

土 木 研 究 所 資 料

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

建設省東北地方建設局道路部機械課
建設省土木研究所地質化学部化学研究室

[Copyright © (1993) by P. W. R. I.

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

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

ダム放流設備へのステンレス材料 適用マニュアル (案)

東北地方建設局

道路部

機械課 課長 丹野 光 正

課長補佐 山崎 晃

東北技術事務所

工作課 課長 池田 八 郎

土木研究所

地質官 市川 慧

地質化学部

化学研究室 室長 片脇 清

研究員 守屋 進

要 旨

厳しい腐食環境にあるダム放流設備のメンテナンスを軽減させる目的で、ステンレス材料をダム放流設備に適用する際に必要な留意事項をマニュアルとしてとりまとめたものである。

キーワード：ダム，放流設備，ステンレス材料，腐食防食，メンテナンス

ステンレス材料のダムへの利用技術研究会 名簿

委員長	市川 慧	建設省土木研究所地質官
副委員長	丹野 光正	建設省東北地方建設局道路部機械課長
幹事長	片脇 清	建設省土木研究所地質化学部化学研究室長
	山崎 晃	建設省東北地方建設局道路部機械課課長補佐
	池田 八郎	建設省東北地方建設局東北技術事務所工作課長
	守屋 進	建設省土木研究所地質化学部化学研究室研究員
	久我 昂	社団法人鋼材倶楽部土木専門委員会委員長代理
	田中 成人	新日本製鐵株式会社建材開発技術部 土木建材技術グループ部長代理
	梅野 正紀	新日本製鐵株式会社ステンレス鋼技術部 ステンレス鋼技術サービス室掛長
	田所 裕	新日本製鐵株式会社技術開発本部鉄鋼研究所 ステンレス・チタン研究部主任研究員
	松岡 和巳	新日本製鐵株式会社技術開発本部鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター主任研究員
	中村 厚	住友金属工業株式会社専門部長
	南 孝男	住友金属テクノロジー株式会社受託研究第2部 受託研究第2チーム副長
	寺辻 修	石川島播磨重工業株式会社鉄構事業部設計部課長補佐
	平井 陽一	石川島播磨重工業株式会社技術研究所構造材料研究部課長
	川嶋 巖	石川島播磨重工業株式会社技術研究所接合研究部課長
	森 芳徳	財団法人土木研究センター研究開発部長

中途交代委員

副委員長	吉田 正	前建設省東北地方建設局道路部機械課長
	深堀 哲男	建設省東北地方建設局道路部機械課課長補佐
	瀧口 洋一	前社団法人鋼材倶楽部土木専門委員会委員長代理
	高橋 良輔	前新日本製鐵株式会社ステンレス鋼技術部 ステンレス鋼技術サービス室掛長
	広沢 規行	前新日本製鐵株式会社設備技術本部土木建築技術部 土木建築開発室掛長

本 間 宏 二	前新日本製鐵株式会社設備技術本部土木建築技術部 土木建築開発室
伊 藤 徹	前新日本製鐵株式会社技術開発本部鉄鋼研究所 ステンレス・チタン研究部主幹研究員
原 修 一	前住友金属工業株式会社厚板技術部東京厚板営業技術室 担当次長
小 林 徹 也	石川島播磨重工業株式会社鉄構事業部設計部課長補佐
田 中 柳之助	前財団法人土木研究センター常務参与

ま え が き

ダムは、洪水調節・灌漑用水や飲料水の確保・発電等、河川水を多目的に利用するための大規模な河川構造物である。なかでも、放流設備はこれらの目的で河川水を利用・制御するための重要な設備である。

放流設備は、複雑な構造をした多くの部材で構成されており、また、常時水に接する厳しい腐食環境にあるため、常にその機能を維持するためには、多大なメンテナンスが必要となる。

このため、放流設備のメンテナンスを軽減することを期待して、ステンレス材料が他の土木構造物に比べ以前から多く利用されている。

しかしながら、ステンレス材料といえども適切な設計・施工が行われないと、かえって構造物に悪影響を与えることもある。これらの問題点を明らかにするとともにダム放流設備のメンテナンスの軽減を目指して、ステンレス材料のダムへの適切な利用を図ることを目的としたマニュアル（案）を作成した。

本マニュアル（案）は、財団法人土木研究センターに設置された『ステンレス材料のダムへの利用技術研究会』が実施した現地調査及び室内試験結果とともに既存の知識並びに技術を整理して作成したものである。

目 次

1. 総 則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用 語	2
1.3 関連規格等	5
2. ステンレス材料の特性とダムへの適用	7
2.1 ステンレス鋼の特性	7
2.1.1 ステンレス鋼の定義・分類	7
2.1.2 ステンレス鋼の系統別特性	9
2.1.3 ステンレス鋼の化学成分	11
2.1.4 ステンレス鋼の物理的性質	12
2.1.5 ステンレス鋼の機械的性質	13
2.1.6 ステンレス鋼の耐食性	17
2.1.7 ステンレス鋼の腐食の形態	23
2.1.8 ステンレス鋼の溶接性	27
2.2 ダムへのステンレス材料の適用	28
3. ステンレス材料適用に当たっての設計上の留意事項	31
3.1 耐食性に関する一般留意事項	31
3.1.1 使用環境による耐食性	33
3.1.2 異種金属接触腐食	36
3.1.3 すき間腐食	42
3.1.4 もらい錆	44
3.2 ステンレス材料適用に当たっての防食設計上の留意事項	45
3.2.1 ステンレス材料使用の基本	47
3.2.2 扉体端部	57
3.2.3 扉体内部	60
3.2.4 扉体下部	61
3.2.5 扉体組込み品、付属品など	62
3.2.6 シーブブロック	63
3.2.7 戸当り	65
3.2.8 開閉装置	67
3.2.9 バルブ類	69

3.2.10 放流管	73
3.2.11 付属設備類	79
4. ステンレス材料適用に当たっての施工上の留意事項	83
4.1 保管管理	83
4.2 切 断	85
4.3 曲げ加工	87
4.4 機械加工	88
4.5 溶 接	90
4.5.1 溶接方法及び資格	90
4.5.2 溶接準備	93
4.5.3 溶接材料の選定	96
4.5.4 溶接施工	97
4.5.5 溶接後の熱処理	103
4.5.6 溶接部の検査	105
4.5.7 溶接の欠陥とその対策及び補修	107
4.5.8 溶接施工試験	111
4.6 加工後のステンレス材料の表面仕上げ	113
4.7 ハンドリング	114
4.8 据付け施工現場での留意事項	116
5. 維持管理	118
5.1 点 検	118
5.1.1 扉体の点検	119
5.1.2 戸当りの点検	120
5.1.3 放流管の点検	121
5.1.4 その他の設備の点検	122
5.1.5 塗膜の点検	123
5.2 補 修	124
5.2.1 溶接部の補修	125
5.2.2 異種金属接触腐食部の補修	126
5.2.3 すき間腐食部の補修	130
5.2.4 もらい錆の補修	131
5.2.5 その他の設備の補修	132
参考文献	133

1. 総則

1.1 適用範囲

本マニュアル（案）は、ステンレス材料を防食材としてダム放流設備に適用する際の設計・施工・維持管理に適用する。

〔解 説〕

ダムは、洪水調節・灌漑用水や飲料水の確保・発電等、河川水を多目的に利用するための大規模な河川構造物である。なかでも、放流設備は、これらの目的で河川水を利用・制御するための重要な設備であるが、複雑な構造をした多くの部材で構成されており、また、常時水に接する厳しい腐食環境にあるため、常にその機能を維持するためには、多大なメンテナンスが必要となる。

このため、放流設備のメンテナンスの軽減を目的として、ステンレス材料が他の土木構造物に比べ多く利用されつつある。

しかしながら、ステンレス材料といえども適切な設計・施工が行なわれないと、かえって構造物に悪影響を与えることもある。これらの問題点を明らかにするとともにダム放流設備のメンテナンスの軽減を目指して、ステンレス材料のダムへの適切な利用を図ることを目的としたマニュアルを作成した。

1.2 用語

本マニュアルで使用している用語は以下のように定義する。

(1) ステンレス材料：

ステンレス鋼及びステンレスクラッド鋼の厚板、薄板、管棒線、型钢及びステンレス鋳鋼の全てを含む。

(2) ステンレスクラッド鋼：

普通鋼等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、型钢、パイプ等がある。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 自然電位：

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

(6) 分極曲線：

水溶液中における材料の電位と電流の関係を表した電気化学反応曲線を、分極曲線という。電位を徐々に高めて、いろいろな酸化反応を与えた電位－電流曲線をアノード分極曲線、電位を徐々に下げていろいろな還元反応を与えた電位－電流曲線をカソード分極曲線という。

(7) マクロセル：

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いう。

(8)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酸化皮膜であり、ステンレス鋼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のことをいう。不動態皮膜は、ひっかき傷等で破壊されても水中や大気中ではすぐに再生する。

(9)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、電位の低い方の金属（鉄、亜鉛、アルミニウム等）の腐食が、電位の高い方の金属（ステンレス鋼、チタン等）によって早められる現象のことをいう。金属電池作用による腐食のことであり、ガルバニック・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、本マニュアルにおける異種金属接触腐食とは区別されている。

(10)孔食：

普通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（大きさは数十 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。

(11)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を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 $40\mu\text{m}$ 以下のすき間である。

(12)通気差腐食

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で金属は溶解する。通気差腐食の生じやすい例としてステンレス鋼表面のもらい錆がある。

(13)粒界腐食：

結晶粒界または、そのごく近傍に沿った腐食で、粒内はほとんど腐食されないにもかか

わらず金属の破壊をもたらす。ステンレス鋼の粒界腐食では、不適切な熱処理や溶接等によってクロム炭化物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ことが多い。

(14)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）のことをいう。安定化元素は、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。

(15)鋭敏化：

熱処理や溶接等により、ステンレス鋼の結晶粒界にクロム炭化物が生成して粒界腐食感受性が粒内よりも高まること。

(16)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、その一部が脱离していく現象。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。

(17)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。

〔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、迷走電流により常時起こ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

ダムにステンレス材料を用いようとする場合には、本マニュアルによるほか関連法規、基準及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 | （社）日本河川協会 |
| ・ダム・堰施設技術基準 | （社）ダム・堰施設技術協会 |
| ・河川ゲート設計指針（案）鋼製ゲート編 | （社）日本河川協会 |
| ・選択取水設備設計要領（案）同解説 | （財）国土開発技術研究センター |
| ・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 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 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

2. ステンレス材料の特性とダムへの適用

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さを保つ鋼である。

一般に、ステンレス鋼は、合金成分または金属組織により、表-2.1のように分類される。

表-2.1 ステンレス鋼の分類

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	代表的鋼種	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	SUS405, SUS434, SUS444, SUS447J1	フェライト系
クロム・ ニッケル系	18クロム-8 ニッケル系	SUS304 SUS316	18Cr-8Ni 18Cr-12Ni -2.5Mo	SUS304L, SUS304N ₂ SUS316L, SUS317 SUS321, SUS347	オーステナイト系
	25クロム-6 ニッケル系	SUS329J3L SUS329J4L	25Cr-6Ni- 3Mo-N-低C	SUS329J1	オーステナイト・ フェライト系
	17クロム-4 ニッケル-4 銅系	SUS630	17Cr-4Ni -4Cu	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、不動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。

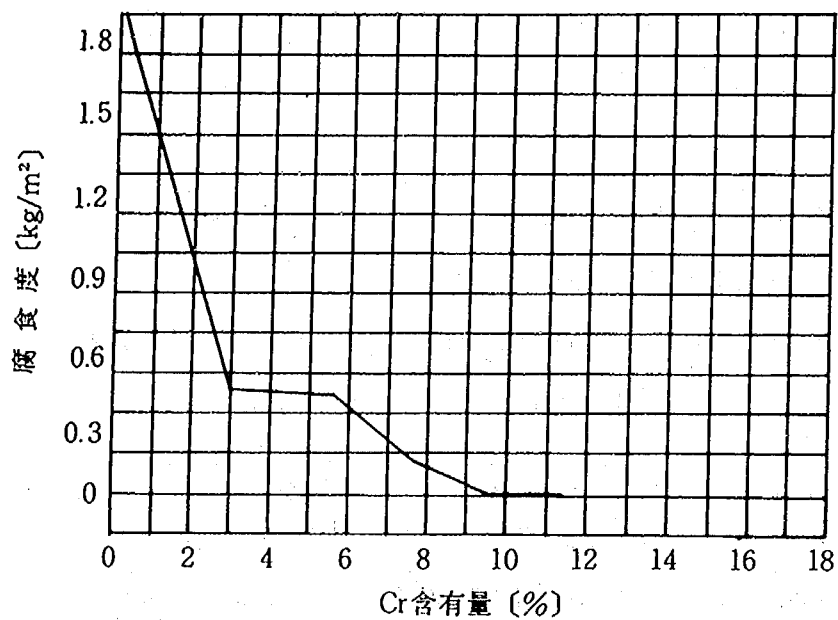
(2)約12%以上のクロムを含有していると良好な不動態皮膜を作る。

図解-2.1 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。

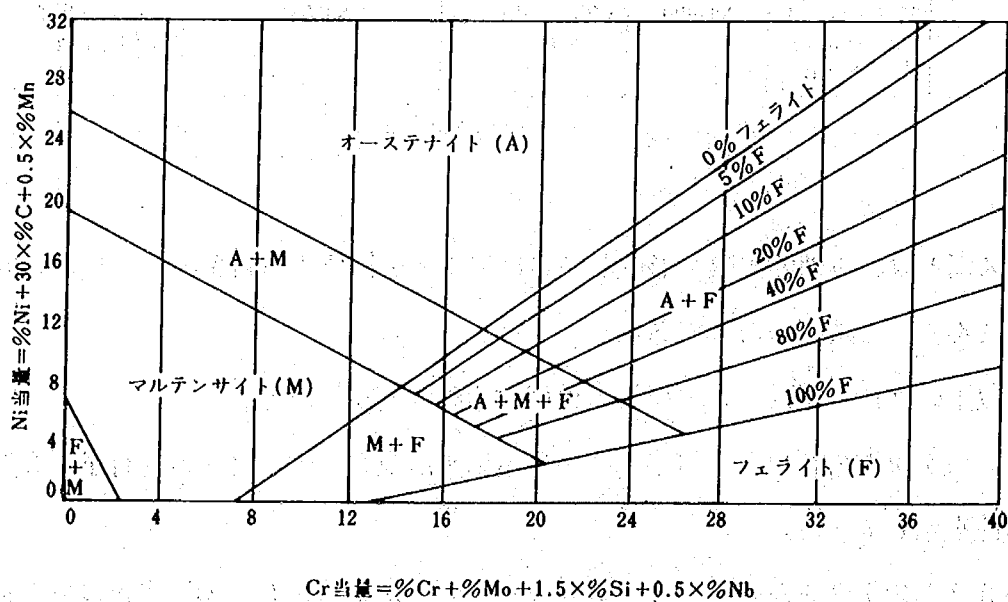
(3)クロムが32%以上含まれると脆化、硬化等により工業材料として不適当となるため、JISでは上限を32%としている。

(4)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。

(5)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、マルテンサイト及びそれらの混合組織になる。合金量と組織の関係は、図解-2.2 のシェフラーの組織状態図のようになる。



図解-2.1 鉄-クロム鋼（炭素0.1%）の耐食性（工業地帯の大気中に10年間暴露）
 (H. H. Uhlig: Corrosion Handbook(1953)より)



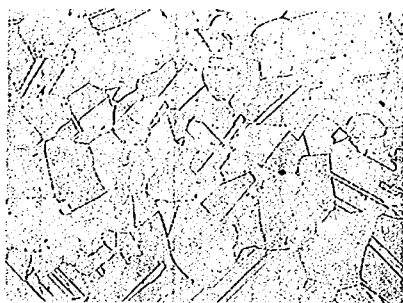
図解-2.2 シェフラの組織状態図

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）及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、耐食性及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。



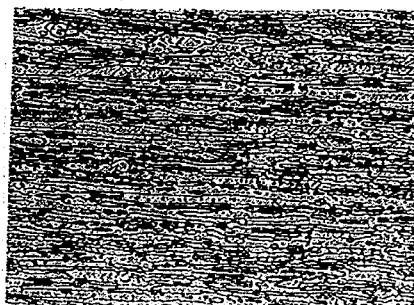
(a) オーステナイト系 (×200)



(b) マルテンサイト系 (×200)



(c) フェライト系 (×100)



(d) オーステナイト・フェライト系（2相系）

（着色部がフェライト）(×200)



(e) マルテンサイト系析出硬化型 (×200)

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

性質		金属組織 特性	オーステナイト系 (18Cr-8Ni系) SUS304, SUS316	フェライト系 (18Cr系) SUS430	マルテンサイト系 (13Cr系) SUS410	オーステナイト・フェライト系 (25Cr-6Ni系) SUS329J2L	マルテンサイト系析出硬化型 (17Cr-4Ni-4Cu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		普通鋼の約1.5倍	普通鋼とほぼ同じ	普通鋼とほぼ同じ	普通鋼の約1.1倍	
	熱伝導		普通鋼の約3分の1	普通鋼の2分の1	普通鋼の2分の1	オーステナイト系とフェライト系の中間	
	衝撃と伸び		きわめて良好成形性に富む	オーステナイト系に比べて劣る	オーステナイト系に比べて劣る	常温ではオーステナイトと同程度で良好	硬さレベルによるが、靱性は劣る
	耐低温性		-200℃まで靱性が低下しない	-10℃以下ではもろい	-15℃以下ではもろい	-10℃以下で急激に低下する	低温では靱性がより低下する
	方向性		方向性はほとんどない	あり 圧延の目に直角に曲げるようにする	あり	あまり差はない	なし
	焼入れ硬化性		焼入れ硬化性なし	焼入れ硬化性なし	焼入れ硬化性あり 炭素含有量の多いものは冷却後に割れやすい	焼入れ硬化性なし	焼入れ硬化性あり
	加工硬化性		加工硬化性大 ニッケル含有量の多い鋼種は加工硬化が少ない	冷間加工で多少の変化が認められる	普通鋼と同じ傾向の加工硬化性を示す	素材の段階で硬く、オーステナイトに比較して伸びが低く、冷間加工で硬化を受ける	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を受ける冷間加工に適さない
耐食性	耐食性 耐候性		すぐれた特性を有している	内装用としてはさびの心配はないが屋外の使用には問題がある	オーステナイト系に比べて劣る	Mo、Nが添加され、すぐれた特性を有している	優れた特性を有している
溶接性	溶接性		溶接性は最も良好 500～850℃の温度範囲に長時間加熱すると耐食性が劣化する。	溶接性はやや劣る 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	溶接性はよくない 予熱、後熱処理をしないと溶接割れを生じる	溶接性は良好であるが、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	溶接性はよくない 細心の注意を要する

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表-2.2に示す。

表-2.2 ステンレス鋼の化学成分

(単位: %)

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	普通
	SUS304	SUS316	SUS430	SUS410	SUS329J4L	SUS630	SS400
C (炭素)	≤0.08	≤0.08	≤0.12	≤0.15	≤0.030	≤0.07	—
Si (ケイ素)	≤1.00	≤1.00	≤0.75	≤1.00	≤1.00	≤1.00	—
Mn (マンガン)	≤2.00	≤2.00	≤1.00	≤1.00	≤1.50	≤1.00	—
P (リン)	≤0.045	≤0.045	≤0.040	≤0.040	≤0.040	≤0.040	≤0.050
S (イオウ)	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.050
Ni (ニッケル)	8.00~10.50	10.00~14.00	(注1)	(注2)	5.50~7.50	3.00~5.00	—
Cr (クロム)	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)	—	—	—	—	0.08~0.30	—	—
Nb (ニオブ)	—	—	—	—	—	0.15~0.45	—

(注1) (注2) 0.60%以下含有しても差しつかえない

[SS411:SS400]

[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%、ニッケルが8%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%ずつ存在し、SUS316より一層耐食性に優れている。また、強度の優れている。
- (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。

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表-2.3に示す。

表-2.3 ステンレス鋼の物理的性質

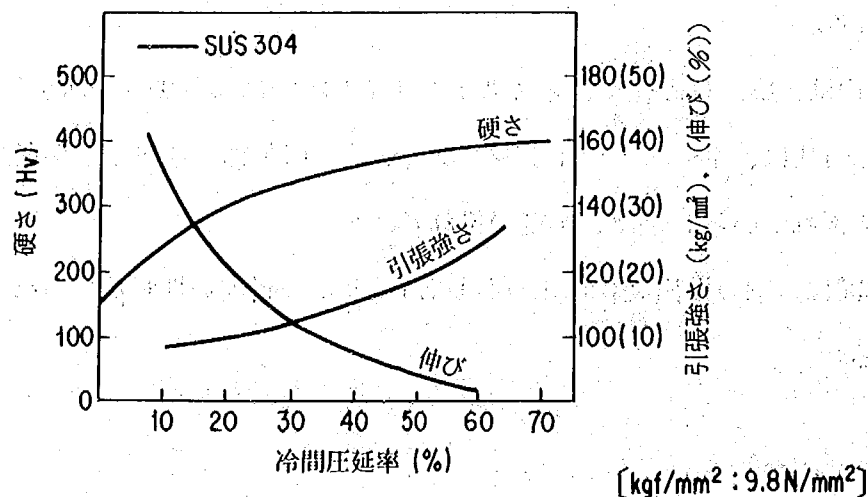
種 類	鋼 種	物 理 的 性 質												熱伝導率 (10-2) (cal/cm/sec°C)		線膨張 係 数 (10-6) (Kg /mm ²)
		密 度 (g/cm ³)	比 抵 抗 (μΩ-cm) (室温)	磁 性	比 熱 (cal/g/°C) (0~100°C)	平 均 線 膨 張 係 数 (10 ⁻⁶ /°C)										
						-184	-129	-73	0	0	0	0	0			
						~20	~20	~20	~100	~316	~538	~649	~816			
オーステナイト系	304 316	7.93 7.98	72 74	無 無	0.12 0.12	13.2	14.2	14.6	17.3 16.0	17.8 16.2	18.4 17.5	18.7 18.5	— 20.0	3.89 3.89	5.13 5.13	19.7 19.7
フェライト系	430	7.75	60	有	0.11	—	—	—	10.4	11.0	11.3	11.9	12.4	6.24	6.28	20.4
マルテンサイト系	410	7.75	57	有	0.11	8.0	8.9	9.5	9.9	10.1	11.5	11.7	—	5.95	6.86	20.4
オーステナイト ・フェライト系	329/4L	7.80	79	有	0.11	—	—	—	12.5	13.0	—	—	—	5.0	6.0	20.8
マルテンサイト系 析出硬化型	630	7.78	80	有	0.11	—	—	—	11.6	12.6	—	—	—	—	—	—
普通鋼		7.86	15	有	0.12	8.4	8.9	9.1	11.4	11.5	—	—	—	11.2	—	21.0

(ステンレス鋼便覧より)

〔解 説〕

ステンレス鋼は、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、普通鋼に比べて熱伝導率は低く、電気抵抗は高い。また、熱膨張係数は、フェライト系、マルテンサイト系は普通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-2.3のように加工によりマルテンサイト変態を起し硬化する現象がみられる。これに伴い磁性も帯びてくることが知られている。



図解-2.3 SUS 304冷間圧延率と硬さの関係
(ステンレス鋼便覧より)

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表-2.4に示す。

表-2.4 ステンレス鋼の機械的性質（常温代表値）

金属組織	鋼 種 SUS	状 態	機 械 的 性 質					
			耐力(0.2%) (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	硬 さ		吸 収 エネルギー (kgf・n)
オーステナイト系	304	固溶化熱処理	25	60	60	149	80	20~30
	316	固溶化熱処理	23	56	55	149	78	20~30
フェライト系	430	焼なまし	32	53	30	156	82	—
マルテンサイト系	410	焼なまし	27	49	20~35	135~160	—	—
		焼入れ	105	141	10~15	380~415	—	—
		焼入れ焼もどし	98	130	15	360~380	—	3~5
オーステナイト・フェライト系	329J2L	固溶化熱処理	58	78	34	290		20~25
マルテンサイト系析出硬化系	630	H900処理	141	148	7	420	45 (HRC)	1~3
炭素鋼	SM400		降伏点 ≥22	41~52	≥18	—	—	≥2.8

[SM41:SM400]

(ステンレス鋼便覧より)

〔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。

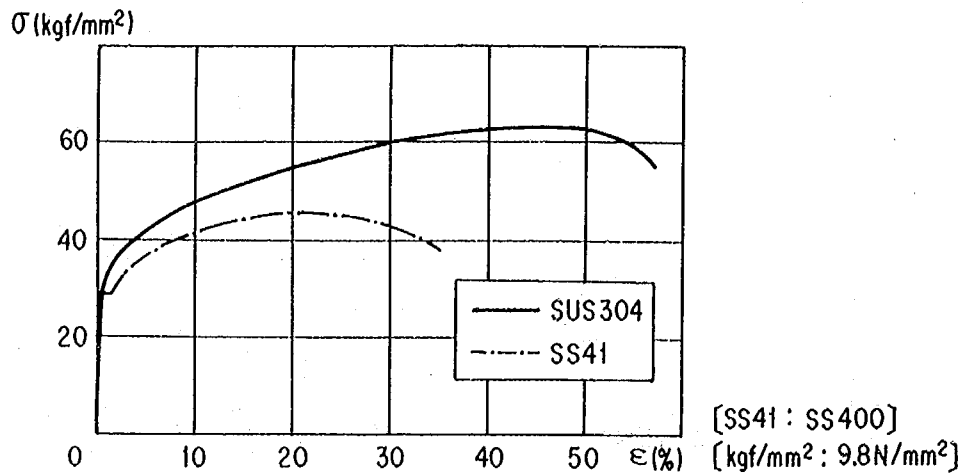
オーステナイト系、フェライト系、オーステナイト・フェライト系は、変態点がないため焼入れによる硬化はできない。

マルテンサイト系は、焼入れにより硬化が可能で、その成分及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

普通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-2.4に示す。¹⁾

ステンレス鋼では普通鋼にみられるような明確な降伏点があられないため、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。



図解-2.4 降伏耐力近傍の応力～歪関係

(3)引張強さ

ステンレス鋼の引張強さは、普通鋼に比べ、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 (約100kgf/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、普通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

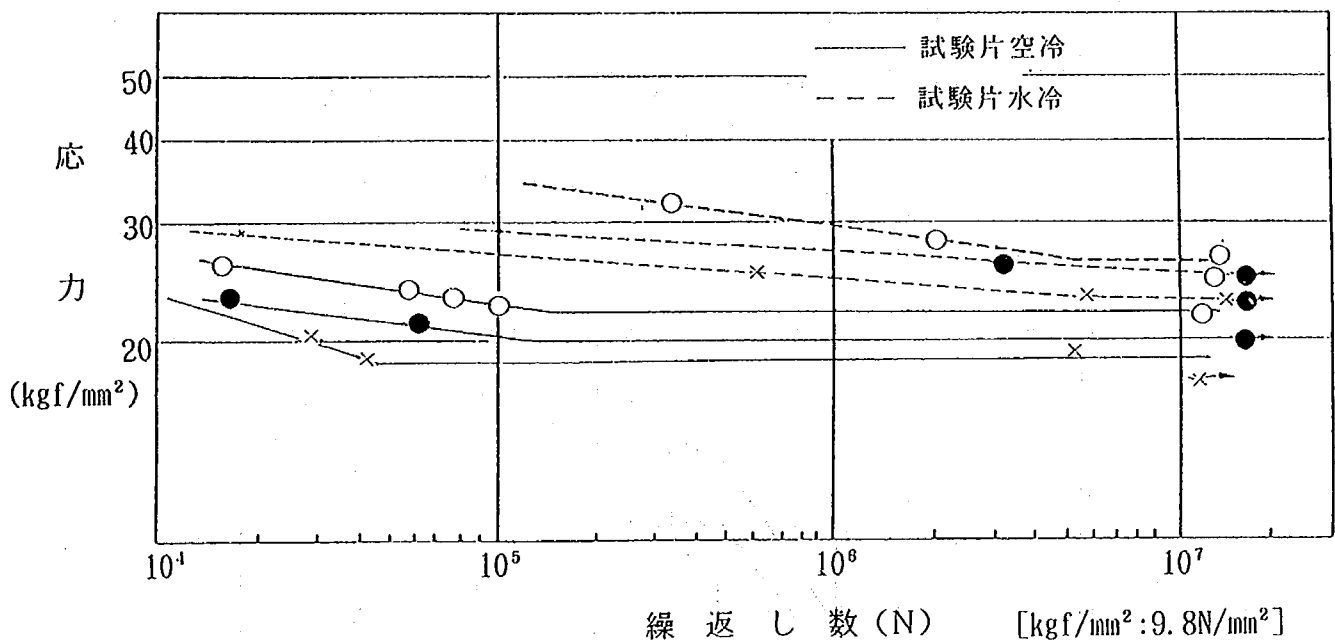
常温における吸収エネルギーは、オーステナイト系及びオーステナイト・フェライト系（二相系）ステンレス鋼が著しく優れている。

(7)疲労破壊

材料が変動する荷重をく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、繰返し荷重を受けても疲労破壊をお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大幅に低くなるが、その傾向は、ステンレス鋼と普通鋼は同じである。図解-2.5にSUS304のS-N曲線の一例を示す。

	(wt %)						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
○	0.078	0.53	1.85	0.022	0.012	10.21	19.30
●	0.055	0.39	1.57	0.006	0.018	9.89	18.51
×	0.025	0.36	1.57	0.005	0.020	11.73	17.39

試験機：回転曲げ型 3,000回転/分

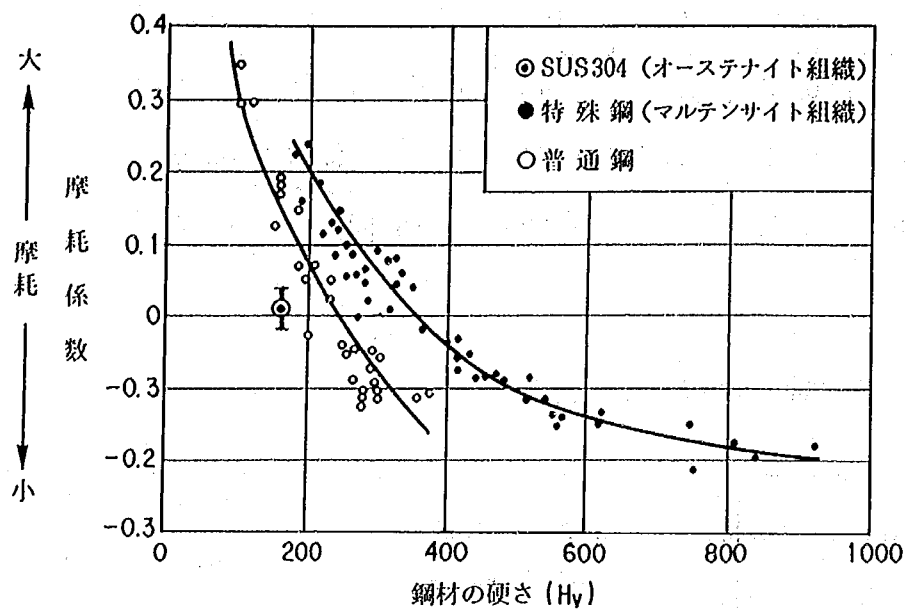


図解-2.5 SUS304のS-N曲線

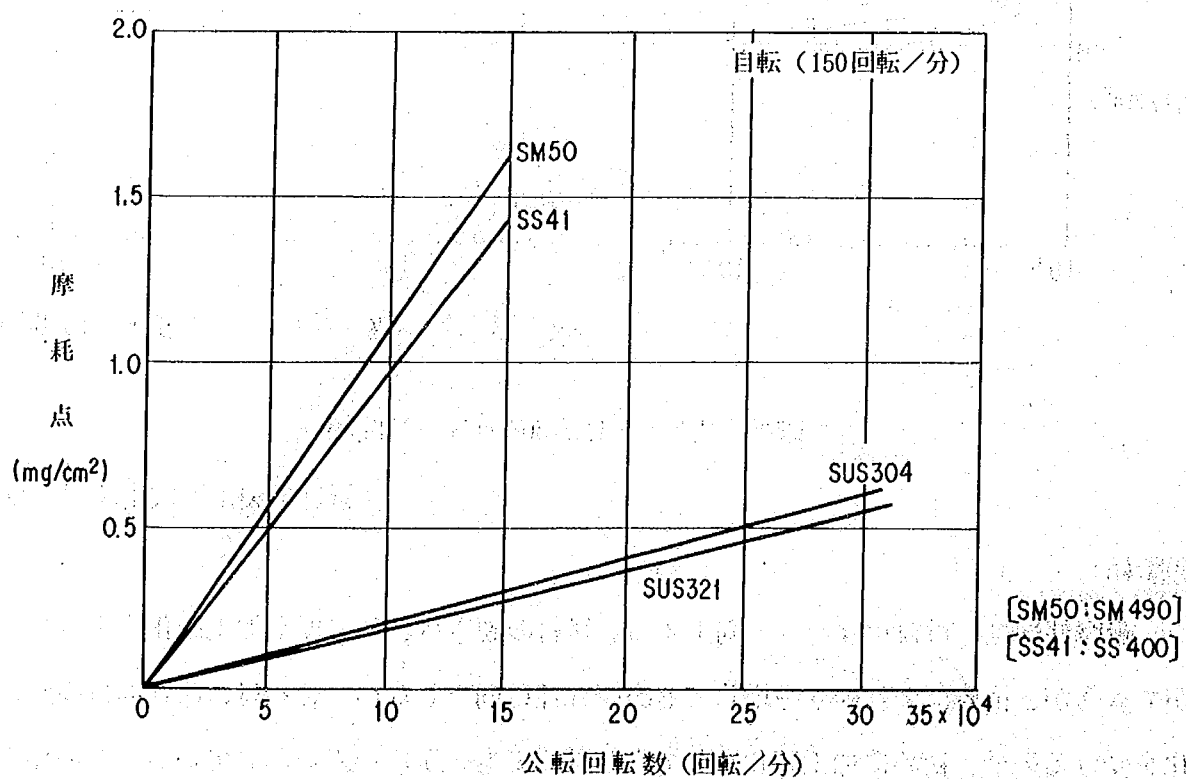
(新日本製鐵(株)技術資料より)

(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。この加工硬化性から同一硬さのオーステナイト系とフェライト系を比較すると、オーステナイト系の方が耐摩耗性が優れている。図解-2.6 に土砂摩耗に対する鋼材の硬度の影響を示す。



(三好他：鉄と鋼，13 (1965) より)



(新日本製鐵㈱技術資料より)

図解-2.6 鋼材の土砂摩擦

2.1.6 ステンレス鋼の耐食性

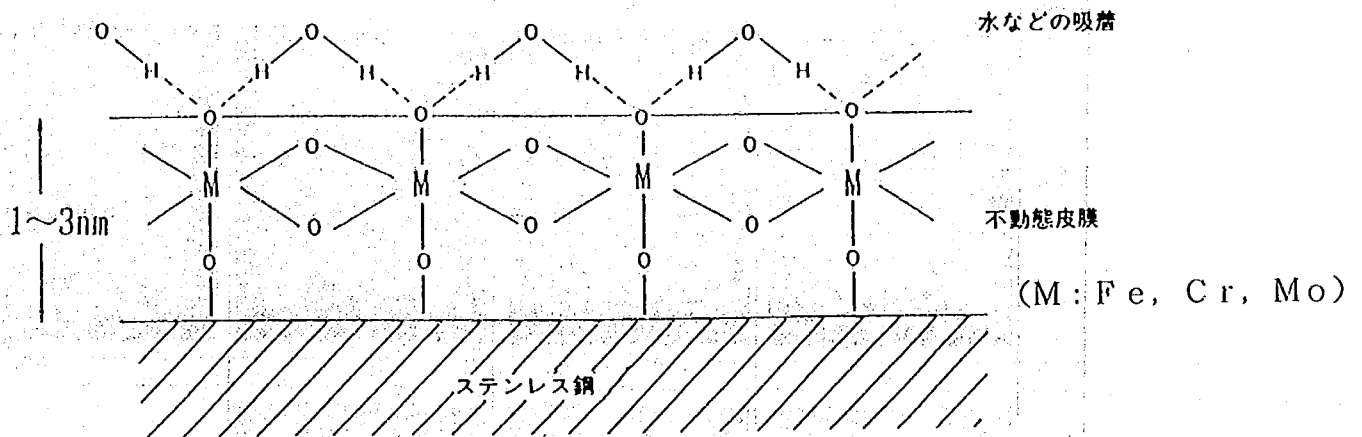
ステンレス鋼は、表面に緻密な不動態皮膜を形成して鋼内部を保護している。その耐食性は、鋼種や使用される環境により異なる。

〔解 説〕

(1) ステンレス鋼の不動態皮膜

ステンレス鋼の表面には図解-2.7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、鋼種及び環境によって異なる。



図解-2.7 不動態皮膜の概念図

(新日本製鐵(株)技術資料より)

(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 ステンレス鋼の一般的な耐食性

○優, △良, ×不良

鋼 種	オーステナイト系		フェライト系 (18Cr系) SUS430	オーステナイト・ フェライト系 (25Cr-6Ni系) SUS329J4L	マルテンサイト系 (13Cr系) SUS410	マルテンサイト系 析出硬化型 SUS630	普通鋼 (裸使用)
	(18Cr-8Ni系) SUS304	(18Cr-12Ni- 2.5Mo系) SUS316					
耐大気腐食性	○	○	オーステナイト系に比べ劣る	○	フェライト系に比べ劣る	オーステナイト系よりやや劣る	×
耐淡水腐食性	○	○	△	○	△	○	×
耐海水腐食性	使用条件により鋼種の選定が必要 (○～△)			○	△	使用条件による	×

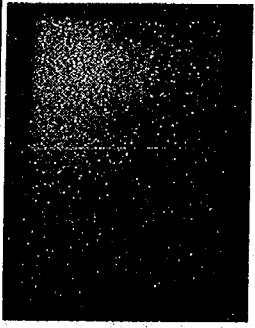
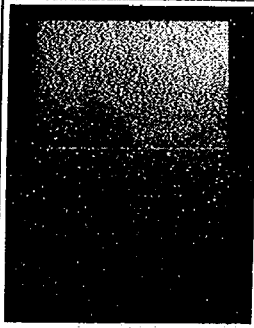
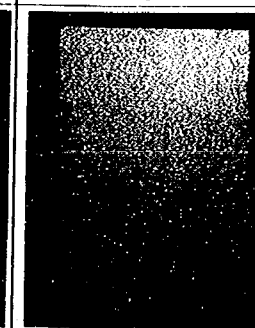
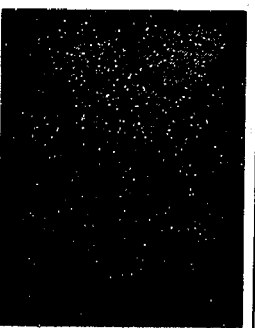
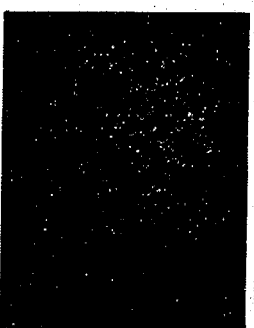
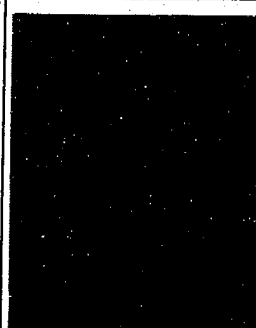
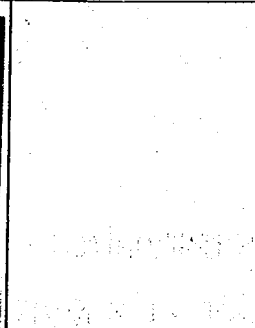
(3)環境別の耐食性

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 $1\mu\text{m/y}$ 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。

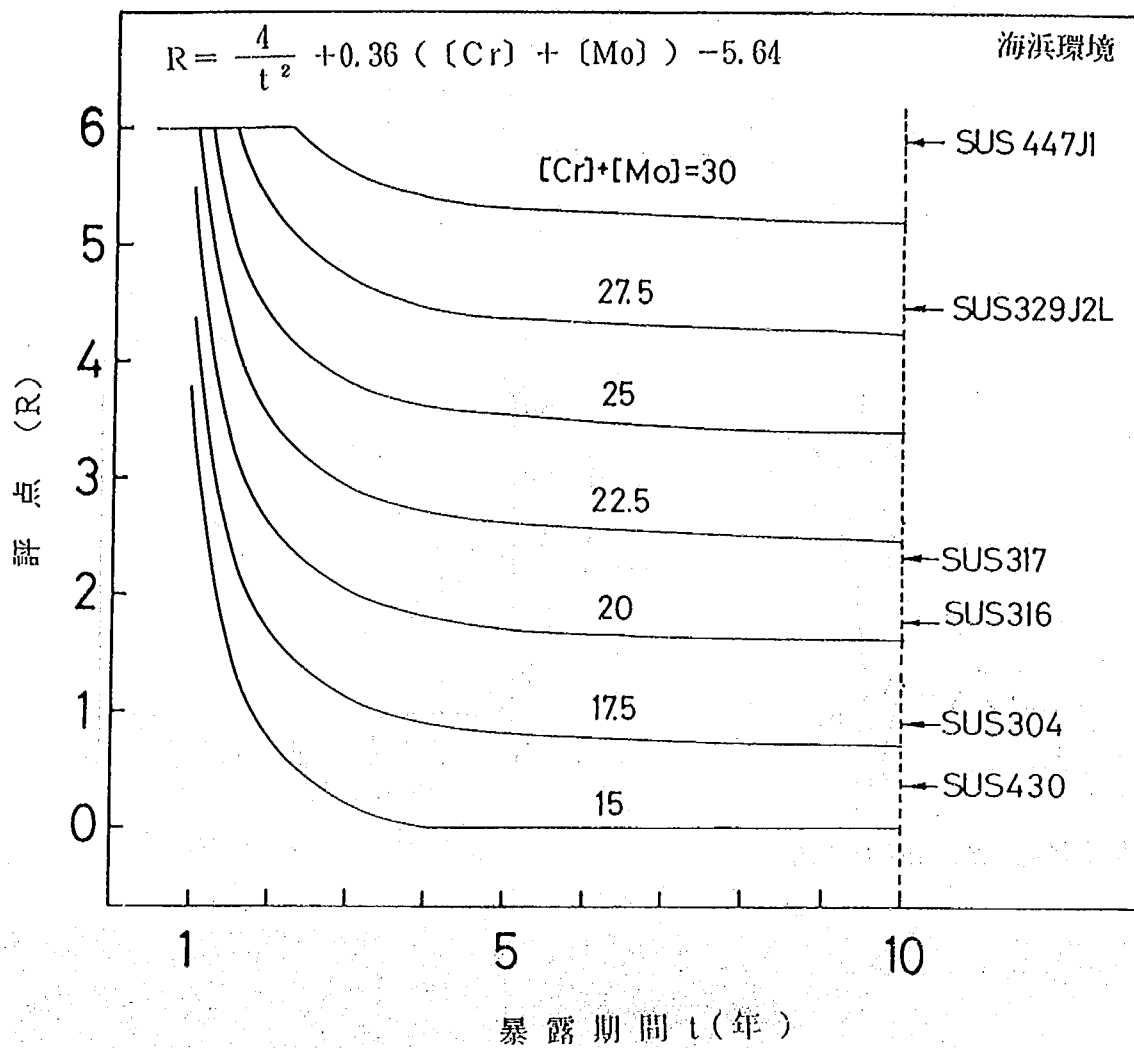
さびには、もらいさびとステンレス鋼自身の腐食によるさびがある。前者はいわゆるステンレス鋼に付着した鉄さびであり、ステンレス鋼の腐食ではないが、放置しておくとその周辺のステンレス鋼の腐食を誘起することがある。後者で代表的なものは海塩粒子等による腐食であり、臨海地域では非常にさびやすくなる。

大気腐食の評価法の一つとして、図解-2.8に示すような発錆ランク推定手法が提案されている。この評価法にもとずき海浜・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-2.9に示す。

評点	6	5	4	3
外観				
評点	2	1	0	
外観				

発錆状況と評点との関係

図解-2.8 (1) 発錆ランクと評点との対応関係

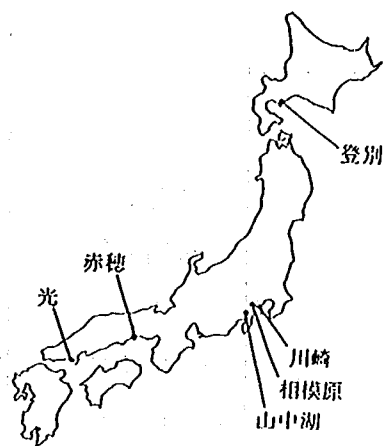


図解-2.8 (2) ステンレス鋼の発錆劣化曲線と代表的な鋼種との対応関係

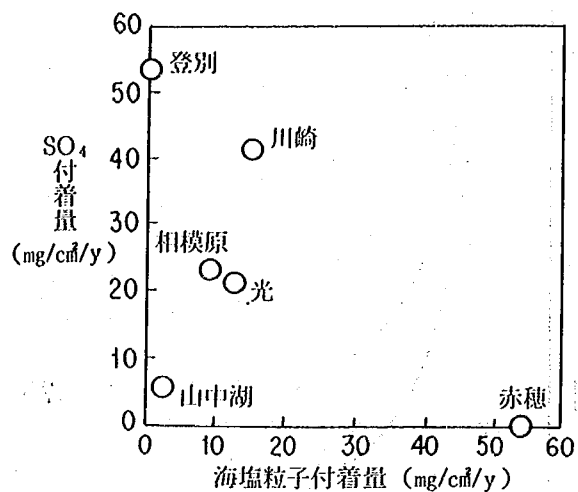
(新日本製鐵(株)技術資料より)

大気暴露試験の実施箇所と腐食環境
(暴露期間：昭和53年～昭和63年)

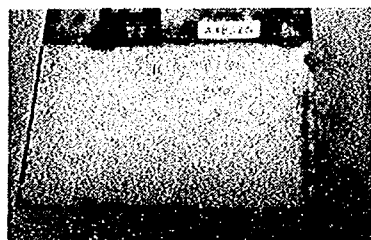
試験場所	環境（海岸線からの距離）
登別	温泉
川崎	工業都市（3 km）
相模原	住宅都市（30km）
山中湖	田園
赤穂	海浜（150m）
光	準海浜（300m）



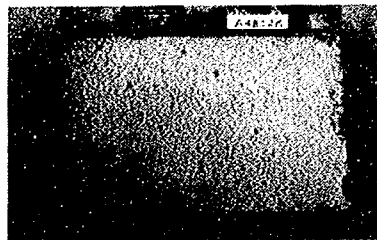
大気暴露試験箇所の位置



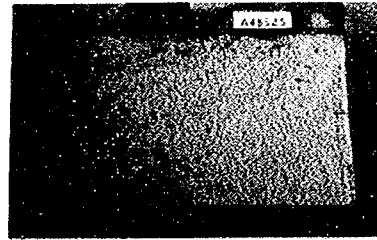
試験箇所の大気環境の位置づけ



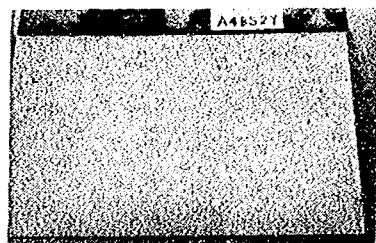
登別



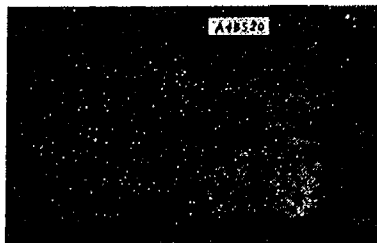
川崎



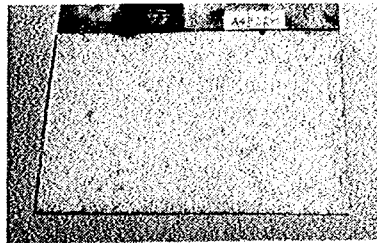
相模原



山中湖



赤穂



光

耐候試験結果 SUS304（BA仕上） 2年間

図解-2.9 各種環境におけるSUS304の大気暴露試験結果
(新日本製鐵(株)技術資料より)

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に、また腐食に関係する水質項目の値の分布を図解-2.10に示す。なお、わが国の河川水は、降水量が大きく、土地が急峻であるため総塩分量は低いが、海が近いと塩素イオンはその割には高い。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淡水貯槽における腐食

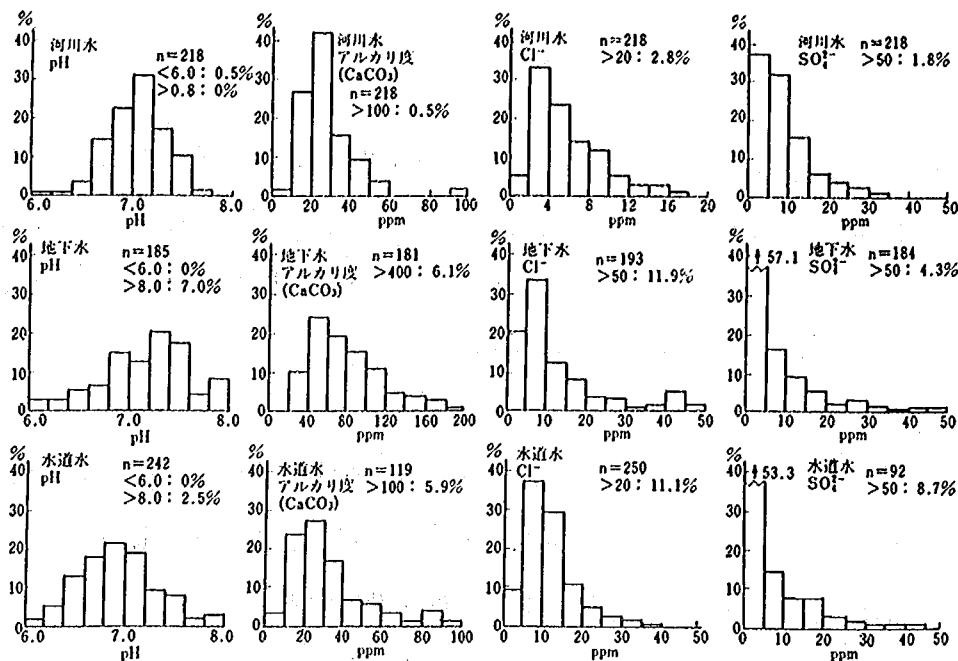
通常の温水に接した均質な表面のステンレス鋼は、不動態皮膜を維持し、ほぼ完全な耐食性を示す。しかしながら、塩素イオンの存在や、すき間に閉じ込められた水のように溶存酸素濃度が低くなると不動態皮膜が維持できなくなり腐食が進行する。

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。ステンレス腐食は、物理的、化学的に不動態皮膜が維持されなくなった局部に発生する。

表解-2.3 淡水の代表的な水質

	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	6.6~7.6	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	—

(防食技術便覧より)



図解-2.10 わが国の河川水、地下水、水道水の代表的な水質

3) 海水腐食

(防食技術便覧より)

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-2.11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。

溶存酸素量が多くなると不動態化しやすく孔食、すき間腐食は発生しにくくなる。しかし、孔食、すき間腐食が発生すると腐食速度は速くなる。

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。

2.1.7 ステンレス鋼の腐食の形態

ステンレス鋼の腐食には、異種金属接触腐食、孔食及びすきま腐食、粒界腐食、エロージョン・コロージョンなどがある。

〔解 説〕

(1) 異種金属接触腐食

金属材料を溶液の中に浸漬すると、固有の電位を示す。図解-2.11に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卑な金属である。このような電位の異なる金属が接触すると、図解-2.12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。

当研究会が実施した現地調査及び水門、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。²⁾

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・電位関係）を測定することという。

(2) 孔食及びすき間腐食

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。塩素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 は、従来の研究から、海水における P. I（Pitting Corrosion Index 耐孔食性を示す指標）及び C. I（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。

$$P. I = Cr + 3.3 Mo + 1.3 N$$

$$C.I = Cr + 4.1Mo + 27N$$

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-2.13及び図解-2.14に孔食及びすき間腐食発生温度と成分元素の相関図を示す。

②pHの影響

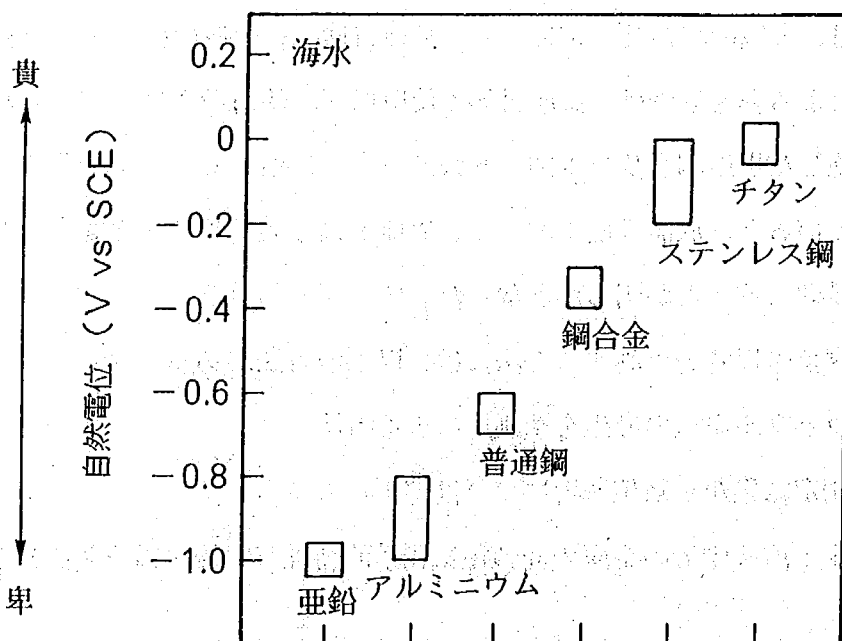
孔食は中性溶液中で発生するがpHが低く（酸性）になると全面腐食となる。一方、pHが高く（アルカリ性）になると孔食は抑制される。

③温度の影響

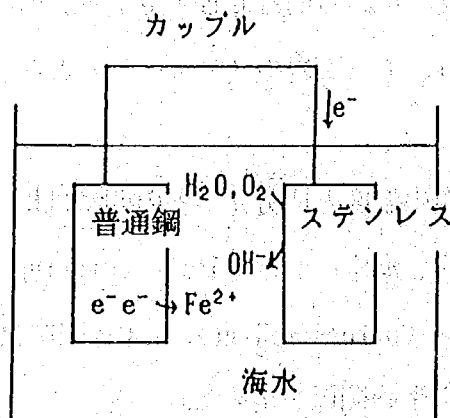
温度が高くなると、塩素イオンの不動態皮膜破壊作用が強くなるため孔食の発生は増大する。

④表面仕上げ及び付着物の影響

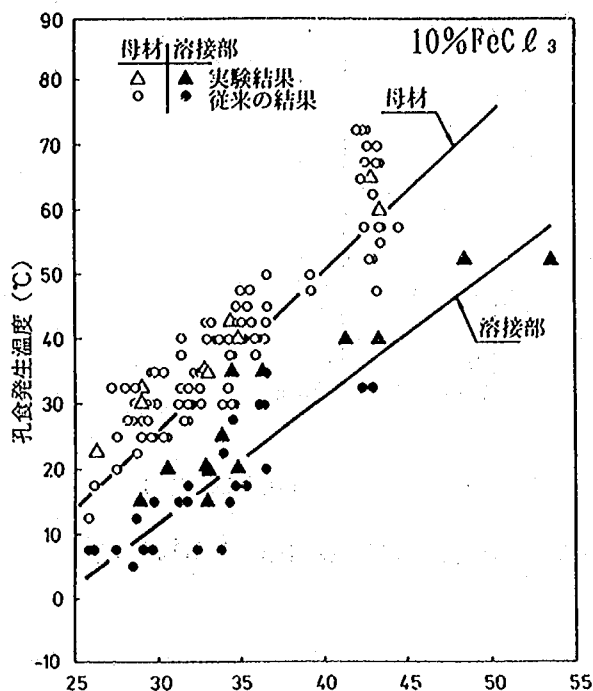
一般に表面粗度が小さいほど孔食及びすき間腐食は発生しにくい。付着物はすき間と同様、塩素イオン等の濃縮の原因となり孔食及びすき間腐食が発生しやすくなる。



図解-2.11 海水中における各種金属の自然電位列

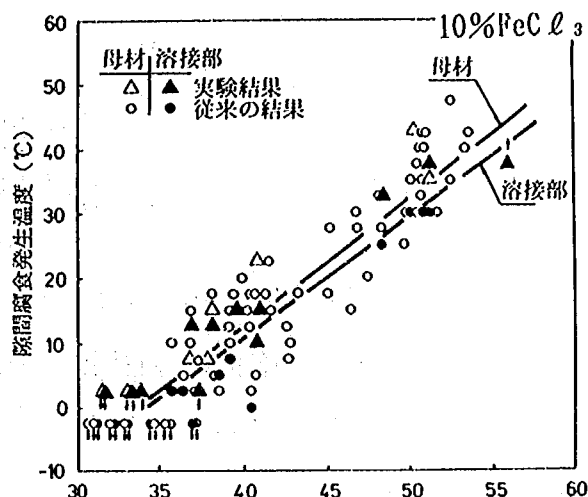


図解-2.12 異種金属接触腐食現象



P. I. ($\%Cr + 3.3 \times \%Mo + 13 \times \%N$)

図解-2.13 P. I と孔食発生温度との関係



C. I. ($\%Cr + 4.1 \times \%Mo + 27 \times \%N$)

図解-2.14 C. I とすき間腐食発生温度との関係

(Proceedings of STAINLESS STEELS '84 より)

⑤熱処理、冷間加工の影響

クロム炭化物が析出し、鋭敏化されると耐孔食性は著しく低下する。一方、冷間加工の影響はほとんど受けない。

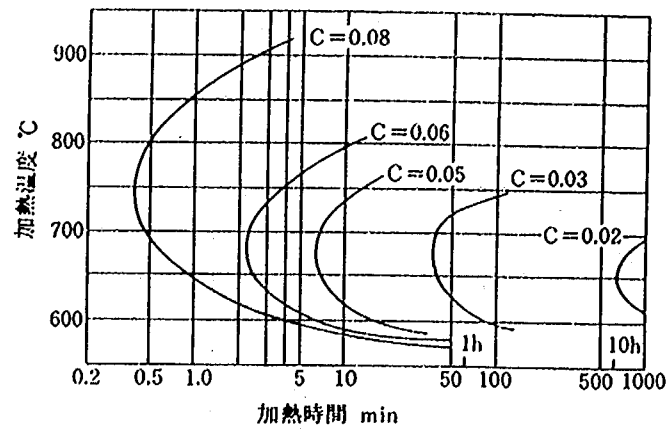
⑥その他水質の影響

塩素イオンは、特に孔食を発生させ易い。塩素イオン濃度は、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。

溶存酸素がゼロまたは非常に多い場合は孔食は発生しない。金属イオン (Fe^{3+} , Cu^{2+}) の存在は一般的に好ましくない。

(3) 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。腐食環境下では、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、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-2.15の時間・温度・鋭敏化曲線 TTS (Time-Temperature-Sensitization) 曲線である。



図解-2.15 SUS304のTTS曲線図（ステンレスの初歩より）

注) 図中の各曲線の右側は、JIS G 0575の腐食試験で鋭敏化による粒界腐食が認められる範囲である。

①成分元素の影響

炭素含有量（C％）の影響が最も大きい、0.03％以下であれば実用的に十分な免疫性を有す。炭素についてニッケルが粒界腐食感受性を増す。

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

②冷間加工の影響

冷間加工は、粒界腐食に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 $C \leq 0.08\%$ 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。

(4) エロージョン・コロージョン

機械的摩擦とか動的な流れのある条件下で、普通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性を有する。このため、ステンレス鋼は普通鋼に比べて流速の早い条件下で使用できる。

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事ができる。溶接の際には、酸化防止及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。

溶接作業に関わる重要な物理的性質は、熱膨張係数、熱伝導率、電気抵抗及び融点である。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、普通鋼よりも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。

フェライト系及びマルテンサイト系ステンレス鋼の熱膨張係数は、普通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及び熱伝導率は、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、普通鋼の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、普通鋼の1,530℃に比べて低めである。³⁾

2.2 ダムへのステンレス材料の適用

ダムに使用されるステンレス材料とその特性を表-2.5に示す。ステンレス材料の特性と使用環境を考慮して、表-2.6に示す箇所に適切な鋼種を使用することが望ましい。

表-2.5 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	SUS 304	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。
	SUS 304L	溶接熱影響部の鋭敏化防止の効果がある。
	SUS 304N2	SUS 304 の耐力を大幅に増加した鋼種 ($21\text{kg/mm}^2 \rightarrow 35\text{kg/mm}^2$) 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。
	SUS 316	SUS 304 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。
	SUS 316L	溶接熱影響部の鋭敏化防止の効果がある。海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	SUS 403	耐食性はやや劣るが、焼き入れ効果により、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。
	SUS 410	焼き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	SUS 329J1	河口堰等塩素イオンが比較的多い環境で使用される。加工性、溶接性は詳細検討をすること。
	SUS 329J4L	河口堰も海岸に近く塩素イオンの多い環境で使用される。
マルテンサイト系析出硬化型	SUS 630	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。
鋳 鋼	SCS 13	強度、伸び等は小さいが、その他の特性は SUS 304と同等である。
	SCS 14	強度、伸び等は小さいが、その他の特性は SUS 316と同等である。
	SCS 16	強度、伸び等は小さいが、その他の特性は SUS 316Lと同等である。
	SCS 19	強度、伸び等は小さいが、その他の特性は SUS 304L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-2.6 ステンレス材料の適用箇所と鋼種

系 形状 用途部位			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
			板・棒・管					鋳鋼 SCS 13, 14 16, 19	板・棒		板・棒		
			SUS304	SUS304L	SUS304N2	SUS316	SUS316L		SUS403	SUS410	SUS329J1	SUS329J4L	
水門扉	扉体	スキムプレート	○	○		○	○				○	○	
		主桁	○		○	○							
		端板	○		○	○							
		補助桁	○		○	○							
水門扉	戸当り及び固定部	脚柱 (トラス含む)	○		○	○							
		ローラ	○		○			○					
		ローラ軸、ロックビーム軸	○		○				○				
		バルブ本体	○	○		○	○	○			○	○	
水門扉	戸当り及び固定部	戸当り材	○	○	○	○	○				○	○	
		ローラレール	○		○	○					○	○	
		ローラ路面材	○		○	○					○	○	
		トラニオンピン	○		○	○			○				
水門扉	開閉装置	アンカガード	○	○		○	○						
		ボクネット、ケーシング	○	○		○	○	○			○	○	
		振動板 (支圧板)	○	○	○	○	○	○			○	○	
		水密板	○	○		○	○				○	○	
放水管	充水装置	ボルト、ナット	○			○			○				○
		シーブ	○					○					
		軸類 (シーブ)	○		○				○				
		ワイヤロープ	○		○				○				
放水管	充水装置	スピンドル	○		○					○			
		ロッド	○		○					○			
		油圧配管	○		○					○			
		管胴本体	○	○	○	○	○	○					○
放水管	充水装置	整流板、整流管、内張管	○	○	○	○	○	○					
		フランジ	○	○	○	○	○						
		主・副空気管	○	○									
		スクリーン	○	○									
放水管	充水装置	空気箱	○	○									
		充水管	○	○									
		バルブ	○	○				○					
		スクリーン	○	○									
放水管	充水装置	取水塔	○	○	○	○	○						
		スクリーン	○	○	○	○	○						
		開閉装置集合	○	○	○	○	○						
		開閉装置室	○	○	○	○	○						
放水管	充水装置	操作橋	○	○	○	○	○						
		緊締設備	○	○	○	○	○						
		船舶設備	○	○	○	○	○						
		手摺、階段、防護欄	○	○	○	○	○						
放水管	充水装置	給油装置	○	○	○	○	○						
		電気制御設備	○	○	○	○	○						
			○	○	○	○	○						
			○	○	○	○	○						

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

〔解 説〕

ダム放流設備に使用可能なステンレス材料の種類を示した。

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、構造材として強度及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。

放流管分枝部やバルブ等で溶接後応力除去焼鈍を行う場合には、SUS304, 316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、片側が普通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。

3. ステンレス材料適用に当たっての設計上の留意事項

3.1 耐食性に関する一般留意事項

ステンレス材料をダム放流設備等に適用する際には、使用環境に適した鋼種の選定を行うとともに、そ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

〔解 説〕

ステンレス材料は、一般に普通鋼に比べて耐食性が優れている。このため、ダム放流設備等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、以下の点について十分留意する必要がある。

(1)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普通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普通鋼の防食に十分配慮しなければならない。

②ステンレス鋼中に普通鋼が一部分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、端部の普通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ステンレス鋼と普通鋼を混用する場合の普通鋼部分の防食には、アルミニウムや亜鉛の被覆（溶射、めっき）を用いてはならない。

(2)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)ステンレス鋼の表面に普通鋼の粉末や溶接スパッタなどが付着したり、普通鋼材が接触したまま放置すると普通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)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普通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。

以上、ステンレス材料をダム放流設備等に使用する際には、ステンレス鋼による普通鋼の腐食及びステンレスクラッド鋼の板継ぎ溶接部の欠陥を防止することが設計上の基本である。

3.1.1 使用環境による耐食性

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）の発生は、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。

なお、当研究会では、平成3年11月より七ヶ宿ダム湖において、ステンレス鋼と普通鋼の突合せ継手部の異種金属接触腐食、すき間腐食について暴露試験を開始した。今後、定期的に調査を行い、異種金属接触腐食及びすき間腐食の検証を行う予定である。¹¹⁾

(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、粒界腐食及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、ケイ素が添加されており、耐孔食性が優れている。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など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-3.1に示す水質が酸性（pH 3.5～4.4）及び中性（pH 6.1～7.3）の東北地方の4河川で約3年間行った普通鋼とステンレス鋼の暴露実験の結果⁴⁾、普通鋼の腐食速度は、酸性河川で0.1～0.2mm/y、中性河川で0.05～0.06mm/yを示した。一方、ステンレス鋼のこれら4

表解 - 3.1 試験場所の水質分析結果

採水 場所 年月日 分析項目	Tダムサイト上流約4km (秋田県)					Oダム (青森県)					K調整地 (青森県)					Sダム (山形県)					わが国の一 般河川 203 箇所の平均 ***
	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	
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	—
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	6.9
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	10.0
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	21.2
硬度(mg/ℓ as CaCO ₃)	317	15	52	64	28	9.9	10	22	22	20	64	88	49	26	32	16	21	7.9	13	15	10.15
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	—
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	0.094
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)	—	—	—	—	—	—	—	8**	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	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
 ***: 文献⁽¹⁾による

河川での腐食速度は、S U S 304 が $0 \sim 0.0021 \text{ mm/y}$ 、S U S 329J1 が $0 \sim 0.0001 \text{ mm/y}$ と極めて軽微であることが確認された。しかし、S U S 403 が $0.0055 \sim 0.02 \text{ mm/y}$ と前者に比べてやや大きい腐食速度を示した。すき間腐食は、S U S 403 製ブッシュのすき間部のすべてに生じた。

一般に、酸性水中における普通鋼の腐食は p H 4 を境にして腐食機構が変わる。すなわち、p H 4 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、p H 4 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 S U S 304 は、p H が 2 ～ 12 の範囲で 30°C 以下の常温では、 $1,000 \text{ ppm}$ 以下の塩素イオン濃度で、ほぼ完全な耐食性を有するといわれている。

(3) 海水中における耐食性

海水に含まれている塩素イオンは、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、S U S 304 より耐孔食性に優れた鋼種を選定する必要がある。

海水中で耐食性が優れたステンレス鋼としては、高合金オーステナイト系と二相系がある。水門用として実用的には、オーステナイト系の S U S 316L の使用が考えられるが、耐孔食性が十分ではないので、二相系の S U S 329J2L の方が適している。

また、より完全な防食を行うためには、電気防食を併用することが望ましい。

3.1.2 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等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

普通鋼、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、水中で電氣的に接続されると、電池を形成し電位の低い金属が陽極となって、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普通鋼とステンレス鋼の組み合わせ

この場合、普通鋼部分が陽極となって腐食速度が早くなる。腐食量は、水質や水温のほか、普通鋼の面積に対するステンレス鋼の面積が大きいほど大きくなる。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普通鋼が露出しないようにすることが重要である。

②普通鋼やステンレス鋼と亜鉛、アルミニウムの組み合わせ

普通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、周辺の普通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ロープでは、塗油（グリース）不足及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腐食電流を零にするかまたは零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、端面の普通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) 電気抵抗を大きくする。

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氣的に絶縁する。

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普通鋼が組合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50～100mm 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、普通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の卑な陽極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（たとえば普通鋼）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、陽極金属の腐食は小さくなる。

表解－3.1 に示した場所において2～3年間暴露して、ステンレス鋼と普通鋼が接触した場合の面積比の違いによる腐食速度を測定試験結果を表解－3.2 に示す⁴⁾。

Tダムサイトにおいては流速が大きいために、他の河川より普通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普通鋼の水中における2年目の腐食速度は、0.29 mm/yであるが、ステンレス鋼と接触することにより普通鋼（面積比1：1）は0.63mm/y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 と普通鋼の面積比が1：1，2：1と異なっても、普通鋼の腐食速度は0.017～0.068mm/yと大差なかった。

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

表解-3.2 接触腐食試験(SS41とSUS304)によるSS41の腐食速度の経年変化

場所 面積比 期間 (年)			SS41 : SUS304									SS41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	0.08	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) * : SS41とSUS304の間隔を変えて試験を実施

[SS41:SS400]

(3)異種金属接触腐食の評価方法

(石川島播磨技報より)

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、ステンレス鋼と普通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、陽極となる普通鋼の腐食傾向を調べる方法⁵⁾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。

当研究会で実施したカップル電流試験の結果及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。²⁾

①カップル電流試験

試験方法 : 2種類の金属供試材を電氣的に接続して、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-3.1に示す。

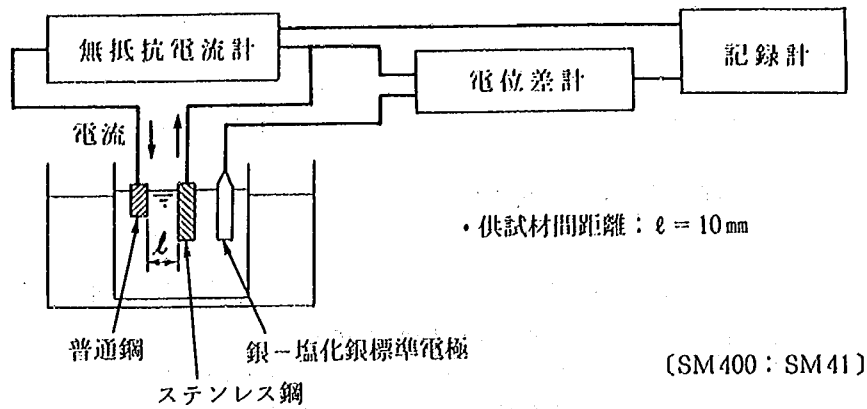
・供試材 : SUS304と普通鋼(SM400)カップル試験片

面積比 SUS/SM=1/1, 10/1, 100/1, 1000/1

・供試材間距離 : 5mm, 15mm, 50mm, 100mm

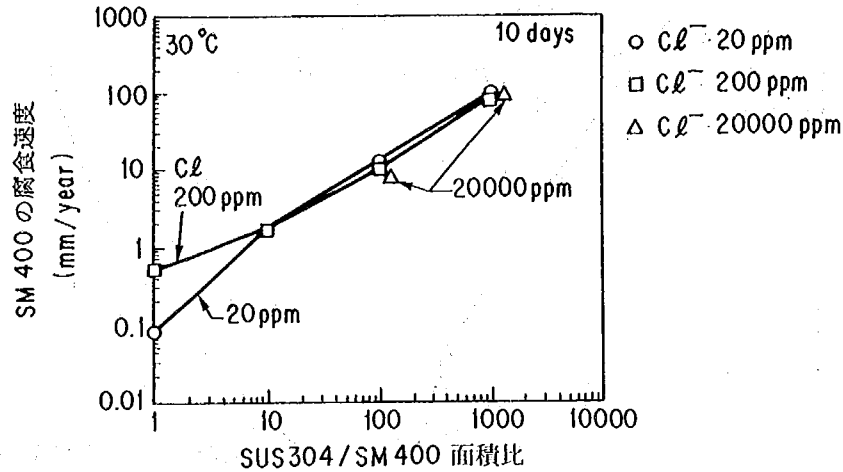
・溶 液 : NaCl水溶液(20, 200, 20000ppm)

・温 度 : 20°C, 30°C



図解-3.1 カップル電流試験の試験方法

試験結果：試験結果の例を図解-3.2に示す。

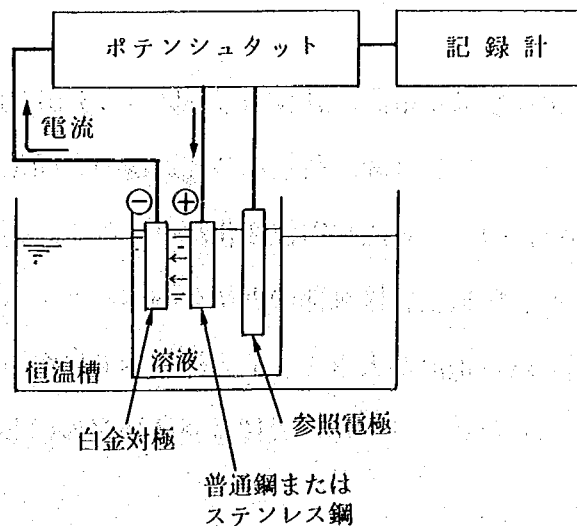


図解-3.2 異種金属接触腐食に与える面積比（ステンレス鋼：普通鋼）の影響

②数値解析による方法

・解析方法

図解-3.3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。

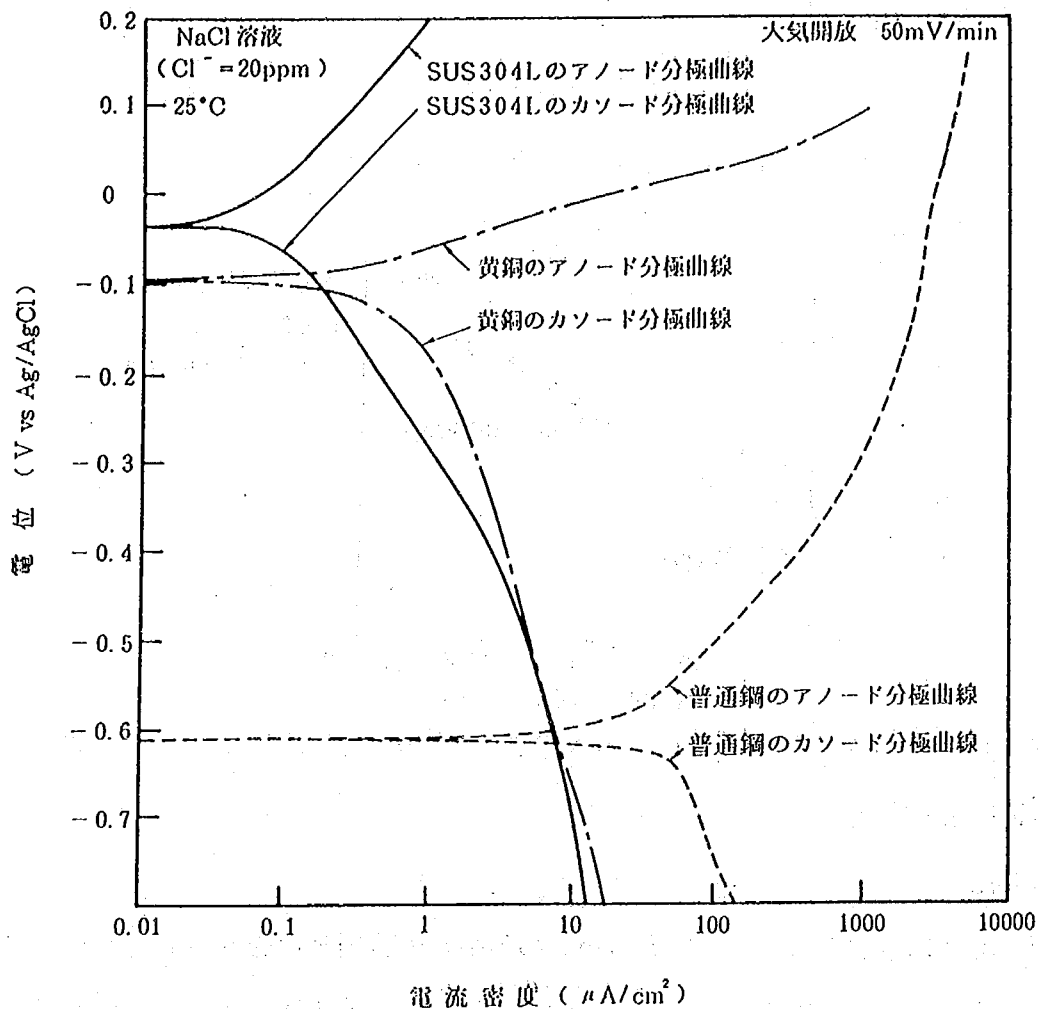


図解-3.3 分極測定の方法

・解析対象

Eダム戸当り部（普通鋼・ステンレス鋼・黄銅併用）

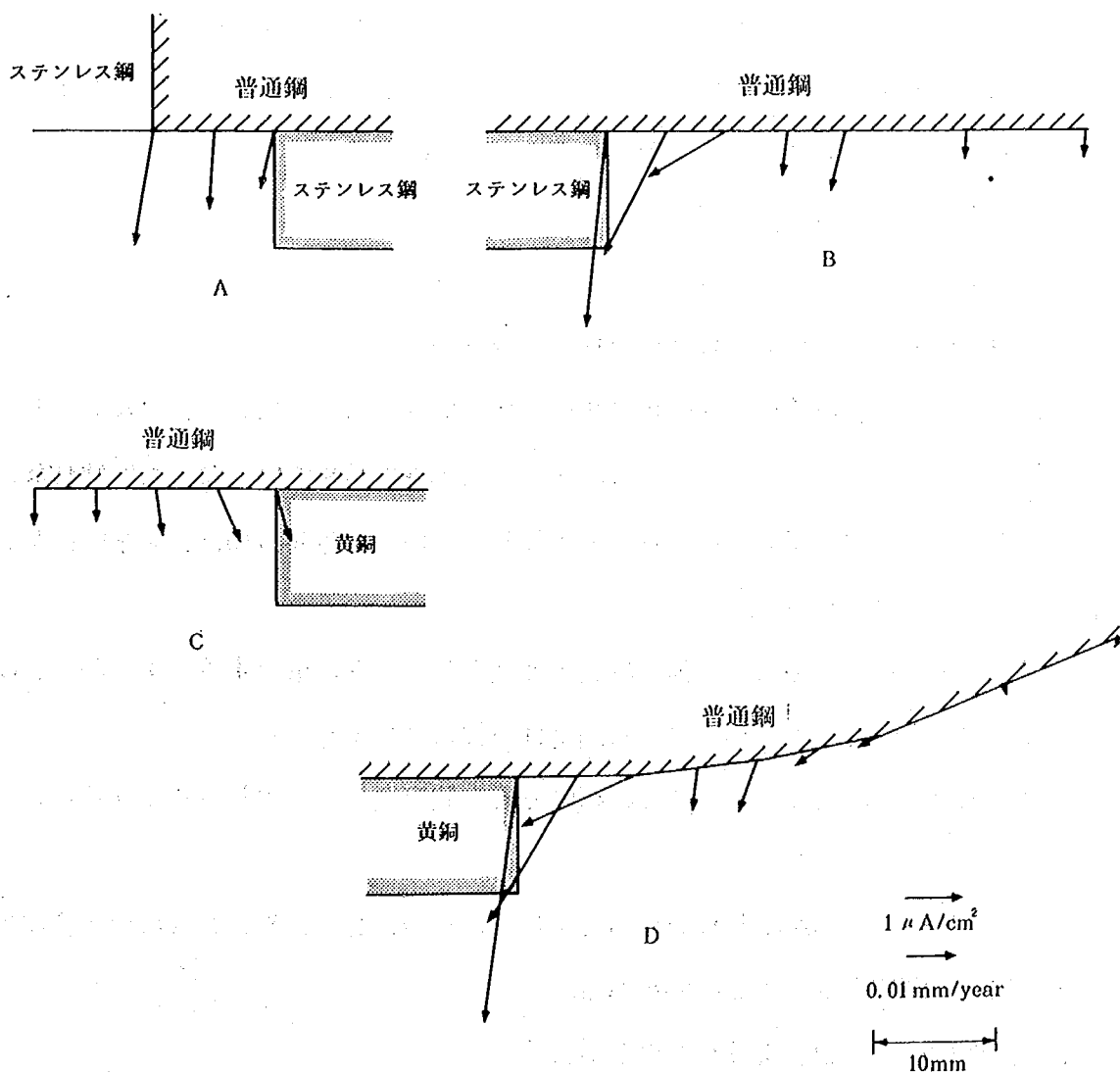
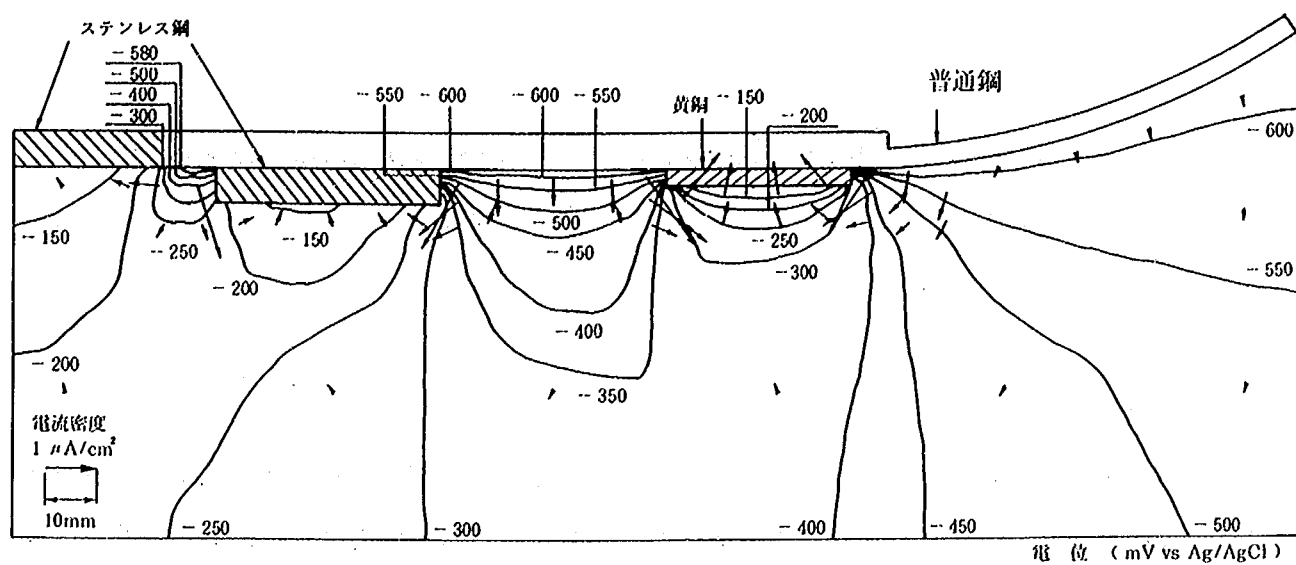
各金属の分極測定結果を図解-3.4に示す。



図解-3.4 分極測定結果（20 ppm NaCl溶液中）

数値解析による電位分布及び腐食電流の計算結果を図解-3.5に示す。

電気伝導度が小さいのでステンレス鋼、黄銅及び普通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。腐食電流は普通鋼からステンレス鋼及び黄銅に流れ込み、異種金属接触部の近傍を調べると、ステンレス鋼及び黄銅の端面からおよそ20mmの範囲で腐食電流が大きく、その範囲外では腐食電流が $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下（腐食速度 $0.01\text{mm}/\text{y}$ 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-3.5 戸当り部の電位分布及び腐食電流の計算結果

(土木研究所資料第2909号より)

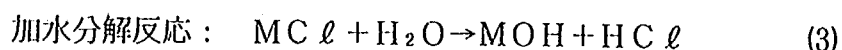
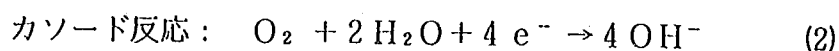
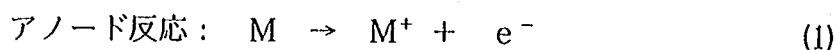
3.1.3 すき間腐食

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

〔解 説〕

すき間腐食の概念を図解-3.6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、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。⁶⁾



SUS304は、淡水中において耐すき間腐食性が良好である。しかしながら、マルテンサイト系ステンレス鋼やフェライト系ステンレス鋼は、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、低pH、高塩化物濃度では、きわめてすき間腐食が起こりやすくなる。⁷⁾

塩水及び海水中では、430>304>316の順序ですき間腐食は、発生しやすくなるといわれている。

したがって、狭い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。

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

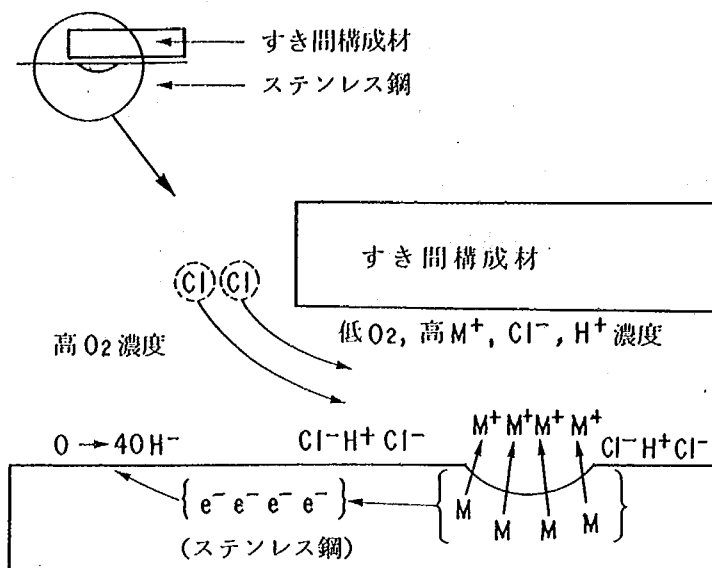
②フランジ継手の接合面

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-3.6 すき間内部での腐食反応の概念図 (防食便覧より)

3.1.4 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に注意する。

〔解 説〕

(1)ステンレス鋼表面に、他の鋼材からのさび汁等が付着して生じたもらい錆を付着したまま放置しておくと、さび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があり、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。

①普通鋼で発生したさび汁付着

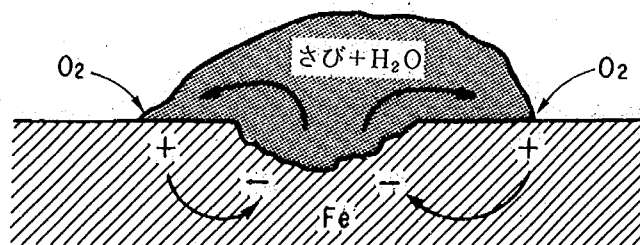
②普通鋼との接触

③鉄粉、酸化鉄の付着

④溶接スパッターの付着

⑤普通鋼用ワイヤブラシなど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-3.7に示す。また、もらい錆が付着した鋼材の腐食電位は上昇し、一方、孔食電位及びすき間腐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ことが計測されている。また、さび層は FeOOH からなり、塩素イオンなどのマイナスイオンを選択的に透過させやすく、いわゆるイオン交換膜としての働きを有する。⁸⁾



図解-3.7 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

(3)もらい錆の有害性については、どの程度の量のさびがあると有害か、淡水として塩素イオン濃度が極めて低い場合にどの程度有害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。

3.2 ステンレス材料適用に当たっての防食設計上の留意事項

ステンレス材料を使用することが望ましい箇所を以下に示す。

- (1)常時水中にあり水位低下が容易でないなどのため、再塗装が困難な箇所。
- (2)手や身体が入らない狭い空間や、閉鎖的な空間であるため、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、普通鋼がステンレス鋼と接触しており、普通鋼の面積が極端に小さくなる箇所。

〔解 説〕

本節において、ステンレスクラッド鋼は片面ステンレスクラッド鋼を示し、両面クラッド鋼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。このような箇所には、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用することが望ましい。
- (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ことが望ましい。
- (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、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を使用することが望ましい。
- (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ことが望ましい。
- (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ことが望ましい。
- (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ことが望ましい。

(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普通鋼が局部的に露出している場合には、普通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普通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、ステンレス鋼を使用すべきである。

3.2.1ステンレス材料使用の基本

ステンレス材料を使用する際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
- (5)異種金属接触腐食の対策
- (6)すき間腐食の対策
- (7)ステンレスクラッド鋼の端面処理

〔解 説〕

ステンレス材料の使用区分

ダム放流設備等におけるステンレス鋼の使用区分を表解-3.3に示す。

(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」では、ステンレスクラッド鋼の合せ材は、防食被覆及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

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) 板の端面が露出する場合

鋼板の端面が露出する以下のような場合には、ステンレス鋼を使用することが望ましい。

- ①常時水中または湿潤環境にある。
- ②取り替えが容易でない箇所に使用する。
- ③再塗装が容易でない箇所に使用する。

表解-3.3 ステンレス鋼の使用区分

環境条件	扉 体 及 び 戸 当 り		開 閉 装 置 及 び 付 属 設 備 類		バ ル ブ 類 及 び 放 流 管	
	ステンレス材料を使用する	ステンレス材料を使用することが望ましい	ステンレス材料を使用する	ステンレス材料を使用することが望ましい	ステンレス材料を使用する	ステンレス材料を使用することが望ましい
常時水中にあり、かつ、常に湿潤な状態にある場合	扉体及び扉体内部 ・縦横補助桁 ・主桁の水平垂直補剛材 ・扉体最下端桁 ・点検梯子、通路、防塵スクリーン等の組込み品 ・扉体端部 ・扉体端部 ・サイドローラブロック ・扉体端部 ・戸当り ・常時接水する部分 ・シーブブロック ・シーブ ・ブラケット ・ワイヤーロープ		取水塔 ワイヤーロープ式開閉装置 ワイヤーロープ スクリーン		バルブ類関係 ・扉体 ・ボンネット外面 ・戸当り、水密部 放流管 ・放流管管胴 ・放流管各部材 ・常時水中にあり、メンテナンスのため、にダムがない、水位低下が容易でない、常時、高流速によるケーシングの発生などの流下がある	
常時水中にはない場合		扉体端部 ・スキミングプレート端部 ・水密ゴム固定用ボルト穴などの穴あけ加工部 ・水密部構造 ・サイドローラブロック ・扉体端部 ・メインローラ、軸及び軸穴周辺 扉体下部 ・扉体リップ ・水密部 ・扉体最下端桁（フランジ及びウェーブ） 扉体組込み品、付属品 ・ボルト、ナット類等取外しを行う部分 ・マンホール蓋及びヒンジ部等の可動部 ・油圧配管部等小さく凹凸のある部分 ・水抜穴や空気穴の防塵スクリーン等塗膜の付着が期待出来ない部分 ・タラップ、点検歩廊の床等物が当たる部分 ・その他、点検、補修が行い難いもの 戸当り ・ローラ踏面及び水密面にコンクリートに埋設される部材のうち露出する部分（アガット等） ・戸当りレール ・カバープレート ・戸当りレール取外し部 ・シーブブロック ・シーブ軸		取水塔 ワイヤーロープ式開閉装置 ・シーブ軸 スピンドル式開閉装置 ・スピンドル及び扉体取付部 ・中間軸受け ・ラック式開閉装置 ・ラック及びピニオン ・油圧シリンダ式開閉装置 ・ピストンロッド及びロッドエンド ・油圧配管材 ・作動油タンク スクリーン ・操作橋床版 ・階段・手摺・梯子 ・その他 ・点検蓋及びヒンジ部等可動部で塗膜の付着が期待できない部分 ・機器の分解組立に関するボルト ・開度計及び休止装置用小径ワイヤ ・給油配管部品 ・配線用配管材 ・水位計用ウェル		バルブ類関係 ・扉体（φ600程度以下） ・ボンネット ・内面 ・φ600程度以下 ・ケーシング ・油圧シリンダ式 ・シリンダロッド及び扉体接続部 ・スピンドル式 ・バルブ及び扉体接続部 ・油圧シリンダ式 ・油圧配管材 ・付属設備 ・空気管 ・排水管 ・元水管 ・元水弁 ・圧力検出用配管 ・扉体直結式の開度計ロッド及び取付部品 放流管 ・元水管 ・排水管 ・差圧計用配管 ・放流管 ・φ800程度以下 ・傾斜、湾曲などにより足場設置、作業空間が確保できない場合 ・管に穴を開ける場合 ・フラグ ・管胴側の穴周辺 ・放流管各部材 ・管が狭径、傾斜、湾曲してメンテナンスのための接近が容易でない、コンクリートに埋設されり補修、取管が困難、高流速によるケーシングの発生などの流下がある

3) 溶接施工条件による選択

当研究会で実施した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。¹¹⁾

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（ $\phi 800$ 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普通鋼の溶接後、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のでステンレス鋼を使用することが望ましい。表解-3.4 に突合せ溶接の施工要領の例を示す。

ただし、外面（普通鋼）にステンレス鋼溶接金属が露出しても良い場合は、表解-3.5 に示す条件においてワンサイド溶接にて全てステンレス鋼溶接材料を使用することにより施工は可能である。

(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。

(5)異種金属接触腐食の対策

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。

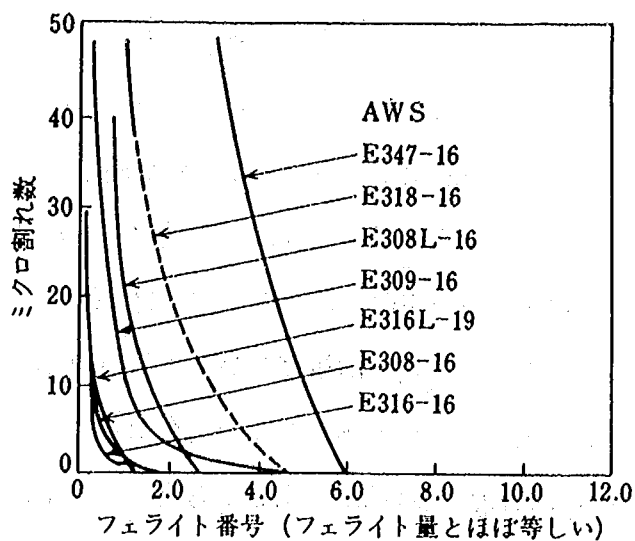
1) ステンレス鋼と普通鋼との突合せ溶接部

普通鋼の腐食を防ぐために、図解-3.8 に示すように、普通鋼から溶接ビードをまたぎステンレス鋼も塗装を行うことが必要である。なお、塗装の範囲は、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普通鋼の面積比などによって異なるが50～100mm 程度が望ましい。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を 300 μ m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普通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普通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抵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。

2) ステンレス材料のボルト接合部

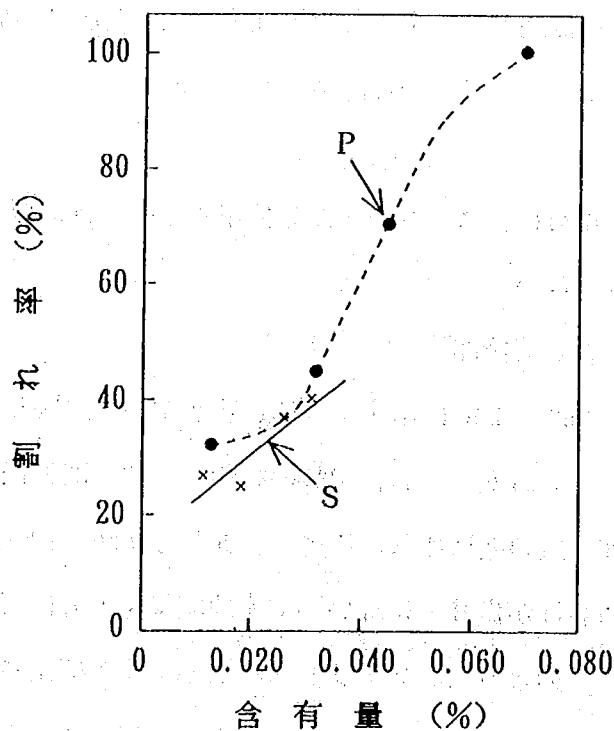
ステンレス材料をボルト接合する場合、普通鋼ボルトや亜鉛めっきボルトを用いるとボルト



表解-3.4 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)

(溶接・接合便覧等より)



表解-3.5 クラッド鋼のワンサイド溶接条件の一例

の腐食が促進される恐れがあるので、図解－3.9 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) ステンレス鋼管と普通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－3.10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。

(6) すき間腐食の対策

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, 410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。

(7) 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ダム放流設備等で使用する際には、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－3.11(a)に示すように、ステンレス鋼の板を継ぐ。

②図解－3.11(b)に示すように、ステンレス鋼の帯板を取り付ける。

③図解－3.11(c)に示すように、ステンレス鋼の肉盛り溶接を行う。

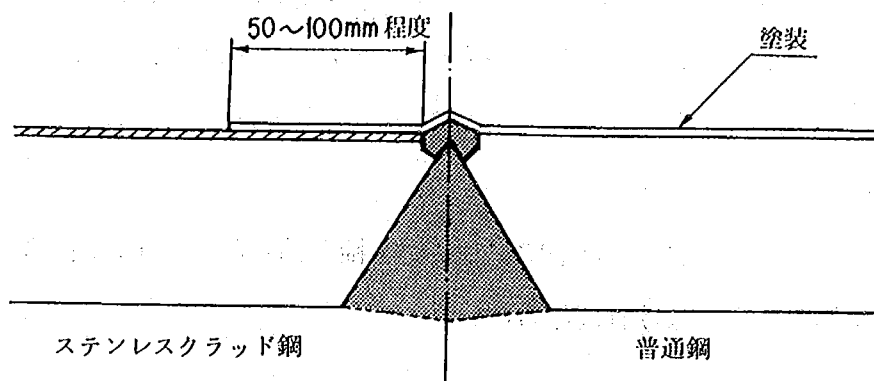
以上のうち、最も施工の確実なのは①である。

2) ボルト、グラウトなどの穴あけ

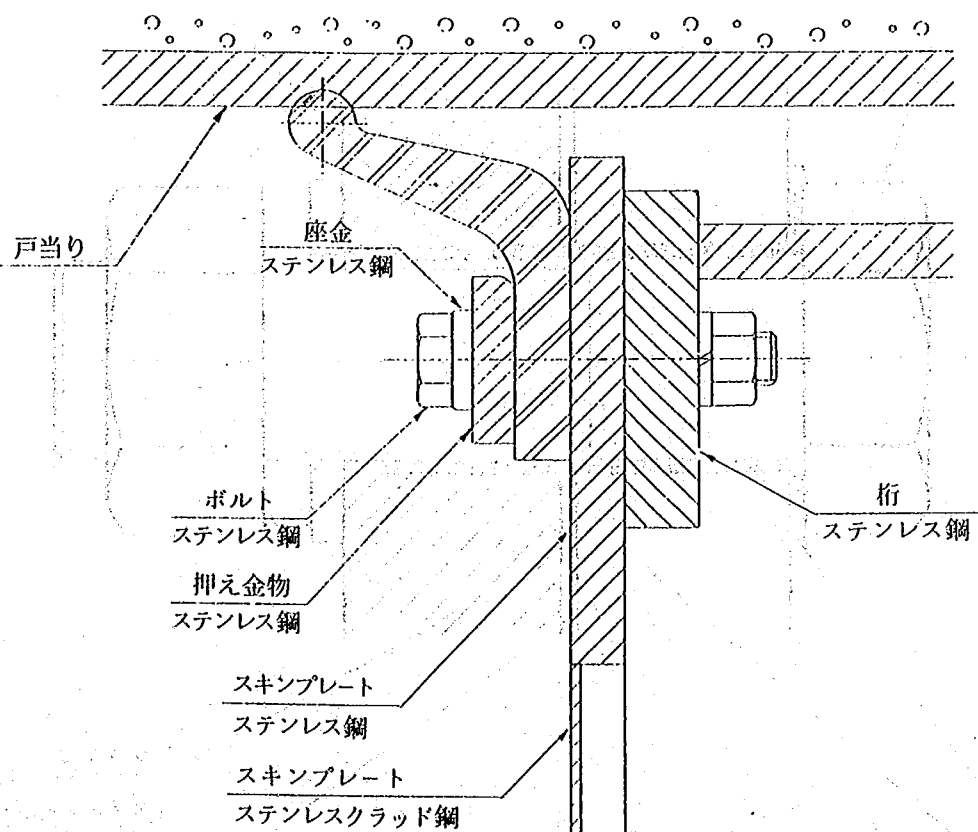
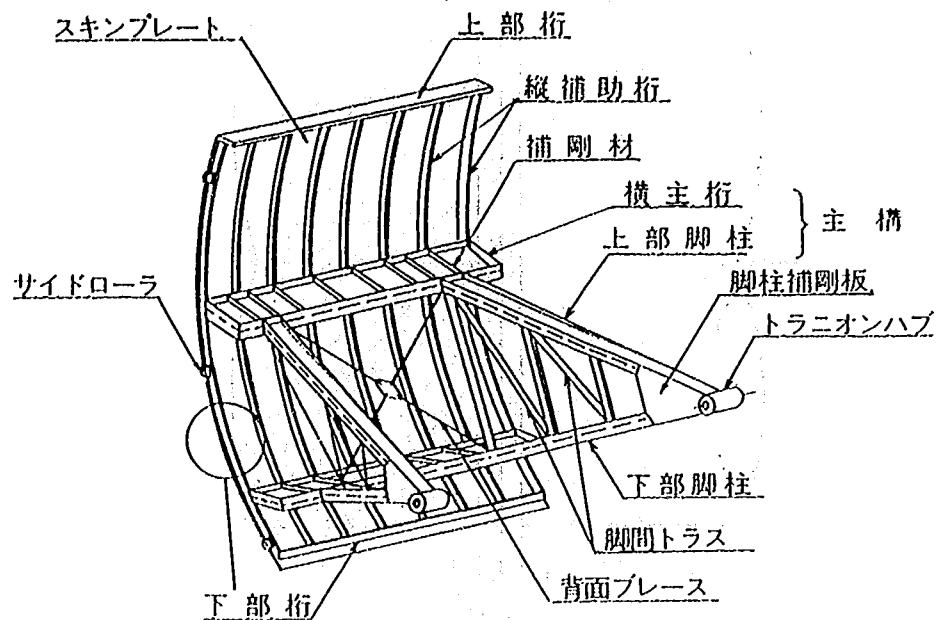
ステンレスクラッド鋼に穴あけを行うと穴内面は端面露出となり、ここに 1) に示す処置を施すことは困難であるので、原則として穴あけは行わない。やむを得ず穴あけを行う場合には以下に示す処置を施さなければならない。

①図解－3.12(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－3.12(b) に示すように、ステンレス鋼のスリーブをはめ込む。



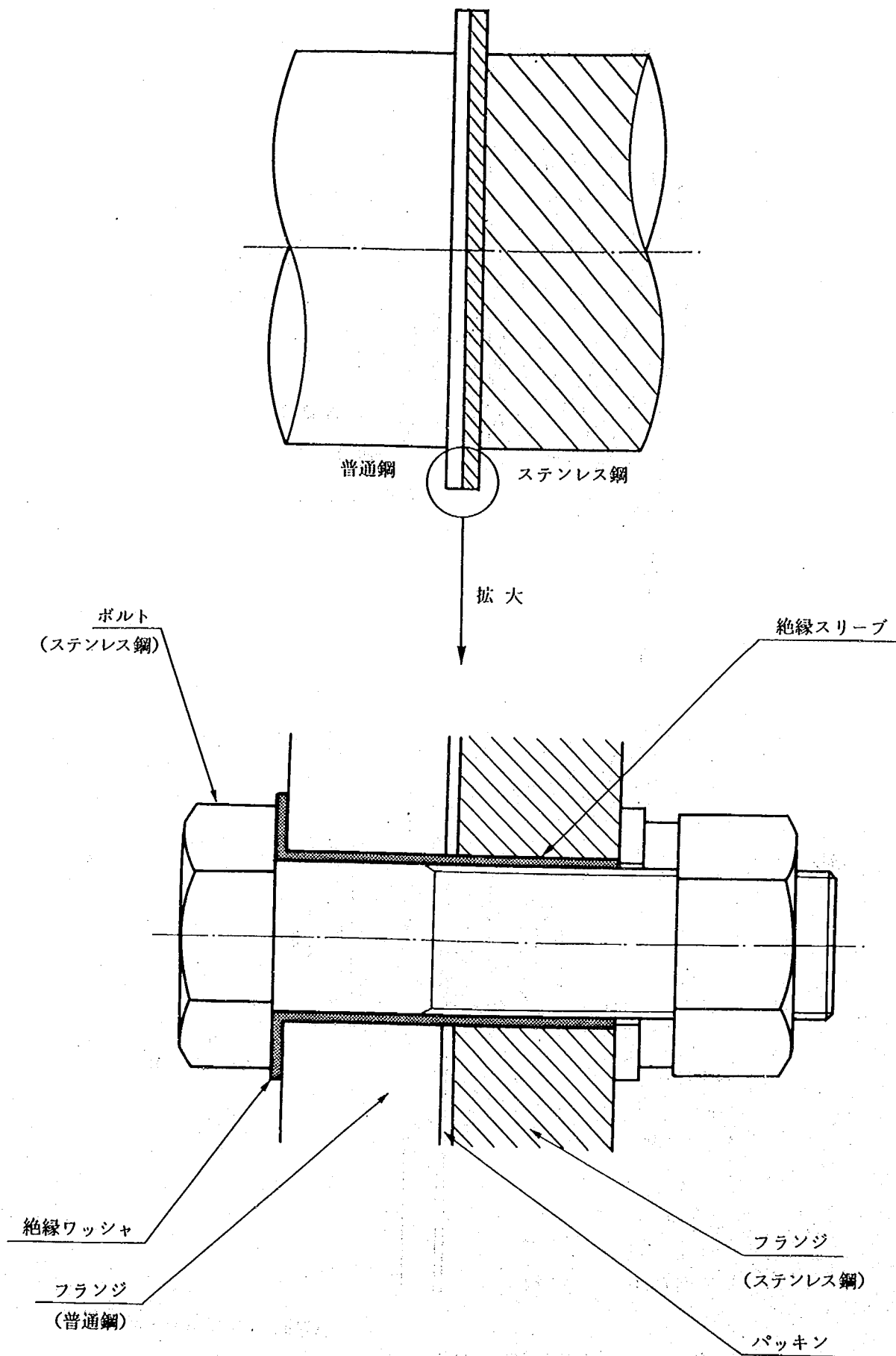
図解－3.8 塗膜の塗り越し



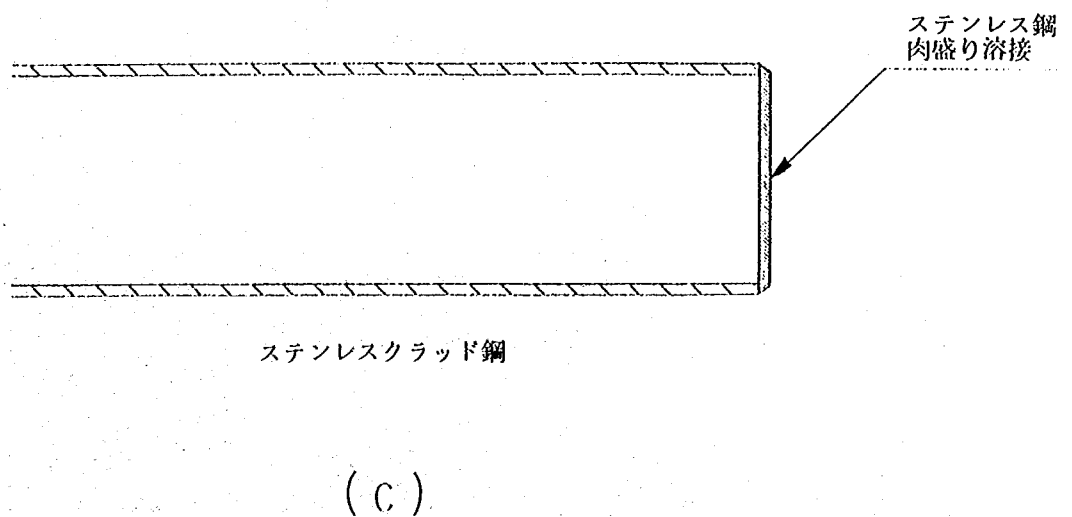
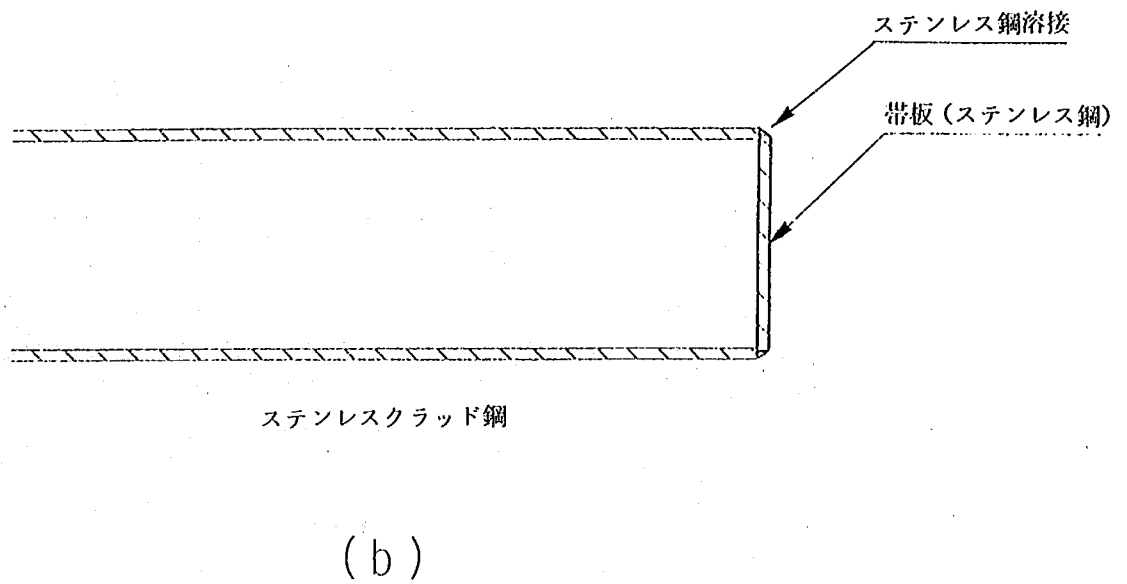
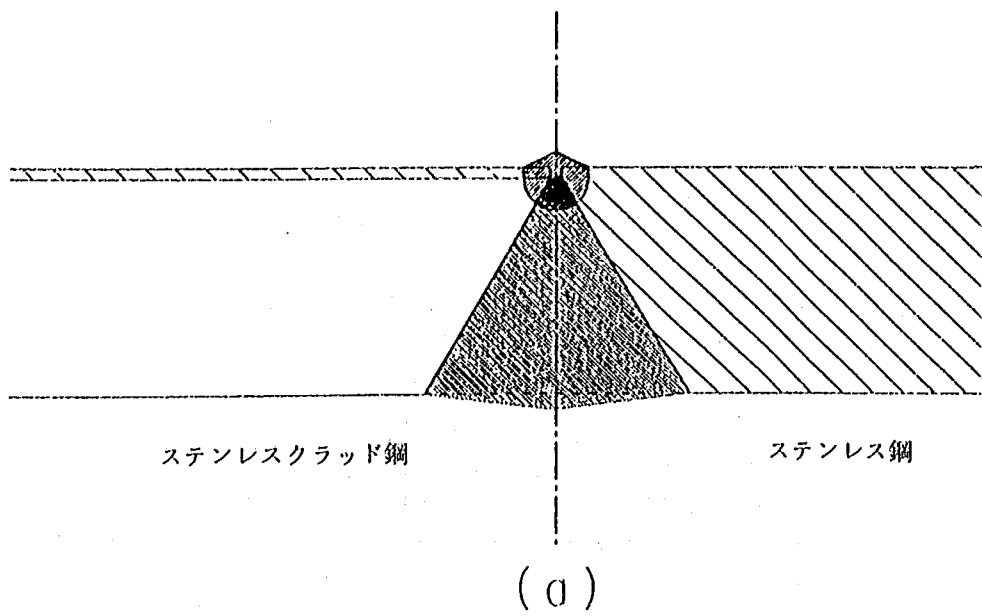
(斜線部はステンレス鋼)

図解-3.9 水門扉側部水密部

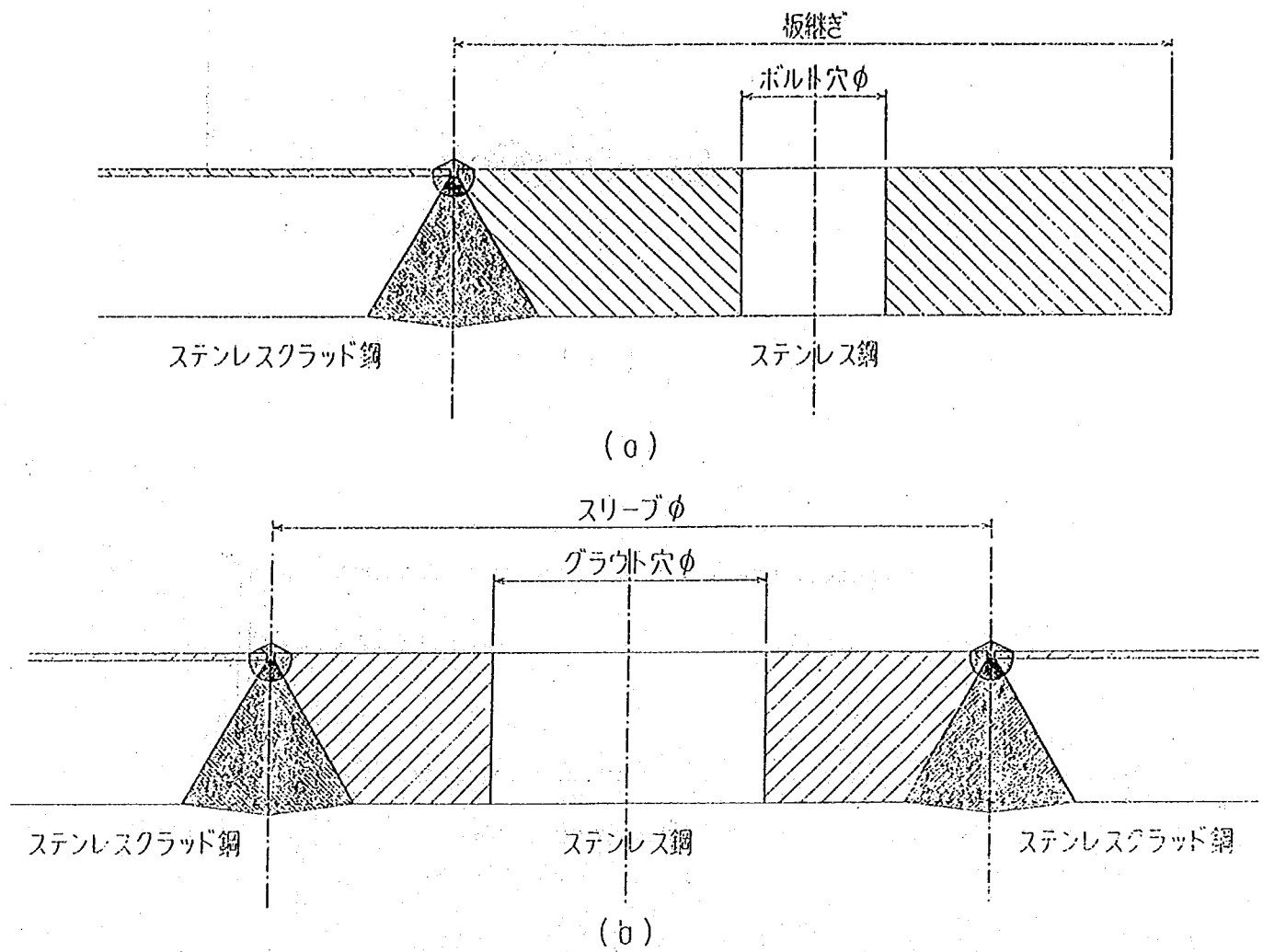
(水密ゴム押え金物と固定ボルト)



図解- 3.10 フランジ接合部の絶縁



図解-3.11 ステンレスクラッド鋼の端面処理



図解-3.12 ステンレスクラッド鋼に孔明けを行うときの処理

3.2.2 扉体端部

扉体端部は、ステンレス材料を使用することが望ましい。

〔解 説〕

図解－3.13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。このため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。

(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、板端部は普通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、端部にステンレス鋼板を継ぐことが望ましい。

(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－3.14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、普通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ことが望ましい。

(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。凹凸が多く複雑な構造であるため塗膜の付着が期待できない水密ゴムは定期的な取替え部品である。また、押さえ金物及び固定ボルトは取外し調整可能な構造であるので塗膜がはがれやすいため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ことが望ましい。

(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ことが望ましい。

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、原則としてステンレス鋼としなくてはならない。

(6) メインローラ、軸及び軸穴周辺

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ことが望ましい。

3.2.3 扉体内部

シェル構造ゲートの内部、ガーダ構造ゲートのガーダ側などの扉体内部は、ステンレス鋼を使用することが望ましい。

〔解 説〕

扉体が常時水中や、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、以下に示す部材及び要素はステンレス鋼とすることが望ましい。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ことが望ましい。

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、すべての部材及び要素をステンレス鋼にすることが望ましい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。

①オーステナイト系ステンレス鋼は、溶接によるひずみ量が大きいので、精度確保上部材の拘束方法などについて十分な事前検討が必要である。

②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。

3.2.4 扉体下部

扉体下部周辺は、原則としてステンレス鋼を使用しなければならない。

〔解 説〕

図解－3.14に示すように扉体下部の構成は以下のとおりである。

(1)扉体リップ

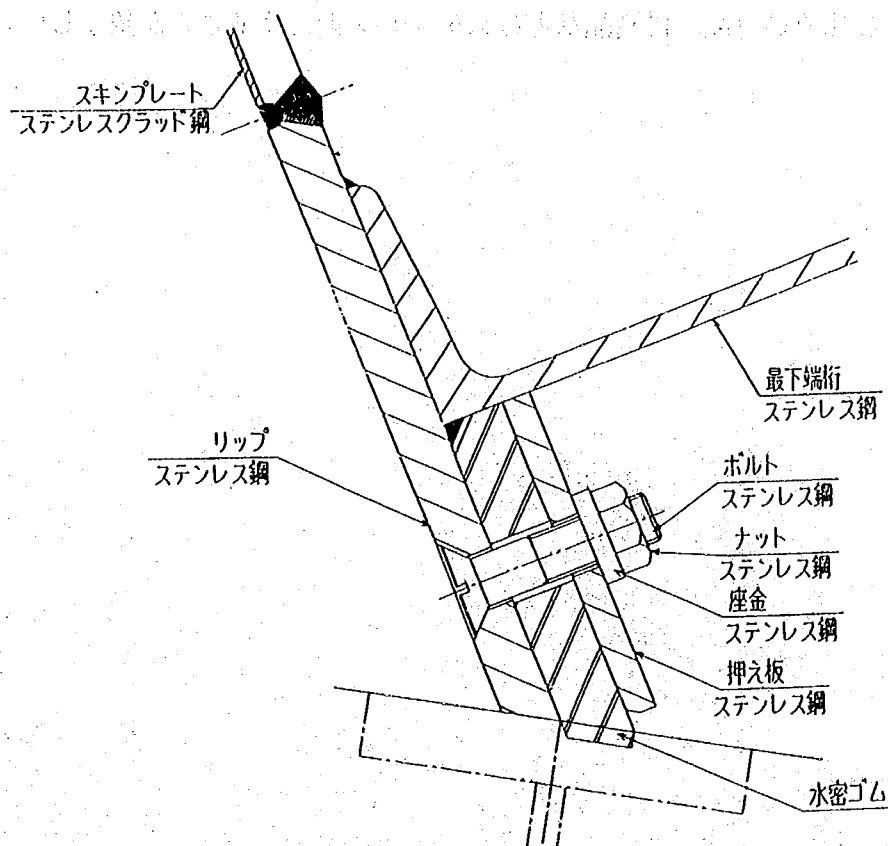
扉体リップは、流水制御や、水密確保するための重要な部分である。また、流水や土砂などが衝突する非常に厳しい腐食条件にある。しかも再塗装など補修の困難な部分でもあるため、原則としてステンレス鋼を使用しなければならない。

(2)水密部（水密ゴム取付部、水密ゴム押さえ金物、固定ボルト）

ボルトなどは、凹凸が多く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、原則としてステンレス鋼を使用しなければならない。

(3)扉体最下端桁（フランジ及びウェブ）

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しなければならない。



図解－3.14 扉体下部例（クレストラジアルゲートの場合）

3.2.5 扉体組込み品、付属品など

扉体組込み品、付属品のうち、以下に示すものはステンレス鋼とすることが望ましい。

- (1) ボルト、ナット類等取外しを行う部分
- (2) マンホール蓋及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

〔解 説〕

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ことが望ましい。

3.2.6 シーブブロック

シーブブロックは、原則としてステンレス材料を使用することが望ましい。

〔解 説〕

図解-3.15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ことが望ましい。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、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、一部に普通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シーブ軸及びボルト、ナット類
- ②ブラケット、シーブ、その他
- ③ワイヤロープ

(1)シーブ及びシーブ軸

シーブ軸はステンレス鋼を原則とする。常時水中にある場合には、シーブも原則としてステンレス鋼にしなくてはならない。

(2)ブラケット

常時水中にある場合にはブラケットを原則としてステンレス鋼にしなくてはならない。

ブラケットの板が厚くなるため、両面ステンレスクラッド鋼を使用した実績もある。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部材端に普通鋼が露出しないように端面処理を行う。
- ②ボルトなどの穴あけ加工を行わない。

(3)ワイヤロープ

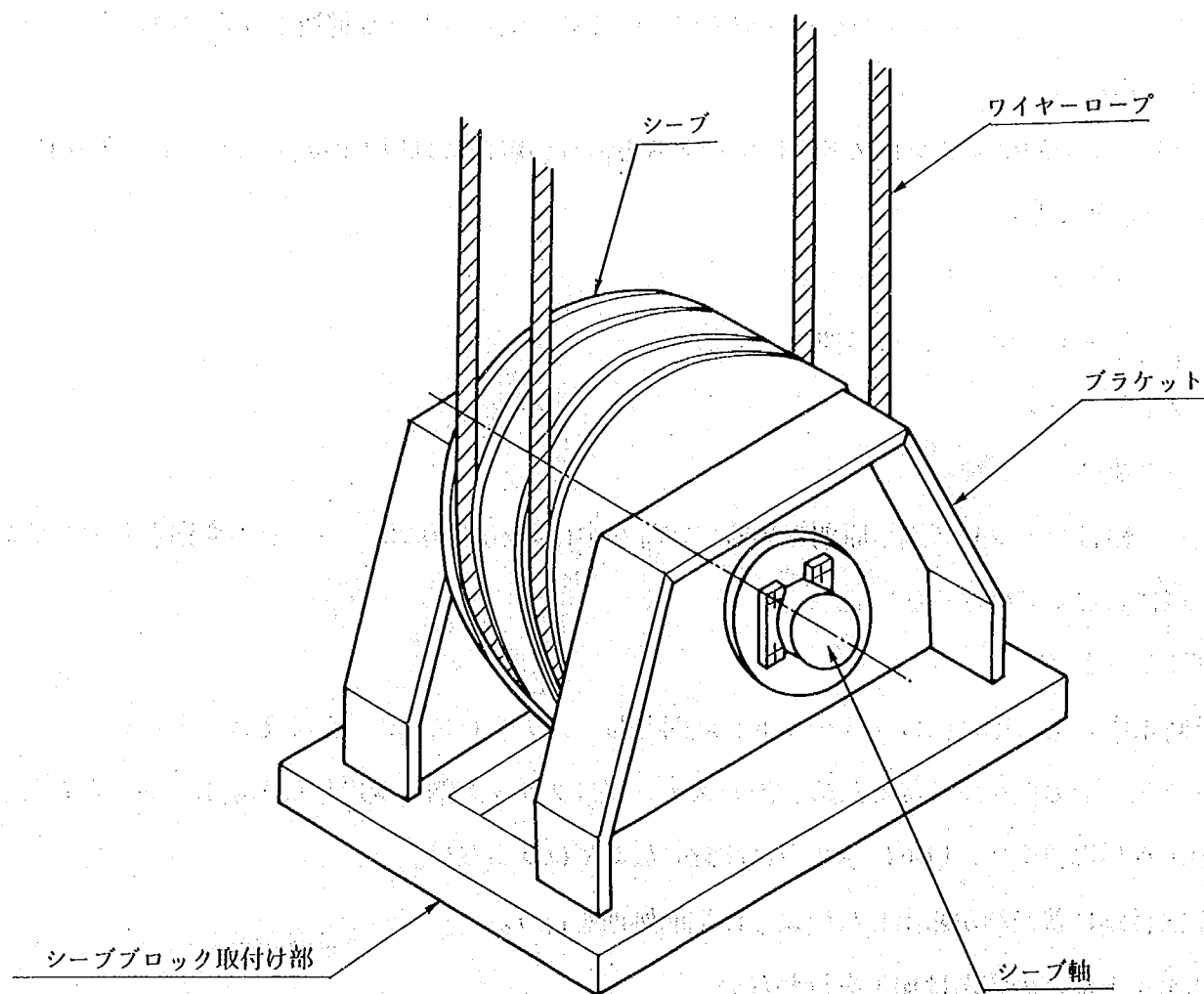
ワイヤロープの材質は、ロープの使用環境（常時水中で使用するなど）、周辺の使用材料（水中における電位差が生じる可能性など）、管理方法（1年毎にグリースを塗り替えるなど）などの条件を検討して選ぶ。

亜鉛めっきしたワイヤロープが水中で、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、ワイヤロープは原則としてステンレス鋼にしなければならない。

なお、ステンレスワイヤロープを使用するとシーブ及びドラム直径を普通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製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。

(4) 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普通鋼製の扉体本体へ取付ける場合に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望ましくない。



図解－3.15 シーブブロックの例

3.2.7 戸当り

戸当りのうち以下に示す部分は、原則として、ステンレス鋼を使用しなければならない。

①ローラ踏面及び水密面

②常時接水する部分

③コンクリートに埋設される部材のうち露出する部分

〔解 説〕

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である。このため、露出する部分は原則として全てステンレス鋼を使用しなければならない。

戸当りの例を図解-3.16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、ローラ踏面及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、ローラ踏面及び水密面は、原則としてステンレス鋼を使用しなければならない。

(2)カバープレート

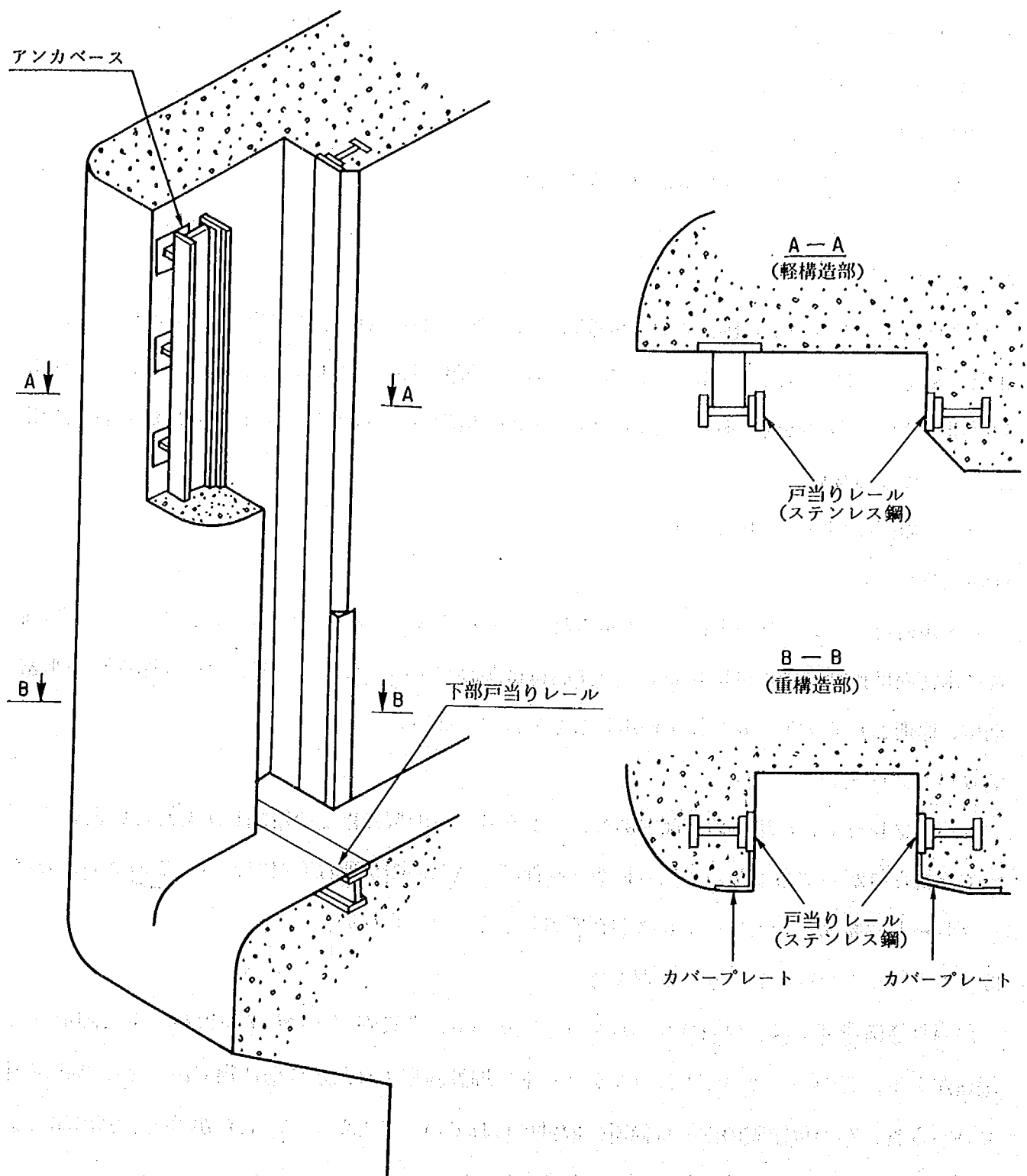
カバープレートは戸当りの一部であり、コンクリートの型枠程度の役割しかもたないということと軽視されがちであるが、戸当り構造部を保護するための重要な部材である。このため、カバープレートは原則としてステンレス鋼を使用しなければならない。

(3)アンカパット及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トに固定する場合がある。このアンカパットはコンクリートに埋設固定された永久構造物である上に常時風雨にさらされ、かつ再塗装の困難な箇所に取り付けられていることが多い。したがって、露出部は原則としてステンレス鋼を使用しなければならない。

(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、着脱部は塗膜ははがれやすいので原則としてステンレス鋼を使用しなければならない。



図解－ 3.16 戸当り例（ローラゲートの場合）

3.2.8 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、ステンレス鋼を用いることが望ましい。

〔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腐食条件であるので、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。

このため、厳しい腐食条件の場合には、ステンレス鋼を用いることが望ましい。

(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ことが望ましい。
- ②シーブ軸は、ステンレス鋼とすることが望ましい。

(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ことが望ましい。
- ②スピンドルを中間で支持する軸受は、固定部も含めステンレス鋼とすることが望ましい。

(3)ラック式開閉装置

- ①ラック及びピニオンは、ステンレス鋼とすることが望ましい。

(4)油圧シリンダ式開閉装置

- ①ピストンロッド及びロッドエンドは、ステンレス鋼とすることが望ましい。
- 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ことが望ましい。
- ③油圧ユニットの作動油タンクは、ステンレス鋼とすることが望ましい。

(5)その他

- ①カバー、ボックス類に取付けられた点検蓋及びヒンジ部、止め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ことが望ましい。
- ②機器の分解組立に関するボルト（機器組立用ボルト、機器固定用ボルト）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ことが望ましい。

③開度計用メッセンジャワイヤ、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ことが望ましい。

④給油配管部品は、細かく凹凸が多いため塗膜の付着性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ことが望ましい。

⑤配線用配管材は、ステンレス鋼とすることが望ましい。

⑥水位計用ウェルは、固定部を含めステンレス鋼とすることが望ましい。

3.2.9 バルブ類

バルブ及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材料を使用することが望ましい。

〔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、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-3.17に示す。

(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 $\phi 600\text{mm}$ 程度以下の小型のバルブは、扉体を一枚板で製作するが多いが、この場合には原則としてステンレス鋼としなくてはならない。

扉体の例を図解-3.18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のでこのため、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しなくてはならない。

小口径である（ $\phi 600\text{mm}$ または $\square 600\text{mm}$ 程度以下）場合には、全てステンレス鋼としなくてはならない。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は、ボンネット外面もステンレス鋼とすることが望ましい。

(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材料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ことが望ましい。

ケーシングの例を図解-3.17に示す。

(4)開閉装置

1) 油圧シリンダ式

①シリンダロッド及び扉体接続部は、ステンレス鋼としなくてはならない。

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ことが望ましい。

2) スピンドル式

スピンドル及び扉体接続部は、原則としてすべてステンレス鋼としなくてはならない。

(5)付属設備

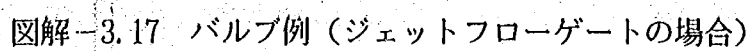
付属設備は、小部材であり凹凸も多く塗膜の付着が期待できないので、ステンレス鋼とすることが望ましい。

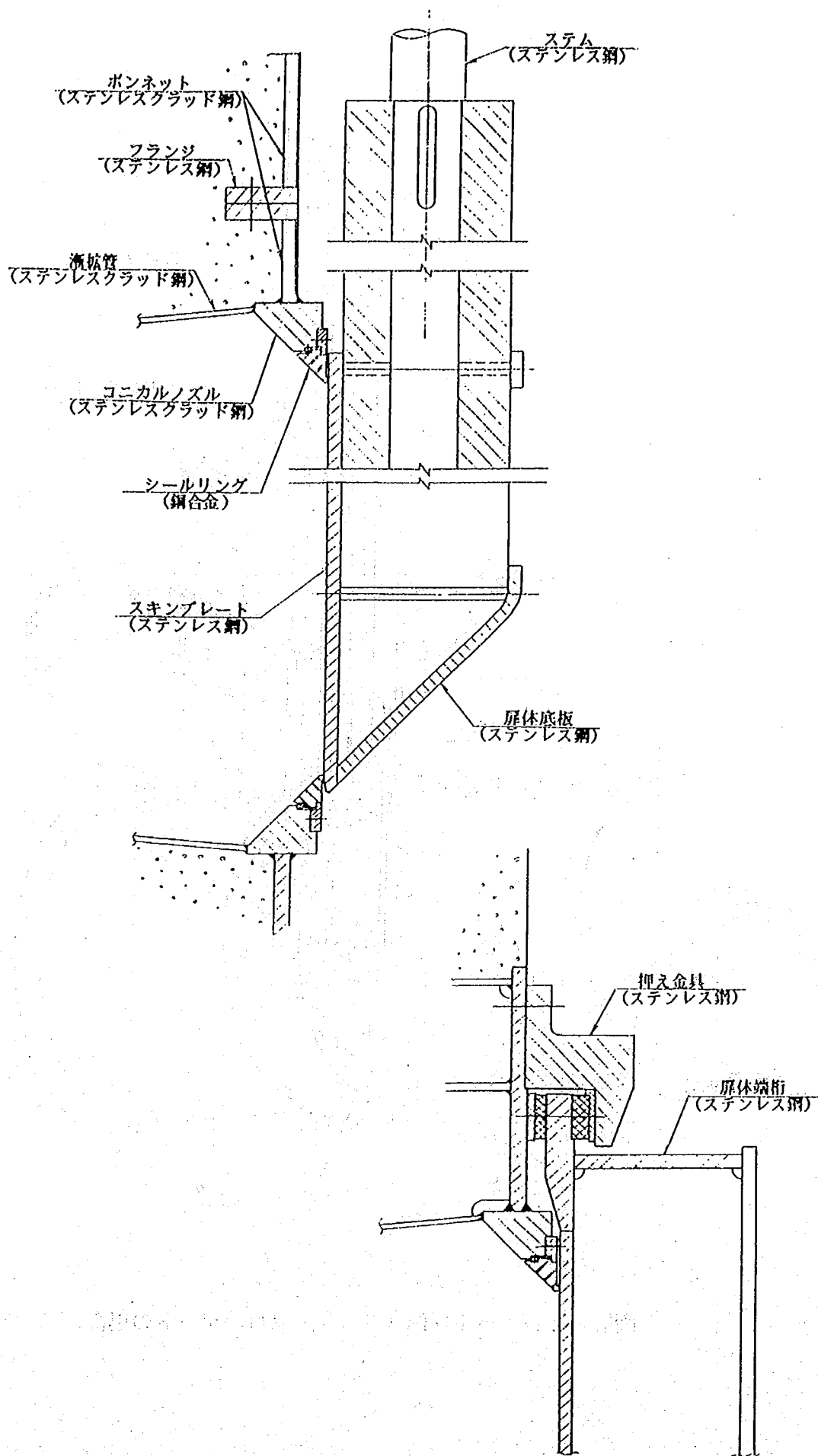
1) 空気管、充水管、排水管、圧力検出用配管などの管類及びフランジ（ボルト、ナットを含む）は、ステンレス鋼とすることが望ましい。

2) 充水弁は、ステンレス鋼製のものを使用することが望ましい。

3) 扉体直動式の開度計ロッド及び取付部品は、ステンレス鋼とすることが望ましい。

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ものは、ステンレス鋼とすることが望ましい。





図解-3.18 扉体および水密部例 (ジェットフローゲートの場合)

3.2.10 放流管

放流管胴及びフードの材質には、原則としてステンレス材料を使用する。また、放流管の各部材のうち常時接水部、常時湿潤箇所、塗装困難箇所、塗膜付着の期待できない箇所などは全てステンレス材料を使用することが望ましい。

〔解 説〕

(1) 一般

放流管は、ダム放流設備のうち、主要部材を鋼材とする管路式の流入部及び導流部を有する放流設備をいい、図解－3.19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、または整流管及び内張管より構成されている。

放流管胴などの接水部は、原則としてすべてステンレス材料を使用する。また、以下に示す放流管各部材は、ステンレス材料とすることが望ましい。

- 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コンクリートに埋設されており、補修、取替えが困難である。
- 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

一般に、大径の放流管ではステンレスクラッド鋼が、小径の放流管ではステンレス鋼が使用されている。これらの使い分けの目安を以下に示す。

1) 管径の大きさによる使い分け

次のような管は一般的に口径が小さいので、原則としてステンレス鋼管を使用する。

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、強度溶接を行う場合、

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。

以下に溶接作業性の悪い場所の例を示す。

①管径が小さい場合

φ1000mmまたは□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φ800mm または□800mm 以下の場合には、原則としてステンレス鋼を使用する。

②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、足場を設置するのが困難であったり、作業空間を十分確保できない場合には、原則として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-3.20参照）

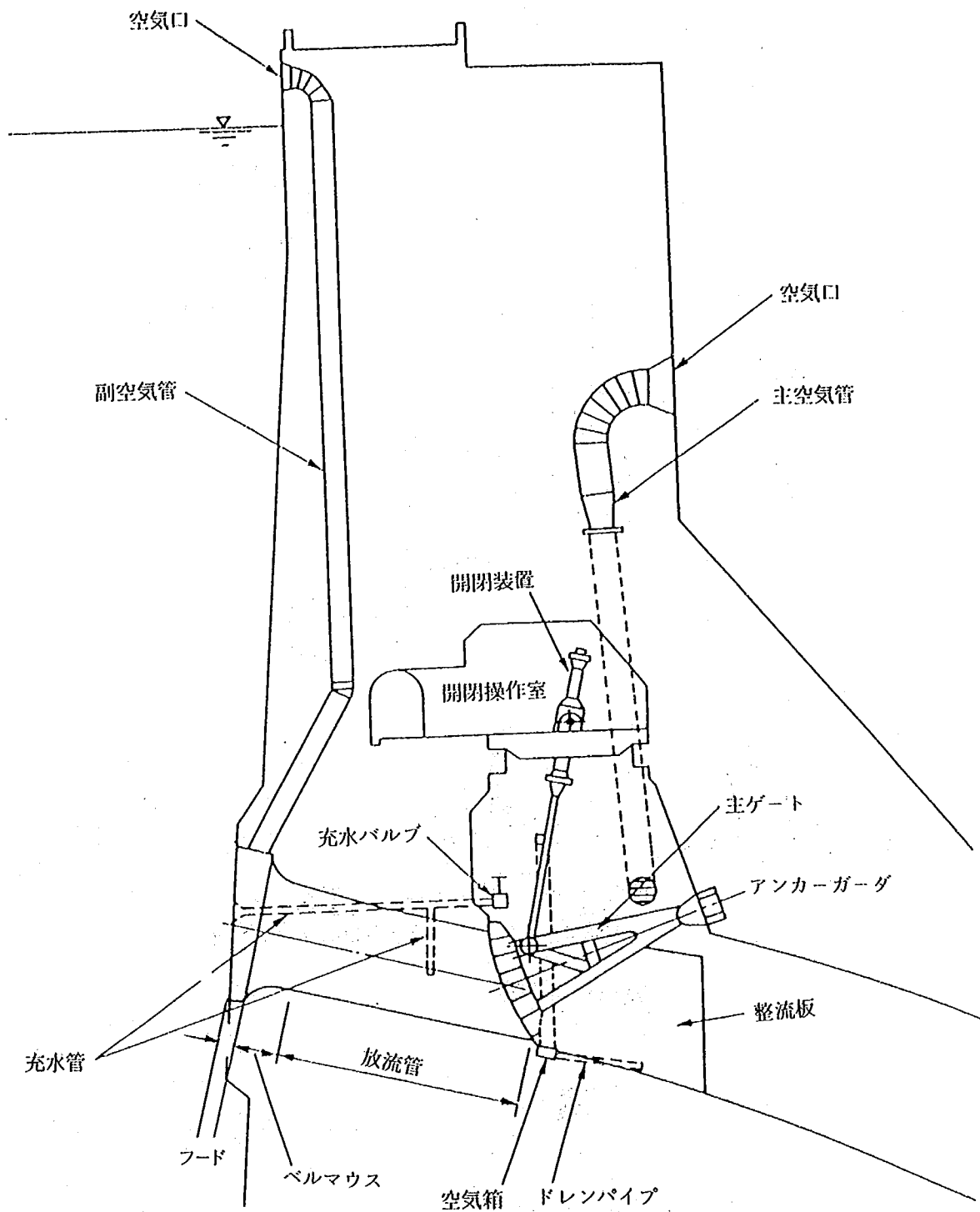
ステンレスクラッド鋼は異種金属を合わせた材料であるため、ステンレス鋼に比べて取扱いに注意を要する。以下にステンレスクラッド鋼を使用する場合の設計上の留意事項を示す。

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、当研究会が実施した実態調査²⁾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、突合せ溶接ビードは、極力切削しないことが望ましい。

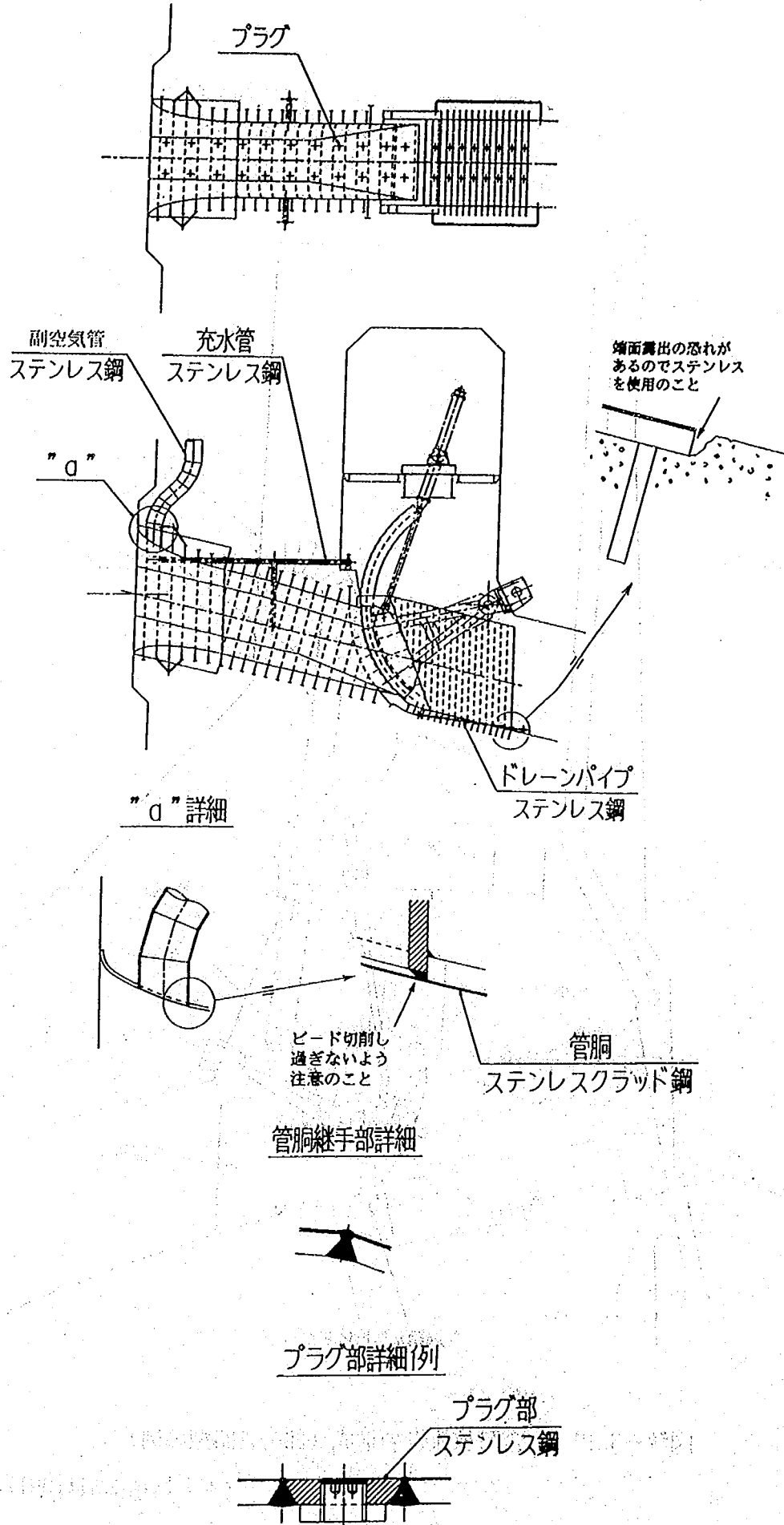
以下に、突合せ溶接ビード部の発錆原因として考えられるものを示す。

- 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る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普通鋼で使用了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-3.19 大容量放流管の構成（部分管路型の例）

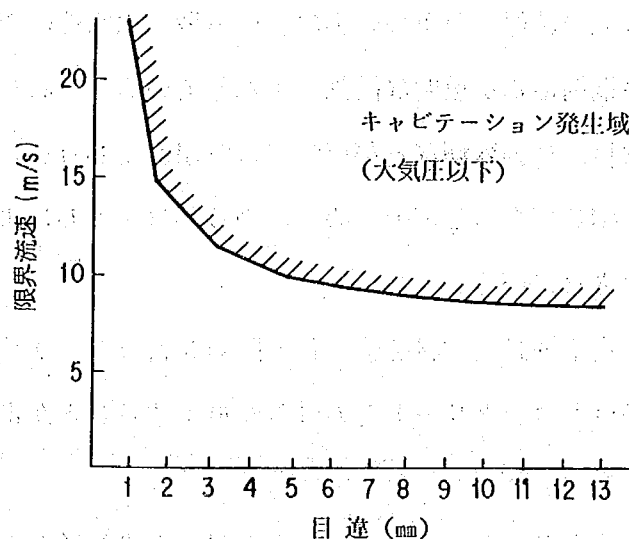
（ダム技術No.54(1991)より）



図解-3.20 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）

当研究会で実施したステンスクラッド鋼の突き合わせ接合材の腐食試験の結果、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。¹¹⁾ ステンレス鋼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。以上のことを考慮すると、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恐れがあるので、ダム・堰施設技術基準では、突起高さ h とキャビテーション発生限界流速 V_c を図解-3.21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。やむおえずグラインダ処理を行う場合には、ビード及び合せ材を削り込み過ぎないように十分注意しなくてはならない。



図解-3.21 突起高さ h とキャビテーション発生限界流速 V_c

2) 分岐管部及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、板を凸状に組合わせることになる。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、余盛り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、施工後プラグをし溶接にて固定するものであるが、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表面養生が悪かった。

②溶接施工が不適切であった。

③ビード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ないことが望ましい。

やむを得ず、管に穴を設ける場合、以下の項目について留意して設計しなくてはならない。

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ドなどの埋設鋼構造物が重要な役割を果たしている。これら埋設鋼構造物は、周囲に据付け架台、据付け材、補強鉄筋などが複雑に入り組んでおり、コンクリートを細部まで確実に打ち込むことが困難であるなどのため、戸当り部は水みちによる漏水や浸透水によって腐食することが懸念されている。

このため、埋設鋼構造物や埋設側鋼材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⁹⁾、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。

ただし、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¹⁰⁾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クサンダーで完全に除去してから溶接しなくてはならない。

3.2.11 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、原則としてステンレス材料を使用する。

〔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り、小物で凹凸が多く塗膜の付着性が悪いにもかかわらず、塗装も二次的に取り扱われがちである。しかし、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は困難を伴うことが多い。

このため、付属設備類にもステンレス材料を使用するなど防食に留意することが望ましい。特に、常時水中または湿潤な環境などの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、ステンレス材料を使用することが望ましい。

1) スクリーン

図解-3.22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も期待できない。また、スクリーンバーと綴り棒とのすき間腐食も生じやすい。よって、常時水没したり、接近するのが容易でない箇所に取り付けられていたり、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。したがって、基本的に固定アンカ（露出部のみ）を含めて全てステンレス鋼を使用することが望ましい。

2) 取水塔

図解-3.23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（埋設部を除く）を含め、原則として全てステンレス材料とする。常時水上にある部分についても、塗装の困難さなどを考慮して、ステンレス材料とすることが望ましい。

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（特に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、堤体固定部に大きな熱応力が発生する恐れがあるの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などの厳しい腐食条件にある場合には、ステンレス鋼の使用など、材料の選定や塗装仕様の選定において適切な防食に留意しなくてはならない。

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ことが望ましい。また、取り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ことが望ましい。

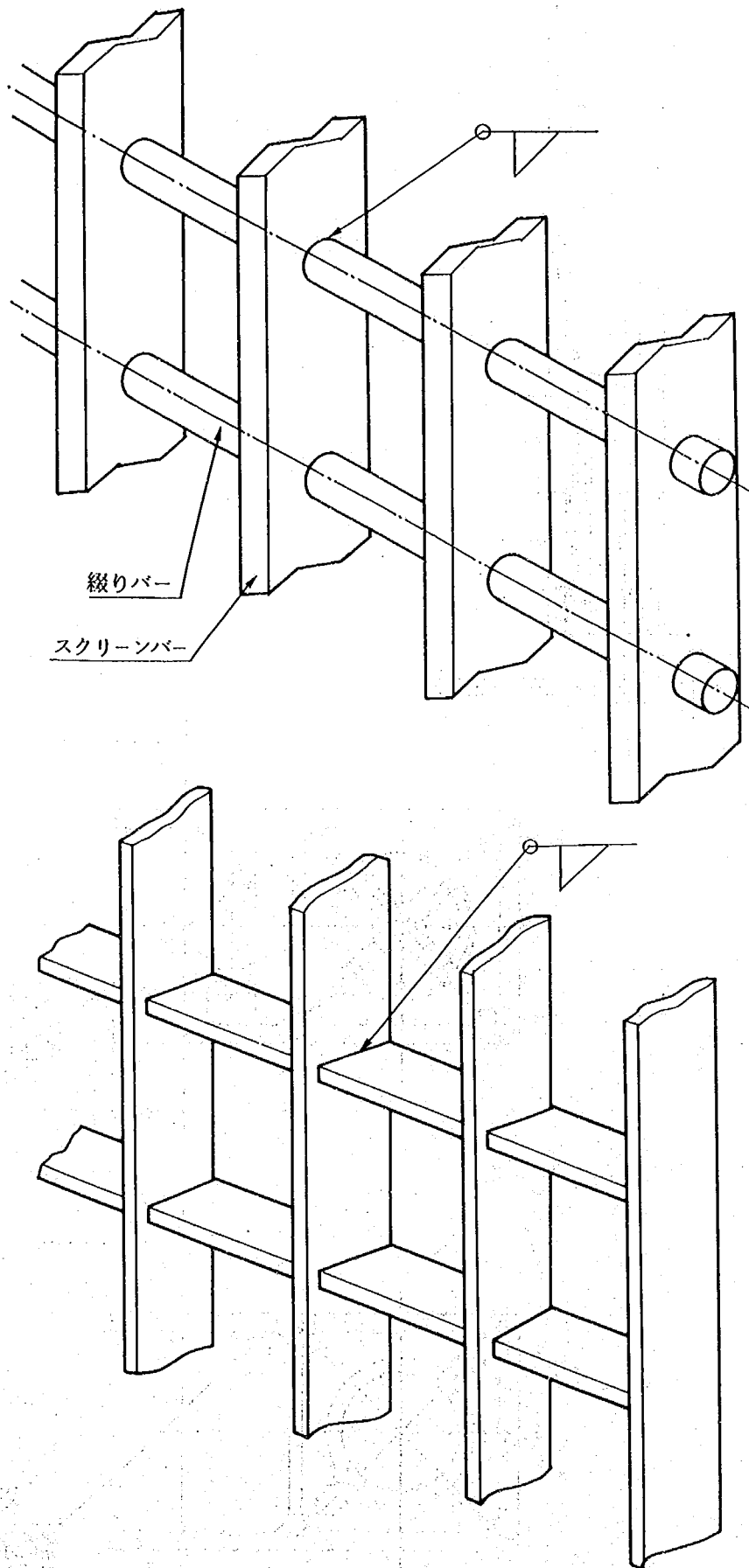
5) 階段、手摺、梯子

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ことが望ましい。

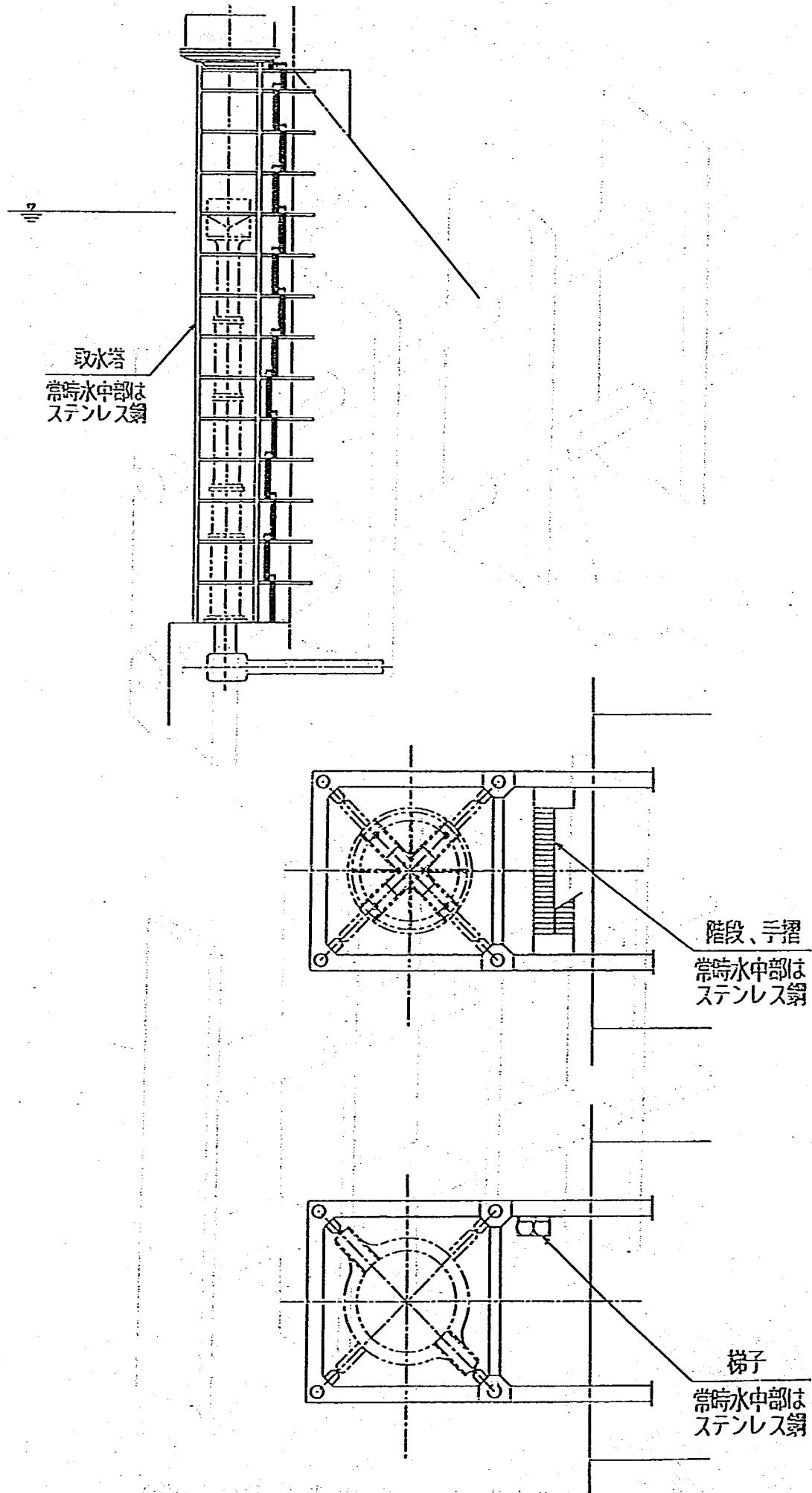
また、手摺などにカラスステンレスが使用された実績もあり、防食以外に美観という点も考慮して材料の選定を行ってもよい。

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、排水管及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-3.22 スクリーンパネルの構造（溶接構造の例）



図解-3.23 鋼製取水塔（堤体付きの例）

4. ステンレス材料適用に当たっての施工上の留意事項

4.1 保管管理

ステンレス材料の板、またはこれらを使用した部材及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普通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〕

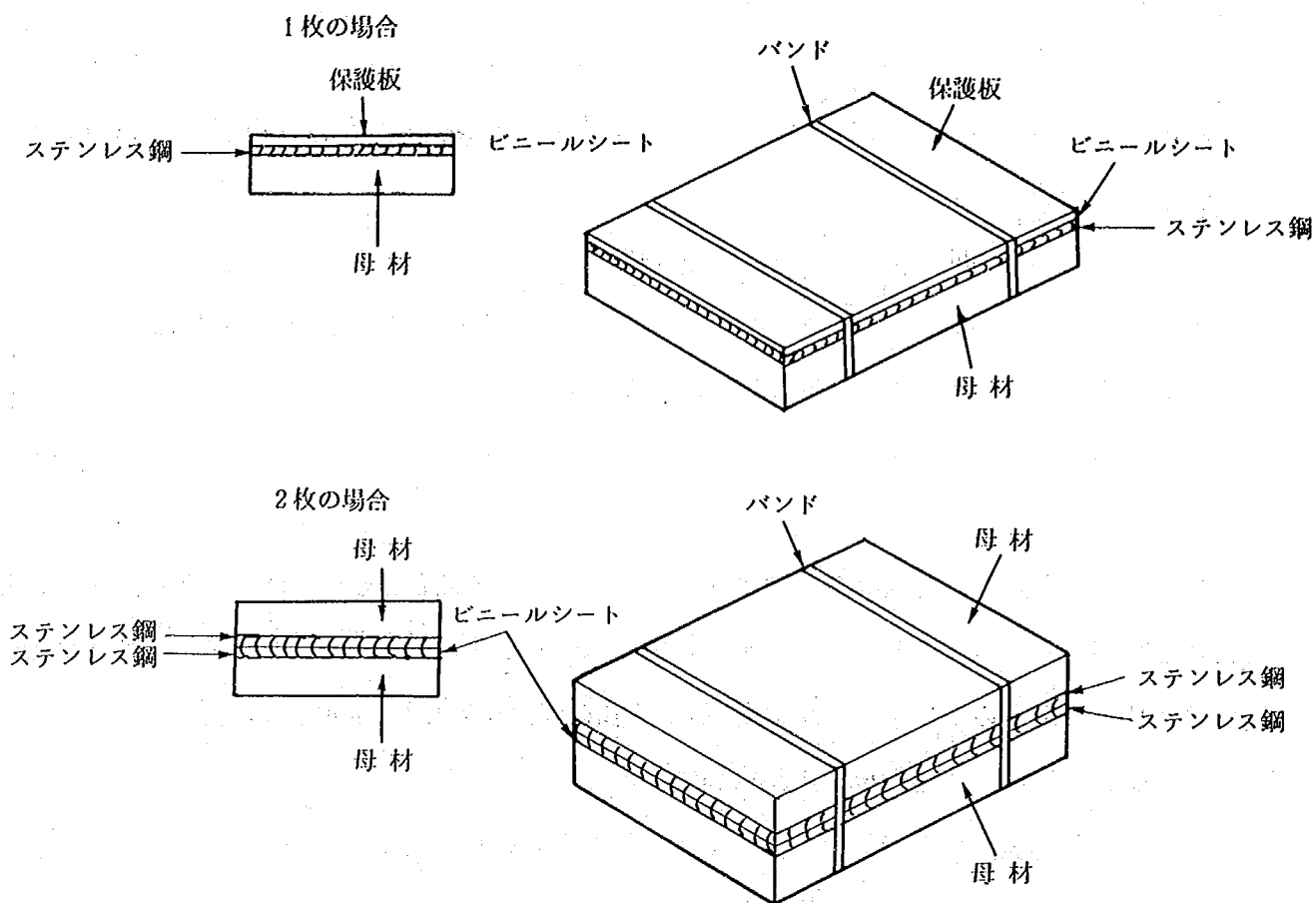
(1) ステンレス鋼表面に、普通鋼を接触させると、ステンレス鋼表面を傷つけるばかりでなく、もらい錆の原因ともなる。このため、ステンレス鋼の運搬や保管には、ステンレス鋼と普通鋼を直接接触させないよう以下に示す事項に留意し、図解-4.1及び4.2に示すように行う。

- ① ステンレス鋼板に普通鋼板を重ねない。
- ② ステンレス鋼表面に普通鋼の番線やボルトなどを置いたままにしない。
- ③ 普通鋼のワイヤロープを直接掛けない。
- ④ 普通鋼吊り金具（クランプ、溶接固定など）をステンレス鋼表面に直接取り付けない。

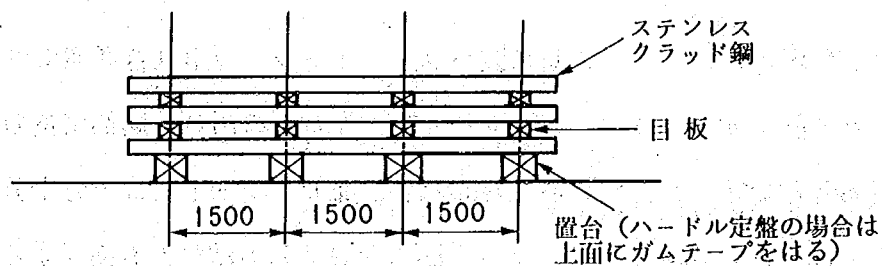
(2) 鉄粉が飛来し、ステンレス鋼表面に付着すると発錆することがある。美観上好ましくないと同時に、溶接開先部に付着した場合には、溶接欠陥に至ることもあるので鉄粉が飛来するような場所での保管は避けることが望ましい。やむを得ない場合には、シートで覆うなど保護しなければならない。

鉄粉が付着した場合には、ステンレス製バフ、ステンレス専用（普通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もあるので、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などを塗ったり、貼ったりする方法なども検討することが必要である。

(3) ステンレス鋼の不動態皮膜は、塩素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。海岸付近での保管が避けられない場合には、ステンレス鋼表面を保護膜などで保護するか、施工に先だって水洗いを行い塩分を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)切断方法

ステンレス鋼及び両面ステンレスクラッド鋼の切断は、原則としてプラズマ切断または機械切断とする。ただし、ステンレスクラッド鋼の切断は、クラッド比が約30%以下有的时候には、母材側からガス切断を行うことができる。

(2)切断面の品質

切断面及び加工した開先面の品質は、良好でなければならない。

〔解 説〕

(1)切断方法

ステンレス鋼及び両面ステンレスクラッド鋼の切断は、プラズマ切断または機械切断で行う。

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が利用されている。

②板厚が12mm程度までの薄い場合には、せん断法によることも可能である。

③ステンレスクラッド鋼は、クラッド比 $\left(\frac{\text{合せ材の厚さ}}{\text{母材の厚さ} + \text{合せ材の厚さ}} \times 100\% \right)$ が

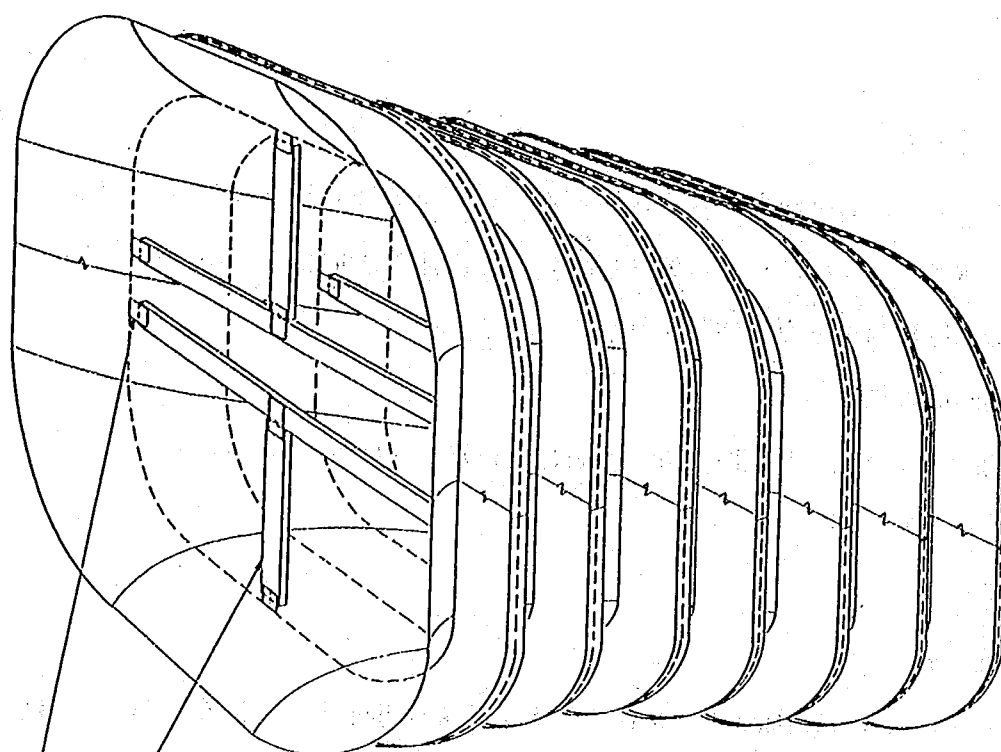
約30%以下有的时候、母材側からガス切断を行うことが可能である。

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いので、設計時から現地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のような放流管の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場合には、アークエアガウジングにて切断することがあるが、この場合は、熱影響部をグラインダなどにより丁寧に削除しなくてはならない。

⑤小口径のステンレス鋼管などは、高速カッタによる切断が可能である。ただし、カッタは普通鋼に使用したものをを用いてはならない。

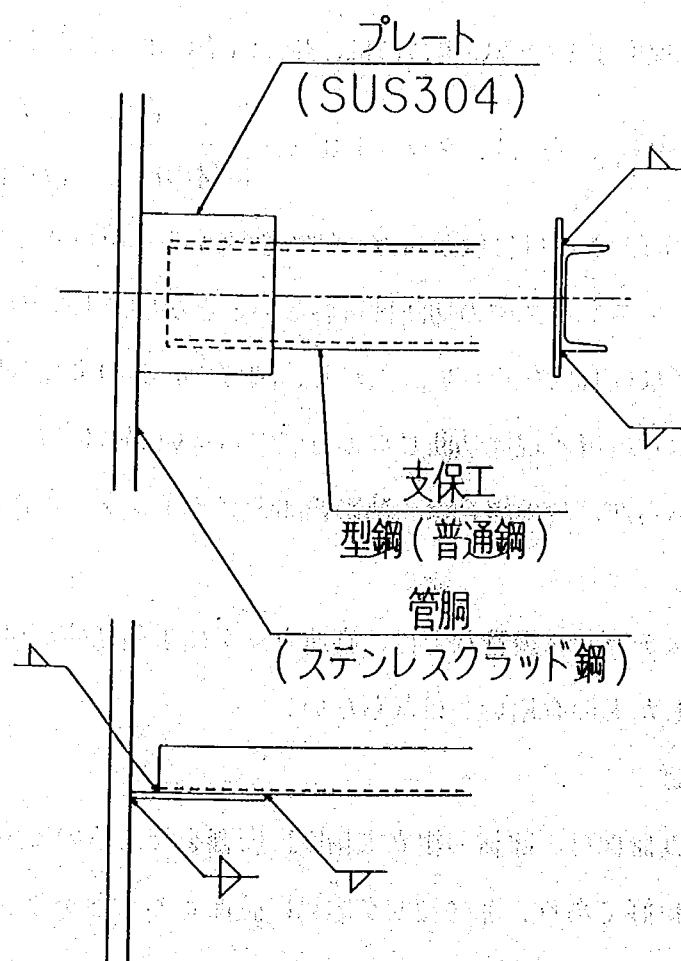
(2)切断面の品質

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。プラズマ切断による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。また、クラッド比が30%以下の場合には、ステンレスクラッド鋼のガス切断は容易に行える。



プレート
(SUS304)

支保工
型鋼（普通鋼）



プレート
(SUS304)

支保工
型鋼（普通鋼）

管胴
(ステンレスクラッド鋼)

图解-4.3 支保工

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が低下する。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は、良く清掃する。

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、普通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、切削条件によっては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。

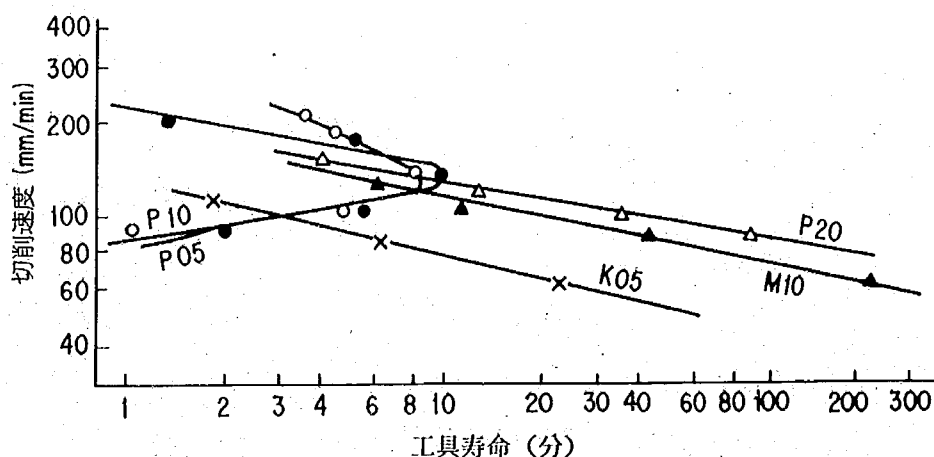
②同じ硬さのS30Cに比べて約2倍の伸びを示し、せん断時の発熱量が多い。

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にできないため、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、工具表面にチッピ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に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。

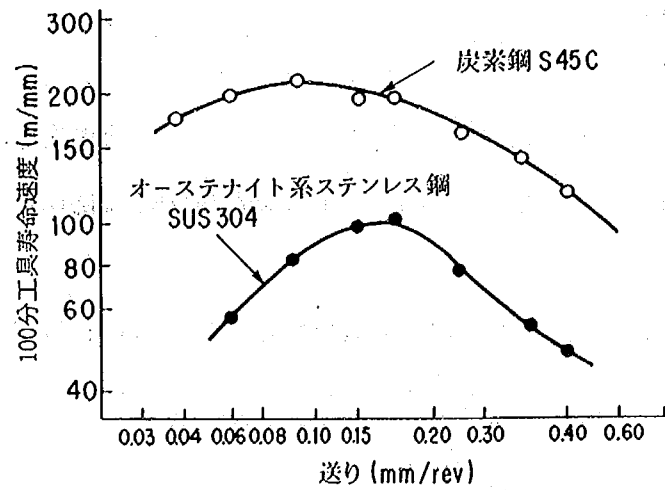
また、加工時には、もらい錆の原因となる普通鋼の切屑などが、周囲にないように十分注意しなければならない。



注) 図中のP20, M10などは、JIS B4053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より)



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

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より)

4.5 溶接

4.5.1 溶接方法及び資格

- (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)溶接士及び溶接施工管理技術者は、J I Sまたは関係規格に定められた有資格者とする。
- (3)母材及び溶接材料は、J I S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。すなわち、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）、ティグ溶接及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。

溶接方法及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及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)溶接士及び溶接施工管理技術者

1) 溶接士

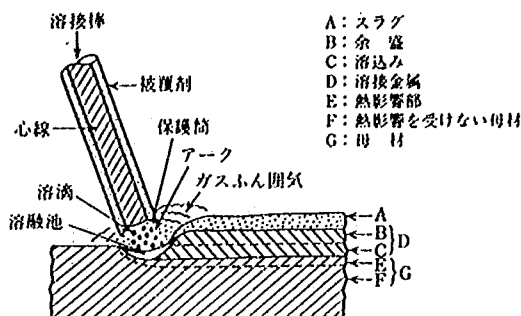
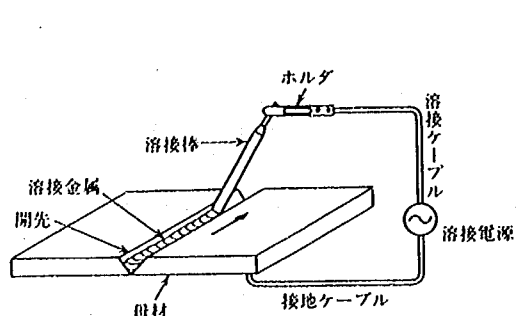
ステンレス材料の溶接に従事する溶接士は、採用する溶接方法及び継手の種類に対する有資格者でなくてはならない。表解－4.1にJIS Z 3821の検定試験の種類を示す。サブマージアーク溶接法については、国家資格はないが溶接の基本である被覆アーク溶接の有資格者またはこれと同等以上の認定試験に合格したものであることが望ましい。

2) 溶接施工管理技術者

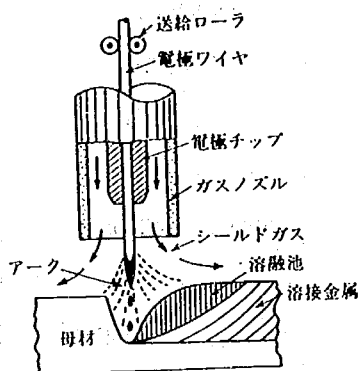
溶接部の品質は、溶接に適した継手を使用することや、作業環境等を確保することが重要であり、溶接全般に広く知識を持ち、実施工に採用する溶接方法に精通した技術者、例えば日本溶接協会のWE S 8103「溶接技術者資格認定制度」の有資格者又は同等の能力を持つ管理者のもとで施工することが望ましい。

(3)母材及び溶接材料

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及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。

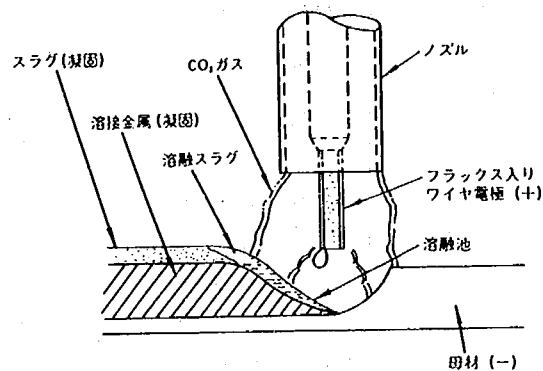


・被覆アーク溶接



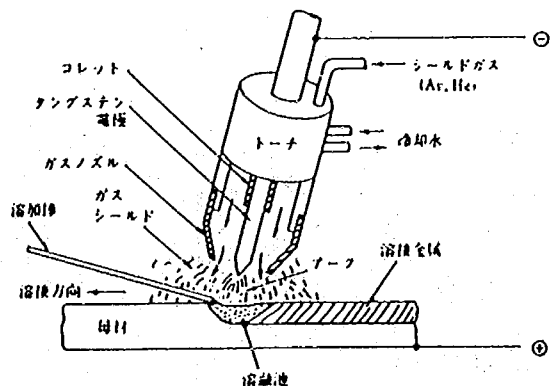
・ミグ溶接

(ソリッドワイヤ使用)

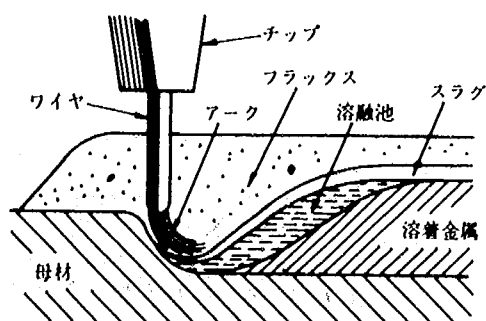


・炭酸ガスアーク溶接

(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, 神鋼技術がいどより)

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	裏当て金の 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 及 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				A	
		SUS CA-O					
	水平固定 鉛直固定	SUS CN-P ⁽³⁾ SUS CA-P	管	呼び径 150A 肉厚 9~11mm	N A	被覆アーク固定管試験	
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~ 100A, 肉厚 3mm			
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	A	溶極式アーク立向試験
		SUS MA-V			A		
	横 向	SUS MN-H			N	A	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、固定具及び溶接順序等を考慮する。
- (3)開先部及びその近傍は溶接前に清浄にする。

〔解 説〕

(1)開先形状及び目違い

- 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・堰施設技術基準によるが、ステンレスクラッド鋼の場合は特に品質に与える影響が大きいの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。

たとえば、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整した場合、初層の溶接金属が露出し腐食しやすくなる。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整（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ため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象法で施工する方法があるが、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

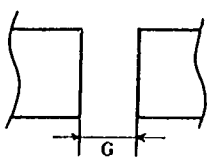
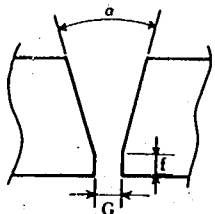
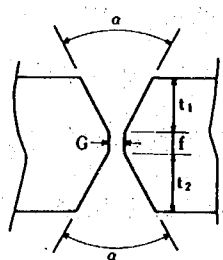
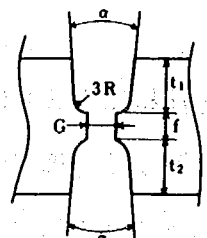
オーステナイト系ステンレス鋼は、低融点金属（亜鉛、すず、鉛等）による溶接割れ感受性が高いので、塗料、油及び粉塵等を除去し溶接することが必要である。

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には、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		
X		18	2	2	75		
		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
H		25	3	3	60	14	8
		34	3	3	60	21	10
		50	3	3	50	31	16
		34	2	3	12	16	15
		>50	2~4	3	12~30	$\frac{t-f}{2}$	$\frac{t-f}{2}$

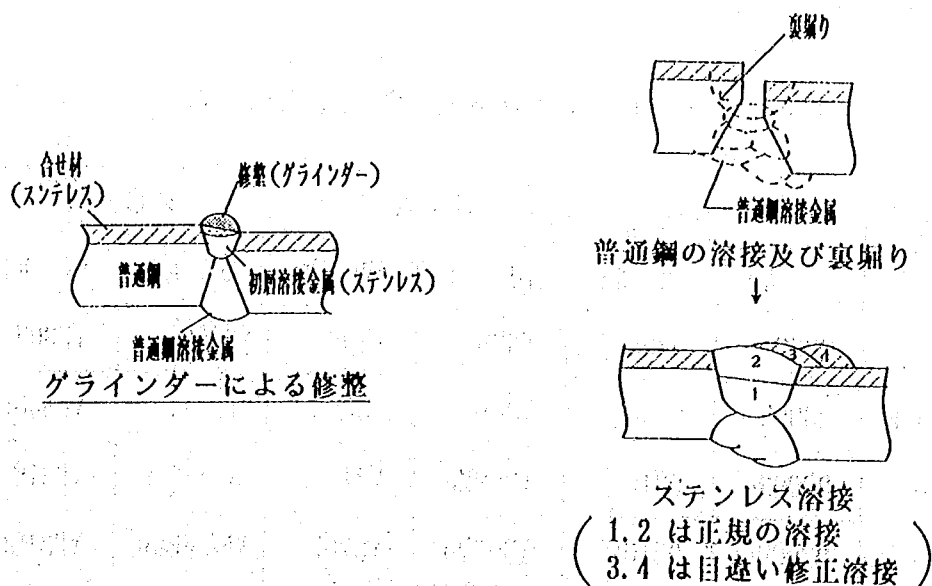
太線内は適正開先形状例

(SAS 801 ステンレス鋼溶接施工基準より)

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より)



図解-4.6 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ければならない。

〔解 説〕

(1)適用溶接材料

使用頻度の高いステンレス鋼及び溶接法に対する溶接材料の標準的適用例を表解－4.5及び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、普通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ー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	・SMAW：被覆アーク溶接法 ・GTAW：ティグ溶接法 ・FCAW：フラックス入りワイヤによる溶接
SUS304L	D308L	Y308L	YF308L	
SUS316	D316	Y316	YF316	
SUS316L	D316L	Y316L	YF316L	

表解－4.6 ステンレスクラッド鋼の標準適用溶接材料

溶接法 合せ材の鋼種 積層	SMAW		GTAW		FCAW	
	初 層	残 層	初 層	残 層	初 層	残 層
SUS304	D309	D308	Y309	Y308	YF309	YF308
SUS304L	D309L	D308L	Y309	Y308L	YF309L	YF308L
SUS316	D309Mo	D316	Y309Mo	Y316	YF309Mo	YF316
SUS316L	D309MoL	D316L	Y309Mo	Y316L	YF309MoL	YF316L

4.5.4 溶接施工

(1)予熱及びパス間温度を守らなければならない。

(2)材質・板厚及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)予熱及びパス間温度

1) オーステナイト系ステンレス鋼は、溶接割れ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等においても、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、普通鋼側の溶接において、その材質及び板厚により、溶接割れ防止上、予熱が必要な場合も生じる。しかし、ダムに使用するステンレスクラッド鋼の母材は、引張強さが 50kgf/mm²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普通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、溶接棒メーカー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、前層のスラグ及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及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。最近では、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、普通鋼の溶接完了

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、その上に普通鋼の溶接を行うと、ステンレス鋼を溶融させた普通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必要がある場合は、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、寒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

溶接開先部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 2 m/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、4 m/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は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。

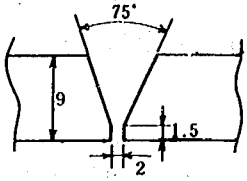
4) 寒冷地

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普通鋼部の溶接では、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。普通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。

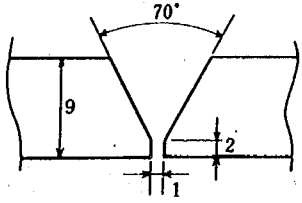
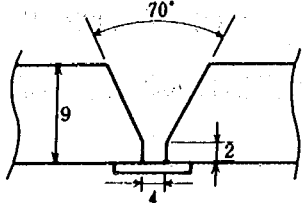
日本においても外気温度が、氷点下に低下することがある。外気温が低いと溶接部の冷却速度が速く、硬化しやすい。そのため、低温割れが生じやすいとされ、気温が5℃以下では普通鋼でも予熱を行うようにしているところもある。

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	100~140	22~26	90~200	3.2~4.0
	V.H.O	4	80~130	20~24	100~120	3.2~4.0

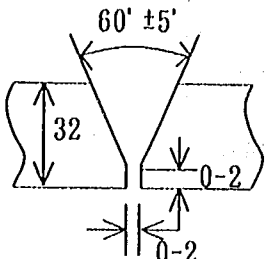
(SAS 801ステンレス鋼溶接施工基準より)

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)	ワイヤ 送 給 (mm/min)	Ar流量 (ℓ/min)
	F	3	200 ~ 270	20~30	300 ~ 600	1.2	6~7	15~30
	F	3	220 ~ 270	20~30	300 ~ 600	1.2	6~7	15~30

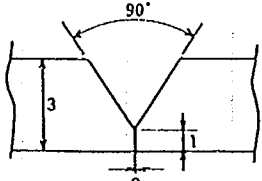
(SAS 801ステンレス鋼溶接施工基準より)

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 1.8

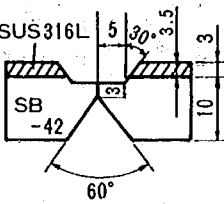
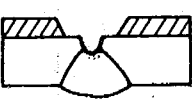
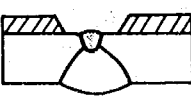
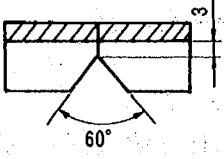
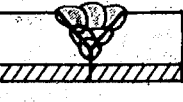
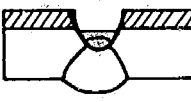
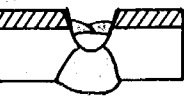
(石川島播磨重工業㈱)

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 (mmφ)	棒径 (mmφ)	Ar (l/min)	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

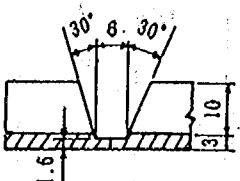
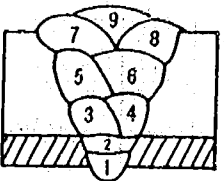
(SAS 801ステンレス鋼溶接施工基準より)

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）

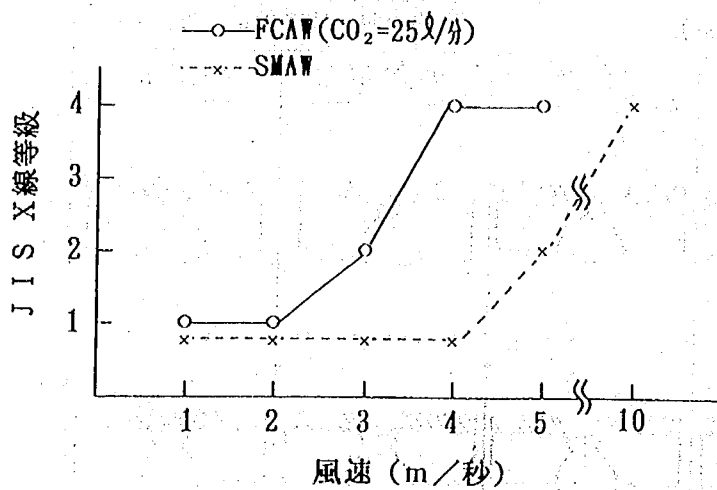
施行順序		母材 (SB 42, 10mm)			合せ材 (SUS 316L, 3mm)	
開先形状		溶接	裏ハツリ	溶接	初層の溶接	残層の溶接
						
						
溶接条件	溶接棒	D4316 (φ4)	① アークエア ガウジング + グラインダー ② グラインダー	D4316 (φ4)	D309Mo (φ4)	D316L (φ4)
	電流 (A)	150~190		160~190	120~150	120~150
	予熱パス間 温度 (°C)	R.T~200		R.T~200	200以下	200以下

(石川島播磨重工業㈱)

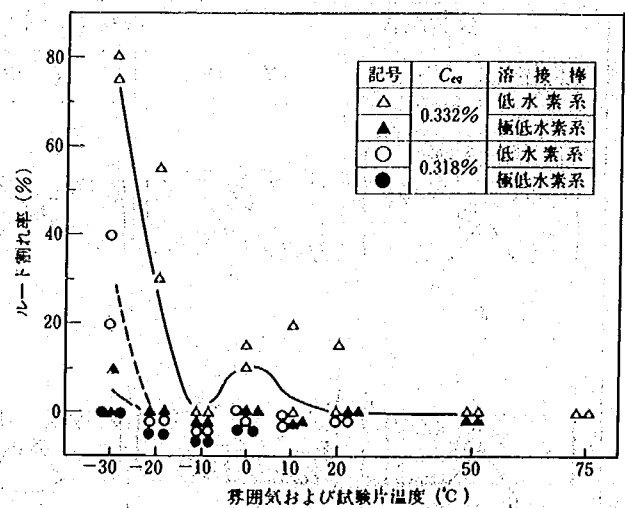
表解-4.12 クラッド鋼のワンサイド溶接条件の一例
(ステンレス溶接材料による施工)

開先形状 積層順序	パス No.	溶接 方法	溶接 材料	溶接 電流
 SUS316L クラッド鋼	1 }	GTAW	Y316L (2.4φ)	120 }
	2			140 A
 積層順序	3 }	SMAW	D309 (4φ)	130 }
	9			150 A

(石川島播磨重工業㈱)



図解-4.8 溶接欠陥と風速の関係
(溶接協会・溶接棒部会資料より)



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

溶接部の品質確保及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

ダム・堰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

溶接残留応力除去及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及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

加工及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) ステンレス鋼と普通鋼の異材継手

ステンレス鋼と普通鋼の異材継手溶接、普通鋼へのステンレス鋼の肉盛溶接及びステンレスクラッド鋼の溶接後の熱処理は、ダム・堰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、普通鋼側からステンレス鋼側へ炭素が移行することにより、普通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) マルテンサイト系及びフェライト系ステンレス鋼

マルテンサイト系及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

熱処理法	項目	目的	加熱温度 (°C)	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	応力除去		870 ~ 900	——
	応力除去		850 ~ 930	安定化鋼の場合 (SUS321, 347)

(溶接・接合便覧等より)

表解-4.14 ステンレス鋼と普通鋼の異材継手
及び普通鋼への肉盛溶接部の溶接後熱処理温度 (°C)
(ステンレスクラッド鋼を含む)

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

(溶接・接合便覧等より)

表解-4.15 マルテンサイト系及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 (°C)
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・接合便覧等より)

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検査及び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・堰施設技術基準に従う。

(1)開先部の検査

1) 溶接開始前に開先面及びその近傍に、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普通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的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。

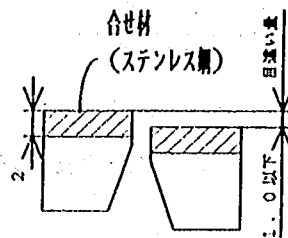
(3)溶接完了後

1) 溶接部及びその近傍に、アンダーカット、スパッタ、汚れなどが目視にて確認する。

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

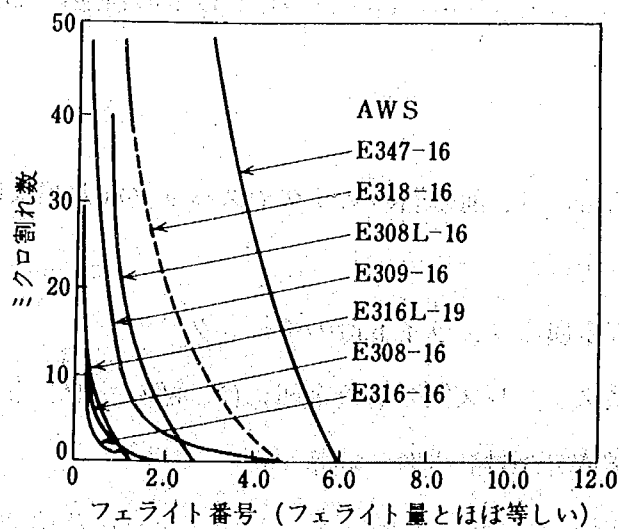
注意が必要である。

3)放射線透過検査 (JIS Z 3104) により、溶接部の検査を行う。



注) 合せ材 2mm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・接合便覧等より)

4.5.7 溶接の欠陥とその対策及び補修

- (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〕

オーステナイト系ステンレス鋼及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、例えばリン(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、図解-4.13に示すようにアーク長が長かったり、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、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、普通鋼とステンレス鋼の異材継手、肉盛り及びステンレスクラッド鋼の溶接において発生する。図解-4.11に示すように、SUS304とSS400(SS41)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40%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、溶接のままだと割れることがあるが、側曲げ試験時の延性低下により割れが発生する。この防止方法としては、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の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、普通鋼溶接棒に比べて湯流れが悪いので、融合不良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、過大な溶着量やウイビングを避けることと、開先や前層ビードを、普通鋼に比べ大き目の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

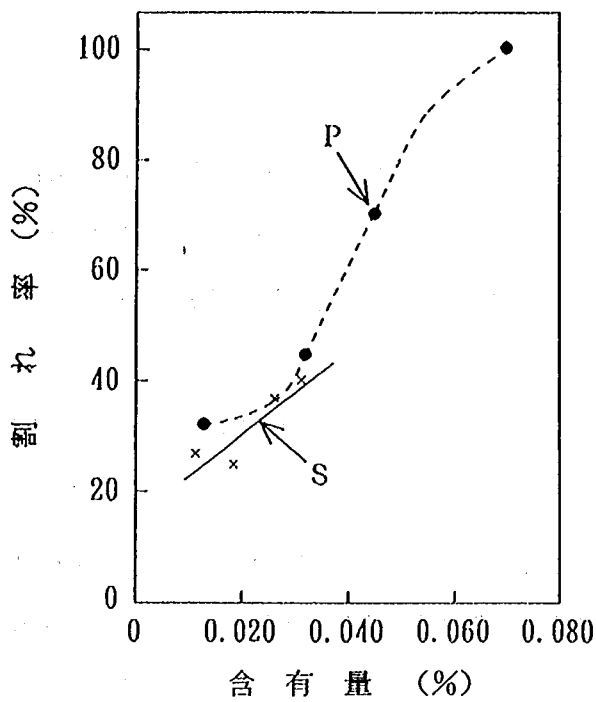
ステンレス鋼は、普通鋼溶接棒に比べてスラグの巻込みが起りやすい。スラグの巻込みは、前層のスラグを完全に除去しないで次層の溶接を行った場合や、溶接条件や運棒操作が悪くてスラグがアークよりも先行するような場合に起りやすい。

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。

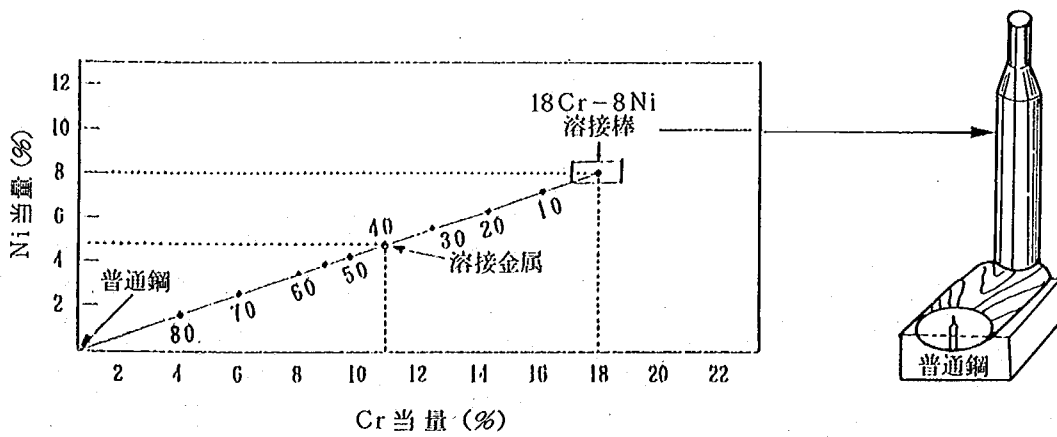
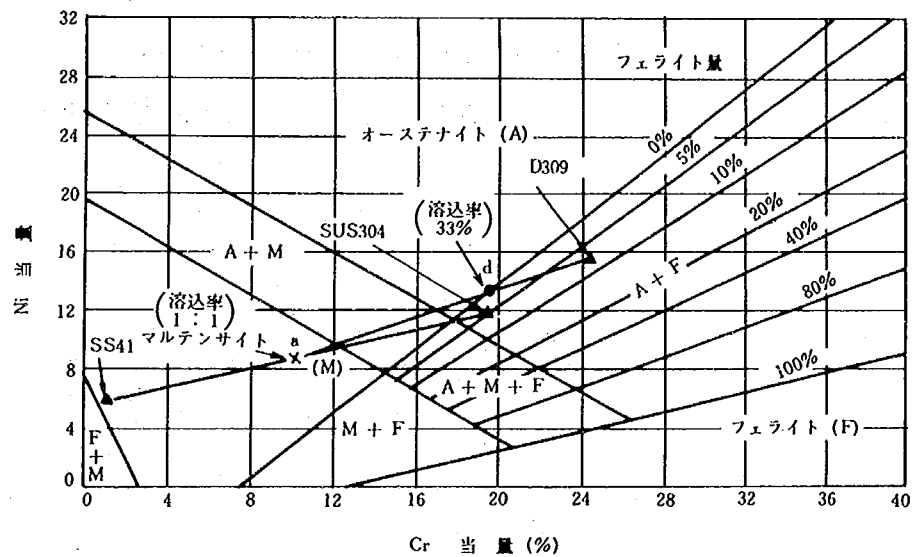
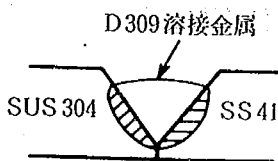
補修の方法は、融合不良の場合と同様である。

(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、普通鋼の溶接の場合と同様であり、防止及び補修の方法は、ダム・堰施設技術基準に準拠して行う。



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)



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

図解-4.13 普通鋼とステンレス鋼の異材継手溶接

(伸鋼, 技術がいどより)

(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) 及び溶接材料 (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。

②SS400, SUS304が均等に溶けると仮定し、SS400 と SUS304 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及び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、溶接継手、母材の種類と板厚及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」及び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）及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、開先溶接継手及びすみ肉溶接継手に区分される。

3) 母材の種類区分

母材の種類は、区分番号P-1（普通鋼）～P-52（チタン及びチタン合金）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、母材の種類区分とはほぼ対応している。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)確認試験及び判定基準

継手の種類に対する試験項目、試験方法及び判定基準を表解-4.16に示す。

表解-4.16 試験方法と適応規格及び判定基準

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	3.0mm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	同左規格値以上 同左規格値以上
	フェライト量試験		JIS Z 0601	当事者間の協議による
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)

4.6 加工後のステンレス材料の表面仕上げ

ステンレス材料は、表面の付着さび、溶接焼け等を除去し、工事完了までの間、普通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)ステンレス鋼の不動態皮膜は、通常的环境（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。ステンレス鋼の不動態皮膜は、塩素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、塩素イオン等が付着するような場所に保管する場合にはシート、カバー等を施し、塩素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。

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、普通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ことが必要である。

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、表面を酸化して不動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。

以上のような方法でステンレス鋼表面を清浄にしても、付近で普通鋼の構造物を掘付けていたりすると、再びもらい錆を受ける恐れがあるので、このような場合には、保護膜を塗付したり、貼ることによってステンレス鋼表面を一時的に保護する必要がある。

4.7 ハンドリング

板材の運搬、部材の組立て、ブロックの移動及び現地据付時のハンドリングは、ステンレス材料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) クレーンなどの吊り作業

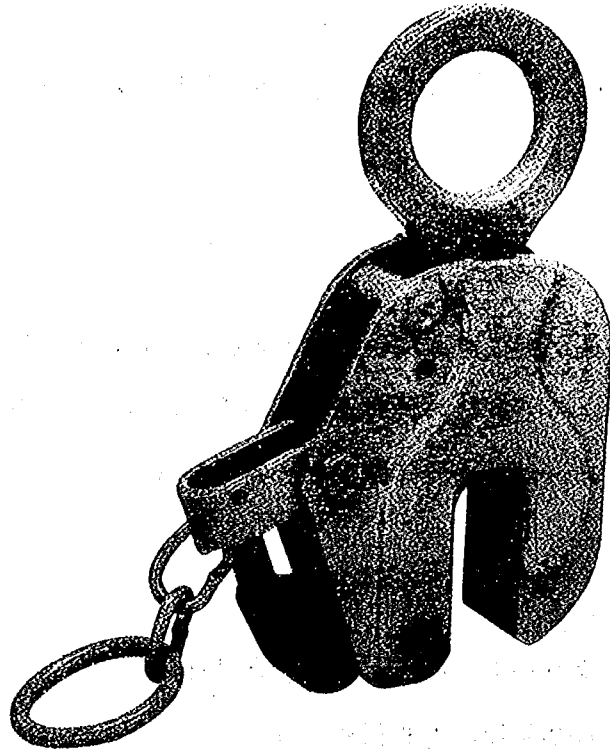
- ①図解-4.14に示すようなクランプは、鋼材表面に著しい傷を与えるので、使用しない。
- ②図解-4.15に示すようなハッカーを使用する場合には、ゴムなどの当て板をしてステンレス鋼表面を傷つけないように保護する。

(2) 部材またはブロックの吊り金具取付け

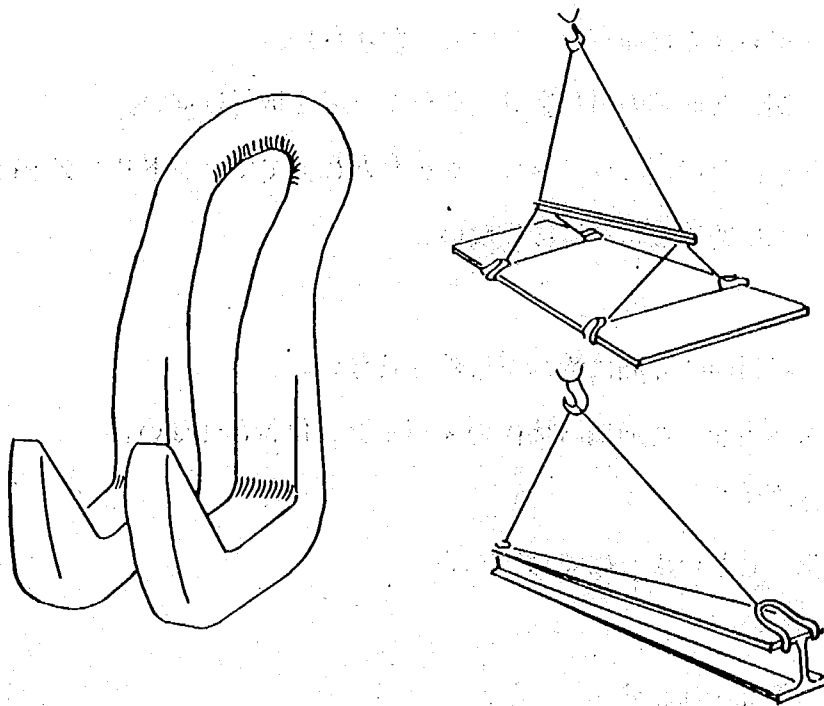
- ①吊り金具のステンレス鋼表面に接触する部分には、ステンレス鋼を使用する。
- ②ステンレスクラッド鋼の場合には、吊り金具をステンレス側に取付けず、母材側に取付ける。なお、構造的にステンレス面に取付けざるを得ない場合には、吊り金具はステンレス鋼とする。
- ③吊り金具を溶接してステンレス面に取付けた場合には、切断時の処理に注意する。グラインダは、普通鋼に使用したものを使用しない。

(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普通鋼を当てない。
- 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り付ける場合には、図解-4.3 に示すように取付け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 据付け施工現場での留意事項

据付け施工現場では、ステンレス鋼材を良好な状態に保持するために、養生などに十分配慮しなければならない。

〔解 説〕

据付け施工現場は、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、十分な配慮が必要である。

(1)留意事項

1) ステンレス鋼表面を清浄にする。

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) 普通鋼を接触させない。

①ステンレス鋼表面に普通鋼の鋼片、番線などを置かない。

②ステンレス鋼表面を普通鋼のワイヤブラシやバフで研磨しない。

③ステンレス鋼表面を普通鋼のハンマでたたかない。

④ステンレス鋼に普通鋼の吊り金具（クランプ）を取付けない。

⑤ステンレス鋼に普通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ステンレス鋼に普通鋼材を溶接しない。

3) 溶接時

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普通鋼溶接棒のスパッタを付着させない。

4) 普通鋼を保護する。

①塗膜を損傷させないようにする。

(2)対策

1) ステンレス鋼面を保護する。

作業に直接関係のない部分は、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面に有機保護塗料を塗布することも有効である。

万が一、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、普通鋼に使用した工具を用いてはならない。すなわち、普通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、新たなもらい錆を生じることになる。

2) 普通鋼を接触させない。

ステンレス鋼表面には、普通鋼の番線、工具、鋼材などを接触させない。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（普通鋼に使用していないステンレス鋼製の工具）を使用する。

据付けのため、一時的に補強材を溶接することがあるが、ステンレス鋼面に普通鋼を溶接してはならない。ステンレス鋼を使用する。

3) 溶接時

ステンレス鋼面にスパッタが付着する恐れがある場合には、スパッタ防止剤を塗布することが一般的である。スパッタが付着してしまった場合には、普通鋼を使用していない工具で丁寧に除去する。

ステンレス材料の開先面に汚れが付着していると、溶接ビードの発錆など溶接欠陥の原因となることがあるので、開先保護剤を塗布することが有効である。

4) 普通鋼を保護する。

普通鋼の塗膜に傷を付けないように十分注意する。塗膜がはく離し普通鋼が露出した場合には、すみやかに補修塗装する。

5. 維持管理

5.1 点検

点検は、ステンレス材料を使用している設備等について、腐食の観点から当該設備等の健全性を診断する目的で行う。

〔解 説〕

(1)点検は、ステンレス材料や普通鋼の腐食及び塗膜など腐食防止の目的で施される被覆材の劣化や損傷を重点に行う。

(2)点検は、あらかじめ当該設備の点検箇所についてチェックシートを作成して記録を保存できるようにすることが望ましい。

(3)点検は、設備の機能維持に主眼を置いて実施する通常の点検や整備と同時期にかつ定期的に行うことが望ましい。

(4)ステンレス材料が関係する腐食には、異種金属接触腐食、すき間腐食及びもらい錆がある。

これらの腐食は、いずれも、没水部や常時湿潤な条件で生じる。

1) 異種金属接触腐食は、没水部においてステンレス材料が普通鋼などと接触している部位に生じやすい。

2) すき間腐食は、没水部においてボルトとワッシャの合せ面、フランジ継手の接合面、軸と軸穴、ゴム押さえ板とゴムの合せ面、ドロ、スライムの付着面周辺や貝などの生物の付着面周辺などに使われているステンレス材料に生じやすい。

3) もらい錆は、溶接スパッタやくぎなどが付着したステンレス材料に生じやすい。

5.1.1 扉体の点検

扉体は、主にステンレス材料の現場溶接部の腐食を点検する。

また、溶接スパッタなどの付着によるもらい錆に起因するステンレス材料の腐食についても点検する。

ローラは、没水部のステンレス材料のすき間部の腐食及び異種金属接触部の普通鋼の腐食を点検する。

〔解 説〕

ステンレス材料は、扉体のスキンプレート、桁、ローラ等を使用されている。スキンプレートは部材が大きいため現場溶接される。現場溶接は、作業環境並びに作業条件が工場溶接に比べて劣悪であるので溶接欠陥が生じやすく、溶接欠陥は腐食の原因となることがあるので、現場溶接部は注意して点検を行う。特に、上向きなどの溶接姿勢で溶接した部分に溶接欠陥が発生しやすいので重点的に点検する。

ローラは、すき間がしやすい構造であることが多いので、ステンレス鋼のすき間部の腐食発生に注意する。また、異種金属が接触しやすい構造であるため異種金属接触による普通鋼材の腐食に注意する。

5.1.2 戸当りの点検

戸当りは、没水部のステンレス材料のすき間腐食及び異種金属接触部の普通鋼の腐食を点検する。

〔解 説〕

ステンレス材料は、戸当り材やローラレール、水密板等に使用されている。戸当り部は、ステンレス材料のすき間腐食が生じやすい構造であるとともに、異種金属が接触しやすい構造であることが多いので、異種金属接触による普通鋼の腐食に注意する。

また、構造上複雑な形状をしている場合が多く目視で観察しにくい部分もあるので、入念に点検する必要がある。

5.1.3 放流管の点検

放流管は、主にステンレス材料の現場溶接部の腐食を点検する。

また、溶接スパッタなどの付着によるもらい錆に起因するステンレス材料の腐食についても点検する。

没水部にステンレス材料と普通鋼を溶接接合している場合は、異種金属接触部の普通鋼の腐食を点検する。

〔解 説〕

ステンレス材料は、放流管の管胴本体、整流板、整流管、空気管、充水管などに使用されている。

管胴本体、整流板、整流管などは、部材が大きいため現場溶接部があるので、溶接欠陥の発生の有無を目視で調査する。

また、部分的にステンレス鋼を使用している場合には、異種金属接触部の普通鋼に腐食が発生しやすいので、普通鋼の腐食発生の有無を目視で調査し明らかな腐食が認められるときは、腐食部分の拡大や腐食深さの進行を経時的に記録するなどの詳細な観察を行う。

5.1.4 その他の設備の点検

その他の設備は、ステンレス材料を使用している部位毎に、現場溶接部の腐食及び、没水部の異種金属接触部の普通鋼の腐食、ステンレス材料のすき間部の腐食を重点に点検する。

〔解 説〕

(1)その他、ステンレス材料を使用している設備としては、選択取水設備の取水塔、スクリーン、開閉装置架台、操作橋、付属設備等がある。

取水塔、スクリーン、開閉装置架台及び操作橋は、扉体、戸当り、開閉装置と一体で機能するものであるので、これらの各施設に準じた点検を行う。

(2)ワイヤーロープは、亜鉛めっき鋼線にグリースを塗布して使用されているのが一般的である。しかし、水没した状態で流水や異物等によりグリースがはく離したり消耗したりすると、戸当りやスキンプレート等に使用されているステンレス材料と亜鉛めっき鋼線との間に異種金属接触による腐食電池を形成し亜鉛めっきが消耗して素線が腐食することがある。

このため、ワイヤーロープは、異種金属接触部の亜鉛の消耗や塗布されたグリースの状態を注意して観察することが必要である。

5.1.5 塗膜の点検

ステンレス材料と普通鋼の溶接接合部に施されている塗装及び没水部の塗装は、塗膜のふくれ、はがれ及びさびの発生について点検する。

〔解 説〕

没水部や常時湿潤な状態など厳しい腐食環境にある放流設備などの塗装及びステンレス材料と普通鋼の溶接接合部の塗装は、点検しにくい部位や薄暗い場所にある場合、ふくれ、はがれ及びさびを見わけにくいことが多いので、十分に注意して点検を行う。

5.2 補修

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さなくてはならない。

〔解 説〕

腐食発生の原因が、溶接欠陥によるものか、異種金属接触腐食によるものか、すき間構造等によるものか明らかにし、原因に適した補修を行う。

また、ステンレス材料と普通鋼が溶接されている部位の塗膜劣化部も適切な補修塗装を施す。

5.2.1 溶接部の補修

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。

欠陥部及びさびはグラインダなどで完全に除去し、クラッド鋼の場合には、さびが普通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、普通鋼の溶接の場合と同様であり、防止及び補修の方法は、ダム・堰施設技術基準に準拠する。

5.2.2 異種金属接触腐食部の補修

ステンレス材料と普通鋼の異種金属接触腐食部の補修は、腐食した普通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い塗装を行う。

〔解 説〕

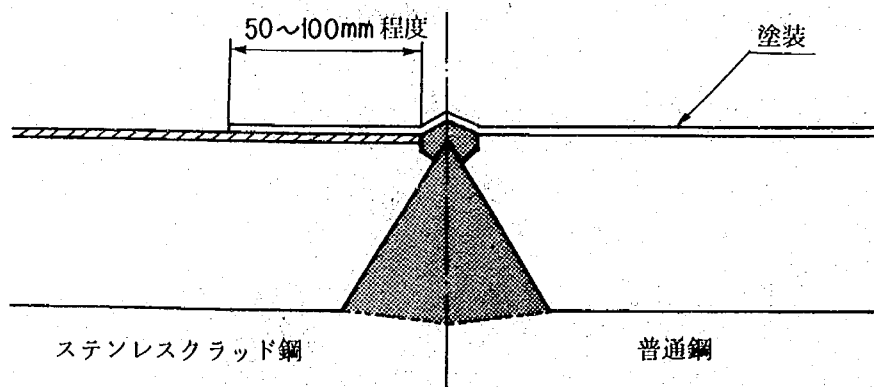
主桁部分など強度の劣化が設備運用上問題になる部分で著しく腐食している場合は、別途検討し十分な補修を行う。

塗装は、図解-5.1 に示すように、普通鋼だけでなく溶接線よりステンレス鋼側に50～100mm程度入った部分まで施すことを原則とする。

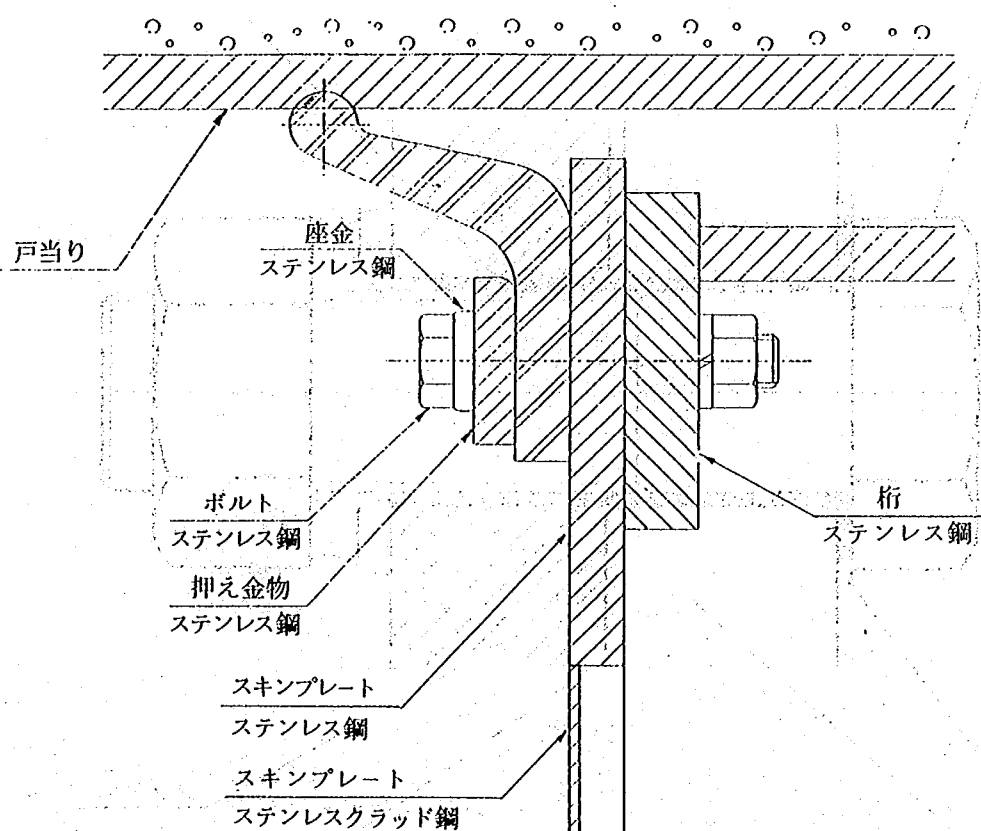
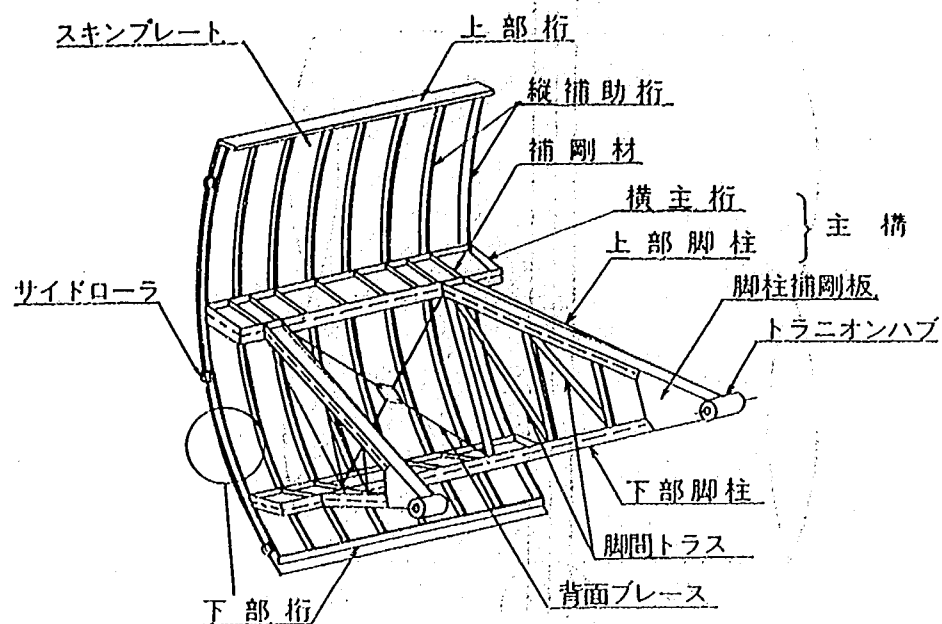
ステンレス鋼を普通鋼や亜鉛めっきボルトでボルト接合している場合、図解-5.2 に示すようにステンレス鋼ボルトに交換することが望ましい。

常時水中にあるステンレス鋼管と普通鋼管とがフランジ接合されている場合、図解-5.3 に示すように接合フランジ間に絶縁性パッキンを挟む。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板端面は、図解-5.4 に示すように、ステンレス鋼板を継ぐ、ステンレス鋼の帯板を取りつける、ステンレス鋼の肉盛りのいずれかの処置を行う。



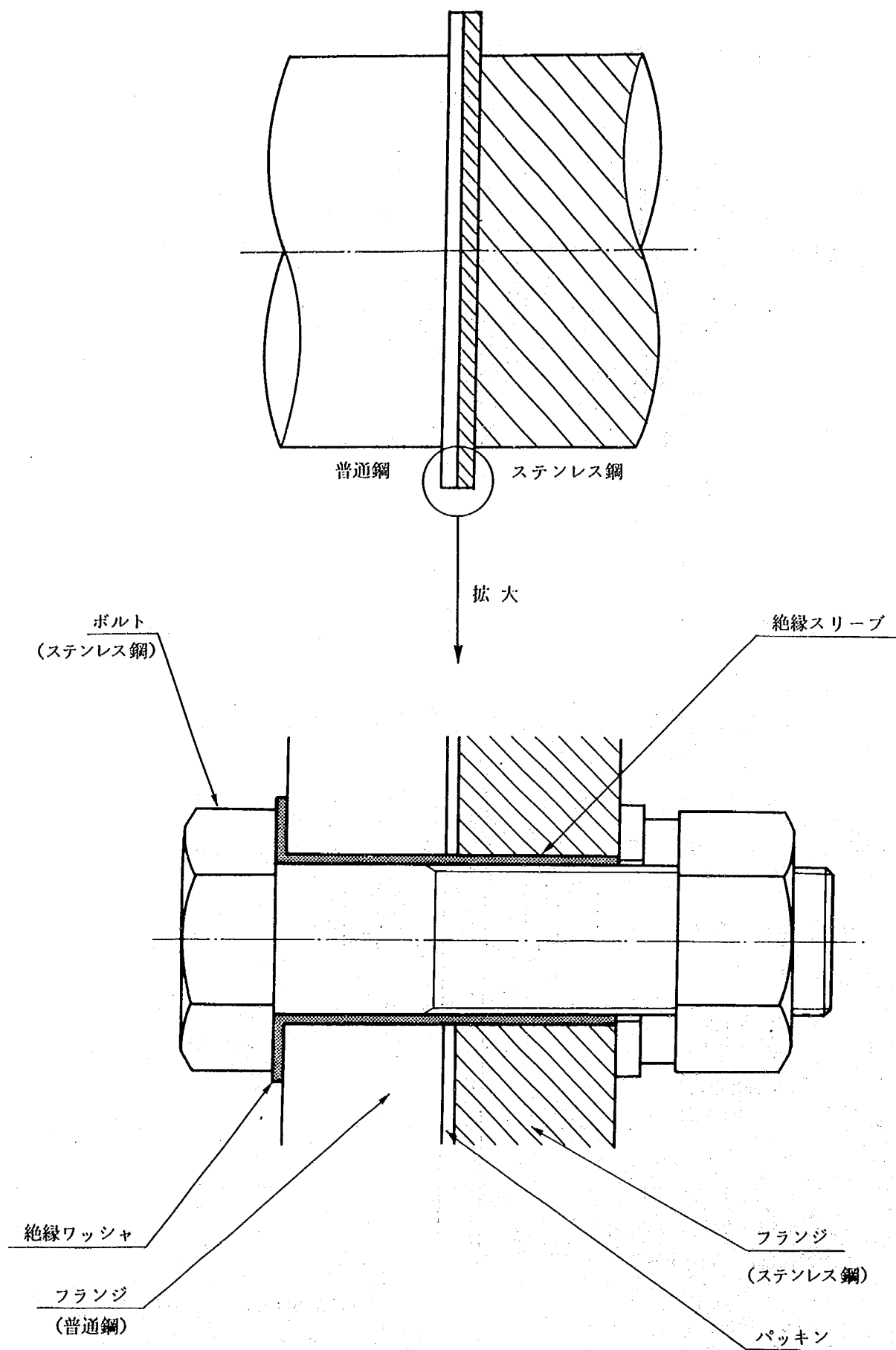
図解-5.1 塗膜の塗り越し



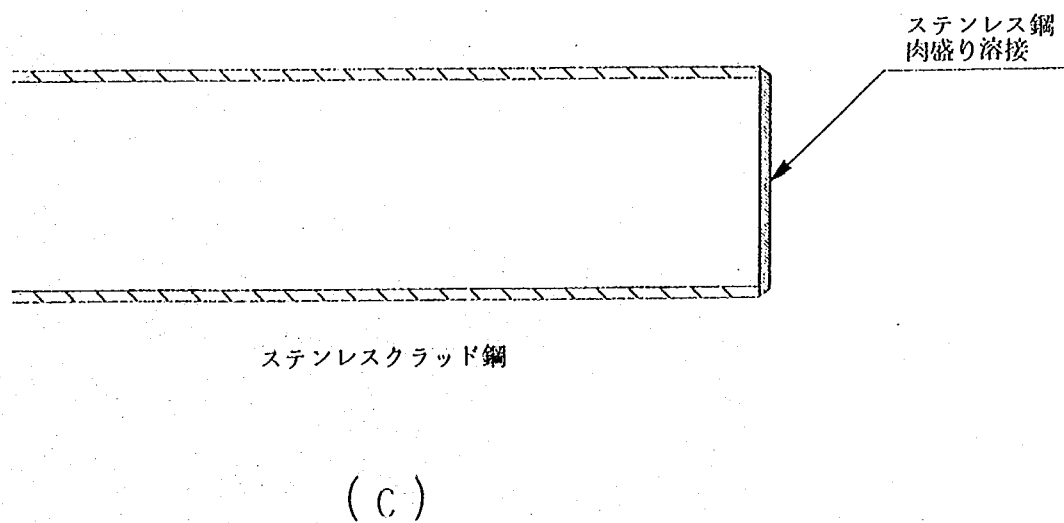
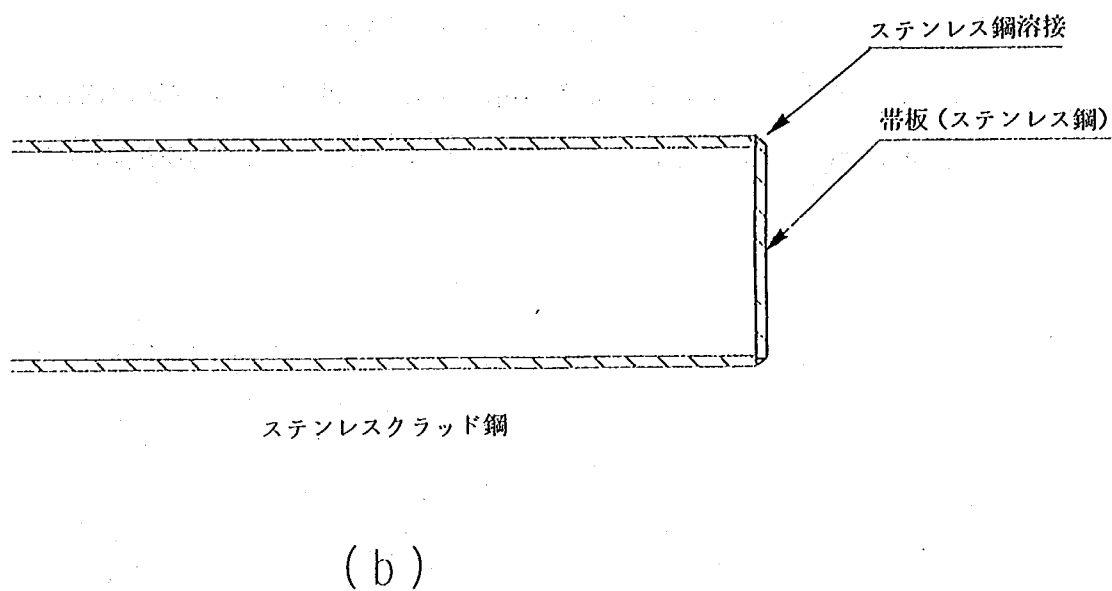
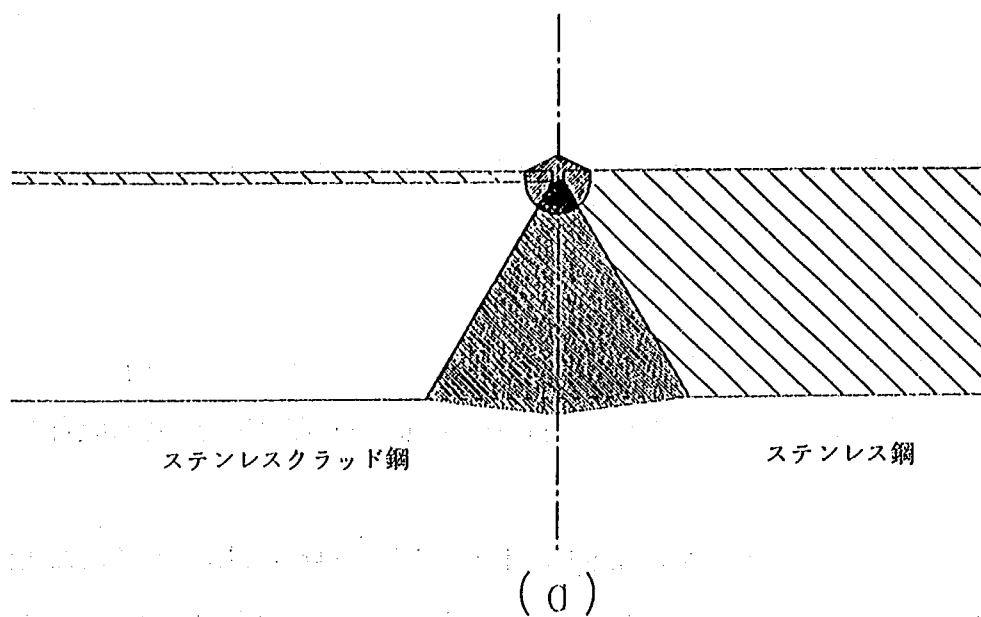
(斜線部はステンレス鋼)

図解-5.2 水門扉側部水密部

(水密ゴム押さえ金物と固定ボルト)



図解-5.3 フランジ接合部の絶縁



図解-5.4 ステンレスクラッド鋼の端面処理

5.2.3 すき間腐食部の補修

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、軸と軸穴及びドロ、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、別途検討し十分な補修を行う。

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することが望ましい。

5.2.4 もらい錆の補修

他の鋼材からのもらい錆は、速やかに除去する。

〔解 説〕

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

このため、ステンレス材料表面に付着した普通鋼より生じたさび汁、普通鋼の接触、鉄粉など
の付着物、溶接スパッターの付着物は、速やかにグラインダーで除去する。

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。

5.2.5 その他の設備の補修

腐食状態及び原因に基づいて適切な補修を行う。

〔解 説〕

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。

腐食したワイヤーロープは、腐食が著しい場合は交換する。なお、ワイヤーロープの腐食防止に用いるグリースは、水没部、大気部等使用環境にあった防錆力、密着性及び作業性の良いものを選定して使用することが必要である。

参考文献

- 1) ステンレス鋼構造設計・施工基準(案)同解説; ステンレス協会, 1989
- 2) 市川他: ダムにおけるステンレス鋼材の利用実態調査報告書; 土木研究所資料第2909号,
平成2年9月
- 3) H. H. Uhlig ; Corrosion Handbook, 1953
- 4) 平井, 迫口: 石川島播磨技報第27巻, 第5号; 昭和62年9月
- 5) 増子: さびのおはなし, 日本規格協会; 1990年
- 6) 小若正倫: 金属の腐食損傷と防食技術; アグネ社
- 7) 幸: 腐食防食協会討論会資料; '91 B-307, P225
- 8) 伊藤: 腐食化学と防食技術; コロナ社
- 9) 片脇, 守屋: コンクリート埋設鉄構造物に関する調査報告書; 土木研究所資料
第3070号, 平成4年1月
- 10) 蓑田, 川嶋他: 亜鉛メッキおよび亜鉛含有塗料による鋼材のぜい化; 石川島播磨技報,
第21巻, 第3号, 昭和56年5月
- 11) 市川他: 放流設備に使用するステンレス材料に関する調査報告書; 土木研究所資料第3165号,
平成5年1月

ダム放流設備へのステンレス材
料適用マニュアル(案)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3156号
平成5年1月(1993)

片 脇 清 , 守 屋 進

要 旨

厳しい腐食環境にあるダム放流設備のメンテナンスを軽減させる目的で、ステンレス材料をダム放流設備に適用する際に必要な留意事項をマニュアルとしてとりまとめたものである。

キーワード：ダム，放流設備，ステンレス材料，腐食防食，メンテナンス



郵便はがき

四十一
年切
手をは
つて
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所
地質化学部化学研究室
行

No. 23

No. 23

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 3156 号 部

ダム放流設備へのステンレス材料適用マニュアル(案)

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印