

耐候性鋼橋梁の適切な維持管理 (点検・補修等) に関する技術開発

大屋 誠¹

¹ 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 教授

本研究では、耐候性鋼橋梁の適切な維持管理を行う場合の詳細調査、補修設計、補修工事の一連の流れを架橋後約 30 年が経過したさび安定化補助処理が施された耐候性鋼橋梁を対象に実施した事例を報告する。また、新たな補修工法として塩分除去に水を使用しない「水洗レス工法」と塗装補修より耐久性の向上を図ることができる「チタン箔工法」を耐候性鋼橋梁の補修工法として試験施工した事例を報告する。

キーワード：耐候性鋼橋梁，詳細調査，補修工事，イオン透過抵抗法，水洗レス工法，チタン箔工法

1. はじめに

耐候性鋼橋梁の適切な維持管理に関する技術開発を行うために、島根県益田市の架橋後約 30 年経過したさび安定化補助処理が施された耐候性鋼橋梁を対象とした。この橋梁は事前の外観目視調査や環境調査より、補修工事が必要と判断された橋梁である。本研究において、適切な補修工事を行う上で必要と思われる詳細調査の項目や補修設計の考え方を整理する。実際の耐候性鋼橋梁の補修工事の状況を示し、素地調整の方法や各段階における管理基準を明確にする。今回の補修工事では、詳細調査においてさび状態をイオン透過抵抗法²⁾を用いて腐食診断を行い、腐食状況や今後の腐食環境の変化を考慮し、部分補修により 3 種類の処理を行うこととした。補修工事は、塗装による補修（耐候性鋼用 Rc-I 塗装系）、延命化を施す部分（耐候性鋼用延命化処理）、そして無

補修の部分で補修施工を実施した。また、新たな補修工法として塩分除去に水を使用しない「水洗レス工法」と塗装補修より耐久性の向上を図ることができる「チタン箔工法」を耐候性鋼橋梁に適用可能か、試験施工を行った。その仕様と施工状況、補修工事後の経過観察の状況を報告する。

2. 調査対象橋梁の概要と事前環境調査結果

対象橋梁の位置と概況を図-1 に示す。対象橋梁は、益田市の沖田川に 1985 年に架橋された 2 径間のさび安定化補助処理を施した耐候性鋼材を用いた単純桁橋である。離岸距離は、日本海から 800m で、詳細調査を実施する前に、ドライガーゼ法による 1 年間の飛来塩分調査とワッペン式曝露試験が実施され、年平均飛来塩分量が桁下で 0.84 mdd、桁内で 0.60 mdd であった。また、ワッペン試験片による 1 年間



図-1 対象橋梁の位置



- (1) 外観観察
- (2) さび・被膜厚測定（電磁膜厚計）
- (3) イオン透過抵抗測定
（イオン透過抵抗測定装置）
- (4) 付着塩分量測定（表面塩分計）
- (5) さび硬さ測定（硬さ測定器）
- (6) コア材埋め込み研磨，外観観察
- (7) コア材の EPMA 分析
- (8) 添接部と支承部の高力ボルト調査
- (9) 腐食マッピング，補修マッピング

図-2 詳細調査項目一覧

の腐食減耗量は、ウェブ内側で0.06mmを超え、ウェブ外側で0.02mm以下、下フランジ上面が0.034mm、下フランジ下面が0.02mm~0.027mmであった。以上の腐食環境調査結果より、補修工事が必要という判断となった。

3. 詳細調査の概要と補修計画

詳細調査では、補修において損傷箇所の補修だけでなく、損傷の原因を明らかにし、その原因も除去することが重要であるので、この点を考慮しながら図-2 に示す項目の調査を実施した。詳細調査における調査箇所を図-3 に示す。詳細調査では、さび安定化補助処理材 (P+T 処理材) の塗膜の劣化・さび状態の腐食診断はイオン透過抵抗法を用い、腐食部位を腐食マッピングとして描くことにより腐食状況を明確化し、補修箇所の選定を行った。補修塗装では、塗装の耐久性を考慮し素地調整程度を1種とし、さびをできるだけ除去すること、また、塩分を50mg/m²以下とすることが望ましいが、耐候性鋼材のうろこ状さびや層状さびは硬く、さびが鋼材に食い込んでいるためブラストのみで目標とする素地調整程度1種にすることは難しいと考えられるため、ブラスト前にハンマーや動力工具で前処理をする必要があると考えた。添接部の腐食が著しかったので、高力ボルトの残存軸力を推定³⁾するために、ボルト頭・ナットの寸法測定を実施した。

詳細調査より、補修計画ではイオン透過抵抗

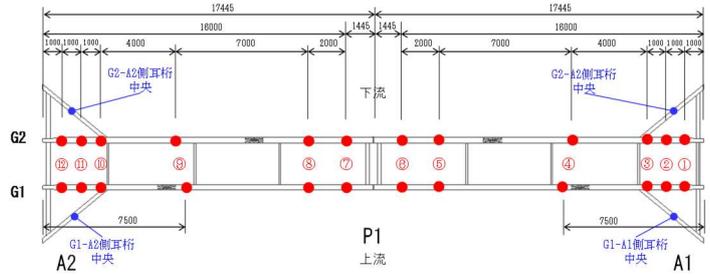


図-3 対象橋梁の測定位置

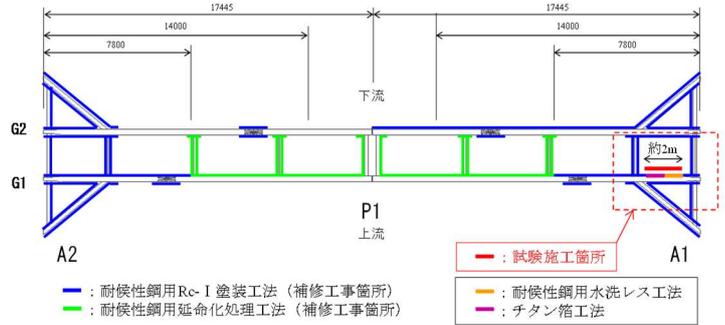


図-4 補修工事箇所及び試験施工箇所

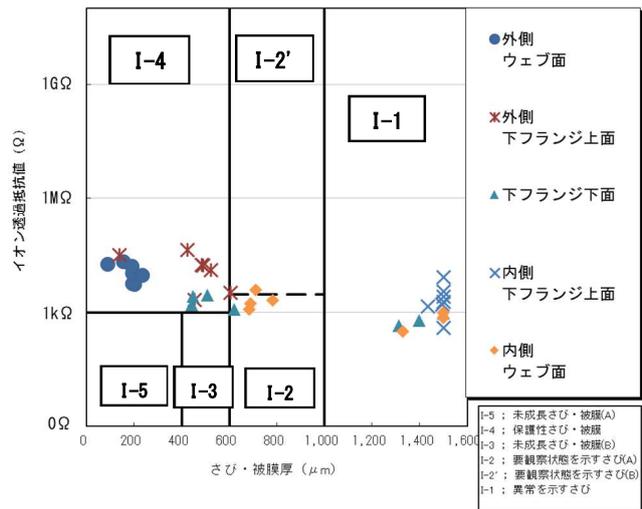


図-5 G1桁A1側の部位別のさび・被膜厚とイオン透過抵抗値の関係

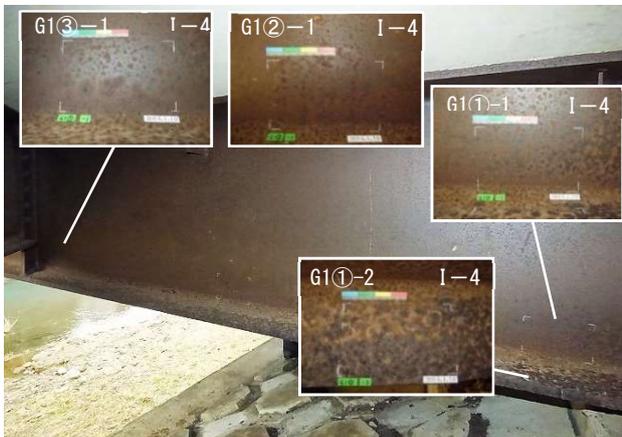
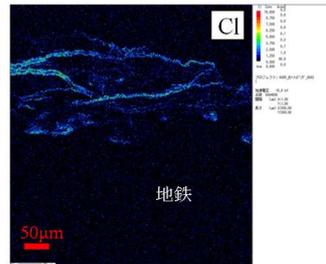
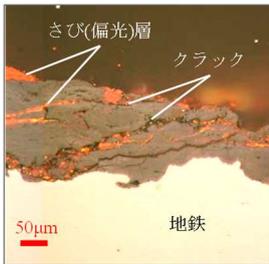
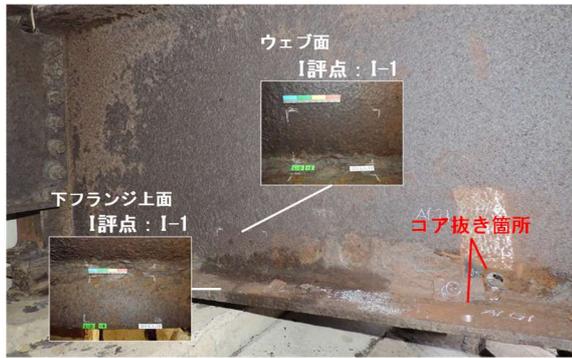


図-6 G1桁A1側外側のさび状態のI評点

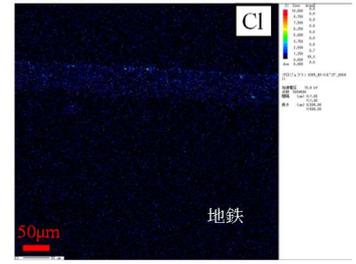
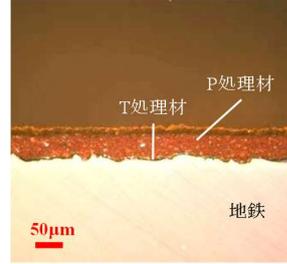


図-7 G1桁A1側内側のさび状態のI評点



残存板厚：11.96mm
(設計板厚：14.00mm)

(a) I 評点 I-1 「異常を示すさび」



残存板厚：10.32mm
(設計板厚：10.00mm)

(b) I 評点 I-4 「保護性さび・被膜」

図-8 コア材採取箇所近傍外観とさび層断面の分析結果

法による I 評点 I-1 の異常さび（層状剥離さび）発生範囲については、環境遮断機能を持つ塗装による補修（耐候性鋼用 Rc-I 塗装系（水洗工法））を行うこととし、I 評点 I-2, I-2' の要観察状態のさび（うろこ状さび）については、耐用年数を延命化させる処理（耐候性鋼用延命化処理）を行い、約 30 年経過しても異常さびが生じていない範囲については、無補修とする部分補修による補修計画とした。計画概要を図-4 に示す。耐候性鋼用 Rc-I 塗装系は桁全体の約 50%，耐候性鋼用延命化処理は約 16%，無補修部は約 34%である。

図-5 にイオン透過抵抗法によるさび・被膜状態の評価結果である測定位置 G1 桁 A1 側のイオン透過抵抗値とさび・被膜厚の関係を示す。図-5 より、外側（上流側）には良好なさび・被膜状態の箇所が多いが、内側（下流側）は、I-1 の異常を示す領域に多くの測定結果が入っている。測定箇所の写真と I 評点の結果の一部を図-6、図-7 に示す。図-6 は、G1 桁 A1 側外側（上流側）で、約 30 年経過した現在でも被膜が残っており、良好な腐食状態である。図-7 は、G1 桁 A1 側内側（下流側）で、層状剥離さびが確認される。

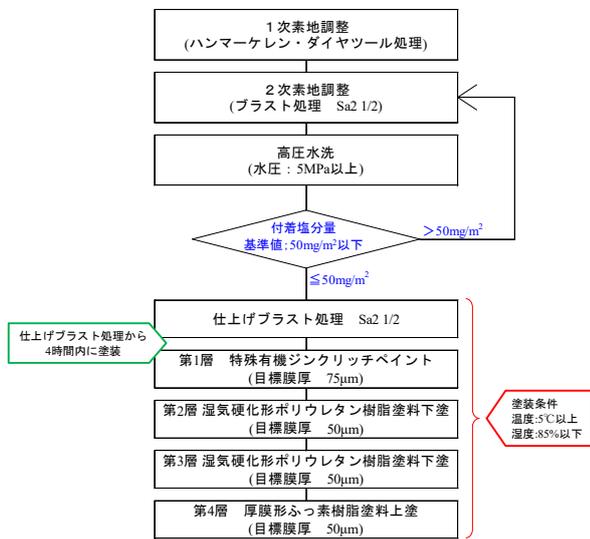
本調査においてイオン透過抵抗法のさび安定化補助処理材への適用性を確認するため、コア材を実橋梁より採取し、さび・被膜厚、残存板厚、偏光顕微鏡観察、および EPMA カラーマッピング分析を行い、評価法の検証を行った。コア材の採取箇所は、塗装補修対象となる I 評点 I-1 「異常を示すさび」と評価される箇所（G1 桁 A1 側①）と I 評点 I-4 「保護性さび・被膜」と評価される箇所を選定した。コア材採取箇所近傍の外観、断面偏光顕微鏡観察結果、EPMA 分析結果を図-8 に示す。図-8 (a) より、厚さ 10mm 以上の層状剥離さびが見られ、表面にさび安定化補助処理材は残存しておらず、腐食が大きいことがわかる。さびの表層には層状さび剥離の痕跡が見られ、さび層中にクラックが連続的に横方向に発生していた。EPMA 分析より、Cl は、さび層中にクラックに沿って侵入しており、地鉄界面にも部分的に存在していた。図-8 (b) では、表面にさび安定化補助処理材が残存しており、腐食はしていない。さびの発生は見られず、Cl の存在は確認されなかった。さび安定化補助処理された耐候性鋼橋梁における、I 評点 I-1 のさび層の状態は、裸使用の耐候性鋼橋梁における I 評点 I-1 のさび層の状態と同様の状態にあること

がわかった。イオン透過抵抗法を用いて、さび安定化補助処理が施された耐候性鋼橋梁の腐食状態を定量的に評価できることを確認した。

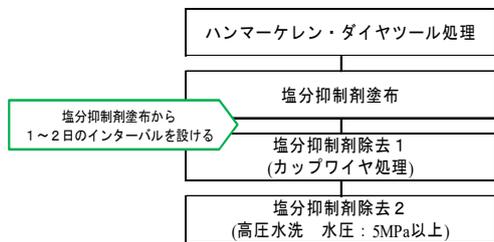
4. 補修工事と試験施工のフロー

図-9 に対象橋梁の補修工事に採用した補修仕様を示す。耐候性鋼用 Rc-I 塗装系とは、塗装橋塗り替え用 Rc-I 塗装系を基に、耐候性鋼材特有の固着さびの除去を目的としたハンマーケレンやダイヤモンドによる 1 次素地調整を要補修部に取り入れ、また、さび層に内在する塩分の除去を目的としたブラスト後の高圧水洗による塩分除去工程、孔食内に残る可能性のある内在塩分を考慮し、通常の有機ジンクリ

ッチペイントよりも耐候性の強い特殊有機ジンクリッチペイントを適用、塗装塗り替え用 Rc-I 塗装系よりも 1 層少ない省工程塗装を採用した塗装系である。耐候性鋼用延命化処理とは、ハンマーケレンやダイヤモンド処理で素地の調整を行い、塩分抑制剤を塗布することによりさび層内や孔食内の内在塩分を抑制し、腐食速度を遅くすることで耐用年数を延長させることを目的とした工法である。図-10 に試験施工に採用した「水洗レス工法」と「チタン箔工法」の補修仕様を示す。「水洗レス工法」では、塩分除去の工程に腐食抑制剤による塩分除去工程を入れ、高圧水洗による工程を削除している。「チタン箔工法」では、耐候性鋼材の腐食によって発生した凹凸の不

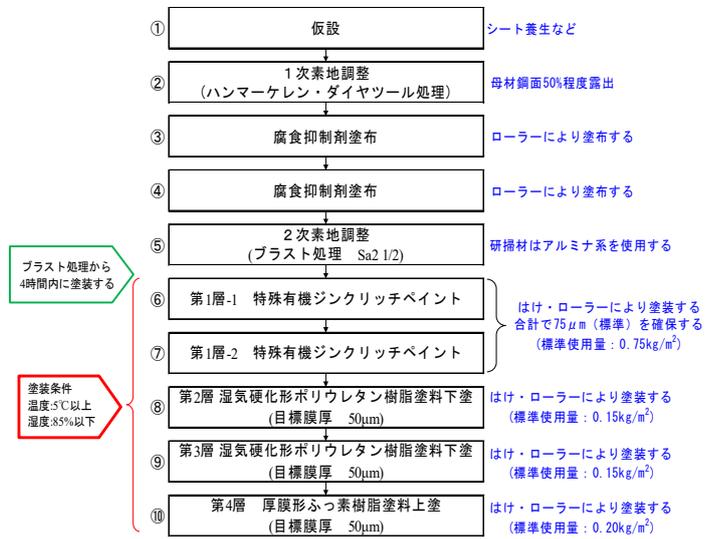


(a) 耐候性鋼用 Rc-I 塗装系
(水洗工法)

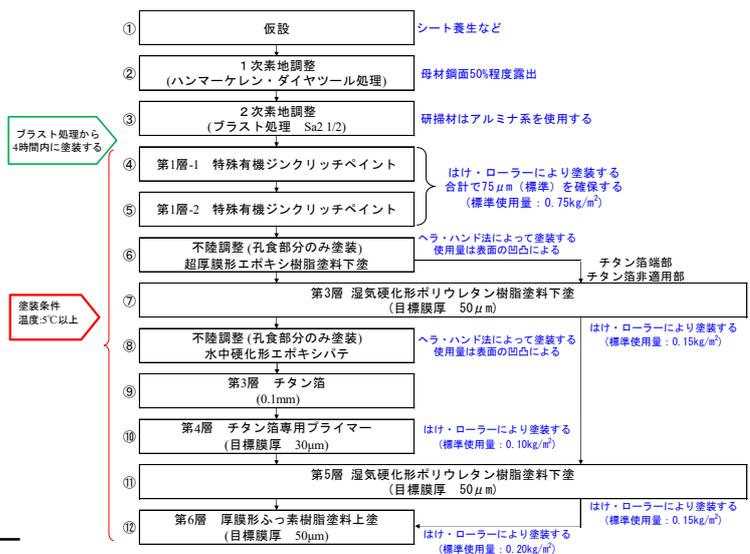


(b) 耐候性鋼用延命化処理

図-9 補修工事の補修仕様の施工フロー



(a) 水洗レス工法



(b) チタン箔工法

図-10 試験施工の補修仕様の施工フロー

陸処理の過程が導入されていることが特徴である。素地調整では、事前調査において、さび安定化補助処理材に鉛、六価クロムの含有が確認されたため、素地調整の際の塗装の剥離やかき落としの際の有害物の飛散防止や作業労働者の健康管理のための対策が行われた。

5. 補修施工および試験施工の結果

補修塗装において、素地調整は補修した塗膜の耐久性を左右する要因となる。耐候性鋼橋梁の素地調整もブラスト法による素地調整程度1種（ISO Sa2^{1/2}相当以上）に仕上げることを基本とした。また、付着塩分量の管理は、耐候性鋼用 Rc-I 塗装系では、高圧水洗により付着塩分量を洗い流すこととした。鋼道路橋防食便覧⁴⁾に記載された要求事項の付着塩分量 50mg/m² 以下を満たすためには、付着塩分量の測定結果が 50mg/m² 以下になるまで作業を繰り返さなければならない。過去の耐候性鋼橋梁の補修塗装事例⁵⁾から、ブラスト処理と高圧水洗を2~3回繰り返す必要があると予想された。今回の補修工事における素地調整時の付着塩分量の推移を図-11に示す。今回の施工において、ブラスト処置と高圧水洗を各1回行った時点で付着塩分量 50mg/m² 以下を満たすことができた。

耐候性鋼用 Rc-I 塗装系では、高圧水洗を用い付着塩分除去を行ったが、実際の工事では、水洗水の確保が難しい場合や水洗水をすべて回収することが難

しい場合があるため、水洗水を使用しないで塩分除去を適切に実施できる工法「水洗レス工法」の開発を試みた。また、通常的水洗による塩分除去を行う「水洗工法」や「水洗レス工法」よりもさらに長い耐用年数を期待できる「チタン箔工法」について、不陸が多数発生している場合の施工可能性と耐久性の評価を行うこととした。素地調整工程の付着塩分量推移を図-12に示す。ダイヤモンド処理後の付着塩分量は、「水洗レス工法」で41~155mg/m²、「チタン箔工法」で33~76 mg/m²の値を示した。「水洗レス工法」において、腐食抑制剤塗付後の付着塩分量が1,999mg/m²を上回る値を示したが、ブラスト処理後の付着塩分量は、「水洗レス工法」で2~28mg/m²、「チタン箔工法」で8~17mg/m²の値を示し、基準である付着塩分量 50mg/m² 以下を達成した。

塩害により部分的に異常さびが発生したさび安定化補助処理を施した耐候性鋼橋梁の補修工事後、耐候性鋼用 Rc-I 塗装系および耐候性用延命化処理を実施した施工面で、4ヶ月と9ヶ月経過時点の経過観察を行い、異常は見られず良好な状態であることを確認した。また、「水洗レス工法」と「チタン箔工法」の試験施工を実施した箇所は、「水洗レス工法」施工面、「チタン箔工法」施工面共に6ヶ月目時点で良好な状態にあることを確認した。今後、継続的な現地施工面における経過観察より、追跡調査を実施し、各仕様の長期耐久性評価に関するデータ取得を実施する予定である。

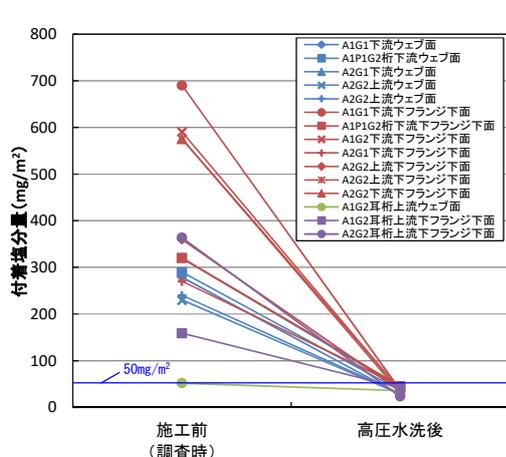


図-11 素地調整時の付着塩分量推移

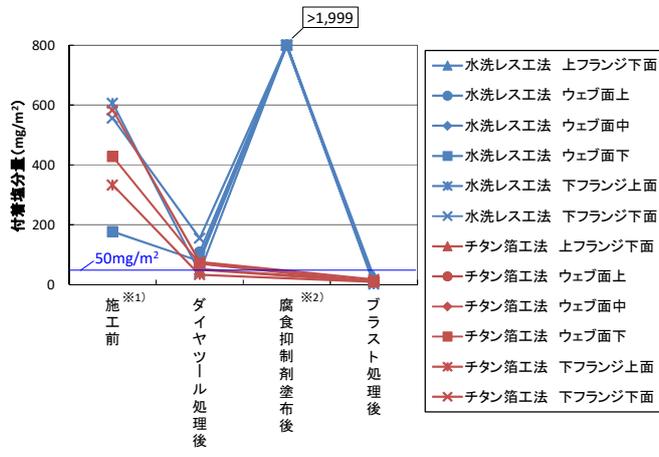


図-12 試験施工素地調整工程の付着塩分量の推移

6. まとめ

益田市の管理する約 30 年供用されたさび安定化補助処理を施した耐候性鋼橋梁において、腐食環境調査、詳細調査、補修設計、補修施工の手順や考え方を整理し、補修工事を実施した。また、新たな補修施工法として「水洗レス工法」および「チタン箔工法」の試験施工を行い、耐候性鋼橋梁の適切な維持管理（点検・補修等）を実現するための重要な知見を得た。

謝辞：本研究は産官学連携により、腐食環境調査、詳細調査、補修設計、補修工事および試験施工を実施しました。本研究を実施するにあたり、松江工業高等専門学校、耐候性鋼橋梁を管理する益田市、詳細調査および補修工事を請負われた株式会社三研技術、詳細調査や試験施工を実施いただいた日鉄住金防蝕株式会社の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 武邊勝道：既設耐候性鋼橋梁の腐蝕減耗量予測法の高度化，建設事業の技術開発に関する助成事業成果報告書，（一社）中国建設弘済会，pp.77-95，2013.
- 2) 今井篤実，大屋誠，武邊勝道，麻生稔彦：さび安定化補助処理を施した耐候性鋼橋梁の表面状態とその評価，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69，No.2，pp.283-294，2013.
- 3) 下里哲弘，田井雅行，有住康則，矢吹哲哉，長嶺由智：腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究，構造工学論文集 Vol.59A，pp.725-735，2013.
- 4) （公社）日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，2014.
- 5) 今井篤実，山本哲也，麻生稔彦：耐候性鋼橋梁の防食補修塗装法の実施に関する一考察，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.68，No.2，pp.347-355，2012.