錆鋼板への各種素地調整後の断面 EPMA マッピング画像の観察結果

(株)高速道路総合技術研究所　　正会員　○服部雅史，古谷嘉康，広瀬剛

１．はじめに

鋼橋の腐食に関する維持管理として塗替塗装が広く実施されている．塗替塗装は鋼材腐食開始前の塗膜劣化の段階で実施することが望ましいが，塗膜厚や腐食環境が均一でないために，全ての部位に対して鋼材腐食発生前の段階で塗替塗装をすることは困難であり，鋼材腐食が見受けられる橋梁も多数ある．腐食部分の素地調整が十分でないと，腐食の凹凸の影響で局部的に塗膜が薄い箇所や損傷箇所が生じたり，錆中の塩の影響により塗膜下腐食による塗膜の早期劣化が懸念されるため [1)2)]，素地調整による除錆や錆中の塩の状態が腐食耐久性には重要と思われる．

近年，環境の改善，人体への影響軽減，施工性，費用軽減など様々な目的に応じて多くの素地調整方法が提案されているが，各種素地調整方法の腐食耐久性に対する影響についての知見は少ない．そのため，腐食耐久性を比較しての選定判断や品質管理が出来ない状況にある．

そこで，塗替塗装の腐食耐久性に影響を及ぼすと考えられる素地調整後の除錆や錆中の塩の状態把握を目的に，錆鋼板へ各種素地調整方法を施した後の断面を電子線マイクロアナライザ（以下，EPMA）により観察した．

２．試験概要

試験の流れ以下を示す．

まず，実橋梁の鋼材腐食部分を模擬するため，ブラストにより黒皮を除去した裸鋼板（SS400,150×70×6mm）を，JISK5600-7-9:2006 の附属書 1 サイクル D の規定に順じ1ヵ月促進試験をしたのち，北陸自動車道の親不知高架橋下に1年間暴露して錆鋼板を作成した．暴露箇所は日本海の海岸線より 50m 程度しか離れておらず飛来塩分が多く，高架下のため雨による洗い流し作用が少ない場所で，腐食環境は厳しい．作成した錆鋼板の外観の一例を**図 1** に示す．層状の錆の下に孔食が生じていた．

図 1　錆鋼板の外観の一例

次に，錆鋼板に各種素地調整を実施した．詳細を**図 2** に示す．6 種類の選定については，①及び③は標準的な工法（NEXCO での素地調整1種と2種），②，④，⑥は塗替塗装現場での施工実績が増えつつある工法，⑤は湿式の工法で造船分野において用いられていることを理由に選定した．施工条件についても各素地調整方法において一般的となるように設定した．素地調整後の外観を確認すると，③，④は目視でも錆の残存が確認できるが，その他は目視では錆の残存は判断できなかった．⑥については表面が黒色を呈しているが，レーザー熱により表面が変色したもので，ISO8501-1:2007 での見本による除錆度の判断が出来なかったため，錆が目視確認できなくなる程度素地調整した．粗さは素地調整後に測定した算術平均粗さ Ra と十点平均粗さ Rzjis を示している．

最後に，試験片の短辺端より約 20mm の部分を切断し，断面を EPMA で，鉄(Fe)，塩素(Cl)，酸素(O)に対してマッピングによる元素分析を実施した．観察箇所は，反射電子像で錆が多く残存していると思われる部分を 700μm 程度の長さで抽出している．

素地調整	①非金属系乾式ブラスト	②金属系乾式ブラスト	③ディスクサンダー	④ブラスト面形成動力工具	⑤湿式ブラスト	⑥レーザーブラスト
条件	フェロニッケルスラグ (JISZ0312) 粒度：0.25～2.80mm 空気圧：690kPa 研削材使用量：50kg/㎡	スチールグリッド (JISZ0311) 粒度：1.00mm以下 空気圧：690kPa 研削材使用量：35kg/㎡	砥石＃24 最高使用周速度：72m/s	ブラシ材質：スチール 回転数：3200回/min	銅スラグ(JISZ0312) 粒度：2.36mm以下 空気圧：640kPa 研削材使用量：50kg/㎡ 水使用量：13ℓ/㎡	レーザー波長：1070nm レーザー出力：2kW 照射円径：20mm
目標除錆度	ISO Sa2・1/2	ISO Sa2・1/2	ISO St3	ISO St3	ISO Sa2・1/2	ISO Sa2・1/2
素地調整後外観						
粗さ	Ra：29.7μm Rzjis：77.7μm	Ra：26.0μm Rzjis：72.4μm	Ra：19.7μm Rzjis：58.6μm	Ra：27.9μm Rzjis：76.0μm	Ra：29.1μm Rzjis：78.7μm	Ra：29.3μm Rzjis：79.7μm
備考	NEXCO施工管理要領[3)] 素地調整1種	NEXCO施工管理要領[3)] （新設）素地調整G-a	NEXCO施工管理要領[3)] 素地調整2種			

図 2　各種素地調整方法の詳細

キーワード　鋼橋，塗替塗装，素地調整，除錆，錆中の塩，EPMA，塩化物イオンネスト

連絡先　　〒194-8508　東京都町田市忠生 1-4-1　TEL042-791-1943

３．断面 EPMA マッピング画像の観察結果

断面の EPMA マッピング画像を図 3 に示す. Fe, O, Cl 元素のマッピング画像の着色は青→赤になるほど高濃度に存在することを示し, 色彩のレンジは比較できるよう各マッピング画像で統一してある.

O 元素のマッピングをみると, どの素地調整でも着色部分が見える. つまり, 酸化物が残存しており, どの素地調整においても錆は取りきれていないことが分かる. なお, ⑤の”A”の部分は Fe 元素の濃度が他の酸化物の部分と異なるため研削材が残留したものと思われる. また, ①や②では”B”の部分のように, 錆を防ぐように鋼材の組織が存在する. これは, 研削材により鋼材表面が叩かれ塑性変形することで錆を閉じ込めてしまったものと思われる. O 元素の残存範囲は標準的な素地調整1種の①よりも, ②, ⑤, ⑥が少なかった.

Cl 元素のマッピングをみると, 着色は鋼材と錆との境界(”C”の部分)に局所的に存在している. これは塩化物イオンネストと考えられ, 錆層内に存在する場合は酸化剤として腐食を助長する要因となりうる. 錆の残存(O 元素)の多いものには塩化物イオンネスト(Cl 元素)も多く観察された. 動力工具を用いた③, ④は“D”の部分のように錆表面にも Cl 元素が見られる. 素地調整前の錆板には表面にも Cl の分布を確認しているため, 表面の Cl も十分取りきれていいない結果と考えられる. Cl の残存は塗装の耐久性低下にも関係すると考えられるので注意が必要である.

４．まとめと今後の予定

- 目視で除錆を確認したものも, 錆の残存があった. 研削材により鋼材表面が叩かれ塑性変形することで錆を閉じ込める現象も確認された. 素地調整 1 種(①)よりも良い素地調整方法(②, ⑤, ⑥)も存在することを確認した.
- 錆の残存の多いものには塩化物イオンネストも多く観察された. 動力工具による素地調整では錆表面にも Cl の除去不足が確認された.

現在①～⑥上に塗装をした試験片の暴露, 促進試験(腐食耐久性評価)を実施している. 今後は, EPMA 結果と腐食耐久性評価の関係を整理することで, 素地調整方法の選定判断や品質管理に役立つ知見を収集していきたい.

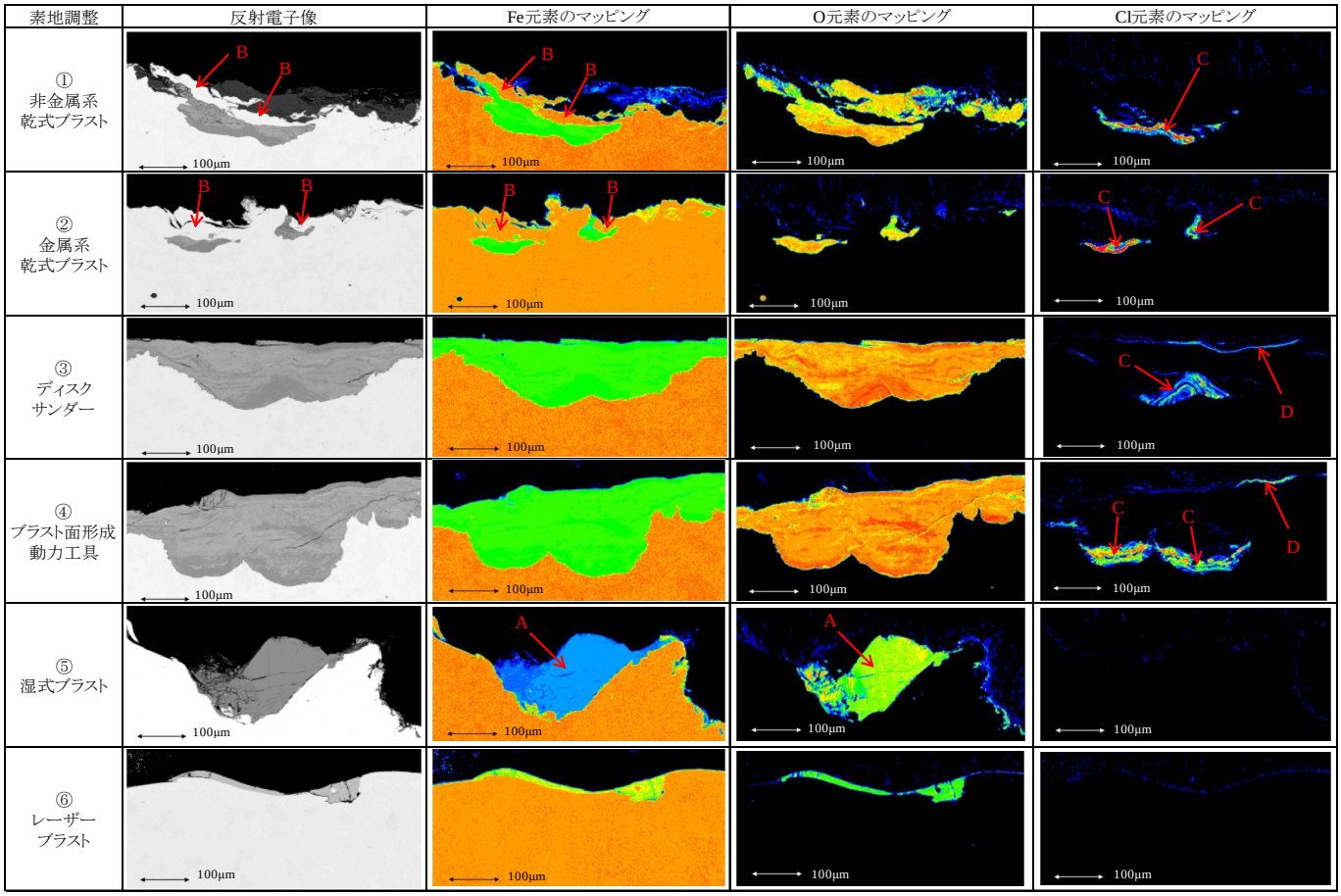

図 3　断面の EPMA マッピング画像

参考文献

1) 服部雅典,西方篤,水流徹：重防食塗膜の防食特性に及ぼす下地鋼材表面の残留さびの影響,材料と環境,Vol.60,pp15-21,2011.
2) 坂本達朗：さび中の塩分を除去した塗装さび鋼板の塗膜耐久性評価,土木学会年次学術講演会講演概要集,Vol.70,I-419,2015.
3) 東,中,西日本高速道路㈱：構造物施工管理要領,2015.