

## 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、五十嵐匡

### 【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。

本年度は、既存資料の収集整理及び河川用樋門の劣化状況、環境条件を把握するため、現地調査を実施した。その結果、樋門の開閉装置に使用されている潤滑油の汚染度が高い傾向にあり、装置の磨耗状況と密接な関係があったため、開閉装置における潤滑油管理の重要な要素に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、水密ゴム

### 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が、積雪寒冷地においては特に設置環境も厳しく通常の産業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 年を迎えつつあり、老朽化への対応が課題となる設備も年々増加することが予想され、維持管理費用も増加すると考えられる。

しかし、公共事業予算は年々削減されている現状にあり、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。

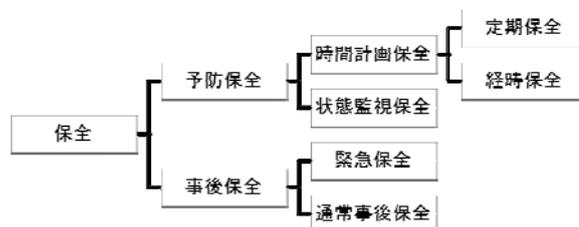
これにより、積雪寒冷地における河川用機械設備の

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。

### 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（Z8115）では信頼性用語のなかで保全として「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、故障や劣化の発生を未然に防止し、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、予定の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、設備を使用中の動作確認、劣化傾向の検出等により故障に至る経過の記録及び追跡等の目的で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、劣化の進行を定量的に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をいう。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、管理上、予防保全を行う機器等が故障を起こした場合に対する緊急措置をいう。

樋門は、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、定期点検時の定量的な管理基準がなく、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。また、扉体部に設置されている水密ゴムについても、定量的な管理基準はなく、目視による変形、損傷、劣化、漏水の有無の判断となっている。

そこで平成23年度は、簡易で的確な劣化判断手法と維持管理手法の検討を行うための基礎データの抽出を目的として現地調査を実施した。

## 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、科学、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、軸受け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、トライボロジーを活用した設備診断の可能性についても検証を行った。

## 3. 河川用機械設備の劣化に関する現況調査

### 3.1 現況調査箇所の選定（樋門の開閉装置の潤滑油、樋門扉体の水密ゴム）

北海道開発局が管理する河川用樋門設備のうち全道8河川、70樋門を選定し、現況調査を実施した。対象樋門の選定は、気候区分、河川流域、供用年数、設置方位等により検証できるように選定した。

図-2に調査対象樋門箇所図を示す。

### 3.2 調査対象樋門の設置環境、運用状況

上記で選定した調査対象樋門について、設置環境、運用状況等について整理を行った。

#### 3.2.1 気候区分による整理

北海道の気候区分には諸説が存在するが、本研究では道内を4つの気候区で区分する説を採用した。そして、調査対象樋門を各気候区別に整理した（図-3）。

日本海側が38箇所と全体の半数程度を占めているが、これは河川延長が長い天塩川、石狩川を含む気候区であることが要因である。

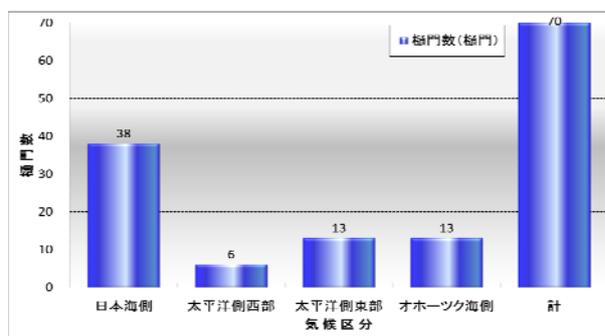
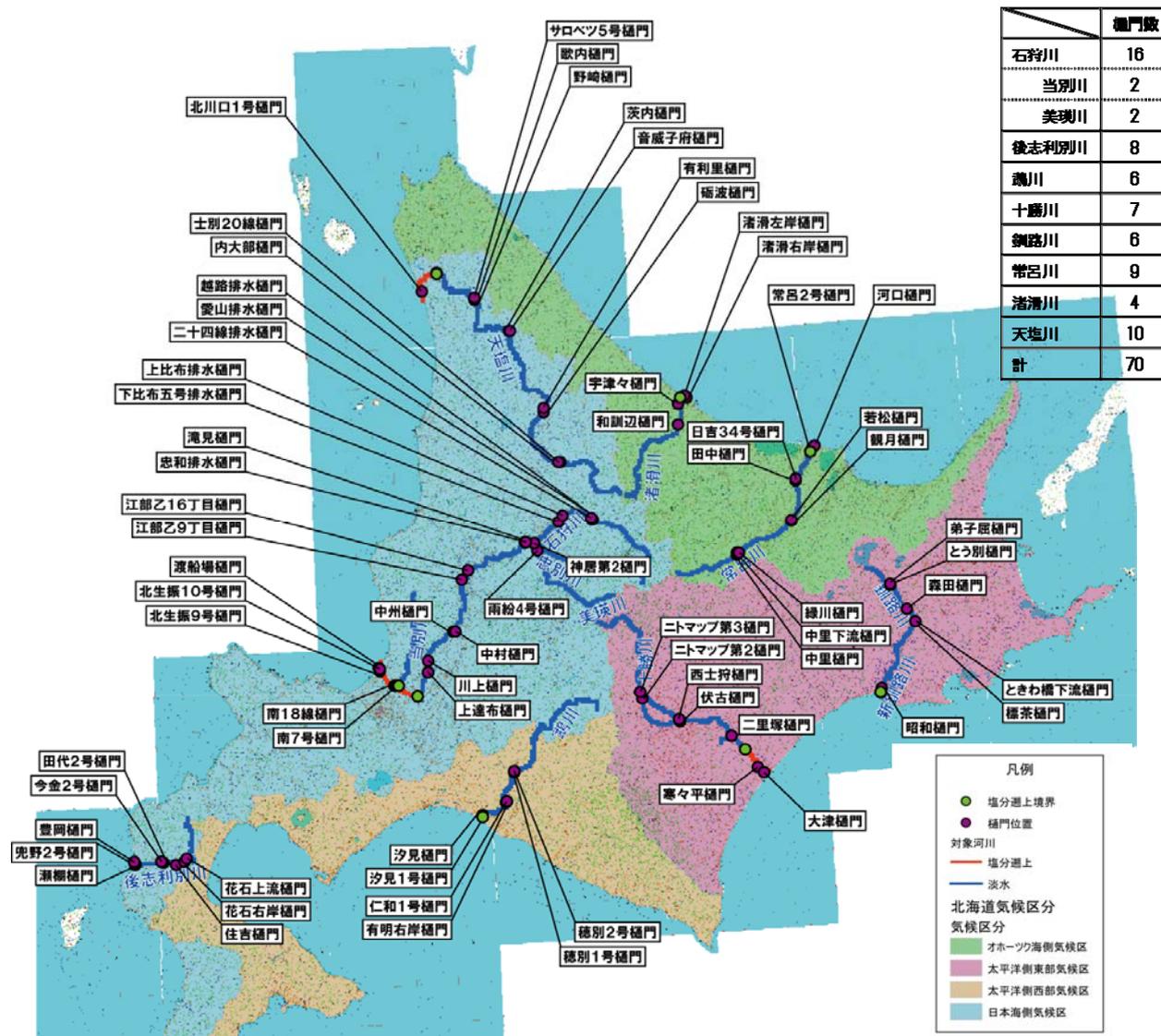


図-3 気候区分別樋門箇所数

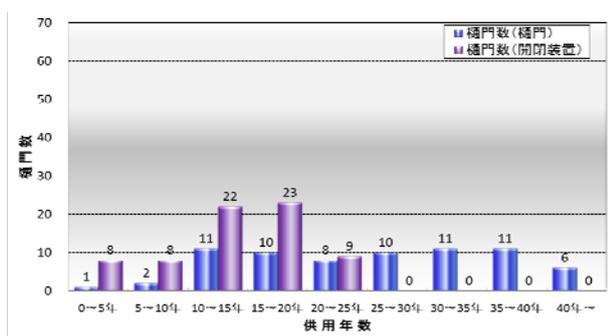
#### 3.2.2 供用年数による整理

調査対象樋門の設置年数を5年ごとに区切り供用年数について整理した。樋門の設置は40年程前からコンスタントに行われ、開閉装置は設置後10～20年経過したものが66%を占めている（図-4）。

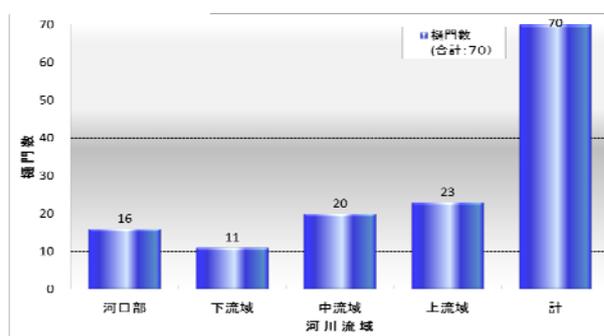
なお、開閉装置の潤滑油の分析においては、開閉装置の供用年数を用い、水密ゴムの分析には樋門設備の供用年数を用いた。



図一 2 調査対象樋門箇所図



図一 4 樋門及び開閉装置の供用年数



図一 5 河川流域別樋門箇所数

### 3. 2. 3 河川流域による整理

調査対象樋門が設置されている河川を河口部、下流域、中流域、上流域に区分して、各区分による配置を整理した (図一 5)。

### 3. 2. 4 設置方位による整理

調査対象樋門の設置されている方位について 8 方位の区分で整理した (図一 6)。

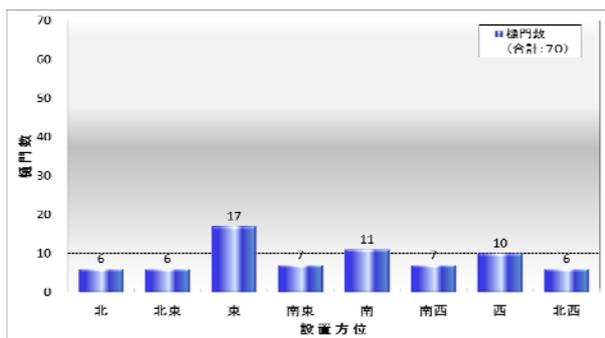


図-6 設置方位別樋門箇所数



写真-2 潤滑油採油状況（可逆装置）

### 3.3 樋門開閉装置の潤滑油状態調査

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。採油方法は給油口より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行った。概ね油槽の中層部から採油した。採油箇所毎には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。採油状況について写真-2に示す。採油検体を写真-3に示す。

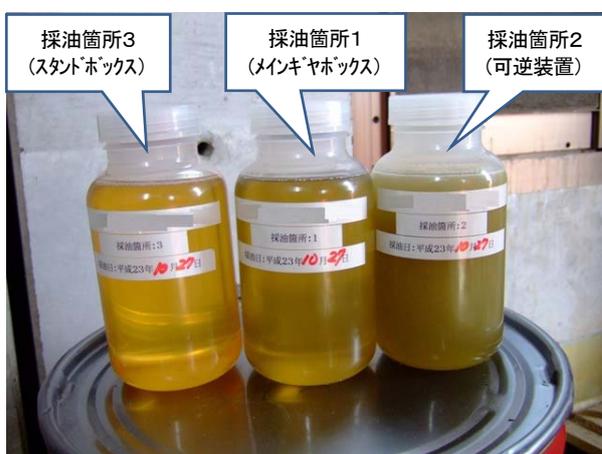


写真-3 潤滑油採油検体

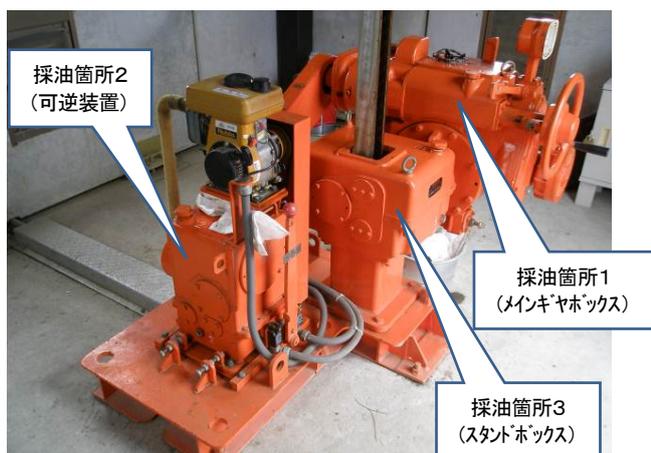


写真-1 開閉装置全景及び採油箇所

#### 3.3.2 潤滑油の分析項目

採油した潤滑油について、表-1の各項目の分析を行った。潤滑油は、使用中に絶えず熱的影響を受け、さらに酸素、金属、水等との接触によって次第に性状が変化し初期に有していた潤滑油の機能を失う。これが潤滑油の劣化であり、この劣化を測定する方法として、粘度、水分、酸価、赤外線吸収スペクトル（IR）の分析を実施した。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る。そのため汚染の測定として計数汚染度分析を実施した。また、性状分析、汚染度分析の結果から分析検体の抽出を行い、設備潤滑状態の分析を実施した。

#### 3.3.3 潤滑油の分析結果

性状分析、汚染度分析の分析結果を下記に示す。

##### (1) 粘度

粘度については、ほとんどの検体において良好な結果が得られた（表-2）。分析データより、一部の検体においてメーカー推奨グレードと異なる潤滑油を使用

していると考えられるものも認められた。

表－1 潤滑油の性状等分析項目

項目	項目	検数	項目	試験規格
潤滑油性状分析	粘度	154	1. 潤滑油の酸化を知る 2. 異種油混合の有無を知る 3. 潤滑特性を知る	JIS K 2283
	水分		水分量の測定	JIS K 2275
	酸価		油中酸成分の測定	JIS K 2501
	赤外線吸収スペクトル (IR)		1. 有機物の同定 確認 2. 酸化防止剤の残存量 測定 3. 酸化劣化物の測定	—
潤滑油汚染度分析	計数汚染度	—	潤滑油中の粒子数をサイズ別に知る	JIS B 9930
設備潤滑状態	摩耗診断フェログラフィー	50	摩耗粒子を直接観察し、摩耗程度、摩耗の過激度を判定する	—
	金属成分 SOAP法		油中金属の元素と濃度を知る	—

表－2 粘度分析結果

粘度	検体
±15%以内	123
±15%以上	31

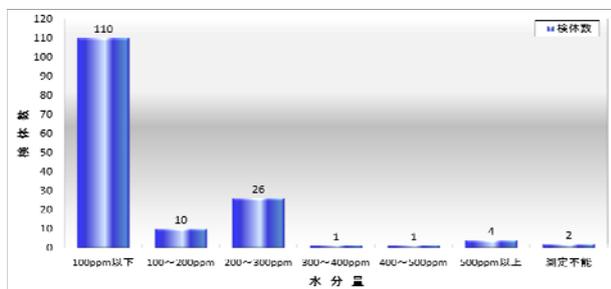
(2) 水分

水分について概ね良好な結果が得られたが、管理基準値を超過した検体が6検体認められた(表－3)。

ただし、管理基準値を超えていないが、200~400ppmと比較的高い水分値が検出された検体が20%程度確認された(図－7)。

表－3 水分分析結果

水分	検体数
500ppm 未満	148
500ppm 以上	6



図－7 水分量別検体数

(3) 酸化

酸化について概ね良好な結果が得られたが、注意

(0.3mgKOH/g以上)と判定された検体が16%程度確認された(表－4)。

表－4 酸化分析結果

酸化	検体数
良好	129
注意	25

(4) 赤外線スペクトル (IR)

赤外線スペクトル (IR) について、全ての検体で良好な結果が得られ、酸化の進行は無いことが確認された(表－5)。

表－5 赤外線スペクトル(IR)分析結果

酸化	検体数
カルボン酸無し	154
カルボン酸有り	0

(5) 計数汚染度 (NAS 等級)

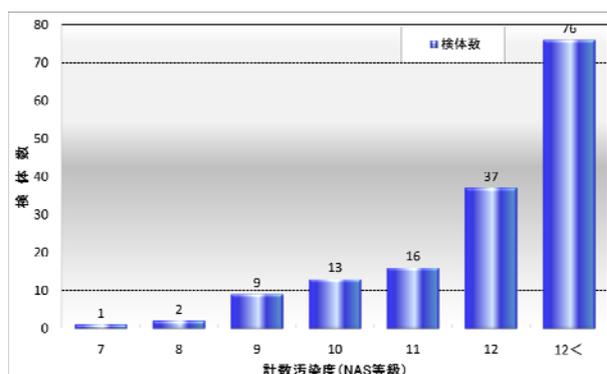
計数汚染度について、76検体(約49%)で管理限界値(NAS12等級)を超過する結果となった(表－6)。計数汚染度の等級別検体数を図－8に示す。

また、採油箇所別に計数汚染度を整理したものを図－9に示す。採油箇所別では、可逆装置について汚染度の数値が高いものも多く見受けられる結果となった。

なお、新油の計数汚染度数値は、使用する潤滑油により多少の違いがあるが、今回分析した新油では、NAS等級7~8という数値となり汚染度評価の目安とした。

表－6 計数汚染度(NAS等級)分析結果

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



図－8 計数汚染度(NAS等級)別検体数

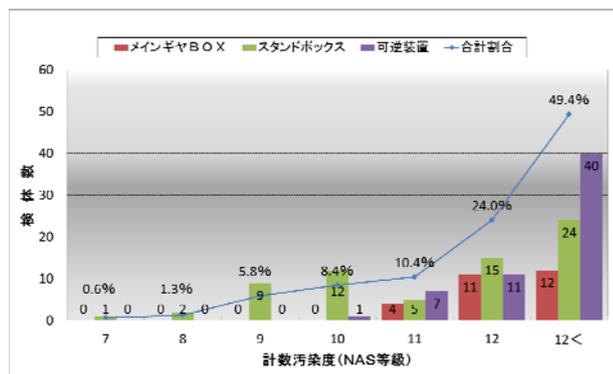


図-9 採油箇所別計数汚染度 (NAS 等級)

(6) 分析結果のまとめ

潤滑油の性状分析の結果、潤滑油の粘度、酸化劣化は、ほぼ問題がないことがわかった。水分に関しては、6 検体で基準値を超える結果が見られたが、基本的には混入量に問題はなかった。しかし、計数汚染度の結果が全体的に思わしくなく、通常ギヤの汚染度を管理するNAS12 等級を超過する検体が全体の約 49% となった。

潤滑油は、使用につれて様々な化学的変化をするとともに、外部からの微少な混入物の影響によって汚染が進む。計数汚染度は、潤滑油中の粒子数を一定の粒子径範囲ごとに計数し、その粒子数から汚染レベルを判定するものであり、潤滑油管理では重要な管理項目の一つである (表-7)。

そこで、今回の計数汚染度の分析結果 (NAS 等級、サイズレンジ) に重み付けをした点数にて評価を行って 46 の検体を抽出した。また、水分値の測定が不可であった 2 検体及び管理基準値を大きく逸脱した 2 検体を加え、合計 50 検体について、摩耗状態診断を行った。

潤滑油には使用環境によって、異物が侵入したり、水分や空気が混入する場合が少なくない。潤滑油中の異物や摩耗粉、酸化生成物、水分、そして空気などは、潤滑油にとって汚染物質であり、機器の順調な運転を妨げる要因となる。したがって、汚染物質を最小限にとどめ、潤滑油の清浄度を高める汚染管理は機械のトラブル低減に不可欠だけでなく、機器の寿命延長や設備の信頼性向上にとっても重要な要素となる。

表-7 計数汚染度 (NAS 等級) 基準値

粒径サイズ (μm)	NAS 等級							
	5	6	7	8	9	10	11	12
5-15	8,000	16,000	32,000	64,000	128,000	256,000	512,000	1,024,000
15-25	1,425	2,850	5,700	11,400	22,800	45,600	91,200	182,400
25-50	253	506	1,012	2,025	4,050	8,100	16,200	32,400
50-100	45	90	180	360	720	1,440	2,880	5,760
100 以上	8	16	32	64	128	256	512	1,024

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。対象検体は、前述の 50 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。50 検体の採油箇所内訳を表-8 に示す。

表-8 摩耗分析採油箇所表

目的		検体数	
摩耗分析	フェログラフィー/ 金属成分 (SOAP 法)	メインギヤボックス	20
		可逆装置	9
		スタンドボックス	21

(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さ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。全摩耗量と摩耗過酷度指数は、下記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 1 ml のデータプレート上に捕択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

フェログラフィーの結果、摩耗状態が良好と判断された検体は 50 検体中 12 検体であった。次に、摩耗状態がやや厳しいと評価された検体は 31 検体、厳しいと評価された検体は 7 検体となった。また、摩耗状態に順じて混入水分の平均値が増加の傾向にあることがわかった (図-10)。

中でも、厳しいと評価された検体については、摩耗過酷度を表す  $I_S$  値が  $10^6 \sim 10^7$  と、かなり高い値が測定されており、摩耗形態の多くが正常摩耗である 1 検

体（メインギヤボックス）を除いては、異物混入による切削摩耗や油膜切れによるシビア磨耗が多く観察されるなど、非常に厳しい環境下での設備運転となっていることがわかった。油膜切れによるシビア磨耗の発生については、特に3検体（可逆装置1検体、スタンドボックス1検体、メインギヤボックス1検体）で水分の混入量が多く、粘度不足による油膜切れが発生していると推定される。また、6検体で、NAS 等級も限界値を超えていることから、摩耗が摩耗を呼ぶ状態となっていることが推定される。

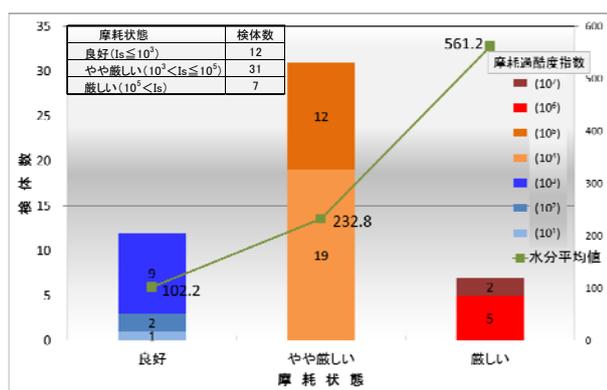


図-10 摩耗状態の評価

### (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を知ること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。

本分析法は、CBMの手法を適用するうえで重要なツールとなる。

### (4) 金属成分 (SOAP法) 分析の結果

金属成分分析は、イオン化分析（粒子サイズが小さい場合）と、固形分分析（粒子サイズが大きい場合）とを行うが、今回の分析ではイオン化分析の結果、全検体で鉄分の検出はほとんどされなかった。

次に固形分分析の結果を記す。

フェログラフィーで良好と評価された検体については、油中に含まれる比較的サイズの大きい粒子の鉄分濃度も低い結果となった。これにより、計数汚染度の結果が思わしくなかった理由は、軽度の摩耗による磨耗粉の発生と外部からの異物混入が主な原因であることが推測される。

フェログラフィーでやや厳しいと評価された検体については、一部の検体を除き比較的高い鉄分濃度が検出された。これらの検体は鉄分濃度の結果から良好と

評価された検体に比べ磨耗が進行していると思われるが、中でも7検体については他の検体に比べ水分値が高いことから、ギヤ歯面の磨耗のみならず、ギヤ及びギヤボックス内部で発生した錆が異物となり、油中に混入した事が推測される。発生した錆が、ギヤの磨耗を促進させる要因となるため、水分混入の要因を特定する必要がある。

フェログラフィー分析で厳しいと評価された検体については、4検体について、水分値が非常に高く、そのうち2検体については、油槽から採取された試料の内、半分近くが水であり、測定不能になるほどの水が含まれていた。さらにフェログラフィーで捕捉された磨耗粉の形態観察においても鉄錆の存在が確認された。このことから、本設備内では水分混入による錆の発生と、激しいギヤの磨耗が同時に起きていると推測される。図-11 に水分量と Is 値（磨耗過酷度指数）NAS 等級、含有鉄分値の関係を示す。

図-11 より計数汚染度（NAS 等級）については、200ppm以上の混水が認められた検体ではNAS等級の平均値が管理基準値の12等級を超え、非常に汚染されている状況であることがわかった。また、金属成分分析による鉄の検出では、水分量の増加とともにこれらの数値が上昇する傾向にあることが確認された。水分の混入は、ギヤやギヤボックス内部の錆発生原因となり、ギヤの磨耗の起点となるほか、潤滑油の粘度不足による油膜切れから磨耗を発生、進行が予想される。また、積雪寒冷地においては、凍結による不具合の発生も懸念され、注意が必要である。水分量の数値が高い検体においては、水分混入の要因（結露、ギヤボックス各シール部の劣化等）を特定する必要がある。

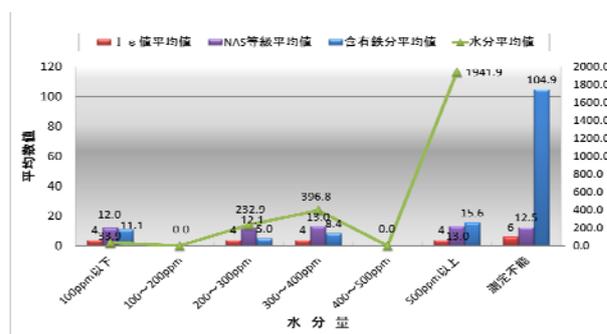


図-11 水分量と各測定平均値

### (5) 磨耗分析と計数汚染度 (NAS 等級) の検証

今回の分析結果により、潤滑油の計数汚染度が思わしくない検体が全体の49%となり非常に汚染比率が高いことが明らかになった。そこで計数汚染度と設備

の磨耗の関係について検証を行った。

磨耗分析実施のために選定した 50 検体は、全て NAS12 等級以上であるため、NAS 等級別に検証するのは、困難である。そこで、NAS 等級のサイズ別にレンジ分けし、(5~15 $\mu$ m、15~25 $\mu$ m、25~50 $\mu$ m、50~100 $\mu$ m、100 $\mu$ m 以上) いくつかのレンジで NAS12 等級を超過したのかを基に検証した。レンジ数別、NAS12 等級超過数を図-12 に示す。本図から、全てのレンジ (5 レンジ) で NAS12 等級を越えた検体が全体の 48% となり、半数近い検体において重度の汚染が確認された。なお、2 レンジ超過の検体は 0 件であった。

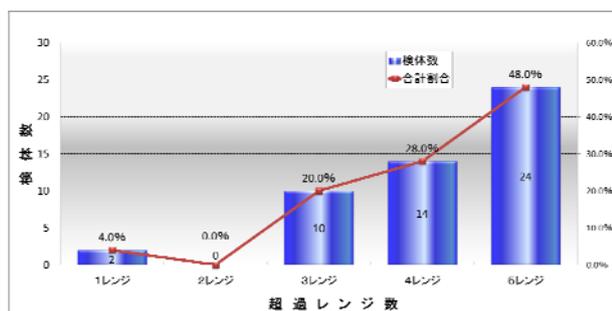


図-12 レンジ数別 NAS12 等級超過数

次に各超過レンジ数別に、フェログラフィー分析による Is 値、金属成分分析による含有鉄分濃度との関係を検証した。図-13 にその結果を示す。

図から全てのレンジ (5 レンジ) で NAS12 等級を超過している場合と比べ、超過レンジ数が減るごとに油中の磨耗粉量及び含有鉄分濃度も徐々に減少する傾向であることがわかった。なお、図-13 において、1 レンジのみ NAS12 等級を超過している検体について、含有鉄分濃度の平均値が突出して高い (81.5ppm) が、これは 1 検体のみ含有鉄分濃度が 161ppm と非常に高い数値が検出されたためであり、この検体を除けば 1.8ppm となり、超過レンジ数の減少が含有鉄分濃度減少の傾向を示している。

図 14~17 に超過レンジ数毎の油中に含まれる磨耗粉の形態傾向を示す。また、写真-4~7 に代表的な磨耗粒子の写真を示す。表-9 に磨耗形態の分類を示す。

検証の結果、NAS12 等級が 1 レンジから 5 レンジ超過の全ての条件で、潤滑油が局部的に油膜切れを起こして発生する「シビア粒子 (鉄)」が正常な磨耗粉 (なじみ磨耗) と同程度か、若干少ない程度に含まれていることがわかった。また同じく、シビア磨耗である「シビア粒子 (銅)」は超過レンジ数「4」と「5」のみで 10% 弱の割合で含まれていることがわかった。このこと

から、超過レンジ数が「1」と「3」の場合にはギヤ歯面の凝着磨耗が進行していることが考えられ、超過レンジ数が「4」と「5」の場合には、ギヤ歯面の「凝着磨耗」に加え、ギヤ軸を支えるベアリングの磨耗も進行していることが考えられる。さらに、全超過レンジ数において、異物の噛み込みによって発生する「切削粒子」の割合も 10~20% と高い傾向を示しており、1 つのレンジでも NAS12 等級を超過した場合、異物の混入及びそれを起点とした「切削磨耗」が発生していることがわかった。

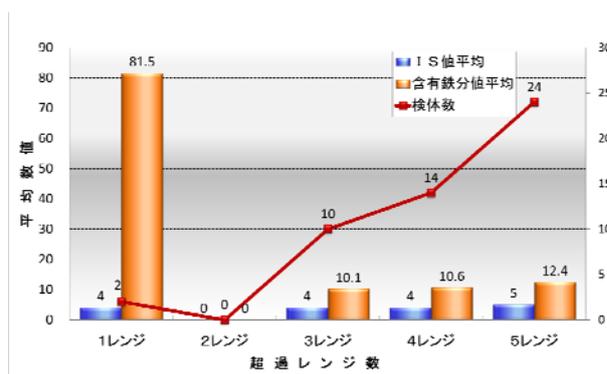


図-13 レンジ数別 Is 値・含有鉄分値

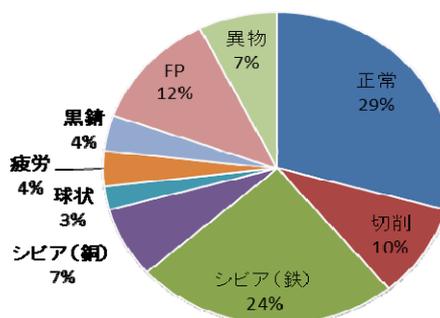


図-14 5レンジ超過 磨耗粉種

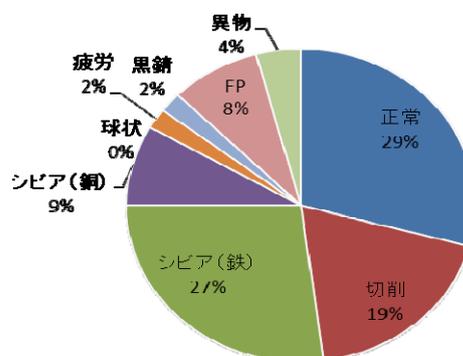


図-15 4レンジ超過 磨耗粉種

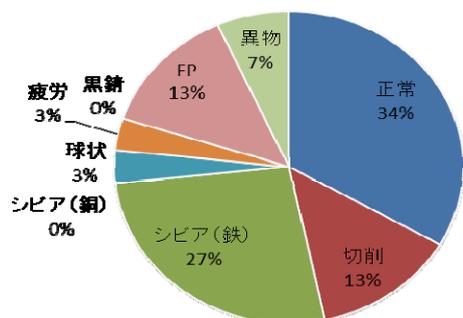


図-16 3レンジ超過 磨耗粉種

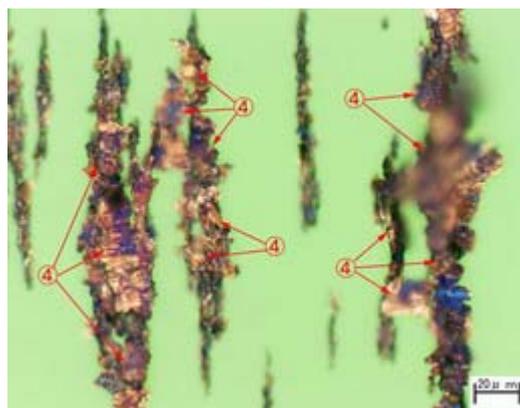


写真-4 シビア磨耗粒子 (写真中の④)

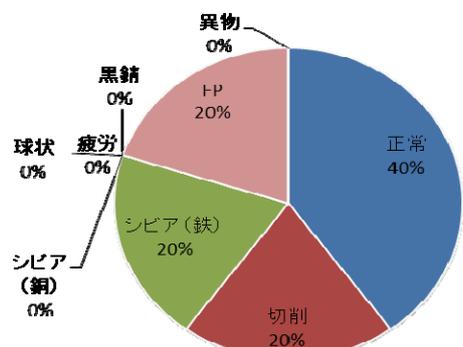


図-17 1レンジ超過 磨耗粉種

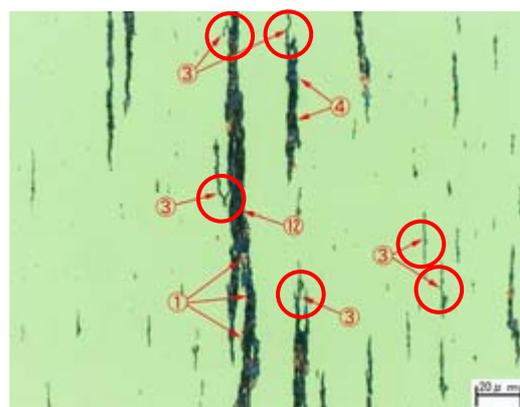


写真-5 切削磨耗粒子 (写真中の③)

表-9 磨耗形態の分類

磨耗の形態	名称	発生原因	形状
正常磨耗	スラッシング	表面磨耗の剥離、境界層剥離、剥離	10μm以下微細片
	なじみ	なじみ、粘着	長方形の薄片
切削	カッピング	硬い磨物の侵入、油膜物の剥離結果	
シビア(鉄)	シビアスライディング	片削り、すべり、衝突、衝突直	10μm<長方形-片削
	スライディング	すべり摩擦、高荷重、潤滑剤不足	10μm以上、ランダム形状
	球状	粘着、高圧、高荷重	球状(〜200μm)
疲労	スポット	ピッチング、スレーピング、すべり摩擦の発生	断面が約10μm以上
	クラック	疲労破断の発生、疲労破断後の剥離	10μm以上剥片も、不定形状
	チャック	すべり、転位形成の発生	5μm<薄片
	球状	粘着と疲労の発生	球状(〜100μm)
シビア(銅系) (ポリリン酸系)	銅合金	剥離、リブナー、ポンプの磨耗	黄白色
	ポリリン酸	結晶の磨耗	白色
化学変化	ポリリン酸(PP)	摩擦熱、油、添加剤などの化学反応	こぶ状、不定形
	反応生成物	異物等の侵入、反応物の生成	結晶状

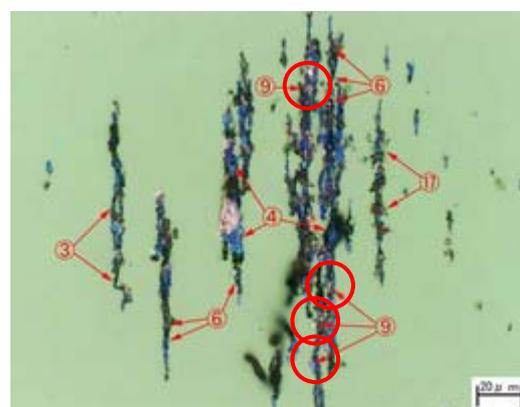


写真-6 疲労磨耗粒子 (写真中の⑨)



写真-7 銅系シビア磨耗粒子 (写真中の⑮)

#### (6) 磨耗分析のまとめ

今回の磨耗分析では、計数汚染度及び水分分析の結果から対象検体を50検体抽出した。その結果、全ての検体で計数汚染度がNAS12等級以上となり、等級ごとに磨耗度合いの検証を行うことができなかった。そこでデータを細分化し、5つに分かれるレンジ中、いくつかのレンジでNAS12等級を超えているかという要素で検証した。

その結果、NAS12等級を超えるレンジが「3レンジ」以上ある場合には、Is値（磨耗過酷度指数）の平均値はさほど高くないが、含有鉄分の検出が平均で10ppmを超え、かつ超過レンジ数が「4～5レンジ」であった場合には、潤滑状態が厳しいとされる「凝着磨耗」や、これが起こることで設備の劣化スピードが6倍（寿命が6分の1）になるといわれる「切削磨耗」の発生のあることが明らかとなった。

また、Is値（磨耗過酷度指数）が大きいほど、水分の混入割合が増加する傾向が確認されたことから、維持管理を行う上で、水分値も重要な要素となる。またその要因を特定する必要もある。

### 3. 4 樋門扉体部の水密ゴム状態調査

選定した調査対象樋門の扉体部の水密ゴムについて、劣化状態の調査を行い、設置環境、供用年数等により劣化傾向について分析を行った。

#### 3. 4. 1 水密ゴムの状態調査方法

樋門扉体部の水密ゴムは、4方水密（上部、下部、側部）が多く、ゴム形式としては、P形ゴム、平形ゴムを使用しているものが一般的である。今回の調査方法としては、目視によるゴムの損傷、変形、ひび割れ等の確認、デュロメータ（写真-8）によるゴム硬度の測定、ゴムの表面温度の計測、調査箇所環境データ（気温、湿度、天候）の計測及び記録写真の撮影を行った。なお、ゴム硬度の測定箇所は、全方を対象とし1方のゴムに対し3点とし、端部2点、中央部1点とした。測定は各点5回行い、その平均値を測定値とした。計測状況について、写真-9、10に示す。



写真-8 デュロメータ



写真-9 水密ゴム硬度計測状況その1



写真-10 水密ゴム硬度計測状況その2

#### 3. 4. 2 水密ゴムの状態調査結果の整理

水密ゴム状態調査について、ゴム劣化状況、ゴム硬度と各樋門の設置環境を整理することにより、劣化に影響の大きい要素について検証した。なお、検証にあたりゴム形式（P形ゴム、平形ゴム）、取付位置（上部、下部、側部）によって、ゴム硬度に大きな差異が見られるかどうかを検証したところ、今回計測の各平均値は全体平均値に対して±5%内にあることから、ゴム形式・取付位置による差異は大きくないと考えた。したがって、ゴム硬度の値は、各樋門毎の平均値を用いて行うこととした。

また、「損傷率」とは、現地調査の目視点検においてひび割れ・変形・亀裂及び接着面の分離などが確認された樋門の数が、各区分の全樋門数に占める割合を百分率に示したものである。

$$\text{損傷率} = (\text{目視点検で異常が見られた樋門数}) / (\text{各区分の全樋門数}) \times 100 (\%)$$

(1) 気候区による検証

気候区とゴム硬度・損傷率の関係を図-18に示す。気候区の違いによるゴム硬度の変動は見られず、関連性は確認できなかった。気候区と損傷率の間には、日本海側および太平洋側西部の樋門において高い傾向が見られた。

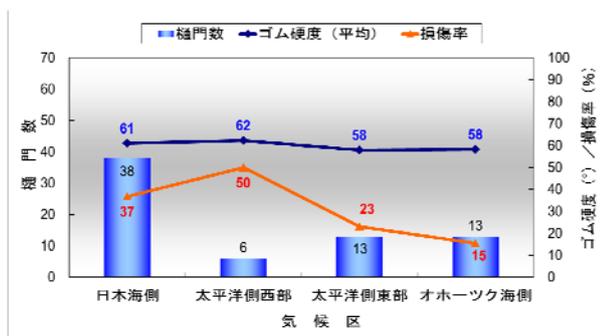


図-18 気候区によるゴム硬度と損傷率

(2) 供用年数による検証

樋門の供用年数とゴム硬度・損傷率の関係を図-19に示す。供用年数とゴム硬度については、供用年数25～30年の樋門において他の年数に比べて高い(10%程度)傾向が見られる。供用年数と損傷率については、0～5年及び5～10年の樋門においては水密ゴムの変形などの目視異常は確認されなかったが、供用年数10年以降の樋門では、30～40%程度で損傷が見られた。

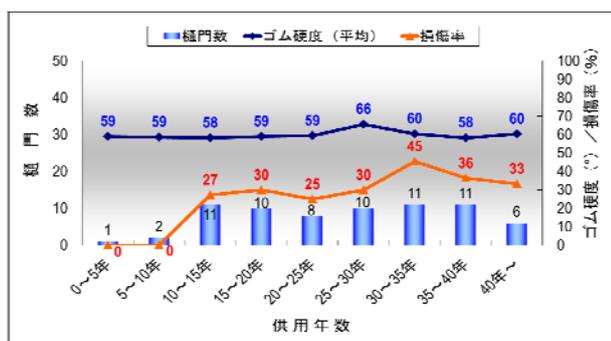


図-19 供用年数によるゴム硬度と損傷率

(3) 塩分遡上域による検証

塩分遡上域とゴム硬度・損傷率の関係を図-20に示す。塩分遡上域と淡水域において、ゴム硬度の変動は見られず、関連性は確認できなかった。

損傷率については、塩分遡上域においてやや高い傾向が見られた。

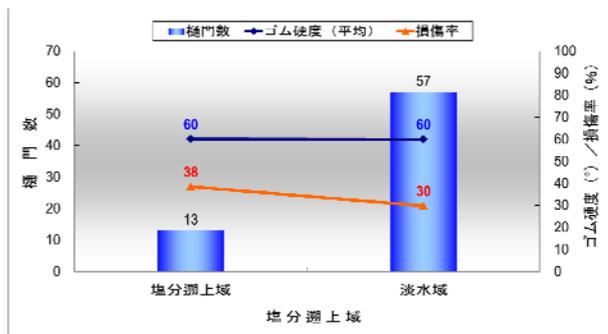


図-20 塩分遡上域によるゴム硬度と損傷率

(4) 設置方位による検証

設置方位とゴム硬度・損傷率の関係を図-21に示す。設置方位の変化によるゴム硬度の変動は見られず、関連性は確認できなかった。

設置方位と損傷率については、西向き、北西向きの樋門でやや高い傾向が見られる。

なお、上部水密ゴムは、側部および下部に比べて日照時間が長いと想定されるため、個別に整理を行ったが、ほぼ、同程度のゴム硬度となっていることから、差異はないことがわかった。上部水密ゴムの硬度は、「ゴム硬度(上側)」として記す。

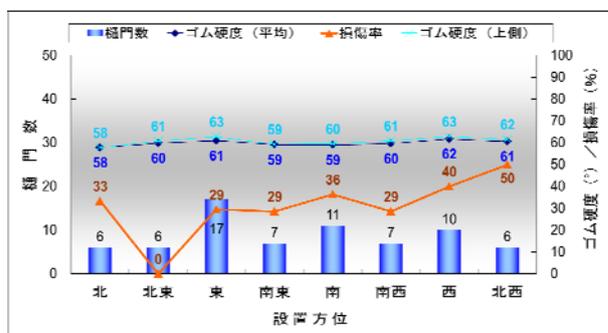


図-21 設置方位によるゴム硬度と損傷率

(5) 水密ゴム状態調査のまとめ

今回の状態調査では、簡易な判断手法のツールとしてデュロメータを用いたゴム硬度測定と水密ゴムの損傷率に着目し、設置環境による整理を行い劣化傾向の検証を行ったが、設置環境による特筆すべき傾向は見られなかった。

しかし、供用年数と損傷率の関係においては、供用年数10年以降の樋門について、損傷率が30～40%程度であることがわかった。一方、ゴム硬度と供用年数の関連性は確認できなかった。

4. 河川用機械設備の維持管理に関する現況調査

4.1 現況調査箇所の選定（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。冬期間の樋門設備の現況を確認し、積雪や凍結が樋門設備に与える影響等の基礎資料の収集を目的として、北海道開発局が管理する河川用樋門設備の内、道東地区の12樋門において現況調査を実施した。なお、対象樋門の選定にあたっては、3.1.1東北地方太平洋沖地震において、津波が河川を遡上した痕跡が確認された区間までとした。

調査対象樋門を表-10、調査対象箇所図を図-22に示す。

表-10 調査対象樋門

対象河川名	数	対象区間
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



図-22 冬期樋門調査対象箇所図

4.2 現況調査の実施時期及び調査内容

現況調査は、平成24年3月1日～2日に実施した。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
- 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

4.3 現況調査の結果

現況調査の結果、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。オートゲートにおいては、扉体が結氷しており、開閉できない状態であった（写真-11）。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。調査結果一覧を表-11に示す。写真-12、13に冬期状況の一例を示す。

表-11 冬期樋門調査結果一覧

樋門名	調査日	積雪深(cm)		全高(cm)	氷厚(cm)	水深(cm)	気温(℃)	風向	水温(℃)	方位	
		天候	堤防管理橋ゲート開口部								
大津市街樋門	3月1日	-	22	68	53	53	-	2.2	東南東	-	北西
オーバーリンクゲート	晴	除雪済	管理橋無	全氷							
大津第2樋門	3月1日	28	-	16	42	42	-	2.4	東南東	-	西
スライドゲート	晴			全氷							
大津樋門	3月2日	14	-	12	58.5	48	10.5	3.0	北北西	0.5	北
ローラーゲート	晴										
寒寒平樋門	3月2日	19	17	29	9.0	4.0	5.0	2.1	北北西	0.5	東北東
ローラーゲート	晴										
旅来第1樋門	3月2日	17	37	16	68	68	-	2.4	北北西	0.5	北北東
ローラーゲート	曇										
旅来第2樋門	3月2日	23	34	42	33	29	4.0	1.2	北	0.5	南東
スライドゲート	晴										
十勝太東5線樋門	3月2日	-	47	-	85	50	35	0.6	北北西	0.5	南
ローラーゲート	曇	除雪済									
豊北樋門	3月2日	10	-	60	208	77	131	0.3	北北西	0.5	北東
フラップゲート	曇		管理橋無								
豊北第1樋門	3月2日	40	40	31	83	82	1	0.2	北北西	0.5	南東
ローラーゲート	曇										
静内川第1樋門	3月2日	68	68	-	86	76	13	0.3	北	0.8	南西
オートゲート	曇										
浦幌太樋門	3月2日	22	90	7	-	-	-	0.2	北	-	東南東
ローラーゲート	曇			測定不能	測定不能	全氷					
朝日樋門	3月2日	45	45	7	-	-	-	0.8	北	-	北東
ローラーゲート	曇			測定不能	測定不能	全氷					



写真-11 オートゲート冬期状況



写真-12 スライドゲート冬期状況



写真-13 ローラーゲート冬期状況

#### 4. 4 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 (2011) 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浦幌観測所データを使用した。2001～2011 年度 12 月～3 月までの気温、積雪、降雪を整理した (図-23)。

その結果、2011 年度は、気温は過去 10 年間で最も低かったため開氷期の 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みられた。降雪量は 2003 年度や 2009 年度ほど多くないが、2011 年度は気温が低かったため融雪が進まず、その結果、積雪量は過去 10 年間で最も多くなったと考えられる。

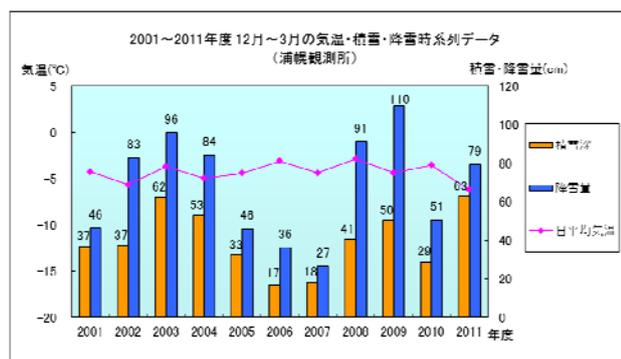


図-23 気温・積雪・降雪データ

#### 5. まとめ

平成 23 年度は、既存資料の収集整理及び河川用樋門の劣化状況、環境条件を把握するため、主に現地調査を実施した。その結果以下のことが明らかとなった。

##### (1) 樋門開閉装置の潤滑油状態調査

潤滑油の劣化、汚染、潤滑状態 (磨耗) について分

析を行った。劣化については、性状分析の結果、粘度、酸化劣化はほぼ問題がないこと、水分は、6 検体で基準値を超える結果が見られたが、全体的には混入量に問題はないことがわかり、劣化状態は、ほぼ問題がないことがわかった。

汚染度については、全体的に思わしくなく、通常ギヤの汚染度を管理する NAS12 等級を超過する検体が全体の約 49% となり、非常に汚染比率が高いことがわかった。

潤滑状態 (磨耗分析) については、計数汚染度及び水分分析の結果から抽出した 50 検体を対象に実施した。その結果、磨耗状態が良好と判断された検体が 12 検体、やや厳しいと判断された検体が 31 検体、厳しいと判断された検体が 7 検体となった。

磨耗分析と計数汚染度 (NAS 等級) について、NAS 等級のサイズレンジ分け (5～15 $\mu$ m、15～25 $\mu$ m、25～50 $\mu$ m、50～100 $\mu$ m、100 $\mu$ m 以上) により、いくつかのレンジで NAS12 等級を超過したのかを基に検証を行った。その結果、全超過レンジ数において、異物の噛み込みによって発生する「切削粒子」の割合が 10～20% と高い傾向を示しており、1 つのレンジでも NAS12 等級を超過した場合、異物の混入及びそれを起点とした「切削磨耗」が発生していることが明らかとなった。

以上のことから、計数汚染度 (NAS 等級) が樋門開閉装置の潤滑油管理の重要な要素となり得ることがわかった。また、水分についても、Is 値 (磨耗過酷度指数) が大きいほど、水分の混入割合が増加する傾向が確認されたことから、同じく重要な要素と考えられる。

また、管理基準値を大きく逸脱した 4 検体については、混入要因を明らかにし、維持管理の目安としていく必要がある。

今回の調査では、潤滑油の経過年数が不明な検体が多かったため、潤滑油の使用年数による検証ができなかった。今後は、潤滑油の使用年数と計数汚染度の関係及び計数汚染度を低下させる潤滑油の交換方法、さらに水分混入の要因等について調査、研究を進めていく。

##### (2) 樋門扉体部の水密ゴム状態調査

平成 23 年度の調査では、簡易な判断手法のツールとしてデュロメータを用いたゴム硬度測定と水密ゴムの損傷率に着目し、設置環境による整理を行い劣化傾向を検証したが、設置環境による特筆すべき傾向は見られなかった。

しかし、供用年数と損傷率の関係においては、供用年数 10 年以降の樋門について、損傷率が 30～40% 程

度であることがわかった。

### (3) 冬期樋門の現況調査

本年度は、道東地区の12樋門について現況調査を実施した。その結果、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。オートゲートにおいては、扉体が結氷しており、開閉できない状態であった。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。

今後も他地域での現地調査等により基礎資料収集を進め、問題点等を抽出し、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) 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
- 7) 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>

## 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

**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.

This year, existing materials were collected and organized, and field surveys were conducted to identify degradation and environment conditions of sluice ways for rivers. The results revealed that lubricating oil used for sluice way operating apparatus tended to be highly contaminated and were found to be closely connected to the wear status of devices, indicating that lubricating oil management for sluice way operating apparatus can be an important factor in maintenance.

**Key words** : river mechanical equipment, maintenance, sluice way operating apparatus, lubricating oil, water-tight rubber