ＩＳＳＮ　0386-5878
土木研究所資料第３９５４号

土木研究所資料

河川・ダム施設防食ガイドライン（案）
－ステンレス材料編－

平成１７年１月

独立行政法人　土木研究所

材料地盤研究グループ（新材料）

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，本報告書の全文又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文章による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第３９５４号２００５年１月

河川・ダム施設防食ガイドライン（案）
－ステンレス材料編－

材料地盤研究グループ新材料チーム
上席研究員　　西崎　到
主任研究員　　守屋　進

要旨

河川・ダム施設の鋼構造物にステンレス材料を適用してメンテナンスを簡易化することを目的として実施した室内試験および淡水環境（ダム湖）と汽水環境（河口付近）での 10 年間の暴露試験結果に基づいて、その利用技術について見直しを行ったものである。

キーワード：河川・ダム施設、ステンレス材料、利用技術、防食

目　　次

第1章　総則 …… 1
1．1　適用範囲 …… 1
1．2　用語 …… 2
1．3　関連規格等 …… 7

第2章　ステンレス材料の特性 …… 9
2．1　ステンレス鋼の特性 …… 9
2．1．1　ステンレス鋼の定義・分類 …… 9
2．1．2　ステンレス鋼の系統別特性 …… 13
2．1．3　ステンレス鋼の化学成分 …… 15
2．1．4　ステンレス鋼の物理的性質 …… 17
2．1．5　ステンレス鋼の機械的性質 …… 18
2．1．6　ステンレス鋼の耐食性 …… 22
2．1．7　ステンレス鋼の腐食の形態 …… 32
2．1．8　ステンレス鋼の溶接性 …… 39
2．2　ステンレス材料の耐食性 …… 40
2．2．1　ステンレス材料の耐食性と材料選定 …… 44
2．2．2　異種金属接触腐食 …… 50
2．2．3　すき間腐食 …… 68
2．2．4　もらい錆 …… 74
2．2．5　溶接スケールの影響 …… 78
2．2．6　付着生物の影響 …… 80

第3章　ステンレス材料の防食設計 …… 88
3．1　防食設計の基本 …… 88
3．1．1　留意すべき腐食特性 …… 88
3．1．2　ステンレス材料と使い分け …… 90
3．1．3　ステンレス材料の適用箇所 …… 92
3．1．4　腐食防止の基本 …… 94
3．2　淡水環境下における防食設計 …… 100
3．2．1　扉体 …… 100
（1）扉体端部 …… 100
（2）扉体内部 …… 102
（3）扉体下部 …… 103

（4）シーブブロック …… 104
（5）扉体組込み品，付属品など …… 105
3．2．2　戸当り …… 106
3．2．3　開閉装置 …… 108
（1）開閉装置 …… 108
（2）ワイヤロープ …… 109
3．2．4　放流管 …… 115
3．2．5　バルブ類 …… 121
3．2．6　付属設備類 …… 124
3．3　汽水域における防食設計 …… 127
3．3．1　ステンレス材料の選定の考え方 …… 127
3．3．2　防食設計における留意事項 …… 129

第4章　ステンレス鋼適用に当たっての施工上の留意事項 …… 131
4．1　保管管理 …… 131
4．2　切断 …… 133
4．3　曲げ加工 …… 135
4．4　機械加工 …… 136
4．5　溶接 …… 138
4．5．1　溶接方法および資格 …… 138
4．5．2　溶接準備 …… 141
4．5．3　溶接材料の選定 …… 144
4．5．4　溶接施工 …… 145
4．5．5　溶接後の熱処理 …… 151
4．5．6　溶接部の検査 …… 153
4．5．7　溶接の欠陥とその対策および補修 …… 156
4．5．8　溶接施工試験 …… 160
4．6　加工後のステンレス鋼の表面仕上げ …… 162
4．7　ハンドリング …… 163
4．8　据付施工現場での留意事項 …… 164

第5章　保守管理 …… 166
5．1　点検 …… 166
5．1．1　扉体 …… 168
5．1．2　戸当り …… 169
5．1．3　開閉装置 …… 171

５．１．４　バルブ類 …… 176
５．１．５　放流管 …… 178
５．１．６　その他 …… 180
５．１．７　塗膜 …… 181
５．２　診断基準 …… 182
５．２．１　ステンレス材料 …… 182
５．２．２　ワイヤロープ …… 184
５．２．３　異種金属接触部の塗膜 …… 185
５．３　補修 …… 186
５．３．１　ステンレス材料溶接部 …… 187
５．３．２　異種金属接触腐食部 …… 188
５．３．３　すき間腐食 …… 193
５．３．４　もらい錆および発錆ステンレス材料 …… 194
５．３．５　ワイヤロープ …… 195
５．３．６　その他付属設備 …… 196

まえがき

河川・ダム施設は、洪水調整や灌漑用水・飲料水・工業用水の確保や発電など、国民の生命・財産の保全並びに生活・生産活動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数の部材で構成されているものが多く、また常時水に漬かっているなど厳しい腐食条件にさらされていることも多い。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、河川・ダム施設には、１９５０年代にすでにステンレス材料が適用され始めた。しかしながら、ステンレス材料は適切に使用されないと、かえって周囲の普通鋼材の腐食を促進したり、条件によってはステンレス材料ももらい錆やすき間部が腐食することもある。

本ガイドライン（案）は、東北地方建設局からの依頼により開始した調査研究を引き続き東北地方整備局からの受託研究として実施した室内試験と暴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適用技術についてとりまとめた河川・ダム施設防食ガイドライン（案）―ステンレス材料編―（平成１２年１月）を、その後に得られた暴露１０年の結果を加えて見直しをしたものである。

河川・ダム施設の防食技術研究会
ステンレス材料小ワーキンググループ

守屋　進	独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ(新材料)主任研究員
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
鈴木　亨	新日鐵住金ステンレス㈱鋼板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幹研究員
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㈱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㈱ステンレス・チタン事業部ステンレス・チタン技術部担当部長
幸　英昭	住友金属工業㈱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㈱受託研究事業部材料機能研究部担当部長
平井　陽一	石川島播磨重工業㈱技術開発本部生産技術開発部
川嶋　巖	元石川島播磨重工業㈱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㈱鉄構事業部土木・鉄構技術部部長
赤嶺　健一	石川島播磨重工業㈱技術開発本部生産技術開発部担当課長
羽石　正	石川島検査計測㈱研究支援部課長

第１章　総　　則

１．１　適用範囲

本ガイドライン（案）は、河川・ダム施設のＬＣＣ(ライフサイクルコスト)低減を目的としてステンレス材料を適用しようとする際の設計・施工・維持管理に適用する。

［解　説］

堰・水門・樋門およびダム放流設備・取水設備等の河川・ダム施設は、洪水調節・灌漑用水や飲料水の確保・発電等、人命・財産を洪水から守るとともに河川水を多目的に利用するための河川構造物である。これらの施設は、通常水に接する厳しい腐食環境にあるため、その機能を維持するためには多大なメンテナンスを要しているのが現状である。

河川・ダム施設では、他の土木分野に比べてメンテナンスを軽減する目的でステンレス材料が早くから使用されてきた。しかしながら、ステンレス材料を適用することによって、かえってその周囲の炭素鋼の腐食を促進したり、環境によってはステンレス材料自身が腐食することもある。

このため、河川・ダム施設のＬＣＣの低減を図る目的でステンレス材料を適切に使用するための設計・施工・維持管理に関する技術的な事項をとりまとめガイドラインを作成した。

本編は、土木研究所資料第 3156 号「ダム放流設備へのステンレス材料適用マニュアル（案）」（平成５年１月）を基に、ダム施設のみならず河川管理施設へのステンレス材料の適用並びに、その後実施した調査研究成果によるデータの充実および、ＳＩ単位系への完全移行に伴う見直し、ダム・堰施設技術基準（案）改訂版（平成 11 年４月）との整合を図るために改訂したものである。

１．２　用語

本ガイドラインで使用している用語は以下のように定義する。

（１）ステンレス鋼

ステンレス鋼とは約12質量%以上のクロムを合金元素として含有する鉄合金であり表面には不動態皮膜と呼ばれるクロムの濃化した水酸化物あるいは酸化物皮膜を形成し、大気中や淡水中では非常にさびにくい材料である。

（２）ステンレス材料

ステンレス鋼およびステンレスクラッド鋼の厚板、薄板、管、棒、線、形鋼およびステンレス鋳鋼の全てを含む。

（３）ステンレスクラッド鋼

炭素鋼等の表面にステンレス鋼を接合したもので、片面クラッド゛と両面クラッドがある。形状は、鋼板、形鋼、パイプなどがある。

（４）固溶化熱処理

オーステナイト系ステンレス鋼の固溶化熱処理は、クロム炭化物の固溶と冷間加工で生じた内部ひずみを除去し、加工組織を再結晶させて十分に軟らかい状態にし延性を回復させる目的で行われることをいう。一般的に処理としては1010℃～1150℃に加熱保持したのち急冷する方法がとられる。

（５）変態点

温度,圧力などの外部条件が変わることにより物質の状態や相、さらに物理的性質が変化する現象を変態という。金属結晶では、原子配列の構造や規則性または組成が変化して違った相になる相変態を指し、相変態を起こす温度を変態点という。

（６）加工硬化

材料が降伏点に達した後、さらに応力を増加させると塑性変形を生じるが、この際、応力の増加割合に対し変形がよりしにくくなる現象を加工硬化という。ひずみ硬化ともいい、金属が加工硬化すると硬さや引張り強さは増加し、伸び率は低下する。

（７）自然電位

金属が水溶液中に浸漬されたとき、金属とその近傍の溶液との間に生じる電位差を自然電位（または腐食電位、静止電位、開路電位）という。自然電位は測定対象と照合電極または基準電極、参照電極ともいう）を組み合わせて電池を形成させ、その回路起電力を電位差計で測定する。

（８）分極曲線

水溶液中における材料の電位と電流の関係をポテンショスタットを用いて電気化学的に測定した曲線を分極曲線という。動電位法では電位を一定速度で変化させ、その時に流れる電流をプロットすることで得られ、電位を貴側に移動させた場合にはアノード分極曲線が、卑側に変化させるとカソード分極曲線が得られる。

（9）電位貴化

好気性微生物の付着により、金属の自然電位がその影響を受けて貴になる（上昇する）ことをいう。微生物の代謝反応過程で生成する酸化性物質（過酸化水素、２酸化マンガン等）の作用によものと考えられている。自然電位が孔食電位あるいはすき間腐食電位よりも貴になると、孔食あるいは隙間腐食のような局部腐食発生の可能性が生じる。

（10）アノード

酸化反応（アノード反応）の進行する陽極部（－極）のこと。すなわち、ステンレス材料の溶解反応が進行する部位のことをいう。

アノード反応の例：$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$

$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e$

（11）カソード

還元反応（カソード反応）の進行する陰極部（＋極）のこと。通常は、酸素還元反応が進行する部位のことをいう。

カソード反応の例：$O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$

（12）マクロセル

全面腐食の場合、アノードとカソードが近接し時間の経過に伴って位置を交換する局部電池（ミクロセル）に対して、アノードとカソードが分離して生じる大規模な電池をマクロセル（巨大電池）という。特に炭素鋼の土壌腐食では問題となる。例えば、通気性の良好な砂質環境と通気性の悪い粘土層とに埋設管がまたがっている場合など、マクロセルが形成され電位の卑な粘土層側が腐食される。

（13）不動態皮膜

ステンレス鋼の表面を覆っている緻密な薄いおよそ数nm程度の厚さの酸化物あるいは水酸化物皮膜である。ステンレス材料の場合はクロムに酸素，水酸基，水が結合した水和オキシ水酸化クロムを主体とした化合物からなり不動態皮膜という。不動態皮膜は、ひっかき傷などで破壊されても水中や大気中では容易に再生・修復される。

（14）異種金属接触腐食

自然電位の異なる金属が水溶液中で接触した場合などに、自然電位が卑で活性態にある金属（鉄、亜鉛、アルミニウムなど、アノード）の腐食が、電位の高い方の金属（ステンレス鋼，チタンなど、カソード）によって加速される現象のことを異種金属接触腐食という。金属電池作用による腐食のことであり、カソード／アノードの面積比が腐食に大きく影響する。ガルバニック・コロージョンまたは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。

（15）孔食

炭素鋼のように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、孔食はステンレス鋼やチタンなど不動態皮膜によって保護された金属にみられる局部

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（直径は数十μm～数mm）であり、塩化物イオンの作用により不動態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。なお、塩化物イオン濃度が低い場合や温度が低い場合あるいは溶存酸素やFe^{3+}、Cu^{2+}などの酸化剤が存在しない場合には孔食はほとんど発生しない。

(16) すき間腐食

自由表面上で起こる孔食に対して、すき間腐食は沖合環境との物質移動が制約された狭いすき間の内部、またはごく近傍における局部腐食のことをいう。すき間腐食につながるすき間とは、金属と金属（単純重ね合わせ、はめあい、ねじ部など）あるいは金属と非金属（沈澱物、酸化スケール、ガスケット、海洋生物など）との間隔がおよそ数10μm以下のすき間である。

(17) 孔食電位

塩化物溶液中でステンレス材料のような不動態化している金属が、ある臨界の電位より貴な電位におかれると孔食感受性が生じる。この臨界の電位を孔食電位という。孔食電位はステンレス材料の種類，塩化物イオン濃度、温度に依存する。環境中でステンレス材料の自然電位が孔食電位より貴になると孔食発生の可能性がある。孔食電位の貴な（高い）ほど耐孔食性に優れている.

(18) すき間腐食電位

塩化物溶液中でステンレス材料のような不動態化している金属がすき間構造を有する場合、ある臨界の電位より貴な電位におかれるとすき間腐食感受性が生じる。この臨界の電位をすき間腐食電位という。すき間腐食電位はステンレス材料の種類，塩化物イオン濃度，温度に依存する。環境中でステンレス材料の自然電位が孔食電位より貴になるとすき間腐食発生の可能性がある。

すき間腐食電位は一般に孔食電位よりも卑である（低い）ため、孔食よりもすき間腐食の方が発生しやすい。メタル/メタルのすき間のみならず、ガスケット/メタル，環境からの析出物（スラッジ等）/メタル、ふじつぼ等大型付着生物/メタル等のすき間でもすき間腐食が発生する。すき間腐食電位の貴なステンレス材料ほど耐すき間腐食性に優れている.

(19) 通気差電池腐食

金属は表面に供給される溶存酸素量の差により局部電池が形成される。これを通気差電池または酸素濃淡電池と呼び、酸素の少ないところがアノードとなって金属は腐食する。典型的な例としては炭素鋼のさびこぶ腐食、ステンレス鋼表面のもらい錆の下での局部腐食がある。

(20) 粒界腐食

結晶粒界または、そのごく近傍のみが腐食する現象で、粒内はほとんど腐食されないにも拘わらず金属の破壊をもたらす。ステンレス鋼は、不適切な熱処理や溶接などによってクロム炭化物（$Cr_{23}C_6$等）が結晶粒界に析出し、粒界近傍のクロム濃度が

減少するため腐食環境下ではその部分が腐食されやすくなり結晶粒界に沿って腐食が進行する。

(21) 応力腐食割れ（SCC）

応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking : SCC)とは、ステンレス鋼の表面には不動態皮膜が形成されているが、その皮膜が外的要因によって局部的に破壊されて、腐食が割れ状に進行する現象で、引張応力の作用で材料が破壊される。応力腐食割れを生ずるためには、材料と環境および応力の三因子が重畳する必要があると言われている。

応力腐食割れには二つのタイプがある。その一つは活性経路型応力腐食割れ(Active Path Corrosion : APC)で、これは材料がアノード部において局部的に溶解し、$M \rightarrow M^{+} + e$の反応により放出された電子(e)はカソードに移動し、$O_2+2H_2O+4e \rightarrow 4OH^{-}$あるいは$2H^{+}+2e \rightarrow H_2$なる反応によって消費され水素を発生する。二つ目は水素脆性割れ(Hydrogen Embrittlement:HE)で、これはアノード部において生じた電子(e)はカソード部の水素原子と反応して水素（原子状水素）となる。この水素が材料中に侵入し、引張応力下で水素に起因する割れを生じる現象である。後者をSCCに含めない場合も多い。

(22) 安定化元素

粒界腐食の防止に用いるクロムより炭素との結合力が強い元素（チタンやニオブなど）のことを安定化元素という。安定化元素を添加するとチタン炭化物やニオブ炭化物となって結晶粒内に均一に析出し、クロム炭化物の析出を抑え粒界腐食を防止する。

(23) 鋭敏化

熱処理や溶接条件などにより、ステンレス鋼の結晶粒界におけるクロム炭化物の生成に伴ってクロム濃度が減少した部位（いわゆるCr欠乏層）で粒界腐食感受性が粒内よりも高まる現象を鋭敏化という。

(24) エロージョン

流体の繰り返し衝突または衝撃により、材料表面が機械的に損傷を受け、その一部が脱離していく現象。作用流体としては、液体の流れ,固体の流れ,混相流がある。従来、浸食,潰食,壊食,摩食などといわれてきたが、現在では、エロージョンというのが一般的である。「摩耗」というのは、基本的には二つの固体間の接触により生ずる物理的損傷現象であり、エロージョンとは区別される。

(25) キャビテーション

放流管や流体機器などで液体が加速あるいは高振動を受け、液体の静圧がある限界の圧力より低下すると気泡が発生する。この現象をキャビテーションといい空洞現象ともいわれる。この気泡の生成と崩壊は瞬時に起こり、これらが繰り返される時に生ずる衝撃圧により、機器に大きな損傷を与える。これをキャビテーション・エロージョンとよび、腐食が関与する場合にはキャビテーション・エロージョン-コロージョンとよぶ。

(26) もらい錆

ステンレス表面に、他の鋼材(炭素鋼)からの錆汁や鉄粉等が付着して生じた赤錆を付着したまま放置しておくと、錆の下で塩化物イオンが濃縮するため腐食が促進されステンレス材料に孔食を生じることがある。これをもらい錆による腐食という。

(27) 溶接スケール

ステンレス材料を溶接した場合、加熱によって溶接金属部や熱影響部に酸化スケールすなわち溶接スケールが生成される。そのまま使用すると、環境によっては孔食を生じやすくなる。これを溶接スケールによる耐食性の劣化という。

(28) 付着生物

付着生物とは、バクテリア[好気性バクテリア(一般細菌等),嫌気性バクテリア(硫酸塩還元バクテリア等)]、大型生物[節足動物(フジツボ等)、貝類(ムラサキガイ等)]、藻類等である。好気性一般細菌の作用により自然電位が貴化し、大型生物の付着はすき間を形成したり、また硫酸塩還元菌の作用で硫酸物が生成するのでステンレス鋼の局部腐食感受性を高める。

(29) 発錆

塩化物イオンを含む環境下にステンレス鋼が曝されると局部的にさびが生成することがあり、この現象を発錆という。MnS 等の非金属介在物が鋼表面に出ている箇所が発錆されやすいとされている。

(30) 汽水域

河川の河口域において，満潮時に海水が遡上し淡水の河川水と混ざる領域を汽水域という。海水は比重が淡水より大きいため河川水の下側に海水がもぐり込む傾向にある。満潮時に川底の土砂中に浸入した海水は干潮になっても容易には淡水に置換し難く、ステンレス材料が川底の土砂に埋没した部位は厳しい腐食環境に晒されることになる。

また、構造物の一部が水中で一部が川底の土砂中にある場合は、通気差電池（酸素濃淡電池）が形成され水中部がカソード、土砂中がアノードとなり、アノード部が局部腐食を受けやすくなる。

(31) 微生物腐食（ＭＩＣ）

直接あるいは間接的に微生物が腐食に関係する腐食を微生物腐食という。ステンレス材料の微生物腐食には次の 2 種類のタイプがある。第 1 のタイプは河川水，ダム湖あるいは海水中で好気性の微生物が付着して自然電位が貴化することにより、局部腐食が発生する場合である。第 2 は川底の土砂に埋没するような条件下で嫌気性の硫酸塩還元菌（ＳＲＢ）が生育する場合、水中の硫酸イオンが還元されて腐食に有害な硫化物イオンを生成することで、局部腐食が発生する場合である。後者では孔食・すき間腐食電位が著しく卑化することにより、局部腐食が発生する。微生物腐食に関与する微生物（バクテリア）には，一般好気性細菌，鉄細菌，鉄酸化細菌，硫酸塩還元菌(SRB)などがある．

[解　説]

（１）異種金属接触腐食は、自然電位の異なる金属を水溶液中で電気的に接続した場合に生じる電池作用による腐食であり、迷走電流腐食(いわゆる電食)とは異なるので、とり違えないように注意を要する。

（２）不動態皮膜は、水中や大気中で自然に形成されるもので、溶接や加熱時に形成される酸化皮膜とは異なるものである。

１．３　関連規格等

河川･ダム施設にステンレス材料を用いようとする場合には、本ガイドラインによるほか関連法規，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（昭和 39 年 7 月 10 日　法律第 167 号）
・特定多目的ダム法（昭和 32 年 3 月 31 日　法律第 35 号）
・河川管理施設等構造令（昭和 51 年 7 月 20 日　政令第 199 号）

２．関連基準

・建設省河川砂防技術基準(案)　(社)日本河川協会
・ダム･堰施設技術基準(案)　(社)ダム･堰施設技術協会
・水門鉄管技術基準　(社)水門鉄管協会
・ステンレス鋼溶接施工基準　(社)ステンレス協会
・HPIS E 105 ステンレスクラッド鋼加工基準　(社)日本高圧力技術協会
・WES 8103 溶接技術者資格認定制度　(社)日本溶接協会

３．関連規格

・JIS G 0601　クラッド鋼の試験方法
・JIS G 3106　溶接構造用圧延鋼材
・JIS G 3320　塗装ステンレス鋼板
・JIS G 3601　ステンレスクラッド鋼
・JIS G 4303　ステンレス鋼棒
・JIS G 4304　熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
・JIS G 4305　冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
・JIS G 4308　ステンレス鋼線材
・JIS G 4309　ステンレス鋼線
・JIS G 4310　ステンレス鋼板及び耐熱鋼板質量算出方法
・JIS G 4313　ばね用ステンレス鋼帯
・JIS G 4314　ばね用ステンレス鋼線
・JIS G 4315　冷間圧造用ステンレス鋼線
・JIS G 4316　溶接用ステンレス鋼線材
・JIS G 4317　熱間圧延ステンレス鋼等辺山形鋼
・JIS G 4318　冷間仕上ステンレス鋼棒
・JIS G 4319　ステンレス鋼鍛鋼品用鋼片
・JIS G 4320　冷間成形ステンレス鋼等辺山形鋼
・JIS G 5121　ステンレス鋼鋳鋼品
・JIS Z 2202　金属材料衝撃試験片
・JIS Z 2242　金属材料衝撃試験方法
・JIS Z 3040　溶接施工方法の確認試験方法
・JIS Z 3043　ステンレスクラッド鋼溶接施工方法の確認試験方法

・JIS Z 3121　突合せ溶接継手の引張試験方法
・JIS Z 3122　突合せ溶接継手の曲げ試験方法
・JIS Z 3221　ステンレス鋼被覆アーク溶接棒
・JIS Z 3321　溶接用ステンレス鋼棒及びワイヤ
・JIS Z 3323　ステンレス鋼アーク溶接フラックス入りワイヤ
・JIS Z 3821　ステンレス鋼溶接技術検定における試験方法及び判定基準
・JIS Z 8440　メガパスカルと重量キログラム毎平方センチメートルとの換算表
・SAS 801　　ステンレス協会 ステンレス溶接施工基準

第２章　ステンレス材料の特性

２．１　ステンレス鋼の特性

２．１．１　ステンレス鋼の定義・分類

ステンレス鋼とは、一般には合金成分として約 12%以上のクロムを含有し、表面に不動態皮膜を形成してさびにくい鋼である。

一般に、ステンレス鋼は合金成分または金属組織により分類される。

表-2.1　ステンレス鋼の分類（代表例）

主成分による分類					金属組織による分類
基本成分区分	通称名	代表鋼種	概略組成	その他の鋼種	
クロム系	13クロム系	SUS410	13Cr	SUS403, SUS420J1 SUS420J2, SUS431	マルテンサイト系
	18クロム系	SUS430	18Cr	SUS444, SUS447J1	フェライト系
クロム・ニッケル系	18クロム-8ニッケル	SUS304 SUS316	18Cr8Ni 18Cr12Ni2Mo	SUS304L, SUS304N2 SUS316L, SUS317 SUS321, SUS347	オーステナイト系
	25クロム-6ニッケル	SUS329J3L SUS329J4L	23Cr6Ni3MoN 低C 25Cr7Ni3MoN 低C	SUS329J1	2相系
	17クロム-4ニッケル-4カッパー系	SUS630	17Cr4Ni4Cu	SUS631	マルテンサイト系析出硬化型

［解　説］

（１）ステンレス鋼とは、不働態皮膜を形成してさびにくさを維持する合金で、クロムを約 12%から 32%含んでいる鉄系の合金である。

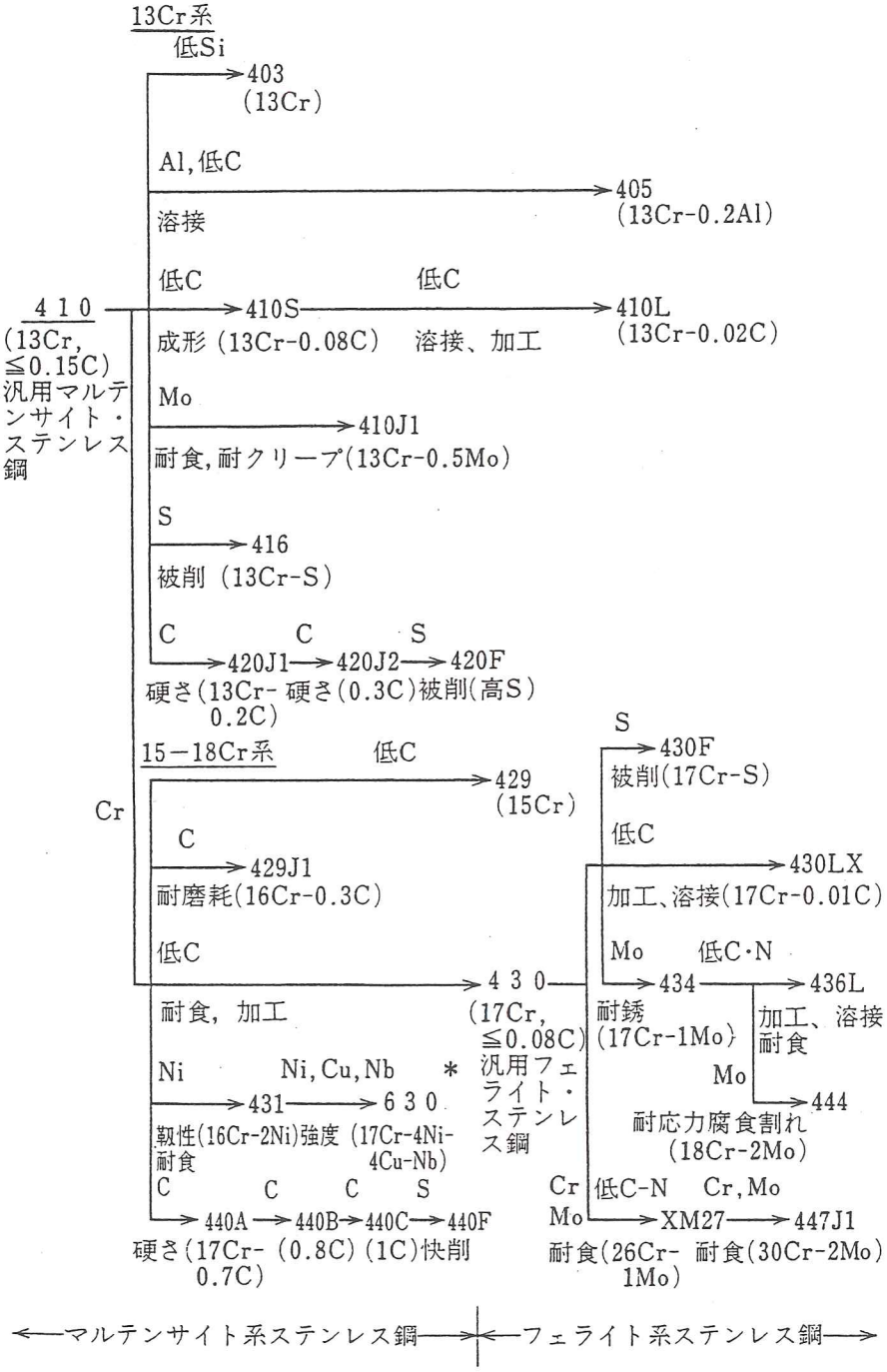
（２）ステンレス鋼は、主成分 Fe-Cr 系と Fe-Cr-Ni 系に大別できる。これらの性質を向上させるために、Cr, Ni 等の増量、その他元素の添加または低減がなされている。図解-2.1 と 2.2 にそれぞれ Fe-Cr 系および Fe-Cr-Ni 系について JIS 鋼種 (SUS 呼称) の合金元素および性質の特徴を系統図により示した。

（３）約 12%以上のクロムを含有していると良好な不動態皮膜を作る。図解-2.3 にクロム含有量と大気暴露における腐食減量を示す。クロム含有量 12%以上で著しい耐食性を示している。

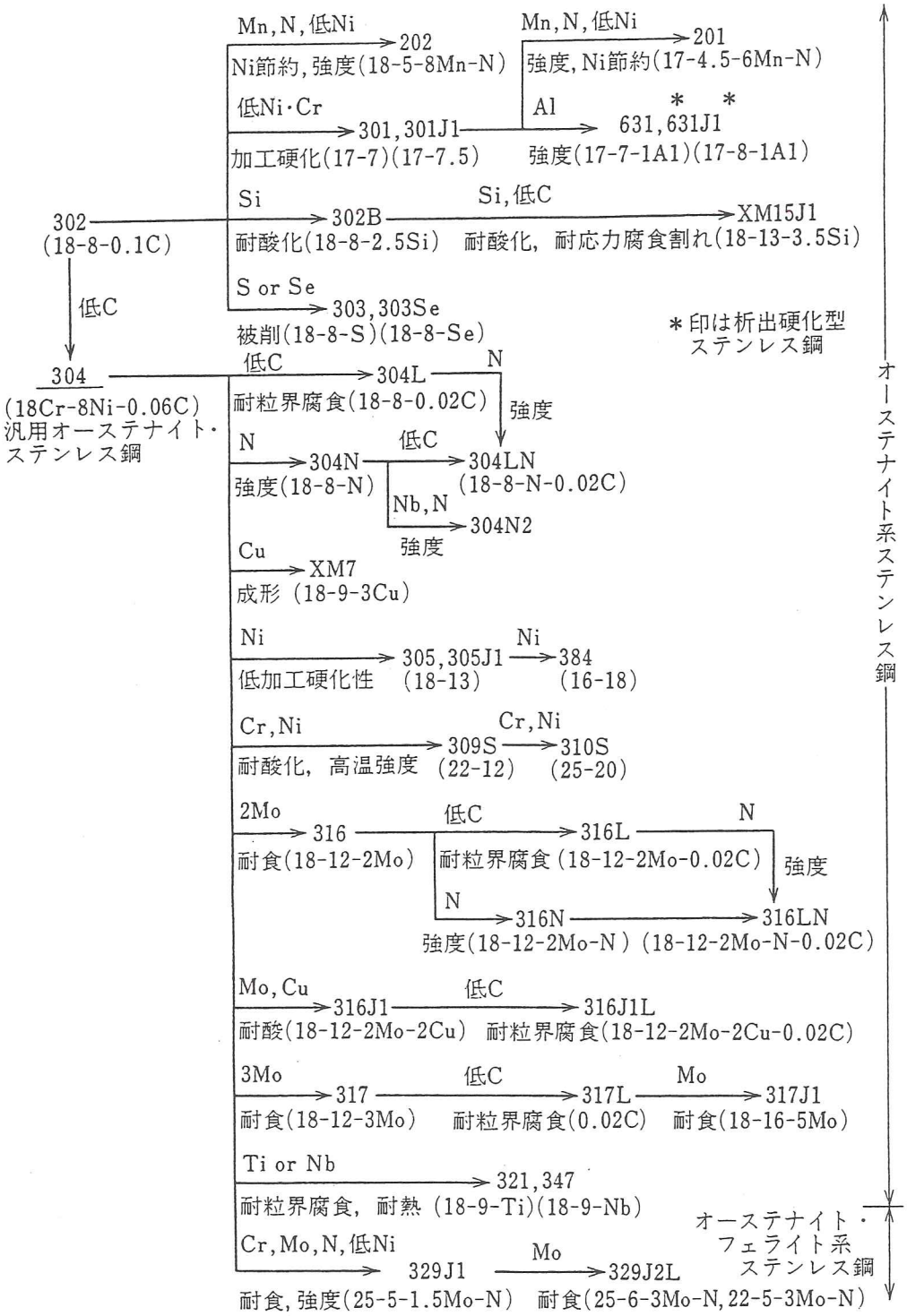
（４）クロムが 32%以上含まれると脆化, 硬化等により工業材料として不適当となるため、ＪＩＳでは上限を 32%としている。

（５）ステンレス鋼は、鉄以外の合金元素の合計が 50%以下でなくてはならない。

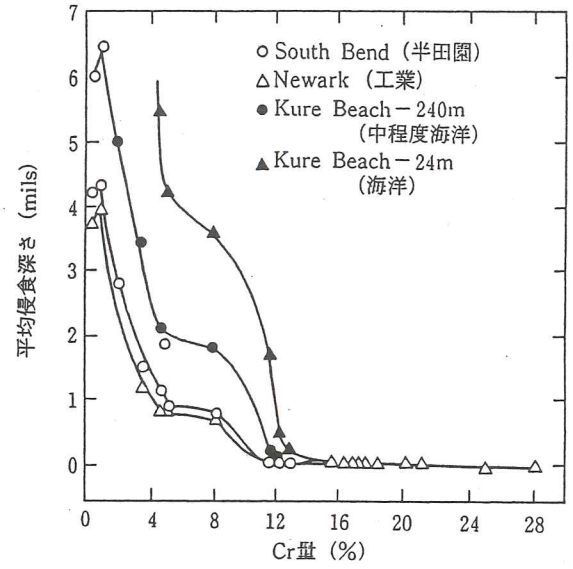
（6）ステンレス鋼の金属組織は、クロム，ニッケル等の合金量により、オーステナイト，フェライト，マルテンサイトおよびそれらの混合組織になる。合金量と組織の関係は、図解-2.4のシェフラーの組織状態図のようになる。



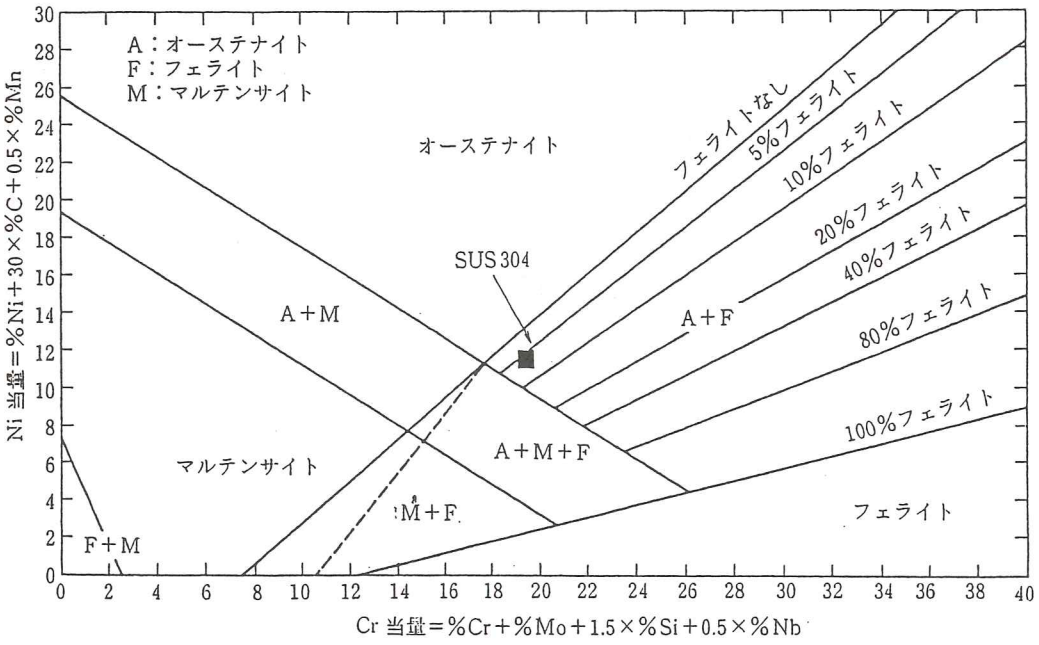
図解-2.1　Fe-Cr系ステンレス鋼の系統図（鋼種名はJISの呼称で示す）
（ステンレス鋼便覧第3版）



図解-2.2 Fe-Cr-Ni系ステンレス鋼の系統図
(鋼種名はJISの呼称で示す。鋼種名の下の括弧内の
初めの二つの数字は、それぞれCrおよびNi%を示す)
(ステンレス鋼便覧第3版)



図解-2.3　Fe－Cr合金の8年間大気暴露結果
（ステンレス鋼便覧-第3版）



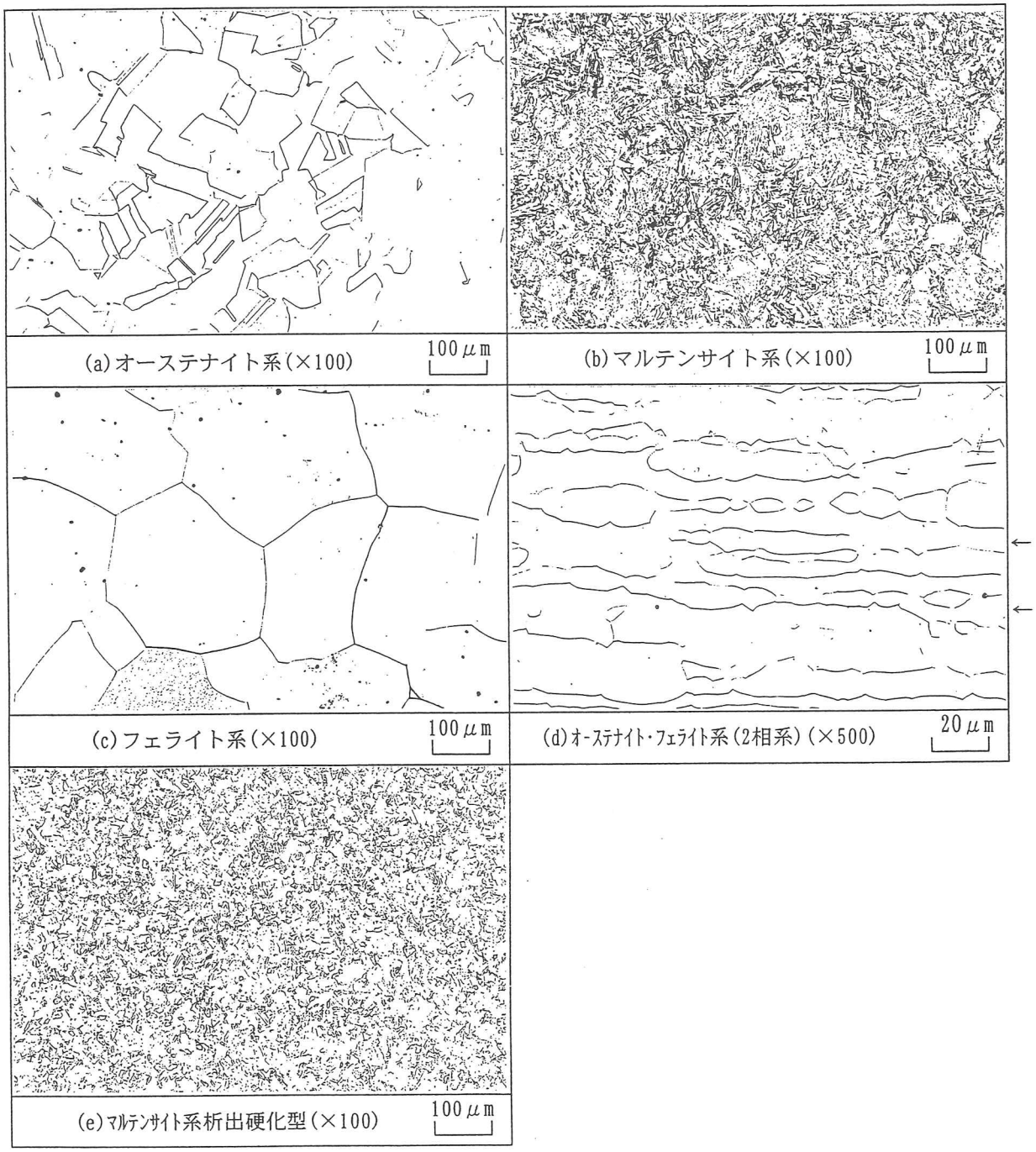
図解-2.4　シェフラーの組織状態図
（ステンレス鋼便覧-第3版）

２．１．２　ステンレス鋼の系統別特性

ステンレス鋼は、金属組織によりオーステナイト系，マルテンサイト系，フェライト系，オーステナイト・フェライト系（２相系）およびマルテンサイト系析出硬化型に分類される。これらのステンレス鋼の顕微鏡組織や物理的性質，機械的性質，耐食性および溶接性はそれぞれ異なっている。

［解　説］

（１）ステンレス鋼の顕微鏡組織を写真解-2.1に組織別特性を表解-2.1に示す。



写真解-2.1　ステンレス鋼の顕微鏡組織の分類

表解-2.1　ステンレス鋼の組織別特性（代表例）

		オーステナイト系(γ)	フェライト系(α)	マルテンサイト系	2相系 (α+γ)	マルテンサイト系析出硬化型
		18Cr8Ni系 SUS304 SUS316	18Cr系 SUS430	13Cr系 SUS410	25Cr7Ni3MoN系 SUS329J4L	17Cr4Ni4Cu系 SUS630
物理的性質	磁性	なし	あり	あり	あり	あり
機械的性質	熱膨張	炭素鋼の約1.5倍	炭素鋼とほぼ同じ	炭素鋼とほぼ同じ	炭素鋼の約1.1倍	—
	熱伝導	炭素鋼の約1/3	炭素鋼の約1/2	炭素鋼の約1/2	γとαの中間	—
	衝撃と伸び	極めて良好 成形性に富む	γ系に比べて劣る	γ系に比べて劣る	常温ではγ系と同程度良好	硬さレベルによる
	耐低温性	-220℃までじん性低下なし	-15℃以下ではもろい	-15℃以下ではもろい	-15℃以下で急激に低下	低温ではじん性がより低下
	方向性	ほとんどない	あり。圧延方向に直角に曲げる	あり	あまり差はない	なし
	焼入れ硬化性	なし	なし	あり。C量多いものは冷却後割れやすい	なし	あり
	加工硬化特性	大 Ni量多い鋼種は加工硬化性が小さい	冷間加工で多少の変化が認められる	鋼と同じ傾向の加工硬化性を示す	素材の段階で硬くγに比較して伸びが低く冷間加工で硬くなる	素材の段階で硬く耐摩耗材として最適。冷間加工でより硬化する。冷間加工には適さない。
結晶構造		面心立方格子	体心立方格子	体心立方格子	面心+体心立方格子	体心立方格子
耐食性・耐候性		優れた特性を示している	内装用ではさびの心配はないが屋外の使用には問題ある	γ系に比べて劣る	Mo,Nが添加され優れた特性を有している	優れた特性を有している
溶接性		最も良好 500～800℃の間で長時間加熱すると耐食性が劣化する	やや劣る 高温に加熱すると熱影響部の結晶粒が粗大化して脆化する	良くない 予熱，後熱処理しないと溶接割れを生じる	良好 ただし熱ｻｲｸﾙにより相バランスが変化することに注意が必要	良くない 細心の注意を要する

［ダム・堰施設技術基準（案）］

2．1．3 ステンレス鋼の化学成分

ステンレス鋼の代表的な鋼種の化学成分を下記に示す。

表-2.2　ステンレス鋼の化学成分　（単位：質量%）

種類 / 成分	オーステナイト系			フェライト系	マルテンサイト系	オーステナイト・フェライト系	マルテンサイト系析出硬化型	炭素鋼
	SUS304	SUS304N2	SUS316	SUS430	SUS410	SUS329J4L	SUS630	(注2) SM400A
C (炭素)	≦0.08	≦0.08	≦0.08	≦0.12	≦0.15	≦0.030	≦0.07	≦0.23
Si (ケイ素)	≦1.00	≦1.00	≦1.00	≦0.75	≦1.00	≦1.00	≦1.00	—
Mn (マンガン)	≦2.00	≦2.50	≦2.00	≦1.00	≦1.00	≦1.50	≦1.00	≧2.5×C
P (リン)	≦0.045	≦0.045	≦0.045	≦0.040	≦0.040	≦0.040	≦0.040	≦0.035
S (イオウ)	≦0.030	≦0.030	≦0.030	≦0.030	≦0.030	≦0.030	≦0.030	≦0.035
Ni (ニッケル)	8.00 ～10.50	7.50 ～10.50	10.00 ～14.00	—	(注1)	5.50 ～7.50	3.00 ～5.00	—
Cr (クロム)	18.00 ～20.00	18.00 ～20.00	16.00 ～18.00	16.00 ～18.00	11.50～ 13.50	24.00 ～26.00	15.00 ～17.50	—
Mo (モリブデン)	—	—	2.00 ～3.00	—	—	2.50 ～3.50	—	—
Cu (銅)	—	—	—	—	—	—	3.00 ～5.00	—
N (窒素)	—	0.15 ～0.30	—	—	—	0.08 ～0.30	—	—
Nb (ニオブ)	—	≦0.15	—	—	—	—	0.15 ～0.45	—

(注1)　0.60%以下含有しても差しつかえない

(注2)　板厚により A, B, C の使い分けあり

(JIS G 4304, JIS G 4305, JIS G 3106)

［解　説］

（1）SUS304 は、オーステナイト系の代表鋼種であり、クロムが 18 質量%以上, ニッケルが 8 質量%以上含まれることから、18-8 ステンレスとも呼ばれる。

（2）SUS316 は、SUS304 にモリブデンを加え、耐食性を大幅に改善したものである。

（3）SUS430 は、フェライト系の代表鋼種であり、加工・熱処理を加えても安定したフェライト相が得られる。

（4）SUS410 は、焼入れ硬化によるマルテンサイト組織により硬さを活かした鋼である。

（5）SUS329J4L は、オーステナイト相, フェライト相が約 50 質量%ずつ存在し、SUS316

より一層耐食性に優れている。また、強度も優れている。

（６）SUS630は、銅の析出硬化によりSUS410より一層硬い性質が得られ、耐摩耗性が極めて優れている。

（７）SUS304N2は、SUS304に窒素を加え、強度を高めている。また耐食性はSUS304と同等である。

2．1．4 ステンレス鋼の物理的性質

ステンレス鋼の代表的な鋼種の物理的性質を下記に示す。

表-2.3　ステンレス鋼の物理的性質

鋼　種	密度 g/cm³	比抵抗（室温） μΩcm	磁性	比　熱（0～100℃） J/(g・℃)	熱伝導率（0～100℃） W/m・℃	縦弾性係数（常温） kN/mm²	線膨張係数（0～100℃） 10⁻⁶/℃
SUS304	7.93	72	無	0.50	16.3	193	17.3
*1) SUS304N2	7.93	72	無	0.50	—	193	—
SUS316	7.98	74	無	0.50	16.3	193	16.0
SUS430	7.75	60	有	0.46	26.0	200	10.5
SUS410	7.75	57	有	0.46	24.2	200	9.9
SUS329J4L	7.80	79	有	0.46	20.9	204	10.5
SUS630	7.78	80	有	0.46	20.0	196	10.8
SM400B	7.86	15	有	0.49	51.0	207	11.4

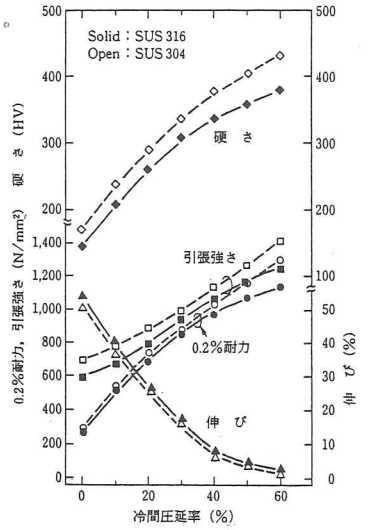
（ステンレス鋼便覧第３版）

*1) ステンレス鋼データブック（建材編）ステンレス協会発行

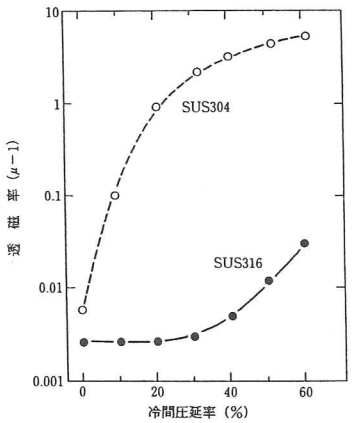
［解　説］

ステンレス鋼は、鉄にクロム，ニッケル等が添加され、金属結晶中の自由電子の動きが邪魔されるため、炭素鋼に比べて熱伝導率は低く、電気抵抗は高い。また、線膨張係数は、フェライト系，マルテンサイト系は炭素鋼とほぼ同等であるが、オーステナイト系は大きい。

オーステナイト系ステンレスでは、図解-2.5 のように加工によりマルテンサイト変態を起こし硬化する現象がみられる。図解-2.6 のように冷間加工に伴い透磁率が大きくなる。すなわち、磁性が帯びてくることが知られている。



図解-2.5 引張特性に及ぼす冷間圧延の影響
（ステンレス鋼便覧第３版）



図解-2.6 透磁率に及ぼす冷間圧延率の影響
（ステンレス鋼便覧第３版）

２．１．５　ステンレス鋼の機械的性質

ステンレス鋼の代表的な鋼種の機械的性質を下記に示す。

表-2.4　ステンレス鋼の機械的性質　　(常温代表値)

鋼　種	状　態	0.2%耐力 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸　び (%)	硬　さ		
					*2)HB	*3)HRB	HV
SUS304	固　溶　化	≧205	≧520	≧40	≦187	≦90	≦200
SUS304N2	固　溶　化	≧345	≧690	≧35	≦248	≦100	≦260
SUS316	固　溶　化	≧205	≧520	≧40	≦187	≦90	≦200
SUS430	焼なまし	≧205	≧450	≧22	≦183	≦88	≦200
SUS410	焼なまし	≧205	≧440	≧20	≦201	≦93	≦210
	焼入焼戻し	585	760	23	255	97	－
	*1)QT後冷間引	585	685	17	205	94	－
SUS329J4L	固　溶　化	≧450	≧620	≧18	≦302	≦32	≦320
SUS630	析出硬化	≧1175	≧1310	≧5	≦375	*4) ≦C40	－
SUS400B	圧延のまま	≧235	400～510	≧22	－	－	－

*1)Ｑ Ｔ：焼入れ(Quenching)、焼戻し(Tempering)

*2)Ｈ Ｂ：ブリネル硬さ

*3)HRB：ロックウェル硬さのスケール B

*4)HRC：ロックウェル硬さのスケール C

SUS630 の状態は固溶化後 470～490℃で空冷

SM400B の耐力は板厚 16 ㎜超 40 ㎜以下の降伏点、伸びは 16 ㎜超 50 ㎜以下 1A 号

仕様として、ｔ32 まで SM400A、t40 まで SM400B、ｔ100 まで SM400C

詳細はダム・堰施設技術基準(案)を参照

[解　説]

（１）金属組織別の化学成分の影響

オーステナイト系は、一般に伸び,じん性が優れている。最近、建築構造材として脚光を浴びつつある。設計上高強度材が有利となるが、窒素添加により耐食性,じん性を低下させずに容易に強度を高めることができる。

フェライト系は、衝撃値（じん性）が低いのが欠点であるが、炭素や窒素などの含有量を減少することによって改善することができる。

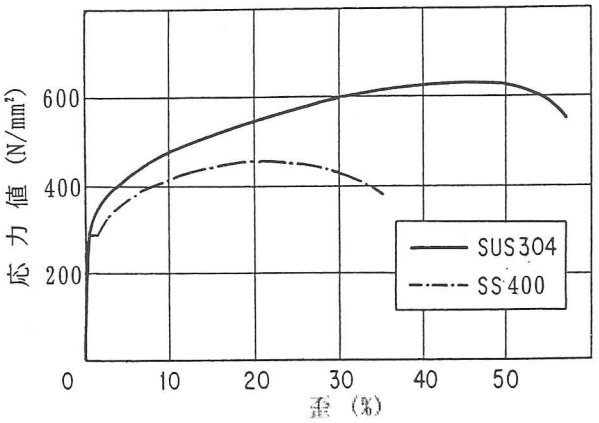
オーステナイト系,フェライト系,オーステナイト・フェライト系は変態点がないため焼入れによる硬化はできない。

マルテンサイト系は変態点がある為に焼入れにより硬化が可能で、その成分および熱処理条件の選定により広範囲の機械的性質が得られる。

（２）耐力

炭素鋼とオーステナイト系ステンレス鋼の応力・ひずみ曲線を図解-2.7に示す。

ステンレス鋼では炭素鋼にみられるような明確な降伏点があらわれないため、0.2%の永久ひずみを生ずる応力をもって、0.2%耐力と称して設計に用いている。なお、SM400Bの応力・ひずみ曲線は炭素鋼(SS400)と同等である。



図解-2.7　応力／ひずみ曲線

（３）引張強さ

ステンレス鋼の引張強さは、炭素鋼に比べ、一般に大きな値を示す。特にマルテンサイト系析出硬化型では1000N/mm²を超えるものもある。

（４）伸び

オーステナイト系ステンレス鋼は、炭素鋼に比べ著しく伸びが大きく、フェライト系，オーステナイト・フェライト系（二相系）ステンレス鋼は、それに次いで伸びが大きい。また、マルテンサイト系析出硬化型ステンレス鋼は、伸びが小さく加工が難しい。

（５）硬さ

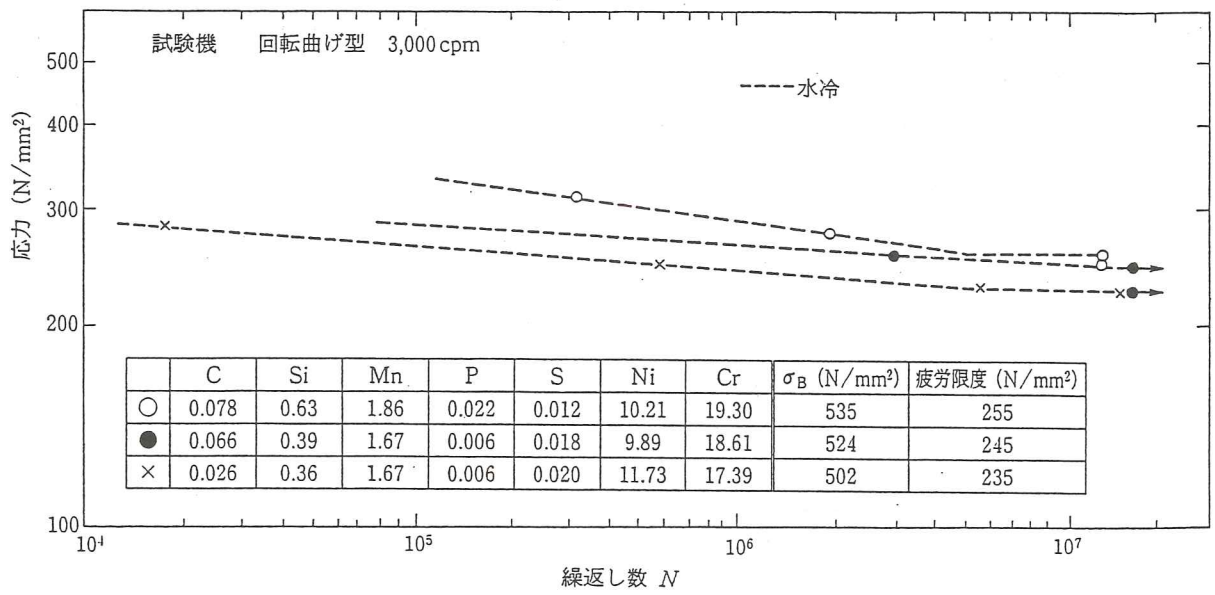
マルテンサイト系析出硬化型ステンレス鋼は、ステンレス鋼の中で最も硬く、次いでマルテンサイト系ステンレス鋼が硬い。

（６）じん性

常温におけるじん性は、オーステナイト系およびオーステナイト・フェライト系（二相系）ステンレス鋼が著しく優れている。

（７）疲労破壊

材料が変動する荷重を繰り返し受けたとき静的破壊強度をはるかに下回る応力で破壊するに到る現象を疲労破壊という。また、繰り返し荷重を受けても疲労破壊を起こさない最大応力を疲労限度と称している。一般に疲労限度は引張強さに比例して高くなるが、その傾向はステンレス鋼と炭素鋼は同じである。図解-2.8にSUS304のS-N曲線の一例を示す。



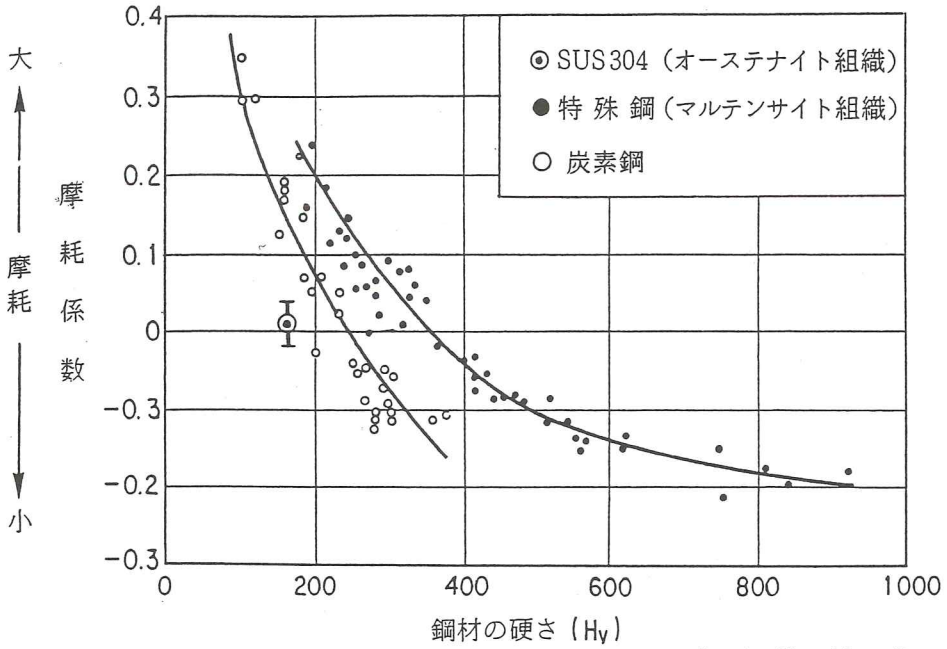
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	σ_B (N/mm²)	疲労限度 (N/mm²)
○	0.078	0.63	1.86	0.022	0.012	10.21	19.30	535	255
●	0.066	0.39	1.67	0.006	0.018	9.89	18.61	524	245
×	0.026	0.36	1.67	0.006	0.020	11.73	17.39	502	235

図解-2.8　SUS304 の S-N 曲線

（ステンレス鋼便覧第３版）

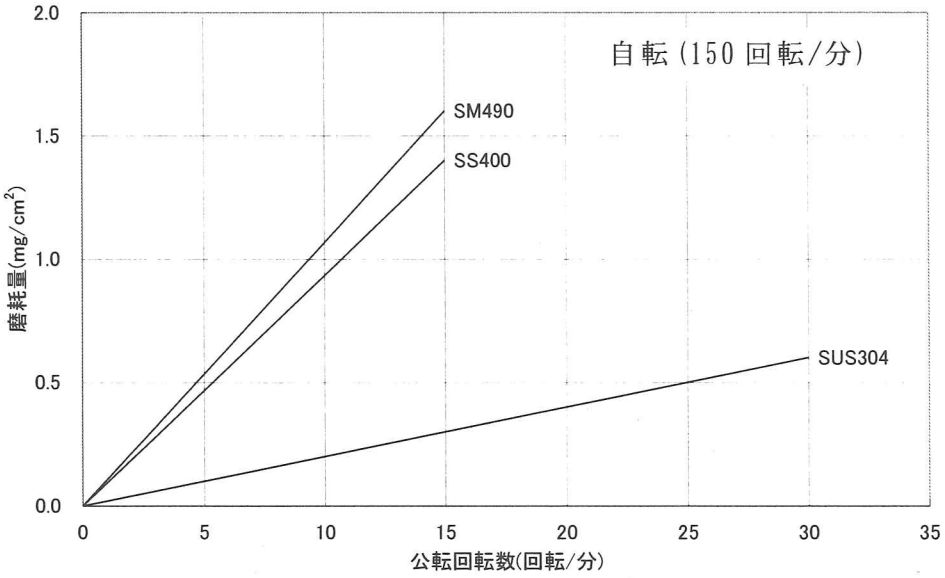
（８）摩耗

耐摩耗性は、材料が硬いほど向上する。材料の硬さは、熱処理や加工硬化によって増すことができるが、後者により硬さを増しても耐摩耗性は向上しない。これは、摩耗面は高度の加工硬化を受けるので、初めに加工硬化をしてもしなくても差がないといわれている。図解-2.9 に示すように、この加工硬化性から同一硬さのオーステナイト系とマルテンサイト系および炭素鋼を比較すると、オーステナイト系の方が耐摩耗性が優れている。図解-2.10 に土砂摩耗に対する鋼材の硬度の影響を示すように、炭素鋼よりも SUS304 の方が耐土砂摩耗性に優れている。



[三好他：鉄と鋼，13(1965) 24]

図解-2.9　鋼材の硬さと摩耗係数



（新日本製鉄㈱技術資料より）

図解-2.10　鋼材の土砂摩耗

２．１．６　ステンレス鋼の耐食性

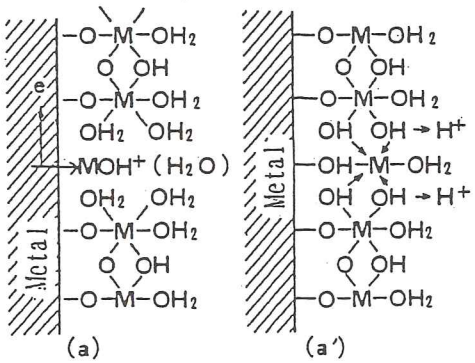
ステンレス鋼は、表面に緻密な不動態皮膜を形成して鋼内部を保護している。その耐食性は、鋼種や使用される環境により異なる。

［解　説］

（１）ステンレス鋼の不働態皮膜

ステンレス鋼の表面には図解-2.11 に示すような不動態皮膜という緻密な保護膜が形成されている。その膜厚は 1～3nm(1nm=10^{-9}m)で、クロムに酸素,水酸基,水が結合した水和オキシ水酸化クロムを主体とした化合物である。この皮膜は地金との反応生成物のため、ひっかききず等で破壊されても、すぐに再生する。

ただし、ステンレス鋼の不動態皮膜による耐食性は、鋼種および環境によって異なる。



図解-2.11　結合水を考慮した不動態皮膜モデル

(柴田俊夫：岡本剛教授退官記念論文集、P65（1969））

（２）鋼種別の耐食性

ステンレス鋼の代表的な鋼種の一般的な耐食性を表解-2.2 に示す。

表解－2.2　大気中と水中環境下におけるステンレス鋼の一般的耐食性

鋼　種		大気中	淡水中	汽水中
オーステナイト系	(18Cr8Ni 系) SUS304	○	○	○
	(18Cr12NiMo 系) SUS316	○	○	◎
フェライト系	(18Cr 系) SUS430	○オーステナイト系に比べ劣る	△	○
二相系	(25Cr7Ni3MoN 系) SUS329J4L	○	○	◎
マルテンサイト系	(13Cr 系) SUS410	○フェライト系に比べ劣る	△	△
マルテンサイト系 析出硬化型	SUS630	○オーステナイト系よりやや劣る	○	○
炭素鋼(裸使用)	SM400	×	×	×

◎：最優　○：優　△：良　×：不適

（３）環境別の耐食性

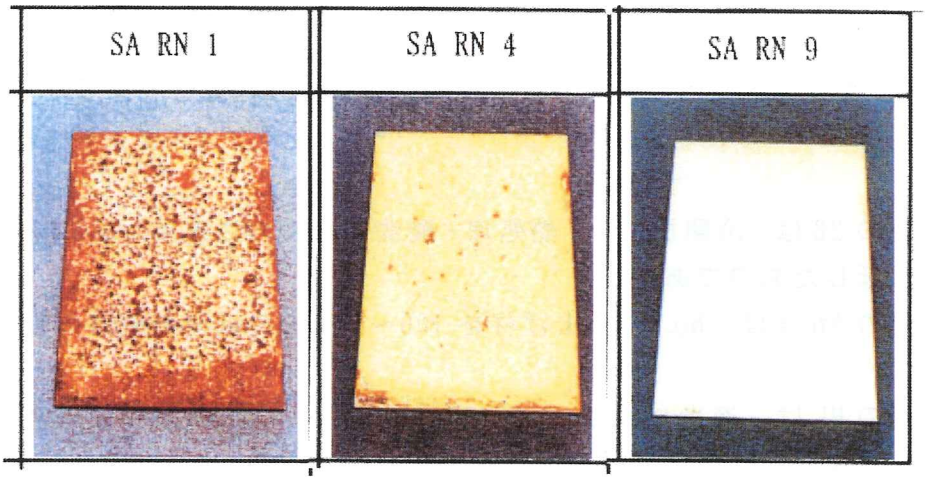
１）大気腐食

清浄な大気中におけるステンレス鋼は、腐食速度が 1μm/yr とほとんど腐食しないが、腐食生成物の付着やダストの堆積等によりさびや孔食が発生する。

さびには、もらいさびとステンレス鋼自身の腐食によるさびがある。前者はいわゆるステンレス鋼に付着した鉄さびであり、ステンレス鋼の腐食ではないが、放置しておくとその周辺のステンレス鋼の腐食を誘起することがある。後者で代表的なものは海塩粒子等による腐食であり、臨海地域では非常にさびやすくなる。

大気腐食の評価法の一つとして、写真解-2.2 に示すような発錆ランク推定手法が提案されている。この評価法に基づき海浜・工業都市・田園などの各環境で行った暴露試験の結果を図解-2.12 に示す。SUS304 および SUS316 は腐食性の厳しい海岸地域では、短時間で赤錆を生じやすいが、住宅地域ではさびにくい。

一方、駿河湾海洋技術研究所施設で 3 年間暴露試験結果を図解-2.13 と 14 に示す様に、鋼中の Cr＋Mo の含有量が 25 以上になるとさびにくいことを示している。その腐食状況を写真解-2.3 に示す様に、さびの状況は外観的にはほとんど変化はないといえる。



注；SA　RN：ステンレス協会のレーティングナンバー

発錆状況と評点との関係

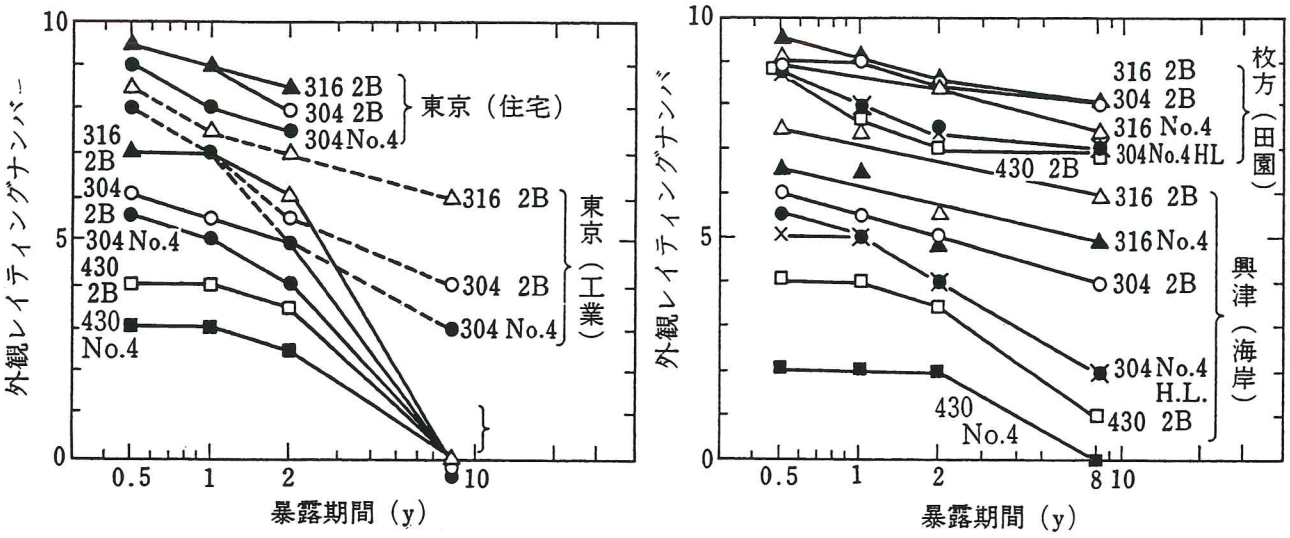
写真解-2.2　発錆ランクと評点との対応関係

（ステンレス協会資料）

外観レーティングナンバー(RN)は表面の変色面積率(WA)を基準として次式で表わされる。

RN=3(2-logWA)·····(JIS D 0201)

レーティングナンバーの数値が大きいほど錆びにくい(耐食性に優れている)といえる。

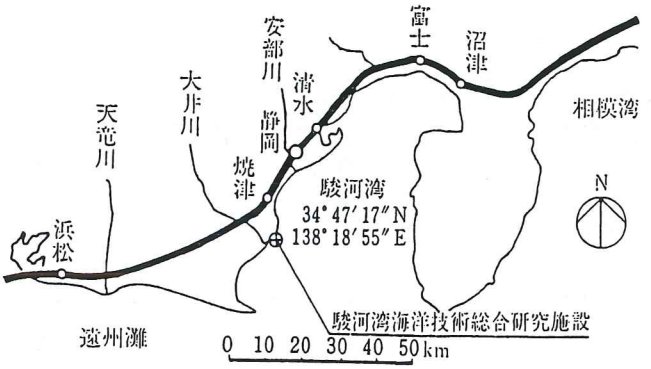


図解-2.12　各種環境におけるステンレス鋼の耐候性(外観レーティングナンバー経時変化)
(ステンレス鋼便覧第3版)

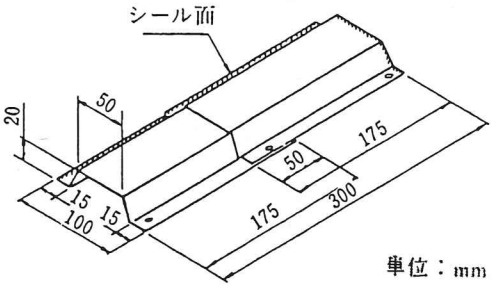
鋼種末尾の2Bは、冷間加工後、熱処理・酸洗したものに適用な光沢をあたえる程度の軽い冷間圧延したものである。

鋼種末尾のNo.4は、No.2B仕上げ材を100～120番の砥粒の研磨ベルトで研磨したものである。

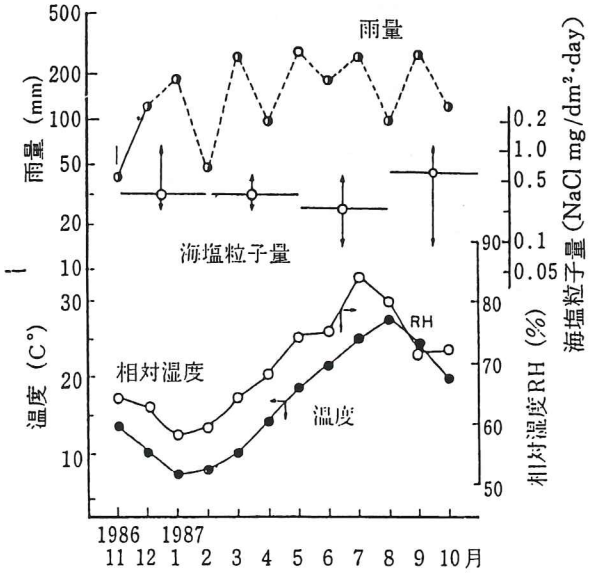
鋼種末尾のHLは、適当な粒度(通常150～240番の砥粒が多い)の研磨ベルトで髪の毛のように長く連続した研磨目をつけたものである。



駿河湾海洋技術総合研究施設の所在地

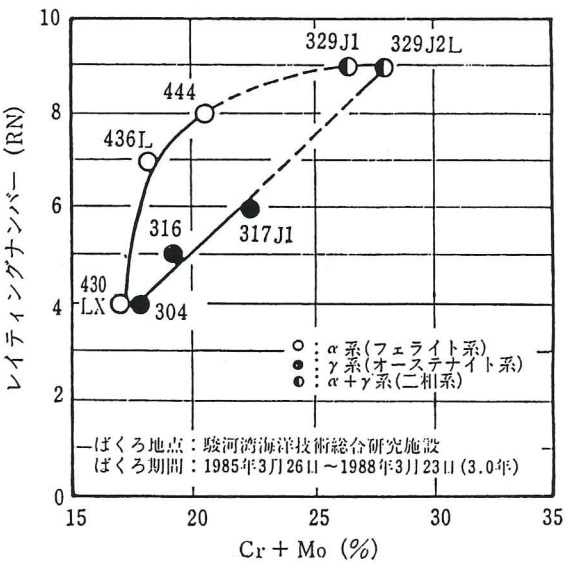


実海域ばくろ試験用試料形状



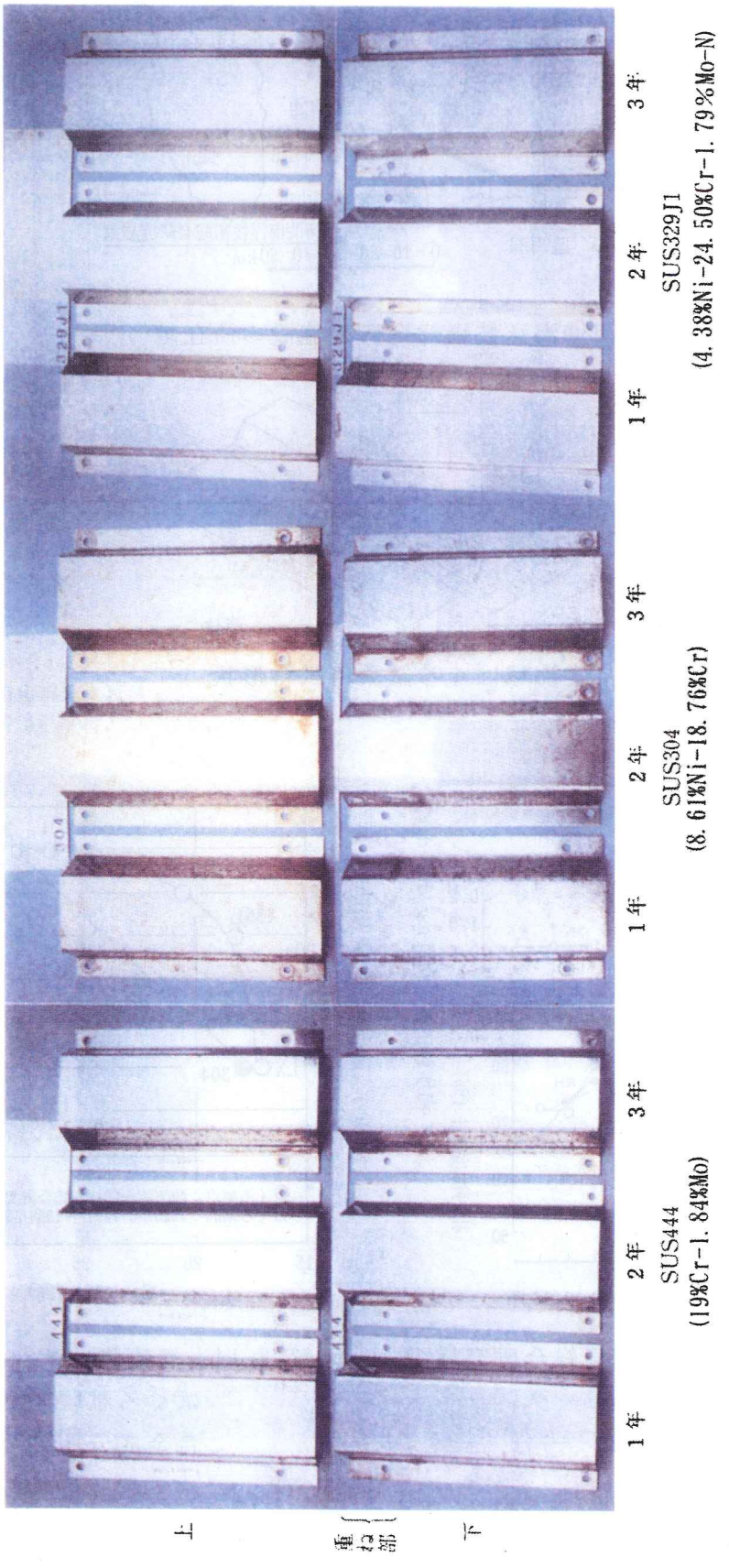
図解-2.13　駿河湾海洋技術総合研究施設における気象データ
御前崎測侯所

実海域暴露試験評価検討委員会：実海域暴露試験評価に関する検討報告書，P8 (1988)，建築研究振興協会



図解-2.14　無塗装ステンレ鋼の実海域ばくろ試験における耐さび性と合金成分との関係

ステンレス協会技術委員会腐食専門委員会：実海域におけるステンレス鋼の耐錆性，平成元年



写真解-2.3　暴露試験における無塗装ステンレス鋼の表面状況の変化

２）淡水腐食

①河川における腐食

わが国の河川水，地下水，水道水の代表的な水質を表解-2.3，2.4に、また腐食に関係する水質項目の値の分布を図解-2.15 に示す。なお、わが国の河川水は、降水量が多く、土地が急峻であるため総塩分量は低いが、海が近いため塩化物イオンはその割りには高い。また、地質を反映してカルシウムとアルカリ度が低く、けい酸分が多い。

②淡水における腐食

通常の水に接した均質なステンレス鋼表面は、不動態皮膜を維持し、ほぼ完全な耐食性を示す。しかしながら、塩化物イオンの存在や、すき間に閉じ込められた水のように溶存酸素濃度が低くなると不動態皮膜が維持できなくなり腐食が進行する。

すなわち、腐食を起こす材料側要因としては、溶接スケール，クロム炭化物の粒界析出，製作時の残留応力，すき間構造などがある。ステンレス鋼は、物理的，化学的に不動態皮膜が維持されなくなった場合に局部腐食が発生する。

③河川・ダム湖における自然電位

通常の河川やダム湖では藻や微生物の付着により、ステンレス材料の自然電位を表解-2.5と2.6に示すように、母材および溶接金属共に自然電位が著しく高くなっており、局部腐食感受性が高まっていると考えられる。

しかし、塩化物イオン濃度が小さい為に孔食などの局部腐食は3年間暴露試験を行ったが発生していなかった。

３）海水腐食

ステンレス鋼を海水中で使用する場合、全面腐食は無視できる程度のものであるが、条件により、異種金属接触腐食，局部腐食である孔食，すき間腐食が生じることがある。

①異種金属の接触

海水は強電解質溶液であるため、異種金属と接触した場合、電池作用が働き、図解-2.21に示す自然電位列が卑な金属の腐食が進行する。

したがって、海水中で金属を使用する際には、1 種類の金属に限定するか、それが不可能な場合は主要部品を貴な金属とする。あるいは全体を塗装などで被覆する等の対策をとる必要がある。

②温度，溶存酸素の影響

温度が高いほど孔食が発生しやすくなるが、溶存酸素がほとんど無い海水では温度の影響は小さい。

溶存酸素量が存在すると不動態化しやすくなり孔食，すき間腐食は発生しにくくなる。しかし、一旦発生するとその成長速度は大きい。

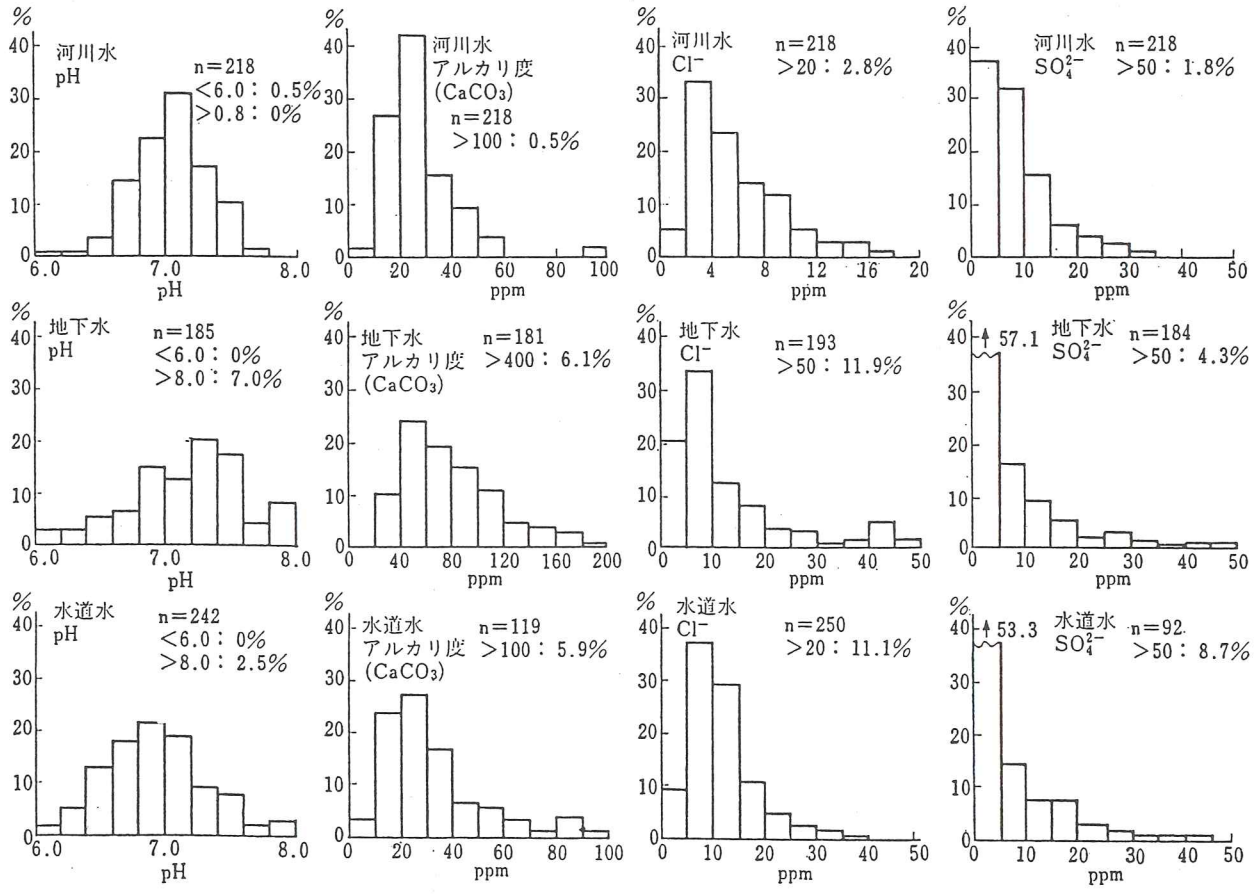
③海水流速の影響

一般にステンレス鋼の孔食は、海水中において高流速(1.8m/sec 以上)では起こらないとされている。これは、不動態皮膜を保持するのに必要な酸素が十分に供給され、また、鋼表面へ異物が堆積しにくいためである。

表解-2.3　淡水の代表的水質

	河　川　水			地　下　水		水　道　水	
	代表値	特に多い値	平均	代表値	特に多い値	代表値	特に多い値
pH	6.0～7.6	7.0～7.2		6.8～8.0	7.2～7.4	6.4～7.6	6.8～7.0
アルカリ度 ($ppmCaCO_3$)	10～50	20～30	25.4	20～120	40～60	10～40	20～30
Ca^{2+} (ppm)	4～13	5～10	8.8	5～20	5～15	—	—
Mg^{2+} (ppm)	1～4	1～2	1.9	3～15	3～10	—	—
Cl^- (ppm)	2～12	2～6	5.8	5～50	5～15	5～25	5～15
SO_4^{2-} (ppm)	3～15	3～5	10.6	0～15	0～5	0～20	0～10
遊離炭酸 ($ppmCO_2$)	—	—	—	0～20	—	—	—
残留塩素 (ppm)	—	—	—	—	—	0.1～1.0	—

（防食技術便覧）



図解-2.15 わが国の河川水，地下水，水道水の代表的な水質　（防食技術便覧）

表解-2.4　代表的水質(淡水)

[1995年7月～1998年7月]

場所 / 経過年数	江戸川				七ヶ宿				奈良俣				大　町			
	1995/10	1996/7	1997/7	1998/7	1995/10	1996/7	1997/7	1998/7	1995/10	1996/7	1997/7	1998/7	1995/10	1996/7	1997/7	1998/7
水温(℃)	15.9	34.1	26.4	30.1	15.9	23.3	21.2	22.7	14.0	18.1	21.4	24.5	15.8	32.0	16.0	22.9
pH	7.70	8.70	8.90	8.10	7.12	7.92	8.20	8.20	6.50	8.20	7.20	7.50	7.92	8.03	8.40	9.10
電導度(μS/cm)	296.0	252.0	270.0	388.0	72.1	61.7	66.0	72.2	35.8	26.2	29.0	38.4	102.5	56.9	56.0	98.3
酸化還元電位(mv)	230.0	196.9	—	160.0	155.0	181.0	—	175.0	122.0	193.0	—	203.0	247.0	184.0	—	213.0
SRB(cell/100ml)	4300	4300	23000	—	200	91	30	—	91	36	30	210	30	36	—	—
従属栄養細菌(cell/100mV)	2200	46000	240000	—	—	11000	4100	—	—	4400	3000	—	—	280	680	—
Na^{+}(ppm)	15	14	17	30	4.2	3.8	3.8	4.1	2.0	1.6	1.9	6.0	5.8	2.8	3.2	3.0
Ca^{2+}(ppm)	24	19	22	27	7.6	3.8	5.1	6.0	1.9	0.24	1.4	1.8	9.9	6.2	6.0	6.5
Mn^{2+}(ppm)	0.01	0.08	0.07	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.06	0.01
Cl^{-}(ppm)	19	20	22	26	2.3	3.2	3.7	4.3	1.1	1.1	1.2	3.1	6.7	2.3	3.2	3.4
SO_4^{2-}(ppm)	32	34	28	48	5.7	6.4	7.1	16.3	1.6	1.2	1.4	3.2	11	6.9	7.8	13.2
DO(ppm)	7.8	6.2	9.0	—	10.8	7.9	7.9	—	10.7	7.9	7.7	—	9.4	8.4	8.8	—

表解-2.5　各種表面処理を施したSUS304の河川・ダム湖における自然電位測定結果

(1995年7月～1998年7月)　　(mV　vs. SCE)

試験片作成方法及びNo. ＼ 場所			溶接金属部						母材表側						母材裏側					
			江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町
鋼　種	測定期間	測定方法	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5
SUS304 浸漬酸洗	1995年7月		-52	-18	-27	-66	-85	-108	-51	-23	-21	-65	-83	-121	-30	-40	-6	-52	-61	-94
	1995年10月	付着物あり		483	51		278			485	67		278	231		484	75		290	237
		付着物除去		447	48		273	229												
	1996年7月	付着物あり	321	-109	205	113	287	299	327	-107	211	118	290	299	327	-100	240	109	289	300
		付着物除去	290	-147	157	25	286	302	291	-146	166	45	285	302	316	-127				287
	1997年7月	付着物あり	-130		238		303	397	-103		238		301	398	-117		248		260	371
		付着物除去	-193		241		261	248	-186		245		261	376	-118		266		270	289
	1998年7月	付着物あり	282		241		153	356	293		243		157	359	324		213		155	347
		付着物除去	211		531		82	359	218		486		83	362	226		40		96	357
SUS304 グラインダー	1995年7月		-24	-88	-194	-160	-176	-102	-23	-88	-191	-162	-172	-100	11	-99	-180	-147	-134	-123
	1995年10月	付着物あり		217	333		295			217	337		298	323		220	337		-303	323
		付着物除去		148	283		292	321												
	1996年7月	付着物あり	23	-17	264	272	310	405	27	-11	267	285	317	405	44	-12	271	297	315	404
		付着物除去	29	-63	172	296	311	396	31	-64	175	302	309	395	45	-45				386
	1997年7月	付着物あり	48		346		283	397	50		340		284	397	51		183		253	388
		付着物除去	-168		148		254	383	-166		151		253	388	45		149		263	377
	1998年7月	付着物あり	464		-116		254	358	466		-113		254	361	476		-116		186	360
		付着物除去	350		-144		171	363	352		-141		175	365	358		-162		176	361
SUS３０４ AS WELD	1995年7月		-272	-198	-221	-286	-231	-262	-257	-198	-220	-234	-208	-226	-201	-189	-215	-214	-187	-214
	1995年10月	付着物あり		343	113		308			348	117		310	330		350	117		301	328
		付着物除去		225	36		300	329												
	1996年7月	付着物あり	402	-14	221	247	300	417	306	12	225	258	302	416	299	-27	254	264	299	416
		付着物除去	249	-43	151	279	298	404	250	43	155	285	296	404	253	32				387
	1997年7月	付着物あり	201		375		266	394	202		372		266	395	196		263		265	381
		付着物除去	-149		135		242	354	-145		139		245	360	-58		151		248	350
	1998年7月	付着物あり	302		23		197	362	303		24		198		318		-41		250	
		付着物除去	182		-92		140	361	183		-91		137		194		-111		132	
SUS３０４ ペースト酸洗	1995年7月		-79	-66	10	-102	-111	52	-75	-66	11	-99	-111	52	-54	-68	8	-91	-87	32
	1995年10月	付着物あり		477	341		289			493	345		289	319		496	340		296	317
		付着物除去		474	299		288	319		477										
	1996年7月	付着物あり	201	121	268	257	302	373	204	-118	271	259	302	372	78	-123	291	262	300	365
		付着物除去	37	-154	214	289	301	354	38	-153	214	290	299	354	38	-144				290
	1997年7月	付着物あり	5		103		281	430	5		106		281	428	-1		-81		275	417
		付着物除去	-147		-125		266	398	-147		-125		265	396	-142		-134		271	398
	1998年7月	付着物あり	-206		25		185	386	-202		24		182	388	-179		-37		153	385
		付着物除去	-280		-131		143	391	-277		-125		149	392	-264		-142		146	384

表解-2.6　各種表面処理を施したSUS304の河川・ダム湖における自然電位測定結果

(1995年7月～1998年7月)　　(mV　vs. SCE)

試験片作成方法及びNo. ＼ 場所			溶接金属部						母材表側						母材裏側					
			江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町
鋼種	測定期間	測定方法	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5
SUS316L 浸漬酸洗	1995年7月		15	-64	-139	-102	-111	-1	15	-64	-138	-103	-112	0	30	-45	-143	-99	-101	-3
	1995年10月	付着物あり		494	344		332			495	347		333	336		497	346		330	336
		付着物除去		488	311		326	336												
	1996年7月	付着物あり	54	435	277	276	298	428	55	437	280	277	302	428	54	437	274	281	297	430
		付着物除去	31	421		281	309	425	33	422	229	285	309	426	35	424	232			421
	1997年7月	付着物あり	241		482		339	454	241		480		339	455	237		302		337	448
		付着物除去	-28		282		329	429	27		282		331	428	-22		295		334	431
	1998年7月	付着物あり	-259		402		266		-259		403		261		-231		387		260	
		付着物除去	-170		191		194		-169		338		194		-156		179		208	
SUS329J4L 浸漬酸洗	1995年7月		-94	-91	-161	-154 -140	27	-84	-94	-91	-161	-153 -133	26	-82	-82	-65	-165	-145	31	-89
	1995年10月	付着物あり		499	296		330			499	301		330	330		502	299		322	322
		付着物除去		451	220		323	328												
	1996年7月	付着物あり	417	327	268	289	294	395	418	327	271	290	298	392	419	329	280	292	295	394
		付着物除去	417			292	305	393	418		222	292	301	392	418	328	221			387
	1997年7月	付着物あり	-155		437		362	440	-155		434		362	441	-151		252		356	437
		付着物除去	-194		224		356	419	-194		224		357	415	168		239		356	424
	1998年7月	付着物あり	45		346		350		45		347		350		64		332		347	
		付着物除去	-60		170		247		-60		167		247		-52		142		242	
SUS400B	1995年7月								-435	-443	-309	-322	-377	-379	-351	-355	-296	-319	-333	-362
	1995年10月	付着物あり								-656	-460		-521	-618		-699	-477		-499	-601
		付着物除去											-500						-506	
	1996年7月	付着物あり							-673	-680	-370	-605	-565	-511	-653	-664	-335	-520	-514	-523
		付着物除去							-669	-675	-350	-500	-550	-509	-659	-640				-523
	1997年7月	付着物あり								-626	-357		-500	-488	-605		-407		-502	-500
		付着物除去								-634	-344		-504	-495	-628		-378		-528	-484
	1998年7月	付着物あり								-619	-317				-600		-312		-481	
		付着物除去								-639	-445				-647		-367		-493	

２．１．７　ステンレス鋼の腐食の形態

（１）ステンレス鋼の腐食は、孔食，すき間腐食，粒界腐食，エロージョン・コロージョンおよび応力腐食割れなどの局部腐食である。
（２）異種金属と接触した場合、相手側金属を腐食させる異種金属接触腐食がある。

［解　説］

（１）局部腐食

１）孔食およびすき間腐食

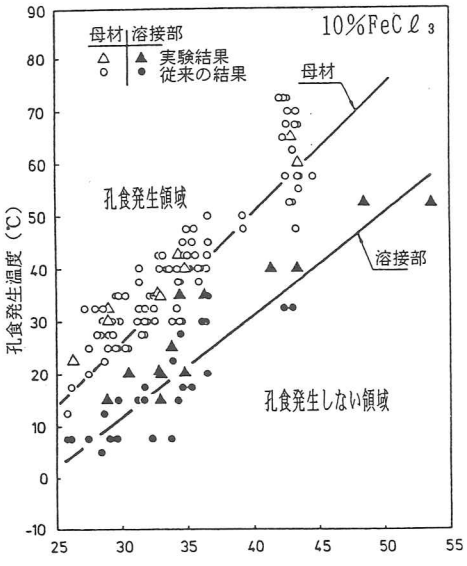
孔食とすき間腐食は、不動態皮膜がある場合でも発生する。塩化物イオンなどハロゲンを含む環境で不動態皮膜の一部が破壊され、そこが陽極（アノード）となり優先的に腐食する。

①成分元素の影響

孔食発生温度，すき間腐食発生温度と成分元素との間には相関関係が得られている。Ｓuutala らは、従来の研究から、海水におけるＰＩ（Pitting Corrosion Index 耐孔食性を示す指標）およびＣＩ（Crevice Corrosion Index 耐すき間腐食性を示す指標）をクロム，モリブデン，窒素量で整理し、以下の関係を求めた。

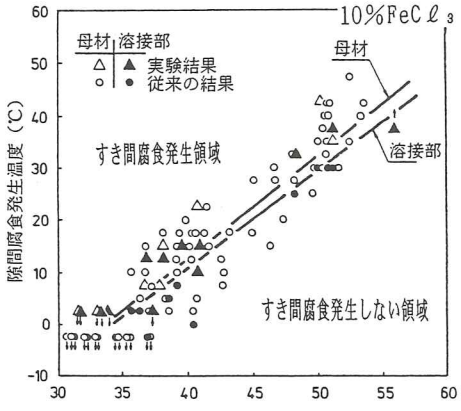
$$PI = Cr + 3.3Mo + 13N \qquad CI = Cr + 4.1Mo + 27N$$

すなわち、クロム，モリブデン，窒素は、孔食やすき間腐食の予防に有効である。図解-2.16 および図解-2.17 に孔食およびすき間腐食発生温度と成分元素の相関図を示す。



ＰＩ（%Cr+3.3×%Mo+13×%N）

図解-2.16　ＰＩと孔食発生温度との関係
（引用 N. SUUTALA, and M. KERKELA, The Institute of Metals London, 1985 P240～246）



ＣＩ（%Cr+4.1×%Mo+27×%N）

図解-2.17　ＣＩとすき間腐食発生温度との関係
（引用 N. SUUTALA, and M. KERKELA, The Institute of Metals London, 1985 P240～246）

この図は、ＰＩとＣＩが大きくなる程、孔食発生温度およびすき間腐食発生温度が高くなる。すなわち、ＰＩ値が 30 の場合、孔食発生電位は母材で約 26℃以上で発生し、溶接材で約 12℃以上で発生することを示している。

ＣＩ値が 40 の場合、すき間腐食発生電位は母材および溶接材ともに約 10℃以上で発生することを示している。

②ｐＨの影響

孔食は中性溶液中で発生するがｐＨが低く（酸性）なると全面腐食となる。一方、ｐＨが高く（アルカリ性）なると孔食は抑制される。

③温度の影響

温度が高くなると、塩化物イオンの不動態皮膜破壊作用が強くなるため孔食の発生は増大する。

④表面仕上げおよび付着物の影響

一般に機械仕上げによる表面粗度が小さいほど孔食およびすき間腐食は発生しにくい。付着物はすき間と同様、塩化物イオン等の濃縮の原因となり孔食およびすき間腐食が発生しやすくなる。

⑤熱処理，冷間加工の影響

熱履歴によっては鋭敏化されるクロム炭化物が粒界に析出し、その周囲で Cr 濃度が減少すると耐孔食性は著しく低下する。冷間加工後に鋭敏化されると耐孔食性がさらに低下する場合がある。なお、冷間加工単独での耐孔食性への影響はほとんどない。

⑥その他水質の影響

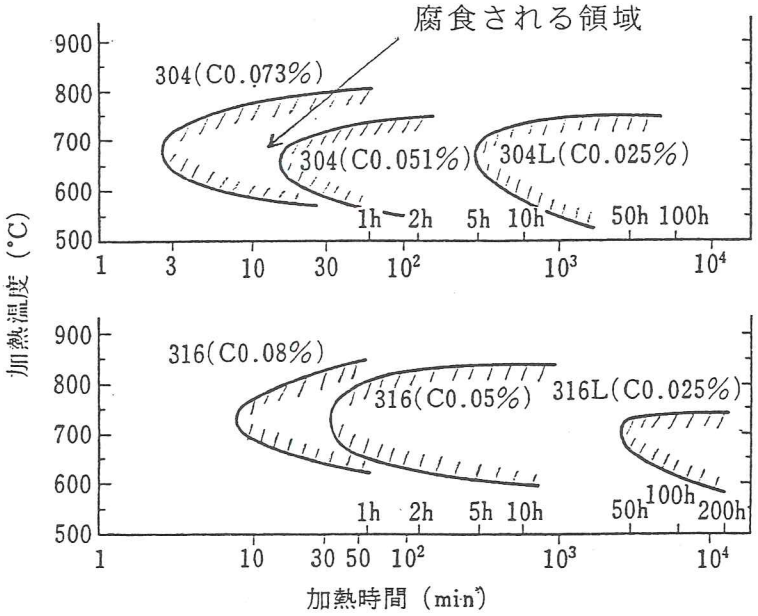
塩化物イオンは、特に孔食を発生させ易い。塩化物イオン濃度は、低いことが望ましいが、濃縮の可能性がある場合は相当低い濃度でも孔食が発生する危険性がある。

溶存酸素が極めて低い場合は、塩化物イオン濃度が高くても孔食は発生しない。金属イオン（Fe^{3+}, Cu^{2+}）の存在は一般的に好ましくない。

２）粒界腐食

オーステナイト系ステンレス鋼は、450～850℃の温度範囲に加熱されると粒界にクロム炭化物（$Cr_{23}C_6$）が析出（鋭敏化）する。クロム炭化物が析出すると粒界近傍のクロム濃度が減少し、腐食環境下ではその部分が腐食されやすくなるため、結晶粒界に沿って腐食が局部的に進行する。この現象を粒界腐食という。また、溶接の際、母材熱影響部が鋭敏化されると同じ現象（weld decay）を生じることがある。粒界腐食感受性を加熱温度と保持時間の関数で示したのが、図解-2.18 の時間・温度・鋭敏化曲線ＴＴＳ（Time-Temperature-Sensitization）曲線である。

この図の見方は、斜線の内側が鋭敏化域を示している。すなわち、硫酸･硫酸銅試験ではこの斜線部が腐食されることを示している。さらに鋼中の炭素量が少なくなると腐食される領域が低温で長時間側へ移行する。すなわち、腐食される領域が小さくなることを示している。したがて、SUS304 よりも SUS304L の方が腐食されにくいことを示している。



図解-2.18　SUS304･SUS316 系ステンレス鋼のＴＴＳ曲線
（硫酸･硫酸銅試験）ハッチ部：鋭敏化域
（ステンレス鋼の損傷とその防止）

①成分元素の影響

炭素含有量(C%)の影響が最も大きいが、0.03%以下であれば実用的に十分な耐粒界腐食性を有す。

安定化元素の添加量(Ti%または Nb%)は、理論的には Ti/C≒4, Nb/C≒8 でよいが、窒化物の生成にも消費されるので、Ti/C≧5, Nb/C≧10 は必要である。

②冷間加工の影響

冷間加工は、粒界腐食を促進するが、冷間加工が大きくなると(約 40%以上)ほとんど影響しない。

③溶接による熱影響

溶接熱影響部の炭化物析出の程度は、冷却速度によって決まり、冷却速度は溶接条件（電流, 電圧, 速度等）で決まる。

一般的には、被覆アーク溶接, ティグ溶接では冷却速度が速いので炭化物析出は軽微であり、腐食性の弱い環境では C≦0.08%の SUS304 等は溶接のままで十分使用できる。しかし、サブマージアーク溶接では冷却速度が遅く炭化物析出も多くなるので、低炭素鋼種を使用するのが望ましい。

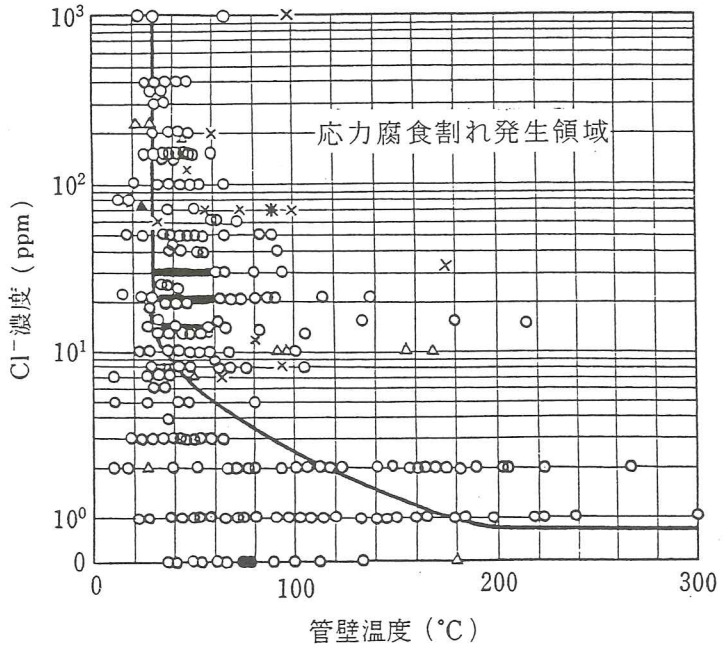
３）エロージョン・コロージョン

流体の繰返し衝突または衝撃のある条件下で、炭素鋼は大きな腐食損傷を生じる。これに対してステンレス鋼は、非常に強い耐エロージョン・コロージョン性を有する。このため、ステンレス鋼は炭素鋼に比べて高流速の条件下で使用できる。

４）応力腐食割れ

河川･ダム施設は使用温度が常温近傍で運用されていることから、応力腐食割れの感受性が低い。図解

-2.19 はステンレス鋼熱交換器における冷却/加熱媒体中の塩化物イオン濃度･管壁温度と応力腐食割れ（ＳＣＣ）との関係を示している。この図の見方は塩化物イオン濃度と管壁温度との関係を示し、塩化物イオン濃度が少なくなると応力腐食割れを起こす温度が高くなり、使用範囲が広くなることを示している。すなわち、塩化物イオン濃度が約 100ppm 以上でも常温では応力腐食割れは起こりにくいことを示している。



全データ
ＳＣＣ発生せず：○
Ｓ Ｃ Ｃ 発 生：×＜3Y, △3-6Y, □＞6Y
ＳＣＣ[溶接材]：＊＜3Y, ▲3-6Y, ■＞6Y

図解-2.19　ステンレス鋼熱交換器における冷却/加熱媒体中の
Cl⁻濃度･管壁温度と SCC との関係 (SUS304)
(ステンレス鋼便覧第３版)

（２）異種金属接触腐食

金属材料を溶液の中に浸漬すると、固有の自然電位を示す。図解-2.20 に実海水中での各種金属の自然電位列を示す。この中で、ステンレスやチタンは自然電位の高い方に位置し、相対的に貴な金属であり、逆に亜鉛やアルミニウムは自然電位が低い金属である。このような自然電位の異なる金属が接触すると、図解-2.21 のように金属間に電池を構成し、卑な金属の腐食が加速される。すなわち、異種金属接触腐食の程度は、金属の組合せ（電位差）, 分極特性, 各金属の面積比, 溶液の電気伝導度, ｐＨ, 温度などによる影響を受け、金属材料の使用形態, 使用環境によっても大きく異なる。

流動海水中における異種金属接触による腐食の加速率を表解-2.7 に示す様に、例えばステンレス (SUS316) と炭素鋼との異種金属接触腐食は面積比が 1 (SUS316) : 10 (炭素鋼) の場合、加速率が１倍であるが、

面積比が 1:1 になると加速比が 3 倍に増大する。さらに、面積比が 10 (SUS316) : 1 (炭素鋼) になるとその加速比が 7 倍に増大する。したがって、炭素鋼の面積が小さく、SUS316 の面積が大きくなると異種金属接触腐食性が厳しくなるので、注意する必要がある。

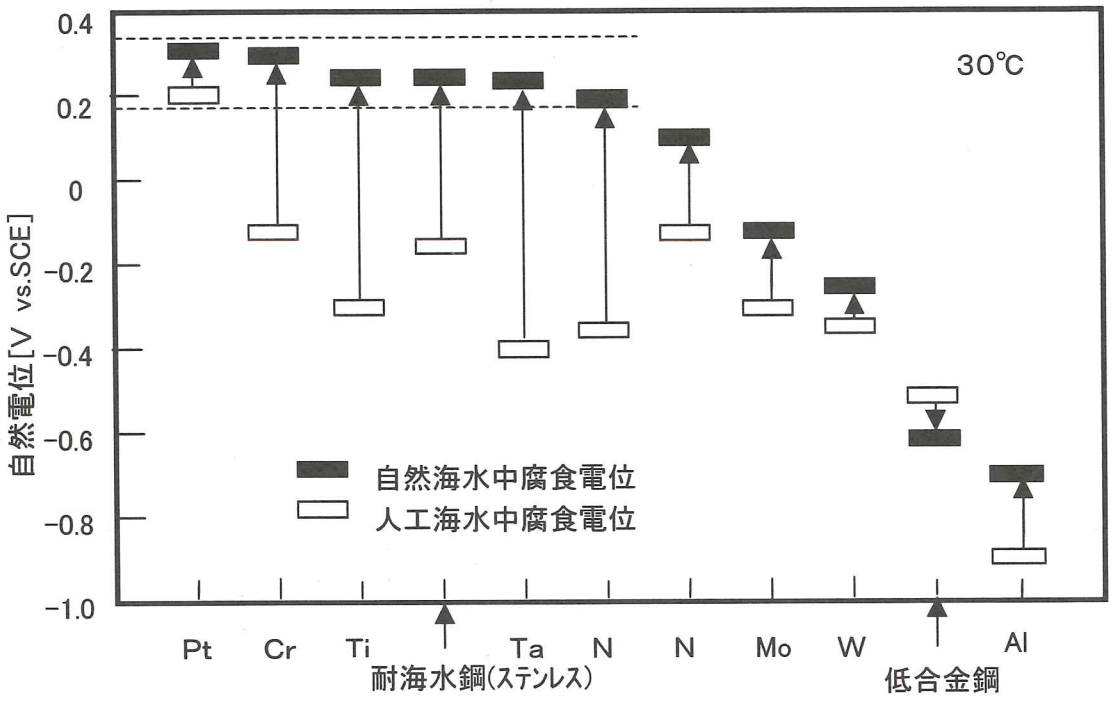
現地調査および水門, 鉄管メーカーに対するアンケート調査の結果、ステンレス鋼を使用しているダム放流設備において、異種金属接触腐食やすき間腐食と思われる腐食が生じている例が多数あることが明らかとなった。

異種金属接触腐食の程度を予測する方法には、以下の方法がある。

①腐食試験（カップル電流の発生を予測）による方法

②金属の分極測定結果から数値解析により推定する方法

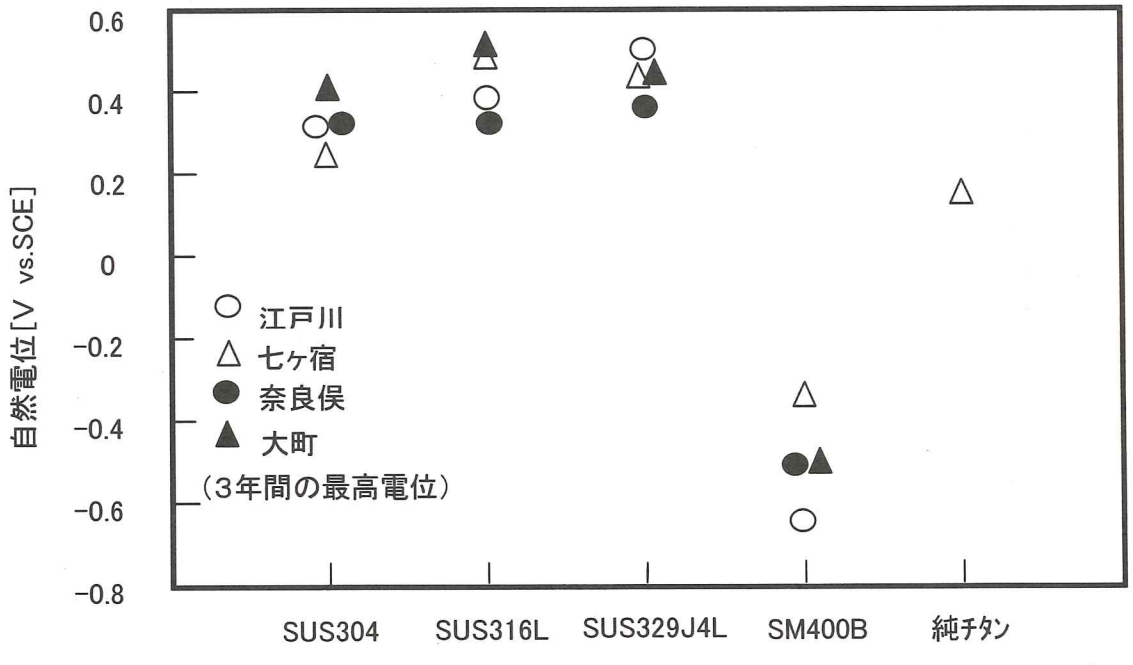
注) 分極測定：溶液中での金属表面の電気化学的特性（電流と電位との関係）を測定することをいう。



純金属

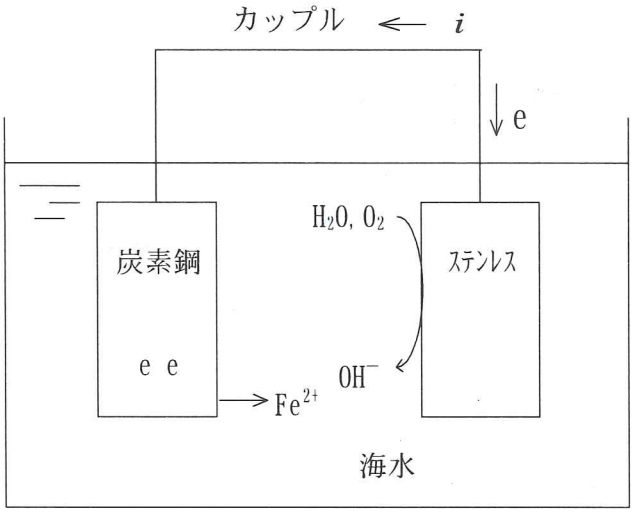
[海水中]

(幸ら、第42回腐食防食討論会講演集　p. 291 (1995))



[淡水中]

図解-2.20　各種金属およびステンレス材料の自然水中での自然電位



図解-2.21　異種金属接触腐食現象

表解-2.7　流動海水中における異種金属接触による腐食の加速率

（防食技術便覧）

接触する金属(M)	単独での腐食速度(mm/y)	加速率														
		炭素			ﾁﾀﾝ(Ti)			銅(Cu)			炭素鋼(Ms)			ｱﾙﾐﾆｳﾑ(Al)		
		10:1M	1:1M	1:10M	10:1M	1:1M	1:10M	10:1M	1:1M	1:10M	10:1M	1:1M	1:10M	10:1M	1:1M	1:10M
亜鉛	0.05	35	20	5	35	4	2	20	10	3	20	10	3	5	2	1
ｱﾙﾐﾆｳﾑ	0.008	200	60	10	30	30	2	100	20	2	80	20	2	1	1	1
炭素鋼	0.15	10	4	2	5	2	1	7	3	1	1	1	1	2Al	20Al	80Al
ﾆﾚｼﾞｽﾄ	0.05	10	4	2	3	2	1	7	3	1	1Ms	2Ms	3Ms	2Al	20Al	80Al
鉛	0.01	10	4	1	3	1	1	25	8	1	1Ms	2Ms	5Ms	2Al	20Al	60Al
ﾈｰﾊﾞﾙ黄銅	0.04	50	8	1	8	4	1	2	2	1	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
ｱﾙﾐﾆｳﾑ黄銅	0.01	50	8	1	8	4	1	2	2	1	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
ｱﾙﾐﾆｳﾑ青銅(10%Al)	0.02	25	5	1	4	2	1	2	2	1Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
ﾆｯｹﾙｱﾙﾐ青銅	0.015	15	3	1	2	1	1	1Cu	2Cu	1Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
銅	0.03	40	8	1	10	5	1	1	1	1	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
りん青銅(5%Sn)	0.02	25	5	1	10	5	1	1Cu	2Cu	1Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
りん青銅(10%Sn)	0.02	15	3	1	8	4	1	1Cu	2Cu	1Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
90/10ｷｭﾌﾟﾛﾆｯｹﾙ	0.02	15	3	1	5	2	1	2	2	2	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
70/30ｷｭﾌﾟﾛﾆｯｹﾙ	0.02	10	2	1	5	1	1	1Cu	1Cu	2Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
ｲﾝｺﾈﾙ625	<0.005	25	5	1	3	2	1	1Cu	1Cu	10Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
ﾓﾈﾙ400	0.005	50	5	1	15	2	1	1Cu	1Cu	10Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
ｽﾃﾝﾚｽ鋼(316)	0.005	3	3	1	3	2	1	1Cu	2Cu	10Cu	1Ms	3Ms	7Ms	2Al	20Al	100Al
ﾁﾀﾝ	<0.001	2	1	1	1	1	1	1Cu	5Cu	10Cu	1Ms	2Ms	5Ms	2Al	30Al	30Al
炭素(ｸﾞﾗﾌｧｲﾄ)	－	－	－	－	1Ti	1Ti	2Ti	1Cu	8Cu	40Cu	2Ms	4Ms	10Ms	10Al	60Al	200Al

２．１．８　ステンレス鋼の溶接性

被覆アーク，ティグ，ミグ，サブマージアーク等のアーク溶接、シーム，スポット等の抵抗溶接等の溶接法でステンレス鋼を溶接することができる。溶接の際には、酸化防止およびクロム酸化物を溶接金属中へ巻き込まないようにしなければならない。

［解　説］

金属の溶接方法にはたくさんの種類があるが、ステンレス鋼の溶接方法として最も多く使用されているのは被覆アーク溶接，ティグ溶接，ミグ溶接，サブマージアーク溶接，抵抗溶接などである。

溶接作業に係わる重要な物理的性質は、熱膨張係数，熱伝導率，電気抵抗および融点である。そのうち、ステンレス鋼の溶接の際には、熱膨張係数と熱伝導率の違いに十分注意しなければならない。

オーステナイト系ステンレス鋼の熱膨張係数は、炭素鋼よりも 50～60%大きく、熱伝導率は約 1/3 である。オーステナイト系ステンレス鋼に溶接熱が加わると、冷却にも相当な時間がかかる。その上に、加熱された部分が大きく伸びようとするために工作物がひずんだり、場合によっては割れがでたり、内部の残留応力が大きくなるという不具合が生じることがある。

フェライト系およびマルテンサイト系ステンレス鋼の熱膨張係数は、炭素鋼とほぼ同等であり、熱伝導率は約 1/2 である。また、オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼の熱膨張係数および熱伝導率は、オーステナイト系ステンレス鋼とフェライト系ステンレス鋼の中間である。

ステンレス鋼には多量のクロムやニッケルが含まれており、電気抵抗も大きく、炭素鋼の 4～6 倍近くになる。この特性は抵抗溶接作業にとっては有利であり溶接電流が少なくてすむ。

溶接作業は、材料をその溶融点以上に加熱して接合する方法であり、融点の低い材料ほど必要入熱が少なくてすむ。ステンレスの融点は合金成分によってかなりの差はあるが、1,370～1,500℃で、炭素鋼の 1,530℃に比べて低めである。

２．２　ステンレス材料の耐食性

河川・ダム施設に使用されるステンレス材料はその特性と使用環境並びに使用部位を考慮して適切な鋼種を使用する。

[解　説]

河川･ダム施設に使用可能なステンレス材料の種類を表解-2.8 に示す。さらに、表解-2.9(ダム)と表解-2.10(河川)に示す部位に適切な鋼種を使用する。

扉体の桁は、結露環境にある場合はメンテナンスを軽減するためステンレス材料の使用も考えられる。今後、ステンレス材料が構造部材として広く適用される場合の使用材料として適切なものを表示した。

ボルト・ナットは、すき間腐食対策上、SUS304 を基本材料とし SUS403 は極力避けることが望ましい。なお、構造材として強度および硬度を重視する場合に SUS304N2 や SUS329J1, SUS329J4L を使用し、酸性水には SUS316、河口堰など塩化物環境には SUS316L (ただし、完全な防食性を有していないので電気防食の併用などが必要)や SUS329J1, SUS329J4L を使用する。

放流管分岐部やバルブ等で溶接後応力除去焼鈍を行う場合には、SUS304, SUS316 より SUS304L, 316L のように炭素含有量が少なく鋭敏化しにくい材料を選定することが望ましい。

SUS329J1, SUS329J4L は熱処理, 溶接熱影響部などの熱履歴により組織が大きく変化し、じん性や耐食性が劣化しやすい鋼種であり､選定に当たっては施工上の配慮が必要である。

ステンレスクラッド鋼は、片側が炭素鋼のため補剛桁などとの異材溶接が少なく、熱膨張が少ないなど構造物として適しているが、端面の露出があると防食上問題となることがある。また、溶接施工上、片側からの溶接が難しいなど、その適用に当たってはステンレス鋼との適切な使い分けが必要である。

表解-2.8　河川・ダムに使用されるステンレス鋼とその特性

系　統	種　類	特　　性
オーステナイト系	SUS304	オーステナイト系ステンレスの代表的鋼種である。通常の淡水中で耐食性に優れ、加工性,溶接性も良い。
	SUS304L	溶接熱影響部の鋭敏化防止の効果がある。
	SUS304N2	SUS304の耐力を大幅に増加した鋼種(205N/mm^2→345N/mm^2)で硬度,加工性,溶接性も良い。水門戸当りにも使用されている。
	SUS316	SUS304に比較して、Moを添加し、高耐食性をもたせた。 水質が酸性のダムゲート等に適用可能である。
	SU316L	溶接熱影響部の鋭敏化防止の効果がある。汽水に接するゲート等に適用可能である。
マルテンサイト系	SUS403	耐食性はやや劣るが、焼入れ効果により、高硬度特性を持っている。加工性,溶接性は詳細検討をすること。ボルト・ナットに使用される。
	SUS410	焼入れ硬化により硬さに優れる。水門戸当りにも使用されている。
オーステナイト・フェライト系	SUS329J1	汽水域でも比較的塩素イオン濃度が高い環境で使用される。加工性,溶接性は詳細検討を要する。
	SUS329J4L	汽水域でも比較的塩素イオン濃度が高い環境で使用される。
マルテンサイト系析出硬化型	SUS630	析出硬化により、耐摩耗性が非常に優れている。耐食性も高く、加工性もある。溶接ではアンダーカットに注意すること。
ステンレス鋳鉄	SCS13	強度,伸び等は小さいが、その他の特性はSUS304と同等である。
	SCS14	強度,伸び等は小さいが、その他の特性はSUS316と同等である。
	SCS16	強度,伸び等は小さいが、その他の特性はSUS316Lと同等である。
	SCS19	強度,伸び等は小さいが、その他の特性はSUS304Lと同等である。
	鋳鋼品は、一般に圧延材,鍛造材に比べて、強度,伸び等が小さく、内部傷も存在しやすいので、圧延材,鍛造材等で製造しにくい複雑な形状の箇所以外では使用されない。	

表解-2.9　ステンレス材料の適用箇所と鋼種（ダム）

用途部位			系	オーステナイト系						マルテンサイト系		オーステナイト・フェライト系		析出硬化型
			形状	板・棒・管					鋳鋼	板・棒		板・棒		
			鋼種	SUS 304	SUS 304L	SUS 304N2	SUS 316	SUS 316L	SCS 13, 14 16, 19	SUS 403	SUS 410	SUS 329 J1	SUS 329 J4L	SUS 630
水門扉	扉体	スキンプレート		○ C	○ C		○ C	○ C				○	○	
		主桁		○		○	○							
		端縦桁		○		○	○							
		補助桁		○		○	○							
		脚注（トラス含む）		○		○	○							
		ローラ		○		○			○					
		ローラ軸，ロッカビーム軸		○		○				○				
		バルブ本体		○ C	○ C		○ C	○ C	○			○	○	
	戸当り及び固定部	戸当り材		○ C	○ C	○ C	○ C	○ C				○ C	○ C	
		ローラレール		○		○	○					○	○	
		ローラ踏面材		○		○	○					○	○	
		トラニオンピン		○		○				○		○ C		
		アンカガータ		C	C		C	C				○ C		
		ボンネット，ケーシング		○ C	○ C		○ C	○ C	○			○ C	○ C	
		摺動板（支圧板）		○ C	○ C	○	○ C	○ C					○ C	
		水密板		○ C	○ C		○ C	○ C					○ C	
	ボルト・ナット			○			○			○				○
	開閉装置	シーブ							○					
		軸類（シーブ）		○		○				○				
		ワイヤロープ		○			○							
		スピンドル		○		○				○				
		ロッド		○		○				○				
		油圧配管		○										
放流管		管胴本体		○ C	○ C	○	○ C	○ C						
		整流板，整流管，内張管		○ C	○ C	○	○ C	○ C						
		フランジ		○	○		○	○	○					
	空気管	主・副空気管		○ C	○ C									
		スクリーン		○	○									
		空気箱		○ C	○ C									
	充水装置	充水管		○	○									
		バルブ							○					
		スクリーン		○	○									
		取水塔		○ C	○ C	○	○ C	○ C						
		スクリーン		○	○									
		開閉装置架台		○	○									
		開閉装置室		○	○									
		操作橋		○	○									
		繋船設備		○	○									
		手摺，階段，防護柵		○	○									
		給油装置		○	○									
		電気制御設備		○	○									

注）○：適用可能な材料　C：クラッド鋼として適用可能で最適なものを選定する

表解-2.10　ステンレス材料の適用箇所と鋼種（河川）

用途部位 ＼ 系		オーステナイト系						マルテンサイト系		オーステナイト・フェライト系		析出硬化型
用途部位 ＼ 形状		板・棒・管					鋳鋼	板・棒		板・棒		
用途部位 ＼ 鋼種		SUS 304	SUS 304L	SUS 304N2	SUS 316	SUS 316L	SCS13 14, 16 19	SUS 403	SUS 410	SUS 329J1	SUS 329 J4L	SUS630
扉体	スキンプレート	○C	○C		○C	○C				○	○	
	主桁	○	○		○	○						
	端縦桁	○	○		○	○						
	補助桁	○	○		○	○						
	支承板	○	○	○	○	○						
	ローラ	○		○			○			○	○	
	ローラ軸，ロッカビーム軸	○		○				○	○	○	○	
	軸受け											
戸当り	戸当り材	○C	○C		○C	○C				○	○	
	ローラレール	○	○	○	○	○			○	○	○	
	ローラ路面材	○		○	○					○	○	
	摺動板（支圧板）											
	水密板	○	○	○	○	○				○	○	
ボルト・ナット		○		○				○				○
開閉装置	シーブ						○					
	軸類（シーブ）	○		○				○				
	ワイヤロープ	○			○							
	スピンドル	○		○				○				

注）○：適用可能な材料
　　C：クラッド鋼として適用可能で最適なものを選定する

２．２．１　ステンレス材料の耐食性と材料選定

ステンレス材料の鋼種は、使用環境における耐食性を考慮して選定する。

［解　説］

ステンレス材料を淡水,酸性河川,海水の各環境で使用する場合は、使用環境における耐食性を考慮して鋼種を選定しなければならない。

（１）淡水中における耐食性

ステンレス鋼の優れた耐食性は、表面にできる不動態皮膜により発揮される。

淡水中では不動態皮膜が安定し、破壊されることは少ないので全面腐食は生じない。

ステンレス鋼特有の局部腐食（孔食,すき間腐食,粒界腐食）の感受性は、鋼種によって異なる。

オーステナイト系ステンレス鋼は淡水中ではほとんど腐食しないが、マルテンサイト系ステンレス鋼は耐食性が劣るため、淡水中でも腐食することがある。

（２）酸性河川水中における耐食性

ステンレス鋼は、酸性水中では孔食,粒界腐食およびすき間腐食を発生することがある。

オーステナイト系ステンレス鋼は、他のステンレス鋼に比べて耐食性が優れている。その代表的な鋼種であるSUS304は、硫酸酸性下では優れた耐食性を示すが、塩酸酸性下では不動態皮膜が破壊され腐食する場合が多い。したがって孔食や粒界腐食に対する考慮が必要である。

孔食,粒界腐食に対しては、低炭素鋼種,またはモリブデンやケイ素を添加した鋼種が優れている。たとえば、SUS316 はモリブデンが添加されており、耐孔食性･すき間腐食性が優れている。また、SUS316L は炭素量が低いので、耐粒界腐食性が優れている。

水門が設置される河川や河口付近では、水質は水深や季節、あるいは河口付近では潮の干満等の影響を受けて変動する。このような環境においては、その腐食傾向はステンレス鋼の鋼種により異なる。

表解-2.11 に示す水質が酸性（pH3.5～4.4）および中性（pH6.1～7.3）の東北地方の４河川で約３年間行った炭素鋼とステンレス鋼の暴露実験の結果(石川島播磨技報、第 27 巻第 5 号、1987/9 月)炭素鋼の腐食速度は、酸性河川で 0.1～0.2mm/y,中性河川で 0.05～0.06mm/yr を示した。一方、ステンレス鋼のこれら 4 河川での腐食速度は、SUS304 が 0～0.0021mm/yr,SUS329J1 が 0～0.0001mm/yr と極めて軽微であることが確認された。しかし、SUS403 が 0.0055～0.02mm/yr と SUS304 に比べてやや大きい腐食速度を示した。すき間腐食は、SUS410 製ブッシュのすき間部ですべて生じた。

一般に、酸性水中における炭素鋼の腐食は pH4 を境にして腐食機構が変わる。すなわち、pH４以下の酸性が強い領域では水素発生型の腐食反応が進み、急激に腐食が進行する。また、pH４以上の領域では酸素消費型の腐食反応が進み、中性領域とほぼ同じ腐食速度を示す。

水門設備に多く用いられている SUS304 は、pH が 3～12 の範囲で 30℃以下の常温では、塩化物イオン濃度が 1,000ppm 以下であれば、ほぼ完全な耐食性を有するといわれている。

（３）汽水中における耐食性

汽水域では干満の繰返しによる塩水の遡上により，水中部，土中部において塩分濃度が

高濃度化する現象がおこり，すき間腐食が発生する可能性がある．

試験片を河口から約 3km 上流の汽水域 3 ヶ所に暴露を行った。鋼種としては，淡水環境で通常用いられる SUS304(t10×w100×L200 mm)を基本とし，比較材としてより耐食性の高い SUS316L,SUS329J4L を選定した。また腐食性評価の比較材として SM400B(t5×w100×L100 mm)を用いた。溶接試験片(溶接線は L200 の中央部)は，SUS304(t10×w100×L200 mm)に対して D308,D309 の 2 種類とし，各々について適正入熱と過大入熱の 2 種類，計 4 種類を用いた。

なお、溶存酸素濃度の高い水中部がカソード、溶存酸素濃度の低い土中埋没部がアノードとなる酸素濃淡電池が形成されやすい大型試験体(w400×h200×L400,t10 mm)を汽水域の川底（2 ヶ所）に川底の砂が供試体内部に流れ込むように暴露した。

表解-2.12 に 6 年後回収した SUS304，SUS316L 試験片の入熱条件（適正/過大）毎に最大孔食深さの値を示している。また SM400B については，腐食減肉量を示している。C 地点土中では，汽水域にもかかわらず腐食の発生は認められなかった。D 地点土中部では，固定用ボルトワッシャとのすき間においてすき間腐食が発生していた。E 地点の干満部では，いずれの試験片にも腐食の発生は認められなかったが，水中部，すき間付き水中部において，すき間治具および固定用ボルトワッシャとのすき間においてすき間腐食が発生していた。また E 地点の水中では、SUS316L 鋼のボルトナット部にすき間腐食が発生した。以上のことから水中のみならず,土中においても干満作用により塩分の効果によりすき間構造では腐食発生が起こるので注意が必要である。

図解-2.22 に示す様に、6 年間の試験で砂の堆積した部位による多数の孔食が発生し、最大腐食孔食深さは 8.7 mmであった。最大孔食深さの経時変化を図解-2.23 に示す。時間の経過と共に最大深さは増大している。この場合、土中埋没部では硫酸塩還元菌の作用で塩化物が生成し、ステンレス材料の局部腐食感受性を著しく高めるものと考えられる。大カソード、小カソードの組み合わせの場合、アノードにおける局部腐食は著しく加速される。また、汽水域においては、満潮時に川底の土中に侵入した塩化物イオンは干潮時においても 3.3.2 に後述するように、高濃度を維持することが多く、腐食環境として厳しいことに注意が必要である。このマクロセルによる土中部での局部腐食メカニズムを図解-2.24 に示す。

（4）海水中における耐食性

海水に含まれている塩化物イオンは、ステンレス鋼表面の安定な不動態皮膜を破壊すると共に、局部腐食部の内部に濃縮しやすく、これに伴って海水が酸性側へ移行するので、淡水中では見られないような激しい孔食やすき間腐食が発生することがある。このような環境では、SUS304 より耐孔食性に優れた鋼種を選定する必要がある。SUS304 を使用する場合、電気防食等を併用することが必要であるが、ただ構造上問題がない場合はこの限りではない（水門,樋門）。

海水中で耐食性が優れたステンレス鋼としては、水門用として実用的には、オーステナイト系の SUS316L の使用が考えられるが、耐孔食性が十分でない。より完全に防食するためには、電気防食を併用することが望ましい。さらに、耐食性の優れた材料としては、2 相系と高合金オーステナイト系(高 Cr-高 Mo 鋼)ステンレス鋼がある。

表解-2.11　試験場所の水質分析結果

採水場所	Tダムサイト 上流約4km（秋田県）					Oダム（青森県）					K調整池（青森県）					Sダム（山形県）					わが国の一般河川203箇所の平均***
採水年月日	1981. 11. 19	1982. 5. 19	1982. 10. 30	1983. 11. 2	1984. 10. 22	1981. 11. 17	1982. 5. 22	1982. 10. 5*	1983. 11. 4	1984. 10. 24	1982. 7. 7	1982. 10. 8	1983. 5. 30	1984. 5. 31	1985. 5. 23	1982. 6. 22	1982. 10. 26	1983. 5. 24	1984. 6. 20	1985. 6. 13	—
分析項目																					
pH	4.2	3.8	3.5	3.6	4.4	6.8	6.1	6.7	7.0	7.0	3.8	3.5	4.2	4.4	4.4	6.9	6.6	6.8	6.3	7.3	6.9
塩素イオン (mg/l)	25.2	15.6	59	74	31	7.2	<0.02	18	7.6	5.4	23	33	17	11	10	5.0	4.5	3.0	3.3	2.9	10.0
硫酸イオン (mg/l)	13.8	9.0	34	48	17	0.7	0.2	4.7	<0.5	5.0	62	100	55	29	19	5.1	5.7	10	6.4	5.1	21.2
全固形物 (mg/l)	87	100	160	120	140	68	84	470	14	190	230	110	140	86	102	7.0	36	25	44	55	10.15
硬度 (mg/lasCaCO$_3$)	317	15	52	64	28	9.9	10	22	22	20	64	88	49	26	32	16	21	7.9	13	15	-
全鉄 (mg/l)	1.3	0.64	6.6	4.6	<0.01	0.3	0.24	0.57	0.4	<0.01	0.37	2.2	0.36	0.38	0.33	0.01	0.75	0.11	0.22	0.15	0.094
電導度 (μs/cm)	167	118	380	380	130	73.2	42.7	100	70	190	220	470	260	130	140	66	59	44	53	100	-
銅イオン (mg/l)	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-
カルシウムイオン (mg/l)	9.9	4.3	14	21	6.4	3.9	3.1	7.0	4.6	5.6	4.9	19	16	7.6	11	10	5.0	2.5	3.4	3.6	13.4
マグネシウムイオン (mg/l)	2.4	0.97	4.1	2.7	2.9	2.4	0.48	4.0	2.5	1.5	3.6	17	2.2	1.6	1.2	1.5	2.2	0.4	1.1	1.5	2.7
BOD (mg/l)	-	-	-	<1	-	-	-	1**	<1	-	-	-	1**	-	-	-	-	-	-	2	-
COD (mg/l)	-	-	-	<1	-	-	-	8**	2	-	-	-	1**	-	-	-	-	-	-	4	-

(注)　＊：採水時ダム工事のため、水は非常に懸濁していた。

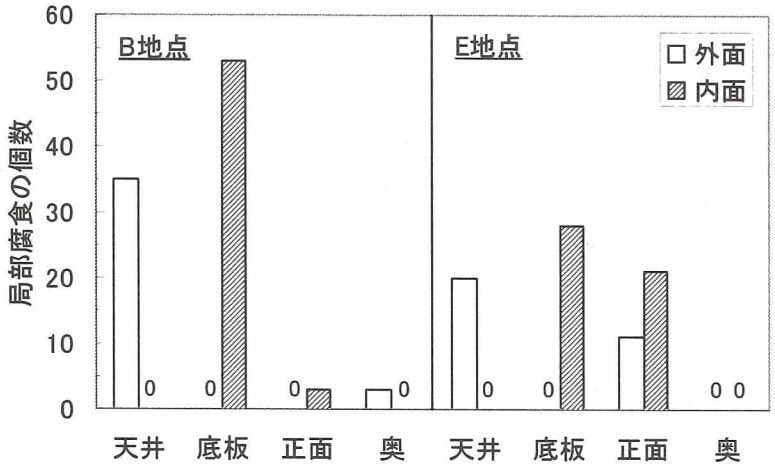
＊＊：1983年7月採水

＊＊＊：（石川島播磨重工業技報）

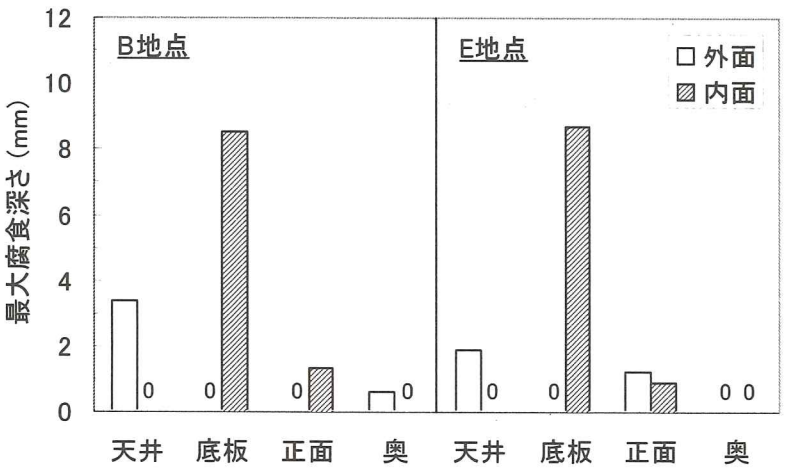
表解-2.12　試験片の種類と暴露地点・暴露環境(6年間暴露)

目的	材質	腐食環境	溶接条件	暴露地点		
				C	D	E
腐食評価	SUS304	干満	D308×2 D309×2	—	—	0.0/0.0 0.0/0.0
		水中	D308×2 D309×2	—	—	0.04/0.21 0.46/0.19
		水中 (すき間付)	D308×2 D309×2	—	—	(1)/1.32 1.1/3.26
		土中	D308×2 D309×2	0.0/0.0 0.0/0.0	1.45/0.78 0.52/0.14	—
	SUS316L	水中	D316	—	—	0.15
	SUS329J4L	水中	SMAW	—	—	0.0
腐食性評価	SM400B	水中	—	—	—	0.55
計				4体	4体	15体

注) 表中の数値は最大孔食深さ(mm)及び減肉量(mm)。カッコ内数値は未回収試験片数

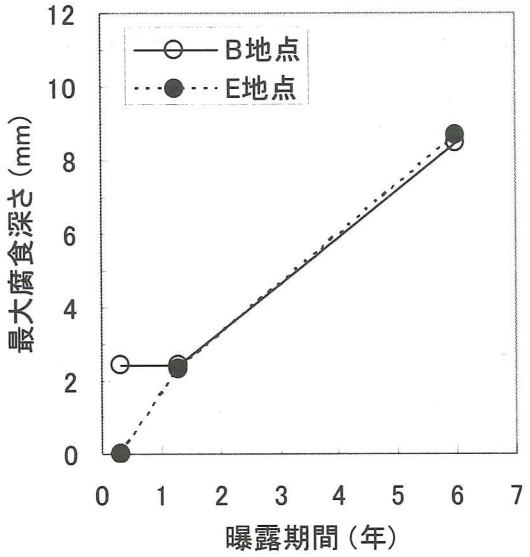


（ａ）孔食の発生個数

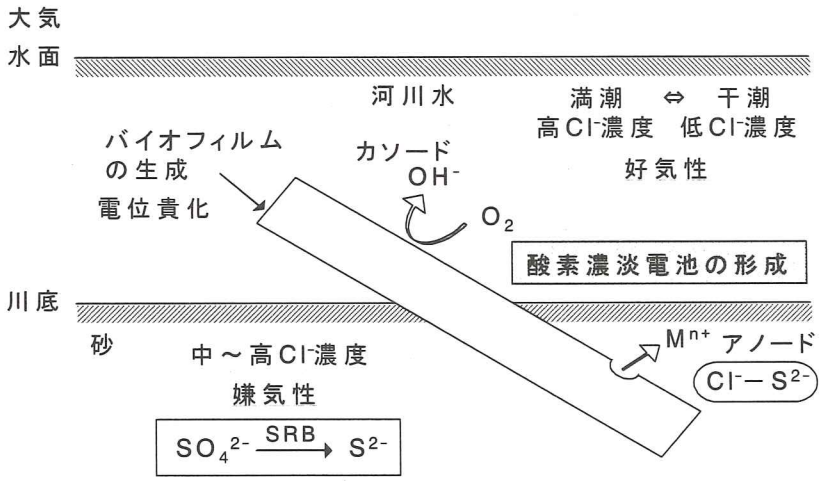


（ｂ）最大孔食深さ

図解-2.22　部位別の孔食発生個数と最大腐食深さ(6年暴露)



図解-2.23　箱型暴露試験体の最大腐食深さの経時変化
（守屋ら、材料学会腐食防食部門委員会資料、No. 237, P. 3 (2004)）



図解-2.24　一部が川底に埋まったステンレス構造物のマクロセル
形成による孔食発生メカニズム
（守屋ら、材料学会腐食防食部門委員会資料、No. 237, P. 3 (2004)）

２．２．２　異種金属接触腐食

ステンレス材料を水中部に適用する際には、異種金属接触腐食が生じないように他の金属材料との組み合わせについて十分に考慮しなければならない。

[解　説]

（１）異種金属接触腐食

炭素鋼, ステンレス鋼, 亜鉛, アルミニウム等自然電位の異なる金属が、水中で電気的に接続されると、電池を形成し電位の低い金属が陽極（アノード）となって、単独の場合より腐食速度が早くなる。

放流設備では、扉体, 放流管, 戸当り金物等に数種類の金属材料が混用されており、異種金属接触腐食が懸念される。

異種金属接触腐食が懸念される金属材料の組み合わせには、次のようなものがある。

①炭素鋼とステンレス鋼の組み合わせ

この場合、炭素鋼部分が陽極となって腐食速度が速くなる。水質や水温のほか、炭素鋼の面積に対するステンレス鋼の面積の比が大きいほど腐食量が大きくなる。このため、ステンレスクラッド鋼では、ステンレス鋼の端面に炭素鋼が露出しないようにすることが重要である。

②炭素鋼, 亜鉛, アルミニウムの溶射あるいはめっきとステンレス鋼の組み合わせ

炭素鋼部分の防食に亜鉛やアルミニウムの溶射あるいはめっきを採用すると、一般的な水質条件では、周辺の炭素鋼やステンレス鋼との電位差が著しく大きいため、亜鉛やアルミニウムの寿命が極度に低下することがある。

たとえば、防食目的で亜鉛溶射を施した扉体が、戸当りのステンレス鋼と近接していたため、亜鉛の消耗が加速され、扉体の鋼素地がむき出しになった例があり、構造物の部位間の電位差によって腐食電流が生じて腐食速度が早くなることがある。

すなわち、戸当りなどステンレス鋼の水中使用が避けられない場合には、亜鉛やアルミニウムなどのイオン化傾向の大きい金属材料との併用には十分な注意が必要である。

その他に、亜鉛めっき素線を用いたワイヤーロープでは、塗油（グリース）不足およびステンレス鋼製戸当りとの近接により、マクロセルが形成され亜鉛が溶出することがあるので注意が必要である。

（２）異種金属接触腐食の防止対策

異種金属接触腐食を防止するためには、電位差によって生ずる接触腐食電流を極力ゼロに近づけることが必要である。

１）金属材料の組み合わせの選択

①同じ材質のものを使用する

たとえば、戸当りや放流管の水中露出部分をすべてステンレス鋼にする。ステンレスクラッド鋼を使用する場合は、端面の炭素鋼部分にステンレス帯鋼を貼り付ける等の処理を施し表面の材質を同一にする。

2）絶縁する

①異種金属間に合成樹脂製のワッシャ，ボルトスリーブなどを用いて電気的に絶縁する。

②溶接構造のため金属間の絶縁が不可能な場合は、表面を塗料などの絶縁材で覆い電解質溶液である河川水（あるいは海水）と絶縁する。

③放流管などでステンレスクラッド鋼と塗装した炭素鋼が組み合わされて溶接構造で接合されている場合には、塗り分け境界部より腐食が発生することが多いため、ステンレス鋼側の溶接線より 100m 以上ステンレス鋼側に入った部分まで塗装することが望ましい。

また、このような条件下では、炭素鋼の塗膜損傷部から腐食電流が流出し、塗膜下で孔食状に腐食が進行することが多いので、十分に注意しなければならない。

3）ステンレス鋼に対して陽極となる金属の面積を大きくする

異種金属接触腐食は電位が低い側となる金属の電流密度によって異なるので、陰極となる金属（たとえばステンレス鋼）の面積に対し陽極となる金属（たとえば炭素鋼）の面積が大きければ陽極における電流密度が小さくなり、陽極金属の腐食は少なくなる。

表解-2.11 に示した場所において 2～3 年暴露して、ステンレス鋼と炭素鋼が接触した場合の面積比の違いによる腐食速度の測定試験結果を表解-2.13 に示す。(石川島播磨技報, 第 27 第 5 号, 1987/9 月)

Tダムサイトは流速が大きいために、他の河川より炭素鋼の腐食の速度が大きくなっている。Tダムサイトの河川水中における炭素鋼の水中における 2 年目の腐食速度は、0.29 mm/yr であるが、ステンレス鋼と接触することにより炭素鋼（面積比 1：1）は 0.63mm/yr となり、約 2.2 倍に増加した。一方、中性河川では、4.4～8.1 倍となり、酸性度と流速が腐食速度に大きく影響していることがわかる。Oダムの河川水中（中性河川）では、SUS304 と炭素鋼の面積比が 1：1, 2：1 と異なっても、炭素鋼の腐食速度は 0.017～0.068 mm/yr と大差なかった。

すなわち、電気化学的に卑な電位を示す炭素鋼（SS400 等）の方がステンレス鋼に比べ腐食速度が大きい。

表解-2.13　接触腐食試験 (SS400 と SUS304) による SS400 の腐食速度の経年変化

[単位：mm/yr]

場所	面積比 / 期間 (年)		SS400：SUS304									SS400単独		
			1：1			1：2			2：1					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tダム			0.73	0.63	-	0.75	0.51	-	0.53	0.34	-	0.05	0.29	0.22
O ダ ム			0.10	0.08	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.06	0.06	0.11	0.06	0.06
K調整池			0.16	0.12	0.11	0.21	-	0.16	0.13	0.11	0.11	008	0.05	0.05
* Sダム	間隔 (mm)	25	0.17	0.14	0.12	0.18	0.15	0.13	-	-	-	0.14	0.13	0.10
		50	0.17	0.13	0.11	0.17	0.14	0.12	-	-	-			
		100	0.16	0.13	0.11	0.16	0.15	0.12	-	-	-			

(注) * ：SS400 と SUS304 の間隔を変えて試験を実施　　(石川島播磨重工業技報)

（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、ステンレス鋼と炭素鋼の面積比などを変化させた場合のカップル電流を測定し、陽極となる炭素鋼の腐食傾向を調べる方法がある。また、数値解析法は、各種金属の分極測定結果より異種金属接触腐食の腐食速度を予測する方法である。

カップル電流試験の結果およびダムの戸当り部より採取した試験片を用いて数値解析により異種金属接触腐食の速度を予測した結果を以下に示す。

①カップル電流試験

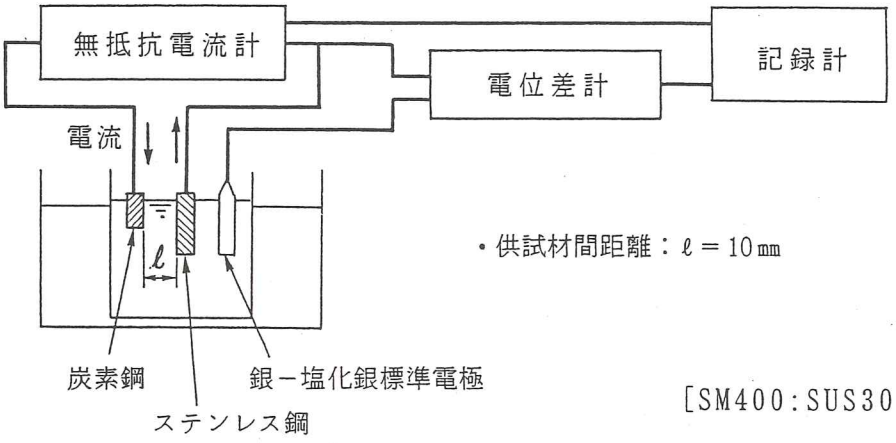
試 験 方 法：２種類の金属供試材を電気的に接続して、NaCl 水溶液に 10 日間浸漬し、カップル電流の経時変化を測定する。
試験方法を図解-2.25 に示す。

供　試　材：SUS304 と炭素鋼(SM400)カップル試験片
面積比　SUS/SM=1/1, 10/1, 100/1, 1000/1

供試材間距離：5mm, 15mm, 50mm, 100mm

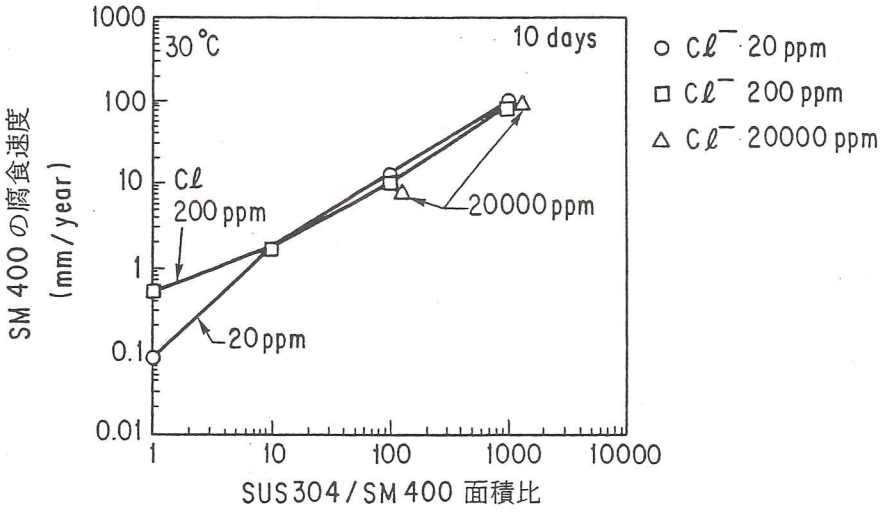
溶　　液：NaCl 水溶液(20, 200, 20000ppm)

温　　度：20℃, 30℃



図解-2.25　カップル電流試験の試験方法

試験結果：試験結果を図解-2.26 に示す。

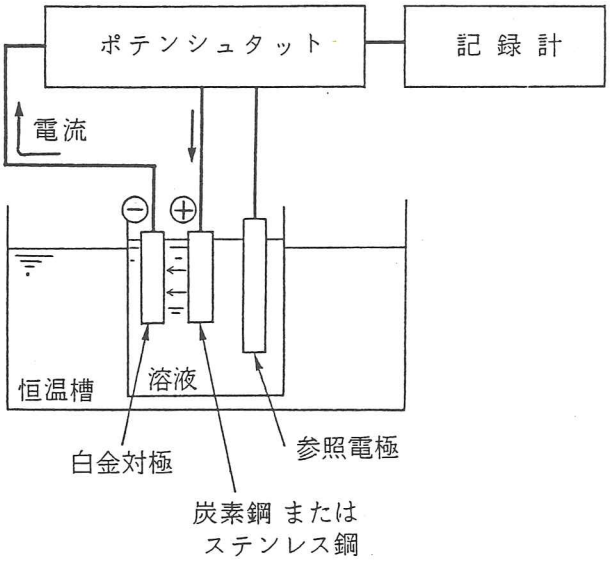


図解-2.26　異種金属接触腐食に与える面積比（ステンレス鋼：炭素鋼）の影響

②数値解析による方法

・解析方法

図解-2.27 に示す方法によってあらかじめ各金属の分極測定を行い金属表面の電気化学的特性を測定し、これを境界条件として有限要素法または境界要素法などの数値解析によって、電位･電流分布解析を行う。異種金属接触腐食による腐食速度は、金属境界より流出する電流から求める。

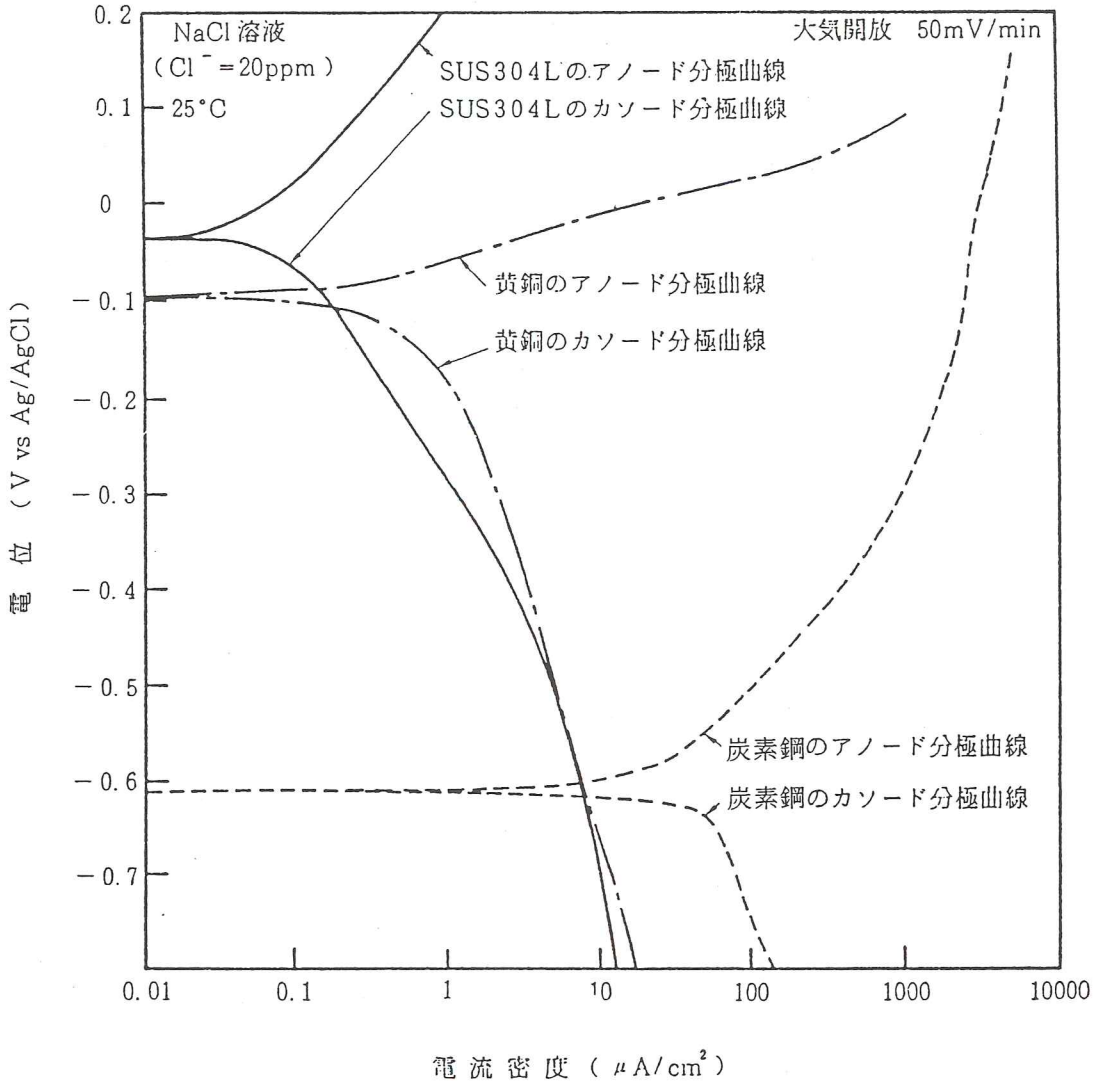


図解-2.27　分極測定の方法

・解析対象

Eダム戸当り部（炭素鋼・ステンレス鋼・黄銅併用）

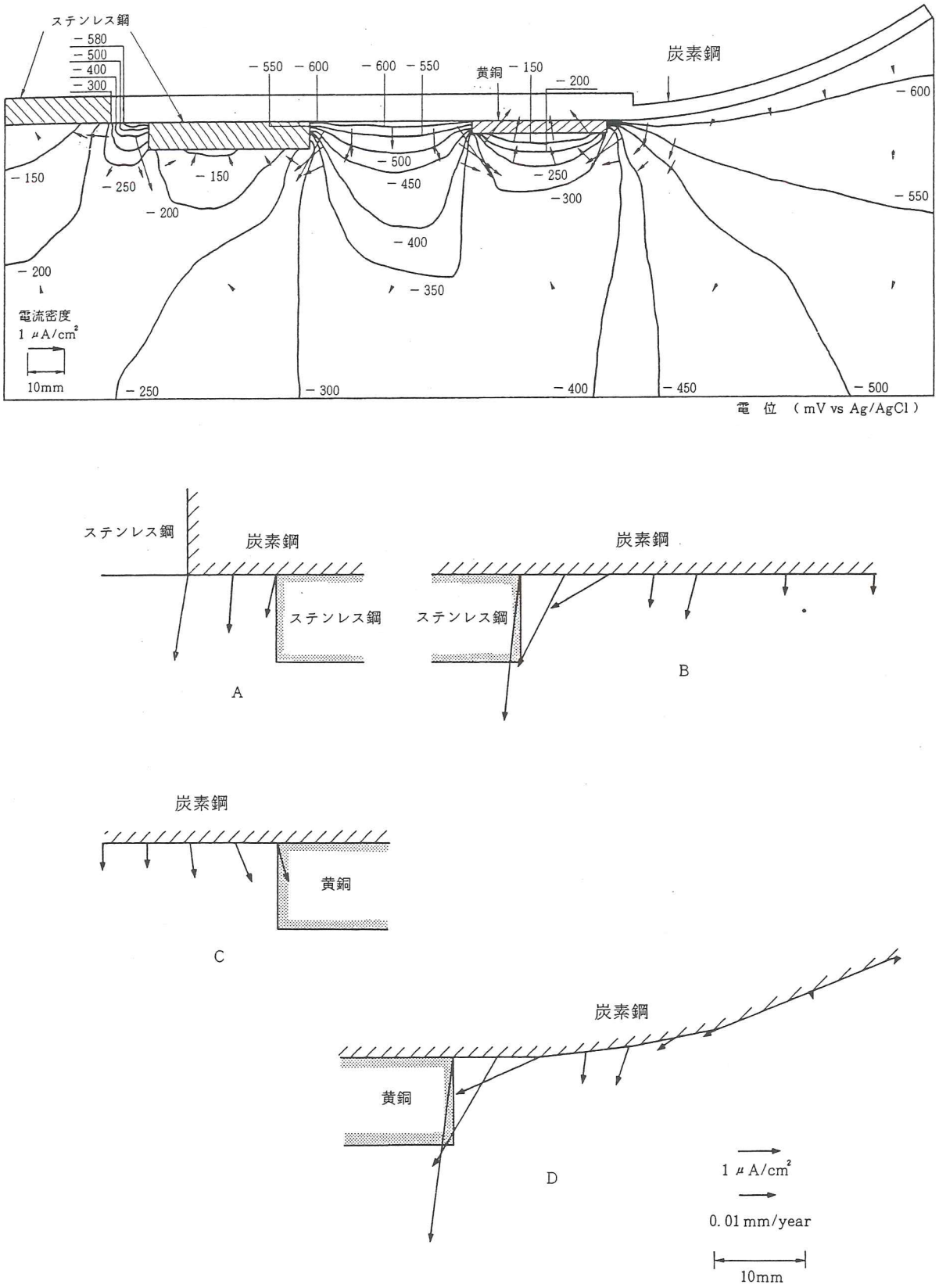
各金属の分極測定結果を図解-2.28に示す。



図解-2.28　分極測定結果（20ppm NaCl溶液中）

数値解析による電位分布および腐食電流の計算結果を図解-2.29に示す。

電気伝導度が小さいのでステンレス鋼、黄銅および炭素鋼の表面電位はそれぞれの自然電位に近く、異種金属接触部の近傍のみに急激な電位変化がみられる。腐食電流は炭素鋼からステンレス鋼および黄銅に流れ込み、異種金属接触部の近傍を調べると、ステンレス鋼および黄銅の端面からおよそ20㎜の範囲で腐食電流が大きく、その範囲外では腐食電流が1μA/cm²以下（腐食速度0.01㎜/yr以下）であるため、ほとんど異種金属接触腐食はおこらないと考えられる。



図解-2.29　戸当り部の電位分布および腐食電流の計算結果

（4）実環境での異種金属接触腐食試験結果

宮城県七ヶ宿ダム湖で行ったSUS304製プレートとSUS410およびSUS430製ボルト・ナットとの異種金属接触腐食試験結果を表解-2.14に示すように、Cr含有量の少ないSUS410とSUS430に異種金属接触腐食が発生した。特に、SUS410は顕著であった。SUS304同士は腐食が発生しなく良好であった。これらの腐食状況を写真解-2.4から2.6に示すように、SUS410のボルト・ナットは腐食が認められる。SM400は凹凸状に腐食されるがナット(SUS304製)の下はあまり腐食されず、その周りが異種金属接触腐食の影響を受けて深く腐食されている。

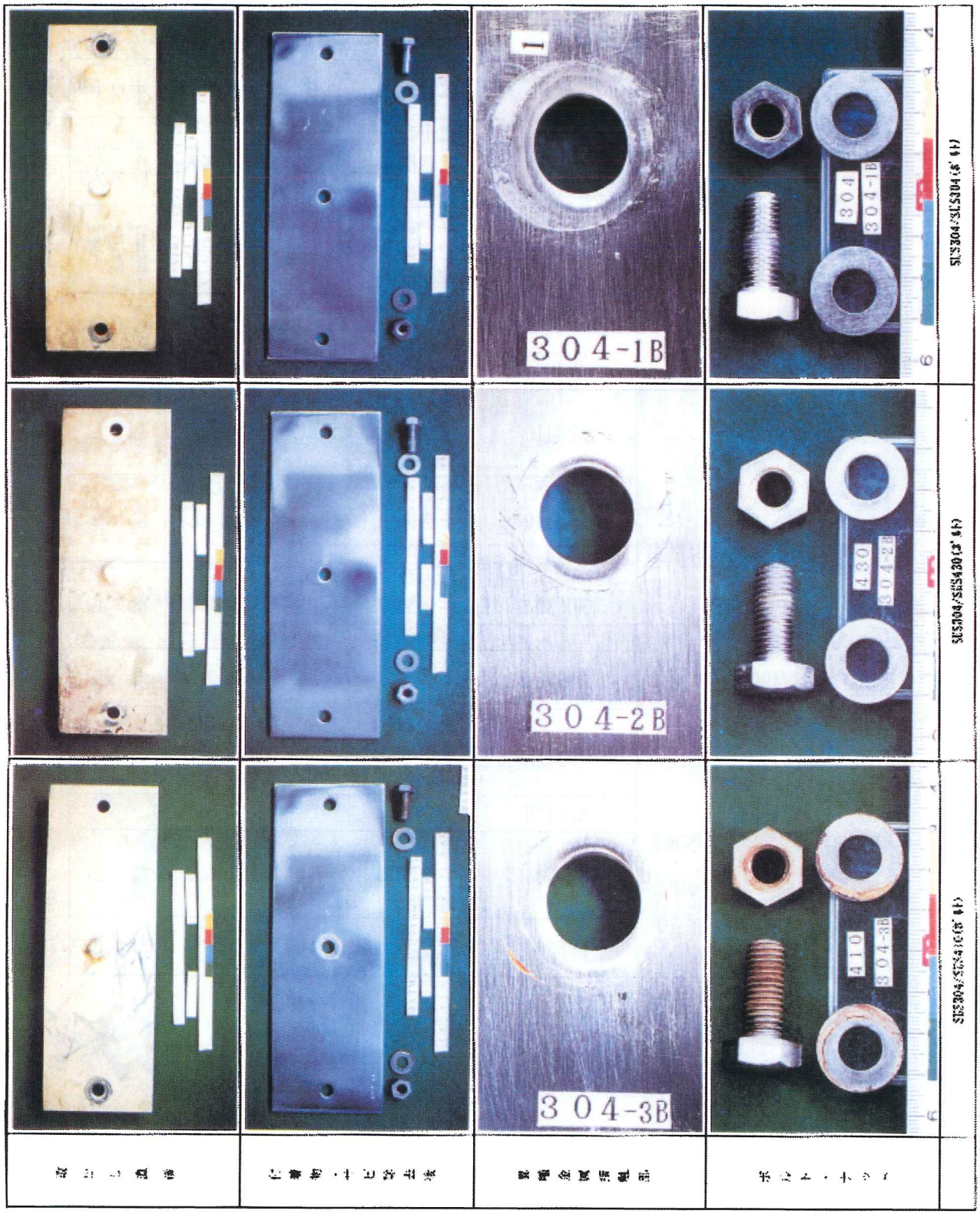
東京都江戸川河口堰上流（淡水域）と下流(汽水域)で行った水中部および干満部で、SUS304/SM400B, SUS316L/SM400BおよびSUS329J4L/SM400Bの異種金属接触腐食試験結果を表解-2.15～2.22に示す。1年間暴露試験結果では、淡水域のSM400Bは単独の腐食速度が水中部で0.16mm/yrで、干満部で0.17mm/yrであるが、すき間間隔を0, 1, 3　mmと変化させると、その時の各々の腐食速度は、それぞれ0.14, 0.16, 0.17mm/yrであった。すき間がゼロの時の腐食が小さい。その理由としては、SUS304と接触している部分がほとんど腐食していないので、全体の表面積で腐食速度を算出したためにSM400Bの腐食速度が小さくなった。そこで、SUS304と接触している面積を補正した結果、SM400Bの腐食速度が0.23mm/yrになり、暴露時間が長くなる程その値が小さくなる。図解-2.30に示すように水中部の異種金属接触腐食性の倍率は、すき間がゼロの時1.44～1.81倍、1mmの時0.96～1.17倍、3mmの時1.08～1.30倍になり、すき間が小さくなる程異種金属接触腐食が大きくなる。一方、干満部の異種金属接触腐食の倍率も水中部とほぼ同じ傾向であった。

汽水域の場合、SM400Bの単独の腐食速度は淡水域とほぼ同程度であり、腐食倍率も同じであった。一方、図解-2.31に示す様に、SM400Bとの相手材をSUS304以外のステンレス鋼(SUS316, SUS329J4L)で異種金属接触腐食試験結果、相手材を変えても腐食倍率は水中部で1.46倍、汽水域で1.01倍であった。この値は淡水域とほぼ同じ値であるが、干満部では水中部に較べて腐食性が小さい。

以上のことから、SM400Bはステンレス鋼との異種金属接触腐食性としては、淡水と汽水域（江戸川）ともに同等の腐食倍率で約1.4倍であった。干満部は乾湿繰り返しになるために腐食速度としては大きくなるが腐食倍率としては水に漬かっている時間が少ないために小さくなったものと考えられる。

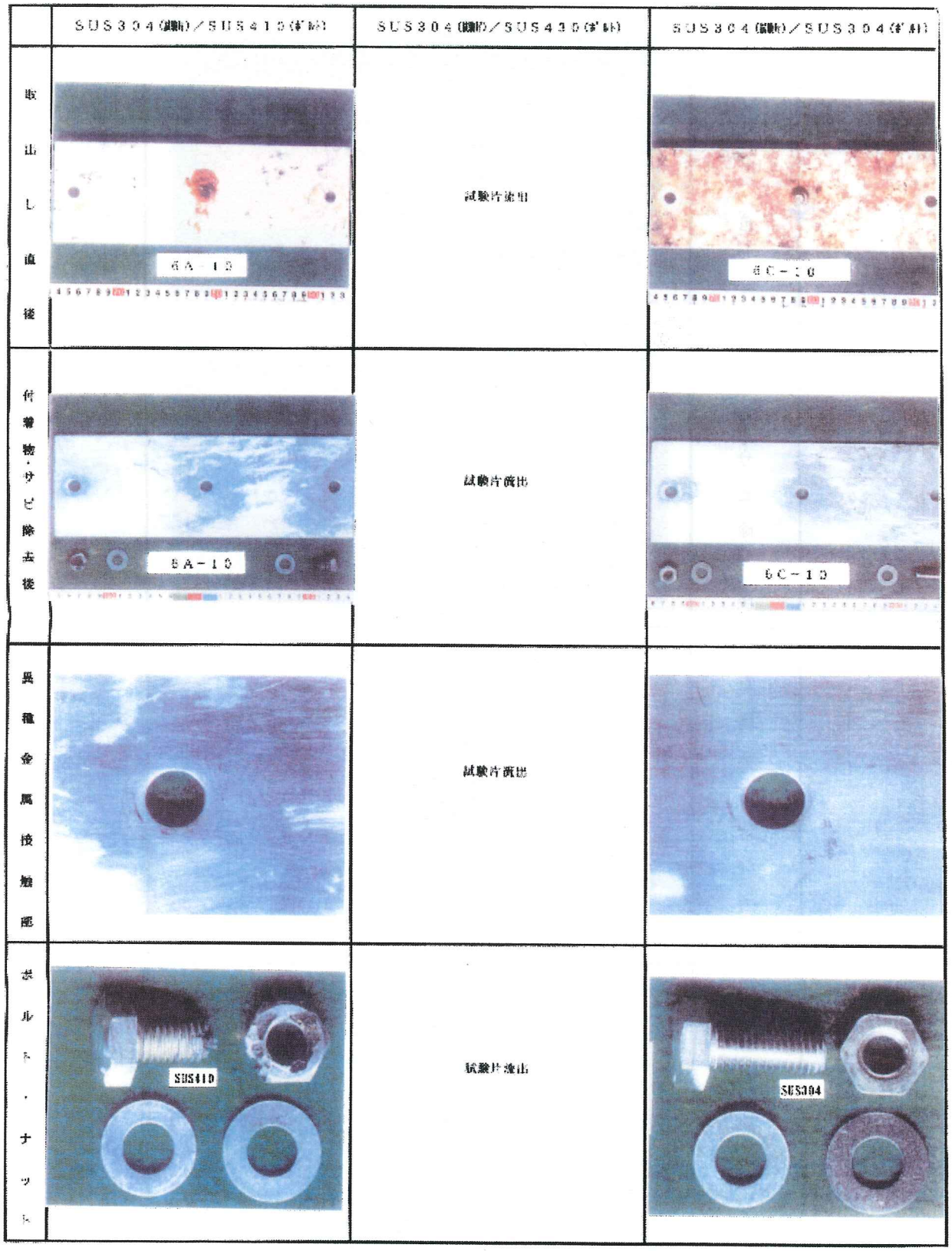
表解-2.14　異種金属接触腐食試験結果〔七ケ宿ダム湖 1，2，10年間暴露〕

暴露年数	試験片	ワッシャ	ボルト・ナット	腐食状況			
				試験片	ワッシャ SUS304	ボルト	ナット
1年間	SUS304	SUS304	SUS410	微小なすき間腐食発生	なし	腐食大	すき間腐食大
			SUS430	微小なすき間腐食発生	なし	なし	すき間腐食大
			SUS304	なし	なし	なし	なし
	SM400B		SUS304	凹凸状腐食	なし	なし	なし
2年間	SUS304	SUS304	SUS410	微小なすき間腐食発生	なし	腐食大	なし
			SUS430	微小なすき間腐食発生	なし	なし	なし
			SUS304	微小なすき間腐食発生	なし	なし	なし
	SM400B		SUS304	凹凸状腐食	なし	なし	なし
10年間	SUS304	SUS304	SUS410	微小なすき間腐食発生	なし	腐食大	腐食大
			SUS430	回収不可			
			SUS304	微小なすき間腐食発生	なし	なし	なし
	SM400B		SUS304	凹凸状腐食	なし	なし	なし

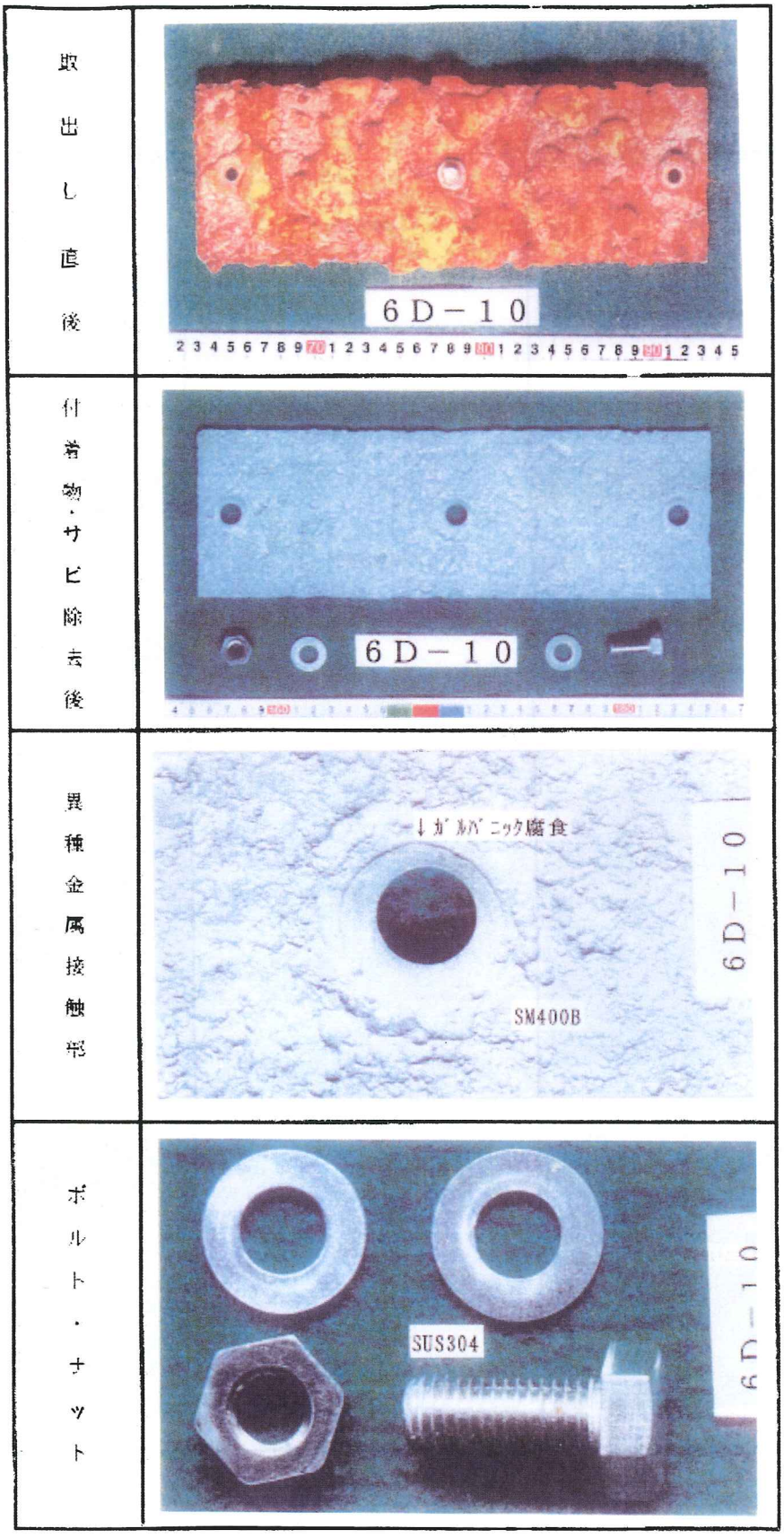


写真解-2.4　異種金属ボルトによるすき間腐食試験後の腐食状況

[七が宿ダム湖, 2 年間暴露データ]



写真解-2.5　SUS304/SUS410・異種金属ボルト・ナットによるすき間部の腐食状況(七ヶ宿ダム湖　10年間暴露試験)



写真解-2.6　異種金属ボルトによるすき間腐食試験後の腐食状況
(H3.10.30～H13.10.30　10年間, その1)

表解-2.15　江戸川河口堰上流(淡水域)における異種金属接触腐食性に及ぼすすき間の影響

[1年間、SUS/SM400Bの面積比＝1：1]

	鋼　種	すき間 (mm)	腐食速度 (A) (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度(C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率　B/C
水中部	SUS304/SM400B	0	0.135	0.232	0.161	1.44
	SUS304/SM400B	1	0.155	0.155		0.96
	SUS304/SM400B	3	0.174	0.174		1.08
干満部	SUS304/SM400B	0	0.144	0.248	0.173	1.43
	SUS304/SM400B	1	0.189	0.189		1.09
	SUS304/SM400B	3	0.197	0.197		1.14

$$\text{補正値の求め方}=\frac{\text{SM400 単独試験片の面積 (cm}^2\text{)}}{\text{SM400B 単独試験片の面積 (cm}^2\text{)} - \text{SUS304 と接触している面積 (cm}^2\text{)}}=1.72$$

SM400 単独試験片の面積 (cm^2) ＝111.64 cm^2

SUS304 と接触している面積 (cm^2) ＝47.00cm^2

表解-2.16　江戸川河口堰上流（淡水域）における異種金属接触腐食性に及ぼすすき間腐食の影響

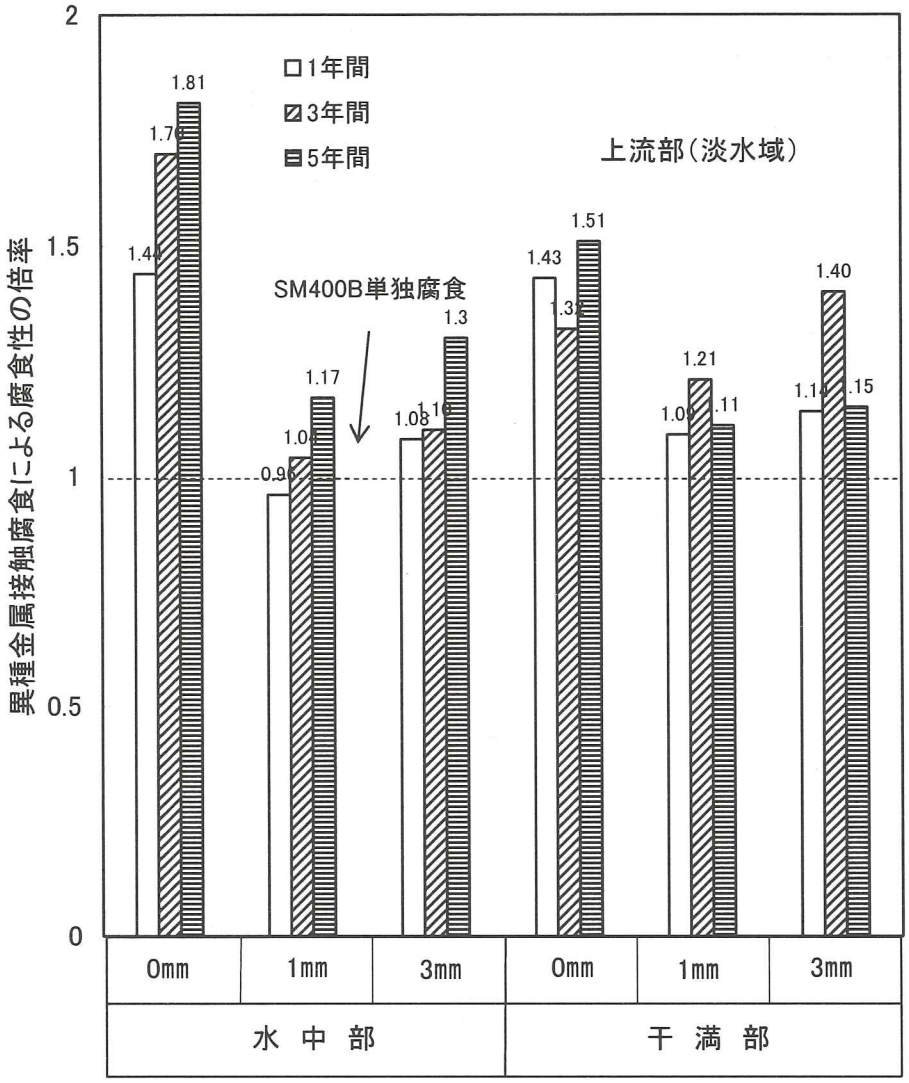
[３年間、SUS/SM400Bの面積比＝1：1]

	鋼　種	すき間 (mm)	腐食速(A) (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度(C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率　B/C
水中部	SUS304/SM400B	0	0.081	0.139	0.082	1.70
	SUS304/SM400B	1	0.085	0.085		1.04
	SUS304/SM400B	3	0.090	0.090		1.10
干満部	SUS304/SM400B	0	0.062	0.107	0.081	1.32
	SUS304/SM400B	1	0.098	0.098		1.21
	SUS304/SM400B	3	0.113	0.113		1.40

表解-2.17　江戸川堰上流（淡水域）における異種金属接触腐食性に及ぼすすき間の影響

［5年間、SUS/SM400Bの面積比＝1：1］

	鋼　種	すき間 (mm)	腐食速度(A) (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度(C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率　B/C
水中部	SUS304/SM400B	0	0.066	0.114	0.063	1.81
	SUS304/SM400B	1	0.074	0.074		1.17
	SUS304/SM400B	3	0.082	0.082		1.30
干満部	SUS304/SM400B	0	0.048	0.083	0.055	1.51
	SUS304/SM400B	1	0.061	0.061		1.11
	SUS304/SM400B	3	0.063	0.063		1.15



図解-2.30　SM400B の異種金属接触腐食によるすき間距離に及ぼす腐食性の倍率
[上流部(淡水域), SUS304/SM400B の面積比＝1：1]

表解-2.18　江戸川河口堰上流(汽水域)における異種金属接触腐食性に及ぼすすき間腐食速度の影響

[1年間、SUS/SM400Bの面積比＝1：1]

	鋼　種	腐食速度(A) (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度(C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率　B/C	
					B／C	平均
水中部	SUS304/SM400B	0.144	0.248	0.152	1.63	1.46
	SUS304/SM400B	0.125	0.215		1.41	
	SUS304/SM400B	0.118	0.203		1.33	
干満部	SUS304/SM400B	0.128	0.220	0.215	1.02	1.01
	SUS304/SM400B	0.127	0.218		1.02	
	SUS304/SM400B	0.125	0.215		1.00	

表解-2.19　江戸川河口堰下流（汽水域）における異種金属接触腐食性の倍率

[３年間，SUS/SM400Bの面積比＝1:1]

	鋼　　種	腐食速度 (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度(C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率	
					B/C	平　均
水中部	SUS304/SM400B	0.105	0.181	0.105	1.72	1.61
	SUS316L/SM400B	0.083	0.143		1.36	
	SUS329J4L/SM400B	0.107	0.184		1.75	
干満部	SUS304/SM400B	0.088	0.151	0.148	1.02	1.02
	SUS316L/SM400B	0.087	0.150		1.01	
	SUS329J4L/SM400B	0.088	0.151		1.02	

表解-2.20　江戸川河口堰下流(汽水域)における異種金属接触腐食性の倍率

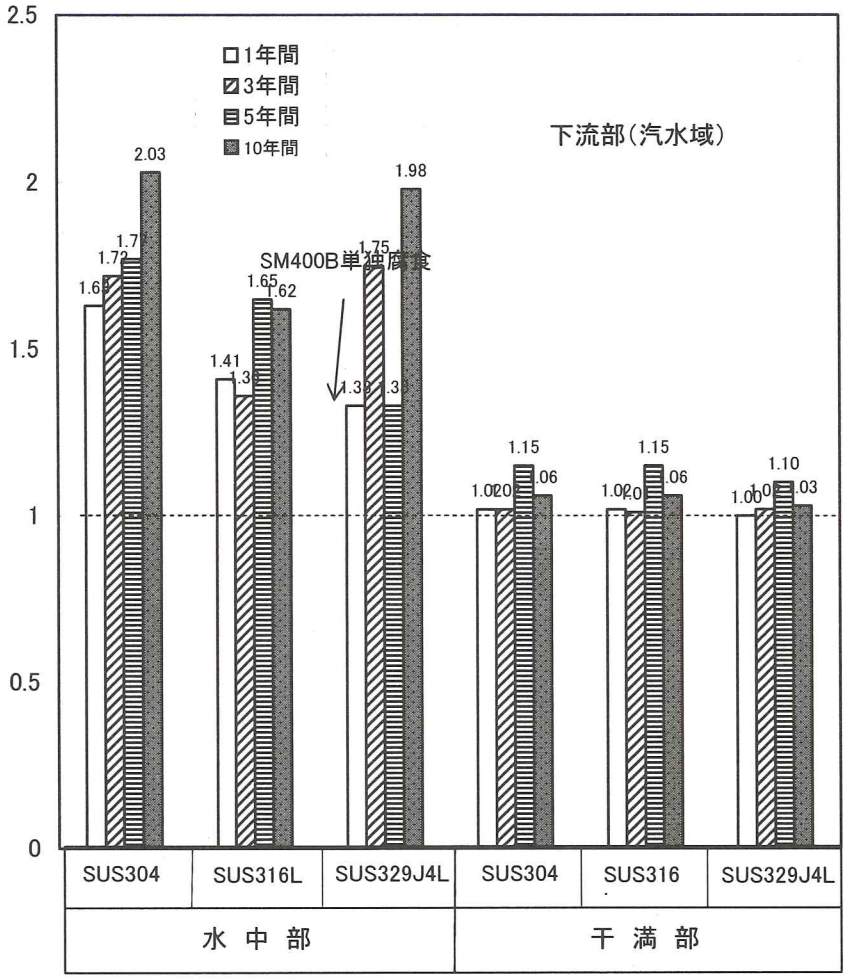
[5年間, H6.9.8～H11.9.10, SUS/SM400Bの面積比＝1:1]

	鋼　種	腐食速度 (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度 (C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率	
					B/C	平均
水中部	SUS304/SM400B	0.107	0.184	0.104	1.77	1.58
	SUS316/SM400B	0.100	0.172		1.65	
	SUS329J4L/SM400B	0.08	0.138		1.33	
干満部	SUS304/SM400B	0.068	0.117	0.102	1.15	1.13
	SUS316/SM400B	0.068	0.117		1.15	
	SUS329J4L/SM400B	0.065	0.112		1.10	

表解-2.21　江戸川河口堰下流(汽水域)における異種金属接触腐食性の倍率

[10年間, H6.9.8～H16.9.17, SUS/SM400Bの面積比＝1:1]

	鋼　種	腐食速度 (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度 (C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率	
					B/C	平均
水中部	SUS304/SM400B	0.079	0.136	0.067	2.03	1.88
	SUS316/SM400B	0.063	0.108		1.62	
	SUS329J4L/SM400B	0.077	0.132		1.98	
干満部	SUS304/SM400B	0.041	0.071	0.067	1.06	1.05
	SUS316/SM400B	0.041	0.071		1.06	
	SUS329J4L/SM400B	0.040	0.069		1.03	



図解-2.31　SM400Bの異種金属接触腐食による相手材(カソード材料)に及ぼす腐食性の倍率
[下流部(汽水域), SUS/SM400Bの面積比＝1：1]

表解-2.22 江戸川河口堰下流（汽水域）における異種金属接触腐食性に及ぼすき間の影響

［1年間，SUS/SM400Bの面積比＝1:1］

	鋼　　種	すき間 (mm)	腐食速度 (mm/yr)	補正値(B) (A×1.72) (mm/yr)	単独腐食試験片の腐食速度(C) (mm/yr)	異種金属接触腐食性の倍率 B/C
水中部	SUS304/SM400B	0	0.144	0.248	0.152	1.63
	SUS304/SM400B	1	0.153	0.153		1.00
	SUS304/SM400B	3	0.178	0.178		1.17
干満部	SUS304/SM400B	0	0.140	0.241	0.215	1.12
	SUS304/SM400B	1	0.171	0.171		0.80
	SUS304/SM400B	3	0.209	0.209		0.97

２．２．３　すき間腐食

ステンレス材料を水中部へ使用する際には、すき間が生じない構造とすることが望ましい。
やむを得ない場合には、すき間腐食を生じにくい高耐食性の鋼種を選定する。

[解　説]

すき間腐食の概念を図解-2.32に示す。

すき間内の不動態化しているステンレス鋼の不均一な部分で溶解が生じると、式(1)で示されるアノード反応と式(2)で示されるカソード反応が進行する。これらの反応により、ある時間が経過するとすき間内の酸素が消費されカソード反応が抑制される。するとOH^-の生成が減少し、すき間内の陰イオン量が減り電気的なバランスがくずれる。このため外部からCl^-を取り込み金属塩(M^+Cl^-)生成する。この金属は式(3)で示すような加水分解反応により塩酸を生じて pH が低下するのでステンレス鋼は、腐食されやすい条件になる。

アノード反応：$M \rightarrow M^+ + e$　　(1)
カソード反応：$O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$　　(2)
加水分解反応：$MCl + H_2O \rightarrow MOH + HCl$　　(3)

七ヶ宿ダム湖および江戸川の淡水域での各種ステンレス鋼のすき間腐食試験結果を表解-2.23と24に示す。SUS304, SUS316Lおよびチタンは、淡水中において耐孔食・すき間腐食性が良好である。しかしながら、SUS410とSUS430は、孔食・すき間腐食を生じやすい。たとえば軸材などとして比較的良く用いられるSUS403や戸当りレールなどに用いられるSUS410は、淡水中においてもすき間腐食が発生した事例がある。

すき間腐食の起こりやすさは、不動態皮膜が破壊される条件に依存する。すなわち、高温度, 低pH, 高塩化物濃度では、極めてすき間腐食が起こりやすくなる。

江戸川の汽水域での各種ステンレス鋼のすき間腐食試験結果を表解-2.25に示す。SUS304とSUS316Lはポリサルホン樹脂とのすき間部ですき間腐食を生じている。SUS329J4Lの溶接材は軽微なすき間腐食(0.023㎜)を生じているが、10年間暴露試験結果、ほとんどすき間腐食が進展していないことがわかった。

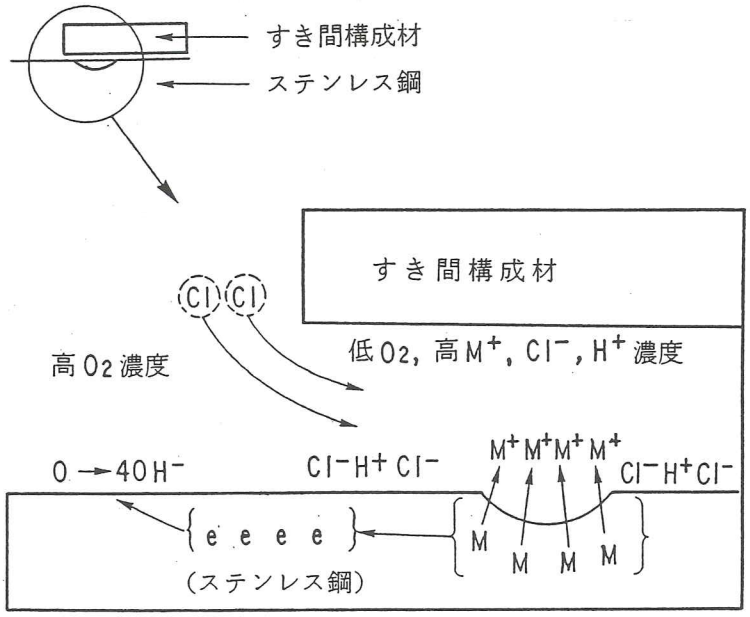
一方、耐海水鋼材のYUS270(18Ni-20Cr-6Mo-0.6Cu-2.0N)及びAC-4(21Ni-23Cr-6Mo-0.1Cu-0.25N)も耐すき間腐食性に優れている。参考として、SUS304、SUS316Lおよび SUS329J4L の最大すき間腐食深さの進展式を図解-2.33に示す。いずれの式も$y=A(X-B)^{1/3}$で求めることができる。

したがって、すき間が生じない構造とすることが望ましく、やむを得ない場合にはすき間腐食を生じにくい鋼種を選定する必要がある。しかしながら、SUS304やSUS316Lは電気防食等の併用を施すことが望ましい。なお、すき間には下記のようなものがある。

①ボルトとワッシャの合わせ面
②フランジ継手の接合面
③軸と軸穴
④ゴム押さえ板とゴムの合わせ面

⑤ドロ、スライムの付着面周辺

⑥貝などの生物の付着面周辺



図解-2.32　すき間内部での腐食反応の概念図（防食技術便覧）

表解-2.23　各種ステンレス鋼の最大局部腐食深さ測定結果

［七ヶ宿ダム湖，10年間，H3.10.30～H13.10.30］

	試験片の種類	鋼種	すき間腐食深さ(mm)						孔食深さ(mm)		
			ポリサルホン樹脂			FRP					
			年数（Y）								
			1	3	10	1	3	10	1	3	10
母材	全面腐食試験片	SUS410	—	—	—	0	—	0.125	0.013	—	0
		SUS430	—	—	—	0	—	0	0.031	—	0
		SUS444	—	—	—	0	—	0	0.025	—	0
		SUS304	—	—	—	0	—	0	0.003	—	0
		SUS316L	—	—	—	0	—	0	0.01	—	0
		SUS329J4L	—	—	—	0	—	0	0.003	—	0
		Ti	—	—	—	0	—	0	0	—	0
	すき間腐食試験片	SUS316L	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0
		Ti	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0
TIG溶接	すき間腐食試験片	SUS410	0	0	0	0.01	0.02	0.424	0.11	0.06	0
		SUS430	0	0	0	<0.01	0	0	0.07	<0.01	0.135
		SUS304	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0
		SUS316L	0	0	0	0	0	0	0.01	<0.01	0

表解-2.24　各種ステンレス鋼の最大局部腐食深さ測定結果

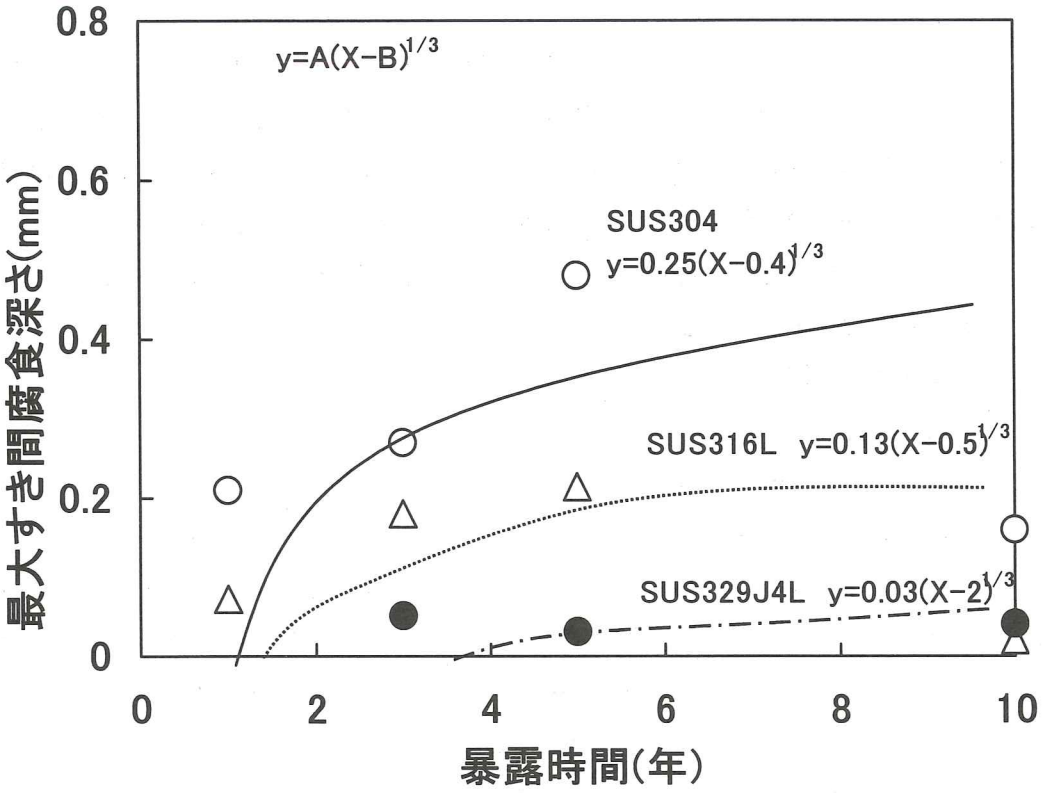
[江戸川・淡水域5年間, H8.10.4～H13.10.17]

	試験片の種類	鋼種	すき間腐食深さ(mm)						孔食深さ(mm)		
			ポリサルホン樹脂			FRP					
			年数（Y）								
			1	3	5	1	3	5	1	3	5
母材	全面腐食試験片	SUS304	－	－	－	<0.060	<0.594	0.490	0	0	0
		SUS316L	－	－	－	<0.147	0	0	0	0	0
		SUS329J4L	－	－	－	0	0	0.027	0	0	0
	すき間腐食試験片	SUS304	0	0	0	0	<0.076	<0.040	0	0	0
		SUS316L	0	0	0	0	<0.085	<0.039	0	0	0
		SUS329J4L	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIG溶接材	すき間腐食試験片	SUS304	0	0	0	0	<0.060	0	0	0	0
		SUS316L	0	0	0	0	<0.080	0	0	0	0
		SUS329J4L	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		YUS270	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AC-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表解-2.25　各種ステンレス鋼の最大局部腐食深さ測定結果

[江戸川・汽水域10年間, H6.9.8～H16.9.17]

			ポリサルホン樹脂				FRP							
			1	3	5	10	1	3	5	10	1	3	5	10
母材	全面腐食試験片	SUS304	−	−	−	−	<0.218	<0.070	<0.758	<0.186	<0.260	<0.009	<0.150	<0.028
		SUS316L	−	−	−	−	<0.065	<0.123	<0.150	0	<0.024	<0.215	<0.079	0
		SUS329J4L	−	−	−	−	0	<0.082	<0.043	0	0	0	0	0
	すき間腐食試験片	SUS304	0	0.287	<0.118	<0.155 (1点)	<0.15	<0.582	<0.463	<0.160	<0.01	<0.027	0 *1) (0.435)	<0.058
		SUS316L	0	0.204	0	0	0	<0.075	<0.277	<0.020	<0.02	0	0	0
		SUS329J4L	0	0	0	0.027 (1点)	<0.010	<0.007	<0.030	<0.041	0	0	0	0
		YUS270	0	<0.003 (3点)	−	−	<0.01	<0.057	−	−	0	0	−	−
		AC-4	0	0	−	−	0	0	−	−	0	0	−	−
TIG溶接材	すき間腐食試験片	SUS304	0	0.147	<0.176	<0.257 (9点)	<0.01	<0.125	<0.219	<0.289	0	0	0	<0.020
		SUS316L	<0.100	<0.122	0	0.330 (2点)	<0.01	<0.074	<0.019	<0.055	0	0	0	<0.013
		SUS329J4L	<0.01	0.023	0	0	<0.01	<0.064	<0.020	<0.039	0	0	0	0
		YUS270	0	<0.005 (6点)	−	−	<0.027	0	−	−	0	0	−	−
		AC-4	0	0	−	−	0	0	−	−	0	0	−	−



図解-2.33　最大すき間腐食深さ暴露時間依存性

(江戸川水門, 汽水域, 水中部, 全付すき間部での評価)

２．２．４　もらい錆

ステンレス材料の使用に当たって、ステンレス鋼表面へのもらい錆の存在に考慮する。

[解　説]

（１）ステンレス材料表面に、他の鋼材からのさび汁等が付着して生じたもらい錆をそのまま放置しておくと、錆の下部の腐食が促進されステンレス鋼に孔食を生じることがある。次のような取扱上の原因で、もらい錆が発生した事例あり注意すれば大きなトラブルは防げるが、完全な対策は実際上は難しい。もらい錆はγ-FeOOH（オキシ水酸化鉄）が主体で、α-FeOOH や Fe_3O_4（酸化鉄）が混在したものからなる。β-FeOOH は、塩化物溶液による乾湿繰り返し環境下で形成され、溶液中ではほとんど生成しない。

①炭素鋼で発生したさび汁付着

②炭素鋼との接触

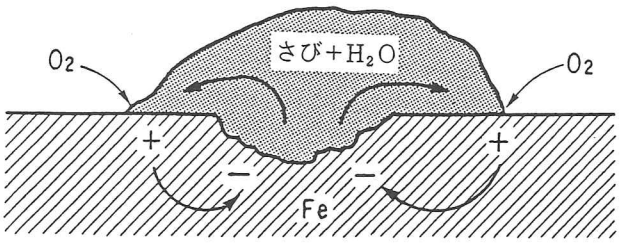
③鉄粉，酸化鉄の付着

④溶接スパッターの付着

⑤炭素鋼用ワイヤブラシなどの工具でステンレス鋼表面をこする

（２）もらい錆に起因するステンレス鋼の孔食の発生機構は、いまだ十分に解明されていないが一般的にはさびが表面に付着して、もらい錆直下の酸素濃度が低くなり通気差電池または酸素濃淡電池を形成して腐食が促進されるためといわれている。もらい錆による通気差電池の例を図解-2.34 に示す。図解-2.35 に示す様に SUS304 は塩化物イオンがある限界濃度以上（RT，1000ppm）存在すると孔食が発生する。さらに、γ-FeOOH と Fe_2O_3 が共存すると孔食が発生する限界塩化物イオン濃度が小さくなる。しかし、河川・ダム施設の場合、塩化物イオンが 30ppm 以下ではもらい錆が共存しても孔食は発生しない。

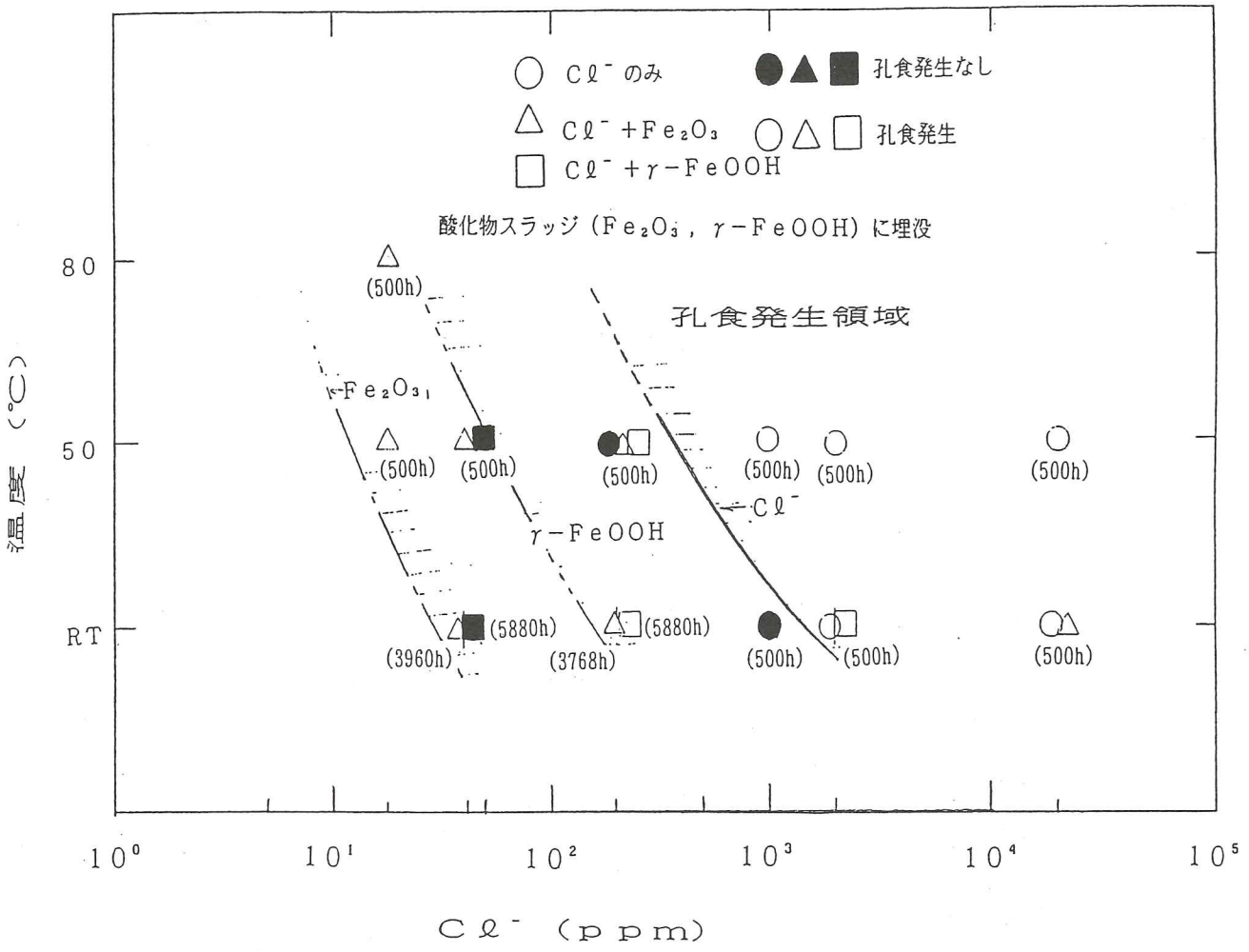
また、図解-2.36 と 37 に示すように、もらい錆が付着した鋼材の腐食電位は上昇し、一方孔食電位が低下することによって著しく局部腐食性が高まる。さらに、図解-2.38 に各種さび膜のイオン選択透過性を判断するために、膜電位および輪率を示した。もらい錆の主成分のγ-FeOOH　はアニオンの輸率が高いため塩化物イオンが透過しやすので、さび層下では塩化物イオンが濃化しやすくなる。



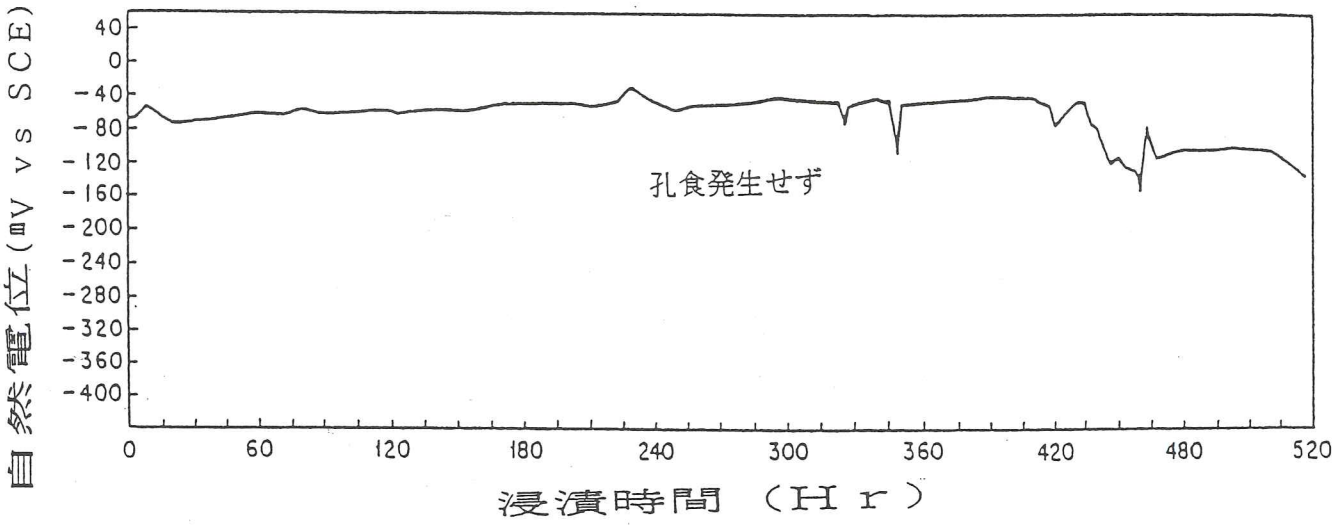
図解-2.34　鉄の表面に存在するさびによって形成された通気差電池（腐食反応とその制御）

（３）もらい錆の影響については、どの程度の量のさびがあるとステンレス鋼に対して悪影響か、淡水中には塩化物イオン濃度が極めて低い場合にどの程度の悪影響か定量的なことはほとんどわかっていないの

が現状であるので、現時点では極力もらい錆を除去することが望ましい。

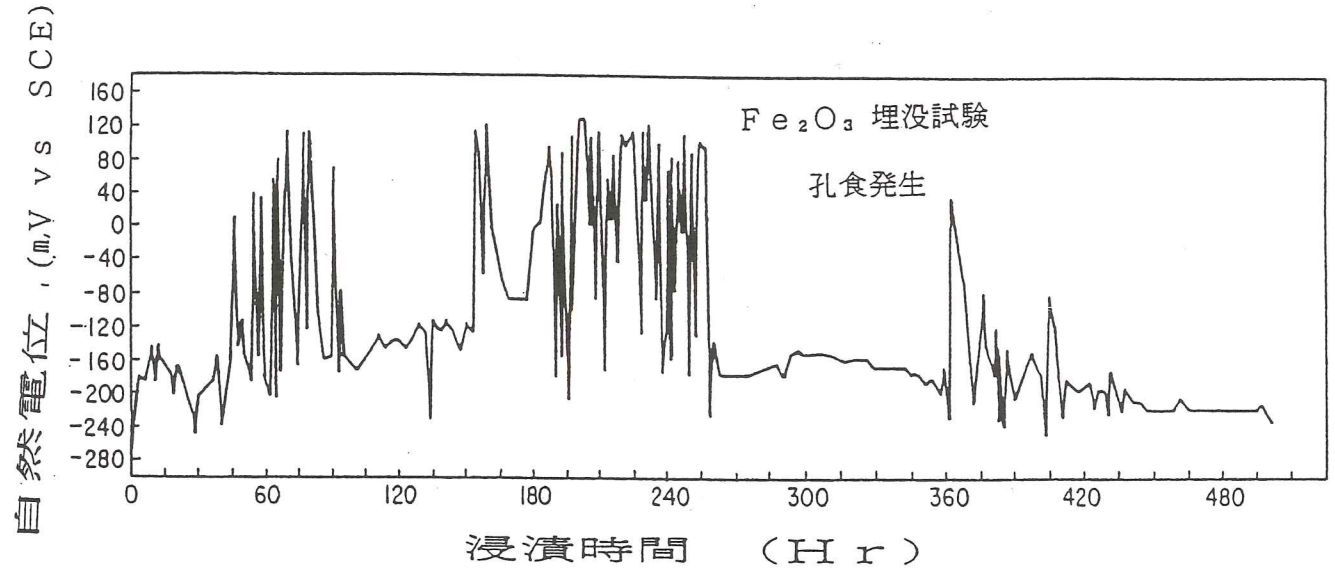


図解-2.35　SUS304の孔食感受性に及ぼすもらい錆の影響



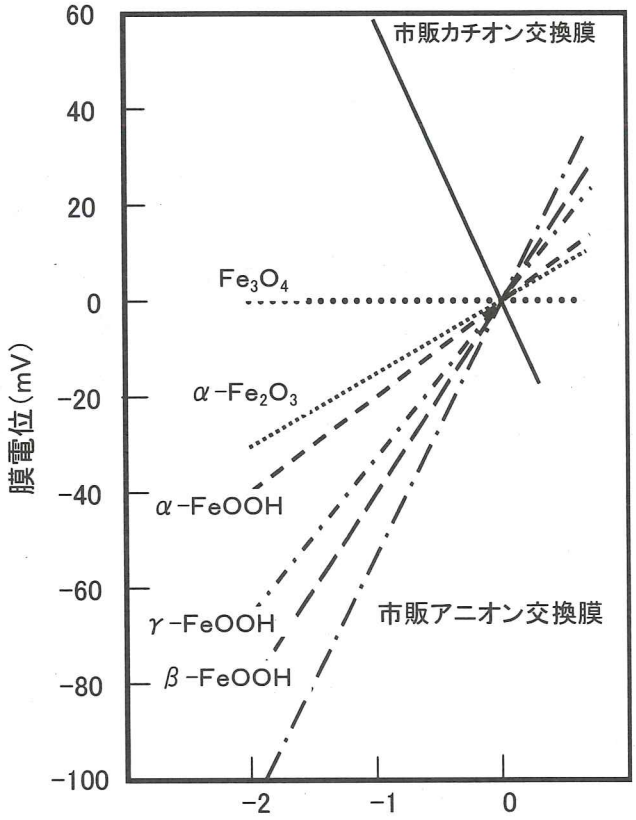
図解-2.36 20ppmCl^-単味溶液中でのSUS304の自然電位の経時変化

[50℃, 21日浸漬]



図解-2.37 Fe_2O_3に埋没したSUS304の自然電位の経時変化

[2000ppmCl^-+20gFe_2O_3, 50℃, 21日浸漬]



（a）膜電位

（b）さび膜のアニオン、カチオンの輸率

膜(Membrane)	t_-	t_+
α-FeOOH	0.66	0.34
β-FeOOH	0.84	0.16
γ-FeOOH	0.77	0.23
Fe_3O_4	0.52	0.48
α-Fe_2O_3	0.63	0.37
市販アニオン交換膜	0.95	0.05
市販カチオン交換膜	0.06	0.94

図解-2.38　人工さび膜のイオンの選択透過性（幸ら、材料と環境、47, 186(1998)）

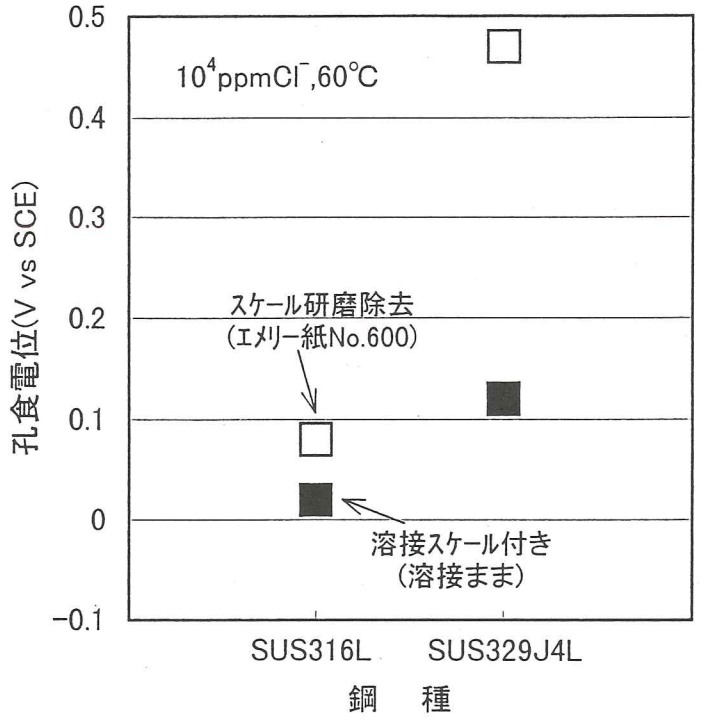
２．２．５　溶接スケールの影響

ステンレス材料の溶接施工後、そのまま使用すると溶接スケールの存在下で耐食性が劣化する場合がある。

[解　説]

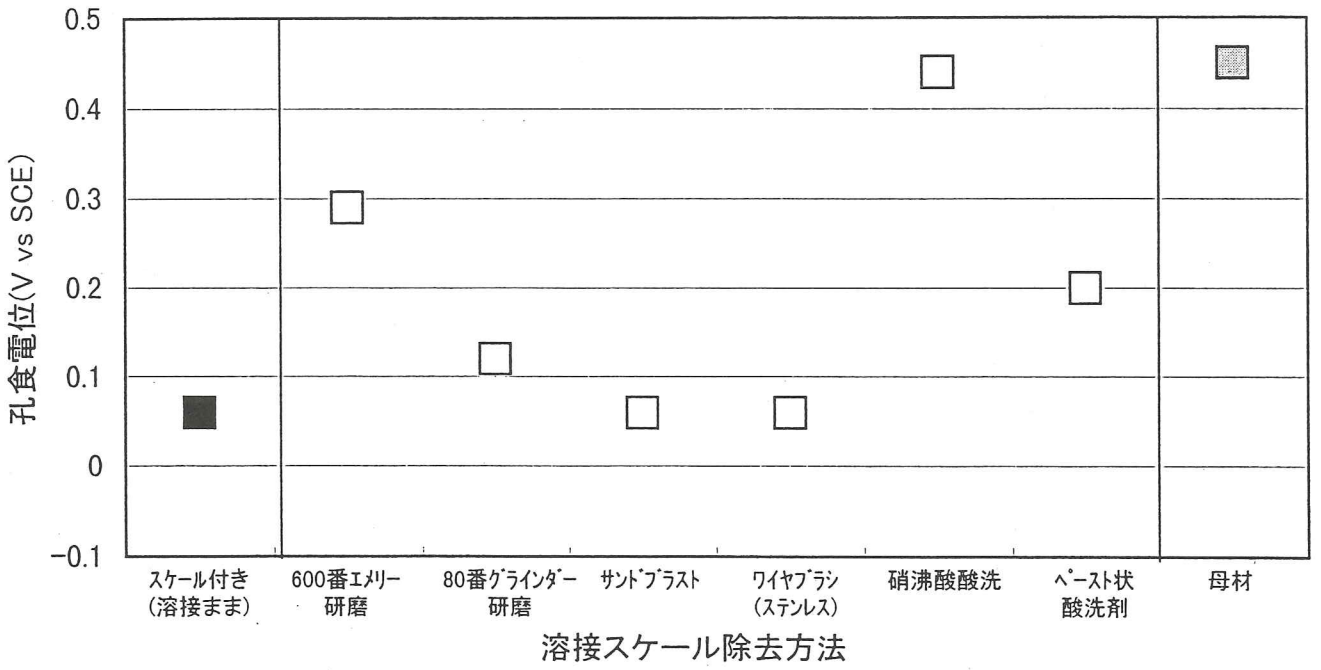
ステンレス材料を溶接した場合、溶接金属部および熱影響部に紫色あるいは褐色の溶接スケール（酸化物皮膜）が生成する。そのまま使用した場合、図解-2.39 に示すように孔食電位が大幅に低下するため耐孔食性がかなり劣化し、環境によっては孔食を発生する場合がある。溶接スケール生成部には母材に生成するような強固な不動態皮膜が生成しないため、塩化物イオンによるアタックを受けやすくなるためである。実際熱影響部の不動態皮膜における Cr の濃化は溶接スケール存在下では低いことが確認されている。

防食対策としては、溶接スケールの生成しない溶接施工の実施あるいは溶接スケールの除去がある。このうち、前者は工場溶接においてはＴＩＧ溶接の場合にはシールドガス流量を多くすることで可能であるが、現場溶接施工時には管理が困難である場合が多い。そのため、通例何らかの方法での後者の溶接スケール除去がなされるケースが多い。淡水中においては、4 種類の溶接スケール除去法（溶接のまま，浸漬酸洗，塗布酸洗，グラインダー仕上げ）の効果を検討した。4 ヶ所（江戸川、七ヶ宿、奈良俣、大町）において 3 年間の淡水中暴露試験を行ったが、いずれにおいても孔食などの局部腐食の発生は認められなかった。しかしながら、図解-2.40 に示すように、塩化物イオン濃度の高い場合には、サンドブラストやワイヤブラシあるいは粗研磨による除去では耐孔食性の改善は望めない。滑らかな表面が得られる番手の高いエメリー紙による研磨除去や酸洗による除去が望ましい。最も好ましいのは沸硝酸による酸洗除去であるが、廃液の処理問題もあるため工場では可能であるが、現場での実施は不適当である。



図解-2.39　ステンレス鋼の熱影響部の溶接スケールによる耐孔食性の劣化)

（ＴＩＧ共金溶接材）　　（ステンレス鋼便覧第３版）



図解-2.40　耐孔食性に及ぼす溶接スケール除去方法の効果

[SUS329J4L, TIG 共金溶接材, 人工海水, 80℃]

(幸英昭：材料と環境 40(1991))

２．２．６　付着生物の影響

ステンレス材料に生物が付着すると耐食性が低下する場合がある。

［解　説］

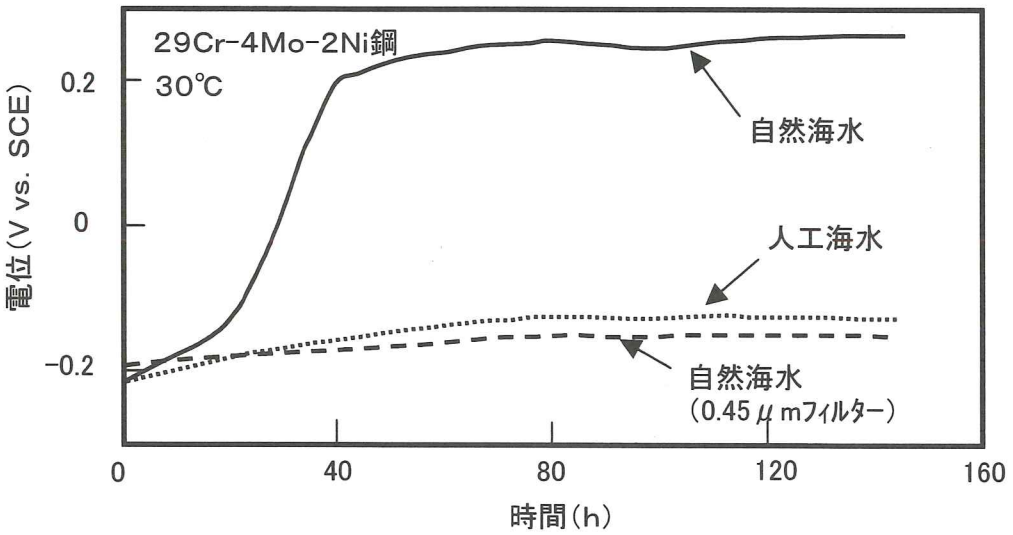
大気と接し酸素の供給の十分な溶液環境下において、微生物がステンレス材料に付着すると、ステンレス材料の自然電位が著しく貴化することが多い。例えば図解-2.41 に示すように、微生物付着のない場合（人工海水中およびフィルターでろ過した海水中）に比して微生物が付着すると、自然電位は数 100mV 高くなっている。実際、表解-2.26 に示すように、付着物中にアデノシン 3 リン酸（ＡＴＰ）が検出されており、微生物が付着していることが確認されている。また、淡水の七ヶ宿ダム湖でステンレス材料表面に付着した微生物の同定結果を表解-2.27 に示すように、多種類の微生物が付着していることがわかる。電位貴化の原因としては、図解-2.42 に示すようなメカニズムが考えられている。

水門環境において長期水中暴露したステンレス材料の腐食電位は、100～400mV vs SCE 程度に高くなっており、材料と環境とで決まる孔食電位あるいはすき間腐食電位よりも自然電位が高くなると、局部腐食感受性が高まる。付着した微生物の同定結果の一例を表解-2.27 と図解-2.43 に示す。

以上のことから、材料選定時に微生物の付着による電位が高くなることを考慮して、材料の鋼種を選定する必要がある。また、図解-2.44 に示すようにステンレス材料と炭素鋼とが接触するとステンレス材料の電位は炭素鋼の電位に近づきステンレス材料は防食されるが、相手側の炭素鋼は異種金属接触腐食を受ける。

多くの暴露試験結果から、ステンレス材料全体が水中にある場合、七ヶ宿, 大町ダム等では SUS304 は微生物腐食の成長は顕著でなかった。しかしながら、例えば汽水域でステンレス材料構造体の一部が、川底の土壌中に埋没し、残りが水中に存在する場合には、溶存在酸素濃度の高い水中部がカソード，溶存酸素濃度の低い土中埋没部がアノードとなるマクロセル（酸素濃淡電池）が形成され著しい局部腐食を土中埋没部が受けることがあるので、注意を要する。写真解-2.7 に示す SUS304 製の大型試験体を河口から約３ｋｍ上流の汽水域の川底に、川底の砂が供試体内部に流れ込むようにして暴露した。その試験結果を図解-2.45 と 2.46 に示す。土中設置試験片では、約 3 ヶ月間の試験で砂の堆積した部位による多数の孔食が発生し、溶接金属部の最大腐食孔食深さは 3.6mm であった。一方、水中設置試験片でも、最大 1.7 mm孔食が生じた。いずれも孔食タイプは密閉型であり、δ-フェライト層が優先的に溶出していた(写真解-2.8)。

この場合、土中埋没部では硫酸塩還元菌の作用で硫化物が生成し、ステンレス材料の局部腐食感受性を著しく高めるものと考えられる。大カソード，小アノードの組み合わせの場合、アノードにおける局部腐食は著しく加速される。また、汽水域においては、満潮時に川底の土中に浸入した塩化物イオンは干潮時においても 3.3.2 に後述するように、高濃度を維持することが多く、腐食環境として厳しいことに注意が必要である。このマクロセルによる土中部での局部腐食メカニズムを図解-2.47 に示す。また、供試体の砂に覆われていた天井部の付着微生物の分析結果を表解-2.29(前章 2.2.1(3)の箱型試験片)に示す。硫酸塩還元菌が検出され、砂に被われると嫌気性となり H_2S が生成していることが確認された。



図解-2.41　自然海水および人工海水中でのステンレス鋼の自然電位変化

[天谷尚, 幸英昭：日本金属学会誌 98, 775 (1994) より]

表解-2.26　自然海水中に１週間浸漬した耐海水ステンレス鋼の表面付着物中のＡＴＰ分析結果

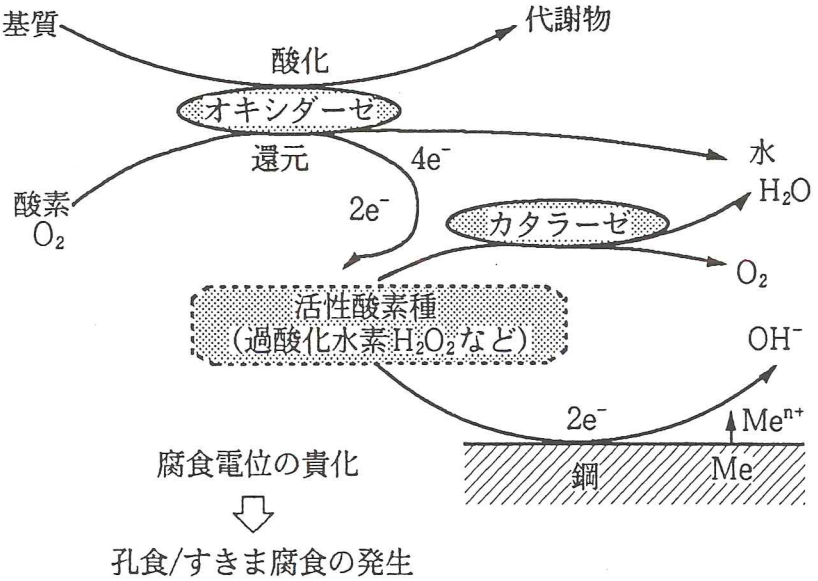
（海南市海岸付近の海水中に１週間浸漬）

試　料	ATP量(pmol/L)
1	1470
2	2070

表解-2.27　淡水中におけるステンレス材料に付着した微生物の同定結果

（七ヶ宿ダム湖水中 91 間浸漬　H6. 7. 28～10. 27　SUS304　アピ同定検索法による）

分離菌番号	同定結果	アピ同定確率(%)
1	Rhodococcus equi	97.6
2	Oerskovia spp	99.9
3	Bacillus subtilis	90.9
4	Bacillus pumillus	90.9
5	Bacillus megaterium	99.9
6	Aeromonas salmonicida	82.9
7	Pseudomonas fluorescens	79.3
8	Rhodococcus equi	93.0
9	Aeromonas sobria	97.6



図解-2.42　海水中におけるステンレス鋼の微生物腐食メカニズム
(好気性バクテリアによる微生物腐食)
[天谷尚, 幸英昭：日本金属学会誌 98(1994)]

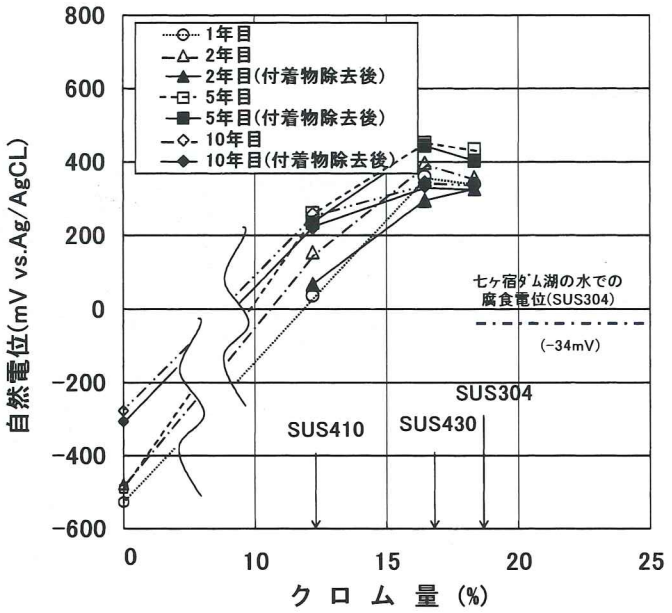
表解-2.28　各種表面処理したステンレス鋼の自然電位と付着微生物
(暴露2年後, 母材)

(電位：mV vs SCE)

表面処理	付着物の有無	江戸川下流	七ヶ宿ダム湖	奈良俣ダム湖	大町ダム湖
試料No.1 SUS304D 浸漬酸洗	有	-103	238	301	398
	無*	-186	245	261	376
試料No.2 SUS304G グラインダ仕上げ	有	50	340	284	397
	無*	-166	151	253	388
試料No.3 SUS304 黒皮まま	有	202 (Pseudomonus)	372	266 (Variovorax)	395
	無*	-145 (Actinomyces)	139	245	360
試料No.4 SUS304 酸洗ペースト	有	5	106	281	428
	無*	-147	-125	265	396
試料No.5 SUS329J4L 浸漬酸洗	有	-155	434	362	441
	無*	-194	224	357	415
試料No.6 SUS316L 浸漬酸洗	有	241 (Mycobacterium)	480 (Mycobacterium)	339	455
	無*	27	282 (Leptothrix)	331	428
試料No.7 SS400 (炭素鋼)	有	-626	-357	-500 (Mycobacterium)	-488
	無*	-634	-344	-504	-495

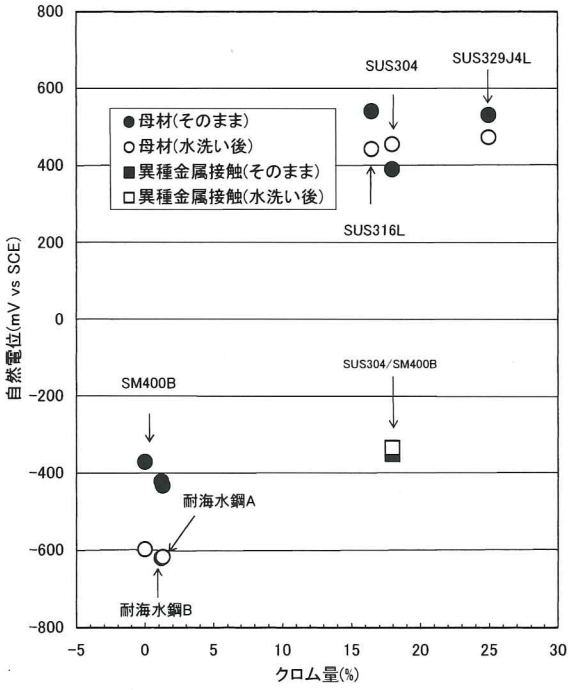
*：ガーゼを用いて試験片表面をこすって付着生物を除去したもの

(　)：付着した微生物の同定結果



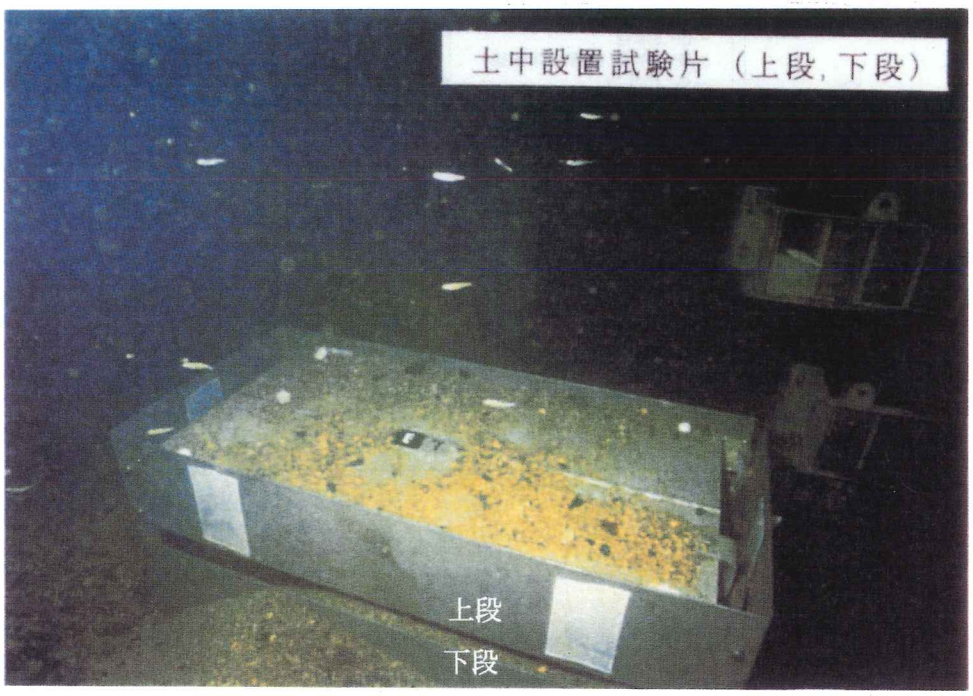
図解-2.43　七ヶ宿ダム湖暴露試験 10 年経過までの自然電位測定結果

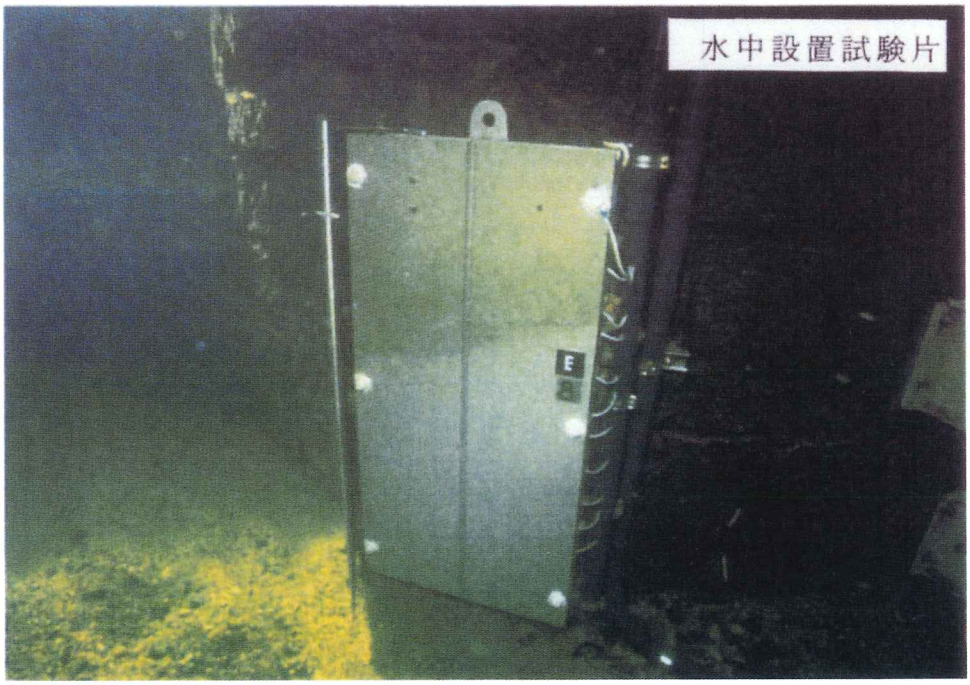
[すき間付き試験片 H3.10.30～H13.10.30]



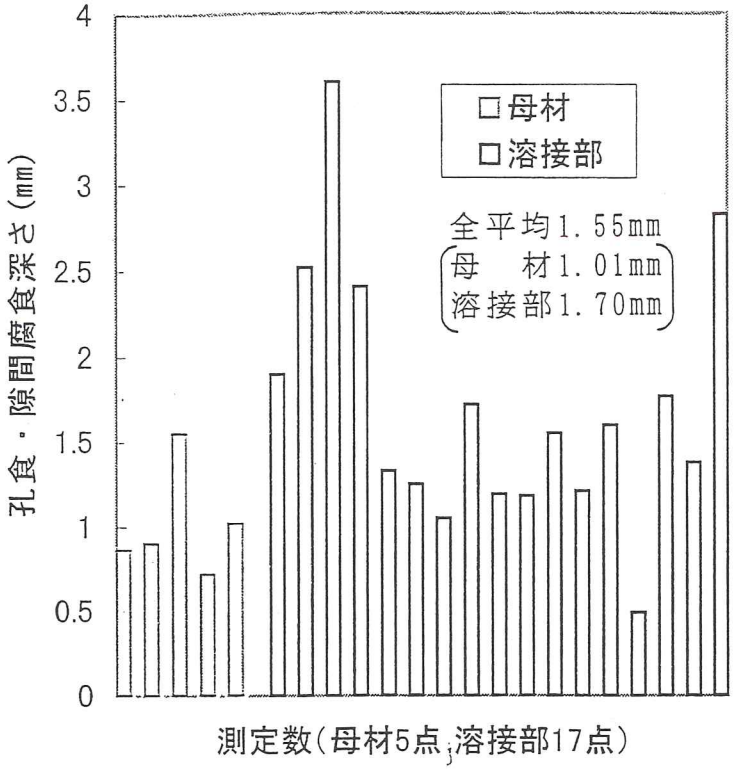
図解-2.44　母材腐食試験における自然電位（江戸川上流水中部）

(江戸川, 淡水域, 水中部, 5 年間, H8.10.4～H13.10.17)

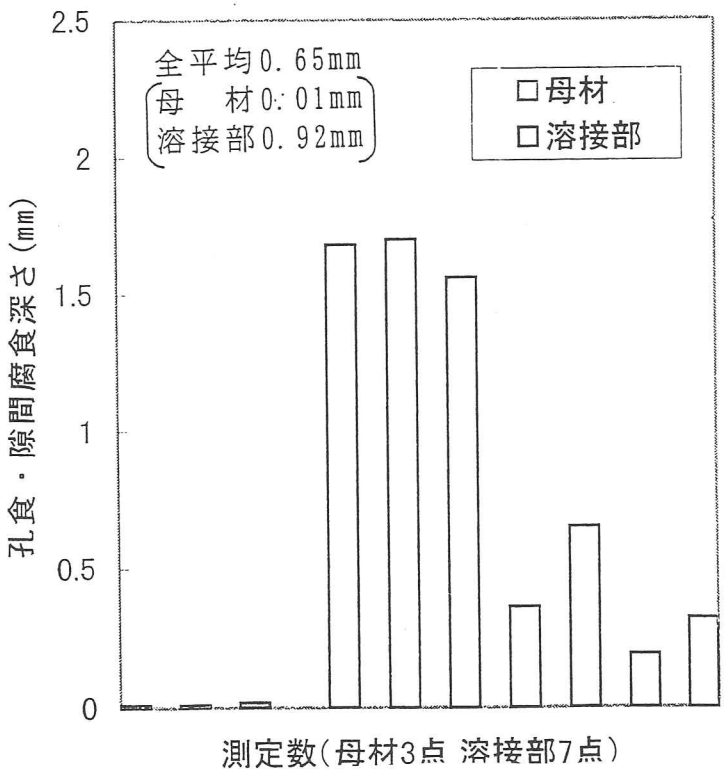




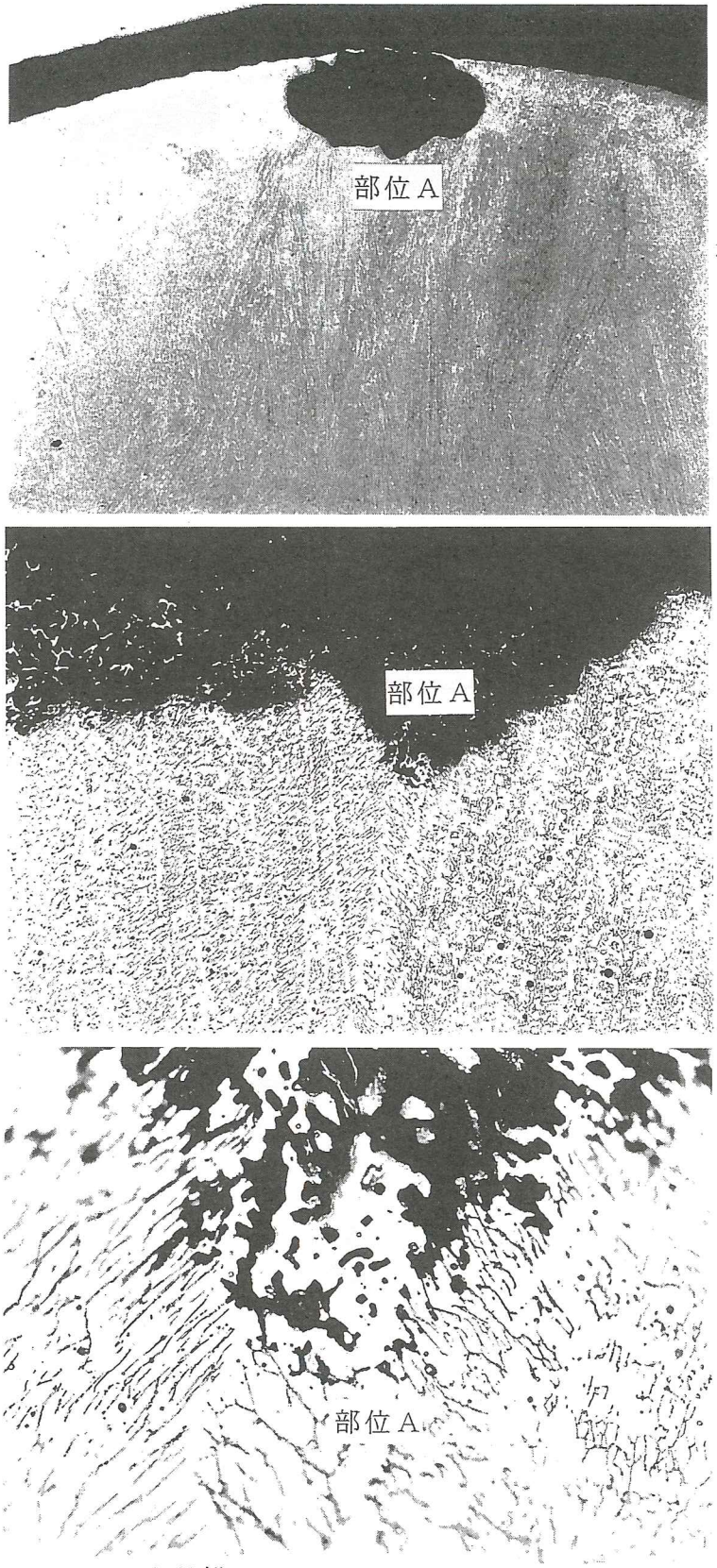
写真解-2.7　○河口堰における大型試験片の設置状況
(SUS304, H9.7.10～H9.10.29)



図解-2.45　板状大型試験片(土中設置試験片)〔下段〕・上面の孔食・すき間腐食測定結果
(SUS304, H9年7月10日～H9年10月29日)



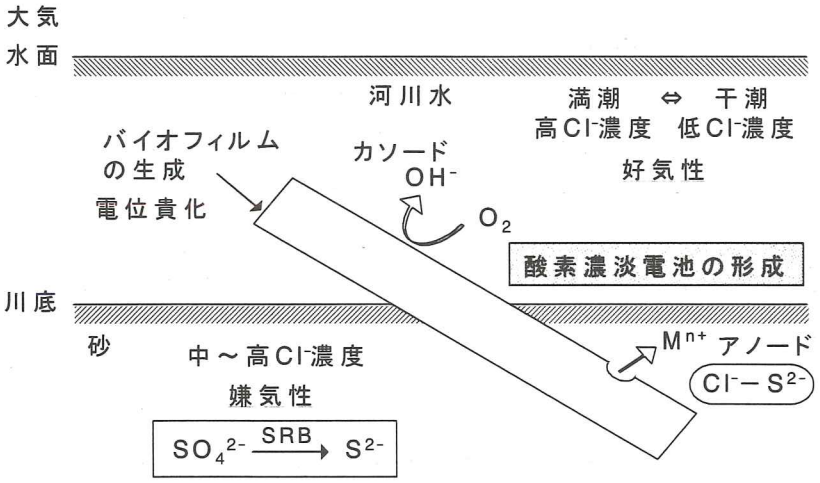
図解-2.46　板状大型試験片(水中設置試験片)・内面
孔食・すき間腐食測定結果
(SUS304, H9年7月10日～H9年10月29日)



マークM部

写真解-2.8　板状大型試験片(土中設置試験片)〔上段・外面〕の溶接部に発生した孔食・すき間腐食測定結果

(SUS304, H9年7月10日～H9年10月29日)



図解-2.47　一部が川底に埋まったステンレス構造物のマクロセル形成による孔食発生メカニズム

(守屋ら、材料学会腐食防食部門委員会資料、No. 237, P. 3 (2004))

表解-2.29　付着微生物の分析結果（単位：CFU/ml、1997 年 7 月 10 日開始）

	４ヶ月後	１年後	６年後
一般性菌数	1.1×10^{5}	8.6×10^{4}	1.5×10^{5}
真菌数	1.7×10^{2}	7.5×10	5.1×10
放射細菌	１０以下	1.1×10	1.0×10
ＳＲＢ	1.6×10^{4}	2.2×10^{3}	4.0×10
鉄細菌	不検出	不検出	不検出

第３章　ステンレス材料の防食設計

３．１　防食設計の基本

３．１．１　留意すべき腐食特性

ステンレス材料を河川・ダム施設に適用する際には、使用環境に適した鋼種の選定を行うことが基本である。その際、ステンレスの耐食性を確保するために、以下の項目に留意しなければならない。
(1)異種金属接触腐食，(2)すき間腐食，(3)もらい錆の影響，(4)溶接スケール，(5)生物付着の影響

［解　説］

ステンレス材料は、一般に炭素鋼に比べて耐食性が優れている。このため、河川・ダム施設では再塗装などの維持管理を軽減することを目的として、ステンレス材料を使用することが多い。しかし、ステンレス材料を使用することによって新たな腐食問題が生じることもあるので、その耐食性を十分に発揮させるためには、以下の項目について十分留意点する必要がある。

(1)異種金属接触腐食

異種金属接触腐食が生じないようにするためには、以下の点に十分留意しなければならない。

①炭素鋼とステンレス鋼の混用を極力避ける。

混用が避けられない場合には、ステンレス鋼と接触する炭素鋼の防食に十分配慮しなければならない。

②ステンレス材料中の炭素鋼の一部分が露出する構造を避ける。

ステンレスクラッド鋼を使用する場合は、端部の炭素鋼が露出しない構造とし、原則として孔あけ加工は行わない。

③ステンレス鋼と炭素鋼を混用する場合の炭素鋼部分の防食には、アルミニウムや亜鉛などの被覆（溶射，めっき）を用いてはならない。

④ステンレスクラッド鋼の板継ぎ溶接部では、適切な溶接施工とする。

ステンレスクラッド鋼の板継ぎ溶接部は、適切な溶接が行われないと、溶接線に沿って発錆することがある。このような溶接欠陥が炭素鋼に達していると貫通孔を生じる危険性がある。したがって、溶接欠陥の発生を防ぐためには、適切な溶接施工を行わなければならない。

(2)すき間腐食

狭いすき間のある箇所でのステンレス鋼の使用は、すき間腐食の原因となるので軸と軸穴のはめ合いのようなすき間部を極力設けないようにしなければならない。

(3)もらい錆の影響

ステンレス鋼の表面に炭素鋼の粉末や溶接スパッタなどが付着したり、炭素鋼材が接触したまま放置すると炭素鋼が腐食してもらい錆を生じる。もらい錆は、美観を損なうばかりでなく、放置しておくと孔食の原因となることもあるので、施工や養生に注意し、もらい錆が生じた場合には、早期に除去しなければならない。

(4)溶接スケール

ステンレス材料を溶接した場合、溶接金属部および熱影響部に溶接スケールが生成する。これをそのまま使用すると耐孔食性がかなり劣化し、環境によっては孔食を発生する場合がある。防食対策としては、溶接スケールの生成しない溶接施工の実施あるいは溶接スケールの除去がある。最も好ましいのは沸硝酸による酸洗除去であるが、廃液処理の問題があるので現場では不適切である。

(5)生物付着の影響

大気と接し酸素の供給の十分な好気性環境下において、微生物が付着すると、ステンレス材料の自然電位が著しく貴化することが多い。このとき自然電位が孔食電位あるいはすき間腐食電位よりも貴になると局部腐食感受性が高まる。塩化物イオン濃度が高い環境下では特に注意を要する。このためこのような環境下での材料の鋼種選定にあたっては、微生物付着の影響を考慮して決定する必要がある。

以上、ステンレス材料を河川・ダム施設に使用する際には、その耐食性を確保するためにステンレス材料特有の腐食特性に十分注意して、環境に合わせた材料を選定し、構造詳細を決定しそして適切な溶接施工することがその基本である。

3．1．2　ステンレス材料と使い分け

ステンレス材料の仕様とその使い分けの基本事項を以下に示す。
（1）最小板厚
（2）ステンレスクラッド鋼合せ材
（3）ステンレス鋼とステンレスクラッド鋼の使い分け
（4）両面ステンレスクラッド鋼

〔解　説〕

(1)最小板厚

ステンレス鋼の最小板厚は、摩耗に対する余裕厚を含め原則として８mmとする。ステンレスクラッド鋼では合せ材の最小板厚は２mm。母材は６mmとする。合せ材の厚さは、摩耗量または突合せ溶接のある場合には溶接施工性などを考慮して２mmを越えてもよい。

(2)ステンレスクラッド鋼合せ材

ダム・堰施設技術基準（案）では、ステンレスクラッド鋼の合せ材は、防食被覆および消耗代とみなし強度部材として見込まないとしている。

(3)ステンレス鋼とステンレスクラッド鋼との使い分けについて

1)最小板厚による選択

ステンレスクラッド鋼の母材の厚さが6mm未満の場合は、ステンレス鋼を使用する。

2)使用箇所による選択

鋼板の端面が露出する以下のような部位には、ステンレス鋼を使用する。

①常時水中または湿潤環境。

②取り替えが容易でない箇所。

③再塗装が容易でない箇所。

3)溶接施工条件による選択

ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接に関する実験の結果、ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接継手部は良好な施工を行わないと腐食しやすいことが明らかとなった。

したがって、ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接では、特に良好な施工条件を確保しなければならない。しかし、小径放流管（鋼管径800mm以下）のように、狭隘で合せ材側（内面）からの作業が難しい場合には現状のステンレスクラッド鋼の溶接施工法では炭素鋼の溶接後、ステンレス鋼の溶接を行うため、ステンレスクラッド鋼の溶接接合ができない。したがってステンレス鋼を使用することが望ましい。

ただし、外面（炭素鋼）にステンレス鋼溶接金属が露出しても良い場合は、片側からの溶接にて全てステンレス鋼用溶接棒を使用して施工は可能である。この場合には、ステンレス鋼溶接材料による炭素鋼の溶接になるので，309系の溶接材料を使用する．309系の溶接材料は炭素鋼とステンレス鋼の異材継手用に開発されたものであり，炭素鋼の希釈を受けても数パーセントのフェライトを含む健全な組織が得られる．

(4)両面ステンレスクラッド鋼

円形多段式ゲート本体や取水塔などに使用された実績はあるが、片面ステンレスクラッド鋼に比べて使用実績は少ない。今後、溶接施工性や突合せ溶接継手部強度などについて

さらに検討を加える必要もあるので、その使用については十分な注意が必要である。

3．1．3　ステンレス材料の適用箇所

ステンレス材料を適用する箇所を以下に示す。
（1）常時水中にあり水位低下が容易でないなど再塗装が困難な箇所。
（2）手や身体が入らない挟い空間や、閉鎖的な空間で再塗装が困難な箇所。
（3）摺動面など取替えや調整を頻繁に行うため塗膜が損傷しやすい箇所。
（4）角部や凹凸部などが多く塗膜が付着しにくい箇所。
（5）コンクリートに埋設固定されており取替えが困難な箇所。
（6）足場掛けなどが容易でなく再塗装が困難な箇所。
（7）常時水中または湿潤な環境で炭素鋼がステンレス鋼と接触しており炭素鋼の面積が極端に小さくなる箇所。

［解　説］

本節以降、ステンレスクラッド鋼とは片面ステンレスクラッド鋼を示し、両面クラッド鋼とは両面ステンレスクラッド鋼を示す。

（1）取水設備の鋼製取水塔，取水口ｽｸﾘｰﾝなど、常時水中にあり、水位低下が容易でない箇所は再塗装が困難である。こうような箇所には、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。

（2）戸溝にはまり込んだ扉体の端面、ジェットフローゲートなどのボンネットの内側、空気管の内面など、手や身体が入らず再塗装の困難な箇所には、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。

（3）扉体のガイドローラのレール，スプリング゛式ガイドローラ，マンホールヒンジ部など､塗膜が損傷しやすい箇所では､ステンレス鋼まだはステンレスクラッド鋼を使用する。

（4）ボルト・ナット，板の端・角などは塗膜の付着がほとんど期待できない。このような箇所には、ステンレス鋼を使用する。

（5）戸当りカバープレート、アンカパッドなど取替えが困難な箇所には、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。

（6）足場掛けなどが容易でない箇所には、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。

（7）常時水中または湿潤な環境で、広いステンレス鋼露出面上に炭素鋼が局部的に露出している場合には、炭素鋼をステンレス鋼に置き換えなければならない。環境条件によって異なるが炭素鋼の面積がステンレス鋼の面積より小さくなる場合には、炭素鋼にかわりステンレス鋼を使用する。

参考として、河川・ダム施設の淡水環境下におけるステンレス鋼の種類とこれまでに実績に基づいた一般的用途を表解－3.1に示す。

表解－3.1　ステンレス鋼の種類と用途

分　類	種　類	特　　徴	用途の例
オーステナイト系	SUS304	オーステナイト系ステンレスの代表的鋼種である。 通常の淡水中で耐食性に優れ，加工性，溶接性もよい。	構遣物の防食全般 扉体，戸当りおよび固定部，ローラ，ソーブ軸，ワイヤロープ，放流管管胴，整流板
	SUS304L	溶接熱影響部の鋭敏化防止に効果がある。	
	SUS304N2	SUS304 の耐力を大幅に増加した鋼種（205N／mm^2→345N/mm^2）で，加工性，溶接性もよい。	ローラ踏面板，ローラ，シーブ軸，シリンダロッド
	SUS316	SUS304 に比較して，Mo を添加し，高耐食性をもたせた。水質が酸性のダムゲート等に適用可能である。	汽水に接する扉体，戸当りおよび固定部，ローラ，シーブ軸，ワイヤロープ，放流管管胴，整流板
	SUS316L	溶接熱影響部の鋭敏化防止に効果がある。汽水に接するゲート等に適用可能である。	
マルテンサイト系	SUS403	耐食性はやや劣るが，焼入れ硬化により，高硬度特性を持っている。加工性，溶接性は詳細検討を要する。	高荷重がかかる軸受等ローラ，シーブ，トラニオン軸
	SUS410	焼入れ硬化により硬さに優れる。水門戸当りにも使用されている。	
オーステナイト・フェライト系	SUS329J1	汽水域でも比較的塩素イオン濃度が高い環境で使用される。 加工性，溶接性は詳細検討を要する。	ローラ踏面板等
	SUS329J4L	汽水域でも比較的塩素イオン濃度が高い環境で使用される。	
マルテンサイト系析出硬化型	SUS630	SUS304 よりも，耐摩耗性に優れている。 また， 耐食性も高く，加工性もよい。	ボルト
ステンレス鋳鋼	SCS13	強度，伸び等は小さいが，その他の特性は SUS304 と同等である。	主ローラ，シーブ等
	SCS14	強度，伸び等は小さいが，その他の特性は SUS316 と同等である。	
	SCS16	強度，伸び等は小さいが，その他の特性は SUS316L と同等である。	
	SCS19	強度，伸び等は小さいが，その他の特性は SUS304L と同等である。	
	鋳鋼品は，一般に圧延材，鍛造材に比べて，強度，伸び等が小さく，内部傷も存在しやすいので，圧延材，鍛造材等で製造しにくい複雑な形状の箇所以外では使用されない。		

3．1．4　腐食防止の基本

防食設計をおこなうにあたり下記の腐食特性については、材料選定、構造決定、施工法検討の際に十分な対策をとらなければならない。

（1）異種金属接触腐食

（2）すき間腐食

（3）ステンレスクラッド鋼の端面処理

［解　説］

（1）異種金属接触腐食への対策

異種金属の混用が避けられない場合は、ステンレス鋼を使用する際には、以下に示す項目に十分留意して設計を行わなければならない。

1)ステンレス鋼と炭素鋼との突合せ溶接部

炭素鋼の腐食対策として炭素鋼側の塗装を溶接ビードをまたぎステンレス鋼側に塗装を行う場合にどの程度の幅が有効であるかについてダム湖において暴露実験を行った結果を図解－3.1 に示す。異種金属接触腐食試験片（タイプＡとタイプＢ）の腐食速度は最大腐食深さから計算した値である。また、単独腐食試験片の腐食速度は平均板厚から計算した値である。タイプＡとタイプＢの結果に有意な差は見られず、塗装端と炭素鋼の塗装欠陥との距離が 50mm 以上で異種金属接触腐食がかなり低減されることが明らかとなった。この塗装の適切な範囲については、当然ながらｐＨ、電気伝導度やイオン濃度などの水質やステンレス鋼と炭素鋼の面積比などによって異なるため、この実験結果をもとに多少の安全を考慮し図解－3.2 に示すように塗装の塗り越しは最低 100mm を確保しそれ以上とすることが有効と考えられる。なお、ステンレス面は塗料の付着性が良好ではないので素地調整を十分に行いエポキシ樹脂系塗料の膜厚を 300μｍ程度塗装する。このように、ステンレス鋼も塗装する理由を以下に示す。

①塗膜下に水が浸入し炭素鋼を腐食させるのを、塗膜の長さを確保することにより抑制する。

②万一、ステンレス鋼近傍の炭素鋼上の塗膜が局部的にはく離すると、はく離箇所の電流密度が大きくなり腐食速度が大きくなる。このため、塗膜の長さを確保することにより低抗を大きくして電流密度を小さくして腐食の進行を抑制する。

③塗装には施工後の要因により傷を受ける場合があり注意を要する．この対策としてステンレス構造への変更，電気防食との併用をメンテナンス性や LCC 的観点から検討すべきである．

2)ステンレス材料のボルト接合部

ステンレス材料をボルト接合する場合、炭素鋼ボルトや亜鉛めっきボルトを用いるとボルトの腐食が促進される恐れがあるので、図解－3.3 に示すようにステンレス鋼ボルトを使用しなければならない。ただし、塗膜などで絶縁が保証される場合にはこの限りではない。

3)ステンレス鋼管と炭素鋼管とのフランジ接合部

常時水中にある場合には、ボルトはステンレス鋼ボルトを用い、図解－3.4 に示すよ

うに接合フランジの間に絶縁性パッキンを挟んで絶縁する。また、ボルトも絶縁スリーブを用いて絶縁する。

（2）すき間腐食への対策

極力すき間を設けないようにすることが望ましいが、軸と軸穴など、すき間が避けられない場合には、以下に示す処置を行わなければならない。

1）鋼種の選定

耐すき間腐食性に劣るマルテンサイト系のSUS403, SUS410やフェライト系の代わりに耐すき間腐食性の良好なSUS304などのオーステナイト系ステンレス鋼を使用する。

2）すき間を塞ぐ

適切な鋼種が使用できない場合には、すき間への水の浸透を防ぐため、すき間周辺を目地材のようなもので塞ぐ。

（3）ステンレスクラッド鋼の端面処理

ステンレスクラッド鋼を河川・ダム施設で使用する際には、その端面を適切に処理する必要がある。ステンレスクラッド鋼の端面の処理は以下に示すように行わなければならない。

1）端面露出を防ぐ

部材形状、板厚等により、以下に示す①～③による適切な処置を行う。

①図解－3.4（a）に示すように、ステンレス鋼の板を継ぐ。

②図解－3.4（b）に示すように、ステンレス鋼の帯板を取付ける。

③図解－3.4（c）に示すように、ステンレス鋼の肉盛り溶接を行う。

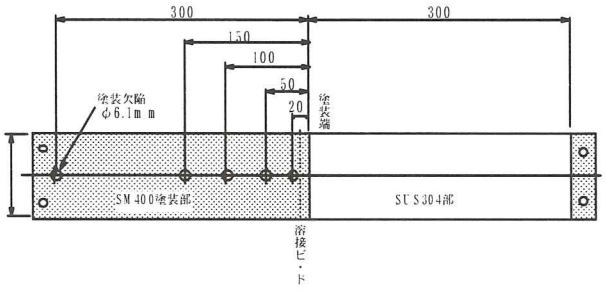
以上のうち、最も施工の確実なのは①である。

2）ボルト、グラウトなどの穴あけを避ける

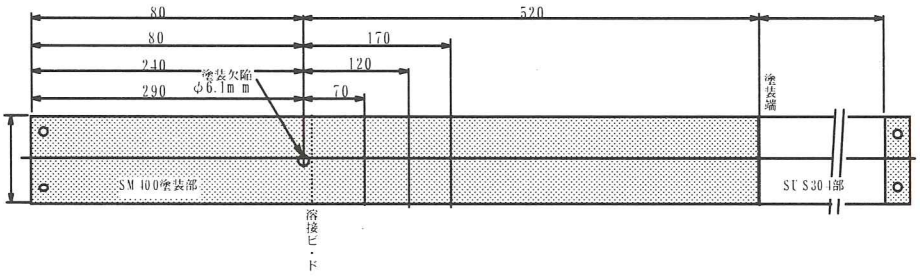
ステンレスクラッド鋼に穴あけを行うと穴内面は端面露出となり、上記に示す処置を施すことは困難であるので、原則として穴あけは行わない。やむを得ず穴あけを行う場合には以下に示す処置を施さなければならない。

①図解－3.5（a）に示すように、ボルト穴周辺をステンレス鋼にする。

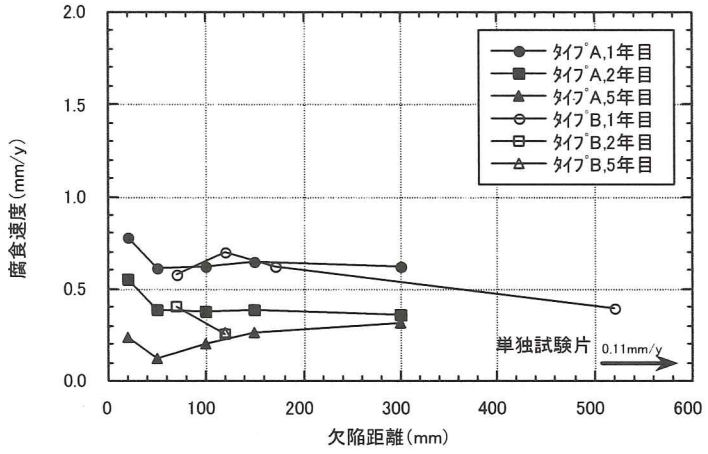
②図解－3.5（b）に示すように、ステンレス鋼のスリーブをはめ込む。



タイプA暴露試験片（炭素鋼側塗装）

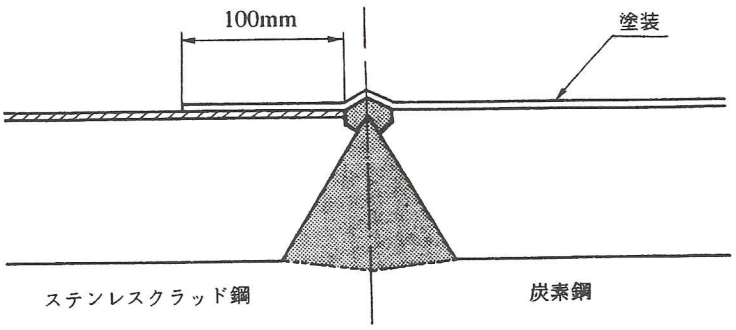


タイプB暴露試験片（ステンレス鋼側塗装）

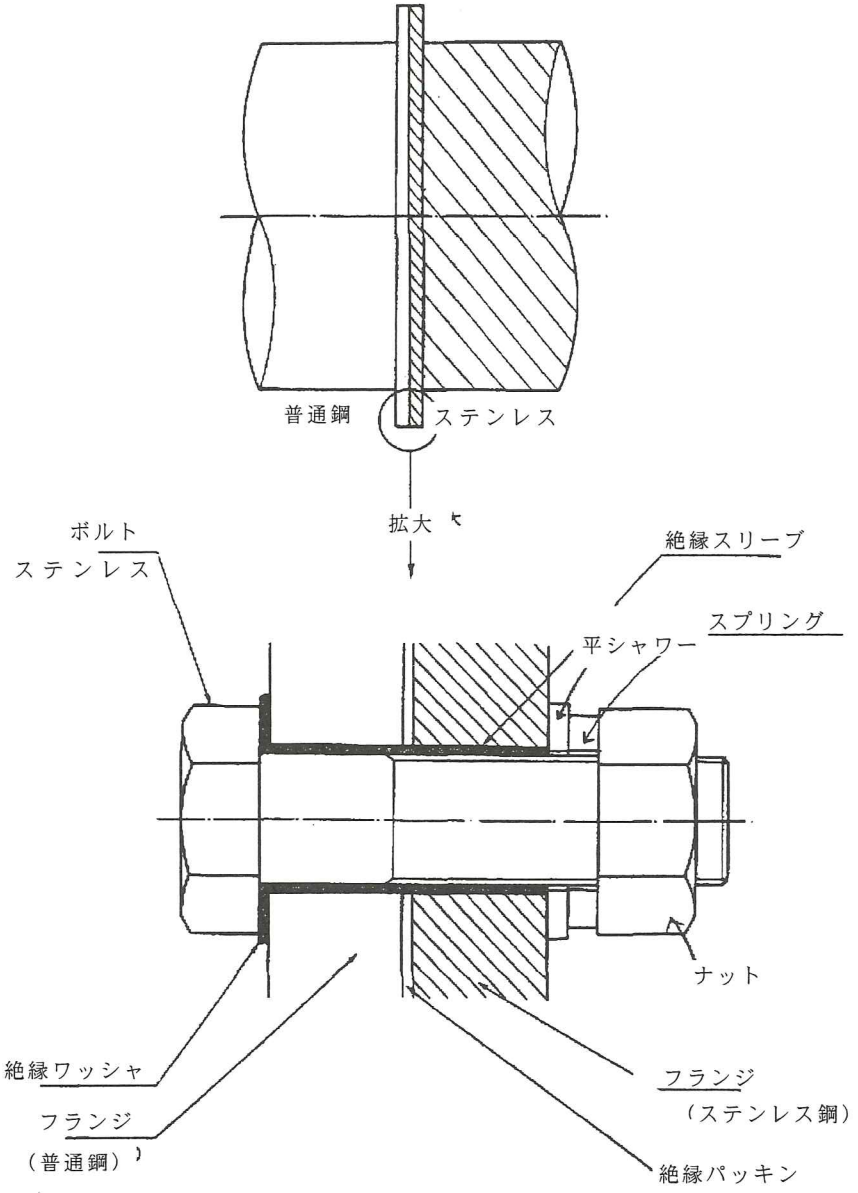


図解－3.1　塗装端からの欠陥距離とその位置での腐食

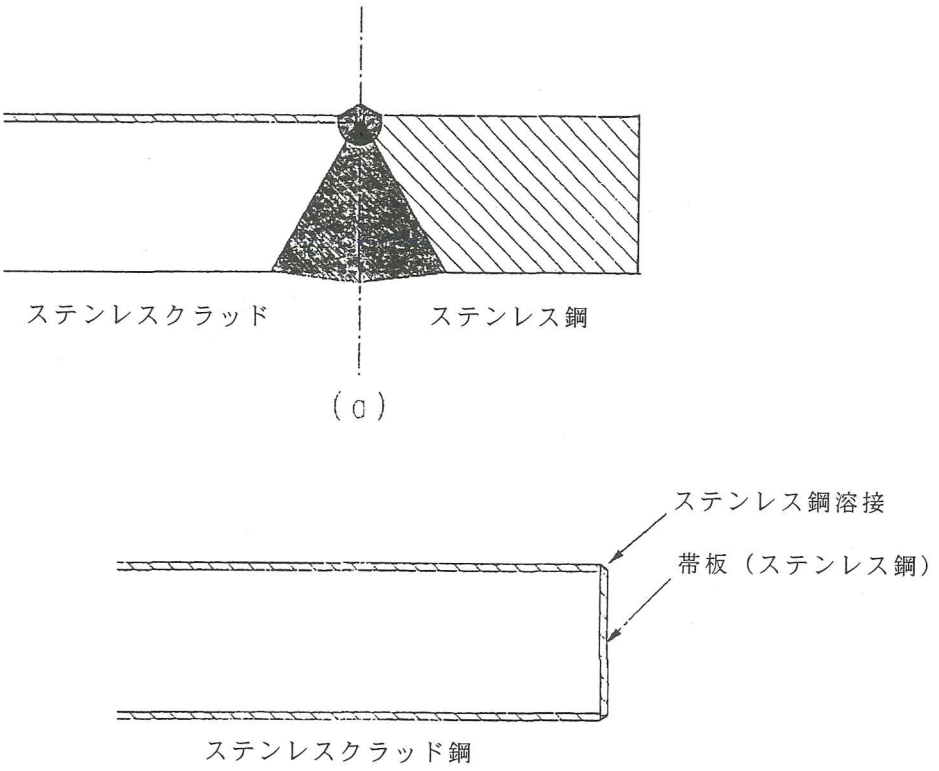
100mm以上



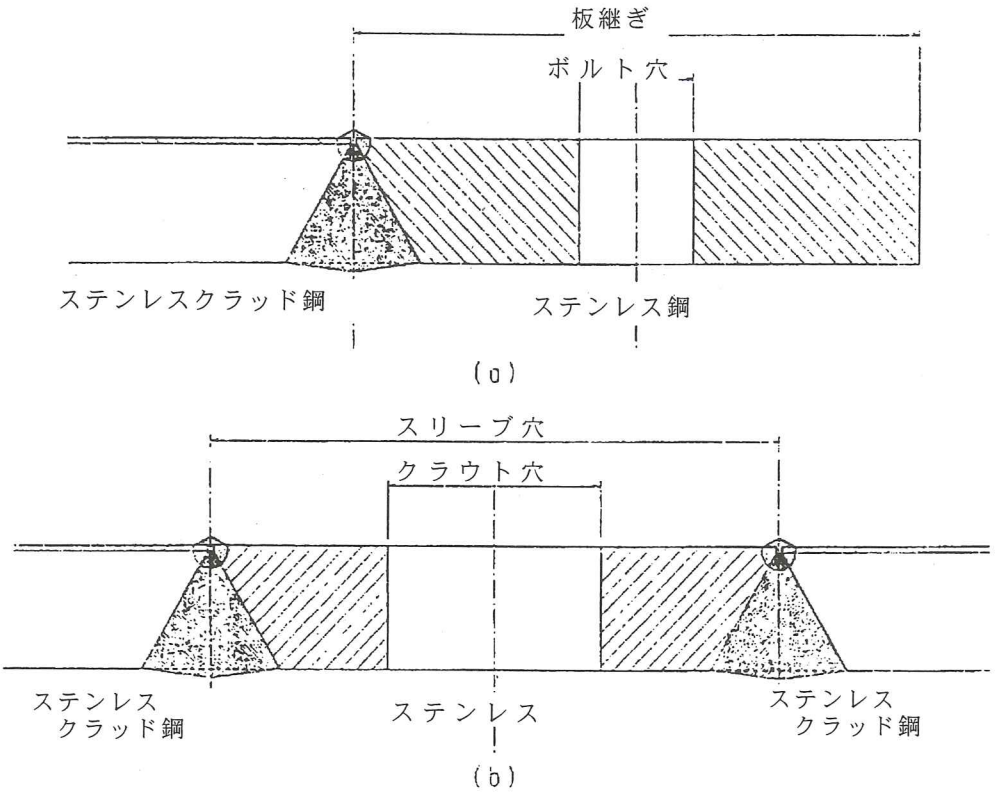
図解-3.2　塗装の塗り越し



図解－3.3　フランジ接合部の絶縁



図解－3.4　ステンレスクラッド鋼の端面処理



図解－3.5　ステンレスクラッド鋼に孔明けを行うときの処理

3．2　淡水環境下における防食設計

3．2．1　扉体

（1）扉体端部

扉体端部は、ステンレス鋼を使用する。

〔解　説〕

図解－3.6 に扉体端部の例を示す。扉体端部は、形状が複雑であるだけでなく戸溝などの周辺構造物に囲まれ点検が困難な場合が多い。この場合ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。

（1）スキンプレート端部

スキンプレートにステンレスクラッド鋼を使用する場合、板端部は炭素鋼が露出しており塗膜の付着性も悪いため、塗装による防食が期待できない。このため、端部はステンレス鋼板で覆う。

（2）水密ゴム固定用ボルト穴などの穴あけ加工部

スキンプレート端部周辺には、水密ゴムを固定するボルト穴や、図解-3.6 に示すような上流側の水を導水し水密ゴムに水圧を作用させるような穴をあけることがある。ステンレスクラッド鋼をこのような部分に使用すると、炭素鋼が露出することになる。また、(1)の端部処理加工も困難であるので、このような部分にはステンレス鋼を使用する。

（3）水密部構造

水密部は、水密ゴム，座，押さえ金物，固定ボルトから構成されている。水密ゴムは定期的な取替え部品であり，取り替えの際，押さえ金物および固定ボルトを取外すので塗膜がはがれやすく塗装による防食は適当でない。したがって、水密部にはステンレス鋼を使用する。

（4）サイドローラブロック

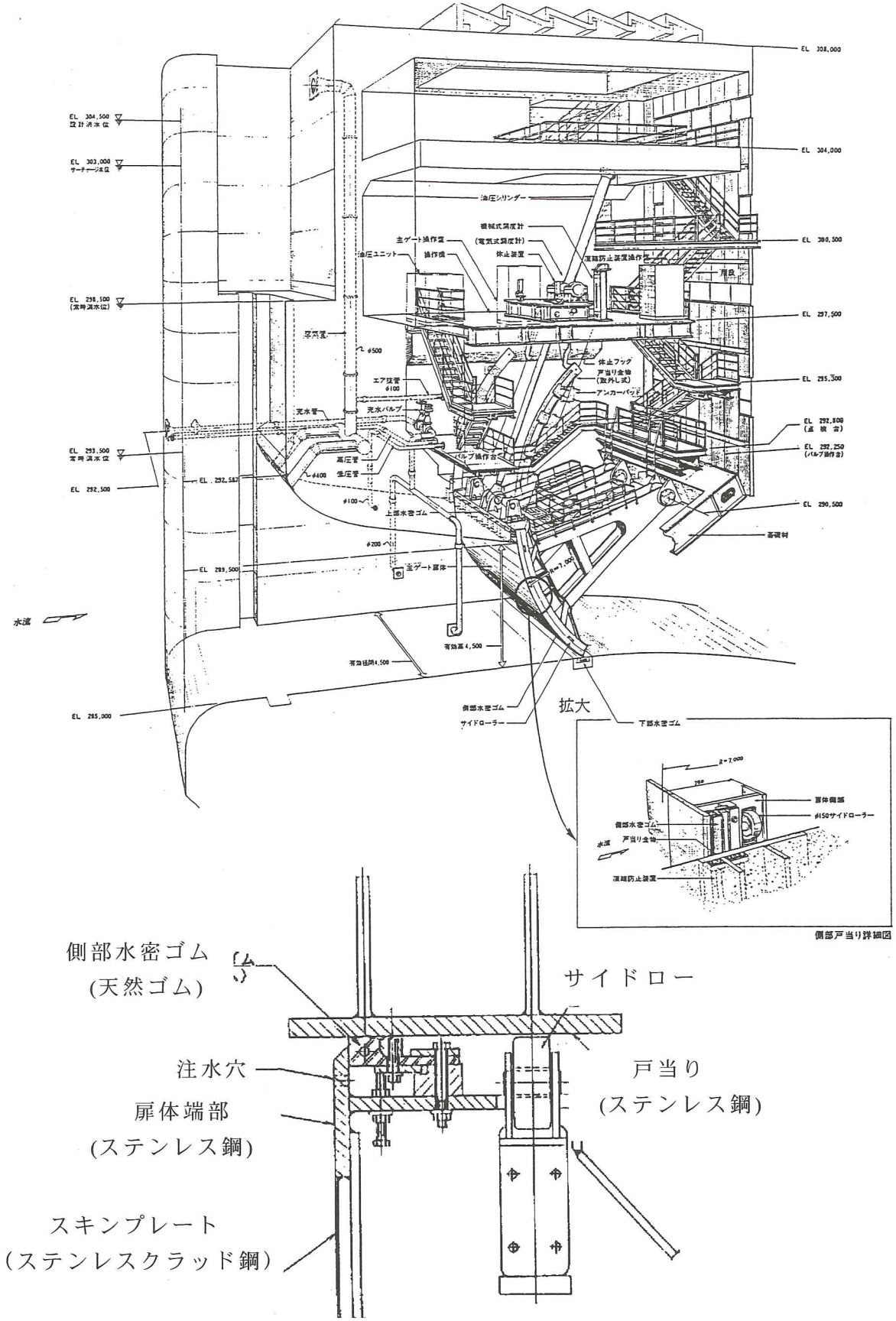
サイドローラブロックは扉体の開閉をガイドするガイドローラ、軸、ブッシュ、ブラケット取付けボルトなどから構成されている。扉体の中の小さな構成要素である割には複雑な構造をしており、再塗装も困難である。このため、ブッシュを除きすべてステンレス鋼とする。常時水中にある場合にはすべてステンレス鋼としなければならない。

（5）扉体端桁部

扉体端桁部外側は、通常戸当り部に囲まれ点検が容易でない場合が多い。また凹凸が多く塗膜の付着しにくい部分でもある。したがって、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用することが望ましい。常時水中にある場合には、周辺戸当り材にステンレス鋼が多量に使用されることが多く、異種金属接触腐食が懸念されるので、ステンレス鋼とする。

（6）メインローラ，軸および軸穴周辺

メインローラ軸と軸穴のはめ合い部などは塗装による防食が適さない箇所であるので、ステンレス鋼を使用する。



図解－3.6　扉体端部の例（高圧ラジアルゲートの例）

(2)扉体内部

シェル構造ゲートの内部，ガータ゛構造ゲートのガーダ側など、扉体内部側は、ステンレス鋼を使用する。

［解　説］

扉体が常時水中もしくは湿潤環境にあることが予想される場合や作業性などから再塗装が難しい場合には、以下に示す部材および要素はステンレス鋼とする。これらの部材は主要強度部材に比較して小さく、扉体内面において凹凸を著しくするものであり、再塗装が困難である。また、塗膜の付着性も劣るのでメンテナンスを軽減するためにステンレス鋼とする。

①縦横補助桁

②主桁の水平垂直補剛材

③点検梯子、通路、防塵スクリーンなどの組み込み品

④扉体端桁

なお、すべての部材および要素をステンレス鋼にすると判断した場合には、以下に示す事項の検討が必要となる。

応力除去のために熱処理を行う場合の鋭敏化について十分に調査検討を行わなければならない。また、熱処理を行う場合には低カーボン材を使用する。

(3)扉体下部

扉体下部周辺は、ステンレス鋼を使用する。

［解　説］

図解－3.7に扉体下部の構成を示す。

（1）扉体リップ

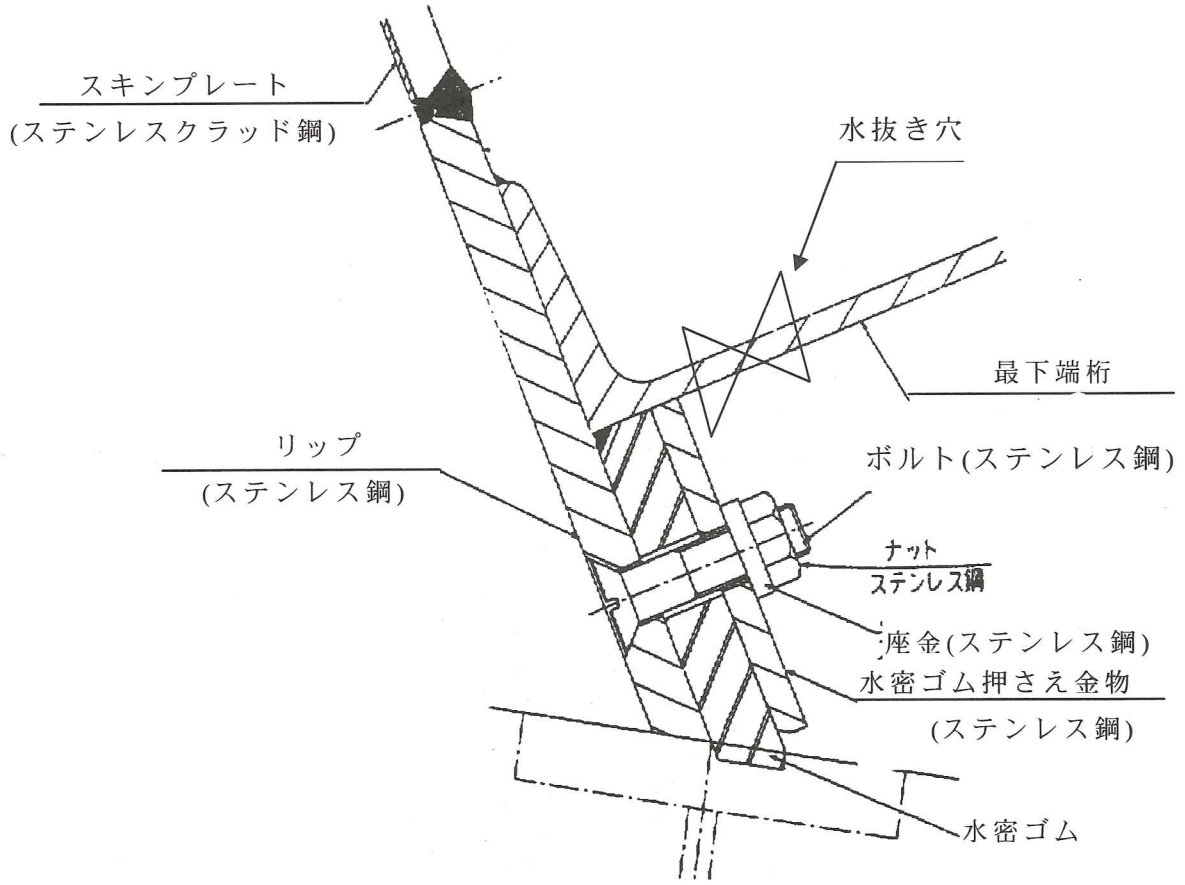
扉体リップは、流水制御や、水密を確保するために重要な部分である。また、流水や土砂などが衝突する非常に厳しい腐食条件にある。しかも再塗装など補修の困難な部分でもあるため、ステンレス鋼を使用する。

（2）水密部（水密ゴム座，水密ゴム押さえ金物，固定ボルト）

水密部は、凹凸が多く、かつ、水密ゴムの取替えを行うため塗膜の付着が期待できない。また、厳しい腐食条件にあるので、ステンレス鋼を使用する。

（3）扉体最下端桁（フランジおよびウェブ）

厳しい腐食条件にあり、再塗装など補修も困難な箇所であるので、原則としてステンレス鋼を使用する。



図解－3.7　扉体下部例（クレストラジアルゲートの場合）

（4）シーブブロック

シーブブロックは、ステンレス鋼を使用する。

［解　説］

図解－3.8 に示すようにシーブブロックは、複雑で入り組んだ構造をしており、特にシーブとブラケットとの間などは、再塗装を行うことができない。したがって、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。特に、選択取水設備などのように、シーブブロックが常時水中にある場合には、ワイヤロープとともにステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用しなくてはならない。ステンレス鋼を使用する際には、ブロック全体だけでなくブロックに接続する扉体部分を含めて検討し、一部に炭素鋼が残り異種金属接触腐食が生じるような構造とならないようにしなくてはならない。

ただし、部分的にステンレス鋼を使用せざるを得ない場合には以下の順でステンレス鋼を使用することが望ましい。①シーブ軸およびボルト・ナット類　②ブラケット，シーブ　③ワイヤロープ，その他

（1）シーブ軸およびボルト・ナット類

シーブ軸およびボルト･ナット類はステンレス鋼を使用する。常時水中にある場合には、ブラケット、シーブ、ワイヤロープともにステンレス鋼を使用する。

（2）ブラケット

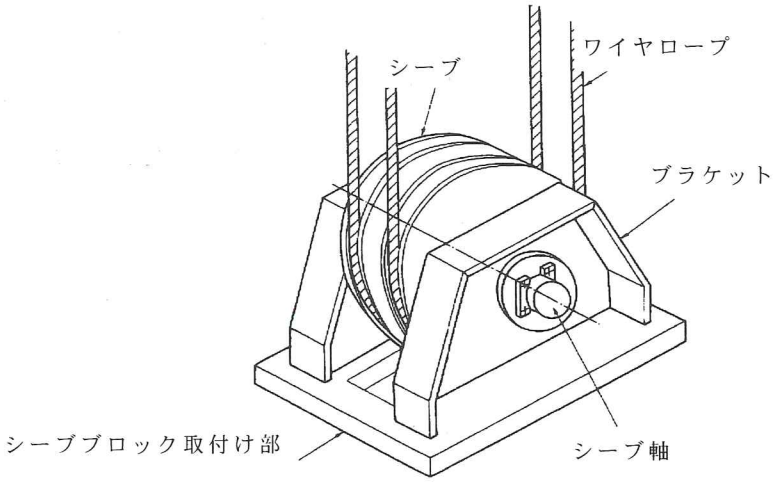
常時水中にある場合、ブラケットはステンレス鋼を使用する。ブラケットの板が厚くなる場合、両面ステンレスクラッド鋼を使用した実績がある。ただし、このような場合には、以下に示す点に注意しなくてはならない。

①部材端に炭素鋼が露出しないように端面処理を行う。

②ボルトなど穴あけ加工を行わない。

（3）シーブブロック取付け部

ステンレス鋼製のシーブブロックを炭素鋼製の扉体本体へ取付ける場合はステンレス溶接にて固定する。ボルトフランジ接合など接合面がすき間となるような接合方法は好ましくない。



図解－3.8　シーブブロックの例

(5)扉体組込み品，付属品など

扉体組込み品、付属品のうち、点検が困難なものはステンレス鋼を使用する。

〔解　説〕

具体的な例としては以下のものがある。

（1）ボルト、ナット類等取外しを行う部分

（2）マンホール蓋およびヒンジ部等の可動部

（3）給油配管部品等小さく凹凸のある部分

（4）水抜き穴や空気穴の防塵スクリーン等塗膜の付着が期待できない部分

（5）梯子、点検歩廊の床等

（6）その他、点検補修が行い難いもの

扉体には多数の組込み品、付属品があり、全ての部分を常時点検するのは困難である。これらは、水門扉の主機能からみて二次的機能を有する部品等であり、目の行き届かない場合が多く、ほとんど点検されない状況にある。こうした部分は意外に凹凸が多く、塗膜の付着性も良好でないため、さびが生じている事例が多い。こうした部分の腐食損傷は、重大事故にいたることはないが、後の補修に手間がかかる。このため、以上のような組み込み品、付属品などはステンレス鋼とする。

3．2．2　戸当り

戸当りのうち、塗装が困難な箇所および水中部分は、ステンレス鋼を使用する。

〔解　説〕

対象個所として以下の部分がある。

①ローラ踏面および水密面

②コンクリートに埋設される部材のうち露出する部分

③その他常時接水している部分

戸当りはコンクリートに固定され、軽構造部の取外し部等一部を除いて取替えが容易でない。また、常時水中にあったり、風雨にさらされるなど使用条件は厳しい。しかも、再塗装を行うには大掛かりな足場が必要になる。このため、露出する部分は全てステンレス鋼を使用する。戸当りの例を図解－3.9に示す。

（1）戸当りレール

レール桁材はコンクリートに埋設固定されているため取替えることが困難な上に、ローラ踏面および水密面は接触面または摺動面であり塗膜ははがれやすい。したがって、ローラ踏面および水密面は、ステンレス鋼を使用する。

（2）カバープレート

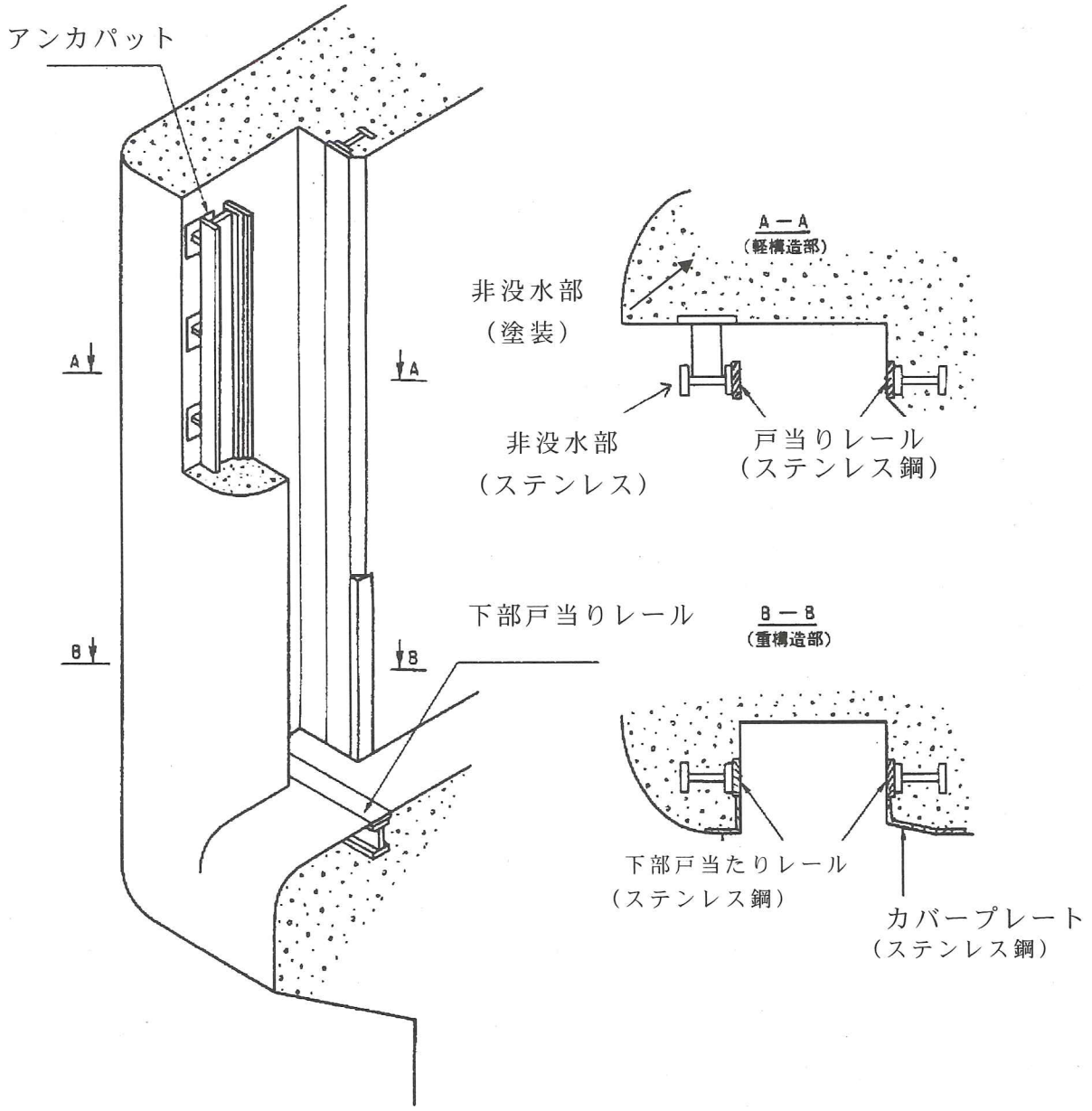
カバープレートは戸当りの一部であり、コンクリートの型枠程度の役割しかもたないということで軽視されがちであるが、戸当り構造部を保護するための重要な部材である。このため、カバープレートはステンレス鋼を使用する。

（3）アンカパッドおよびコンクリート埋設材

戸当り軽構造部では、戸当りレールをコンクリートに埋設固定されたアンカパッドに固定する場合がある。このアンカパッドはコンクリートに埋設固定された永久構造物である上、常時風雨にさらされ、かつ再塗装の困難な箇所に取付けられていることが多い。したがって、露出部はステンレス鋼を使用する。

（4）戸当りレール取外し部

戸当り軽構造部の一部を扉体点検などのために取外し式にしていることがあるが、着脱部は塗膜がはがれやすいのでステンレス鋼を使用する。



図解－3.9　戸当り例（ローラゲートの場合）

3．2．3　開閉装置

（1）開閉装置

開閉装置が屋外に設置される場合や湿潤環境に設置される場合には、ステンレス鋼を使用する。

［解　説］

開閉装置は、屋内に設置される場合と屋外に設置される場合がある。屋外は、風雨にさらされ、かつ日光にさらされる厳しい環境であるので、防食には特に配慮しなければならない。屋内の場合でも、ダム堤体内の操作室のように常時結露するほど湿潤な環境である場合もあるので防食には特に配慮しなければならない。

このように厳しい腐食条件の場合には、ステンレス鋼を使用する。

（1）ワイヤロープウインチ式開閉装置

①常時水中にあるワイヤロープは、ステンレス鋼とする。

②シーブ軸は、ステンレス鋼とする。

（2）スピンドル式開閉装置

①スピンドルは、扉体取付部を含めステンレス鋼とする。

②スピンドルを中間で支持する軸受部は、固定部も含めステンレス鋼とする。

（3）ラック式開閉装置

①ラックおよびピニオンは、ステンレス鋼とする。

（4）油圧シリンダ式開閉装置

①ピストンロッドおよびロッドエンドは、ステンレス鋼とする。

②油圧シリンダと油圧ユニットとの間を接続する油圧配管材は、細かい部材で凹凸が多く塗膜の付着が期待できないので固定金具を含め全てステンレス鋼とする。

③油圧ユニットの作動油タンクは、ステンレス鋼とする。

（5）その他

①カバー，ボックス類に取付けられた点検蓋およびヒンジ部，固定ボルトなどの着脱部，可動部などは、塗膜の付着が期待できないのでステンレス鋼とする。

②機器の分解組立に関するボルト（機器組立ボルト，機器固定ボルト）は、分解組立に際して塗膜がはく離してしまうのでステンレス鋼とする。

③開度計用メセンジャワイヤ、休止装置用ワイヤなどの小径ワイヤは、取付金具を含め全てステンレス鋼とする。

④配線用配管材は、ステンレス鋼とする。

(2)ワイヤロープ

屋外に設置される場合や湿潤環境下で用いられるワイヤロープは、ステンレス鋼を使用する。

［解　説］

（1）ワイヤロープの材質は、常時水中で使用する場合などのロープの使用環境、水中における電位差が生じる可能性など周辺の使用材料との組み合わせ、防錆グリースを塗り替える年月などの管理方法を検討して選ぶ必要がある。

亜鉛めっきしたワイヤロープが常時水中にあり、その周辺をステンレス鋼構造物で覆われた箇所に使用されたため素線切れを起こした事例があるので、常時水中使用される条件下では、ワイヤロープはステンレス鋼を使用する。

なお、ステンレスワイヤロープを使用するとシーブおよびドラムの最小直径を炭素鋼ワイヤロープの場合より大きくしなければならず、ワイヤロープをステンレス鋼に変更できなくなる場合もあるので、計画当初からステンレスワイヤロープを使用することが望ましい。

（2）河川・ダム施設の水門開閉用ワイヤロープ（亜鉛めっき製，ステンレス製）には、防錆および潤滑を目的としたグリースが使用されている。このグリースには大気用（大気中に使用）と水中用（水中部に使用）の２種類があるので、使用目的にあったグリースを選定する必要がある。選定にあたっては、防錆力，付着力，作業性を勘案して選定する必要がある。

七ヶ宿ダム湖において、7（ステンレス）～8（亜鉛めっき）年間暴露試験を実施した市販防錆グリース４種の性状および耐久性試験結果を表解―3.2～3.4、写真解―3.1～3.2に示す。この結果水中（水没）用は亜鉛めっきおよびステンレスとも増ちょう剤として複合アルミおよび金属微粒子を使用したA,B,C油に比較して、増ちょう剤にシリカ系を使用した脂肪酸等の添加剤を入れたD油（＊文献・技術資料参照）が作業性、防錆性、付着性などが良好であった。

＊参考文献

水門用グリースの防錆性について；トライボロジー会議予稿集（1996）P143

技術資料：石川島検査計測（株）防錆グリースＩＨシリーズ５１５

表解—3.2　供試体グリースの性状

銘柄 / 評価項目	A 油	B 油	C 油	D 油
ちょう度 (不混和，@25℃)	440	280	320	260
ASTM 色	D8.0	D8.0	D8.0	L6.0
滴　点 (℃)	82	287	246	>260
塩水噴霧 (h:錆発生時間)	<135	<70	<640	>5,000
潤滑性 (N:焼付き荷重)	2,000	2,000	3,780	3,450
付着性試験 (wt%付着減少量)	62.0	13.0	2.0	5.0
水置換性試験 (錆の有無)	有	有	有	無
増ちょう剤	複合アルミニウム	複合アルミニウム	複合アルミニウム	シリカ系
添加剤	特性向上添加剤	金属微粒子等	金属微粒子等	脂肪酸など

表解—3.3 防錆グリースの目視観察結果

亜鉛めっき製ワイヤロープ　試験期間（1995/7~2003/7 月）

銘柄 / 調査期間	無塗布	A 油	B 油	C 油	D 油
初期		色は茶褐色. 塗装時は防錆グリースが垂れてしまうので塗りにくい.	色は空色. 作業性*1 に優れている.	色は黄金色. グリースが糸を引き作業性に劣る.	色は淡褐色. 作業性に優れている.
6 ケ月	部分的に亜鉛めっきの溶出あり. ありスライム（藻）付着多い	亜鉛めっきの溶出及び錆なし. 茶褐色から褐色に変色. スライム（藻）の付着多い.	亜鉛めっきの溶出及び錆なし. 空色から乳色に変色付スライムの付着多い.	亜鉛めっきの溶出・錆なし. 黄金色から乳白色に変色. スライムの付着多い.	亜鉛めっきの溶出・錆なし. 色の変色なし. スライムの付着多い.
13 ケ月	全面に亜鉛めっき溶出. スライムの付着多い	亜鉛めっきの溶出・錆なし. 褐色から乳白色褐色に変色. グリース付着減少.	亜鉛めっきの溶出なし. 錆びなし. 変色の進行なし. グリースの付着減少.		変色なし. グリースの付着減少.
16 ケ月	同上	部分的に亜鉛めっきの溶出あり. 変色の進行なし. スライムの付着多い.	グリースの付着減少に変化なし.	一部に亜鉛めっきの溶出あり. グリースの付着減少に変化なし. スライム付着多い.	スライム付着多い. グリースの付着減少に変化なし.
36 ケ月	同上	いずれのグリースとも乳白色に変色. 亜鉛めっきの溶出あり.			一部に亜鉛めっきの溶出あり.
40 ケ月	同上	いずれのグリースとも付着減少. スライム付着多い.			
51 ケ月	同上	グリースの付着減少. スライム付着多い	グリースの付着なし.	いずれのグリースとも付着減少 スライム付着多い	
75 ケ月	同上	いずれのグリースとも付着減少. スライムの付着多い			
87 ケ月	赤錆発生	グリースの付着なし. 赤錆及び素線切れ発生. スライム付着多い	いずれのグリースとも亜鉛めっきの溶出および錆発生.		
96 ケ月	赤錆発生 素線切れあり.	赤錆発生	—*3	赤錆発生. 素線切れあり	赤錆発生. 素線切れなし

*1：作業性（垂れない，塗りやすい，除去しやすい）

*2：ワイヤロープ

*3：試験片流失

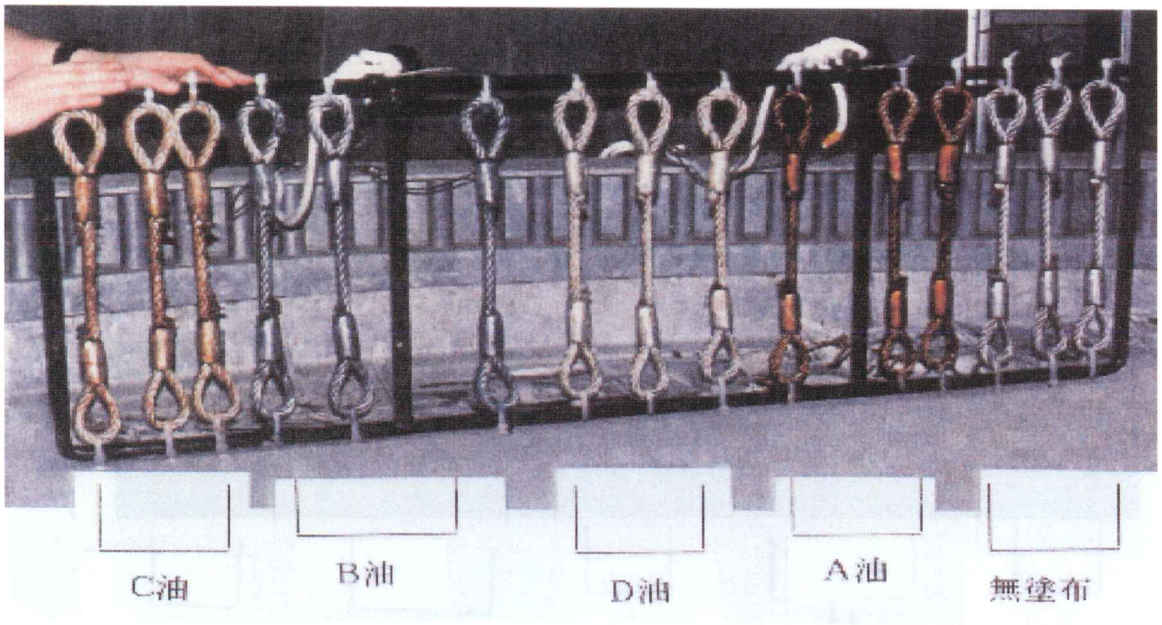
表解—3.4　防錆グリースの目視観察結果

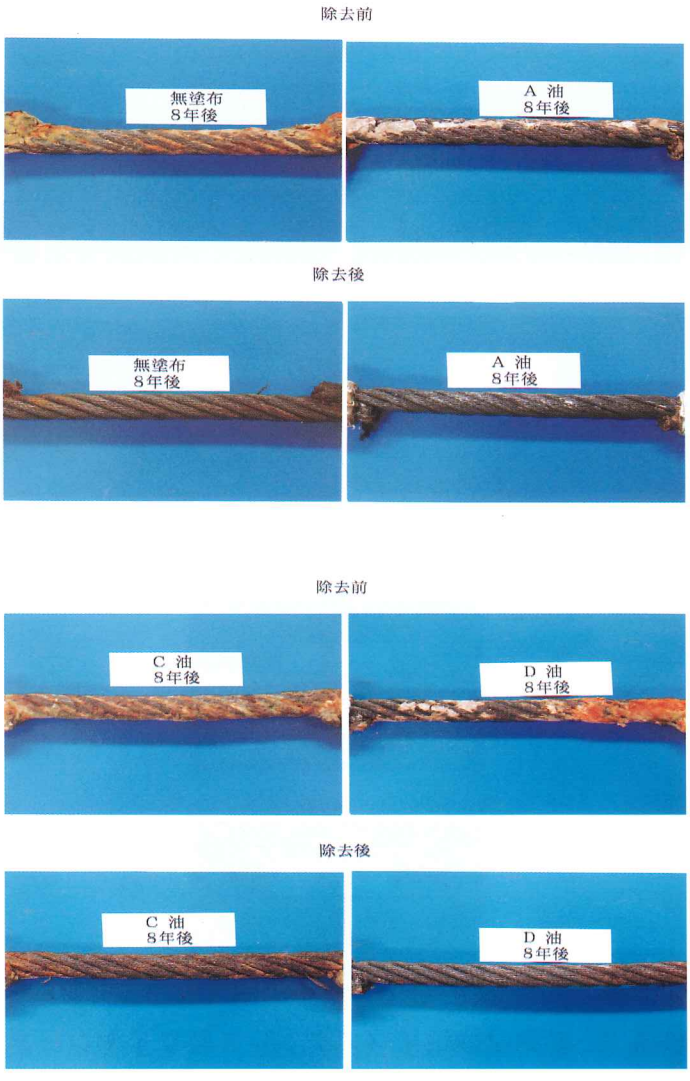
ステンレス製ワイヤロープ　試験期間（1996/8 月～2003/7 月）

銘柄 / 調査期間	無塗布	A 油	B 油	C 油	D 油
初期	—	色は茶褐色. グリースが垂れて作業性に劣る.	色は空色. 作業性*1 に優れている.	色は黄金色. グリースが糸を引き作業性に劣る.	色は淡褐色. 作業性に優れている.
4 ケ月	スライム付着多い W/R*2 に変化なし.	グリースが変色. スライム（藻）の付着多い. W/R 表面に変化なし.	スライムの付着多い. グリースが変色.	スライムの付着多い. W/R 表面に変化なし.	スライムの付着多い. W/R 表面に変化なし.
6 ケ月	W/R 表面に変化なしスライムの付着多い.	W/R 表面に変化なし. スライムの付着多い茶褐色から褐色に変色.	W/R 表面に変化なし. スライムの付着多い空色から乳色に変色.	W/R 表面に変化なし. スライムの付着多い.	W/R 表面に変化なし. スライムの付着多い.
48 ケ月	W/R 表面に変化なしスライムの付着多い.	いずれのグリースとも付着減少. いずれのグリースともスライム（藻）の付着多い. C. D 油を除く，いずれのグリースとも変色が進行.			
63 ケ月	同上	いずれのグリースとも付着減少. またスライム(藻)の付着が多い.			
76 ケ月	同上	いずれのグリースともさらに付着減少. またさらにスライム(藻)の付着が多い.			
84 ケ月	錆などには問題はなし. 他　同上	いずれのグリースともグリース付着減少. またさらにスライム(藻)の付着が多い. 錆などには問題はなし.			

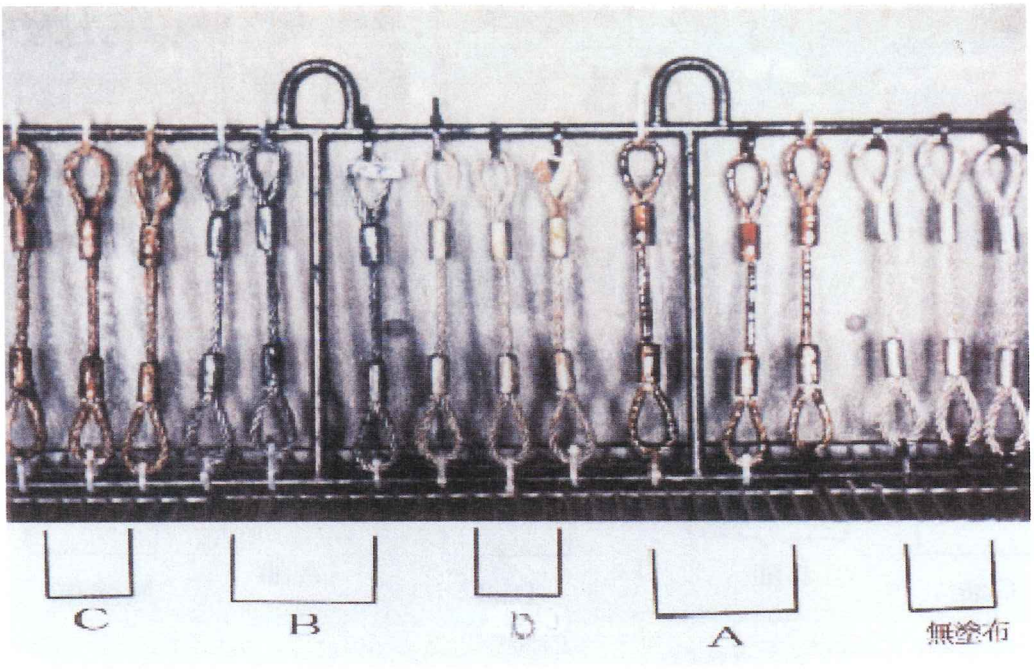
*1：作業性（垂れない，塗りやすい，除去しやすい）

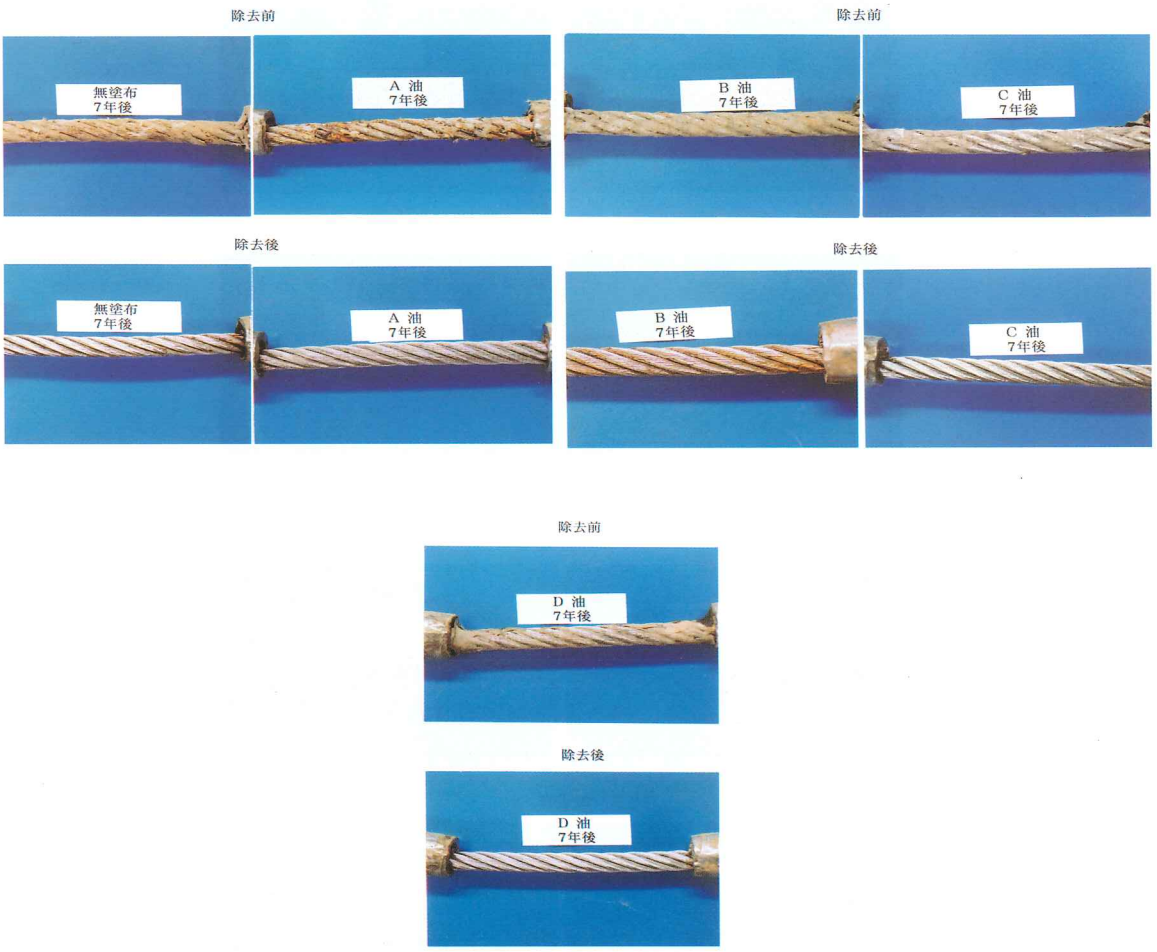
*2：ワイヤロープ





写真解-3.1　暴露試験結果（亜鉛めっき製ワイヤロープ・浸漬８年）





写真解-3.2　暴露試験結果（ステンレス製ワイヤロープ・浸漬７年）

3．2．4　放流管

放流管胴およびフードには、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。また、放流管の各部のうち常時水中部、常時湿潤箇所、塗装困難箇所、塗装付着の期待できない箇所などは全てステンレス鋼を使用する。

〔解　説〕

（1）一般

放流管は、主要部材を鋼材とする管路式の流入部および導流部を有する放流投備をいい、図解－3.10に示すようにフード部、空気管、充水管、排水管、圧力検出用配管、整流板、または整流管および内張管より構成されている。

放流管胴などの接水部は、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用する。特に以下に該当する放流管各部は、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼としなければならない。

①常時水中にあり、メンテナンスのためにダム貯水位低下などが容易でない。
②常時湿潤な腐食環境にあり、メンテナンスが容易でない。
③管が狭溢、傾斜、湾曲などしておりメンテナンスのための接近が容易でない。
④危険箇所であるが、足場などを設置することができない。
⑤コンクリートに埋投されており、補修、取り替えが困難である。
⑥高速流によりキャビテーションの発生する恐れがある。
⑦土砂などの流下がある。

（2）ステンレス鋼とステンレスクラッド鋼の使い分け

1）管径の大きさによる使い分け

丸形鋼管径1000mmまたは角形鋼管径1000mm程度以下の場合には、溶接作業性が劣るのでステンレス鋼とすることが望ましい。また丸形鋼管径800mmまたは角形鋼管径800mm以下の場合には、ステンレス鋼を使用する。また、次のような管は一般的に口径が小さいので、ステンレス鋼を使用する。

①充水管
②排水管
③差圧計用配管

2）管内溶接の作業性による使い分け

作業性の悪い場所での溶接は、良好な品質を得にくい。したがって作業性の確保が重要である。ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接部に溶接欠陥が発生すると、薄いステンレス鋼を貫通して母材が腐食することもある。また、ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接では、2種類の溶接棒を使い分けかつ手順などに制限もあるので、作業性の悪い場所でステンレスクラッド鋼の突合せ溶接を行ってはならない。

3）傾斜、湾曲などにより足場設置または作業空間確保ができない場合

管径の大小に関わらず、足場を設置することが困難であったり、作業空間を十分確保できない場合には、ステンレス鋼を使用する。

（3）ステンレスクラッド鋼使用上の留意事項（図解－3.11参照）

ステンレスクラッド鋼は異種金属を合わせた材料であるため、ステンレス鋼に比べて取扱いに注意を要する。以下にステンレスクラッド鋼を使用する場合の設計上の留意事項を示す。

1)突合せ溶接部

突合せ溶接ビードは、高速水流に対する配慮から、また美観からグラインダなどにより平滑に仕上げられていた。しかし、実態調査（土木研究所資料第2909号）の結果、グラインダ切削した突合せ溶接部の発錆が顕著であった。このため、突合せ溶接ビートは、極力研削しない。

以下に、突合せ溶接ビート部の発錆原因として考えられるものを示す。

①ブローホールなどの溶接欠陥が母材側まで貫通している。

②スパッタが付着しているなど表面仕上げ状態が悪い。

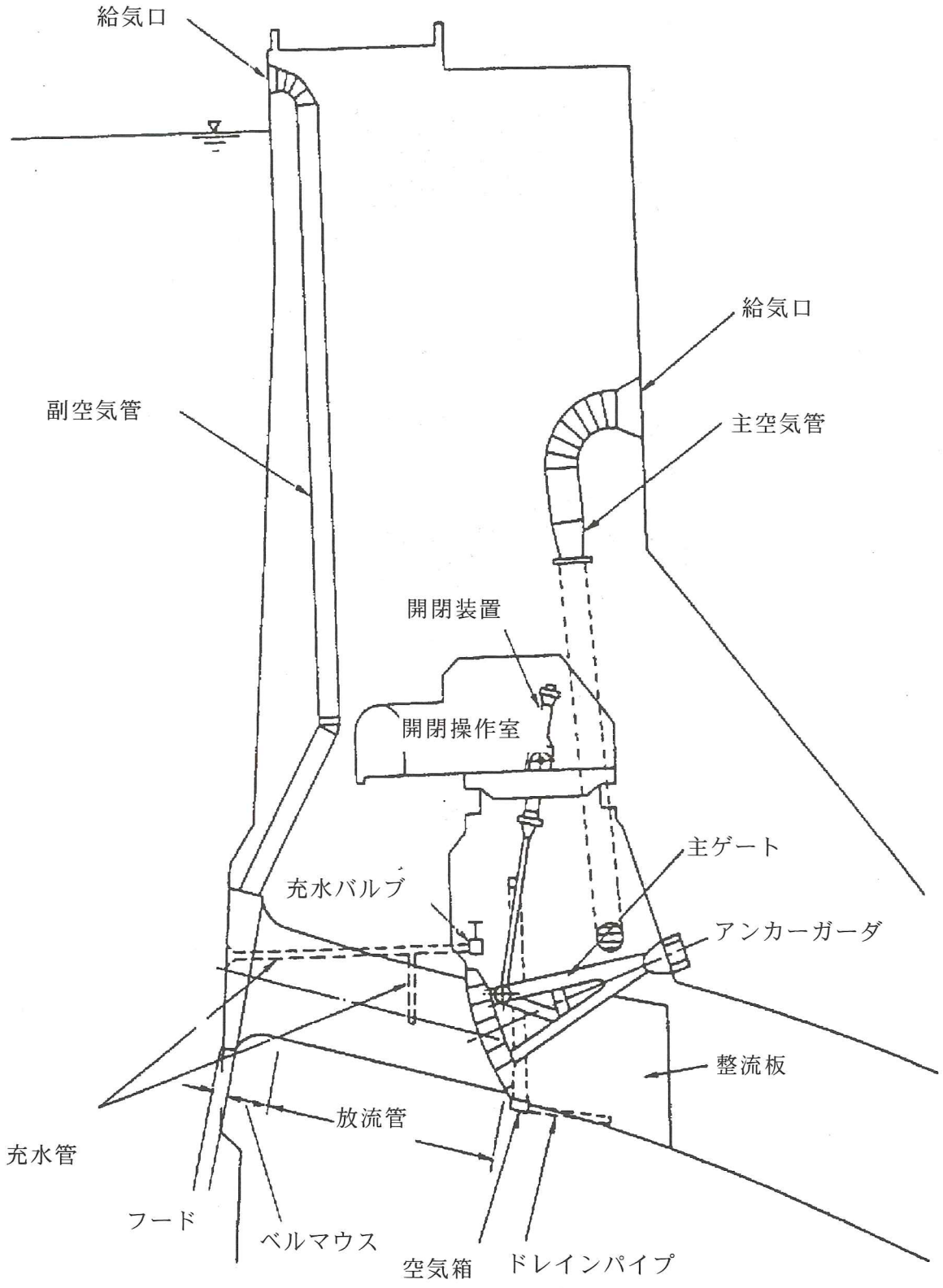
③過大な溶接入熱により熱影響部が鋭敏化した。

④グラインダ処理により内部欠陥が露出した。

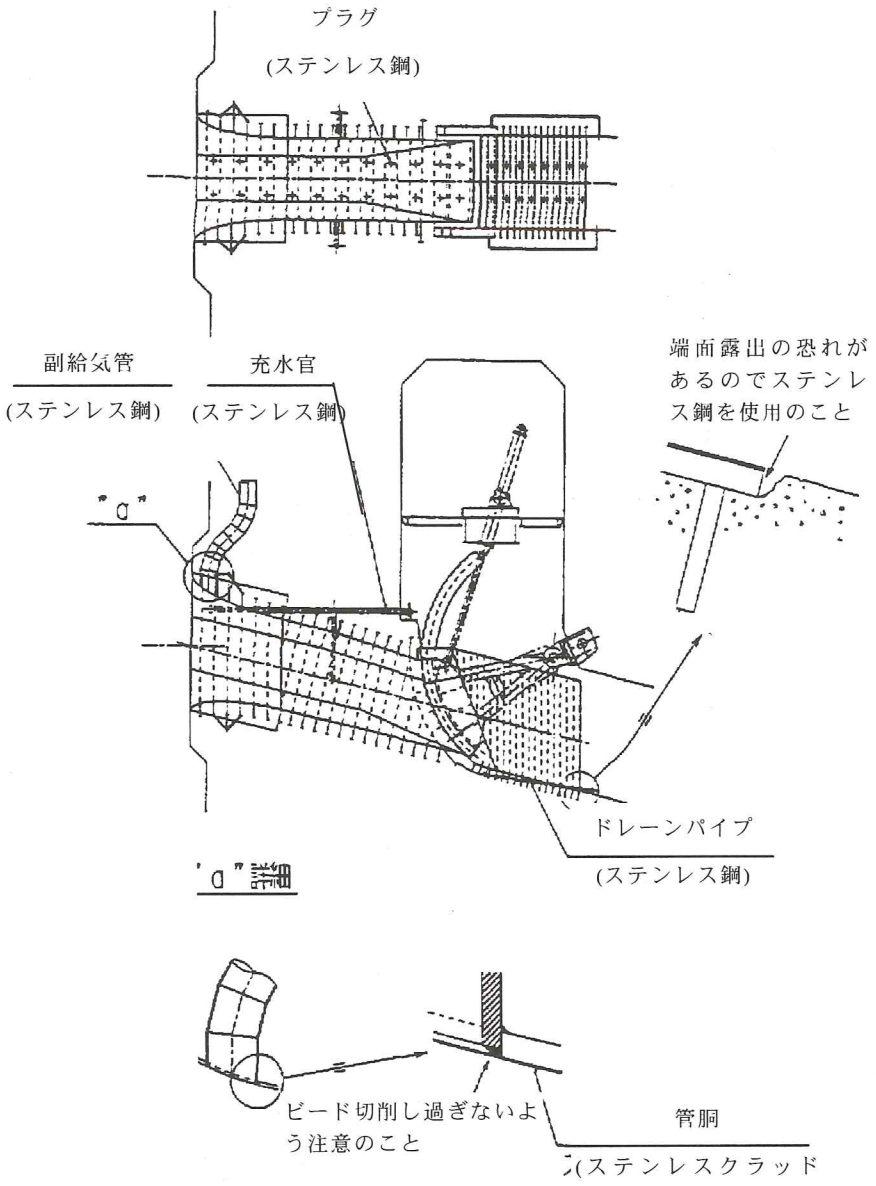
⑤グラインダなどにより削り込み過ぎたため、母材またはステンレスの初層溶接金属部が露出した。

⑥炭素鋼で使用したグラインダをステンレス鋼に使用して鉄粉を刷り込んでしまった。

⑦板の目違いにより母材部が露出した。



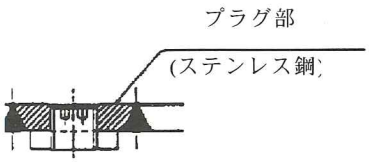
図解－3.10　大容量放流管の構成（部分管路型の例）



管胴継手部詳細



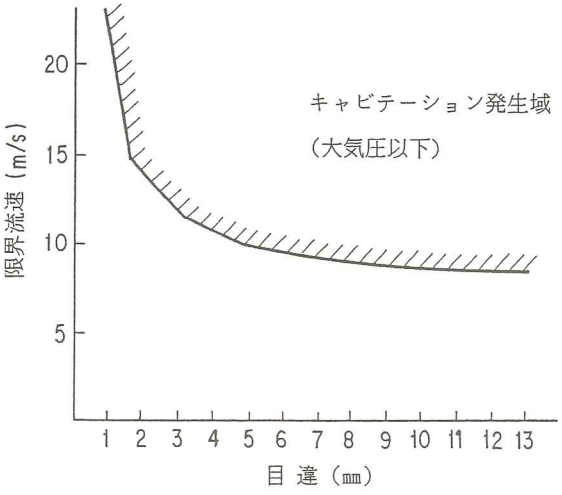
プラグ部詳細例



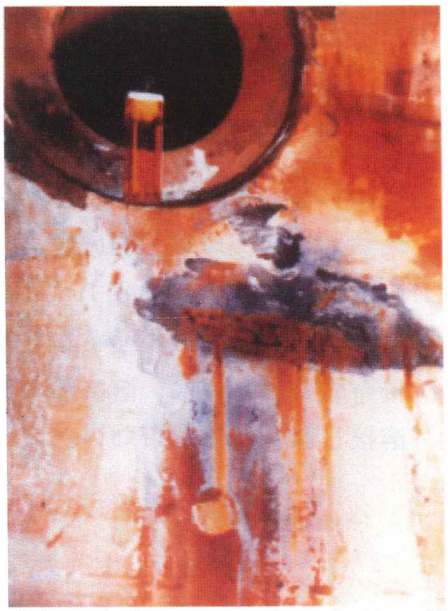
図解－3.11　ステンレスクラッド鋼使用上の留意箇所（主放流設備の場合）

ステンレスクラッド鋼の突合せ接合部の腐食試験の結果、グラインダ処理を原因とする④, ⑤が腐食損傷上重大な問題に至る恐れのあることが明らかとなった。[3] すなわち、ステンレスクラッド鋼の合せ材の厚さは通常 2mm 程度であるので、切削により母材部に容易に達する。写真解－3.3 には腐食事例を示している。

以上を考慮すると、ビード切削を行わないことが望ましい。しかし、放流管内面では高速水流により、溶接余盛り部にキャビテーション発生の恐れも あるので、ダム・堰施設技術基準（案）では、余盛高さとキャビテーション発生限界流速の関係を図解-3.12 のようにしている。しかしながら、防食の観点から原則として余盛部のグラインダ処理は行わないことが望ましい。やむをえずグラインダ処理を行う場合には、余盛および合せ材を削り込み過ぎないよう十分注意しなくてはならない。



図解－3.12　余盛高さとキャビテーション発生限界流速



写真解－3.3　ステンレスクラッド鋼溶接部の削り過ぎによる腐食の例

2）分岐管部および凸状突合せ溶接部

Y，Tなどの分岐点，空気管，海老管などの接続部は、板を凸状に組合せることになる。この部分は丁寧に盛らないと、板の端面が露出することがあるので注意して施工しなければならない。また、余盛をグラインダで切削することがあるが、母材部，ステンレスの初層溶接金属、または内部欠陥の露出などにより発錆する恐れがあるので、グラインダ処理は必要最小限に止める。切削しなければならない場合には十分注意して施工しなくてはならない。設計図、施工要領書などによりこの旨を工場、現地に徹底する必要がある。

3）管に穴を設ける場合

管にはグラウチングホール，コンクリート打設用穴，エア抜き穴などの各種の穴をあけることがある。こうした穴は施工後プラグを溶接するが、腐食損傷事例が報告されている。

この腐食損傷原因は、以下のように考えられる。

①グラウトミルクの付着などがあり表面養生が悪かった。

②溶接施工が不適切であった。

③余盛のグラインダ処理が不適切であった。

このような腐食事例が比較的多いので、このような穴は設けてはならない。やむを得ず、管に穴を設ける場合、以下の項目についで留意して設計しなければならない。

④プラグ類はステンレス鋼とする。

⑤管胴側の穴周辺をステンレス鋼とする。

（4）コンクリート埋設鋼構造物

放流管の設置固定、機能の確保、荷重の確実な伝達分散、水密性の確保のため、ジベルやリングガーダなどの埋設鋼構造部が重要な役割を果たしている。これら埋設鋼構造部は、コンクリートに埋設されるため、通常炭素鋼を使用する。しかし、コンクリートに埋設されるまでの期間が長くなるのが一般的であり、無塗装であるとその期間に発錆する。

このため、埋設鋼構造部を塗装して防食を行うことが望ましいが、塗装することによって、これら鋼材とコンクリートとの付着が低下することがあるので、塗装材料の選定が重要となる。各種塗料を塗装した鉄筋や鋼板のコンクリートとの付着性を試験した結果[1)]、無機ジンクリッチペイントを塗装した鋼材のコンクリートとの付着性は、無塗装の場合とほぼ同等の付着性能を示した。また、無機ジンクリッチペイントは鋼材の防食性に優れているので、工場出荷時に塗装すれば、現場での仮置き時の防食も期待できる。

だだし、ジンクリッチペイントは溶接割れの原因になる亜鉛を多量に含んでいるため、ジンクリッチペイントを塗布した鋼材を溶接すると溶接割れを生じる[2)]ので、放流管を現場で溶接接合する場合には、溶接部のジンクリッチペイントをディスサンダー等で完全に除去してから溶接しなくてはならない。

3．2．5　バルブ類

バルブおよびジェットフローゲート，高圧スライドゲートなどのバルブ類はステンレス鋼を使用する。

［解　説］

バルブは、扉体，ボンネット，ケーシング開閉装置，付属設備から構成される。また、ここではジェットフローゲート，ボンネット型高圧スライドゲートもバルブ類として取扱う。

バルブの例を図解－3.13に示す。接近ができない構造にあってはメンテナンス用のマンホールを設けることが望ましい。

（1）扉体

常時水中または湿潤環境にあり厳しい腐食条件下にある上に、ボンネットに内蔵されておりゲートに比べ再塗装などが容易でないことから、ステンレス鋼とすることが望ましい。特に口径600mm程度以下の小型のバルブは、扉体を一枚板で製作する場合が多いが、この場合にはステンレス鋼を使用する。扉体の例を図解－3.14に示す。

（2）ボンネット

ボンネットは、ゲート全開時の扉体収納部であり、ボンネット内面は常時水中にあるか、または湿潤環境にあり厳しい腐食条件下にある。内面は再塗装も困難であるため、少なくともボンネット内面は、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼とする。小口径である（丸、角ともに口径600mm程度以下）場合には、全てステンレス鋼とする。また、コンクリートに埋設されず常時湿潤環境中に露出している場合にも、全てステンレス鋼とする。

（3）ケーシング

ケーシングは、上下流放流管に接続する部分、戸当り、水密部より構成されており、管路部内面は、高速流水にさらされキャビテーションを生じる恐れもあるので、SUS304などのような耐摩耗性に優れたステンレス鋼を使用しなくてはならない。戸当り、水密部は、常時水中または湿潤環境にあり再塗装が容易でないので、ステンレス鋼を使用する。

ケーシングの例を図解－3.13に示す。

（4）開閉装置

1）油圧シリンダ式

①リンダロッドおよび扉体接続部は、ステンレス鋼とする。

②油圧シリンダと油圧ユニットとの間を接続する油圧配管材は、小部材であり凹凸も多く、塗膜の付着が期待できないので、固定金具を含め全てステンレス鋼とする。

2）スピンドル式

スピンドルおよび扉体への接続部は、全てステンレス鋼とする。

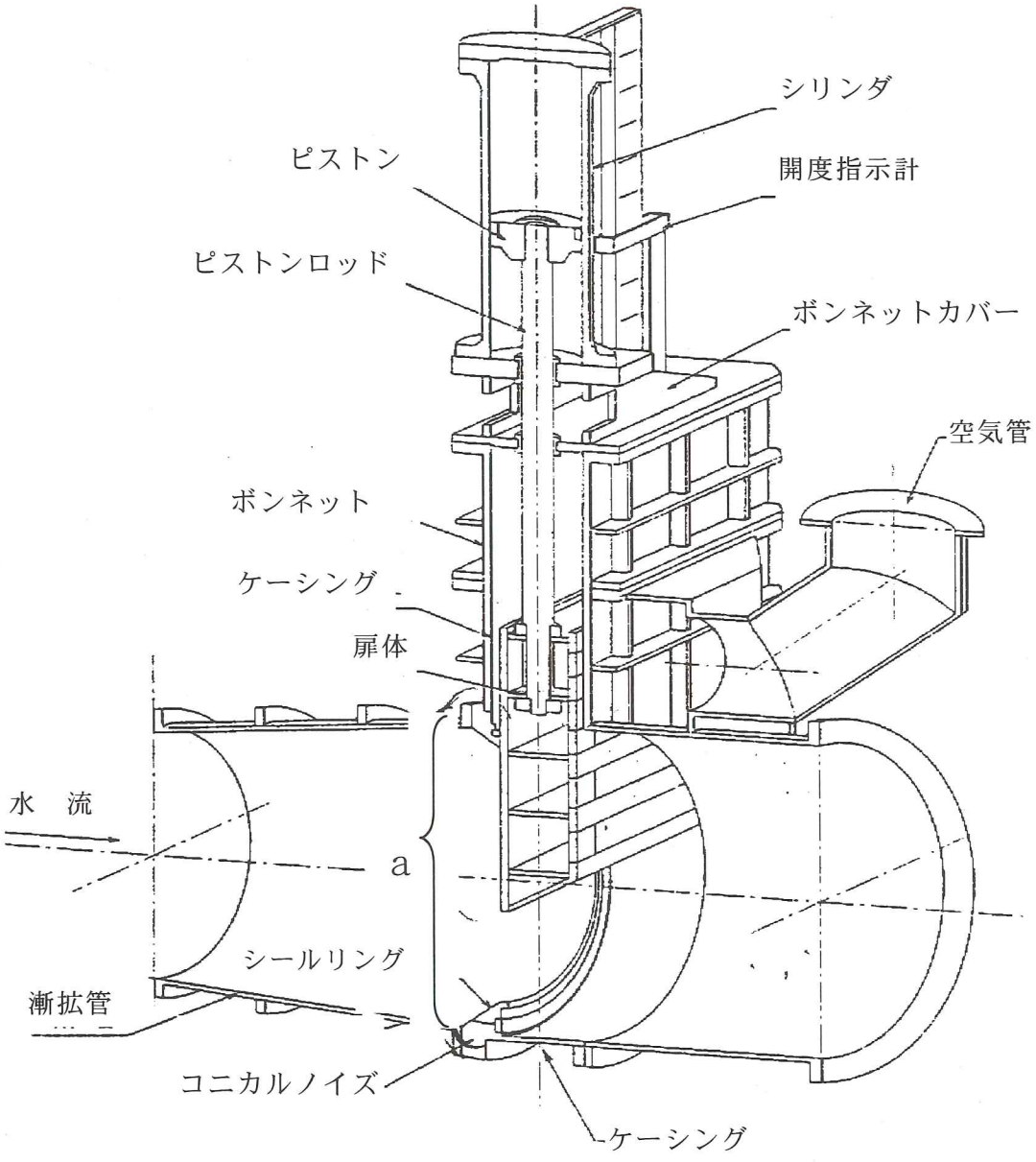
（5）付属設備

付属設備は、小部材であり凹凸も多く塗膜の付着が期待できないので、ステンレス鋼とする。

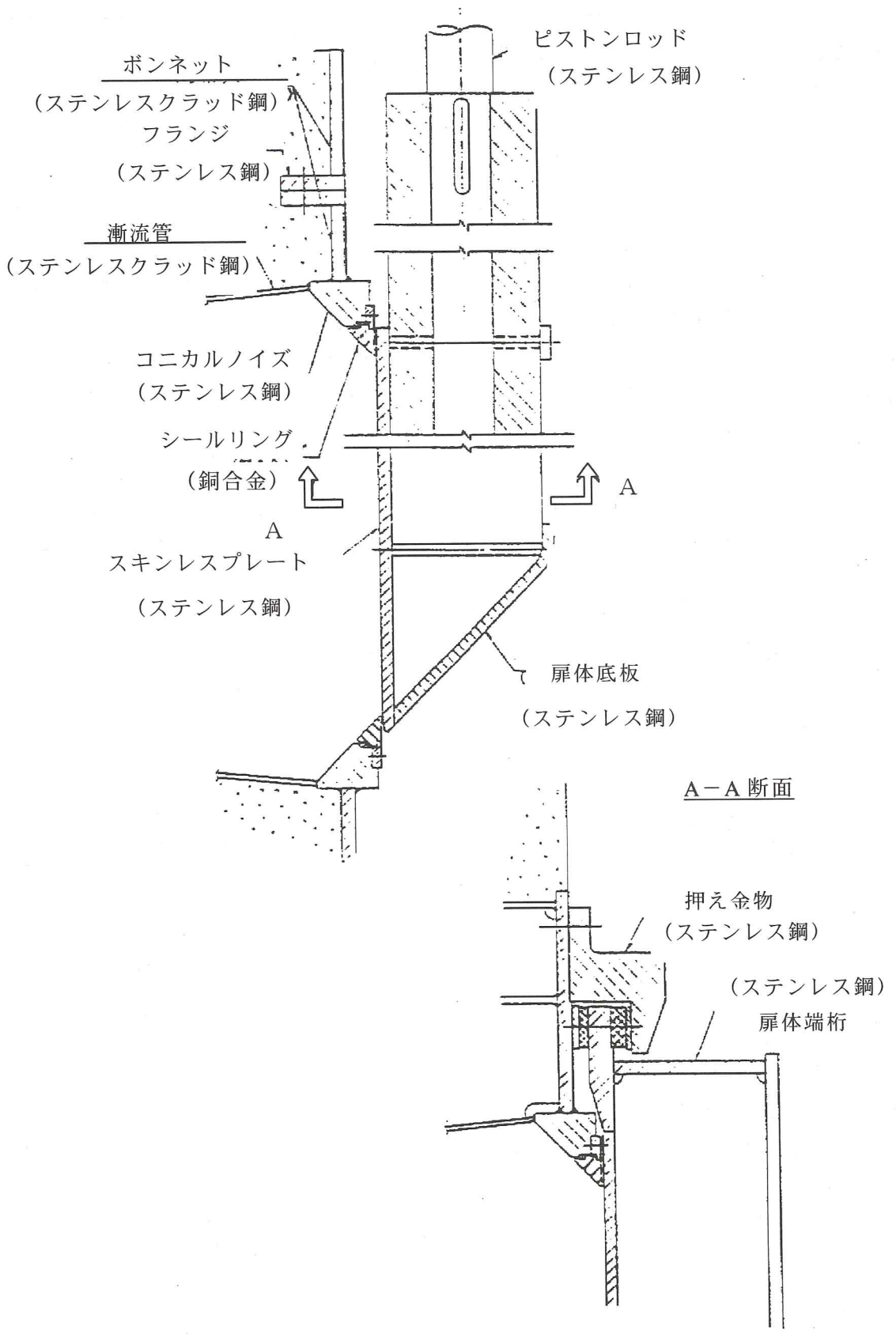
1）空気管，充水管，排水管，圧力検出用配管等の管類およびフランジ（ボルト・ナットを含む）は、ステンレス鋼とする。

2）充水弁は、ステンレス鋼とする。

3)扉体直動式の開度計ロッドおよび取付部品は、ステンレス鋼とする。
4)梯子，手摺，台などの点検用設備も再塗装に手間が掛かるので、ダム堤体内の開閉装置室のような湿潤環境にある場合、ステンレス鋼とする。



図解－3.13　バルブ（ジェットフローゲートの場合）



図解－3.14　扉体緒および水密部例（ジェットフローゲートの場合）

3．2．6　付属設備類

付属設備類のうち常時水中または湿潤環境にあり、かつ再塗装が容易でないものは、ステンレス鋼を使用する。

［解　説］

付属設備類は、ゲート本体に付属する扉体，戸当り，開閉装置などに比較してその重要度は低いと考えられがちである。また、小物で凹凸が多く塗装の付着性が劣るにもかかわらず、特別な配慮を払うという基準があるわけではない。しかも、再塗装などの維持管理に手間がかかり、特に腐食損傷に対する補修に困難を伴う場合が意外と多い。

このため、付属設備類にもステンレス鋼を使用するなど防食に留意する必要がある。特に、常時水中または湿潤な環境で厳しい腐食条件にあり、接近したり足場を設けたりすることが困難であるなど維持補修が容易でないような付属設備類には、ステンレス鋼を使用する。

1）スクリーン

図解－3.15に示すようにスクリーンは、小部材から構成され凹凸が多いため塗装が容易でない上に塗膜の付着性も劣る。また、スクリーンバーと綴り棒とのすき間で腐食も生じやすい。常時水没したり、接近するのが容易でない箇所に取付けられていたり、足場を設けるのが困難であるなど再塗装が容易でない場合も多い。よって、固定アンカ（露出部のみ）を含めて全てステンレス鋼を使用する。

2）取水塔

図解－3.16に示すように取水塔は、その大部分が通常ダム湖の中に水没している。貯水位低下が容易でない場合には、再塗装、補修などは困難である。このような場合、常時水中部はコンクリートアンカ部（埋投部を除く）を含め、全てステンレス鋼とする。常時水上にある部分についても、再塗装の困難さなどを考慮して、ステンレス鋼とする。

堤体付き取水塔の材料として、両面ステンレスクラッド鋼を使用した実績もある。これは、ステンレス鋼（持にSUS304）を使用すると、線膨張係数がコンクリートと大きく異なるため、固定部に大きな熱応力が発生する恐れがあるという理由で両面クラッドを使用したものである。

3）開閉装置架台

開閉装置架台には凹凸や狭隘部が多く再塗装などの維持管理も容易でないので、特にダム堤体内のような常時湿潤であるなどの厳しい腐食環境にある場合には、ステンレス鋼を使用するなど、材料の選定や塗装仕様の選定において適切な防食を心掛けなければならない。

4）操作橋

操作橋は、足場設置が困難なことなどにより再塗装が難しい場合にはステンレス鋼の使用など材料の選定や、亜鉛めっきの上に塗装を施すなどの適切な防食に留意しなくてはならない。

操作橋の床板は、ステンレス鋼とする。また、取外し可能なようにボルト固定式とする場合には、ボルト・ナット、ワッシャなどは塗膜の付着が期待できないのでステンレス鋼とする。

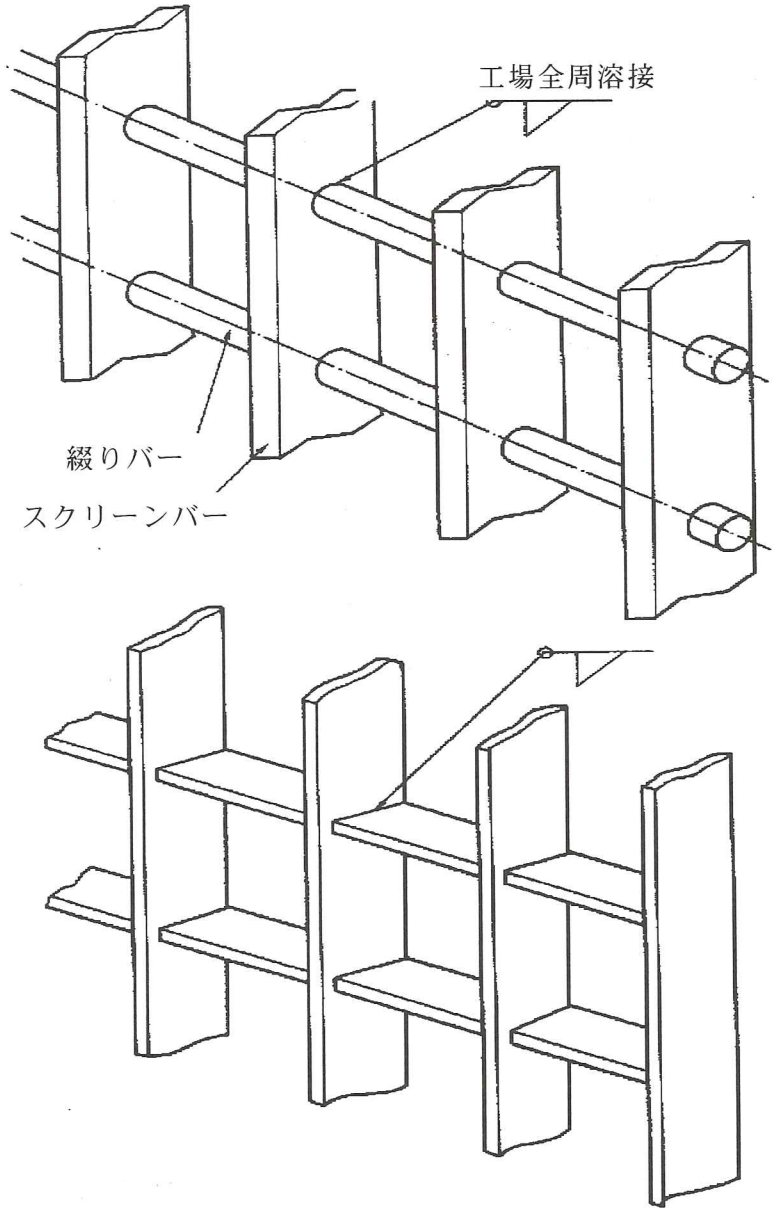
5）階段、手摺、梯子

階段、手摺、梯子は、点検に常時使用するが、再塗装などにおいて二次的になりやすい設備である。したがって、維持管理に手間を掛けないため、ステンレス鋼を使用する。

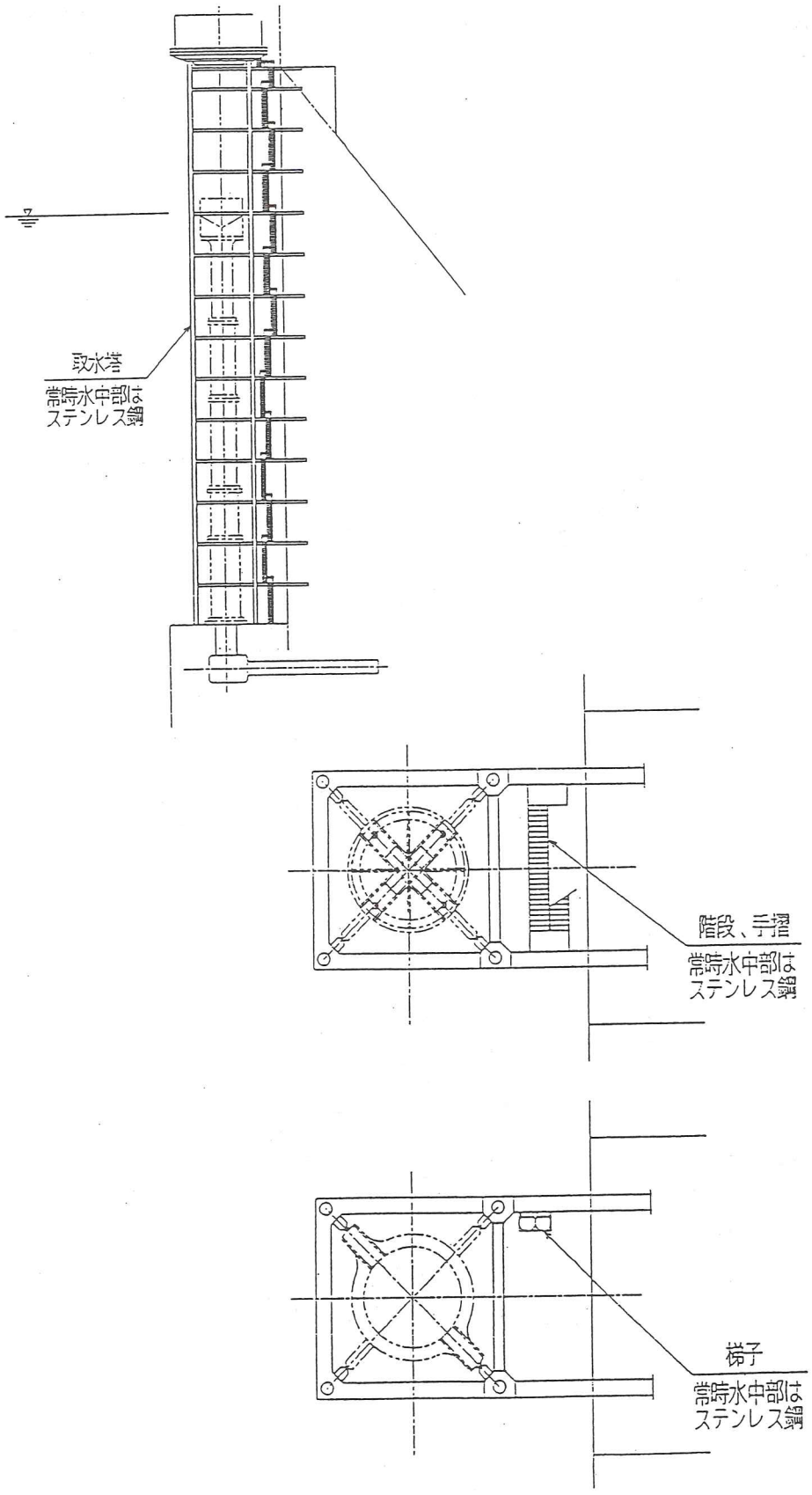
また、手摺などにカラーステンレスが使用された実績もあり、防食以外に美観という点も考慮して材料の選定を行ってもよい。

6）開閉装置室

開閉装置室にあるドア、窓枠、配線配管ピットの蓋、配線ラック、排水管およびその他付属設備類も、維持管理の簡素化を考慮してステンレス鋼を使用してもよい。



図解－3.15　スクリーンパネルの構造（上：綴りバー方式、下；溶接構造方式）



図解－3.16　鋼製取水塔（堤体付きの例）

３．３　汽水域における防食設計

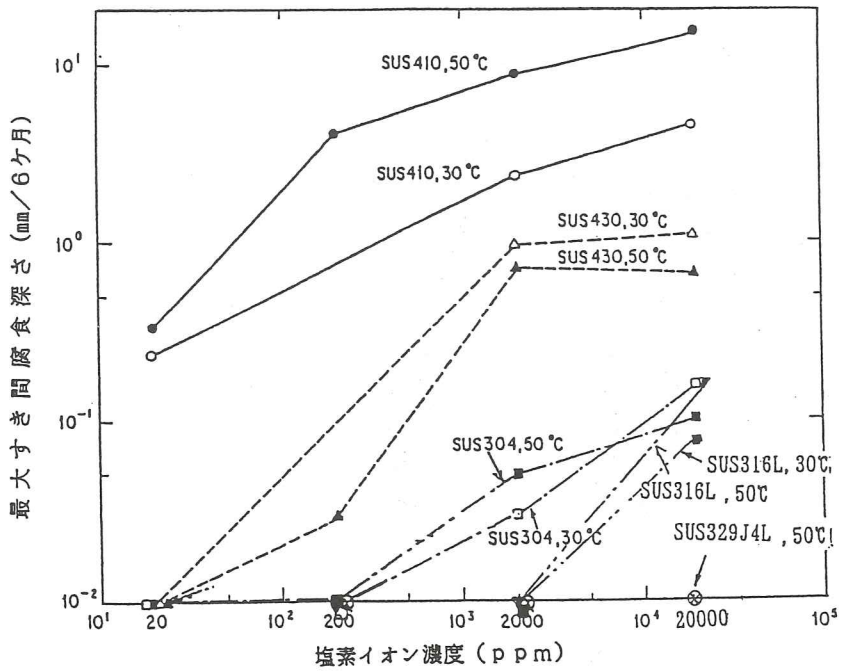
３．３．１　ステンレス材料の選定の考え方

汽水域に設置されるゲート等の設備においてステンレス材料を使用する場合には、ＳＵＳ３１６Ｌ，ＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌあるいは、これ以上の耐食性を有する材料を選定する

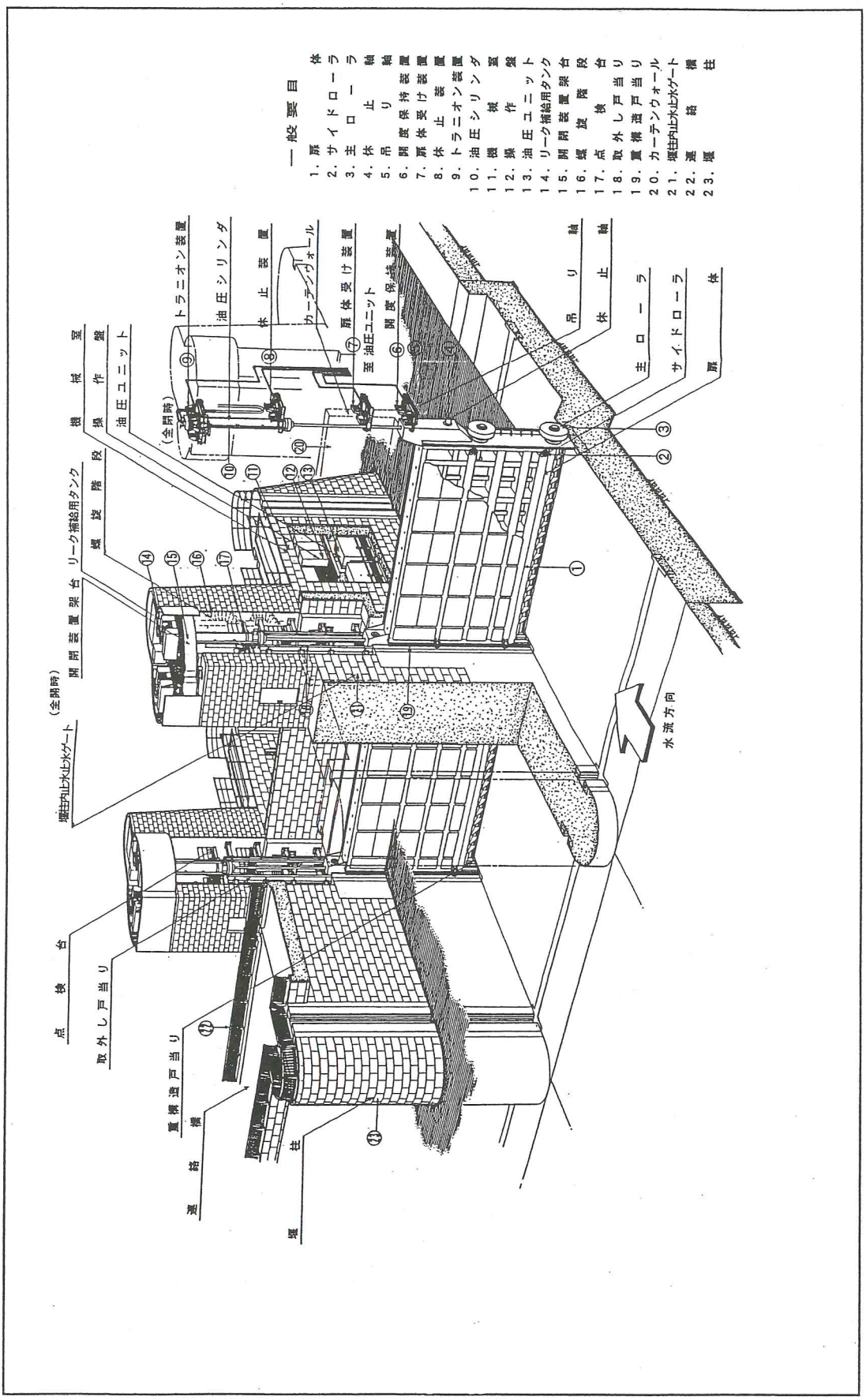
[解 説]

河川ゲート等に使用するステンレス材料選定にあたっての基本は、表解－3.1のステンレス鋼の種類と用途を参考として選定すべきである。しかしながら、汽水域の水中部においては海水の干満作用により上流域への塩分の遡上が繰返し起こり、しばしば塩化物イオン濃度が高くなり海水濃度に達することがある。したがって、ステンレス材料を選定する際には注意を要する。図解－3.17 に塩素イオン濃度による各種ステンレス鋼の腐食の起こりやすさの試験結果を示す。この結果によれば、汽水域の水中部、干満部においては、SUS316L、SUS329J4L、等の耐食性の高い材料を選定する必要がある。水中部において、やむをえず SUS304 を使用する場合には、電気防食の併用を検討する必要がある。また、汽水域の大気部においては海からの距離が近いため飛来塩分も多くステンレス材料表面および各種すき間における塩化物イオン濃度が高くなることが予想される。大気部の箇所で飛来塩分があるところでは SUS316L を使用する。発錆が問題となるところでは、SUS304 を使用して塗装をおこなう。

河川ゲートの例としてローラゲートの設備概要を図解－3.18 に示す。



図解－3.17　すき間腐食深さに及ぼす塩素イオン濃度の影響



図解－3.18　ローラゲートの設備概要

３．３．２　防食設計における留意事項

汽水域の防食設計にあたっては、電気防食との併用および土砂などの付着に留意しなければならない。

[解　説]

（１）電気防食との併用

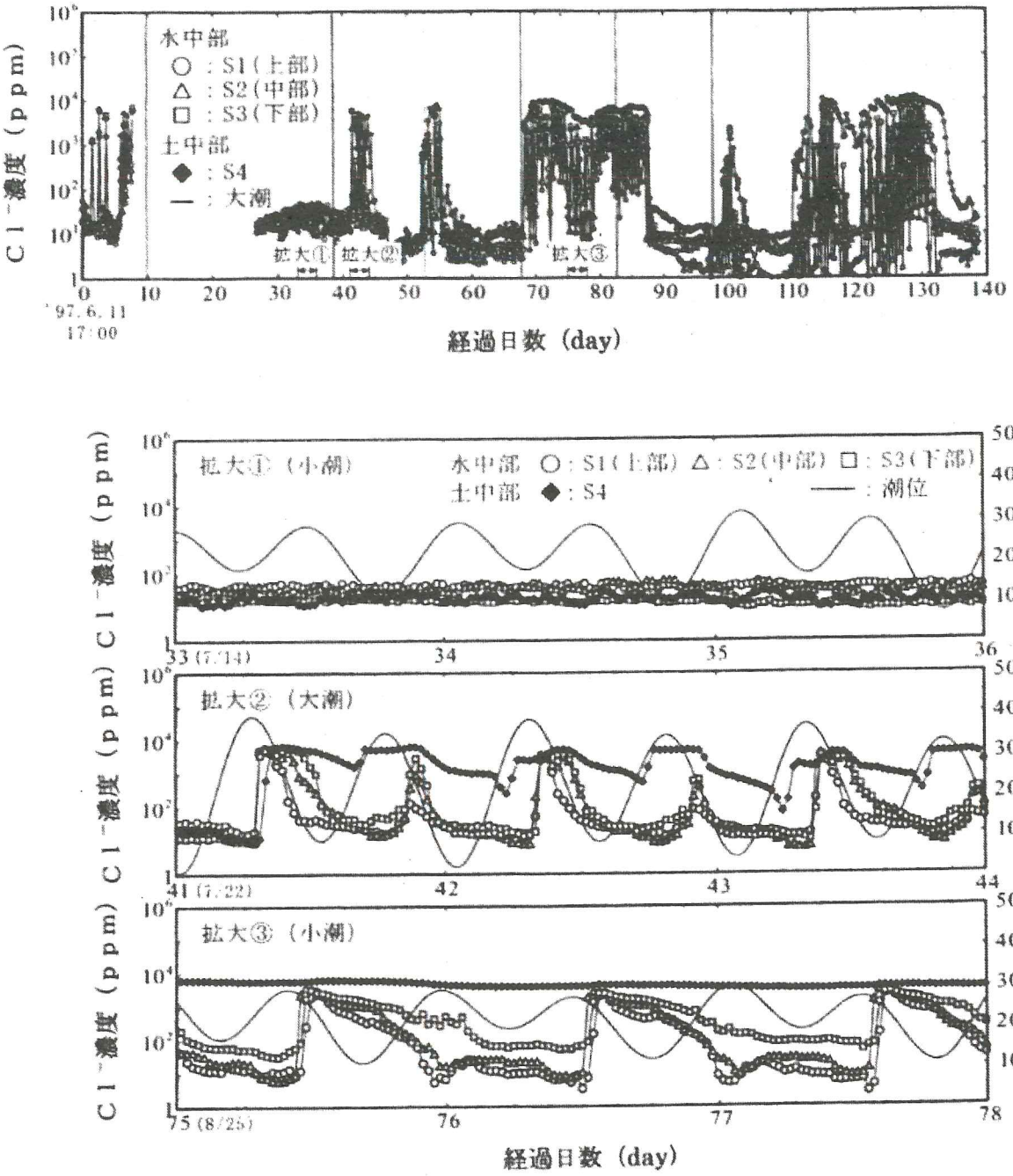
汽水域においては、ＬＣＣを低減するためにステンレス材料と電気防食とを併用した防食設計を行うことが望ましい。

（２）土砂などの付着

汽水域は、水中部のみならず大気部でも飛来塩分の影響、土中部等でも塩分浸透の影響も考えられ基本的に塩分存在環境下にある。ステンレス鋼が施工期間中において土中で腐食した実例もある。したがって、施工期間中、あるいは供用後においてもステンレス材料表面に長期にわたって土砂、ヘドロ等が付着、堆積した場合にすき間腐食の発生が懸念されるため、構造上、施工上これらが付着、堆積しないように考慮しなければならない。

（３）川底の土中における塩化物イオン濃度の変化

汽水域においては、満潮時に川底の砂に進入した塩化物イオンが干潮時においても図解-3.19 に示すように高濃度を維持することが多く、干潮時には上流からの河川水により淡水環境となる水中部に比して腐食環境が厳しいことに留意する必要がある。



図解-3.19　河川の汽水域における潮位と水中、土中の塩化物イオン濃度の変化
（守屋ら、第50回材料と環境討論会、p.117, B-104, (2003)）

第４章　ステンレス鋼適用に当たっての施工上の留意事項

４．１　保管管理

ステンレス鋼の板、またはこれらを使用した部材および構造物の保管は以下のように行わなくてはならない。

（１）ステンレス鋼表面に炭素鋼を直接接触させない。

（２）ステンレス鋼表面に鉄粉，コンクリート，泥などの汚れが付着しないように保護する。

（３）海岸付近では、海塩粒子が付着しないようにする。

〔解　説〕

（１）ステンレス鋼表面に、炭素鋼を接触させると、ステンレス鋼表面を傷つけるばかりでなく、もらい錆の原因ともなる。このため、ステンレス鋼の運搬や保管には、ステンレス鋼と炭素鋼を直接接触させないよう以下に示す事項に留意し、図解－4.1 および 4.2 に示すように行う。

①ステンレス鋼材に炭素鋼板を重ねない。

②ステンレス鋼表面に炭素鋼の番線やボルトなどを置いたままにしない。

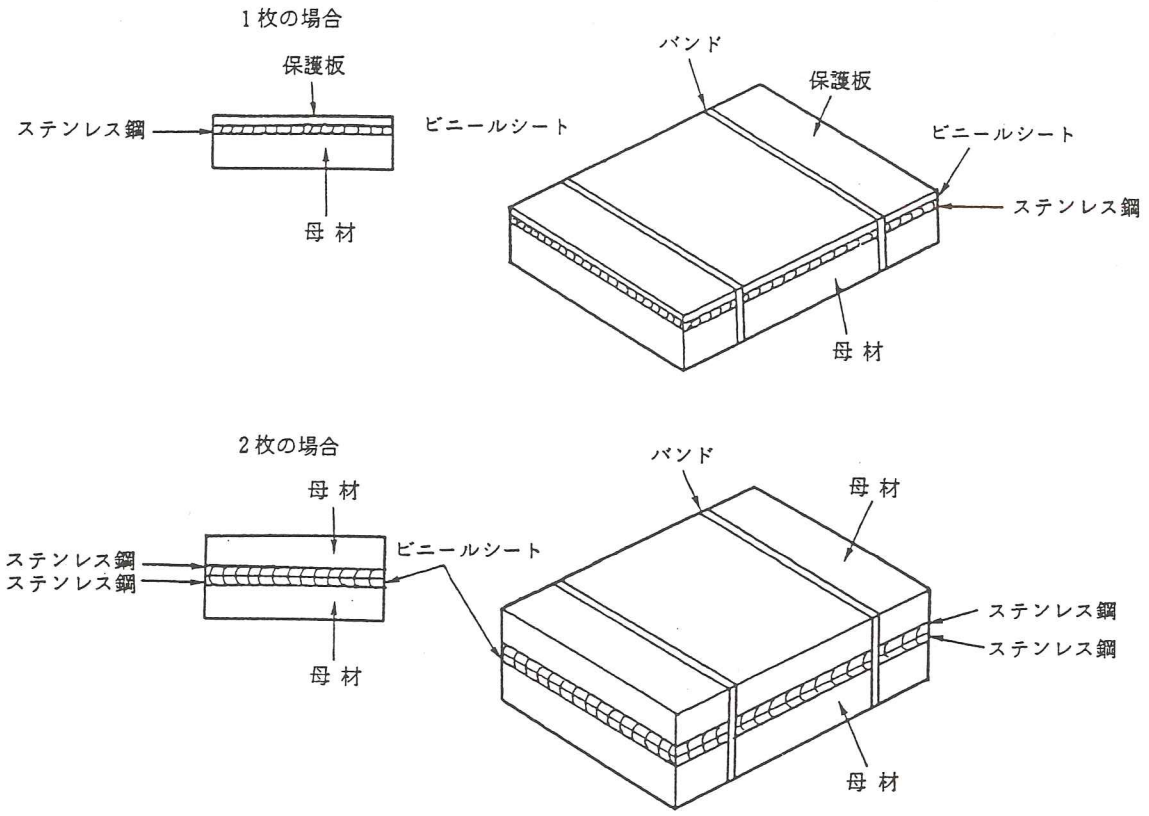
③炭素鋼のワイヤロープを直接掛けない。

④炭素鋼吊り金具（クランプ、溶接固定など）をステンレス鋼表面に直接取付けない。

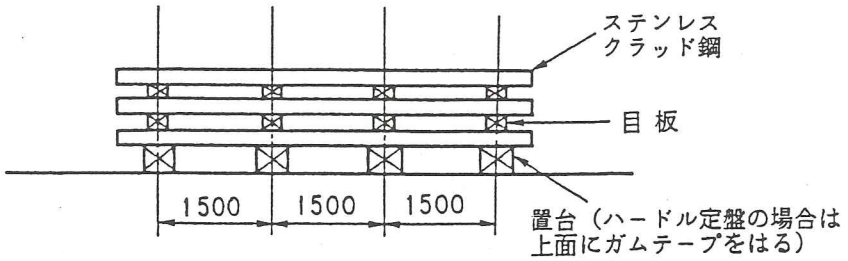
（２）鉄粉が飛来し、ステンレス鋼表面に付着すると発錆することがある。美観上好ましくないと同時に、溶接開先部に付着した場合には、溶接欠陥に至ることもあるので鉄粉が飛来するような場所での保管を避けることが望ましい。やむを得ない場合には、シートで覆うなどして保護しなければならない。

鉄粉が付着した場合には、バフ、ステンレス専用（炭素鋼には使用していない）グラインダなどで除去する。また、コンクリート、泥などの汚れも局部腐食の原因となる恐れがあるので、付着しないようにしなければならない。また、シートだけでは十分でない場合には、ステンレス鋼表面に保護膜となる塗料を塗ったり、貼ったりする方法などを検討する必要がある。

（３）ステンレス鋼の不働態皮膜は、塩化物イオンによって破壊されやすい。このため、海塩粒子の付着は避けなければならない。やむを得ず海岸付近で保管を行う場合には、ステンレス鋼表面をシートや保護膜などで保護し、加工に先だって水洗いを行い塩分除去することが必要である。



図解－4.1　ステンレスクラッド鋼板の荷姿例（工場納入時）



図解－4.2　ステンレスクラッド鋼の保管例

4．2　切　断

（1）切断によるステンレス鋼の品質

ステンレス鋼および両面ステンレスクラッド鋼の切断は、材質が変質し発錆させるような影響を最小限とするよう適切な方法を採用しなければならない。

（2）切断面の精度

切断面および加工した開先面の要求精度が満足されるよう適切な切断方法を採用しなければならない。

〔解　説〕

（1）切断によるステンレス鋼の品質

ステンレス鋼および両面ステンレスクラッド鋼の切断は、プラズマ、レーザーまたは機械で行う。

①工場では、通常自由度が高く応用性の広いプラズマ切断またはレーザー切断が利用されている。レーザー切断は、比較的新しい切断法であるが、技術の進歩による利便性と熱影響が少ないということで、最近では広く利用されるようになってきた。

②板厚が 12mm 程度までの薄い場合には、せん断法による機械切断も可能である。

③ステンレスクラッド鋼は、クラッド比$\left(\dfrac{\text{合せ材の板厚}}{\text{母材の厚さ＋合せ材の厚さ}}\times 100\%\right)$が約 30％以下のとき、母材側からガス切断を行うことが可能である。

④現場では、ステンレス鋼の切断は行わないことが望ましく、設計時から現場切断のない構造を計画しなければならない。ただし、図解－4.3 のような放流管内部支保工の取付部などのようにやむを得ず現場切断しなければならない個所に対し、アークエアガウジングにて切断することがある。この場合は、熱影響部をグラインダなどにより丁寧に除去しなくてはならない。

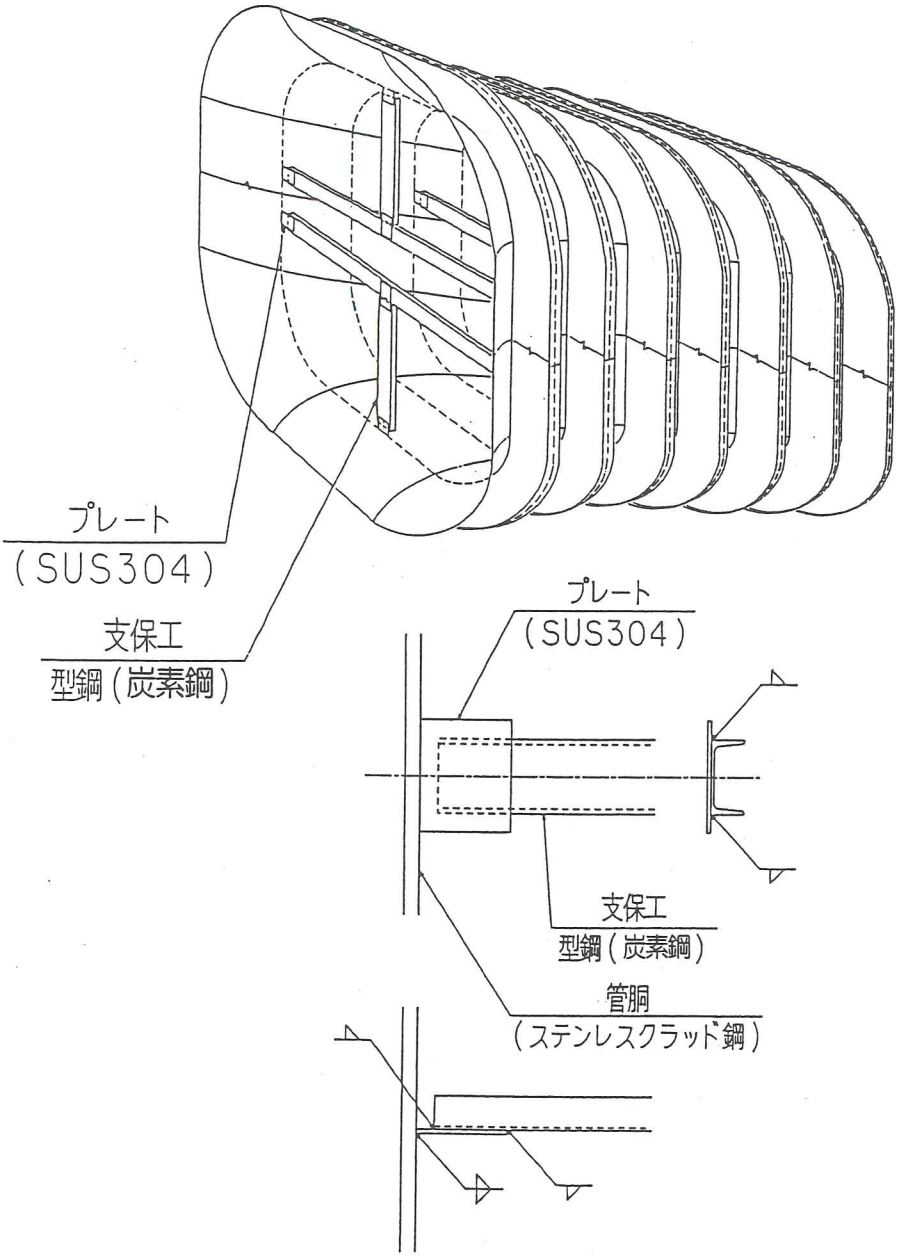
⑤小口径のステンレス鋼管などは、高速カッターによる現場切断が可能である。ただし、カッターは炭素鋼に使用したものを用いてはならない。

（2）切断面の精度

切断面の精度確保は、部材の組立て精度に影響を与えるので重要である。

プラズマ切断およびレーザー切断による切断面の精度は比較的良好であり、開先精度を容易に確保することができる。

機械切断のうち、せん断法による場合は、切断面にかえりが生じるのでその処理が必要になる場合がある。



図解－4.3　支保工の例

4．3　曲げ加工

オーステナイト系ステンレス鋼の曲げ加工は、原則として冷間曲げとする。

〔解　説〕

オーステナイト系ステンレス鋼は降伏比が低く延性があり、また、塑性域も広いので、冷間加工性に優れている。一方、熱間曲げを行うと鋭敏化する恐れがある。したがって、オーステナイト系ステンレス鋼の曲げ加工は原則として冷間曲げとする。

（1）オーステナイト系ステンレス鋼は、冷間加工により硬化が著しくじん性も低下する。したがって、主要部材において冷間加工を行う場合には、局部的に大きなひずみを与えないよう留意する。

①ステンレス鋼の内側曲げ半径は、強度部材では板厚の 10 倍以上とする。

②ステンレスクラッド鋼の内側曲げ半径は、強度部材では板厚の 15 倍以上とする。

（2）曲げ加工を行う部分には傷を与えないように十分注意する。

①異物噛み込みがあるともらい錆の原因にもなるので、曲げ加工を行うベンディングローラプレス治具のステンレス鋼接触部をよく清掃する。

②曲げ加工を行う鋼板の外側には、加工前にポンチを打たない。

4．4　機械加工

オーステナイト系ステンレス鋼の切削加工性は、炭素鋼に比べて劣るので、切削条件に十分注意して加工しなければならない。

〔解　説〕

オーステナイト系ステンレス鋼は、切削加工性が悪く、切削条件によって表面にむしれなどが生じたりする。このため、図解－4.4, 4.5 に示すように切削工具、送り速度などの切削条件の選定には、十分留意する必要がある。

切削加工性が悪い理由を以下に示す。

①降伏せん断応力が機械構造用鋼に比べて 1.2 倍と大きく、切削時の発熱量が多いため、工具寿命が短くなる。

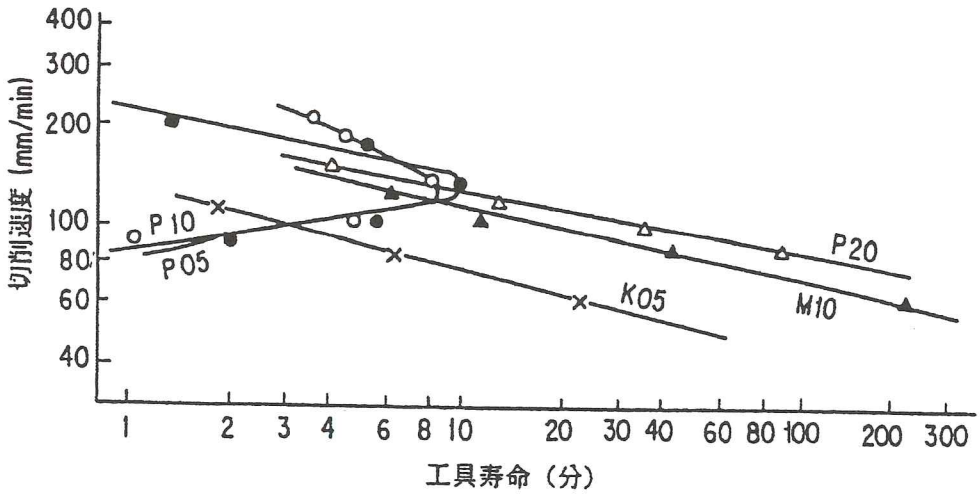
②同じ硬さの S30C に比べて約 2 倍の伸びを示し、せん断時の発熱量が多い。

③熱伝導率が S30C の約 30％であり、工具刃先で発生する切削熱を切り屑中に放出することが十分できないため、工具刃先の温度が高くなり、工具寿命が低下する。

④ステンレス鋼は酸化しにくいため、鋼の生地が直接工具すくい面と接触し凝着しやすい。この凝着物が持ち去られるとき、工具表面にピッチングを生じることがある。

⑤オーステナイト系ステンレス鋼は、準安定な組織であるため加工によって変態を引き起こしマルテンサイト硬化を生じるため、切削しにくくなる。

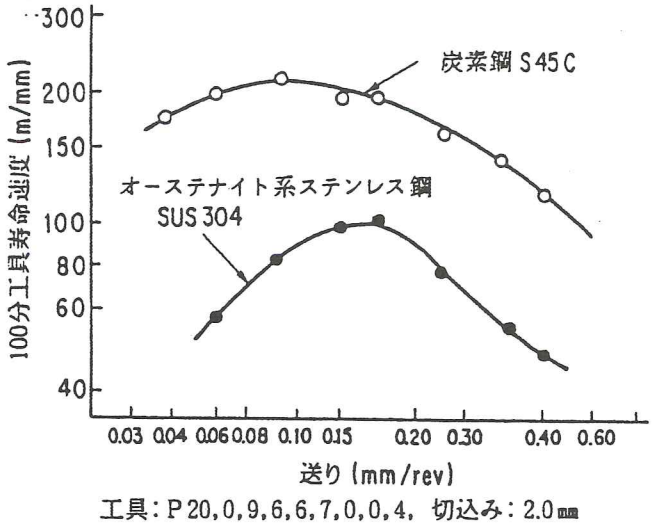
また、加工時には、もらい錆の原因となる炭素鋼の切屑などが、周囲にないように十分注意しなければならない。



注）図中の P20，M10 などは，JIS B 4053 による工合の種類を示す。

図解－4.4　オーステナイト系ステンレス鋼の工具寿命曲線

（大同特殊鋼技術資料）



工具：P 20, 0, 9, 6, 6, 7, 0, 0, 4，切込み：2.0 mm

注）100分工具寿命とは，工具を100分間使用して
切削できなくなる切削速度を言う。

図解－4.5　送りと100分工具寿命切削速度の関係

（大同特殊鋼技術資料）

4．5　溶接

4．5．1　溶接方法および資格

（1）ダム・堰・水門等の施設に用いる溶接方法は、アーク溶接を原則とする。
（2）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。
（3）母材および溶接材料は、JIS 規格を満足するものでなければならない。

〔解　説〕

（1）溶接方法

鋼構造物の製作に用いられる溶接方法には、各種の方法があるが、ここではアーク溶接を原則とする。

通常よく用いられている被覆アーク溶接，ミグ溶接，炭酸ガスアーク溶接（フラックス入りワイヤ），ティグ溶接およびサブマージアーク溶接を標準とする。各溶接法の概略図を図解－4.6 に示す。

溶接方法および溶接姿勢の適用区分は、工場の設備ならびに製作方法によって異なるので、一様に規定することは困難であるが、適用にあたっては溶接方法および各部材の特徴をよく理解して決定し、溶接施工法承認試験に合格した施工方法で実施しなくてはならない。

（2）溶接士および溶接施工管理技術者

1）溶接士

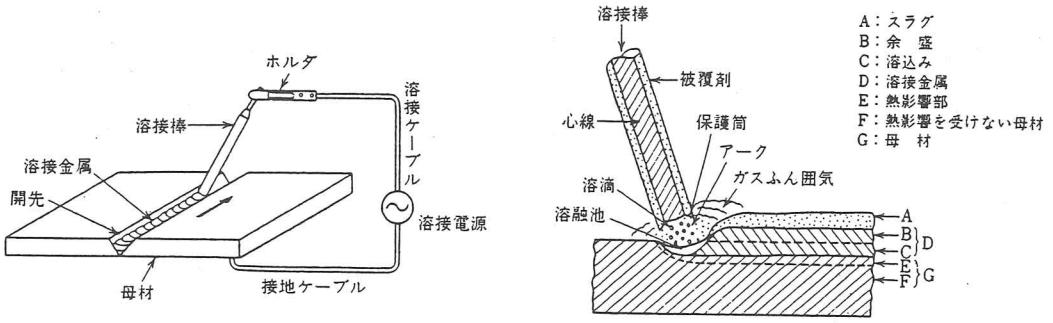
ステンレス材料の溶接に従事する溶接士は、採用する溶接方法および継手の種類に対する有資格者でなくてはならない。表解－4.1 に JIS Z 3821 の検定試験の種類を示す。サブマージアーク溶接法については、国家試験はないが溶接の基本である被覆アーク溶接の有資格者またはこれと同等以上の認定試験に合格したものであることが望ましい。

2）溶接施工管理技術者

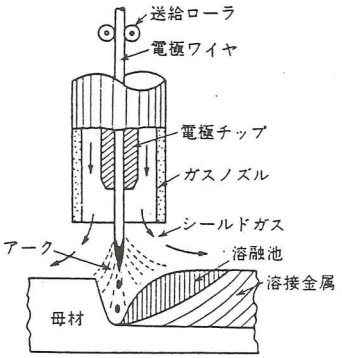
溶接部の品質は、溶接に適した継手を使用することや、作業環境等を確保することが重要であり、溶接全般に広く知識を持ち、実施工に採用する溶接方法に精通した技術者、例えば日本溶接協会の WES8103「溶接技術者資格認定制度」の有資格者又は同等の能力を持つ管理者のもとで施工することが望ましい。

（３）母材および溶接材料

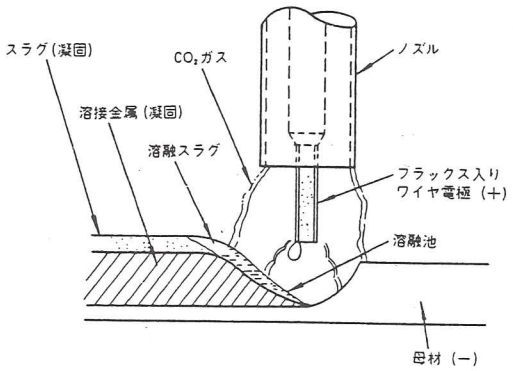
溶接部の品質を確保するためには、良好な溶接性を有する母材および溶接材料を選定することが必要であり、特に溶接材料は表解－4.2 の規格を満足すること以外に、良好な作業性を有するものを採用することが重要である。



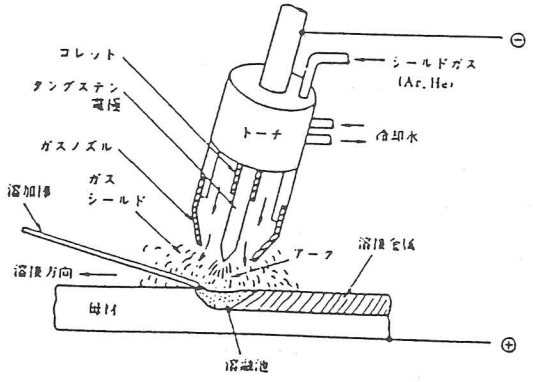
・被覆アーク溶接



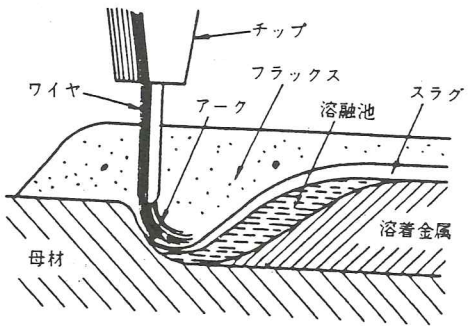
・ミグ溶接
（ソリッドワイヤ使用）



・炭酸ガスアーク溶接
（フラックス入りワイヤ使用）



・ティグ溶接



・サブマージアーク溶接

図解－4.6　各種溶接法の概略図

（溶接・接合便覧、神鋼技術ガイド）

表解－4.1　ステンレス鋼溶接技術検定の試験の種類

(JIS Z 3821 より)

試験の種類			継手の種類			試験の名称	試験片の試験
溶接方法	溶接姿勢	記　号	試験材形状	試験材寸法	裏当ての有無(2)		
被覆アーク溶接	下向(1)	SUS CN－F	板	板厚 9mm	N	被覆アーク下向試験	表曲げおよび裏曲げ
	立向	SUS CN－V				被覆アーク立向試験	
	横向	SUS CN－H				被覆アーク横向試験	
	上向	SUS CN－O				被覆アーク上向試験	
		SUS CA－O			A		
	水平固定鉛直固定	SUS CN－Pφ	管	呼び径150A 肉厚 9～11mm	N	被覆アーク固定管試験	
		SUS CA－P			A		
ティグ溶接	下向(1)	SUS TN－F	板	板厚 3mm	N	ティグ下向試験	
	立向	SUS TN－V				ティグ立向試験	
	横向	SUS TN－H				ティグ横向試験	
	上向	SUS TN－O				ティグ上向試験	
	水平固定鉛直固定	SUS TN－P	管	呼び径 80～		ティグ固定管試験	
溶極式アーク溶接	下向(1)	SUS MN－F	板	板厚 9mm	N	溶極式アーク下向試験	
		SUS MA－F			A		
	立向	SUS MN－V			N	溶極式アーク立向試験	
		SUS MA－V			A		
	横向	SUS MN－H			N	溶極式アーク横向試験	
		SUS MA－H			A		

注(1)　下向溶接は、溶接の基本姿勢とする。

(2)　N は裏当て金なし、A は裏当て金あり。

(3)　初めの 1～2 パスをティグ溶接で行う場合は、記号の末尾に M を付ける。

表解－4.2　ステンレス鋼用溶接材料の規格

JIS	規格名称
JIS Z 3221	ステンレス鋼被覆アーク溶接棒
JIS Z 3321	溶接用ステンレス鋼棒およびワイヤ
JIS Z 3323	ステンレス鋼アーク溶接フラックス入りワイヤ

４．５．２　溶接準備

（１）開先形状は、板厚や溶接方法により異なるので、健全な溶接部が得られる適正な開先形状とする。
（２）溶接による変形を少なくするため、ジグ、固定具および溶接順序等を考慮する。
（３）開先部およびその近傍は溶接前に清浄にする。

〔解　説〕

（１）開先形状および目違い

１）開先形状は、各溶接法により異なるが、表解－4.3 にステンレス鋼の標準的開先形状を、表解－4.4 にステンレスクラッド鋼の標準的な開先形状を示す。

２）開先合せの許容値はダム・堰施設技術基準（案）によるが、ステンレスクラッド鋼の場合は品質に与える影響が大きいので特に注意を要する。

すなわち、ステンレスクラッド鋼は、合せ材の板厚が薄いので溶接部の品質に及ぼす目違いの影響が大きい。したがって、目違いは合せ材板厚の 1/2 を越えない値とすることが望ましい。例えば、ステンレスクラッド鋼の溶接時の目違いをグラインダ等で修正した場合、初層の溶接金属が露出し腐食しやすくなっている。したがって、目違いが大きい場合は、図解－4.7 に示すように修正ビートを置き、傾斜を緩やかにしてグラインダ等による修正（削る）を少なくすることが望ましい。

（２）溶接変形の防止

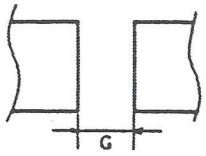
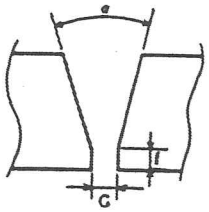
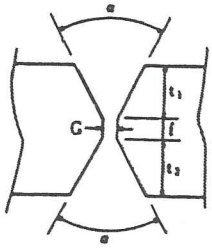
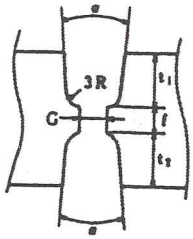
オーステナイト系ステンレス鋼は、熱膨張係数が大きいので溶接による変形が大きい。変形防止方法としては、拘束治具による方法と溶接順序を飛石法とか対称法で施行する方法があるが、定まった治具や方法があるわけではないので、溶接部材に合った方法を検討し変形防止を図る必要がある。

（３）開先部の清浄化

オーステナイト系ステンレス鋼は、低融点金属（亜鉛、すず、鉛等）による溶接割れ感受性が高いので、塗料、油および粉塵等を除去し溶接することが必要である。清掃方法としては、有機溶剤をきれいな布に付けてふき取るのが一般的である。また、開先内が水分を含んでいる場合は、ブローホール発生の原因となるので、ガス炎等により加熱し、開先部近傍の水分を蒸発させて、乾燥した状態で溶接を行う。

表解－4.3　ステンレス鋼の開先形状の例

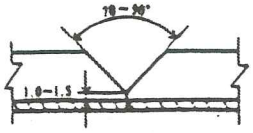
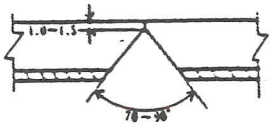
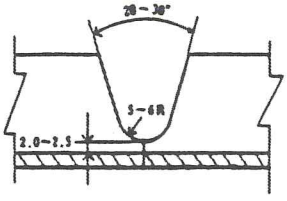
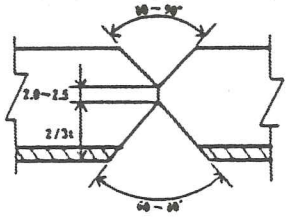
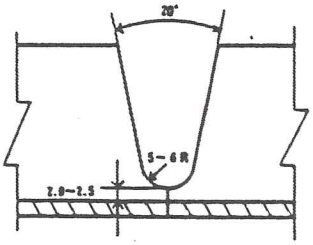
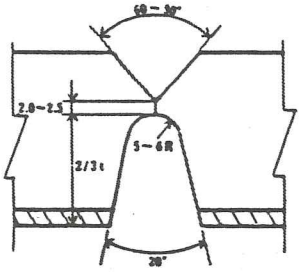
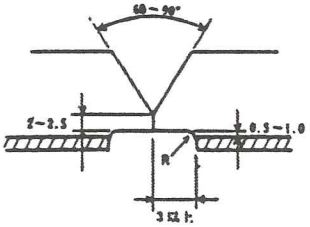
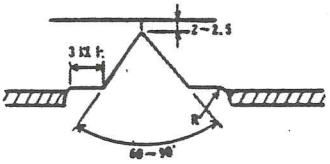
（被覆アーク溶接）

型	開先形状	板厚 t (mm)	G (mm)	f (mm)	α (度)	t_1 (mm)	t_2 (mm)
I		1	0.5				
		2	1				
		3	2				
		4	2				
V		4	2	2	90		
		6	2	2	90		
		8	2	2	90		
		9	2	2	80		
		12	2	2	75		
		18	2	2	75		
X		6	2	2	90	2	2
		8	2	2	90	4	2
		9	2	2	80	4	3
		12	2	2	80	7	3
		18	2	2	60	11	5
		20	2	2	60	12	6
		25	3	3	60	14	8
H		34	3	3	60	21	10
		50	3	3	50	31	16
		34	2	3	12	16	15
		>50	2-4	3	12-30	$\frac{t-f}{2}$	$\frac{t-f}{2}$

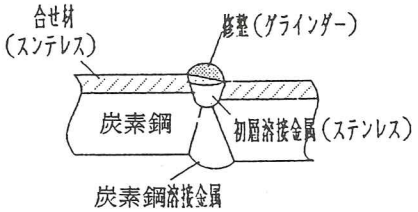
太線内は適正開先形状例

（SAS 801 ステンレス鋼溶接施工基準）

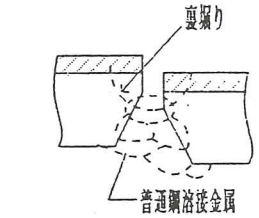
表解－4.4　クラッド鋼の開先形状の例

	板厚 t (mm)	形状	
		外面開先	内面開先
クラッド部分を削除しない場合	6～20		
	20～32		
	32以上		
クラッド部分を削除する場合	6～20		

（SAS 801 ステンレス鋼溶接施工基準）

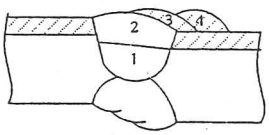


グラインダーによる修整



普通鋼の溶接及び裏堀り

↓



ステンレス溶接

（1.2 は正規の溶接
3.4 は目違い修正溶接）

図解－4.7　目違いが大きい場合の溶接方法の例

4．5．3　溶接材料の選定

溶接材料は、母材と同等の品質が得られるものを使用しなくてはならない。

〔解　説〕

（1）適用溶接材料

使用頻度の高いステンレス鋼および溶接法に対する溶接材料の標準的適用例を表解－4.5および4.6に示す。ステンレスクラッド鋼に対する適用溶接材料組合せは、炭素鋼への肉盛溶接においても同様である。

（2）溶接材料の管理

溶接材料が吸湿、油付着、汚れを帯びた場合、溶接欠陥発生の原因となるので、保管には十分な管理が必要である。フラックスを有する溶接材料については、使用前に溶接棒メーカの指定する条件で乾燥したものを使用する。

表解－4.5　ステンレス鋼への適用溶接材料

鋼　種	SMAW	GTAW	FCAW
SUS304	D308	Y308	YF308
SUS304L	D308L	Y308L	YF308L
SUS316	D316	Y316	YF316
SUS316L	D316L	Y316L	YF316L
SUS 329J4L	・WEL329J4L ・NC329M ・ニッテツ 329J4L・R ・タセト RNY329J4L ・トクデン NCF-329J ・#DP-3	・WELTIG329J4L ・TGS329E ・ニッテツ YJ-329J4L ・タセト TG329J4L ・トクデン T-329 ・#DP-3T 3M	・WELFCW329J4L ・DW329M ・ニッテツ SF-329J4L ・タセト GFW329J4L ・トクデン MJ-329J4L ・#AS-DP3

・SMAW：被覆アーク溶接（JIS Z 3221）
・GTAW:ティグ溶接（JIS Z 3321）
・FCAW：フラックス入りワイヤによる溶接（JIS Z 3323）
・SUS329J4L 用溶接材料の JIS 規格は未制定のため、代表的溶接材料メーカの銘柄を記入した。

表解－4.6　ステンレスクラッド鋼の標準適用材料

溶接法	SMAW		GTAW		FCAW	
	初　層	残　層	初　層	残　層	初　層	残　層
SUS304	D309	D308(注1)	Y309	Y308(注1)	YF309	YF308(注1)
SUS304L	D309L	D308L	Y309	Y308L	YF309L	YF308L
SUS316	D309Mo	D316	Y309Mo	Y316	YF309Mo	YF316
SUS316L	D309Mo	D316L	Y309Mo	Y316L	YF309MoL	YF316L
SUS 329J4L	D329J4	D329J4L	Y329J4L	Y329J4L	YF329J4L	YF329J4L

（注1）309を初層から残層まで使用しても問題はない。
（309は308よりCr・Ni量とも多いので耐食性は優れている）

４．５．４　溶接施工

（１）予熱パス間温度を守らなければならない。
（２）材質・板厚および継手形状に合った適正溶接条件で施工しなくてはならない。

〔解　説〕

（１）予熱およびパス間温度

１)オーステナイト系ステンレス鋼および２相ステンレス鋼とも溶接割れや脆化が高温で発生するので､溶接部のオーバーヒートを避けなくてはならない。このため、特別な場合を除き予熱は行わずパス間温度を 200℃以下とする。

開先部の水分を蒸発させるために加熱を行う場合においても、開先部の温度が 200℃以下になってから溶接を開始しなくてはならない。

２)ステンレスクラッド鋼の場合は、炭素鋼側の溶接において、その材質および板厚により、溶接割れ防止上、予熱が必要な場合も生じる。しかし、河川・ダム施設に使用するステンレスクラッド鋼の母材は、引張強さが 490N/mm^2 以下の SM400 クラスの材料が多いので、ほとんど予熱を必要としない。高張力鋼や 30mm 以上の厚板や作業環境が 0℃以下の場合には予熱が必要となることもあるので、その場合は適正予熱温度を決定し溶接を行う。

３)マルテンサイト系ステンレス鋼と炭素鋼の異材溶接が存在する場合には、オーステナイト系ステンレス溶接材料（例：D309）を使用するのが一般的である。予熱は不要であり、特別な場合を除き 1)のオーステナイト系ステンレス鋼の溶接と同様である。

（２）適正溶接条件

１)被覆アーク溶接

①電流が高すぎるとスパッタ､ブローホール､アークの乱れが発生するので、表解－4.7 に示すような、溶接棒メーカの推奨値内の適正電流で施工する。

②スパッタがステンレス鋼表面に付着しないように、スパッタ付着防止剤を塗布するか、適当な方法で付着を防止する。

③運棒法はストリンガービードが望ましく、また、ウィービングを行う場合には､ウィービング幅を溶接棒径のおよそ 2.5 倍以下にすることが望ましい。

④アークストライクは溶接される部分（開先内）または、その他の小片で行い、母材に対しては行ってはならない。

⑤多層盛溶接では、前層のスラグおよびスパッタを完全に除去し、次層の溶接を行う。この場合、清掃に使用するワイヤブラシはステンレス鋼製を使用する。

⑥突合せ溶接部の両端にはタブを付け、始点・終点の欠陥を避ける。

⑦裏はつりを、アークエアガウジングにより行う場合は、平滑な金属面が現れるまでグラインダなどで仕上げる。

2）ミグ溶接

①アーク光が強いので、皮膚や目の保護に十分な注意が必要である。

②溶接金属が酸化されやすいので、表解－4.8に示す適正溶接条件で施工すると共に、酸化が激しい場合には、酸化スケールをグラインダ゛等で除去してから次層の溶接を行う。

③シールドガスには、アークの安定性の面からアルゴンに数％の酸素を混合したものが使用されている。

④シールドガス流量の不足や、風が強いとブローホールが発生し易くなるので、適正なガス流量の確保および防風対策が必要である。

3）炭酸ガスアーク溶接（フラックス入りワイヤ）

①溶接可能電流範囲が広いので、板厚や開先形状に適した表解－4.9に示す適正溶接条件で施工する。

②フラックス入りワイヤは、一般のワイヤに比べて表面の硬さに多少差があるので、送給ギヤの調整、チップの交換、コンジットケーブルの曲がりを少なくする等に注意する。

③ワイヤの突出し長さは、通常 15～20mm が適正とされている。

4）ティグ溶接

①裏波溶接によく使用されるが、バックシールド（裏側をアルゴンガスでシール）を行わないと、裏波ビードが酸化して、健全な溶接金属が得られないので十分な注意が必要である。最近は、高価なアルゴンガスを使用せず、裏面にフラックス入りペーストを塗布する方法や、フラックス入りティングワイヤで酸化を防止し、健全な溶接金属を得る方法も行われている。

②タングステン電極棒の酸化、消耗を防ぐため、電極棒が赤熱中はアルゴンガスを中断してはならない。

③幅広い任意の溶接条件が採用できるので、板厚や開先形状に適した表解－4.10に示す適正溶接条件で施工する。

5）ステンレスクラッド鋼の溶接

①標準的なステンレスクラッド鋼の溶接順序は、表解－4.11に示すように、炭素鋼の溶接完了後、ステンレス鋼の溶接を行う。その逆の、ステンレス鋼を先に溶接し、その上に炭素鋼の溶接を行うと、ステンレス鋼を溶融させた炭素鋼溶接金属は硬くて脆いマルテンサイト組織になり、割れ発生等の問題を起こす。

②ステンレス鋼を先に溶接する場合は、表解－4.12に示すように、全ての溶接をステンレス溶接材料により施工するのが一般的である。

（3）現地の溶接施工

現場の作業環境は、高温多湿，漏水，風，冷地の低温等必ずしも良好でない場合がある。したがって、このような作業環境では、実際の作業環境下で溶接施工試験を行い溶接部の健全性を確認することが必要である。

以下に、現地作業における注意点と対策を示す。

1)溶接開先部近傍の汚れ

溶接開先近傍に汚れや水分が付着している場合は、清掃し除去しなくてはならない。水分が結露等で除去し難い場合は、ガス炎等で加熱し除去する。ただし、この場合でも母材の温度が200℃以下になったことを温度チョークなどで確認してから溶接を始める。

2)風の影響

風の強い所で溶接を行うと溶接欠陥が発生する場合がある。溶接欠陥の発生に及ぼす風速の影響は、図解－4.8のようであり、溶接方法や溶接材料の種類により感受性が異なる。

一般にガスシールドアーク溶接（ティグ，ミグ，炭酸ガスアーク溶接）の耐風性は、風速2m/sec以下と言われている。被覆アーク溶接の場合は、若干感受性が低く、4m/sec位までは大きな問題はないようである。

いずれにしても屋外等において風速は安定しているわけではないので、風が強い場合は防風対策をすることが望ましい。

3)溶接材料の保管

フラックスは大気中に放置しておくと吸湿し易く、吸湿したフラックスを用いると溶接欠陥が発生し易くなるので、溶接棒は使用前に再乾燥して使用する。長時間（約4時間以上）持ち歩く場合や、水分が付着する恐れのある状況では、専用の小型乾燥器に入れて、溶接時に少量ずつ取出して使用することが望ましい。

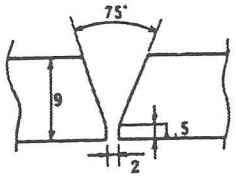
4)寒冷地

オーステナイト系ステンレス鋼の場合、予熱は必要ないが、ステンレスクラッド鋼の炭素鋼部の溶接では、予熱が必要な場合もある。寒冷地などでは実作業環境で確認試験を行い予熱の必要性を決めることが望ましい。

図解－4.9にHT－50（板厚＝32mm）の斜めY形溶接割れ試験結果を示す。炭素鋼より若干割れ感受性は高いが、外気温度が低くなると溶接割れ率（ルート割れ）が増加することが判る。日本においても外気温度が、氷点下に低下することがある。外気温が低いと溶接部の冷却速度が速く、硬化しやすい。

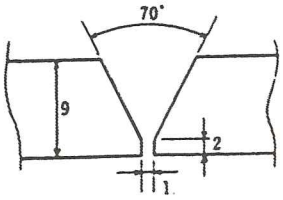
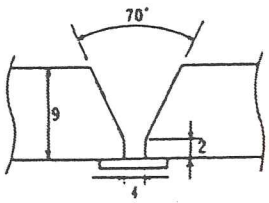
そのため、低温割れが生じやすいとされ、気温が5℃以下では炭素鋼でも予熱を行うようにしているところもある。

表解－4.7　被覆アーク溶接法の突合せ溶接条件の一例

開先形状	姿勢	層数	電流（A）	電圧（V）	速度 (mm/min)	棒径 (mmφ)
	F	4	130～150	22～26	90～200	4.0
	V.H.O	4	110～130	20～24	100～120	4.0

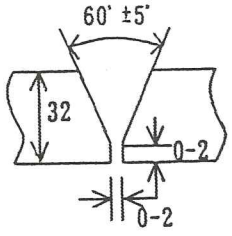
（SAS 801 ステンレス鋼溶接施工基準）

表解－4.8　ミグ溶接突合せ溶接条件の一例

開先形状	姿勢	層数	電流（A）	電圧（V）	速度 (mm/min)	ワイヤ径 (mmφ)	Ar流量 (ℓ/min)
	F	3	200～270	20～30	300～600	1.2	15～30
	F	3	220～270	20～30	300～600	1.2	15～30

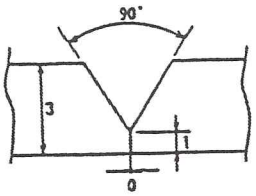
（SAS 801 ステンレス鋼溶接施工基準）

表解－4.9　炭酸ガスアーク溶接（フラックス入りワイヤ）の突合せ溶接条件の一例

開先形状	姿勢	層数	電流（A）	電圧（V）	速度 (mm/min)	ワイヤ	ガス流量 (ℓ/min)
	F	9 (21パス)	250～260 (DC, RP)	28	300～400	YF 308 (1.2mmφ)	CO_2 18

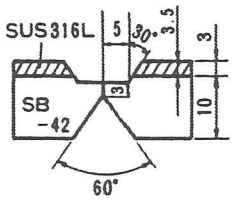
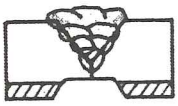
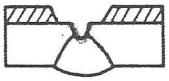
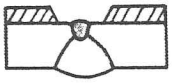
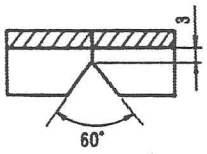
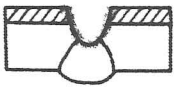
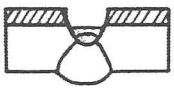
（石川島播磨重工業㈱技術資料）

表解－4.10　ティグ溶接の突合せ溶接条件の一例

開先形状	姿勢	層数	電流（A）	電圧（V）	電極 (mm/φ)	棒径 (mm/φ)	ワイヤ径 (mmφ)	速度 (mm/min)
	F	2	100～130	12	1.6	1.2～3.2	5～10	90～150
	V.H.O	2	100～110	12	1.6	1.2～3.2	5～10	85～130

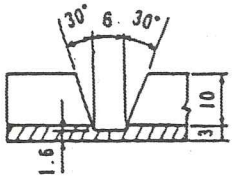
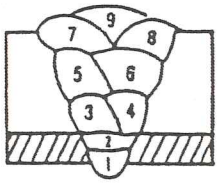
（SAS 801 ステンレス鋼溶接施工基準）

表解－4.11　クラッド鋼の突合せ溶接施工要領の代表例（被覆アーク溶接法）

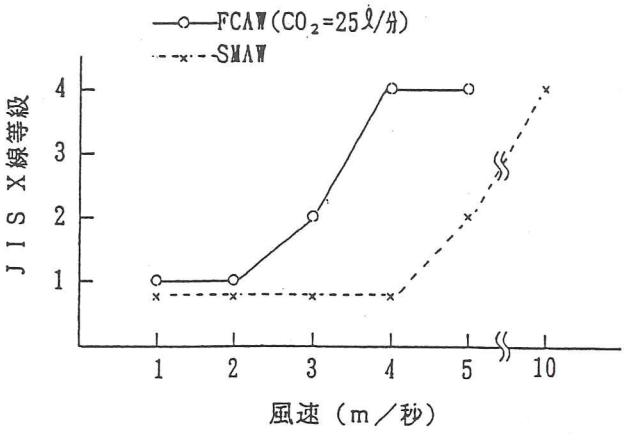
施行順序 / 開先形状	母材（SB42，10mm）		合せ材（SUS316L，3mm）	
	溶接	裏ハツリ	溶接	初層の溶接	残層の溶接
					
					
溶接条件 溶接棒	D4316（φ4）	①アークエアガウジング＋グラインダ ②グラインダ	D4316（φ4）	D309Mo（φ4）	D316L（φ4）
溶接条件 電流（A）	150～190		160～190	120～150	120～150
溶接条件 予熱パス間温度（℃）	R.T.～200		R.T.～200	200以下	200以下

（石川島播磨重工業㈱技術資料）

表解－4.12　クラッド鋼のワンサイド溶接条件の一例
（ステンレス溶接材料による施工）

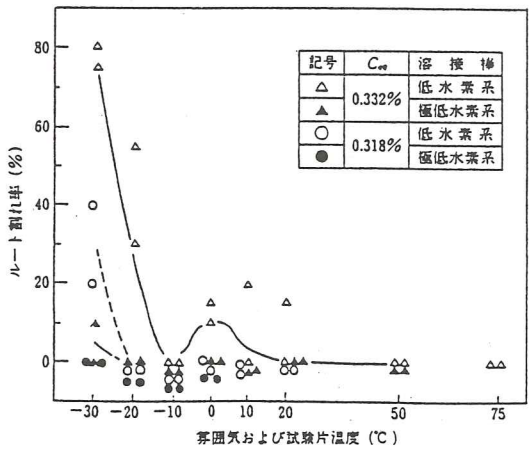
開先形状 積層順序	パス No.	溶接 方法	溶接 材料	溶接 電流
	1～2	GTAW	Y316L （2.4φ）	120～ 140A
	3～9	SMAW	D309 （4φ）	130～ 150A

（石川島播磨重工業㈱技術資料）



図解－4.8溶接欠陥と風速の関係

（溶接協会・溶接棒部会資料）



図解－4.9低温雰囲気における溶接割れ試験結果

（山崎・北田：溶接学会講演概要第139集）

４．５．５　溶接後の熱処理

溶接部の品質確保および法規上必要な場合、溶接後に熱処理を行う。

〔解　説〕

（１）オーステナイト系ステンレス鋼

河川・ダム施設に使用されるオーステナイト系ステンレス鋼どうしの溶接の場合、溶接後の熱処理は原則として必要ない。

溶接後の熱処理が必要な場合には、目的により表解－4.13に示す方法が行われ、それぞれ次のような特徴を有している。

１）固溶化熱処理

溶接残留応力除去および材質改善とも優れているが、温度が高く急冷を要するので外観の変形および酸化など目的に反することも生じる危険性が多いので注意を要する。

２）応力除去熱処理

加工および溶接などによって残留応力が存在し、応力腐食割れや、変形などが懸念される場合に行う。構造物の場合、急冷するとひずみや応力を生じるので、徐冷が必要である。しかし徐冷すると、鋭敏化やσ相の生成など材質劣化を生じるので熱処理を施す場合は、設計の段階で安定化ステンレス鋼または低炭素ステンレス鋼を選定する。

（２）ステンレス鋼と炭素鋼の異材継手

ステンレス鋼と炭素鋼の異材継手溶接、炭素鋼へのステンレス鋼の肉盛溶接およびステンレスクラッド鋼の溶接後の熱処理は、河川・ダム施設の使用環境下では実施する必要のある部位は少ないが、熱処理を行う場合は、表解－4.14に示す条件で行う。異材継手の場合は、600℃以上に長時間加熱するとステンレス鋼が鋭敏化して、耐食性が劣化したり、炭素移行現象により溶接継手部が劣化する。

このような現象は、熱処理温度が高いほど、また熱処理時間が長いほど大きい。具体的な問題としては、炭素鋼側からステンレス鋼側へ炭素が移行することにより、炭素鋼の強度が低下したり、ステンレス鋼側への浸炭による硬化が生じるので、溶接継手引張試験や側曲げ試験が不合格となることがある。すなわち、熱処理は、若干の溶接残留応力の除去はできるが、材質劣化が大きいので、650℃以上の温度で長時間加熱することは避けなければならない。

（３）マルテンサイト系およびフェライト系ステンレス鋼

マルテンサイト系およびフェライト系ステンレス鋼の溶接後の熱処理条件を表解－4.15に示す。マルテンサイト系ステンレス鋼は、溶接部が硬化する問題があるので材質改善のために熱処理を行うことが望ましい。

表解－4.13　オーステナイト系ステンレス鋼の溶接後熱処理

項目 / 熱処理法	目的	加熱温度（℃）	備考
固溶化熱処理	材質改善・応力除去	1000～1100	—
応力除去熱処理	溶接残留・応力除去	870～900	—
	〃	850～930	安定化鋼の場合（SUS321、347）

（溶接・接合便覧等）

表解－4.14　ステンレス鋼と炭素鋼の異材継手
および炭素鋼への肉盛溶接部の溶接後熱処理温度（℃）
（ステンレスクラッド鋼を含む）

ステンレス鋼 / 炭素鋼	オーステナイト系	マルテンサイト系	フェライト系
炭素鋼	550～600	600～650	600～650
0.5％Ｍｏ鋼	590～650	600～650	600～650

（溶接・接合便覧等）

表解－4.15　マルテンサイト系およびフェライト系ステンレス鋼の溶接後熱処理

材質	目的	加熱温度（℃）
マルテンサイト系	応力除去・材質改善	700～760
フェライト系	応力除去・材質改善	700～820

（溶接・接合便覧等）

4．5．6　溶接部の検査

溶接部は、施工前に開先検査、溶接施工段階において各層の目視検査そして溶接完了後に外観検査と内部検査を行う。

〔解　説〕

溶接部の検査の判定基準は、原則としてダム・堰施設技術基準（案）に従う。

（1）開先部の検査

1)溶接開始前に開先面およびその近傍に、さび，スケール，油脂，塗料，水分などの汚れがないことを目視により確認する。

2)継手部の目違い、ギャップ等の開先合せ状態が正常であることを計測確認する。

特にステンレスクラッド鋼の場合、耐食性を確保する合せ材（ステンレス鋼）の厚さが薄いので、図解－4.10に示すように、合せ材の1/2以下の目違い寸法にセットすることが望ましい。

（2）溶接施工段階

1)多層溶接を行う場合には、前の層のスラグやスパッタなどがないことを目視により確認してから、次の層の溶接を行う。

2)ステンレス鋼溶接金属のフェライト量のチェック

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接金属には、数パーセントのフェライト組織が含有するように溶接棒の化学成分が設計されている。

このフェライト組織の役割は、図解－4.11に示すように溶接時に発生しやすい割れを防止するためである。このフェライト量は、ステンレスクラッド鋼の炭素鋼への溶け込み量やアーク長の変動等により変化するので、施工管理にも活用できる。計測方法としては、フェライト組織が磁性を持っていることを利用して計測するフェライトスコープが一般に使用されているので、これで溶接後の健全性もある程度確認できる。

（3）溶接完了後

1)溶接部およびその近傍に、アンダーカット，スパッタ，汚れなどがないか目視にて確認する。

2)浸透探傷検査（JIS Z 2343）により、溶接部の表面欠陥を検査する。ステンレスクラッド鋼の合せ材は薄いので、表面欠陥をそのままにすると、腐食の原因になることもあるので、十分注意が必要である。

3)放射線透過検査（JIS Z 3104）により、溶接部の検査を行う。

4)ステンレス鋼溶接金属部の健全性（耐食性）評価

①硫酸銅試験

試験方法は、ダム・堰・施設検査要領による。

溶接金属の化学成分と硫酸銅試験による反応(変色)の関係は、表解－4.16のごとくであり、なんらかの原因で溶接金属表面の Cr 量が約 13%以下になった時反応し、異常を検出する。

②フェライトスコープによる検査

溶接金属のフェライト量を計測する計器により、硫酸銅試験と同様の検査が可能であることが表解－4.16により判る。

溶接金属の Cr 量が 13%以下では磁性は強く、50 以上の値を示し、Cr 量が増加するにしたがって、磁性は低くなり、ほぼ Cr 量 16%以上で通常の磁性である7程度の値になっている。これはマルテンサイト組織(強磁性)からオーステナイト組織(非磁性)へ Cr 量増加により移行する過程を検出しているものである。

この方法は、薬品による公害問題もなく、簡便であるので、硫酸銅の代替検査法として活用できる。

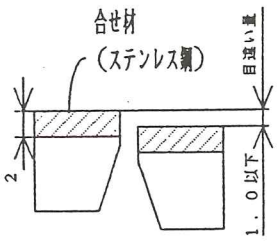
表解－4.16　溶接金属部の健全性(耐食性)評価方法

T.P. No.	溶接金属の成分,(mass%)			検査方法	
				硫酸銅試験	フェライトスコープ
	Cr	Ni	Fe	(色)	測定値(読み値)
1	7.19	3.35	87.4	銅赤色	70 *
2	9.57	4.37	83.2	銅赤色	54 *
3	10.94	5.66	80.2	銅赤色	57 *
4	12.58	6.61	77.5	変色なし	51 *
5	13.81	7.07	75.8	〃	33 *
6	14.03	6.92	75.7	〃	32 *
7	15.84	7.63	73.8	〃	7.3 **
8	16.97	8.34	71.5	〃	7.9 **
SUS304	18.00 ～20.00	8.00 ～10.50	残	〃	0～2 **

*　マルテンサイト組織の磁性を計測している。

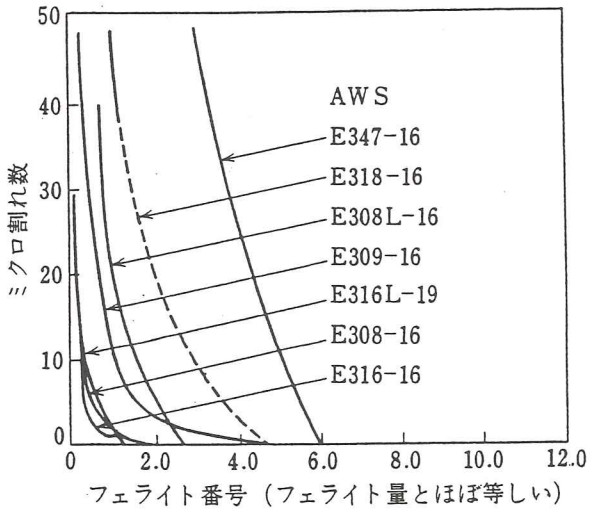
** オーステナイト組織＋フェライト組織のフェライトパーセントを計測している。

(石川島播磨重工業(株)技術資料)



注）合せ材 2㎜の例

図解－4.10　ステンレスクラッド鋼の目違い量



図解－4.11　溶接金属のフェライト量と溶接割れの関係
（溶接・接合便覧等）

４．５．７　溶接の欠陥とその対策および補修

（１）溶接に際しては、溶接欠陥が生じないように、十分な対策を講じなければならない。
（２）溶接部に生じた欠陥は、不合格となった部分を適切な方法で補修しなければならない。

〔解　説〕

ステンレス鋼およびステンレスクラッド鋼の溶接施工上発生しやすい溶接欠陥とその対策を以下に示す。

（１）溶接割れ

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接時に発生する割れは、ほとんどが高温（800℃以上）で発生する高温割れである。

高温割れの発生原因は、図解－4.12に示すように溶接金属に含有する不純物、たとえばリン（P）やイオウ（S）が凝固中に低融点金属を作り、粒界に偏析するためである。したがって、リンやイオウを少なくすればよいが、コストが高くなり経済的でないので、実用的には図解－4.11に示すような方法で割れ防止がはかられている。すなわち、溶接金属に数パーセントのフェライト組織が含有するように溶接材料の化学成分を調整し、フェライト組織が有害なリンやイオウを固溶し、粒界への低融点金属の偏析を防ぎ割れ防止をはかっている。

溶接金属のフェライト量は、アーク長が長かったりすると、大気中の窒素混入等により減少する。また、異材継手や肉盛溶接においては図解－4.13に示すごとく、溶込み率の大小によっても変動するので、適正な溶接条件の選定が必要である。溶接金属に割れが発生した場合は、フェライト量を計測することにより、ある程度の原因を把握することが可能である。フェライト量が 2%以下を示す場合は、高温割れの恐れがあり、溶接材料、溶接条件等を見直す必要がある。補修溶接は、割れをグラインダ等で完全に除去し、適正な溶接条件で再溶接を行う。

（２）マルテンサイト組織による硬化割れ

硬化割れは、オーステナイト系ステンレス鋼どうしの溶接では存在しないが、炭素鋼とステンレス鋼の異材継手、肉盛りおよびステンレスクラッド鋼の溶接において発生する。図解－4.13に示すように、SUS304とSS400の異材継手をD309で溶接した場合、溶接金属の化学組成はａ点とD309の点を結ぶ線上にあり、その位置は溶込み率によって変化する。溶込み率が33%（ｄ）より大きい場合、その位置は、左側に移動し２つの問題が発生する。１つは35%程度でフェライト量0%の完全オーステナイト組織（Ａ）になり高温割れが発生し、さらに溶込み率が大きくなるとマルテンサイト組織（Ａ＋Ｍ）が生成し、硬化による割れ発生の懸念が生じる。マルテンサイト組織が生成した場合、溶接のままでも割れることがあるが、特に延性が低下するので、側曲げ試験が割れ発生により不合格となる場合が多い。この防止法としては、ｄ点よりD309側に位置（溶込み率33%以下）するような、溶込み率となる溶接条件にすることが必要である。

溶込み率を下げる方法としては、溶接電流を低くする、溶接速度を遅くする等の方法は

あるが、極端な条件を選べば融合不良等他の問題も発生するので、事前に適正溶接条件を決定する必要がある。

マルテンサイト組織が生成し、割れが発生した場合の補修は、割れが発生した溶接金属を完全に除去し再溶接を行う。

マルテンサイト組織生成による割れの場合は、フェライトスコープで計測するとマルテンサイト組織が強磁性であるため、異常に高い値を示すので、高温割れと区別することができる。

（３）融合不良

オーステナイト系ステンレス鋼は、炭素鋼溶接棒に比べて湯流れが悪いので、融合不良状欠陥が発生しやすい。

融合不良は、溶接条件が適正でない場合と、開先や多層溶接における前層の状態が悪い（狭くて前層をアークにより溶かすことができない）場合に発生する。

融合不良を防止するためには、過大な溶着量やウィービングを避けることと、開先や前層ビードを、炭素鋼に比べ大き目のＲに仕上げて溶込みやすい状態にすることが必要である。

融合不良は、外観的には検出できないことが多いので、放射線等による検査結果に基づき、欠陥部を完全に除去し再溶接を行う。

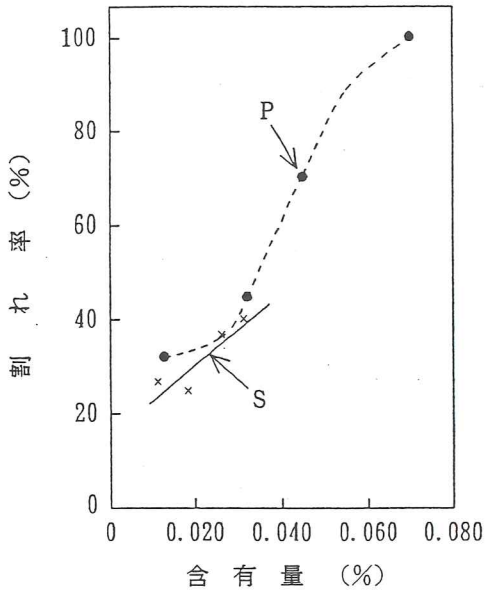
（４）スラグの巻込み

ステンレス鋼は、炭素鋼溶接棒に比べてスラグの巻込みが起こりやすい。スラグの巻込みは、前層のスラグを完全に除去しないで次層の溶接を行った場合や、溶接条件や運棒操作が悪くてスラグがアークよりも先行するような場合に起こりやすい。

スラグの巻き込みを防止するためには、前層のスラグを完全に除去してから次層の溶接を行うことや、スラグが先行しないような溶接条件と運棒方法を採用することが必要である。補修の方法は、融合不良の場合と同様である。

（５）その他の溶接欠陥

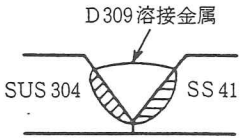
ブローホール，アンダーカット，オーバーラップ等の溶接欠陥の発生は、炭素鋼の溶接の場合と同様であり、防止および補修の方法は、ダム・堰施設技術基準（案）に準拠して行う。

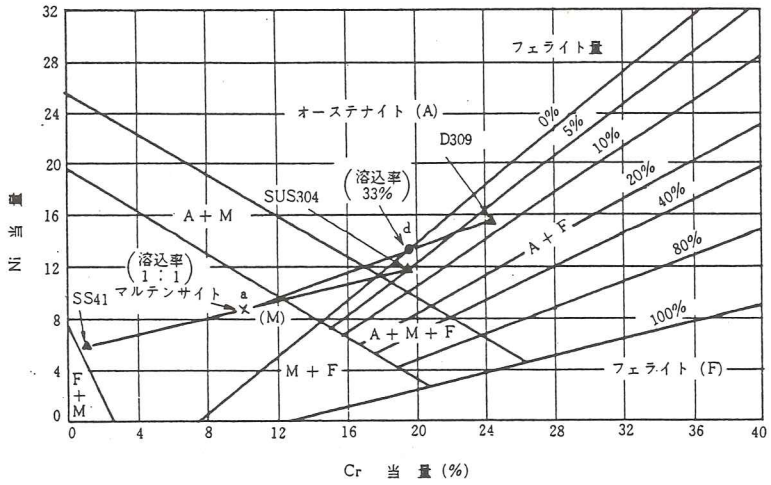


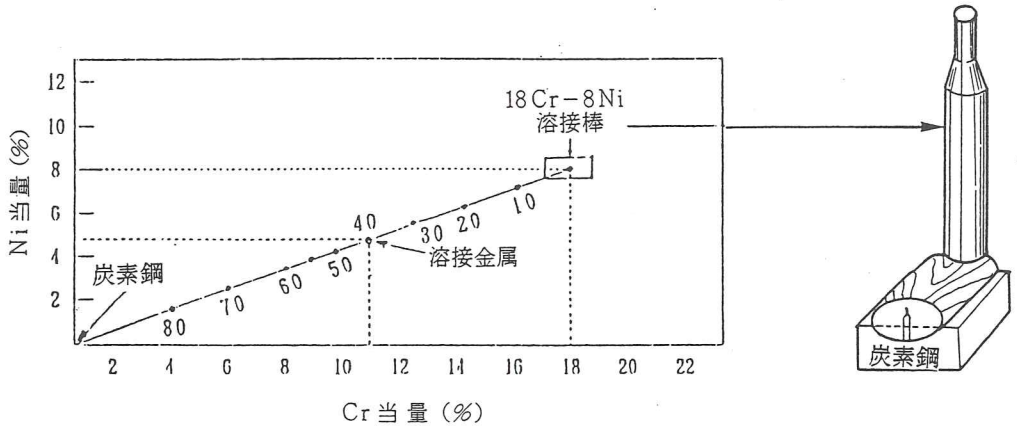
注）JISZ3221 D316 規格
P≦0.040%
S≦0.030%

図解－4.12　溶接金属中のPおよびSのビード割れに及ぼす影響（D316）

（神鋼・溶接棒各論）







$$溶け込み率 = \frac{B}{A+B} \times 100(\%)$$

図解 4.13　炭素鋼とステンレス鋼の異材継手溶接

（神鋼「技術ガイド」より）

（６）シェフラー組織図の使い方

①図解－4.13に示すシェフラー組織図に、母材(SS400, SUS304)および溶接材料(D309)のクロム（Cr），ニッケル（Ni）当量を、ミルシート等から計算し図中にプロットする。

Cr当量＝％Cr+%Mo+1.5%Si+0.5×％Cb

Ni当量＝％Ni+30×％C+0.5×％Mn

②SS400, SUS304が均等に溶けると仮定し、SS400とSUS3004を結んだ線の中央（a）にプロットする。

③D309で溶接した溶接金属は、a点とD309を結んだ線上にくるが、どの位置にくるかは、溶込み率で決まる。

たとえば、溶込み率33％以下ではオーステナイト組織（Ａ）に数％のフェライト組織（Ｆ）を含有する健全な溶接金属が得られ、33％以上で（Ａ）の領域または（Ａ）＋（Ｍ）の領域となり健全な溶接金属は得られない。

④溶込み率は、溶接条件により変化するので、採用する溶接条件の溶込み率を事前に把握しておく必要がある。被覆アーク溶接法の標準的溶込み率は、20～30％程度である。

⑤（Ａ）＋（Ｆ）の溶接金属は、健全である。（Ａ）は、完全オーステナイト組織であるので溶接金属割れが発生し易い。（Ａ）＋（Ｍ）は、溶接金属が硬化し延性が低くなり、溶接割れや、曲げ試験が不合格となる場合がある。

４．５．８　溶接施工試験

新しい溶接工法を採用する場合は、あらかじめJIS Z 3040およびJIS Z 3043に基づき、その施工法を確認しておかなくてはならない。

〔解　説〕

溶接施工法の確認試験は、採用する溶接工法の健全性をあらかじめ確認しておくことを目的としたものである。試験は、溶接方法、母材の種類と板厚および溶接材料などの区分が異なるごとに行うようにJIS Z 3040「溶接施工方法の確認試験方法」およびJIS Z 3043「ステンレスクラッド鋼溶接施工方法の確認試験方法」に規定されている。

（１）区分

施工法の確認試験は、以下に示す区分が変わるごとに行う。

１）溶接方法の区分

溶接方法は、被覆アーク溶接，ティグ溶接，サブマージアーク溶接，ミグ溶接，マグ溶接（炭酸ガスアーク溶接を含む）およびその他の溶接に区分される。

２）溶接継手の区分

溶接継手は、開先溶接継手およびすみ肉溶接継手に区分される。

３）母材の種類の区分

母材の種類は、区分番号 P－1（炭素鋼）～P－52（チタンおよびチタン合金）まで区分され、オーステナイト系ステンレス鋼は、P－8に区分される。

４）母材の厚さ区分

母材の板厚は、確認試験に合格した板厚の２倍まで許容されるが、その範囲を越える場合には、確認試験が必要となる。

５）溶接材料の区分

溶接材料は、母材の種類の区分とほぼ対応している。オーステナイト系ステンレス鋼は、F－8（被覆アーク溶接棒）、Y－8（ワイヤ）に区分される。

（２）確認試験および判定基準

継手の種類に対する試験項目、試験方法および判定基準を表解－4.17に示す。

表解－4.17　試験方法と適応規格および判定基準

継手の種類	試験方法			判定基準
	内容	規格		
		形状	試験方法	
突合せ溶接	継手引張試験	JIS Z 3121	JIS Z 3121	母材の規格による引張強さの最小値以上
	曲げ試験片	JIS Z 3122	JIS Z 3122	3.0㎜以上の割れが生じないこと
	衝撃試験	JIS Z 2202 JIS Z 3040	JIS Z 2242	シャルピー吸収エネルギーの値が母材の規格値以上
	成分分析	JIS Z 3043	JIS Z 3221 JIS Z 3321	同左規格値内 同左規格値内
	フェライト量試験	－	JIS Z 0601	当事者間の協議によ
すみ肉溶接	断面マクロ試験	JIS Z 3040	JIS Z 3040	割れ、溶込み不良、その他有害と認められる欠陥があってはならない
	破面試験	JIS Z 3040	JIS Z 3040	破面に欠陥の長さが全溶接長さの30％を越える欠陥があってはならない

（ＪＩＳより）

〔各種ステンレス鋼およびステンレスクラッド鋼溶接の詳細〕

更にｽｽテンレス鋼の溶接に関する種々の情報については，（独）産業技術総合研究所ものづくり先端技術センターの「加工技術データベース」内のアーク溶接の中に溶接作業標準がインターネットで公開されており、パスワードを取得することにより無料で閲覧できる。（ http://unit.aist.go.jp/digital-mfg/ ）

４．６　加工後のステンレス鋼の表面仕上げ

ステンレス鋼は、表面の付着さび，溶接焼け等を除去し、工事完了までの間、炭素鋼の鉄粉等が付着しないように表面を保護しなければならない。

〔解　説〕

（１）ステンレス鋼の不働態皮膜は、通常の環境（大気中や一般河川水中）のような酸素の存在する環境中では自動的に形成される。ステンレス鋼の不働態皮膜は、塩化物イオン等によって破壊され､応力腐食割れ等の局部腐食を生じる可能性がある｡このため、塩化物イオン等が付着しないような場所に保管する場合によってはシート、カバー等を施し、塩化物イオンの付着を防がなければならない。

（２）ステンレス鋼の表面に鉄粉やゴミ等が付着した場合には、その下のステンレス表面への酸素の供給が不十分となり、孔食を生じることもあるので、このような異物は付着しないようにしなければならない。これらの異物の除去は、一般的にバフ仕上げや酸洗いなどで行われている。また、最近、電解研磨法も採用されるようになってきた。いずれの処理方法を採用するかは、ステンレス鋼表面に要求される品質、加工性等を考慮して決定しなくてはならない。

淡水のようにマイルドな環境にでは、数ヶ所のダムにおける暴露試験（表解－2.25）によると，①溶接のまま　②溶接部をグライダで研磨　③グライダ＋不働態化処理　のいずれでも局部腐食は認められなかった、との報告もある。

1)バフ仕上げは、最も手軽な処理方法である。工場、現場で多用されているが、炭素鋼に使用したバフをステンレス鋼に使用してはならない。

2)酸洗いは、還元性の酸によって、ステンレス鋼表面の付着さび、溶接焼け、スケール等を除去する方法である。酸洗いを行うためには、酸洗い用の設備と廃液の処理設備を必要とするので、現場での適用は困難な場合が多い。なお、酸洗いを行ったステンレス鋼は、十分に水洗いを行い酸を洗い流す必要がある。

3)電解研磨法は、被処理体と洗浄用電極を反対極とする電気回路を形成し、洗浄用電極に電解液を含浸した状態で被処理面を拭くことにより、表面を酸化させて不働態化するものである。電解研磨法には電解液が中性のものがあり、酸洗いに比べて後処理が楽なため、現場作業に有利な面がある。

4)清浄にしたステンレス鋼表面を、工事期間中の汚染から守るため、保護膜を塗布することがある。工事完了後は、塗膜を剥がす場合とそのまま使用する２通りある。一次防錆処理を施工するか否かは、その環境により判断する必要がある。

4．7　ハンドリング

部材の運搬、部材の組立て、ブロックの移動および現場据付時のハンドリングの際は、ステンレス鋼表面に傷を付けたり、異物が付着しないようにしなければならない。

〔解　説〕

ハンドリング時の傷の発生や異物の付着を防止するための留意事項を以下に示す。

（1）クレーンなどによる吊り作業

①図解－4.14に示すようなクランプは、鋼材表面に著しい傷を与えるので使用しない。

②図解－4.15に示すようなハッカーを使用する場合には、ゴムなどの当て板をしてステンレス鋼表面を傷つけないように保護する。

（2）部材またはブロックの吊り金具取付

①吊り金具のステンレス鋼表面に接触する部分には、ステンレス鋼を使用する。

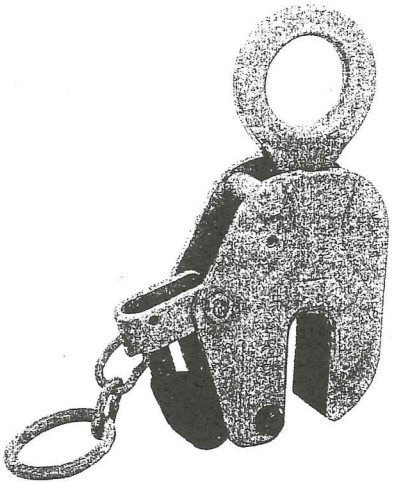
②ステンレスクラッド鋼の場合には、吊り金具をステンレス側に取付けず、母材側に取付ける。なお、構造的にステンレス面に取付けざるを得ない場合には、吊り金具はステンレス鋼とする。

③吊り金具を溶接してステンレス面に取付けた場合には、切断時の処理に注意する。グラインダは、炭素鋼に使用したものを使用しない。

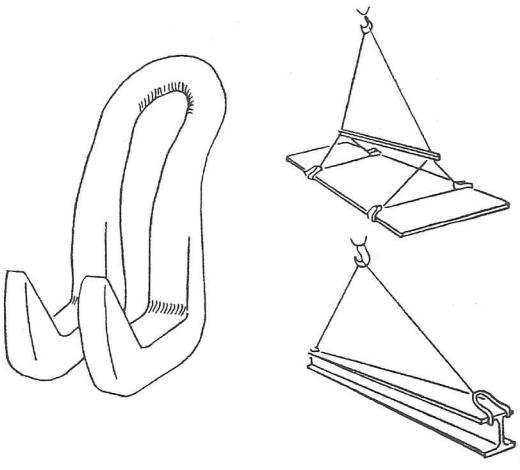
（3）製品ブロック輸送

①型くずれを防ぐ当て板には、乾燥した木材などを使用し炭素鋼を当てない。

②放流管などのように構造物の変形を防止するために、ステンレス鋼表面に支保工を取付ける場合には、図解－4.3に示すように取付部をステンレス鋼とする。



図解－4.14　クランプの例



図解－4.15　ハッカーの例

４．８　据付施工現場での留意事項

据付施工現場では、ステンレス鋼を良好な状態に保持するために、養生に充分配慮しなければならない。

〔解　説〕

据付け施工現場では、異種金属が混在するため、異種金属接触腐食を生じたり、もらい錆を受けたりするのでステンレス鋼にとって厳しい腐食環境である。このため、現場においてステンレス鋼を良好な状態に保持するためには、充分な配慮が必要である。

（１）留意事項

１)ステンレス鋼表面清浄維持

①ステンレス鋼表面にコンクリート、泥などを付着させない。

②ステンレス鋼表面にさび汁や鉄粉などを付着させない。

２)炭素鋼の接触回避

①ステンレス鋼表面に炭素鋼の綱片、番線などを置かない。

②ステンレス鋼表面を炭素鋼のサイヤブラシやバフで研磨しない。

③ステンレス鋼表面を炭素鋼のハンマでたたかない。

④ステンレス鋼に炭素鋼の吊り金具（クランプ）を取付けない。

⑤ステンレス鋼に炭素鋼のワイヤロープをじかに当ててハンドリングを行わない。

⑥ステンレス鋼に設計上必要とする場合以外に炭素鋼材を溶接しない。

３)溶接時の保護

①ステンレス材料の開先面に汚れを付着させない。

②ステンレス鋼表面に炭素鋼溶接棒のスパッタを付着させない。

４)炭素鋼の保護

①異種金属接触腐食や錆汁の発生を防止するため塗膜を損傷させないようにする。

（２）対策

１)ステンレス鋼表面清浄維持

作業に直接関係ない部分は、コンクリート、泥、海塩粒子、さび汁、鉄粉等の付着を防ぐため、常にシートを掛けて保護する。また、シート以外にステンレス鋼表面に有機保護塗料を塗布することも有効である。

万一、汚れが付着した場合には、すみやかに除去する。ただし、もらい錆などがステンレスに固着した場合には、グラインダまたはバフなどで除去する。このとき、炭素鋼に使用した工具を用いてはならない。すなわち、炭素鋼に使用した工具を用いると鉄粉をステンレス鋼に擦り込むことになり、新たなもらい錆が発生する原因となる。

2）炭素鋼の接触回避

ステンレス鋼表面には、炭素鋼の番線、工具、鋼材などを接触させてはならない。このため、ステンレス鋼の切断、研磨などには、ステンレス鋼専用の工具（炭素鋼に使用していないステンレス鋼制の工具）を使用する。

据付のため、一時的に補強材を溶接することがあるが、ステンレス鋼表面に炭素鋼を溶接してはならない。少なくともステンレス鋼表面に直接接する部分にはステンレス鋼を使用するものとする。

3）溶接時の保護

ステンレス鋼にスパッタが付着する可能性がある場合には、スパッタ付着防止剤を塗布してステンレス鋼表面を保護する。スパッタが付着した場合は、専用の工具（炭素鋼に使用していないステンレス鋼製の工具）で丁寧に除去する。

ステンレス鋼の開先面に汚れが付着していると、溶接欠陥の原因となることがある。汚れが付着しないよう開先保護剤を塗布することが有効である。

4）炭素鋼の保護

炭素鋼の塗膜に傷を付けないように十分注意する。接触するステンレス鋼との距離が近い塗膜に傷が付くと、そこに腐食電流が集中して著しく腐食が進行することになるので特に注意が必要である。塗膜が損傷を受けた場合は速やかに補修塗装を施す。

第５章　保守管理

５．１　点検

点検は、ステンレス鋼を使用しているダム・堰・水門などの設備において、ステンレス鋼およびその周辺の炭素鋼の腐食について設備の健全性を診断する目的で行うものである。

［解　説］

点検に当っては、設備の管理者が、設備の保守管理上効果的な点検が行えるように点検整備要領を作成し、これに従い実施する。

点検整備要領作成にあたっては、本ガイドライン（案）のほか、ダム・堰施設技術基準（案）および諸官庁発行の各種点検整備要領を参考として作成すると良い。

ダム・堰・水門では、ステンレス鋼と炭素鋼とが混在する。ステンレス鋼表面には通常塗装を施さないので、防食と美観のために塗装を施す炭素鋼と区別できる場合が多い。しかし、クロムめっきなど外観が似てまぎらわし場合があるので、図面などでステンレス鋼使用箇所を確認する。

点検は次に示す箇所について念入りに行う。

（１）ステンレス鋼と炭素鋼の境界部

境界部における塗膜の損傷と、錆の発生状況を点検する。

点検は次のことを念頭において行う。

①炭素鋼側からステンレス鋼側に十分塗装を塗り越しが行われているか。行われていないと、異種金属接触腐食が発生しやすい。

②塗り越し部のステンレス鋼面塗膜の付着は十分か。十分でないといずれ異種金属接触腐食が発生する可能性がある。

③ステンレス鋼近傍の炭素鋼塗膜の損傷はないか。損傷するとその部分の腐食が急速に進行するという現象が見られる。

④炭素鋼は、腐食が発生すると錆色が現れるので目視で容易に発見できる。

（２）溶接スパッタや錆汁などの付着部

ステンレス鋼に点錆がないか、ステンレス鋼もしくはその周辺に錆汁が流れ出ていないか、よく点検する。

炭素鋼が錆びて、錆汁がステンレス鋼表面まで流れ出ることがある。この錆汁がステンレス鋼にもらい錆を引き起こすことがある。また、ステンレス鋼表面に溶接スパッタが残っている場合でも、これが錆びてステンレス鋼にもらい錆を引き起こすことがある。

ステンレス鋼表面にもらい錆が発生する原因を次に示す。

①溶接スパッタがステンレス鋼表面に残り、発錆してステンレス鋼まで腐食させる。特に、現場溶接部付近に、溶接スパッタが十分除去されずに残っている場合がある。

②錆汁が流れてきてステンレス鋼表面に付着して、ステンレス鋼を腐食させる。

③放流管の形状保持のために炭素鋼の支保工が取り付けられた場合、その除去部に炭素鋼成分が残り、これが発錆してステンレス鋼まで腐食させる。

④グラインダ痕に炭素鋼成分が残り、これが発錆してステンレス鋼まで腐食させる。

⑤工具痕(例えばプレス傷)に炭素鋼成分が残り、これが発錆してステンレス鋼まで腐食させる。

（３）ステンレス鋼のすきま部

常時水中にあるローラ周辺、ボルト・ナットの締付部などにできる微少すき間部のステンレス鋼部分に、すき間腐食が発生することがある。こうした箇所は、定期的に分解して点検する。

また、貝や藻などの異物が付着したすき間部にもすき間腐食が発生することがある。こうした箇所は異物を除去して点検する。

（４）ステンレスクラッド鋼の溶接部

ステンレスクラッド鋼の溶接部は、溶接欠陥とその腐食状況について特に念入りに点検する。

ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接部では、ブローホールなどの溶接欠陥があると腐食の原因になりやすいということに注 意しなければならない(土木研究所資料第3165号1.5「不適切な条件で溶接した溶接部の耐食性」参照)。

ステンレスクラッド鋼の現場溶接は、作業環境および作業条件が工場溶接に比べて厳しいので、ブローホールなどの溶接欠陥の防止に十分配慮しなければならない。また、上向きなどの難しい姿勢で溶接する場合は、溶接欠陥防止に一層配慮しなければならない。

以下に、ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接部の腐食原因について示す。

①ブローホールなどの溶接欠陥がステンレス鋼表面から炭素鋼部に達している場合には、その部分から急激に腐食が進行することがある。

②溶接施工の結果、Cr、Ni成分の希釈が起こった場合には、腐食しやすくなることがある。

③溶接ビードを、水流を阻害しないようにということで平滑にするためにグラインダなどで削り過ぎると炭素鋼が露出して、その部分が集中的に著しく腐食することがある。

5．1．1　扉体

扉体については、水密部，主ローラ周り，扉体端部など、主にステンレス鋼と炭素鋼とが接する部分の腐食を点検する。

また、ステンレス鋼自体も、溶接スパッタなどの腐食によるもらい錆、貝や藻などの異物が付着した部分やステンレス鋼部材の微少すき間部に発生するすきま腐食、ステンレス鋼の現場溶接部の腐食を点検する。

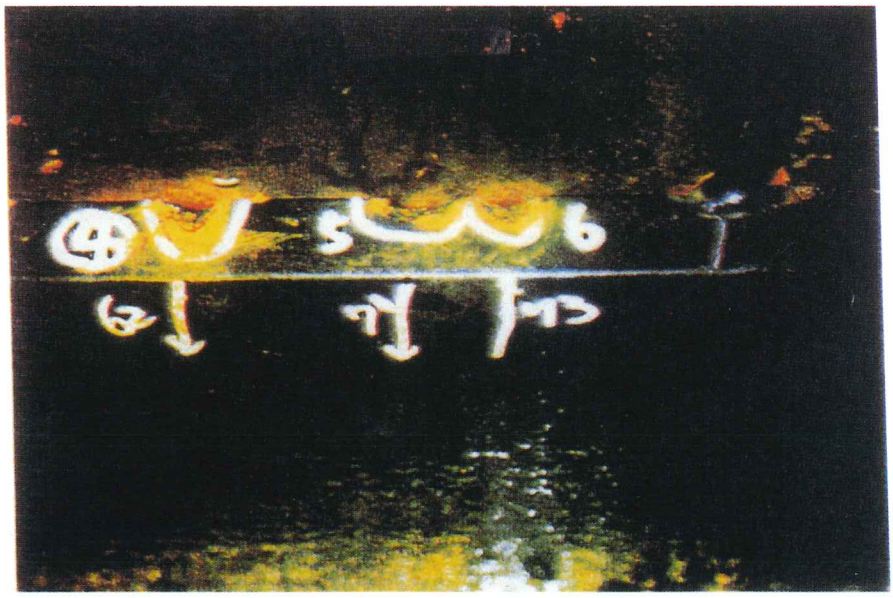
［解　説］

ステンレス鋼は、扉体の中で塗装の困難な扉体端部、主ローラ軸をはじめとする軸類、取外したりするため塗膜が損傷しやすい水密ゴム押え金物、ボルト・ナット類などに使用される。また、条件によっては、扉体のスキンプレートや桁にも使用されることがある。

点検は、特に、常時水中にある水密部、主ローラまわり、扉体端部などで、異種金属が混在して、異種金属接触腐食の発生しやすい箇所を中心に点検する。

常時水中にある扉体は、定期的に水面上に引き上げて点検を行わなければならない。水面上に引き上げられない場合は、修理用ゲートなどを使用し、点検できる状態にして定期点検を行う。

写真解－5.1に扉体の腐食例を示す。



写真解－5.1　扉体桁上の孔食(鋼材＋塗装部)例

５．１．２　戸当り

戸当りは、常時水中にあるステンレス鋼のすき部および、ステンレス鋼と炭素鋼との接触部の周辺を点検する。

［解　説］

戸当りは、ローラ踏面、ローラレール、水密ゴム当り面、カバープレート、補剛材などで構成されているが、通常、ローラ踏面、水密ゴム当り面にステンレス鋼が使用されている。

戸当りは、複雑な構造をしており、ステンレス鋼と炭素鋼とが混在するので、次のような箇所について点検を行う。

（１）すき間部

常時水中にあるローラ周辺など、微少すき間が起きるステンレス鋼部分には、すき間腐食が発生することがあるので定期的に点検する。

また、貝や藻などの異物が付着したすき間部にもすき間腐食が発生することがある。こうした箇所は付着物を除去して点検する。

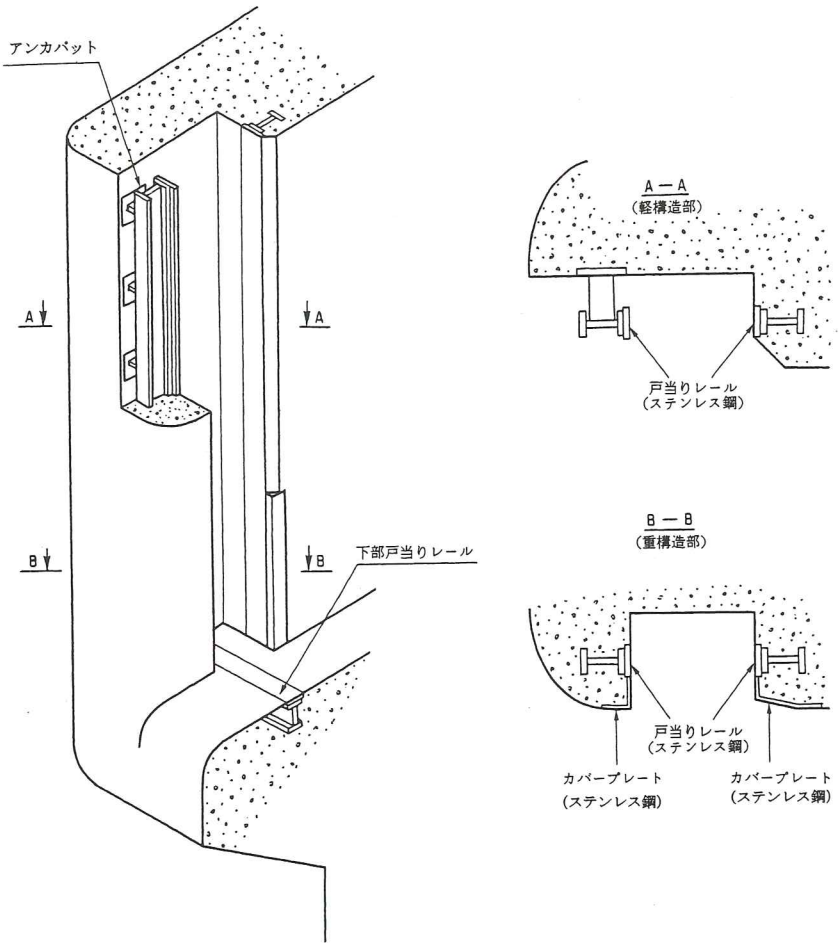
（２）凹凸部

戸当りは、複雑な構造からステンレス鋼と炭素鋼との境界が凹凸状や隅肉溶接であることが多い。このような箇所では塗膜の良好な付着性は得られにくく、異種金属接触腐食が発生しやすい状況であるので注意が必要である。

なお、下部戸当りは常時水中にある場合が多く点検が困難な場合が多いので、修理用予備ゲートを用いるなどして定期的な点検が必要である。



写真解－5.2　水密ゴム押え板(常時水中部)の腐食例



図解－5.1　戸当り例(ローラゲートの例)

５．１．３　開閉装置

開閉装置は、構造的に塗装が困難な箇所や目視点検が十分できない箇所にステンレス鋼を使用している場合が多いが、一般的には室内に設置され防食上問題となる可能性は低い。

しかし、屋外に設置され風雨にさらされたり水没したりする部分があり、これらに対してステンレス鋼使用箇所を確認し、ステンレス鋼とその周辺の炭素鋼の腐食について入念に点検を実施する必要がある。

［解　説］

開閉装置が開閉装置室内に設置される場合は、防食上問題となる可能性は低い。しかし、室内に設置されていても結露しやすい環境である場合がある。また、屋外に設置されたり、一部水中にある場合もある。こうした腐食環境にあるものについて入念に点検を行う。

開閉装置は、水門の他の部分に比べ構造的に複雑であり、点検の困難な箇所にステンレス鋼を使用している場合が多い。よって、ステンレス鋼が使用されている部材をあらかじめ図面で確認し、ステンレス鋼とその周辺の炭素鋼の腐食について点検を行う。

以下に、開閉装置形式別に、腐食環境に設置されやすい機械要素と点検の要点を示す。

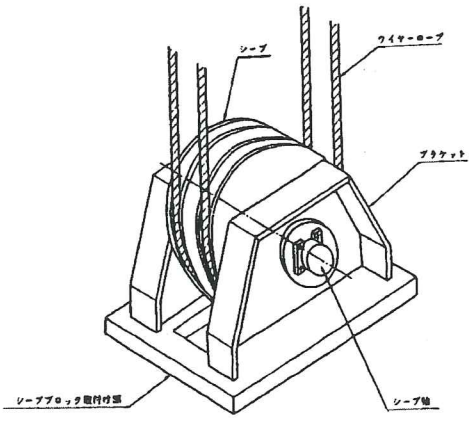
（１）ワイヤロープウィンチ式開閉装置

電動機、減速機、ワイヤロープドラム、シーブ、機械台などの開閉装置本体と、広義には扉体に付いたシーブブロック、ワイヤロープ等の部分から構成される。このうち、扉体に付いたシーブブロックとワイヤロープは腐食環境にあるので入念に点検する。

１）扉体付シーブブロック（図解－5.2 参照）

扉体付シーブおよびシーブ軸とブラケットは、風雨にさらされることになる。また、設置条件によっては常時水中に没する場合がある。ここで、シーブは通常鋳鉄製であるが、場合によってはステンレス鋳鋼が採用される。シーブ軸は、ステンレス鋼を使用する場合と炭素鋼を使用する場合がある。ブラケットは、炭素鋼である場合が多 い。

以上のように、扉体シーブブロックについては、異種金属が混在しており、特に水没する場合は異種金属接触腐食に注意する。



図解－5.2　扉体に付いたシーブブロックの例

2)ワイヤロープ

ワイヤロープには炭素鋼に亜鉛めっきしたものとステンレス鋼のものがある。

炭素鋼の場合、周辺のステンレス鋼との接触による異種金属接触腐食に注意する。特に、水中にある場合で、流水や経年などにより、防錆と潤滑のために塗布されている防錆グリースが劣化、消耗、はく離すると、戸当りや扉体に使用されているステンレス鋼と亜鉛めっきとの間に異種金属接触腐食が生じて亜鉛めっきが消耗して素線(炭素鋼)が腐食することがある。また、グリースの塗布量不足や水質の影響などにより早期に亜鉛めっきの溶出が発生することがある。(写真解－5.3 参照) このため、炭素鋼に亜鉛めっきしたワイヤロープでは、次の点に留意して点検を行う。

①防錆グリースの塗布状況

塗布量が十分か確認する。不足すると防食性能が低下する。

②防錆グリースの劣化状況

特に油分が少なくなると防食性能が低下するので注意する。

③素線切れの有無

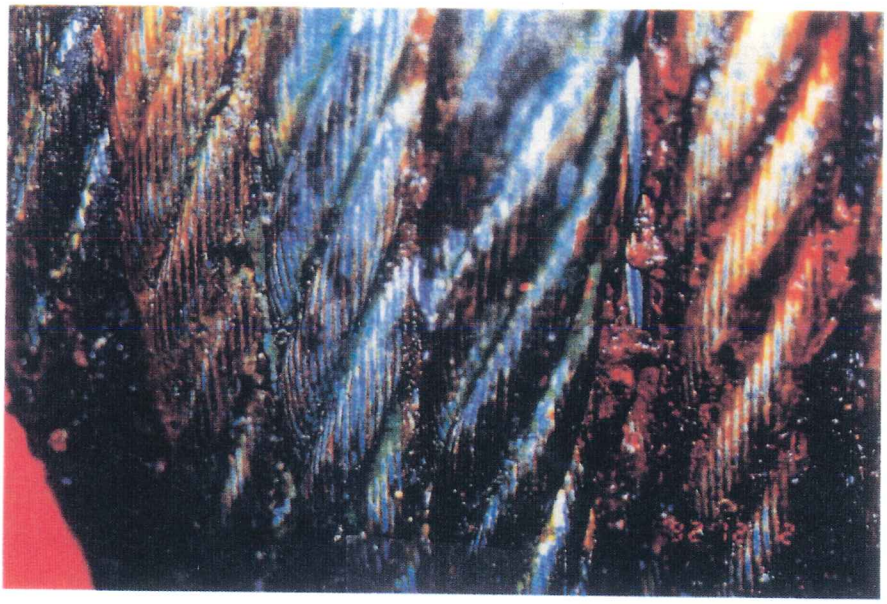
ワイヤロープは細い素線をよって作られているが、その1本が切れ始めたら腐食の可能性を考慮しなければならない(写真解－5.4 参照)。なお、労働安全衛生法クレーン則によると、総素線数の10%以上が破断した場合は、取替えなければならない。

④ワイヤロープの径

ロープ径が減少するということは、ロープの腐食も懸念される。なお、労働安全衛生法 クレーン則によると、直径の減少が公称径の7%を超える場合は取替えなければならない。



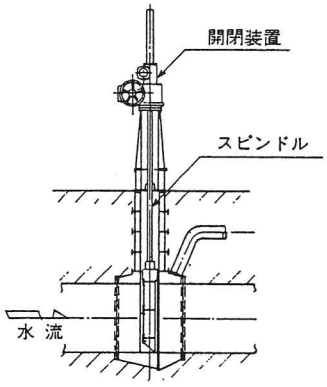
写真解－5.3　亜鉛めっきワイヤロープの亜鉛素地面からの溶出例



写真解－5.4　ワイヤロープ(常時水中部)の素線切れの例

(2)スピンドル式開閉装置

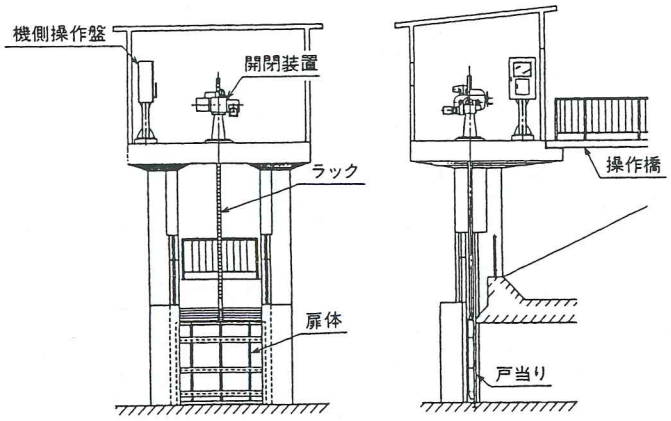
スピンドル式開閉装置は、電動機、減速機、スピンドル、扉体取り付け部、中間支持部から構成されている。このうち、スピンドル、扉体取り付け部、中間支持部などは水中にある場合が多い、これらの材質は、最近ではステンレス鋼を使用する場合が多いが、炭素鋼を使用する場合もある。ステンレス鋼と炭素鋼が混在するときは、異種金属接触腐食に注意する。



図解－5.3　スピンドル式開閉装置の例

(3)ラック式開閉装置

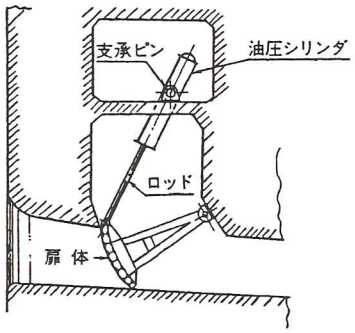
ラック式開閉装置は、電動機、減速機、ピニオン、扉体取付部から構成される。このうち、ラックや扉体取付部などは水中にある場合が多い。これらの材質は、最近ではステンレス鋼を使用する場合が多いが、炭素鋼を使用する場合もある。ステンレス鋼と炭素鋼が混在するときは、異種金属接触腐食に注意する。



図解－5.4 ラック式開閉装置の例

(4)油圧式開閉装置

油圧式開閉装置は、油圧ユニット、油圧配管、油圧シリンダ架台、油圧シリンダ、扉体取付部などから構成される。



図解－5.5 油圧式開閉装置の例

1)油圧シリンダ

油圧シリンダチューブには、一般的に炭素鋼が使用される。水中油圧シリンダとなる場合など特殊な環境下で使用される場合に、ステンレス鋼が使用されることがある。ロッドには、一般的にステンレス鋼にクロムめっきを施したものが使用される。油圧シリンダ回りの配管類には、ステンレス鋼や炭素鋼が使用される。このように異種金属が混在することがあるので、炭素鋼とその周辺の腐食について入念に点検する。

ここのロッド表面は、シリンダのパッキンと円滑に摺り合うとともに漏油防止を図るために重要な面である。この面にもらい錆が発生すると、パッキン損傷や漏油の原因となる。よって、表面にもらい錆などが無いかよく点検する。

2)扉体取り付け部

扉体取り付け部は、ロッドエンド、ピン、ブランケットなどから構成される。ステンレス鋼や炭素鋼が使用され、両者混在する場合があるので、特に常時水中にある場合に

は異種金属接触腐食に注意する。

(5)その他

扉体休止装置などのような着脱部、可動部、定期的に分解組立する部品などは、塗膜がはく離しやすく、ここから錆汁が出てステンレス鋼にかかりもらい錆の原因となることがある。よって、このように塗膜が損傷しやすい箇所にも注意して点検する。

５．１．４　バルブ類

バルブ類は、定期的に分解点検する。ケーシリングがコンクリートに埋設されるなどして分解点検できない場合でも、マンホール等があり点検できるようになっている場合には、定期的に内部を点検する必要がある。

点検を行う場合には、ステンレス鋼使用箇所を確認し、ステンレス鋼とその周辺の炭素鋼の腐食について点検を実施する。

［解　説］

ジェットフローゲートなどのようなケーシリングに扉体が内蔵された形式のゲートをバルブ類とする。

バルブ類は、扉体をケーシングに内蔵した密閉構造であり、その内面は目に触れることはない。(図解－5.6 参照)ところが、内面は接水面であり、腐食環境であるので点検しなければならない。このため、定期的に分解して内部を点検する。しかし、ケーシングがコンクリートに埋設され物理的に分解できない場合がある。この場合でも、マンホール等が設置され点検できるようになっている場合は、内部に入り定期的な点検を行う。

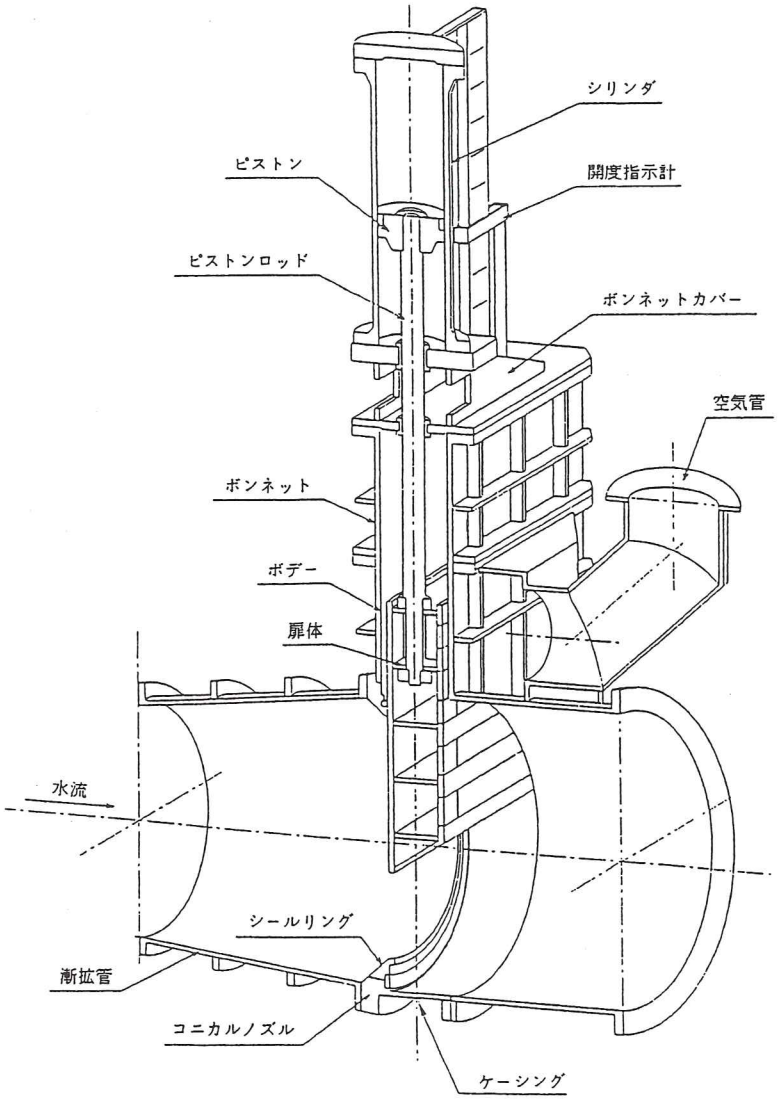
以下に、点検上配慮すべき点を示す。

（１）ケーシングおよびボンネット

ケーシングおよびボンネット内面自体はステンレス鋼であってもこれと接続される放流管胴が炭素鋼である場合がある。この場合には、継手周辺の異種金属接触腐食について点検する。

（２）開閉装置

油圧式やスピンドル式が一般的であり、油圧シリンダロッドまたはスピンドルと扉体取付部は常時水中部にある場合が多い。これについては 5.1.3 項解説 (2)、(4) に従い点検する。



図解－5.6　バルブ例(ジェットフローゲートの例)

5．1．5　放流管

放流管は、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼の溶接部、ステンレス鋼と炭素鋼との異種金属接触部の腐食について点検する。
また、溶接スパッタや錆汁などの付着による腐食についても点検する。

［解　説］

(1)溶接部

放流管には、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼が多用されている。よって、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼の溶接部について点検する。

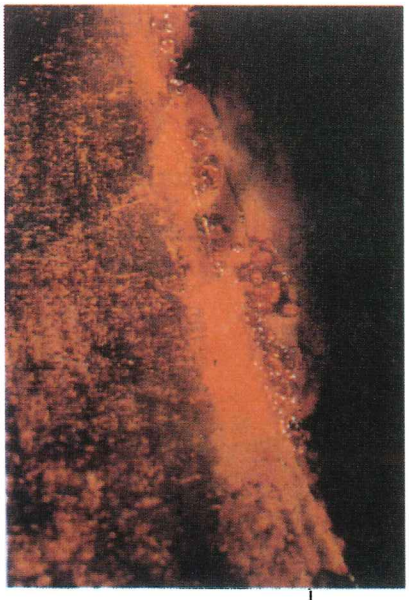
特に、放流管には、接水面だけステンレス鋼にしたステンレスクラッド鋼が多用されるようになってきた。ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接部に、ブローホールなどの溶接欠陥が存在すると、腐食の原因となりやすく、腐食が発生すれば母材を貫通するような深刻な腐食に至ることもある。よって、ステンレスクラッド鋼の突合せ溶接部は念入りに点検しなければならない。また、溶接欠陥による腐食が発見された場合は直ちに補修しなければならない。

(2)異種金属接触部

ステンレス鋼は、一般に、放流管胴、整流板、整流管、空気管、充水管など、常時水に接する面に使用されている。接水する面全てにステンレス鋼を使用する場合も増え、異種金属接触腐食の心配は少なくなってきているが、ステンレス鋼の管と炭素鋼の管とを接続する場合など、異種金属の混在する事例がまだある。この場合には、異種金属接触腐食の観点から点検を行う。写真解－5.5,5.6に溶接部付近の腐食事例を示す。

(3)溶接スパッタや錆汁などの付着部

もらい錆の発生源として、溶接スパッタが腐食した点錆や、錆汁、支保工痕、グラインダ痕、工具痕などがある。これらを見つけ出して点検を行う。



写真解－5.5 放流管溶接部(炭素鋼とステンレス鋼との溶接)付近の腐食の例



写真解－5.6 鋼製起伏ゲートの塗装面の局部的な錆の例

５．１．６　その他

その他の設備についても、ステンレス鋼を使用している部位を確認し、その部位毎にステンレス鋼とその周辺の炭素鋼の腐食について点検する。

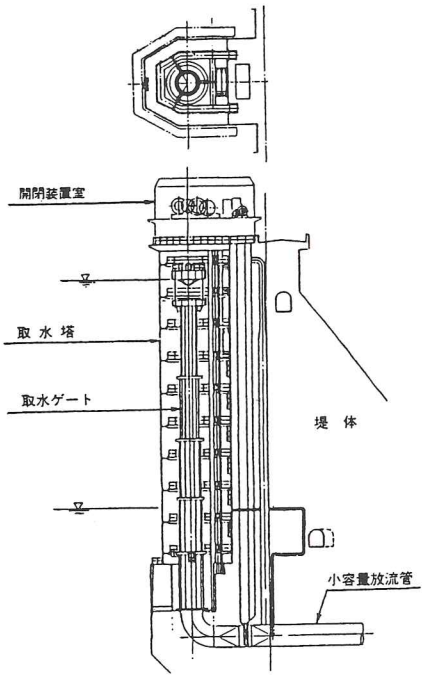
特に、溶接部、常時水中にある異種金属接触部およびステンレス鋼のすき間部について注意して入念に点検する。

［解　説］

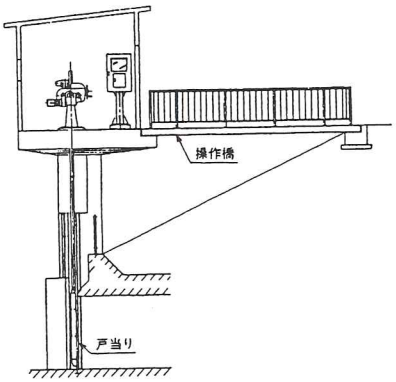
その他設備としては、次のようなものがある。

- 選択取水設備の取水塔
- スクリーン
- 開閉装置架台
- 操作橋、管理橋
- 点検設備

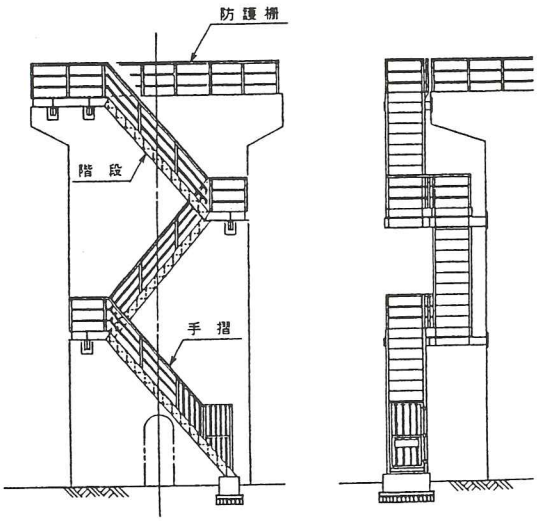
これらの設備についても、ステンレス鋼と炭素鋼が使用されている。扉体や戸当りなどといった水門設備本体に準じて点検していく。



取水塔の例



操作橋の例



点検設備の例

図解－5.7　その他の設備の例

5．1．7　塗　膜

ステンレス鋼と炭素鋼との溶接部近傍のステンレス鋼表面に施されている塗装および、炭素鋼表面の塗装については、塗膜のふくれ、はがれおよび錆の発生について点検する。

［解　説］

ステンレス鋼と炭素鋼との溶接部周辺の塗装は、異種金属接触腐食を防止するために施されている。

点検すべき範囲を次に示す。

①ステンレス鋼側に塗り越した塗膜

ステンレス鋼面の塗膜の付着性は、炭素鋼に比べ劣るので塗膜はく離などに注意する。

②溶接部近傍の炭素鋼側の塗膜

ステンレス鋼近傍の炭素鋼面の塗膜が損傷し炭素鋼が露出した場合には、ステンレス鋼の影響で、露出部の腐食が急速に進行することがあるので注意する。

点検すべき事項を次に示す。

a）塗膜のふくれ

b）塗膜のはがれ

c）錆

特に、接合部近傍の炭素鋼側の塗膜がはがれた場合には、腐食電流の集中が著しく腐食が進行するので注意する必要がある。



写真解－5.7 鋼製起伏ゲートの塗装面の局部的な錆、ふくれの例

5．2　診断基準

5．2．1　ステンレス材料

河川・ダム施設に用いられているステンレス材料の腐食の程度は、診断基準に基づいて判定する。

〔解　説〕

（1）ステンレス材料の目視観察による腐食の程度を判定する診断基準は、表解－5.1～5.2および写真解－5.8に基づいて診断する。

（2）診断基準の「B」、「C」の場合は、腐食の進行調査、予測を環境調査を含めて定期的に実施する。なお、進行防止のため腐食は発見時点でふき取る。

（3）診断基準の「C」の場合は孔食深さおよび大きさを測定し、下記に示す値以下ならステンレス鋼のＪＩＳ規格の性能を満足する(土木研究所資料第３３４４号「ステンレス鋼のダム用ゲート適用に関する試験調査」参照）が継続診断を行う。この値を超える孔食の場合は補修の対象とする。

1）孔食深さが、ステンレス鋼板厚の 40％

2）孔食の大きさが、構造部材幅の 15％

3）対象となる構造部材断面の孔食断面積が、ステンレス鋼部材断面積の 10％

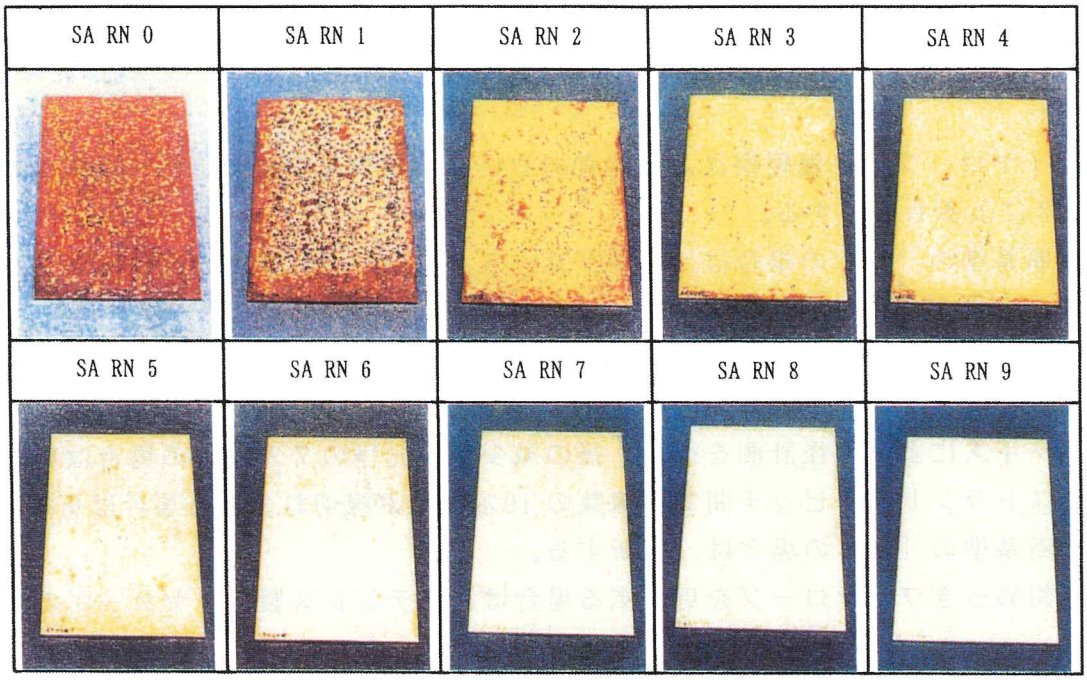
（4）診断基準の「D」の場合は、耐力を照査して補強か、全面的な更新等かを検討する。

表解－5.1　目視による大気中ステンレス材料の腐食程度の診断基準

腐食程度	発　生　状　況	診　断
A	腐食はほとんど認められない。 （レイティング No. 7以上）	健　全
B	腐食が発生しはじめ、変色が認めはじめている。 （レイティング No. 4～6）	要観察
C	孔食が認められる。 （レイティング No. 2～3）	補　修
D	肉眼で多量の孔食が認められる。 （レイティング No. 1以下）	補　強

表解-5.2　目視による水中部ステンレス材料の腐食程度の診断基準

腐食程度	発　生　状　況	診　断
A	腐食はほとんど認められない。	健　全
B	すき間部，溶接部，異種金属接触部などに腐食が発生しはじめ、赤さびが認めはじめている。	要観察
C	すき間部，溶接部，異種金属接触部などに、さび、こぶ状の生成物がある。	補　修



注；SA RN：ｽﾃﾝﾚｽ協会のﾚｰﾃｨﾝｸﾞﾅﾝﾊﾞｰ

写真解－5.8　大気中のステンレス材料の発錆ランク

5．2．2　ワイヤロープ

ワイヤロープの腐食あるいは摩耗の程度は、診断基準に基づき判定し、必要に応じて防錆グリース塗布等の腐食防止対策、補修またはワイヤロープの更新を実施する。

〔解　説〕

（1）ワイヤロープの目視観察による腐食あるいは摩耗の程度を判定する診断基準は、表解－5.3によるものとする。

（2）診断基準の「B」の場合は、防錆グリースを塗布しどの程度の期間で無くなるかを定期的に点検する。

（3）診断基準の「C」の場合は、以下の項目を測定し、更新するか潤滑油塗布で対応するかを決める。

1）ノギスにより外径計測を行い、径の減少率が元径の７％以上の場合は更新する。

2）ストランドの１ピッチ間で素線数の10％以上素線切れのある場合は更新する。

（4）診断基準の「D」の場合は、更新する。

（5）亜鉛めっきワイヤロープを更新する場合は、ステンレス製ワイヤロープの採用も検討する。

表解－5.3　目視によるワイヤロープの腐食および摩耗程度の診断基準

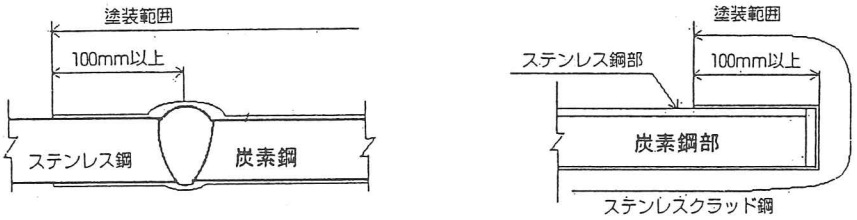
腐食程度	発　生　状　況	診　断
A	ワイヤロープ表面には防錆グリースが完全に残存し、腐食あるいは摩耗はほとんど認められない。	健　全
B	ワイヤロープ表面の防錆グリースが残存していないが、腐食あるいは摩耗はほとんど認められない。	要観察
C	ワイヤロープ表面の防錆グリースが残存していなく、腐食あるいは摩耗が若干認められる。	要注意
D	ワイヤロープ表面の防錆グリースが完全に無く、腐食あるいは摩耗が著しい。	更　新

５．２．３　異種金属接触部の塗膜

異種金属接触部の塗膜の劣化度は、診断基準に基づき判定し、必要に応じて塗替え塗装等の腐食防止対策を実施する。

〔解　説〕

（１）ステンレス鋼と炭素鋼の溶接等によりステンレス鋼が異種金属と接触する場合は、異種金属接触腐食を防ぐため炭素鋼から連続してステンレス鋼部分に塗装を行う。また、ステンレスクラッド鋼の端面も塗装を行う。その例を図解－5.8に示す。



図解－5.8　ステンレス鋼と炭素鋼の接触部の塗装例

（２）目視観察による塗膜劣化の判定は、表解－5.4による。

（３）診断基準の「Ｂ」の場合は、定期的に劣化度の進捗状況調査を実施して、「Ｃ」の状態になったら塗替え塗装を実施する。

（４）診断基準の「Ｃ」の場合は、塗替え塗装等の補修を実施する。また、汽水域で常時水没している場合は、電気防食の併用も検討する。

表解－5.4　目視による塗膜の劣化度の診断基準

劣化度	発　生　状　況	診　断
A	異常の無い健全な状況。	健　全
B	極めて小さな劣化は見られるが、劣化部分以外は健全な状況。	要観察
C	全体に小さな錆，ふくれ，はがれ等の発生が見られる状況。	塗り替え

5．3　補修

河川・ダム施設のステンレス部材に腐食が発見された場合、その原因を調査し適切な補修を施す。

〔解　説〕

河川・ダム施設は、常時水中にあるなど厳しい腐食環境にあるので、耐食性に優れたステンレス材料といえども腐食が発生することがある。この場合、溶接欠陥、異種金属接触腐食、すき間構造等の腐食原因を明らかにし適切な補修を行うことが必要である。

また、ステンレス材料と炭素鋼が溶接されている部位の塗膜が劣化した部位も、異種金属接触腐食の進行を防ぐため適切な補修塗装を行うことが必要である。

５．３．１　ステンレス材料溶接部

ステンレス材料溶接部の腐食部位の補修は、さびを除去してステンレス鋼の肉盛り溶接で行う。

〔解　説〕

ステンレス材料の現場溶接で生じる溶接欠陥には、ブローホールや希釈による溶接部の全面腐食がある。

欠陥およびさびはグラインダなどで完全に除去し、D308 溶接棒で肉盛りする。なお、クラッド鋼の場合で、さびが炭素鋼まで達しているときは D309 溶接棒で一層盛りし、さらに D308 溶接棒で肉盛りする。

その他ブローホール，アンダーカット，オーバーラップ等の溶接欠陥の発生は、炭素鋼の溶接の場合と同様であり防止および補修の方法は、ダム・堰施設技術基準(案)に準拠して行う。

5．3．2　異種金属接触腐食部

ステンレス材料と炭素鋼の異種金属接触腐食部の補修は、腐食した炭素鋼のさびを入念に除去して肉盛り溶接またはパテ詰めを行った後塗装を行う。

〔解　説〕

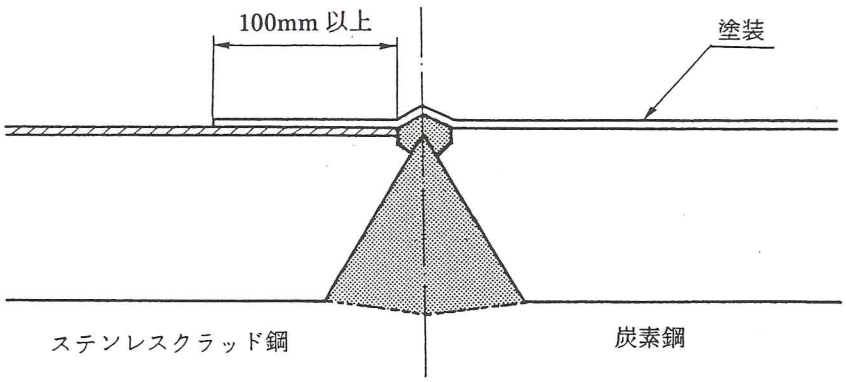
主桁部分など強度の劣化が設備運用上問題になる部分で著しく腐食している場合は、補強の必要性も含めた十分な検討を行い適切な補修を行う。

塗装は、図解－5.9に示すように、炭素鋼だけでなく溶接線よりステンレス側に100㎜以上入った部分まで施すことを原則とする。

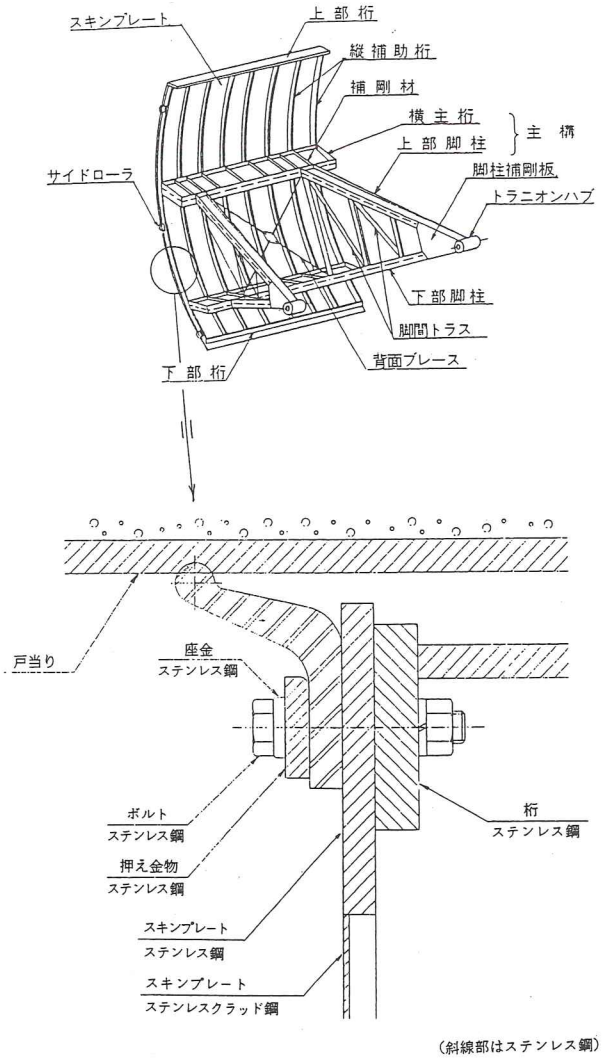
ステンレス鋼を炭素鋼や亜鉛めっきボルトで結合している場合、図解－5.10に示すようにステンレス鋼ボルトに交換することが望ましい。交換できない場合は、防錆キャップ（充填材を入れる）を使用してもよい。その防錆キャップの適用状況を図解－5.13，5.14に示す。

常時水中にあるステンレス鋼管と炭素鋼管とがフランジ接合されている場合、図解－5.11に示すように接合フランジ間に絶縁性パッキンをはさむ。また、ボルトも絶縁スリーブで絶縁する。

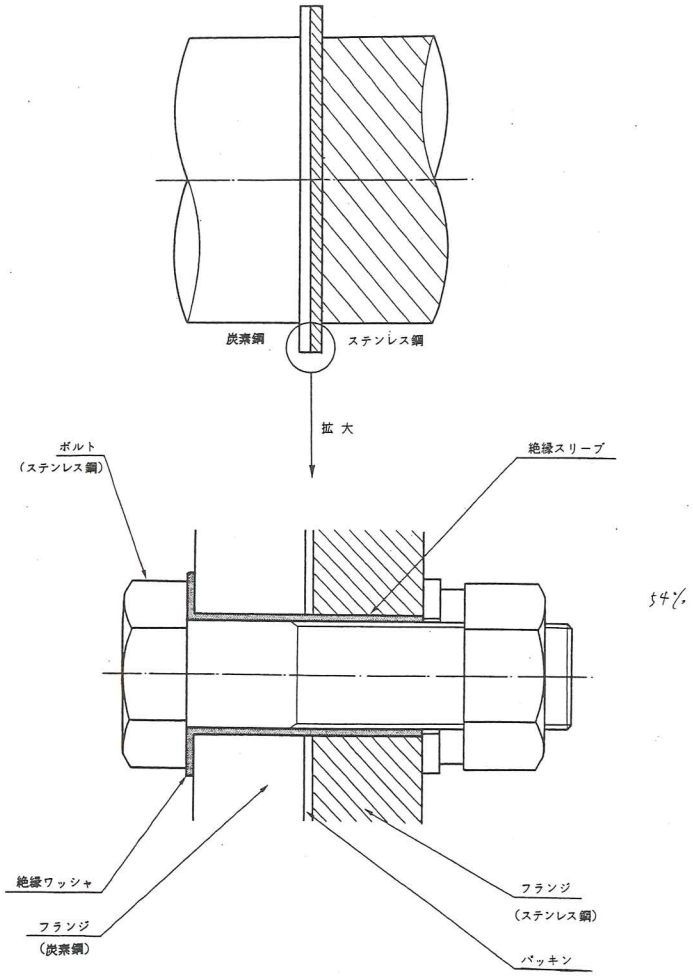
スキンプレートなどにステンレスクラッド鋼を使用した場合、ステンレスクラッド鋼端面は、図解－5.12に示すように、ステンレス鋼の帯板を取りつけるかステンレス鋼の肉盛りのいずれかを行う。



図解－5.9　異種金属接触部の塗装の塗り越し

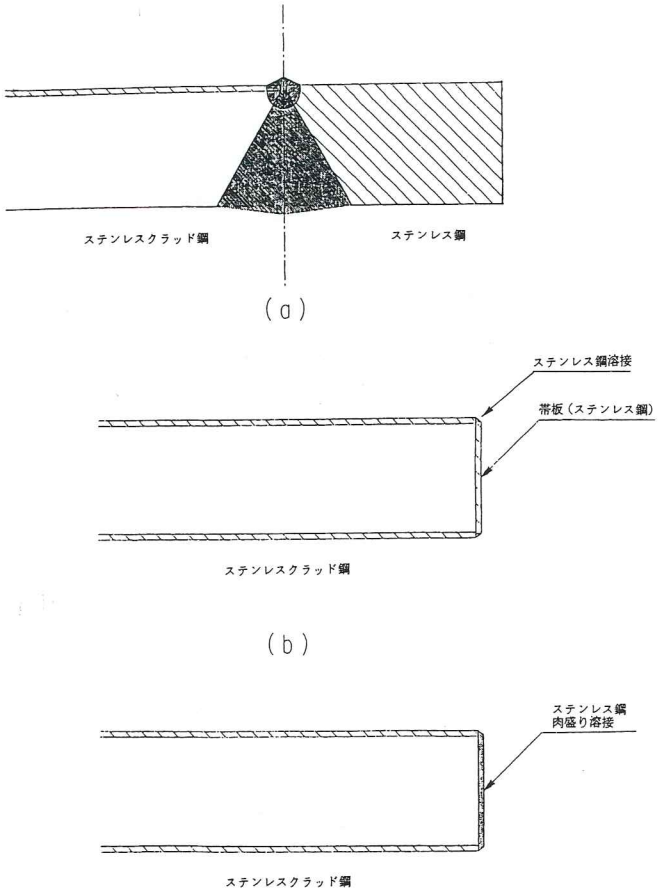


図解－5.10　水門扉側部水密部
（水密ゴム押さえ金物と固定ボルト）

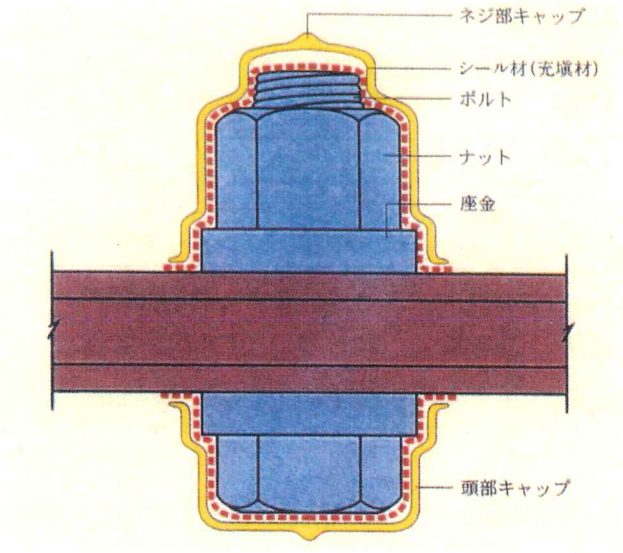


54%

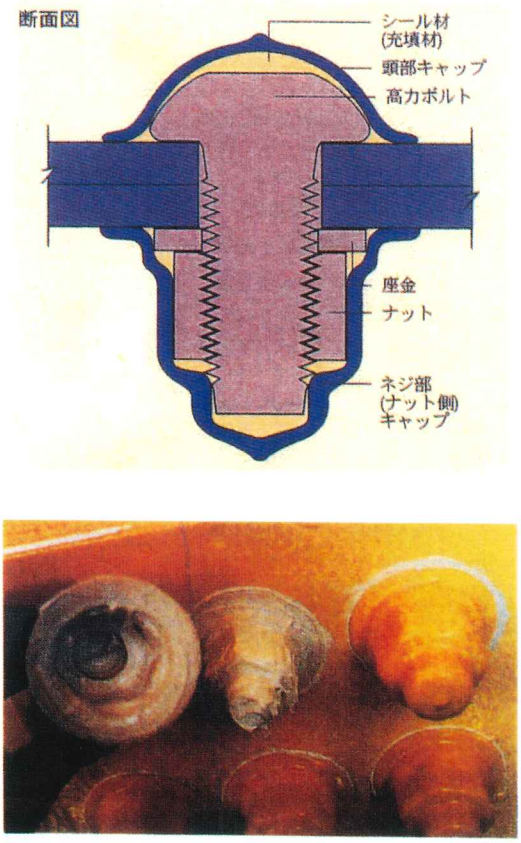
図解－5.11　フランジ接合部の絶縁



図解－5.12　ステンレスクラッド鋼の端面処理



図解－5.13　ボルトキャップの取付状況



図解－5.14　キャップの断面とシール材充填状況

5．3．3　すき間腐食部

すき間腐食部の補修は、さびを十分に除去してから目地材ですき間を塞ぐ。

〔解　説〕

すき間腐食は、ボルトとワッシャの合わせ面、ゴム押さえ板とゴムの合わせ面、フランジ継手の接合面、軸と軸穴および、ドロ、スライムなどの付着面周辺、貝などの生物の付着面周辺などに生じることが多い。

すき間腐食部の補修は、さびを十分に除去しエポキシ樹脂塗料など耐水性に優れた塗料等の目地材ですき間を塞ぐ。なお、ローラー軸部分など強度の劣化が設備運用上問題になる部分で著しく腐食している場合は、電気防食を含めた腐食対策および補修方法について検討を行う。

また、ボルト・ナットなど交換が可能な場合には、SUS403、410の代わりに耐すき間腐食性に優れたSUS304などのオーステナイト系ステンレス鋼に交換することが望ましい。

河口堰のように塩化物イオンがある場合は、SUS304よりさらに高耐食性のステンレス鋼を使用することが望ましい。

5．3．4　もらい錆および発錆ステンレス材料

他の鋼材からのもらい錆は、速やかに除去する。また発錆したステンレス材料は除錆後補修を行う。D308 溶接棒で肉盛りする。

〔解　説〕

ステンレス材料表面に、炭素鋼など他の鋼材が付着したままにしておくと、炭素鋼のさびの下にあるステンレス材料の腐食が促進されて孔食を生じることがある。

このため、ステンレス材料表面に付着した炭素鋼より生じたさび汁、鉄粉などの付着物、溶接スパッターの付着物および炭素鋼との接触部は速やかにグラインダで除去する。

もらい錆を除去した後のステンレス材料に孔食が生じている場合には、同一の鋼種の肉盛り溶接で補修する。

海岸などの塩化物イオンを含む環境下では、SUS304 程度のステンレス材料は使用しないのが原則である。しかし、既に使用され発錆が著しい場合は、以後の錆の進行防止および、美観上から防錆後（素地調整）塗装を行う。

一例として、扉体などが常時大気環境に暴露されるゲートの補修塗装仕様例を表解－5.5 に示す。

表解－5.5 既存ステンレス材の塗装仕様例

塗装工程	塗料名	標準塗付量（kg/m²/回）	塗り回数	塗り重ね乾燥時間（20℃）	シンナー名（希釈率）	標準膜厚（μm/回）
素地調整	素地の油汚れ、付着物をシンナーなどで完全に除去する。 発生したさびは、ペーパーやマジックロンなどで完全に除去する。					
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料下塗り	0.20 （はけ・ローラー）	1	16 時間以上 7 日以内	エポキシシンナー （0～5％）	50
中塗り	エポキシ樹脂塗料中塗り	0.14 （はけ・ローラー）	1	16 時間以上 7 日以内	エポキシシンナー （0～5％）	30
上塗り	ポリウレタン樹脂塗料上塗り	0.12 （はけ・ローラー）	1	－	ウレタンシンナー	30

５．３．５　ワイヤロープ

（１）ワイヤロープは、腐食および摩耗が著しい場合は交換する。
（２）防錆グリースが劣化したり消耗した場合は、塗付し直す。

〔解　説〕

（１）ワイヤロープ

目視観察の結果、異物の付着，変形・発錆，摩耗，素線切れ，内部状態油切れ，亜鉛めっきの溶解などが有る場合には、５．２．２の診断基準に基づき、必要に応じて交換する。

（２）防錆グリース

亜鉛めっきワイヤロープに使用される防錆グリースには、防錆性のほか開閉時のワイヤロープとシーブ面との接触摩擦対策として潤滑性にも優れたものを選定する。また、水没部や大気部等使用環境にあったものを選定する。

現在、この防錆グリースには、大気暴露用（水没ところに使用）と水中用（常に水没部に使用）の２種類があるので、使用目的に合った防錆グリースを選定する必要がある。選定にあたっては、防錆力、作業性（塗り易く、除去し易いもの）も勘案して選定する必要があるが、3章３．２．３（２）に示すＤ油が優れている。

水門設備において、亜鉛めっきワイヤロープの腐食が著しい場合は、ステンレス製ワイヤロープに変更することが望ましい。ステンレス製ワイヤロープを使用する場合も、防錆グリースを塗布することが望ましい。ワイヤロープをステンレス材に変更した場合、周囲のシーブや他の部位との異種金属接触腐食による腐食を加速する恐れがあるので、周囲の材質もステンレス材に変更することが望ましい。変更できない場合は、以後の点検で腐食について注意深く観察する必要がある。

5．3．6　その他付属設備

その他付属設備などの腐食は、腐食状況および原因に基づいて適切な補修を行う。

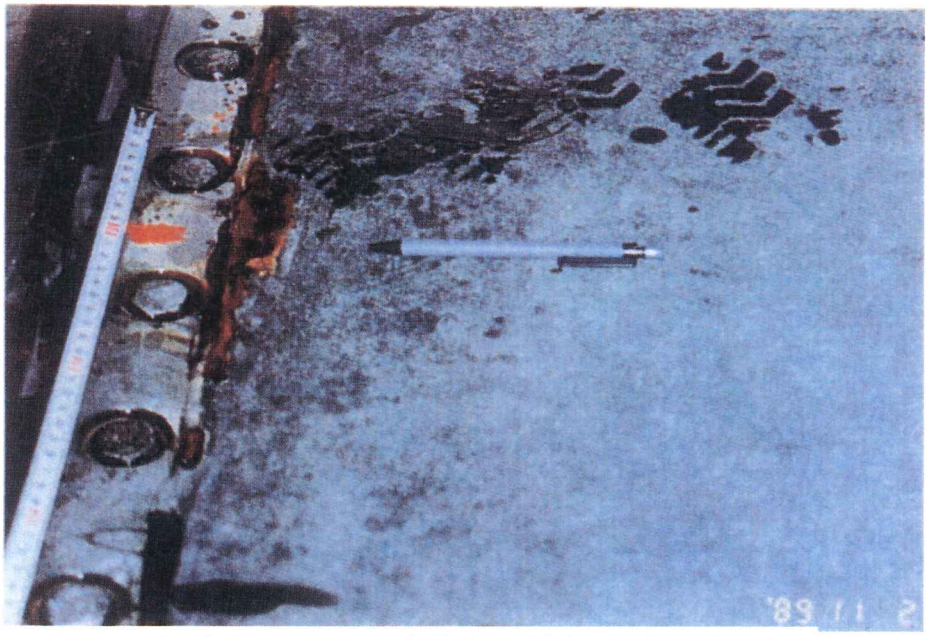
〔解　説〕

腐食が著しく再塗装が困難なシーブボックス内面，主ローラ本体および取付部側面，サイドローラ（ボックス内面）開閉装置駆動部ベースなどは、ステンレス材またはステンレスクラッド材に変更することが望ましい。この場合、他の材質との組合せによる異種金属接触腐食を考慮する。

ステンレス材料の腐食部位は、腐食状態並びに腐食原因により、適切な補修を施すことが必要である。汽水域の没水部については、電気防食を併用することが望ましい。

制水門の下部水密ゴム取付け部などにおいて、押板やボルト・ナットにステンレス材を使用すると、扉体（炭素鋼＋塗装）とステンレス材間で異種金属接触腐食を起こすことがある。この場合、押板およびボルト・ナットの材質を扉体と同質材の炭素鋼に変更し、塗装を行うことが望ましい。その腐食事例を写真解－5.9に示す。

このような事例において、通常側面，底面は、ステンレス材が多用されているので、淡水においても電気防食を併用すると塗膜の防食効果を確実なものにすることができる。



写真解－5.9　異種金属接触腐食の事例