

Cold Spray 工法を用いた腐食高力ボルトの防食性に関する実験的研究

構造工学研究室 井上将良

1. 研究の背景及び目的

図-1 に示すような海岸部の橋梁の高力ボルトは、腐食損傷が発生しやすい。その理由として高力ボルトの角部は締付時による傷や、塗膜厚が薄いことが挙げられ、腐食の弱点部となっている。そのため角部から錆が発生しボルト全体に広がり、図-1 の右に示す花が咲いたような状態になる。

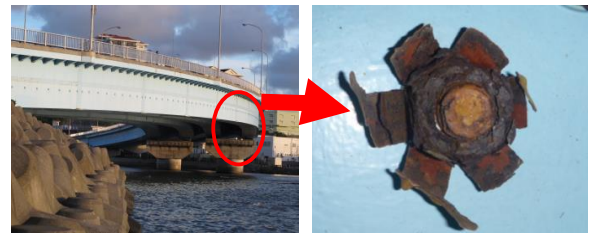


図-1 M 橋全景及び高力ボルト腐食事例

本研究では、高力ボルトの防食性の向上を目的に、強固な密着力を持つ金属皮膜形成が可能で、残留した錆を許容しつつ強靱な防食皮膜を形成できる現在開発中の新しい防食工法である Cold Spray (以下 CS と示す) 工法を用いて、腐食した高力ボルト角部に、十分な防食皮膜が形成可能か検証を行う。

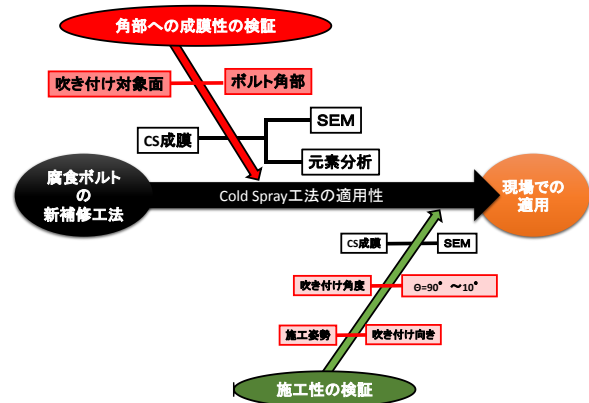


図-2 試験全体フロー

2. 試験方法

2.1 供試体作成

図-2 に試験全体フローを示し、試験一覧表を表-1 に示す。本研究では腐食している高力ボルトを用いた (図-3)。ボルトは橋梁添接部を模擬し、ボルト間の距離は 75mm であり、CS 工法を施工した。

亜鉛：アルミナの配合は、60:40, 50:50, 40:60 の 3 パターンで行う。CS 噴射口がボルトに対して 90 度 (図-4(a)) の施工角度を基本として行うが、橋梁のウェブや隣接するボルト等がある場合は、90 度を確保したままの施工ができないため、90 度以外の角度も行う (図-4(b))。施工後 A, B, C の 3 本のボルトは、琉球大学暴露試験場で暴露試験を実施し、D の 1 本は SEM による断面観察を実施した。

表-1 試験一覧表

	配合	ボルトNo.	施工角度	本数
SEM	60:40	D	90度	3本
	50:50	D		
	40:60	D	90度以外	
暴露試験	60:40	A B C	90度 90度以外	9本
	50:50	A B C		
	40:60	A B C		

2.2 走査顕微鏡 (SEM) による断面観察

CS 工法施工後のボルトの表面の膜厚やさび厚を計測するため、SEM (図-5) を用いて断面観察を行う。CS 工法施工を行ったボルトをボルト角部で切断しエポキシ樹脂で固めて、切断面を研磨したものを SEM 供試体とする。

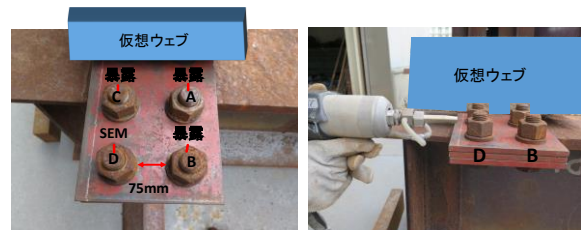


図-3 試験体

図-4(a) 施工角度 90 度

2.3 屋外暴露試験

琉球大学暴露試験場 (腐食速度 0.017mm/year, 飛来塩分量 0.103mdd, 離岸距離 2.5km) にて、雨がかりのない条件で CS 施工後の A, B, C の 3 つのボルトを各 3 本ずつの合計 9 本で、屋外暴露試験を行った。



図-4(b) 施工角度 90 度以外

図-5 SEM

3. 試験結果

3.1 SEMによる断面観察

(1) 施工角度 90 度の部位

高力ボルトに対し、施工角度 90 度を確保しながら CS 施工を行った断面観察箇所を図-7(a)に示す。図-8(a)図-9(a)より、錆を除去し、80 μm の防食皮膜厚が確保できた。これは、一般外面塗装仕様の防食下地 75 μm 以上¹⁾を満たしている。

(2) 施工角度 90 度以外の部位

図-7(b)に断面観察箇所を示す。図-8(b)図-9(b)、より、錆を除去することはできたが、防食皮膜厚を確保することはできなかった。

3.2 暴露試験

4 か月間暴露試験を行った結果、施工角度 90 度で施工した箇所では、膜厚が確保されているため錆が発生していない。施工角度 90 度以外では発錆を確認した。図-10, 11 に示すように皮膜厚がうすい角部から錆が発生しているのが確認できた。

4. まとめ

CS 工法を用いて腐食した高力ボルト角部に、十分な防食皮膜が形成可能か検証を行った。本研究のまとめを以下に示す。

1) 防食皮膜の成膜検証

施工面に対し 90 度で施工した場合では、十分な防食皮膜厚を確保することができたが、90 度以外では防食皮膜が成膜できないことを確認した。

2) 除錆性能

施工面に対し 90 度で施工した場合では、錆を除去することができた。同様に 90 度以外で施工した場合も、錆を除去することができた。

以上の結果より、除錆性能においては、施工角度による差異はみられない。これはアルミナがどの角度でも、十分に錆を落とせるほどの速度で、施工面に衝突しているためだと考えられる。また、成膜性能においては、90 度の方が厚い膜厚を確保できている。これは、角度がつくと CS の噴射ガスがボルト面に衝突する際に、力がまわりに分散して衝突の威力が弱くなるため、噴射されたパウダーが弾かれたためだと考えられる。また、防錆性能において膜厚が確保されている場合は、防食効果が発揮されていることを確認した。そのため、亜鉛とアルミナの配合比よりも施工角度が防錆性能に大きく関係すると思われる。

参考文献:1) 日本道路協会:鋼道路橋防食便覧.2014.3

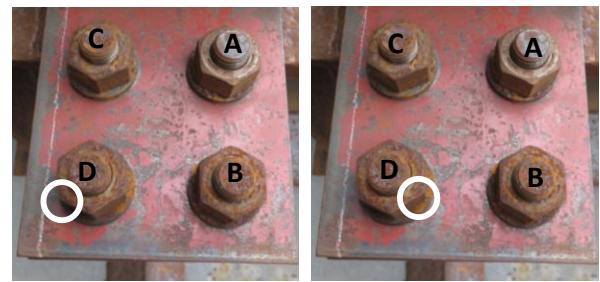


図-7(a) 断面観察箇所 図-7(b) 断面観察箇所

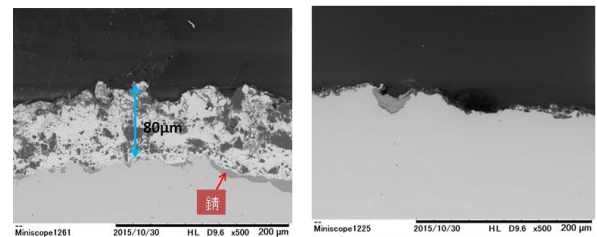


図-8(a) 断面観察結果 図-8(b)断面観察結果

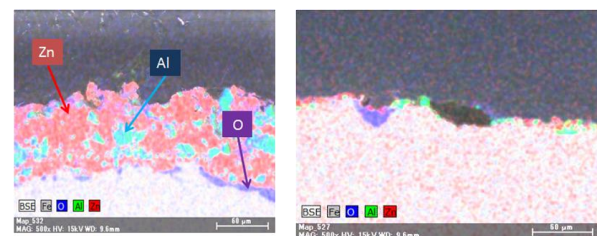


図-9(a) 元素分析図 図-9(b) 元素分析図

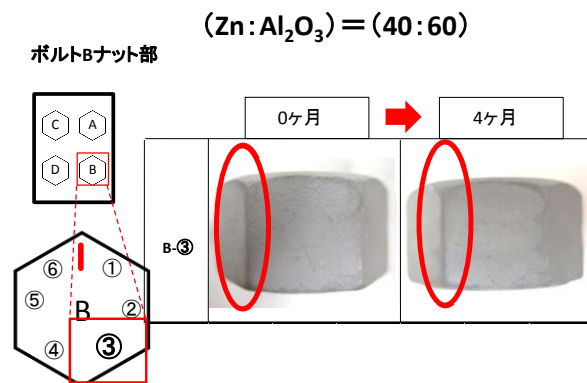


図-10 暴露試験結果 (施工角度 90 度)

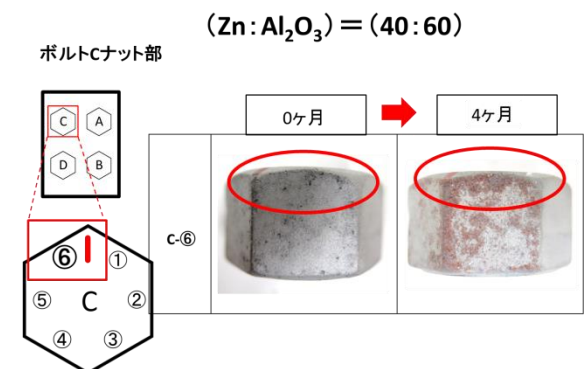


図 11 暴露試験結果 (施工角度 90 度以外)