

〈一般研究課題〉 施工と点検を容易にする高機能皮膜を用いた
ボルトジョイント部の合理的な防食技術の開発
助成研究者 名古屋工業大学 永田 和寿



施工と点検を容易にする高機能皮膜を用いた
ボルトジョイント部の合理的な防食技術の開発
永田 和寿
(名古屋工業大学)

Development of corrosion protection technology of bolt joint
using high performance film for easy construction and inspection

Kazutoshi Nagata
(Nagoya Institute of Technology)

Abstract :

The purpose of this research is to develop rational anti-corrosion technology of bolt joint using high performance film which facilitates construction and inspection. This joint part is composed of a high-strength bolt and an attachment plate, and it is an important part for connecting members. However, it is difficult to completely remove the corrosion during repainting, because the film thickness becomes thin at the time of repainting, and the bolt joint portion is a weak point in corrosion protection. Therefore we examined rational anti-corrosion technique of bolt joint using high performance film having corrosion prevention performance, performance to prevent ultraviolet rays, easy to inspect performance, construction performance in this weak spot. The construction method of this research and development has novelty that it can cover the whole bolt joint part at once, so that the construction time can be shortened. In this research, the development of technology was examined by accelerated tests on a sheet-like film as a high-functional film.

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの鋼構造物が、建設から50年以上経過し、腐食や損傷による老朽化問題が指摘されている。このことから、土木構造物の維持管理の必要性が高まっている。しかし、維持管理を行うためには予算が限られていることや、専門技術士が不足しているという問題

がある。そこで、本研究では低コストかつ、容易に橋梁点検を行うことができる技術開発を目的とする。

鋼構造物の腐食の要因として、水分や塩分の付着が上げられる。その中でも、橋梁においてボルト接合部や桁端部は、多くの凹凸が存在するため、塗装が乗りにくいことから腐食の弱点部となっている。橋梁を健全な状態で、長期間使用するためには迅速な対応による防食が必要となっている。このため、腐食弱点部における容易な防食方法と、効率的な維持管理方法の検討が必要と考えられる。

本研究では、腐食弱点部であるボルト接合部に着目し、新たな防食方法を提案するため、複合サイクル試験による検討を行った。アキレス株式会社が開発したウレタンシート(以下シートAとする)とPVCシートに紫外線を吸収するコーティング材を塗布したシート(以下シートBとする)の2種類を用意し、ボルト接合部を想定した供試体に貼付した供試体を準備する。これらのシートの特徴として、水分の侵入を防ぐ他、透明なため腐食の進行具合を目視により容易に点検することが可能となる。このようなシートを用いて複合サイクル試験機にて、環境促進試験を行い、防食効果、腐食の進行を抑制する効果について確認を行った。

また、促進試験を行う上で、試験サイクルについても同時に検討を行った。塗料の一般試験方法として、JIS K 5600 7-9に記載される、サイクル腐食試験方法よりサイクルD(①中性塩水噴霧30℃/pH6.0~7.0/0.5h ②湿潤30℃/95%RH/1.5h ③熱風乾燥50℃/2.0h ④温風乾燥30℃/2.0h)が用いられる。本研究では、より短時間で促進することができると考えられる、試験方法としてJIS K 5600 7-9よりサイクルA(①中性塩水噴霧35℃/pH6.0~7.0/2.0h ②乾燥60℃/20~30%RH/4.0h ③湿潤50℃/95%RH/2.0h)についても検討した。

2. 実験方法

2.1 実験供試体

実験供試体はSS400で、縦130mm×横50mm×厚3.2mmを用いた。ショットピーニングを施し、黒皮を除去した鋼板に、名古屋高速道路公社で実際に使用されていた上塗りがポリウレタンの塗装仕様を施した。また、ボルト接合部を想定した供試体として、SS400、縦50mm×横50mm×厚3.2mmの正方形鋼板を用意し、中心にΦ22.5の穴を開け、F10T M20のボルトを用いた。

2.2 評価方法

防食効果の確認については、促進試験前後で写真を撮影し、目視による変化を観察する。供試体種類についてはシートAを貼り付けた供試体、シートBを貼り付けた供試体、シートなしの供試体の計3種類をそれぞれ3体ずつ用意した。また、腐食抑制効果の確認については、試験開始前に、促進試験を事前に行い、先行腐食を発生させた供試体を試験前として写真を撮影した。その後、シートAを貼り付けた供試体、シートBを貼り付けた供試体、シートなしの供試体の計3種類をそれぞれ3体ずつ用意し、腐食の進行について着目した。ボルト付き供試体については腐食の判断をわかりやすくするため、鋼板をショットピーニングにより、黒皮を除去した後、シートAを貼り付けた供試体、シートBを貼り付けた供試体、シートなしの供試体の計3種類をそれぞれ3体ずつ用意し、防食効果の確認と同様に試験を行い、評価を行った。

試験サイクルの検討については、腐食減量値を用いて検討を行う。長方形鋼板(ss400:縦130×横56×厚さ3mm)をショットブラストした後、重さを測定し試験前質量とする。その後、裏面にマスキングテープを貼り付ける。評価面を表面のみとし複合サイクル試験を2種類のサイクルで実施した。試験後、マスキングテープを取り、発生した腐食生成物をくえん酸水素二アンモニウム水に浸漬し除去する。重さの変化がなくなるまでこの作業を繰り返し行い、最終的な供試体質量を試験後質量とした。腐食減量値は、下式の計算式より算出した¹⁾。

$$\text{腐食減量値(g/mm}^2\text{)} = (\text{試験前質量} - \text{試験後質量}) / \text{試験片面積} \quad (1)$$

2.3 複合サイクル試験

一般用錆止めペイントの耐久試験において、通常JIS K 5600 7-9(サイクル腐食試験方法)よりサイクルDが用いられることが多い。しかし、どちらがより適しているか詳細に記載されている文献があまり得ることが難しい。そこで本試験であるシートの防食効果及び、腐食抑制効果の確認試験を行う前にどちらがより、短時間で試験体の腐食を促進させることができるのか検討するため、サイクルAとサイクルDの2方法で促進試験を行い、腐食減量値を比較することでその検討を行った²⁾。

JIS K 5600 7-9(サイクル腐食試験方法)よりサイクルDの試験サイクルを以下に示す。

- 1 : 0.5h 30℃±2℃ 5%濃度の塩化ナトリウム水溶液を噴霧
- 2 : 1.5h 30℃±2℃ 湿潤(95±3)%RH
- 3 : 2.0h 50℃±2℃ 熱風乾燥
- 4 : 2.0h 30℃±2℃ 温風乾燥

次に、JIS K 5600 7-9(サイクル腐食試験方法)よりサイクルAの操作方法について以下に示す。

- 1 : 2h 35℃±1℃ 5%濃度の塩化ナトリウム水溶液を噴霧
- 2 : 4h 60℃±1℃ 乾燥 20-30%RH
- 3 : 2h 50℃±1℃ 湿潤95%RH及びそれ以上

3. 促進試験および実験結果

3.1 腐食減量値の比較

サイクルD及び、サイクルAの両サイクルにおいて、試験開始後、24h、48h、96hで3供試体ずつを取り出し、腐食減量値を算出した。図1に各時間における、腐食減量値の平均について示す。図1より、サイクルDに比べてサイクルAのほうが、腐食減量値がおおよそ2~3倍程度大きいことが分かる。これより、サイクルAのほうが促進倍率は大きく、より短時間で促進試験を行う事が可能と考えることができる。

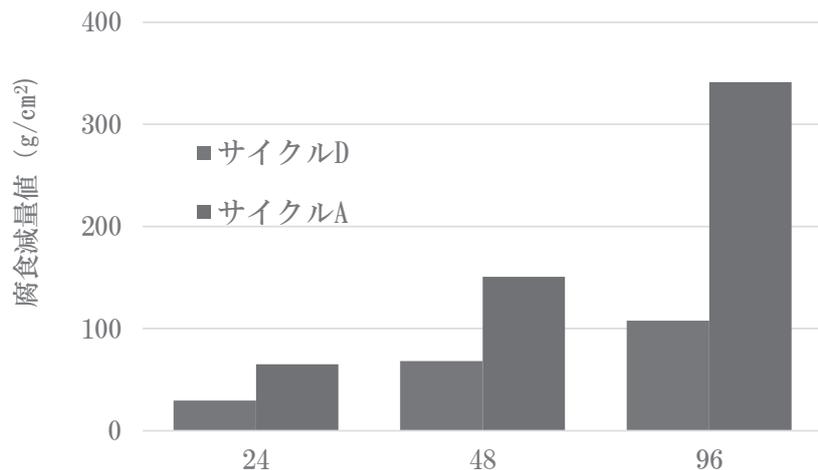


図1 各時間における腐食減量値

3.2 シートによる腐食防食効果

塗装した鋼板にシートなし(供試体番号①～③)、シートAを貼り付けた供試体(供試体番号④～⑥)、シートBを貼り付けた供試体(供試体番号⑦～⑨)の計3種類の供試体を各3体ずつ用意し、サイクルAを用いた促進試験を行った。評価方法は試験前と試験後を写真撮影及び目視により、腐食の発生状況を確認した。以下に各供試体における、初期状態と試験後(14日間：42サイクル)を表1に示す。

表-1より試験前と試験後を比較すると、シートなしの供試体について、試験後はクロスカットの部分で腐食の発生が確認できた。シートAを貼り付けた供試体について、クロスカット部での腐食の発生はなかった。しかし、供試体番号④において、シート内部に塩分が侵入しており、マスキングテープ周辺で黄変が確認された。また、シートBを貼り付けた供試体について、シートA同様にクロスカット部での腐食の発生はなかったが、供試体番号⑧において、塩分がシート内部に侵入し

表1 各時間における腐食減量値

供試体番号			①	②	③
試験前(0h)					
試験後(336h)					

供試体 番号	④	⑤	⑥	⑦	
試験前 (0h)					/
試験後 (336h)					

ており、マスキングテープ周辺での黄変が確認された。

3.3 シートによる腐食抑制効果

塗装した鋼板にシートなし(供試体番号⑩～⑫)、シートAを貼り付けた供試体(供試体番号⑬～⑮)、シートBを貼り付けた供試体(供試体番号⑯～⑲)の計3種類の供試体を各3体ずつ用意し、サイクルAを用いた促進試験を行った。評価方法は試験前と試験後を写真撮影及び目視により、腐食の発生状況を確認した。以下に各供試体における、初期状態と試験後(14日間：42サイクル)を表2に示す。

表2 各時間における腐食減量値

供試体 番号			⑧	⑨	⑩
試験前 (0h)					
試験後 (336h)					

供試体 番号	⑪	⑫	⑬	⑭	
試験前 (0h)					
試験後 (336h)					

表-2より試験前と試験後を比較すると、シート無しの供試体については、3体ともクロスカット中央部で腐食の進行が確認できる。それに対して、シートAを貼り付けた供試体については、試験前と特に変化はなく、シートを貼り付けることで、腐食の進行を抑制できていることが確認できた。しかし、供試体番号⑬においては、写真右上と左上の部分で、黄変が確認できる。考えられる原因として、先行腐食を発生させるために付着させた塩分が、シート内部で反応したためと考えられる。シートBを貼り付けた供試体は試験前と特に変化はなく、腐食の進行を抑制できていることが分かる。

3.4 ボルト接合部への適用について

ボルト接合部を想定した供試体について、シート無しの供試体(供試体番号①～③)、シートを貼り付けた供試体(供試体番号④～⑥)、シートBを貼り付けた供試体(供試体番号⑦～⑨)の3種類を各3体ずつ用意した。試験方法はサイクルAを用いて行った。また、試験時間は、シート無しの供試体が48h(6サイクル)、シートAを貼り付けた供試体が216h(27サイクル)、シートBを貼り付けた供試体が168h(21サイクル)行った。シート無しの供試体については、試験開始後すぐの時間帯で全面的に腐食が発生したため、48h経過した段階ですべての供試体を試験機から取り出した。試験時間に統一性がないのは、環境促進試験機を使用する関係上このような時間数となった。表3～5に各種類の供試体の試験前と試験後を示す。

供試体の作成について、ショットピーニングにより黒皮を除去した後、ボルトとナットを締めて固定する。黒皮を除去した面は、非常に腐食が発生しやすいので、素手で触らないように手袋をして、準備を行った。

表3 ボルト付き供試体：シート無し

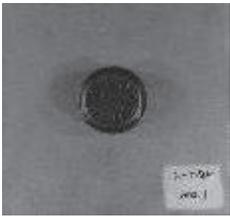
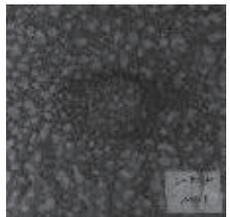
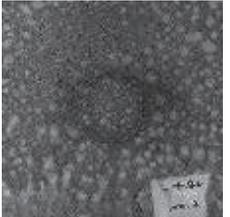
供試体 番号	①	②	③
試験前 (0h)			
試験後 (48h)			

表3より試験前と試験後を比較すると、試験後は全体的に腐食が発生していることが分かる。

表4 ボルト付き供試体：シートA

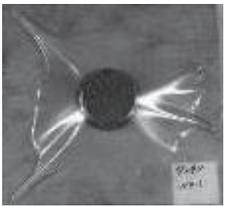
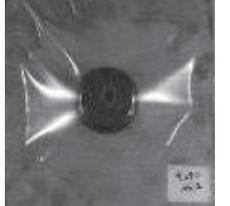
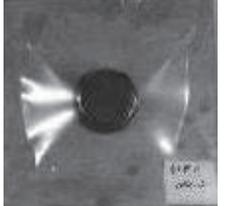
供試体 番号	④	⑤	⑥
試験前 (0h)			
試験後 (216h)			

表4より試験前と試験後を比較すると、供試体番号④と⑥はボルト周辺で大きく腐食が発生していることが分かる。考えられ原因として、ショットピーニングによって、鋼板が微小の凹凸が存在してしまい、シート鋼板の密着性が不十分になってしまったと考えられる。しかし、供試体番号⑤においては、腐食の進行が、左上のみとなっており、シートによる防食効果が顕著に確認することができる。今回の試験では、シートを貼り付ける際に鋼板の表面のみの貼り付けしたためこのような結果になったと予想される。

表5 ボルト付き供試体：シートB

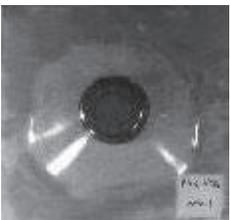
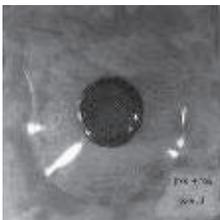
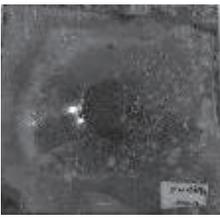
供試体 番号	⑦	⑧	⑨
試験前 (0h)			
試験後 (168h)			

表5より試験前と試験後と比較すると、3つの供試体に共通する結果として、シートが剥がれていることが確認できる。シートの剥がれは、試験開始後120hの時点で確認できている。シートが剥がれた原因として、シートBはシートAに比べて非常に厚く、また延性に乏しいことから、凹凸部に貼り付けることが非常に困難であることが挙げられる。このため、促進試験の途中で剥がれてしまったと考えられる。しかし、各供試体シートが剥がれてはいるが、全体的に腐食している供試体は⑨だけとなっており、シートの高い密着性を確認することができる。

4. まとめ

環境促進試験を通して以下の知見を得ることができた。

- ・サイクル毎に腐食減量値を比較した結果、サイクルDよりサイクルAのほうが腐食減量値は大きく、促進倍率が高いことが確認できた。
- ・シートA、シートB共に、防食効果及び腐食抑制効果について確認することができた。
- ・現場への適用を考慮するとシートAのほうが適していることがわかった。
- ・シート内部で黄変が発生したことに関して、シート内部での残存塩分量が関係している可能性がある。
- ・ボルト接合部への適用を考えると、対象領域以上をシートで覆う必要があると思われる。

参考文献

- 1) 林 直宏、山下勝也、小林弘明、片岡泰弘：複合サイクル試験の腐食促進試験への適用、2013年
- 2) 日本ウェザリングテストセンター：促進暴露試験ハンドブック〔I〕促進耐候性試験、2009年