潤滑油部潤滑技術二課: 工業潤滑剤基礎のきそ, 2006.6
- 3) (社)日本トライボロジー学会: メンテナンストライボロジー, 2006.11
- 4) 国土交通省 総合政策局 建設施工企画課 河川局 治水課: 河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル (案), H20.3
- 5) (財)下水道新技術推進機構: トライボロジーを活用した設備診断に関する技術マニュアル (潤滑診断による状態監視保全), 2009.12
- 6) 倉橋基史, 澤雅明: 製鉄所におけるトライボロジー管理と寿命予測, トライボロジスト, 1994.7
- 7) ドリユー・トロイヤー、ジムフィッチ、西本隆直 (訳): オイル分析の基礎 (日本語翻訳版), 2008.10
- 8) ジムフィッチ: 油中元素の発生源 (日本語翻訳版), 2011.2
- 9) 北海道開発局 建設部 河川管理課: 平成 23 年東北地方太平洋沖地震により、津波が河川を遡上した痕跡について, 報道発表資料, 2011.3
- 10) 国土交通省 気象庁: 気象統計情報 過去の気象データ検索 HP, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 11) 北海道開発局 建設部 河川管理課: 平成 23 年東北地方太平洋沖地震により、津波が河川を遡上した痕跡について, 報道発表資料, 2011.3
- 12) 社団法人 ダム・堰施設技術協会: ダム・堰施設技術基準 (案), H23.7

A STUDY ON MAINTENANCE METHODS FOR RIVER MECHANICAL EQUIPMENT IN COLD, SNOWY REGIONS

Budget : Grants for operating expenses (general account)

Research Period : FY2011-2014

Research Team : Machinery Technology Research Team

Author : KATANO Koji

YAMAGUCHI Kazuya

TANAKA Takao

EINAGA Tetsuya

IGARASHI Tadashi

KISHI Norihito

Abstract : Since many pieces of river mechanical equipment have been used for 30 to 40 years, lower reliability due to the progress of aging and increased maintenance costs to restore reliability are becoming problems, and efficient and effective maintenance that can also ensure prolongation of the service life and reliability is required.

In this study, field surveys and other forms of research were conducted concerning the degradation and environment conditions, operation status and other factors related to river mechanical equipment, and analysis and examination were conducted on simple and accurate deterioration measurement and maintenance methods, as well as on structures and operation/maintenance technologies suited to winter operations.

In FY2012, follow-up survey of lubricating oil was mainly conducted about sluiceway operating apparatuses which lubricating condition was rated as severe in field survey in FY2011. As the results, it was found that ParticleCount and density of metal in oil can be used as elements to understand the degradation trend.

Key words : river mechanical equipment, maintenance, sluice way operating apparatus, lubricating oil