

溶融亜鉛めっき鉄筋 Q&A

令和8年6月

一般社団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会

目 次

<一般>	P 1
1. 溶融亜鉛めっき鉄筋とはどのようなものですか？	
2. 防錆鉄筋にはどのようなものがありますか？	
3. 防錆鉄筋はどこでつかわれるのですか？あるいは使用する目的は？	
4. 亜鉛めっき鉄筋が消耗した場合、構造性能への影響はありますか？	
5. 亜鉛めっき鉄筋を使用することにより、一般的な最小かぶりおよび最大水セメント比を緩和することができますか？	
6. めっきを行う工場の選定条件は？	
<めっき厚の管理方法>	P 4
1. 適用する膜厚の基準はどのようになっていますか？	
2. 膜厚測定要領を教えてください	
3. 膜厚測定の抜き取り頻度の規定はありますか？	
<耐食性>	P 5
1. 亜鉛めっき鉄筋には、どのような防錆効果がありますか？	
2. 亜鉛めっき鉄筋がコンクリート中の高アルカリ環境下で耐食性を示すのはどうしてですか？	
3. 一般環境のコンクリート中の亜鉛めっき厚さの減少速度はどれくらいですか？	
4. コンクリートの中性化による腐食速度はどれくらいですか？	
5. 塩化物イオンが亜鉛めっき鉄筋の腐食速度に及ぼす影響は？	
6. 高炉スラグセメント B 種などの混合セメントに対する耐食性はどうか？	
<コンクリートとの付着性>	P 8
1. 亜鉛めっき鉄筋とコンクリートの付着性能に問題はないのですか？	
2. コンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の腐食が付着特性に与える影響はありませんか？	
<その他の性能>	P 9
1. 亜鉛めっき鉄筋の耐衝撃性は？（取り扱い上での注意事項）	
2. 施工上の耐衝撃性の評価は？	
3. 溶融亜鉛めっき鉄筋の耐火性能	
4. 鉄筋コンクリートの疲労特性に及ぼす亜鉛めっき鉄筋使用の影響はどうか？	
5. 曲げ加工を行った鉄筋に溶融亜鉛めっきを施してはいけいないのでしょうか？	

6. 鉄筋を曲げ加工した後にめっきを施すことは、全ての鉄筋でダメでしょうか？
7. 亜鉛めっき鉄筋の曲げ加工により生じた疵に対する処置は？
8. 亜鉛めっき鉄筋の組立・配筋時の注意点について
9. 白さびの発生した亜鉛めっき鉄筋は、コンクリートとの付着に影響しますか？
10. 白さびの発生を防止する方法は？

<その他>

P14

1. 亜鉛めっき鉄筋の継手にはどのようなものがありますか？
2. 重ね継手を行う場合に配慮すべきことはありますか？
3. ガス圧接継手を行う場合の注意事項は？
4. 亜鉛めっき鉄筋の継手に機械式継手を使用することは可能ですか？
5. めっき面の補修方法について教えてください。
6. 亜鉛めっき鉄筋が塩害対策の対象工法から除外されるに至った背景を教えてください。
7. 亜鉛めっき鉄筋を廃棄する場合、産業廃棄物としての扱いになるのですか？
8. 亜鉛めっき鉄筋を使用した実構造物の防食性能の検証例を教えてください。

めっき鉄筋 Q&A

<一般>

1. 溶融亜鉛めっき鉄筋とはどのようなものですか？

→JISG3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼) に適合する鉄筋に溶融亜鉛めっきを施したもので、防錆鉄筋の一種です。

2. 防錆鉄筋にはどのようなものがありますか？

→防錆鉄筋は、亜鉛めっき鉄筋以外にステンレス鉄筋やエポキシ樹脂鉄筋などがあります。使用環境及び価格、取り扱いなどを含めて考慮し、選択する必要があります。

3. 防錆鉄筋はどこで使われるのですか？あるいは使用する目的は？

→構造物への付着塩分濃度の高い地域では、鉄筋表面にまで塩分が到達することがあります。また、大気中の二酸化炭素の影響でコンクリートの中性化が進むことがあります。こうした腐食環境中では鉄筋は腐食し構造物の劣化が進行します。亜鉛めっき鉄筋は鉄筋を防錆することで、構造物の耐久性を向上させることができます。

4. 亜鉛めっき鉄筋が消耗した場合、構造性能への影響はありますか？

→亜鉛が腐食することにより亜鉛酸化物または亜鉛水酸化物が生成されますが、付着力は亜鉛の腐食程度に関わらず普通鉄筋と同等以上であります、腐食生成物による体積増加も小さいことからコンクリートに亜鉛の腐食に伴うひび割れは生じないと考えられます。したがって、亜鉛めっき鉄筋を使用した構造物の所要の性能低下は素地鉄筋の腐食が開始してからとなります。

5. 亜鉛めっき鉄筋を使用することにより、一般的な最小かぶりおよび最大水セメント比を緩和することができますか？

→亜鉛めっき鉄筋の長期における挙動について十分な知見が得られていないこと、また仮に現場で損傷を生じた場合のことを考慮して亜鉛めっき鉄筋との組み合わせによって確実に構造物の耐久性を確保できるだけの十分なかぶりと品質を備えたコンクリートとしておくことも設計・施工上重要であるという観点から、かぶりについては、使用環境の如何にかかわらず、少なくとも示方書に示される[設計編：標準] 2編 4章「一般的な環境下における構造物のかぶり」で示される水セメント比の最大値と最小かぶりの標準値を満足することを原則としています。

6. めっきを行う工場の選定条件は？

→コンクリート構造物の設計・施工指針（以下設計・施工指針）では、JISH8641 の認証工場から選定することを原則としています。また、鉄筋をめっきできる JIS 認証工場は国内に 85 工場あります。



熔融亜鉛めっき工場の分布

JIS 認証取得工場一覧

2026 年 4 月 15 日

北海道	札幌ガルバー株式会社 石狩工場 札幌電鉄工業株式会社 日本鍍金工業株式会社 株式会社双葉工業社 石狩工場	大阪府	安治川鉄工株式会社 生江亜鉛鍍金株式会社 オーエム工業株式会社 泉北グループ 大阪亜鉛鍍金株式会社 株式会社奥井工業所 株式会社木津川工業所 株式会社清川亜鉛工業所 メッキ事業部 近畿亜鉛鍍金株式会社 興栄工業所 株式会社駒形亜鉛鍍金所 株式会社境川工業所 タカヤマ金属工業株式会社 田中亚鉛鍍金株式会社 堺工場 東邦鍍金工業株式会社 南海亜鉛鍍金株式会社 株式会社日工鍍金工業所 日東工業株式会社 日本ガルバ株式会社 有限会社野間田鍍金工場 富士亜鉛鍍金株式会社 丸昌工業株式会社 株式会社山本興業 株式会社ヨドコウ 泉大津工場 和光金属工業株式会社 団地工場
岩手県	株式会社デンロコーポレーション 東北ガルバセンター	兵庫県	田中亚鉛鍍金株式会社 尼崎工場 マルイ鍍金工業株式会社 本社・工場
福島県	株式会社デンロコーポレーション 東北工場	和歌山県	有限会社ユーアイ工業 和歌山工場
秋田県	秋田ガルバー株式会社	広島県	株式会社ガルバ興業 三原工場 ダイクレ興産株式会社 第二事業部 向陽金属工業株式会社 圓光産業株式会社
茨城県	茨城亜鉛工業株式会社	香川県	四国オーエム株式会社
栃木県	横浜ガルバー株式会社 小山工場 株式会社大谷工業 鹿沼工場	愛媛県	株式会社ガルバ興業 本社・工場 株式会社四国メッキ
群馬県	高崎亜鉛工業株式会社 株式会社ジャパングルバー	福岡県	日本鉄塔工業株式会社
埼玉県	株式会社デンコー 株式会社新生鍍金工業 大和ガルバー株式会社 大森工業株式会社 埼玉工場 湯沢メッキ株式会社 八潮工場	佐賀県	西日本電気鉄工株式会社 本社・鳥栖工場
千葉県	大森工業株式会社 野田工場 那須電機鉄工株式会社 日伸鋼業株式会社 渡新工業株式会社 八千代工場 湯沢メッキ株式会社 市川工場 イワブチ株式会社	長崎県	有田工業株式会社
東京都	関東鍍金工業株式会社 成瀬鋼業株式会社 深田パーカラライジング株式会社	熊本県	九州オーエム株式会社 本社・工場 株式会社富士金属
神奈川県	横浜ガルバー株式会社 鶴見駒岡工場 株式会社湘南ガルバー 日東亜鉛株式会社 本社・川崎工場	大分県	株式会社田北電機製作所
新潟県	越後亜鉛工業株式会社 新潟亜鉛工業株式会社	宮崎県	九州オーエム株式会社 宮崎工場
富山県	シーケー金属株式会社 株式会社大谷工業 富山工場	沖縄県	拓南製作所 株式会社 防錆事業所
石川県	株式会社大野メッキ工業所		
静岡県	株式会社新容工業所 株式会社静清亜鉛		
愛知県	愛知亜鉛鍍金株式会社 株式会社興和工業所 ミナト西工場 眞和興業株式会社 株式会社東海アルマ工業 東海鋼材工業株式会社 知多工場		
三重県	内田鍛工株式会社 日進ガルバ工業株式会社		
滋賀県	株式会社アルテス		

*当協会会員会社様に限ります。

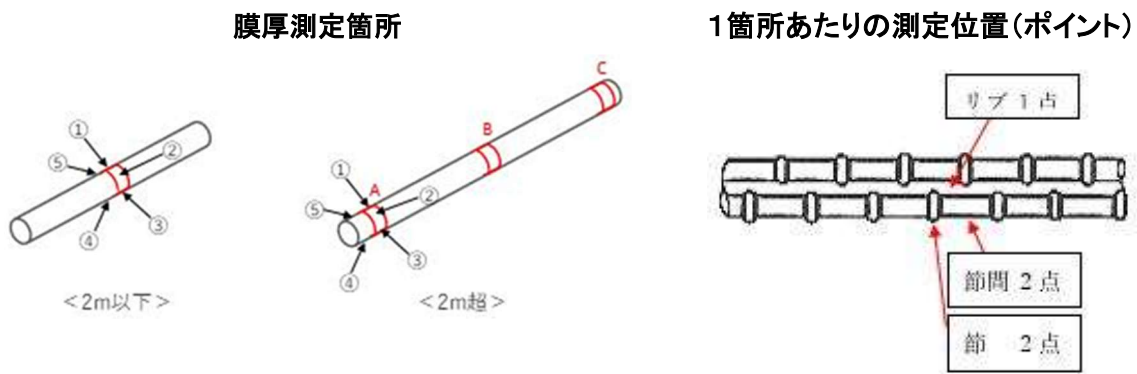
<めっき厚の管理方法>

1. 適用する膜厚の基準はどのようになっていますか？

→JISH8641 における HDZT77 を標準としますが、耐久設計を要する場合は、膜厚の設計値（T 年後の亜鉛めっきの消耗膜厚の設計値） μm を膜厚の基準とすべきです。膜厚の設計値の計算方法は、別途「溶融亜鉛めっき鉄筋設計・施工マニュアル」によります。

2. 膜厚測定要領を教えてください。

→鉄筋の膜厚測定箇所および各箇所の測定ポイントは以下によります。



A ~ C：膜厚測定箇所

① ~ ⑤：膜厚測定位置（円周方向に節間部，節部，リブ部からランダムに選ぶと良い）

A の膜厚： $(①+②+③+④+⑤)/5$ （5ポイントの平均）

判定基準：上に示すA~Cのすべての箇所で膜厚の基準値を満足していること。

3. 膜厚測定の抜き取り頻度の規定はありますか？

→設計・施工指針では、次のように記載されています。「鉄筋の製造ロット、呼び名ごとに同一条件で同じ日にめっきしたものを1ロットとし、そのロットから無作為に抜き取ったものを試験材とします。抜き取り数は、JIS 認証工場の場合は500本およびその端数ごとにそれぞれ1本を標準とします。非 JIS 認証工場の場合は、100本およびその端数ごとにそれぞれ1本を標準とします。品質確認で規定を満足しなかった場合は、そのロットからさらに規定の2倍の数の試験材を抜き取り、規定を満足しなかった項目について再試験を行うこととします。この試験で全数が規定を満足した場合は、そのロットを適合とします。

<耐食性>

1. 亜鉛めっき鉄筋には、どのような防錆効果がありますか？

→亜鉛めっきの耐食性には、犠牲防食作用および保護皮膜作用の二つの大きな特徴があります。この二つの作用により腐食しにくく、運搬中などに万が一、亜鉛めっき皮膜に鉄地に達するような疵を生じてても鉄の腐食を抑制します。

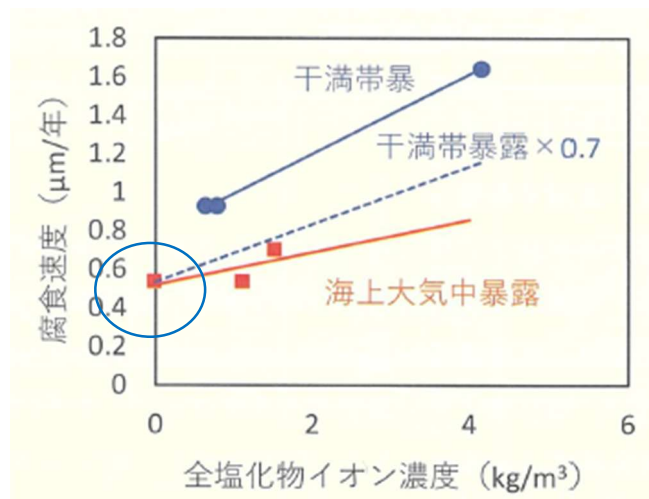
2. 亜鉛めっき鉄筋がコンクリート中の高アルカリ環境下で耐食性を示すのはどうしてですか？

→亜鉛は、打設直後にコンクリート中の高アルカリ性の環境で一時的に消耗します。しかし、亜鉛がコンクリート中で消耗した場合、腐食生成物として亜鉛とカルシウムが反応した CaHZn (ヒドロキシ亜鉛酸カルシウム) が生成されます。この CaHZn がめっき表面には不働態皮膜に似た保護皮膜が形成されることで極めて低い消耗速度となることが確認されています。

その後、コンクリートが中性化した後は、細孔溶液の PH が低下するため、亜鉛本来の性質として耐食性を発揮します。

3. 一般環境のコンクリート中の亜鉛めっき厚さの減少速度はどれくらいですか？

→一般環境下(比較的乾燥状態中)での亜鉛の腐食速度は、下に示す暴露データの海上大気中暴露における塩化物イオン濃度が 0kg/m^3 の場合の腐食速度により、約 $0.5\mu\text{m/year}$ であります。

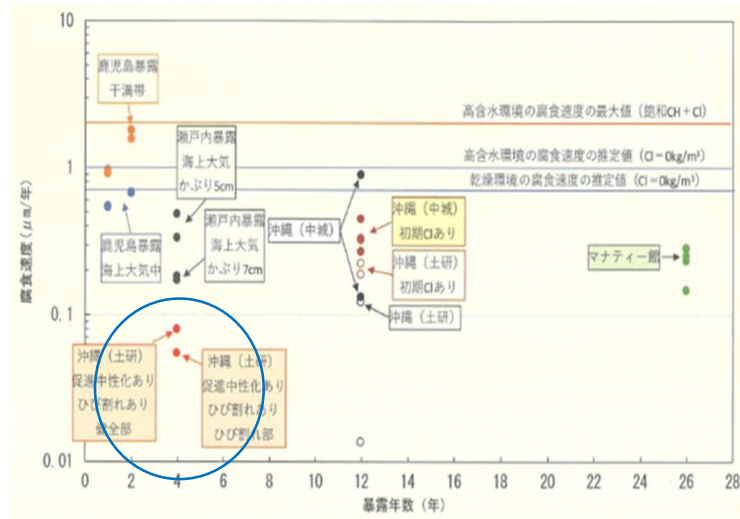


設置される環境が亜鉛めっき鉄筋の腐食速度に及ぼす影響

(土木学会指針 図 5.1.2)

4. コンクリートの中酸化による腐食速度はどれくらいですか？

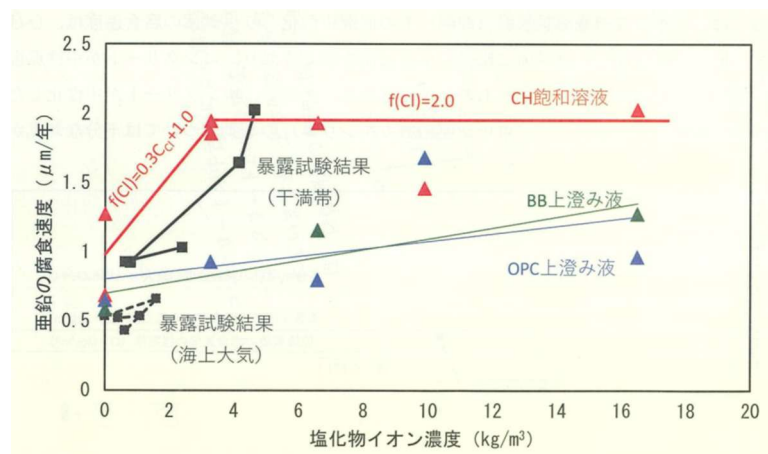
→コンクリートが中性環境に移行することで、亜鉛めっきの耐食性は向上すると言われてはいますが、土木研究所暴露試験場（沖縄）での促進中性化あり供試体の腐食速度は、ひび割れの有無に関わらず、約 $0.1 \mu\text{m}/\text{year}$ 以下と小さな値を示しています。



亜鉛めっき鉄筋の腐食速度
(土木学会指針 図 5.2.1)

5. 塩化物イオンが亜鉛めっき鉄筋の腐食速度に及ぼす影響は？

→亜鉛めっきの消耗は塩害環境下において構造物が干満帯のような高含水な環境に曝された場合で $1\sim 2 \mu\text{m}/\text{年}$ 、海上大気中や一般大気環境のような比較的乾燥した環境に曝された場合で $0.7\sim 1.4 \mu\text{m}/\text{年}$ 程度であり、鉄筋位置の塩化物イオン量が $3.3 \text{ kg}/\text{m}^3$ を超える場合は一定の消耗速度になると考えられています。



亜鉛めっき鉄筋の腐食速度と塩化物イオン濃度の関係
(土木学会指針 図 5.1.1)

6. 高炉スラグセメント B 種などの混合セメントに対する耐食性はどうか？

→混合セメントを使用したコンクリートの場合、コンクリート中の PH がポルトランドセメントに比べ低下するため、理論的には亜鉛の消耗速度は小さくなると考えられます。しかし、現状では十分なデータが得られていないことから、PH が亜鉛めっきの消耗速度に及ぼす影響は、安全側の照査となるように JIS に規定されたセメントと同じとされています。

<コンクリートとの付着性>

1. 亜鉛めっき鉄筋とコンクリートの付着性能に問題はないのですか？

→日本建築センターによる付着性能に関する評定取得の際に JSTMC2101 の試験方法により確認した結果、全ての条件（鋼種、棒鋼会社）で、すべり量が 0.002D 時の付着応力度が 3 N/mm²以上であり、めっき鉄筋はコンクリートとの付着に関して既存の規定を満足することが確認されています。

鋼種等	棒鋼会社	区分(竹/横)	めっき条件	平均
SD295A D16	JFE条鋼株	普通鉄筋	めっき無し	4.7
		めっき鉄筋	450°Cx120秒	7.1
	合同製鐵株	普通鉄筋	めっき無し	5.6
		めっき鉄筋	455°Cx90秒	5.6
SD345 D25	JFE条鋼株	普通鉄筋	めっき無し	5.7
		めっき鉄筋	450°Cx120秒	6.3
	合同製鐵株	普通鉄筋	めっき無し	5.4
		めっき鉄筋	455°Cx90秒	4.9

黒鉄筋とめっき鉄筋の付着強度測定結果

2. コンクリート中における亜鉛めっき鉄筋の腐食が付着特性に与える影響はありませんか？

→下図 1 に暴露 1 ヶ月の付着強度の結果を示します。これによると、亜鉛めっき鉄筋は、塩化物イオンが増加した場合においても、普通鉄筋と比較して、概ね同等の付着力を確認できます。また、図 2 に暴露 5 ヶ月の付着強度を示す。これによると、亜鉛めっき鉄筋は、長期の暴露においても、普通鉄筋と比較して、概ね同等の付着力を確認できます。

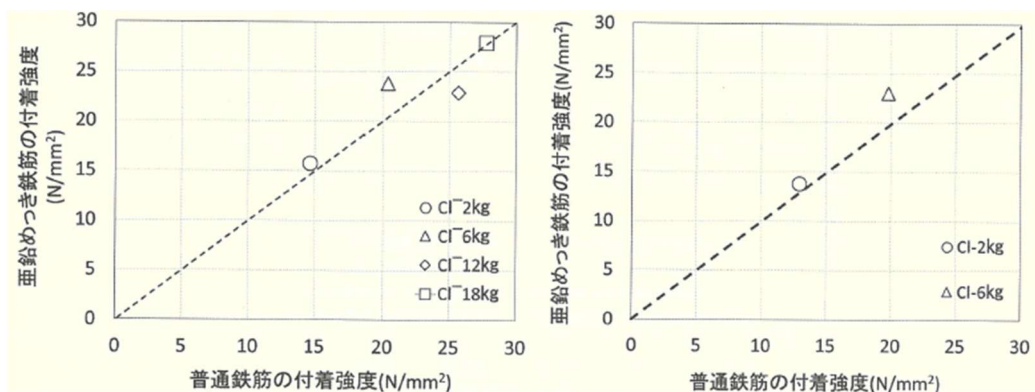


図 1 暴露 1 か月の付着強度

図 2 暴露 5 か月の付着強度

<その他の性能>

1. 亜鉛めっき鉄筋の耐衝撃性は？（取扱い上での配慮事項）

→亜鉛めっき鉄筋は、運搬、積みおろしなどの通常の取扱いではそのめっき皮膜に疵がつくことはありません。しかし、亜鉛めっき鉄筋が変形するような強い衝撃や摩擦が加えられると、合金層から皮膜が剥離して鉄筋素地が局部的に露出することがあります。そのため、移動中の際には直接てこを使ったり、ワイヤーロープで直吊りするような作業は避けなければなりません。やむを得ず、てこやワイヤーロープを使う場合は、プロテクターや緩衝材を用いて亜鉛めっきに疵が生じないように措置を講じる必要があります。

2. 施工上の耐衝撃性の評価は？

→某床版製作工場で施工状況を確認した結果、鉄筋組立等の作業に対しても疵の発生等はありませんでした。またコンクリート打込み時にバイブレータが鉄筋と接触することがありましたが、疵等の発生はないものと推測され、亜鉛めっき鉄筋（金属被覆）の耐衝撃性、耐摩耗性の高さを確認できました。



配筋後の状況



コンクリート打設時

3. 溶融亜鉛めっき鉄筋の耐火性はどうか？

→既往の研究で高温加熱を受けためっき鉄筋と普通鉄筋での付着特性の違いを 400°C、500°Cの加熱後と常温時の付着強度と亜鉛皮膜の膜厚が確認され、亜鉛皮膜の溶融による付着低下の影響は小さく、膜厚の大きな変化も生じていないことから、加熱後常温に戻ったときにおいても、めっき鉄筋の性能の影響はないものと推定されています。

4. 鉄筋コンクリートの疲労特性に及ぼす亜鉛めっき鉄筋使用の影響はどうか？

→久松敬弘氏、岡村甫氏らが1976年に発表した「鉄筋コンクリートの耐久性と疲労挙動におよぼす亜鉛めっき鉄筋使用の影響」により、疲労強度におよぼす亜鉛めっき処理が、裸のデフォメーションにおよぼす目立った影響に比べ無視しうることを示しており、疲労抵抗によりデフォメーションの選択が重要であり、実際にはコンクリート梁の疲労強度におよぼす亜鉛めっき処理の影響は考えなくてよいと結論付けられています。

5. 曲げ加工を行った鉄筋に溶融亜鉛めっきを施してはいけませんか？

→示方書においては、普通鉄筋の曲げ加工は常温で行うことが原則とされており、曲げ加工後に大きな残留応力が生じている場合があります。このような鉄筋に亜鉛めっきを施すと熱影響によって脆化、変形、破損などが生じるおそれがあります。このため、亜鉛めっきを施す鉄筋は曲げ加工を行っていないものとするを原則とし、やむを得ず曲げ加工した鉄筋に亜鉛めっきを施す場合は、遅れ破壊または溶融金属脆化が想定されるため、試験めっきを行って、めっき後の鉄筋の品質を適当な試験により確認し、責任技術者の承認を得なければなりません。

6. 鉄筋を曲げ加工した後にめっきを施すことは、全ての鉄筋でダメでしょうか？

→ASTM A-767 規格「コンクリート補強用亜鉛めっき鋼棒の標準仕様」では、亜鉛めっき前の冷間曲げに対して、規定された曲げ径より大きい場合は許容されています。国内においても鹿児島大学にてJISの鉄筋にて同様の試験を実施しており、その結果によっては一部先曲げを認めることも可能となることが期待されます。

最小曲げ径 (ASTM 767)

呼称	280 級[40]	350 級[50]	420 級[60]	520 級[75]
10,13,16[3,4,5]	6d	6d	6d	—
19[6]	6d	6d	6d	6d
22,25[7,8]	6d	8d	8d	8d
29,32[9,10]	—	—	8d	8d
36[11]	—	—	8d	8d
43,57[14,18]	—	—	10d	10d

d=鉄筋の直径

7. 亜鉛めっき鉄筋の曲げ加工により生じた疵に対する処置は？

→素地鉄筋が露出している場合は、塗膜厚が確保できる高濃度亜鉛末塗料で補修する必要があります。(次節5項 めっき面の補修要領による)

8. 亜鉛めっき鉄筋の組立・配筋時の注意点について

亜鉛めっき鉄筋と普通鉄筋などの異種金属が接触する場合について教えてください。

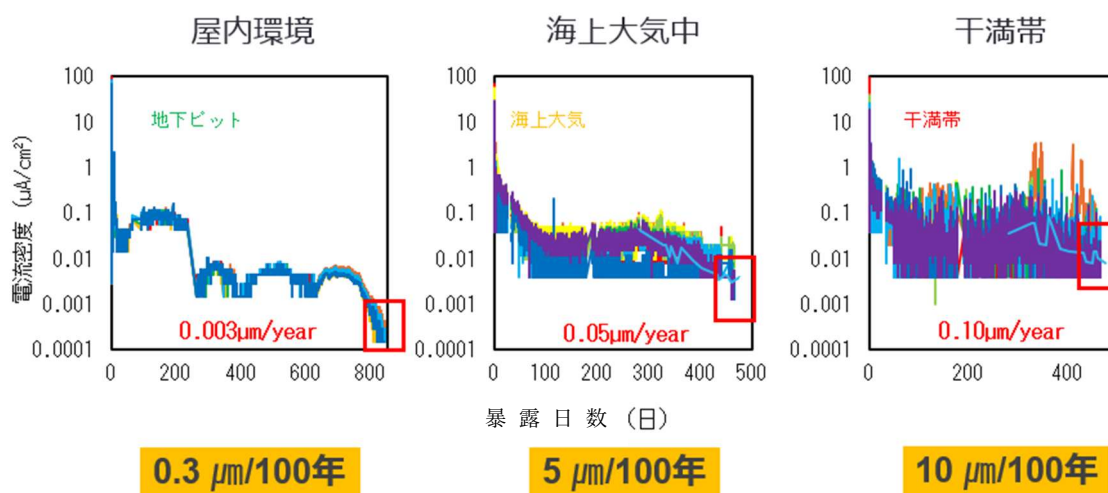
→『コンクリート構造物の設計・施工指針(案)』では次のように示されています。

「亜鉛めっき鉄筋と普通鉄筋が接触する場合には原則として絶縁処理を行って下さい。これは、鋼材と亜鉛皮膜との異種金属接触腐食を防ぐためです。また、組み立て時の結束にも絶縁処理した結束線を用いて下さい。

めっき鉄筋同士を組み立てる際は絶縁処理の必要はありません。ただし、結束する際には亜鉛めっきを施した結束線を用いて下さい。

型枠組立の際に用いる鋼製セパレーターも異種金属接触腐食の可能性があるので、上記と同様に絶縁処理を行うか、樹脂被覆されたセパレーターをご使用下さい。」

しかしながら新しい知見として、下図に鹿児島大学で行われている異種金属接触腐食に関する暴露試験結果を示します。100年での腐食量に換算すると、屋内環境で $0.3\mu\text{m}$ 、海上大気中で $5\mu\text{m}$ 、干満帯で $10\mu\text{m}$ 程度であることが分かってきています。



9. 白さびの発生した亜鉛めっき鉄筋は、コンクリートとの付着に影響しますか？

→通常の白さびは、コンクリートとの付着に影響しない。かさばったこぶ状の白さびは、コンクリートとの付着性に影響を及ぼす恐れがありますので、ワイヤブラシ等で除去して下さい。



通常の白さび

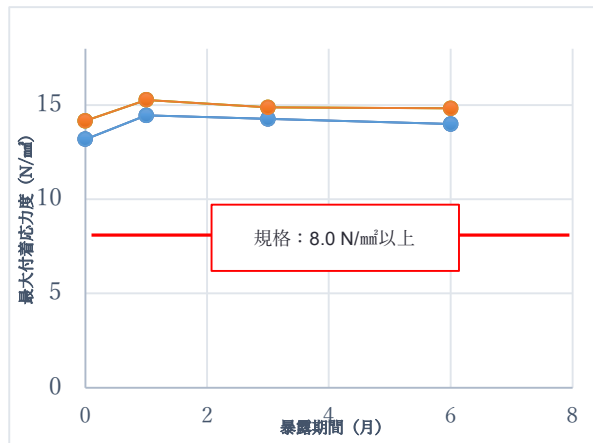
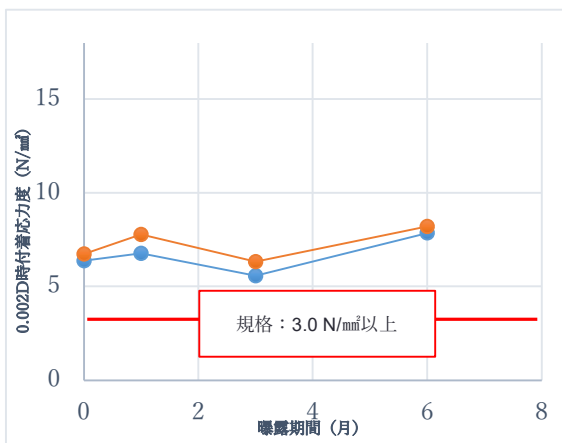
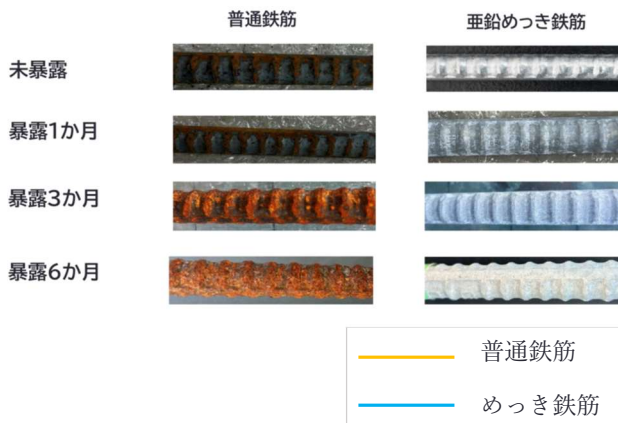


かさばったこぶ状の白さび

新しい知見として、鹿児島大学で行われている暴露供試体の引抜試験結果を下表に示します。写真の様な白さびでは、付着応力度および最大付着応力度は JSTM C2101 で規定される規格値を満足しており多少の白さびはコンクリートとの付着に影響を及ぼさないことが分かってきています。



暴露状況写真



引抜試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験結果

10. 白さびの発生を防止する方法は？

→白さびの発生には必ず水分と酸素が関与します。水分は雨水や海水飛沫、結露等によってめっき表面に供給されます。屋外保管の場合は水はけの良い場所で台木などで地面と隙間を開け通風をよくし、雨水や海水飛沫がかからないようにシート掛けを行って下さい。

一般に行われているアクリル樹脂等による白さび防止処理は、鉄筋とコンクリートとの付着に影響を及ぼす恐れがあるので行うべきではありません。

<その他>

1. 亜鉛めっき鉄筋の継手にはどのようなものがありますか？

→重ね継手、ガス圧接継手、溶接継手、機械式継手などがあります。

2. 重ね継手を行う場合に配慮すべきことはありますか？

→重ね継手長さは亜鉛めっき鉄筋の場合も普通鉄筋の場合と同じでよいが、亜鉛めっき鉄筋と普通鉄筋とで重ね継手を行う場合は、原則として電氣的に絶縁しなければいけません。樹脂板又はゴム板等を重ね継手部に設置し鉄筋同士の接触を避ける方法や、接触部に絶縁塗装を行う方法などがあります。

3. ガス圧接継手を行う場合の注意事項は？

→ガス圧接継手や溶接継手においては亜鉛めっき箇所ではブローホールあるいはフラットなどの溶接欠陥が生じるだけでなく、加熱による有害な溶接ヒュームの発生を抑制するために、亜鉛めっき鉄筋の亜鉛めっき皮膜を事前にディスクサンダーなどで除去しなければいけません。除去する幅は鉄筋の径により異なりますが、概ね 30 mm 以上除去することが必要です。なお、亜鉛めっき鉄筋のめっき皮膜を研磨する場合は、作業者に有効な呼吸用保護具を使用させるなど健康障害防止のため適切な措置を講じる必要があります。また、鉄筋接続後には亜鉛めっきを除去した部分も含め、確実に補修しなければいけません。

4. 亜鉛めっき鉄筋の継手に機械式継手を使用することは可能ですか？

→機械式継手を用いる場合は、継手材料に亜鉛めっきを施したものをを用いるべきです。

斜節・モルタル充填接手の場合：

めっきの有無による差もほとんどなく、鉄筋の降伏強度もいずれも同等であったことから、めっき鉄筋にめっき継手を使用した場合も普通鉄筋および普通継手を使用した場合と同等の性能を有しています。

ネジ節・モルタル充填接手の場合：

引張試験の結果、一部のもので不合格となった。亜鉛めっきによる継手部の力学的な特性の変化は少なく、ネジ節とモルタル充填接手の組み合わせが問題である可能性が考えられます。

ネジ節・ネジ節鉄筋無機グラウト継手の場合：

めっき鉄筋にめっき継手を使用した場合も普通鉄筋および普通継手を使用した場合と同等の性能を有していると考えられます。

これらと違うタイプの機械式継手を使用する場合は、継手部の力学的特性をあらかじめ確認したうえで適用する必要があると考えられます。

5. めっき面の補修方法について教えてください。

→めっき皮膜が部分的に欠損している場合は、高濃度亜鉛末塗料などを塗布して亜鉛皮膜による防食効果を回復することが必要であります。この高濃度亜鉛末塗料にも様々なタイプがありますが、高アルカリ性環境での抵抗性に優れているのがエポキシ樹脂系であり、付着性にも優れ硬化時間が短いことから、補修に用いる高濃度亜鉛末塗料としてはエポキシ樹脂系塗料が推奨されています。なお、この高濃度亜鉛末塗料の乾燥塗膜中の亜鉛含有量が 92%以上 のものを用いることを指針の上では標準としています。

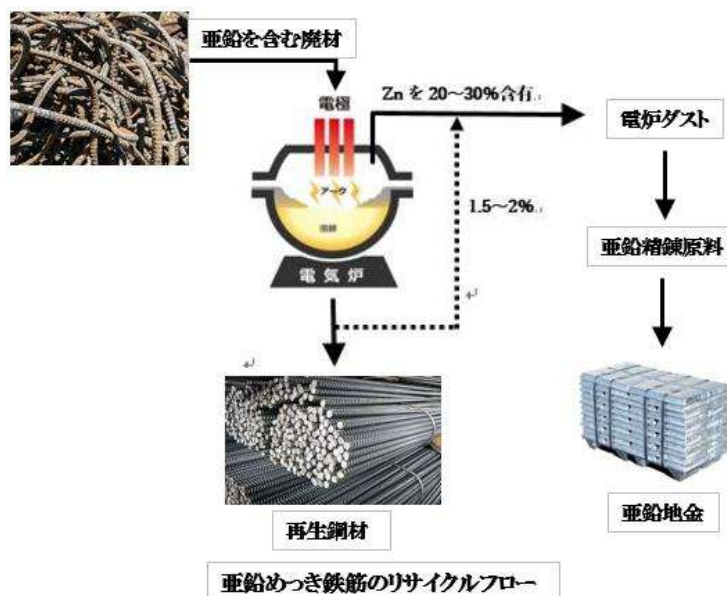
6. 亜鉛めっき鉄筋が塩害対策の対象工法から除外されるに至った背景を教えてください。

→塩害対策としての亜鉛めっき鉄筋が削除された理由は、亜鉛めっき層は、運搬や施工時のめっき層は、エポキシ樹脂皮膜鉄筋の塗膜に比べて衝撃などの損傷は受けにくいものの、コンクリート中のような高アルカリ環境下で亜鉛が徐々に消耗し、また、塩分環境下でも消耗することから、防食の信頼性に懸念が生じたことが主たる理由でありました。

しかし、近年ではそれに対する反証データも複数提示さ、亜鉛めっき鉄筋の耐食性が見直されるとともに、コンクリート構造物の設計体系が「性能照査型」に変わったことで、熔融亜鉛めっき鉄筋を防食鉄筋の一つとして有効に活用できるものとするのが可能となっています。

7. 亜鉛めっき鉄筋を廃棄する場合、産業廃棄物としての扱いになるのですか？

→めっき鉄筋は普通鉄筋と同様に鉄スクラップとしての廃棄が可能であり、有価物として取引されています。下図のように亜鉛めっき鉄筋の廃材は一般の鉄スクラップと一緒に電炉メーカーで処理され、その際のダスト中の亜鉛は亜鉛製錬の原料として利用されるので亜鉛めっき鉄筋の廃材は循環型資源であります。



8. 亜鉛めっき鉄筋を使用した実構造物の防食性能の検証例を教えてください。

→国内

・竹原製煉所高煙突：

使用開始から約 40 年経過後に筒身の 4 方向（東西南北）、高さレベルで 2 水準の合計 8 部位でのコア採取により、亜鉛めっき鉄筋の腐食調査が行われました。その結果、内側および外側のいずれの鉄筋にも発錆は認められず、亜鉛めっきが健全な状態であることが確認されました。

・沖縄美ら海水族館マナティー館：

施工後約 25 年経過後に機械室の外壁のコア採取により、亜鉛めっき鉄筋の腐食ならびに他項目の調査が行われました。その結果、鉄筋横断面の 3 箇所亜鉛めっき鉄筋横断面の周囲に対するデジタルスコープ観察を行いました。いずれの場所でも膜厚が 80 μ 程度の健全な亜鉛皮膜が観察されています。

海外

・米国ペンシルベニア州 Tioga 橋：

冬季に融雪剤が散布されコンクリート内部の塩化物イオン濃度が高いレベルの地域での約 50 年経過した RC 橋梁の追跡調査で、採取した 4 個のコアの円周方向に各 12 ヶ所に対し顕微鏡により光学的に測定した結果、亜鉛めっき皮膜は非常に良い状態であり、ほとんどの場合、鉄筋の皮膜厚は、未使用の鉄筋における ASTM の仕様を上回っていました。

・その他米国の橋げたの調査結果(建設技術研究所による米国橋げたの調査結果の要約)

BocaChica 橋：27 年経過後、残存亜鉛皮膜の厚さ 170 μ

Curtis 道路橋：46 年経過後、残存亜鉛皮膜の厚さ 155 μ

Spring 通り橋：31 年経過後、残存亜鉛皮膜の厚さ 191 μ

Evanston インターチェンジ：27 年経過後、残存亜鉛皮膜の厚さ 236 μ

ニューヨーク州高速道路 1-87 橋：13 年経過後、残存亜鉛皮膜の厚さ 200 μ

ニューヨーク州高速道路 Seneca 橋：13 年経過後、残存亜鉛皮膜の厚さ 355 μ

・バミューダ諸島 Longboard 橋：

1953 年に建設された Longboard 橋はバミューダは亜熱帯地域に立地し、厳しい海洋環境として知られた地域ですが、最近取り壊されるまでに 70 年近く経っていたが、わずかな部分を除いて、鉄筋の亜鉛めっき皮膜は非常に良い状態でした。5 個のサンプルに対し、鉄筋の円周方向に 12 ヶ所の膜厚測定を光学的に行った結果、ほとんどの場合鉄筋の膜厚は未使用の鉄筋における ASTM の仕様を上回っていました。2020 年に解体されるまでに行われた調査結果から、土木設計・施工指針と比較評価について次頁に示します。

土木設計・施工指針との比較評価

2020年の解体時までに行われた調査結果*からめっき皮膜の腐食速度を評価した結果を以下に示します。

調査年	1975	1995		2020
供用年数(年)	22	42		67
めっき膜厚(μm)	152	180	124	152
Cl濃度(kg/m ²)	1.0 1.3	1.79	6.11	?

*Hot-Dip Galvanized Steel Performance Report Longbird Bridge・Bermuda 1953-2020 (AGA)

また、土木設計・施工指針より乾燥環境における腐食速度は下表の通りです。

Cl濃度(kg/m ²)	0	1.0	2.0	3.3以上
腐食速度(乾燥) (μm/年)	0.7	0.91	1.12	1.4

(1) めっき付着量から評価した結果

建設当初の付着量を 1070g/m² (ASTM A767 クラス 1、めっき膜厚：149μm) とし
て評価した結果を下表に示します。

めっき消耗(μm)	+3	+31	-25	+3
腐食速度(μm/年)	—	—	0.60	—

土木設計・施工指針では海上大気中、一般大気の比較的乾燥した環境における腐食速度は年間 0.7～1.4μm であり概ね指針通りです。

また Cl 濃度 6.11 (kg/m²) はかなり過酷な腐食環境であったことが分かります。指針では、この Cl 濃度における腐食速度は年間 2μm 以下とされていることから期待以上の結果と言えます。(6 頁 5 項参照)

(2) めっき膜厚から評価した結果

初期膜厚を 180μm と仮定して供用期間中の腐食速度を計算した結果を下表に示します。

めっき消耗(μm)	-28	0	-56	-28
腐食速度(μm/年)	1.27	0	1.33	0.42

土木設計・施工指針に示されている腐食速度と概ね同程度と評価できます。

・ Hamilton 港の波止場壁：

コンクリート内部の全塩化物イオン濃度が $1.7\sim 2.0\text{kg}/\text{m}^3$ であり、供用開始後 25 年時点において、その減量は 5% 以下であり高い防食性能が維持されていることが実証されています。また、Hamilton にあるバス車庫は、45 年経過した時点でも良好な状態でありました。

・ Royal Bermuda ヨット・クラブの棧橋：

コンクリート内部の全塩化物イオン濃度が $1.7\sim 2.0\text{kg}/\text{m}^3$ であり、供用開始後 23 年時点において、腐食の兆候は見られず高い防食性能が維持されていることが実証されています。

・ St.George の Pennon 埠頭：

コンクリート内部の全塩化物イオン濃度が $1.7\sim 3.6\text{kg}/\text{m}^3$ であり、供用開始後 12 年時点において、亜鉛めっきの部分の減量は 8% 程度でありました。その後供用開始後 27 年時点での調査でも、ごく軽微な錆が検知されたのにとどまっております、高い防食性能が維持されていることが実証されています。