

マイクロフィルム用資料

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3685号

土木研究所資料

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—

平成12年1月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室

Copyright © (2000) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の本書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

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—

化学研究室	室	長	明嵐	政司
	主任研究員		守屋	進

要 旨

河川・ダム施設の鋼構造物のメンテナンスを簡易化するために用いられるアルミニウム合金材料について、河川・ダム施設に適切に適用するため室内試験および現地曝露試験の結果並びに従来からの知見に基づいて利用技術を整理したものである。

キーワード：河川・ダム施設、アルミニウム合金材料、利用技術、メンテナンス

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国民の生命・財産の保全に欠かせない施設である。これら施設の鋼構造物は、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、これらの設備は水中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ため、その期間が限られていることが多く、施設の機能を長期間にわたって維持するために必要なメンテナンスの軽減が求められている。このため、耐食性材料としてアルミニウム合金材料を使用する際、ステンレス鋼材などと混用するとアルミニウム合金材料が急速に腐食することが懸念される。

本ガイドライン（案）は、東北地方建設局からの依頼によって河川・ダム施設の防食技術研究会で実施している室内試験結果、現場曝露試験結果およびこれまでの知見に基づいて、河川・ダム施設のメンテナンスを簡略化するために必要なアルミニウム合金材料の適用技術についてとりまとめたものである。

河川・ダム施設の防食技術研究会

委員長	市川 慧	(財) 国土開発技術研究センター技術顧問
副委員長	菅原次郎	建設省東北地方建設局道路部機械課長
委 員	阿部新治	建設省東北地方建設局道路部機械課課長補佐
	小河義文	建設省東北地方建設局道路部機械課建設専門官
	明嵐政司	建設省土木研究所材料施工部化学研究室長
	中沢好夫	(社) 鋼材倶楽部土木専門委員会委員長
	花崎昌幸	(社) 日本アルミニウム協会土木製品開発委員会耐食性分科会長
	戸村寿一	(株) ナカボーテック技術顧問
	國田義正	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
	平賀憲一	(社) 日本塗料工業会
幹 事	守屋 進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員
	西崎 到	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員

耐食金属材料ワーキンググループ

山下	久男	新日本製鐵（株） 建材開発技術部土木基礎建材技術グループマネジャー
末次	和広	新日本製鐵（株） ステンレス営業部厚板グループマネジャー
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任研究員
松橋	亮	新日本製鐵（株） 鉄鋼研究所鋼材第一研究部主任研究員
田中	成人	日鉄防食（株） エンジニアリング事業部営業開発部長
鍋島	秀雄	住友金属工業（株） ステンレス・チタン事業部ステンレス・チタン技術部担当課長
幸	英昭	住友金属工業（株） 総合技術研究所研究主幹
南	孝男	住友金属テクノロジー（株） 受託研究事業部腐食防食チーム長
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
川嶋	巖	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課長
赤嶺	健一	石川島播磨重工業（株） 基盤技術研究所材料研究部
君島	孝尚	石川島播磨重工業（株） 基盤技術研究所機械要素研究部
羽石	正	石川島播磨重工業（株） 基盤技術研究所機械要素研究部
三上	聡	日本軽金属（株） 景観エンジニアリング事業部設計技術部第2設計センター長
花崎	昌幸	日本軽金属（株） グループ技術センター腐食防食室主任研究員
正路	美房	住友軽金属工業（株） 研究開発センター第六部自動車熱交材料開発室主任研究員
大隅	心平	住友軽金属工業（株） アーバンエンジニアリング事業部設計技術部構造チーム副課長
梶下	一廣	（株） ナカボーテック陸上施設事業本部技術部長
望月	紀保	（株） ナカボーテック技術開発研究所開発研究室長
守屋	進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員

アルミニウム合金材料小ワーキンググループ

花崎	昌幸	日本軽金属（株） グループ技術センター腐食防食室主任研究員
加藤	良則	（株） 神戸製鋼所アルミ・銅カンパニー真岡製造所アルミ板研究部
宇野	清文	三協アルミニウム工業（株） 技術開発本部技術室技術課課長代理
西沢	和由	昭和アルミニウム（株） 研究開発部研究室副主任研究員
後藤	慎二	スカイアルミニウム（株） 技術研究所表面技術担当
正路	美房	住友軽金属工業（株） 研究開発センター第六部自動車熱交材料開発室主任研究員
寺島	政志	富山軽金属工業（株） 技術開発部表面処理技術研究チーム副主幹
小伏脇	史明	立山アルミニウム工業（株） 商品開発室材料技術主任
美厨	雅広	不二サッシ（株） 営業本部開発営業統括部景観新規事業推進部長
石井	俊裕	古河電気工業（株） 軽金属カンパニー市場開発部補佐
兵庫	靖憲	三菱アルミニウム（株） 技術開発センター防食技術研究室
大隅	心平	住友軽金属工業（株） アーバンエンジニアリング事業部設計技術部構造チーム副課長
若林	良樹	住友軽金属工業（株） アーバンエンジニアリング事業部設計技術部課長
佐々木	侑髓	（社） 日本アルミニウム協会

目 次

1. 総則	
1.1 適用範囲	1
1.2 用語	2
1.3 関連規格等	7
2. アルミニウム合金材料の一般的特性	
2.1 アルミニウム合金材料の特性	8
2.2 アルミニウム合金材料の機械的特性	12
3. アルミニウム合金材料の腐食	
3.1 腐食挙動	13
3.2 腐食形態	14
3.3 環境の影響	16
3.4 異種金属接触腐食	24
4. アルミニウム合金材料による防食	
4.1 防食設計	37
4.2 施工および施工管理	45
5. アルミニウム合金材料の保守管理	
5.1 点検一般	63
5.2 点検箇所	64
5.3 判定	65
5.4 腐食防止対策および補修	67
参考文献	69
付属資料	
アルミニウム合金の水門適用例	71

1. 総 則

1. 1 適用範囲

本ガイドライン(案)は、アルミニウム合金材料を耐食材料として河川施設に適用する際の設計・施工・維持管理に適用する。

[解 説]

河川施設は、河川から灌漑用水、飲料水などの取水や、洪水調節、支川への逆流防止などを目的としている。樋門・樋管は、河川施設の中でも小規模ではあるが、設置箇所が多数散在しているため、維持管理の面で多大なコストを要する。また、ゲートの役割上常時は開放状態にあることが多く、扉体の景観性も考慮する必要がありライフサイクルコストの観点から耐食性材料を使用する意義は大きい。

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。しかしながら、適切な設計・施工がなされないと、材料の利点が活かされないばかりか緊急時に作動しなくなることもあり得る。

本編では、アルミニウム合金材料の諸性能を明らかにし、設計者や施工者が適切な処置をできるようにすることによりアルミニウム合金材料を河川施設へ適切に使用することを目的としている。

なお、アルミニウム合金材料の構造設計は、「ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・マニュアル編)」に準拠する。ただし、腐食に対する余裕厚は見込まないものとする。許容応力度は、「アルミニウム合金土木構造物 設計・製作指針案(第1次改訂指針案)」社団法人 日本アルミニウム協会によるものとする。

1. 2 用語

本編で使用する用語は以下のように定義する。

(1) アルミニウム合金材料：

アルミニウム合金の板、形材、管、棒などの展伸材および鋳物、ダイカストなどの鋳造材の全てを含む。

(2) 質別：

製造過程における加工・熱処理条件の違いによって得られたものの機械的性質の区分をいう。

(3) 時効処理：

ここで時効処理とは時効硬化を示す。時効硬化型合金は適正な熱処理によってその機械的性質が著しく改善される。これは合金成分が固容体の均質組織中に過飽和に固容した場合、これらが不規則にまたは規則正しく集合し、異相を形成して析出する固相変化によって硬化する。この過程を時効硬化という。

(4) 溶体化処理：

合金の時効処理*⁽³⁾をする場合の第一段階の処理で、アルミニウムに他の元素が均一に溶け込む固溶体領域の温度に加熱し、一定時間その温度で保持して完全に固溶化させる熱処理をいう。

(5) 安定化処理：

加工により硬化させた材料を、一般には加工硬化後 120～170℃の温度に短時間処理することにより、機械的性質の経年変化を防止する処理をいう。

(6) ウォーターステイン：

押出材の冷却水などの残りが表面に付着して、薄灰色に変色したもの。腐食を誘発、進行させることはなく、防食上の問題はない。

(7) 自然電位：

金属が水溶液中に浸漬されたときに示す電位を自然電位（または自然電極電位、腐食電位）という。これは相対的な指標であり、これを測定するには測定対象と照合電極（または基準電極）を組合わせて電池を形成し、その回路起電力を電位差計で測定する。

(8) 孔食：

広い面積にわたって全面がほぼ均一に腐食する全面腐食に対して、孔食は、酸化皮膜が局部的破壊を受けてピット（孔食）を生ずる局部腐食の典型的な形態である。おもに塩化物イオン（ Cl^- ）を含む環境で生じる点状あるいは虫食い状の腐食であり、塩化物イオンの作用により酸化

皮膜が局部的に破壊され、その部分が優先的に溶解することにより進行する。

(9) 異種金属接触腐食：

自然電位の異なる金属が電解質中で接触した場合などに、電位の低い方の金属（亜鉛、アルミニウム等）の腐食が、電位の高い方の金属（鉄、ステンレス鋼、銅等）によって早められる現象のことをいう。金属電池作用による腐食のことであり、ガルバニック腐食ともいう。

また、電食とは迷走電流による腐食のことであり、本ガイドラインにおける異種金属接触腐食とは区別されている。

(10) 陰極防食：

電流を流すことによって金属の腐食を防止する電気防食の一種であり、防食すべき金属を陰極とする方法のことをいう。陰極とするには外部電源から電流を流す方法と、流電陽極（または犠牲陽極）を設ける方法がある。カソード防食ともいう。

(11) 粒界腐食：

表面からの一様な腐食に対して、粒界腐食は結晶粒界またはそのごく近傍に沿った選択的な腐食で、粒内はほとんど腐食されないにもかかわらず金属の劣化・破壊をもたらす。粒界腐食で腐食されやすい部分は、粒界析出物である場合と、粒界に隣接する析出物のない層（PFZ：Precipitation Free Zone）である場合の二つがある。前者の場合、析出物が粒界に連続して存在するときに粒界腐食がおこりやすいため、粒界析出物が不連続になるような熱処理をすれば粒界腐食はおこらなくなる。

(12) 開先：

母材中または2つの母材の間に作られた、みぞあるいは間隙で、溶接するための空間として設けられたものを開先という。溶接作業を容易にするため、または溶接継手の性能を向上させるために、さまざまな形状の開先がある。それぞれ断面の形状によって、I形、V形、X形などと呼んでいる。

(13) ミグ溶接：

ミグ（MIG）溶接は Metal Inert Gas Arc 溶接の頭文字をとったもので、アルゴンやヘリウムなどの不活性ガス雰囲気中で行われる。ミグ溶接は電極となるワイヤを連続的に溶接部に送り、その先端と母材との間にアークを発生させ、そのアーク熱により母材およびワイヤを溶融して接合する方法である。

(14) ティグ溶接：

ティグ (TIG) 溶接は Tungsten Inert Gas Arc 溶接の頭文字をとったもので、アルゴンやヘリウムなどの不活性ガス雰囲気中で行われる。ティグ溶接はタングステン電極と母材との間にアークを発生させ、そのアーク熱により母材および溶接棒を溶融して接合する方法である。

(15) ブローホール (溶接欠陥)：

溶接金属中に生じた球状またはほぼ球状の空洞をブローホールという。アルミニウム合金は他の金属に比べて溶接部にブローホールが発生しやすい。ブローホールの主因は水素ガスによるものである。

(16) クレータ割れ (溶接欠陥)：

溶接ビードの終端にできるくぼみをクレータという。クレータ処理を行わない溶接ビード終端は、くぼんだ状態で凝固してクレータを生じるが、クレータ割れは、この際の収縮が原因で生じるものである。

(17) 融合不良 (溶接欠陥)：

溶接境界面が十分に溶け合っていないことを融合不良という。融合不良は、溶接金属と母材との間、または多層盛りのパスの間などに起こりやすい。

(18) アンダーカット (溶接欠陥)：

溶接の止端に沿って母材が掘られて、溶接金属が満たされないで、みぞとなって残っている部分をアンダーカットという。

(19) オーバーラップ (溶接欠陥)：

溶接金属が止端で母材に融合しないで重なった部分をオーバーラップという。

(20) 継手効率：

継手の強さと母材の強さとの比を継手効率といい、通常、百分率で表す。

(21) 非破壊検査：

素材または製品などを破壊せずに、欠陥の有無、その存在位置、大きさ、形状、分布状態などを調べることを非破壊検査という。欠陥はその存在する位置によって内部欠陥と表面欠陥に分けられ、それぞれに適合する非破壊試験方法が用いられている。

[解 説]

(1) ミグ溶接

ミグ溶接はアルゴンガス、ヘリウムガスなどの不活性ガス雰囲気中で電極となるワイヤを連

続的に溶接部に送り、その先端と母材との間にアークを発生させる方法である。大電流ミグ溶接方法、短絡ミグ溶接方法、パルスミグ溶接方法がある。ミグ溶接の原理を図解 1.2.1¹⁾ に示す。

- ①半自動または自動溶接で行われ、全姿勢溶接が可能である。
- ②標準的な溶接装置において厚板、中厚板、薄板の溶接が可能である。
- ③クリーニング作用がある。
- ④熔融金属の移行がスプレー状となりビードがきれいで深い溶込みが得られる。

(2) ティグ溶接

ティグ溶接はアルゴンガス、ヘリウムガスなどの不活性ガス雰囲気中でタングステン電極と母材との間にアークを発生させ、そのアーク熱により母材および溶接棒を熔融して接合する方法である。交流ティグ溶接方法、DCSP ティグ溶接方法がある。ティグ溶接の原理を図解 1.2.2¹⁾ に示す。

- ①交流ティグ溶接では手動および自動溶接のいずれにも用いられ全姿勢が可能。クリーニング作用がある。薄板、補修溶接に適している。
- ② DCSP ティグ溶接はクリーニング作用がなく特に前処理が必要である。平板、厚板の溶接が可能。

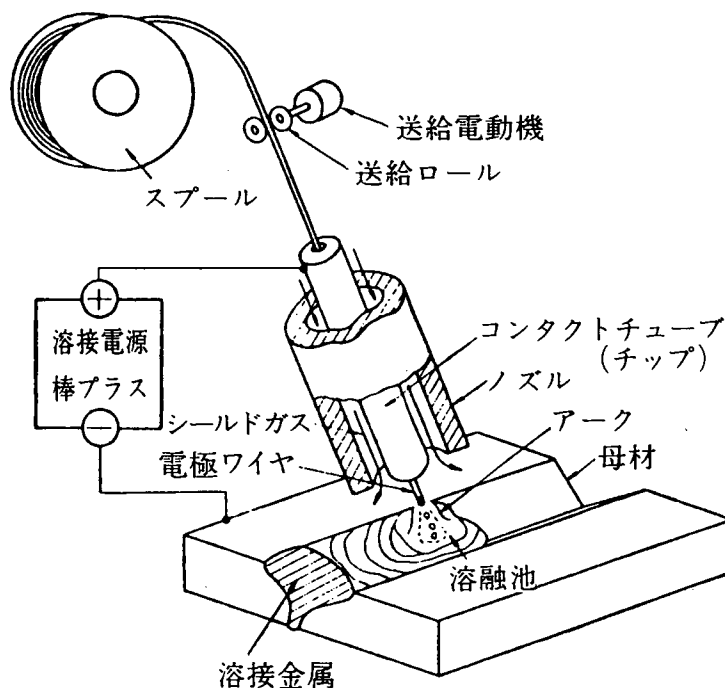


図 1.2.1 ミグ溶接法の原理

出典：アルミニウム構造物の溶接施工管理；社団法人 軽金属溶接構造協会

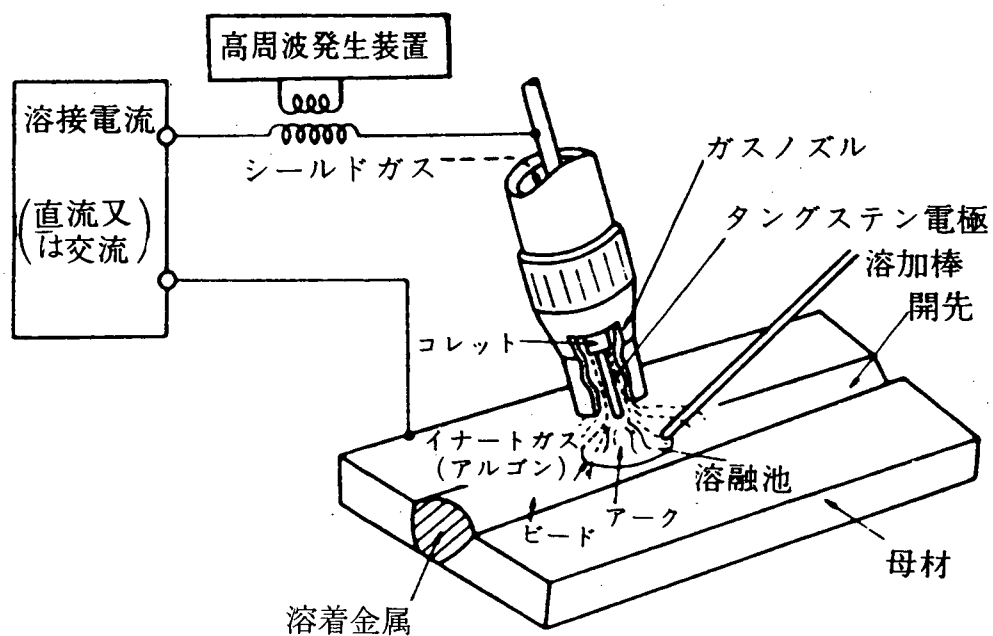


図 1.2.2 ティグ溶接法の原理

出典：アルミニウム構造物の溶接施工管理；社団法人 軽金属溶接構造協会

(3) 溶接欠陥

溶接欠陥は、溶接部が構造の弱点となったり応力が集中する可能性があることから強度上の問題として重要視されるが、クレーター割れやアンダーカットなどでは、割れや隙間で腐食が進行する可能性があり、防食上からも溶接欠陥を防がなければならない。

1. 3 関連規格等

河川施設にアルミニウム合金材料を適用する場合には、本ガイドラインの他、関連法規、基準および規格に従うものとする。

[解 説]

(1) 関連法規

- ・ 河川法 (平成 9 年 6 月 4 日 法律第 69 号)
- ・ 河川管理施設等構造令 (平成 9 年 12 月 1 日施行)

(2) 関連基準

- ・ 建設省河川砂防技術基準 (平成 9 年 5 月) (社) 日本河川協会
- ・ ダム・堰施設技術基準 (案) (平成 11 年 3 月) (社) ダム・堰施設技術協会
- ・ アルミニウム合金製水門設計製作指針 (案) (昭和 54 年 3 月) (社) 軽金属協会

(3) 関連規格

- ・ J I S H4000 アルミニウムおよびアルミニウム合金の板および条
- ・ J I S H4040 アルミニウムおよびアルミニウム合金の棒および線
- ・ J I S H 4080 アルミニウムおよびアルミニウム合金継目無管
- ・ J I S H4100 アルミニウムおよびアルミニウム合金押出型材
- ・ J I S Z3232 アルミニウムおよびアルミニウム合金溶接棒並びにワイヤ
- ・ J I S H5202 アルミニウム合金鋳物
- ・ J I S Z3811 アルミニウム溶接技術検定における試験方法および判定基準
- ・ J I S Z3604 アルミニウムのイナートガスアーク溶接作業標準
- ・ J I S H8681 アルミニウムおよびアルミニウム合金の陽極酸化皮膜の耐食性試験方法
- ・ W E S A7601 アルミニウム合金構造物の溶接施工管理技術者資格認定規程

2. アルミニウム合金材料の一般的特性

2. 1 アルミニウム合金材料の特性

アルミニウム合金材料は合金および質別によって性質が異なる。

〔解 説〕

(1) アルミニウム合金の定義・分類

アルミニウムは種々の元素を添加し合金とすることで強度が増大する。アルミニウム合金材料は添加される元素によって 表解 2.1.1 のように分類される。

アルミニウム合金は熱処理合金と非熱処理合金に大別される。熱処理合金は焼き入れや時効処理を施すことによって所要の強度を得るもので、非熱処理合金は合金成分と冷間加工の程度によって強度を得るものである。

表解 2.1.1 主要なアルミニウム合金材料の分類

アルミニウム合金	展 伸 材	非熱処理合金	純アルミニウム系	(1xxx)
			Al-Mn 系	(3xxx)
			Al-Si 系	(4xxx)
			Al-Mg 系	(5xxx)
		熱処理合金	Al-Cu 系	(2xxx)
			Al-Mg-Si 系	(6xxx)
			Al-Mn 系	(7xxx)
	鋳 物 材	非熱処理合金	Al-Si 系	(AC3z)
			Al-Mg 系	(AC7z)
		熱処理合金	Al-Cu-Si 系	(AC2z)
			Al-Mg-Si-(Cu) 系	(AC4z 他)

x は任意の数字、z は任意のアルファベット

(2) アルミニウム合金の系統別特性

アルミニウム合金展伸材料および鋳物材料は、合金の種類・形状および質別により、おのおの表解 2.1.2 および 2.1.3 のような記号で表される。また、代表的な質別は、表解 2.1.4 のように区分される。

表解 2.1.2 アルミニウム合金展伸材料およびその形状記号

材 料 記 号 の 成 り 立 ち					製品を示す J I S 記号 (抜粋)			
A	x x x x	△	—	□	記号	意味	記号	意味
↓	↓	↓		↓	P	板、条、円板	S	押出形材
アルミニウム (合金)	合金種 ↓ 表 2.1.1	形状 ↓ 右表		質別 ↓ 表 2.1.4	PC	合わせ板	TE	押出継目無管
					BE	押出棒	TD	引抜継目無管
					BD	引抜棒	FD	型打鍛造品
					BR	リベット	FH	自由鍛造品

表解 2.1.3 アルミニウム合金鋳物材料およびその形状記号

材 料 記 号 の 成 り 立 ち					製品を示す J I S 記号 (抜粋)	
A	x x	△	○	—	記号	意味
↓	↓	↓	↓	↓	C	鋳物
アルミニウム (合金)	製品種別 ↓ 右表	元素種別 ↓ 表 2.11	組成種別 ↓ 表 2.1.4	質別 ↓ 表 2.1.4	DC	ダイカスト
					J	軸受鋳物

表解 2.1.4 主要な質別記号および製造のフローチャート

製造のフローチャート		主要な質別記号																							
<pre> graph TD A[熱間加工] --> B[冷間加工] B --> C[中間焼鈍] B --> D[溶体化処理] C --> E[冷間加工] E --> F[最終焼鈍] E --> G[安定化処理] E --> H[時効処理] D --> H F --> I[H112] F --> J["O, H2n"] G --> K[H1n] G --> L[H3n] H --> M[T4n] H --> N[T6n] </pre>		(1) 基本記号 <table border="1"> <tr> <td>F</td> <td>製造のままのもの</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>焼きなましたもの または完全に再結晶したもの</td> </tr> <tr> <td>H112</td> <td>積極的な加工硬化を加えず製造されたままで機械的性質が保証されたもの</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>加工硬化したもの</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>熱処理により、F、O、H以外の安定な質別にしたもの</td> </tr> </table> (2) H XY の細分記号およびその <table border="1"> <tr> <th>記号</th> <th>意味</th> <th>参考</th> </tr> <tr> <td>HX2</td> <td>引張強さが O と HX4 の中間のもの</td> <td>1/4 硬質</td> </tr> <tr> <td>HX4</td> <td>引張強さが O と HX8 の中間のもの</td> <td>1/2 硬質</td> </tr> <tr> <td>HX8</td> <td>断面減少率がほぼ 75% の冷間加工での引張強さのもの</td> <td>硬質</td> </tr> </table> X は 1~3 の数字		F	製造のままのもの	O	焼きなましたもの または完全に再結晶したもの	H112	積極的な加工硬化を加えず製造されたままで機械的性質が保証されたもの	H	加工硬化したもの	T	熱処理により、F、O、H以外の安定な質別にしたもの	記号	意味	参考	HX2	引張強さが O と HX4 の中間のもの	1/4 硬質	HX4	引張強さが O と HX8 の中間のもの	1/2 硬質	HX8	断面減少率がほぼ 75% の冷間加工での引張強さのもの	硬質
F	製造のままのもの																								
O	焼きなましたもの または完全に再結晶したもの																								
H112	積極的な加工硬化を加えず製造されたままで機械的性質が保証されたもの																								
H	加工硬化したもの																								
T	熱処理により、F、O、H以外の安定な質別にしたもの																								
記号	意味	参考																							
HX2	引張強さが O と HX4 の中間のもの	1/4 硬質																							
HX4	引張強さが O と HX8 の中間のもの	1/2 硬質																							
HX8	断面減少率がほぼ 75% の冷間加工での引張強さのもの	硬質																							

(3) アルミニウム合金材料の一般的性質

アルミニウム合金材料に共通の物理的特性、代表的な展伸材料の一般的性質、代表的な鋳物材料の一般的性質をそれぞれ表解 2.1.5～2.1.7 に示す。

表解 2.1.5 アルミニウム合金材料に共通の物理的特性

項 目 (条 件)		物 理 定 数	
		アルミニウム合金材料	鋼 材 (参考)
密度	(室温)	2.7 Mg/m^3	7.9 Mg/m^3
比抵抗	(5052、5083、室温)	4.9～6.0 $\text{Nq} \cdot \text{m}$	8.71 $\text{Nq} \cdot \text{m}$
比熱	(高純度アルミニウム、0～100℃)	917 $\text{J/kg} \cdot \text{℃}$	469 $\text{J/kg} \cdot \text{℃}$
熱膨張係数	(20～100℃)	24.0 $\mu\text{℃}^{-1}$	11.7 $\mu\text{℃}^{-1}$
熱伝導率	(5052、5083、室温)	0.12～0.14 $\text{kW/m} \cdot \text{℃}$	0.04 $\text{kW/m} \cdot \text{℃}$
縦弾性係数		68.6 GN/m^2	296 GN/m^2
せん断係数		26.5 GN/m^2	79.5 GN/m^2
ポアソン比		0.3	0.3

表解 2.1.6 各合金の諸特性と代表的な展伸合金の強度例

合金種記号			1000 系	2000 系	3000 系	4000 系	5000 系		6000 系		7000 系	
主合金成分			純 Al	Al - Cu	Al - Mn	Al - Si	Al - Mg		Al - Mg - Si		Al - Zn - Mg	
引張強度 N/mm ²	焼鈍材	70～90	165～185	100～185	—	100～305		90～145		225～255		
	高冷間加工材	130～185	—	—	—	295～375		—		—		
	熱処理材	—	375～490	195～285	375	—		165～390		510～665		
耐食性	一般腐食	A	D	A	C	A		A 含 Cu 材 B		C		
	応力腐食	A	C	A	B	A 加工硬化材 B		A		C		
溶接性	施工性	A	C	A	B	A		A		A～C		
	継手効率	A	B	A	B	A		C		A～B		
主用途			装飾・箔	航空機	缶	ろう接材	缶・構造材 (板)		建材 (形)		航空機	
構造材への適用性および留意点			強度低く不適当	耐食性が 必要な部位に は不適当	強度低く不適当	強度低く不適当	高 Mg 合金は 時効硬化、応力腐食の抑制のため焼鈍材、熱間加工材を使用		継手効率が低いので機械接合を使用		耐食性が 必要な部位に は不適当	
代 表 的 合 金	記 号		1 1 0 0	2 0 1 4	3 0 0 4	4 0 3 2	5052	5083	6063	6061	7075	7N01
	成分	Si	—	0.8	—	12.2	—	—	0.4	0.6	—	—
		Cu	0.1	4.4	0.15	0.9	—	—	—	0.28	1.6	—
		Mn	—	0.8	1.0	—	—	0.7	—	—	—	0.45
		Mg	—	0.5	1.2	1.0	2.5	4.45	0.7	1.0	2.5	1.4
		Cr	—	—	—	—	0.25	0.15	—	0.2	0.23	0.13
		Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	5.6	4.5
		Zr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.14
	Ti	—	—	—	Ni=0.9	—	—	—	—	—	0.04	
	引 張 強 度 (N/mm ²)		100	480	215	375	195	295	215	315	570	390
質 別		H112	T6	H12	T6	0	0	T6	T6	T6	T53	

*：耐食性、溶接性は良好なものから順に A～D に区分。A、B は実用上ほとんど問題ないが、C、D は何らかの対策が必要かあるいは制約条件に注意を要する。

表解 2.1.7 代表的な鋳物合金の諸特性と強度例

合 金 系 通 称			Al-Cu-Si (ラウタル)	Al-Si (シルミン)	Al-Si-Mg (γ シルミン)	Al-Si-Cu (含銅シルミン)	Al-Mg (ヒドロナリウム)
鋳造 適応性	砂型		2	1	1	2	3
	金型		2	1	1	2	3
	ダイカスト		2	2	—	—	3
切 削 性			3	4	4	3	1
溶 接 性			2	3	2	2	4
耐 食 性			4	3	2	3	1
主 用 途			機械部品	ケース類	ケース・機械部品	ケース・機械部品	機械部品
製造部品への適 用性と留意点			耐食性が必要な部 位には不適當	強度低く不適當	耐食性が必要な部 位には不適當	耐食性が必要な部 位には不適當	複雑な部品や溶接 部品には不適當
代 表 的 合 金	記号		AC 2 A	AC 3 A	AC 4 C	AC 4 D	AC 7 A
	成分		Al-4.5Si-4Cu	Al-12Si	Al-7Si-0.3Mg	Al-5Si-1Cu-0.5Mg	Al-5Mg
	熱処理強化性		有	無	有	有	無
	引張強度	F	175	175	155	175	215
	N/mm ²	T6	175	—	255	275	—

* : 鋳造適応性、溶接性、耐食性: (良) 1 $\longleftrightarrow$ 5 (不良)

2. 2 アルミニウム合金材料の機械的特性

アルミニウム合金材料は合金および質別によって機械的特性が異なる。

〔解 説〕

アルミニウム合金材料の機械的性質は、化学成分および質別によって大きく変化する。河川施設に使用される主要なアルミニウム合金材料の機械的性質を抜粋し、表解 2.2.1 に示す。

ただし、これらの値は、厳密には製造方法、形状等によって異なるので、目安値と考えるべきである。

表解 2.2.1 主要なアルミニウム合金材料の機械的性質

材 質	寸 法 (mm)	引 張 強 さ (N/mm ²)	耐 力 (N/mm ²)	伸び (%)	関連 JIS
A5083P-H112	板厚 4以上6.5以下 6.5を超え40以下 40を超え75以下	285以上 275以上 275以上	125以上 125以上 125以上	11以上 12以上 12以上	JIS H 4000
A5083P-O	板厚 0.8以上40以下 40を超え80以下 80を超え100以下	275以上355以下 275以上345以下 265以上	125以上195以下 125以上195以下 125以上	16以上 16以上 16以上	
A5052P-H112	板厚 4以上6.5以下 6.5を超え13以下 13を超え50以下 50を超え75以下	195以上 195以上 175以上 175以上	110以上 110以上 65以上 65以上	9以上 7以上 12以上 16以上	
A5052P-O	板厚 2.9以上6.5以下 6.5を超え25以下	175以上215以下 175以上215以下	65以上 65以上	20以上 18以上	
A5052P-H32	板厚 2.9以上6.5以下 6.5を超え12以下	215以上265以下 215以上265以下	155以上 155以上	9以上 11以上	
A5052P-H34	板厚 2.9以上6.5以下 6.5を超え25以下	235以上285以下 235以上285以下	175以上 175以上	7以上 10以上	
A5083S-H112	肉厚 130mm以下 断面積 200cm ² 以下	275以上	110以上	12以上	JIS H 4100
A5052S-H112	—	175以上	70以上	—	JIS H 4120
A5052BR-O	径 25以下	215以上	—	—	
A6061BR-T6	径 2以上25以下	265以上 (せん弾力 165以上)	245以上	10以上	
AC7A-F	—	140以上*	—	6以上	JIS H 5202

*：AC7A-Fの数値は砂型試験片（JIS H 5202）の機械的性質を示す。

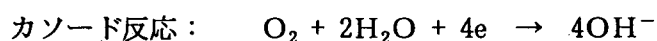
3. アルミニウム合金材料の腐食

3. 1 腐食挙動

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なので腐食は抑制される。

〔解 説〕

アルミニウム合金材料の腐食反応は以下に示す酸化（アノード）反応と還元（カソード）反応から成り立っている。河川や海水などほぼ中性溶液中でのアノード反応はアルミニウムが溶解し、引き続きその水和を生じる。他方、カソード反応は溶存酸素の還元が主体となる。



参考までに、アルミニウム合金材料の自然環境における耐食性について、他の金属材料と比較したデータの一例を表解 3. 1. 1²⁾ に示す。

表解 3. 1. 1 各種金属材料の耐食性の比較（大気暴露、海水および湖水浸漬試験 16 年の結果）

供試材料		海浜大気 ⁽¹⁾		内陸大気 ⁽²⁾		海水浸漬 ⁽³⁾		湖水浸漬 ⁽⁴⁾	
種 類	合 金	腐食量 (g/m ²)	孔食深さ (mm)	腐食量 (g/m ²)	孔食深さ (mm)	腐食量 (g/m ²)	孔食深さ (mm)	腐食量 (g/m ²)	孔食深さ (mm)
アルミニウム 合金材料	1100	8	<0.13	5	<0.13	70	0.43	350	2.49
	6061-T6	8	<0.13	6	<0.13	60	0.36	100	2.44
非鉄金属	銅(99.9%)	173	<0.13	60	<0.13	1360	0.79	230	<0.13
	亜鉛(99.5%)	294	<0.13	98	<0.13	1490	1.57	790	0.46
鉄鋼	炭素鋼	3149	1.3	2277	0.56	9080	2.29	5620	1.83
ステンレス鋼	302	3	<0.13	0	<0.13	1870	3.84	0	<0.13
	316	0	<0.13	0	<0.13	160	2.41	0	<0.13

注) (1)：試験場所 Limon Bay(パナマ運河地帯)

(2)：試験場所 Miraflores Locks(パナマ運河地帯)

(3)：試験場所 Naos 島(パナマ運河地帯)

(4)：試験場所 Gatun 湖(パナマ運河地帯)

* 孔食深さ：最も深い 20 個の平均

出典：アルミニウムハンドブック第 5 版；社団法人 軽金属協会

3. 2 腐食形態

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。

〔解 説〕

(1) 全面腐食

重金属・塩化物イオンなどの腐食媒体を含有しない中性水溶液中や穏やかな大気中では、アルミニウム合金材料の表面酸化皮膜が安定なため、腐食深さは軽微である。ただし、ウォーターステインと呼ばれている変色や腐食生成物が全面を覆う形態の腐食を生じ、外観の品質は劣化する。その防食には、塗装などの表面処理が有効である。

(2) 孔食

孔食は塩化物イオン (Cl^-) を有する通常の大気中および水中で、アルミニウム合金材料に一般的に観察される腐食である。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。孔食の生成機構の模式図を図解 3. 2. 1³⁾ に示す。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、海水や汚染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、前述のように、5000 系アルミニウム合金材料が適している。

(3) 粒界腐食

粒界腐食は、2000 系、7000 系および一部の 5000 系などの高強度アルミニウム合金材料においてしばしば発生する腐食で、結晶粒界に析出した金属間化合物とその周囲の部分との間での異種金属電池作用によって結晶粒界が優先的に腐食される。したがって、合金系だけでなく熱処理条件などによっても粒界腐食の感受性は変化する。その抑制には、各種元素の添加や適正な熱処理などの方策がとられ、河川用施設類に使用される 5000 系アルミニウム合金材料では軟質材が好ましい。

(4) 層状腐食

層状腐食は、あたかも雲母が層状に剥離するような形態の腐食で、変形比の高い冷間加工を受けて加工方向に伸びた繊維状組織を有する合金が、過酷な腐食環境にさらされた場合にしばしば生じる。残留応力との関係は少ないとされている。したがって、河川用施設類に使用される 5000 系アルミニウ

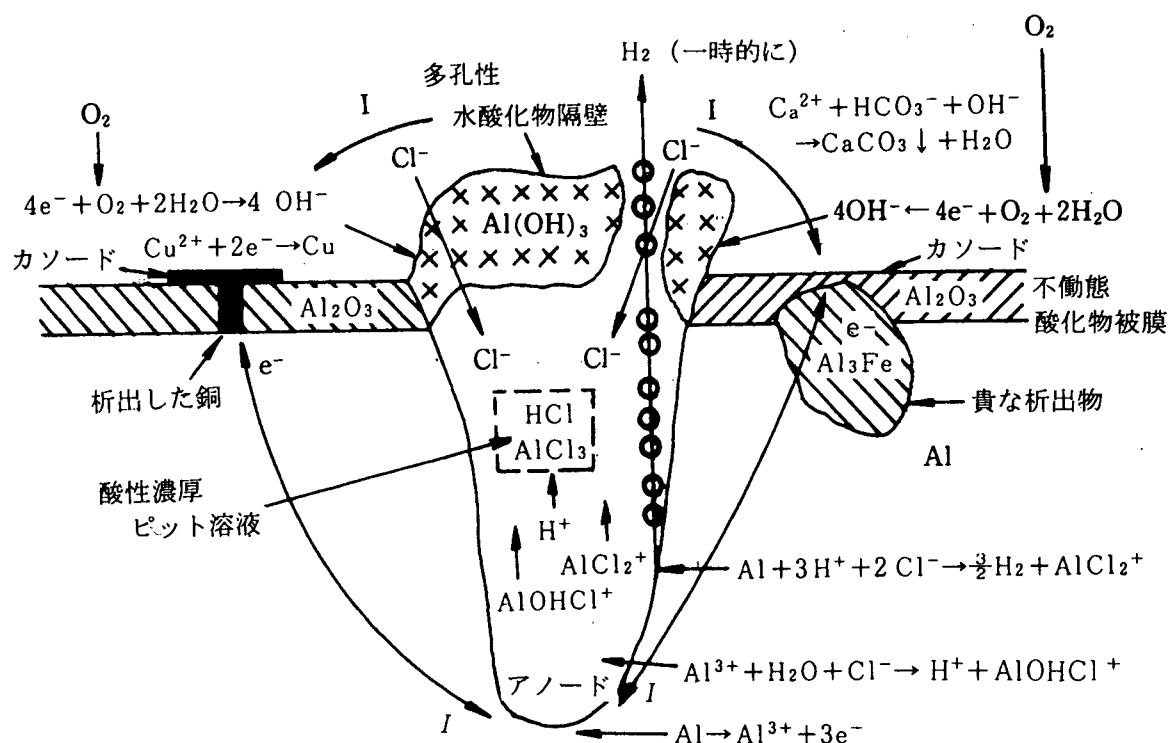
ム合金材料などでこの腐食を抑制するには、著しい繊維状組織を有しない軟質材が適している。

(5) 応力腐食割れ

応力腐食割れは、応力の影響とともに腐食性の環境の効果を同時に受けて急速に材料が破壊される現象で、アルミニウム合金材料の場合、粒界腐食感受性と関連がある。したがって、河川用施設類に使用される 5000 系アルミニウム合金材料などでこの腐食を抑制するには、各種元素の添加や軟質材の選定が採られる。

(6) 糸状腐食

糸状腐食は、ミミズがはったような形態の腐食で、塗装と金属との界面で発生するが腐食深さは浅い。粒界腐食感受性のある合金では粒界と関連する場合もある。糸状腐食の抑制には、クロメートや陽極酸化などの適切な塗装素地調整が有効である。



図解 3.2.1 アルミニウム合金材料の孔食の成長機構

出典：G. Wranglen 著，吉沢四郎，山川宏二，片桐晃 訳；金属の腐食防食序論，化学同人

3. 3 環境の影響

アルミニウム合金材料は、その使用される環境によって腐食性状が異なる。

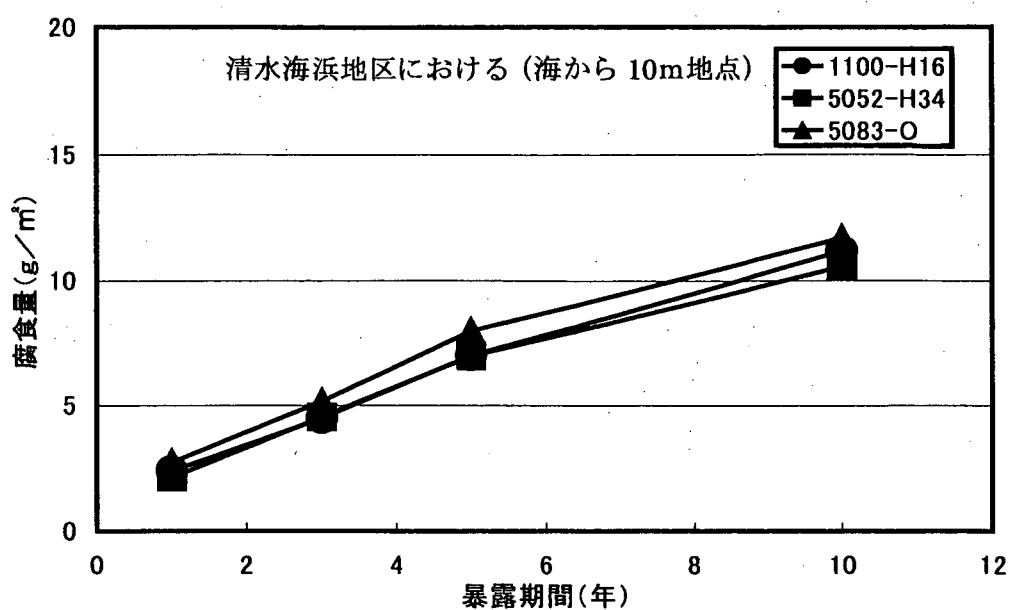
- (1) 大気中での腐食
- (2) 淡水中での腐食
- (3) 海水中での腐食
- (4) 土壌中での腐食
- (5) コンクリート中での腐食

〔 解 説 〕

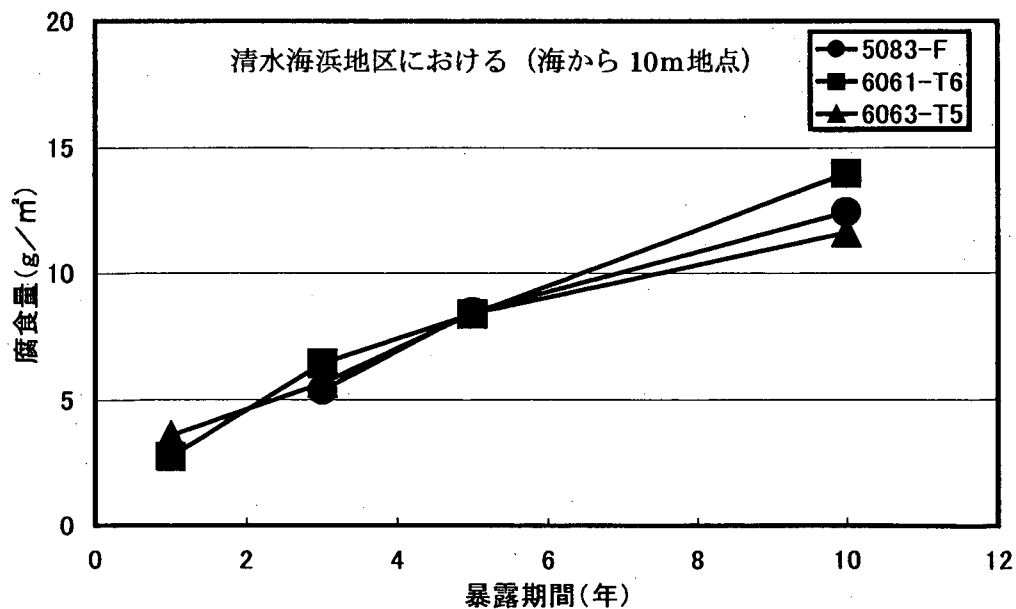
(1) 大気中での腐食

長期間大気に暴露されたアルミニウム合金材料は浅い侵食を受け、腐食生成物や皮膜生成による変色や光沢の消失と凹凸のある表面が形成される。図解 3.3.1～図解 3.3.4 に示すように、例えば表面処理無しに海浜地帯や臨海工業地帯のような厳しい腐食環境において長期間暴露されても厚さの減少は極めて少なく、2000 系と 7000 系のアルミニウム合金材料を除けば陸上での平均侵食速度が $1 \mu\text{m}/\text{年}$ を超えることはまずない²⁾。

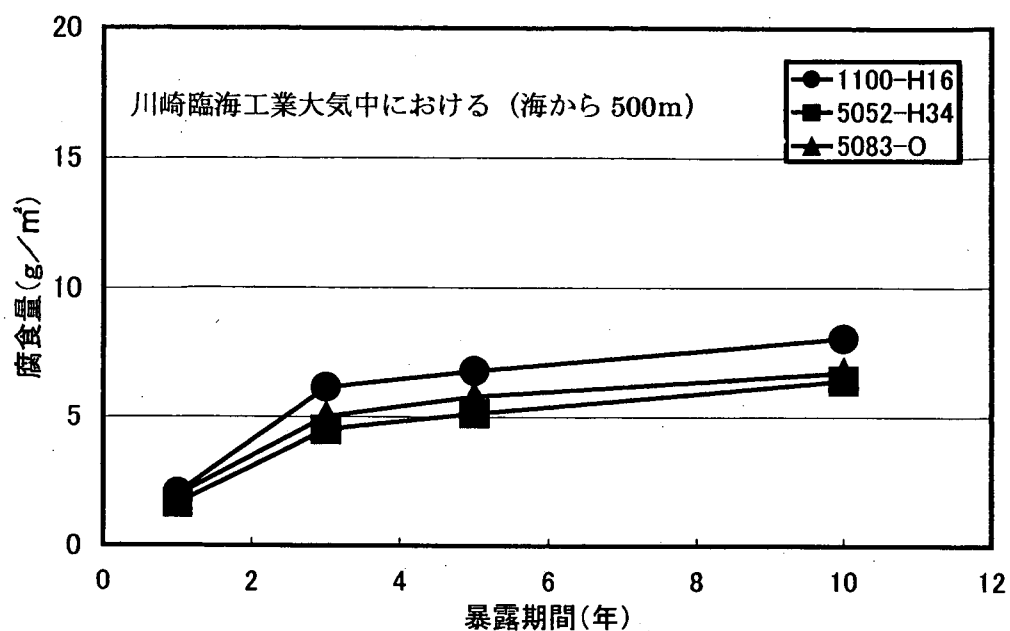
腐食性の最も強い環境は海洋上の大気で、陸上では海浜地帯の大気が最も強く、次いで臨海工業地帯、内陸工業地帯、田園地帯の順に弱くなる。腐食性の強い大気を除いては耐食性における合金間の差は少ない。アルミニウム合金は何れの環境中でも十分な耐食性を有し、大気中ではあまり深い孔食は発生しないが、雨による腐食性物質除去が期待できない構造物の影になる部分では腐食面積がやや大きくなる傾向にある。海浜地区のような飛来塩分量の多い環境では、Al-Mg 系合金である 5052 や 5083 合金の使用が望ましい。



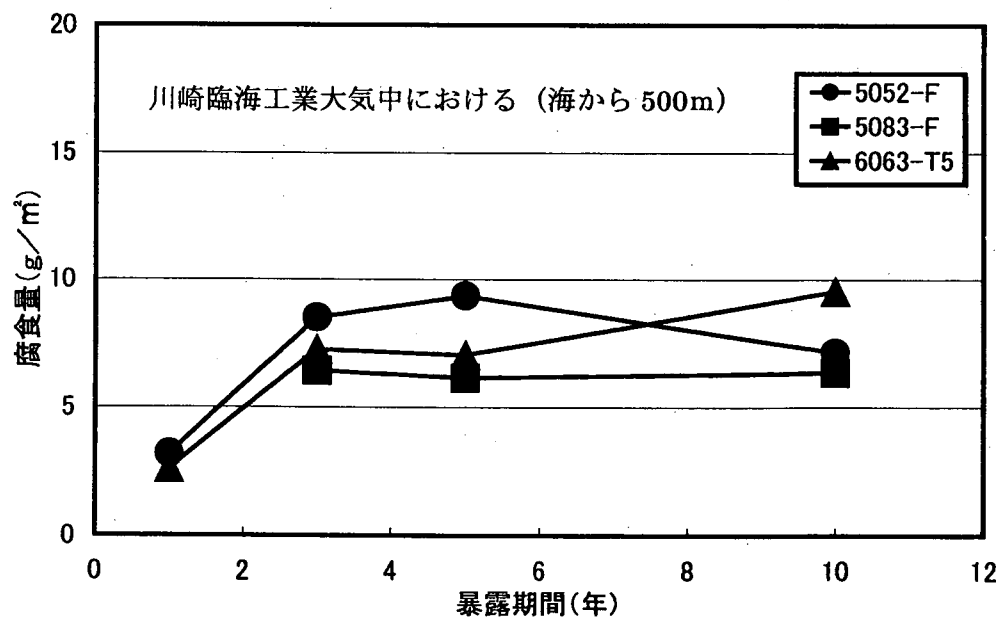
図解 3.3.1 アルミニウム合金板材の腐食量の経時変化



図解 3.3.2 アルミニウム合金型材の腐食量の経時変化



図解 3.3.3 アルミニウム板腐食量の経時変化



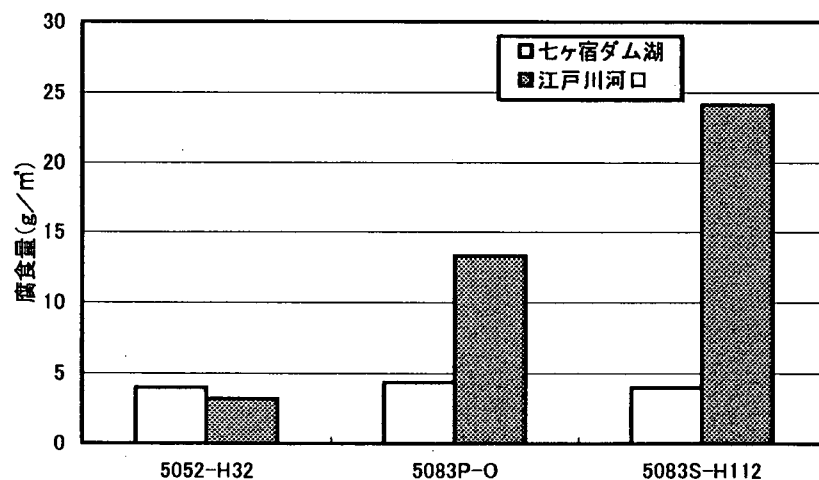
図解 3.3.4 アルミニウム型材の腐食量の経時変化

出典：アルミニウムハンドブック第5版；社団法人 軽金属協会

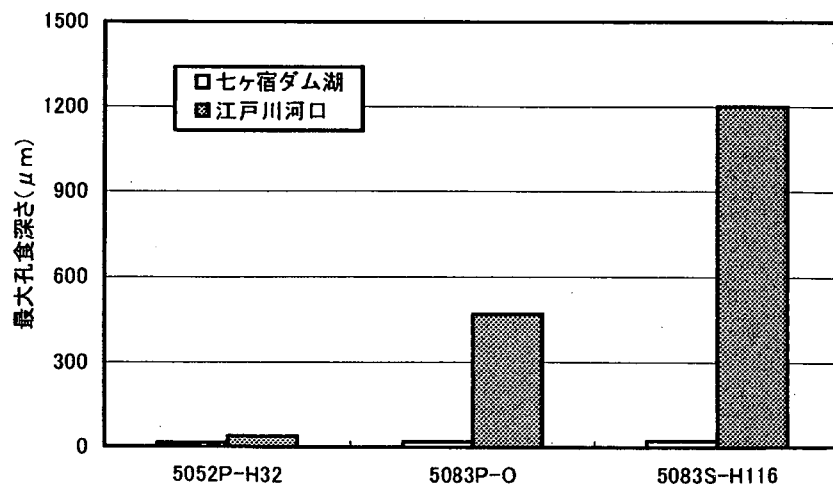
(2) 淡水中での腐食

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。

図解 3.3.5～3.3.6 と表解 3.3.1～3.3.2 に七ヶ宿ダム湖および江戸川河口における 1 年間浸漬試験後の各種 Al-Mg 系合金無処理材の腐食量と最大孔食深さの比較結果を示す。このように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。



図解 3.3.5 各種アルミニウム合金の 1 年間淡水浸漬試験後腐食量比較結果



図解 3.3.6 各種アルミニウム合金の 1 年間淡水浸漬試験後最大孔食深さ比較結果

表解 3.3.1 腐食深さ測定結果 (七ヶ宿)

区分	試験片					測定位置	腐食深さ [深い順] (μm) : 断面観察実施									
	合金	溶接	塗装	附属	記号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
素材腐食	5083P-0	—	—	なし	SA1	一般部	18	12	12	07						
	5052P-H32				SB1	一般部	14	13	12	12	11	10	09	07		
	5083S-H112				SC1	一般部	23	22	19	11						
溶接の影響	5083P-0	○	—	なし	SM1	ビード ビード近傍 一般部	健全 82 健全	80	80							
	5052P-H32				SN1	ビード ビード近傍 一般部	健全 健全 健全									
	5083S-H112				SO1	ビード ビード近傍 一般部	健全 健全 健全									
塗装の効果	5083P-0	○	○	なし	SP1	ビード ビード近傍 一般部	健全 健全 健全									
			○		SQ1	ビード ビード近傍 一般部	健全 健全 健全									
			○		SR1	ビード ビード近傍 一般部	健全 健全 健全									
すき間腐食	5083P-0	—	—	すき間形成材	SD1	すき間部 一般部	健全 健全									
	5052P-H32				SE1	すき間部 一般部	健全 健全									
	5083S-H112				SF1	すき間部 一般部	健全 健全									

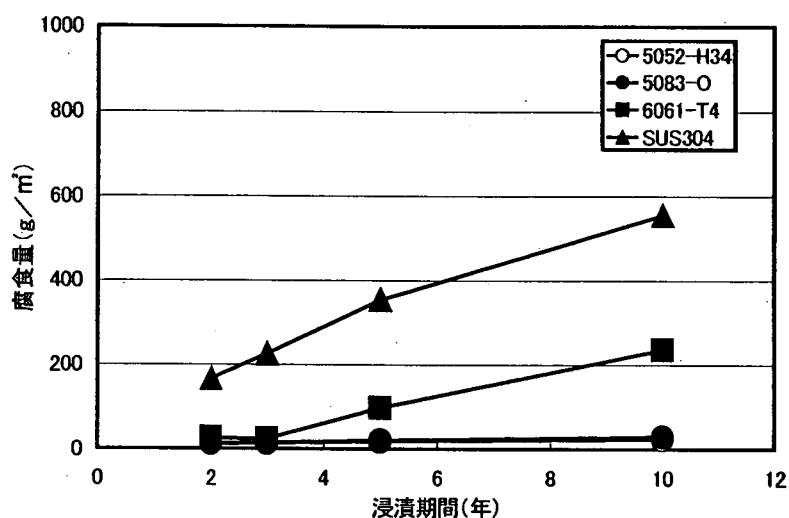
表解 3.3.2 江戸川下流域に1年間浸漬した試験片の孔食腐食深さ測定

区分	試験片				記号	測定位置	腐食深さ [深い順] (μm)									
	合金	溶接	塗装	附属			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
素材腐食	5083P-0	—	—	なし	11	一般部	468	466	464	436	430	413	401	400	365	351
	5052P-H32				21	一般部	37									
	5083S-H112				31	一般部	1200	1118	933	923	909	907	902	898	897	
すき間腐食+溶接部の腐食	5083P-0	○	—	すき間形成材付着	41	一般部	620	619	587	548	525	523	522	509	495	470
		○	○		131	全体	健全									
	5052P-H32	○	—	すき間形成材付着	51	一般部	310	65	65	61	60	57	56	54	53	52
		○	○		141	全体	健全									
	5083S-H112	○	—	すき間形成材付着	61	一般部	463	447	389	339	301	300	280	259	256	255
		○	○		151	全体	健全									
	5083P-0	○	—	なし	71	一般部	955	751	711	667	620	602	547	542	530	514
		○	○		101	全体	健全									
	5052P-H32	○	—	なし	81	一般部	1215	1096	999	951	855	678	666	514	325	629
		○	○		111	全体	健全									
異種金属接合	5083P-0	—	—	ステンレスボルト	161	一般部	852	797	707	667	640	619	611	585	581	551
					171	接合部	821	813	748	730	670	666	664			
	5083P-0	—	—	SM400BA/C=1	191	全体	834	586	569	546	450	426	421	410	408	391
				SM400BA/C=10	201	全体	743	739	736	730	729	725	713	703	683	670
				SUS304A/C=1	221	全体	1051	1039	1022	1007	987	987	977	931	931	
				SUS304A/C=10	231	全体	1079	1014	924	871	834	826	795	788	779	768

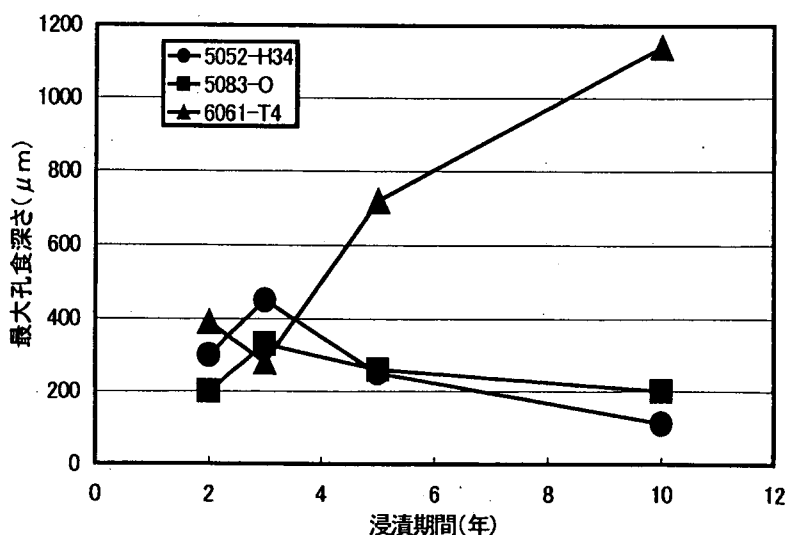
(3) 海水中での腐食

天然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・汚染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。図解 3.3.7～3.3.8 に示すようにマグネシウムを含有するアルミニウム合金は天然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⁴⁾。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。



図解 3.3.7 各種アルミ合金の10年間駿河湾(沼津市内浦湾)天然海水浸漬試験後の腐食量



図解 3.3.8 各種アルミ合金の10年間駿河湾(沼津市内浦湾)天然海水浸漬試験後の最大孔食深さ

出典：シンポジウム アルミニウム合金船の現状と将来動向；社団法人 軽金属溶接構造協会

(4) 土壌中での腐食

土壌の種類は極めて多く、アルミニウムの腐食形態も孔食が主体である。特に異なる土質の境界部では通気差電池を形成し、かなりの溶解が起こることもある。表解 3.3.3 は無処理アルミニウム合金の土壌腐食試験結果の一例であるが²⁾、pH や土壌抵抗率と腐食性の間には直接関係はなさそうであり、腐食性の予測は淡水以上に困難である。これらの腐食は塗装を施すことによって防止できる。

表解 3.3.3 土壌試験結果

場 所		Bakefield		New Orleans		Meridian		Elizabeth		Casper	
州		California		Louisiana		Missouri		New Jersey		Wyoming	
土質		砂壤土		堆肥を与えた土		粘土質		湖の干満のある沼地		アルカリ性土質	
pH		9.5		4.2		4.7		3.1		7.4	
土壌抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)		290		1270		13700		60		263	
合金	厚さ (mm)	平均侵食深さ (μm)	最大孔食深さ (mm)	平均侵食深さ (μm)	最大孔食深さ (mm)	平均侵食深さ (μm)	最大孔食深さ (mm)	平均侵食深さ (μm)	最大孔食深さ (mm)	平均侵食深さ (μm)	最大孔食深さ (mm)
1100	1.6	10	0.53	消滅	—	39	貫通	21	0.15	54	1.19
3003	1.6	43	1.25	109	貫通	22	0.36	25	0.33	36	0.51
2017	1.6	消滅	—	消滅	—	153	貫通	17	0.15	61	貫通

N. B. S (U. S. National Bureau of Standards) 実施した 10 年間の腐食試験結果

出典：アルミニウムハンドブック第 5 版；社団法人 軽金属協会

(5) コンクリート中での腐食

コンクリートモルタルは強アルカリ性であり、アルミニウムを溶解し侵食するが、時間とともに溶解速度は低下し、モルタルが固化してしまうとアルミニウムの腐食は停止する。この際アルミニウム表面は水和物であるバイヤライト ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) の析出が起こり、腐食性物質に対する障壁層として作用する。ただし固化後もたえず湿潤状態に置かれる場合には、遊離アルカリ分を抽出した水と接する状態が続くため腐食は進行する。このような状態の防食手段としては塗装が有効である。アルミニウム高欄や建材等がコンクリート中に埋設されて多量に使用されている。

コンクリート中においてアルミニウムの腐食が促進されるのは、塩化物イオンが多量に存在し、かつ鉄との接触のある場合である。この異種金属接触腐食は絶縁処理を施すことにより完全に防止することができる。

3. 4 異種金属接触腐食

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。

〔解 説〕

(1) 異種金属接触腐食

1) アルミニウム合金の異種金属接触腐食

アルミニウム合金材料は表解 3. 4. 1 に示すように卑な金属なので、鋼やステンレス等の貴な金属と接合されて用いられると表解 3. 4. 2 に示す²⁾ ように異種金属電池作用により腐食が促進される。異種金属接触腐食が顕著となるのは以下のような条件が重なった場合である。

- ①接触する金属の自然電極電位が貴な場合。
- ②接触する金属のカソード分極抵抗が小さい場合。
- ③接触する金属の面積がアルミニウム合金材料に比べ大きい場合。
- ④さらされる環境（液）の電気伝導度が高い場合。

異種金属電池作用によって発生する電流に及ぼす面積比の影響は表解 3. 4. 3 のように求められており⁷⁾、面積比の影響が極めて大きいことがわかる。淡水等での接触腐食は、一般に腐食性は小さく異種金属電池作用の影響は狭められるものの、前記③条件に適合して局部的に激しい腐食を生じる場合も考えられる。

このような異種金属接触腐食は表解 3. 4. 4 に示す表面処理を相手材に施すことにより、図解 3. 4. 1 ～3. 4. 2 に示すボルトナットの締結試験結果にみられるように大気中では効果的に抑制することが可能である⁵⁾

表解 3. 4. 1 各種金属およびアルミニウム合金材料の自然電極電位

代表的金属およびアルミニウム合金材料	自然電極電位*
マグネシウム	-1. 73
亜鉛	-1. 10
5083	-0. 87
5052	-0. 85
6061-T6	-0. 83
6061-T4	-0. 80
軟鋼	-0. 58
銅	-0. 20
ステンレス鋼(300系, 400系)	-0. 09

* 53 g/ℓ NaCl + 3 g/ℓ H₂O₂、25℃、0. 1Nカロメル基準

表解 3.4.2 アルミニウムと異種金属との接触腐食試験結果

異種金属 腐食度($\times 10^{-5}$ mm)	接触した アルミニウム	接触した 異種金属	接触金属 単独
アルミニウム	—	—	1.3
銅	400	0	10
13Cr ステンレス	375	0	8
黄銅	350	0	14
鉄	200	406	506
18-8 ステンレス	150	7	2
鉛	130	5	12
ニッケル	120	0	4
カドミウム	25	2	120
マグネシウム	12	1615	1064
亜鉛	1.1	775	284

注：通気下で5.85%食塩水中100時間浸漬

出典：アルミニウムハンドブック第5版；社団法人 軽金属協会

表解 3.4.3 5052アルミニウム合金材料と316ステンレス鋼の異種金属
電池作用に及ぼす面積比の影響

面積比 (SUS316 : A5052)	異種金属電池の 電流値 (相対値)
100 : 1	940
10 : 1	23.1
1 : 1	4.5
1 : 10	0.62
1 : 100	0.50

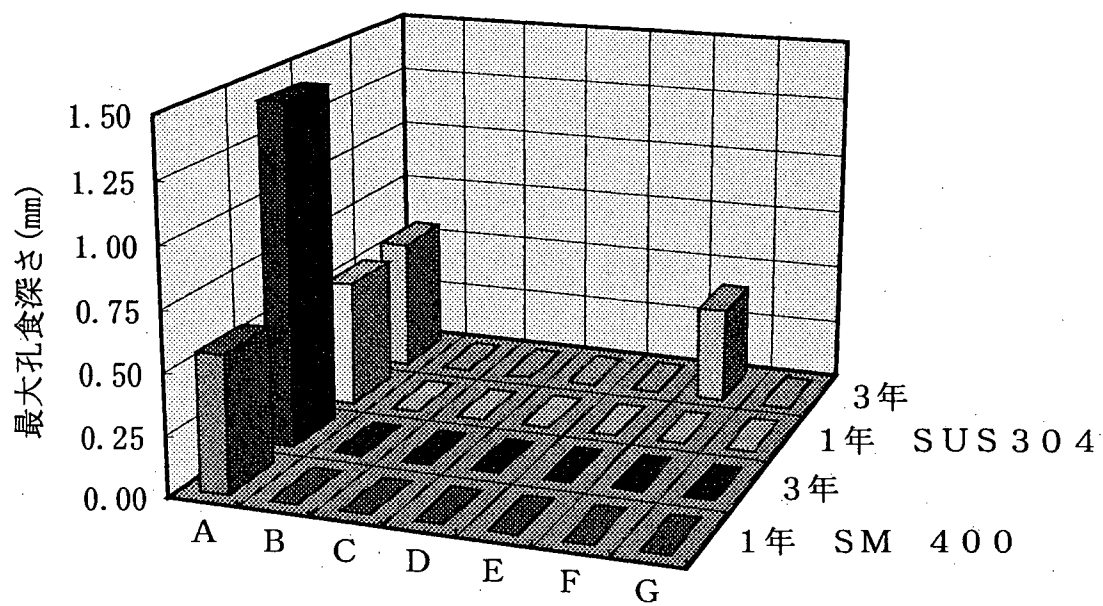
注：海水中での電気化学測定

表解 3.4.4 異種金属の防食処理種(6063-T5 と SM400B または SUS304)

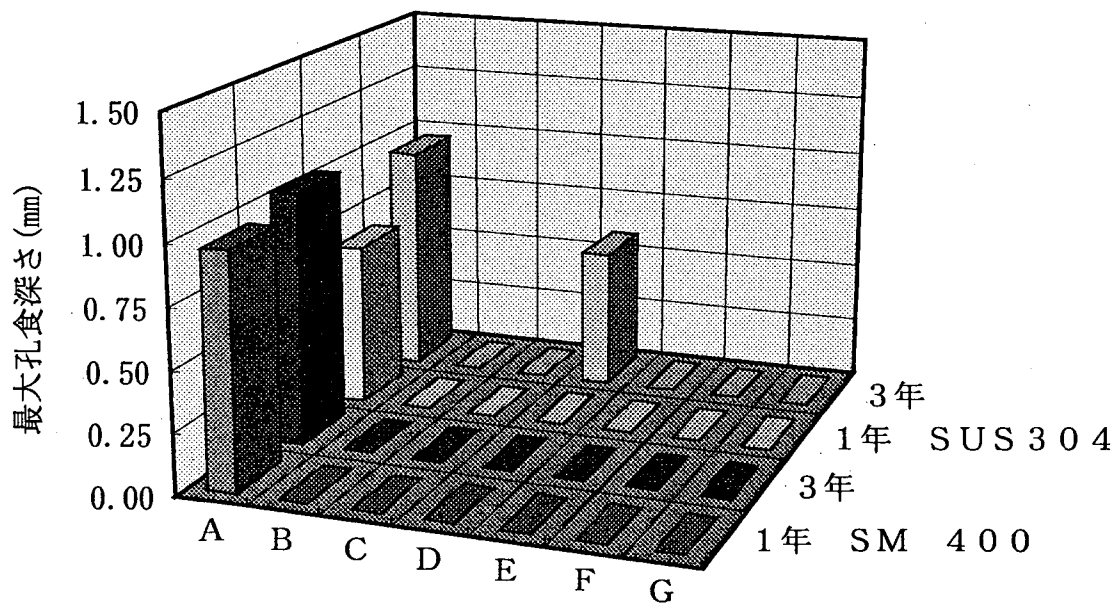
A : 無処理	
B : Z n 粉末入り化成処理 (反応型クロメート) C : 上記にコバルト塩添加 D : Z n メカニカルプレーティング* ¹ + 反応型クロメート* ² E : Z n メカニカルプレーティング + 塗布型クロメート	Z n 粉末系
F : A l 粉末入り化成処理 (塗布型クロメート) G : A l 粉末 + ふっ素変性シリコン樹脂	A l 粉末系

* 1 : 亜鉛めっきされた鋼球を用いてショットブラストし, 亜鉛を鋼材表面に転写する方法。

* 2 : 転写された亜鉛表面あるいはすき間にクロム酸クロメート処理を行ない, 焼付処理を施すクローズドタイプの化成処理法。



図解 3.4.1 表面処理鋼材接触の影響 (A1 は複合皮膜処理材 (B9E7))



図解 3.4.2 表面処理鋼材接触の影響 (A1 は陽極酸化皮膜処理材 ($9\mu\text{m}$))

出典：小林，花崎；軽金属学会第 92 回春季大会講演概要

表解 3.4.5 異種金属接合の影響調査試験片のボルト接触部の孔食深さ (江戸川)

供試材		孔食深さ (μm)	
ボルト	表面処理	EI1 (塗装無し) のボルト部	EJ1 (塗装有り) のボルト部
ステンレス鋼	無処理	27, 30, 28, 34, 26, 20, 23, 15, 22, 24	異常なし
	Zn 粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
	Zn メカニカルプレーティング + 化成処理	異常なし	異常なし
普通鋼	電気 Zn めっき	接触部は変色しているが孔食なし	異常なし
	溶融 Zn めっき	接触部は変色しているが孔食なし	異常なし
	溶融 Al めっき	接触部は変色しているが孔食なし	異常なし
	無処理	46, 48, 45, 33, 40, 32, 18, 42, 49, 31	異常なし
	Zn 粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
	Zn メカニカルプレーティング + 化成処理	異常なし	異常なし

図解 3.4.3 平均孔食深さ (親不知)

表解 3.4.6 ボルトナット締結試験の外観観察結果 (塗装なし: 1年) (親不知)

記号	材質	表面処理方法	ボルト側	ナット側
基材	A5083P - 0	—	—	—
A	SUS304	無処理	異常なし	ワッシャ周辺部やや腐食発生
B	SUS304	Zn 粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
C	SUS304	Zn メカニカルプレーティング + 化成処理	異常なし	異常なし
D	SS400	電気 Zn めっき	一部白錆発生	一部白錆発生
E	SS400	溶融 Zn めっき	一部白錆発生	白錆発生大
F	SS400	溶融 Al めっき	一部黒化	黒錆発生大
G	SS400	無処理	全面赤錆発錆	全面赤錆発生 ワッシャ周辺部腐食発生
H	SS400	Zn 粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
I	SS400	Zn メカニカルプレーティング + 化成処理	一部白化	異常なし

表解 3.4.7 ボルトナット締結試験の外観観察結果（塗装有り：1年）（親不知）

記号	材質	表面処理方法	ボルト側	ナット側
基材	A5083P - 0	塗装	—	—
A	SUS304	無処理	異常なし	異常なし
B	SUS304	Zn 粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
C	SUS304	Zn メカニカルプレーティング +化成処理	異常なし	異常なし
D	SS400	電気 Zn めっき	一部白錆発生	一部白錆発生
E	SS400	溶融 Zn めっき	一部白錆発生	白錆発生大
F	SS400	溶融 Al めっき	一部黒化	黒錆発生大
G	SS400	無処理	全面赤錆発錆	全面赤錆発生
H	SS400	Zn 粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
I	SS400	Zn メカニカルプレーティング +化成処理	一部白化	異常なし

表解 3.4.8 江戸川下流域に1年間浸漬した試験片の孔食深さ測定

区分	試 験 片					測定位置	腐食深さ [深い順] (μm)										
	合金	溶接	塗装	附属	記号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
素材腐食	5083P-0	—	—	なし	11	一般部	468	466	464	436	430	413	401	400	365	351	
	5052P-H32				21	一般部	37										
	5083S-H112				31	一般部	1200	1118	933	923	909	907	902	898	897		
すき間腐食+溶接部の腐食	5083P-0	○	—	すき間形成材付着	41	一般部	620	619	587	548	525	523	522	509	495	470	
		○	○		131	全体	健全										
	5052P-H32	○	—	すき間形成材付着	51	一般部	310	65	65	61	60	57	56	54	53	52	
		○	○		141	全体	健全										
	5083S-H112	○	—	すき間形成材付着	61	一般部	463	447	389	339	301	300	280	259	256	255	
		○	○		151	全体	健全										
	溶接部の腐食	5083P-0	○	—	なし	71	一般部	955	751	711	667	620	602	547	542	530	514
			○	○		101	全体	健全									
		5052P-H32	○	—	なし	81	一般部	1215	1096	999	951	855	678	666	514	325	629
			○	○		111	全体	健全									
5083S-H112		○	—	なし	91	一般部	1317	999	794	730	709	580	527				
		○	○		121	全体	健全										
異種金属接合	5083P-0	—	—	ステンレスボルト	161	一般部	852	797	707	667	640	619	611	585	581	551	
					○	171	接合部	821	813	748	730	670	666	664			
	5083P-0	—	—	SM400BA/C=1	191	全体	834	586	569	546	450	426	421	410	408	391	
				SM400BA/C=10	201	全体	743	739	736	730	729	725	713	703	683	670	
				SUS304A/C=1	221	全体	1051	1039	1022	1007	987	987	977	931	931		
				SUS304A/C=10	231	全体	1079	1014	924	871	834	826	795	788	779	768	

2) 異種金属接触腐食の対策

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の腐食媒体が滞留しない形状、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または塗装を施す。
- ⑤適当な流電陽極等により陰極防食処理を施す。

塗装処理は、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装欠陥が存在し、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、貴な材料を厳密に塗装することが大切である。また、陰極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。

3) 異種金属接触腐食の評価方法

異種金属接触腐食の程度を実験的に予測し評価する手法として、アルミニウム合金材料と炭素鋼、ステンレス鋼の面積比等を変化させた場合のカップリング電流を測定し、陽極となるアルミニウム合金材料の腐食の程度を推定する図解 3.4.4 に示すような方法がある。また、異種金属接合体の電位分布を測定し接触腐食の及ぶ範囲やおおよその腐食速度を評価する方法もある。

異種金属接触腐食試験結果を以下に示す。

①異種金属接合体の浸漬腐食試験

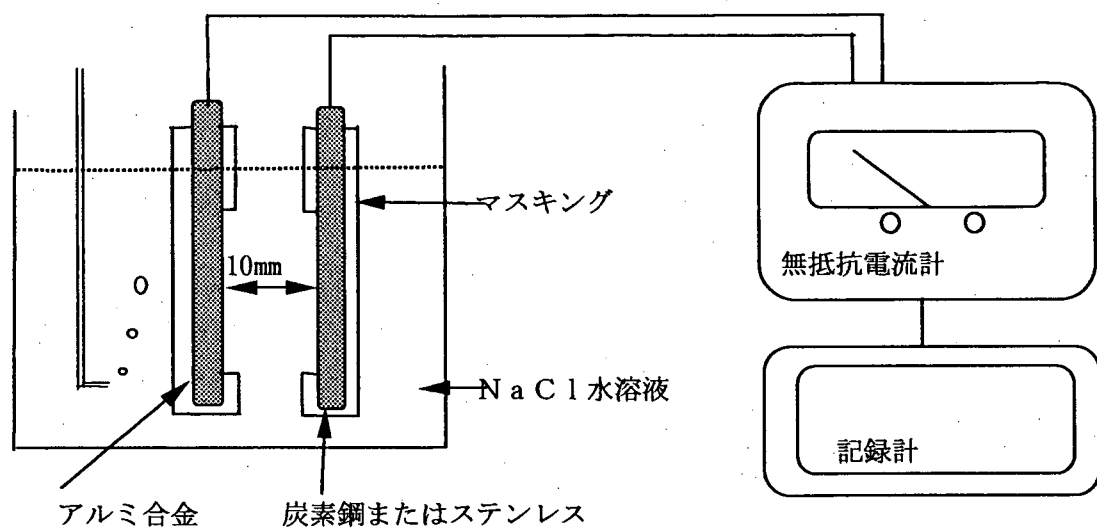
試験概要 : 面積の異なる 2 種類の金属材料を電氣的に接続し、塩素イオン濃度の異なる NaCl 水溶液中に 3 ヶ月間浸漬し、カップリング電流の経時変化を測定し腐食状態を観察した。

供試材 : アルミニウム合金材料(A5083), 炭素鋼 (SM400B), ステンレス鋼(SUS304)のカップリング試験片

面積比 : アルミニウム合金材料/鋼またはステンレス=1/10, 1/1, 10/1

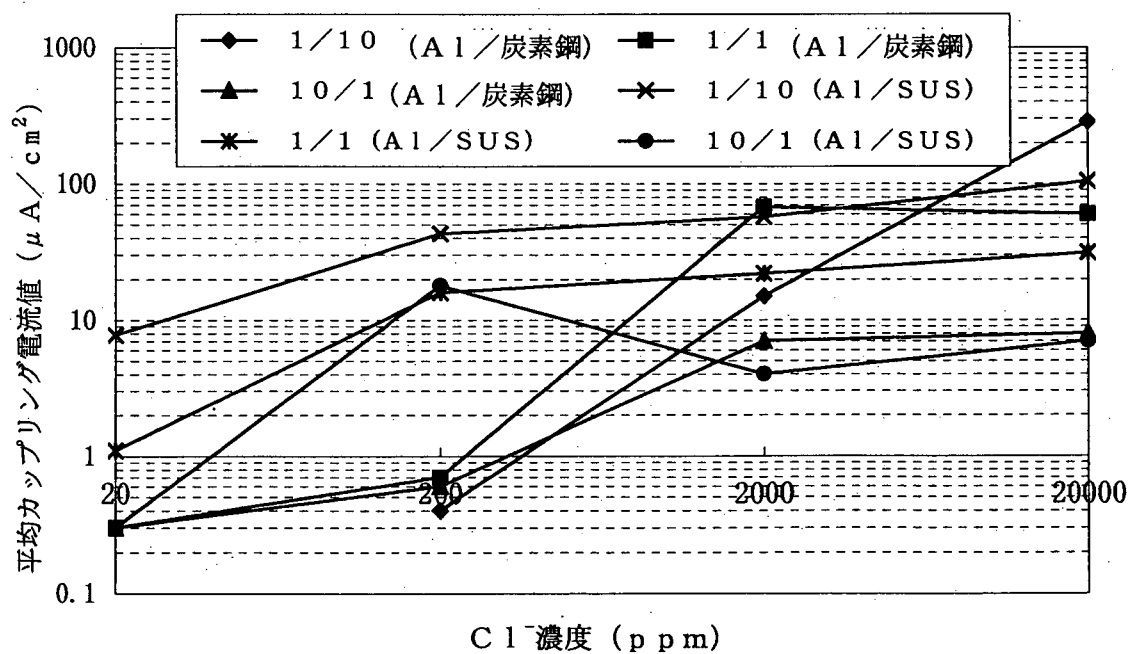
供試材間距離: 10mm 温度: 室温

溶液 : NaCl 水溶液 (Cl^- として 20, 200, 2,000, 20,000 ppm)

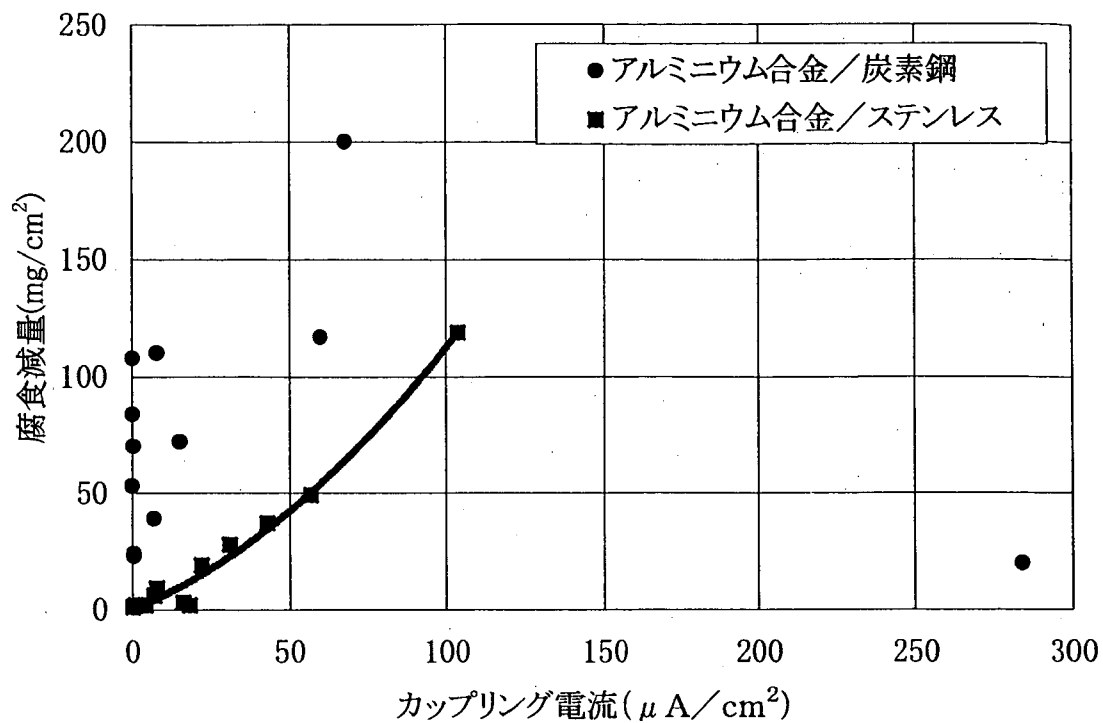


図解 3.4.4 異種金属接合体の浸漬腐食試験の装置概略

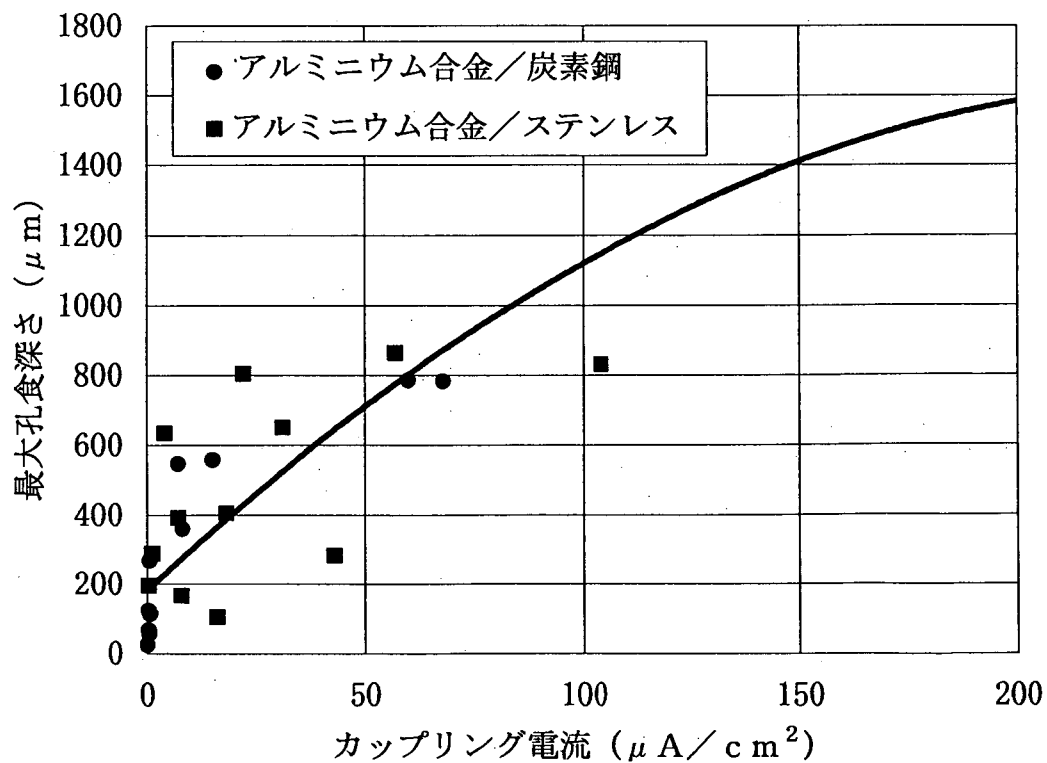
試験結果：試験結果の一例を図解 3.4.5～3.4.7 に示す。



図解 3.4.5 平均カップリング電流値に及ぼす塩化物イオン濃度の影響



図解 3.4.6 カップリング電流と腐食減量の関係



図解 3.4.7 カップリング電流とアルミニウム合金材料の最大孔食深さの関係

図解 3.4.5 から判るように、接触する金属の面積がアルミニウム合金材料に比べ大きい接合体を高塩化物イオン濃度の環境に浸漬する場合には、アルミニウム合金材料を陽極としたカップリング電流が流れ、図解 3.4.6 および図解 3.4.7 に示すように腐食量や孔食深さが増す傾向となるため、接触腐食の対策が必要となる。但し、アルミニウム合金材料と炭素鋼を接合して塩化物イオン濃度が 200 p p m 以下の淡水環境に浸漬する場合には、図解 3.4.5 にみられるようにカップリング電流は極めて小さく、炭素鋼では自己腐食が主に進行してアルミニウム合金材料への接触腐食の影響はほとんど生じていない。

一方、ステンレス鋼では低塩化物イオン濃度でも接触腐食の影響があるため、先に示した 2) 異種金属接触腐食の対策を確実に実施する必要がある。

② 混成電位分布の測定

試験概要 : 図解 3.4.8 に示す実験装置を用いて、2 種類の金属材料を接合し塩化物イオン濃度の異なる N a C l 水溶液中に浸漬した試験片表面の混成電位分布を測定し、異種金属接触腐食の及ぶ距離および程度について調査した。

供試材 : アルミニウム合金 (A5083), 炭素鋼 (SM400B), ステンレス鋼 (S U S 304) のカップル試験片

面積比 : アルミ / 鋼またはステンレス鋼 = 1 / 1

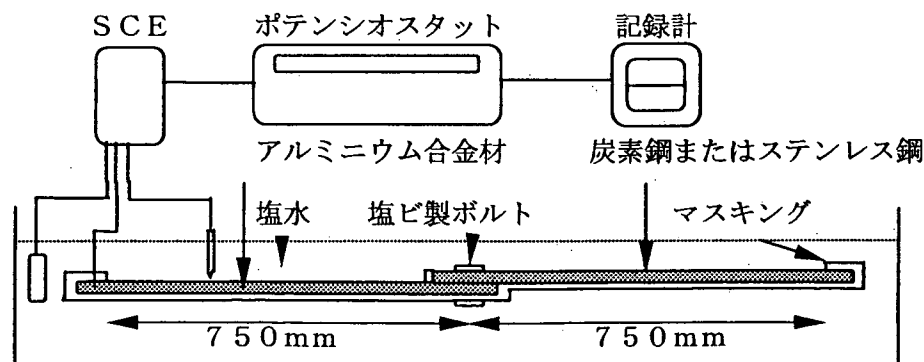
試験材間距離 : 750mm (接合部の中心を基準)

溶液 : N a C l 水溶液 (C l⁻として 20、200、2,000、20,000 p p m)

温度 : 20℃

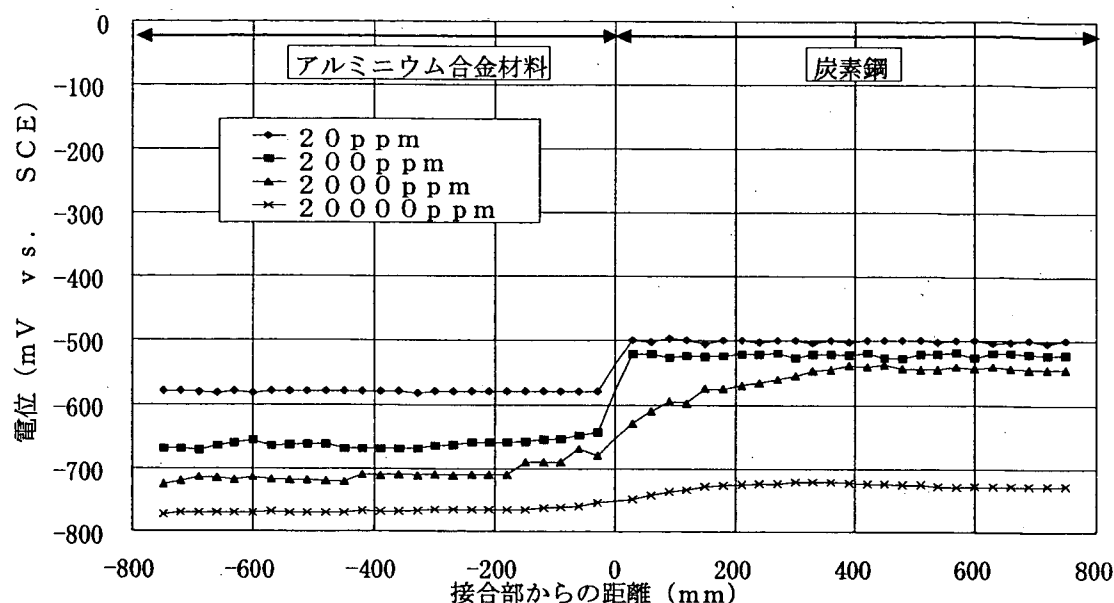
参照電極 : S C E (飽和カロメル電極) 電位測定用のキャピラリーを測定点に移動させて表面電位を測定した。

放置時間 : 30 分間浸漬状態で放置した後、電位測定した。

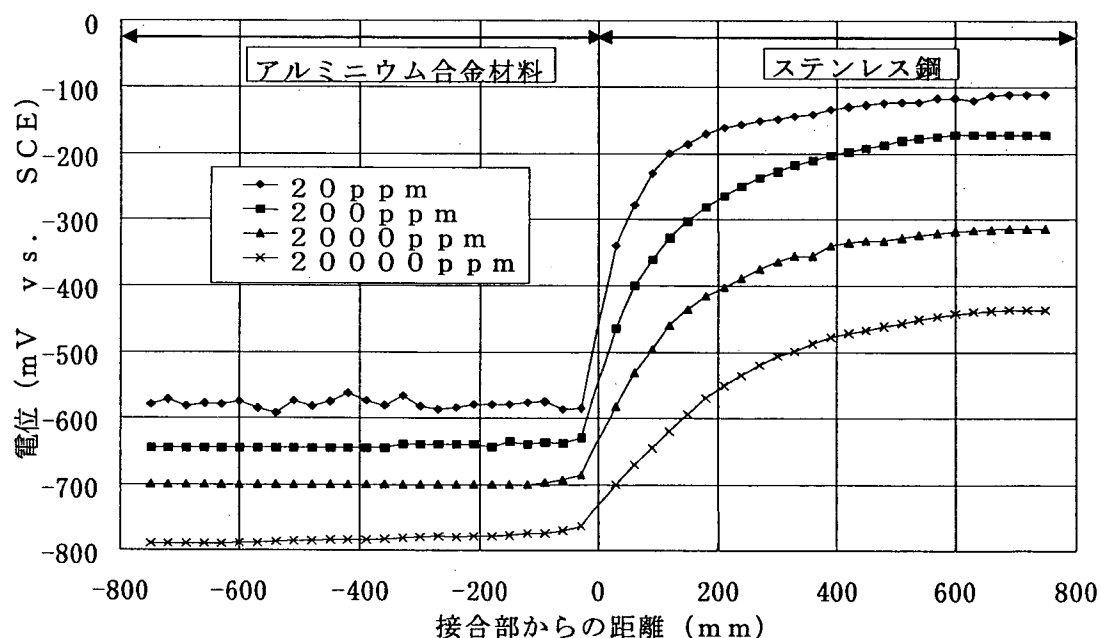


図解 3.4.8 混成電位分布の測定装置

試験結果 : 試験結果の一例を図解 3.4.9 および図解 3.4.10 に示す。



図解 3.4.9 アルミニウム合金材料と炭素鋼の混成電位と塩化物イオン濃度の関係



図解 3.4.10 アルミニウム合金材料とステンレス鋼の混成電位と塩化物イオン濃度の関係

図解 3.4.9 にみられるように、アルミニウム合金材料と炭素鋼の接合において、200 ppm以下の低塩化物イオン濃度環境では表面電位の変化は僅かとなり、接触腐食の影響はほとんど生じない。一方、2,000 ppm以上の環境ではアルミニウム合金材料の電位が低下することにより材料間の電位差が大きくなると共に、液抵抗も低下するためカップリング電流が流れ易くなり、接合の影響は広範囲に及ぶようになる。このような場合の対策としては、接触する貴な金属の塗装や接合部の絶縁、

あるいは陰極防食用流電陽極材である亜鉛合金やマグネシウム合金とAl合金を用いた陰極防食も効果的に作用し接触腐食を防止することができる。

図解 3.4.10 に示すように、アルミニウム合金材料とステンレス鋼の接合では、両材料間の電位差が大きいことに加え、ステンレスのカソード分極電流が大きいために、大きなカップリング電流を生じ、アルミニウム合金材は低塩化物イオン濃度でも試料の全域に渡り接触腐食の影響を受ける。従って、非金属物の介在による絶縁や塗装を厳重に行うことが必要となる。

4. アルミニウム合金材料における防食

4. 1 防食設計

4. 1. 1 アルミニウム合金材料の選定

- (1) アルミニウム合金材料は、扉体の軽量化および耐食性を考慮する場合に有効である。
- (2) アルミニウム合金材料は、材料の特性を考慮して選定する。

[解 説]

(1) アルミニウム合金製扉体の選定が有効である場合を以下に示す。

①ゲートの軽量化が必要となる現場への適用

- ・地盤が軟弱な場合などで、アルミニウム合金製扉体は鋼製と比較し軽量化でき開閉装置も小型化が可能となり、地盤への負担荷重を小さくできる。
- ・小型ゲートで手動開閉装置を使用する場合に、ゲートを軽量化することにより開閉時間を短縮でき操作力の軽減および開閉装置のコストダウンができる。
- ・扉体軽量化により、据付時に組込み作業性の向上が図れる。

②アルミニウム合金材料は、塗装の密着性がよいため、景観に合わせて塗装を施すことが可能であり、特に大気環境におかれることが多い場合には、耐候性に優れており、メンテナンスの軽減や、景観性の保持ができる。

(2) 使用アルミニウム合金材料の選定

①河川 ゲート用材料は、長期間淡水、海水または外気にさらされるので、材料自体の耐食性が必要であり、加えて厚板で使用されることがあるため、焼鈍 (0) または、熱間加工 (H 1 1 2) 処理で高い強度が得られるものを使用する。

②アルミニウム合金材料は、扉体のほか管理橋や防護柵に使用することにより耐食性の向上が期待できる。

アルミニウム合金材料は押出性が良く比較的自由的な形状が選べることにより、桁材には押出形材を使用することができるため、溶接線の減少が図れる利点がある。なお、アルミニウムの合金製扉体を使用する場合には、戸当りの露出面はステンレス鋼を使用するのが一般的である。

アルミニウム合金材料の用途部位、使用箇所を表解 4. 1. 1 に機械的性質を表解 4. 1. 2 に示す。

表解 4.1.1 アルミニウム合金材料の材質別使用箇所

用途部位		形 状	板 材				形 材		
		材料記号	A5083 P	A5083 P	A5052 P	A5052 P	A5083 S	A6061 S	A6063 S
			○	H112	○	H34	H112	T6	T5
扉 体	スキンプレート		○	○	—	—	—	—	—
	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

表解 4.1.2 アルミニウム合金材料の機械的性質

材 質	寸 法 mm	引 張 強 さ N/mm ²	耐 力 N/mm ²	伸 び %	関連 J I S
A5083P-O	板厚 0.8 を越え 40 以下 40 を越え 80 以下 80 を越え 100 以下	275 以上 355 以下 275 以上 345 以下 265 以上	125 以上 195 以下 120 以上 195 以下 110 以下	16 以上	J I S H4000
A5083P-H112	板厚 4 を越え 6.5 以下 6.5 を越え 40 以下 40 を越え 75 以下	285 以上 275 以上 275 以上	125 以上 125 以上 120 以上	11 以上 12 以上 12 以上	J I S H4000
A5052P-O	板厚 2.9 を越え 6.5 以下 6.5 を越え 25 以下	175 以上 215 以下 175 以上 215 以下	65 以上 65 以上	20 以上 18 以上	J I S H4000
A5052P-H34	板厚 2.9 を越え 6.5 以下 6.5 を越え 5 以下	235 以上 285 以下 235 以上 285 以下	175 以上 175 以上	7 以上 10 以上	J I S H4000
A5083S-H112	肉厚 130 以下 断面積 200cm ² 以下	275 以上	110 以上	12 以上	J I S H4100
A6061S-T6	肉厚 6 以下 肉厚 6 を越えるもの	265 以上 265 以上	245 以上 245 以上	8 以上 10 以上	J I S H4100
A6063S-T5	肉厚 12 以下 肉厚 12 を越え 25 以下	155 以上 145 以上	110 以上 110 以上	8 以上 8 以上	J I S H4100
SM400 (参照)	板厚 16 以下 16 を越え 40 以下 40 を越え 100 以下 100 を越え 160 以下 160 を越え 200 以下	245 以上 235 以上 215 以上 205 以上 195 以上	400~510 400~510 400~510 400~510 400~510	18 以上 18 以上 18 以上 18 以上 18 以上	J I S G3106

4. 1. 2 扉体

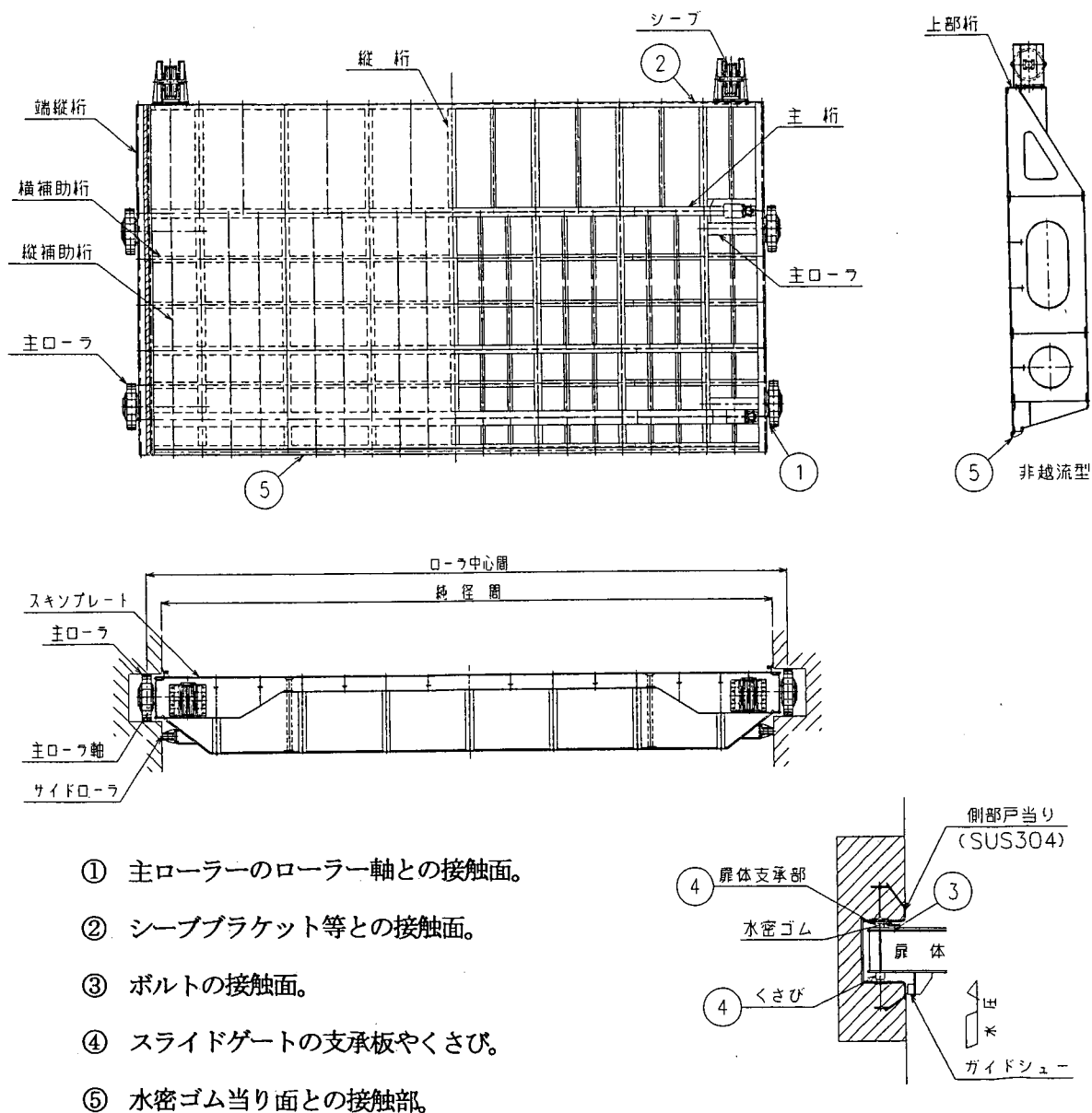
扉体にアルミニウム合金材料を適用する際には、水中部での異種金属接触腐食を生じないように、異種金属接触部の絶縁や、滞水しない構造とする。

[解 説]

(1) アルミニウム合金製扉体は部品取付部、戸当り、ボルトなど異種金属との接触が腐食の原因となる。

防食を考慮する箇所を図解 4. 1. 1 に示す。

なお扉体は A5052、A5083 等の Al-Mg 系合金を使用する。



(2)防食方法

異種金属接触腐食やすきま腐食を防止するためには、すべてにアルミニウム合金材料を使用することおよび継手は溶接継手を採用することが適当であるが、強度上および施工上困難な場合は下記に示す方法により防食する。

アルミニウム合金製扉体は、戸当りにステンレス鋼を使用することにより異種金属接触腐食が避けられず、常時水中で使用する部分においては陰極防食を行う。陰極防食には、流電陽極法と外部電源法がある。流電陽極法の場合、陽極材は、アルミニウム合金または亜鉛合金を使用する。淡水中ではマグネシウム合金または亜鉛合金を使用する。マグネシウムは、過防食をおこすことがあるので注意する必要がある。外部電源法を適用する場合は、アルミニウム合金の過防食を防止するために電位制御方式を適用する。

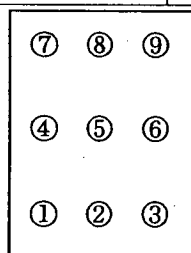
①ゴム取付け用など強度上支障のない箇所のボルトは、アルミニウム合金製ボルトを使用する方法もある。

②アルミニウム合金製ボルトを使用して強度上支障のある箇所は、ステンレス鋼製ボルトを使用し、樹脂製ブッシュ、ワッシャを挿入して絶縁する。ブッシュは、荷重や荷重方向を確認して支圧力が確保できるものを選択する。または、その他絶縁の表面処理をしたボルトを使用する。

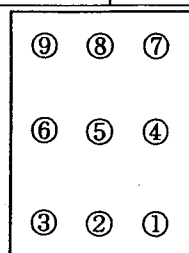
ただし、ボルトは調整のため緩めることがあるので、表面処理したものは密着性がよく、はく離しないもの、ゲートの使用環境で耐久性が確認されたものを使用しなければならない。A5052 材に各種ボルトを取付けた表解 4.1.1 に示す試験体の暴露試験結果を写真 4.1.1 および図解 4.1.2 に示す。

表解 4.1.31 接触腐食試験供試体

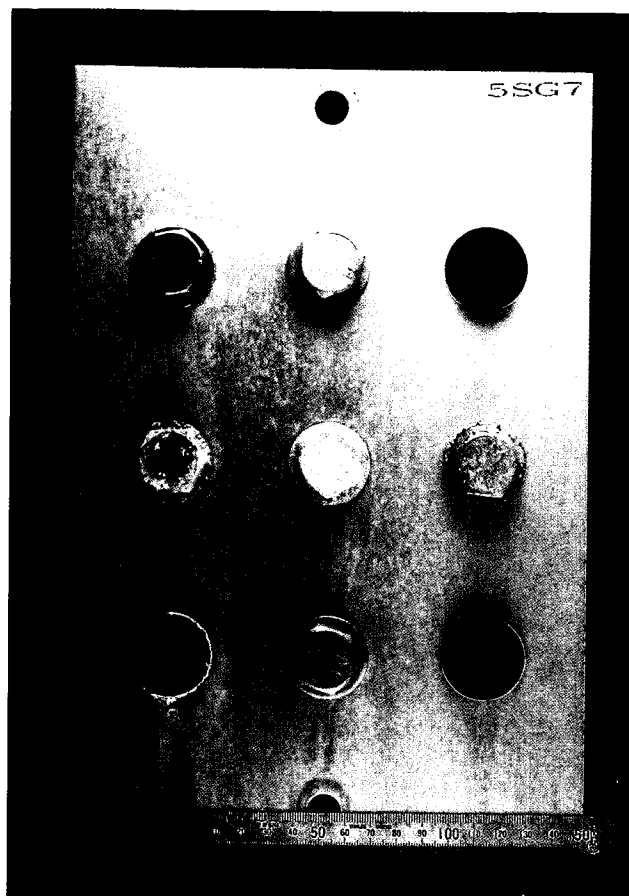
No.	アルミニウム合金板	ボルト材質	表面処理
①	A5052P	SS400	無処理
②		SS400	亜鉛粉化成処理 ①
③		SS400	亜鉛粉化成処理 ②
④		SS400	電気亜鉛めっき
⑤		SS400	溶融亜鉛めっき
⑥		SS400	溶融アルミめっき
⑦		SUS304	無処理
⑧		SUS304	亜鉛粉化成処理 ①
⑨		SUS304	亜鉛粉化成処理 ②



ボルト頭側



ナット側

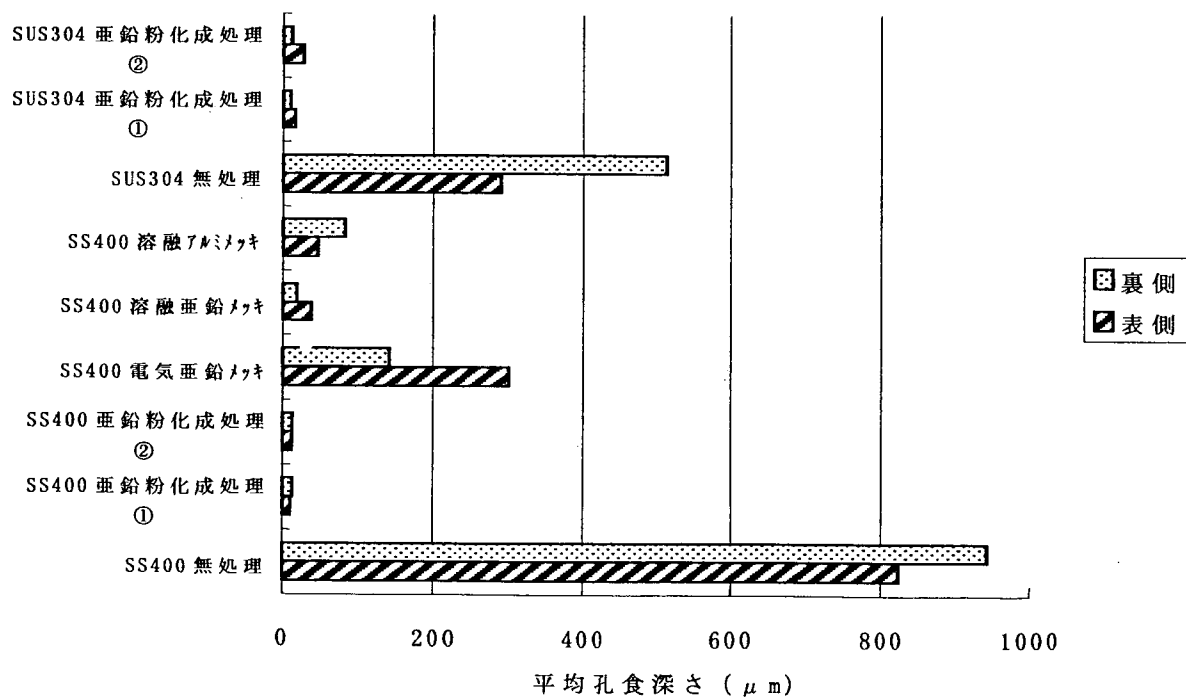


ボルト頭側



ナット側

写真 4. 1. 1 A5052P と各種ボルトとの接触部の状況(2 年経過) (沖縄県大宜味村)



図解 4. 1. 2 A5052P と各種ボルトとの接触による孔食深さ(2 年経過) (沖縄県大宜味村)

無処理ボルトとの接触面は扉体の塗膜によりある期間内では絶縁される為に腐食しないが、塗装が不十分であったり、摩耗や塗膜劣化により電氣的につながると異種金属接触腐食による孔食が発生することがある。

③アルミニウム合金製部材および部品の取付けは、すきまをなくするため全周溶接を原則とする。

④鋼製のブラケットや部品との接触面は、鋼側に塗装または亜鉛めっきを施す。または、接触面にゴムシートや樹脂板をはさんで絶縁する。

⑤水中部で戸当り面と擦れ合うスライドゲートの摺動面やボルト取付け部において絶縁できない箇所またはローラー軸のはめあい部は、流電陽極を接触面近傍に取付ける

4. 1. 3 戸当り

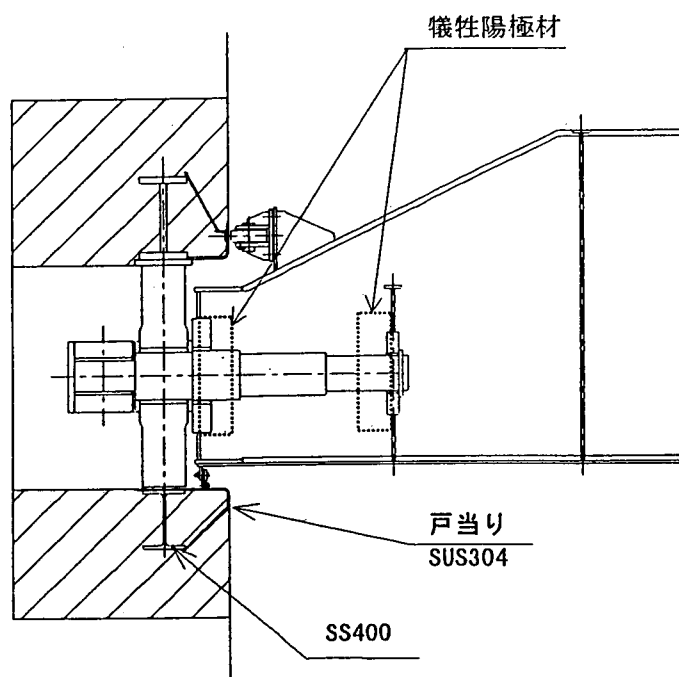
戸当りの埋設部分以外の露出面は、ステンレス鋼を使用する。

〔解 説〕

(1) 戸当りは大気中および水中に直接さらされる露出面は、防食上ステンレス鋼を使用する。コンクリート埋設部分は炭素鋼を使用しても良い。

(2) アルミニウム合金製扉体との接触面で、将来的に扉体側の摩耗等が考えられ、戸当りとの絶縁が継続できないような場合は、図解 4. 1. 3 に示すように扉体のステンレスの戸当り側に流電陽極材を取付けるか取付スペースがない場合にはステンレスの戸当り側に流電陽極材を取付ける。

(3) 淡水中で、流電陽極の効果あまり期待できない場合は、戸当りに亜鉛めっきや、アルミ溶射を検討する。



図解 4. 1. 3 戸当り形状例

4. 1. 4 付属設備

付属設備の中で管理橋や、手摺・階段・防護柵は、アルミニウム合金材料を使用することができる。

防食上、特に留意する箇所を以下に示す。

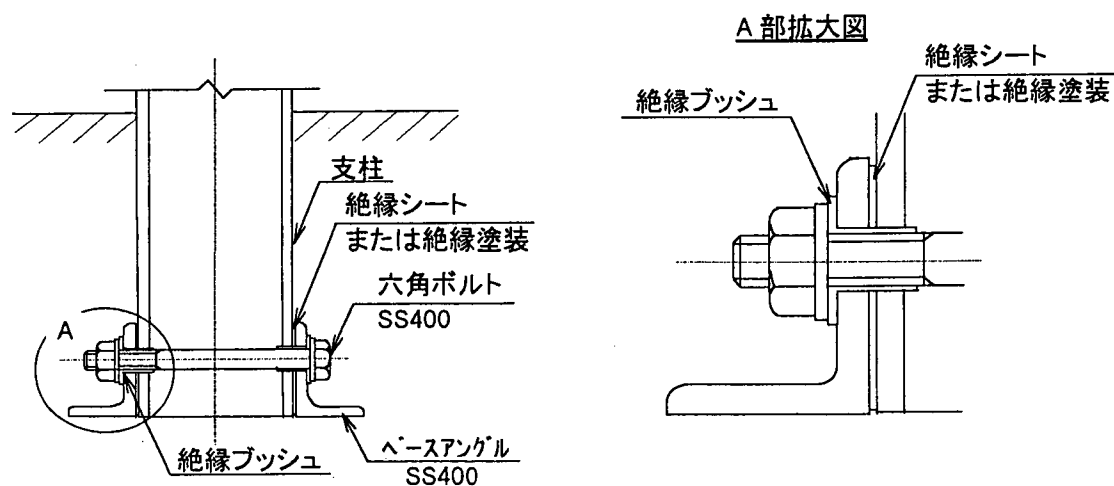
- (1) 管理橋や階段の支承部
- (2) ボルト接合部
- (3) 防護柵のコンクリート埋設部

[解 説]

(1) 管理橋や階段の支承部は、湿潤状態とならない様に雨水の流出を良好にし、泥土や雑芥がたまらない様にする。

(2) ボルト接合部は、異種金属接触腐食防止のため樹脂系のワッシャやブッシュあるいは表面処理ボルト等を使用し電氣的に絶縁する。

(3) 防護柵のコンクリート埋設部において異種金属と接触する場合は、図解 4.1.4 に示すように絶縁塗装またはシート、テープ等による絶縁処理を施す⁶⁾。



図解 4.1.4 防護柵支柱定着部防食例

出典：アルミニウム合金製高欄設計製作要領；社団法人 軽金属協会

4. 2 施工および施工管理

4. 2. 1 材料および製品の保管・管理

アルミニウム合金材料またはアルミニウム合金材料を使用した部材および構造物の保管・管理は、以下のことに留意する。

- (1)アルミニウム合金材料の保管は、乾燥した通気性の良い場所に保管する。
- (2)アルミニウム合金材料は、炭素鋼と比較して軟らかく表面が傷つきやすいため取り扱いに注意する。
- (3)アルミニウム合金材料表面に炭素鋼、ステンレス鋼等、異種金属を直接接触させて放置しない。
- (4)アルミニウム合金材料に鉄粉、コンクリート、泥土等の汚れが付着しないように保管する。

[解 説]

- (1)保管は乾燥した場所を選ぶことを原則とするが、外気温や湿度の変化で表面に結露することがある。特に長期間表面無処理のままの状態を重ねておいた場合、各接触部の周辺に結露するとすきまに水が浸透して材料の表面を汚し、放置すると茶～灰色の変色や白い斑点状腐食を生じることがある。対策として材料間にスペーサーをはさみ通気性を十分にとる。
- (2)アルミニウム合金材料は粗雑な扱いをすると表面に傷がつきやすいので、運搬時の吊り込みの際はナイロンスリングを使用したり、スチールワイヤを用いる場合は緩衝材を当てて使用する。
- (3)保管、作業場所は鋼製製品の作業を行っている工場ではできるだけ別の場所としアルミニウム専用を使用することが望ましい。また、ステンレス鋼や炭素鋼のボルトなどの異種金属をアルミニウム合金材料の上に長期間放置して結露したりすると異種金属接触腐食の原因となるので注意する。
- (4)特に塗装前の部材や構造物は鉄粉、泥土が付着しないようにシートなどをかけて保護する。ただし湿気を防止するため常に換気に注意し結露しないようにする。
- (5)保管時に腐食を生じた場合、軽微であれば細いステンレスワイヤブラシなどにより除去し、多量かつ広範囲に生じている場合には硝酸（比重 1.42、室温）に浸漬することにより表面をエッチングすることなく除去できる。

4. 2. 2 材料の加工

アルミニウム合金材料の加工は工場で行うことを原則とし、以下の工程ごとに腐食発生のないように留意して加工する。

(1) 切断加工

主要部材の切断は、専用ののこ刃によるのこ切断またはプラズマ切断を行う。

(2) 曲げ加工

アルミニウム合金板の曲げ加工は冷間曲げを原則とする。

(3) 切削加工

切削加工においては、熱膨張による変形や残留応力の発生が起こらないように適切な条件で加工する。

(4) 開先加工

開先形状は継手の形状、板厚、溶接方法により決定する。また、開先部の清浄は溶接直前に行うことを原則とする。

[解 説]

(1) 切断加工

① のこ切断を行う場合は、切削性や目詰まりを防ぐため刃先角や逃げ角が大きく目の粗い、専用のアルミニウム切断用のこ刃を使用し、他の金属の切断には使用しない。

② プラズマ切断は、機械切断に比べ切断面も粗く、また熱影響による組織の変化により耐食性にも影響するので切断端面は機械仕上げを行う。

③ プラズマ切断時の最適切断条件は装置の種類、使用するガスの種類や水素の混合比、切断の目的によって異なるので、表解 4.2.1 の切断条件例を参照して個別に切断試験を行って条件を決定する。

表解 4. 2. 1 アルミニウム合金材料のプラズマ切断における標準条件（移行アーク式）¹⁾

切 断 方 法 開 先 の 形 状	板 厚 mm	電 極 径 mmφ	ノズル 径 mmφ	ガ ス 流 量 l/min	電 流 (DCSP) A	アーク 圧 電 圧 V	切断速度 mm/min
手動切断 ¹⁾ 	3.2	3.2	3.2	23.3	170	46	3 300
	6.4	3.2	3.2	23.3	200	50	1 525
	9.6	3.2	3.2	28.3	250	55	1 525
	12.7	3.2	4.0	28.3	280	60	1 015
	19.1	3.2	4.0	32.8	300	65	635
	25.4	3.2	4.0	32.8	330	68	510
	31.8	3.2	4.0	32.8	350	73	510
	38.1	3.2	4.0	32.8	360	76	380
機械切断 ²⁾ 	6.4	3.2	4.0	28.3	380	70	7 620
	12.7	3.2	4.0	28.3	400	65	3 800
	25.4	3.2	4.0	28.3	400	72	1 270
	38.1	3.2	4.0	32.8	400	80	890
	50.8	4.0	4.8	46.7	660	95	760
	76.2	4.0	4.8	46.7	780	110	635
	12.7	3.2	4.0	32.8	320	72	2 540
	19.1	3.2	4.0	32.8	300	78	890

注：1) 20% H₂+80% Ar 使用 2) 35% H₂+65% Ar 使用

出典：アルミニウム構造物の溶接施工管理；社団法人 軽金属溶接構造協会

(2) 曲げ加工

① アルミニウム合金板の曲げ加工は冷間曲げを原則とする。冷間曲げ加工における内側曲げ半径は、J I S H4000「アルミニウムおよびアルミニウム合金の板および条」に準拠するものとする。板厚により異なるが、内側曲げ半径は目安として板厚 12mm 以下においてはおよそ 2～2.5 倍以上とする。

② ひずみ取りまたは曲げ加工上やむをえず加熱の必要が生じた場合には、その温度は表解 4. 2. 2 による。

表解 4. 2. 2 アルミニウム合金材料加熱温度（J I S Z 3604）

材 質	加熱急冷	加 熱
5083-O 5083-H112	400℃以下	400℃以下
5052-O	400℃以下	400℃以下
5052-H34	300℃以下	250℃以下

(3) 切削加工

① アルミニウム合金材料は一般に鉄鋼材料と比較して切削に要するエネルギーが小さいことや熱伝導性が良好なために切削時に発生する熱の削除が容易であることなどにより高速時の切削、大きな切り込みや送り量をとることができる。

② 切削加工は、適切な条件で行われない場合、表面仕上りはもとより熱膨張による変形や残留応力の増大により耐食性低下の原因となる。ゲートに使用される A5083-O や A5083-H112 は、切削性の傾向としてアルミニウム合金材料の中では劣るが、すくい角を大にし刃先を研磨仕上げすることにより加工することができる。

③ グライNDER は、と石に切粉がつまり作業能力が低下し、と石粉が仕上げ面にくいことがあるので開先加工を含め仕上げ面には用いない。

(4) 開先加工

母材の溶接される端面は継手の形状、板厚その他種々の要因を考慮して各種の形状に開先加工する必要がある。

① 各種の一般に用いられている開先形状の例を表解 4.2.3~4 に示す。

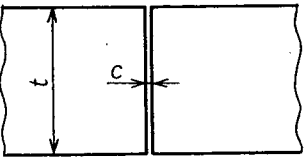
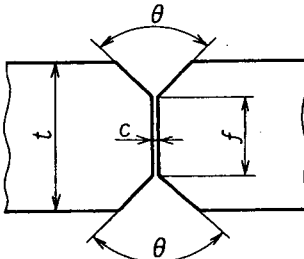
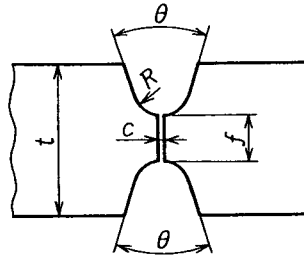
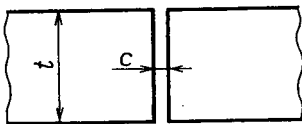
表解 4. 2. 3(1) 板の突合せおよびT継手の開先形状および寸法 (J I S Z 3604)

継手の種類	開先形状	板厚 mm	溶接 層数	ルート面 mm		ルート間隔 mm		開先角度		備考 mm
				ティグ	ミグ	ティグ	ミグ	ティグ	ミグ	
板の突合せ継手	I形	$t \leq 6$	1~2	—		$c \leq 3$	$c \leq 2$	—		角を面取りしてもよい
	V形	$4 \leq t \leq 25$	1以上	$f \leq 3$		$c \leq 3$		$\theta = 60 \sim 110^\circ$	$\theta = 50 \sim 80^\circ$	裏はつり後裏溶接のこと
	裏当金付V形	$4 \leq t$	1以上	$f \leq 3$		$3 \leq c \leq 6$		$\theta = 45 \sim 70^\circ$		$b = 20 \sim 50$ $t' = 4 \sim 10$
	X形	$8 \leq t$	2以上	$f \leq 2$		$c \leq 3$		$\theta = 50 \sim 90^\circ$		裏はつり後裏溶接のこと
	U形	$16 \leq t$	2以上	$3 \leq f \leq 5$		$c \leq 2$		$\theta = 40 \sim 60^\circ$		$R = 4 \sim 8$ 裏当てを用いるか裏はつり後裏溶接のこと
	H形	$16 \leq t$	2以上	$f \leq 3$		$c \leq 2$		$\theta = 40 \sim 60^\circ$		$R = 6 \sim 8$ 裏はつり後裏溶接のこと
	J形	$16 \leq t$	2以上	—	$3 \leq f \leq 5$	—	$c \leq 2$	—	$\theta = 40 \sim 60^\circ$	$R = 6 \sim 8$ 裏はつり後裏溶接のこと

表解 4. 2. 3 (2) 板の突合わせおよびT継手の開先形状および寸法 (J I S Z 3604)

継手の種類	開先形状	板厚 mm	溶接 層数	ルート面 mm		ルート間隔 mm		開先角度		備考 mm	
				ティグ	ミグ	ティグ	ミグ	ティグ	ミグ		
板の突合せ継手	両J形		$16 \leq t$	2以上	—	$f \leq 3$	—	$c \leq 2$	—	$\theta = 40 \sim 60^\circ$	$R = 6 \sim 8$ 裏はつり後裏溶接のこと
	K形		$16 \leq t$	2以上	—	$f \leq 3$	—	$c \leq 2$	—	$\theta = 40 \sim 60^\circ$	裏はつり後裏溶接のこと
T継手	すみ肉		$1 \leq t$	1以上	—	—	$c \leq 2$	—	—	—	部分的に開先を取ってもよい
	レ形		$4 \leq t \leq 12$	1以上	$f \leq 2$	—	$c \leq 2$	—	$\theta = 50 \sim 60^\circ$	裏当てを用いるか裏はつり後裏溶接のこと	
	J形		$10 \leq t$	1以上	$2 \leq f \leq 4$	—	$c \leq 2$	—	$\theta = 40 \sim 60^\circ$	$b \leq 6$ $R = 4 \sim 8$ 裏当てを用いるか裏はつり後裏溶接のこと	
	K形		$8 \leq t \leq 25$	2以上	$f \leq 2$	—	$c \leq 2$	—	$\theta = 50 \sim 60^\circ$	裏はつり後裏溶接のこと	
	両J形		$16 \leq t$	2以上	$f \leq 3$	—	$c \leq 2$	—	$\theta = 40 \sim 60^\circ$	$b = \leq 6$ $R = 4 \sim 8$ 裏はつり後裏溶接のこと	

表解 4.2.4 大電流ミグ溶接およびDCENティグ溶接継手の開先形状および寸法 (JIS Z 3604)

継手の種類	開先形状	板厚 mm	溶接 層数	ルート面 mm		ルート間隔 mm		開先角度		備考 mm
				ティグ	ミグ	ティグ	ミグ	ティグ	ミグ	
板の突合せ継手	I形		$12 \leq t \leq 30$	2 (両面各1層)	—	—	$0 \leq c \leq 2$	—	—	大電流ミグ 角を面取りしてもよい
	X形		$25 \leq t \leq 100$	2以上	—	$4 \leq f \leq 25$	—	$0 \leq c \leq 2$	—	$\theta = 60 \sim 100^\circ$ 大電流ミグ
板の突合せ継手	H形		$25 \leq t \leq 100$	2以上	—	$10 \leq f \leq 25$	—	$0 \leq c \leq 2$	—	$\theta = 30 \sim 45^\circ$ 大電流ミグ $R = 6 \sim 8$
	I形		$1 \leq t \leq 50$	1 (片面1層) 2 (両面各1層)	—	—	$0 \leq c \leq 1$	—	—	DCEN ティグ 角を面取りしてもよい

②開先部の清浄

アルミニウム合金材料の表面は酸化皮膜で覆われており、この酸化皮膜は融点が高く（約 2040℃）そのまま溶接を行うと酸化皮膜に包まれた溶融アルミニウム合金が粒状に凝集してお互いに融合せず健全な溶接が困難となる。 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ などの結晶水が溶接時に分解して水素を放出し、ブローホール生成の原因となることもある。また母材の表面は常に清浄にする必要がある。また、開先部の清浄はできる限り溶接直前に行う。

1) 脱脂

シンナー、アセトンなどの有機溶剤に浸漬するか、清潔な布にしみこませて拭き取る。

2) 酸化皮膜の除去

ステンレス製ワイヤブラシで皮膜除去を行う。ただしブラシは油気などの付着していない清潔なものを使い鋼材などに使用したブラシを転用してはならない。

その他化学的方法として、水酸化ナトリウムあるいは硝酸、硫酸およびそれらの混合液で酸化皮膜と一緒に母材の表面をエッチングする方法で同時に脱脂も行える。

3) 養生

開先部の清浄が溶接直前にできない場合は、乾燥した場所におきポリエチレンシートあるいは中性の乾燥紙をかぶせたり、母材相互が接触して傷つかないように注意する。

4. 2. 3 溶接方法

(1) 河川施設に用いるアルミニウム合金材料の溶接方法は工場溶接を原則とする。

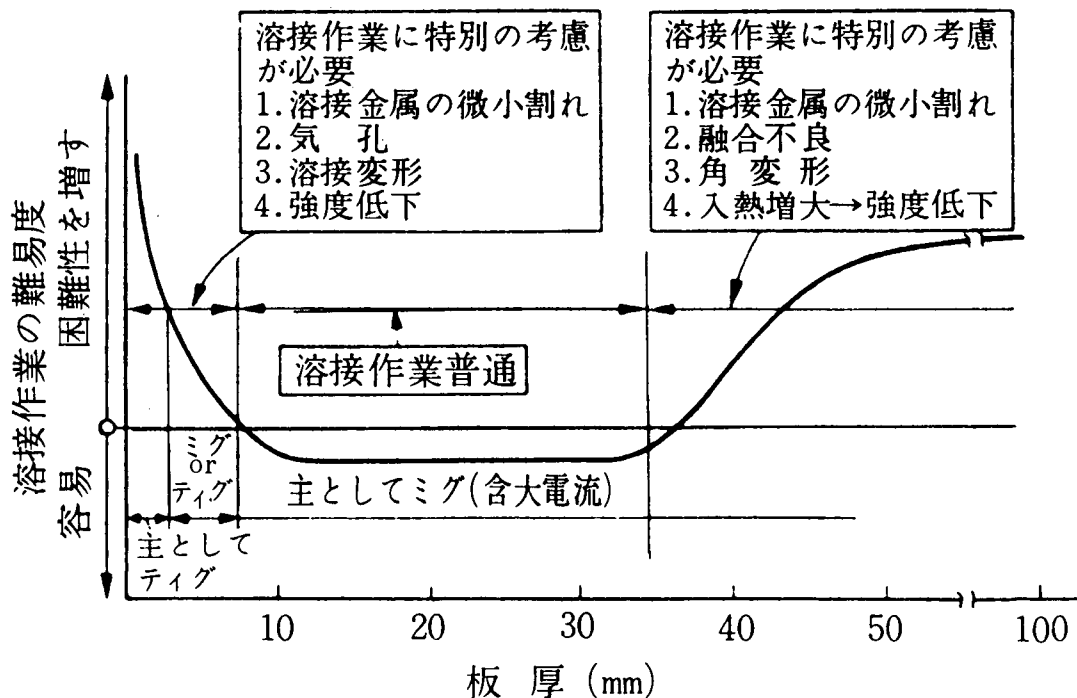
(2) 溶接方法はアーク溶接とする

[解 説]

(1) 現場溶接は、設備、天候等の維持管理に困難な点が多く、作業性も低下しやすい。健全な溶接を得るために溶接は工場溶接を原則とする。

(2) アルミニウム合金製河川施設の溶接方法はアーク溶接とし、通常よく用いられているミグ溶接・ティグ溶接を標準とする。

(3) 溶接方法の選定は、工場の設備ならびに製作方法や形状、板厚など、溶接部に要求される性能を図解 4. 2. 1 に示す。板厚と溶接作業の難易度を考慮して最適な溶接方法とそれに適合する開先形状を選定する事が望ましい。



図解 4. 2. 1 A5083-0 材の板厚と溶接作業の難易度

出典：アルミニウム構造物の溶接施工管理；社団法人 軽金属溶接構造協会

4. 2. 4 溶加材の選定と管理

溶加材は継手を強度的かつ耐食的に良好なものを選定すると共に、油、汚れ、鉄粉、酸化皮膜および湿気を除去し、十分に清掃し乾燥したものを使用する。

〔解 説〕

(1) 溶加材の選定

1) 母材と溶加材（溶接棒およびワイヤ）の組合せは、特に継手の強度、耐食性に留意して決定する。溶接継手の耐食性の向上をはかるためには、母材の化学成分によく適合した溶加材を選択して溶接金属と母材相互のガルバニック作用による侵食を最小にすることが望ましい。溶加材の化学成分を表解 4. 2. 5 に示す。

表解 4. 2. 5 溶加材の化学成分

種 類	化 学 成 分 mass%										その他		Al
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	V, Zr	Ti		個々	合計	
A4043-BY A4043-WY	4.5～ 6.0	0.8 以下	0.30 以下	0.30 以下	0.05 以下	—	0.10 以下	—	0.20 以下		0.05 以下	0.15 以下	残部
A5356-BY A5356-WY	0.25 以下	0.40 以下	0.10 以下	0.10 以下	4.5～ 5.5	0.05～ 0.20	0.10 以下	—	0.06～ 0.20		0.05 以下	0.15 以下	残部
A5183-BY A5183-WY	40 以下	0.40 以下	0.10 以下	0.50 1.0	4.3～ 5.2	0.05～ 0.25	0.25 以下	—	0.15 以下		0.05 以下	0.15 以下	残部

2) 溶加材は JIS Z 3232（アルミニウムおよびアルミニウム合金溶接棒並びにワイヤ）に規定するものとし、アルミニウム合金製ゲートの主要部材に使用される材質 A5083 と強度、耐食性が適合する溶加材は、A5183-BY（溶接棒）、WY（ワイヤ）である。母材の組合せによる溶接棒およびワイヤの選定を表解 4. 2. 6 に示す。

表解 4.2.6 母材の組合せによる溶加材の選定

母 材	A6063	A6061	A5052	A5083
A5083	A5356 (BY. WY)	A5356 (BY. WY)	A5356 (BY. WY)	A5183 (BY. WY)
A5052	A4043 (BY. WY)	A4043 (BY. WY)	A5356 (BY. WY)	
A6061	A4043 (BY. WY)	A4043 (BY. WY)		
A6063	A4043 (BY. WY)			

3) 溶加材は作業性がよく、健全な溶接金属が得られるよう滑らかな表面で、裂け目、すりきずなどの欠陥やねじれ、折り目のないものを使用し、ワイヤは支障なく送給されるものが望ましい。

(2) 溶加材の管理

1) 溶加材は良好に保管されたものを使用し、使用中も露出したままで現場に長く放置しないようにする。使い残りがあるときは、次回の使用に備えて乾燥剤とともに包装し倉庫に保管する。

2) 溶加材の取扱いは、素手や汚れた手袋を避け清潔なものを使用する。更に表面に油、鉄粉などが付着したり湿気を帯びたりすると、アーク熱で分解して水素ガスとなりブローホールを生じる原因となるので表面上の管理に注意する。

4. 2. 5 溶接管理と資格

溶接士および溶接施工管理技術者は、JIS または、関係規格に定められた有資格者とする。

〔解 説〕

(1) アルミニウム合金材料の溶接に従事する溶接士は、JIS Z 3811「アルミニウム溶接技術検定における試験方法および判定基準」に規定するティグおよびミグの専門級（立向、横向）の有資格者とする。

(2) 溶接施工管理技術者は、WES A 7601「アルミニウム合金構造物の溶接施工管理技術者資格認定規定」2 級以上の有資格者、または同等の能力を持つ管理者のもとで施工する事が望ましい。

4. 2. 6 溶接施工

溶接施工にあたっては、溶接欠陥が発生しないよう下記の事項に留意する。

- (1) 予熱を行う場合は、予熱温度を 200℃以下とする。
- (2) 溶接条件は、溶接方法、継手形状、板厚により決定する。また、必要があれば実際と同条件で溶接施工試験を行う。
- (3) 溶接場所は、工場内を原則とする。
- (4) 溶接部は目視検査、非破壊検査を行い欠陥部は欠陥の種類により適切な方法で補修する。

〔解 説〕

(1) 予熱およびパス間温度

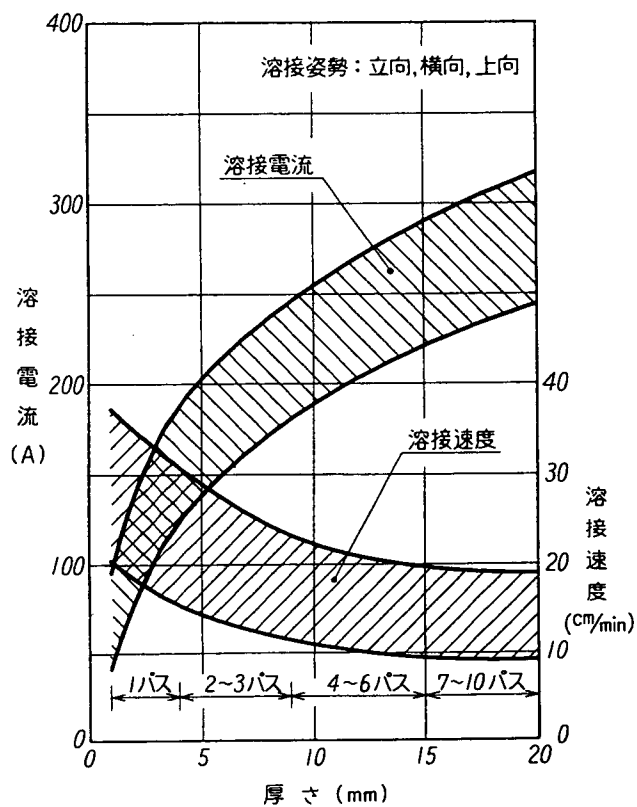
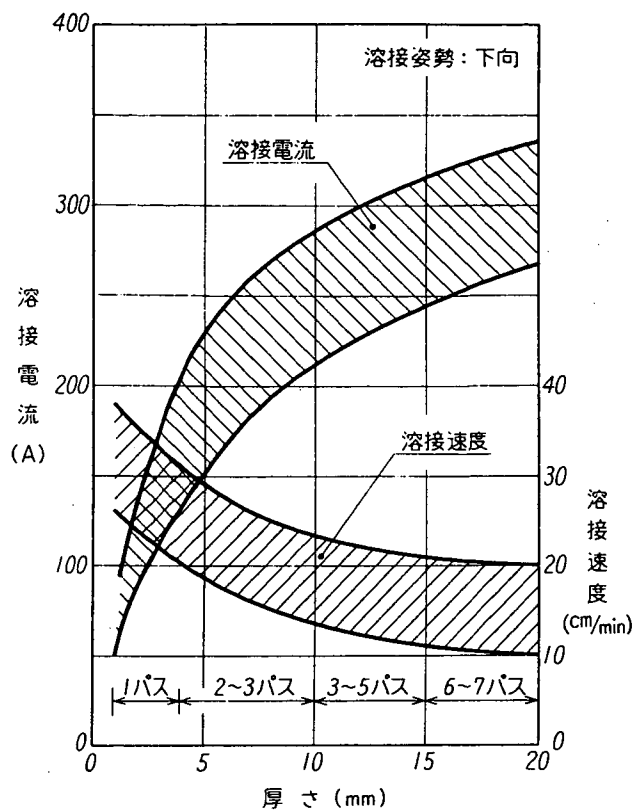
1) アルミニウム合金材料の溶接は、通常の場合予熱は行わない。8mm 以上の厚板でティグ溶接を行う場合、特に小さい容量の溶接機で溶接する場合には予熱しても良い。また寒冷時の溶接、継手の湿分の除去、割れやブローホールを防止するために予熱することもある。予熱温度は作業条件によって異なるが、150～200℃を適度とし温度を上げすぎないようにテンピルスティックや接触温度計で測定しながら加熱する。

2) パス間温度はできるだけ低くしなければならない。多層溶接時のパス間温度が高いと継手強度の低下を招くおそれがあるので常温近くまで下がってから次層の溶接を行うことが望ましい。

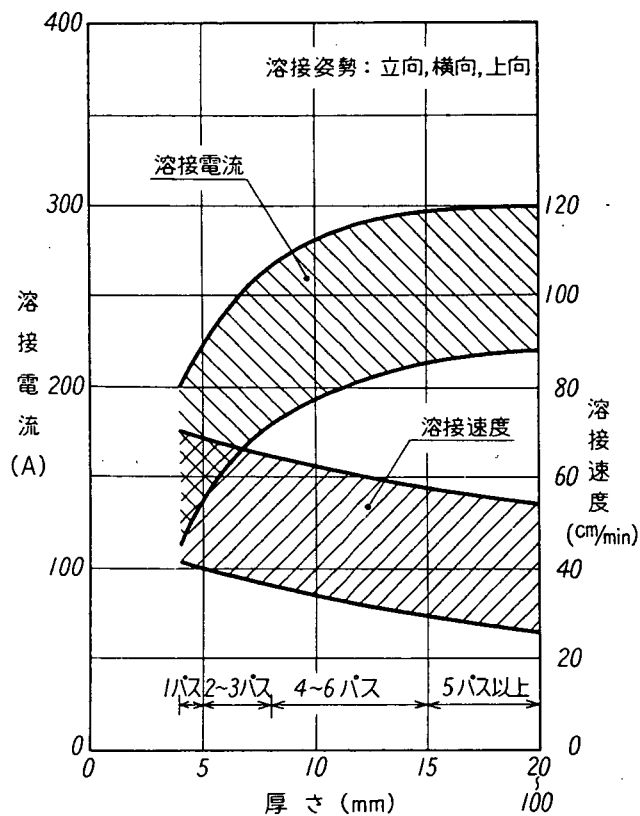
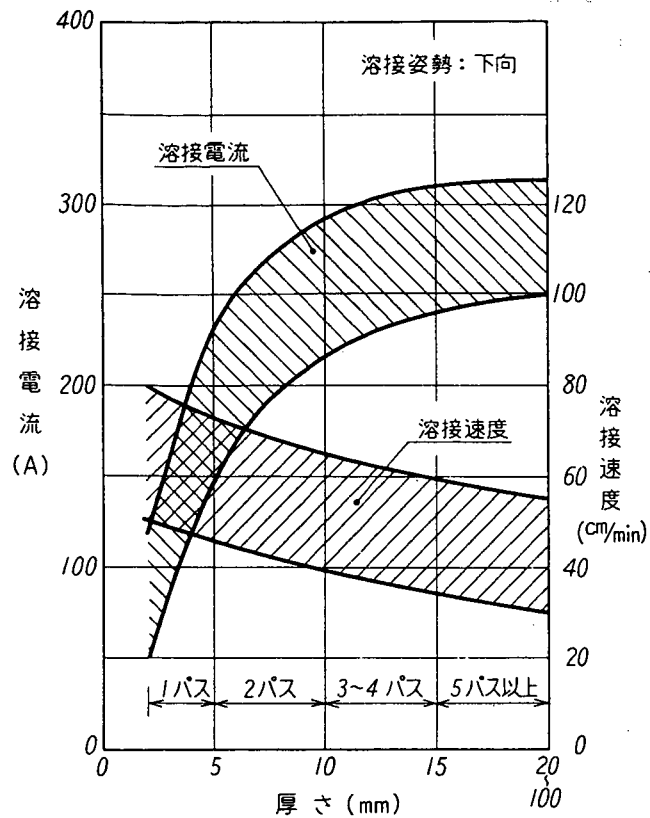
(2) 溶接条件

1) 溶接条件は溶接方法、継手形状、板厚などの条件を考慮し適正な溶接を行う。標準的な溶接条件の範囲が JIS Z 3604「アルミニウムのイナートガスアーク溶接作業標準」に記載されておりその一部を図解 4. 2. 2～4. 2. 3 に示す。

2) 特殊な溶接条件を用いなければならない場合には、実作業に近い形状の試験片を用いて要求に適した溶接条件であるかどうかを確認することが望ましい。



図解 4.2.2 板の突合せ継手の手動ティグ溶接条件範囲 (JIS Z 3604)



図解 4. 2. 3 板の突合せ継手の半自動ミグ溶接条件範囲 (JIS Z 3604)

3) 溶接される端面は継手の形状、板厚その他の要因を考慮して各種の形状に開先加工する。開先の形状寸法、開先部の清浄、および脱脂を 4. 2. 2 材料の加工に示す。

(3) 溶接場所の選定と環境

1) アルミニウム合金材料の溶接は、湿気や塵埃などの影響を受けやすく、ブローホールなどの欠陥が出やすい。作業は清潔な場所で行い適当な風除けを設ける、相対湿度 85%以上かつ気温 30℃以上を越える状態では主要部の溶接は避ける。

2) 溶接姿勢は横向、上向を避けてできるだけ下向姿勢で行い、溶接材料の固定と、ひずみ防止のためのジグ固定および電流電圧調整ができる設備の整った工場内で行う。

(4) 溶接部の検査

溶接部が製品の要求通り完成しているか否かを検査する。検査方法は非破壊検査として目視検査、X線透過検査、超音波検査、浸透検査などにより欠陥の有無を調査する。

(5) 溶接欠陥と適正な処置

検査で発見された溶接欠陥は、適切な方法で補修する。

1) 割れ

ビード割れ、クレータ割れは、割れの前後に適当な径の穴をあけてその間をはつとり浸透探傷検査などで割れが完全になくなった事を確認の上、補修溶接を行う。割れが母材へ伸びている場合は、適当な大きさに母材を切り取り別途同じ大きさのはめ板、または当て板などを溶接して補修する。

2) 内部欠陥

融合不良、溶込み不良、ブローホール、内部割れなどX線検査で発見された場合は欠陥の位置を把握して慎重に作業を行い、欠陥部をはつる場合は補修の必要範囲を最小限にする。

3) 外部欠陥

著しいアンダーカット、オーバーラップについてはグラインダ仕上げや補修溶接を行う。溶接により発生したひずみの補修は、機械的方法（ローラプレス、ハンマ打ち）または、加熱方法（材料の局所的な熱収縮）を利用して矯正する。過熱方法の場合は温度を 300℃以下とする。どちらの方法も製品の表面を損傷しない方法で行う。

4. 2. 7 塗装

アルミニウム合金製ゲート設備は、構造物の景観への配慮および耐食性を更に向上させるため塗装を施す。

〔解 説〕

- (1) アルミニウム合金は耐食性に優れた材料であるが、更に塗装を施すことにより耐食性が著しく向上する。
- (2) アルミニウム合金材料表面の汚れや付着物は正常な塗膜の形成を妨げるため、塗装をする前に付着物を除去し溶剤により脱脂をするなど素地調整を十分に行う。
- (3) 塗装方法は製作終了後工場においてエアレススプレー塗装を原則とする。スプレー作業で塗膜厚の確保の難しい狭小部やエッジ部分は刷毛塗りを先行して行うと良い。
- (4) 現場塗装は輸送や据え付け時に発生した傷などの補修程度とする。ただし深い傷の場合には上塗りだけでなく下塗り塗装から丁寧に仕上げる事が大切である。表解 4. 2. 7 に塗装仕様の例を示す。

表解 4. 2. 7 塗装仕様例

項 目	塗 料 など	標準膜厚
素 地 調 整	異物除去および溶剤脱脂	
前 処 理	ウォッシュプライマー	1 0 μ m
下 + 中 塗	エポキシ樹脂塗料	8 0 μ m
上 塗	ポリウレタン樹脂塗料	3 0 μ m

4. 2. 8 輸送と据え付け

構造物の加工終了後、輸送・保管および現場据え付けに当たってはアルミニウム合金材料の腐食の原因となる汚れや傷が付かないように留意する。また構造形状を良好な状態に保持するために十分な養生を行う。

[解 説]

(1) 輸送

- ①輸送中の変形防止のあて板には乾燥した木材などを使用し傷が付かないようにする。
- ②梱包品を吊り上げる場合はバランスを配慮した指定の吊り位置を適切な吊り具を用いて作業をする。

(2) 保管

- ①構造物の変形・損傷を防ぐため適切な受け台の上に置く。
- ②現場にて保管する場合、周囲には種々の資材や建設機械が混在するので扉体を傷つけないようにシートなどで養生をする。

(3) 据え付け

- ①扉体を吊るときは専用に取り付けた吊り金具を使用する。吊り金具がついていないときはアルミニウム合金材料を吊り具にて直接接触してこすりつけないよう当て板を使用する。
- ②扉体に生コンクリートやモルタルが付着するとアルミニウム合金材料を腐食させる恐れがあるため、扉体据え付け後にコンクリート打設を行う場合は保護シートで覆うなどの対策をする。万が一、生コンクリートなどが付着したときはそれらが固化する前に速やかに中性洗剤などで完全に除去する。

(4) 据え付け後の補修

据え付け後に傷などの補修を行う場合、異物の噛込みが有れば取り除きアルミ専用ヤスリやバフにより仕上げた後、ウレタン樹脂塗料で補修する。

5. アルミニウム合金材料の保守管理

5. 1 点検一般

- (1) 点検は年1回を標準とする。
- (2) 点検は点検時における安全と判定基準の客観性を確保できる体制で実施するものとする。

〔解 説〕

(1)アルミニウム合金材料は優秀な耐食性を有する。しかし、異種金属と接触する部位などに極めて厳しい腐食環境が付加した場合などは、急激に腐食が進むことも考えられる。したがって長期間放置することは好ましいものとはいえず、点検は年1回を標準とした。

(2)点検する箇所によっては水路への立ち入りや高所作業が伴うため、安全を考慮した体制で実施するものとする。また、点検員による主観に左右されることを防ぐためには、複数名で判定することが望ましい。

5. 2 点検箇所

水中部または常時湿潤条件下にあるアルミニウム合金部位の異種金属接触部について重点的に点検する。

〔解 説〕

アルミニウム合金材料は、単独では淡水、汽水、海水のいずれに対しても優秀な耐食性を示す。しかし異種金属接触部では、異種金属接触腐食が発生する場合がある。したがってこの箇所について重点的に点検する必要がある。

異種金属接触腐食が生じ易い箇所は4.1.2項「アルミニウム合金材料の防食上の留意事項」に示す「防食を考慮する箇所」と一致する。従って点検の重要箇所の詳細については4.1.2項を参照のこと。

〈異種金属接触部について〉

アルミニウム合金は汎用金属の中でマグネシウム、亜鉛に次いで卑な金属である。炭素鋼材やステンレス鋼と直接接触し、塩素イオンを含む水分が介在する場合に接触腐食を生じやすい。ほとんどの場合は孔食の腐食形態をとる。一般的には各種の塗装、鋼材への亜鉛メッキ、両者間への絶縁材の挿入などより異種金属接触腐食を防いでいる。しかし長期経過を通して、塗装や亜鉛メッキの損傷および絶縁材の欠落も考えられるため、十分な点検を要する。

5. 3 判定

腐食の程度が以下の状況にある場合は、必要に応じて腐食防止対策または補修を施す。

- (1) 特定部位に点状の腐食が発生し、全腐食面積が 10%以上と密集し、その最大深さが部位肉厚の $1/3$ 以上に達している場合
- (2) 全腐食面積率が 10%未満としても、個々の独立した腐食が部材を貫通している場合、あるいは肉厚の 2 倍の直径を有する面積相当分の範囲が侵食されている場合
- (3) 短期間で急激に腐食が発生したり、年々徐々に腐食が進行し、その状況が目視にて観察された場合

〔解 説〕

(1) 腐食の程度は発生面積、個数および深さにより評価される。また発生面積と個数を併せて評価できるものに全腐食面積率がある。

水門の主要部材には 5000 系 (Al-Mg 系) のアルミニウム合金材料が使用される。この材料はたとえ数個の貫通穴が生じても、伸びは多少低下するものの、引張強さと耐力への影響はほとんどない。しかし全腐食面積率が過度に大きくなると断面欠損となり、強度上無視できなくなる。

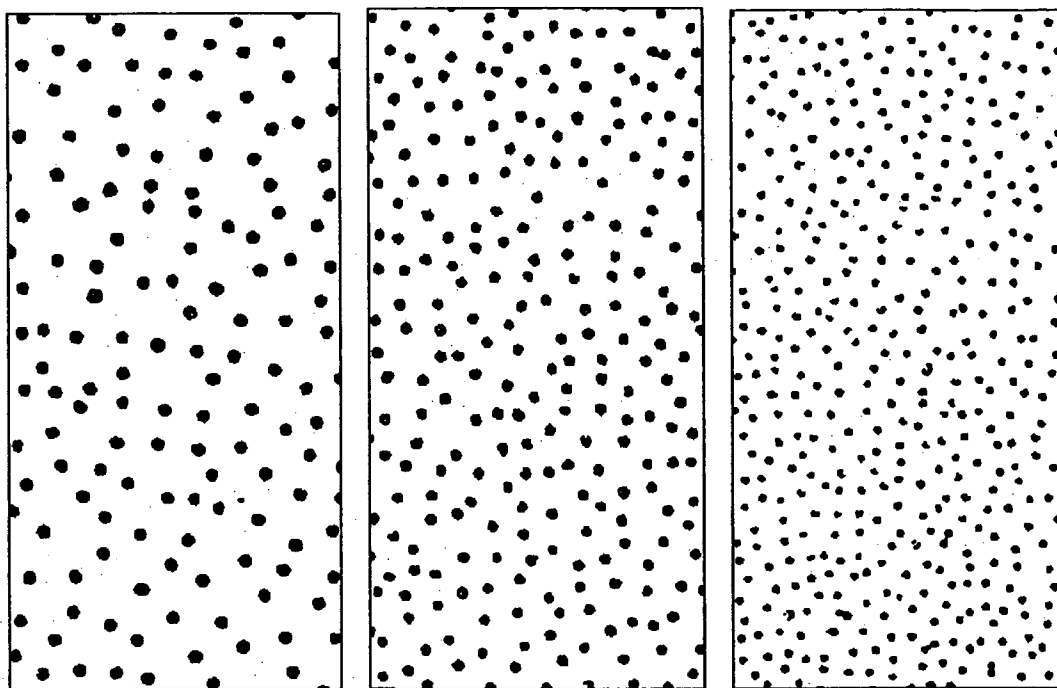
本マニュアルでは全腐食面積率 10%を分岐点とし、各々の領域について、腐食深さまたは腐食面積の限界値を規定することとした。

(2) 全腐食面積率は J I S H 8681「アルミニウムおよびアルミニウム合金の陽極酸化皮膜の耐食性試験方法」に規定するレイティングナンバより推定する。レイティングナンバ 3 は全腐食面積率が 5%以上 10%未満とされ、レイティングナンバ 2 は同 10%以上 25%未満とされている。

従って、レイティングナンバ 2 以下の場合は全腐食面積率が 10%以上とみなし、これを目視にて判定する。なおレイティングナンバ 3 およびレイティングナンバ 2 の標準図集を図解 5.3.1～5.3.2 に示す。

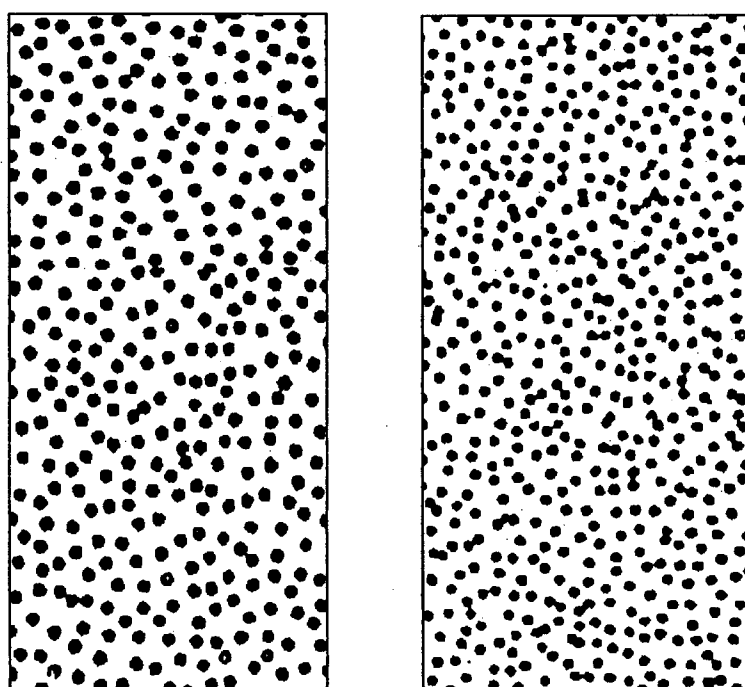
(3) 各腐食の侵食深さについては触針式のダイヤルゲージなどを用いて測定することができる。

(4) 年次点検において前年の点検時に比べて著しく外観を損なうほどの急激な腐食が生じた場合、あるいは数回の年次点検を通して徐々にではあるが、着実に腐食が進行しているのが目視にて観察された場合は、今後も腐食が進行するものと判定し、腐食程度が前述(1)、(2)項に示す規定値に達していなくても同様の対策をとるものとした。



図解 5.3.1 レイティングナンバ 3 標準図集 (J I S H 8681)

(全腐食面積率 5%以上 10%未満)



図解 5.3.2 レイティングナンバ 2 標準図集 (J I S H 8681)

(全腐食面積率 10%以上 25%未満)

5. 4 腐食防止対策および補修

(1) アルミニウム合金材料に腐食が生じた場合は、腐食原因を明確にし、その原因を除去する対策を施す。

(2) アルミニウム合金材料の腐食部の補修は、腐食生成物を除去し、腐食の度合いに応じた適切な方法で行うものとする。

[解 説]

(1) 腐食原因の除去

- ① 異種金属接触腐食が原因となる場合は、ボルトまたは部品を塗装したり、パッキンなどを挿入して絶縁する。
- ② アルミニウム合金材の腐食は、ほとんどの場合が異種金属接触腐食である。しかし希にアルカリによる腐食、強酸による腐食、すき間腐食などが設置環境により生じる場合がある。このような場合は塗装、コーキングなどでその原因を除去しなければならない。
- ③ ①、②などの物理的対策が困難な場合は、接触面近傍に流電陽極などの対策を考慮する。

(2) 腐食部および塗装の補修

- ① 少数の深い孔食または貫通部の補修；孔食部を機械的に除去し肉盛溶接後タッチアップまたは部分塗装を行う。
- ② 局部に密集した深い孔食；孔食部を切除する。切除部は部材溶接することにより復旧し、部分塗装を行う。強度部材に関しては、溶接部の保証のために非破壊検査を実施するか、もしくは部分的にあて板にて補強するなどの対策を施すことが望ましい。
- ③ 軽微な塗膜不良の補修；素地調整は、4種相当を基本とし部分塗装を行う。必要に応じて3種相当を採用する。
- ④ 著しい塗膜不良の補修；素地調整は、3種相当を基本とし再塗装を行う。

素地調整の種別例を表解 5.4.1 に示す⁷⁾。ただし、この規定は鋼材に適用されるものである。アルミニウム合金材に対する素地調整規定はないため、この規定に準拠してアルミニウム材に適用するものとする。

表解-5.4.1 鋼材の塗膜の劣化程度と素地調整の種別例

種 別	作 業 内 容	作 業 方 法
1 種	さび、塗膜を除去し、清浄な鋼材面とする。	ブラスト法
2 種	さび、塗膜を除去し鋼材面を露出させる。ただし、くぼみ部分や狭あい部分には錆や塗膜が残存する。	ディスクサンダー、ワイヤホイールなどの動力工具と手工具の併用
3 種	さび、劣化塗膜を除去し鋼材面を露出させる。ただし劣化していない塗膜（活膜）は残す。	同 上
4 種	粉化物および付着物を落とし、活膜を残す。	同 上

出典：鋼道路橋塗装便覧；社団法人 日本道路協会

参考文献

- 1) アルミニウム構造物の溶接施工管理；社団法人 軽金属溶接構造協会(1981)
- 2) アルミニウムハンドブック第5版；社団法人 軽金属協会(1994)
- 3) G. Wranglen 著, 吉沢四郎, 山川宏二, 片桐晃 訳；金属の腐食防食序論, 化学同人(1973)
- 4) シンポジウム アルミニウム合金船の現状と将来動向；社団法人 軽金属溶接構造協会(1997)
- 5) 小林, 花崎；軽金属学会第92回春季大会講演概要(1997)
- 6) アルミニウム合金製高欄設計製作要領；社団法人 軽金属協会(1989)
- 7) 鋼道路橋塗装便覧, 日本道路協会(1990)

アルミニウム合金の水門適用例

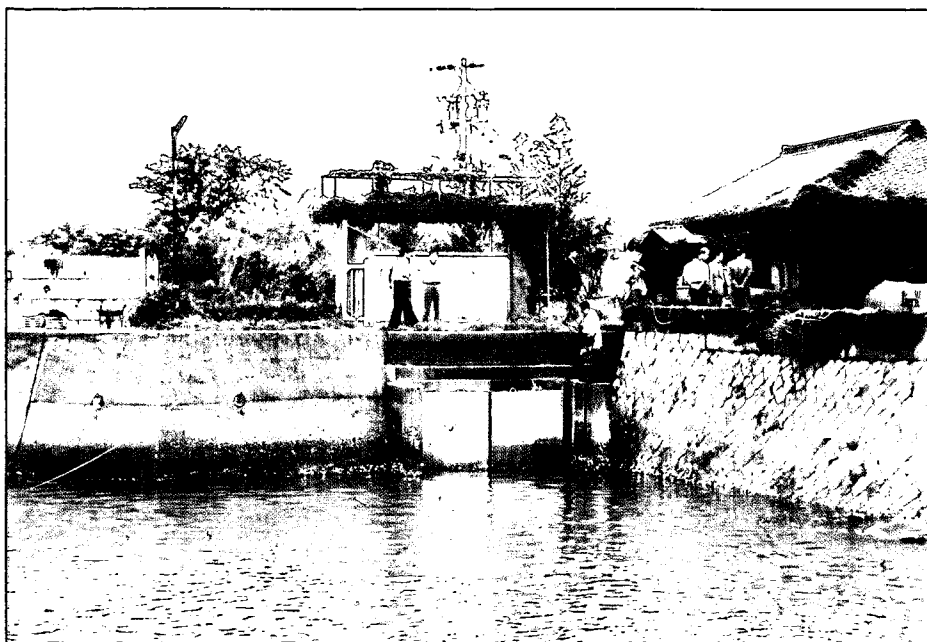


写真1 三重県 的矢港
手前（海側）：アルミ合金製
マイターゲート
奥（河川側）：アルミ合金製
ローラーゲート

13年経過

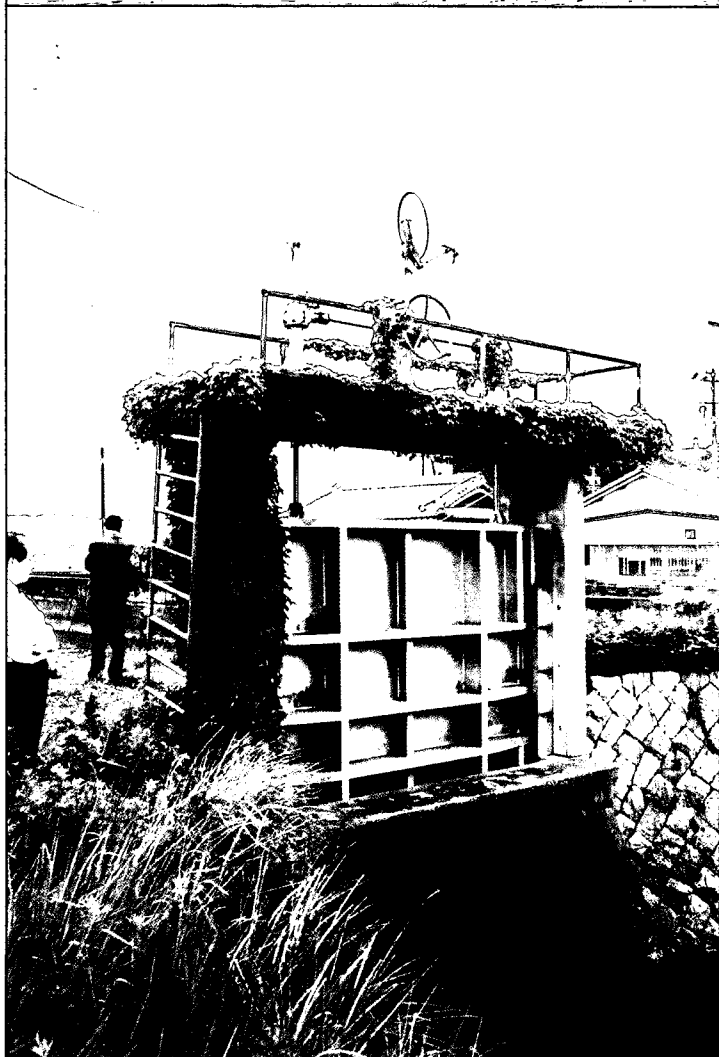


写真2 三重県 的矢港
アルミ合金製ローラーゲート 全景

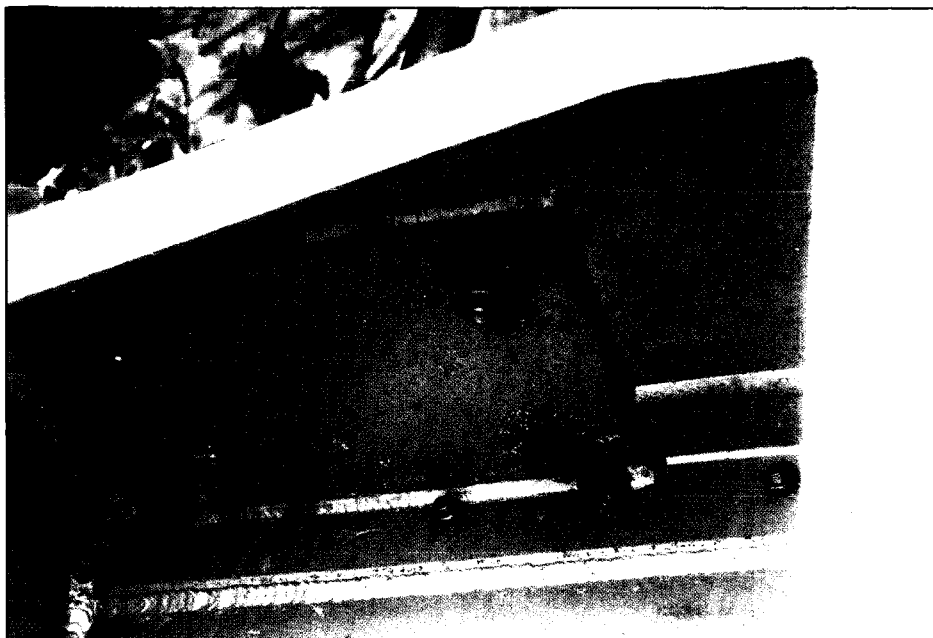


写真3 的矢港
アルミ合金製ローラーゲート
軒天井、吊ブラケット取付部

ステンレス鋼製ボルトの周囲にアルミ腐食による塗装の膨れが観察される。

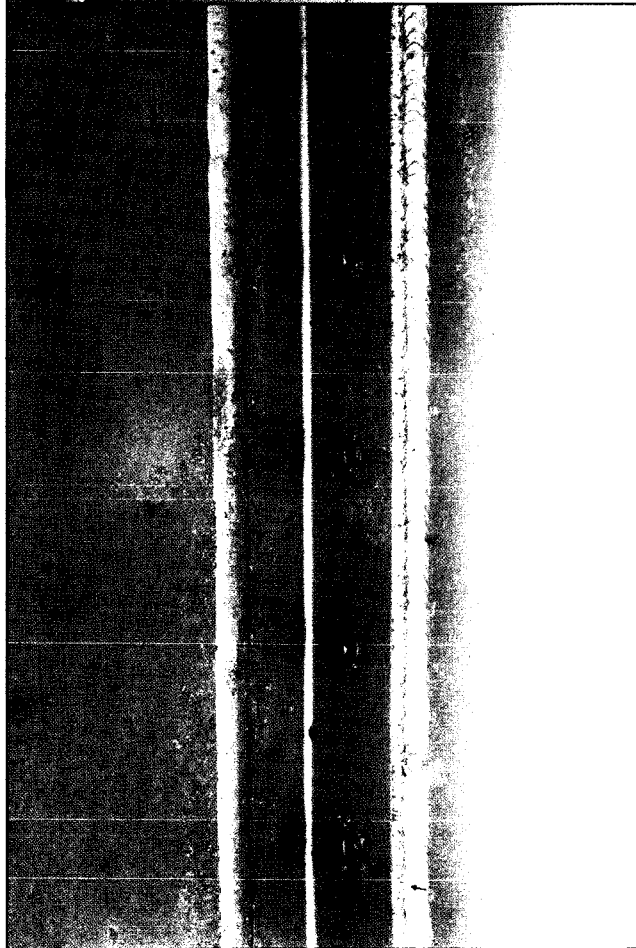


写真4 三重県 的矢港
アルミ合金製ローラーゲート扉体裏面左端部
(水密ゴム押えボルト裏面近傍)

ステンレス鋼製ボルトの周囲のアルミ合金に腐食による塗装の膨れが観察される。

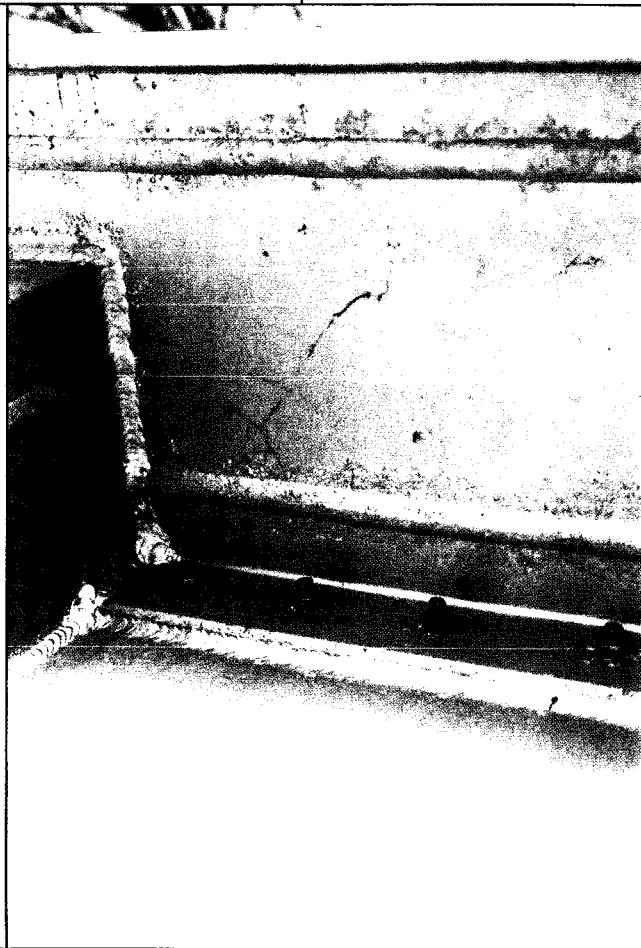


写真5 三重県 的矢港
アルミ合金製ローラーゲート扉体軒天井部
(中央縦リブ近傍)

軽度のアルミの腐食が観察される。



写真6 三重県 的矢港
アルミ合金製マイター
ゲート 近景

海面付近で塗装の損耗、白亜化が、アルミ露出部で変色（ウォーターステイン）が観察されるが顕著な腐食はなし。



写真7 三重県 的矢港
アルミ合金製マイター
ゲート 扉体近傍部外観

海中部で貝の付着と白色のアルミ腐食生成物が観察される。（腐食深さは数ミリと推定）

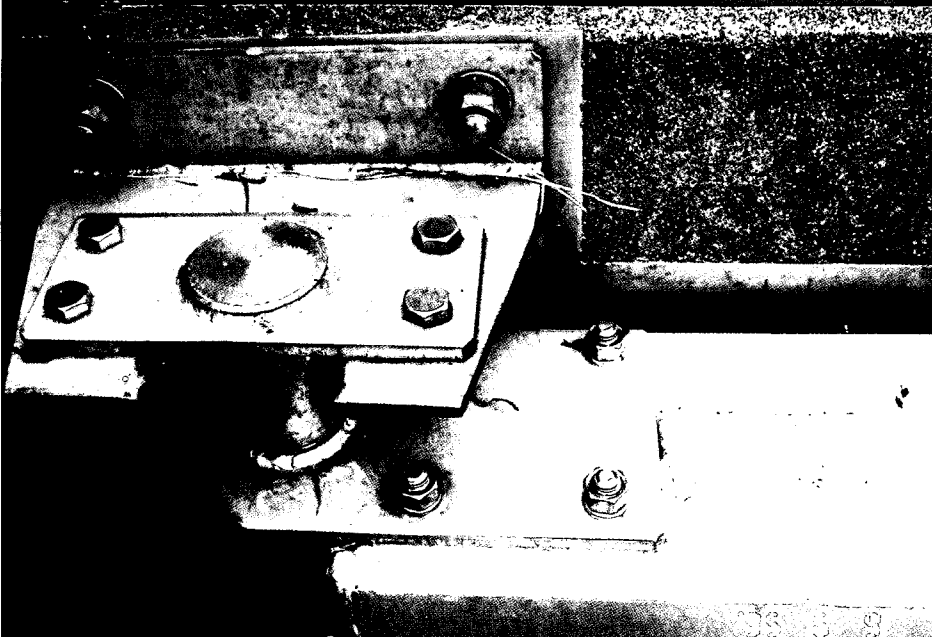


写真8 三重県 的矢港
マイターゲートヒンジ
（ステンレス鋼製）

軽微な発錆が観察される。

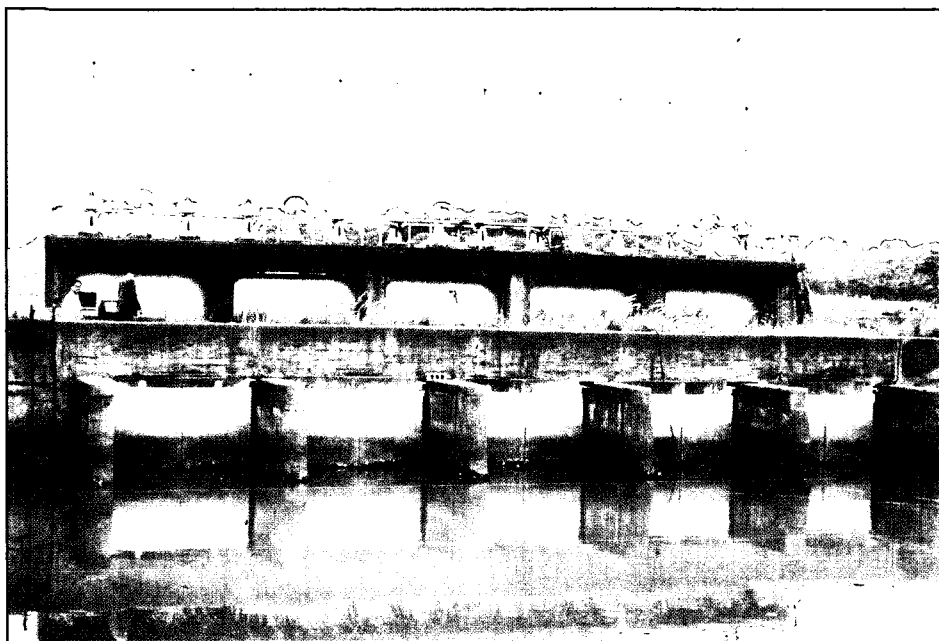


写真9 三重県 鵜方
手前：(下流) 鋼製マイ
ターゲート
奥：アルミ合金製
ローラーゲート
全景(下流側より)

12年経過
(アルミ合金製)

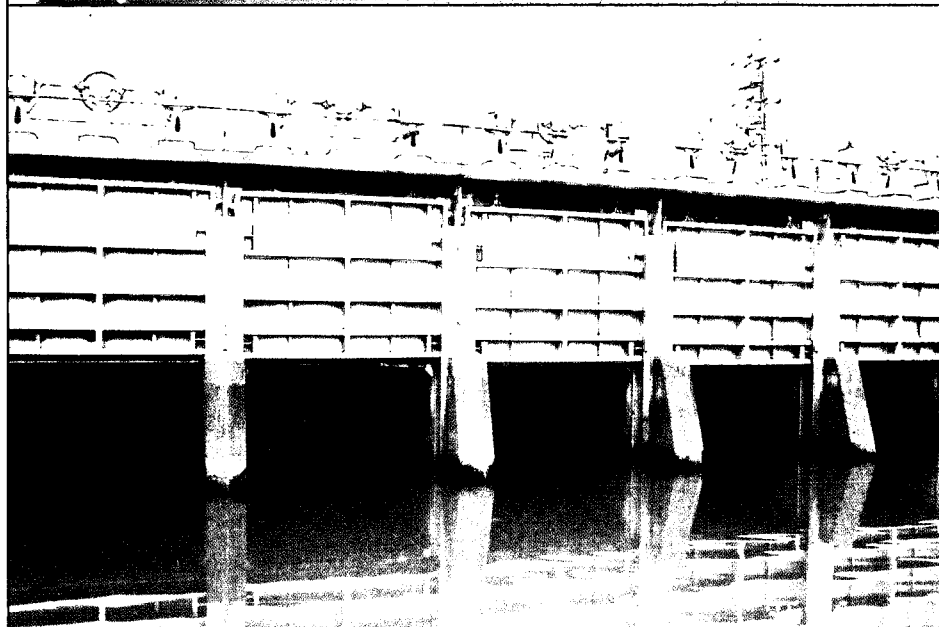


写真10 三重県 鵜方
アルミ合金製ローラー
ゲート全景
(上流側より)

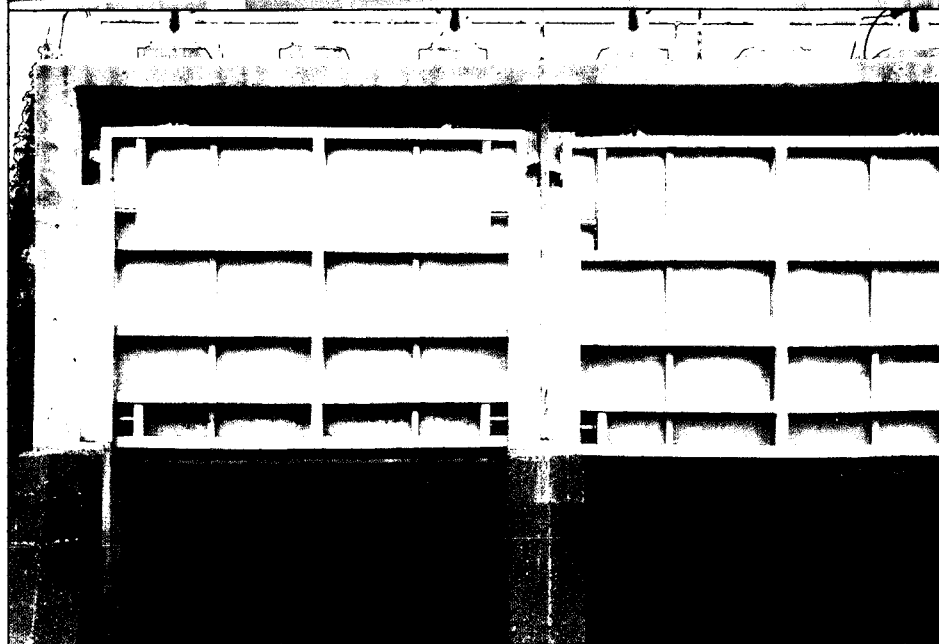


写真11 三重県 鵜方
アルミ合金製ローラー
ゲート扉体
(上流側より)

扉体に腐食なし。



写真 12 三重県 鵜方
鋼製マイターゲート扉体
(下流側より)

水門近傍に泥の付着が観察されるが、扉体に付着はなし。

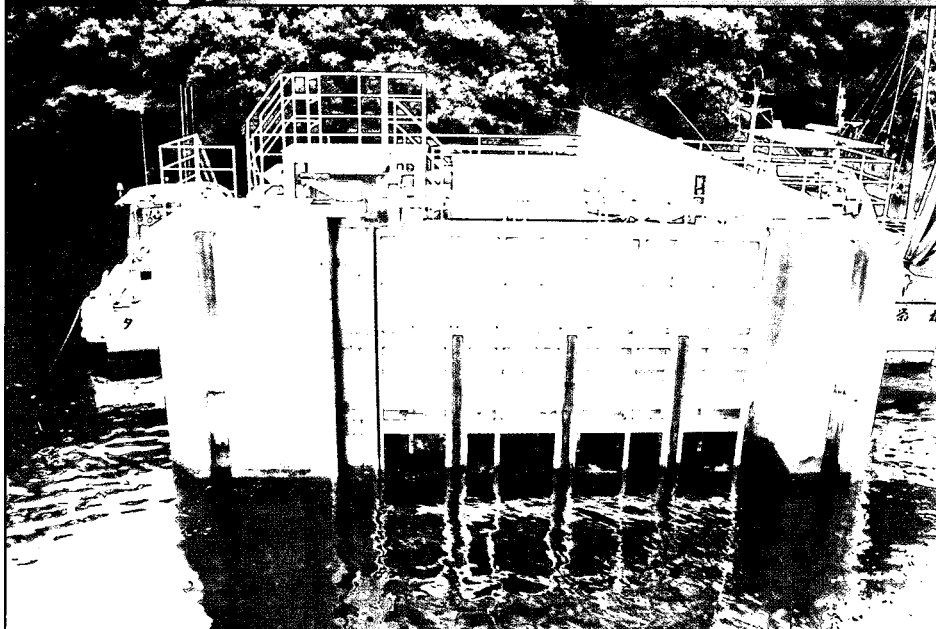


写真 13 三重県 深谷漁港
アルミ合金製マイターゲート
南側扉体全景

8 年経過



写真 14 三重県 深谷漁港
アルミ合金製マイターゲート
南側扉体

海面部近傍に緑色の藻の付着物および上塗り塗装の損耗による下地塗装の露出(赤褐色)が観察される。



写真 15 三重県 深谷漁港
アルミ合金製マイターゲート
北側扉体上右部

- ・ステンレス鋼製ヒンジに軽微な発錆。
- ・アルミ扉体は健全。



写真 16 三重県 深谷漁港
アルミ合金製マイターゲート
北側扉体中右部

- ・ステンレス鋼製ヒンジに軽微な発錆。
- ・アルミ扉体は健全。
- ・下部に流電陽極が観察される。(大気部への取付は本来不要)



写真 17 三重県 深谷漁港
アルミ合金製マイターゲート
北側扉体喫水部

- ・ステンレス鋼製ヒンジの発錆は上部より少。(流電陽極の防食効果)
- ・アルミ扉体で上塗り塗装損耗により下地塗装露出。(赤色)
- ・海中中部で貝の付着。
- ・貝の脱落部では塗装剥落。
- ・貝脱落部でのアルミ扉体の腐食は軽微。(流電陽極の防食効果)



写真 18 三重県 深谷漁港
アルミ合金製ミッターゲート
北側扉体喫水部

- ・海中部右の白色は流電陽極の溶解。
- ・海中部左アルミ扉体で上塗り塗装損耗により下地塗装（赤色）露出。
- ・海中で貝の脱落部では塗装剥落。
- ・貝脱落部での腐食は軽微。
（流電陽極の防食効果）

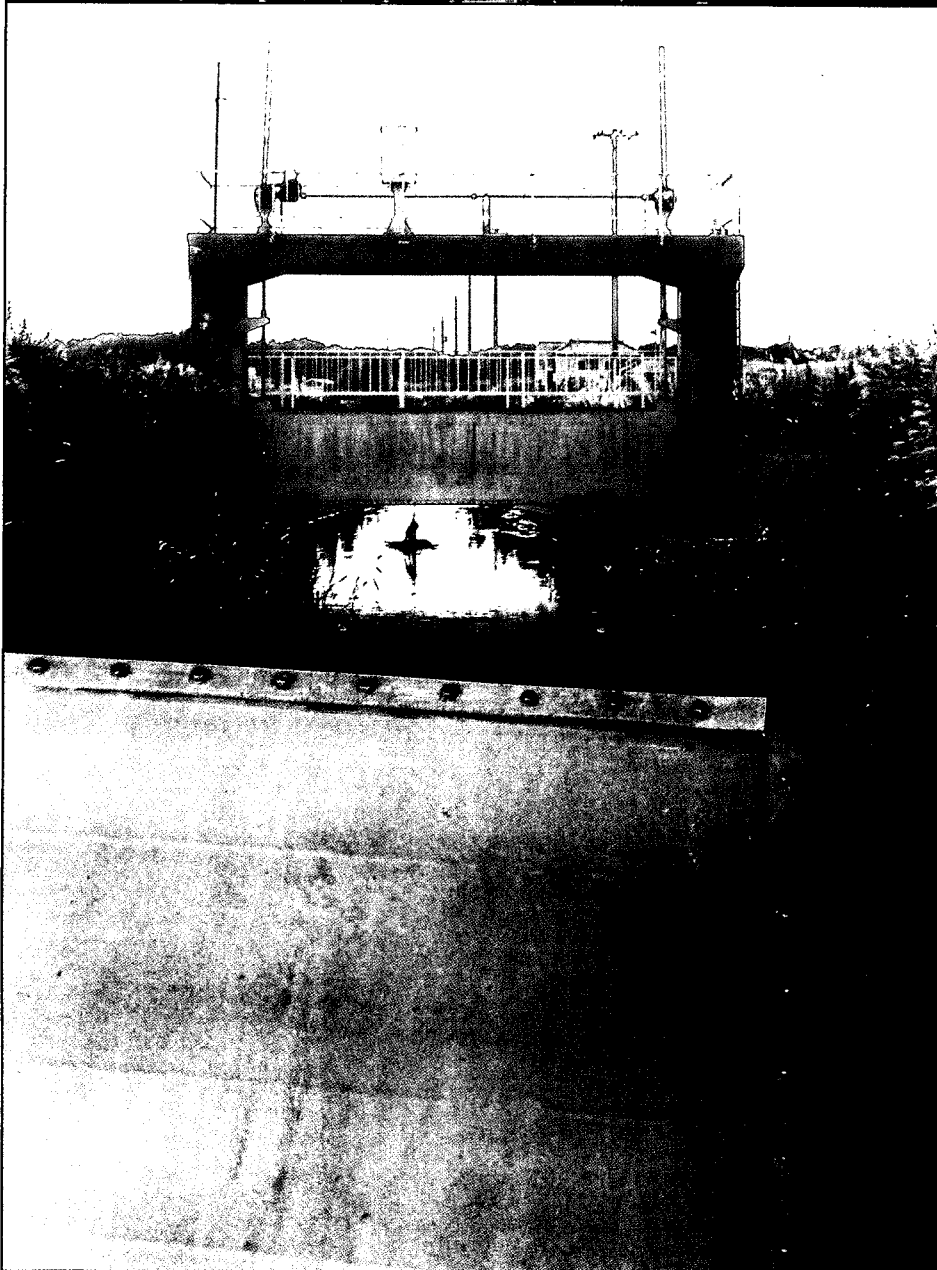


写真 19 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート
下流側扉体全景

16 年経過

写真 20 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート
上流側左岸扉体下部

扉体に数カ所腐食生成物を伴った孔食が観察される。

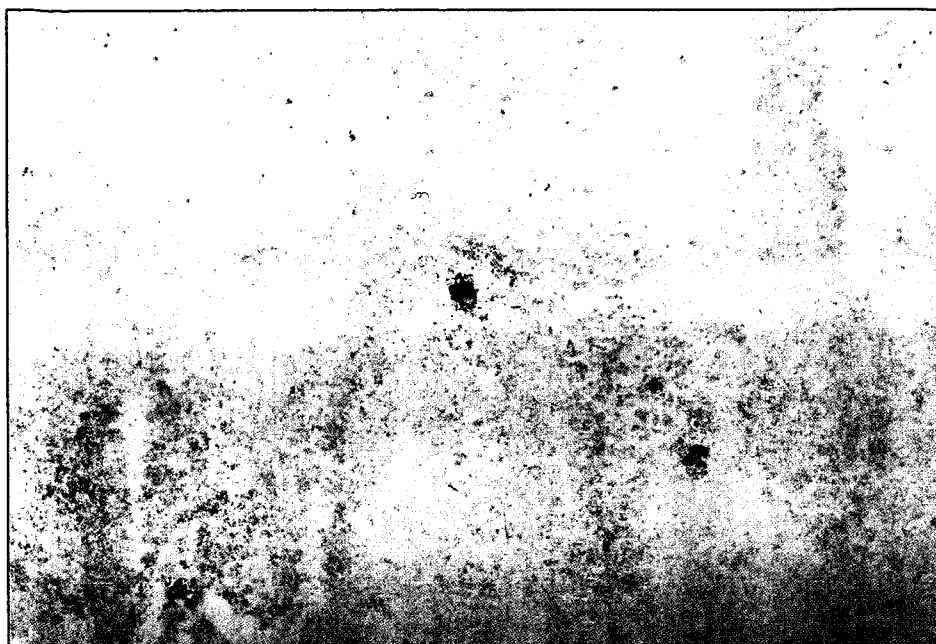


写真 21 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート
上流側右岸扉体下部

直径3～5mm、深さ2mm程度
の孔食発生



写真 22 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート
上流側扉体水密ゴム押え
ステンレス鋼ボルトナット
周辺の腐食状況



写真 23 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート
下流側左岸扉体ローラー
軸近傍の腐食状況

ステンレス鋼部材周囲に
塗膜膨れと腐食生成物が
観察される

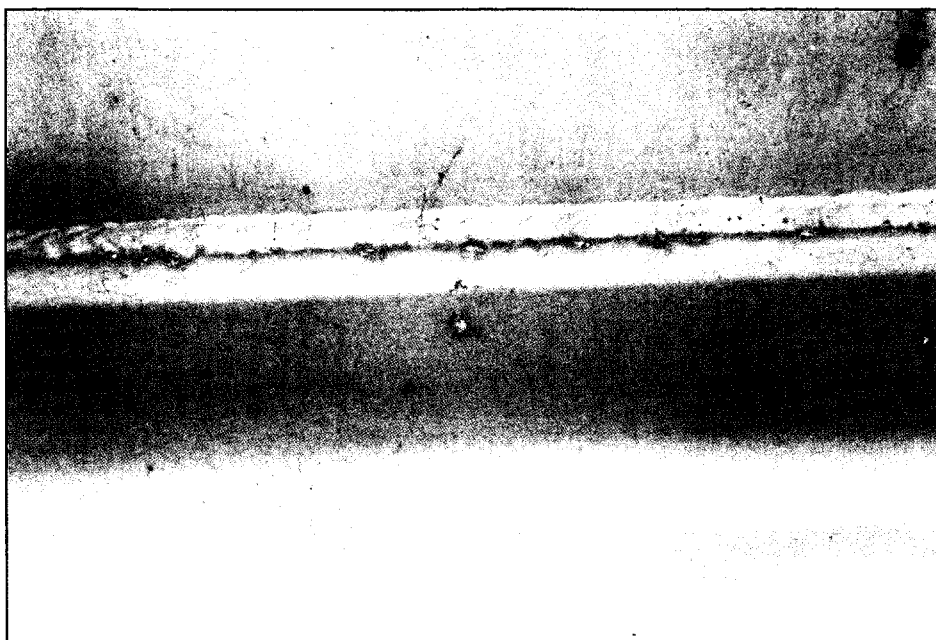


写真 24 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート

下流側右岸スキンプレー
ト軒天井部の点食

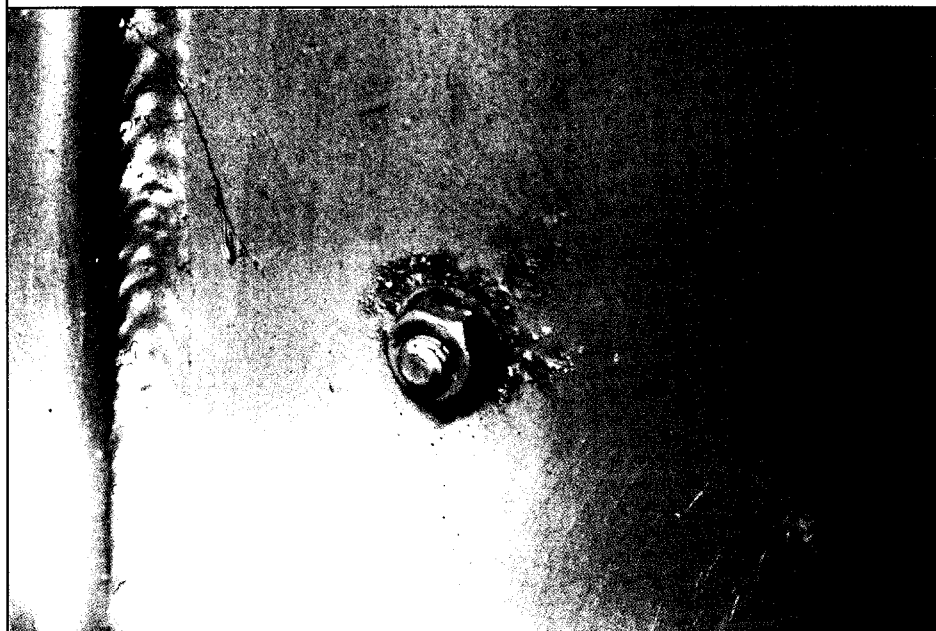


写真 25 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート

下流側軒天井部ボルトナ
ット締結部に発生した接
触腐食（腐食生成物の生成
による塗膜膨れが認めら
れる。



写真 26 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート
下流側右岸
SUS304戸当たり塗
装部の発錆状況



写真 27 千葉県 銚子市
アルミ合金製ローラーゲート
鋼製昇降装置の発錆状況

ほぼ破断している。



写真 28 千葉県 旭市
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート

上流側左岸フラップゲート
ローラー軸への亜鉛陽極材
取付状況
周囲扉体の腐食は比較的
少ない。
亜鉛陽極は 8 年経過時点で
取り付けられた。

16 年経過

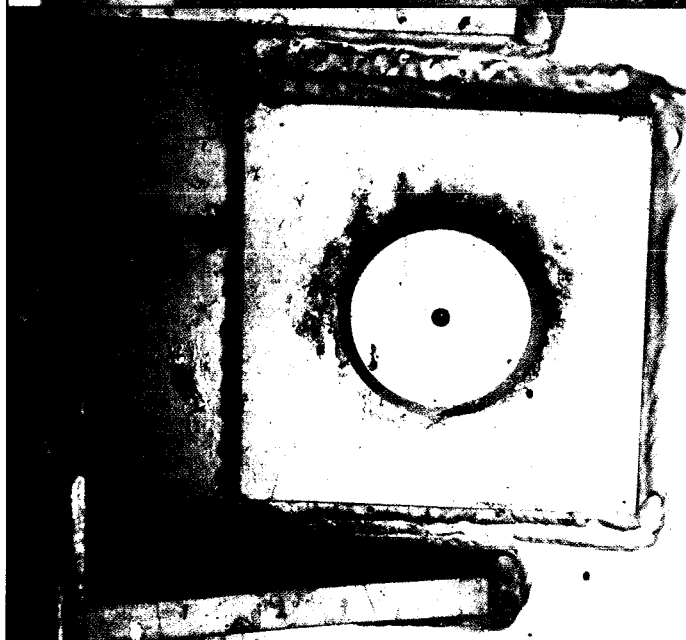


写真 29 千葉県 旭市
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
上流側左岸フラップロー
ー軸近傍。

腐食は軽微である（亜鉛犠
牲陽極材の防食効果と考え
られる）

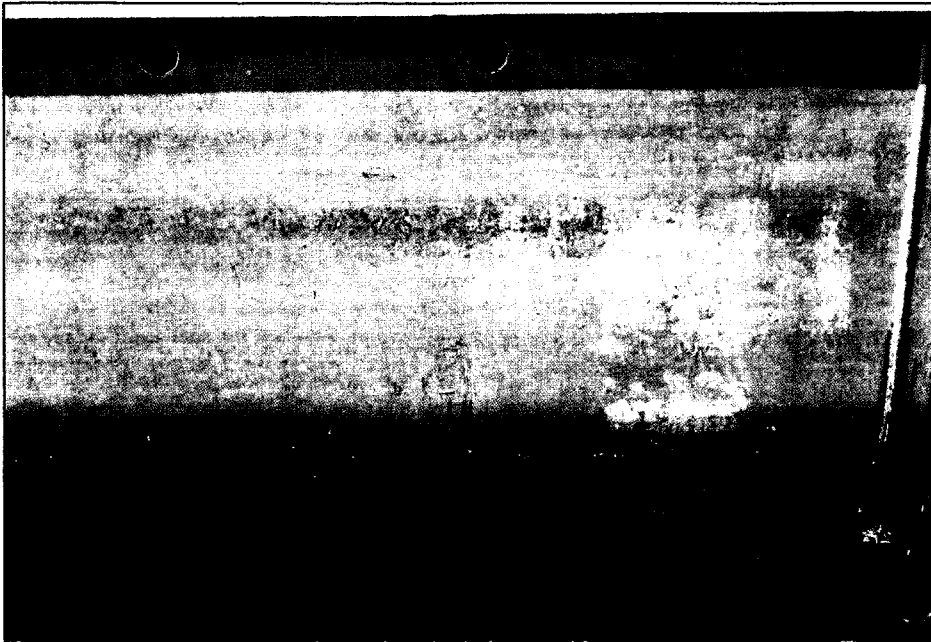


写真 30 千葉県 旭市
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
下流側左岸ローラーゲート
扉体の経年変化状況

扉体下部の戸当り接触部
を除いて健全に推移。



写真 31 千葉県 旭市
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
下流側中央部フラップゲート
の経年変化状況

汚れはあるが、ほとんど
腐食は認められない。



写真 32 千葉県 旭市
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
下流側中央部フラップゲート
下端部ガイドの経年
変化状況。

比較的軽度の腐食生成物
付着。

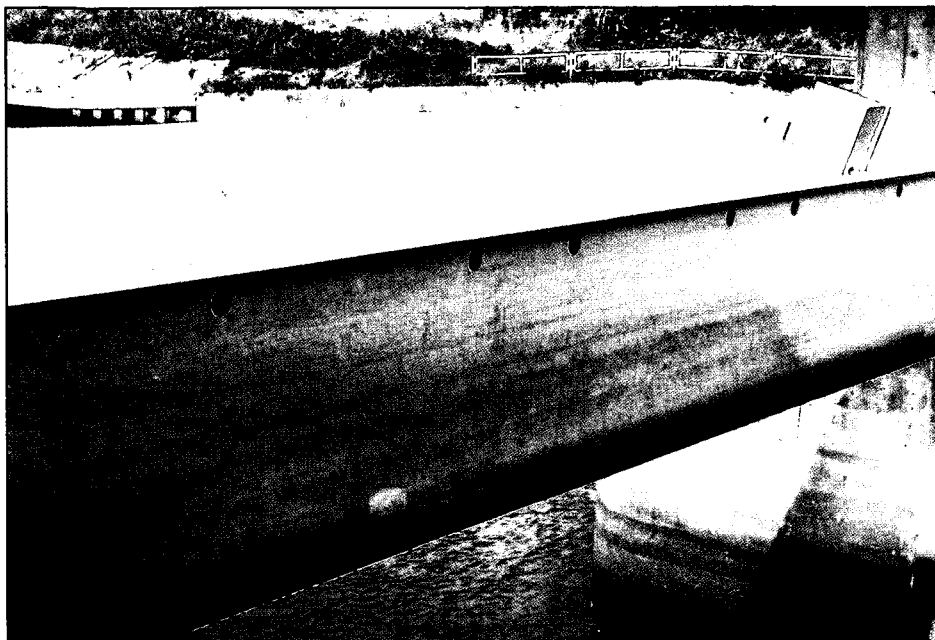


写真 33 千葉県 旭市
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
下流側右岸ローラーゲートの状況。

下端部を除いて、汚れによる変色のみ発生。下端部多少の腐食生成物を伴った孔食。



写真 34 千葉県 横芝町
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
上流側全景

扉体：5083-O溶接構造
塗 装：常乾塩化ゴム塗装
戸当たり：SUS304
犠牲陽極：アルミニウム陽極
7年間経過



写真 35 千葉県 横芝町
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
上流側扉体中央部

端部を除いて腐食は殆ど認められない。

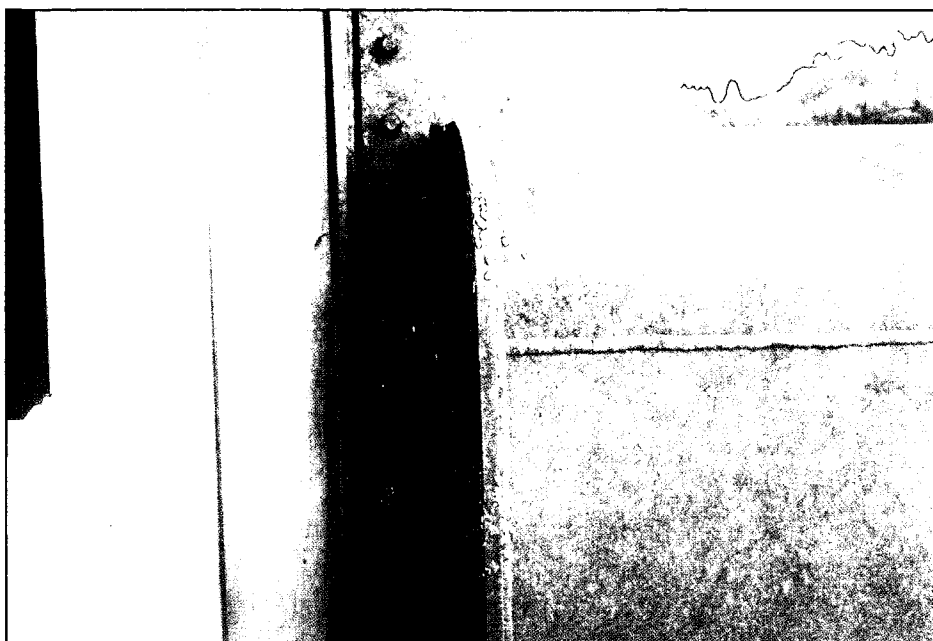


写真 36 千葉県 横芝町
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
上流側左岸扉体端部

軽微な腐食発生

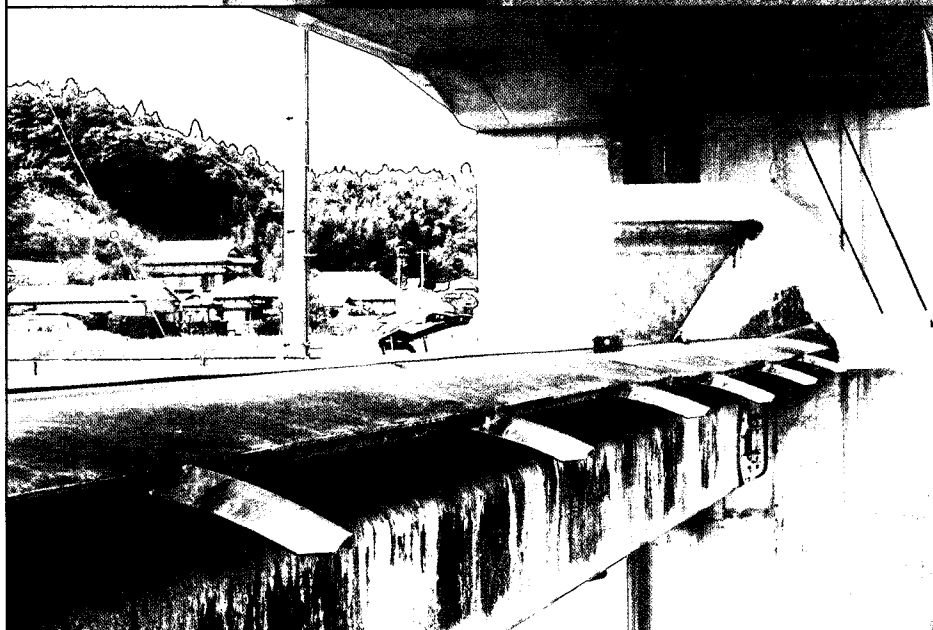


写真 37 千葉県 横芝町
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート

下流側扉体：汚れている
が、腐食皆無。



写真 38 千葉県 横芝町
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート

下流側扉体のアルミニウム
犠牲陽極取付状況。汚れ
付着のみで腐食皆無

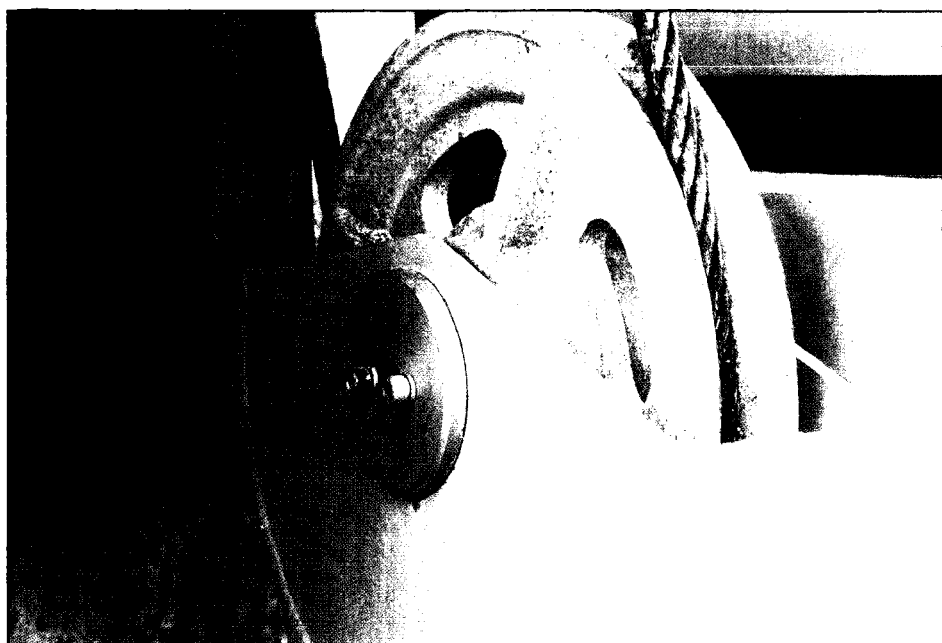


写真 39 千葉県 横芝町
アルミ合金製
フラップ付ローラーゲート
下流側昇降装置

ステンレス部材との接触界面に僅かに腐食発生。
亜鉛めっき調製ローラー発錆