

防錆設計技術研究部会

研究成果（その3）溶融亜鉛めっき橋梁

目 次

第1章 溶融亜鉛めっきの概要	66
1.1 溶融亜鉛めっきの沿革	66
1.2 溶融亜鉛めっき皮膜の組織	67
1.3 溶融亜鉛めっきの特性	68
1.4 溶融亜鉛めっきの作業工程	70
第2章 溶融亜鉛めっき橋梁の設計施工	75
2.1 溶接部割れの現状と対策	75
2.2 部材変形の原因と対策	80
2.3 溶融亜鉛めっき橋梁の設計上の留意点	87
2.4 溶融亜鉛めっき高力ボルト	90
2.5 付属物の溶融亜鉛めっき	95
2.6 溶融亜鉛めっきの規格	96
2.7 溶融亜鉛めっきの品質	98
2.8 仮組立時及び現場工事時の留意事項	109
第3章 無塗装橋梁の実績について	112

第1章 溶融亜鉛めっきの概要

1.1 溶融亜鉛めっきの沿革

材料としての鉄は紀元前より使われているが、当時は貴重品のため磨いて光らせて使い、防錆という考え方はなかったようである。15世紀後半から高炉による鉄の生産が可能となり、大量生産の幕あけとともに防錆も重要なテーマとなってきたと思われる。この頃より油絵具の改良が進み、17世紀前半からヨーロッパにおいて鉄にワニスを塗布して、防錆・着色に役立てることが広まったようである。また日本においても鉄に漆・桐油の塗布が行われていた。

これに対して亜鉛は比較的新しい金属で、単体としては中国で“倭鉛”と称して15世紀末に得られるようになったのが最初で、日本へも止多牟と称して17世紀初めに輸入されている。これがヨーロッパに伝わった後、ある程度の規模で製造されたのは18世紀中頃のことであり、さらに工業的規模で得られるようになったのは19世紀初頭の事である。

また、この頃イタリアのガルバニが電気化学的な研究を行っており、1830年代にはイギリスで溶融亜鉛めっき法、電気亜鉛めっき法が相ついで発明され、19世紀中期以降各国で亜鉛めっきが広まっていった。

日本での亜鉛めっきの記録ははっきりしないが、電気亜鉛めっきの方が早かったようで、明治33年には早くも東京鍍金同業組合が設立された。これは電気めっき業者の集まりであり、貴金属めっきが主だったようである。

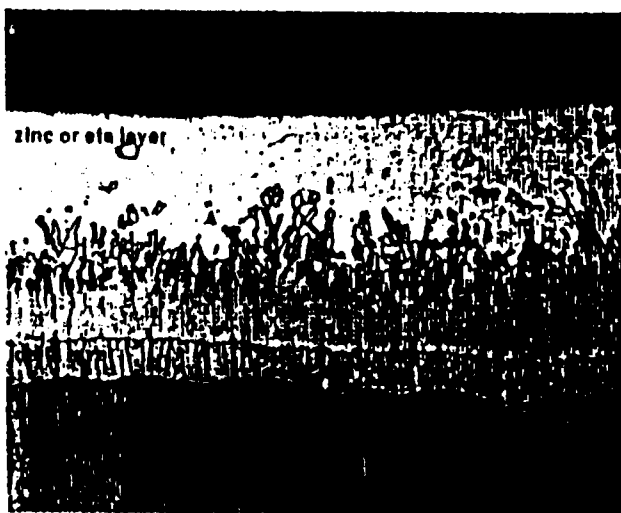
溶融亜鉛めっきは明治10年代に汐留で電信線のめっきをしたのがはじめのようであるが、この頃の亜鉛地金はまだ輸入品であり、日本で産出する亜鉛の鉱石はすべて輸出されていた。日本における亜鉛の製錬は大正初期にはじまり、第1次大戦に伴う需要の拡大で急伸したが、その終結とともに衰退し、昭和に入ってから再び伸びていった。溶融亜鉛めっきの方も大正時代にボルト、パケツ、ドラム缶などに採用されだし、昭和初期には送電鉄塔、架線金物、ガス管などが次第に増えてきた。

昭和20年代になると溶融亜鉛めっき業者も次第に増え、特に水道用配管に亜鉛めっき鋼管が採用されてから生産量も増加した。これに対して鋼管以外の鋼構造物をはじめとする加工品類は昭和40年代前半の東名高速道路の付属施設（ガードレール等）への採用を契機として需要分野が拡大し、橋梁・道路部材等の道路分野をはじめ、建築、電力・通信、鉄道、レジャースポーツ施設へと普及が進んでいった。この中で建築分野では塩分や水分が作用する環境の厳しい海岸地域の建物や室内プール等を中心に使用されるようになり、最近では東北・上越両新幹線の建設に関連して駅舎等にも使用されている。

1. 2 溶解亜鉛めっき皮膜の組織

溶解亜鉛めっきの耐食性の優秀さの一端は、そのめっき層の組織構造によるものである。めっき面の断面を顕微鏡で見ると、写真1.1に示すように溶解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、溶解亜鉛浴より引上げる時に合金層の上に付着する亜鉛層から成っている。通常のめっき条件で見られる皮膜組織は、鉄素地に近い方から、 δ_1 (デルタ・ワン) 合金層、 ζ (ツェータ) 合金層および溶解亜鉛浴と同じ組成の η (イータ) 層である。なお、鋼材の種類やめっき条件によっては、鉄素地と δ_1 層の間に Γ (ガンマ) 合金層が生ずることもある。

これらの各層の特性は以下に述べる通りである。



名称	通常の厚み
η 層 (純Zn層)	40 μ m
ζ 層 (94%Zn-6%Fe)	40 μ m
δ_1 層 (90%Zn-10%Fe)	10 μ m
Γ 層 (75%Zn-25%Fe)	~1 μ m
鉄素地	

写真1.1 めっき層の断面組織

δ_1 層は、通常めっき皮膜では最内部に見られるもので、ち密な組織をもち韌性、延性に富んでいるのが特徴である。

ζ 層は、皮膜中最も顕著な組織で柱状組織を呈する。めっきの付着厚が大きい時は、この層が厚くなっていることが多い。又、この層は、他の層に比べて結晶の対称性が低く、結合が弱いために脆く、加工するときれつを生じ易い。

η 層は、最上部の亜鉛層で、めっき浴から鋼材を引上げてくる際付着する柔軟で延性に富む。

めっき製品の外觀は、最上層の η 層によるもので、めっき直後は金属光沢を有するが数ヶ月で光沢を失い、灰色に変化するのが普通である。

1. 3 溶融亜鉛めっきの特性

鉄鋼材料の表面に亜鉛被覆することの特徴は、まず一般大気中で耐食性が良い事である。これは、一般大気中で亜鉛の表面に生ずる塩基性炭酸亜鉛などの腐蝕生成物が、ち密で耐食性に優れていることによる。

溶融亜鉛めっきにより、鉄鋼材料の表面に亜鉛を被覆することの利点は、以下の通りである。

(1) 耐食性が優れていること。

一般大気中の他、水中、土中、コンクリート中でも優れた耐食性を持っている。

表1.1 ~ 1.3 は、大気中、海水中、土壌中の耐食性を示す。

表 1. 1 大気中の耐食性

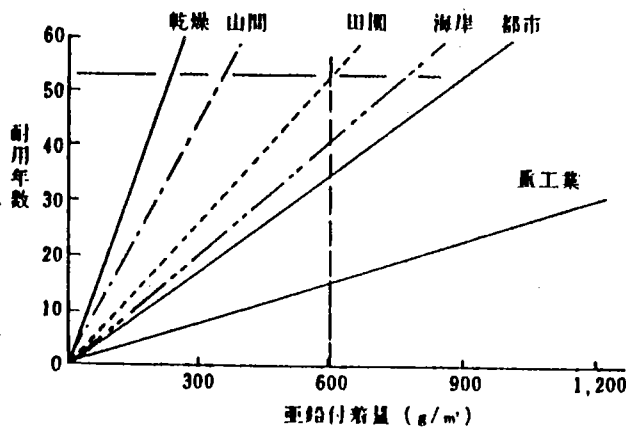


表 1. 2 海水中における耐食性
(データは ASTM の試験結果による)

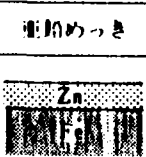



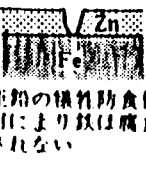
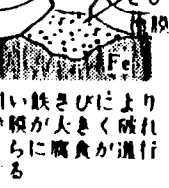
溶融亜鉛めっき種類 (g/m^2)	浸漬期間 (年)	腐食速度	
		$\mu/年$	$g/m^2/年$
亜鉛付着量 1, 129	0.5	48	345
+ 1, 160	1	23	162
+ 1, 312	3.5	15	107
+ 1, 372	5	13	92

表 1. 3 土壌中における耐食性

土壌の種類	腐食 $ld\ g/m^2/日$
粘土	0.29×10^{-1}
砂利質粘土	0.10×10^{-1}
砂質粘土	1.00×10^{-1}
粘土	7.90×10^{-1}
粘土質粘土	0.28×10^{-1}
砂土	1.70×10^{-1}

(2) 犠牲防食作用があること。

鉄素地が、ひっかき傷のように一部露出しても、その周囲にめっき層があれば露出鉄部を腐蝕から防ぐという長所がある。これは、めっき表面に生ずる緻密な腐蝕生成物と電気化学的な防食作用を合せ持つことによる。この防護作用は、一般大気中に於いては幅で約2mm程度である。これを図示すると図1.1の通りである。

	亜鉛めっき	塗装
素地		
きずが生じた		
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	 粗い鉄さびにより摩耗が大きく破れさらに腐食が進行する

参考までに、海洋技術総合研究施設での研究報告（鉛と亜鉛*87-3）によれば海上で2年2ヶ月経過した犠牲防食効果は、1mm幅の部分では赤錆びの抑制が確認されたが5mm幅の部分には赤錆びの抑制がされていなかったとの報告がある。

図1.1 亜鉛めっきの犠牲防食作用模式図

(3) めっき皮膜としては、鉄素地側に鉄と亜鉛の合金層が形成され、その上に亜鉛層が積層して形成されている。したがって鉄素地とよく密着しており、通常の手扱いは衝撃、摩擦などによって、はくりすることはない。又前処理が完全におこなわれていない場合には、めっき層が付着せず外観によって前処理の良否が判断できるので信頼性が高い。

(4) 溶融亜鉛めっきは、複雑で手のとどかない部位までめっきができる。

(5) 橋梁に使用される通常の鋼材では、溶融亜鉛めっきしたもの、していないものとの間で、機械的性質は、ほとんどかわらない。

1.4 熔融亜鉛めっきの作業工程

熔融亜鉛めっきの作業工程は、一般的に図1.2に示す順序により行われる。すなわちめっき素材表面のさび、スケール、油脂、塗料などを除去する前処理工程、熔融した亜鉛の中へめっき素材を浸漬して表面に亜鉛の皮膜を形成させるめっき工程、めっきされた製品を品質水準に適合させるための仕上げ工程からなっている。

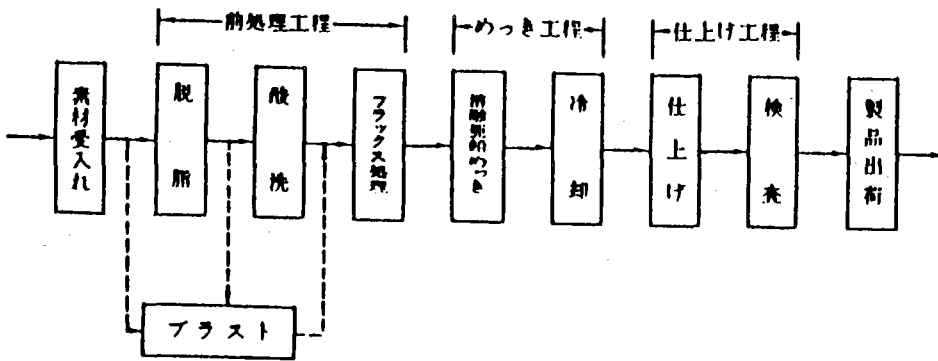


図1.2 熔融亜鉛めっきの作業工程フロー

1.4.1 前処理工程

(1) 脱脂処理

通常めっき素材の鉄鋼表面には、鉄さびがありその上に油脂類が付着している。油脂類は、製造中に付着する機械油などから、鉄鋼製品の防錆用の塗料や、人間の手が直接ふれることによる脂肪類まで多くの種類がある。これ等の油脂類は、次の酸洗い工程の防錆作業に影響を及ぼすので、完全に除去することが必要である。

脱脂法には、いろいろな方法があるが現在最も多く使われているのはアルカリ脱脂法で、苛性ソーダ又は、苛性ソーダと珪酸ソーダ塩類の混合溶液で濃度6～10%、温度80℃以上で大休10分～20分間浸漬し、処理される。

(2) ブラスト処理

一般の部材では、ブラスト処理を行わないのが普通であるが、不めっきの原因となる溶接部のスラグは、酸洗で除去できないのでパワーツール法、またはブラスト処理を行う。

(3) 酸洗処理

熔融亜鉛めっきで鋼に亜鉛が付着するのは、単なる物理的な付着ではなく鉄と亜鉛が合金化するのが主要要素である。合金反応の条件は、界面に相互の接触を妨げる物質が存在しないこと、また浴の温度を合金反応が活発に進行する温度にし、両者が完全に接触し合ったままの状態に必要な時間を経過することにある。この合金反応を起こす場合、鋼の表面に付着する異物の中で最も障害となるものは「鉄酸化物」で、これらを除去する作業が酸洗である。

さびやスケールを除去する場合、経済的、能率的な面を考えて通常塩酸または硫酸が使われているが、そのほか硝酸、フッ酸なども使われる。

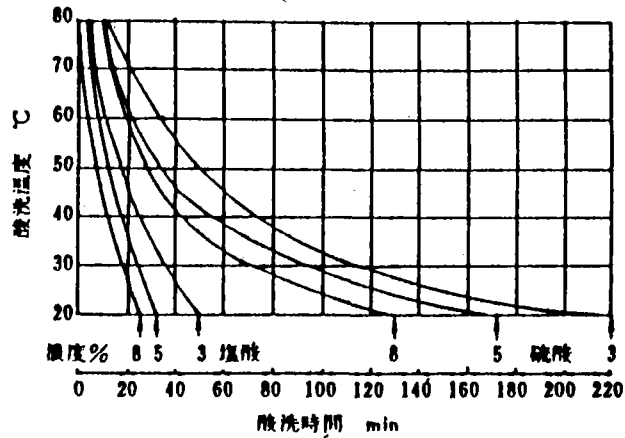


図 1.3 酸の濃度と温度と酸洗時間の関係

(4) フラックス処理

酸洗後フラックスを使用する目的は鉄表面での鉄と亜鉛の反応をスムーズにするためでフラックスの主な役割は、鉄表面からすべての付着物、汚れ、酸洗後発生したわずかなさびを除去するとともに被めっき材が亜鉛浴に浸漬する時、亜鉛浴表面の亜鉛酸化物をなくすことである。

※ フラックスとして塩化亜鉛アンモニウムが一般的に多く使用されている。

1. 4. 2 熔融亜鉛めっき工程

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、460℃前後の溶解した亜鉛浴中に速やかに浸漬し、適当な時間を経たのち浴面に浮遊している酸化物を除去した、きれいな熔融亜鉛面から引上げる。過剰に付着している熔融亜鉛は軽い衝撃や振動を与えて「たれ切り」をしたのち、冷却を行う。

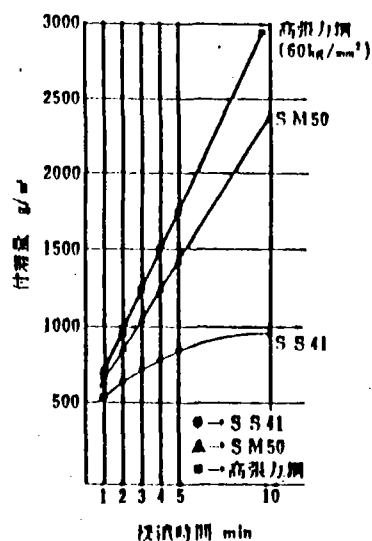
(1) めっき浴の温度

めっき浴の温度は、めっき素材の材質、規格の要求などによって変えねばならないが、ほとんどの場合440℃～470℃の範囲に入る。但し、ボルト類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る。浴温度が低すぎると過剰に厚い不均一な被膜になり、一方、浴温度が高すぎると亜鉛の反応が活発になり、ドロス、酸化亜鉛の生成が多くなる。

(2) 浸漬時間

一般に浸漬時間を長くすれば亜鉛の付着量は増大する。特に、炭素、珪素の多い高張力鋼は、浸漬時間に比例して付着量は増大する。

図1.4 は各種鋼材の浸漬時間と付着量の関係を示す。



めっき温度450℃ 材厚4mm
図1.4 浸漬時間と付着量の関係

(3) 冷却

製品はめっき浴から引上げ、たれ切れ後冷却される。冷却には水冷と空冷の2方法があるが一般的には水冷が多い。

冷却水温は、急冷によるひずみを考慮して、約70℃以上にして冷却する。空冷するとめっき外観を悪くする場合がある。

以上、主桁関係のめっき作業条件を日本道路公団の実施例を表1.5に示す。

表1.5 主桁のメッキ作業条件

工程	条 件	主 桁	材 質 構 造	添 接 板
脱 脂	アルカリ濃度	5~8%	同左	同左
	温 度	70°C以上	同左	同左
	カ性ソーダ： オルソ硫酸ソーダ	1:1(重量比)	同左	同左
	界面活性剤濃度	0.5%	同左	同左
	浸漬時間	20分	10分	10分
酸 洗	硫酸濃度	8~15%	同左	同左
	温 度	50~60°C	同左	同左
	鉄 分	80 g/l 以下	同左	同左
	腐食抑制剤濃度	硫酸に対して 0.6%	同左	同左
フ ラ ク ス 処 理	浸漬時間	50分	同左	同左
	フラックス濃度	28~35%	同左	同左
	温 度	80°C以上	50°C以上	同左
	塩化亜鉛： 塩化アンモニウム	1:3	同左	同左
	鉄 分	5 g/l	同左	同左
	pH	4~6	同左	同左
	浸漬時間	5分	3~5分	同左
メ ッキ	亜鉛浴組成	亜鉛 97.5%以上	同左	同左
	温 度	440°C±5°C	同左	同左
	浸漬時間	約10分	約5分	約8分
冷 却	温 度	60°C以上	同左	同左
	浸漬時間	6分	1~2分	同左

(注) 浸漬時間は浸漬開始から引き上げ完了までの時間を示す。

尚、亜鉛めっきの最小付着量は、 $600 \frac{g}{m^2}$ である。

1. 4. 3 仕上げ工程

亜鉛めっきされ、冷却を終えた製品は仕上げ工程に移され、仕上げが行われる。仕上げは、製品端部にできた亜鉛たれ、不めっき処理すべき部分に付着した亜鉛と不めっき剤、ボルト穴に溜った亜鉛、製品表面の極端なざらつきや酸化かす等をやすりや小型グラインダーなどにより除去し仕上げる。

第1章の参考文献

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| ☆建築用溶融亜鉛めっき構造物の手引き | : 日本鋼構造協会編 |
| ☆亜鉛ハンドブック | : 日本鉛亜鉛需要研究会 |
| ☆溶融亜鉛メッキ | : 勝山隆善 著 (理工図書) |
| ☆メンテナンスフリーをめざしての
溶融亜鉛メッキ橋 | : 御子柴光春 (道路1982-12) |

第2章 溶融亜鉛めっき橋梁の設計・施工

2.1 溶接部割れの現状と対策

2.1.1 溶接部割れの原因

(1) 溶接部割れの基本原因

溶接部割れの基本的な原因は、溶融亜鉛めっきによる熱応力および、溶融亜鉛めっき時の温度上昇により、桁の各種残留応力が開放された結果、溶接先端部に異常な応力が作用するためである。

(2) 二次的な原因と考えられるもの

- ① 溶接の始末端処理位置の影響
- ② 組立時の肌スキの影響
- ③ 組立時の変形の影響
- ④ 溶接強度の影響（溶接サイズ、溶材の種類、開先）
- ⑤ 溶接部の仕上げ程度の影響
- ⑥ めっき槽への出し入れ順序の影響

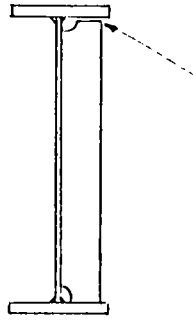
上記の項目について内容を考察する。

① 溶接の始末端処理位置の影響

溶融亜鉛めっきによる熱応力は溶接線の始末端部に集中する。また、このような溶接線始末端部は鋼材に対する溶接入熱が母材上で不連続になるため、もっとも割れに敏感な部分である。

② 組立時の肌スキの影響

主桁に重直補剛材剛材を取り付ける際、切断誤差などの理由から補剛材の長さが1mm程度短くなり、そのため一方のフランジには密着し、他方のフランジには1mm程度のスキマが発生することがある。この程度の小さなスキマは通常溶接割れの大きな原因にならないが、しかし溶接後、熱応力を受ける溶融亜鉛めっき桁においては、溶接割れの原因となることは十分考えられる。



組立時に肌スキの発生する部分

③ 組立時の変形の影響

上記と逆のケースで補剛材の寸法が上下フランジ間よりはるかに大きく組立ハンマーの打撃により補剛材を押し込む場合もあり、この場合は補剛材端部に変形による残留応力が発生することが考えられ、めっき時の応力解放により、割れにつながる可能性がある。

④ 溶接強度の影響

熱応力を受ける溶融亜鉛めっき桁においては、すみ肉溶接の割れ防止のため1ランクのサイズアップや部分的な開先が有効と考えられるが、一方溶接のサイズアップは溶接変形の増加にも関連する。

また、溶接棒の選定においても耐割れ性の良い低水素系の溶接棒の使用が望ましいと考える。

⑤ 溶接部の仕上げ程度の影響

応力をうける部材においては、溶接部分に限らず、どの部分でも応力集中を避けるため、滑かな形状をもつことが好ましい。

溶融亜鉛めっき桁では、熱影響により溶接部に割れ発生の原因になるので、表面形状を出来る限り滑かになるよう心掛ける必要がある。

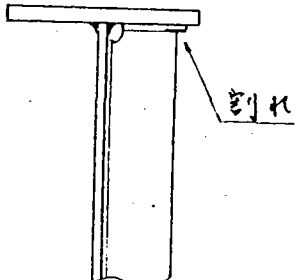
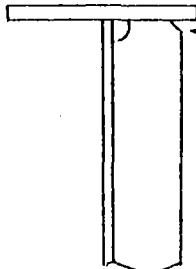
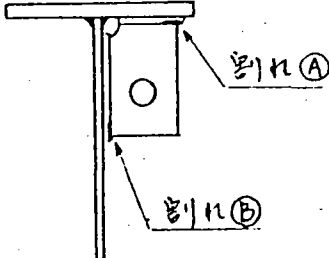
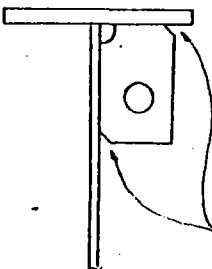
⑥ めっき槽への出し入れ順序の影響

同一条件下で製作した桁で、桁によって溶接部割れの多い桁と全然割れのでていない桁があるため、めっき槽への出し入れ順序に影響するのではないかと想定されるが、相関性は現在のところ明らかでない。

2. 1. 2 溶接部割れの発生箇所とその対策

(1) 前節では割れの原因について触れたが、溶接部の割れは主に、フランジとウェブのすみ肉溶接のような主要な箇所には少なく、補剛材やガセットの溶接始末端部に発生するケースが多い。従って、割れの発生し易い箇所について対策を考える必要がある。

図-2.1

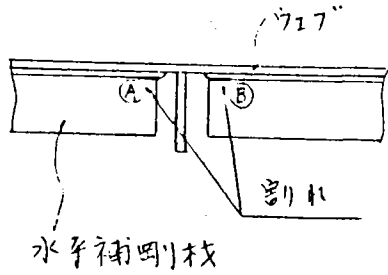
溶接部割れの発生箇所	製作時に考慮すべき対策
<p>1) 重直補剛材の上下フランジ部</p> 	 <p>コーナーカット (7^{mm}~10^{mm}) し、まわし溶接を丁寧に 行う。</p>
<p>2) 足場用吊金具</p> 	 <p>コーナーカット (7^{mm}~10^{mm}) し、まわし溶接を丁寧に 行う。</p>

(注) 割れⒶと割れⒷが
同時に発生するケースは少ない

溶接部割れの発生箇所

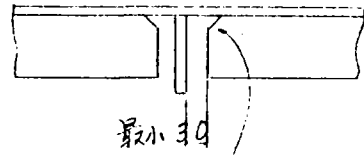
製作時に考慮すべき対策

3) 水平補剛材の始末端部



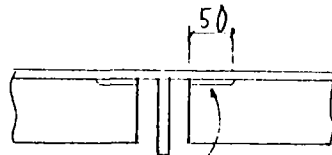
(注) 割れⒶと割れⒷが同時に発生するケースは少ない

第1案



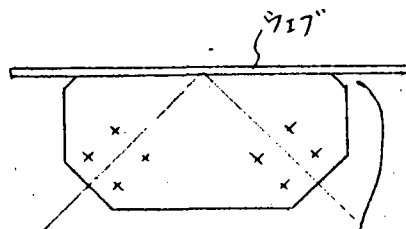
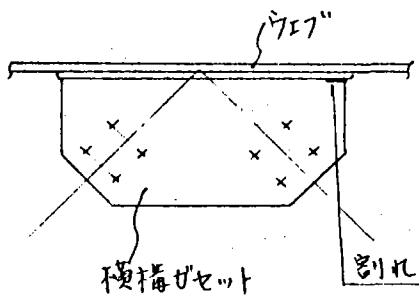
コーナークット(7~10mm)し
丁穿にまわし溶接する。

第2案

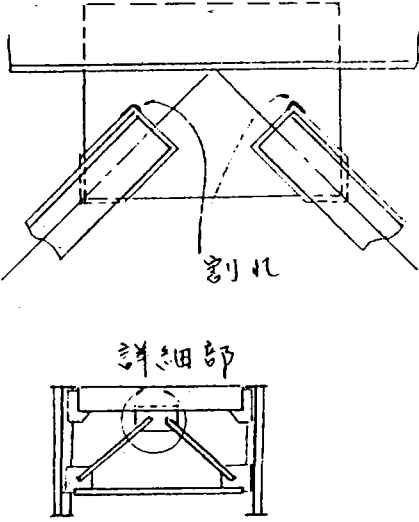
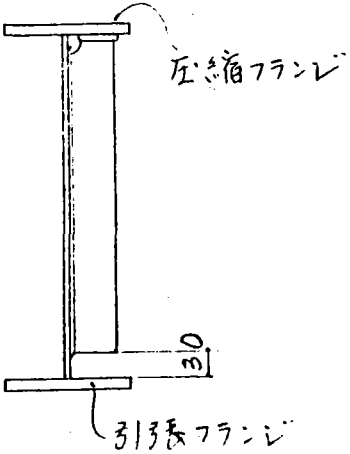


用光とり突合で溶接する。

4) 横構ガセットの始末端部



コーナークット(7~10mm)し
丁穿にまわし溶接する。

溶接部割れの発生箇所	製作時に考慮すべき対策
<p>5) 端対傾構斜材のまわし溶接部</p>  <p>割れ</p> <p>詳細部</p>	<p>端対傾構の斜材は比較的部材断面が大きい ため、溶接により応力集中が発生し、特に まわし溶接部に割れが発生し易い。 対策としては応力に耐える最小断面を使用 し、まわし溶接部は丁寧に行うことが必要 である。</p>
<p>6) 組立時の肌スキに起因して発生す る割れ</p>	<p>主に、垂直補剛材組立時に肌スキが発生す るため引張フランジ側の垂直補剛材は、フ ランジに密着せず30mm程離す。 (亜鉛のたれ切れのためにも良い)</p>  <p>圧縮フランジ</p> <p>30</p> <p>引張フランジ</p>

(2) 補修方法

溶接部の割れの確認は一般に目視で行われ、又割れの深さは浅いものが多い。従って補修方法としては、ブラインダーにて割れ部分を除去し、溶接にて補修後G仕上げを行う。その後、亜鉛溶射かあるいはローバル（有機系ジンクリッチペイントの一種）3回塗りて補修する。

2. 2 部材変形の原因と対策

2. 2. 1 部材変形の原因

橋梁の組立部材は、同一部材の中で材質、板厚、幅などが異なって組立られているケースが多く、これ等の組立部材が亜鉛めっき浴温 440℃前後の熱により部材変形を発生させることが多い。

変形を発生させる要因として、製品の寸法、形状、構造、溶接による残留応力、素材時の内部応力などがあり、これらが単独又は相乗的に関連して変形が発生するため事前に具体的な変形を正確に予測することは困難である。

1) 冷間加工における鋼材の残留応力

元来、変形していた鋼材を冷間でひずみ矯正するなど、冷間加工による残留応力が存在する場合にはめっきにより元の姿に戻ろうとする傾向がある。

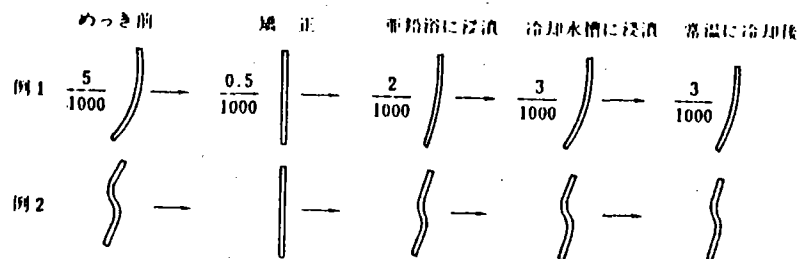


図-2.2 鋼板を吊下げてめっきした場合の実験例

2) めっき工程で生じる温度差

鋼材のSS41材でのめっき浴温は通常 450℃～ 460℃程度であり、一方SM50～SM60材でのめっき浴温は 435℃～ 440℃の範囲が望ましい温度である。又、めっき浴への侵漬、引上げ及び冷却時などにおける急熱、急冷によって、製品に部分的な温度差を生じることは避けがたく、この熱膨張の変化によりひずみが発生する。

3) 溶接方法に起因して発生する変形

鋼材を溶接すると局部加熱により引張り及び圧縮応力を生じ、ある方向に変形する。

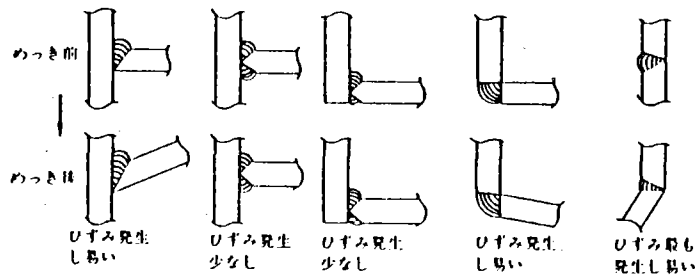


図-2.3 溶接方法とひずみの発生例

4) 部材構造に起因する変形

厚い板と薄い板を組合わせた構造とか、主桁等で上下左右が非対称な場合又、曲率半径の小さい曲げ加工部材などは部材変形が発生し易い。

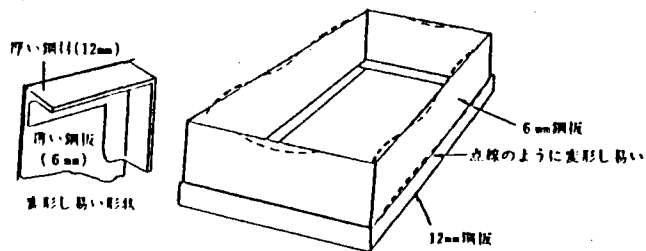


図-2.4 厚板と薄い板との組合わせ部材

5) 部材変形の代表的な原因を、特性要因図で示すと次のようになる。

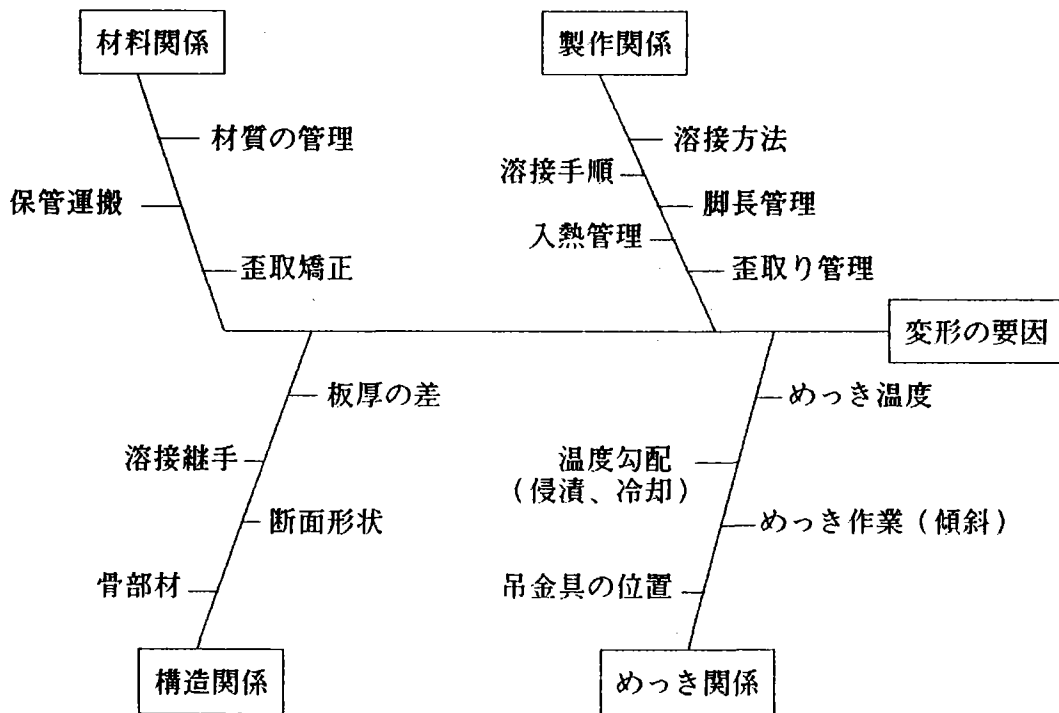


図-2.5 変形の特性要因図

表-2.1 部材変形要因の考察

要 因		判定	考 察
残 留 応 力	鋼材のロール 工程	△	現在の高炉各社のロール設備と品質管理から判断して 主要な要因とは考えられない。
	鋼材のガス切断	△	原因の一つと考えられないこともないが、全体への影 響度はあまり考えられない。
	部材の溶接順序	○	プレートガーダーの組立て順序、補剛材の溶接順序は 要因の一つと考えられるが、影響度は小さいものと考 えられる。
	溶 接 方 法	◎	入熱量の大小溶接量の大小は要因の一つと考えられる
	ひずみ矯正方法	△	ガスバーナー加熱とプレスによる方法があるが影響度 については明確でない。
構 造 物 の 形 状 的 な 特 性	桁 高	△	桁高の大小よりも腹板厚さと補剛材の配置が腹板のは らみ量に関係するものと考えられる。
	断 面 変 化 数	○	溶接量の増加と関係するので、板厚が厚い場合の断面 変化数は原因の一つと考えられる。
	補剛材の配置	○	明らかに要因と考えられる。外桁とか補剛材間隔が大 きくなると腹板のはらみが増加する傾向がみられる。
	非 対 称 形 状	◎	一般的に補剛材が外面にない外桁や中間支点の部材で 変形が大きくなる。
	部 材 長 さ	○	部材長さが増加するにつれて、桁のねじれが大きくな る傾向がある。
	板 厚 差	◎	最大フランジ厚かソールプレート溶接部の合計厚で浸 漬時間がコントロールされること。腹板とフランジの 板厚差が大きいとめっき作業中において熱膨張の度合 いが異なり残留変形が生じる。
め っ き 作 業 ・ 条 件	め っ き 温 度	△	435~440℃で作業が行われ、部材によっては変形の 生じないものもある。
	浸 漬 方 法	○	板厚の厚い部材、長尺の部材は浸漬時に大きな温度分 布の差が発生する。これが変形発生の原因と考えられ る。浸漬時間は原因でない可能性が多い。
	部 材 の 操 作	△	部材が鋼材の場合、桁高や部材長が大きくなれば、高 温の溶中における揺動は脆性的な面から何らかの影響 が考えられる。
	引き上げ作業	△	引き上げ作業はめっきの品質には大きく影響するが、 形状的な面ではあまりないものと思われる。
	め っ き 後 の 冷 却	△	一般的に同一条件で冷却して、ひずみ変形の出ない部 材もある。板厚差が大きい部材、長尺部材では冷却時 の温度分布の差が変形の原因となるものと考えられる

◎：大きい ○：やや大きい △：小さい

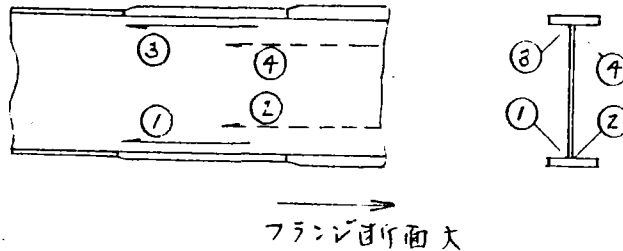
2. 2. 2 部材変形の防止対策

部材変形要因の考察の内容で○と◎印について記述する。

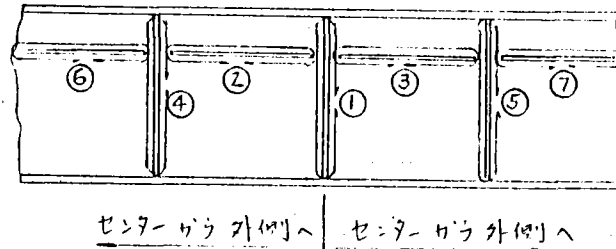
(1) 部材の溶接順序

溶接順序は製作会社により、多少異なるが一例を示す。

① 主桁のフランジとウェブのすみ肉溶接



② ステフナーのすみ肉溶接



(2) 溶接方法

溶接方法には、自動溶接、半自動溶接、手溶接に区分されるが、溶接性、作業性、めっき品質精度などを考慮して溶接の施工方法を決めることが大切である。

特に溶接脚長は、通常オーバー値になるが、溶融亜鉛めっき橋梁の場合は、オーバー値を最小にとどめるよう、管理が必要であり、又、溶接入熱はアークの熱効率を小さくすると、同時に変動中のない溶接機を使用して、入熱管理をすることが大切である。

(3) 断面変化数

1ブロック内で上・下フランジ断面が対称で板幅、板厚の小さいものは振れが少ないが、フランジの断面変化が多く板幅、板厚が大きいものは、桁高に関係なく振れが大きくなる傾向をもっている。又材質変化が多いと、それにつれて溶接量も多くなり、振れの増大の原因となるようである。

これらの要因を含む部材としては、連続桁の中間支点付近の主桁がある。

これらは断面と材質の変化が多く、さらに板厚の厚いソールプレートが溶接されているので、変形が顕著に発生する例が多い。

そこで設計では、変形量を減らすために、塗装橋梁よりも断面変化を少なくすることやソールプレートをボルト結合にするなど最大板厚をうすくすることも考慮した方がよい。(図-2.6 参照)

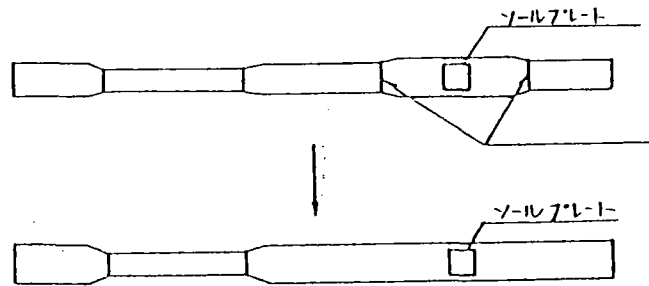


図-2.6 中間支点付近のフランジ断面構成

(4) 補剛材の配置

垂直補剛材の間隔は一般橋梁より狭くすることにより、変形防止に役立つ。又、水平補剛材は、設計上可能な限り、主桁中立軸に近づけるのも変形防止に効果がある。

(5) 非対称形状

補剛材が腹板の片側のみにしかない主桁は、変形が大きくなる。従って、これを防止するには、外桁の垂直補剛材を外側に設け、水平補剛材を内側に設ければ変形防止になる。

又中桁の垂直、水平補剛材を各々、腹板の反対側に取り付ければ良い。

(6) 部材の長さ

部材の長さは、めっき槽の大きさにより決まる(最大約15m)が可能な限り短くした方が変形が少ない。

(7) 板厚差

主桁フランジと腹板の板厚差が大きいと変形が大きくなる。特に、腹板厚さは $9\text{mm} \rightarrow 10\text{mm} \rightarrow 11\text{mm}$ と厚くすることにより、変形防止に役立つ実績経験では腹板高1700mmに対し、厚さは10mmとした例が多い。

又、腹板厚さが 9mm の場合は、フランジ最大厚さは30mm以下にするのが望ましい。

(8) 浸漬方法

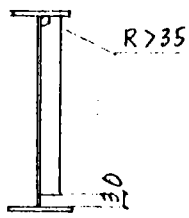

明確な原因は不明であるが、浸漬する際の吊金具の位置、及びガス抜きする際のシャクリ上げなどの際に変形に影響することが予想される。又、浸漬時に大きな温度分布の差が発生し、これが変形発生の原因と考えられる。しかし、これ等の対策については、今後の研究に委ねることが必要である。

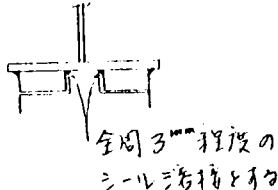
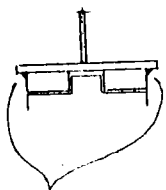
又、浸漬する際、腹板添接面のはらみ止め補強材（L材）を取付けて、腹板の変形を少なくする方法が採られている。

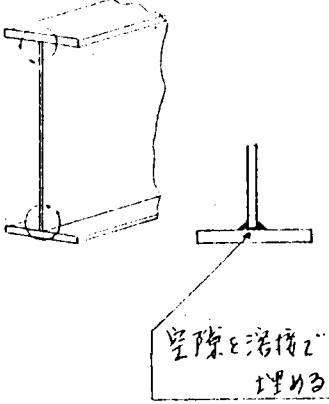

2.3 溶融亜鉛めっき橋梁の設計上の留意点

溶融亜鉛めっき橋梁は、防食性に富み、ローメンテナンスとして管理面からも優れているが、溶融亜鉛めっき特有の問題点があり、これ等を考慮して設計する必要がある。

以下に、一般橋 との設計上の相違点について述べる。

項目	溶融亜鉛めっき仕様	一般仕様
最大部材長	$L \leq 15\text{m}$ (関東地区1社, 関西地区2社)	輸送上により決まる
最大桁高	$H \leq 2.8\text{m}$	輸送上により決まる
最大桁幅	$W \leq 1.9\text{m}$	輸送上により決まる
使用鋼材	高張力鋼のSi含有量は、めっきによる”ヤケ”防止のため0.18~0.23%の範囲に納めるように図面及び材料計算書に明記する。	JIS規格による
主桁断面変化	1ブロック内の板厚変化は変形防止のため、極力小さくする。(例・5mm以内)	板厚変化は一般に10mm程度まで認められている
鉛直補剛材	めっき浴から引上げる際のたれ切れを容易にするため引張フランジ側の鉛直補剛材を30mm程度短くする。 	一般には、上・下フランジ間に鉛直補剛材を使用する 

項 目	溶融亜鉛めっき仕様	一 般 仕 様
腹 板 厚	桁高さに関係なく、 $T \geq 10$ mmを使用すれば変形防止に役立つ。	鋼道路橋示方書では $T = 8$ mmまで認めているが、一般には $T \geq 9$ mmが多い
ソールプレート	<p>(1)ソールプレートがフランジに溶接されていると、板厚がその部分で厚くなり、従って、亜鉛めっき溶解時間が長くなり変形が大きくなる。対策として、ソールプレートは、亜鉛めっき後フランジにボルト締めした方が良い。</p> <p>(2)ソールプレートをフランジに溶接しなければならない時は次のような溶接をする。</p>  <p>尚、ソールプレートの外周りの溶接は一般仕様と同じ</p>	<p>通常溶接する</p>  <p>ガスシールドアーク溶接、又は被覆棒アーク溶接が一般的である。</p>

項 目	溶融亜鉛めっき仕様	一 般 仕 様
桁 端 断 面		
高 力 ボ ル ト	<p>F8TのH.T.B ナットは F10 座金は F35</p> <p>締付はナット回転法による (注)F10T を使用しない理由 は高力ボルトの項で記述</p>	<p>一般には F10T が多 い</p> <p>締付はトルク係数法 が一般に多い</p>
水 平 補 剛 材	<p>中主桁の水平補剛材は鉛直 補剛材の反対側に取付ける</p>	<p>同一面に取付ける</p>

2.4 溶融亜鉛めっき高力ボルト

2.4.1 一般事項

- (1) 高力ボルト、ナットおよび座金はJIS B 1186「摩擦接合高力六角ボルト、六角ナット、平座金のセット」に規定するものを使用する。
- (2) ナットには亜鉛めっき作業前に 0.8mmのオーバータップを施す。
- (3) 高力ボルトは F8Tを使用する。その理由は次の通りである。

項 目	F 8 T ボルト	F10T ボルト
めっき前後の機械的性質 (引張強さ)	めっき前強度 (90±3) kg/mm ² に管理されたボルトは、めっき浴温 (480°～500℃) と焼戻温度 (450°～500℃) との差が少ないので殆どめっき前と変化しない	めっき前強度 (110±3) kg/mm ² に管理されたボルトは、めっき浴温 (480°～500℃) と焼戻温度 (390°～430℃) との差が大きいため、めっき後 (96±6) kg/mm ² の強度にばらつく
耐遅れ破壊特性	良好	やや不安である

- (4) めっき付着量は 550 g/mm² 以上とする。
- (5) 高力ボルトのめっき作業条件を日本道路公団の実施例について表2.2 に示す。

表2.2 高力ボルトのメッキ作業条件

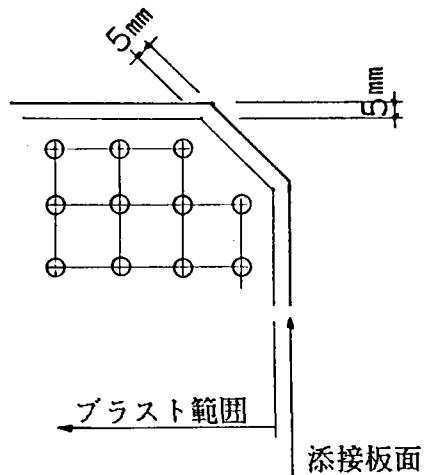
工程	条 件	
脱 脂	カ性ソーダ濃度	5～10%
	液 温	60～80℃
	浸漬時間	約10分
乾 燥	熱風乾燥	約70℃
	時 間	10分以上

ショット ブラスト	ショットの粒度		S-15 (座金) S-10~SB-8 (ボルト, ナット)
	時 間		約15分 (座金) 約10分 (ボルト, ナット)
酸 洗	塩酸濃度		5 ~10%
	液 温		常温
	浸漬時間		20秒以下
フラック ス処理	塩化アンモニウム濃度		10~15%
	液 温		90~100 ℃
	浸漬時間		1 ~ 5分
乾 燥	熱風乾燥		約 120℃
	時 間		5 ~10分
メッキ	浴 温		500 ℃
	浸漬時間		2 分
たれ切り	遠心分離機に よる時間	ボルト	2 秒
		ナット, 座金	4 秒
	塩化アンモニウム濃度		約10%
	液 温		90~100 ℃
	時 間		1 秒以下
水 冷	温 度		40~60℃
	時 間		10秒以下

2.4.2 高力ボルト摩擦面の処理

道路橋示方書では摩擦面のすべり係数は 0.4以上とされている。しかしめっきのままのすべり係数は、各種の実験から 0.3~0.35程度と報告されている。従って、めっき後のすべり係数を高めるため、日本道路公団の実施例では次のような処理を行っている。

すなわち、摩擦面は軽くブラスト処理し表面粗度は 80S程度とする。



尚、参考までに「溶融亜鉛めっき鋼材の高力ボルト摩擦接合研究 第2報」

昭和59年11月

武蔵工業大学

日本溶融亜鉛鍍金協会

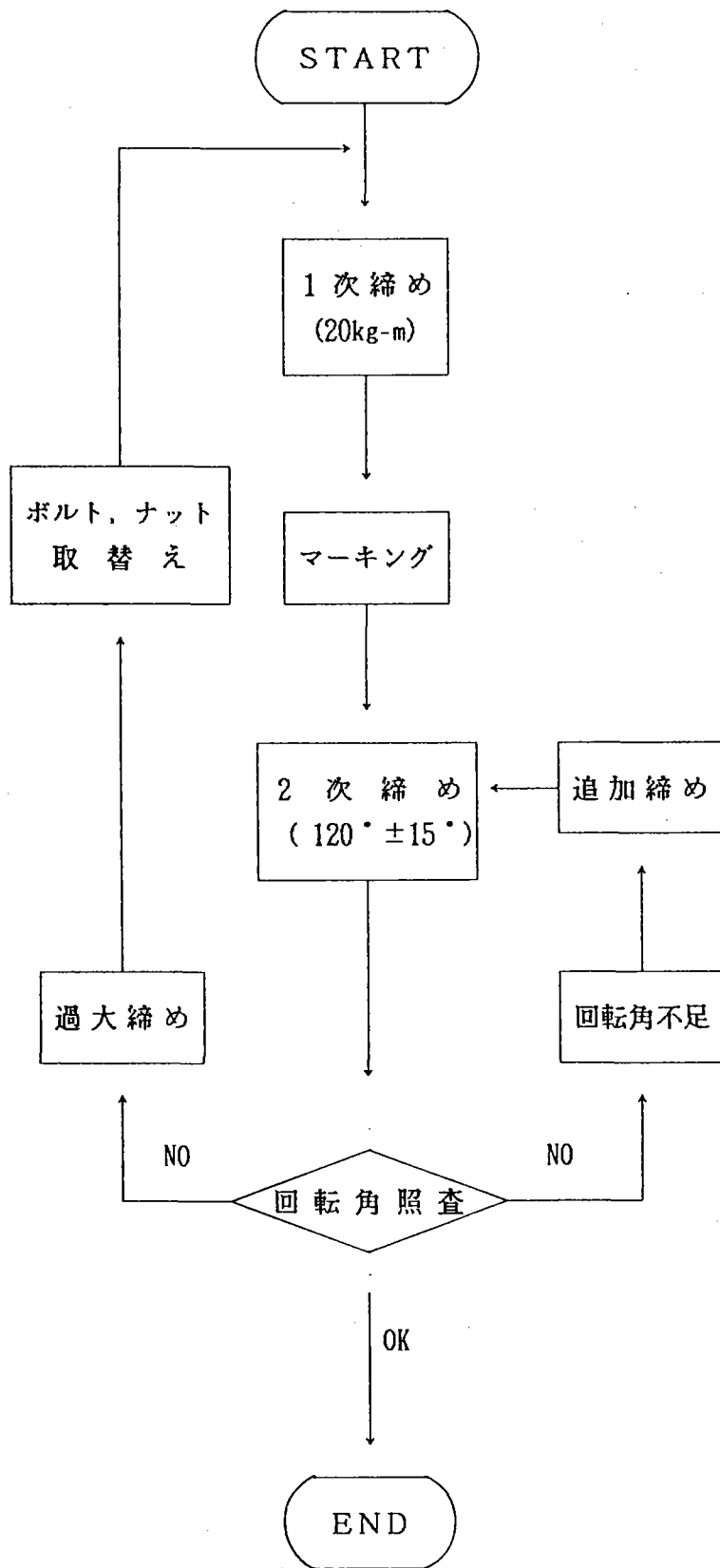
によると、母材：めっき 添接板：めっき+ブラストですべり係数は0.53程度確保できるとの報告がある。

2.4.3 高力ボルトの締付方法

- (1) ボルトの締付けはナット回転法による。
- (2) ボルトの締付け施工基準

	基準値	使用器具	備考
1次締め	20kg-m	QLトルクレンチ	ナットを回転させて行う
2次締め	120° ± 15°	電動ナットランナー (回転角制御式)	1次締付からナットを 120° 回転させて行う

(3) 現場においての締付け作業のフローチャート



2.5 付属物の溶融亜鉛めっき

橋梁付属物、あるいは本体付ピース材の亜鉛めっきについて基本的には本体の作業方法、作業条件にあまり変わりはないが各部の特性により注意を払う必要がある。

2.5.1 支 承

支承の材質は鋳鋼、鋳鉄であるため通常の酸洗工程では除錆がしにくい。従って酸洗の代わりにブラスト処理を行うことが多い。又支承は必ず面接触、線接触して可動する部分をもっているがこれ等の部分は接触圧が高いためめっき層が凹んだり剥離したり、あるいは摩耗抵抗が大きくなったりすることがあるのでこれ等の部分はマスキング剤を用いて不めっき処理を行っている。

コンクリートに埋め込まれたり、あるいは接触する面をもつアンカーボルト、下沓の下面にはめっきを施さなくてもよいが、部分的に不めっきとするためのマスキングが必要となり、それがかえって不経済となる場合にはめっきを施している。なお、この場合のめっき付着部分はめっきの品質規定の適用外とする。

2.5.2 検査路

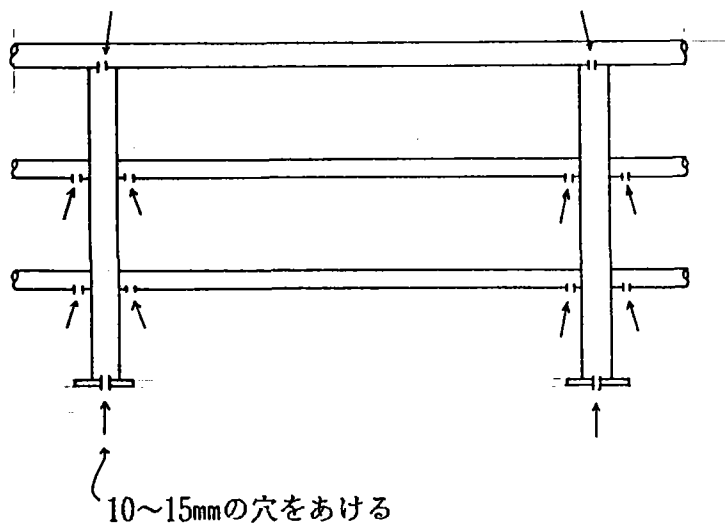
(1) 検査路桁

検査路桁は通常溝形鋼を使用し、歩廊面は床用鋼板かあるいはエキスパンドメタルを取付けた構造である。

取付方法として断続溶接、連続溶接あるいはボルトにての取付方法があるが、断続溶接はめっき後、数日して非溶接部分からさび汁が流出し、外観を損なうため避けた方がよい。取付方法はボルト締めが望ましい。

(2) 手摺

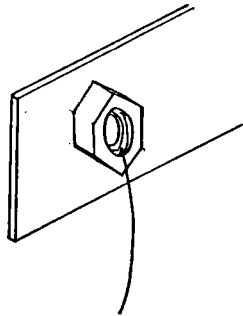
手摺りは通常鋼管を組合せした構造である。鋼管は溶接組立てにより密閉個所が生じ、めっき作業が困難になるため隅部に空気や亜鉛が流入、流出するのに十分な穴が必要である。穴径は10mm~15mmが多い。



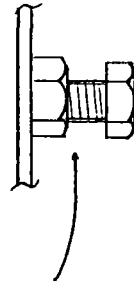
2.5.3 本体付ピース

(1) 床版バカ棒用のナット

ナットのねじ部分に垂鉛を付着させるとねじ合わせが困難になるため、マスキング塗料を塗布したり、ボルトをはめ込んでねじ部分を保護する。



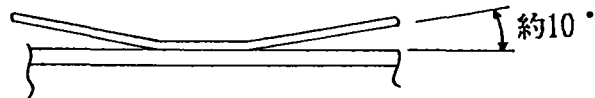
マスキング



ボルトをはめ込む

(2) スラブアンカー

非合成桁のスラブアンカーは一般的に現場で曲げ上げるのが普通であるが、めっき桁においては約 10° 程度めっき前に曲げ上げておくのが良い。



(3) 部材番号等

めっき作業で通常のマークでは判断できなくなるので主桁などは荷札（3.2mm厚程度）に部材番号を打刻しこれを番線で主桁に取り付ける。

2.6 溶融亜鉛めっきの規格

溶融亜鉛めっきの規格は発注者別により多少異なるが主な発注者の規格は以下の通り。

2.6.1 首都高速道路公団

- (1) 外観：めっき面は、実用的で滑らかで、不めっきその他使用上有害な欠陥がないこと。
- (2) 付着量：次表によること。

鋼材・鋼製品

板厚 (肉厚)	付 着 量	記 号
1 mm 以上 2 mm 以下	350 g/m ²	HDZ 35
2 mmを越え 3.2mm 以下	400 g/m ²	HDZ 40
3.2mmを越え るもの	550 g/m ²	HDZ 55

ボルト・ナット

径12mm以上のボルト・ナット及び厚2.3mm以上の座金	付 着 量 350 g/m ²	HDZ 35 (記 号)
------------------------------	-------------------------------	-----------------

- (3) 試験：付着量試験

JIS H 0401 (溶融亜鉛めっき試験方法) によること。

2.6.2 阪神高速道路公団

溶融亜鉛めっきの規格は特に指示のない限り以下のとおりとする。

溶融亜鉛めっきの規格

(1) 鋼材、鋼板および管類

板厚 (肉厚)	規 格
5 mmを超えるもの	JIS H 8641 HDZ 50
3 mmを超え 5mm以下	" 45
2 mmを超え 3mm以下	" 40
1 mm以上 2mm以下	" 35

(2) ボルト、ナット類

径	規 格
径12mm以上	JIS H 8641 HDZ 35
径12mm未満	なし

(注) 1. 外気に接するボルト・ナット類はM8以上を原則とする。

2. 高力ボルト、ナット (JIS B 1186) には溶融亜鉛めっきを施さないのを原則とする。

2.6.3 その他

(1) 名古屋道路公社

一 般	H.D.Z 55
ケーブルラック、連結板	" 45
ボルト類	" 35

(2) 建設省、日本道路公団、本州四国連絡橋公団

一 般	H.D.Z 55
ボルト類	" 35

2.6.4 JIS H 8641の参考付着量

種類	記号	付着量 g/m ²	適用例 (参考)
1種	HDZ A	—	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	—	厚さ 5mmを超える鋼材・鋼製品、鋼管類及び鑄鍛造品類。
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 3mm以下の鋼材・鋼製品及び鑄鍛造品類。
	HDZ 45	450 以上	厚さ 3mmを超え 5mm以下の鋼材・鋼製品及び鑄鍛造品類。
	HDZ 50	500 以上	厚さ 5mmを超える鋼材・鋼製品及び鑄鍛造品類。
	HDZ 55	550 以上	過酷な腐食環境下で使用される鋼材・鋼製品及び鑄鍛造品類。

2.7 熔融亜鉛めっきの品質

熔融亜鉛めっきの主要な品質は、外観、付着量、均一性、密着性である。

JIS H 8641ではめっきの品種項目を、JIS H 0401では試験方法を各々規定している。

最近、めっき需要の増加に伴い、需要家の品質に対する要望が高くなっている。実用的価値はもちろんのこと、商品価値という外観に重点をおく傾向にある。本来、熔融亜鉛めっきは防食を目的として施されるものであるが、めっきのまま永年取付けられることになるので、美観的要素も充分配慮する必要がある。

JIS H 8641で規定している外観基準は“めっき面は実用的になめらかで不めっきその他有害な欠陥がないこと”としている。一般にめっき面に現れる現象は不めっき、やけ、たれ、シーム、ブリストア、ざらつき、かすびき、きず、白さびなどである。

2.7.1 外 観

JIS H 8641で規定されている外観品質は“めっき面は実用的になめらかで、不めっきその他使用上有害な欠陥があってはならない”となっている。めっき面に発生する欠陥の代表的なものを次にあげる。

表2.3 めっき面に見られる諸現象の主な成因

名 称	成 因
不めっき	脱脂不良、酸洗不良、フラックス処理不良、素材の欠陥
や け	浴温、浸せき時間、冷却までの時間、酸洗過剰、素材の組成に起因する場合が多い。
た れ	浴温（低いとき）、引きあげ速度（速いとき）浴組成、素材の形状
シームとブ リスター	素材の表層欠陥
かすびき	めっき操作、素材の形状
ざらつき	浴の深さに対するめっき物の寸法、炉の構造、素材の表面状態及び形状
き ず	めっきの操作、運搬の条件、素材の形状
変 色	保管の状態
白 さ び	保管の状態、気温の変化と湿度

表2.4 熔融亜鉛めっき欠陥の補修要領

欠 陥	補 修 方 法
不めっき	ワイヤーブラシで入念にケレンを行い，高濃度亜鉛末塗料を2回以上塗布する。
た れ	表面に発生した場合は，ヤスリ又はサンダー等を用いて除去する。 添接部のボルト穴に発生した場合は，丸ヤスリ，リーマーを用いて除去する。
ざらつき	ヤスリ，又はサンダーかけ。
かすびき	同 上
き ず	きず表面に付着している異物をワイヤーブラシでブラッシングしたのち高濃度亜鉛末塗料を2回以上塗布する。

2.7.2 付 着 量

2.6 熔融亜鉛めっきの規格の項で各発注機関及びJIS H 8641の参考付着量について記述したが亜鉛めっきの付着量は，与えられた使用条件下でその寿命を決定する第1の要因である。めっきの付着量が多いほどその寿命は長くなり，かつ殆どの大気条件下でその関係は直線的である。

また特に付着量の重要な性質として，めっきの厚みは素材の厚みに比例して変化することがある。たとえば3mm以下のような薄い材料に500 g/m²以上，また20mm以上の厚い材料に500 g/m²以下の亜鉛付着量のめっきを規定されても一般の鋼材ではそのようなめっき製品を得ることは困難である。めっきする素材の厚みに応じて適した亜鉛付着量の範囲があり，これ以外の場合は無理なめっき操作が必要となり，規格に合格しても，すぐれたものといえない場合が多い。

2.7.3 均 一 性

めっきの付着量が同一でも，均一に付着しているほどめっき皮膜の品質が良いことはいうまでもないが，熔融亜鉛めっきの場合厚さにバラツキのできることはさげられない。JIS H 8641の規定では，均一性を判定するには硫酸銅試験によることになっているが，これは試験片の表面における皮膜厚さのバラツキというより，最低皮膜厚さを検査する方法である。

2.7.4 密 着 性

密着性は，JIS H 8641で“めっきは素地とよく密着し，使用にあたって十分に耐え

ることができるものでなければならない”と規定されている。すなわち実用上めっき製品の取扱いや、輸送、加工などではがれない性質のことである。溶融亜鉛めっきの第1の目的は、鉄鋼部材に適正な亜鉛皮膜をつけて防食力を得るためであるが、皮膜の厚さが増加するのに伴って、変形および衝撃などによってはがれ易くなる。したがってめっき皮膜は正常な輸送、組立て、取扱いなどの使用条件のもとではがれを起こすものであってはならないが、必要とする密着性の基準は、第1の目的である防食効果を果すものであれば良い。密着性の試験方法はJIS H 0401に規定されている。

2.7.5 溶融亜鉛めっき試験方法

JIS H 0401の規定の内容を記載する。

溶融亜鉛めっき試験方法

Methods of Test for Hot Dip Galvanized Coatings

1. 適用範囲 この規格は、鉄鋼製品に施した溶融亜鉛めっき（以下、めっきという。）の試験方法について規定する。ただし、溶融亜鉛めっきの代わりに電気めっきなどに適用してもよい。

2. 一般事項

2.1 製品規格との関係 めっきを施した鉄鋼製品に適用するめっき試験方法の種類、供試材の採り方、試験の合否判定規準及び再試験については、それぞれの製品規格に規定する。

2.2 鉄鋼製品の分類 鉄鋼製品をめっき試験の便宜のために、その形状、寸法により、次の7種類に分類する。

- (1) 管類 水道用鋼管・電線管・配管用鋼管・構造用鋼管・鋼管足場・その他
- (2) 薄板類 亜鉛鉄板
- (3) 線類 鉄線・鋼線・ワイヤロープ・鉄より線・鋼より線・金網・パーブドワイヤ・ジャかご・がい装線・鋼心アルミニウムより線用心線・その他
- (4) 圧延鋼材類 鋼板・形鋼・平鋼・棒鋼などの圧延鋼材類
- (5) 加工品類 鉄塔・橋梁・鉄骨・造船金物・架線金物・タンクなどの鉄鋼加工製品・その他
- (6) ボルト・ナット類 各種ボルト・ナット・コッター・座金・その他
- (7) 鋳鍛造品類 鋳鉄品・鍛鋼品・鋳鋼品・管継手（鋼管製を含む。）がいし用金具・その他

2.3 試験方法の分類 試験方法は、表1の4種類に分類し、各試験方法の適用は製品規格による。

表 1 試験方法の分類

試験方法 鉄鋼 製品の分類	付着量試験		硫酸銅 試験	密着性試験					性状試験 (アルカリ 試験)
	直接法	塩化アン チモン法		目視	曲げ試験	ハンマー 試験	エリクセ ン試験	巻付試験	
管類	—	3.2	4.	5.1	5.2	—	—	—	6.
薄板類	3.1	3.2	—	—	5.2	—	5.3	—	—
線類	—	3.2	4.	—	5.2	—	—	5.4	—
圧延鋼材類	3.1	3.2	4.	5.1	—	5.5	—	—	—
加工品類	3.1	3.2	4.	5.1	—	5.5	—	—	—
ボルト・ナット類	3.1	3.2	4.	5.1	—	5.5	—	—	—
鋳鍛造品類	3.1	3.2	4.	5.1	—	5.5	—	—	—

備考 表中の数字は、適応する試験項目を示す。

参考 硫酸銅試験は、均一性試験とも呼ばれている。

3. 付着量試験方法

3.1 直接法

3.1.1 試験片 製造工程中の素材そのままを試験片とする。ただし、当事者間の協議のうえ、次の方法によってもよい。

- (1) 素材が大きすぎるか重すぎる時、又は取扱いが不便なときは、原材から適当な箇所を切り取り、試験片

引用規格：8ページに示す。

とする。

(2) 素材の表面積を決定しがたいものは、できるだけ現品に類似のものを作り試験片とする。

3.1.2 操作 試験片は、これが代表する他の素材と同一作業方法によって、酸洗・水洗及び乾燥した後、ひょう量し、めっきを施した後、再びひょう量して、その増量を試験片の表面積（亜鉛鉄板は片面の表面積）で除したものを付着量とする。

3.2 塩化アンチモン法

3.2.1 試験片

(1) 試験片のとり方 試験片は当事者間の協議の上、次のいずれかの方法でとる。

(a) 製品そのままを試験片とする。

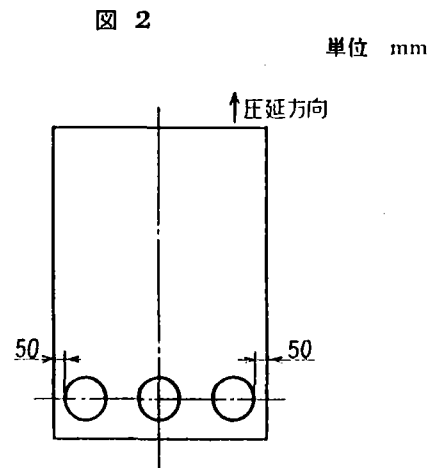
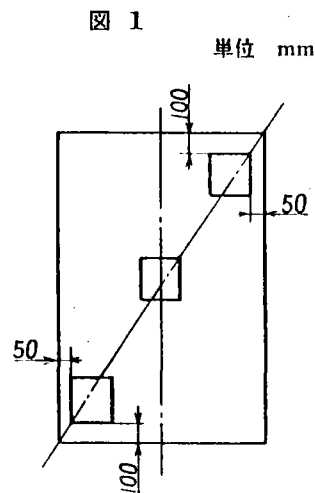
(b) めっきを施した製品から試験片を切り取る。

(c) 製品を代表する原材を適当な大きさに切断した後、これを製品と同じ作業方法によってめっきを施したものを試験片とする。

(2) 試験片の採取位置及び大きさ

(a) 管類の場合 (1)(b)によって、両端から長さ約60 mmの管状試験片各1個をとる。ただし、試験片が大きすぎるものは、測定できる適当な大きさに切断してもよい。

(b) 薄板類の場合 試験片は、(1)(b)によって当事者間の協議の上、指定により、図1又は図2のいずれかの方法で57.2×57.2 mm又は直径64.5 mmにとる。



(b-1) 三点法 図1のように板の中央から1枚、対角線上反対の位置で板の縦端から少なくとも100 mm、横端から少なくとも50 mmの箇所から2枚、計3枚の試験片をとる。ただし、連続めっき法によるものは図2のように板の一端に置いて、板の中央から1枚板の両横端から少なくとも50 mmの箇所から2枚、計3枚の試験片をとる。

(b-2) 最少点法 三点法と同一のとり方をした3枚の試験片のうち、めっき付着量の最も少ないものをとるか、板の縦端から少なくとも100 mm、横端から少なくとも50 mm以上の任意の箇所から1枚の試験片をとる。

(c) 線類の場合 試験片は、(1)(b)によって長さ300~600 mmをとる。

(d) 圧延鋼材類・加工品類の場合 試験片は、(1)の(a)、(b)又は(c)によってとる。ただし、(b)及び(c)の場合は、なるべく正方形に近い形状で、めっき面積100 cm²を標準とする。

(e) ボルト・ナット類、鋳鍛造品類の場合 試験片は(1)の(a)、(b)又は(c)によってとる。ただし、ねじ部を除くことができる。

3.2.2 試験液 JIS K 8400 [三塩化アンチモン(試薬)](特級) 32g 又は JIS K 8407 [三酸化アンチモン(試薬)](1級) 20g に対し、JIS K 1310 [塩酸(合成)] [(比重 1.18 以上) 2号] 1 l の割合に溶解したものを原液とする。

上記の塩酸 100 ml に原液 5 ml の割合で試験直前に加えたものを試験液とする。

3.2.3 試験片の清浄 試験片の表面に塗膜又は汚れがある場合は、JIS K 8594 [石油ベンジン(試薬)](特級)などの溶剤で清浄にする。もし必要があれば、JIS K 8432 [酸化マグネシウム(試薬)]のペーストで軽くこすり、水洗の後、速やかに乾燥する。

3.2.4 操作と付着量の計算 清浄な試験片を見込み付着量の 1% までばかり、試験片を試験液中⁽¹⁾⁽²⁾に浸し、水素の発生が少なくなり、めっき層が除去されたら取り出し、水洗し、綿布でよくぬぐった後、十分に乾燥し、再びはかる。その減量を試験片のめっき表面積で除したものを付着量とする。

注 (1) 試験中、試験液の温度は 38°C を超えてはならない。

(2) 試験液は、めっき層が容易に除去される範囲内で繰り返し使ってよい。

(1) 管類・圧延鋼材類・加工品類・鍛造品類の場合 付着量は、次の式によって算出する。

$$A = \frac{W_1 - W_2}{S} \times 10^6$$

ここに、A：付着量 (g/m²)

W₁：試験片のめっき層を除去する前の質量 (g)

W₂：試験片のめっき層を除去した後の質量 (g)

S：試験片の表面積 (mm²)

(2) 薄板類の場合 三点法では 3 枚の試験片を操作の前後とも一緒に 0.01 g までばかり平均値を求め、片面の表面積で除したものを付着量とする。最少点法では、試験片を 1 枚ずつばかり、付着量の最も少ないものを付着量とする。

(3) 線類の場合 清浄にした試験片を 0.01 g までばかり。容器に比して長すぎるときは、線を適当に曲げるか、巻くかして、試験片が完全に試験液⁽¹⁾⁽²⁾に浸るようにする。

水素の発生が少なくなり、めっき層が除去されたら取り出し、水洗し、綿布でよくぬぐった後、十分に乾燥する。再び 0.01 g までばかりした後、その径を同一箇所でも互いに直角の方向に 0.01 mm まで測定し、その平均値を求める。

付着量は、次の式によって算出する。

$$A = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times d \times 1960$$

ここに、A：付着量 (g/m²)

W₁：試験片のめっき層を除去する前の質量 (g)

W₂：試験片のめっき層を除去した後の質量 (g)

d：試験片のめっき層を除去した後の径 (mm)

1960：定数

(4) ボルト・ナット類の場合 付着量は、次の式によって算出する。

$$A = \frac{W_1 - W_2}{S} \times 10^6$$

ここに、A：付着量 (g/m²)

W₁：試験片のめっき層を除去する前の質量 (g)

W₂：試験片のめっき層を除去した後の質量 (g)

S : 試験片の表面積 (mm²)

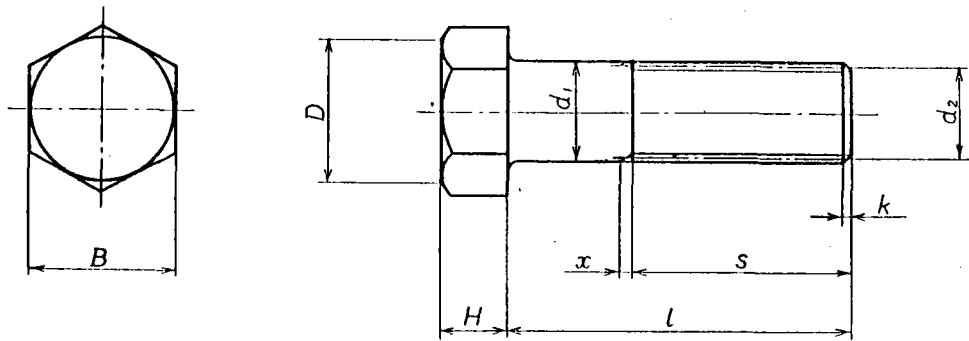
なお、ねじ部を含む試験片の表面積 S (mm²) は、次の式によって算出する。

なお、計算に用いる各数値は、公称寸法を適用する。

(a) 六角ボルト (メートルねじ)

$$S = 1.952 BD + 3.464 BH - 0.1868 B^2 - 0.0386 \pi D^2 + \pi d_1(l-s) + \pi k^2 + \left(s + \frac{x}{2}\right) \left(4.944 d_2 + 0.55 \frac{p}{d_2}\right)$$

図 3

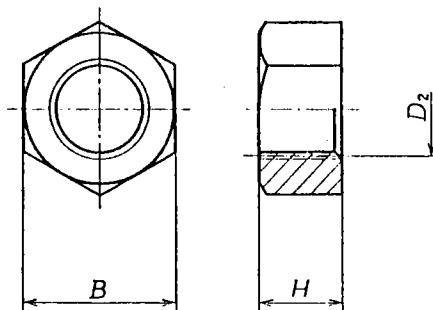


ここに、 S : 試験片の表面積 (mm ²)	l : 首下長さ (呼び長さ)
B : 二面幅	s : ねじ部長さ
H : 高さ	x : 不完全ねじ部長さ
D : 頭部円径	k : ねじ先長さ
d_1 : 軸径	p : ピッチ
d_2 : 有効径	

(b) 六角ナット (メートルねじ)

$$S = 1.952 BD_2 + 3.464 BH - 0.1868 B^2 - 0.5387 \pi D_2^2 + 1.366 H \left(3.62 D_2 + 0.275 \frac{p}{D_2}\right)$$

図 4



ここに、 S : 試験片の表面積 (mm ²)	D_2 : 有効径
B : 二面幅	p : ピッチ
H : 高さ	

4. 硫酸銅試験方法

4.1 試験片

- (1) 試験片のとり方 試験片は、3.2.1(1)によってとる。
- (2) 試験片の採取位置及び大きさ
 - (a) 管類の場合 試験片は、3.2.1(2)(a)によってとる。
 - (b) 線類の場合 試験片は、3.2.1(1)(b)によって長さ150 mm以上をとる。
 - (c) 圧延鋼材類の場合 試験片は、3.2.1(1)の(a)、(b)又は(c)によって長さ約100 mm⁽³⁾をとる。ただし、板の場合は100×100 mmとする。
 - (d) ボルト・ナット類の場合 試験片は、3.2.1(1)の(a)、(b)又は(c)によってとる。長さ150 mmを超える試験片は、測定できる適当な大きさに切断するか、又は部分的に浸せきしてもよい⁽³⁾。
 - (e) 鋳鍛造品類の場合 試験片は、3.2.1(1)の(a)、(b)又は(c)によってとる。大きすぎるもの(めっき面積が400 cm²を超えるもの)は、測定できる適当な大きさに切断⁽³⁾するか又は部分的に浸せきしてもよい。

4.2 試験液 JIS K 1433 (工業用硫酸銅) 36 g に対し水 100 ml の割合に調合し、これを加熱溶解した後、遊離硫酸を中和するため過量の粉状水酸化第二銅 [Cu(OH)₂] (化学用純)⁽⁴⁾⁽⁵⁾を加えてかき混ぜ、24時間放置した後ろ過し、18°Cにおける溶液(比重1.186~1.188)としたものを試験液とする。

4.3 試験液の量

- (1) 管類・圧延鋼材類・加工品類・ボルト・ナット類・鋳鍛造品類の場合 試験液の量は、試験片を完全に浸し、その表面積1 cm²に対し6 ml以上を用い、浸せき回数20回に及ぶまでは同一液を使用してもよい。
- (2) 線類の場合 径2.6 mm未満の線に対しては内径50 mm以上、径2.6 mm以上の線に対しては内径75 mm以上のプラスチックなどの硫酸銅溶液と反応しない容器を用い、液の深さは100 mm以上とする。この量は8本までの試験片につき使用できる。それ以上の試験に対しては液を取り替える。

4.4 試験片の清浄 3.2.3に同じ。

4.5 操作 清浄にした試験片を16~20°Cに保った試験液の中央に静かに1分間浸す。このとき液をかき混ぜたり、容器の壁に触れてはいけない。

取り出した試験片は直ちに水中で洗浄し、めっき面上に付着した銅をブラシなどでぬぐい去る。

この操作を繰り返す。

4.6 終止点の判断

4.6.1 終止点となる場合 めっき素地の上に光輝ある密着性金属銅が析出した場合

4.6.2 終止点とならない場合

- (1) 4.6.1に該当しない場合
- (2) 4.6.1の場合において次の場合は終止点とならない。
 - (a) 光輝ある密着性金属銅の析出した全面積が0.05 cm²に満たないとき。
 - (b) 光輝ある密着性金属銅をナイフの背のような鈍い器具ではぎとることができ、銅の下にめっき層が現れた場合。
 - (c) 試験片の角又は端から10 mm以内に光輝ある密着性金属銅が析出した場合。
 - (d) めっき後生じた切りきず、かすりきず部分、これに隣接する部分に光輝ある密着性金属銅が析出した場合。

備考 補足試験 各種の鉄鋼製品について密着性金属銅の下にめっき層が存在しているか、いないかについて疑いがある場合には、密着性金属銅をはぎとり、この箇所希塩酸の1滴又は数滴を滴下すれば、めっき層が存在する場合には活発な水素ガスの発生があるので判定できる。

4.7 合否の判定 4.5の操作を定められた回数だけ行い、終止点に達しない場合は合格とする。

注 (1) めっきを施していない表面の面積が大きくて硫酸銅溶液の強さを著しく減ずるような場合には、この部分を適当な塗料などで被覆する。

(2) 水酸化第二銅の量は、溶液 10 l に対し、約 10 g である。これが過量に存在することは、容器の底に沈殿するのでわかる。

(3) 水酸化第二銅の代わりに、JIS K 8422 [酸化第二銅 (試薬)] (1 級) を溶液 10 l に対し、約 8 g 用いてもよい。この場合には 48 時間放置する。又は、粉状塩基性炭酸銅 $[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$ (化学用純) を溶液 10 l に対し、約 12 g 用いてもよい。この場合は 24 時間放置する。

5. 密着性試験方法

5.1 目視による方法 通常の手扱によるめっき層のき裂やはく離の有無を調べる。

5.2 曲げ試験 試験片の径又は厚さの所定倍数の内側半径で指定された角度に曲げたとき、曲げた部分又は溶接部分などのめっき層の表面状態を調べる。

5.3 エリクセン試験 JIS B 7729 (エリクセン試験機) を用い、JIS Z 2247 (エリクセン試験方法) に準じて試験を行い、めっき層の表面状態を調べる。

5.4 巻付試験 所定径の円筒に所定回数密着して巻き付けたときのめっき層の表面状態を調べる。

5.5 ハンマー試験 ハンマーで打撃を加えたときのめっき層の表面状態を調べる。

5.5.1 ハンマー試験装置 図 5 に示す。

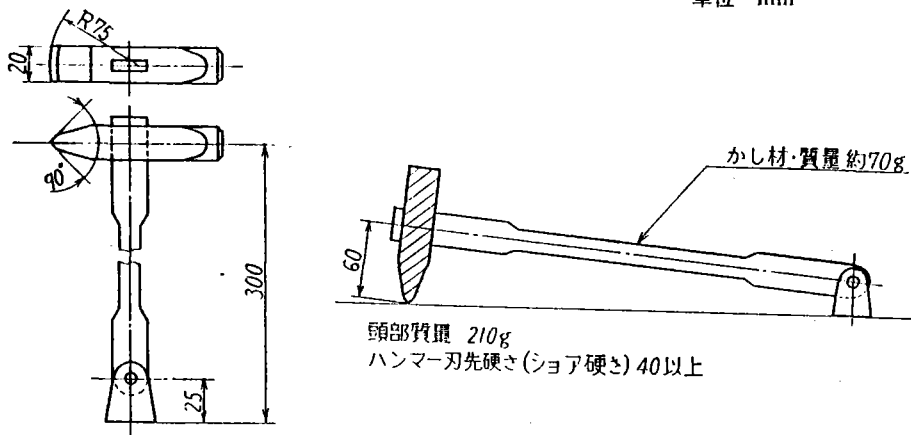
5.5.2 試験片の設置 試験片は、ハンマー打撃によって容易に動かないように水平に固定し、試験面は、ハンマーと直角でなければならない。

5.5.3 試験片 試験片は、8 mm 以上の厚みをもち、かつ、試験する面は平たんでなければならない。

5.5.4 操作 試験面を水平に置き、ハンマーは支持台を中心に柄が垂直の位置から自然に落下させる。打撃は、4 mm 間隔で平行に 5 点行い、その打こん間のはく離、浮き上がりを調べる。ただし、角又は端から 10 mm 以内は試験の対象としない。また同一箇所を 2 回以上たたいてはならない。

図 5

単位 mm



6. 性状試験方法⁽⁶⁾ (アルカリ試験)

6.1 試験片 試験片は、3.2.1(1)(b)によってとり、形状及び寸法は、表 2 による。

表 2 試験片の形状及び寸法

管の呼び方	A	10	15	20	25	32	40	50	65	80
	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3
試験片の長さ mm		30	30	30	30	30	30	30	30	30
断面の形状		全 円	全 円	全 円	$\frac{1}{2}$ 円	$\frac{1}{2}$ 円	$\frac{1}{2}$ 円	$\frac{1}{4}$ 円	$\frac{1}{4}$ 円	$\frac{1}{6}$ 円
めっき面積 cm ² (約)		29	36	47	29	37	43	27	34	27
管の呼び方	A	90	100	125	150	175	200	225	250	300
	B	$3\frac{1}{2}$	4	5	6	7	8	9	10	12
試験片の長さ mm		30	30	30	30	30	30	30	30	30
断面の形状		$\frac{1}{6}$ 円	$\frac{1}{6}$ 円	$\frac{1}{8}$ 円	$\frac{1}{8}$ 円	$\frac{1}{8}$ 円	$\frac{1}{8}$ 円	$\frac{1}{8}$ 円	$\frac{1}{8}$ 円	$\frac{1}{8}$ 円
めっき面積 cm ² (約)		31	35	33	38	44	50	56	62	74

6.2 試験液 試験液は、JIS K 1202 (固形かせいソーダ) 20g 又は JIS K 1431 (かせいカリ) 28g を水 100 ml に溶解したものとす。

6.3 試験片の清浄 3.2.3 に同じ。

6.4 操 作 試験液の量は、めっき面 1 cm² 当たり 5 ml 以上で、試験片を完全に没す量とし、試験液の温度は 75~80 °C に保つ。

試験片を投入すると、時間の経過に従い、めっき層は溶解する。表面の亜鉛層が溶解している間は少量の気泡が発生するだけであるが、合金層が現れてくると水素ガスが激しく発生し、ガラス容器内には気泡が充満するようになる。その後鉄面に達すると作用は緩やかになり、気泡は発生しなくなる。このときを終止点として試験片を投入したときからの時間をはかる。

なお、試験片の切断面は、鉄素地が直接試験液に触れないように、適当な塗料などで保護してもよい。

6.5 合否の判定 試験片を投入したときから終止点までの時間が 100 分以上であればよい。

注 (9) 性状試験は、JIS G 3442 (水道用亜鉛めっき鋼管) に適用する。

参 考 膜厚試験方法

1. 試験片 製品そのままを試験片とする。

2. 操 作 膜厚計は、厚さ既知の標準片によって校正されたものを用いる。測定は試験片 1 個について 5 か所以上の厚さを測定し、その平均値を膜厚とする。

なお、膜厚測定値から付着量を求めるには、次の式による。

$$A = 7.2 \times t$$

ここで、A : 亜鉛付着量 (g/m²)

7.2 : めっき層の密度 (g/cm³)

t : 膜 厚 (μm)

2.8 仮組立時及び現場工事時の留意事項

2.8.1 仮組立時の留意事項

- (1) めっき完了後の仮組立あるいは、仮置き、運搬の取扱い時はモライ錆、汚れなどに注意を要す。
- (2) 保管、運搬、仮組立時に使用する架台はめっき面を損傷させないように、製品との間にゴムマット、ミラーマット等を用いて保護する。
- (3) めっき後の再仮組立においては使用する仮ボルト、ドリフトピンはめっき製品及びSUS製品とする。
- (4) 桁引きよせなどに使用するワイヤーシャックル、レバーなどでめっき面に損傷させないように十分注意する。
- (5) 作業中めっき面に生じたキズはその程度により、補修が必要と判断された場合は、ローバル3回塗りで補修する。

2.8.2 架設時の留意事項

- (1) 垂鉛めっき桁は、めっきによる変形（主としてねじれ）が一般桁と比べて大きい
ため単独では安定性に欠ける場合が多い。このため一般的には、1主桁吊りは行わ
ず、2主桁ずつブロック組み（地組立）して架設する事が多い。このような方法を
採用することにより、架設上の桁の安定性が増すだけでなく、予め対傾構、横構部
材の連結部の取合確認にもなり、又、桁のねじれが予め矯正されるため高所での架
設作業も比較的少なくてすむ。
- (2) 支保工との当り面は床版養生マット、あるいは発泡スチロールを敷く。
- (3) 仮ボルト及びドリフトピンはめっき製品又はSUS製品とし仮ボルトは両面座金
付とする。
- (4) めっき面に雨水が付くと滑り易くなるため作業中は必ず命綱を使用する。
- (5) めっき表面は靴等で汚さないよう十分注意する。
- (6) 部材の吊上げは主桁については上フランジ面に吊金具を設定し、小部材に対して
は、麻、綿ロープを使用する。

2.8.3 足場工事の留意事項

- (1) 垂鉛めっき表面を汚したり、傷つけたりしないよう、吊り足場用吊金具に適すチ
ェーンにはビニール皮膜するなどの処置を施す。
- (2) 足場パイプは桁に当るのを防ぐため、出来る限り地組時に取付ける。

(3) 吊チェーンの取付けはスカーラップにかける時は、被覆ワイヤーを使用する。

(4) クランプやスタクションはなるべく新品を使用する。

2.8.4 床版工施工時の留意事項

(1) 型枠支保工吊ピースはめっき前に取付ける。

(2) コンクリートのアルカリ液の流下を防ぐため、型枠は隙間のないように取付け、隙間があれば、ガムテープを貼る。

(3) コンクリートが桁に付着した場合は、すぐ水洗いをする。

(4) 型枠材はアクの出ない中古品コンパネを使用する。

第3章 無塗装橋梁の実績について

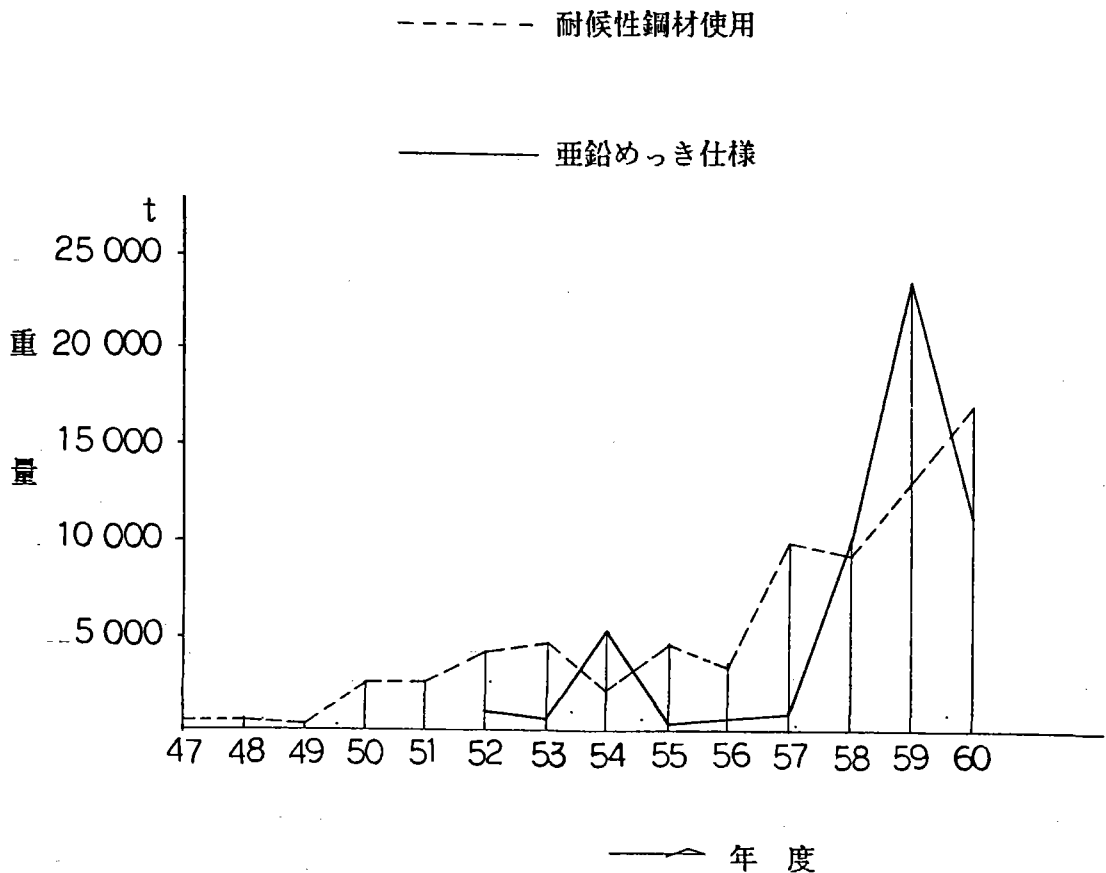
国内の無塗装橋梁の実績は近年多くなりつつあるが、その実態は橋梁建設協会の資料によると次の通りである。

無塗装仕様の橋梁として

- 1. 耐候性鋼材使用
 - 裸仕様
 - 化成処理仕様

- 2. 亜鉛めっき仕様

があるがこれ等について昭和47年から昭和60年迄の14年間の実績データをまとめたものである。



無塗装橋梁実績総括表（昭和47年度～56年度）

年 度	裸仕様			化成処理仕様			合 計			亜鉛メッキ仕様			總 合 計		
	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)
47				1	370	300,000	1	370	300,000	3	336	90,103	4	706	390,103
48				2	439	109,530	2	439	109,530	2	250	70,200	4	689	179,730
49				1	108	58,394	1	108	58,394				1	108	58,394
50				5	2,655	1,203,858	5	2,655	1,203,858				5	2,655	1,203,858
51				7	2,619	1,129,004	7	2,619	1,129,004				7	2,619	1,129,004
52	1	105	79,245	13	3,917	2,474,655	14	4,022	2,553,900	1	1,238	653,064	15	5,260	3,206,964
53	5	442	319,018	22	4,383	2,432,446	27	4,825	2,751,464	2	663	785,859	29	5,488	3,537,323
54	4	639	383,866	16	1,609	1,006,880	20	2,248	1,390,746	9	5,687	3,205,718	29	7,935	4,596,464
55	24	2,880	1,626,912	19	1,964	1,294,420	43	4,844	2,921,332	3	116	108,746	46	4,960	3,030,078
56	18	1,282	825,790	22	1,871	1,182,062	40	3,153	2,007,852	5	485	392,733	45	3,638	2,400,585
計	52	5,348	3,234,831	108	19,935	11,191,249	160	25,283	14,426,080	25	8,775	5,306,423	185	34,058	19,732,503

塗装橋梁実績総括表（昭和57年度～60年度）

年 度	裸仕様			化成処理仕様			合 計			亜鉛メッキ仕様			総 合 計		
	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)	件数	重量(t)	金額(千円)
57	50	5,638	3,714,836	49	5,132	3,704,444	99	10,770	7,419,280	9	860	644,939	108	11,630	8,064,219
58	39	3,508	2,224,232	52	5,645	4,027,420	91	9,153	6,251,652	24	10,960	6,715,690	115	20,113	12,967,342
59	52	6,928	3,394,978	62	6,353	4,353,729	114	13,281	7,748,707	22	24,197	15,997,251	136	37,478	23,745,958
60	71	11,490	6,514,688	44	6,087	3,584,293	115	17,577	10,104,981	24	11,255	7,600,423	139	28,832	17,705,404
計	212	27,564	15,848,734	207	23,217	15,669,886	419	50,781	31,524,620	79	47,272	30,958,303	498	98,053	62,482,923

（追）耐候性鋼材使用塗装橋梁

S 57 39件 9,090t
 S 58 24件 9,919t
 S 59 21件 4,779t
 S 60 24件 3,442t