

沖縄県における溶接金網・ひし形金網の防錆処理について

新垣善久*

Yoshihisa ARAKAKI

塩害地域といわれる沖縄県では本土と比較して溶接金網、ひし形金網が早く腐食して取替になる。そのため高耐久仕様が求められ様々な材料にて金網製品が製造されている。本稿では代表的な材料仕様について比較検討を行い、沖縄県において最適な金網製品の仕様について報告する。

キーワード：塩害，試験，めっき，乾湿繰返し試験（サイクル腐食試験），さび，亜鉛，アルミニウム

*株式会社 大進商会（〒901-0305 沖縄県糸満市西崎町 5 丁目 11 番地 12）防錆管理士

Taishinsyokai Co.,Ltd. (5-11-12,Nishizaki,Itoman,Okinawa,901-0305,Japan)

Corrosion Control Engineer

1. はじめに

「溶接金網」(ワイヤーメッシュ)は、鉄線と呼ばれる円柱状の線材を縦横に配列しその交点を電気抵抗溶接(写真1)して格子状にした製品である。その多くがコンクリートの亀裂防止補強材として、土木建築の基礎や床などに使用されるが、別用途としてデザイン性という付加価値を付けた、フェンスのパネル等でも使用される事がある。コンクリート内で使用される場合には防錆処理を行った製品はあまり使用されないが、フェンスのパネル等大気中で使用される場合には、長寿命化を図るために、環境や場所等状況に応じた様々な防錆処理が施される。

「ひし形金網」は、ジラスとブレードを使い、螺旋形成された線材を編み動作(写真2)する事によって製造される。網目の交点が溶接金網のように溶接により固定された状態ではないので、畳んだり、ロール状に梱包することが出来る。主な用途はフェンスになり、溶接金網と同様の防錆処理が施され長寿命化が図られている。

本稿では溶接金網、ひし形金網に用いられる溶融亜鉛めっきの代表的な3種類の防錆処理について、耐食性を比較した結果について報告する。



写真1 溶接金網製造中



写真2 ひし形金網製造中



写真3 溶接金網フェンス使用例



写真4 ひし形金網フェンス使用例

2. 溶接金網、ひし形金網に施される溶融亜鉛めっきの種類と特徴

(1) バッチ式溶融亜鉛めっき(ドブ付、後めっき)

鉄線をスポット溶接して金網を製作し、その後亜鉛浴中に金網を浸漬しめっき処理を行うという2工程で製品が完成する。特徴として、比較的厚くめっきが付着している。溶接金網は、金網製作後にめっきを施すので切断面が無い。溶接点にもめっきが付着している。めっき後に曲げ等の加工を行うとその部分のめっきが剥がれる場合がある。めっき付着量が均一でない場合がありめっきムラがある。めっき付着量は亜鉛浴への浸漬時間によって制御される。現在ひし形金網の防錆処理にはあまり用いられていない。(列線の交点、端部加工箇所等にめっきが付着しにくい等の理由による)

（２）連続式溶融亜鉛めっき（先めっき）

連続式溶融亜鉛めっきラインにて、鉄線を亜鉛浴中に通しめっき処理を行い、めっき鉄線が製造される。その防錆処理されためっき鉄線を使用し溶接金網、ひし形金網を製造するので１工程にて製品が完成する。めっき付着量は、めっき鉄線の種類により様々で、めっき成分として亜鉛、亜鉛アルミニウム合金、亜鉛アルミニウム合金にマグネシウムを添加したもの等がある。特徴として先にめっき処理された材料を使用し製品の加工を行うので切口にめっきが付着していない。曲げ、溶接、摩耗など加工の程度によっては、その部分のめっき付着量が加工前より減少する場合がある。めっき付着量は、ワイピング等により制御され比較的均一である。

3. 各種めっきの耐食性の比較

ここではバッチ式溶融亜鉛めっき、連続式溶融亜鉛めっきで防錆処理された溶接金網の耐食性について、沖縄県工業技術センターで行った試験に基づいて比較する。ひし形金網に関しては、溶接金網と比較して、金網の形状や溶接点の有無等の違いしかない為、試験は行わず、溶接金網のデータに基づくものとする。

（１）複合サイクル試験による錆発生に関する比較

①バッチ式溶融亜鉛めっき（亜鉛）「亜鉛付着量 550 g/m^2 以上・ $\approx 77\text{ }\mu\text{m}$ 」、②連続式溶融亜鉛めっき（亜鉛）「亜鉛付着量 400 g/m^2 以上・ $\approx 56\text{ }\mu\text{m}$ 」、③連続式溶融亜鉛めっき（亜鉛アルミニウム）「亜鉛-10%アルミニウム合金付着量 300 g/m^2 以上・ $\approx 42\text{ }\mu\text{m}$ 」、３種類の防錆処理を施した溶接金網試験体（サイズ $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ ）を複合サイクル試験機に入れ、錆の発生状況を確認比較する。

※溶融亜鉛めっき付着量

亜鉛付着量（ g/m^2 ）＝膜厚（ μ ） $\div 7.14$ （亜鉛の比重）

※各種試験体の切口、溶接点の防錆処理は行わない。

※沖縄県内では、塩害等の影響が強いため溶接金網で HDZ55（JIS H8641:溶融亜鉛めっきによる分類）や合金めっき、ひし形金網で 7 種めっきや合金めっき、ポリエチレン被覆鉄線等の厚めっき、高耐食性仕様が用いられることが多い。

（２）試験条件

スガ試験機株式会社 CYP 複合サイクル試験機

試験項目	試験条件	槽内温度（℃）	湿度（%rh）	試験時間（h）
塩水噴霧	瞬時	35	———	2
乾燥	瞬時	50	30	4
湿潤	瞬時	40	90	2

※1 サイクル 8 時間（塩水噴霧 2 時間、乾燥 4 時間、湿潤 2 時間）

30 サイクル毎に経過観察のため試験機より取出し、写真撮影を行う

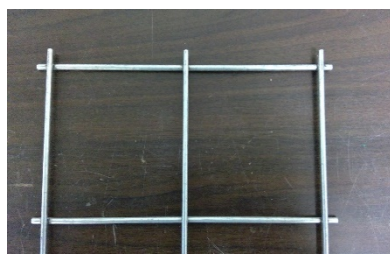
(3) 試験前

① バッチ式 (亜鉛)



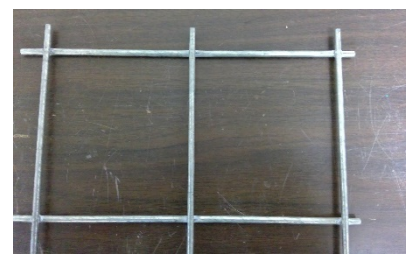
めっきムラあり

② 連続式 (亜鉛)



めっきムラ無し

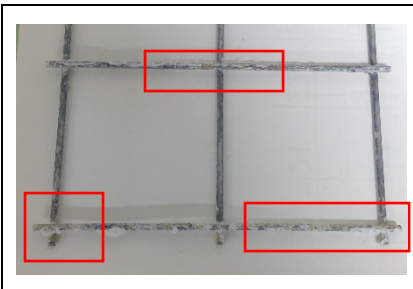
③ 連続式 (亜鉛アルミニウム)



めっきムラ無し

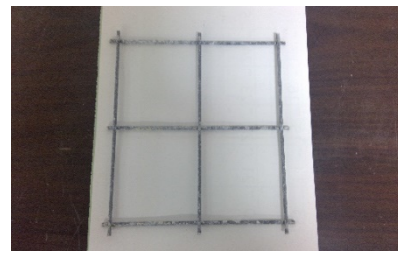
(4) 60 サイクル経過 (480 時間)

① バッチ式 (亜鉛)



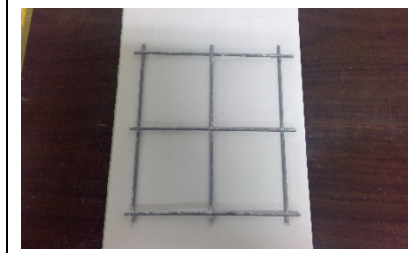
錆発生

② 連続式 (亜鉛)



変化無し

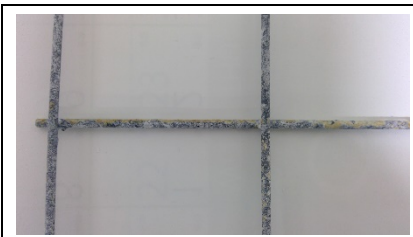
③ 連続式 (亜鉛アルミニウム)



変化無し

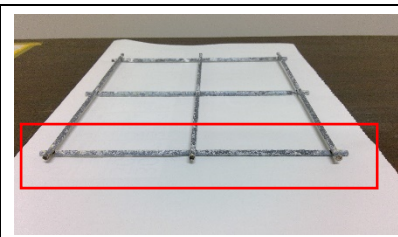
(5) 90 サイクル経過 (720 時間)

① バッチ式 (亜鉛)



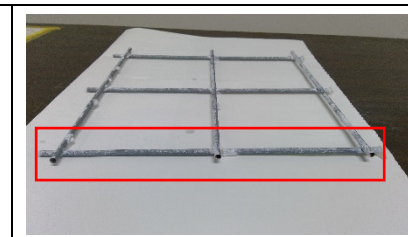
錆が全体に進行

② 連続式 (亜鉛)



切口錆発生

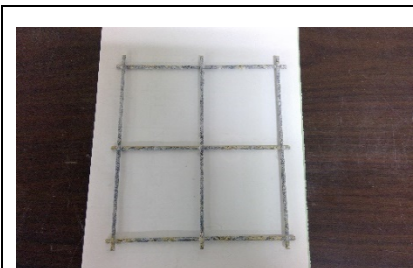
③ 連続式 (亜鉛アルミニウム)



切口錆発生

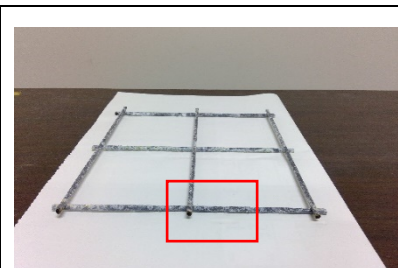
(6) 120 サイクル経過 (960 時間)

① バッチ式 (亜鉛)



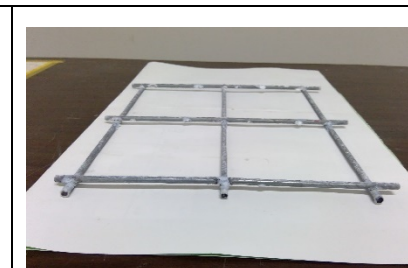
錆が全体に進行

② 連続式 (亜鉛)



溶接点錆発生・切口錆進行

③ 連続式 (亜鉛アルミニウム)



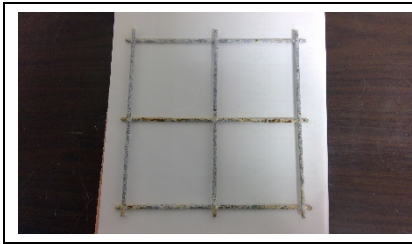
切口錆進行

(7) 180 サイクル経過 (1440 時間)

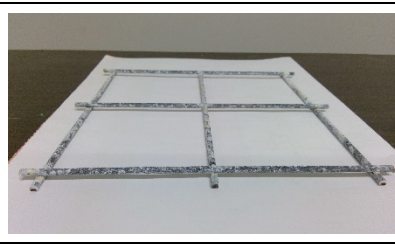
① バッチ式 (亜鉛)

② 連続式 (亜鉛)

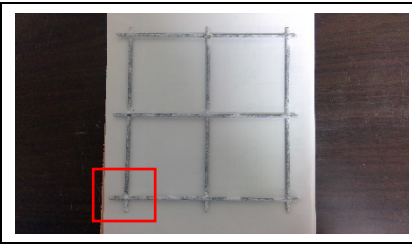
③ 連続式 (亜鉛アルミニウム)



鍍が全体に進行



溶接点・切口鍍進行



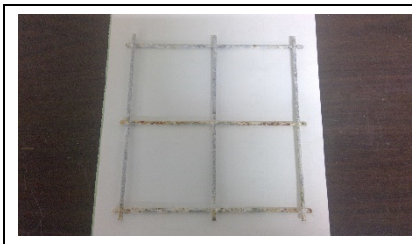
溶接点鍍発生・切口鍍進行

(8) 210 サイクル経過 (1680 時間)

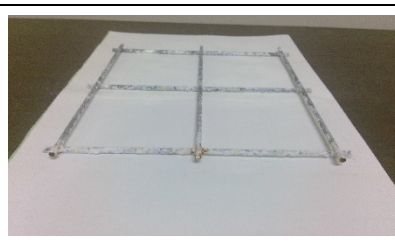
① バッチ式 (亜鉛)

② 連続式 (亜鉛)

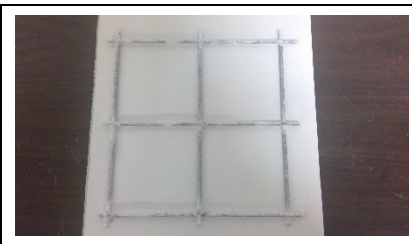
③ 連続式 (亜鉛アルミニウム)



鍍が全体に進行



溶接点・切口鍍進行



溶接点・切口鍍進行

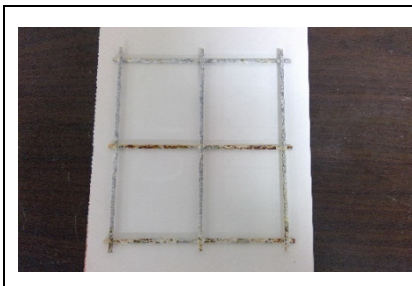
(9) 240 サイクル経過 (1920 時間)

試験終了

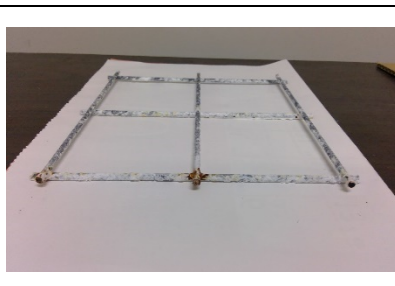
① バッチ式 (亜鉛)

② 連続式 (亜鉛)

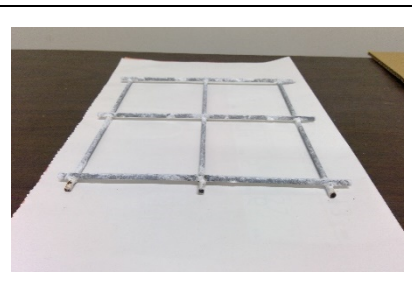
③ 連続式 (亜鉛アルミニウム)



鍍が全体に進行



溶接点・切口鍍進行



溶接点・切口鍍進行

(10) 試験結果

① 鍍発生時間

バッチ式は連続式と比べて、480 時間と早い段階で鍍の発生がみられた。連続式は 2 種類ともバッチ式より鍍の発生時間は遅かった。

② 鍍び方

バッチ式の鍍は直線部分に多くみられ、斑点状に鍍が発生しており、溶接点、切口からの鍍はあまりみられなかった。連続式は 2 種類とも溶接点、切口から鍍が発生、直線部分からの鍍はあまりみられなかった。

③ 鍍進行状況

バッチ式の鍍は発生した箇所から広範囲に進行し、連続式と比べて鍍の進行が早い。連続式は 2 種類とも鍍の発生した切口、溶接点から徐々に進行している。バッチ式と

比べて錆の進行は緩やかで、めっき成分亜鉛のみと亜鉛アルミニウムを比較すると、亜鉛アルミニウムのほうが亜鉛のみより更に錆の進行は緩やかであった。

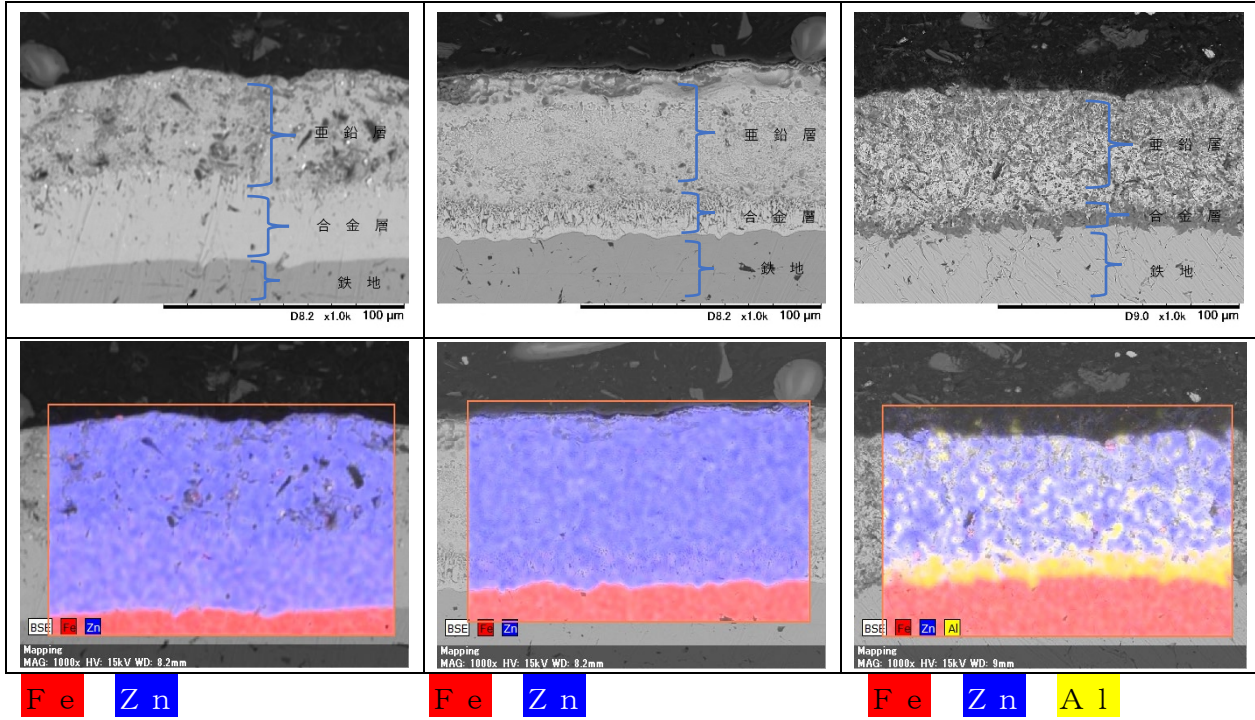
4. 電子顕微鏡（SEM）による断面観察・マッピング

サイクル試験前

①バッチ式（亜鉛）

②連続式（亜鉛）

③連続式（亜鉛アルミニウム）

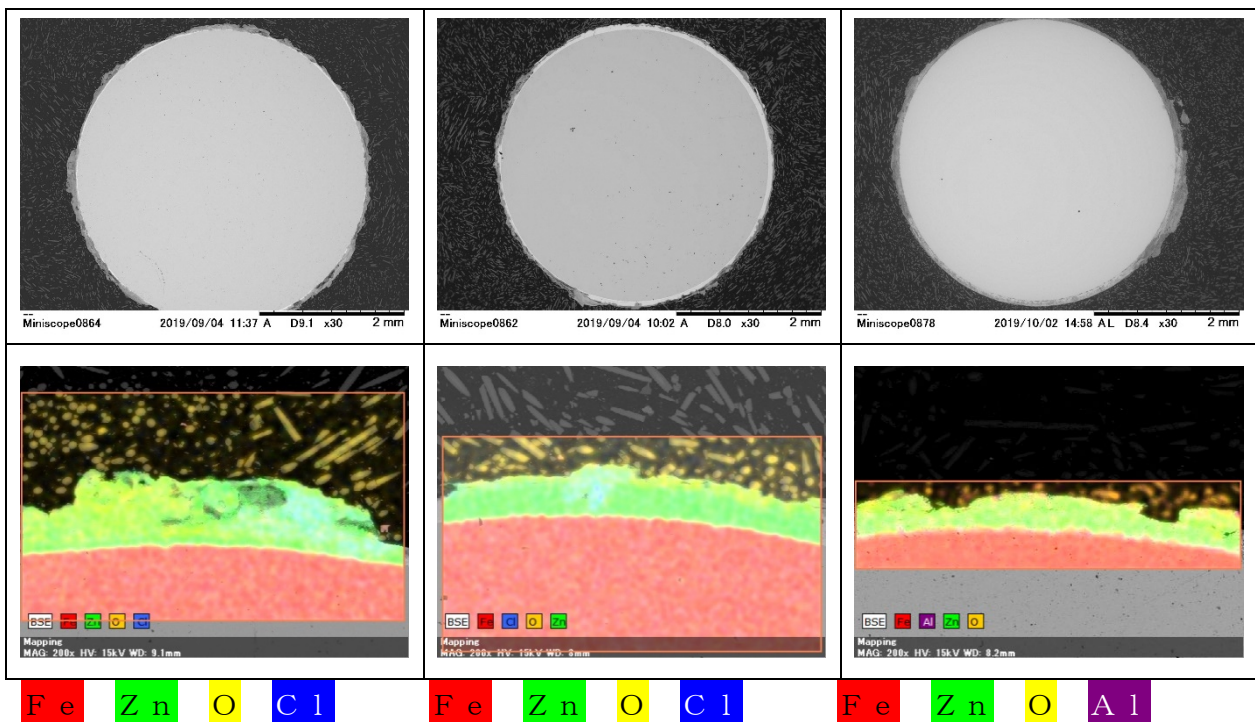


サイクル試験後

①バッチ式（亜鉛）

②連続式（亜鉛）

③連続式（亜鉛アルミニウム）



(1) 観察結果

バッチ式は、めっき付着量が多く、めっき付着量に対する合金層の割合も多い。

連続式亜鉛は、めっき付着量はバッチ式より少ないが、めっき付着量に対する合金層の割合は少ない。

連続式亜鉛アルミニウムは、めっき付着量はバッチ式、連続式亜鉛より少ないが、めっき付着量に対する合金層の割合は少なく、アルミニウム成分が合金層付近に多く分布している。

サイクル試験後の表面状態は、バッチ式がめっきの消耗が各所により様々で、早くに消耗している箇所と消耗していない箇所で差があるのに対して、連続式2種類は比較的均一にめっきが消耗している。

(2) 比較、推測

今回実施した試験結果より、③連続式（亜鉛アルミニウム）>②連続式（亜鉛）>①バッチ式（亜鉛）の順で耐食性が良い。

一般的に亜鉛めっきの耐食性は、めっき付着量が多いほど良いとされるが、逆の結果になっている。これは連続式亜鉛アルミニウムのめっき成分が、亜鉛にアルミニウムを添加した合金となっているので、めっき層内のアルミニウム成分の影響によって錆の発生が抑制された為と推測される。

バッチ式と連続式亜鉛のめっき成分は同じ亜鉛のみだが、めっき付着量の均一性や、特に耐食性を有する亜鉛層（純亜鉛層）厚さに違いがある為このような結果になっていると推測される。またバッチ式は、錆の発生状況が様々で進行が早い。

連続式亜鉛と連続式亜鉛アルミニウムは、耐食性が懸念される溶接点や切口から錆の発生が一部みられるが、亜鉛めっき特有の犠牲防食作用により錆の進行が抑えられているため、錆の進行が、バッチ式と比較して緩やかであると推測される。

5. 各種めっきの耐食性の違いに関する考察

ここでは、バッチ式と連続式2種類の相違点である亜鉛層（純亜鉛層）の厚みに関係している合金層について考察する。

合金層とは、鉄と亜鉛の熱拡散反応によって鉄地と亜鉛層の界面から亜鉛層表面に向かって鉄の濃度勾配が生じ、異なった鉄濃度が形成された鉄成分を含む層である。（4章を参照）特徴として、柱状組織を持つ層であり鉄含有量は6%程度で比較的硬い層である。めっき浴での浸漬時間が長くなると発達し易く、またこの層まで腐食が進むと、鉄と酸素が反応した鉄酸化物の色が混じり、斑点状に赤褐色がみられるようになる。断面観察からバッチ式は連続式2種類と比較して合金層が厚かった。そのためサイクル試験では、初期で亜鉛層が消耗して合金層まで腐食が進んだ箇所に、斑点状に赤褐色した錆がみられ、そこからさらに腐食が進行し今回の試験結果になったと考えられる。

それに対し、連続式2種類は合金層が少なく耐食性を有する亜鉛層が厚いので、めっき付着量は少ないが錆の発生は遅い。鉄素地が露出する切口、溶接加工の際にめっきが消耗すると推測される溶接点において、製品加工後に防錆処理を行わなくても、バッチ式と比較して錆の進行は緩やかで錆発生箇所も少なく、全体的に見ても極端に錆

が発生しているようには見られなかった。

亜鉛めっきの耐食性は、付着量の多さ（合金層と亜鉛層の厚み）で考えられるが、単純に浸漬時間を長くして付着量を多くしようとすると、合金層が亜鉛層表面付近まで異常に発達してしまい、付着量が多くても耐食性に問題が出てくる場合があるので、耐食性を考える場合は、特に耐食性を有する亜鉛層の厚みを重要視し、出来るだけ合金層を発達させないで付着量を多くすることが必要であると考ええる。

また合金層は脆く、加工などで亀裂が生じやすいので、めっき後加工を検討する際にも合金層の厚さは重要になる。

6. 耐食性向上に関する検討

バッチ式によって製造された溶接金網の耐食性を向上させるためには、めっき被膜の組織形成を合金層の発達を抑えつつ亜鉛層を増大させ、めっき付着量を多くする。また、めっき浴中にアルミニウムなどの金属を添加し合金化することで可能であると考えられる。

一般的に溶接金網は、その形状からめっきが厚くなると、めっき表面に見られるタレが多くなりバリやめっきムラのある表面状態になり、めっきの外観が使用上支障をきたす恐れがあり美観的にもあまり好まれない。まためっき厚を均一にしてめっき付着量を多くしないと、めっきの消耗により早く錆が発生してしまう箇所と、錆が発生していない箇所の違いが明確になり、美観的に芳しくない場合がある。さらに防食性、意匠性を持たすためにめっき後塗装が行われる場合もあるが、その際めっき表面がバリやめっきムラのある表面状態では、密着性の問題などからピンホール等が出来、塗装が十分に行えない恐れがある。そのためめっき付着量は、JIS 規格などに定められている規格値内で納め、表面状態等の品質を管理することが重要であると考ええる。

次に連続式溶融亜鉛めっき鉄線にて製造された溶接金網、ひし形金網の耐食性を向上させるためには、バッチ式と同じようにめっき付着量を多くする。めっき浴中にアルミニウムなどの金属を添加し合金化することがあげられる。また、めっき厚を均一にすることで製品の美観も向上させることが可能である。特に錆の発生しやすい溶接点、切口については製品加工後に防錆処理すれば錆の発生を抑制できるが、無処理の場合でも耐食性は亜鉛の犠牲防食作用が働いていれば問題なく、一部鉄地が露出した部分に美観的な難点が考えられる場合もあるが、露出部分が少なければ犠牲防食作用、発生した腐食生成物（白錆）により露出部分が目立たなくなることもあり耐食性、美観的にも使用上大きな問題にならない。

また、めっき後防錆処理としてバッチ式、連続式共に樹脂を被覆するなどの 2 重防食技術がある。バッチ式の場合は、溶接金網めっき後塗装による製品加工後防錆処理、連続式の場合は、溶接金網めっき後塗装による製品加工後防錆処理、ひし形金網は、2 重防食された線材（写真 5）を使用して製作する方法の製品加工前防錆処理の方法がある。この際もめっきの表面状態が重要で、バリやめっきムラがあると樹脂等の接着が不十分になり美観的に好ましくない場合も出てくるので、めっきの表面状態等の品質管理が重要となる。

また樹脂、塗装等の仕様や、めっき鉄線のめっき付着量は、ライフサイクルコストを

考慮して選択することが可能で、一般的にめっき付着量を多くし耐食性を向上させると初期コストは上昇するが、長期的スパンで考えると維持管理経費が軽減できる場合がある。設計段階で使用される場所、想定対応年数、メンテナンス性を考慮して最適な防錆処理を施した各種製品を選択することが重要になってくる。

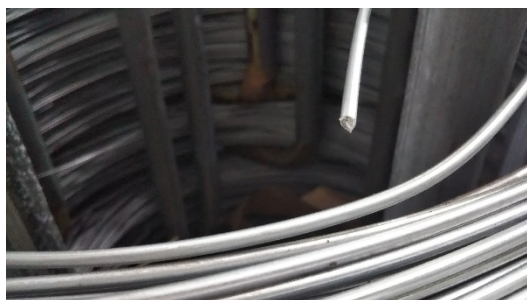


写真5 透明樹脂被覆鉄線

主にひし形金網の材料として使用され、塩害などの腐食環境が厳しい場所で使用される。端部はめっき鉄線が露出しているが、被覆材、接着材、めっき鉄線の密着性が良いので錆びが進行しにくい。

7. まとめ

今回の耐食性試験データに基づく比較、検討から溶接金網、ひし形金網に関しては連続式溶融亜鉛めっき（亜鉛アルミニウム）＞連続式溶融亜鉛めっき（亜鉛）＞バッチ式溶融亜鉛めっき（亜鉛）の順で、耐食性に優れる結果が得られた。

溶接金網、ひし形金網共に耐食性、意匠性を向上させるためには、「適度で均一なめっき付着量」、「バリやめっきムラの無い表面状態」、「めっきの耐食性を左右する純亜鉛層と合金層のコントロール」、「めっき成分を亜鉛のみでは無く、アルミニウムなどを添加し合金化する」等が必要となる。また上記の製品品質は、めっき後塗装や被覆防錆処理等の2重防食を検討する際にも重要であると考えられる。

溶接金網、ひし形金網共に使用される場所、状況に応じた最適な防錆処理を施すことにより耐食性を向上させ製品の長寿命化が図れる。

本稿では主に大気中で使用される溶接金網、ひし形金網それぞれの最適な防錆処理について述べてきたが昨今、土木学会コンクリート委員会により亜鉛めっき鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針が改訂され、従来あまり用いられてこなかったコンクリート内でも亜鉛めっき製品が使用されていくことが予想される。

これから益々必要とされる亜鉛めっき技術、本稿がそれに関わる方々にご活用されコンクリート構造物の長寿命化にも貢献できるよう、今後とも更に最適な防錆処理について研究を続けていきたいと考える。

参考文献

- 1)JIS G 3551 溶接金網及び鉄筋格子
- 2)JIS G 3552 ひし形金網
- 3)JIS G 3547 亜鉛めっき鉄線
- 4)JIS H 8641 溶融亜鉛めっき