

ボルト角部に対するCS 防食皮膜形成特性

構造工学研究室 吉代 大師

1. 背景と目的

写真 - 1 に示すように海岸部の橋梁の高力ボルト継手は、塩害などにより腐食損傷が発生しやすく、劣化状況によっては橋の安全性が損なわれる危険がある。また、高力ボルトの角部は締付時の傷や、塗膜厚が確保されづらく塗膜厚が薄いことが腐食の原因の1つとなっている。本研究では、高力ボルト角部への Cold Spray (CS と示す) 工法による皮膜特性を成膜性と防食性の観点から検証する。



写真 1 腐食高力ボルト

2. 試験方法

表-1 実験パラメータ

2.1 供試験体作成

表 - 1 に実験パラメータ表を示す。本研究では新材と腐食高力ボルトに配合（亜鉛：アルミナ=60：40）、施工角度 90 度で CS 施工を行った。成膜性に影響を及ぼすと考えられるパラメータとして、①ノズルの径、②ノズルの移動経路、③重ね施工を選定した。

	パラメータ	観察方法	ボルト数	観察角数
成膜性	小径ノズル (5、7mm)	デジタルマイクロスコープ	4本	24個
	ノズル移動経路 (標準、螺旋、両開き)	デジタルマイクロスコープ	6本	36個
	重ね施工 (あり、なし)	デジタルマイクロスコープ	6本	36個
防食性	重ね施工 (あり、なし)	複合サイクル試験	6本	36個

(1) ノズルの径による成膜

ノズルを標準ノズル（内径 7 mm）小径ノズル（内径 5 mm）（写真 - 2）で標準施工を行い角部の CS 成膜形状の違いを比較した。



写真 - 2 小径ノズル（左）標準ノズル（右）

(2) ノズルの移動経路による成膜

図 - 1 にノズルの移動経路を示すように、3 パターン（標準：ボルトの各側面に上下蛇行状に施工 螺旋型：ボルト全体に螺旋状に施工 両開き戸型：ボルトの各側面に中心から角部に向け施工）に分け施工を行い、角部の CS 成膜形状の違いを観察した。

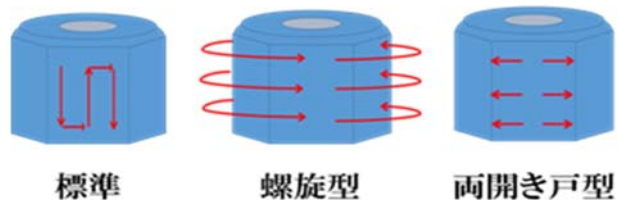


図 - 1 ノズルの移動経路

(3) 重ね施工による成膜

ノズルの移動速度を変え（5 mm/秒・7 mm/秒・10 mm/秒）標準の施工を行い、後からボルト半分の角部だけ重ねて施工を行い（図 - 2）角部の CS 成膜の膜厚を重ねなしと比較した。

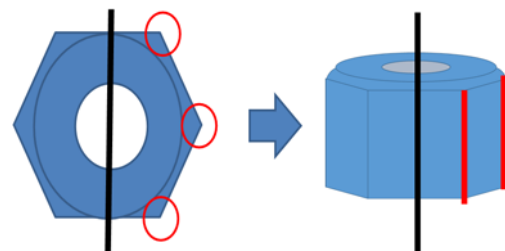


図 - 2 重ね施工

2.2 高力ボルト角部への成膜状況観察(デジタルマイクロスコープ)

高力ボルト角部への CS 皮膜の成膜状況を観察するため、施工したボルトを切断し断面をデジタルマイクロスコープにより観察した。

2.3 高力ボルト角部の防食性検討(複合サイクル試験)

CS 成膜の状況が防食性に及ぼす影響を把握するために、重ねて施工を行った試験体 6 体（新材 3 体・腐食 3 体）で乾湿繰り返しの複合サイクル試験を実施した。複合サイクル条件は、35℃・90%×2h（湿潤） 40℃・50%×6h（乾

燥) 1 サイクル 8h で行い、3 サイクルに 1 度食塩水 (5%) を塗布する

3. 結果・考察

(1) ノズルの径の影響

図 - 3 に小径ノズル (内径 5 mm) と標準ノズル (内径 7 mm) で施工を行ったボルトの側面と角部の CS 膜厚を示す。図より角部の膜厚は側面に比べて薄く、標準のノズルと同じ傾向がみられた。

(2) ノズルの移動経路の影響

写真 - 3 にノズルの移動経路による角部断面図を示す。移動経路による CS 成膜形状の違いは見られず、それぞれの角部膜厚は側面に比べて薄くなっている。また、角部の膜厚は一般外面塗装仕様の防食下地 $75 \mu\text{m}$ 以上¹⁾ を満たしていない。

(3) 重ね施工の影響

写真 - 4 に標準の重ね施工あり・なしの角部 CS 成膜断面図を示し、図 - 4 に新材と腐食材の角部膜厚と側面の平均膜厚を示す。写真と図より重ねて施工を行うことで、角部にも側面と同じかあるいはそれ以上の成膜形成が可能であることがわかる。また、新材と比べ腐食材の膜厚は全体的に少し薄くなっている傾向が認められた。これは、初期錆によりボルト面に角度が付き噴射ガスの力が分散するためと推測される。

(4) 複合サイクル試験結果

図 - 5 に複合サイクル試験のさび発生時間と膜厚の関係のグラフを示す。グラフは横軸にサイクル試験の経過時間、縦軸に錆が発生した角部の膜厚を表している。グラフより初期膜厚が増すにつれてさびの発生時間が遅くなる傾向が確認できた。

4. まとめ

CS 工法の高力ボルト角部への防食皮膜特性 (成膜性, 防食性) について検討した。本研究のまとめを以下に示す。

- 1) 重ねて施工を行うことにより、角部に側面部と同等以上の膜厚を形成可能であることを確認した。一方、移動経路・ノズルの径に関しては、高力ボルト角部の成膜に及ぼす影響は認められなかった。
- 2) 複合サイクル試験により膜厚の増加とともにさびの発生時間は遅くなる傾向を確認した。従って、角部からさびが発生する原因も膜厚の薄さであることが確認できる。
- 3) 以上から、角部の防食性を向上するためには、重ね施工が重要であると考えられる。

参考文献：1) 日本道路協会:鋼道路橋防食便覧.2014.3

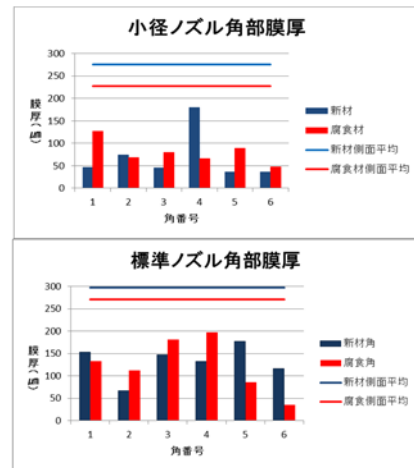


図 - 3 小径ノズル・標準ノズル 角部膜厚



写真 - 3 移動経路による角部断面



写真 - 4 重ね施工あり (左) 重ね施工なし (右)

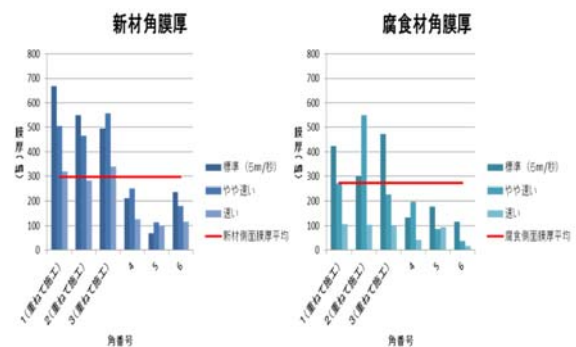


図 - 4 角部膜厚

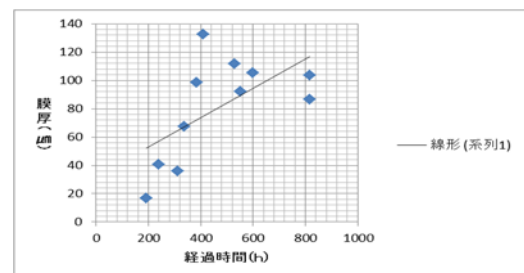


図 - 5 複合サイクルさび発生時間と膜厚