

コールドスプレーによる高力ボルト角部への防食皮膜形成に関する研究

構造工学研究室 藤野佑紀

1. はじめに

橋梁の高力ボルトは腐食損傷が発生しやすい(写真 1)。原因として高力ボルトは軸力導入後の現場塗装であること、防食下地が規定されていないこと、ねじ・ナット角部等の塗膜厚の確保がしづらいことが挙げられる。そこで近年では、局所的な防食皮膜の成膜手法として Cold Spray 工法 (以下 CS 工法) が注目されている(写真 2)。

本研究では、CS 工法を用いて腐食高力ボルト角部に対し、平面と同等の防食皮膜を形成する施工方法の開発を目的とする。そして、形成された防食皮膜を成膜性と防食性の観点から評価する。

2. 試験方法

2.1. 試験体パラメータ

本研究では、試験体に琉球大学暴露場にて 2 年間大気曝露した高力ボルト (F10T、錆び厚の平均値 $100\mu\text{m}$ 程度) を用いる。試験体の施工方法を図 1 に、試験体パラメータを表 1 に示す。CS 工法は、既往研究より平板面への施工で 1 番効率の良い金属パウダー比率亜鉛 Zn: アルミナ $\text{Al}_2\text{O}_3=6:4$ とした。また、吹き付け角度は 90° 、施工速度は 5mm/s とし、目標膜厚は $70\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ とした。

本研究で用いた試験体パラメータの特徴として、角部に対して CS 施工を 2 回行う増し塗り法(①)と、残存錆びによる成膜性の影響を調べるために金属パウダーにアルミナのみを用いて錆び除去処理を前処理として行う方法がある。ここで、アルミナ処理は、角部のみ処理(②)、平面+角部の処理(③)の 2 パターン行った。また、CS の施工順序として、角部に対して吹き付け角度 90° で施工する方法は、平面に沿って角部を通るように施工する横塗り(④)、および平面と角部を上から下へ施工する縦塗り(⑤)を比較した。以上の施工方法で計 3 種類 5 パターンを用いた。

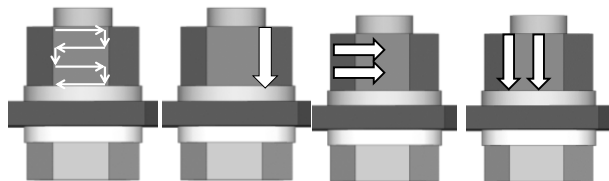
2.2 評価・分析方法

上記で作成した試験体はデジタルマイクロカッターを用いてナットの真ん中で切断し、顕微鏡による断面観察で成膜性を評価した。また、複合サイクル試験を 1、008 時間行い、648 時間時点での結果で防食性を評価した。観察箇所は、成膜性の評価と同様にナットの真ん中付近で評価した。複合サイクル試験は $35^\circ\text{C}\cdot 90\%$ を 2h (湿潤)、 $40^\circ\text{C}\cdot 50\%$ を 6h (乾燥)、この 8h を 1 サイクルとし、3 サイクルに 1 度 5% NaCl 溶液を吹き付け 1 日 3 サイクル行った。

3.1 成膜性の評価



写真 1 腐食高力ボルト 写真 2 Cold Spray 施工状況



平面施工: 増し塗り施工 角を通る施工

図 1 施工方法

表 1 試験体パラメータ

番号	名称	角部増し塗り	アルミナ処理
①	角部増し塗り	2回	なし
②	アルミナ処理		角部
③			角部+平面
④	吹き付け角度 90°	なし	なし
⑤			なし

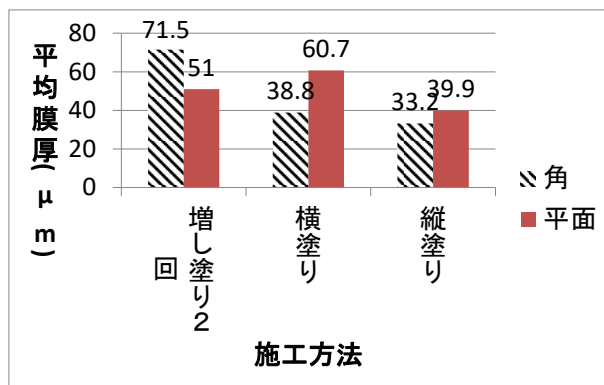


図 2 パラメータ番号①、④、⑤の平均膜厚

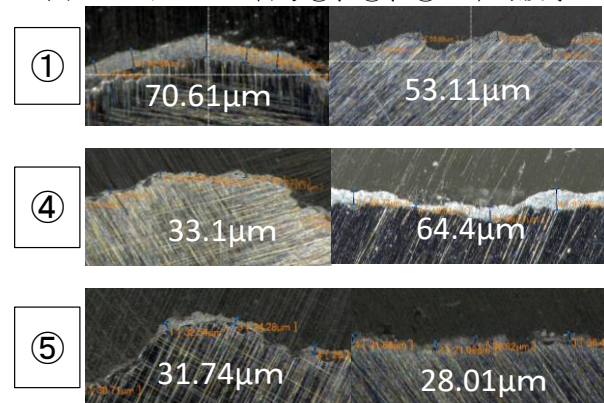


図 3 断面観察結果

3.1.1 吹き付け角度 90 度の施工

パラメータ番号①、④、⑤の平均膜厚を図 2 に、断面観察結果を図 3 に示す。ここでは、腐食ボルト角部に 1 回の施工で十分な膜厚を確保することができるかを検証する。図 2 より、角部に対して 1 回の施工では平面の目標膜厚の 3 分の 1 程度の膜厚しか形成されなかった。しかし、角部に対して 2 回の施工では平面の目標膜厚を確保することができた。これらの結果から、膜厚が確保しづらい角部には CS 施工を 2 回行う増し塗り法が効果的であると考えられる。

3.1.2 アルミナ処理+角部の増し塗り

パラメータ番号①、②、③の平均膜厚を図 4 に、断面観察結果を図 5 に示す。3.1.1 の結果より角部に対して CS 施工を 2 回行うことが効果的だと分かった。ここでは、残存錆びによる成膜性の影響を検証する。アルミナ処理の有無によって、角部に形成される膜厚に差は見られなかった。平面部はアルミナ処理による膜厚に差が見られた。これは、アルミナ処理による素地調整効果によって、膜厚が確保しやすくなったためと考える。これらの結果より、CS 施工を 2 回行う、増し塗り法を用いることで残存錆びの有無に関係なく、腐食高力ボルト角部に、平面の目標膜厚 70 μm 以上の膜厚を確保することができた。

3.3 防食性の評価

写真 2 にパラメータ番号①、④、⑤、写真 3 にパラメータ番号①、②、③の複合サイクル試験 648 時間の結果を示す。なお、土木鋼構造物に一般的に適用される溶融亜鉛メッキは 500 時間程度で錆が発生する。ここでは、角部の膜厚による防食性の効果と残存錆びによる防食性の効果を比較する。写真 2 より、増し塗り法で施工した試験体は角部からの錆びは確認されないが、吹き付け角度 90 度で施工した試験体は角部の錆びが確認された。CS 施工前に残存錆びの処理は行っていないため、施工方法によって角部に形成された膜厚の差であると考えられる。次に、写真 3 より、角部のアルミナ処理の有無によって防食性の差は見られないことから、既存錆びに関係なく平面同等の防食性が期待できると考える。

全試験体の平面部の防食性を比較すると、アルミナ処理の有無によって錆びの程度に差が出ている。断面観察より、残存錆びが少ないことと、防食皮膜が残存錆びを覆うように成膜していることから、残存錆びの影響ではなく、形成された膜厚の厚さによるものだと考える。

4. まとめ

CS 工法を用いて腐食高力ボルト角部への防食皮膜特性(成膜性、防食性)について評価した。本研究のまとめを以下に示す。

- (1) 成膜性の評価より、腐食高力ボルト角部に対し CS 施工を 2 回行う増し塗り法で、残存錆び上にも平面の目標膜厚を確保することができた。
- (2) 防食性の評価より、増し塗り法を用いて平面同等の膜厚を形成することで、残存錆びに関係なく防食性を発揮することが分かった。
- (3) 以上から、腐食高力ボルト角部に対し、平面と同等の防食皮膜を形成する施工方法に、角部に対して CS 施工を 2 回行う増し塗り法を提案する。

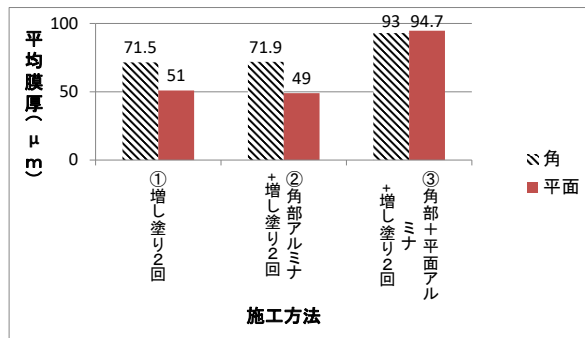


図 4 平均膜厚

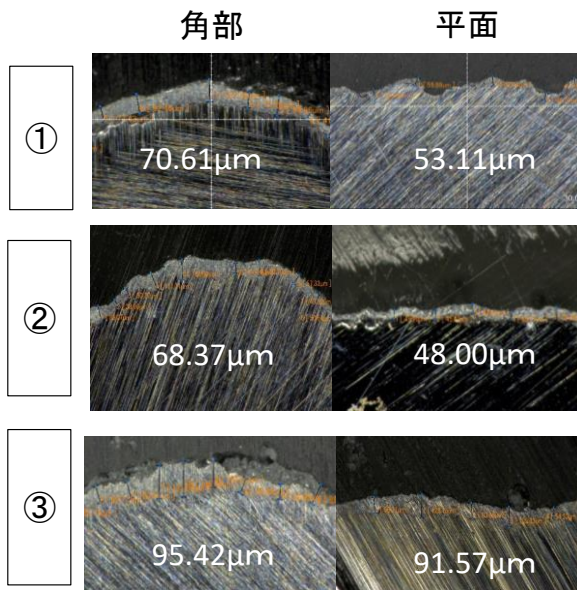


図 5 断面観察結果



左:① 中:④ 右:⑤
複合サイクル試験 (648 時間経過)
写真 2 腐食促進結果



左:① 中:② 右:③
複合サイクル試験 (648 時間経過)
写真 3 腐食促進結果