

塩害区間用ビームの開発



吉田 匡志*

塩害区間で設備される電車線路を支持するビームは、腐食速度が速く、期待寿命まで到達せずに取替を行っている。そこで、高い防食性を持つ塩害区間用ビームを開発した。まず、防食性の向上を目指し、二重防錆法を用いて、溶融亜鉛めっき鋼材+飽和ポリエステル粉体塗料、溶融亜鉛めっき鋼材+セラミックコート材、耐候性鋼材+エポキシ樹脂+ポリウレタン樹脂の3種類について、塩水噴霧試験を行い、飽和ポリエステル粉体塗料の優位性を確認した。その後、鋼管ビームに飽和ポリエステル粉体塗料を施した塩害区間用ビームを試作した。現在は、試作品を信越本線青海川構内に敷設し長期耐久試験を実施中であるが、塗膜減少量は、平均で $19\mu\text{m}/\text{年}$ と小さく、取替基準である60年間取替不要となることが期待できる。

●キーワード：塩害、ビーム、腐食、二重防錆、飽和ポリエステル粉体塗料

1. はじめに

電車線路を支持するビームは、主に溶融亜鉛めっき塗装を施した鋼材が用いられている。しかし、当社の塩害区間に敷設されるビームにおいて、期待寿命に達せずに図1のように鋼材が腐食しており、メンテナンスに苦慮している。そこで、塩害区間で60年間取替不要となることが期待できる塩害区間用ビームを開発したので以下に報告する。

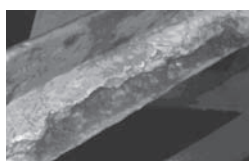


図1 腐食したビーム

2. 当社におけるビームの現状と問題点

電車線を支持するビームは、素材が鉄である鋼材（SS400、SS490、STK400、STK490）を用いている。従来、等辺山形鋼を用いてきたが、最近では鋼管を用いたものが増えてきている。防食方法としては、溶融亜鉛めっきを用いており、亜鉛めっきの種類としては、一般地区ではHDZ50、海岸地区ではHDZ55が主流である。JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」の解説では、亜鉛めっきの耐用年数は都市部で53年程度、海岸地区では45年程度とされており、溶融亜鉛めっきと鋼材の腐食速度を鑑み、当社においてもビームの寿命は約60年程度としている。しかし、塩害区間に敷設されるビームは、経年35～40年程度で腐食限界に達し、取替を行っている場合が多い。

3. 防食性能

防食性能を向上させる方法としては、耐候性鋼材、ステンレス鋼材、アルミ鋼材など、高い防食材料に変更する方法

と、塗装やめっきなどで防錆する方法がある。さらに近年、海岸部の耐候性鋼材を用いた構造物が予想以上に腐食することから耐候性鋼材に塗装を施す二重防錆法¹⁾も取り入れられている。しかし、ステンレス鋼やアルミ鋼は、溶融亜鉛めっき鋼材に比べて非常に高価であり、コストアップとなるため検討からはずし、溶融亜鉛めっき鋼材や耐候性鋼材に塗装を施す二重防錆法の適用を検討した。

4. 塗装材料の選定

溶融亜鉛めっき鋼材を用いた二重防錆法には、飽和ポリエステル粉体塗料、セラミックコート材を用い、耐候性鋼材を用いた二重防錆法には、一般橋梁で使用されているエポキシ樹脂+ポリウレタン樹脂を用いることとした。

4.1 飽和ポリエステル粉体塗料

飽和ポリエステル粉体塗料は、飽和ポリエステル樹脂を變成して強力な自己密着性を付与した原料を用い、粉体塗料としたものである。特徴としては、以下のとおりである。

- ①金属に対する密着性に優れ、 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の付着強度がある。
- ②樹脂塗料の欠点とされる耐候性にも抜群の強さを有し、海水や塩害および各種腐食条件下で防錆力を有する。
- ③表面強度が高く、可とう性にも優れている。
- ④加工の時、熱処理が必要なため、処理する大きな炉が必要であるとともに現地加工が難しい。
- ⑤塗装した鋼材の上から塗装する二度塗りが不可能である。
- ⑥表面硬度が高いため、衝撃により傷が付きやすい。

4.2 セラミックコート材

セラミックコート材は、無機質の約30種類以上の材料を用いた塗料である。特徴としては、以下のとおりである。

- ①材料が無機質であるため、塗料に対して有害な紫外線などの影響が少ない。
- ②亜鉛めっきのみならず、コンクリート、塗装面、タイル、塩ビなどにも塗布が可能である。
- ③従来の有機塗料に含まれる揮発性有機化合物を含まない環境にやさしい塗料である。

4.3 エポキシ樹脂とポリウレタン樹脂

エポキシ樹脂は、腐食因子の遮断性能に優れている。しかし、耐候性は優れていないため、屋外で使用される材料には適さない。そこで、耐候性に優れたポリウレタン樹脂をさらに上塗りすることとした。この方法は、海岸部の橋梁などで使用されている。

5. 劣化促進試験(塩水噴霧試験)

選定した塗装材料について、防食性能を確認するため、劣化促進試験(塩水噴霧試験)を行い、防食性能の優劣を評価した。試験はJIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」に基づき、塩分濃度 $5\pm0.5\%$ 、塩水噴霧量 $1\sim2\text{ml}/80\text{cm}^2/\text{h}$ 、塩水噴霧2時間+乾燥4時間+湿潤2時間の計8時間を1サイクルとして行った。

5.1 塩水噴霧試験サイクルに対する経年の把握

塩水噴霧2時間+乾燥4時間+湿潤2時間の計8時間の1サイクルの相当年数を求めるため、図2に示す無垢の鋼材を用いて塩水噴霧試験を行い、鋼材の腐食量から各サイクルの経年を算出した。



図2 経年算出用テストピース

5.1.1 試験方法

50サイクルごとに腐食量を把握するため、合計11試料を用意し、塩水噴霧試験後にその腐食量を評価した。腐食量の評価は、腐食した試料をグラインダでカットし、腐食した部分を取り除いたときの鋼材の厚さを比較する方法で行った。

鋼材の厚さの算定に関しては、各試料とも長さを100mmとし、図3に示すように測定点をあらかじめ等辺山形鋼のL字部分から10mmピッチで合計10点について電子顕微鏡で測定し、その平均値から腐食量を求めた。

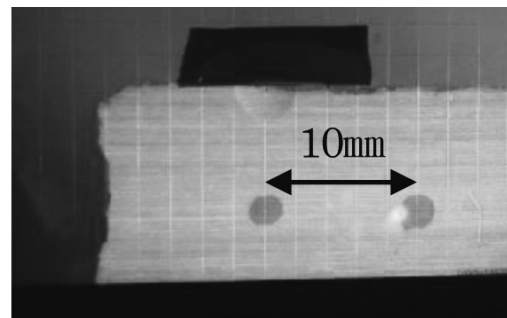


図3 電子顕微鏡での測定方法

5.1.2 試験結果

電子顕微鏡で見た際の鋼材の状況について、試験前を図4に、500サイクル試験後の腐食状況を図5に示す。白い部分が鋼材の断面である。試験前に比べ正常である白い面が少なくなっていることがわかる。

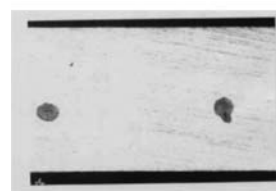


図4 試験前ピース

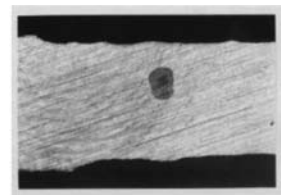


図5 試験後

残存厚の測定試験結果をもとに試験サイクル数と鋼材摩耗量を比較したグラフを図6に示す。鋼材摩耗量はサイクル数に概ね比例することがわかった。近似したところ、100サイクルで約0.3mm腐食することがわかった。

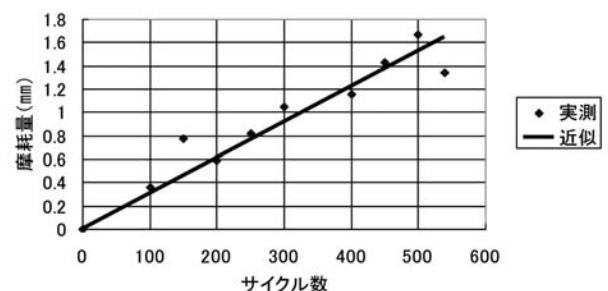


図6 塩水噴霧サイクルと鋼材摩耗量

5.1.3 腐食量からの経年推定方法

摩耗量から、経年を推定する明確な方法はない。そこで、腐食量から年間摩耗量を算出し、その摩耗量から各サイクル数の経年を算出した。鉄鋼材料における腐食量から年間摩耗量への換算は一般的に下記の式 (1) で与えられる。^{2) 3)}

$$1\text{mm/year} \div 1\text{A/m}^2 \div 250\text{mdd}^{\text{注1}} \cdots (1)$$

注1 mdd: mg/1dm²/day

海岸部の鋼材の腐食量は、飛来塩分量 (単位: mdd) に依存するが、飛来塩分量は地区や海岸からの距離によって異なる。開発品は、当社管内の浪塩害区間である新潟県と山形県の日本海沿岸0~100mでの適用を考えていることから、表1に示す(財)土木研究所で調査した飛来塩分量データ⁴⁾を活用し、その飛来塩分量と (1) 式から年間摩耗量を算出した。その結果を表2に示す。

一般的に海岸部の年間摩耗量は約0.03mm/yearといわれていることから、今回の算出方法は妥当であると考ええる。

表1 (財)土木研究所の飛来塩分量調査データ¹⁾

県名	調査場所	海岸からの距離(m)	飛来塩分量(mdd)
新潟県	信濃川下流	100	6.227
山形県	あつみ町	0	28

表2 飛来塩分量から算出した年間鋼材摩耗量

県名	調査場所	飛来塩分量(mdd)	年間摩耗量(mm/year)
新潟県	信濃川下流	6.227	0.0289
山形県	あつみ町	28	0.1299

5.1.4 各サイクルにおける経年推定結果

5.1.3で算出した年間摩耗量を用いて、各サイクル数の経年を算出した。その結果を表3に示す。

表3 経年算出結果

試験サイクル数(サイクル)	近似摩耗量(mm)	信濃川下流海岸からの距離100m(年)	あつみ町海岸からの距離0m(年)
0	—	—	—
100	0.360	10.67	2.37
150	0.463	16.00	3.56
200	0.617	21.34	4.75
250	0.771	26.67	5.93
300	0.925	32.01	7.12
400	1.223	42.68	9.49
450	1.388	48.01	10.68
500	1.542	53.34	11.87
540	1.665	57.61	12.82

この結果から、海岸から100m付近の海岸沿いを想定すると540サイクルで約60年相当になると推測できる。

5.2 テストピースによる塩水噴霧試験

表4に示す3種類防食対策を施したテストピースを用いて、塩水噴霧試験で防食性を評価した。テストピースは、鋼管ビームを模擬したφ60.5mmの鋼管を用いた。試験中は、50サイクルごとに観察し、発錆状況について外観で確認を行った。また、各試料には、JIS Z 2371で推奨するクロスカットも事前に入れ、その腐食状況を観察した。

表4 試料一覧

	防食対策
試料1	亜鉛めっき鋼
試料2	亜鉛めっき鋼+飽和ポリエステル粉体塗装
試料3	亜鉛めっき鋼+セラミックコート材
試料4	耐候性鋼+エポキシ樹脂+ポリウレタン樹脂

5.2.1 試験結果

塗膜量は、各塗料メーカー推奨の塗膜量とした。各テストピースの塩水噴霧試験前の塗膜量と、各テストピースの発錆サイクルを表5に示す。また、540サイクル終了後のテストピースの状況を図7~10に示す。

表5 塗膜量測定結果と発生サイクル

		試料1	試料2	試料3	試料4
開始前の塗膜量	平均	82 μm	516 μm	199 μm	122 μm
	最大	94 μm	612 μm	240 μm	141 μm
発錆が認められたサイクル		50	ボルト以外は発錆なし	250	100



図7 試験後の試料1



図8 試験後の試料2



図9 試験後の試料3



図10 試験後の試料4

溶融亜鉛めっき鋼材+セラミックコート材は250サイクルで、耐候性鋼材+エポキシ樹脂+ポリウレタン樹脂は100サイクルで、溶融亜鉛めっき鋼材は50サイクルで発錆を認めた。溶融亜鉛めっき鋼材+飽和ポリエステル粉体塗装は、540サイクルでも本体は発錆することはなかった。また、図11のとおりクロスカットした部分は発錆しなかったが、ボルト締結部については、図12のとおり発錆が見られた。これは、ボルト締結により塗料が削がれていたため発錆したと考えられる。以上の結果より飽和ポリエステル粉体塗装の優位性を確認した。



図11 クロスカット部



図12 ボルト締結部

6. フィールド試験

亜鉛めっき鋼+飽和ポリエステル粉体塗装の二重防錆法が、防食対策として有効であることを確認したため、試作品を製作しフィールドに設置した。敷設場所は、海岸に近接し塩害区間となっている信越本線青海川構内とした。敷設状況を図13に示す。施工は従来の亜鉛めっき鋼管と同じ施工時間で行うことができた。



図13 敷設した塩害区間用ビーム

7. 耐久試験

敷設した試作品の耐久性を確認するため、敷設した2007年度以降毎年1回外観による状態確認と塗膜量測定を実施している。敷設2年後のビームの状態を図14に、塗膜量の経過を図15に示す。施工時についた傷から腐食が進行している箇所が見られたが、塗装が剥がれることもなく、順調な経過を示している。また、塗膜減少量も平均で $19\mu\text{m}/\text{年}$ 程度であり、1年前からはほとんど減少していない傾向もあることから、目標の取替基準まで大きな補修は必要ないと考えられる。

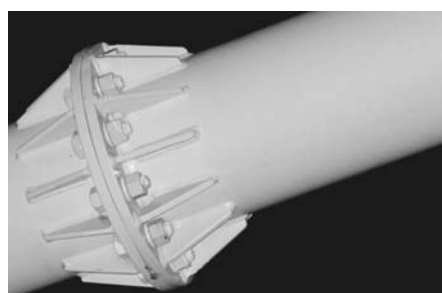


図14 敷設後3年経過したビームの状況

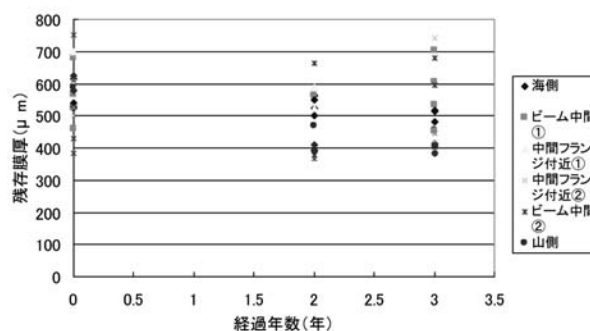


図15 敷設後3年目までの塗膜量推移

8. おわりに

亜鉛めっき鋼+飽和ポリエステル粉体塗装の二重防錆法を用いた、塩害区間用ビームを開発した。開発品を信越本線青海川構内に敷設し、耐久性について確認中だが、3年経過しても大きな塗膜量減少もなく良好な状況である。開発品を用いることにより、取替基準である60年間取替不要となることが期待できる。

参考文献

- 1) 守屋 進：重防食塗装による鋼橋の長寿命化、日経BP建築セミナー原稿
- 2) 防錆・防食技術総覧編集委員会；(株)産業技術サービスセンター、p.454-457、2000.5.17
- 3) 松島 巖：食防食の実務知識、(株)オーム社
- 4) 財団法人 土木研究所；飛来塩分量全国調査.2、p4-43、1985.11