

# 溶融亜鉛めっき防錆概要

JIS 表示 認証 工場

 田中亜鉛鍍金株式会社

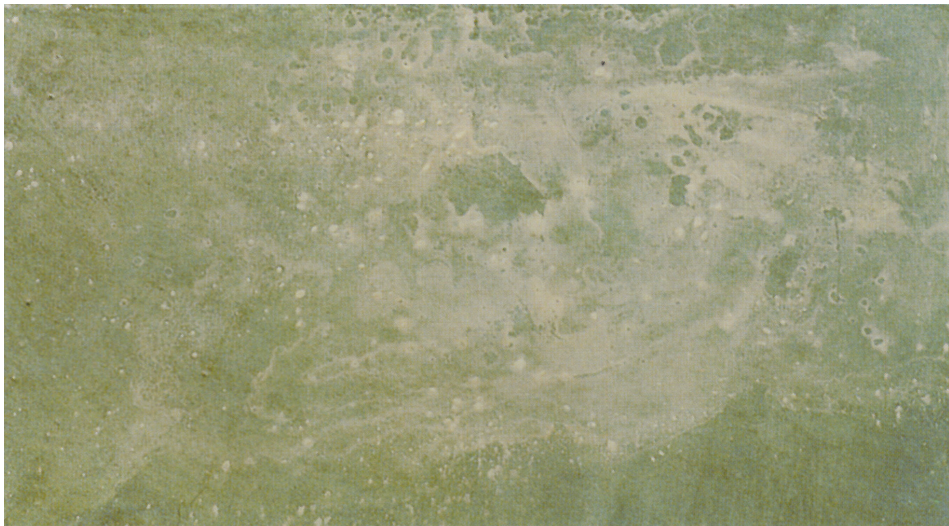
<http://z-mekki.com>



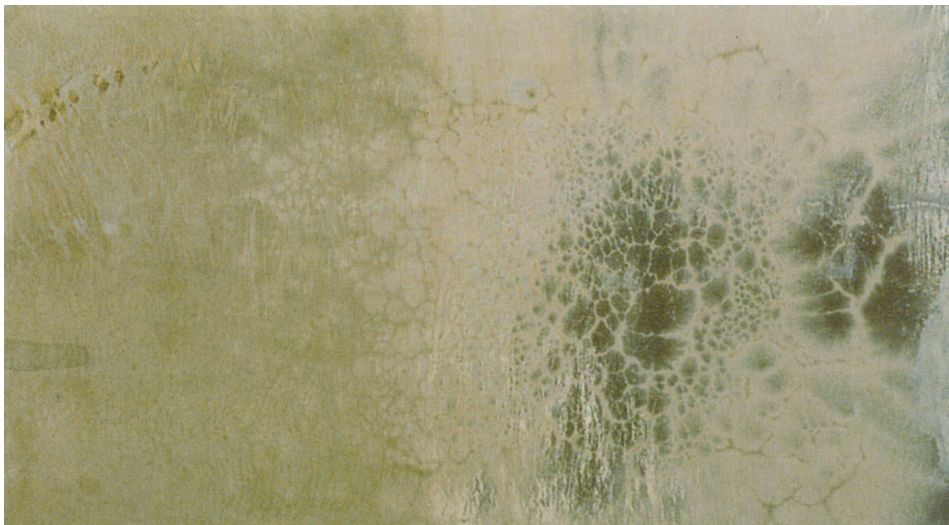
# 熔融亜鉛めっき表面状態



■ 一般的な外観



■ 白さび



■ ヤケ

## 目 次

1. は じ め に .....	1
2. 溶融亜鉛めっきの歴史 .....	1
3. 溶融亜鉛めっき作業工程 .....	1
3-1 前処理工程 .....	2
3-2 溶融亜鉛めっき工程 .....	4
3-3 仕上げ工程 .....	6
4. 溶融亜鉛めっきの防食作用 .....	7
4-1 大気中の耐食性 .....	7
4-2 水中の耐食性 .....	8
4-3 土壌中の耐食性 .....	9
5. 溶融亜鉛めっきと鋼材 .....	10
5-1 溶融亜鉛めっきに用いる鋼材 .....	10
5-2 めっきによる鋼材の変化 .....	11
6. 白 さ び .....	13
6-1 白さびの発生原因 .....	13
6-2 白さびによる腐食量と処置 .....	13
7. や け め っ き .....	13
7-1 やけの発生要因 .....	13
7-2 やけめっきの耐食性 .....	15
8. 溶融亜鉛めっき上の塗装 .....	15
8-1 溶融亜鉛めっき表面状態と塗料の付着性 .....	15
8-2 塗料と塗装方法 .....	16
参 考 文 献 .....	17

# 溶融亜鉛めっき防錆概要

## 1. はじめに

鉄は、近代産業の基礎材料として広く使用され、我々の日常生活からも切りはなすことのできない重要な金属であります。鉄は、加工性に富み、溶接や切削も容易で、しかも高い信頼性のある強度も備えています。

しかし、このような鉄にも“錆る”と言う宿命的な欠点があります。我が国では湿度が高いため錆やすく、沖縄や日本海側のように海塩粒子の影響を強く受ける所では、一段と腐食しやすいという大きな欠点があります。

このような鉄の防錆方法としては、図1のような種々の方法があり、それぞれ用途によってその方法が選ばれています。これまで、一般的には塗装が行なわれていましたが、最近、鉄鋼構造物のメンテナンスが要求されるようになり、溶融亜鉛め

っきがこの要求に合致し、耐食性、経済性にも優れていることから、あらゆる分野に広く利用されるようになっていきます。

例えば土木・建設関係では、橋梁の鋼桁、ダムのスクリーン、落石防止柵、ガードレール、グレーチング、鉄筋(丸棒)、工場建屋、駅舎、立体駐車場など、さらに、農業・漁業関係でも、温室の鉄骨、牛・豚・鶏舎、漁港等の鋼構造物、生簀などに溶融亜鉛めっきが広く採用されています。

## 2. 溶融亜鉛めっきの歴史

溶融亜鉛めっきの歴史は古く、1742年、フランスのMalouinによってその方法が発表され、1836年には同じくフランスのSovelが特許を取得し、パリに於て世界で初めて工業化されました。その後、イギリス、ドイツ、オーストリアとヨーロッパ各地に溶融亜鉛めっき工場が建設されました。

我が国に於ては、1908年(明治41年)弊社田中亜鉛鍍金株が、日本で最初に溶融亜鉛めっきを工業化しました。

## 3. 溶融亜鉛めっき作業工程

溶融亜鉛めっきは、ハンダ付けやろう付けと同じような原理で行われます。ハンダ付けの場合、表面をヤスリやナイフ等で物理的に清浄にし、ペーストを付けた後、ハンダ付けしますが、溶融亜鉛めっきではアルカリや酸により化学的に油や錆を取り除いて清浄な鉄素地にします。さらに、ペーストのかわりにフラックス液に浸漬し、全体をフラックスで覆い、溶融している亜鉛に浸漬します。

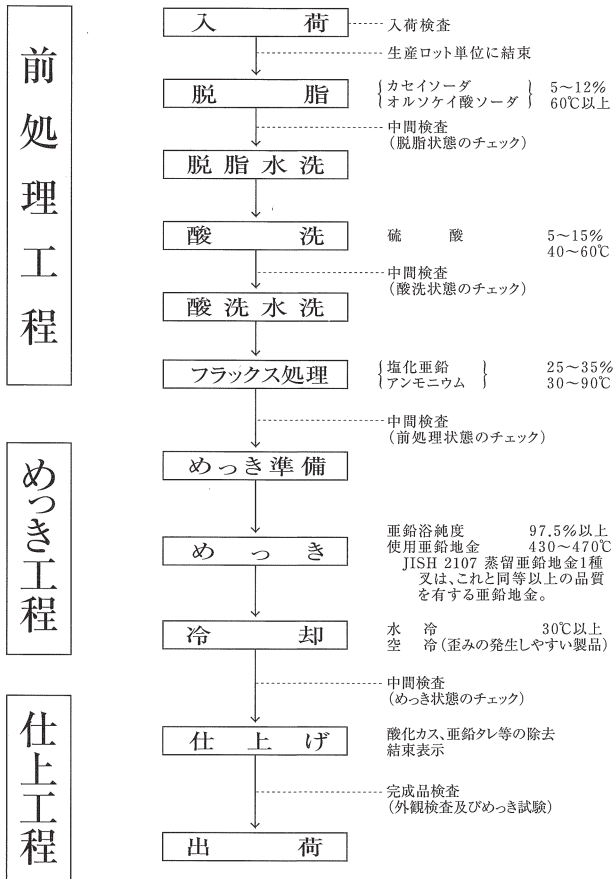
この溶融亜鉛めっきの作業工程は図2に示すよう

図1 金属の防錆方法



に大きく3つの工程に分かれ、前処理工程、めっき工程、仕上げ工程の順に処理されていきます。

図2 溶融亜鉛めっき作業工程



注) 上記の値は管理限界値を示すものであり、必要に応じて上記の範囲内で管理目標値を設定する場合がある。

### 3-1 前処理工程

#### 3-1-1 脱脂処理

素材表面には、加工時に使用されるフォーミング油、切削油等の油脂類や一時防錆のために塗布される防錆油、ワニス等が付着しています。これらの油脂類の付着は、次工程の酸洗作業の妨げとなりますので、完全に除去する必要があります。

脱脂方法には、種々の方法がありますが、溶融亜鉛めっき工程では、アルカリ脱脂が一般的で、経済的にもすぐれた方法です。

アルカリ脱脂液は、カセイソーダ(NaOH)、ケイ酸ソーダ塩類(Na<sub>2</sub>O・nSiO<sub>2</sub>)の混合溶液が使用されます。

素材に付着している油脂類は、カセイソーダと化学反応してケン化し、セッケンになり、水に溶解除去されます。

ケン化反応しない鉱物油は、珪酸ソーダ塩類の働きにより乳化し、素材表面から離れます。又、塗装されたものでエステル系塗料やフェノール系塗料は、高温のアルカリ溶液により、膨潤して素材表面から離脱します、しかし、エポキシ系やその他の合成樹脂、タール系のは、アルカリ脱脂液で処理できないため、有機溶剤によるか、ブラストのような機械的方法によらねばなりません。

しかし、これらの方法は通常めっき工場では処理できませんので、めっき工場へ持ち込まれる前に処理をしなければなりません。

脱脂が完全に行われているかどうかを水濡れ状態で調べ水洗後、次の酸洗工程に送られます。

#### 3-1-2 酸洗処理

亜鉛めっき皮膜の形成は、単なる亜鉛の素材への物理的な付着ではなく、鉄と亜鉛の合金化反応によるものであります。合金化するためには、素材表面と溶融亜鉛の両者が活性な状態で接触しなければなりません。それには、素材表面と溶融亜鉛との間に介在物、つまり、スケール(Scale)や錆等がなくてはならないのです。そのために、除錆処理として酸洗を行います。

酸洗には、通常は塩酸か硫酸が用いられます。鋳物のような砂かみのある製品には弗酸を用いますが、弗酸は単独では酸洗速度が遅いため、塩酸との混酸で使用されるのが普通です。

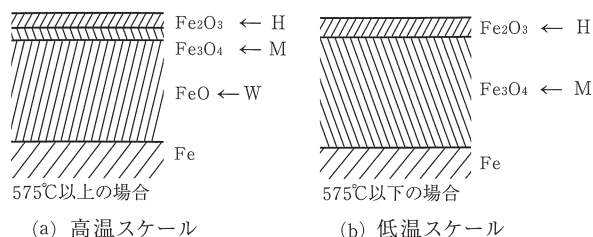
錆やスケールは、一様に見えても実はきわめて複雑な組織をしていて、高い温度雰囲気(575℃以上)で生じる場合と低い温度(575℃以下)で生じる場合では図3のように異なっています。

各組織のうち酸による溶解はW(ウスタイト)層が比較的溶け易く、M(マグネタイト)層はやや溶けにくく、H(ヘマタイト)層は難溶性であります。

酸洗の際、例えば硫酸では、表面の錆層から順次

溶解されて鋼素地に及ぶのではなく、酸が錆層のクラックから侵入し、W層あるいは鋼面に到達して、これらを溶解します。また、この時発生する水素がスの圧力も手伝って、錆層を剥離し除錆を促進します。したがって、難溶性のM層、H層が上層にあっても影響はありません。

図3 酸洗処理



H：酸化第二鉄 (Hematite)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
M：四三酸化鉄 (Magnetite)Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>  
W：酸化第一鉄 (Wustite)FeO

高温で厚く形成されたスケールや低温でも圧延加工されながらできたスケールは空隙やクラックが多く、酸洗時に酸洗液が内部へ到達し易くなりますが、これ等に比べ低温で焼鈍などした場合は薄いスケールでもクラックがないため酸洗時間が長くなる場合があります。

酸洗に用いられる酸は先に述べたように塩酸か硫酸が作業性、経済性の両面から広く利用され、それぞれ特長があり使い分けられています。その特長は表1のようになり、酸洗時間は素材の錆の状態により大きく異なりますが、酸の濃度、温度の影響も受けます。

表1 硫酸と塩酸との酸洗比較

項目	硫酸酸洗	塩酸酸洗
標準酸洗濃度・温度	5～15%・40～60℃	5～15%・常温
標準酸洗時間	20～60min	20～60min
酸洗後の鉄地肌の色	スマットの付着により黒ずんでみえる。	灰色または白色
酸濃度がうすくなった場合の処理	追酸することが出来るが鉄分濃度が高くなれば更新	原則として追酸(汚染が著しくなれば更新)
作業環境	水蒸気の発生	塩化水素ガスによる刺激臭
その他	酸洗に慣れを要す 工場建家の腐食が少ない	酸洗終点がわかり易い 作業場が腐食性環境になる

### 3-1-3 ブラスト処理

高張力鋼や、ばね鋼のように酸洗によって水素を吸蔵しやすい鋼材は、水素脆性をさけるため酸洗による除錆を避け、ブラストなどによる物理的な方法を用なければなりません。また、通常の化学的な脱脂、酸洗処理で処理することのできない塗膜や深い錆のあるもの、錆の深い素材と機械加工された錆のない素材の組合わせのもの、溶接スラッグの付着が多く手作業で除去が困難なものは、ブラスト処理が効果的です。

ブラストの方法にはショットブラスト、グリッドブラスト、サンドブラストがあり、それぞれ素材の大きさ、形状、要求品質(除錆率)により使い分けられます。

ブラスト処理すると鋼材表面が粗くなりめっき皮膜が厚くなります。また、密着性も良くなる傾向にあります。

### 3-1-4 フラックス処理

溶融亜鉛めっきが良好に行われるためには、溶融した亜鉛が清浄な鋼表面と接触しなければなりません。脱脂、酸洗を終えると清浄な鋼表面になりますが、酸洗処理後めっき工程までの間に、わずかに発生する錆が溶融亜鉛との接触を阻害します。また、空気中の酸素と反応してできた酸化亜鉛やその他の酸化物が亜鉛浴表面を覆い、清浄な鋼と溶融亜鉛との接触を妨げます。そこで、酸洗後めっきされるまでの一時防錆の役目を果たすと同時に、これらの酸化物を分解するのがフラックスであります。

フラックスとしては、塩化アンモニウム、あるいは塩化アンモニウムと塩化亜鉛の混合物がこれまで使用されてきましたが、最近ではフラックス効果も高く、めっきまでの一時防錆効果もある塩化亜鉛アンモニウム複塩を使用する傾向にあります。ところが、小物製品や、ボルト・ナットのように手作業によるめっき作業では、乾燥しやすい塩化アンモニウムが単独で使用されています。

フラックス処理は一般に表2のような条件で行なわれています。

表2 フラックス組成と濃度、温度

フラックス組成	濃度 wt%	処理温度
塩化亜鉛アンモニウム $ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$	25%~35%	30℃~90℃
塩化アンモニウム $NH_4Cl$	10%~25%	80℃以上

### 3-2 溶融亜鉛めっき工程

脱脂、酸洗、フラックス処理などの前処理工程を終えた製品は、通常430~470℃前後の溶融した亜鉛浴中に速やかに浸漬し、所定の時間保持します。

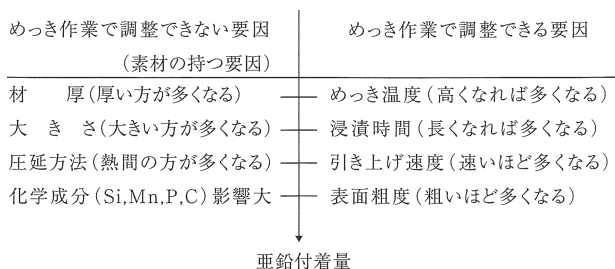
製品を亜鉛浴に浸漬すると、製品に付着している酸化物や汚れが、フラックスの効果により浴面に浮上してきます。製品を亜鉛浴から引き上げる時は、亜鉛浴面に浮遊している酸化亜鉛やフラックス残渣を除去し、清浄な亜鉛浴面から素材を引き上げ、過剰に付着している溶融亜鉛を衝撃や振動を与えて「たれ切り」した後、冷却を行ないます。

溶融亜鉛めっきは、溶融亜鉛と鋼の反応によって形成される合金層と、その上に付着する純亜鉛層からなっています。めっき皮膜の厚さは、鋼材の化学成分や作業条件によって大きく変わります。

#### 3-2-1 亜鉛付着量(めっき皮膜厚さ)のコントロール

溶融亜鉛めっき皮膜の厚さ、つまり、亜鉛付着量をコントロールする要因は、種々ありますが、その主な要因を大別すると、図4のようにめっき作業で調整できる要因と、調整できない要因、すなわち、素材のもつ要因とに分けることができます。

図4 亜鉛付着量に及ぼす要因図



従って、亜鉛付着量をコントロールするためには、図4のような素材の持つ要因を加味しながらめっき条件をコントロールしなければなりません。亜鉛の融点は419.5℃ですが、一般構造物のめっき温度は通常430~470℃の範囲でめっきされます。例えば橋桁のように材厚が厚く大形の素材はめっき操作時間が長くなり亜鉛付着量が多くなる傾向にありますので、めっき温度を低くし亜鉛と鉄の反応を抑えるため440℃前後でめっきされます。

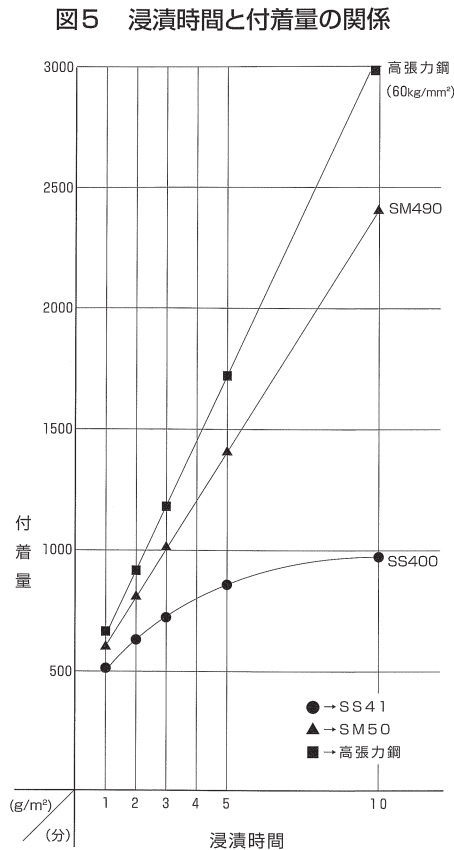
一方、ガードレールのように材厚の薄い(t=3.2~4.0)ものは、亜鉛との反応性が低く高付着量を得にくいので、めっき温度を465℃前後と高くし、浸漬時間も長くします。

#### 3-2-2 めっき温度と浸漬時間

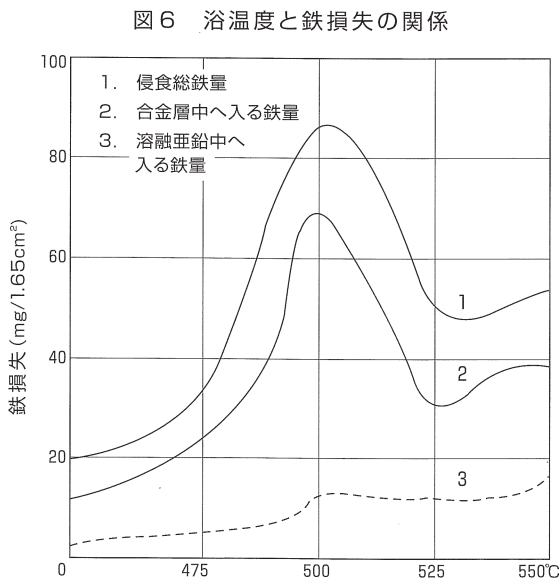
めっき温度は、めっき素材の材質、形状、大きさ及び要求される規格などによって変えなければなりません。ほとんどの場合、430~470℃の範囲に入ります。ただし、ボルトなど特殊なものでは、それ以上の温度でめっきすることもあります。浴温度は、亜鉛浴から製品を引き上げる時の亜鉛の「たれ切り」に支障をきたさない程度に、できるだけ低温に保つことが望まれます。しかし、浴温度が低すぎると溶融亜鉛の流動性が悪くなるため、たれが多くなります。逆に浴温度が高すぎると、鉄-亜鉛の合金化反応が活発になるため、ドロス、酸化亜鉛の生成が多くなり、めっき槽の寿命も短くなります。また、浴温度が高いと溶融亜鉛の流動性がよくなるとたれが少なくなりますが、合金層は厚く発達し、亜鉛付着量が多くなります。めっき皮膜厚さは、鋼材の材質、浸漬時間などによっても異なりますが、一般に浴温が10℃上がれば50g/m<sup>2</sup>ぐらいの付着量が多くなるといわれています。

また、浸漬時間を長くすれば亜鉛の付着量は多くなります。通常の鋼材では、浸漬時間が長くなると合金層が厚くなりますが、その増加速度は浸漬時間が長くなるにしたがって小さくなります。しかし、マンガン(Mn)、ケイ素(Si)の多い高張力鋼は、浸漬時間にほぼ比例して付着量が増大します。各種鋼

材の浸漬時間と付着量の関係について、図5に例を示します。図からSS400, SM490, 高張力鋼では、浸漬時間により付着量に差のあるのが認められます。



また、熔融亜鉛による鉄損失と温度との関係は、図6に示しますように480℃を越えまると鉄損失が急増し、ドロスの生成が著しくなり500℃付近で最大となります。



### 3-2-3 たれ切りと引き上げ速度

製品は、亜鉛浴に所定の時間浸漬された後、清浄にした浴面から徐々に引き上げ、過剰に付着した亜鉛を流し落とします。この時、下方に流れた過剰の亜鉛が、製品表面に局部的に残ったりすることがありますが、そのまま凝固した状態を「たれ」と云います。

一般に、たれの発生しやすい条件は、製品の構造が複雑で亜鉛が流れにくい場合、浴温度が低く亜鉛の流動性が悪い場合、また亜鉛浴からの引き上げ速度が速い場合などであります。

このようなたれを取り除くことを「たれ切り」と云い、製品を亜鉛浴より引き上げる際に傾斜を与え、時には製品に適度な振動を与えたり、あるいは塩化アンモニウムの散布を行って、亜鉛の流れを良くしてたれを切ります。

一般に引き上げ速度は、たれに影響するだけでなく、めっき層中の純亜鉛層の厚さにも影響し、引き上げ速度を遅くすると純亜鉛層は薄くなり、速くすると厚くなります。引き上げ速度は、製品の形状、長さなどによって異なりますが、めっき製品の外観、作業能率を考慮して決めなければなりません。引き上げ速度が速すぎると、余剰の亜鉛が付着してめっき面のたれがはなはだしく、なめらかさがなくなります。また、引き上げ速度が遅すぎると、引き上げ途中で合金層が著しく発達し、いわゆる「やけ」と呼ばれる現象が発生することがあります。

### 3-2-4 めっき浴組成

熔融亜鉛めっきの浴組成も付着量に影響を与えます。

鉄は、浴中に通常0.02~0.08%程度含まれています。この鉄は、含有量が増加すると熔融亜鉛の流動性を害し、めっき付着量を増加させる傾向があります。

浴中の鉛は、亜鉛浴温度における鉛の飽和点近くに溶解しており、だいたい1%前後含まれていますが、めっき付着量に影響はありません。

通常、浴面の酸化防止と製品の光沢を良くする目的で、浴中に添加金属としてアルミニウムを0.001~

0.005%程度添加します。亜鉛浴中のアルミニウムは、めっき付着量に影響を与え、アルミニウムの含有量が0.01%以上になりますと、鉄-亜鉛合金反応を抑制しはじめ、0.1%程度では合金層の発達が著しく低くなるため、めっき付着量が減少します。また、浴中のアルミニウムが0.1%をこえますと、フラックス中の塩素と優先的に反応してアルミニウムの含有量が減少し、同時にフラックス効果を失わせて、不めっきの発生原因になることがあります。

### 3-2-5 冷 却

製品は、亜鉛浴から引き上げ、たれを切った後、冷却されます。冷却には、水冷と空冷の二つの方法があり、通常の製品は30℃以上の温水に浸漬し水冷を行います。しかし、材厚が2.3mm以下の鉄板加工製品や、薄板と形鋼のような材厚の異なる部材同士の溶接構造物など、歪みの発生しやすい製品は、空冷を行う場合があります。ただし、空冷製品は、水冷と比較しますと、水冷による酸化カス等の除去が出来ないため外観が劣ります。また、冷却中に合金層が発達して「やけ」が発生することがあります。

### 3-2-6 亜鉛めっき皮膜の組織

亜鉛めっき皮膜の組織は、純亜鉛層と合金層からなり、写真1のような断面組織になっています。

純亜鉛層の厚さは浴温度、引き上げ角度、引き上げ速度、材質によって変化します。合金層にあつては、特に最近連続鍛造材が多くなり、脱酸剤としてフェロシリコンが多く使われ、鋼中にケイ素が多く含まれるため、合金層の成長が非常に速くなり写真2のような合金層の厚いめっき組織となります。

純亜鉛層のイーター層( $\eta$ )は、表層にあり、軟らかく延性に富み、衝撃エネルギーなどを吸収、分散することができます。

合金層は、鉄素地に最も近いところからガンマー層( $\gamma$ )、デルターワン層( $\delta_1$ )そしてツエーター層( $\zeta$ )の順にあり、鉄素地に近いほど硬く、ガンマー層は素地より硬い場合があります。ツエーター層は、柱状の結晶からなり柱状層とも呼ばれ、合金層の中で最も厚い層であります。このようにめっき皮膜は純亜鉛層と種々の合金層からなり、それぞれの厚さは

先に述べましたように、めっき条件と素材により決まります。

写真1 標準めっき皮膜断面

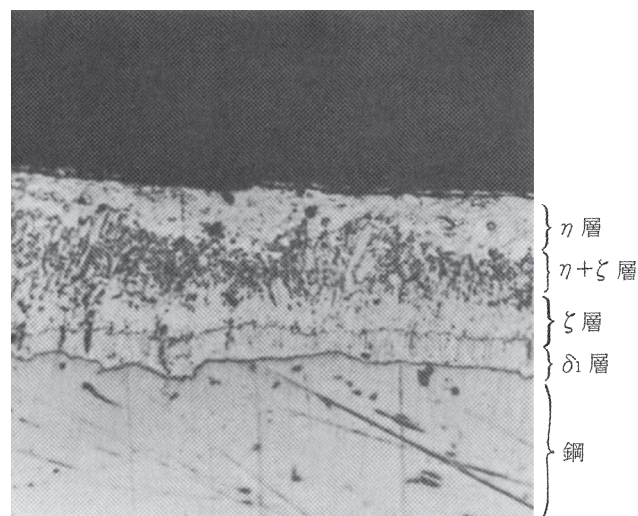
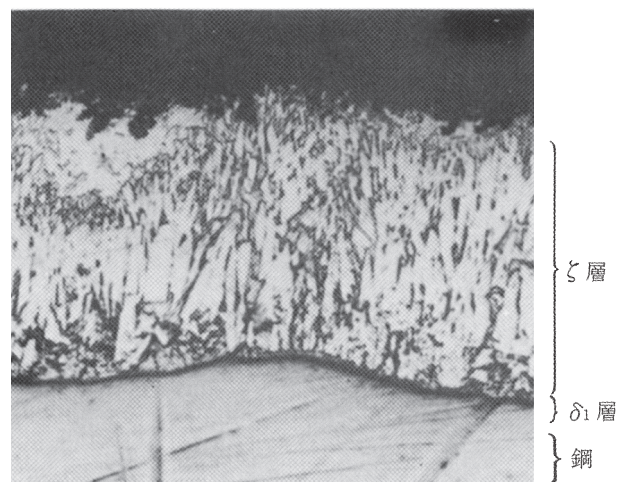


写真2 やけめっき皮膜断面



### 3-3 仕上げ工程

めっきされ冷却を終えた製品は、仕上げ工程に移され、仕上げが行われます。仕上げは、製品端部にできた亜鉛のたれや、不めっき処理された添接部に付着した亜鉛と不めっき剤の残渣、およびボルト孔に溜まった亜鉛、製品表面の極端なざらつきや酸化カス等を、やすりや小型グラインダーなどで除去します。

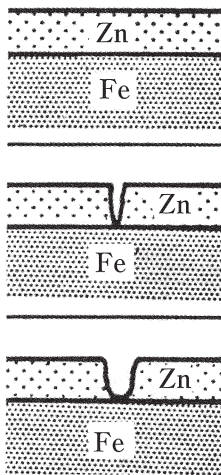
仕上げの仕様は、製品の用途により、事前に当事者間で話し合っ、決めておかなければなりません。一般には、使用上問題がなければ、耐食性という点からは、やすりやグラインダーを用いて亜鉛を除去するような仕上げは避けなければなりません。

## 4. 溶融亜鉛めっきの防食作用

亜鉛は、化学的には非常に活性な両性金属で、本来、腐食しやすい性質を持っていますが、水や酸素と反応して表面に耐食性にすぐれた酸化皮膜を生成し、下地を保護します。また、亜鉛は図7のようにめっき皮膜に傷が付いたり剥離したりして鉄素地が露出しましても、亜鉛の標準電極電位が鉄よりも低いいため、隣接する亜鉛が溶出し鉄の腐食を防ぐという亜鉛特有の防食作用があります。これを亜鉛の犠牲防食作用といいます。ところが、塗装の場合には、図8のように塗膜に傷が付いたり、ピンホールで鉄素地が露出した箇所には、鉄素地表面で局部電池が形成され、鉄の腐食が進行し、さびで塗膜が浮きあがります。

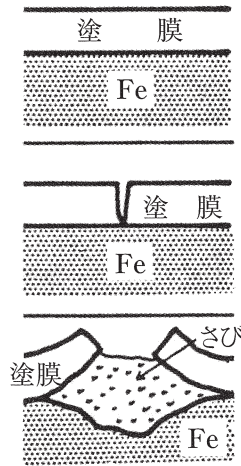
亜鉛めっき皮膜の犠牲防食作用の及ぶ鉄素地の露出部の大きさは、大気中では直径10mm程度<sup>1)</sup>、海中では30mm程度<sup>2)</sup>であります。

図7 亜鉛の犠牲防食作用



亜鉛の犠牲防食作用により鉄は腐食されない。

図8 塗膜欠陥部の腐食



粗い鉄さびにより塗膜が大きく破れ更に腐食が進行する。

### 4-1 大気中の耐食性

大気中に曝露された亜鉛めっき皮膜表面を覆っている腐食性成物は、X線回析による分析の結果、酸化亜鉛(ZnO)や塩基性炭酸亜鉛(Zn<sub>5</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>·4ZnO·CO<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O)等から成っていることが確認されています。<sup>1)</sup>

大気汚染物質の少ない田園地帯や山間部では、これらの酸化物がめっき皮膜を保護するため、腐食は非常にゆるやかになっています。しかしながら、工業地帯や海岸地帯では亜硫酸ガスや海塩粒子等の汚染物質で保護皮膜の形成が妨げられるため、腐食は田園地帯に比べて速く進みます。このように大気中の亜鉛の耐食性は環境によって異なります。

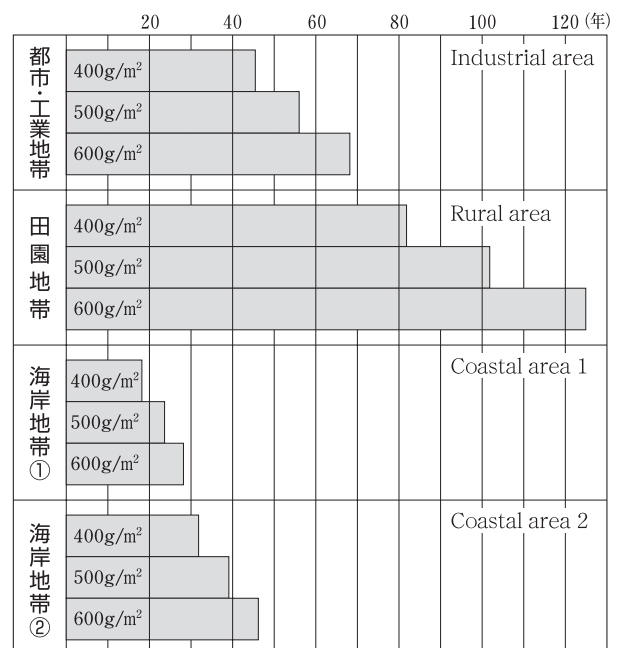
(社)日本溶融亜鉛鍍金協会が腐食環境の異なる各地域で行った大気曝露試験の結果を表3に示します。これより、付着量とその耐用年数の関係は図9のようになり、めっきの耐用年数は、同一環境下ではその付着量にほぼ比例することがわかります。

表3 溶融亜鉛めっきの推定耐用年数

めっき 付着量 曝露環境	推定耐用年数(年)			年間腐食減量 (g/m <sup>2</sup> /年)
	400g/m <sup>2</sup>	500g/m <sup>2</sup>	600g/m <sup>2</sup>	
都市・工業地帯(横浜)	45	56	68	8.0
田園地帯(奈良)	82	102	123	4.4
海岸地帯(沖縄①)	18	23	28	19.6
海岸地帯(沖縄②)	32	39	47	11.4

注)1. 上記の数値は(社)日本溶融亜鉛鍍金協会(曝露期間:平成4年3月~平成14年3月)の資料に基づき計算した値です。  
2. 推定耐用年数は、めっき皮膜の90%が消耗するまでの期間です。  
3. 沖縄①:大平洋側、沖縄②:東シナ海側

図9 推定耐用年数



亜鉛の腐食は、大気中の汚染物質の一つである硫黄酸化物によって促進され、重工業地帯の亜鉛の腐食速度は、横浜市における昭和39年～昭和49年の曝露試験に見られるように40.1～40.6g/m<sup>2</sup>/年と、田園地帯の5.2～5.4g/m<sup>2</sup>/年や都市地帯の17.5～17.7g/m<sup>2</sup>/年に比べて大きな値でした。ところが、わが国の工業地帯では大気汚染に対する公害規制が効を奏し、昭和43年をピークに大気中の硫黄酸化物が激減し、(社)日本溶融亜鉛鍍金協会が平成4年から開始した同じ場所での曝露試験の結果、腐食減量は9.3g/m<sup>2</sup>/年と大幅に減少しています。

#### 4-2 水中の耐食性

水中における溶融亜鉛めっきの実用例としては、水道用亜鉛めっき鋼管をはじめダムスクリーン、水門、灌漑用水溝等があります。水中における亜鉛めっきの耐食性は、水質によって大きく変わり、特にpH、水温、含有塩類、溶在酸素、流速等の影響を大きく受けます。

亜鉛はもともと活性な金属ですが、銅と比べてすぐれた耐食性を示しますのは、大気中と同様に水中においても、亜鉛表面に亜鉛の腐食生成物からなる緻密な保護皮膜を作るからであります。

この皮膜は、図10にみられますようにpH6～12.5が最も安定した領域であり、この領域からはずれて酸性になるほど、また強アルカリ性になるほど亜鉛の腐食は、激しくなります。

亜鉛の水中での腐食は図11に示すように低温から約40℃まではゆるやかですが、これ以上では急に速くなり、65℃で最高となりそれ以上の温度では減少します。<sup>4)</sup>これは、亜鉛表面に形成される保護皮膜の性状が温度によって変わるためです。<sup>5)</sup>したがって、約40℃以上の温水には亜鉛めっきは適さないことがわかります。

水中の含有塩類については、軟水中よりも、カルシウムやマグネシウムの塩類を含有する硬水の方が、亜鉛めっきの耐食性は良く、天然水中での亜鉛の腐食速度は表4<sup>6)</sup>のようになります。水中の溶存酸素は、他の金属と同様に亜鉛の腐食を著しく促進します。<sup>7)</sup>また、水中における亜鉛の耐食性は、流速の影響を受け、流速の増加とともに腐食速度は大きくなりますが、これは静水中と異なり、動水中では表

面への酸素等の腐食因子の供給が速くなるからです。さらに大きな流速になりますと、めっき表面の保護皮膜が機械的に除去されることもあります。

図10 亜鉛腐食に及ぼす水溶液のpH値の影響

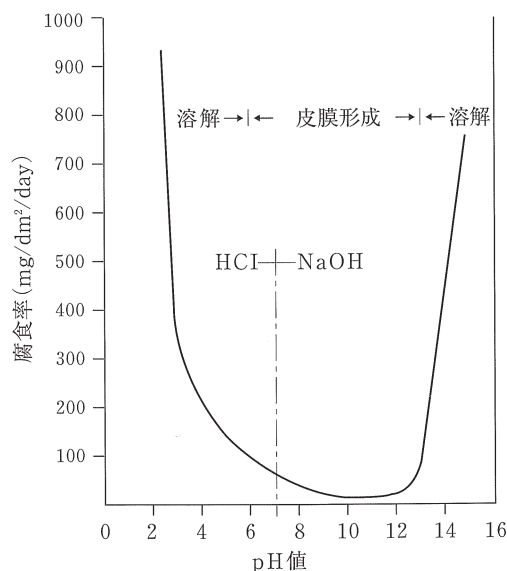


図11 水温と亜鉛の腐食 (蒸留水)

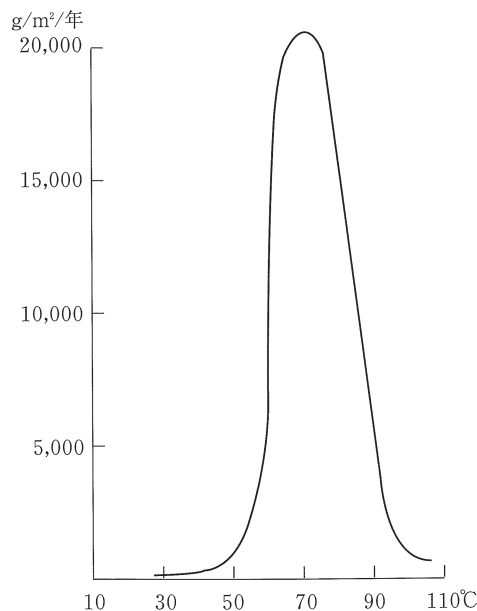


表4 天然淡水中の亜鉛の腐食速度

淡水の種類	材 料	亜鉛の腐食速度		備 考
		g/m <sup>2</sup> /年	μm/年	
蒸 留 水		140	20	静止水
蒸 留 水		180	25	静止水
イオン交換純水		927	137	攪拌133 l/分/m <sup>2</sup>
一 般 軟 水		913	128	一般的な状態
淡 水 硬 水		91	13	一般的な状態
水 道 水		126	18	中硬度の流水
水 道 水	金属板	576	81	塩素処理、硫酸銅
	めっき	450	61	処理水
中 硬 度 水 道 水	金属板	684	96	未処理水
	めっき	432	61	15cm/秒 流水
工 業 用 水 道 水	金属板	1022	144	pH=5.6, 硬度159ppm,
	めっき	1008	142	空調用通風攪拌
工業用水道水		105	15	クロメート処理,空調用
鉱 山 水		200~	28~	pH=8.3, 硬度110~160ppm,
		325	46	わずかに攪拌
湖 水 (パナマ水門)		91	13	5年間の試験
湖 水 (ガツン湖)		95	14	4年間の試験
		77	11	5年間の試験
河 水 (アンバリ河)		972	137	鉄鉱山流水
		1404	197	マンガン鉱山流水
河 水 (西 独)		43	6	硬度152ppm, 実験室静止水

### 4-3 土壌中の耐食性

土中に埋設される金属製品には、水道管やガス管等があり、これらの防食には溶融亜鉛めっきが多く施されています。土壌の種類は、粘土から砂利に至るまで性質の異なる種々のものがあり、土壌腐食は複雑であります。土壌腐食に影響する土の性質としては、溶存イオンの種類、量、pH、比抵抗、多孔性、地中バクテリア、含水量、迷走電流等があり、これらが相互に関連しています。

亜鉛皮膜の土壌中における耐食性には、ケイ酸亜鉛を主成分とする薄膜が役立っているといわれています。<sup>8)</sup> また、土中では酸素濃淡によって鋼には孔食が発生しやすいのですが、亜鉛皮膜には、この孔食を防ぐ効果があります。

土中の亜鉛皮膜の耐食性は、周囲の土壌の性質によって決まり、埋設地域の差が大きくなります。米国の National Bureau of Standards Circular on Underground Corrosionで行われた埋設試験結果を表5<sup>8)</sup>に示します。

亜鉛は、還元性土壌や灰の中にと比べると、酸化性土壌中の方が耐食性にすぐれています。

(社)日本溶融亜鉛鍍金協会が亜鉛めっき試験片を国内18ヶ所に5年間埋設した結果、腐食減量が全国平均を上廻った地域の土壌の性質と腐食減量を表6<sup>9)</sup>に示します。この結果では、土壌の性質と腐食減量との間には明確な関連性はみられませんでした。

ただし、腐食減量の全国平均値は20.6g/m<sup>2</sup>/年となり、亜鉛付着量600g/m<sup>2</sup>とした場合、残りの亜鉛量が10%までに消耗した時点をも寿命とすると、推定耐用年数は25年程度となります。

表5 各種土壌中の溶融亜鉛めっき鋼管の腐食  
公称皮膜重量-3oz/ft<sup>2</sup>(915g/m<sup>2</sup>) (a)

土 壌 の 種 類	下記の期間埋設後の重量損失(oz/ft <sup>2</sup> )と点食の最大深さ(mil)							
	2.1年		4.0年		9.0年		12.7年	
	oz/ft <sup>2</sup>	mil	oz/ft <sup>2</sup>	mil	oz/ft <sup>2</sup>	mil	oz/ft <sup>2</sup>	mil
無機質酸化性酸性土壌								
Cecil粘土 ローム	0.3	9	1.4	6	0.6	<6	0.6	<6
Hagerstown ローム	0.3	<6	1.2	8	0.7	6	0.6	<6
Susquehanna 粘土	1.0	12	2.3	9	0.9	<6	0.8	<6
無機質酸化性アルカリ性土壌								
Chino 沈澱ローム	1.1	<6	2.3	6	1.6	<6	1.1	<6
Mohave の細かな砂利質ローム	1.6	6	3.3	8	1.1	<6	1.1	<6
無機質還元性酸性土壌								
Sharkey 粘土	0.6	6	1.5	12	0.7	<6	1.1	6
Acadia 粘土	3.3	6	-	-	4.8	8	-	-
無機質還元性アルカリ性土壌								
Docas 粘土	3.2	8	1.6	9	1.6	10	1.6	<6
Merced 沈澱ローム	2.1	8	4.5	12	0.1	6	1.3	8
Lake Charles 粘土	3.7	5	3.9	7	5.5	13	13.8	66
有機質還元性酸性土壌								
Carlisle 堆肥	1.2	8	3.4	11	3.0	8	3.4	<6
Tidal 沼地	1.2	<6	2.1	10	2.0	8	4.8	52
堆肥	4.3	13	5.4	21	9.0	64	10.7	76
Rifle 泥炭	4.3	10	7.2	12	19.8	83+	19.5	88
灰								
灰	6.7	62	5.4	45	5.6	21	11.9	48

注：(a)の値は管の片側の皮膜重量である。1oz/ft<sup>2</sup>(305g/m<sup>2</sup>)はだいたい1.72mil(43.7μm)の皮膜の厚さに相当する。

表6 溶融亜鉛めっき試験片の土壌中の腐食減量

No.	土 壌 粒 径 組 成 (%)				土 壌 抽 出 水			減 量 (g/m <sup>2</sup> /Y)	
	土 性	砂	シルト	粘土	PH	含 水 率 (%)	電 気 抵 抗 (Ω)	水 平 平均値以上	垂 直 平均値以上
1	砂 壤 土	82.8	11.6	5.6	6.9	0.9	4000	21.5	25.9
2	砂 壤 土	74.3	13.8	11.9	7.9	19.9	36000	51.5※	40.5※
3	砂 壤 土	79.2	11.3	9.5	7.4	0.7	21000	29.6	32.9
4	シルト質 堆 積 土	28.6	48.0	23.4	6.5	50.6	56000	21.7	-
5	砂質堆積土	67.1	10.1	22.8	6.6	12.4	45000	28.9	37.0
6	重 堆 土	6.6	34.1	59.3	5.6	33.9	24000	28.0	25.4
7	軽 堆 土	41.3	30.1	28.6	7.8	28.0	8100	-	32.3

(注)※ 最大値

## 5. 溶融亜鉛めっきと鋼材

### 5-1 溶融亜鉛めっきに用いる鋼材

#### 5-1-1 材質

溶融亜鉛めっきは、建築鋼構造物に通常使用されている一般構造用圧延鋼材（SS材）、溶接構造用鋼材（SM材）をはじめ鋳鋼（SC材）、鋳鉄（FC材）など多くの鉄鋼材料に施されています。その鋼材の化学成分や製鋼法によっては、鉄-亜鉛の反応速度が異なるため、めっき層の厚み、外観に違いが生じ、場合によっては密着性も低下することがあります。鋼材の化学成分や、製鋼方法による溶融亜鉛めっきへの影響は、次のようになります。

##### (1) 化学成分<sup>10)</sup>

鉄鋼中の化学成分が鉄-亜鉛合金反応に及ぼす影響は、成分の相互作用や、めっき条件でも変化しますが、一般的な傾向は次のようになります。

##### (1) 炭素

一般にめっきを施す鋼材の炭素含有量は、0.04～0.3%程度ありますが、通常、めっきに大きな影響はありません。

##### (2) ケイ素

めっき付着量に対し最も影響の大きい元素であり、一般的には、図14に示しますように含有量が0.03%以下もしくは0.18～0.22%の間以外のものは反応が激しく、異常に厚いめっき層になったり、やけが発生したりします。ただ、ケイ素による影響は他の元素との関係で変化し易く、上述したような傾向はありますが、上記含有量範囲内でも常に良いめっき層になるとは限らず、注意を要します。

##### (3) マンガン

含有量が1.35%以下では影響が小さいが、多くなると合金反応が激しくなり密着性が低下します。

##### (4) リン

含有量が0.02%以下では影響が小さいが、0.08～0.10%の間では合金層が非常に厚くなります。

##### (5) クロム

0.06%以上含有するものは、合金層の厚みは約2倍になります。

一般に使用されている鋼材類の一般構造用鋼材（SS材）、溶接構造用鋼材（SM材）などのうち引張強さ50kgf/mm<sup>2</sup>以下のもの、また配管用炭素鋼鋼管（JIS G3452）などと同等の鋼材は、良好なめっき製品が得られるのが普通であります。しかし鋼材の化学分析値のみから、やけや異常付着の発生について判断すると、応々にして予想に反した結果になることがあります。これは、めっき反応にあずかるのは鋼材表層の10μmくらいであり、この表層と鋼材全体との成分の間に差があるためです。

### (2) 製鋼方法

鋼材の製鋼法による影響は溶鋼の脱酸剤によって差が生じます。脱酸剤はフェロシリコン、アルミニウムが主として使われますが、前者によるものは一般に亜鉛付着量が多くなります。

リムド鋼は、不純物の少ないリム層が表面にあるため、付着量は同一組成のキルド鋼より少なくそのばらつきも小さく、またやけを生じることも稀であります。

セミキルド鋼では、同一インゴット内でも付着量がばらつき易い傾向があります。

シリコン脱酸による連続鑄造法で造られたものは、普通の鑄造法に比べやけ易く、密着性においても劣る傾向にあります。しかし、同じ連続鑄造法でもアルミニウムで脱酸されたものは、このようなことはあまりありません。

#### 5-1-2 素材の表面状態

素材の表面状態によって、めっき製品に異常が発生することがあります。

前処理工程で除去できない異物が付着した素材は、めっきには不適當です。たとえば鋼材の圧延時にできる深いロールきず、2枚板、また鑄造品にできる砂かみ、巣、酸化物の折れ込み、油脂類が含浸したものです。

通常の脱脂作業で除去できない塗料、タール、ピッチなどが付着したものは、溶剤処理、焼却、ブラストなどの特別な処理が必要になります。

また、激しく腐食され、表面が錆で粗面になった素材は滑らかなめっき面にならず、亜鉛の付着量も非常に多くなります。

## 5-2 めっきによる鋼材の変化

### 5-2-1 強度の変化<sup>11)12)13)</sup>

建築には材質として、SS41(旧記号)、SM41、SM50等の鋼材が広く使用されていますが、これらの鋼材はめっきによる機械的強度の変化はない<sup>12)</sup>と云われています。

これは、(社)日本溶融亜鉛鍍金協会と武蔵工業大学の共同研究<sup>13)</sup>によるものでSM41、SM58ともめっき後の引張強さはJIS規格を満足し、素材(めっき前)と比較しても顕著な差は認められず、衝撃試験、曲げ試験においても同様であり、めっきによる影響はないとしています。その内容を以下に示します。

この試験は表7に示すSM41、SM58Qの12mm厚と22mm厚の鋼板によるもので、機械的強度の影響についての結果は、表8、9、10のとおりであります。引張試験では、降伏点、引張強さ、伸び、いずれもめっきの有無、まためっき条件によって有意な差は見い出せません。衝撃値も同様で、-40℃でも靱性破面を呈し、良好な低温靱性を示しました。切欠材の疲れ強さ試験(回転曲げ疲れ試験、2840rpm)による結果を図12、13に示しますがこれもめっきによって特に有意な差は生じませんでした。

いずれにしても60kg/mm<sup>2</sup>程度までの鋼材は、めっきによる強度変化はないと云えます。

表7 供試体の科学成分の一例

鋼種	板厚 mm	化 学 成 分 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	V
SM41A	12.0	0.12	0.22	0.70	0.012	0.018	—	—	—
	22.0	1.10	0.22	0.95	0.013	0.022	—	—	—
JIS規定値		0.23 以下	—	2.5× C以上	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—
SM58Q	12.0	0.13	0.34	1.46	0.014	0.009	—	—	—
	22.0	0.14	0.24	1.32	0.015	0.008	0.13	0.04	0.04
JIS規定値		0.18 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	必要の応じて合金 元素を添加		

表8 SM41(12mm厚)のめっきによる強度変化

試験片 No.	め っ き 条 件				結 果		
	浴温度 (℃)	浸漬時間 (分)	冷却 方法	前処理法	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %
素 材	—	—	—	—	31.8	44.8	29.7
11-1	430	15	水冷	ショット	33.4	45.5	30.2
11-2	450	10	水冷	ショット	34.1	46.3	29.7
11-3	450	5	空冷	ショット	33.9	45.5	30.2
11-4	470	10	空冷	ショット	33.0	45.5	29.8
11-5	430	10	空冷	酸 洗	32.6	45.1	29.0
11-6	450	10	空冷	酸 洗	32.1	44.9	29.7
11-7	450	10	水冷	酸 洗	32.7	46.1	30.0
11-8	470	5	水冷	酸 洗	33.2	46.5	30.8

表9 SM58Q(12mm厚)のめっきによる強度変化

試験片 No.	め っ き 条 件				結 果		
	浴温度 (℃)	浸漬時間 (分)	冷却 方法	前処理法	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %
素 材	—	—	—	—	61.8	66.4	31.5
31-1	430	15	水冷	ショット	62.6	68.4	32.0
31-2	450	10	水冷	ショット	64.2	67.7	31.3
31-3	450	5	空冷	ショット	63.0	66.9	31.0
31-4	470	10	空冷	ショット	63.6	67.6	31.0
31-5	430	10	空冷	酸 洗	61.5	67.1	31.7
31-6	450	10	空冷	酸 洗	62.8	67.2	32.7
31-7	450	10	水冷	酸 洗	62.5	66.8	34.3
31-8	470	5	水冷	酸 洗	62.7	67.7	31.7

表10 SM58Q(22mm厚)のめっきによる強度変化

試験片 No.	め っ き 条 件				結 果		
	浴温度 (℃)	浸漬時間 (分)	冷却 方法	前処理法	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %
素 材	—	—	—	—	60.5	68.2	27.5
41-1	430	15	水冷	ショット	61.9	69.9	27.4
41-2	450	10	水冷	ショット	62.8	70.0	27.5
41-3	450	5	空冷	ショット	60.8	69.0	27.5
41-4	470	10	空冷	ショット	62.6	70.1	26.8
41-5	430	10	空冷	酸 洗	62.7	69.6	26.8
41-6	450	10	空冷	酸 洗	63.0	69.9	27.3
41-7	450	10	水冷	酸 洗	62.5	69.5	27.7
41-8	470	5	水冷	酸 洗	63.2	69.6	28.3

図12 SM41A切欠き試験片の回転曲げ  
疲れ試験結果

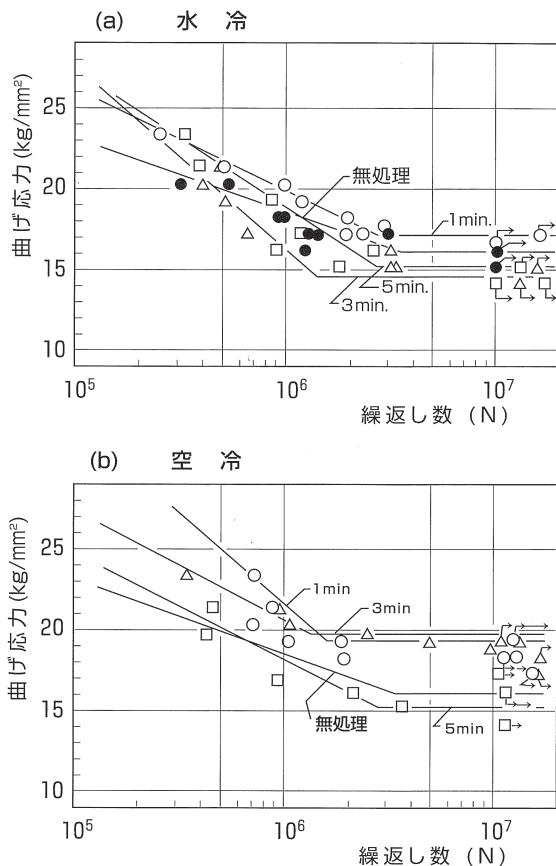
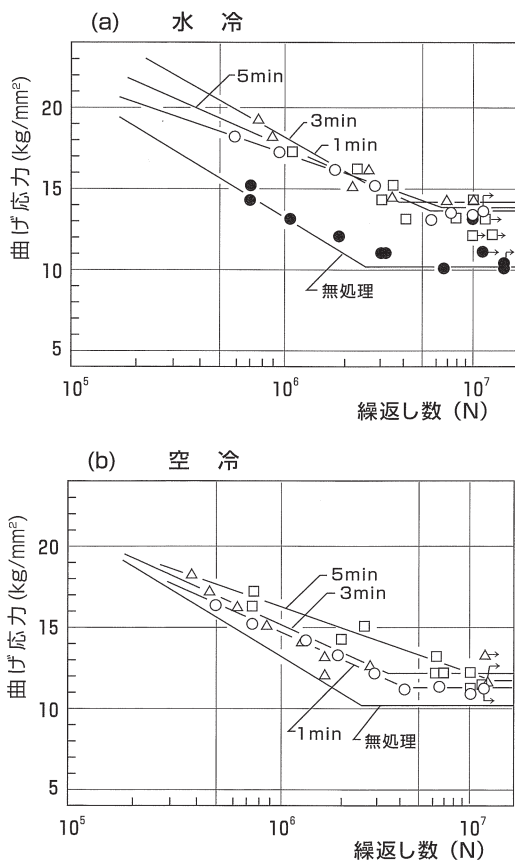


図13 SM58Q切欠き試験片の回転曲げ  
疲れ試験結果



### 5-2-2 水素脆性

水素脆性は、一般に除錆作業に用いられる酸類との反応で起こると云われています。すなわち、めっき前の酸洗時に、鉄と酸とが反応して生じた水素は、一部は分子状態の $H_2$ となりそのまま空中に放出されますが、一部は原子状態の $H$ として鋼表面から内部へ拡散して吸収されます。この水素の侵入が多いほど水素脆性が激しくなり遅れ破壊を起こします。

吸収量は、塩酸、硫酸のいずれの場合も、酸濃度の影響はあまりありませんが、液温が高く、酸洗時間が長くなるに従って多くなります。一般に、水素吸収量は、硫酸の方が塩酸より多いと云われています。

水素脆性を起こしやすい製品は、炭素、ケイ素、マンガンなどの多い高張力鋼などの調質鋼と、冷間で曲げ加工など機械加工されているものに大別されます。

- (1) 調質鋼、高張力鋼、高力ボルトなど硬度が比較的高いもの。
- (2) 冷間加工製品、冷間加工によって加工硬化しているもの（ストレスを内蔵）

一般に脆性を防止する方法としては、

- 1) めっき前にストレスを除去しておく（応力除去焼なまし）
  - 2) 調質鋼の場合は、めっき前の酸洗をショットブラスト、グリッドブラスト、サンドブラスト等に変える。
  - 3) 熱処理品のかたさは、なるべく $HR < 48$ にする。
- などが挙げられます。

特に高力ボルトでは、この問題を重視しています。

### 5-2-3 めっき脆性

鋼構造物に亜鉛めっきを施した場合、溶接熱影響部、冷間加工部に割れを生じる事があり、一般にめっき脆性といわれています。

この現象は、熔融亜鉛浴中での液体金属による固体金属の脆性の一種と考えられています。すなわち、熔融亜鉛浴中で鋼が引張応力を受けた時、鋼の粒界へ亜鉛が拡散により侵入し割れに至るもので、正確

には、溶融亜鉛による液体金属脆化割れと呼ばれています。

この割れは、主に溶接熱影響部及び冷間加工部の硬さ、残留応力に依存し、硬さが硬いほど、また、残留応力が多いほど、発生し易くなりますが、元来硬度の高くない素材(一般のSS材など)ではほとんど問題になる事はありません。

この対策としては、下の2つの方法があります。

- 1) めっき前に焼なまし等で残留応力を除去する。
- 2) 溶接工程で予熱を行い、加工硬化を抑さえる。

## 6. 白さび

### 6-1 白さびの発生原因

溶融亜鉛めっき製品は、めっき直後は金属光沢のある灰白色を呈し、化学的には活性で不安定な状態にあります。めっき製品は、大気に曝されると時間とともに次第に光沢を失い、灰色に変わって行きます。これは、めっき表面が徐々に酸化され、緻密な酸化皮膜が生成されるからです。この酸化皮膜は、水に難容性で大気中では非常に安定な状態にあります。

ところが、溶融亜鉛めっき直後の保管が悪い状態、例えば湿度が高く通気の悪い所や、結露しやすい所、雨水のかかるような所に長時間放置したりしますと、表面の亜鉛が大気中の酸素、湿気(水)、炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)と急激に反応して、白い斑点が発生したり、全面が白粉で覆われたり、甚だしい場合には、めっき表面が黒変することがあります。これを一般に白さびと呼んでいます。

### 6-2 白さびによる腐食量と処置

白さびによる腐食量は、見かけより少なく金属原子が化合物に変化すると嵩ばるため、亜鉛が非常に腐食されたように見られますが、実際に消費された亜鉛は微量で、およそ次のようになっています。

薄い白さび	約0.7g/m <sup>2</sup>
やや白さびの多い状態	約1g/m <sup>2</sup>
全面白さびでひどいもの	約2~4g/m <sup>2</sup>

以上のように腐食量は、通常の製品の亜鉛付着量350~550g/m<sup>2</sup>に対しごく僅かであるため、今後の耐食性を懸念する程ではないと云えます。

白さびが発生した場合の処置として、軽度の白さびであれば、布で拭き取るか、または真鍮ブラシやワイヤブラシで軽くブラッシングすれば除去できます。ヤスリ等で削り落とすことは、亜鉛めっきの耐食性を考慮するとできるだけ避けるべきです。

また、有機酸のような化学薬品により処置する方法もありますが、白さびの溶解と同時にめっき層の亜鉛も溶解するので避けるべきです。

## 7. やけめっき

溶融亜鉛めっき皮膜は、鉄と亜鉛の合金化学反応によって形成され、P6写真1のように合金層と純亜鉛層から成る灰白色の外観を呈するのが一般的ですが、ときには、P6写真2のように合金層がめっき皮膜の表面まで成長し、光沢のない灰色ないしは黒灰色のめっき表面になることがあります。これがやけめっきであります。

### 7-1 やけの発生要因

やけは合金層が成長してめっき皮膜表面に露出する現象でありますから、鉄と亜鉛の合金化学反応に関係し、めっき作業で調整できるものと、調整できないものとに大別することができます。

#### 7-1-1 めっき作業で調整できる要因

##### (1) めっき温度

通常のめっきは430~470℃で行いますが、鉄と亜鉛の合金化学反応は、亜鉛浴の温度が高くなるほど活発になり500℃前後で最大になります。したがって、やけやすい製品は、できるだけ低温でめっきする必要があります。

##### (2) 浸漬時間

浸漬時間が長くなるにつれて、P5図5に示すようにめっき付着量は多くなりますが、その増加

の割合は材質によって異なります。浸漬時間に比例して付着量の増えるS M材や高張力鋼は、やけ易い傾向にあります。

### (3) たれ切り

たれ切りには、亜鉛浴から引き上げた後、振動や軽い衝撃を加える方法と塩化アンモニウムをふりかける方法があります。大形製品の場合は、熱保有量が大きい上にたれ切りにも時間がかかるため、引き上げ後も合金反応が進行し、やけが生じやすくなります。

### (4) 冷却条件

冷却方法には、水冷と空冷の二つの方法があります。水冷の場合には、急冷されるため合金反応は停止し、やけは発生し難いですが、歪の発生しやすい製品等では、空冷されますので、熱保有量の大きいものは空冷中も合金反応が進み、やけを生じることがあります。

## 7-1-2 めっき作業で調整できない要因

### (1) 構造

形状が複雑で亜鉛の流入、流出が困難な場合は、引き上げ操作に時間がかかって空冷と似た条件になり、材厚の厚い製品や材質的に合金反応の速いものは、やけが発生しやすくなります。

### (2) 材質<sup>14)15)</sup>

材質はやけの発生に最も大きな影響を及ぼす要因で、めっき操作では調整できないものです。従来、鋼構造物の鋼種としては、リムド鋼ないしはキャップド鋼が過半数を占めていました。しかし、近年、鉄鋼メーカーでは連続鋳造法の採用が盛んになり、連鋳材の占める割合が高くなっており、また、高張力鋼をはじめとして高い強度の鋼材が開発され、鋼中のケイ素分が多くなる傾向にあります。それに伴い、溶融亜鉛めっき用鋼材も必然的にケイ素分の多い鋼材に置き換えられつつあります。

一般に、リムド鋼やキャップド鋼の溶融亜鉛めっきの皮膜は、光沢のある滑らかな外観を呈しますが、

ケイ素分の多い鋼材に溶融亜鉛めっきを行うと、めっき付着量が多くなると同時にやけが発生しやすくなります。

図14<sup>16)</sup>、図15<sup>16)</sup>はケイ素の含有量と付着量の関係及びやけの関係を示したものです。

図14 Si量と付着量の関係(浸漬時間 120秒)

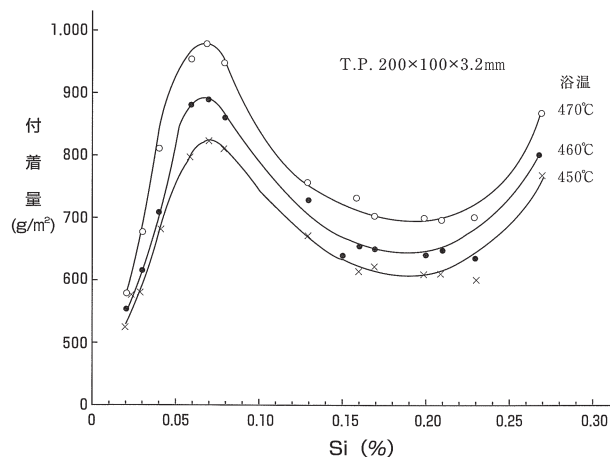
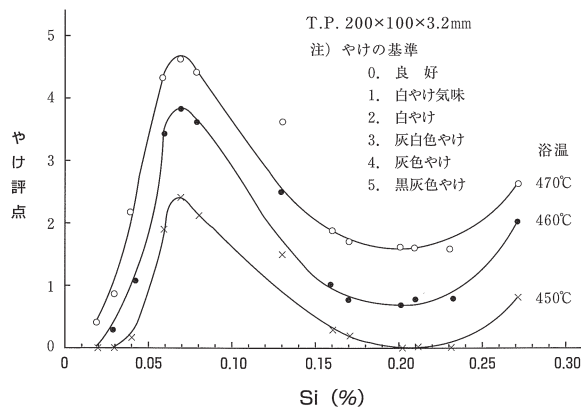


図15 Si量とやけの関係(浸漬時間 120秒)



両図とも同じ傾向を示し、付着量とやけの発生には相関性のあることがわかります。ケイ素の含有量が多くなるほど付着量が多くなりますが、ケイ素の含有量に比例するのではなく、合金反応が非常に促進され付着量が極端に多くなる範囲と、反応が比較的小さく付着量が増えない範囲の存在することがわかります。これが、いわゆるSandelin効果といわれるものです。

めっき付着量及びやけの発生に影響する化学成分としては、ケイ素の次にリンがあげられます。リン

濃度が高くなるにつれてめっき層の厚みも厚くなり、0.08%～0.10%でピークを示し、ケイ素とよく似た傾向を示します。また、リンは合金反応に対するケイ素の促進作用を助長する傾向にあります。

その他にも、5-1-1で述べたように、炭素、マンガン等がめっき付着量及びやけに影響しますが、溶融亜鉛と直接接触する鋼表面の化学成分の濃度、さらに、各成分の相互作用がありますので、鋼材の化学成分分析値のみで、やけ発生の有無を判断する事は、危険であるといえます。

## 7-2 やけめっきの耐食性

純亜鉛層と合金層から成る標準めっきを大気中に曝露しますと、表面に酸化亜鉛や塩基性炭酸亜鉛から成る水に不溶性の極めて緻密な皮膜ができます。これらの皮膜は腐食反応の進行を妨げ、下地を保護します。純亜鉛層がなく、合金層が露出したやけめっきにも、同様に耐食性のある保護皮膜が形成されます。

表11に示しますように、(社)日本溶融亜鉛鍍金協会が行った大気曝露試験でも、やけめっきと標準めっきの耐食性は通常の大気中ではほとんど変わらず、大気汚染の激しい工業地帯では、むしろやけめっきの方が優れていることが確認されています。

表 11 亜鉛めっきの推定耐用年数

めっき 付着量	400 g/m <sup>2</sup>		500 g/m <sup>2</sup>		600 g/m <sup>2</sup>		600 g/m <sup>2</sup> (やけ)	
	腐食量 (g/m <sup>2</sup> /年)	耐用 年数 (年)	腐食量 (g/m <sup>2</sup> /年)	耐用 年数 (年)	腐食量 (g/m <sup>2</sup> /年)	耐用 年数 (年)	腐食量 (g/m <sup>2</sup> /年)	耐用 年数 (年)
大気 曝露環境								
重工業地帯	40.1	9	40.6	11	40.1	13	18.1	30
海岸地帯	10.8	33	10.9	41	10.8	50	11.5	47
郊外地帯	5.4	67	5.2	86	5.2	104	5.2	104
都市地帯	17.5	21	17.7	25	17.7	30	17.5	31

- 備考 1. 上記の数値は、社団法人日本溶融亜鉛鍍金協会による10年間(昭和39年～昭和49年)の大気曝露試験結果から計算した。  
 2. はく露地:重工業地帯は横浜市鶴見工業高校、海岸地帯は伊良湖岬測候所、郊外地帯は奈良気象台、都市地帯は東京大学工学部で試験を行った。  
 3. 推定耐用年数は、めっき皮膜の90%が消耗するまでの期間として示した。

## 8. 溶融亜鉛めっき上の塗装

溶融亜鉛めっきが広く利用されるようになり、「亜鉛めっきに色がつかないか?」「亜鉛めっきがもっと耐食性を持つようにならないか?」などその用途や使用環境などに応じて種々の要望があります。

このような要望を少しでもかなえるのが塗装であり、特に最近、亜鉛めっき後の塗装は一般化しつつあります。当初、亜鉛めっき上の塗装は、付着性が悪く困難とされてきましたが、各塗料メーカーの熱心な研究により多くの実験データが報告されるとともに、塗料や塗装方法が確立されてきました。<sup>17)18)</sup> 溶融亜鉛めっき後塗装される目的を大きく分けると三つのケースがあります。

- 1) 市街地や国立公園などにある鋼構造物で、周囲との環境調和や美観を考慮したとき。
- 2) 送電鉄塔やマイクロ鉄塔で航空安全標識のため法律上、赤白に塗るとき。
- 3) 化学工場や海水飛沫をかぶる海岸のように腐食環境が特に悪い場合で、二重防食方式を採用するとき。

溶融亜鉛めっき上の塗装は、下地が亜鉛であることから、塗料の選択や素地調整並びに塗装方法を比較的安易に考え失敗するケースが多く、昔、街で見かけた亜鉛鉄板の広告看板のように、皮膜が剥離、脱落してしまうことがあります。亜鉛めっき上の塗装は、素地調整から塗料の選択、塗装方法まで十分な配慮が必要で、これを怠ると先に述べたように、早い場合は6ヶ月ぐらいで、ふくれや剥離が見られます。

しかしながら、十分な配慮と管理の下で施工されますと、その塗膜の付着性は良く、長期にわたり期待どおりの効果があります。

### 8-1 溶融亜鉛めっき表面状態と塗料の付着性

溶融亜鉛めっきの表面状態は、めっき直後は非常に光沢のある活性な状態にあります。めっき表面は保管される環境により差はありますが、時間の経過とともに徐々に光沢を失い、酸化皮膜に覆われてきます。また、めっき直後の雨や結露により白さびが発生する場合もあり、亜鉛めっきの表面は常に同一

の状態ではなく、塗装前にその表面状態に応じた素地調整が必要です。素地調整は、塗料の種類によっても変える必要がありますが、概ね次のようになります。

- 1) 素地の油脂、ごみ、砂塵、白さびなど付着物を完全に除去します。
- 2) 素地調整をしためっき面にウオッシュプライマーを薄く塗布することにより付着性が良くなると言われているが、塗布量によってもばらつきが見られるので施行には注意を要します。

最近では付着性の向上を図る為、各社から亜鉛めっき用の塗料に合わせた、専用のプライマーも開発され、より安定した付着性が得られる様になってきています。

- 3) 素地調整の1つとして、工場で行われるリン酸処理による皮膜は安定しており、比較的ばらつきの少ない付着性の良い塗膜が得られるとされています。
- 4) めっき面を粗面にし、アンカー効果を増大させる目的で行われる、ブラスト（スリーブブラスト）処理も、塗膜の付着性を向上させる有効な方法であります。

## 8-2 塗料と塗装方法

亜鉛めっき上の塗料としては、これまで広く鉛酸カルシウムを主顔料とする鉛酸カルシウム系塗料の付着性が良いとされ、ヨーロッパをはじめ我が国でも使用されて来ました。

その後、塩化ゴム系及びエポキシ、ウレタン系が使われ、亜鉛めっき素地と良好な付着性が得られるようになりました。最近では、より耐候性の良いアクリルシリコン系やフッ素樹脂系も開発され、塗料の選択の中が広がって来ています。亜鉛めっき上に塗装した時、早い場合は6ヶ月ぐらいでふくれや剥離を生じることがあります。この原因の一つは、先に述べた素地調整であり、又作業条件（気温、インターバル、塗膜厚）もしばしば原因となる事があるので注意を要しますが、さらには塗料の選択によっても大きな違いが見られます。現時点では各塗料についておおむね下記のような評価が得られています。

- 1) アルキッド系塗料は、塗料成分中の油脂分と亜鉛が反応し、脆く、水溶性の金属せっけんを形成しますので、早期の剥離が発生する危険性があります。

- 2) 最も良く使用されているエポキシ、ウレタン系塗料は、比較的安定した付着性が得られていますが、塗膜の内部応力が他の樹脂と比較して高い為、場合によっては広範囲に剥離することも報告されています。最近ではこれらの欠点を改良した内部応力の緩和型の樹脂組成のものも使用されています。

以上のように製品の使用環境や用途、経済性などを考慮して適切な塗料の選択が必要であります。塗料自体の性能も日進月歩しておりますので、事前に塗料メーカーにお問い合わせされる事をおすすめします。

## 参 考 文 献

- 1) 大気曝露10ヶ年経過報告：田中亜鉛鍍金株式会社
- 2) 海洋曝露5ヶ年経過報告：田中亜鉛鍍金株式会社
- 3) (社)日本溶融亜鉛鍍金協会技術委員会資料
- 4) Roetheli ; Metals and Alloys 3,73-76 (1963)
- 5) Cox. G.L. ; Ind. Eng. Chem. 23,902-94 (1931)
- 6) 亜鉛とその耐食性：日本鉛亜鉛需要研究会
- 7) Corrosion hand book ; 331 (1948)
- 8) Romanoff M. Underground Corrosion, National Bureau of Standards Circular 579,227  
(April 1957)
- 9) 土壌埋設された溶融亜鉛めっき鋼の耐食性調査報告：  
(社)日本溶融亜鉛鍍金協会
- 10) 亜鉛ハンドブック：日本鉛亜鉛需要研究会
- 11) 亜鉛ハンドブック：日本鉛亜鉛需要研究会
- 12) (社)日本溶融亜鉛鍍金協会 低合金高張力鋼の機械的性質に及ぼす溶融亜鉛めっきの影響：鉛と亜鉛  
Vol.59. 5, 1974
- 13) (社)日本溶融亜鉛鍍金協会 低合金高張力鋼の機械的性質に及ぼす溶融亜鉛めっきの影響：鉛と亜鉛  
Vol.74. 11, 1976
- 14) 亜鉛ハンドブック：日本鉛亜鉛需要研究会
- 15) (社)日本溶融亜鉛鍍金協会技術委員会：鉛と亜鉛  
Vol.94. P25 (3,1980)
- 16) (社)日本溶融亜鉛鍍金協会技術委員会：鉛と亜鉛  
Vol.94. P26 (3,1980)
- 17) 溶融亜鉛めっき鋼材の塗装仕様の確立に関する研究報告書：DST研究会
- 18) 溶融亜鉛めっき鋼塗装マニュアル：日本鉛亜鉛需要研究会

MEMO

---



JIS表示認証工場 JQ 0506004



## 田中亜鉛鍍金株式会社

本社・工場 / 〒555-0012 大阪市西淀川区御幣島5丁目1番1号  
TEL. 06-6472-1234  
FAX. 06-6473-2354

尼崎工場 / 〒661-0965 尼崎市次屋2丁目1番57号  
TEL. 06-6499-4614  
FAX. 06-6498-4694

堺工場 / 〒592-8331 堺市西区築港新町3丁27番地の8  
TEL. 072-244-6500  
FAX. 072-247-2227

<https://z-mekki.com>