

コールドスプレー工法技術を用いた実腐食高力ボルトの防食処理技術開発に関する研究

(一社) 沖縄しまたて協会 正会員 ○玉城喜章 琉球大学 正会員 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉
沖縄総合事務局 高良哲治 末光勇次 普天間剛志

1. 目的

鋼橋のボルト添接部は、桁端部と共に最も腐食の著しい部位である。しかし、新設ボルトの塗装仕様は、防食下地がなく、重防食仕様ではない。橋梁のミニマムメンテナンスにおいては、ボルト・ナット部に犠牲防食効果を付与し、一般部と同様の塗替えサイクルへの移行が不可欠である。コールドスプレー工法(以下、「CS 工法」という)は、高力ボルトに亜鉛皮膜を形成することが可能であり、高い防錆効果を付与することができる¹⁾一つの手法である。沖縄塗装マニュアル検討委員会では、CS 工法に着目し、塗装寿命の延命化について検討を行っている。そこで本研究では、実腐食ボルトを対象に CS 工法の施工性や施工時の品質確保を検討することを目的とし、実橋においてCS 工法の試験施工を行った。

2. 実験概要

図1に試験施工で使用するCS 工法の概要を示す。CS 工法は、重量比として亜鉛:アルミナ=60:40で予め混合したパウダーを超音速で加速させ、対象とする金属に亜鉛皮膜を形成させるとともに、既に金属表面に生じた腐食生成物を除去することが期待できる。

写真1に、試験施工対象部位とナット部の腐食状況を示す。対象橋梁は海岸沿いに架設されており、塗装後16年経過している。試験対象部位は、海側に面する横桁の添接部ボルト・ナットとした。桁下直下での年平均飛来塩分量は、0.7mddであった。ナット部は、特に横桁下部において写真1に示すようにナット部の著しい腐食膨張が見られた。

表1に本試験施工における塗装仕様の着眼点を示す。初期コストの低減に向けて、全面塗替え時の塗装仕様は、防食下地となるCS 処理とふっ素樹脂塗料上塗のみを基本とし、一般部と同じ塗装寿命を目標とした。部分塗替えの塗装仕様は、CS 処理のみとし、全面塗替え時までの期間の防食を目標とした。

表2に従来塗装仕様とCS 工法の塗装工程の比較を示す。沖縄で使用している沖縄地区鋼橋塗装マニュアル(H20.3)の塗装工程に比べて4工程の短縮を図る。

図2に横桁の腐食マップを示す。塗装仕様は、左側をCS 処理のみ、右側をCS 処理+上塗とし、中央部を比較のために沖縄地区鋼橋塗装マニュアルの塗装仕様とした。ボルト・ナットの腐食状況は、「健全」を青、「軽度」を緑、「中度」を黄、「重度」を赤で示しており、それぞれの腐食状況写真を併記した。

また、CS 工法適用前に簡易な素地調整を実施した。ナット面の平均残存さび厚は、腐食状況「軽度」で32μm、「中度」で63μm、「重度」で135μmであった。

3. 実験結果

管理基準値は、目標膜厚100μmに対して90%以上(90μm)とし、計測本数259本

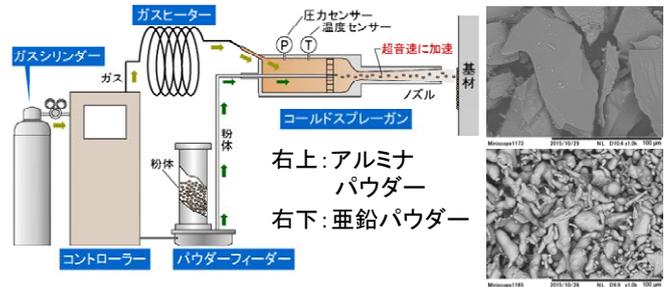


図1 コールドスプレー工法の概要



写真1 試験施工対象箇所とナット部腐食状況

表1 試験施工における塗装仕様の着眼点

塗装仕様	適用(想定)	塗装寿命
CS処理+上塗のみ	一般的な全面塗替え時	一般部と同じ
CS処理のみ	部分塗替え(ボルト添接部が一般部に比べ腐食)	次の全面塗替え時までの期間

表2 従来塗装仕様とCS 工法の塗装工程の比較

沖縄地区鋼橋塗装マニュアル(2種ケレン)			CS工法(防食下地)+上塗のみ(2種以下のケレン)		
工程	塗料名	標準膜厚(μm)	工程	塗料名	標準膜厚(μm)
下塗1層目	有機ジンクリッチペイント	60	下塗1層目	亜鉛:アルミナ=60:40	100
下塗2層目	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗	60			
下塗3層目	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗	60			
下塗4層目	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗	60			
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料中塗	30	上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	25
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	25			

沖縄版マニュアル

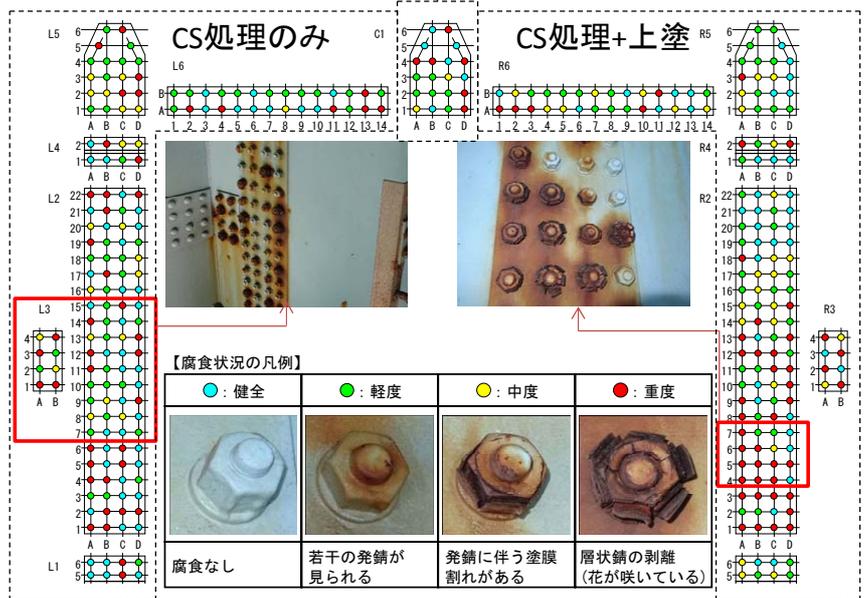


図2 端横桁の腐食マップ

のうち、膜厚 90%以上のナット本数は、257 本(99.2%)である。最低膜厚は、目標膜厚の 70%(70 μ m)以下とし、最低膜厚を下回ったナット本数は 0 であった。

3.1 施工困難箇所における膜厚

図 3 に、施工困難箇所におけるナットの皮膜厚さ不足面を示す。6 角ナット面の皮膜厚さ不足面は、青色のナットに赤色で示す。なお不足とした皮膜厚さは、管理基準 90 μ m 未満とした。図より、狭隘部側のナット面は、皮膜厚さ不足面が見られ、施工困難箇所と見なされる。施工困難箇所では、スプレーガンの切り回しが困難な状況となり、ノズルとスプレー面の最適な角度 90°に維持出来なくなり、膜厚不足が生じる。これについては、既往の研究²⁾より、スプレー面とノズルの角度 90 \pm 20°で施工能率が 90°に比べ 50%となり、45°では膜厚が形成されないことがわかっている。

3.2 ナットの配置と施工性

図 4 及び図 5 にそれぞれ垂直面と水平面のナットと平均 CS 皮膜厚さの関係を示す。縦軸は、皮膜厚さを示し、横軸は各 6 面のナットを示す。各ナット面の皮膜厚さは、全ての各ナット面の皮膜厚さにおいて、各面の平均値である。図より、垂直面のナットにおいて、皮膜厚さは、概ね 180 μ m から 200 μ m 程度である。また、各面の皮膜厚さの分布は同程度であり、ナット面の向きによって、CS 工法の施工性は変わらないことを示している。水平面のナットにおいて、各面の皮膜厚さの分布は、手前側が厚く奥側が薄い傾向を示している。これは、スプレーガンの切り回しが難しい奥側のナット面が施工困難箇所となっている。

3.3 残存さびの影響

写真 2 に各腐食状況のコールドスプレー仕上がり状況を示す。腐食状況「軽度」は、ナットの角面や平坦部の亜鉛皮膜の形成がむらや凹凸もなく滑らかである。腐食状況「中度」はナット腐食面の影響を受け仕上がり面に凹凸があり、微細なくぼみの部分には黒色の固着さびが見られる。これは、スプレーによるくぼみ部分のさびの除去が困難であったことを示している。腐食状況「重度」は、ボルト頭部やナットとワッシャーの境界部に残存さびが見られた。ある大きさ以上の残存さび上には、亜鉛皮膜が形成されないことがわかる。

4. まとめ

- (1)CS 工法による標準膜厚の管理基準値は満足した。
- (2)狭隘部となるナット面の亜鉛被覆の膜厚不足箇所は、モニタリングによって亜鉛皮膜の犠牲防食効果を確認するとともに、狭隘部でも施工可能なノズルの開発を行う。
- (3)腐食状況が著しいナット部の残存さびには、CS 処理後でも亜鉛被覆が形成されないため、パウダーの配合見直しによる素地調整効果の向上を検討する。



腐食状況「軽度」 腐食状況「中度」 腐食状況「重度」

写真 2 CS 処理の仕上がり状況

【参考文献】

1) 清川昇悟, 井口進, 木村雅昭, 下里哲弘:コールドスプレー技術で生成する金属皮膜を適用した高力ボルトの防食性能と機械的性質, 鋼構造論文集, 第 22 卷(第 85 号), pp.133-141, 2015.3
 2) 日和裕介, 下里哲弘, 有住康則, 井口進, 清川昇悟, 木村雅昭他:コールドスプレー工法を用いた腐食高力ボルトの防食処理技術開発に関する基礎的研究, 土木学会西部支部 pp.47-48,2016.3

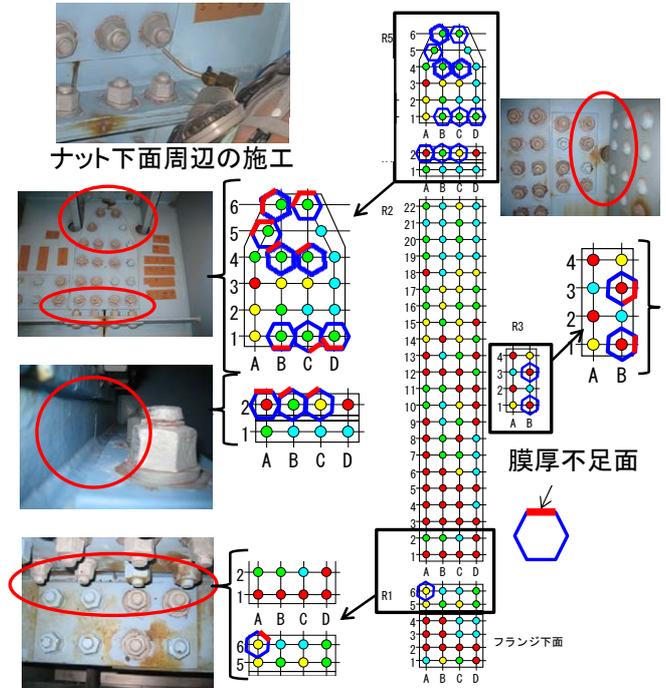


図 3 施工困難箇所におけるナット部の皮膜厚さ不足面

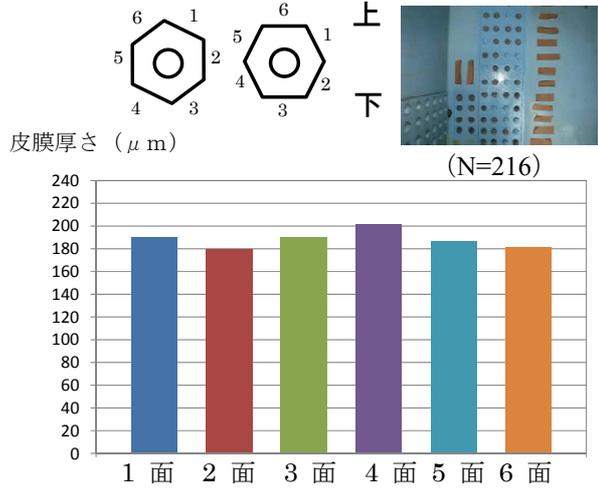


図 4 垂直面ナットと平均 CS 被覆厚さの関係

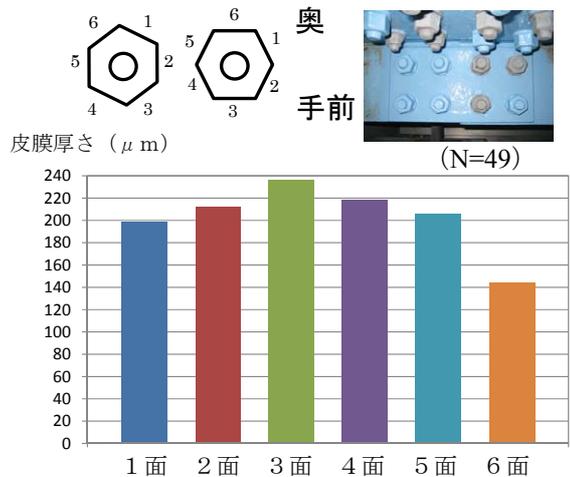


図 5 水平面ナットと平均 CS 被覆厚さの関係