

鋼構造物の 溶融亜鉛めっきQ&A

——改訂第2版——

監 修

東京都立大学 名誉教授
工学博士 嵯峨 卓郎

亜鉛めっき鋼構造物研究会

鋼構造物の 溶融亜鉛めっきQ&A

——改訂第2版——

監 修

東京都立大学 名誉教授

工学博士 嵯峨 卓郎

亜鉛めっき鋼構造物研究会

改訂第2版の発刊にあたって

溶融亜鉛めっきの普及促進のため、当研究会では「鋼構造物の溶融亜鉛めっき Q & A」初版を昭和55年8月、同改訂版を昭和62年3月に刊行し、需要家各位の好評を得てまいりました。

しかし、当業界を取り巻く環境も大きく変化しており、めっきの経済性、用途等修正の必要なものもあり、この度内容の見直しを行ない改訂第2版を発行することとなりました。

公共投資の増大、社会資本の充実にともない私達の身の回りでは大量の鉄鋼材料が使用されております。この鉄鋼材料をその弱点であるさびから守ることは省資源、省エネルギーという見地から非常に重要なことであり、また昨今の労働力不足等から派生しているメンテナンスフリー化の要求に応える上でも鋼構造物の防錆防食は非常に大切なことです。

このような鉄鋼材料の防錆法として溶融亜鉛めっきは優れた方法であります。私達はこのような溶融亜鉛の普及促進のため、パンフレットの発行、講演会の開催、訪問調査等の活動をしておりますが、その一つとして、本書が需要家各位のお役に立てば幸いです。

平成4年2月

亜鉛めっき鋼構造物研究会

委員長 田 中 忠 男

改訂版の発刊に当って

溶融亜鉛めっきの普及促進のため、当研究会では「鋼構造物の溶融亜鉛めっきQ & A」を昭和55年に発刊しましたが、需要家各位のご好評を賜わり増刷を重ねて参りました。しかし業界をとりまく環境の変化ならびに関連規格の改正などにより、内容の修正が必要となったため今回全面的な見直しを行い改訂版を発行することになりました。

既にご承知のことと存じますが、本研究会は鉄鋼製品の防食技術として最も有効であり、かつ経済的である溶融亜鉛めっきを、大型化する鋼構造物にもご採用頂くことを目的として、(社)鋼材倶楽部、日本鉛亜鉛需要研究会、(社)日本溶融亜鉛鍍金協会の3団体により昭和52年11月に設立されました。

設立当初はその目的に対応して、大型めっき槽に関する技術的諸問題ならびに大型構造物の潜在需要の調査を課題として検討を進めてきましたが、調査の過程で溶融亜鉛めっきに関する需要家各位の認識が十分でないことが分かり、PRの必要性を痛感致しました。このため大型化に関する調査が一段落した昭和55年以降は、Q & A、パンフレット、技術資料などの提供、さらに防錆に関する講演会やキャンペーンの開催により溶融亜鉛めっきの普及活動に全力を挙げて参りました。この結果、需要家各位の溶融亜鉛めっきに対する認識も高まり、広い分野で採用を賜わるようになりました。

特に近年省資源、省エネルギー及び設備の安全性が国家的ニーズとして大きな課題となっておりますが、溶融亜鉛めっき技術の一層の向上に努めこれらニーズにお応えする所存ですので、需要家各位の格段のご愛顧をお願い致しますとともに、本書がいささかでもお役に立てれば幸いです。

昭和62年3月

亜鉛めっき鋼構造物研究会

委員長 伊藤英哉

推薦のことば

鉄はそのすぐれた特性を生かしてあらゆる近代産業に広く用いられており、ことに鋼構造物は新時代の社会開発および建設に不可欠な重要基礎資材としてその需要量は年々増加の一途を辿っている。

このように重宝な鉄鋼材料にも錆が発生しやすいという唯一の問題点がある。ことに資源の少ないわが国においては省資源、省エネルギーということは産業界のあらゆる分野の新技术開発に携わる者への至上命令となっているので、各種防錆方法を比較検討するのはまことに意義深いことである。

本書は鋼構造物の防錆方法のうちで経済的にも機能的にも最も効果的であるといわれている溶融亜鉛めっきについての解説がなされているものである。すなわち、溶融亜鉛めっき工学の難しい基礎理論を学理的な正確さを期しながら、しかもきわめて平易に要領よく取りまとめるとともに各種鋼構造物の溶融亜鉛めっきについて実施例の一端を取り上げ、その効果が具体的に述べられている。したがって材料設計工学の立場から適材を適所に使用するという点に十分留意しつつ本書を活用すれば、より経済的な材料およびめっき技術の開発が期待できると信じる。なお技術の進歩とともに、さらに質問事項が追加され、本書がますます有意義なガイドブックとして利用されるよう念願する次第である。

昭和55年7月

東京都立大学 名誉教授

工学博士 嵯峨卓郎

序

鉄はあらゆる産業の基礎資材として広く使用されている。これは鉄の持っている、強度の高さ、溶接や切断などの加工の容易さなどの数々の長所によるが、鉄には「錆る」という宿命的な問題点がある。特に日本のように高温多湿な気象条件と島国であるため海塩粒子の影響を受けやすいことは、鉄にとっては不利な要因となっている。

鋼構造物の防食法に関しては、従来から鋭意研究開発が進められて来たが、その中の有力な方法として溶融亜鉛めっきがある。溶融亜鉛めっきされる鋼材には鋼管などの単材もあるが、一般には溶接加工された鋼構造物が主体である。構造物が大型化して来ると、必然的にめっき槽も大型のものが要求されるようになった。社団法人鋼材倶楽部では、昭和53年度から土木専門委員会の下部組織として「亜鉛めっき鋼構造物研究会」を設立し、(社)鋼材倶楽部、日本鉛亜鉛需要研究会、(社)日本溶融亜鉛鍍金協会の3団体のメンバーで委員会を組織して、大型めっき槽関連の調査研究を開始したが、同研究会の需要開発分科会の技術グループでは、昭和54年度の活動の一つとして、鋼構造物の溶融亜鉛めっきに関するQ & Aを作成した。

これは、前年度のアンケート結果や追跡調査、技術説明会を通じて、まだ溶融亜鉛めっきに関する需要家の認識が十分でないことを痛感したからであり、溶融亜鉛めっきに関する基本的な事項を質疑応答の形でまとめてみた次第である。

本書の監修は、東京都立大学名誉教授 嵯峨卓郎殿にお願いし、御指導を受けている。

本書が今後の溶融亜鉛めっきの需要拡大にいささかでも役立てることを期待している。

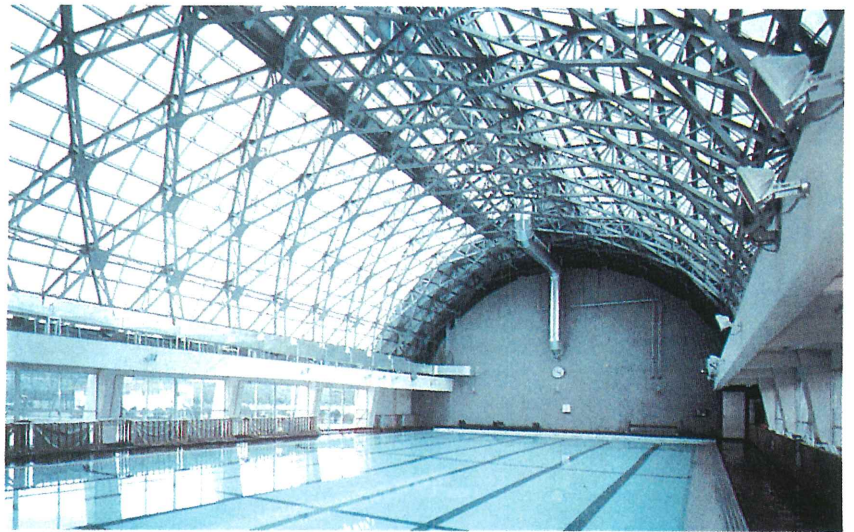
昭和55年7月

亜鉛めっき鋼構造物研究会
委員長 坂本 望

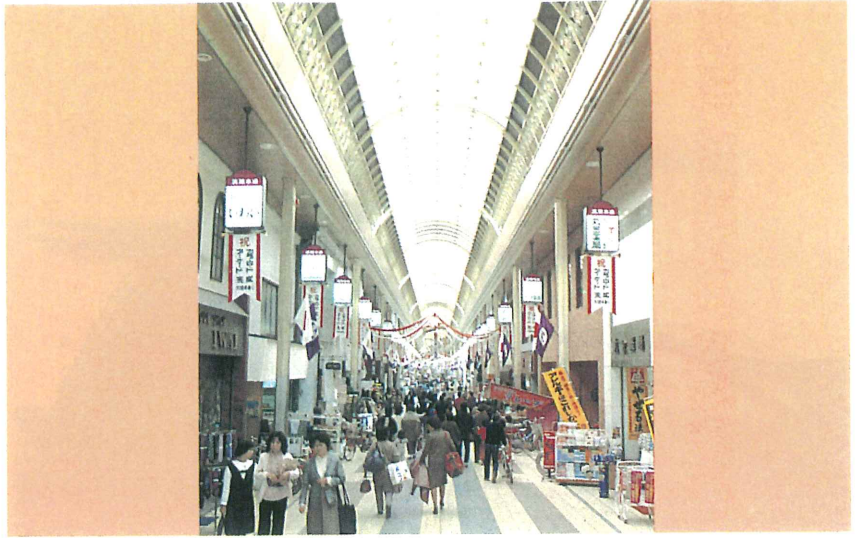
大型亜鉛めっき鋼構造物の実施例



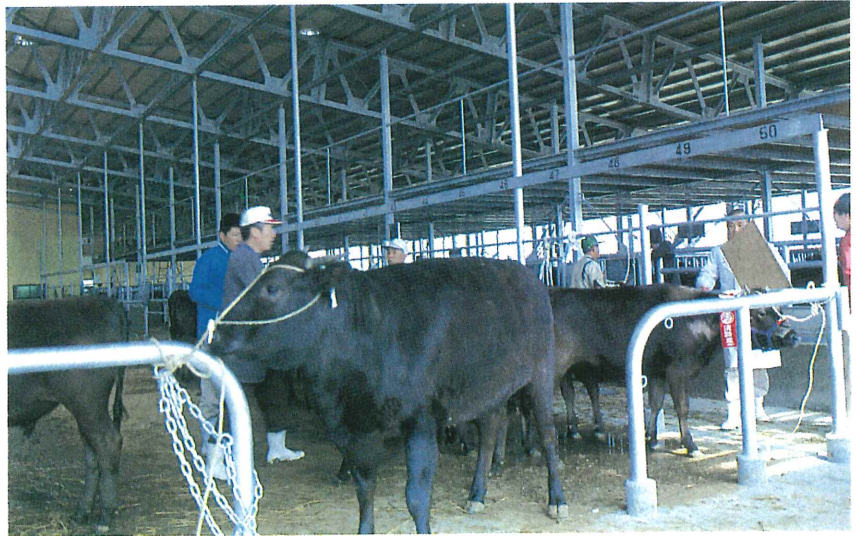
海岸近くに建てられた貯炭所上屋



青森県総合運動公園屋内プール



天理市のアーケード



淡路島の家畜市場



駅前大型デパート非常用階段



上越新幹線新潟車輛基地



本四連絡橋管理路仮組



新潟県六日町地内に設置された雪崩減勢杭

目次

基礎編

- Q 1 金属はなぜさびる？ 2
- Q 2 鉄の防食をするには？ 4
- Q 3 亜鉛めっきの耐食性の特徴は？ 5
- Q 4 亜鉛めっきの環境別耐用年数は？ 7
- Q 5 亜鉛めっきが有利な点は？ 13
- Q 6 亜鉛めっきと塗装との経済性を比較すると？ 15
- Q 7 どんな素材でもめっきできる？ 19
- Q 8 亜鉛めっきの皮膜厚さは？ 20
- Q 9 亜鉛めっきの工程は？ 21
- Q10 亜鉛めっきした部分の組織は？ 22
- Q11 亜鉛めっきによって鋼材の性質に
変化をきたすことはない？ 24
- Q12 亜鉛めっきの用途は？ 25
- Q13 亜鉛めっきによる大型構造物の実例は？ 27
- Q14 亜鉛めっき工場は何社くらい？ 28
- Q15 亜鉛めっき鋼材の使用によって
二次公害を起こすことは？ 29

実務編

- Q16 めっき構造物の設計上注意する点は？ 32
- Q17 溶融亜鉛めっきした高力ボルトに問題は
ないか？ 38

Q18	ボルト接合部の設計は？	39
Q19	亜鉛めっきした鋼材は溶接できる？	41
Q20	亜鉛めっき鉄筋は使用できる？	43
Q21	亜鉛めっきによる歪発生を最小にするには？ また、鋼材の形状による違いは？	44
Q22	亜鉛めっきによる歪を取る方法は？	46
Q23	部分的にめっきをしない個所をつくることはできる？	47
Q24	溶接部にも充分な亜鉛付着量のめっきができる？	48
Q25	ボルトやナットの亜鉛付着量は？	49
Q26	亜鉛めっき後の曲げ加工は？	50
Q27	亜鉛めっき表面に発生する「白さび」とは？	51
Q28	「やけ」「たれ」「かす」とは？	52
Q29	亜鉛めっき表面が光沢を失ったり、 光沢にばらつきがあるのはなぜ？	54
Q30	着色亜鉛めっきはできる？	55
Q31	亜鉛めっき皮膜の補修は？	56
Q32	亜鉛めっき表面に塗装はできる？	57
Q33	亜鉛めっきの規格は？	59
Q34	亜鉛めっきにはどんな検査がある？	62
Q35	亜鉛めっき構造物の検収方法は？	63

参考資料

基礎編

Q 1. 金属はなぜさびる？

A 金属は、固有の優れた性質を持っていますが、天然には普通金属単体としては存在せず、酸化物や硫化物などの安定な化合物として存在しています。これを鉱石といいます。長い歴史の中で、人間は鉱石から金属を作り出す知識を得、多大な労力とエネルギーを費して鉄、銅、亜鉛、アルミニウムなどの金属を作り出し利用しています。

しかし大気中に金属をさらしておくと鉄は赤さびを生じ、銅は緑青を生じ、亜鉛、アルミニウムは白さびを生じます。

これは、金属自体が常に水分、炭酸ガス、酸素などにより元の安定した酸化物などの化合物の状態に戻ろうとする性質を持っているからです。その結果生ずるものが、「さび」です。

ところで金属にはそれぞれ固有の特性がありますが、その一つとして、金属をある溶液中に入れると、金属が陽イオンとなって溶液中に溶け出し、いく傾向があります。これをイオン化傾向といいます。主要な元素について陽イオンになりやすい順に示すと、次のようになります。

イオン化傾向

(イオン化しやすい) K>Mg>Al>Mn>Zn>Cr>Fe>Co>Ni>Sn>Pb>(H)>Cu>Ag>Pt>Au (イオン化し難い)
--

金属が陽イオンになることは一種のさびることであり、上表から鉄(Fe)はマグネシウム(Mg)より、また金(Au)は鉄よりもイオン化しにくく、いかにえればさびにくいということがわかります。

さて、金属の腐食形態には、水分を伴う電気化学的腐食と水分を伴わないその他の腐食があります。電気化学的腐食とは、金属が雨、海水、結露などによってぬれたり、その他の電解質と作用したときに非金属性の化合物に変化する現象で、一般的には金属腐食の大半がこれに相当します。

またその他の腐食には、高温または常温における金属の酸化，硫化，窒化現象などの化学的腐食(乾食)，バクテリアなどによる生物学的腐食などがあります。

インドのさびない記念碑

インドのデリーにはチャンドラーという王様のことを記した鉄製のクタツブ・ミナルの記念碑がある。

これは直径40cm、長さ10m(地上部約7m)の円柱で約1700年前にできたものである。表面は黒褐色で文字も絵も明瞭で赤さびは全くない。製造当初の大気環境及び今までの曝露環境とも湿気が少なく清浄なためと思われる。

(「鉄のさび」山本洋一)



Q 2. 鉄の防食をするには？

A 構造用材料の中で、鉄鋼材料は最も重要な地位をしめていますが、通常の環境においては鉄は非常にさびやすいものなので、防食処置を施して使うことが望まれます。

ところで、一般的に腐食を抑制する方法として、原理的には次の4つの方法が考えられます。

- A 電解質を材料から遮断する。
- B 鉄または被覆材表面に耐食性の不働態又は安定な腐食生成物を形成させる。
- C 素材の局部電池の発生を減少させる。
- D 環境を腐食性の少ない状態に変化させる。

一般の防食法は上記の4つをうまく組合せたものですが、それを分類してみると、次のようになります。

防 食 法		分 類				
分 類	方 法	A	B	C	D	
素 材 の 改 質	ステンレス鋼		○			
	耐 候 性 鋼		○			
表 面 被 覆	金 属	溶 融 め っ き	○	○	○*	
		電 気 め っ き	○	○	○*	
		溶 射	○	○	○*	
	金 属 以 外	塗 装	○			
		ラ イ ニ ン グ	○			
		ホ ー ロ ー	○			
		化 成 処 理		○		
電 気 化 学 的 方 法	電 気 防 食 法					
	1. 陰 極 防 食 法 2. 陽 極 //		○	○		
環 境 制 御	腐 食 抑 制 剤 添 加				○	

*亜鉛の場合には期待できません。

Q 3. 亜鉛めっきの耐食性の特徴は？

A 亜鉛めっきの耐食性には、主に次の二つの大きな特徴があります。

(1) 保護皮膜作用

亜鉛めっき表面に緻密なさびの薄膜が生成しこの緻密なさびの薄膜が強力な保護皮膜となって、その後の腐食が進行しにくくなります。

図 1

	亜鉛の場合	鉄の場合
素地	Zn	Fe
さびが生成	さび $(ZnO+Zn(OH)_2)$ Zn (緻密なさびの薄膜が生成)	さび (Fe_2O_3) Fe (粗なさびが生成)
さびが生成後	さび $(ZnO+Zn(OH)_2)$ Zn (緻密なさびの薄膜が保護皮膜となっている)	さび (Fe_2O_3) Fe (鉄さびは保護能力が少ないのでさびが進行する)

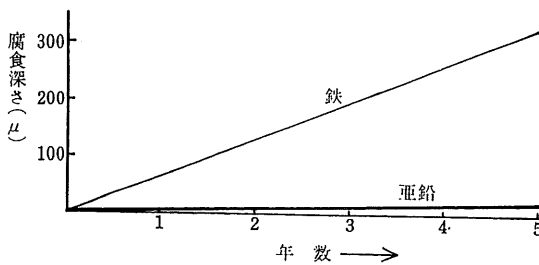


図 2. 海岸地帯における亜鉛と鉄の腐食速度

これを鉄素地と比較すると図1のようになります。

ところで、一般的に腐食速度は、使用環境、使用期間によって異なりますが、亜鉛は鉄の10~25倍の耐食性を有しています。

たとえば、条件の厳しい海岸地帯での亜鉛と鉄の腐食速度を比較すると図2のようになります。







(2) 犠牲防食作用

亜鉛めっき皮膜になんらかの理由でキズが生じた場合、周囲の亜鉛が陽イオンとなって鉄の腐食を抑制し、電気化学的に保護する犠牲防食作用を有しています。

この鉄に対する亜鉛の犠牲防食作用は、亜鉛独特の防食作用であります。

これを塗装と比較すると図3のようになります。

図 3

	亜鉛めっき	塗 装
素 地		
キズが生じた		
腐食が起こる	 亜鉛の犠牲防食作用により鉄は腐食されない	 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

Q 4. 亜鉛めっきの環境別耐用年数は？

A (1) 大気中

大気中の耐用年数については、使用環境による亜鉛の腐食速度と、亜鉛の付着量から、次式のように計算できます。

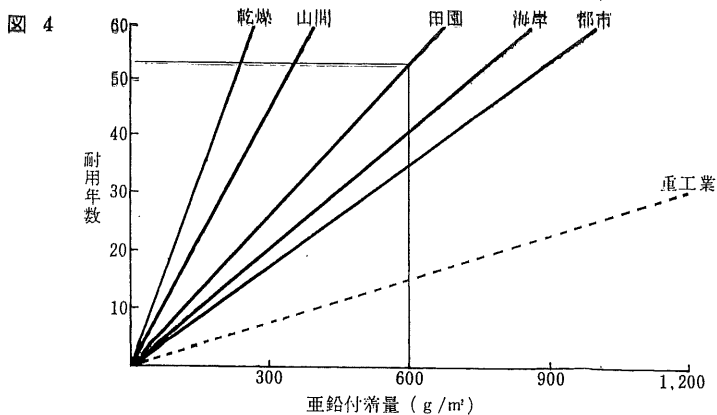
$$\text{耐用年数} = \frac{\text{亜鉛付着量}[\text{g}/\text{m}^2]}{\text{腐食速度}[\text{g}/\text{m}^2/\text{年}]} \times 0.9^*$$

* 平均的には亜鉛皮膜の10%が残っている時点で素地からさびが発生すると仮定した。(JIS-H8641 解説)

暴露試験地域	腐食速度 (g/m ² /年)	平均 (g/m ² /年)
重工業地帯	32~35	34
都市 //	12~18	15
海岸 //	11~14	13
田園 //	8~12	10
山間 //	3~8	6
乾燥 //	2~5	4

日本における使用環境別の亜鉛腐食速度は上表の通りです。

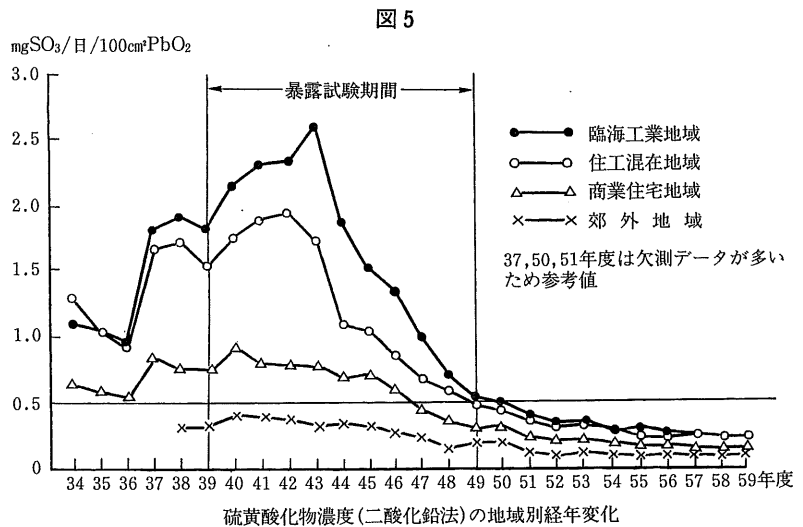
これから使用環境別に亜鉛付着量と耐用年数の関係を比較すると図4のようになります。



なお前頁の重工業地帯の数値は、横浜市（鶴見工業高校）で昭和39年から昭和49年にかけて行った暴露試験結果を示しています。

ところが重工業地帯のイオウ酸化物濃度は昭和43年から公害規制により年々減少してきており、現在では図5のように重工業地帯といえども都市地帯（商業住宅地域）の値と同等、またはそれ以下の値となっています。

したがって現在では重工業地帯での溶融亜鉛めっきは、図4の都市相当の耐用年数が期待できるものと思われまます。



出典：横浜市大気汚染調査報告書
第25報（S59年度）P.35

たとえば亜鉛付着量 600 g/m^2 で都市環境の場合は、

$$\text{耐用年数} = \frac{600}{15} \times 0.9 = 36 \text{ [年]}$$

橋梁などの大型構造物は、部材の厚みが $9 \sim 30 \text{ mm}$ と非常に厚くめっき付着量も $800 \sim 2,000 \text{ g/m}^2$ 程度が見込まれ、その耐用年数は半永久的なものとなります。

また屋内では同じ地域の屋外に比べて5倍以上の耐用年数が期待できます。

(2) 水中

溶融亜鉛めっきは、水中でもめっき表面に保護皮膜が形成され、すぐれた耐食性を示します。

水中の耐食性はpHと温度が支配的な影響を与えます。亜鉛めっきが有効な耐食性を示すのはpH $6 \sim 12.5$ 、水温 50°C 以下であります。水温が 50°C を越えると腐食速度はかなり増大する傾向にあります。

含有塩類も多少の影響を及ぼし、軟水中よりもカルシウム塩類を含有する硬水中の方が耐食性が良好です。

水中に溶存している CO_2 の影響もありますが、腐食速度は $30 \sim 100 \text{ g/m}^2/\text{年}$ です。

(3) 海水中

海水中での腐食速度は100~200 g/m²/年程度と思われます。しかし海水に浸漬後1年以上になると腐食生成物のために腐食速度は半減するようです。

逆に干満帯及びしぶきのかかるスプラッシュ・ゾーンでは、1,000 g/m²/年程度になることもあります。

また、海水中では同濃度の食塩水より耐食性が良好です。これは海水中のマグネシウム塩類が腐食抑制作用を有するからだと言われています。

(4) 土壌中

土壌中で腐食を支配する主な要因は、通気性、含水量、溶存物質の種類と量、電気伝導度、pHなどです。また埋設後の埋め戻し状況によっても影響を受け、土壌中の腐食速度は広い範囲でばらつきますが、一例として右のようなものがあります。

(5) 臨海地域の耐食性

臨海地域では海岸に近づくにつれて海塩粒子濃度が高くなったり、洋上などで海水飛沫がかかったり、また満潮時や波の高い日に直接海水の影響を受ける場所まであります。

米国の各種土壌中の高純度亜鉛の腐食
(12.7年埋設試験による腐食速度)

土 壤 の 種 類		g/m ² /年
無 機 質 酸 化 性 酸 性 土 壤	粘土ローム	52
	ローム	29
	粘 土	39
無 機 質 酸 化 性 アルカリ性土壌	沈泥ローム	43
	砂利質ローム	130
無機質還元性酸性土壌	粘 土	46
無 機 質 還 元 性 アルカリ性土壌	粘 土	46
	粘 土	210
有 機 質 還 元 性 酸 性 土 壤	堆 肥	110
	沼 池	96
	堆 肥	180

亜鉛の腐食は海塩粒子濃度，風向，湿度などに影響されるが一般的傾向として海岸に近いほど大きい。

わが国の臨海地域での溶融亜鉛めっきの腐食速度
暴露期間 3 ヶ年

暴露箇所	腐食速度 (g/m ² /年)	備考
伊良湖岬測候所	13	渥美湾より 1 km
北陸自動車道鯨波橋	20	海岸から 200 m
三宅島	40	海岸から 100 m
静岡県大井川沖	20	海上 14 m 但し暴露期間 2 年 2 ヶ月

臨海地域での腐食傾向としては，腐食速度が経年的に大きく低下することが特徴であります。

(6) コンクリート中の耐食性

コンクリート中の亜鉛めっき鉄筋の耐食性に最も大きい影響を与える要因は塩分含有量であります。

標準的な品質のコンクリート中では，少量の塩分が混入または侵入しても亜鉛皮膜は優れた耐食性を示しますが，塩分がある限界値を越えると亜鉛皮膜に孔食を生じ，長期の耐食寿命が期待できなくなります。

発表されている亜鉛めっき鉄筋コンクリートの暴露試験報告書^{*}より亜鉛皮膜が異常腐食を起こす塩分濃度限界値を推定しますと概略的には下表のようになります。

亜鉛めっき鉄筋，通常鉄筋の使用可能な塩分含有限界値
(塩分含有％はコンクリートにたいする NaCl 換算重量％)

	不動態領域	使用可能な 低腐食領域
溶融亜鉛めっき鉄筋	0.1 %以下	0.3 %以下
通常の鉄筋	0.014%以下	0.034%以下

備考 通常鉄筋での不動態領域の塩分％は，細骨材中の塩分許容量0.04％，また低腐食領域は0.1％よりコンクリート中に換算した。

この表より，通常鉄筋の場合はコンクリート中の塩分濃度が0.034％を越えると鉄筋が発錆し，コンクリートがひび割れ，崩落を起こす可能性が増大しますが，溶融亜鉛めっき鉄筋では0.3％程度までは劣化原因を生じる恐れはありません。

実際のコンクリート構造物の塩分含有量は，海岸近くの構造物で飛散する海水飛沫にさらされる頻度の高い場所では1％を越すものがあります。しかし直接海水飛沫を受けない場所では，特異地形を除き，かぶり40mm程度付近では長期供用後も0.3％を超さないようであります。このようなデータを参考にし，かなり安全サイドで考えても，海岸線より100m程度以上離れた場所であれば，通常品質のコンクリート構造物で，かぶり40mmでの亜鉛めっき鉄筋は長期に腐食を生じることはありません。

※岸谷孝一，樫野紀元，飛坂基夫：亜鉛メッキした鉄筋を用いた鉄筋コンクリートの自然暴露試験 日本建築学会関東支部昭和60年度

Q 5. 亜鉛めっきが有利な点は？

A 亜鉛めっきが鉄の防錆に有利なのは、次のような点です。

(1) 優れた耐食性

緻密な保護皮膜と、電気化学的犠牲防食作用によって優れた防錆層を作り鉄を腐食から防護します。

(2) 最も経済的

長期間にわたって防食効果があり、メンテナンスフリーですので、最も経済的に長期防錆ができます。

金属名	亜鉛	アルミニウム	錫	鉛
元素記号	Zn	Al	Sn	Pb
比重	7.14	2.70	5.80	11.3
融点(°C)	420	660	232	328
防錆機構	①緻密な保護皮膜 ②電気化学的犠牲防食	①緻密な保護皮膜 ②電気化学的犠牲防食	空気中では Sn は犠牲防食作用はない。酸性食品の液中では犠牲防食作用	犠牲防食作用はない。Pb の耐酸性を利用
経済性	最適	①融点が高く、歪の発生が多い。 ②エネルギーコストが高く、酸化物の発生が多い。	高価	—
用途	亜鉛鉄板、パイプ一般構造物など鉄の防錆用として最も多く使用されている。	耐熱性、耐硫化性があり、ボイラーのパイプなど特殊用途に使用されている。	食品と接して無害 ハンダ付性良好 缶詰の缶に使用されている。	耐酸性が高くハンダ付性良好 ガソリンタンクや薬品タンクに使用されている。

(3) 優れた密着性

鉄地と亜鉛の合金反応によって密着しており、衝撃や摩擦により剥離することがありません。

金属めっきには、亜鉛、アルミニウム、錫、鉛及びこれらの合金が使用されていますが、中でも鉄の防錆を目的とした場合は、亜鉛が最も多く使用されています。

これをまとめると表のようになります。

日本の古い防食法

杏子(アンズ)の種を刀、はさみなどの表面になすりつけたり、釘、鉄ピンなどは焼き止め(加熱して表面に安定な酸化鉄層をつくる)した後にウルシをぬりつけたりした。(「さびの話」山本洋一)

Q 6. 溶融亜鉛めっきと塗装との経済性を比較すると？

A 鋼構造物の長期間防食には、溶融亜鉛めっきが経済的に最も有利な表面処理方法です。

防食費用には

- (1) 初期費用……初めにどの位の費用がかかるのか？
- (2) 維持費用……保守にどの位の費用がかかるのか？

の2種類があり、その合計が防食費用になります。

溶融亜鉛めっきの特長の一つは、防食寿命が非常に長く、その期間中は維持費用を原則的に必要としないことです。

初期費用が溶融亜鉛めっきより安価な表面処理はありますが、それらの表面処理は比較的短期間に防食能力がなくなるために維持費用がかかり、合計費用では溶融亜鉛めっきより高価になります。

溶融亜鉛めっきと、同様に鋼構造物の長期間防食に使用されている塗装とを比較すると次のようになります。

一般鉄鋼製品について

溶融亜鉛めっき加工費用は1トン単位で決められています。他方、塗装費用は塗装種類により異なり、1㎡単位で決められています。

そこで、溶融亜鉛めっき加工費用は鋼材肉厚が4mm、8mmおよび15mmの3種類の場合を選んで1㎡単位に換算し、塗装からは比較的多用されている2種類を選んで、溶融亜鉛めっきと塗装との経済性を比較しました。

(1) 初期費用の比較

以前は「溶融亜鉛めっきは保守には費用が殆どかからないが、初期費用が高い」というのが一般的な通念でしたが、最近では、その差が平均的には殆どなくなっています。

製品の肉厚が比較的薄い場合には、むしろ溶融亜鉛めっきの方が安価になっております。

この主な原因は人件費が年々上昇しているためです。溶融亜鉛めっきは工場加工されるために、加工費用の中で人件費の占める割合が塗装に比べて少なく、従って、溶融亜鉛めっき加工費用の上昇が比較的緩やかであるのに対し、塗装費用の上昇が大きくなっております。

(2) 維持費の比較

塗装は通常数年の周期で塗り替えを必要としますが溶融亜鉛めっきは防食寿命が続く限りの長期間、維持費用を必要としません。溶融亜鉛めっきの方が経済的に有利であることは疑う余地はありません。

総費用の比較

溶融亜鉛めっき加工費用と塗装費用について、初期費用と塗り替え費用の例を表に示します。

これを図にして、30年間における合計直接費用の例を図6-1に示します。

この図で見られる通り、鋼材肉厚が15mmの場合には、溶融亜鉛めっきは初期費用で塗装より高価になってますが、塗装の1～2回の塗り替えで溶融亜鉛めっきの方が合計直接費用が安価となります。

ここで掲げた例では、鋼材肉厚が8mm以下になると初期費用で既に溶融亜鉛めっきの方が安価になります。

これらの塗装例よりも安価な塗装種類もありますが、そのような塗装種類では一般に塗り替え間隔がさらに短くなるので、合計費用では逆にさらに高価になることが多くなります。

防食費用低減の手段として塗装の塗り替えを理由なく遅らせたり、省略したりすると、鋼構造物が腐食されるので、経済的に最も不利な手段になることは周知の事実です。防食費用を複利金利を加味して評価する方法があります。

図6-2は表6の費用を基にし、金利を年6.5%と設定しそれぞれの例を複利計算しております。

溶融亜鉛めっきと塗装の直接経費の比較（期間：30年）

	溶融亜鉛めっき ¹⁾			塗 装 ²⁾	
	A鋼材	B鋼材	C鋼材	例 1	例 2
初期費用 (円/m ²)	1,218	2,440	4,670	2,470	3,275
塗り費用 (円/m ² /回)	0	0	0	1,923	2,325
塗り周期	—	—	—	5年	10年
塗り回数 (回)	0	0	0	5回	2回
塗り小計 (円/m ²)	0	0	0	9,615	4,650
合計費用 (円/m ²)	1,218	2,440	4,670	12,085	7,925
防食能力残存価額 (円/m ²) ³⁾	-203	-407	-1,751	0	0
差引実質経費 (円/m ²)	1,015	2,033	2,919	12,085	7,925

備考：溶融亜鉛めっきおよび塗装の費用は、建設物価平成2年4月号No745に基づき、溶融亜鉛めっきは工場への運送費、塗装は現場管理費および一般管理費を含めて算出しました。

溶融亜鉛めっき加工費用は、鉄筋溶接体、施工規模200t、めっき規格HDZ55（めっき付着量550g/m²以上）の場合を選出し、下記のようになります。

	最高地区	最低地区	平均	運送費加算
めっき加工費 (円/t)	75,000	67,000	71,000	77,600

注：1）溶融亜鉛めっきはA鋼材、B鋼材、C鋼材の肉厚をそれぞれ、4mm、8mm、15mmとし、めっき層寿命を36年、36年、48年を見込んでいます。

めっき層寿命は、めっき付着量をAおよびB鋼材が600g/m²、C鋼材が800g/m²とし、都市地帯（めっき層腐食速度15g/m²/年）の使用環境で、めっき付着量の90%が腐食された時点をめっき層寿命として、次の計算式から算出しました。

$$(\text{めっき層寿命}) = (\text{めっき付着量 } \text{g/m}^2) \times 0.9 \div (\text{めっき層腐食速度 } \text{g/m}^2/\text{年})$$

注：2）初期塗装仕様は

例1 下地調整：C種(ディスクサンダー) 例2 下地調整：C種(ディスクサンダー)

下塗り：鉛系さび止め塗料1回

下塗り：—

中塗り：合成樹脂調合ペイント1回

中塗り：— エポキシ樹脂塗り3回

上塗り：— 1回

上塗り：— (プライマー含む)

塗り替えは夫々同一塗装仕様とし、塗り替え面積を塗装面積の半分、下地調整をケレン3種Cに変更および足場費を含むとして費用を算出しました。

注：3）防食能力残存評価額は次の計算式から求めております。

$$\text{溶融亜鉛めっきの場合：めっき費用 (円/m}^2) \times \frac{\text{耐用寿命 (年)} - \text{使用期間 (年)}}{\text{耐用寿命 (年)}}$$

塗装の場合：類似計算式で求められますが、上記の例では共に0となります。

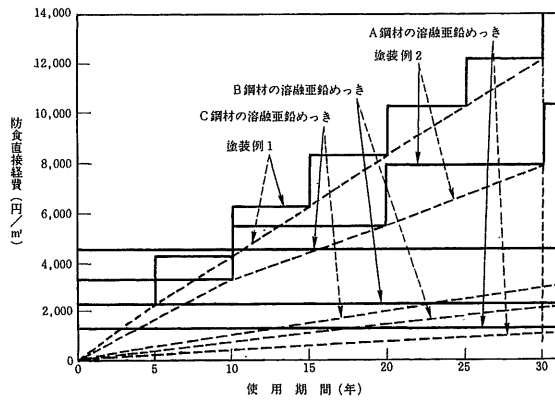


図6-1 溶融亜鉛めっきと塗装との直接経費の比較 (一般鉄鋼製品)
(点線は防食能力残有評価値を考慮した実質経費です。)

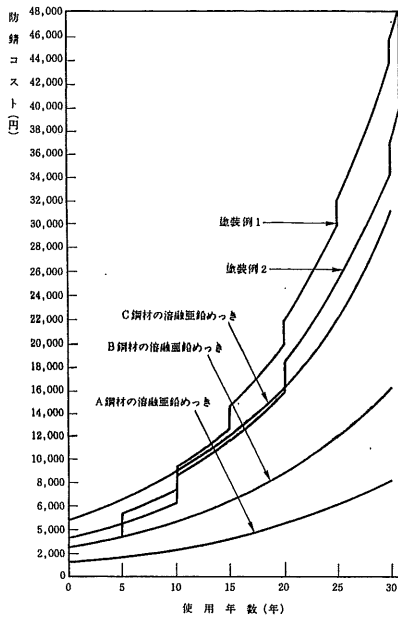


図6-2 溶融亜鉛めっきと塗装との防食コスト比較
複利金利 (6.5%/年) を含む計算。

Q 7. どんな素材でもめっきできる？

A 鉄鋼製品であれば、圧延鋼材、鋳物、鋳鋼など全て亜鉛めっきできます。

しかし鋳物などの場合には、通常の酸洗では除去できない焼付砂があって不めっきを生じやすいので、あらかじめブラストする必要があります。

普通には一般構造用圧延鋼材、溶接構造用圧延鋼材、配管用鋼管などが多くめっきされて使われています。

金めっきしている奈良の大仏様

大仏はSnの少し入った青銅鋳物であるが、その上に金と水銀のアマルガムを塗りつけてから加熱し水銀を蒸発させることによって金めっきをした。古代の技術も大したものである。 (「さびの科学」井上勝也)

Q 8. 亜鉛めっきの皮膜厚さは？

A 亜鉛皮膜の厚さは、その被覆方法及び素材（鋼種、板厚など）によってかなり違いますが、およそ表のようです。

表からわかるように、溶融亜鉛めっきは厚くつくので、構造物のライフを考える場合、非常に有利になります。

厚みと付着量の関係

方 法	素 材	めっき厚み
溶融亜鉛めっき	構 造 物	75~125 μ
	ボルト, ナット	45~ 70
	取 付 け 金 具	35~ 75
	管	75~100
	線	12~ 35
	亜 鉛 鉄 板	8~ 20
電気亜鉛めっき	一 般 製 品	5~ 25
	鉄 板	2~ 8
亜鉛溶射	一 般	75~125
亜鉛末塗料 (1コート)	一 般	10~ 35

$$1 \mu \doteq 7.2 \text{ g/m}^2$$

Q 9. 亜鉛めっきの工程は？

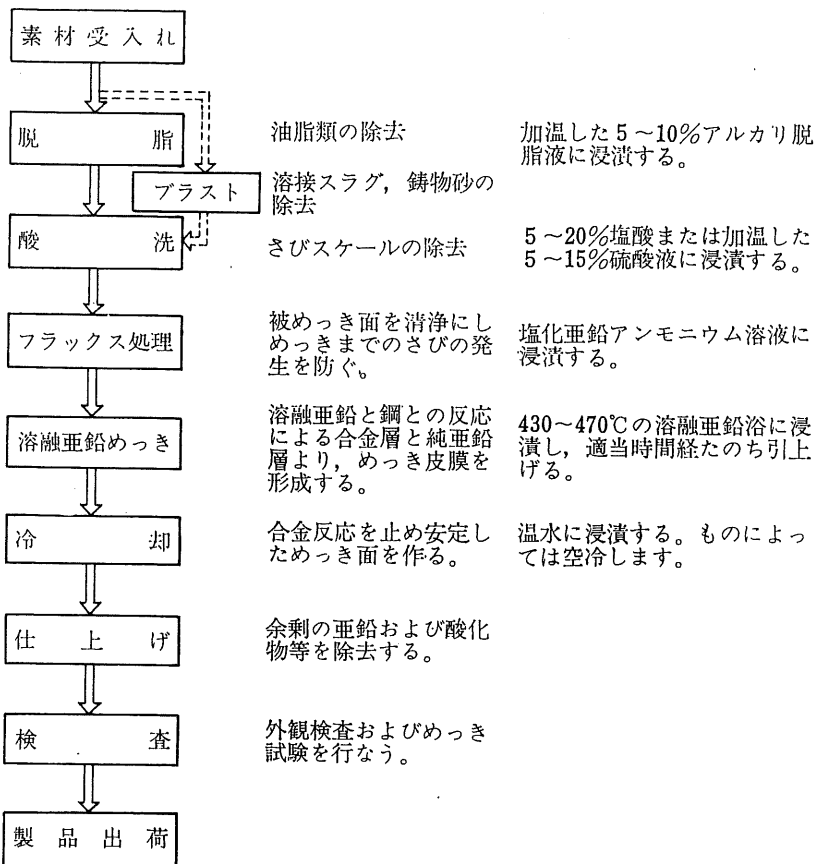
A 作業方法は JIS H9124 に準拠します。工程と内容を簡単に図7に示しておきます。

図 7

工 程

目 的

作業方法



Q 10. 亜鉛めっきした部分の組織は？

A めっき製品の断面を顕微鏡で見ると、亜鉛と鉄との反応で形成された金属間化合物の合金層と浴から引き上げるときに合金層の上に付着する亜鉛層の二つの層から成りたっています。

通常のめっき条件で見られる皮膜組織は、鉄地に近い方から δ_1 (デルタワン) 合金層、 ζ (ツェータ) 合金層とその上の浴組成と同じ η (イータ) 亜鉛層です。

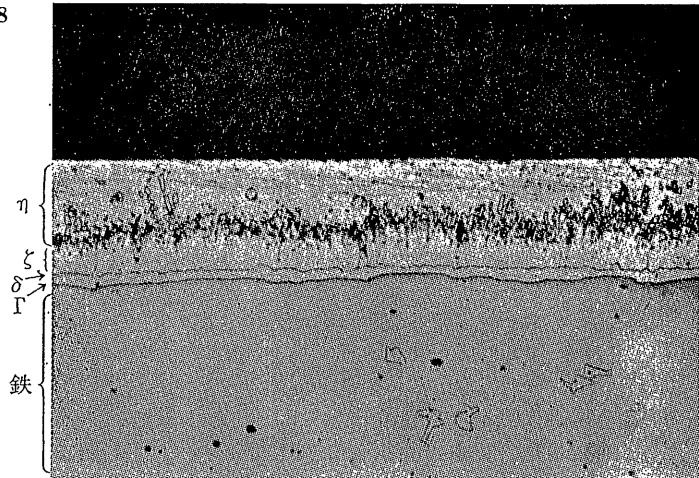
δ_1 (デルタワン) 層

通常めっき皮膜の最内部にある層で緻密な組織を示し、複雑な六方晶形の構造で、靱性・延性に富んでいるのが特徴です。FeZn₇ という化合物と考えられ、鉄の含有量は7～11%です。

ζ (ツェータ) 層

これは皮膜中最も顕著なもので単斜晶系に属し、柱状組織を示します。

図 8



この結晶は他の層に比べると対称性が低くお互いの結合が強固ではないので比較的脆く、めっき後苛酷な加工を受けるとここで亀裂を生ずることがあります。

FeZn_{13} という化合物と考えられ、鉄の含有量は6%程度です。

η (イータ) 層

これは最上部の亜鉛層で稠密六方晶系に属し、軟かく展延性に富み変形加工を受けても破れることはありません。

この他鉄地に接近した部分で α (アルファ) 層、 Γ (ガンマ) 層が生成されることもあります、非常に薄い層なので認められないこともあります。

以上のべたように、亜鉛めっきでは鉄と亜鉛の合金層を形成し、この合金層が鉄地と固く結びついているために、塗装などに比べると格段に密着性が優れております。

また塗装製品は、時間の経過とともに塗膜が劣化し、水分などが塗膜を通過し、さびを発生して剥離してしまうために塗り替える必要があります。しかし亜鉛めっき層は強固に密着しているためにめっき層中に水分などの侵入もなく、下地の鉄もさびません。

Q 11. 亜鉛めっきによって鋼材の性質に変化をきたすことはない？

A 亜鉛めっき工程は、脱脂、酸洗、フラックス処理、めっき、冷却の順に行なわれます。これらの工程では鋼材の性質には変化はなく問題はありません。ただし、 80kg/mm^2 以上の高張力鋼やバネ鋼のような調質型の鋼種は酸洗時に発生する水素ガスに対して感受性が強く、酸洗には十分に注意する必要があるといわれていますが、種々の実験では酸洗による明確な性質変化は認められていません。

次に、めっき工程では普通の鋼種では変化はありません。 60kg/mm^2 以上の高張力鋼では機械的性質（降伏点、引張り強さ、伸び、衝撃）や疲れ強さに多少の変化は認められますが、機械的性質の変化は規格値内にあり、鋼材の性質を変えるとはいえません。なお高張力や調質型の鋼材を亜鉛めっきするときは念のため事前にめっき会社に知らせておく心安心です。

Q 12. 亜鉛めっきの用途は？

A 亜鉛めっきは道路、鉄道、電力、造船、土木、建築、農業、水産と幅広く使われています。

道路用（ガードレール、照明灯、標識、橋梁）

鉄道用（駅舎、車輛庫、架線柱、防音壁）

電力用（送電鉄塔、架線金具）

土木用（下水道、落石防護壁）

建築用（住宅、フェンス、工場プラント、仮設機材、駐車場）

農業水産用（温室、サイロ、果樹棚、生簀）

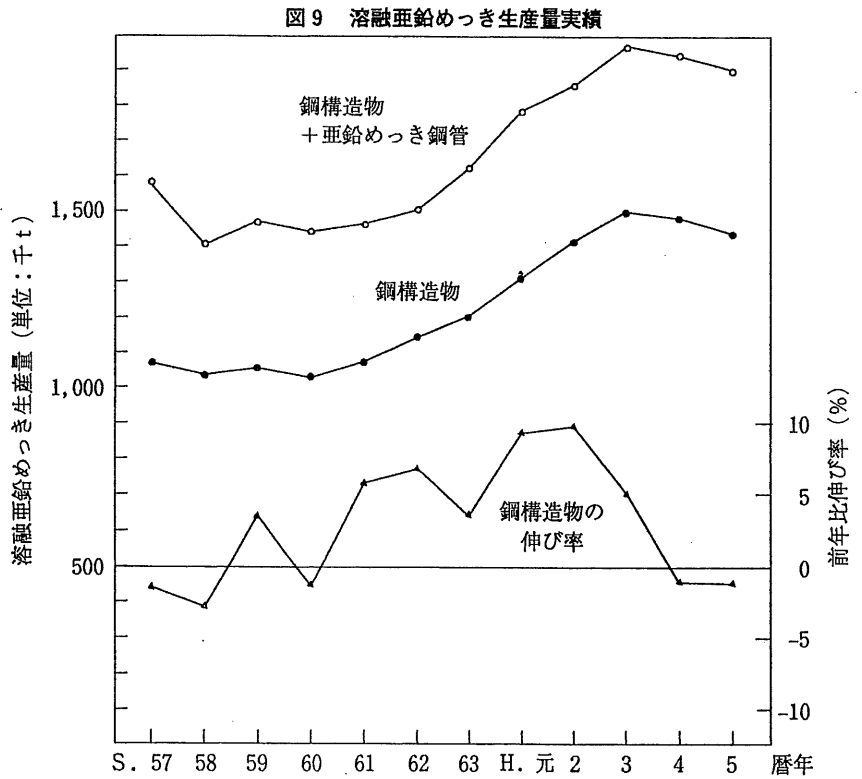
レジャー（スキーリフト、ウォータースライダー、ポート架台）

メンテナンスの困難な個所や、メンテナンス費が高い個所に使用すると有効です。

出所 日本溶融亜鉛鍍金協会資料 溶融亜鉛めっき生産量実績

用途		暦年						
		62	63	元	2	3	4	5
鋼 構 造 物	造船	25	24	27	33	40	44	47
	道路	153	158	179	217	238	254	265
	建築及び架設機材	145	187	253	349	393	347	327
	グレーチング・ラス	121	130	147	156	166	174	174
	鉄塔・鋼材	139	124	142	183	185	191	188
	架線金物類	169	149	144	164	173	171	170
	その他	431	458	473	416	418	420	414
小計（鋼管除）		1,183	1,230	1,365	1,518	1,613	1,601	1,585
伸び率（前年比%）		7.0	4.0	11.0	11.2	6.3	△0.7	△1.0
亜鉛めっき鋼管		387	419	472	369	356	335	307
合計（鋼管含む）		1,570	1,649	1,837	1,887	1,969	1,936	1,892
伸び率（前年比%）		4.4	5.0	11.4	2.7	4.3	△1.7	△2.3

（単位：千トン）



Q 13. 亜鉛めっきによる大型構造物の実例は？

A 実例としては国内、国外ともかなりの数があり、道路、鉄道、電力、橋梁、建築関係で多く使われていますが、そのうち国内の主な実例をあげると次のようなものがあります。

施 工	名 称	所 在 地	施 主	備 考
昭和39. 11	新温井川橋	群馬県国道17号	建設省関東地建	支間25m
39. 12	四方寄跨道橋	熊本県飽託郡	建設省九州地建	支間45m
48. 9	足立高架橋	福岡県北九州市	日本道路公団	支間28～34m
54. 6	新所沢線送電鉄塔	東京都・埼玉県	東京電力	110m高, 500kW
55. 5	新潟電車庫 燕三条駅舎	新潟県 上越新幹線	鉄建公団新潟 新幹線建設局	
58	竹山無線鉄塔	北海道	電々公社	重量375t
59	新花巻駅舎	岩手県東北新幹線	国鉄盛岡工務局	重量230t
59	水沢江刺駅舎	岩手県東北新幹線	国鉄盛岡工務局	重量340t
60. 6	近畿道 若江高架橋	大阪府東大阪市	日本道路公団	長972m, 重量1,800t
62. 11	近畿道 立部第二高架橋	大阪府松原市	日本道路公団	長870m, 重量1,350t
63. 4	多摩動物公園 昆虫生態園	東京都日野市	東京都	
63. 11	夢の島熱帯植物館	東京都江東区	東京都	
平成元. 6	田無タワー	東京都田無市	東京都他	195m高, 重量2,000t
元. 11	葛西臨海水族園	東京都江戸川区	東京都	
元.	東名高速 新駒沢橋	静岡・神奈川県	日本道路公団	長403m, 重量1,248t
2. 3	花博 咲くやこの花館	大阪市鶴見区	大阪市	重量1,200t
2. 4	近畿道松原JCT Fランプ橋	大阪府松原市	日本道路公団	長93.5m, 重量250t
2. 12	四国道柴生第2 高架橋(白坂橋)	愛媛県川之江市	日本道路公団	長51m, 重量220t
3. 4	関西国際空港 添架桁	大阪府泉佐野市	関西国際空港(株)	重量420t
3. 5	熱帯生態園	北九州市若松区	北九州市	重量400t

Q 14. 亜鉛めっき工場は何社ぐらい？

A 現在、日本溶融亜鉛鍍金協会には、加盟会社が110社（関東支部44、中部支部15、関西支部51）あり、図10のように分布しています。需要地に近いという点で、どうしても、関東・関西・中京の地帯に集中しています。

めっき槽の大きさなどの詳細は

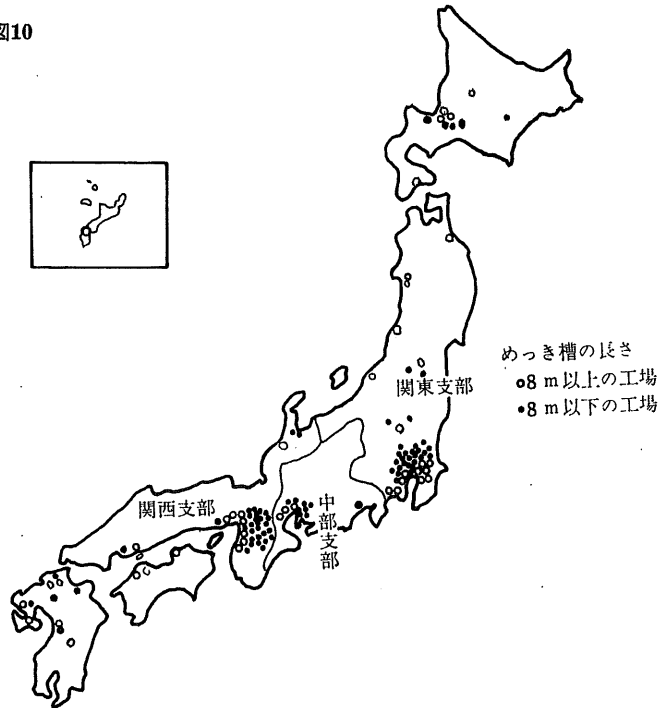
日本溶融亜鉛鍍金協会

(〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 Tel. 03 (3503) 6485)

におたずね下さい。

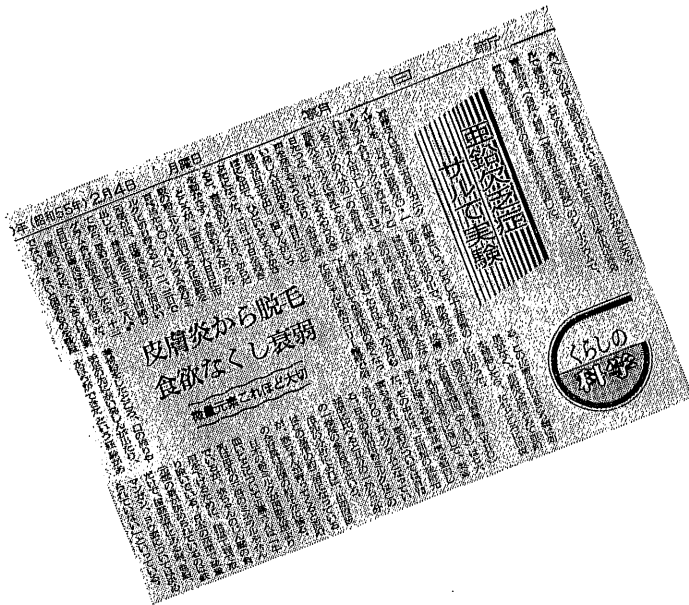
Fax. 03 (3503) 6484)

図10



Q 15. 亜鉛めっき鋼材の使用によって二次公害を起こすことは？

A 亜鉛めっきによって形成された鋼材の亜鉛皮膜の溶出速度は非常に遅く、この程度の濃度で人体に悪影響を与えることはありません。むしろ亜鉛は生物にとって微量必須な元素で人体にとっても欠かせないものの一つです。



実務編

Q 16. めっき構造物の設計上注意する点は？**A** 被めっき部材の製作上注意すべき事項は次の通りです。

(1) めっき製品の寸法、重量

めっき可能な製品の大きさ、重量は、めっき槽の大きさと工場設備によって決まりますから、めっきする製品の設計段階であらかじめ、めっき工場の可能寸法を把握することが必要です。製品の寸法がめっき槽の寸法より大きい場合は2度浸漬の方法をとります。

(2) 素材の材質

鋼材の材質によってめっき層の厚み、外観（やけ）、性質（密着性）などに異常をきたすことがあります。

鉄鋼中の合金成分の鉄-亜鉛反応にいちじるしく影響を及ぼすのは珪素です。0.05%以下及び0.15~0.25%の間以外では反応が特に激しく、やけが発生したり異常に厚いめっき層になったりします。高張力鋼をめっきする場合は炭素、珪素、マンガンを多く入れて強度を増していますので充分事前のチェックが必要です。

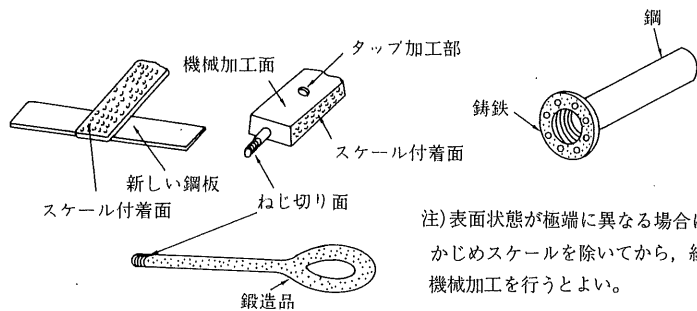
鋼材の製鋼方法による影響は溶鋼の脱酸剤によります。シリコン脱酸したものは付着量が多くなります。リムド鋼はキルド鋼より安定しためっきが得られ、「やけ」を生じることがなく付着量も少ないのです。

(3) 異材及び表面状態の異なったものの組合せ

表面状態の異なったもの、厚みに極端な差のあるもの、鋼材の製造法の異なるもの、組成の異なる鋼材、異種金属などが組合わされた部材のめっきは、各々の前処理、めっき条件が異なるため均一な品種のめっきができません。めっきに支障のある組合せの例を図に示します。

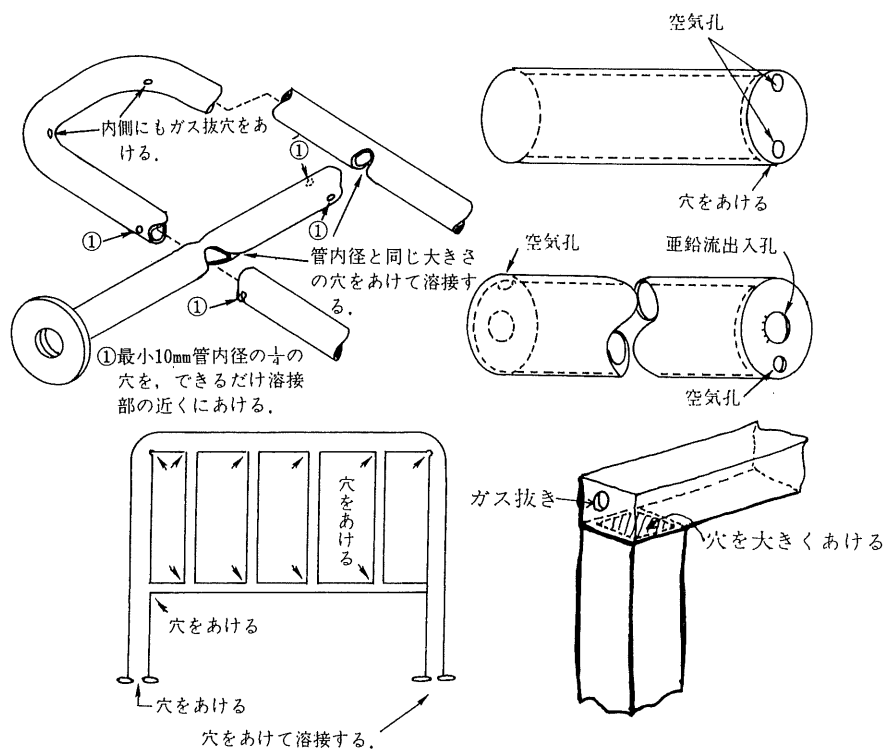
(4) 空洞、密封した部分

管または組立品で密閉された部分があると、浸漬できないだけでなく、内



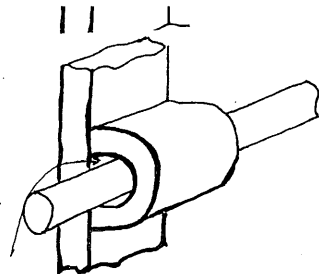
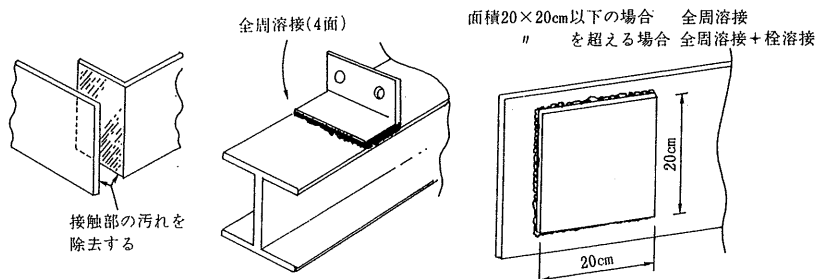
注) 表面状態が極端に異なる場合は、あらかじめスケールを除いてから、組合せや機械加工を行うとよい。

部に水分があった場合はめっき温度で急激に膨張し高い圧力を生じて爆発する危険がありますので図に示すように必ず空気抜きと亜鉛流入，流出の穴をあける必要があります。



(5) 重ね合せ面

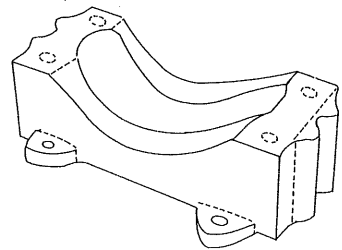
重ね合わされる面に付着しているさびや油脂類はあらかじめ完全に除去して全周溶接するのが原則です。ただし、重ね合せの面積や板厚により、面にふくれやきれつを生じることがあるため、栓溶接などの配慮が必要です。なお断続溶接の場合、前処理液が浸入しめっき後めっきや錆汁がしみ出すことがあります。



直径で1.6mm以上の余裕が必要

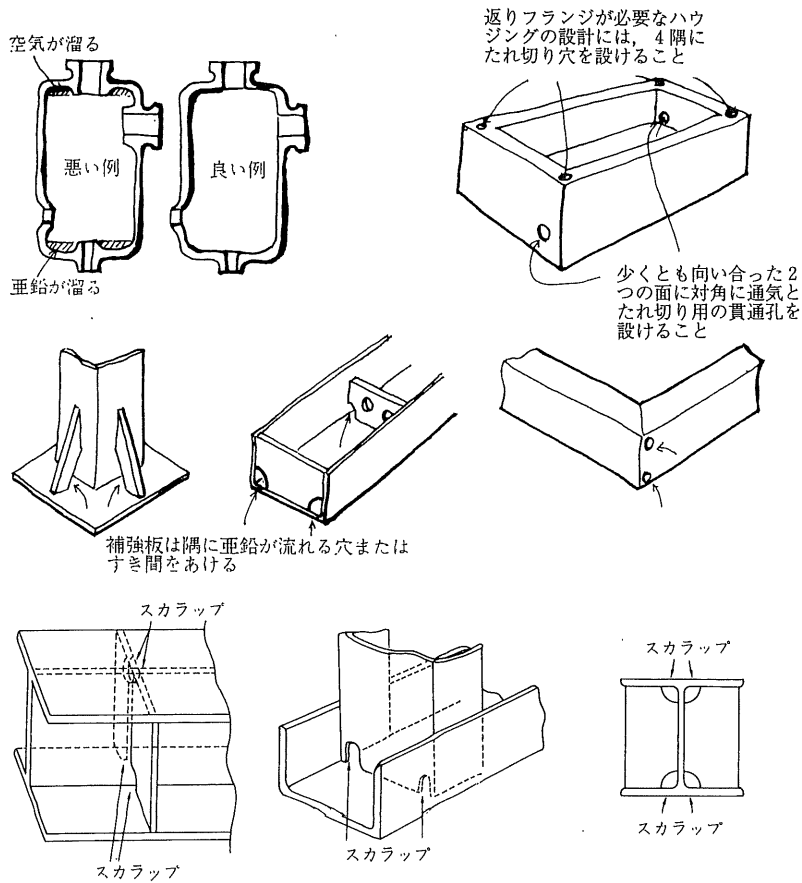
(7) 鋳造品

鋳造品は珪酸質の異物が付着していますから一般にブラスト処理が必要です。ブラスト時に死角を生じたり、鋭い角や深い凹部のない形状が良く厚さも均一な図のようなものが良いのです。



(8) 形状

めっきを施す部材は熔融亜鉛と完全に接触してはじめて高品質のめっきができます。このためにはフラックスの分解ガスや水分が容易に逃げ去る形状でなければなりません。まためっき浴から引き上げるときに亜鉛がたまりすくい出される形状は不適當です。

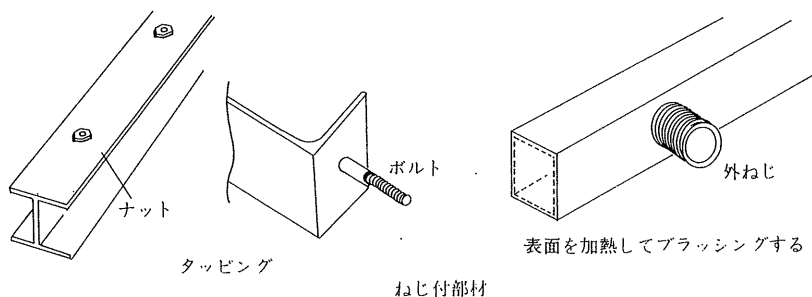


(9) ねじ付部材

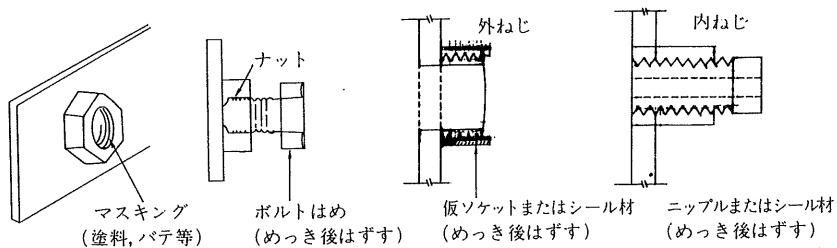
めっきを施す部材に取付用のボルトやナット及びソケットなどが溶接されている場合は、ねじ部分に亜鉛がたまり嵌合不良となるのでめっき後タッピングするか、めっき前にねじ部をマスクングする2つの方法があります。

① めっき後、余剰の亜鉛を除去

小径についてはタッピングによるねじさらいを行うが、径が大きい場合は加熱溶解させ、ブラッシングにて除去する方法もある。



② めっき前のマスクング処理



ねじ部分のマスクング

(10) 部分不めっき

めっき製品は通常全表面にめっきを施していますが、高力ボルト接合面などや、まためっき後に溶接する場合には一部を「不めっき」にすることがあります。一般的なマスキング方法はつぎのとおりです。

(1) さびのない素材や機械加工を施したもの

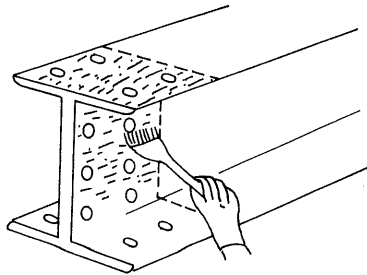
石灰または耐熱材料で不めっき面をシールして溶融亜鉛と接触しないようにする。

(2) さびやスケールの厚い素材

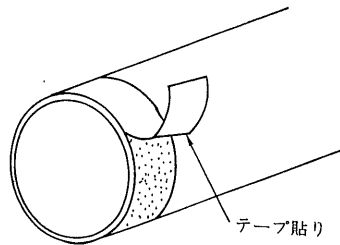
エポキシ樹脂塗料のように耐薬品性のものを塗布し酸洗処理してもその部分だけ除錆できないようにする。さびがあれば溶融亜鉛めっき浴に浸漬してもその部分だけめっき皮膜が形成されにくい。

(3) 大型鋼材や板厚の厚い素材

橋梁や大型構築物に使用される鋼材や厚肉品は溶融亜鉛との反応時間が長くなる。めっき浴内で溶融亜鉛との接触時間が長いと部分的に塗布した塗料が焼失し、めっき皮膜が形成され易くなるため、塗料の重ね塗りや、塗布後シールテープを貼るなどの措置をする。



はけ塗り



鋼管の端部不めっき処理

Q 17. 溶融亜鉛めっきした高力ボルトに問題はないか？**A** (1) 疲労強度への影響

亜鉛めっき皮膜は、亜鉛層と合金層により形成されていますが、この合金層が比較的もろいため、繰り返し荷重による疲労強度の低下が心配されていましたが、実験の結果実用上では問題のないことが明らかになりました。

即ち疲労試験の結果、疲労強度は母材黒皮のままに比して約 $12\text{kg}/\text{mm}^2$ 低下しますが、強度レベルは高いので設計にさいしては考慮しなくてもよいと考えられます。

(2) 溶融亜鉛めっき高力ボルトはF8T

めっき処理により高力ボルトは遅れ破壊の生じることがあります。遅れ破壊とは、本締めされた高力ボルトが締め付け後ある時間を経過した時に、特に外力が作用しない状態で突然破断する現象です。これはめっき工程中の酸洗処理で、酸と鉄が反応して発生した水素の一部が原子状態でボルト材中に吸収しておこる、水素脆化の一種と考えられています。

一般に遅れ破壊を生じるのは引張強さ $125\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上の高力ボルトであることから、溶融亜鉛めっき高力ボルトはF8T級が使用されています。

なお、(社)日本溶融亜鉛鍍金協会で行った実験では、ボルト素材から亜鉛めっき加工まで適正な管理を行えば、F11T級の高力ボルトでも遅れ破壊を生じない結果を得ております。

Q 18. ボルト継手部の設計は？

A 普通ボルトを用いる場合には一般の継手部と全く同じ設計を行います。

溶融亜鉛めっき高力ボルトを摩擦接合で用いる場合には、建築基準法に基づいた建設大臣の特認が必要です。ただし現在まだ1社ですが一般の使用を認可されたメーカーがあり、接合面の処理、高力ボルトの締付け等の施工管理面で、一定の条件を守ればそのメーカーの製品に限り個別の認可を必要としないで使用できます。今後数社のボルトメーカーが一般認定の資格を得ると思います。つぎに主な設計条件について述べます。

(1) すべり係数

溶融亜鉛めっき処理した鋼材をそのままの状態ですべり試験を行うと、0.15～0.35平均0.22程度のすべり係数しか得られません。そこでめっきに様々な表面処理をしてすべり係数を大きくする方法がとられますが、その中で最も安定した方法としてブラスト処理があり、この方法で表面粗度を50S以上にすると0.45～0.50程度のすべり係数を得ることが出来ます。

(2) リラクゼーション

高力ボルトで接合部を締付けておくと、時間の経過と共に高力ボルトの導入軸力が徐々に減少していく現象です。溶融亜鉛めっき接合部では、一般の鋼材の接合部に比べ2～3倍程度大きな軸力減少が生じますが、これは締付け直後が最も大きく時間の経過と共に小さくなります。従って、一般には初期導入軸力の20%程度の軸力減少を想定しておけばよいと考えられています。

(3) ボルト締付け法

高力ボルトの締付けにはトルクコントロール法とナット回転法がありますが、トルク係数値が必ずしも安定していませんので、締付ボルトの軸力が

トルク係数値にあまり影響されないナット回転法による二度締め方が適当です。

なお高力ボルトのセットは、ボルトはF8T、ナットはF10T、座金はF35Tとしており、その他ボルトの長さ、穴径、施工方法などが規定されています。

おはぐろは鉄のさび

昔、日本の既婚女性のあいだで行なわれていたおはぐろは、水酸化第二鉄、酢酸鉄、タンニン酸第二鉄などで、いわば鉄のさびである。

これをぬりつけることによって歯の酸食、虫歯の防止にしていた。
(「さびの話」山本洋一)

Q 19. 亜鉛めっきした鋼材は溶接できる？

A めっきした鋼材の被覆アーク溶接は可能で、溶接部の性状も通常鋼材の溶接と殆ど変わらないことが American Welding Society により報告されています。

ただめっき鋼材の溶接時には亜鉛の融解、蒸発現象が伴います。

亜鉛は融点420℃、沸点906℃であるため、溶接温度では当然融解、蒸発し鋼材溶接部に残留しません。しかしその時発生する亜鉛蒸気は空気中の酸素により微細な酸化亜鉛となり、多量の白煙を発生します。このためめっき鋼材を溶接するには付着している亜鉛を完全に蒸発させるための配慮とともに発生する白煙の対処が必要です。

具体的な溶接条件としては、溶接棒には凝固速度の遅い高酸化チタンなどが良く、溶接作業では亜鉛の蒸発をうながすため、溶融池の前方で溶接棒を前後に動かす動作を加え、溶接速度は10～20%程度遅くします。

また突き合わせ溶接ではルート間隔を広く(2.4mm程度)するほうが良い結果が得られます。このような方法による突き合わせ溶接では欠陥の無い継手になりますが、すみ肉溶接では機械的性状には変化がありませんがブローホールが発生する傾向があります。

またスパッターが増加するため、付着防止剤を使用する方が良いでしょう。亜鉛鋼材のめっき時の白煙を多量に吸引すると、一過性で後遺症はありませんが、金属熱で発熱します。これは酸化亜鉛濃度5mg/m³以下では起こりません。通風の良い屋外ではこのような状態になりませんが、屋内ではかならず、局所排気装置が必要です。局所排気装置としてはANSI (American National Standards Institution) 規格では、溶接個所での流速は30m/min. が必要と決めており、例えば排気ダクトとアークトーチの距離が20cmの時には、排気量8m³/min. で、ダクトの直径は9cmと規定しています。

このような問題点はいずれも付着亜鉛量に比例して対策が面倒になりますから、大形鋼材類ではむしろ溶接部分には亜鉛めっきを施さない所謂不めっき処理をするほうが良いでしょう。この処理はめっき作業前に特殊耐熱塗料や耐熱テープ等の仕様で行なうことができます。

スポット溶接は広く亜鉛鉄板で行なわれていますが、表面の亜鉛層のために電気抵抗値が低いので、溶接電流および溶接時間も通常の鋼板の場合より25%程度以上多く必要です。また融けた亜鉛が電極棒に付着するので、電極棒の材質、形状がめっき鋼材に適したものを使用しなければなりません。

なお、溶接後の補修についてはQ31を参照下さい。

めっき鋼材の溶接については International Lead Zinc Research Organization, Inc. の協力のもとに American Welding Society から発刊されている「Welding Zinc-Coated Steel」があり、我国では（社）鋼材倶楽部より発刊の「亜鉛めっき鋼材の溶接手引」があります。

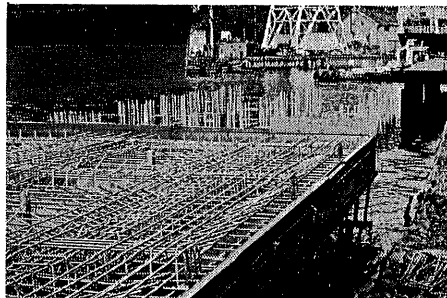
Q 20. 亜鉛めっき鉄筋は使用できる？

A コンクリート用細骨材として海砂を使うことが多くなり、これに含まれる塩分によってコンクリート中の鉄筋がさびやすくなります。鉄筋がさびますと鉄筋の体積が膨張増大し、その結果コンクリートにひび割れが発生して、コンクリートの破壊を招く恐れがあります。このようなコンクリート中での鉄筋の腐食対策として、亜鉛めっき鉄筋が注目されております。

溶融亜鉛めっき鉄筋では、塩分0.3%程度（コンクリートに対する NaCl 換算重量%）までは十分使用することができます。耐食性についてはQ 4(6)を参照して下さい。

亜鉛めっき鉄筋の最も重要な点はコンクリートとの付着力ですが、各種実験などから、付着力は黒皮の鉄筋に比べて大差なく、材令が長くなるとむしろ黒皮の鉄筋を上まわることが判明しており、問題はありません。

なお、溶融亜鉛めっき鉄筋の取扱いについては、土木学会や日本建築学会の指針(案)を参照して下さい。



亜鉛めっき鉄筋を採用した棧橋

Q 21. 亜鉛めっきによる歪発生を最小にするには？
また、鋼材の形状による違いは？

A 鉄鋼製品を亜鉛めっきすると歪が発生することがありますが、その歪量が実用上無視できるか、許容限度内か、歪矯正を必要とするかなどは製品により異なりますが、その歪の発生の方、大きさに関与する要因は製品の材厚、形状、構造、寸法、溶接方法、めっき条件など数多くのものがあります。したがって、事前にしかも定量的に、歪を把握することは非常に困難であります、一般的な歪発生傾向として次のようなことがいえます。

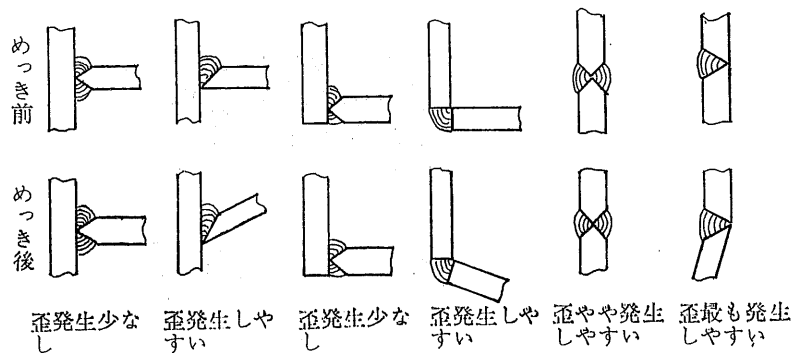
(1) 構造

左右対称の構造であれば歪は少なく、また溶接個所の少ない方が単純な歪となります。しかしトラス構造は非常に歪は少ない。

(2) 溶接方法

溶接方法として図11のようなことが基本的にいえますが、しかし全体的な構造や溶接条件などにより発生しない場合もあります。

図11



(3) 鋼材の歪

- ① 同一形状では肉厚の厚いもの、長さは短いものが、歪発生は少ない。
- ② 同一肉厚、同一長さでは、平板、山形鋼、溝形鋼、H形鋼の順に歪発生は少なくなります。
- ③ 管状物では、径が大きくなりますと管長に対する歪は少なくなります
が、真円度が悪くなります。

さびの語源

英語 corrosion の語源は、ギリシャ語の *corrodere* で、これはカジル、ムシバム、弱ラセル、ダメになる、クサルというような意味である。（「さびの話」山本洋一）

Q 22. 亜鉛めっきによる歪を取る方法は？

A 亜鉛めっきによる歪の矯正は、山形鋼、溝形鋼、H形鋼、鋼管などのような単純な形状の構造であれば、長さ方向に湾曲の歪が発生しても、矯正機でほとんど完全に歪を取ることができますが、溝形鋼やH形鋼などのねじれなど複雑な歪を矯正することは困難であります。

溶接構造物で比較的単純な構造で、しかも、単純な歪であればプレス機で矯正することができますが、構造物の場合、一般的には、めっき後、歪を矯正することは困難といえます。

したがって、歪の発生をできるだけ少なく、また、なくすために、設計段階で構造や、歪防止の補強対策を設計者と、めっき技術者との間で十分に検討する必要があります。

たとえば、鈹桁、腹板のやせ馬防止策として、設計段階で

- ① 腹板厚に余裕をもたせる
- ② 垂直補剛材間隔を小さくする
- ③ 水平補剛材段数を増加する

などが考えられます。

また溶接構造物においては、溶接時の歪を極力少なくする製作方法が、めっき時の歪を少なくすることにも通じます。

Q 23. 部分的にめっきをしない個所をつくることができる？

A 鉄鋼構造物で添接部やネジ部に亜鉛めっきを必要としない場合も少なくありません。

めっき工程中の不良から生じる、亜鉛が付着すべき所に付着していないもの、また、意図的に作った添接部や、ネジ部の亜鉛の付着していない個所を、一般的に「不めっき」と呼ばれています。

この不めっき個所を意図的に作る方法としていろいろな方法があります。古くは、めっき直前に石灰を塗布していましたが、この方法は不完全で、今ではほとんど使われなくなり、最近では各めっき会社で独自に開発されたものや、市販の亜鉛めっき用不めっき剤が使われています。各社、使い分けは多少異なっていますが、製品により使い分けているのが現状で、不めっき処理についてはあらかじめ、めっき会社と話し合う必要があります。

決められた、所定の不めっき剤を所定の条件で製品に塗布、または接着したものを、めっきすれば必要不めっき面の確保は完全とはいえないが、ほぼそれに近い程度に確保でき、わずかに、亜鉛の付着した場合は、サンダーや、ヤスリで除去することにより、満足のいく不めっき面は得られます。

Q 24. 溶接部にも十分な亜鉛付着量のめっきができる？

A 亜鉛めっきの亜鉛付着量に及ぼす要因は材質(化学組成)、材厚、表面粗度、めっき温度などがあげられます。

溶接部の亜鉛付着量に影響を与える要因は材質のみで、他の要因は母材と同等とみなすことができる。鉄鋼製品を溶接する場合、母材の材質により溶接棒を選ばなくてはならないことは周知の通りであります。所定の溶接棒を使って溶接したとき物理的性質の靱性、硬さ、結晶の大きさなどは母材と異なりますが、めっきに影響する化学組成はほとんど違いはなく、溶接にピンホールなど溶接欠陥がなく、溶接後、スケールやスパッターを完全に除去すれば亜鉛付着量は、母材と同程度のものが得られます。

さびという漢字は現在、銹、錆が使われているが、本来は鏽、銹、銹で、鏽は“金属を精製した良いもの”という意味で、鏽をさびにあてるのは本来的にはよくないようである。

(「鉄のさび」山本洋一)

Q 25. ボルトやナットの亜鉛付着量は？

A ボルトやナットを亜鉛めっきしようとするとき、市販のボルトやナットにめっきしたのでは、めっき後ボルトとナットが嵌合しなくなるのが普通です。

ボルトやナットをめっきするとねじの溝部に亜鉛が溜り嵌合しなくなるので、めっきするためにはサイズによりますが、およそ0.4～0.8mmのオーバーサイズでねじを切っておく必要があります。JISH 9124の作業標準では、ナットに0.4mmのオーバータップを施すと記載されています。

(注)日本溶融亜鉛鍍金協会で行った実験によれば、M 8、M10の小径サイズで350 g/m²の付着量を得るには、0.7mmのオーバータップが必要と報告されています。

ボルトやナットは、めっき後直ちに遠心分離機にかけ余剰の亜鉛を取り除く操作を行うので、一般のめっき製品より亜鉛付着量は少ない傾向にあります。標準的な亜鉛付着量は

M 8～M10：250～350 g/m²

M12～M20：300～400 g/m²

M22以上：350～450 g/m²

ですが、使用環境から高付着量を要求される場合には、ナットにオーバータップを大きくとることが必要です。

溶融亜鉛めっきボルトの亜鉛付着量は250 g/m²以上は確保されているので、通常の電気めっきボルト（50 g/m²程度）より耐食性が良好であることは実績からも確認されています。しかし、一般には本体部分の付着量の方が高いので、それと同程度の耐食性をもたせるにはボルト接合後、高濃度亜鉛末塗料を塗布して防食性能を付加する方法がとられます。

Q 26. 亜鉛めっき後の曲げ加工は？

A 亜鉛めっき層は、純亜鉛層と合金層からなり、その亜鉛層、及び合金層の伸びには限界があり、それを越えるような苛酷な曲げ加工の場合、めっき層に亀裂や剝離を生じることがあります。

水道用亜鉛めっき鋼管の規格や、外国の一部の規格（BS）に曲げ試験が規定されております。その規格によると、曲げ内側半径が管の外径の8倍で90度に曲げられるものです。この規格でもわかるように、曲げは比較的大きな曲げ半径で曲げられています。

めっき層の曲げに対する剝離要因は曲げ半径、及び曲げ角度が大きな要因であり、曲げ半径が小さくなるに従ってめっき層は剝離しやすくなります。

曲げ加工性はめっき条件によっても影響されるので、めっき条件を考慮する必要があります。

曲げ加工性を良くするには、合金層の成長をできるだけ抑え、純亜鉛層を均一につけなければなりません。このためには、めっき温度を比較的低温度にし、浸漬時間もできるだけ短かくし、また、めっき後、できるだけ早く冷却する必要があります、しかしながら、めっき製品のめっき後の曲げ加工には限度があり、苛酷な曲げ加工される場合はめっき前に曲げ加工を施してめっきされることが望ましく、やむをえずめっき後、曲げ加工をする場合は、めっき会社担当者と事前に十分な話し合いが必要であります。

なお、亜鉛めっき鉄筋の曲げ加工については日本建築学会、土木学会から、亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造りの設計施工指針が出されておりますので参考にして下さい。

Q 27. 亜鉛めっき表面に発生する「白さび」とは？

A 白さびとは、白色または白色に一部淡褐色の斑点を伴うかさばった亜鉛酸化物がめっき表面に形成された状態で、外観は白墨の粉が付着している感じです。

白さびは亜鉛光沢のあるめっき層が雨や露でぬれて容易に乾燥しないような環境にさらされたときに発生します。めっき層の全面が雨または露で均一にぬれているとき、またはぬれても比較的早く乾燥する環境下では白さびは発生しません。

めっき表面に亜鉛を腐食させる物質、たとえば強酸性物質、強アルカリ性物質、有機酸、食塩などが付着するといちじるしい白さびを発生します。海上輸送などで海水がかかっても白さびの原因となります。

白さびは、かさばった亜鉛酸化物なので、実際のめっき層の腐食が僅かでもいちじるしく腐食されているように見えます。白さび発生部でも、その環境下から開放されると次第に脱落し、めっき表面には緻密な保護性皮膜を形成するので、耐食性にも影響はありません。

白さびの発生を防止したいときは、保管時の環境に留意しなければなりません。すなわち、雨や露にできるだけぬらさないこと及び通風をよくしてぬれた場合すみやかに乾燥させることが必要です。

Q 28. 「やけ」, 「たれ」, 「かす」とは？

A めっき表面にピカピカした金属亜鉛の光沢がなく、つや消しまたは灰色を呈していたり、はなはだしい場合は暗灰色となることがありますがこの状態をめっきの「やけ」と呼んでいます。

「やけ」は、鉄と亜鉛の合金反応が活発で合金層がどんどん成長しめっきの表面に露頭したものです。合金層の露頭が少ないとつや消し程度ですが、多くなるにつれて灰色から暗灰色へと変化します。

やけの発生はめっき条件（めっき浴の温度、冷却速度）である程度の防止はできますが、被めっき材の材質特に珪素の含有量が最も大きく影響しますので、珪素含有量によってはめっき操作上での防止はむづかしくなります。

しかし、やけた面とやけない面との耐食性には、通常の大気環境下では全く差がないので、実用上やけは問題ないといえます。参考までに10年間の曝露試験結果から推定した寿命を示します。

通常「たれ」と呼ばれているのは、めっき層の表面に局部的に亜鉛が残留し目視的に大きな凹凸を生じた状態をいいます。

被めっき材を亜鉛浴より引き上げますと、被めっき材の表面に合金層が形成され、その上に熔融亜鉛の粘性により亜鉛が付着します。この亜鉛が熔融状態にある間は重力により下の方へ流れ落ちますが、温度の降下とともに凝

(年)

環境区分	曝露試験地	455°Cめっき	475°Cめっき	やけめっき
工業地帯	鶴見工業高校	13	13	13
田園地帯	奈良地方気象台	100	104	104
海岸地帯	伊良湖岬測候所	50	50	47

(注) 亜鉛付着量 600g/m² 基準として。

固をはじめ流れはとまります。この状態が全面均一に生じた場合は平滑なめっきが得られますが、部分的に生じた場合に「たれ」となります。したがって、亜鉛浴の温度が低い場合は凝固が速いのでたれを生じやすくなります。また、形状的に溶融亜鉛が流れにくいと大きなたれを生じますので、設計の段階でめっき業者と打合せることをおすすめします。

「たれ」は亜鉛が局部的に過剰に付着したものですから、亜鉛めっき本来の目的である耐食性からみると有利といえます。したがって、ボルト接合する面とか嵌合する面とか実用上障害となる部分を除いては、そのまま使用すべきです。ただし、コブ状のたれとか末端に生じる突起状のたれは、軽い衝撃で脱落したり、ハンドリング中手にささるなどの事故を生じる恐れがありますので、ヤスリやグラインダーで取り除くことが必要です。

「かす」は、通常亜鉛浴の表面に浮いている酸化亜鉛（一般に灰と呼ぶ）をさします。

被めっき材を亜鉛浴から引き上げるときは、この灰を取り除いて清浄な浴面にして引き上げ、めっき表面への付着を防ぎます。しかし複雑な形状をした被めっき材の場合は部分的に付着しますので、付着した灰へ少量の塩化アンモニウムの粉末をふりかけて取り除きます。

この灰が酸化亜鉛のみであれば実用上全く問題はありませんが、付着がいちじるしいときはワイヤーブラシやヤスリなどで取り除いた方がいいです。

Q 29. 亜鉛めっき表面が光沢を失ったり、光沢にばらつきがあるのはなぜ？

A 亜鉛めっき製品は、大気中で使用しているとめっき層表面に緻密な亜鉛酸化皮膜を形成します。亜鉛めっきが優れた耐食性をもっているのは、この亜鉛酸化皮膜が下地亜鉛を保護するからです。

めっき直後の酸化皮膜は0.1ミクロン以下と非常に薄いため、光を透過し下地亜鉛の光沢をわれわれの目にみせるのですが、時間の経過とともに次第に酸化皮膜が厚くなり光を透過しなくなり光沢を失います。

亜鉛めっき表面の光沢が変化するには三つの形態があります。すなわち

- (1) 金属亜鉛の光沢があるものとないもの
- (2) 光沢に青色や黄色などの色彩的に変化のあるもの
- (3) 花模様（スパンゲル）のあるもの

(1)は被めっき材の材質などに起因して生じるやけの現象によるもので、部材ごとまたは部分的につや消しまたは灰色などの状態となったものです。

(2)はめっき層表面の酸化皮膜の状態によって生じます。空気中の湿気と炭酸ガスが働いてできる塩基性炭酸亜鉛の皮膜は青味を帯びて見えます。めっき浴の温度が低いときは黄色、青色などさまざまな色が現われることがありますが、これは酸化皮膜の干渉色であります。

(3)は薄板をめっきした場合に多く見られます。亜鉛が凝固するとき結晶の核の発生にはいくらか遅速があるので、自然の凝固に任せた場合大小種々の花模様が入り乱れて形成します。核の発生を人為的に操作し規則的に花模様を形成する技術が開発され実用化されていましたが、この場合めっき後の加工性が若干低下するため、最近では加工性が良く、めっき面への塗装性も優れている花模様の細かいものか、全く認められないものが多く採用されています。

Q 30. 着色亜鉛めっきはできる？

A

着色めっきはできないことはありませんが、まだ研究段階です。

その一つはめっき用亜鉛浴に添加物を入れて添加元素の酸化皮膜による干渉色を利用するものです。

これは水の上の薄い油膜が虹のように見える現象と同じで、赤・青・黄・金色など各種の色を出すことができます。

しかしコストが高い、プロセスのコントロールがむづかしいなどの理由で、未だ完全な実用化には至っておりません。

今のところはめっき上の着色には塗装が適当と思われ、ライフの点でも有利です。これについては塗装の項を参照してください。

亜鉛めっきの歴史

亜鉛を鉄製品にめっきすることは、1837年（天保のころ）にイギリスのH・W・クランクフルドが発明したと言われ、スズの熱づけめっきにくらべると、まるで近ごろのことである。

（「さびの話」山本洋一）

Q 31. 亜鉛めっきが傷ついたり剥離したときの補修は？

A めっき製品に切断、穴あけ、溶接などの加工をしたり、構造上、取扱い上および素材表面の異常状態によって素地の鋼材が部分的に露出する場合には、このめっきのない部分にめっきと同等の耐食性を備えた補修が必要です。

一般には、耐食性、密着性ともよく作業性が容易な高濃度亜鉛末塗料が用いられていますが、亜鉛合金類の融着、亜鉛溶射による方法などがあります。いずれの方法も補修部分はブラッシング、やすり掛けなどで異物を完全に除いてから行う必要があります。

(1) 高濃度亜鉛末塗料

多量（90%以上）の金属亜鉛末と展色剤からなる亜鉛の電気化学的防食能力を持つ塗料です。はけでの1回塗りで50 μ m程度の塗膜が得られ、優れた耐食性をもつ最も便利な補修剤といえます。また、亜鉛めっきの初期の色調に類似させるため、亜鉛末の量をへらしてその分アルミニウム粉末を混合した塗料も使われています。

(2) 亜鉛合金類の融着

亜鉛を主体とした低融点金属合金の皮膜を鋼材の表面に融着させる方法です。

補修した表面の硬さは塗料の硬さに比べて大きく、溶剤の蒸発、混合物の重合や酸化がないため、すぐに保護的な性質を示します。

(3) 亜鉛溶射

メタリコン用のガンで亜鉛を溶射して補修します。補修部分はあらかじめブラストにより表面を粗しておき、皮膜は80 μ m以上の厚みに溶射する必要があります。

Q 32. 亜鉛めっき表面に塗装はできる？

A 亜鉛めっきはその防食機構からも裸のまま使用することが原則的な使い方です。しかし腐食環境においては、めっき上に塗装することは効果的な方法といえます。

めっきした亜鉛の側からは、表面に塗膜があるために水などからシールされて腐食の進行が遅くなり、また塗膜の側からは亜鉛の腐食が遅いために下地のいたみが少ないこととなります。

このお互いの相乗効果のために、亜鉛めっき上に塗装した場合のライフは、〔亜鉛めっきだけの耐用年数〕と〔塗膜だけの耐用年数〕の合計の1.5～2.3倍とみることができます。このために特に長期の防錆を必要とする場合には有効な方法です。

ただ亜鉛の特質上、塗料を選ぶ必要があり、油性系、アルキッド系のは避けた方がよいようです。

初期塗装する場合には、

- (1) 油分の付着は脱脂洗浄します。
- (2) 付着性を確保するためには、りん酸塩処理かスリーブブラスト処理あるいはエッチングプライマーを用います。
- (3) 塗装系としては塩化ゴム系（2～3回塗り）か、下塗りに亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料、中塗りポリウレタン樹脂塗料用中塗、上塗りポリウレタン樹脂塗料上塗りが用いられています。

塗り替え塗装の場合には、

- (1) 表面に付着しているほこり、ゴミなどを清掃除去します。油分の付着は脱脂洗浄します。
- (2) 白さびは研掃タワシなどで除去し、赤さび発生部は電動工具等で素地調整します。

- (3) 塗装系としては、補修塗り及び下塗りは亜鉛めっき面用塗料を用い、中塗り、上塗りは初期塗装と同じ塗装系を用います。

かみそりの 一夜にさびて 五月雨 (凡兆 江戸時代)

いたくさびし ピストル出でぬ 砂山の 砂を指もて 握りてありしに (啄木)

湿度が高く結露するような天候のときには研いだばかりの包丁なども見るまに黄茶色から赤くさびていくことがある。

また赤さびた道具、鉄道レールなどはいかにも空しさ寂しさを思わせるものである。 (「鉄のさび」山本洋一)

Q 33. 亜鉛めっきの規格は？

A 溶融亜鉛めっきに関連する JIS は三つあります。

JIS H 8641 溶融亜鉛めっき

JIS H 0401 溶融亜鉛めっき試験方法

JIS H 9124 溶融亜鉛めっき作業標準

このうち、溶融亜鉛めっき製品の品質を規定しているのは JIS H 8641 で、亜鉛鉄板及び亜鉛めっき鉄線類を除くすべての鉄鋼製品に適用されます。品質項目は外観、亜鉛付着量、硫酸銅試験回数、密着性の 4 項目です。

(1) 外観

「めっき面は実用的に滑らかで、不めっきその他使用上有害な欠陥があってはならない」と規定されており、溶融亜鉛めっきは本来装飾の目的で施されるものではないから、美観的要素でめっき製品の良否を判断すべきではないと解説されています。

(2) 亜鉛付着量

溶融亜鉛めっきの耐食性を決定する第一の要因は亜鉛の付着量で、めっき皮膜の寿命はその厚さにほぼ比例します。

亜鉛付着量は規格の種類で 2 種で、表に示すように 5 ランクに区分して規定されております。めっき加工に際してどのランクを採用するかは、基本的には表の適用例に示すめっき素材の寸法によりますが、使用条件や使用環境ならびに必要な耐用年数を加味して決定されます。

(3) 硫酸銅試験回数

ボルトやナット又は複雑な小物類で、表面積の計算がむづかしく、亜鉛付着量の測定が困難な製品に適用されます。

硫酸銅試験回数は規格の種類で 1 種で、p. 61 の表に示すように 2 ランクに区分して規定されております。どちらのランクを採用するかは、表の適用

例に示すめっき素材の寸法によって決定されます。

(4) 密着性

「めっき皮膜は、素地とよく密着し通常の手扱いはく離やき裂を生じないものでなければならない」と規定されており、その試験方法は JIS H 0401 で通常は目視によるとされています。溶融亜鉛めっき皮膜は、鉄と亜鉛の合金反応により形成されるので、密着力は強く通常の手扱いでは、はく離やき裂を生じないことが確認されているからです。

ただし、めっき後曲げ加工を施したり、板ばねのように繰り返し応力が加えられるなどで密着性を確認する必要がある場合は、事前に当事者間で試験方法や判定基準を協定すべきとなっております。この場合、一般的にはハンマ試験が採用されますが、JIS H 0401 では試験片の厚さが 8 mm 以上で試験面が平坦なものと適用範囲が限定されています。

以上が JIS に規定されている品質規格ですが、溶融亜鉛めっき本来の目的である耐食性の面からみると、仕様の設定に当っては出来るだけ 2 種を適用するのがよいでしょう。

種類	記号	付着量 g/m ²	硫酸銅試験回数	適用例(参考)
1種	HDZ A	—	4回	厚さ5mm以下の鋼材・鋼製品・鋼管類、径12mm以上のボルト・ナット及び厚さ2.3mmを超える座金類。
	HDZ B	—	5回	厚さ5mmを超える鋼材・鋼製品、鋼管類及び鋳鍛造品類
2種	HDZ 35	350以上	—	厚さ1mm以上2mm以下の鋼材・鋼製品、径12mm以上のボルト・ナット及び厚さ2.3mmを超える座金類。
	HDZ 40	400以上	—	厚さ2mmを超える3mm以下の鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。
	HDZ 45	450以上	—	厚さ3mmを超え5mm以下の鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。
	HDZ 50	500以上	—	厚さ5mmを超える鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。
	HDZ 55	550以上	—	過酷な腐食環境下で使用される鋼材・鋼製品及び鋳鍛造品類。

- 備考 1. HDZ 55のめっきを要求されるものは、素地の厚さ3.2mm以上であることが望ましい。3.2mm未満の場合は事前に当事者間で協議すること。
2. 表中適用例の欄で示す厚さ及び径は、呼称寸法による。

Q 34. 亜鉛めっきにはどんな検査がある？

A 溶融亜鉛めっきの品質は、JIS H 8641に外観、付着量、硫酸銅試験回数及び密着性について規定され、また、これらの検査についても規定されています。

外観検査は、目視や手ざわりによって行なわれ、亜鉛めっきの目的から、特に実用上有害な不めっきなどの欠陥がなければ良品とされます。製品の使用目的、例えばボルト接合における合せ面など、特に平滑なめっき面を要求する場合は事前に取り決める必要があります。亜鉛めっき面に生じる諸現象はJIS H 8641に解説されていますので参考にして下さい。

付着量、硫酸銅試験回数、密着性の検査は、JIS H 0401により行なわれます。試験片の採取には二つの方法があり、一つは同一素材で同一めっき条件でめっきされた製品の中から、ロットを代表する試料を抜き取ります。もう一つの方法は、製品から試験片を切り取ることができない場合は、製品に使われたのと同じ材料から試料を採取し本体と一緒にめっきしたものを試験片とすることができます。密着性については製品を目視で検査し、はく離やき裂の有無を確認します。製品の使用条件によって密着性の確認が必要な場合は、事前に当事者間で十分に協議し、ハンマ試験などの適用について協定しておくべきです。

非破壊検査として、電磁微厚計など電気的にめっき皮膜の厚さを測定する方法がありますが、測定結果のばらつきが大きいためJIS H 0401では正式な測定方法として認められておらず、参考として記載されています。しかし、実際には広く利用されています。この方法による場合は少なくとも数箇所以上について測定し、その平均値を付着量に換算する必要があります。

Q 35. 亜鉛めっき構造物の検収方法は？

A めっき品質についての検収は、あらかじめ取り交わした仕様書によって行なわれます。

付着量、均一性など試験によって確認される項目については、めっき会社からの試験成績書によるのが一般的です。

検収時最も問題になるのは外観品質で、めっき面の平滑や、歪についてであります。

受入側は美観的な判断をするのに対し、納入側は耐食性を重点として実用上から判断するので、見解の相違によるトラブルを生じることもあります。したがって外観基準や、歪の基準はあらかじめ十分に打ち合せ、意見の調整をしておく必要があります。特に接合面や嵌合面など、実用的に精度を要求される部分については特に、明確にしておかなければなりません。

参 考 資 料

A 耐久, 耐食性, 施工実績

No.	表 題	著者名, 資料名
1	51年間大気暴露された溶融亜鉛めっき送電鉄塔の品質試験	伊藤祐一外 昭 45.3 日本鉛亜鉛需要研究会(鉛研) No.8
2	亜鉛めっきの耐用年数	日本橋梁建設協会 昭 48. 鋼板桁の溶融亜鉛めっき
3	橋の鋼材すべてを溶融亜鉛めっきしたカナダの Lizote 橋	J.R. Hall 昭 47.3 鉛研 No.4
4	橋梁の亜鉛めっきについて	鈴木久男外 昭 47.3 鉛研 No.6
5	米国初の溶融亜鉛めっき橋	F.J. Brechting 昭 48.1 鉛研 No.20
6	諸外国の長大橋の防食	津田伊三郎 昭 48.8 鉛研 No.41
7	10年間の大気暴露試験	田中亜鉛鍍金(株) 昭 51.7
8	溶融亜鉛めっきの屋外暴露試験と促進劣化試験	日本ウェザリングテストセンター 昭 47.9
9	亜鉛とその耐食性	ILZRO 昭 49.8 日本鉛亜鉛需要研究会
10	鋼板桁橋の溶融亜鉛めっき	オーエム工業
11	溶融亜鉛めっきの耐食性	日本溶融亜鉛鍍金協会
12	溶融亜鉛めっき橋梁の実績	オーエム工業
13	橋梁の溶融亜鉛めっき	御子柴光春外(日本道路公団) 昭 52.7 土木施工 18, 10号 岩波書店
14	理化学辞典	

B 塗装その他防食法とのコスト比較

1	塗装費との比較	日本溶融亜鉛鍍金協会 昭 52.4 溶融亜鉛めっきアルバム
2	鋼板桁の溶融亜鉛めっき費用	日本橋梁建設協会 昭 48.9 鋼板桁の溶融亜鉛めっき
3	英国における防食のための各方法と経済性の比較	ZDA 昭 52.8 三井金属編
4	鋼材保護用亜鉛被覆の経済性	オーストラリア亜鉛開発協会 昭 44.2 鉛研 No.28

No.	表 題	著者名, 資料名
5	構造材に対する溶融亜鉛めっき	花井清(訳) 昭 49.10 鉛研 No.46
6	大型構造物の塗装費比較表	日本鉛亜鉛需要研究会調査 昭 52.6
7	金属溶射単価調査	日本溶射工業会 昭 52.9
8	鋼道路橋塗装工事積算資料	日本塗装工業会 昭 50.12
9	現状の各種防食コストの比較	三井金属 昭 52.9
10	Protection Cost of Structural Steelwork	Zinc Development Association 1976
11	最近の塗装系と溶融亜鉛めっきコストの比較	Eijnsbergen 1977.5. 質問状に対する回答
12	溶融亜鉛めっき鋼——追加コストあるいは資本投資	T.J. Kinstler 1975.10. Zinc Abstracts
13	橋梁の溶融亜鉛めっき	御子柴光春外(日本道路公団) 昭 52.7 土木施工 18, 10号
C 亜鉛めっき鋼の塗装, 密着性		
1	鉛酸カルシウム系塗料の特徴と実績	(三井金属)
2	溶融亜鉛めっき鋼の塗装	J.F.H. von Eijnsbergen 昭 47.3 鉛研 No.10
3	亜鉛表面の塗装	ZDA F.C. Porter 昭 44.12 鉛研 No.32
4	溶融亜鉛めっき送電鉄塔の塗装試験	昭 44.8 表面処理ジャーナル
5	船体の溶融亜鉛めっき臓装品に対する塗装系の検討	日立造船技術研究所 昭 48.2
6	めっき鋼材の加工	日本鉛亜鉛需要研究会 昭 52. 亜鉛ハンドブック
7	溶融亜鉛めっき鋼の塗装	オランダ溶融亜鉛めっき協会 昭 42.9 鉛研 No.14
8	腐食防止のための亜鉛か, あるいは亜鉛の腐食防止か	H. Winkler 1976. 2 Zinc Abstracts
9	亜鉛表面の保護皮膜の形成法	Heatbath Corp. US patent 3,929,514 1976. 8 Zinc Abstracts
10	亜鉛の表面処理	Pyrene Chemical Services Ltd. B.P. 1,430,020.24 1972. 4 Zinc Abstracts
11	各種防食法の経済的, 技術的すう勢	R.R. Bishop 1971.10 Zinc Abstracts
12	溶融亜鉛めっき鋼の塗装	J.J. Livingstone 外 Zinc Abstracts

No.	表 題	著者名, 資料名
13	溶融亜鉛めっきの塗装の組合わせ方式	W. Seiter 第9回国際溶融亜鉛めっき 会議論文
14	亜鉛めっき鋼の塗装	三井金属パンフレット
15	Evaluation of Zinc Surfaces for Coat- ing Industrial Production Line Products	F.E. Tropp Journal of Paint Tech- nology, Vol. 39, No. 507, pp. 225-254 (1967)
16	メッキ+塗装二重系の20年の結果	Eijnsbergen 11th Inter. Galva. (1976)
17	亜鉛被覆材の防食性および塗装適性の 研究	新日本製鐵 三井金属 (共同) 昭 53.7
D キルド鋼, 高張力鋼の溶融亜鉛めっき		
1	シリコン含有鋼の溶融亜鉛めっき	ILZRO 1975 セミナー資料
2	シリコン鋼の溶融亜鉛めっき	昭 51 溶融亜鉛めっき 国際会議資 料 (第11回)
3	キルド鋼の溶融亜鉛めっき	ILZRO 1974. No.34 亜鉛研究ダイ ジェスト
4	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	日本溶融亜鉛鍍金協会(第1~第3報) 昭 51.11
5	溶融亜鉛めっき鋼材の高張力ボルト接合	W.H. Munse 昭 47.2 鉛研 No.31
6	めっき素材	日本鉛亜鉛需要研究会 昭 52 亜鉛 ハンドブック
7	高力ボルトの暴露試験その後の経過	日本鋼構造協会 昭 46
8	溶融亜鉛めっき間の拡散における鋼中 のシリコンの効果	A.A. Tarasova 1974 Zinc Abstracts
9	溶融亜鉛めっきをするための建設用鉄 鋼の適否	N. Dreulle 1976. 4 Zinc Abstracts
10	構造用鋼に対する亜鉛皮膜の形成	Anon Verzinken 1973. 10 Zinc Abstracts
11	溶融亜鉛めっきに対する鋼材の適応性	Max Plank 鉛と亜鉛
12	ボルト結合に用いた溶融亜鉛めっき鋼 材橋梁	Civil Eng. (USA) 1971. 2 Zinc Abstracts
13	橋梁の溶融亜鉛めっき	御子柴光春外 昭 52.7 土木施工 18, 10号
14	溶融亜鉛めっき発注の手引	田中亜鉛鍍金

No.	表 題	著者名, 資料名
15	溶融亜鉛めっき鋼材に関する研究	新日本製鐵・三井金属 (共同)
16	溶融亜鉛めっき橋梁の実績	オーエム工業
E 鋼材のめっき加工, めっき鋼材の溶接		
1	鋼板桁の溶融亜鉛めっき	日本橋梁建設協会 昭 48
2	一般溶融亜鉛めっき	日本鉛亜鉛需要研究会 昭 52.4 亜鉛ハンドブック
3	亜鉛めっき鋼材の溶接手引	鋼材倶楽部 昭 52.1
4	溶融亜鉛めっきによる溶接構造物の疲れ強さの改善	益本功外 昭 48.2 鉛研 No.40
5	溶融亜鉛めっき鋼を抵抗溶接する方法	Schrade F. Radtke 昭 45.3 鉛研 No.22
6	溶融亜鉛めっき鋼の電弧溶接	E.N. Gregory 昭 43.8 鉛研 No.24
7	溶融亜鉛めっき浴	ILZRO 1971. No.34 亜鉛研究ダイジェスト
8	一般溶融亜鉛めっきの手引	Hot Dip Galvanizer Association (表題に同じ)
9	構造用鋼材の溶融亜鉛めっきに関する研究	建材試験センター 昭 47.9 (表題に同じ)
10	構造鋼の溶融亜鉛めっき	R.D. McDonald 1976. 10 (35-4436) Zinc Abstracts
11	新加熱方式が亜鉛めっきプロセスを改良する	Anon Materials Eng. 1977. 2 (35-3949) Zinc Abstracts
12	腐食抵抗を改善した亜鉛めっき	Anon Materials Eng. 1976. 10 Zinc Abstracts
13	橋梁の溶融亜鉛めっき (めっき加工の問題)	御子柴光春外 昭 52.7 土木施工 18, 10号
14	構造用鋼材の溶融亜鉛めっき	ZDA 鉛と亜鉛 No.83 ('78-5)
F 亜鉛めっき鉄筋		
1	溶融亜鉛めっき鉄筋使用の煙突について	松本 鉛と亜鉛 No.80 ('77-11)
2	亜鉛めっき鉄筋とコンクリートとの付着強度	西, 山本 日本建築学会論文集 昭 44

No.	表 題	著者名, 資料名
3	溶融亜鉛めっき鉄筋のコンクリート中の機械的性質に関する研究	ILZRO, 和田 鉛と亜鉛 No.72('76-7)
4	電々公社尾道海底線棧橋の防食効果の追跡調査について	関西電食防止対策委員会 鉛研 No.47
5	コンクリート用鉄筋の溶融亜鉛めっき	ILZRO 鉛研 No.37
6	亜鉛めっき鉄筋の実用化の研究	小林 日本溶融亜鉛鍍金協会, 日本鉛・亜鉛需要研究会
7	コンクリート用亜鉛めっき鉄筋	三井金属
8	亜鉛めっき鉄筋の付着性状	構造用鋼材の溶融亜鉛めっきに関する調査研究委員会報告書
9	亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造の設計施工指針(案)	日本建築学会 昭 54.12
10	亜鉛めっき鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(案)	土木学会 昭 55.4
11	鉄筋の防錆に関する規定とその考察	小林 鉛と亜鉛 No.77 ('77-5)
12	沖縄の RC 造の腐食について	小林 鉛と亜鉛 No.72 ('76-7)
13	塩化物を含有するコンクリート中の溶融亜鉛めっき鉄筋	David Stark 鉛と亜鉛 No.86('78-11)
14	亜鉛めっき鉄筋コンクリートガイドブック	(社)鋼材倶楽部 日本鉛亜鉛需要研究会 (社)日本溶融亜鉛鍍金協会
G めっき加工工程の環境, 衛生		
1	亜鉛—男性のための金属	William H. Strain 日本鉛亜鉛需要研究会 昭 42
2	亜鉛の人体に及ぼす影響	梶原忠政 昭 52 亜鉛ハンドブック
3	溶鉛亜鉛めっき工程における排水処理	K.S. Johnson 昭 46.7
4	めっき廃水処理の現状と将来	昭 51.5 鉛と亜鉛 No.71
5	溶融亜鉛めっきにおける廃棄物処理設備	昭 47.5 鉛と亜鉛 No.47
6	Industrial Hygiene and Toxicology	Interscience Publishers
7	産業医要覧	労働省, 労働基準局
8	産業医学	日本産業衛生協会 昭 40.12
9	公害と毒, 危険物	堀口博
10	労働衛生のしおり	労働省, 労働基準局安全衛生部

No.	表 題	著者名, 資料名
11	Occupational Disease	U.S. Department of Health
12	有害物管理のための測定法	労働科学研究所
13	亜鉛の人体に対する役割	日月, 小川 鉛と亜鉛 No.85('78-9)
14	東名高速道路・溶融亜鉛めっき防護柵による影響について	日本溶融鍍金協会・調査報告書
H その他全般ならびに溶融亜鉛めっき構造物の設計施工示方書, 標準書		
1	亜鉛の生産, 性質, 用途	日本鉛亜鉛需要研究会 昭 52 亜鉛 ハンドブック
2	地方当局のための溶融亜鉛めっき法の紹介	英国溶融亜鉛めっき協会 昭 42.9 鉛研 No.1
3	ヨーロッパにおける溶融亜鉛めっき鋼の最近の使用例	ヨーロッパ一般溶融亜鉛鍍金協会 (EGGA) 昭 44.10 鉛研 No.11
4	溶融亜鉛めっきされた世界最大重量鋼材 (パキスタンの国営発電所建家構築用鋼材)	田中亚鉛鍍金(株) 昭 45.3 鉛研 No. 19
5	ヨーロッパの道路に用いられている溶融亜鉛めっき鋼	ZDA 昭 42.8 鉛研 No.16
6	溶融亜鉛めっきアンケートの質問に対する解説	杉浦, 藤井 昭 48.1 鉛研 No.27
7	最近の亜鉛めっきの性質, および応用面について	Eijnsbergen 講演会 昭 45.5 鉛研 No.33
8	溶融亜鉛めっきのための設計とめっき製品取扱	杉浦, 首藤 昭 47.3 鉛研 No.38
9	構造材に対する溶融亜鉛めっき	ZI 昭 49.10 鉛研 No.46
10	亜鉛溶射	亜鉛開発協会 ZDA 昭 44.4 鉛研 ・溶射シリーズ No.1
11	著しい腐食環境における鉄鋼製品の防食	杉浦文雄 昭 45.10 鉛研 No.34
12	低コストの腐食抵抗体亜鉛めっき鋼	A. McLennan Process Eng. (UK) 1974. 9 Zinc Abstracts
13	亜鉛回収	Fesco International Ltd. B.P. 1, 205, 634 1971. 7 Zinc Abstracts
14	本州・四国連絡橋大型部材への溶融亜	日本溶融亜鉛鍍金協会 昭 52.11

No.	表 題	著者名, 資料名
	鉛めっきの研究	
15	送電用鉄塔設計標準	電気学会, 電気規格調査会・標準規格 1965 (JEC=127)
16	溶融亜鉛めっき鋼板桁橋設計施工示方 書(案)	(社)日本橋梁建設協会 昭 48.3
17	本州・四国連絡橋鋼上部構造に関する 調査研究(別冊5)	土木学会(本四連絡橋鋼上部構造研究 小委員会) 昭 48.3
18	全溶融亜鉛めっき橋梁の施工(第二神 明道路一明石 SA 橋)	日本道路公団・大阪建設局(御子柴他) 昭 52.10 橋梁と基礎('77-10)
19	亜鉛めっき鋼材ボルト継手のスリップ 抵抗	John R. Daesen 昭 44.10 鉛研 No.9
20	溶融亜鉛めっき橋設計・施工マニユア ル	日本橋梁建設協会