

土 木 研 究 所 資 料

河川・ダム施設防食ガイドライン(案) 共通編

平成16年2月

独立行政法人土木研究所
材料地盤研究グループ

河川・ダム施設防食ガイドライン(案)

共通編

材料地盤研究グループ新材料チーム

上席研究員 明嵐政司

主任研究員 守屋 進

主任研究員 西崎 到

要 旨

河川・ダム施設の防食対策には、塗装、電気防食、ステンレス材料、アルミニウム合金材料などの方法がある。本ガイドラインは、適切な防食方法の選定のための資料として、これらの防食方法の特徴をまとめるとともに、構造物の条件に応じた選定の考え方をとりまとめた。

キーワード：河川管理施設、防食、塗料、電気防食、ステンレス材料、アルミニウム合金材料

まえがき

河川・ダム施設は洪水調節や灌漑用水・飲料水の確保並びに発電などの、国民の生命・財産の保全に欠かせない施設である。これらの施設の鋼構造物は、水を制御したり利用するための重要な設備であり、複雑な構造をした多くの部材で構成されているものが多い。またこれらの設備は水に接していることが多く、厳しい腐食環境にあるものが多い。さらにその維持管理は、雪解けや洪水期には行えないなど、実施可能な期間が限られていることが多い。これらのことから、河川・ダム施設の機能を長期にわたって維持するためには、適切な防食対策が必要である。

河川・ダム施設の防食方法は従来より塗装により行われてきたが、近年では腐食しにくい材料や電気防食などの新しい防食方法が開発されている。また、塗料でも防食性能に優れた新しいものが開発されつつある。土木研究所では、これらの新しい防食方法の適用方法をそれぞれの方法について、「河川・ダム施設防食ガイドライン（案）－塗料・塗装編－」、「同－ステンレス材料編－」、「同－アルミニウム合金材料編－」、「同－電気防食編－」を策定し、技術の普及に努めてきた。しかし、これらの防食方法の特徴やその選定方法を記したものはこれまでなかったため、ここに「河川・ダム施設防食ガイドライン（案）－共通編－」としてとりまとめた。

本ガイドラインは既存の4種類のガイドラインの主要な内容を取り込んだ上、各防食方法を共通の視点から比較検討したものである。現在の一般的に普及している防食方法にはこだわらず、河川・ダム施設の防食に効果が高いと考えられる方法を積極的に取り入れ、劣ると考えられる方法は除外するという基本的な考え方は、これまでの「河川・ダム施設防食ガイドライン（案）」の各編と変わらない。このため現用の基準類とは異なる部分もある。本ガイドラインが河川・ダム施設の防食方法選定の一助となり、河川・ダム施設の維持管理費用及び労力の軽減並びに長寿命化に寄与することが出来れば幸いである。

河川・ダム施設の防食技術研究会名簿

委員長	岡崎治義	(社) 日本建設機械化協会 専務理事
副委員長	菅原次郎	国土交通省 東北地方整備局道路部機械課長
委員	真幡康雄	国土交通省 東北地方整備局道路部機械課課長補佐
	唐澤則次	国土交通省 関東地方整備局道路部機械課課長補佐
	明嵐政司	独立行政法人 土木研究所 新材料チーム 上席研究員
	木村哲夫	(社) 鋼材倶楽部 土木専門委員会委員長
	花崎昌幸	(社) アルミニウム協会 土木製品開発委員会 耐食性部会
	樋口忠正	(株) ナカボーテック 取締役 技術本部長
	小島治久	石川島播磨重工業 (株) 鉄構事業部水門設計部 部長
	土居一幸	新日本製鐵 (株) 鉄構海洋事業部 建設技術部 部長代理
	門出 進	日本ペイント (株) 鉄構塗料部技術グループ マネージャー
幹事	守屋 進	独立行政法人 土木研究所 新材料チーム 主任研究員
	西崎 到	独立行政法人 土木研究所 新材料チーム 主任研究員
事務局	金井浩一	(財) 土木研究センター技術研究所 研究開発四部 研究員

(平成14年2月現在)

河川・ダム施設の防食技術研究会 共通編作成WG名簿

委員	松岡和巳	新日本製鐵 (株) 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 主幹研究員
	田中成人	日鉄防蝕 (株) エンジニアリング事業部営業開発部長
	幸 英昭	住友金属工業 (株) 総合技術研究所 厚板・建材研究開発部 部長研究員
	南 孝男	住友金属テクノロジー (株) 受託研究事業部 部長
	平井陽一	石川島播磨重工業 (株) 技術開発本部 生産技術開発部
	小林徹也	石川島播磨重工業 (株) 鉄構事業部 水門設計部詳細設計グループ 課長
	赤嶺健一	石川島播磨重工業 (株) 生産技術開発センター 生産技術開発部材料加工グループ 課長
	正路美房	住友軽金属工業 (株) 研究開発センター 第四部 自動車熱交材料開発室長
	花崎昌幸	(社) 日本アルミニウム協会 土木製品開発委員会主査
	望月紀保	(株) ナカボーテック 技術開発研究所長
	門田 進	日本ペイント (株) 鉄構塗料部技術グループ マネージャー
	船山嘉実	日鉄防蝕 (株) エンジニアリング事業部
幹事	守屋 進	独立行政法人 土木研究所 新材料チーム 主任研究員
	西崎 到	独立行政法人 土木研究所 新材料チーム 主任研究員
事務局	金井浩一	(財) 土木研究センター技術研究所 研究開発四部 研究員

目 次

1. 河川・ダム施設の腐食の特徴	1
1.1 水 門 扉	1
1.1.1 水門扉の種類	1
1.1.2 水門扉の環境条件	1
1.1.3 水門扉の腐食	1
1.2 放 流 管	1
1.2.1 放流管の種類	1
1.2.2 放流管の環境	1
1.2.3 放流管の腐食	1
1.3 付属施設	2
1.3.1 付属施設の種類	2
1.3.2 付属施設の環境	2
1.3.3 付属施設の腐食	2
2. 防食法の概要	3
2.1 ステンレス材料	3
2.2 アルミニウム合金材料	3
2.3 塗 装	3
2.4 電気防食	4
3. ステンレス材料の特徴と留意点	6
3.1 ステンレス材料の特徴	6
3.2 ステンレス材料を使用する上での留意点	6
3.3 用途分類と適用事例	7
3.3.1 水門・扉	7
3.3.2 放流設備	8
3.3.3 付属設備	8
4. アルミニウム合金材料の特徴と留意点	9
4.1 アルミニウム合金材料の特長	9
4.2 アルミニウム合金材料を使用する上での留意点	9
4.3 用途分類と適用事例	9
5. 塗装の特徴と留意点	13
5.1 塗装の特徴	13
5.2 塗装の留意点	13
5.2.1 塗装による防食設計の基本方針	13

5.3	新設塗装	14
5.3.1	塗装仕様の選定	14
5.3.2	新設塗装仕様の概略	15
5.3.3	塗装仕様の環境区分	15
5.4	塗替塗装	16
5.4.1	塗替塗装時の留意事項	16
5.4.2	塗り替え塗装仕様の概略	16
5.4.3	塗装使用の適用環境区分	18
5.4.4	素地調整の種類	19
5.5	他の防食方法との併用	20
5.6	塗装による防食の事例	20
6.	電気防食の特徴と留意点	22
6.1	電気防食の特徴	22
6.2	電気防食を適用する上での留意点	23
6.3	電気防食の適用事例	24
7.	防食法選定の考え方	28
7.1	防食法選定の考え方	28
7.2	防食法の種類	28
7.2.1	標準的な防食法	28
7.2.2	最近の技術開発事例	29
7.3	防食法選定にあたっての検討項目	30

1. 河川・ダム施設の腐食の特徴

1. 1 水門扉

堰、水門・樋門（樋管）、放流設備にある水門扉は、河川・ダム施設で必要な部材である。

1. 1. 1 水門扉の種類

水門扉には、ローラゲート、キャタピラゲート、リングシールゲート、多段式ゲート、スライドゲート、ジェットフローゲート、リングホロワゲート、サーニットゲート、ラジアルゲート、フラップゲート、起伏ゲート、ドラムゲート、バイザゲート、ライジングセクタゲート、マイタゲート、スイングゲート、ローリングゲート、横引きゲート、角落し、フローティングゲート、楯式ゲート、ホロージェットバルブ、コーンスリーブバルブ、フィクストコーンバルブ、スルースバルブなどがある。

1. 1. 2 水門扉の環境条件

（1）水門・樋門（樋管）の水門扉は、海水、汽水、淡水に接する。また、工場廃水など汚れた水に接することもある。また、通常は大気中にあり、洪水時に濁流に没水させることが多い。海岸付近にある水門扉は海水飛沫などの飛来塩分を受けることがある。

（2）河口堰の水門扉は、下流側は海水または汽水に、上流側は淡水に接している。水門扉は通常河川水中にあるが、洪水時などには大気中に上げられるものが多い。

（3）放流設備の水門扉は、ダム湖の淡水に接しているが、湖水は温泉地では酸性になっていたり、生活排水により富栄養化している場合もある。また、湖水は放流管内に長時間滞留している場合もある。

1. 1. 3 水門扉の腐食

水門扉の腐食は、その置かれた環境と運用状況により異なるが、水門扉の腐食に最も影響が大きいのはその構造である。すなわち、各種部材が複雑に入り組んでおり塗装しにくかったり、すき間構造となっている場合が多く、鋼材が腐食しやすい。また、水門扉を受ける戸当りは、ステンレス鋼材が使用されることが多く、異種金属接触腐食が生じることがある。すき間構造の腐食事例を写真-1. 1に、異種金属接触腐食の事例を写真-1. 2に示す。

（1）水門扉が塗装で防食されている場合、扉体表面は流木などによる打撃や洪水時の土砂による塗膜の摩耗による塗膜の損傷及びはく離から鋼材の腐食が生じることが多い。また、扉体裏面は鋼材が複雑に入り組んでいるため、部材の角部の塗膜が割れたりして鋼材がさびることが多い。

（2）水門扉にステンレス鋼材を適用した場合、海の近くの大気中にある扉体表面は飛来塩分により発しゅうすることがあるが、いわゆる腐食とは異なりステンレス鋼材の板厚はほとんど減少することはない。一方、戸当りとの接触部分にすき間腐食を生じることがある。また、ステンレスクラッド鋼を使用した場合、溶接部が希釈や鋭敏化などによって発錆することがある。また、周囲の他の金属と接触すると異種金属接触腐食を生じることがある。

（3）バルブ類は、ステンレス鋼などの耐食金属が多種類使用される事が多いので、異種金属接触腐食や、水が滞留している場合にはすき間腐食によってさび瘤状になることもある。

1. 2 放流管

1. 2. 1 放流管の種類

ダムの重要な施設である放流管には、高圧ラジアルゲート、高圧ローラゲート、オリフィスラジアルゲート、高圧スライドゲートと小容量放流管などがある。放流管は、ゲートと管胴、整流板、戸当り、止水板、充水管、空気管、空気箱などで構成されている。

1. 2. 2 放流管の環境

一般に、ダム湖水は、淡水で腐食性はほとんどないが、ダムの上流に温泉があると酸性水や硫化水素を含む湖水が流れる込むことがある。また、上流に集落があると、汚れた水が流入して湖水が富栄養化することがある。放流管にはこれら湖水が高速水流で放流される。また、非常用の放流管には湖水が長時間滞留して嫌気性になっていることが多く、放流管内面にスライムが付着していることがある。

1. 2. 3 放流管の腐食

（1）放流管のゲート扉体は、戸当りがステンレス鋼の場合が多いため、接触部に異種金属接触腐食や、すき間腐食が

生じることがある。また、止水板との水密部も同様の腐食が生じることがある。放流管の腐食事例を写真－１．３に示す。

(２) 管胴や整流板は、高速水流が流れるため塗装で防食した場合、塗膜がはく離して腐食することがある。管胴がステンレスクラッド鋼の場合、コンクリート注入プラグの溶接部がエロージョン対策のため溶接ビードを削りすぎて腐食することがある。ステンレスクラッド鋼の溶接ビードの腐食事例を写真－１．４に示す。

(３) 充水管や空気管は、放流管との接合部の溶接部が腐食することがある。非常用放流設備では、湖水が長期間滞留しているため、さび瘤状になって充水管などが塞がってしまう場合がある。

１．３ 付属施設

１．３．１ 付属施設の種類

河川・ダム施設の主な付属施設には、取水塔、開閉装置室、流木止設備、係船設備、操作橋、管理橋などがある。取水塔は、取水ゲート、スクリーン、小容量放流管などで構成されている。

１．３．２ 付属施設的环境

取水塔、流木止設備、係船設備、操作橋、管理橋などは、湖水や河川水に接するため、その水質により腐食環境は異なる。一般に開閉装置室は室内環境であり、厳しい腐食環境ではないが、ダム堤体内の装置室は、常時高湿度環境の厳しい腐食環境にある。

１．３．３ 付属施設の腐食

(１) 接水環境にある設備は、その接する湖水や河川水の水質によって腐食環境は大きく異なる。ただし、溶融亜鉛めっきされたスクリーンや管理橋は、亜鉛の消耗とともに鋼材が腐食する。

(２) ダム堤体内の開閉装置室やケーブルラックなど常時高湿度環境にある溶融亜鉛めっき部材は、亜鉛の消耗とともに鋼材が腐食する。また、油性系や塩化ゴム系の塗装系では、比較的短時間で腐食することがある。



写真－１．１ すき間構造の腐食事例



写真－１．２ 異種金属接触腐食の事例



写真－１．３ 放流管の腐食事例



写真－１．４ ステンレスクラッド鋼の溶接ビードの腐食事例

2. 防食法の概要

2. 1 ステンレス材料

ステンレス材料は、クロムを 12%から 32%含んでいる鉄系の合金である。一般的に炭素鋼に比べ耐食性の面で優れている。そのため、河川・ダム施設では維持管理を軽減することを目的に、ステンレス材料が多く使用されている。この耐食性は、表面にできる不動態皮膜により発揮される。淡水中では、この不動態皮膜が安定で破壊されることが少なく全面的な腐食は生じない。海水中では、塩化物イオンの存在により不動態皮膜が破壊されるために孔食やすき間腐食が発生することがある。したがって使用される環境に応じて適切な鋼種と構造を選定しなければならない。代表的な鋼種としては SUS304、SUS316、SUS329J4L がある。

- 1) SUS304 : 通常の淡水中で耐食性に優れ、加工性、溶接性もよい。
- 2) SUS316 : SUS304 に比較して Mo を添加して、耐食性を向上させた鋼種。
- 3) SUS329J4L : 汽水域等の比較的塩素イオン濃度が高い環境に使用できる。

2. 2 アルミニウム合金材料

アルミニウム合金材料は中性水溶液中では表面の酸化皮膜が安定であり、腐食は抑制される。アルミニウム合金材料の腐食形態は、孔食が最も一般的であるが、合金組成や質別および環境によって異なる。孔食は飛来塩分を含む通常の大気中および水中において、アルミニウム合金材料に一般的に観察される腐食であり、表面に付着した異物・金属または酸化皮膜の欠陥などが起因となって腐食が生じると、他の部分では酸化皮膜が安定なため腐食は局部に限定され、ピット（孔）状で腐食が進行する。一般に孔食はある時点まで腐食が進行すると、その後の腐食の進行は遅くなる傾向があるが、海水や汚れた水環境中ではかなり深い孔食を生じることがある。孔食の抑制には、使用される環境を考慮した合金および塗装の選定が重要である。河川施設用材料は長期間淡水、海水または外気にさらされるので、5052、5083 等の Al-Mg 系合金材料が適している。また、アルミニウム合金材料は耐食性に優れた材料であるが、構造物のメンテナンスの軽減や景観への配慮および耐食性をさらに向上させるために塗装を施すことが一般的である。

2. 3 塗装

塗装は長い間、河川・ダム施設の防食の中心となっており、多数の実績を持っている。

河川・ダム施設は以下に述べるような沢山の条件があり、厳しい環境にさらされているが、塗装はこれらの条件に適用できるよう、仕様を選択することができる。

- ・ 大気部、干満部、水中部がある。
- ・ 大気中にあるときと没水されているときを繰り返すものがある。
- ・ 接している水の pH、塩分濃度などの水質が一樣ではなく、水に流速がある。
- ・ 種類の異なった金属を使用していて、異種金属接触腐食の可能性がある。
- ・ 電気防食と併用することがある。
- ・ 隙間腐食や濃淡電池による腐食がある。
- ・ 流木などによる傷からの腐食がある。
- ・ 塗り替えが必要となることがある。

以上のような使用条件に対して塗装は次のように適用することができる。

- ・ 耐候性が必要な大気部用、耐水性が必要な干満部・水中部用の塗装仕様がある。
- ・ 水中部用の塗装仕様でも耐候性の良い上塗り塗料を組み合わせた塗装仕様がある。
- ・ 水中部仕様は異種金属接触腐食や電気防食に適用できる。
- ・ 流木などで傷がつきにくい塗装仕様がある。
- ・ 補修時に塗替え仕様があり、全面塗装、部分塗装の選択が可能である。
- ・ ミネラルスピリットを主溶剤として、臭気が低い、溶剤の溶解力が低いので旧塗膜を侵しにくい、紫外線と溶剤が反応してできる光化学スモッグ発生が少ない弱溶剤塗料、有機溶剤（VOC）の含有量が少ない低溶剤塗料、水が主な溶剤である水性塗料、鉛やクロムなどの有害重金属を含まない非鉛・非クロム塗料などの環境配慮型塗料

料も開発されており、これらを組み合わせた塗装仕様が今後適用される。

更に、塗装の大きな特徴として、色彩の選択ができて、地域の景観の一環である河川・ダム施設の景観調和をすることができることである。

河川・ダム施設の防食や景観の保持をするために塗装は大きな役割を果たしているが、この役割を十分に果たすためには適切な塗装仕様の選択、塗装仕様の機能を十分に発揮するための適切な施工・管理・補修を行うことが大切である。

2. 4 電気防食

腐食は電気化学反応で生じていることから、電位を変化させることによって腐食速度を制御することが可能である。このことは腐食図によって定性的に理解することができる。腐食図は金属の腐食域、不動態域（酸化皮膜で覆われる領域）、不感態域（金属として安定な領域）等を電位-pHを座標軸とする平面状に表したものである。一例として塩化物イオンが存在する環境下における炭素鋼の腐食図を図-2. 1に示す。炭素鋼の場合、腐食域にあれば電位を低下させることによって腐食しない不感態域に移行可能であることがわかる。電気防食（陰極防食）は、腐食環境中に陽極となる電極を設置し、防食対象物を陰極として直流電流を流入させ、防食対象物の電位を腐食しない電位域まで低下（卑化）させることによって腐食を防止する方法である。

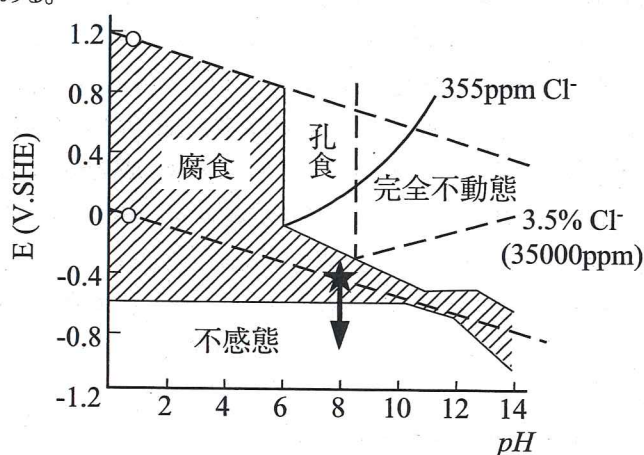


図-2. 1 炭素鋼の腐食図
(腐食防食ハンドブック)

通電には、図-2. 2に示すように、陽極に防食される金属よりも低い（卑な）電位を持つ金属材料を用いて短絡する方法（流電陽極方式）と難溶性（不溶性）電極を設置して直流電圧を印加する方法（外部電源方式）の2通りがある。両者の特徴を比較したものを表-2. 1に示す。

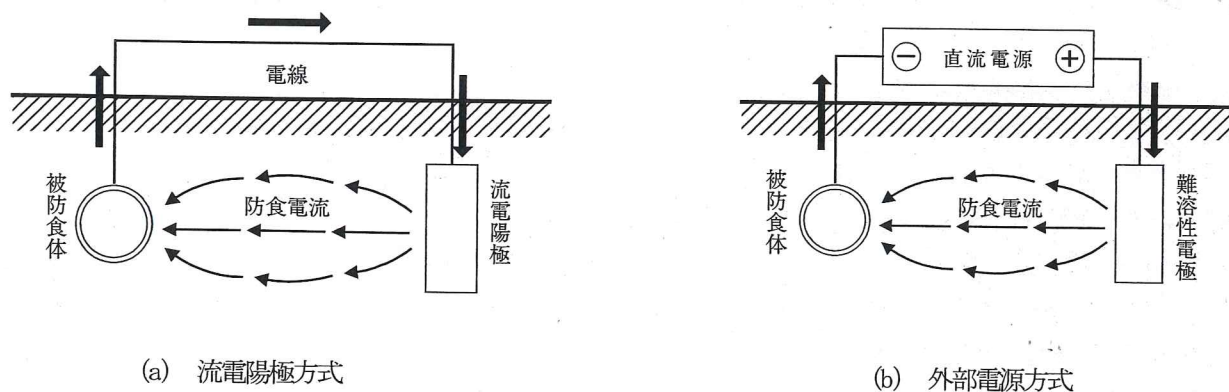


図-2. 2 電気防食の通電方式

表－2. 1 電気防食方式の比較

方 式	特 徴
流電陽極方式	1. 電源の利用しにくい場所や移動する対象物にも適用できる。 2. 施工が簡単で、維持・管理費用はほとんど不要。 3. 通電電流が塩化物イオン濃度の影響を受けやすい。 4. 隣接構造物への影響が少ない。 5. 陽極寿命が比較的短く、取替えを要する。
外部電源方式	1. 大規模な施設の防食に適している。 2. 維持管理や維持電力費を必要とする。 3. 防食電流の大幅な調整ができ、自動制御も可能。 4. 使用電圧が高くなる場合があるので、過防食や隣接構造物への影響に留意する必要がある。 5. 防食装置の寿命が長く、長年月電極の取り替えを必要としない。

河川・ダム施設における電気防食の適用は、下記のような腐食防止に有効である。

- (1) 塗装欠陥部の炭素鋼の腐食を防止する。
- (2) ステンレス鋼の塩化物イオンによる局部腐食を防止する。
- (3) アルミニウム合金の塩化物イオンによる局部腐食を防止する。
- (4) 異種金属接触腐食およびコンクリート中の鉄筋などとのマクロセル腐食を防止する。

3. ステンレス材料の特徴と留意点

ステンレス材料を河川・ダム施設に適用する際には、以下の特徴を踏まえ、使用環境に適した鋼種の選定を行なうことが基本である。

3. 1 ステンレス材料の特徴

(1) 高耐食性材料

淡水域、汽水域、海水域等の水中部、干満部、大気部における各種の腐食環境に対して、例えば SUS304、SUS316、SUS329J4L 等の耐食性の異なる材料があり、使用環境に応じて各種ステンレス材料からコストパフォーマンスの高い材料を選ぶことができる。そして、ステンレス材料は炭素鋼と同等の強度を有する材料であるから、耐食性、強度共に必要とされる構造部位に使用するとメリットが大きい。製品として板材、線材、パイプ、鋳造品、鍛造品の入手が可能である。その他、強度を裏面の炭素鋼に期待し、耐食性は表面のステンレス材料で対応する材料として、炭素鋼とステンレス鋼とを張り合わせたステンレスクラッド鋼もある。

(2) 維持管理が容易で長期的な観点で低コスト

鋼材のもっとも一般的な防食法は塗装であるが、塗装はその劣化にあわせて定期的に再塗装する等のメンテナンスが必ず生じる。しかしながら、ステンレス材料では適切に管理することで長期に耐食性を維持することができる。その結果、トータルな観点でコスト低減がはかれる。

(3) メンテナンスが困難な場所での使用が有効

取水設備の鋼製取水塔や取水ロスクリーン等で常時水中にある個所や水位を容易に低下できない個所、さらには手や身体が入らない狭い空間では、再塗装が実質的に困難である。このような個所には、長期に耐食性を確保できるステンレス材料の使用が有効である。

(4) 摺動面など防食が困難な個所での使用が有効

扉体のガイドローラーのレール、マンフォールのヒンジ部などでは、塗装が損傷しやすい。このような個所では、ステンレスの使用により塗装の塗り替えが不要となり維持管理費の低減が可能となる。

(5) 接合部（ボルト・ナット）への使用が有効

ボルト・ナット、板の端部・角などでは良好な塗膜が得られにくく、またメンテナンス等では傷をつけることもある。このような個所では、ステンレス材料を使用することが有効である。

(6) 湿度のこもるような環境にある設備への使用が有効

湿度のこもるような高湿度環境にある階段、手摺、グレーチング等に対して塗装を施した場合、再塗装が難しくなる。したがって、このような個所ではステンレス材料の使用が望ましい。

3. 2 ステンレス材料を使用する上での留意点

(1) 没水部や高湿潤環境下では、炭素鋼との混用を極力さける。

ステンレス材料と炭素鋼のような異種金属同士を溶接もしくはボルトで接合して同じ水溶液中に浸漬した場合、異種金属接触腐食が生じるので、没水部や高湿潤環境下での炭素鋼との混用は極力避けることが望ましい。

(2) ステンレスクラッド鋼の溶接部は研削しない。

ステンレスクラッド鋼の溶接部では高速流によるエロージョンコロージョンを回避する目的や美観への配慮の目的からグラインダー等により平滑に仕上げられることがある。このことが原因となって炭素鋼部が露出して腐食発生につながる可能性がある。したがって、ステンレスクラッド鋼の溶接部は研削しないことが望ましい。止むを得ず研削する場合にあっては、ダム・堰施設技術基準（案）による目違い量とキャビテーション発生領域との関係を参考に研削量を最小限とすべきである。

(3) 炭素鋼粉末、溶接スパッタ、溶接スケール等の表面付着物は除去すること。

ステンレス材料の加工、溶接段階において、炭素鋼の粉末や溶接スパッタなどが付着し、もらい錆びが生じることがある。そのまま放置するとステンレス鋼の孔食の発生に進展することもある。したがって、ステンレス面へのストリップペイントの塗布や付着物発生が少ない溶接施工法を選定するなどの対策が必要である。また付着物がある場合にはワイヤーブラシ等により物理的に、もしくは酸洗いによって化学的に除去することが望ましい。

(4) ステンレス材料を長期に滞留水環境中に置かない。

ステンレス材料が長期に水が滞留する環境におかれた場合、塩化物イオンの存在下では微生物などの影響により腐食することがある。したがって、適度に水が交換されるように水を流すことの処置が必要である。

(5) 塩分濃度の高い環境では電気防食との併用が望ましい。

一般に SUS304、SUS316 等のステンレス材料は、汽水域、海水域において孔食やすき間腐食が発生しやすい。したがって、電気防食と併用することでこれら腐食を防止することができる。

(6) ステンレス表面をむやみにキズ付けない。

ステンレスの耐食性は表面に形成された安定な不動態皮膜により確保されているが、この不動態皮膜が破壊されると修復にある程度の時間がかかり、一時的に錆び易い状態となる。したがって、むやみにステンレス表面をハンマーで叩いたり、硬い材料で擦ったりしない方がよい。

3. 3 用途分類と適用事例

汎用的なステンレス材料の用途分類を表-3. 1に示す。() カッコ内は電気防食との併用がのぞましい対象を示している。

表-3. 1 ステンレス材料と用途分類

	水中		大気		干満部	
	海水	淡水	海岸	その他	海水	淡水
扉体	(B, C)	A	B	A	(B, C)	A
戸当り	(B, C)	A	B	A	(B, C)	A
ボルトナット	(B, C)	A (A)	B	A	(B, C)	A
開閉装置 (シーブを除く)	-	-	B	A	(B, C)	A
放流管	-	A	-	A	-	-

A: SUS304 B: SUS316 C: SUS329J4L 以上 (): 電防併用

3. 3. 1 水門・扉

水門扉への適用事例を写真-3. 1及び3. 2に示す。

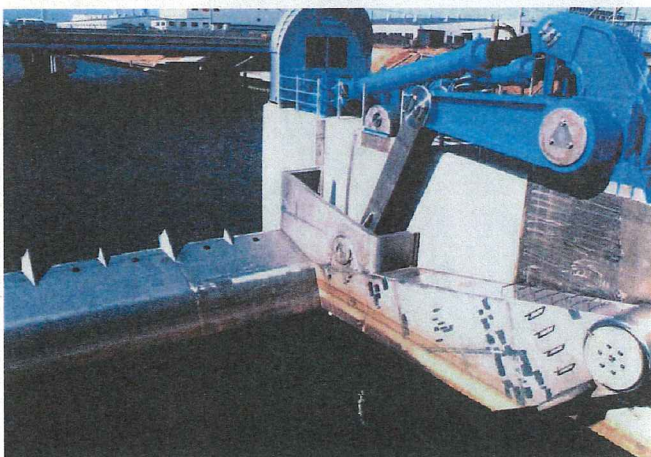


写真-3. 1 水門・扉への適用事例1

場所: 新潟県

形式: コンジットゲート

材料: SUS316L

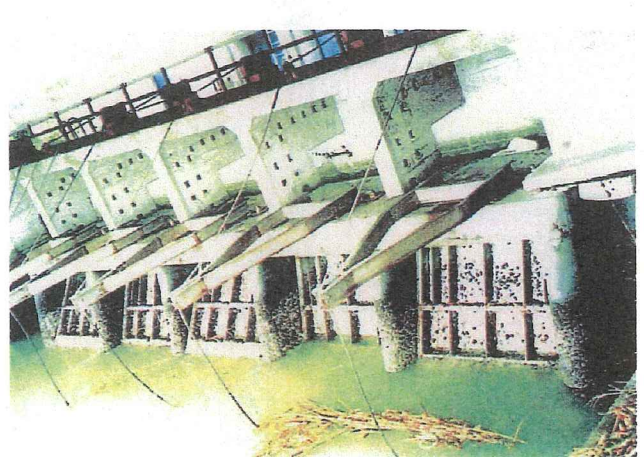


写真-3. 2 水門・扉への適用事例2

場所: 熊本県

形式: 引上げ式

材料: SUS304

3. 3. 2 放流設備

放流設備への適用事例を写真－3. 3に示す。



写真－3. 3 放流設備への適用事例

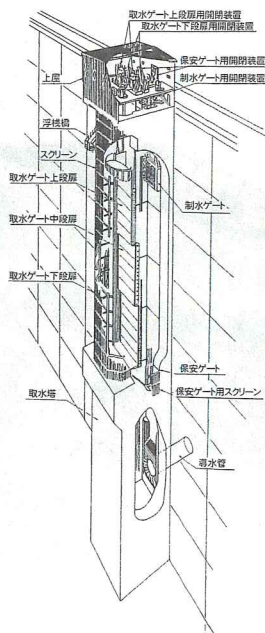
場 所：福島県

放流管：φ3000mm

材 料：SUS304

3. 3. 3 付属設備

取水設備（スクリーン、シリンダーゲート等）には、ステンレス鋼が多く使用されている。その例として多段式ローラゲートを写真－3. 4に示す。



写真－3. 4 付属設備への適用事例

場所：東北地方

使用部位：ゲート戸当たり

材料：SUS304

4. アルミニウム合金材料の特長と留意点

4. 1 アルミニウム合金材料の特長

河川施設に適用するアルミニウム合金材料の特徴は、炭素鋼と比較してヤング率が約 $1/3$ 、強度も約 $1/2$ であるが比重が約 $1/3$ であるため、同一強度、同一剛性の構造物では総重量が約 $1/2$ と軽量となることである。耐食性が優れている点や軽量性により操作性の向上が図れ、特に樋門・樋管に適した材料である。

淡水中でのアルミニウム合金材料の腐食形態は大部分が孔食である。腐食の程度は水中に存在する各種のイオンによってかなり異なることが知られている。流域の地質の異なる河川系によって溶け込むイオンも異なることからその腐食性も大幅に変化するが、特に問題となるのは重金属の Cu^{2+} 、アニオンとしての Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} などである。しかし水質から自然淡水中での腐食性を推定することは困難である。無処理材では水質によって深い孔食を発生することがあるが、比較的薄い塗装を施すことによって孔食発生を抑制できる。また陰極防食も有効な防食手段である。最大孔食深さはやや深くなるが発生孔食密度や腐食量が小さいことから、淡水中では 5052、5083 等の Al-Mg 系合金を使用することが望ましい。

海水は弱アルカリ性であり、アルミニウム合金に孔食発生と皮膜形成の両方が起こる。海水による腐食の程度は、海水温度・汚れの程度および海棲生物付着の影響を受けるので場所によって異なる。マグネシウムを含有するアルミニウム合金は海水中では優れた耐食性を有するため、水門や船舶用途等に最も適する材料の 1 つである。海水中で長期間使用する場合には 5052 や 5083 等の Al-Mg 系合金が推奨される。

異種金属と組み合わせられて使用されると、電気化学的に卑なアルミニウム合金が異種金属を防食するために腐食が進行することがある。その場合には異種金属の腐食を防止するために陰極防食等の処置がとられる。

(アルミニウム合金材料の一般的特性及び腐食、防食は、土木研究所資料第 3685 号 河川・ダム施設防食ガイドライン(案) —アルミニウム合金材料編— P.8~44 を参照のこと)

4. 2 アルミニウム合金材料を使用する上での留意点

アルミニウム合金材料を河川施設に適用する際には、本来の耐食性を保護するために異種金属接触腐食に注意しなければならない。アルミニウム合金材料は卑な金属なので、炭素鋼やステンレス材料等の貴な金属と接合されて用いられると異種金属電池作用により腐食が促進される。

異種金属接触腐食は、次のような方策により軽減または防止できる。

- ①異種金属の接合部に水等が滞留しない形状、構造にする。
- ②非金属物を介在させ、接合される金属と電氣的に絶縁する。
- ③貴な電位を有する金属の占める面積を小さく制限する。
- ④貴な電位を有する金属に防食処理として塗装を施す。
- ⑤適当な流電陽極等により電気防食を施す。

塗装は、本来接触腐食の防止に有効な手段であるが、アルミニウム合金材料側に塗膜欠陥が存在し、相手金属が無塗装である場合には、面積比の効果によりアルミニウム合金材料に局所的な激しい腐食を生じることがある。従って、塗装によって接触腐食を防止する際には、貴な材料を塗装することが大切である。また、電気防食の採用にあたっては、電位を適正に維持するとともに過防食等によるアルカリ腐食に対する配慮も必要である。

4. 3 用途分類と適用事例

防潮水門は、高潮時に閉鎖する施設で、常時は大気中にある。同様に樋門の中で、本川の洪水時に閉鎖する用途のものも常時は大気中である。このように常時大気中にある水門や樋門は、緊急時の操作性を要求されるが、耐食材料を用いることにより腐食などによる作動不良を回避することが可能となる。現在、水門扉、特に樋門は多数散在し、小規模であるが維持管理の工数、コストも看過できない状況となっているが、耐食材料を用いることにより維持管理を軽減することができる。

アルミニウム合金材料を水門扉に使用するには、上記のような条件で有効である。アルミニウム合金製水門扉は、特に

大気中における耐食性に優れているため、美観性も長期間維持することができ、常時大気中にあるような箇所は最も適しているといえる。

水門扉に使用するアルミニウム合金材料は、特に強度部材では高強度で耐食性の良好な 5000 番系を使用し、調質は、粒界腐食感受性の低い、0 材または H112 材を選定する。5000 番系は、溶接性にも優れている。各部位の材質は、表－4. 1 に示す材質を使用する。

アルミニウム合金材料の、水門の扉体への適用事例を写真－4. 1～4. 3、樋門の扉体への適用事例を写真－4. 4、4. 5 に示す。

(アルミニウム合金の水門適用例の詳細は、土木研究所資料第 3685 号 河川・ダム施設防食ガイドライン (案)－アルミニウム合金材料編－P. 71～86 を参照のこと)

表－4. 1 アルミニウム合金材料の材質別使用箇所

形状 材料記号 用途部位		板 材				形 材		
		A5083P	A5083P	A5052P	A5052P	A5083S	A6061S	A6063S
		0	H112	0	H34	H112	T6	T5
扉 体	スキムプレート	○	○	—	—	—	—	—
	主 桁	○	○	—	—	○	—	—
	端 縦 桁	○	○	—	—	○	—	—
	補 助 桁	○	○	—	—	○	—	—
	カバープレート	○	○	○	○	—	—	—
付 属 設 備	管理橋	○	○	—	—	○	—	—
	手摺・階段 防護柵	○	○	—	—	○	○	○

○：適用できる材料

(設計基準は、アルミニウム合金製水門設計製作指針案：社団法人 軽金属協会 (現 社団法人 日本アルミニウム協会) (1979) を参照のこと)



写真-4. 1 水門適用例 (1)

千葉県 葭川水門

形 式 : ローラゲート

純 径 間 : 9.0m

有 効 高 : 4.2m

巻 上 方 式 : 電動ワイヤロープ式

用 途 : 防潮用

扉 体 材 質 : A5083

戸 当 たり 材 質 : SUS304



写真-4. 2 水門適用例 (2)

静岡県

形 式 : 複葉型ローラゲート

純 径 間 : 11.3m

有 効 高 : 8.8m

巻 上 方 式 : 電動ワイヤロープ式

用 途 : 防潮用

扉 体 材 質 : A5083

戸 当 たり 材 質 : SUS304



写真-4. 3 水門適用例 (3)

北海道 琵琶瀬水門

形 式 : ローラゲート

純 径 間 : 6.6m, 5.0m

有 効 高 : 5.98m, 4.18m

巻 上 方 式 : 電動ワイヤロープ式
電動ピンラック式

用 途 : 防潮用

扉 体 材 質 : A5083

戸 当 たり 材 質 : SUS304

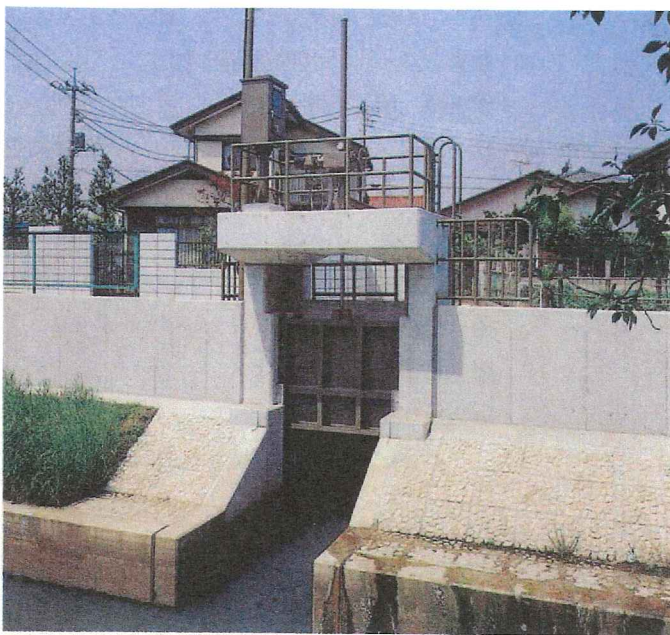


写真-4. 4 樋門適用例 (1)

千葉県

形 式 : スライドゲート

純 径 間 : 1.2m

有 効 高 : 1.2m

巻 上 方 式 : 電動スピンドル式

用 途 : 洪水時逆流防止

扉 体 材 質 : A5083

戸 当 たり 材 質 : SUS304

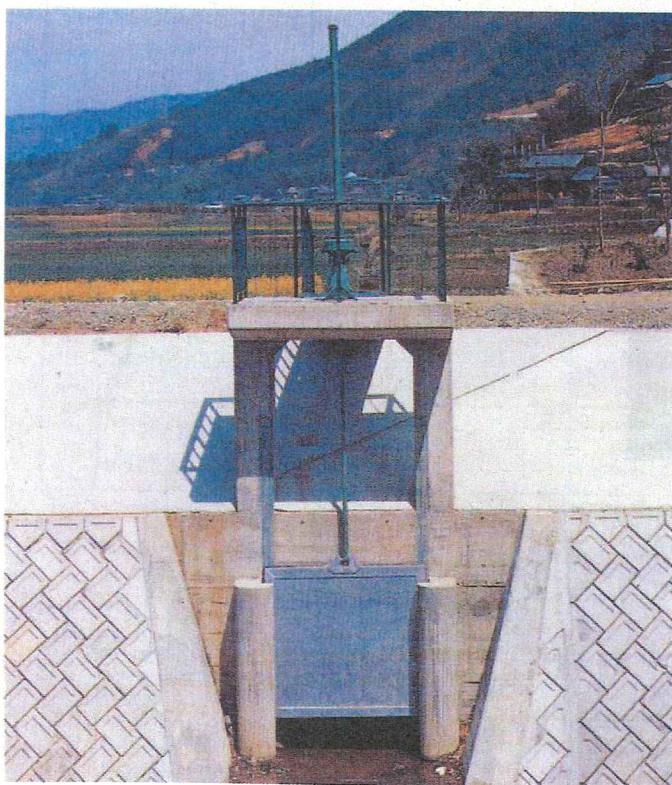


写真-4. 5 樋門適用例 (2)

愛媛県

形 式 : スライドゲート

純 径 間 : 1.5m

有 効 高 : 1.5m

巻 上 方 式 : 手動スピンドル式

用 途 : 洪水時逆流防止

扉 体 材 質 : A5083

戸 当 たり 材 質 : SUS304

5. 塗装の特徴と留意点

5. 1 塗装の特徴

塗装の大きな特徴として、防食性能があつて、河川構造物の保護をするとともに、色彩の選択ができて、かつ、耐候性の良い塗装仕様を選択できるので、地域の景観の一環である河川・ダム施設の景観調和をすることができる。また、新設時だけでなく、補修時の塗装仕様も持っていることも特徴となっている。これらを以下のようにまとめられる。

- ・ 耐候性が必要な大気部用、耐水性が必要な干満部・水中部用の塗装仕様がある。
- ・ 水中部用の塗装仕様でも耐候性の良い上塗り塗料を組み合わせた塗装仕様がある。
- ・ 水中部仕様は異種金属接触腐食や電気防食に適用できる。
- ・ 流木などで傷がつきにくい塗装仕様がある。
- ・ 補修時に塗替え仕様があり、全面塗装、部分塗装の選択が可能である。
- ・ ミネラルスピリットを主溶剤として、臭気が低い、溶剤の溶解力が低いので旧塗膜を侵しにくい、紫外線と溶剤が反応してできる光化学スモッグ発生が少ない弱溶剤塗料、有機溶剤（VOC）の含有量が少ない低溶剤塗料、水が主な溶剤である水性塗料、鉛やクロムなどの有害重金属を含まない非鉛・非クロム塗料などの環境配慮型塗料も開発されており、これらを組み合わせた塗装仕様が今後適用される。

5. 2 塗装の留意点

塗装を行なうには設計の基本方針を明確にするとともに、方針を実施するために素地調整や塗装仕様の選定を適確にしなければならない。

5. 2. 1 塗装による防食設計の基本方針

- (1) 河川・ダム施設は適切な防食設計が行われる必要がある。
- (2) 防食設計を行う上では、耐食性、耐候性に優れた、保守管理の合理化、塗替間隔の長期化を図る。
- (3) 河川・ダム施設は、周辺環境との調和のとれた色彩によって景観との調和を図る。
- (4) 新技術・新材料を必要に応じて採用し、防食性能の向上と保守管理の合理化を図る。
- (5) 必要に応じて塗装以外の防食手法を部分的に採用し、河川・ダム施設の保守管理の合理化を図る。

腐食は河川・ダム施設の寿命を短くし、河川構造物としての機能を損なう可能性がある。また、塗装による河川・ダム施設の防食は、定期的な塗替塗装などを必要とするが、不適切な防食設計は保守管理を非効率的なものとする。このため適切な防食設計が必要である。

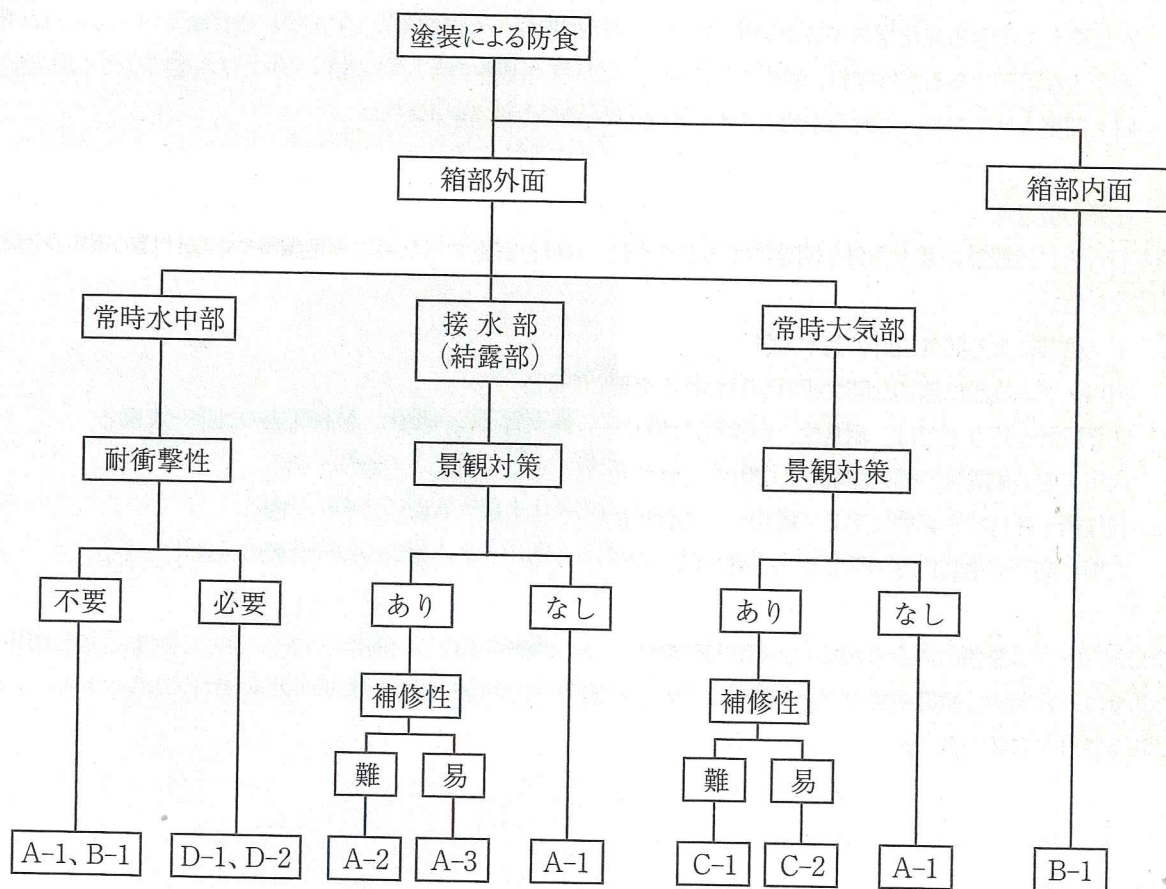
5. 3 新設塗装

5. 3. 1 塗装仕様の選定

塗装による防食を行う場合、適切な塗装仕様の選定は非常に重要なことである。塗装仕様の選定に当たっては、以下の項目に留意し決定する。

- (1) 使用環境
- (2) 景観
- (3) 塗替えの難易
- (4) 河川・ダム施設規模
- (5) 経済性（LCC）・期待耐用年数

また、図－5. 1に塗装により防食を行う際の塗装仕様の選定の考え方（新設時）を示す。



図－5. 1 新設塗装仕様の選定フロー

5. 3. 2 新設塗装仕様の概略

新設塗装仕様の概略を表-5. 1に示す。(詳細は 土木研究所資料第3684号 河川・ダム施設防食ガイドライン(案) 塗料・塗装編 参照)

表-5. 1 新設塗装仕様の概略

記号	塗装仕様
A-1	ジンクリッチペイント + エポキシ樹脂塗料(水中部用) + エポキシ樹脂塗料中上塗り
A-2	ジンクリッチペイント + エポキシ樹脂塗料(水中部用) + ふっ素樹脂塗料中上塗り
A-3	ジンクリッチペイント + エポキシ樹脂塗料(水中部用) + ポリウレタン樹脂塗料中上塗り
B-1	ジンクリッチペイント + エポキシ樹脂塗料(水中部用)
C-1	ジンクリッチペイント + エポキシ樹脂塗料(大気部用) + ふっ素樹脂塗料中上塗り
C-2	ジンクリッチペイント + エポキシ樹脂塗料(大気部用) + ポリウレタン樹脂塗料中上塗り
D-1	ガラスフレーク塗料(ビニルエステル樹脂)
D-2	ガラスフレーク塗料(エポキシ樹脂)

5. 3. 3 塗装仕様の環境区分

塗装仕様は構造物が設置される環境により異なるために、供用される場合の環境条件をよく吟味し、それに見合った塗装仕様を選択しなければならない。表-5. 2に示した塗装仕様の適用環境区分に従い、選択することとする。

表-5. 2 適用塗装仕様一覧表

環境区分 塗装対象部		常時水中にあるゲート あるいは設備	接水部		大気部		内面
			一般	景観対策	一般	景観対策	
扉体・戸当たり		A-1	A-3	A-2	C-2	C-1	B-1
スクリーン		A-1	A-3*	A-2*	C-2	C-1	
開閉 装置	屋内	—	—	C-2	C-2	—	
	屋外	—	A-3	C-2	C-2	C-1	
付属 設備	取水塔	A-1	A-3	C-2	C-2	C-1	
	開閉装置架台	—	A-3	C-2	C-2	C-1	
	操作橋	—	A-3	C-2	C-2	C-1	
	開閉装置室	—	—	C-2	C-2	C-1	
	手すり・階段防 護柵	—	—	C-2	C-2	C-1	
強い衝撃を受ける設備		D-1 D-2	—	—	—	—	

注=接水部は没水しているときと大気中であって結露している状態を繰り返す。

内面は常時結露したり、没水したりする部分を含む。

*大気中の面積が大きい場合で、着色塗装を施す場合に適用する。

5. 4 塗替塗装

5. 4. 1 塗替塗装時の留意事項

塗替塗装の施工は、河川・ダム構造物の設置条件、周辺環境、気候、足場作業、河川・ダム構造物の発錆状況、旧塗膜剥離、層間付着性等工場塗装、新規現場塗装と大きく異なるので、それら条件を十分に留意して施工しなければならない。

(1) 塗替塗装の素地調整は、その製品の発錆状況がその部位により大きく異なるので、最適な素地調整の方法を選択して施工しなければならない。

(2) 足場作業等工場塗装と大きく異なるので、それらを十分に留意して塗装を行わなければならない。

(3) 塗装作業は塗装仕様を遵守して作業しなければならない。

(4) 塗装にあたっては、周辺の環境対策、防塵等に留意して施工しなければならない。

素地調整及び塗装等を施工してはいけない箇所は養生する。

(機械加工面、ステンレス面、ネジ部等)

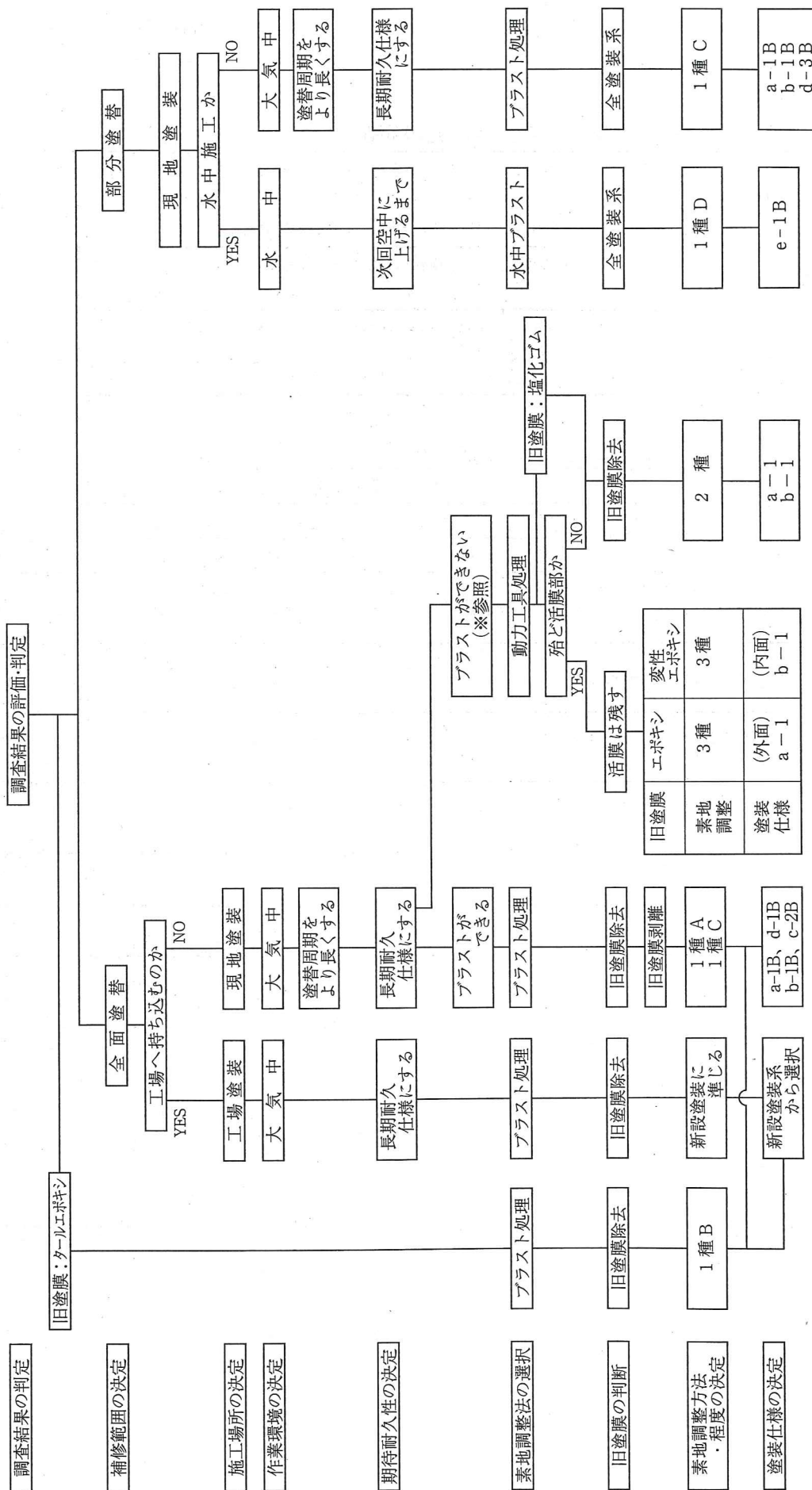
5. 4. 2 塗り替え塗装仕様の概略

塗替塗装仕様の概略を表－5. 3に示す。また、図－5. 2に塗替塗装時の素地調整・塗装仕様選択のフロー図を示す。

(詳細は 土木研究所資料第 3684 号 河川・ダム施設防食ガイドライン (案) 塗料・塗装編 参照)

表－5. 3 塗替塗装仕様の概略

記号	塗装仕様
a－1 B	有機ジンクリッチペイント + 変性エポキシ樹脂塗料 (水中部用) + エポキシ樹脂塗料
a－1	変性エポキシ樹脂塗料 (水中部用) + エポキシ樹脂塗料
b－1 B	有機ジンクリッチペイント + 変性エポキシ樹脂塗料 (水中部用)
b－1	変性エポキシ樹脂塗料 (水中部用) +
c－1 B	有機ジンクリッチペイント + 変性エポキシ樹脂塗料 (大気部用) + ふっ素樹脂塗料
c－1	変性エポキシ樹脂塗料 (大気部用) + ふっ素樹脂塗料
c－2	変性エポキシ樹脂塗料 (大気部用) + ポリウレタン樹脂塗料
c－2 B	有機ジンクリッチペイント + 変性エポキシ樹脂塗料 (大気部用) + ポリウレタン樹脂塗料
d－1 B	ガラスフレーク (ビニルエステル樹脂)
d－3 B	有機ジンクリッチペイント + 超厚膜エポキシ樹脂塗料 + エポキシ樹脂塗料
d－3	変性エポキシ樹脂塗料 (水中部用) + 超厚膜エポキシ樹脂塗料 + エポキシ樹脂塗料
d－4	変性エポキシ樹脂塗料 (水中部用) + 超厚膜エポキシ樹脂塗料 + ポリウレタン樹脂塗料
e－1 B	水中硬化パテ



※ 扉体の狭窓部で機械駆動部などがあり、プラスチックができない部分についてはやむを得ず動力工具で旧塗膜を剥離除去（2種ケレン）する。

図ー5. 2 塗替塗装の素地調整・塗装仕様選択フロー（その1：扉体；戸当たり・スクリーンなど水中にある構造物）

5. 4. 3 塗装仕様の適用環境区分

塗替塗装に際しては、環境区分を考慮して適切な塗装仕様を選択する。表－5. 4に塗装仕様の適用環境区分を、表－5. 5に塗装対象物への適用区分一覧表を示す。

表－5. 4 塗装仕様の適用環境区分

主として水中にある	常時水中に浸せきされる部位又は常時水中に浸せきされる場合を言う。 (点検時や洪水時に引き上げるものを含む)
内面など	箱状になった部材の内面などで、常時結露して濡れている状態となる部位、又は場合を言う。
主として大気中にある	ほぼ常に大気中にある部材又はほぼ常に大気中にある場合を言う。 (洪水時などに水中に引き下ろすものを含む)

表－5. 5 塗装仕様の適用区分一覧表

塗装対象物		環境区分			
		主として水中	主として大気中		内面など
			一般	景観	
扉体		a-1 B b-1 B a-1 b-1	c-2 B c-2	c-1 B c-1	b-1 B b-1
扉体 衝撃を受ける場合		d-1 B d-3 B			
戸当たり		a-1 B b-1 B a-1 b-1			
スクリーン		a-1 B b-1 B a-1 b-1			
開閉 装置	屋内		c-2 B c-2		
	屋外		c-2 B c-2	c-1 B c-1	
付属 設備	取水塔架橋		c-2 B c-2	c-1 B c-1	
	開閉装置架台		c-2 B c-2	c-1 B c-1	
	操作橋		c-2 B c-2	c-1 B c-1	
	開閉装置室		c-2 B c-2	c-1 B c-1	
	手すり階段防護 柵		c-2 B c-2	c-1 B c-1	

5. 4. 4 素地調整の種類

塗替時における素地調整は、ブラスト処理や動力工具処理などにより行われる。表－5. 6に塗替塗装における素地調整の種類を示す。

表－5. 6 塗替塗装の素地調整の種類

素地調整 種別		素地調整の内容	適用範囲
1 種	A	ブラスト処理により塗膜、錆、その他付着物を除去し、清浄な金属面とする。金属面はISO Sa2 1/2 相当とする。	現地環境がブラスト処理可能な場合の全ての構造物、塗装仕様に適用する。（1種Bの場合を除く）
	B	ブラスト処理により塗膜、錆、その他付着物を除去し、清浄な金属面とする。一度粗ブラストを行い、数日間放置し、赤錆を出した後再度ブラストを行う。金属面はISO Sa2 1/2 相当。	旧塗膜がタールエポキシ樹脂塗料の場合、および旧塗膜の膜厚が厚くブラストの一度打ちでは塗膜除去が困難な場合。
	C	局所的な錆発生箇所のみをブラスト処理により塗膜、錆、その他付着物を除去し清浄な金属面を露出させる。（4種併用とする）	現地環境がブラスト処理などの可能な場合に適用する。
	D	水中でブラスト処理を行う。金属面はISO Sa2 1/2 相当とする。	e－1 B 塗装系を適用する場合
2 種		動力工具などを使用して錆、塗膜、その他付着物等を全て除去する。金属面はISO St3 相当とする。	塗膜劣化が全面にわたり、塗装系の変更が必要であるが、ブラスト処理ができない場合。
3 種		動力工具などを用いて活膜部以外の塗膜不良部（膨れ、剥がれ、ワレなど）、錆、その他付着物を除去する。活膜部については、表面清掃と目粗しを行う。金属面はISO St3 相当とする。	ブラスト処理ができない場合で、旧塗膜の劣化が全面にわたっていない場合。
4 種		動力工具、手工具を併用し塗膜表面の劣化物、その他付着物を除去する。同時に目粗しを行う。	1 種Cと併用とする。

注：ISO Sa2 1/2 およびSt3はISO 8501－1素地調整基準を示す。

5. 5 他の防食方法との併用

他の防食方法との併用にあたっては以下のような点に留意する必要がある。

- (1) 電気防食を併用する場合には環境、構造、使用条件などを考慮して、塗装系、電気防食法を選択しなければならない。
- (2) ステンレス、アルミなどの耐食性鋼材を部分的に併用する場合には、面積比や部材を考慮して異種金属接触腐食に対して適切な措置を行う。

5. 6 塗装による防食の事例



写真－5. 1 ボックスガートの事例

ガラスフレーク（ビニルエステル）
200 μ m $\times$ 3回塗り
施工後 5年間



写真－5. 2 写真－5. 1の塗装施工中
(新説時)



写真－５．３ 扉体への描画の事例１

ジンクリッチペイント
エポキシ樹脂塗料下塗り
エポキシ塗料上塗り
施工後 ４年間



写真－５．４ 扉体への描画の事例２

ジンクリッチペイント
エポキシ樹脂塗料下塗り
エポキシ塗料上塗り
施工後 １０年間



写真－５．５ 扉体への描画の事例３

鉛系さび止め塗料下塗り
フタル酸樹脂塗料中上塗り
施工後 １０年間

6. 電気防食の特長と留意点

電気防食の特徴と留意点を以下に示す。なお、各項目の上付添字（GC*）は、土木研究所資料第 号「河川・ダム施設防食ガイドライン（案）－電気防食編－」の参照ページを示す。

6. 1 電気防食の特長

（1）防食効果の信頼性向上と維持管理コストの低減^{GC10}

塗装との併用、耐食性材料との併用により、防食効果の信頼性が向上する。適用に際しては、新設、既設を問わないが、新設時からの適用が望ましい。新設時から適用した場合、維持管理を考慮した理想的な陽極配置が可能となるばかりでなく、陽極の取付けコストも低減する。異種金属接触腐食等のマクロセル腐食が予想される場合や、海水、汽水環境下の耐食材料（ステンレス鋼やアルミニウム合金）に対しては新設時からの適用によるLCCコストの低減を図ることが望ましい。

（2）防食対象物の素地調整不要

防食対象物表面を被覆する防食方法ではないので、適用に際してブラスト処理などの素地調整を必要としない。

（3）防食電流の自動調整作用^{GC11} GC44

防食対象材料によっては、腐食環境に対応した防食電流の自動調整が可能である。例えば、汽水環境下のステンレス鋼にアルミニウム系、亜鉛系の流電陽極材で電気防食を行なうと、防食電流を必要とする塩化物イオン濃度が高い時に防食電流を供給し、防食電流を必要としない低塩化物イオン濃度では自動的に防食電流が低下するという自動調節作用を持った電気防食ができる。

（4）施工後の防食条件の調整^{GC58}

長期耐用の中では腐食環境の変化に伴い、防食条件も経時的に変化することが考えられる。電気防食は、防食状態に応じて陽極の追加、削減が可能である。また、外部電源方式では通電電流の調整が可能である。

（5）部分防食に対する対応^{GC10} GC39 GC49

部分防食としては、他の防食対策の補完技術としての部分防食と、特定の腐食現象、例えば、異種金属接触腐食対策に限定した部分防食がある。塗膜損傷部の部分防食の場合、塗膜損傷部の拡大を防止でき、より長期の防食効果が期待できる。また、塗装の塗り替え間隔に合わせた維持管理（陽極更新）も可能である。

（6）防食効果のモニタリング^{GC12} GC14, GC42 GC58

電気防食は実構造物を対象とした信頼性の高いモニタリング法が確立しているため、維持管理が容易である。

（7）任意の耐用年数設計^{GC33}

流電陽極方式の場合、陽極の種類、質量の調整により任意の耐用年数設計が可能である

6. 2 電気防食を適用する上での留意点

(1) 使用電圧の制限

電気防食回路の使用電圧は、直流 60V 以下でなければならない。

(資源エネルギー庁公益事業部：「電気設備の技術基準の解釈について」，第 236 条参照)

(2) 淡水環境下での電気防食^(C10)

淡水環境下では防食電流の分布が不均一となり、均一な防食効果が得難い。安定した防食効果を維持するためには塗装との併用が必要である。また、流電陽極方式を適用する場合は Mg 合金陽極を用いる。

(3) 陽極配置^{(C29) (C37) (C49)}

- 1) ゲートの運転に影響を及ぼさない位置に取り付ける
- 2) スキンプレート等の擦れ合う部分には設置できない
- 3) 流速、土砂、流木、船舶等による破損の影響がないように取り付ける
- 4) ゲートの上流側と下流側、水密ゴム等によって仕切られた空間などは独立した空間と考えて陽極配置を行なう
- 5) 異種金属接触腐食などのマクロセル腐食系に陽極を配置する場合は、可能な限りマクロアノード部の腐食が激しい個所に近接して取り付ける^(C12)。
- 6) 構造上、機能上の制約から防食上適性と思われる位置に陽極を取り付けられない場合は、可能な取付け配置における防食効果の評価を数値解析等^(C39)により行なうことが望ましい。

(4) 過防食^{(C17) (C47)}

電気防食では防食電流を過剰に供給した場合、ステンレス鋼や炭素鋼では吸収した水素による脆化の影響、また、アルミニウム合金や塗装鋼板は表面に生成するアルカリによる腐食や塗膜の劣化が生じる可能性がある。適用に際しては、必要以上の低電位化は避けるようにする必要がある。

(5) 電気防食適用時の他施設への干渉問題^(C51)

外部電源方式で施工した場合は、他施設への干渉調査を実施し、影響が生じている場合には適切な処置を講ずる。

(6) 汽水環境下での炭素鋼に対する流電陽極法の設計^{(C33) (C46)}

塩化物イオン濃度が変動する環境下における流電陽極方式の設計では、変動する塩化物イオン濃度の対数平均値を求め、それに該当する塩化物イオン濃度で設計すればよい。

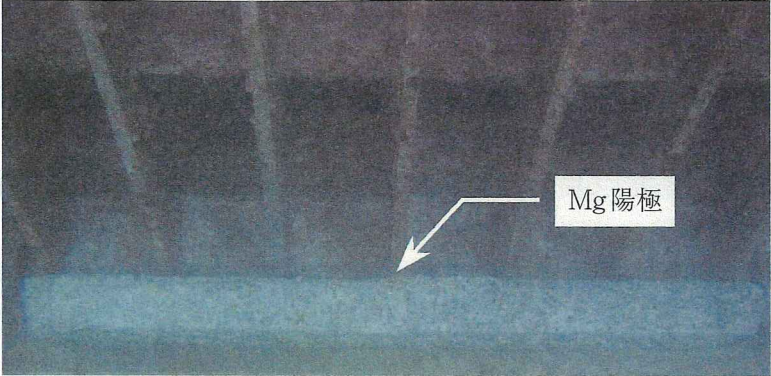
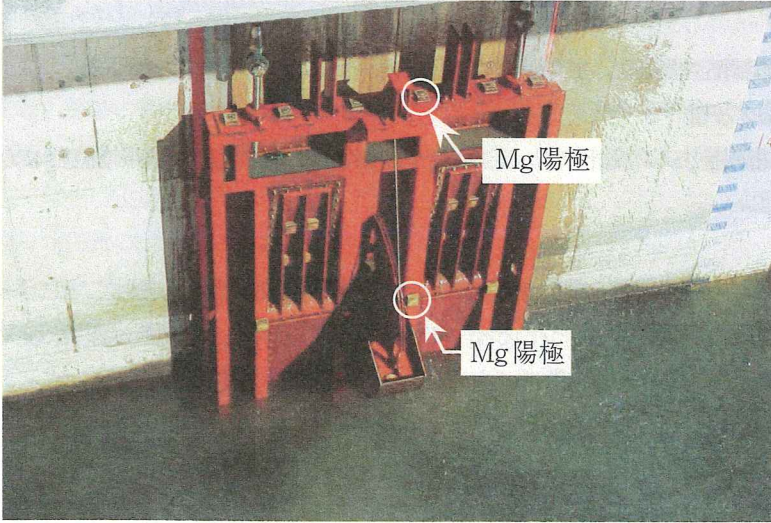
(7) 電位測定^{(C42) (C58)}

電気防食効果の判定は電位測定によって行われることが多いが、電位測定では照合電極を測定対象物から離すことによって、IR（通電電流による液中の電位勾配）と呼ばれる誤差を含むようになる。この値は抵抗率が高くなる淡水環境ほど大きくなるので、淡水環境では通電電流を遮断した直後の電位を読み取るインスタントオフ電位測定を行う。

6. 3 電気防食の適用事例

電気防食の適用事例を写真1～写真8に示す。各写真中のコメント番号はそれぞれ下記の該当番号項目の内容を示すものである。

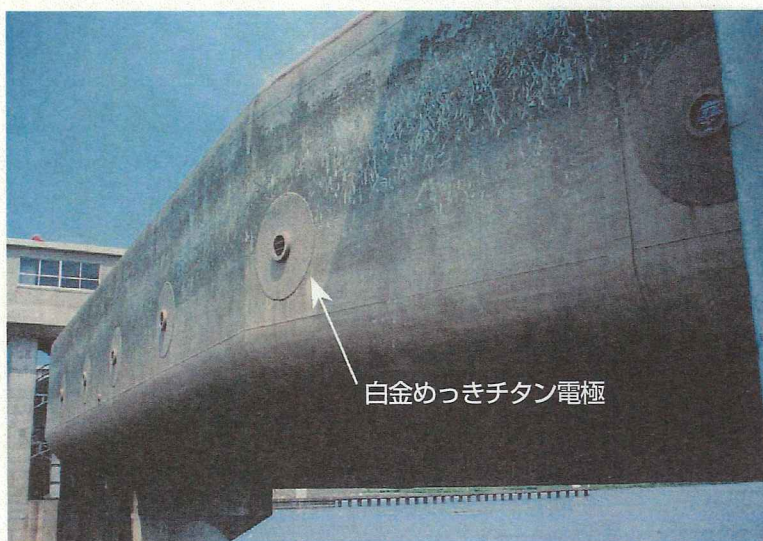
- ①対象物 ②材質および表面 ③環境 ④電気防食方式 ⑤取り付け位置 ⑥防食対象範囲
⑦撮影時 ⑧適用後の状況

	<u>写真-6. 1 適用事例その1</u> ①取水口スクリーン ②SUS329J4L ③海水環境 ④流電陽極方式 ⑤スクリーンの上下に棒状Al 陽極取付 ⑥全体防食 ⑦設置後12ヶ月 ⑧良好
	<u>写真-6. 2 適用事例その2</u> ①保安ゲートの例 ②炭素鋼+エポキシ塗装 ③淡水環境 ④流電陽極方式 ⑤扉体に板状Mg 陽極取付 ⑥全体防食 ⑦電防適用10ヶ月後 ⑧良好



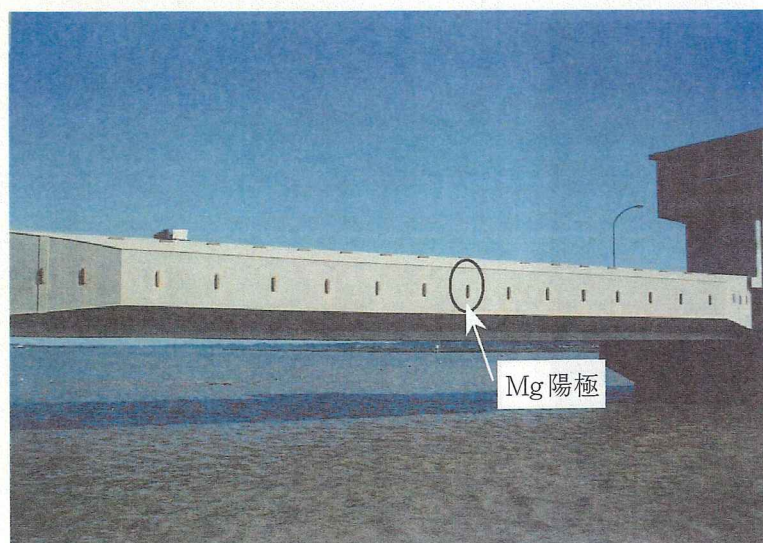
写真－6. 3 適用事例その3

- ①円形多段式ゲートの例
- ②炭素鋼＋タールエポキシ塗装
- ③淡水環境
- ④流電陽極方式
- ⑤扉体端部およびガイドローラ近傍に板状 Mg 陽極取付
- ⑥部分防食
- ⑦電防適用直後
- ⑧良好



写真－6. 4 適用事例その4

- ①シェル構造ローラゲートの例
- ②炭素鋼＋塗装
(ジンクリッチペイント＋タールエポキシ樹脂塗料＋ウレタン樹脂塗料)
- ③上流側淡水、下流側汽水環境
- ④白金めっきチタン電極による外部電源方式
- ⑤扉体に白金めっきチタン電極取付
- ⑥全体防食
- ⑦電防適用 23 年後
- ⑧良好



写真－6. 5 適用事例その5

- ①シェル構造ローラゲートの例
- ②炭素鋼＋塗装
- ③淡水環境
- ④流電陽極方式
- ⑤扉体端部に棒状 Mg 陽極取付、
シーリングゴム抑え板に板状 Mg 陽極取付
- ⑥部分防食
- ⑦電防適用 23 年後
- ⑧良好

(a)



写真-6. 6 適用事例その6

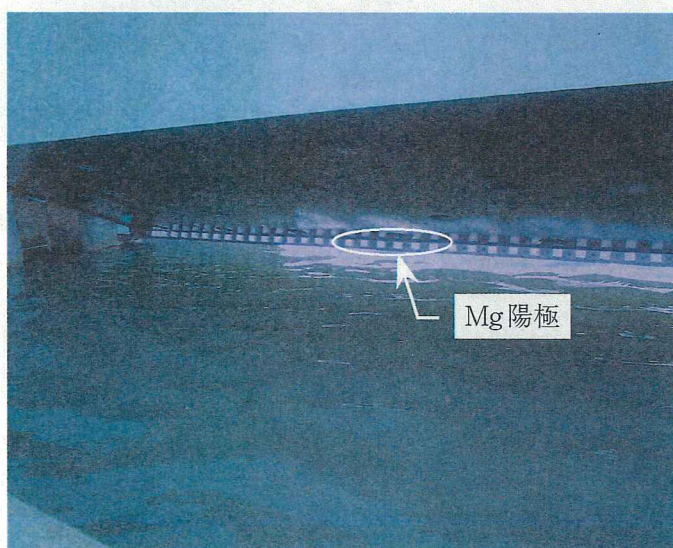
- ①シェル構造のローラゲートの例
- ②炭素鋼+塗装
(外面, 側面/フレークライニング
またはタールエポキシ樹脂塗料)
- ③淡水環境
- ④流電陽極方式
- ⑤扉体および端部に棒状および板状 Mg 陽極
取付
- ⑥全体防食
- ⑦電防適用直後
- ⑧良好

(a) 上流側および端部

(b) 下流側

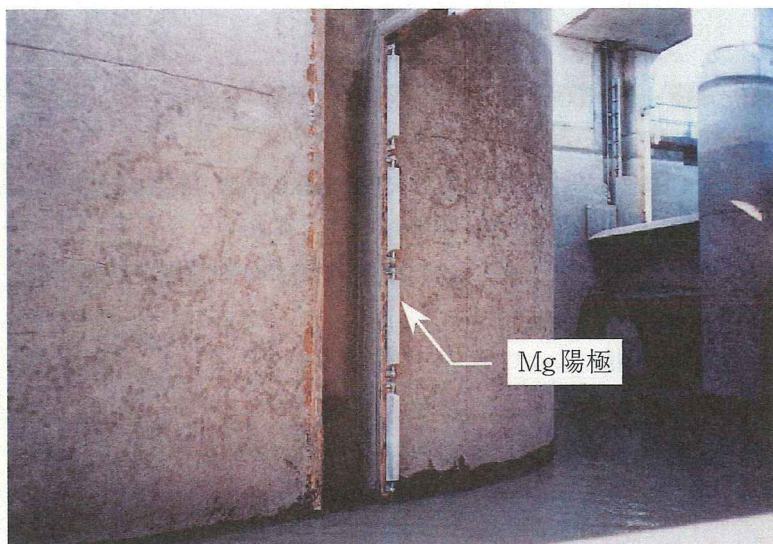
(c) (b) の拡大写真

(b)



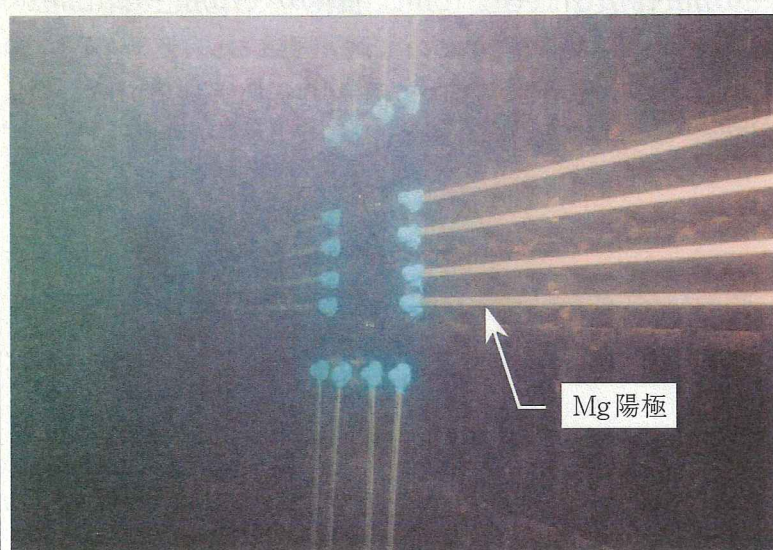
(c)





写真－6. 7 適用事例その7

- ①スライドゲート戸当り金物の例
- ②炭素鋼
- ③淡水環境
- ④流電陽極方式
- ⑤戸当り金物に板状 Mg 陽極取付
- ⑥部分防食
- ⑦電防適用直後
- ⑧良好



写真－6. 8 適用事例その8

- ①付帯設備（スクリーン）の例
- ②炭素鋼
- ③淡水環境
- ④流電陽極方式
- ⑤スクリーンに線状 Mg 陽極取付
- ⑥部分防食
- ⑦電防適用直後
- ⑧良好

7. 防食法選定の考え方

7. 1 防食法選定の考え方

河川・ダム施設の防食法選定にあたっては、環境・規模・維持管理体制などの、構造物・部材の条件を十分に把握し、各防食法適用の長所と短所を検討し、最適な防食法を選定することが必要である。

従来の河川・ダム施設の標準的な防食法は塗料と考えて良い。防食法選定にあたっては、塗料と他の防食法を比較しながら、河川・ダム施設の条件を検討し、手法を見つけるという方法によるのが判断しやすいであろう。

構造物の条件は全て異なり、ひとつとして同じ条件の構造物は存在しない。このため、構造物毎に技術的な検討を行い、防食法を選定するのが望ましい。

また、構造物の条件から防食法を検討した結果、ひとつの方法によってしか防食できないということはむしろまれであり、いくつかの防食法の特徴とコストを比較検討し、防食法を選択することとなる。

7. 2 防食法の種類

7. 2. 1 標準的な防食法

河川・ダム管理施設は、従来は炭素鋼に塗装などの方法で防食されてきた。しかし、塗料のみでは防食上対応しがたい条件も多かった。現在では耐食材料や電気防食などが、河川・ダム施設の防食法として適用可能であり、データが揃いつつある。一方で塗料もさまざまな改良が進んでいる。これらの各手法の特徴は前章までに詳しく述べられているが、これらの防食法特徴を比較すると表- 7. 1 のようになる。

表- 7. 1 各防食方法の特徴

防食方法	特徴	留意点
塗装（炭素鋼） （電気防食併用を含む）	・実績が多数ある。 ・適切な仕様選定により高い防食性を得ることができる。 ・自由な色彩の選択が出来るため景観性が優れている。 ・既存構造物の補修時に、耐食性に優れた塗装仕様の選定により、耐食性向上が可能である。	・構造物の条件に適合した塗装仕様の選定が必要。（大気部用、水中部用、干満帯用などの塗料、新設仕様と塗替仕様、耐衝撃性塗料、電気防食との併用などがある） ・定期的な塗替が必要 ・厳寒期の施工は配慮が必要な場合がある。 ・ボルト部や角部などで損傷しやすい。
ステンレス材料 （電気防食併用を含む）	・材料自体の耐食性が優れている。 ・摺動部分など、塗装では適応しにくい部分でも損傷しにくい。 ・定期的な維持管理を塗装に比べ軽減することができる。 ・現場施工条件の耐食性への影響を受けにくい。	構造物の条件に応じた適切な鋼種選定が必要。 （SUS304、SUSU316、SUS329J4L 等、電気防食との併用もある） ・異種金属接触腐食が生じるので、没水部では炭素鋼と混用しない。混用する場合には、対策（絶縁、水の滞留防止、炭素鋼等の面積制限・塗装、電気防食併用等）が必要である。 ・塩化物イオンの存在下では微生物腐食が生じる場合がある。 ・長期な水の滞留がある場合には酸素濃淡電池を生じる恐れがある。
アルミニウム合金材料 （電気防食併用を含む）	・材料自体の耐食性が優れている。（特に大気中での耐食性が高いため、常時大気中の水門扉に適する。） ・塗替間隔を炭素鋼に塗装した場合に比べ長くできる。 ・軽量化により駆動設備の縮減及び操作性の向上。	・炭素鋼やステンレス鋼との接触により、異種金属接触腐食を生じる場合があるので、対策（絶縁、水の滞留防止、炭素鋼等の面積制限、塗装、電気防食併用等）が必要。
電気防食	・塗装欠陥部の炭素鋼の腐食を防ぐ。 ・ステンレス鋼、アルミニウム合金の塩化物イオンによる局部腐食を防ぐ。 ・異種金属接触腐食、コンクリート中の鉄筋等とのマクロセル腐食を防ぐ。 ・腐食効果は新設、既設を問わない。	・構造物の条件に応じた適切な設計が必要。 ・淡水環境では塗装との併用が必要。 ・塗装と併用する場合には、定期的な塗装の維持管理が必要である。

7. 2. 2 最近の技術開発事例

(1) FRP

FRPはスクリーンなどに適用され、良好な結果を得ている（写真-7. 1）。水門扉体への適用も昭和30年代末より進められ、これまでに国内で400を超える実績がある（写真-7. 2）。その多くは3㎡以下の、スライドゲート、フラップゲート、スイングゲート、マイタゲート、角落とし等の扉体と戸当たりに用いられている。軽量（密度約1.9g/cm³）、高強度（鋼材とほぼ同等）で、耐食性に優れている。汚れた水や水の滞留にも適用できる。昭和30年代より設置されたゲートの多くが現存している。一方、素材の弾性率が比較的低いため、小規模のゲートに限定される。

FRPは熱硬化性樹脂をガラス繊維や炭素繊維などで補強した材料であり、樹脂・繊維の選択により、物性や形状の自由度が高い。このため、河川・ダム施設の防食材料としての適用を検討する場合、これに適したFRPを検討することが必要である。このことが従来、河川・ダム施設の防食材料としての適用を妨げてきたともいえる。適切な適用方法が確立されれば、河川・ダム施設の新たな防食法のひとつとして、活用されることが期待できる方法である。

(2) ワイヤロープ用グリース

河川・ダム施設では水門を開閉するためのワイヤロープが使用されていて、ワイヤロープ表面には防錆および潤滑を目的としたグリース状の防錆油（防錆グリース）が塗布されている。

従来品はグリースの色相や垂れ汚れが水門設備や周辺の景観の妨げとなって作業の容易性、短縮等に不十分なものであったが、防錆性・メンテナンス性・美観性等の優れた半透明な防錆グリースが開発されて、現在使用されている（写真－7. 3）。（詳細は土木研究所資料第3686号「河川・ダム施設防食ガイドライン（案）ステンレス材料編」pp. 172-177を参照のこと）。

7. 3 防食法選定にあたっての検討項目

(1) 構造物の自然環境

構造物設置位置の気候（気温、湿度、降水量、日射量、飛来塩分など）、水質（淡水、海水、汽水、水温、汚れたなど）、水位などの自然条件は、構造物の腐食条件に影響を与える。

気温、湿度、降水量、日射量等は、特に大気中の部材の腐食（劣化）環境で影響する。たとえば、樋門は堤体内にあるため、陽当たりの良い条件と悪い条件の差が出やすい。

塗料で防食された場合、陽当たりの良い場合で、耐候性に優れた塗装系を選択できない場合には、白亜化を起こしやすいため、アルミニウム合金材料等を検討する。

水質（淡水、海水、汽水など）は、水中及び干満帯の部材の腐食環境に影響するが、塗装、耐食金属材料とも、適切な設計を行うことにより適用が可能な場合が多い。汚れた水で小規模の場合には、FRPも検討の価値がある（写真－7. 4）。

(2) 構造物の使用条件

河口堰のように、常時締め切りで、増水時のみ開放するゲートでは、腐食環境が厳しく、塗装の塗替も困難であることが多い。このような場合には、常時締め切りであれば景観上の問題も少ないと判断できるなら、耐食金属材料を用いる効果が高い（写真－7. 5）。一方、常時、開放しており、増水時のみ閉める水門の場合には、殆どの時間、扉体が外に出ていることになり、塗替のしやすさなどの条件が満足できれば、塗料を適用できる（写真－7. 6）。

(3) 規模

ゲートが7～8門も並列している大規模な河川・ダム施設では1年に1門ずつ塗替を行っている例があるが、規模の大きさを活かした防食上の維持管理方法である（写真－7. 7）。また、塗替が難しい場合にはステンレス材料を適用した大規模な堰も事例があり、良好な結果を得ている。小規模の場合には様々な防食法が適用可能である。

(4) 施工上の環境

塗装の塗替時の下地調整は、ブラストによることが望ましい。このため、周辺環境からブラストを行うことが困難である場合には、他の防食法の可能性を検討することが望ましい（写真－7. 8）。

(5) 構造

塗料は通常塗り替えの必要がある。構造上塗替が困難である部分には、耐食金属材料を使用することを推奨する（写真－7. 9）。また、塗装による防食を採用する場合には塗替が容易に出来るように設計されることが望ましい。また、ステンレス材料では、炭素鋼との混用を避けると共に、隙間構造を極力避けた構造とする必要がある。アルミニウム合金材料の場合には異種金属との接合部に水が滞留しないことなど、異種金属接触腐食を防ぐ構造上の配慮が必要である（写真－7. 10 (a) (b)）。

構造上、扉体が軽量であることが有利な場合と、逆に不利になる場合があるが、軽量である方が有利であれば、アルミニウム合金材料やFRPを検討する価値がある（写真－7. 11）。

(6) 構造物の現状・腐食状況

塗装等で防食された既設の河川・ダム施設を塗替える場合には、より耐食性に優れた防食法や、塗装仕様を採用することによって維持管理の間隔を延ばすことが可能である。特に塗料については、塗替の機会に、防食効果の高い仕様の採用が望ましい。この場合、現在の現状・腐食状況は、その施設の腐食しやすさの指標となるので、特に腐食している場合には調査し、その結果を塗替・更新計画に組み入れることが望ましい。

(7) 景観性

常時大気中にある構造物では、景観上の配慮が必要な場合がある。ステンレス材料やアルミニウム合金材料は通常金属色であるが、塗料は非常に自由度が高いため、金属色が景観上問題になる場合には塗装が主な検討対象となる(写真-7.12)。アルミニウム合金材料でも、美観上の目的で薄い塗装を行うことができる。特に大型のゲートでは目立つことが多いので、美観上の配慮が重要である。

(8) コスト

防食法によっては初期コストがかさむことがある。これらは維持管理にかかる費用を含めたLCCが低くなれば、最終的には安価で済むことになる。

ただし、LCC算定には現在確立された方法はなく、また、防食上の維持管理にかかる様々な状況の将来予測は困難であるため、LCCが予測できたとしても十分な信頼性の無い可能性もある。初期コストは多少高くても本検討項目で有利な点があり、それがコスト差に見合うと技術的に判断できれば、防食法として採用する価値が十分にある。

(9) 金属溶射、めっき

金属溶射及び溶融亜鉛めっきは、従来、常時大気中にある構造物に限って使用されてきた。しかし、以下のような理由により河川・ダム施設には採用しないのが望ましい。

①管理橋などでは大気中構造物であっても、結露が発生しやすい条件となることがあり、期待通りの耐食性が得られない場合がある。

②亜鉛が消耗した場合、再度、金属溶射・メッキが必要である。溶融亜鉛メッキでは現場施工は不可能であり、工場に分解移設して再メッキを行う必要がある。このように腐食が発生した場合の対応が困難である。

③補修塗装により十分な耐食性を得ることが困難である。

④他の耐食性に優れた防食方法が開発されつつある。



写真-7. 1 FRPスクリーンへの適用事例



写真-7. 2 FRPの扉体への適用例

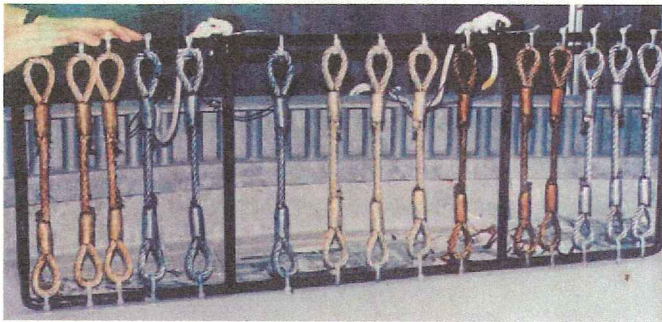


写真-7. 3 ワイヤロープ用グリースの試験事例



写真-7. 4 FRP製扉体の汚れた水理堰への適用例

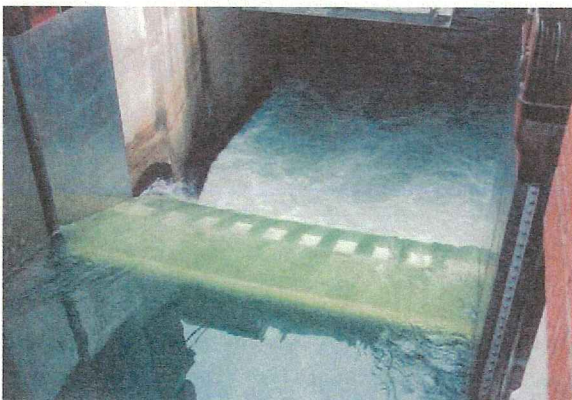


写真-7. 5 耐食金属材料の越流ゲートへの適用事例



写真-7. 6 塗装の常時大気中ゲートへの適用事例



写真-7. 7 大規模堰の事例

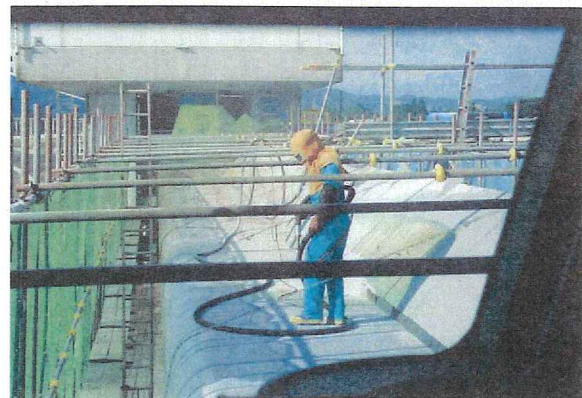


写真-7. 8 塗替塗装においてブラスト処理を行った事例



写真-7. 9 (a) 塗替塗装が困難な構造例

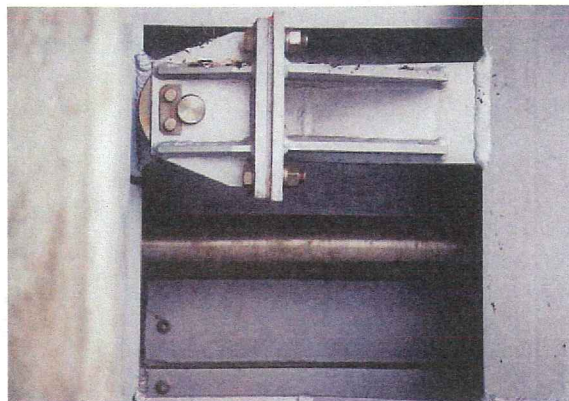


写真-7. 9 (b) 塗替塗装が困難な部分に耐食金属材料の使用した事例



写真-7. 10 (a) アルミニウム合金材料の使用にあたり異種金属接触腐食を避けるために絶縁を施した例

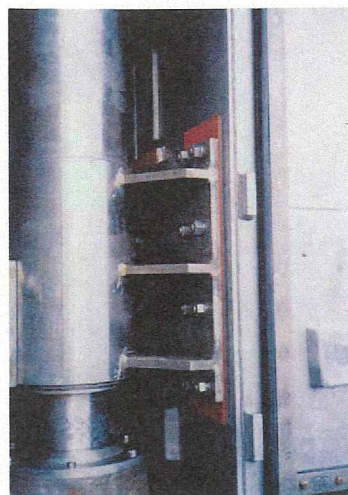


写真-7. 10 (b)
(a)の拡大(茶色の板が絶縁板)



写真-7. 11 アルミニウム合金の活用事例

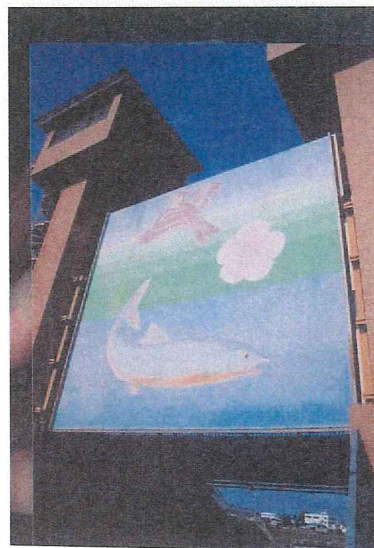


写真-7. 12 大型扉体に描画して景観調和を図った事例

