

第22回インターガルバ国際会議論文集(その5)

(11) 海岸地域における 溶融亜鉛めっき鋼の性能

E Pimentel (オーストラリア溶融亜鉛めっき協会, オーストラリア)

翻訳: 日本鋳業協会
鉛亜鉛需要開発センター

(要約)

溶融亜鉛めっき鋼は、オーストラリアにおいて、多くのインフラおよび建物に使用されている。溶融亜鉛めっきの頑健性、メンテナンスを比較的必要としないこと、持続性、そしてリサイクルが可能であることにより、その使用量は次第に増えつつある。オーストラリアの人口の大半が海岸部に集中していること、また、「良い方向への大転換」の機運が高まるにつれて、その使用量は増えつつある。地域の人口が増加するにつれ、建設活動やインフラ整備も増加する。このインフラに使用される鋼の効果的な防食は、その性能の重要な要素である。2007年半ばに、著者はビクトリア州の約400kmにわたる海岸線沿いの多数の構造物の性能実績の調査をおこなった。この調査は、国際亜鉛協会(IZA)から資金の一部の提供を受け、海岸地域における溶融亜鉛めっき鋼について現在も継続中の性能調査の一環である。

ビクトリア州の南西海岸はバス海峡に面し、激しく打ち寄せる波が、多くの場合、海岸線の岩場で砕け散り、塩化物をたくさん含む噴霧がかなりの量発生することで特徴付けられる。調査されたそのエリアの一般的な腐食性は、AS/NZS 2312、あるいは、ISO 9223により、分類D(高い)、あるいは、分類E-M(きわめて高い海洋環境)とみなされる。この調査には、象徴的な建物、水処

理インフラ、および、グレート・オーシャン道路沿いの高欄など、より一般的な構造物も含まれる。

海岸地域における溶融亜鉛めっき鋼の性能を調査し、標準規格によって予測された耐用年数と実際の耐用年数の差異について論じる。調査結果と具体的なケース・スタディも本論文で論じる。それらは、適正な設計であれば、溶融亜鉛めっき鋼構造物は、海岸地域における鋼の耐久性のある用途に適した、頑健で、メンテナンスフリーの、環境的に信頼できる選択を提供することを実証している。

(序論)

溶融亜鉛めっき鋼は、オーストラリアにおいて、多くのインフラ、資産、そして、一般的な建物に使用されている。その頑健性、メンテナンスを比較的必要としないこと、紫外線に対する抵抗力、持続性、そしてリサイクルが可能であることにより、その使用量は次第に増えつつある。

オーストラリアの人口とインフラの大半は、実質的な理由から海岸部に集中し、また、「良い方向への大転換」の機運が高まるにつれて、その使用量は増えつつある。地域の人口が増加するにつれ、関連する産業や支援活動の必要性も増加する。このインフラに使用された鋼の効果的な防食は、有用性と経済性の面から、その性能の重要な要素

表 1 多様な環境における垂直表面での溶融亜鉛めっきの腐食速度

ISO 9223による腐食分類	AS/NZS 2312による腐食性描写	代表的環境	亜鉛の平均腐食速度 ミクロン／年
C1	とても低い	数少ない高山エリア、乾燥した室内	<0.1
C2	低い	乾燥した田舎、都会の室内—たまに凝縮	0.1-0.7
C3	中くらい	海岸部の高湿度の室内	0.7-2
C4	高い	海岸（穏やかな）、スイミング・プール	2-4
C5	とても高い	海岸（波のある）、沖	4-8

である。また、内陸部の陸地に対する設計と、海岸部、あるいは、さらに海洋環境に対する設計を区別することは重要である。

2007年半ばに、著者はビクトリア州の約400kmにわたる海岸線沿いの築年数の異なる多数の構造物の性能実績の調査をおこなった。ビクトリア州の南西海岸はバス海峡に面し、激しく打ち寄せる波が、多くの場合、海岸線の岩場で砕け散り、塩化物をたくさん含む噴霧がかなりな量発生することで特徴付けられる。調査されたそのエリアの一般的な腐食性は、AS/NZS 2312、あるいは、ISO 9223により、分類D（高い）、あるいは、分類E-M（きわめて高い海洋環境）とみなされる。その調査には、象徴的な建物、水処理インフラ、および、グレート・オーシャン道路沿いの高欄など、より一般的な構造物も含まれる。

調査結果、具体的なケース・スタディ、および、それらを標準規格や学説と比較した、いくつかのコメントを以下に論じる。そして、それらは、適正な設計であれば、溶融亜鉛めっき鋼構造物は、沿岸環境における鋼の耐久性のある用途に適した、頑健で、経済性があり、メンテナンスフリーの、環境的に信頼できる選択を提供することを実証している。

（オーストラリア海岸部への人口の集中）

オーストラリアは広大な大陸である。しかし、その広大な土地の大半は乾燥した自然であり、そのことは人口の大半は海岸部に集中することを意味している。オーストラリア統計局による最近のデータによれば、人口の84%が1%のもっとも人口密集地域で生活し、前述の84%の大半が海岸部で生活している。

人々が生活するために海岸部に移り住むという現在の現象は、退職後のライフスタイルの選択として、また、産業や雇用によって影響を受けた広範囲におよぶ人口統計学的傾向として、この状況は近い将来変化しそうにないことを意味している。事実、人口統計学者や地方自治体による最近の予測は、この傾向は継続し、十中八九、増大するであろうということを示唆している（図1）。

この成長するインフラの大半で鋼が使用されるが、このことは、内陸に比較して増大する海岸部環境の腐食性のため、適切な防食システムが採用されなければならないことを意味する。経済上の考慮も、建物やインフラは耐久性と有用性を必要とし、最小のメンテナンスを要求していることを意味する。溶融亜鉛めっき鋼は、大部分のインフ

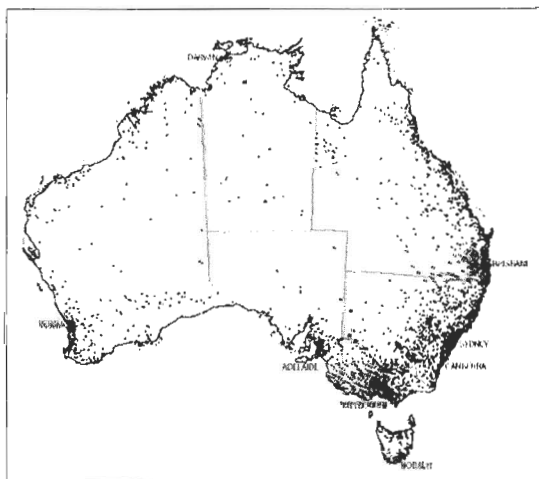


図1 オーストラリアの人口分布（オーストラリア統計局）

ラの防食に関して理想的なシステムを提供する。しかし、多くの「腐食コンサルタント」は、後から論じる多くの理由から、選択肢として溶融亜鉛めっき鋼を検討することを軽視する。

溶融亜鉛めっき鋼は、各種用途に使用されてきた長い歴史があり、多くの場合、より複雑で、より新しい鋼の防食システムの性能と匹敵、あるいは、凌駕する。溶融亜鉛めっき鋼の性能の立証が本調査の主要な基準であり、材料選択の理論的根拠のみならず、耐食性能の一般的改善に適したいくつかの基本的設計や詳細な技術においても、資産管理者や仕様決定者と連絡会をもった。

（インフラと防食）

鋼の腐食、その軽減、修理、そして、最終的には交換は、オーストラリアの国内総生産（GDP）の2～5%の費用がかかっていると見積もられている（この数値は米国、日本、欧州でおこなわれた調査と類似している）。したがって、防食と軽減は、鋼の経済的利用だけではなく、精査が増しつつある公的資金や民間資金の利用においても、必須の要素である（Biezmaら2005）（Kochら2001）。鋼に対する適切な防食の選択は、設置時やサービス中の経済的節約につながる。これらの

節約は、メンテナンス、および、それらに係わる人件費、浪費されたサービス・タイムを減らすこと、なくすこと、また、構造物や設備の交換の繰り延べの結果による。このことは、持続可能な、環境的に信頼できる材料に対する要求がかつてないほど高まりつつあることを考えると、さらなるメリットになると言い換えられる。

溶融亜鉛めっきは、伝統的に、鋼に対する防食システムとして見なされてきたが、よりいっそうの耐摩耗性、そして、その頑健性による設置の容易さ、また、設置される環境下で可変性がより大きいことなど他のメリットがある。事実、溶融亜鉛めっきプロセスで形成される鉄-亜鉛合金の硬度は、基部の軟鋼よりも約50%大きい。ある意味で、これらの特性は、溶融亜鉛めっき鋼を単なる「被覆鋼」というよりも他に類のない品質を備えた別個の建設材料であるとみなすことができる。溶融亜鉛めっきされた構造物でもっとも容易に識別可能な事例には、道路のガードレール、船舶用トレーラー、そして、送電用鉄塔が含まれるが、溶融亜鉛めっきは、今や、防食、あるいは、耐摩耗性、耐衝撃性を必要とする大部分の構造物用エンジニアリング用途に使用されている。

（溶融亜鉛めっきの一般的特性）

溶融亜鉛めっきプロセスは、大部分の他の防食システムと比較して相対的にシンプルであり、この単純さが溶融亜鉛めっきを経済的に、技術的に効率のよいものになっている。構造物用鋼に対してオーストラリアで指定された溶融亜鉛めっきは、AS/NZS 4680鉄構造物上への溶融亜鉛めっき（亜鉛）被膜（AS/NZS 4680:2006）に準じておこなわれる。

溶融亜鉛めっき前の準備プロセスには、通常、化学的洗浄による錆、油性ペイント、また、他の表面汚染物質の除去が含まれる。溶融亜鉛めっき浴は、溶融亜鉛と、アルミニウムのようないくつかの微量合金から構成されている。めっき浴は通常445℃から465℃の範囲に加熱される。溶融亜鉛

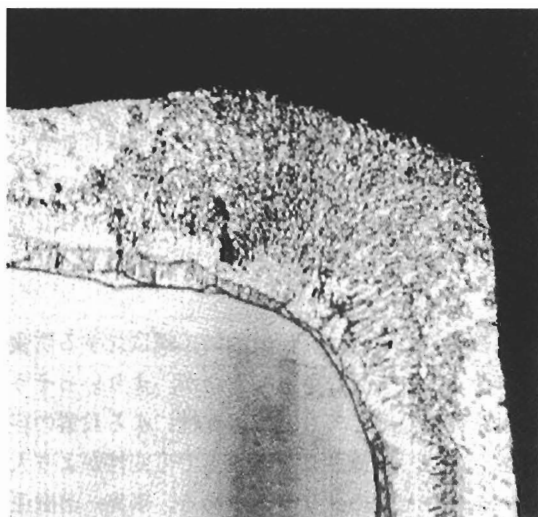


図2 鋼のエッジ部の溶融亜鉛めっきの顕微鏡写真

めっき浴中に浸漬すると、溶融亜鉛は鉄と反応し、ひと続きの亜鉛—鉄合金層を形成する。その鋼が溶融亜鉛の温度に達し、反応が完了するまで被膜が生成し続ける。

溶融亜鉛めっきの冶金学的合金化プロセスにより、多くのユニークな特性を有する溶融亜鉛めっき鋼がもたらされる。出来上がったもののすべての表面は、外面的にも内面的にも完全に被覆される。このことは、いかに被めっき物の形状が複雑でも、また、特に、他の被覆システムでは潜在的に「腐食の激しいスポット」になりかねないエリアにおいても、隅、端部、穴、溶接線や、どんな凹部も完全に保護されることを意味する。また、亜鉛および亜鉛—鉄合金層の厚さは、主として鋼の厚さ（より少ない程度で鋼の組成）によって決定されるので、標準的な最小被覆厚さが、作業者の技術、位置、アクセスにかかわらず、すべてのエリアに対して自動的に施される。被覆物は、厚さ（ μm ）、あるいは、単位面積あたりの重量（ g/m_2 ）のどちらかで測定される。

隅や幅の狭い端部は、実際、わずかに、より厚い溶融亜鉛めっき被膜を形成するので、腐食や衝

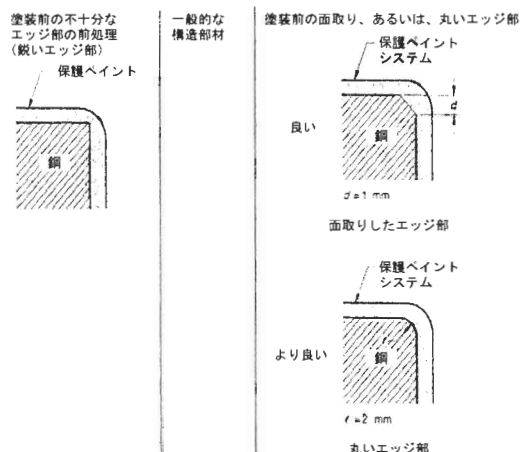


図3 塗装システムに対するエッジ部防食のためのAS/NZS 2312の要件。特別な工学的設計が必要となることに注意。

撃を最も受けやすいこれらのエリアへの腐食や衝撃に対して、より大きな保護を提供する（図2）。このことは、塗料のような他の被覆システムに対して明暗を有する。塗料は、これらの重要なエリアで薄くなるので、腐食環境では、そのような表面上での性能を改善するために費用のかかるデザインや適用の変更を必要とする（図3）。

（溶融亜鉛めっきの防食メカニズム）

溶融亜鉛めっき鋼は、多くの異なるメカニズムにより腐食から保護される。それは、2つの方法で「バリアー防食」を提供する。すなわち、第一に、溶融亜鉛めっき層が鋼の周りに保護的、物理的外皮を提供する。第二に、溶融亜鉛めっき層は、また、環境にさらした状態で、その表面に保護さびを生成する。これは、環境によって不溶性炭酸亜鉛や塩基性亜鉛塩類を含む多くの亜鉛化合物からなる。溶融亜鉛めっき鋼は、また、紫外線照射に影響されない。他の防食被覆のほとんどは、太陽にさらした状態で劣化が進み、そのことがオーストラリアの環境における他の防食被覆の性能に対する重要な制限要因のひとつである（Haberecht 2006）。万一、ひどい物理的損傷が生じた場合、溶融亜鉛めっきは、また、基部の鋼に

対して「カソード防食」を提供する。溶融亜鉛めっきは、犠牲アノードが対象物の全面を覆って分布し、電気的な接続が確かな場合を除いて、他の犠牲防食システムと同様にふるまう。

溶融亜鉛めっき鋼の耐久性に関して入手可能な多様なデータがある。そのプロセスは、1830年代以来、事実上変わることなく使用されてきたので、大量の実証データが、運転状況、所在地、そして、腐食環境でのケース・スタディから記録されてきた。この使用の履歴は、また、メンテナンス・エンジニアが、インフラの耐用年数、メンテナンス、そして、修理を計画するのを手助けする。エンジニアは、Porter (1991), Slunder & Boyd (1983), Porter (1994), Zhang (1996) などの選ばれたデータから実証データを利用し、あるいは、ISO 9223、および AS/NZS 2312などの多くの金属と防食システムに対する腐食速度を扱っている標準類を参照することができる。

(海岸地域における溶融亜鉛めっき鋼の性能一分類上の区分 C4および C5)

標準類

溶融亜鉛めっき鋼は、長年、オーストラリアにおいて、海岸部での用途に使用されてきた。その性能は、おおむね、州や市のエンジニアの性能要件を満たしてきたし、多くの用途の選択素材であり続けている。しかし、溶融亜鉛めっき鋼は海岸および海洋環境で満足に機能しないという「腐食専門家」による言及がたまにみられる。海岸部の鋼構造物のいい加減な調査でさえ、その多くは溶融亜鉛めっきされていると気づくように、この主張に対しての実際上の根拠はない。海洋環境での満足のいくその性能は、異なる年数と曝露のケース・スタディにより検証することが可能である。

混乱のいくつかは、オーストラリアにおける海岸地域の実際の現実とそのような環境での溶融亜鉛めっき鋼の実際の性能に関するコンサルタントすなわち「専門家」による「学説」の適用に帰着するように思われる。この混乱のいくつかは、詳

細に練り上げること、および設計が腐食環境における溶融亜鉛めっき鋼の性能にとって決定的に重要であり、また、国際的な基準とデータはオーストラリアの条件に必ずしも直接的に移転可能ではないという事実に関連している。

AS/NZS 2312は、異なる環境における多くの被覆システムの最初のメンテナンスまでの予測耐用年数について詳述している。この標準の大部分は、いろいろな環境に対する腐食性の分類上の区分を線引きすることを試みる ISO 9223に基づいている。それは、腐食性の決定における3つの主要な要因に依存している。すなわち、

1. 環境要因群、そのうちで湿潤の時間が最も重要。
2. 大気中の SO_2 濃度（二酸化硫黄）。
3. 大気中に浮遊する空気中で運ばれる塩分濃度レベル。

オーストラリアの条件においては、これらの要因のうちの少なくとも2つはさらなる調査が必要になるユニークな事情がある。

SO_2 は、オーストラリアの環境の大部分において腐食性の要因ではない。 SO_2 が要因として考慮されるかもしれない産業活動が活発ないくつかの孤立したエリアがあるけれども、これらは稀である。これまでのオーストラリアの産業による環境への排出の厳格な規制は、これらの孤立したエリアでさえ、将来、重要な要因でなくなることを意味している。ヨーロッパのような、より集中した、また、産業的に発展した地域は、これまで、より高いレベルの SO_2 を排出してきたが、ここでさえ、減少しつつある。したがって、ISO 9223における SO_2 の重要視は、過大に慎重であるかもしれないと、現実的には主張できる。

ISO 9223における湿潤時間 (TOW) は、鋼構造物表面に湿気を生成する、あるいは、保持すると考えられる相対湿度 (RH) に関連している。

名目上の基準値はRH80%とみなされている。沿岸環境は、広い水域に隣接していて、また、波からの飛沫をとまうのでRH80%以上であることがしばしばある。しかし、オーストラリアにおける太陽熱の増大効果により、多くの場合、鋼構造物に直接隣接している空気は、一般大気中よりもRHが実際低い。結果として、ISO 9223などの標準類の湿潤時間、結果的に腐食速度は、オーストラリアの条件に直接適用できない可能性がある(King 1998)。したがって、多くの場合、ISO 9223は、オーストラリアの条件下では、一般的に、溶融亜鉛めっき鋼の性能の正確な指標ではない。このことは、AS/NZS 2312において、熱帯という別の腐食性環境を追加することにより、ある程度、認められてきた。これは、北オーストラリアにおける、そのような環境のRHは頻繁にRH80%以上であり、それにもかかわらず、溶融亜鉛めっき鋼のような防食システムは、これらの地域で明らかに大変良好に機能している理由で導入された。溶融亜鉛めっきの性能は、多くの有機被覆がRHの高いことと太陽照射が組み合わさることで役に立たなくなるので、これらの環境においてユニークである。したがって、新しい分類上の区分の導入は、学説的な評価とは対立したものとしての溶融亜鉛めっきのようなシステムの実際の、あるいは、経験的実績の成り行きである。

腐食と降雨のあいだの複雑な反応はTOWに関連している。直感的に、降雨は湿気をもたらし、それは、次いで、腐食を開始し、加速する電解質として作用すると予想されるかもしれない。しかし、腐食速度に関して、正、もしくは負の方向に雨の効果に影響を及ぼす多くの関係する要因が存在する。雨の強度、量、および規則性は、腐食に著しく影響する。小雨、霧雨や霧は、塩化物のような汚染物質を鋼上にとどまらせる。事実、小雨の作用は、汚染物質があるポイントまでゆっくりと流れていき、次いで、その表面にとどまるような汚染物質を濃縮させる傾向がある。反対に、豪雨は、鋼構造物の表面から汚染物質を「洗浄」する効果がある(Carterら1987)。また、軽い小雨

と随伴した汚染物質は、より長く鋼の表面にとどまりがちなので、その腐食作用は増幅される(Musterら2004)。一般的に、沿岸環境のような腐食性の高いエリアでは、実際、強度な一貫した降雨は、腐食速度を減少させる効果がある。ビクトリア州の南西海岸沿いの調査したエリアは、アデレード、メルボルン、あるいは、パースとほぼ同程度の年間降雨量であり、したがって、過剰な降雨は、標準類によって予測されることに対して、溶融亜鉛めっき鋼の耐久性のより優れている性能実績のすべてを説明できるというわけではないように思われる。

海岸地域における溶融亜鉛めっき鋼の学説的性能に関連する他の大きな問題は、圧倒的多数の試験が、溶融亜鉛めっき鋼というよりむしろ純粋な亜鉛の腐食性能に焦点を合わせているという事実である。オーストラリアの苛酷な海岸地域での試験は、亜鉛は溶融亜鉛めっき鋼の3-4倍の腐食速度、特に、初期段階、であることを示唆している(Fullstonら2004)(King 2001)。このような試験は、暗黙に、亜鉛に対して一般的に適用できる腐食速度は海岸地域における溶融亜鉛めっき鋼の性能にとって適切なものではないことを示唆している。一般的に無視されている他の要因は、溶融亜鉛めっき鋼の腐食は一般的に時間とともに遅くなるということである。亜鉛表面上の複雑な腐食性生物の発達は、物理的、化学的に、腐食の化学のプロセスを制限し、その速度を著しく遅らせることが認められている(OdnevalおよびLeygraf 1993)(LeygrafおよびGraedel 2000)。また、外層の純亜鉛が消費されると、鉄-亜鉛合金が環境に曝露され、その耐腐食性は30%まで比較的大きく、さらにより長い耐用年数を提供する(Porter 1991)。

腐食および耐久性試験

「腐食コンサルタント」のあいだで誤解している別の共通エリアは、彼らが採用し追跡している加速試験技術は実際の曝露条件下での溶融亜鉛めっき鋼の、あるいは、一般に、亜鉛でさえ、その

性能を示していないということである。

加速腐食試験は、とりわけ、溶融亜鉛めっきのような犠牲被膜の性能を測定するには十分に向いていないことが長年、広く認められてきた(Blum と Waldron 1948) (Porter 1994)。大気条件下、過酷な海岸地域でさえ、溶融亜鉛めっき鋼は電氣的に完全でない電解質による湿潤と乾燥サイクルの影響下にある。このことにより腐食副産物が生成され、それが溶融亜鉛めっき鋼表面の「不動態化」を導く。高導電率電解質の一定噴霧を使用する塩水噴霧試験ではこの不動態化プロセスは起こらない。また、塩化ナトリウムの一定パーセントの「塩水」溶液を使用する通常の方法は、防食生成物を生む塩水の有益な成分(マグネシウムなど)は欠けていることを意味している。事実、塩水噴霧試験の不適當な条件下でさえ、電解質として海水に近似組成のものが使用されると、溶融亜鉛めっき鋼に対する結果は最大20倍まで改善される (Porter 1994)。しかし、このような不正確な試験が多く理由から、通常、マーケット志向により多様な産業で使用され続けている。

前述のすべては、以下のケース・スタディにおける溶融亜鉛めっき鋼の卓越した性能を説明するのにいくらか役立つ。

(実例およびケース・スタディ)

ケース・スタディ 1—ポートランドにある海の発見センター

この人気施設は、ビクトリア州で最も古い町である沿岸都市、ポートランドの博物館と情報センターの両方の機能を果たしている。ポートランドは、オーストラリア沿岸でもっとも深い港のひとつである。この発見センターには、オーストラリアで最も古い無傷の船舶、すなわち、1859年の難破で19名を救出するのに従事した救命艇を保管している。ビクトリア州南西のこの沿岸地域は、そこで起きた多数の難破で悪名が高い。この沿岸は非常に荒々しいので、少なくとも18回の知られている難破が起き、そのため「難破海岸」として知

られている。見学者は、マッコウクジラの骨格の胸郭の内部に座することもできる。その建物の枠組み構造は、ユニバーサル・ビームと支柱から構成されていて、その多くは海洋に曝露されている。すべての構造用鋼は溶融亜鉛めっきされ、その大半は海岸線から約10–15m の位置にあり、沖から直接吹いてくる卓越風を真正面に受けている。過酷な気候の中で、4–5m の高さの波はまれではなく、海岸線の浸食が重大な問題である。

センター(図4)は築後9年になるが、その溶融亜鉛めっき鋼はまだ大変健全であり、メンテナンスは必要としていない。地方自治体は地域社会へのコスト負担を最小にしたいので、メンテナンスは施設にとって重要な基準である。すべての鋼構造物の設計は、腐食問題を考慮に入れ、このことも溶融亜鉛めっき鋼の性能に貢献してきた。その構造物の防食の完全性は、接続部のボルト締め、溶融亜鉛めっき前の溶接や異種金属接触腐食(図5)を考慮することにより、維持されてきた。

築後9年になるが、構造用鋼の平均めっき厚さは、AS/NZS 4680の要求レベルの2–3倍(160–220 μm)である。

ケース・スタディ 2—ブラック・ロックにある水の再生プラント

水は、オーストラリアが現在直面している重要な課題である。水管理当局は、次世代へのその整備の影響を最小にすることを彼らの役割として仕事に取り組んでいる。設計者たちは、より広範な社会の持続可能性への観点からこれまで水処理および再生プラントを取り扱っている。すなわち、それらは排水を集め、それを処理し、次いで、環境的、経済的に持続可能な方法で付加価値のある最終製品を生産する。水処理プラントは、最小のメンテナンスで経済的に機能するよう期待されている。

ブラック・ロック水再生プラントは、1989年に運転を開始し、1995年にさらに機能を高めた。毎



図4 ポートランドにある海の発見センターの玄関

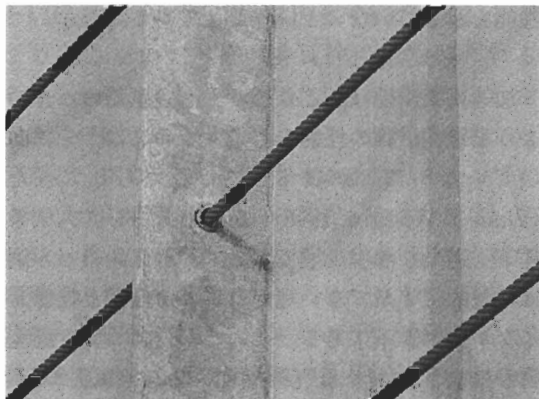


図5 絶縁物を使用し、異種金属接触腐食を考慮することで、ポートランドにある海の発見センターでの鋼の耐用年数を高める。

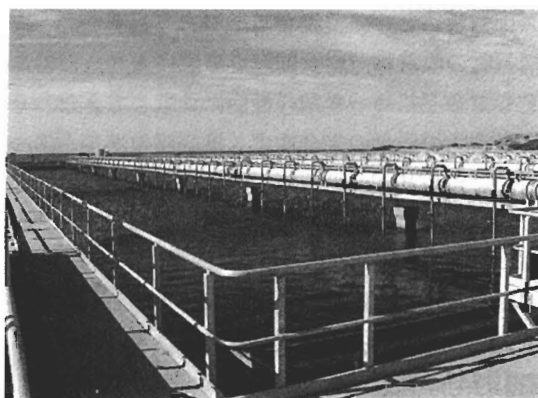


図6 ブラック・ロックにある水の再生プラント—背景の波の打ち寄せる海辺に注目。



図7 ブラック・ロックにある水の再生プラントでのきびしい環境下で良好な性能を発揮している溶融亜鉛めっきした配管。

日、約55百万リットルの下水が家庭および事業者から送られてくる。水処理プラントは腐食性が高く、もっとも頑健な材料だけが何とかしのいで行ける。ブラック・ロック水再生プラントは、最大の耐久性と経済的効率を達成するために、賢明に、溶融亜鉛めっき鋼、ステンレス鋼、およびアルミニウムの混成を使用している。それは、ビクトリア州で最も人気の高いサーフ・ビーチのひとつである第13ビーチに所在している（図6）。溶融亜鉛めっきはそのような環境において大変良好に機能することが証明されている。

加熱した空気をエアレーション・タンクに送る

主配管は、耐腐食性とそのプロセスに要求される熱と摩擦に耐える能力のゆえに溶融亜鉛めっきされている。構造用鋼および他の鉄鋼製作物の大半も溶融亜鉛めっきされている。この鋼製作物の大部分は、設置されてから約10–15年間になる。そして、硫化水素と塩化物環境において予想以上の性能を発揮している（図7）。

ケース・スタディ3—ジーロングにある回転木馬パビリオン

ジーロング回転木馬パビリオン（図8）は、ポ



図8 ジーロングにある回転木馬パビリオン

ート・フィリップ湾の前浜のジーロング市に所在する。そのパビリオンには、1892年にアメリカ製の手彫りで作られたオーストラリアで最も古く、また、最も価値のある回転木馬が収納されている。その回転木馬は、1888年製の蒸気エンジンで駆動し、1898年製、カピオリの楽隊オルガンが付属している。

パビリオンのすべての構造用鋼は溶融亜鉛めっきされ、その大半は海に曝露されている（図9）。建物の主要な構造設計要素のひとつが沖風による負荷であったことは、かなりの塩化物沈積の潜在的可能性を示唆している。構造設計は、適正な詳細設計による「腐食の負荷集中箇所」の最小化のための接続や、風による負荷を減らし、外部鋼構造物への雨による洗浄効果を可能にするエクスパンド・メタル屋根材により、腐食に対して十分考慮した。

回転木馬は観光客に人気のアトラクションであり、学校の休みの期間中、子供たちの団体や一般市民の出入りでかなりのストレスにさらされる。開園以来6年経過するが、その間、メンテナンスを必要としなかった。鋼構造物は卓越した状態にあり、すべての溶融亜鉛めっきはAS/NZS 4680によって要求されるレベルの2-3倍上回っている。



図9 ジーロングにある回転木馬パビリオン一湾の眺望

ケース・スタディ4ーグレート・オーシャン道路の高欄

ビクトリア州の南西にあるグレート・オーシャン道路沿いの12箇所の高欄（図10および図11）が、地元の道路管理当局の援助により調査された。すべての高欄が良好に機能しており、それは溶融亜鉛めっきが標準であったが、美的要求がある場所では、無垢のまま、あるいは、塗装が施されている。高欄の多くが磯にあり、波が砕けるところから約10-30mの距離にあり、また、河口水域を越えるところもあるにもかかわらず、それらは卓越した状態にあったという事実は重要である。叙勲を受けた信頼できるエンジニアは、高欄は期待どおり機能しており、最小のメンテナンスで20年以上の耐用年数が期待できると示唆した。

（結論）

溶融亜鉛めっき鋼は、オーストラリアの海岸線で使用されている長い歴史がある。鋼の防食に対する要求は、社会における全体的に「良い方向への大転換」という本質、および、オーストラリアの人口と産業の大部分が沿岸環境に集中している事実により高まり続けるであろう。調査した圧倒的多数のケースにおいて、溶融亜鉛めっき鋼は、少なくとも予想と等しいか、それを上回る性能を果たしてきた。この多くは、経験のあるエンジニアおよび仕様決定者による溶融亜鉛めっき鋼の使用

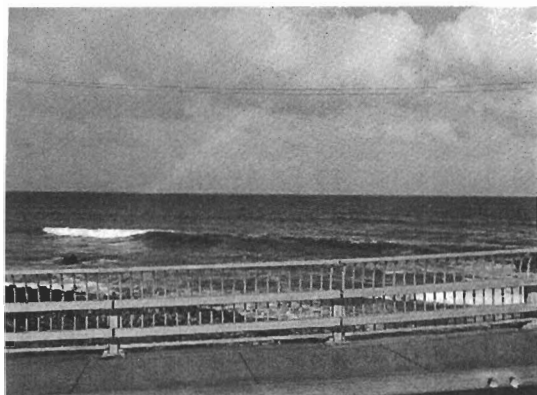


図10 スマイスの入り江にある高欄一築後9年，グレート・オーシャン道路，ビクトリア州，オーストラリア。

用に関しては、その構造の設計において詳細な部分や防食を考慮することが重要であるという事実に起因しうる。しかし、これまでの多くの「性能の証明」は、なぜそれが実際、効き目があるのか、その理由の具体的な詳細なしに実践者によって伝承されてきた。そして、多くの用途における溶融亜鉛めっきの使用は、科学的な根拠のあるプロセスというよりもむしろ「文化規範」になりつつある。

使用と実績の長い歴史にもかかわらず、沿岸地域における溶融亜鉛めっき鋼の使用が適していることに関する無知がしばしば見られる。このいくつかは、实际的、経験的な結果を超えて、「学説」に対する執着のせいである。標準類は、沿岸環境での溶融亜鉛めっき鋼の性能をこれまで低く見積もりすぎてきた可能性があるように思える。ケース・スタディおよび提出書類は、溶融亜鉛めっき鋼などの材料のうまくいった経済的な利用に対する科学的な根拠が、それらがいくつかの最も苛酷な環境における建設材料のひとつの選択肢であることを示す提案ができるように要求される。このことは、実際の構造物のそのライフサイクルにわたる曝露と状態の記録、および、いかにこれが学説的性能に関係しているかの両方についてさらなる研究を必要とするであろう。



図11 草深い入り江にある高欄一築後24年，グレート・オーシャン道路，ビクトリア州。

著者は、現在、溶融亜鉛めっき厚さと腐食副産物の最終試験を提供する次のステージの調査をおこなっている。これがそのような環境における溶融亜鉛めっき鋼の性能についてさらなる識見を提供することを期待している。

(著者略歴)

Emmanuel Pimentel は、電子通信実習を経験、Swinburne 工科大学から電力工学士で優等学位を授かり、Monash 大学においてジャーナリズムとマスコミュニケーションを専攻し技術学士を含む広範な学歴をもつ。

彼は、Metal Manufactures(現在、Pirelli Cables)のプロジェクトおよび製造エンジニアとして、これまで製造業に携わってきた。彼は、1997年に、Metal Manufactures グループのシドニー本社で上級エンジニアに指名され、製造の効率性、卓越性に重点的に取り組み、国際的に利害関係者との技術的交流を促進してきた。彼はまた、大学、研究協力センター、規制当局など海外、地元の大学、研究団体組織を代表してきた。彼はまた、Metal Manufactures および Pirelli で、建設のオーストラリア営業部長を務め、そこで彼は、技術および市場開発の責任者であり、電気産業のための標準類に関して、規制当局に協力した。

彼は、電気および関連産業で使用する電気標準類への貢献に対して1998年にオーストラリア標準化委員会によって標準化賞の受賞者として承認された。彼はまた、オーストラリア標準類変更の詳細および検討をおこなっているオーストラリア標準のために数多くのセミナーをおこなってきた。彼は現在、溶融亜鉛めっき、亜鉛、および防食に関する多様なオーストラリア標準化委員会のメンバーである。彼は、国内外において溶融亜鉛め

きと防食に関する多数の技術論文をこれまで執筆し、また、多くのオーストラリアの大学でそのテーマについての講義をおこなってきた。彼はまた、多様な技術ジャーナルに寄稿し、多様な分野で研究およびケース・スタディをおこなっている。

Emmanuel Pimentel は、現在、オーストラリア溶融亜鉛めっき協会の技術および渉外部長である。

REFERENCES

Biezma, M V and San Cristobal, J R (Dec 2005) Methodology to Study Cost of Corrosion *Corrosion Engineering, Science & Technology*, Volume 40, No 4, pp 344-352.

Blum, W and Waldron, L (1948) Salt-Spray Test, in *The Corrosion Handbook*, H Uhlig Ed, John Wiley & Sons, London.

Braithwaite S, Faulkner J R E, et al (1997) Latitude and altitude: Safety in Australia National conference of the Risk Engineering Society.

Carter, J, Linstrom, P, Flinn, D, and Cramer, S (1987) The Effects of Sheltering and Orientation on the Atmospheric Corrosion of Structural Metals, *Corrosion* 87 414, 1-17. National Association of Corrosion Engineers.

Fullston, D, Ganther, W, Thomson, G (2004) Zinc Coating Thickness Effects on HDG Steel Corrosion Rates at a Severe Marine Site, *Corrosion and Materials*, Vol 29, No 1.

King, G A (Feb 1998) Some Apparent Limitations in Using the ISO Atmospheric Corrosivity Categories, *Corrosion and Materials*, Vol 23, No 1, ACA.

King, G A (2001) Exposure and Appraisal of HDG Specimens at Port Fairy CSIRO, DBCE, Doc 01/165.

Koch, G H, Brongers, M P H et al (2001) Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States CC Technologies Laboratories for Office of Infrastructure Research & Development, Report FHWA-RD-01-156.

Haberecht, P (2006) UV Degradation of Corrosion Protective Paints and Polymers – General Implications of Climate Change, Australasian Corrosion Association Conference Proceedings.

Leygraf, C and Graedel T E The atmospheric corrosion of zinc *Atmospheric corrosion*. New York, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2000, 329-340.

Muster, T, Neufeld, A, Cole, I (2004) The Protective Nature of Passivation Films on Zinc: Wetting and Surface Energy, *Corrosion Science*, 46: 2337-2354.

Odnevall, I and Leygraf C (1993) Formation of $\text{NaZn}_2\text{Cl}(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in a Marine Atmosphere *Corrosion Science* 34(8), 1213-1229. Great Britain, Pergamon Press Ltd.

Pimentel, E, Bartlett, D and Thomson, G (2005) Merits and Myths: Galvanized and Painted Protective Coatings for Steel, Australasian Corrosion Association Conference Proceedings.

Porter, F (1991) Zinc Handbook: Properties, Processing and Use in Design, Marcel Dekker, NY.

Porter, F (1994) Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys, Marcel Dekker, NY.

Slunder, C and Boyd, W (1983) Zinc and its Corrosion Resistance, ILZRO, NY, 2nd Ed.

Zhang, X (1996) Corrosion and Electrochemistry of Zinc, Plenum Press, NY.