

鋼桁端部の狭隘部・鋼板角部を対象とした Cold Spray 防食皮膜形成特性

構造工学研究室 神山哲史

1. 序論

鋼橋の防食上の弱点部の1つとして写真-1のような桁の狭隘部や角部などの端部が挙げられる。現状の維持補修工法は、除錆を行ったうえで、再び塗装を施すといった2段階の工程であり、手間と費用を要する。さらに、桁狭隘部は、完全に錆を除去することが困難であり、残留した錆が膨張し、塗膜の再劣化・母材の再腐食が早期に生じやすい。また、鋼板角部は、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。そのため、防食上、効果的かつ効率的な鋼桁端部の維持補修工法の開発が重要である。現在、腐食箇所に対し、錆の残留を許容しつつ素地調整と強靱な防食皮膜（亜鉛層）の形成を同時に行うことができる新たな維持補修工法である Cold Spray（以下、CS）工法を琉球大学で開発中である。これまでの検討¹⁾²⁾により、腐食鋼板（平板状）に対し、完全除錆の素地調整を行わずに CS 施工を行うと、①多少の錆は残留しつつも緻密な防食皮膜が形成可能であること、②吹き付け角度は90°が最適であり、それよりも低くなると成膜性が低下するものの、吹き付け角度70°までは、有効な成膜が得られることが明らかとなった。そこで、本研究では複雑な構造空間を持った鋼桁狭隘部・部材角部を対象として CS 工法を適用し、その防食皮膜の形成特性を明らかにすることを目的とした。

2. 試験方法

2.1 腐食鋼桁狭隘部での CS 施工概要

施工箇所は、腐食鋼桁の内、ウェブ・フランジ・垂直補剛材の交差領域である。ケレン後の状況を写真-2に示す。CS 施工前の錆状況が CS の成膜性に与える影響について検討するために、2つの領域に異なる素地調整（ワイヤーブラシによる4種ケレン、ブラストによる1種ケレン）を施した。傾向を把握するために、2つの素地調整箇所を1セットとして、3セット施工を行った。吹き付け条件を一定とするために、以下の条件で吹き付けを行った。なお、狭隘部では、CS のガンの大きさにより、吹き付け角度が90°以下になり、溶接部の直前では最低の75°になった。吹き付け角度：75~90°、吹き付け対象との距離：15mm、吹き付け移動速度：0.4~0.5cm/sec、ガス圧力：0.55MPa、施工ルート：蛇行型（図-1）

2.2 腐食鋼板角部での CS 施工概要

2.1と同じCS装置を用いて、施工を行った。写真-3に施工箇所を示す。施工対象箇所は、2.2のセット①と同様の腐食状況であった。施工方法が成膜性に及ぼす影響について検討するために、腐食桁試験体のフランジ角部・補剛材角部を対象に、「角部への増し施工を行わない箇所（以下、増し施工なし）」と「角部への増し施工を行う箇所（以下、



写真-1 腐食した鋼橋桁端部

①	ウェブ部 補剛材 外面 フランジ 上面 平均初期錆厚 149.8μm 1種ケレン (錆完全除去)	平均初期錆厚 137.2μm 4種ケレン後 96.4μm
	1種ケレン (ブラストによる錆完全除去)	4種ケレン (ワイヤーブラシ)
②	平均初期錆厚 293.4μm 1種ケレン (錆完全除去)	平均初期錆厚 366.9μm 4種ケレン後 155.3μm
	1種ケレン (ブラストによる錆完全除去)	4種ケレン (ワイヤーブラシ)
③	平均初期錆厚 236.8μm 1種ケレン (錆完全除去)	平均初期錆厚 336.2μm 4種ケレン後 142.8μm
	1種ケレン (ブラストによる錆完全除去)	4種ケレン (ワイヤーブラシ)

写真-2 素地調整後の状態（腐食鋼桁狭隘部）

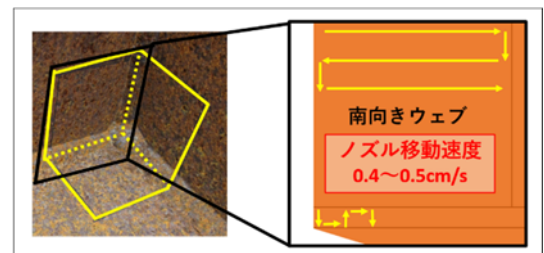


図-1 CS 施工ルート（腐食鋼桁狭隘部）

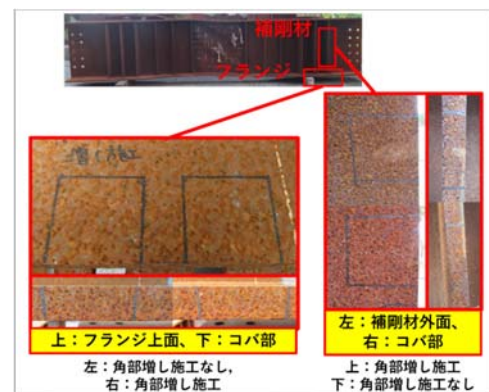


写真-3 CS 施工箇所（腐食桁角部）

増し施工あり)」に分けて施工を行った。素地調整後の状況を写真-4に示す。CS施工前の錆状況がCSの成膜性に与える影響について検討するために、2つの領域に異なる素地調整（ワイヤーブラシによる4種ケレン、プラストによる1種ケレン）でCS施工を行った。吹き付け条件を一定とするために、以下の条件で吹き付けを行った。吹き付け角度：90°、吹き付け対象との距離：15mm、吹き付け移動速度：0.4～0.5cm/sec、ガス圧力：0.55MPa、施工ルート：面に対して蛇行型（増し施工なし）、面に対して蛇行型、角部を2等分する角度（フランジ上面や補剛材外面に対し45°かつ、コバ部に対して45°）で1通り施工（増し施工あり）

2.3 評価・分析方法

(1) 膜厚測定（鋼桁狭隘部）

狭隘部は、コア抜きが不可能であるため、電磁膜厚計を用いて、施工箇所の初期膜厚を測定した。

(2) 断面観察（鋼板角部）

CS施工を行った腐食鋼板角部を口径25mmのコア抜き機で切断し、卓上SEMを用いて断面観察を行い、角部の成膜状況を確認した。

3. 結果と考察

3.1 膜厚測定結果（鋼桁狭隘部）

写真-6に各セットのCS施工後の状況を示す。初期錆厚の小さかったセット1（初期錆厚137.2μm、4種ケレン後56.4μm）は、CS施工後の初期膜厚を比較すると、各施工箇所（部材）ごとに、およそ同様の数値を示した。初期錆厚の大きかったセット2・セット3（初期錆厚330μm以上、4種ケレン後140μm以上）は同様の腐食状況であった。CS施工後の部材ごとの初期膜厚を比較すると、4種ケレンによって素地調整を行った箇所は、1種ケレンによって素地調整を行った箇所のおよそ2～3倍の数値を示した。これらのことより、ケレン後の錆厚が100μm以下の場合、CS施工による除錆・成膜が効果的に作用すること、ケレン後の錆厚が100μmより大きい場合、CS施工による除錆・成膜効果が乏しいことが考えられる。

3.2 断面観察（鋼板角部）

写真-7に断面観察結果の一例（フランジ角部）を示す。全ての断面観察結果より、素地調整の違いによらず、増し施工を行わなかった場合、母材角部には、殆どCS皮膜が成膜されていないこと、増し施工を行った場合、母材角部に100μm程度のCS皮膜が成膜されていることが確認できた。

4. まとめ

膜厚計測より、鋼桁狭隘部において、ケレン後の錆厚が100μm以下の場合、CS施工による除錆・成膜が効果的に作用することが確認された。また、断面観察結果より、素地調整の違いによらず、増し施工を行うことで、鋼板角部にCS皮膜を成膜できることが確認された。

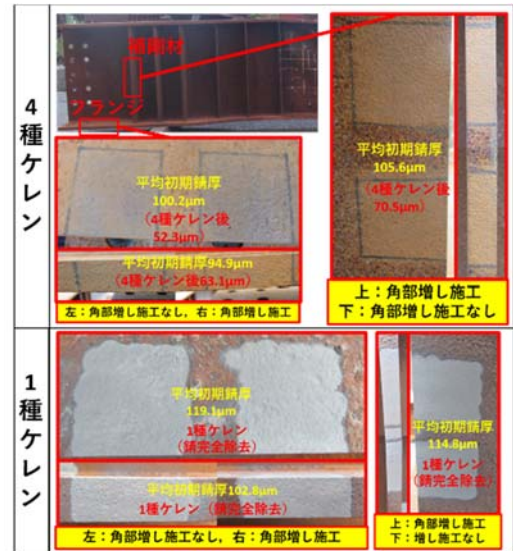


写真-4 CS施工箇所（腐食桁角部）

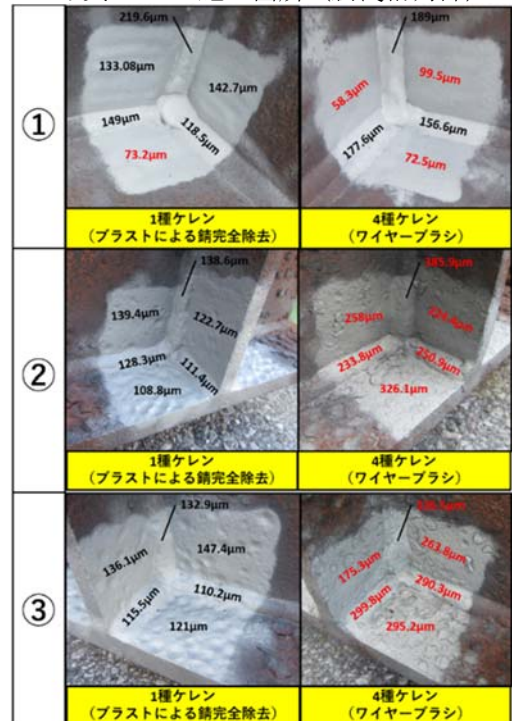


写真-6 CS施工箇所（腐食桁角部）

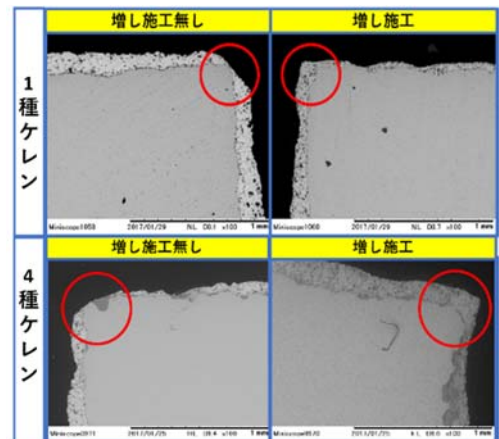


写真-7 断面観察結果例（フランジ角部）

参考資料:1) 水流, 下里: 腐食面に対するSmartZIC工法の防食性に関する実験的研究, 2014, 2) 山城, 下里: ColdSpray工法を用いた鋼桁角部の腐食面に対する防食処理技術に関する研究, 2015