

塗膜下腐食を抑制する Sn 添加耐食鋼の塩分環境下における暴露試験の調査

阪神高速道路(株)	正会員	田畑 晶子
阪神高速道路(株)	正会員	飛ヶ谷 明人
本州四国連絡高速道路(株)	正会員	角 和夫
○住友金属工業(株)	正会員	上村 隆之
住友金属工業(株)	正会員	前田 隆雄
住友金属工業(株)	正会員	西尾 大

1. 目的

塩化物が飛来する大気腐食環境においては、鋼の腐食の進行が速いことが知られている。塩化物による鋼の腐食に関しては、塩化物存在下の溶液の特性、Fe<sup>2+</sup>の空気酸化プロセス、加水分解速度等に関する検討により、腐食モデルが構築されている<sup>1-3)</sup>。本モデルを基礎として、微量の Sn を添加した塗装用の耐食鋼（以下、開発鋼）が開発されており<sup>4-7)</sup>、ラボ加速試験において、塗膜脆弱部（キズ部や薄膜部等）で高い耐食性を示し、さらにさびが残存した鋼表面に塗装した場合（補修模擬）でもその効果を発揮することが報告されている<sup>6)</sup>。また本開発鋼は、機械的特性ならびに溶接継手特性とも JIS G 3106 SM 規格、道路橋示方書を満足するものである<sup>7, 8)</sup>。前報<sup>9)</sup>では、東神戸大橋橋脚下において各種塗装仕様を施した本鋼材を3年間暴露し、プラスト鋼材上、さらにさび残存鋼材上の塗膜キズ部の剥離、腐食を抑制できる可能性が確認された。本報告では大鳴門橋橋脚下における3年暴露塗装試験片の塗膜キズ部の腐食、剥離状況を調査した結果について報告する。

2. 暴露試験概要

暴露試験は図1に示すように本州四国連絡高速道路(株)神戸淡路鳴門自動車道大鳴門橋橋脚下（鳴門市側）で行った。鋼材(100x 60x 3 mm<sup>3</sup>)は開発鋼と比較材として SM 鋼を用いた。塗装仕様として表1に示す通常膜厚の仕様 C、無機ジンクリッチペイント[以下、ZP]およびエポキシ樹脂塗料下塗を薄膜化した仕様 N、無機ジンクリッチペイントを省略した仕様 S、さらにエポキシ樹脂塗料下塗を省略した仕様 NS である。試験片には表裏面にスクラッチキズ（長さ 50mm）を入れ水平(n=3)ならびに垂直(n=1)に設置した(図1、'09年3月11日開始～暴露期間約3年)。また予め無塗装鋼材を SAE J2334 試験 30 サイクル（30日）を用いて腐食、さびを形成後、カップワイヤケレンを実施（鋼材表面残留塩分量は約 700 mg Cl/m<sup>2</sup>）し作製したさび残存鋼材上に仕様 S、NS を塗装し、同様に暴露を行った。暴露地の飛来塩分量（土研式:'11年3月～'12年2月）は年間日平均 0.09 mdd (mg/dm<sup>2</sup>/day)であり、月平均で 0.35 mdd を超える月も観測された。

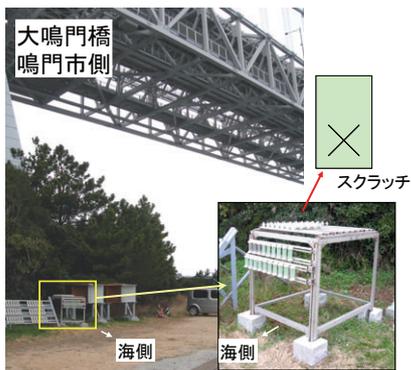


図1 大鳴門橋における暴露試験状況と塗装試験片(スクラッチ付)の概略

表1 塗装仕様一覧

仕様	塗料	膜厚	仕様	塗料	膜厚
C	第1層 無機ジンクリッチペイント	75 μm	N	第1層 無機ジンクリッチペイント	50 μm
	第2層 エポキシミストコート	- μm		第2層 エポキシミストコート	- μm
	第3層 エポキシ樹脂塗料下塗	60 μm		第3層 エポキシ樹脂塗料下塗	60 μm
	第4層 エポキシ樹脂塗料下塗	60 μm		第4層 ぶつ素樹脂塗料用中塗	30 μm
	第5層 ぶつ素樹脂塗料用中塗	30 μm		第5層 ぶつ素樹脂塗料上塗	25 μm
	第6層 ぶつ素樹脂塗料上塗	25 μm		合計	165 μm
合計		250 μm	合計		165 μm
S	第1層 エポキシ樹脂塗料下塗	60 μm	NS	第1層 ぶつ素樹脂塗料用中塗	30 μm
	第2層 エポキシ樹脂塗料下塗	60 μm		第2層 ぶつ素樹脂塗料上塗	25 μm
	第3層 ぶつ素樹脂塗料用中塗	30 μm		合計	55 μm
	第4層 ぶつ素樹脂塗料上塗	25 μm		合計	55 μm
合計		175 μm	合計		55 μm

3. 暴露試験結果

ZPを施した仕様 C、N は、水平、垂直暴露ともにスクラッチ部においても腐食は観察されず良好であった。ZPを施していない仕様 S、NS は、開発鋼、SM 鋼ともに暴露1年でスクラッチ周りにさびが観察され、暴露3年では腐食による塗膜の浮きも一部で観察された。水平暴露材の塗膜の剥離状況は、塗装仕様 S は東神戸大橋とやや傾向が異なり、スクラッチ部周りに均一に剥離が進展せず、局所的な剥離形態を示した(図2中の a, b, c, d)。塗装仕様 NS に関しては、スクラッチ周りから剥離が進展する傾向であり、開発鋼は剥離を抑制する傾向が観察された(f と h の

比較). さび残存塗装材の仕様 S, NS の 3 年暴露材に関しても差が観察された(図 3). 厚膜の塗装仕様 S では SM 鋼上面が全面剥離となったが(図 3 中 i), 下面では端面からの剥離も生じており(図 3 中 j), スクラッチ部からの剥離であるか判断ができない. しかしながら同様の塗装仕様である開発鋼の端面からの剥離が観察されなかった(図 3 中 k と l) ことから開発鋼の耐腐食性が優れていることは明らかである. 薄膜の仕様 NS ではスクラッチ部以外からの発錆, 剥離が観察された(m と n). さび残存塗装材の場合は, ブラスト塗装材に比べて塗膜剥離が進行することがわかった. 図 4, 5 にブラスト塗装材, さび残存塗装材の剥離面積とクロスカット部に沿って 5mm ピッチで 22 ポイントの腐食深さを測定し平均した結果を示す. ブラスト塗装材仕様 NS では開発鋼は SM 鋼に比べて剥離面積, 腐食深さとも半分以下となった. またさび残存鋼材においても開発鋼は SM 鋼に比べて剥離面積, 腐食深さともに半分以下となった. 3 年暴露と短期間であるが, 開発鋼は塗装剥離および腐食を抑制していることが確認された.

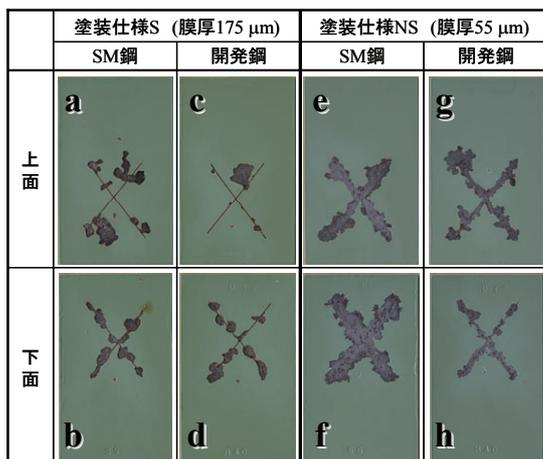


図2 3年暴露ブラスト塗装材のスクラッチ部塗膜剥離評価後の外観

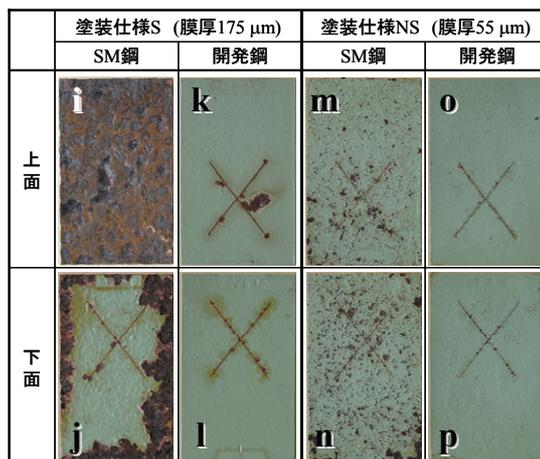


図3 3年暴露さび残存塗装材のスクラッチ部塗膜剥離評価後の外観

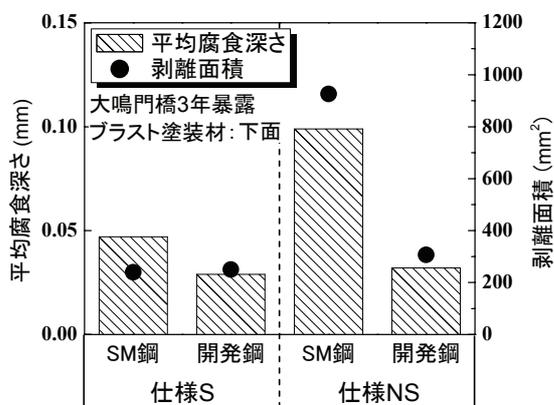


図4 ブラスト塗装材の剥離面積とクロスカット部平均腐食深さ

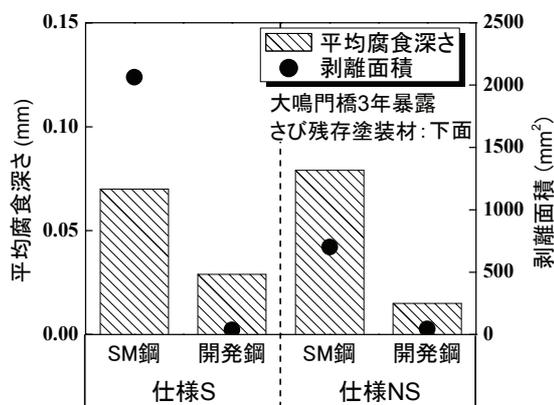


図5 さび残存塗装材の剥離面積とクロスカット部平均腐食深さ

#### 4. 結論

微量の Sn を添加した耐食鋼に各種仕様の塗装を行い, 大鳴門橋脚下において暴露試験を行った. その結果, 東神戸大橋における暴露試験と同様, 短い暴露期間ではあるが, 本開発鋼はブラスト鋼材上, さらにさび残存鋼材上の塗膜キズ部の剥離, 腐食を抑制できる可能性が確認された. 本開発鋼は新設時のみならず塗り換え補修後の塗膜下腐食を抑制するため, 塗装が施される橋梁等の土木鋼構造物の LCC ミニマム化への寄与が期待される.

#### 参考文献

- 1) 上村隆之, 鹿島和幸, 菅江清信, 幸 英昭, 工藤赳夫: 材料と環境 2008 講演集, C302 (2008).
- 2) 鹿島和幸, 上村隆之, 幸英昭, 工藤赳夫, 材料と環境 2008 講演集, C303 (2008).
- 3) 上村隆之, 鹿島和幸, 菅江清信, 幸 英昭, 工藤赳夫: 第 159 回春期鉄鋼協会シンポジウム資料(2010).
- 4) 上村隆之, 鹿島和幸, 菅江清信, 幸 英昭, 工藤赳夫: 第 56 回材料と環境討論会講演集, C301 (2009).
- 5) 鹿島和幸, 上村隆之, 菅江清信, 幸 英昭, 工藤赳夫: 第 56 回材料と環境討論会講演集, C-302 (2009).
- 6) 上村隆之, 幸 英昭, 西尾 大: 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-204 (平成 22 年 9 月).
- 7) 西尾 大, 中村 宏, 上村隆之: 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-205 (平成 22 年 9 月).
- 8) 西尾 大, 上村隆之, 米村英男, 岡部 健: 土木学会第 66 回年次学術講演会, I-593 (平成 23 年 9 月).
- 9) 閑上直浩, 飛ヶ谷明人, 前田隆雄, 上村隆之, 西尾 大: 土木学会第66回年次学術講演会, I-595 (平成23年9月).