

排水樋門の扉体修繕に関する コスト縮減事例の紹介

森脇 茂樹

近畿地方整備局 京都国道事務所 管理第二課 (京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動町808)

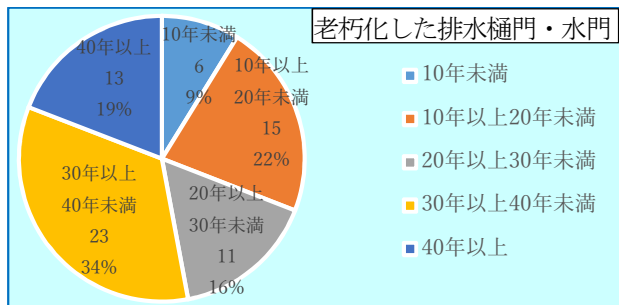
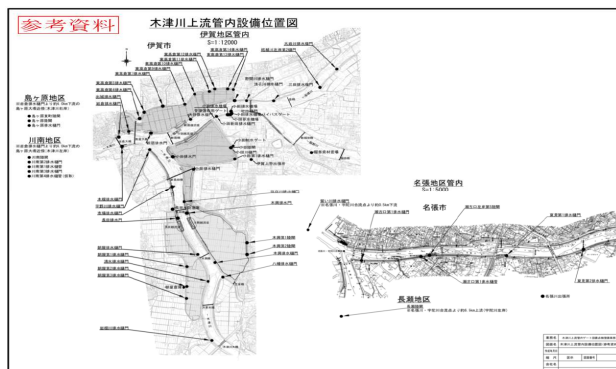
木津川上流河川事務所では樋門・水門59箇所68門を管理しているが、これら施設を適切に維持管理するには多大な維持管理コストが必要となり財政的に厳しい事務所の現状では喫緊の課題である。今回の発表は課題解決の一助となる事例を紹介するものである。

老朽化のため200箇所を超える不具合箇所の修繕を効率的に対策を行うため、不具合数の分類を行い、効率的な修繕に取り組んだ。本論文では、これらのうち、特に問題であった、ローラ式ゲートのローラ固着問題について、ローラを構成するどの部品がなぜ、どのように固着するか、対策、そのときの注意点について調べたことをまとめたものである。

キーワード コスト縮減, ゲート設備, ローラ固着, 滑り軸受, 滑剤, 四フッ化エチレン, 黒鉛

1-1. 老朽化した排水樋門・水門

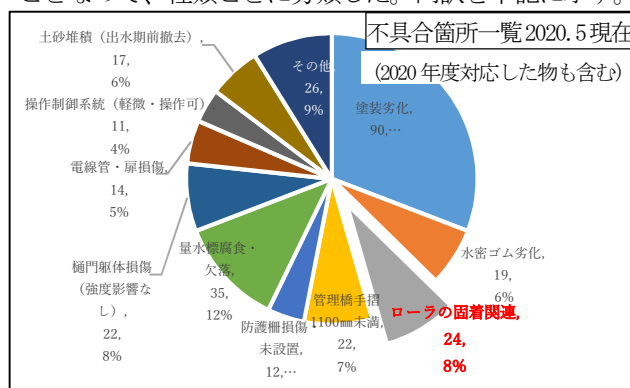
木津川上流河川事務所では直轄河川112kmを管理しており、そこには合計59箇所68門の排水樋門・水門が設置されている。半数以上が設置後30年以上経過している。



1-2. 排水樋門・水門の不具合箇所

老朽化が進んだ結果、不具合箇所が一気に増加し、2020年5月の不具合発見箇所は292箇所であった。(ただし2020年度末は121箇所の対策は完了。)

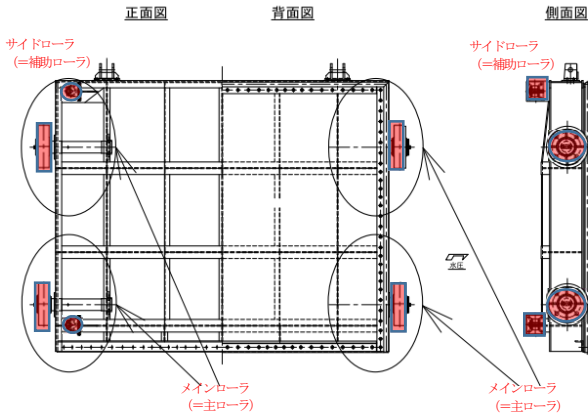
軽微だが数多くの不具合箇所の修繕を効率的に行うには、優先的に修繕する項目を選定し、まとめて修繕することなので、種類ごとに分類した。内訳を下記に示す。



1-3. ローラの固着は優先的に対策すべき箇所

ゲートの開閉操作時の開このうち最も機能に影響する不具合は、ローラの固着に関するものである。

閉荷重低減のために取り付けられており、開閉荷重が設計値を上回るとは運転に支障をきたすおそれがあるため優先度が高い。



2-1. ローラの固着の程度

ローラの動作点検は、点検員が直接ローラを手で回して行っており、昨年度の点検結果は次のとおりだった。

R2の点検結果よりローラ部分抜粋

設備名称	不良箇所及び状況	評価	初回確認年月
新居排水門	扉体主ローラ-固着	△1	H29年
出城排水樋門	扉体主ローラ-固着	△2	H29年
出城排水樋門	扉体補助ローラ-固着	△1	H30年
岩倉排水樋門	主ローラ-固着	△2	H29年
岩倉排水樋門	扉体補助ローラ-固着	△1	R1年
大坪排水樋門	扉体主ローラ-固着	△2	H29年
野間川排水樋門	サイドローラ-固着	△2	H29年
野間川排水樋門	主ローラ-上部2箇所固着	△2	H30年
小田新田排水樋門	扉体主ローラ-固着	△1	H29年
小田排水機場吐出樋門	主ローラ、サイドローラ-固着	△2	H29年
小田排水門	主ローラ、サイドローラ-固着	△2	H29年
小田排水門	主ローラ、サイドローラ-固着	△2	H29年
小田第1排水樋門	扉体ローラ-固着	△3	R2年
小田陸開	サイドローラ-固着	△1	R1年
大岩川排水樋門	No.1、No.2主ローラ、サイドローラ-固着	△2	H29年
柘植川左岸第2樋門	No.1、No.2サイドローラ-固着	△2	H29年
木興排水門	扉体ローラ-固着	△3	R2年
往古川排水樋門	サイドローラ、一部固着	△1	H30年
長田排水門	主ローラ、一部固着	△2	H30年
平野川排水樋門	主ローラ-固着、サイドローラ-固着	△1	H29年
朝屋排水樋門	扉体主ローラ-固着	△2	H29年
清水排水樋門	扉体ローラ-全箇所固着	△1	R2年
岩根川排水樋門	主ローラ-固着	△2	H29年
瀬古口第1排水樋門	主ローラ-固着	△2	H29年

修繕の優先順を決定する際に、固着気味についてどの程度の固着かが不明である問題があった。また、当事務所のように点検対象設備が多い場合、複数班で点検を行うが、点検者による判断のバラツキの問題があった。

2-2. ローラ固着程度の判断方法の提案

そこで、ローラの固着の有無・程度を判断できる点検方法について、①点検者によるバラツキがなく、②固着ぎみの程度が正確に判断でき、③特殊な器具を使わない安価な方法、を考えた。

ローラの点検は点検員がローラを手で回して確認するが、複数の異なる回し方で判断する方法を考案した。

A	全く廻らない
B	B1 両手で何とか廻る
	B2 両手で廻る
	B3 両手で軽く廻る
C	C1 片手で何とか廻る
	C2 片手で廻る
	C3 片手で軽く廻る
D	D1 指で何とか廻る
	D2 指で廻る
	D3 指で軽く廻る

この妥当性について、A, B, C, Dのレベルが点検者により変わることがなければ妥当な点検方法といえる。これについて以下の考察をした。

統計情報（日本の握力平均）では、握力の差は年齢・性別の差に関係なく、最大と最小の比は2倍以下である。このことから、点検員の体力について最大と最小の比が2倍以下になる確率は非常に高い。

両手と片手の差（BとCの差）は2倍程度と考えられる。指と手の力の差（CとDの差）は2倍以上と考えられる。つまり、AとB, BとC, CとDのそれぞれの力の差 2倍以上 > 体力の個人差 2倍程度以下 点検者の個人差による影響は出にくい。よって、妥当と言える。

日本の握力平均(平成26年度)

年齢	男性平均	女性平均
20~24歳	46.46kg	28.24kg
25~29歳	47.26kg	28.15kg
30~34歳	47.36kg	28.73kg
35~39歳	47.64kg	28.97kg
40~44歳	47.23kg	29.12kg
45~49歳	46.62kg	29.21kg
50~54歳	46.31kg	28.04kg
55~59歳	44.90kg	27.51kg
60~64歳	42.87kg	26.01kg
65~69歳	39.77kg	24.72kg
70~74歳	37.46kg	23.75kg
75~79歳	35.02kg	22.34kg

文部科学省データより

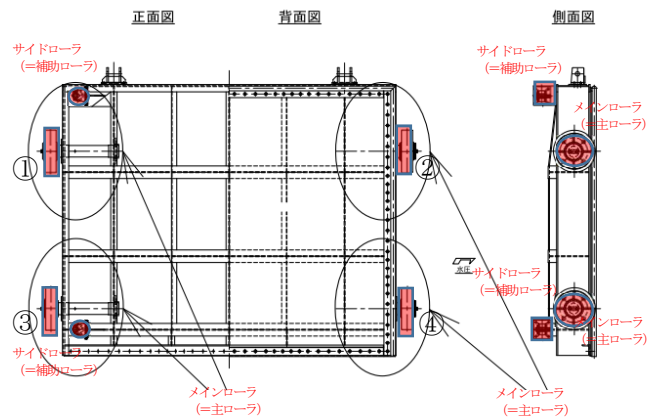
2-3. ローラ固着程度の判断の実施結果

上記の点検表に基づき、ローラの問題箇所の再点検を行った（下表）。実施結果は次のとおりである。

R2点検結果後のローラ固着程度の判断

設備名称	R2点検結果	評価	再点検再評価				整備レベル	不具合確認	経過年数
			①番	②番	③番	④番			
出城排水樋門	メインローラ 固着	△2	B1	B1	B2	B2	R2軸受取替実施	H29年	10年経過
岩倉排水樋門	メインローラ 固着	△2	C1	C1	D1	D1	軸受取替計画	H29年	20年経過
小田新田排水樋門	メインローラ 固着	△1	A	A	A	A	軸受取替計画	H29年	26年経過
小田排水機場吐出樋門	メインローラ 固着	△2	A	B1	C3	D2	軸受取替計画	H29年	25年経過
小田第1排水樋門	サイドローラ 固着	△1	-	-	A	C2	軸受取替計画	R2年	20年経過
往古川排水樋門 (2門)	メインローラ 固着	△1	C2	C2	C1	C2	軸受取替計画	(1号) H30年	16年経過
平野川排水樋門 (2門)	メインローラ 固着	△1	D2	C2	D3	C2	軸受取替計画	(2号) H29年	22年経過
清水排水樋門	メインローラ 固着	△1	C2	D2	D1	D1	整備しない	(1号) H29年	20年経過
	サイドローラ 固着		C2	D3	D3	D3			

扉体



一般的なローラゲートは下記のとおり、メインローラ

4個、サイドローラ4個が取り付けられており、ローラの取り付け場所は図のとおりで、点検結果表とは番号の位置が同じである。

再点検しところ、固着気味の判断は点検者によって大きく異なっていた。

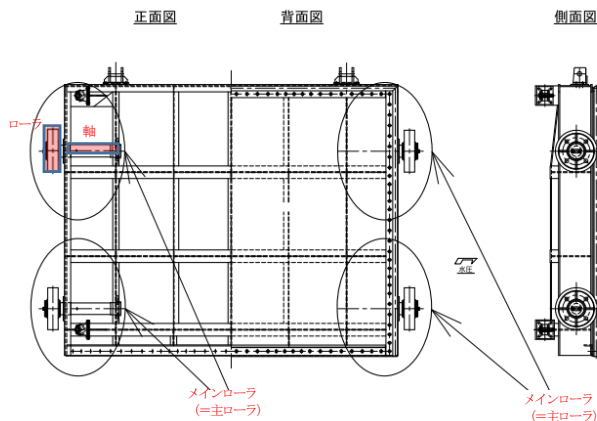
固着気味の評価のものには、回すことが困難なものから、力を入ると回せるものまで存在した。

このチェックシートで点検すると、固着の程度が明確になり、点検員によるバラツキは減ると思われる。

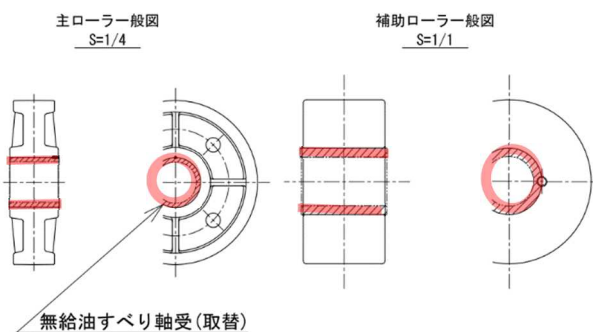
3-1. ローラの構造と固着原因の推測

ローラの位置とローラの詳細図は下記のとおりである。

メインローラ及びサイドローラ共に、ローラと軸を組み込み、それをゲート本体に取り付けている構造である。



ローラを拡大するとこのような構造である。



メインローラ（主ローラ）とサイドローラ（補助ローラ）は同じ構造である。

ローラのすべり軸受はピンで固定されており、軸に対してローラ及びすべり軸受が一体で、回転する構造である。

固着する原因は、軸表面とすべり軸受表面の摩擦が大きくなる問題と考えられる。

その原因は、①鏽、②異物混入等、が考えられるが、軸と軸受の隙間は、メインローラφ100の場合で0.372mm～0.461mmであり、サイドローラφ30の場合で0.280mm～0.356mmの加工精度で作られている。このため、異物混

入は考えにくい。

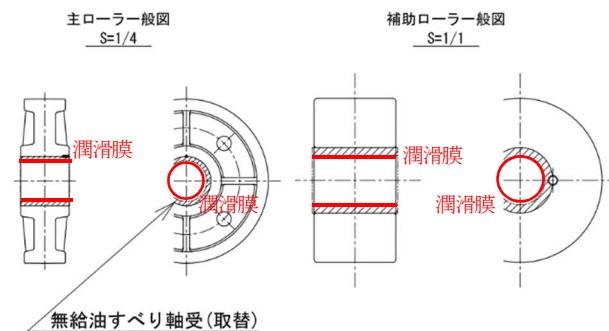
3-2. 滑り軸受の動作原理

摩擦力低減を目的とした軸受は、ベアリング等の転がり軸受、プッシュとも呼ばれる筒状のすべり軸受、磁力で軸と軸受の離隔を確保する磁気軸受、軸の周辺を流体で満たした流体軸受に分類される。ゲート設備では摩擦低減には多少劣るものの軸との隙間を小さくできることからよくすべり軸受が採用されている。

固着気味のものは、すべて、滑り軸受けであった。

滑り軸受けの動作原理は、ローラに組み込まれたすべり軸受と軸との間に潤滑膜が形成されることで、摩擦低減の機能を果たす。

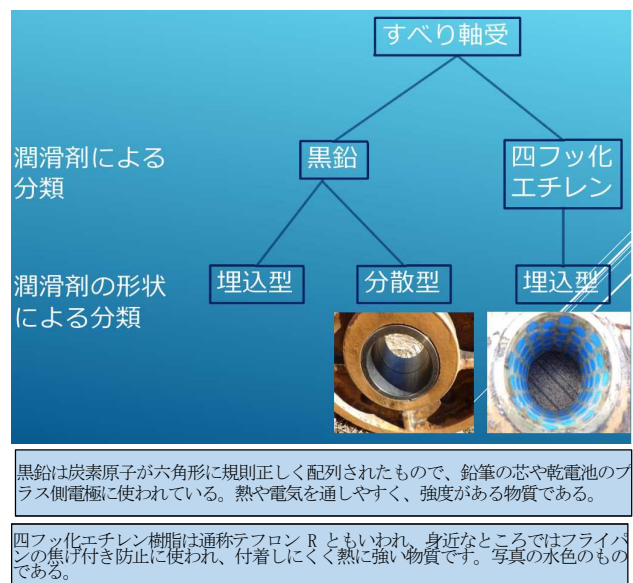
潤滑剤がすべり軸受に埋め込まれており、回転摩擦により削られて、軸と軸受の間に潤滑膜が形成される。



3-3. ゲートに使用するすべり軸受について

材質に着目すると、潤滑膜を形成するための潤滑剤は、『黒鉛』と『四フッ化エチレン』がある。

潤滑剤の形状に着目すると、軸受に埋め込む方法は、築受けに開けられた穴にチップとして埋め込む『埋込型』と、細かい粒と軸受を一体成型させる『分散型』がある。

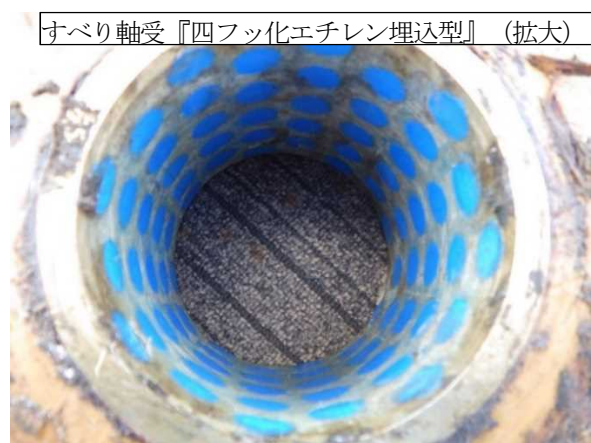


○すべり軸受『埋込型』の例

写真は黄銅製すべり軸受の四フツ化エチレン埋込型が、ローラにとりつけられている状態。軸から外した状態の写真。青色のチップが四フツ化エチレンのチップである。



すべり軸受『四フツ化エチレン埋込型』



すべり軸受『四フツ化エチレン埋込型』(拡大)

○すべり軸受『分散型』の例

写真は青銅製すべり軸受の黒鉛分散型が、ローラにとりつけられている状態。軸から外した状態の写真である。下の拡大写真では、黒鉛の黒く細かいのチップが青銅の中に点々と混ざっている。青銅を溶かして黒鉛の粒と一体成型するためこのようになる。



すべり軸受『黒鉛分散型』



すべり軸受『黒鉛分散型』(拡大)

3-4. 固着したローラを分解

ローラの軸受の交換方法について軸受メーカーに問い合わせたところ、「通常、軸受は油圧ジャッキ類で外すが、外れなかった場合は壊すしかない」とのことから、壊さずに外して固着原因を調べることを優先し、**固着しているなかで最も程度のいいゲート「出城排水樋門ゲート」**を選定し、分解整備をした。



出城排水樋門ゲートとローラ取り外し作業



ローラ取り外して露出した軸

- ローラはジャッキで外すことができた。
- 表面は硬くなったグリスが付着
 - 四フツ化エチレンの潤滑膜は形成されていない

メインローラを外したところ、表面は硬くなったグリスが付着しており、粘りがあった。また、**四フツ化エチレンの潤滑膜は形成されていなかった。固着もしくは固着気味だった原因は劣化したグリスであった。**

グリスは、外気に長期間さらされると油分の減少、油

分の酸化、潤滑剤、増ちょう剤の凝集による粘性が増加して劣化する。粘性が増加している状態であった。



○表面は劣化により粘性が増加したグリスが付着
○四フッ化エチレンの潤滑膜は形成されていない

(費用) 分解組立35万円、軸取替10万円、
軸受50万円、ローラー150万円、合計245万円
(50年コスト) 245万円×50年/30年=408万円
加工精度がいいので30年で試算

(※) 加工精度については、軸と軸受の隙間は、メインローラφ100の場合で0.372mm~0.461mmであり、サイドローラφ30の場合で0.280mm~0.356mmとなっている。

長期的に (50年コスト) 見ると最安価な②案で行った。加工精度については、当初の施工が設計値に対して申し分ない精度を確保されていたため、問題なく滑り軸受の取り付けはできた。

3-5. コストを重視した修繕方法

原因がグリスの劣化によるものであることを確認したが、修繕方法については、以下の3とお考えられる。費用については1門 (メインローラ4個+サイドローラ4個=計8個) あたりである。

① 古いグリスを灯油で洗浄し、再度グリスを塗って組み立てる。

(長所) 分解・組立・洗浄の費用のみで、材料は発生しないので短期的には安価。

(短所) ただし、10年程度毎の固着気味の症状があるので、長期的に見ると高額。

(費用) 分解組立35万円、軸受分解組立10万円、
洗浄10万円 合計55万円

(50年コスト) 55万円×50年/10年=275万円

② グリス不要の軸受けに交換。

(長所) 長寿命が期待できる。

分解・組立・材料 (軸受け) の費用なので、比較的安価。

(短所) 現在軸の形状が設計寸法に対して、実際に加工した寸法が不明。加工精度は交差の範囲で加工されていることのみわかっている。

軸受けを製作する際に設計値寸法で製作すると組み込めない心配がある。軸受けの穴は交差の範囲で大きめにし、加工精度管理 (※) を慎重に行う必要がある。

(費用) 分解組立35万円、軸受取替10万円、
軸受50万円、 合計95万円

(50年コスト) 95万円×50年/20年=238万円

グリス固着がなければ20年はもつので20年で試算

③ ローラ、軸、軸受けをセット交換する。

(長所) 軸の加工精度と軸受けの加工精度 (※) については、同一工場での加工なので、**精度管理の問題はない。**

(短所) 分解組立・材料 (ローラ・軸・軸受け) の費用なので、高額。

3-6. 設置時に軸受けグリスを塗布していた理由

すべり軸受は、ダム堰施設技術基準では無給油軸受ともいい、潤滑剤は黒鉛もしくは四フッ化エチレンの潤滑膜で摩擦低減するが、この出城排水補門ゲートでは潤滑剤に四フッ化エチレンを使用して、グリスを用いていた。その理由について、調べた。

四フッ化エチレンを潤滑剤とするすべり軸受のメーカーカタログにも**初期の潤滑膜形成のためグリスを塗布**する記載があった。四フッ化エチレンの潤滑剤をする場合はグリスの塗布が必要である。

他のローラの固着に関する不具合があるゲートについて調べたところ、すべて潤滑剤に四フッ化エチレンを使用するすべり軸受を使用していた。

潤滑剤の四フッ化エチレンはひっつきにくい性質があるので、軸や軸受に付着して初期潤滑膜を作ることが困難である。このためグリスを塗布していた。

3-7. すべり軸受に使用する潤滑剤 (四フッ化エチレンと黒鉛) の比較と考察

すべり軸受の潤滑剤に使用する四フッ化エチレンと黒鉛について、ダム堰施設技術基準の滑り軸受の記述と比較する。

四フッ化エチレンについては形状は分散型はないので埋め込み型で比較する。

黒鉛については形状は分散型と埋め込み型があるが、ゲートに使用する場合は、分散型が使用できる状況では分散型が有利なので、これで比較する。

項目	四フッ化エチレン	黒鉛
○すべり摩擦係数0.2以下。 青銅系は0.15、黄銅系（面圧1N/mm2程度の場合）0.23	黄銅系 △	青銅系 ○
○原則は異種間金属腐食を起こさない四フッ化エチレン。	○	△ 腐食検討
○軸受面圧14N/mm2以下は青銅系も可能。	○	○
○分散型は黒鉛が主流になるため、電位差腐食の恐れがあるので定期的に給油が望ましい。	— ※1	— ※2
○分散型は低頻度運転、間欠運転、微小運転等の潤滑膜に形成されにくい使用条件に適合する。	× ※3	○
○初期潤滑をよくするため固形潤滑剤と同成分のコーティング剤を塗布して取り付けるのが望ましい。	× ※4	○ ※5

（※1）四フッ化エチレンの分散型はない。

（※2）滑り軸受けの国内シェアトップクラスメーカーによると黒鉛塗布後に給油は厳禁。黒鉛製品国内シェアトップクラスのメーカーによると、潤滑剤として使用している黒鉛に給油すると摩擦が大きくなり、加熱されるので、油が燃えることもあるとのこと。

（※3）適合しない。現場は低頻度運転。四フッ化エチレンの分散型はない。

（※4）四フッ化エチレンと同成分のコーティング剤はない。これとメーカー仕様にもあるので、グリスを塗布した可能性がある。

（※5）メーカー仕様でも据付時に黒鉛コーティングを行う。

結論：異種間金属腐食の検討をして問題なければ、黒鉛分散型は固着の問題は解決し、適合性が高い。

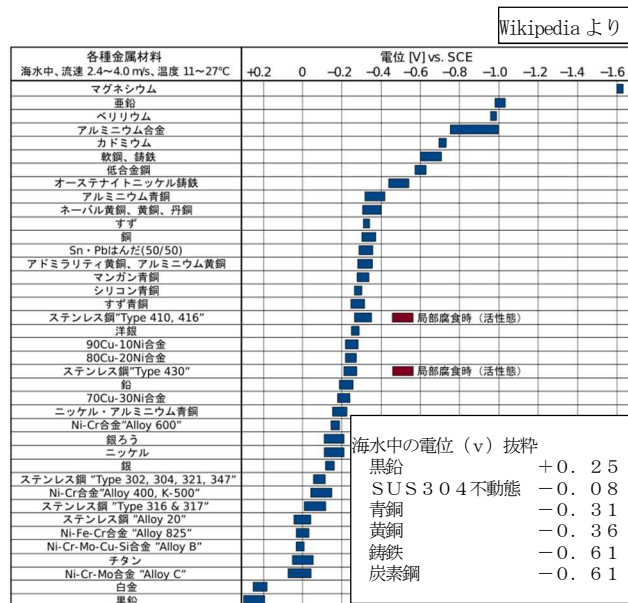
念のため、すべり軸受の潤滑剤に黒鉛を使用した実績を確認すると、民需では屋外設備でも数多く使われている。また、ゲートに着目して、国内トップクラスメーカーの使用実績資料によると、電力会社、国（関東が圧倒的に多いが、全国的に使用実績あり）、自治体と数多く使われている。

3-8. 異種間金属腐食について

二種類の金属の電位差から水分のあるもとで、電流が流れて電位の低い方の金属が酸化腐食する現象である。

電気腐食の試験方法は食塩水中で電圧を測定するもの

であり、海水中の電位は試験結果と同じなので、あちこちで公開されている。しかし、淡水中のデータは公開されているものがない。腐食のしやすさの順位は変わらないので参考にする。



黒鉛メーカー、滑り軸受メーカーの話では、
○海水中（食塩水中）ではこの表のとおり金属の腐食が起こりやすい。

○ただし、塩分を含まない水の場合は、潤滑剤として黒鉛を使用しても、青銅やステンレス等の金属には問題はない。
○使用する金属が腐食性が低ければ問題ない。

以上から、

- 水門・水車用として耐腐食性を向上させた青銅合金（青銅よりもさらに耐腐食性向上）の製品。
 - 使用条件が、常時、乾燥状態であり、出水時にゲートを稼働させたときのみ水中（淡水）の状態である。
 - ゲート、水車等の水中での使用実績が多数（数十以上）ある製品。
- の、条件を満たせば問題ないと判断。

3-10. 今後の課題

固着問題が解決したが、稼働頻度が少ない当該現場においても、黒鉛の潤滑膜が確保されているか、長期に確認しておく必要がある。

この確認方法については、前述の点検シートを活用して、点検車による判断のバラツキがないように配慮しながら行う。

謝辞

本論文で紹介したことは、既存資料の調査や現地の詳細な調査の協力者、発注者の提案に対して、コスト削減を考慮した修正提案をしてくれる受注者の協力で実施できたものである。設備維持修繕業者の(株)上田新工業、そして、木津川上流河川事務所の管理部門職員・技術員に感謝するものである。