

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（1年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	麻生稔彦（あそうとしひこ）		山口大学大学院 創成科学研究科		教授	
②研究 テーマ	名称	耐候性鋼橋梁の診断・補修技術の高度化についての研究開発				
	政策 領域	[主領域]	公募 タイプ	タイプⅣ		
		[副領域]				
③研究経費（単位：万円）	平成29年度	平成30年度	平成31年度	総合計		
※H29は受託額、H30以降は計画額を記入。端数切捨。	1,750	1,306	1,247	4,303		
④研究者氏名（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）						
氏名		所属・役職				
大屋 誠		松江工業高等専門学校・教授				
武邊勝道		松江工業高等専門学校・准教授				
広瀬 望		松江工業高等専門学校・准教授				
田島啓司		山口大学大学院創成科学研究科・助教				
⑤研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）						
本研究は、耐候性鋼橋梁の長寿命化手法を確立する研究である。耐候性鋼橋梁を適切に維持管理し、長寿命化をはかるためには、橋梁がおかれている環境の評価手法、鋼材表面に生成するさびの評価手法、効果的な補修技術の確立が必要不可欠である。そのため、以下の事項を目標として研究を進める。平成29年度はこのうち(1)～(3)について実施した。						
(1) 耐候性鋼橋梁の腐食予測シミュレーション技術の開発						
(2) ICT技術を援用した腐食判定法の高度化						
(3) 腐食耐候性鋼材の補修効果の解明						
(4) 耐候性鋼材の腐食評価・補修フローの提案とマニュアル化						

⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでの研究目標の達成状況とその根拠(データ等)を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。また、研究の目的・目標からみた研究計画、実施方法、体制の妥当性についても記入。)

(1) 耐候性鋼橋梁の腐食予測シミュレーション技術の開発

耐候性鋼橋梁の腐食には種々の要因が複雑に影響することが知られており、これにより実際に発生する腐食の予測が困難な状況にある。そこで、3Dモデリング技術と環境評価シミュレーションを結合し、個々の橋梁における腐食状況がシミュレート可能なシステムの構築を目指す。

本研究では鳥取県倉吉市の高架橋を対象に以下の手順により、腐食予測シミュレーション技術の開発を行う。本年度実施した〔Step1〕及び〔Step2〕の結果を以下に示す。

平成 29 年度	〔Step1〕 対象橋梁の周辺のモデル空間を作成する。
	〔Step2〕 高架橋の3Dモデリングを行い、高架橋の腐食マップより、3次元的な構造の影響による高架橋の腐食の進行度合いを確認する。
平成 30 年度	〔Step3〕 飛来塩分量と気象データ(風向・風速)の関係に関する評価
	〔Step4〕 飛来塩分量による鋼板面の腐食に関し、地形の影響、構造物の3次元的な影響を把握するシミュレーション手法の検討と腐食状況の対応を評価する。
平成 31 年度	〔Step5〕 気象解析による風向・風速の計算値と飛来塩分量の関係の評価
	〔Step7〕 飛来塩分量、気象データを用いて、3Dモデルとシミュレーション技術を用い、橋梁構造物の腐食予測を行う技術の構築を目指す。



図-1 モデル空間の作成

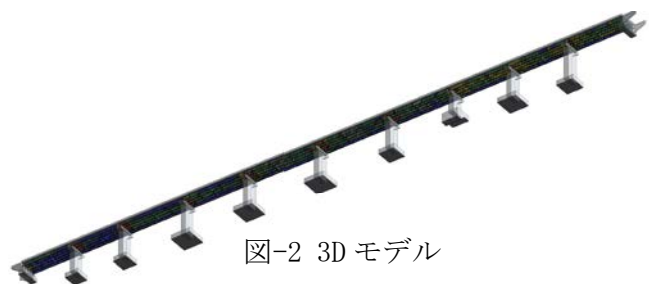


図-2 3Dモデル

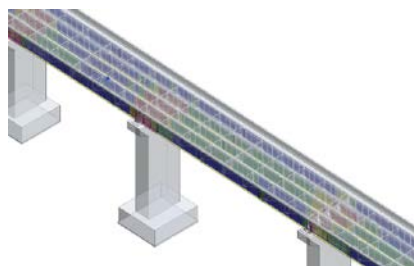


図-3 腐食マップ

評点	表記方法
目視不可	黒
5 未成長さび(A)	青
4 保護性さび	緑
3 未成長さび(B)	黄
2-x,y,z, 2-x(b), y(b), z(b) 要観察状態	赤
1-x, 1-x(b) 異常を示すさび	紫
1-y,z, 1-y(b), z(b) 異常を示すさび	白

腐食マップより，連続桁橋の桁中央部に比べ，橋脚周辺の腐食は進行していることが確認できる。

高架橋のA1, P3, P5, P8, A2において，桁下と桁内でドライガーゼ法による飛来塩分量及び橋面とP3桁内で風向・風速の観測が実施されている。機器の設置位置を図4に示す。また，図5に橋面で観測された風の風配図を示す。北や北北西（日本海側）及び南東や南南東の成分が卓越しており，日本海から飛来する海塩粒子による飛来塩分が桁内にかなり流入しているものと思われる。今後，これらの観測結果と3Dモデルを用いたシミュレーションにより環境評価を試みる。

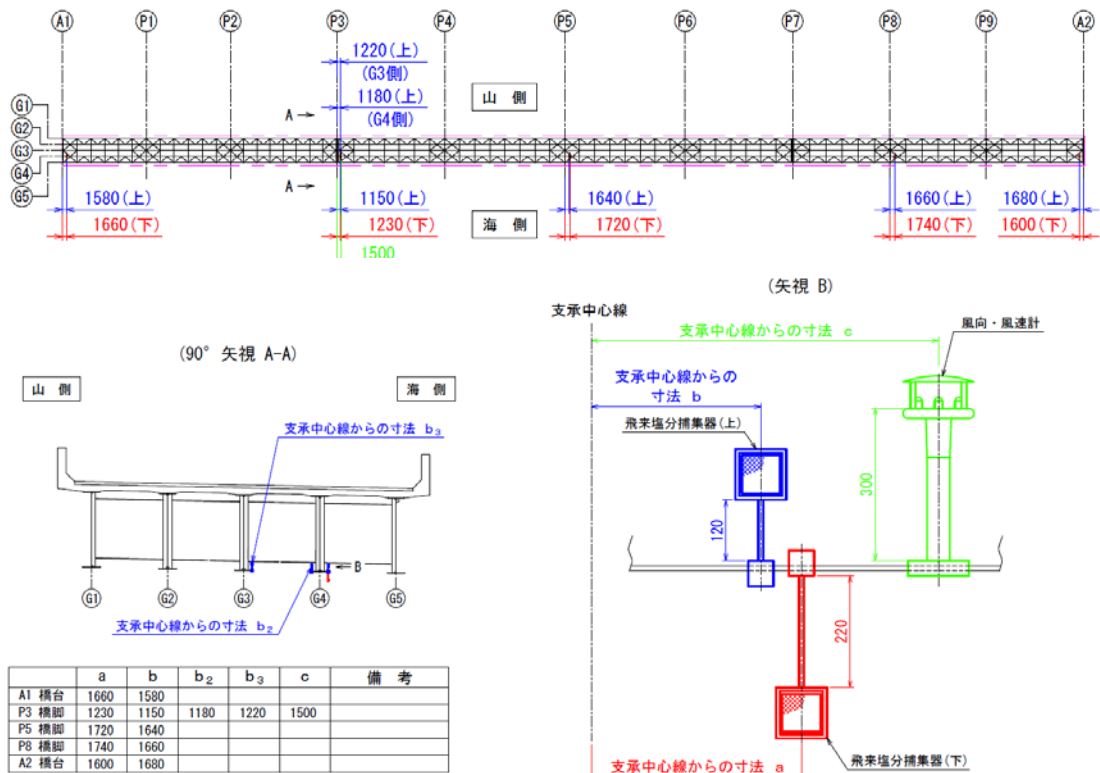


図-4 飛来塩分量及び風向・風速の計測位置

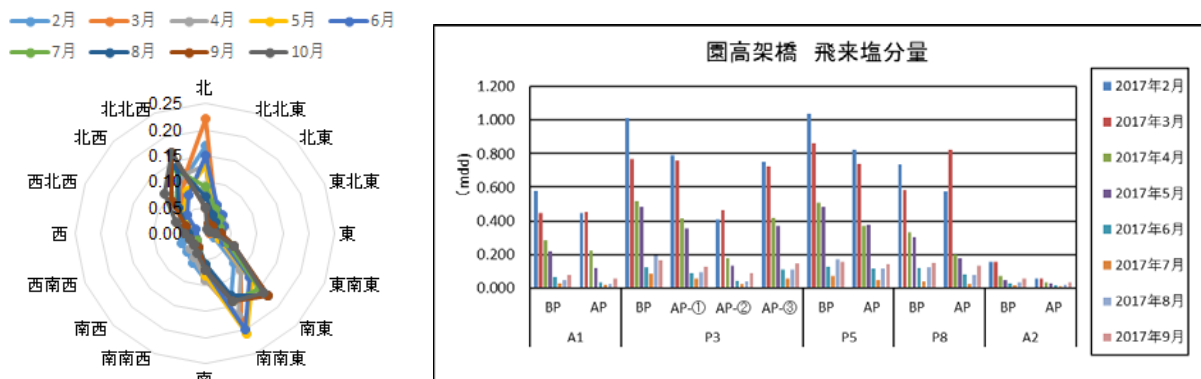


図-5 橋面の風配図と飛来塩分量の観測結果

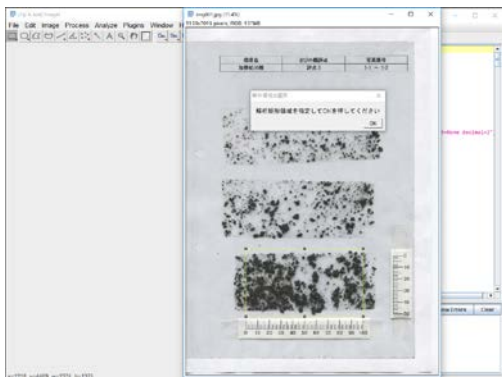
(2) ICT技術を援用した腐食判定法の高度化

耐候性鋼橋梁に生じたさびの性状評価には外観評点が用いられている。しかし、外観評点評価は評価者の経験・主観によるところが大きく、経験の浅い技術者は判定を誤る可能性がある。そこで、主観によらず定量的に判断できる手法およびそのためのツールの開発を行う。

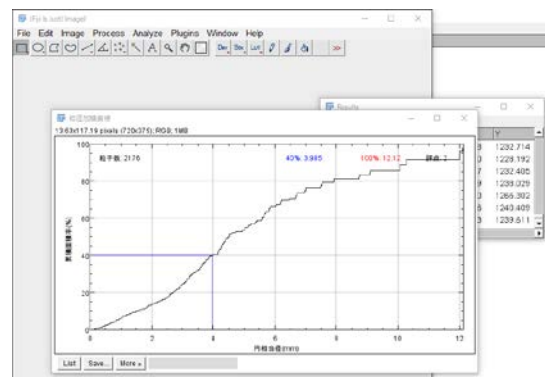
これまでの研究により、セロファンテープ試験で採取されたさびのデジタル画像より、さび粒子を同一面積を持つ円に置き換え、それぞれの円について円相当径を算出し、この円相当径の加積曲線より表-1の基準から評点を算出する方法を提案している。今回、このプロセスを自動化するプログラムを制作した。制作したプログラムのスクリーンショットを図-6に示す。

表-1 評点評価

	累加百分率40%時の円相当径	累加百分率100%時の円相当径
評点4	1mm未満	
評点3	1mm以上3mm未満	3mm以上8mm未満
評点2	3mm以上	8mm以上



画像読み込み



粒径加積曲線出力

図-6 スクリーンショット

本プログラムにより得られた粒径加積曲線を、熟練技術者による評点評価別に比較して図-7に示す。また、図-8に熟練技術者による評価と提案手法による評価との比較を示す。

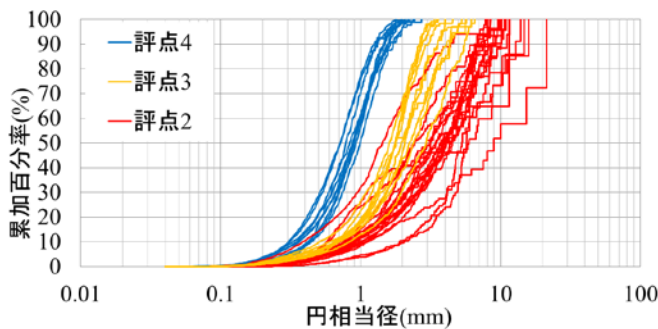


図-7 加積曲線

		推定評価		
		評点4	評点3	評点2
熟練技術者評価	評点4 (一致率)	31 (72%)	12	0
	評点3 (一致率)	4	37 (67%)	14
	評点2 (一致率)	0	7	24 (77%)

図-8 一致率

熟練技術者の評価と推定評価は全129試料中92試料で一致し、全体の一致率は71%となった。なお、図-3において評点1と評点5は除外している。これは、評点1は層状剥離であり目視による評価が容易であること、評点5は初期さびであるためである。

全体の一致率が71%にとどまっているため、今後判定基準の見直しを含めた検討を進めるとともに、試料の収集・評価および判定システムの改良を進める。特に評点3と評点2の分離に課題が残っていると認識しており、更なる精度向上が必要である。そのためには熟練技術者による判定が行われた試料の収集と、熟練技術者による本システムの評価が不可欠である。

この手法の精度向上により、点検者の練度によらず評価が可能となれば耐候性鋼橋梁の点検の効率化が可能となる。

(3) 腐食耐候性鋼材の補修効果の解明

1) 曝露試験の実施

耐候性鋼材の環境・さび状態と補修方法の関係を明らかにするために、素地調整方法、塗装方法、塩分除去等のパラメーターを組み合わせた試験片による曝露試験を、腐食環境の異なる3地点（沖縄県、山口県、島根県）で実施する。表-2に本研究において設定した試験片の仕様を示す。

表-2 曝露試験片

水準No.	水準名	素地調整			塗装					
		工程1	工程2	工程3	下層塗料		上層塗料			
1	評点5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	評点4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	評点3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	評点2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	評点1（無処理）	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	動力工具	動力工具 St 3	-	-	-	-	-	-	-	-
7	動力工具+水洗	動力工具 St 3	高圧水洗 (5MPa以上)	-	-	-	-	-	-	-
8	R c -III	動力工具 St 2	-	-	変性エポキシ	変性エポキシ	変性エポキシ	ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	-
9	R c -II	動力工具 St 3	-	-	有機ジンク	変性エポキシ	変性エポキシ	ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	-
10	プラスト処理 [付着塩分量50mg/m ² 以下]	動力工具 St 3	プラスト処理	-	-	-	-	-	-	-
11	プラスト処理 [付着塩分量100-150mg/m ² 程度]	動力工具 St 3	プラスト処理	-	-	-	-	-	-	-
12	プラスト処理 [付着塩分量400-500mg/m ² 程度]	動力工具 St 3	プラスト処理	-	-	-	-	-	-	-
13	プラスト処理+さび安定化補助処理	動力工具 St 3	プラスト処理 Sa 2.5	-	さび安定化 補助処理	-	-	-	-	-
14	プラスト処理 +有機ジンクリッチペイント	動力工具 St 3	プラスト処理 Sa 2.5	-	有機ジンク	-	-	-	-	-
15	変性エポキシ樹脂塗料	動力工具 St 3	プラスト処理 Sa 2.5	-	変性エポキシ	-	-	-	-	-
16	R c -I	動力工具 St 3	プラスト処理 Sa 2.5	-	有機ジンク	変性エポキシ	変性エポキシ	ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	-
17	R c -I (水洗工法)	動力工具 St 3	プラスト処理→高圧水洗繰返し	プラスト処理	有機ジンク	変性エポキシ	変性エポキシ	ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	-
18	R c -I (水洗レス工法)	動力工具 St 3	腐食抑制剤塗布	プラスト処理 Sa 2.5	有機ジンク	変性エポキシ	変性エポキシ	ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	-

水準1～5はそれぞれの外観評点別の無処理試験片であり、水準6～18は外観評点1の腐食鋼材に対しそれぞれの処理を行ったものである。各曝露地点に各水準2枚ずつの試験片を設置した。また、各曝露地点の腐食環境を比較するために、ワッペン試験片も併せて設置した。

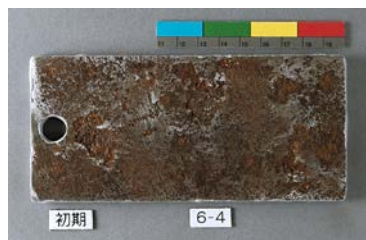
これらの試験片を次の3地点において曝露試験を開始した。

沖縄県糸満市（遮蔽曝露、2017年11月24日開始）

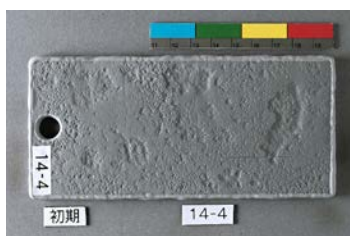
島根県松江市（遮蔽曝露、2017年11月30日開始）

山口県宇部市（密閉箱内曝露、2017年11月30日開始）

曝露試験は2年間実施し、その間にさび厚、塗装部の浮き・ふくれ、表面塩分等を計測する曝露試験片の例として水準6、14、16の初期外観を図-9に示す。また、各地での曝露試験の状況を図-10に示す。



水準 6



水準 14



水準 16

図-9 曝露試験片外観例



沖縄県遮蔽曝露



島根県遮蔽曝露



山口県密閉箱内曝露

図-10 曝露状況

2) 耐候性鋼橋梁の補修事例調査

異常腐食が発見され補修中あるいは補修が計画されている31橋について、その概要を調査した。今回は、海から離れた山間部に架設された橋梁を対象としている。このうち補修中の橋梁は26橋であり、補修計画が4橋、経過観察中が1橋である。

これらの異常さびの推定される腐食原因を複数回答可で問うた結果を図-11に示す。腐食原因の多くは凍結防止剤の飛散あるいは漏水と考えられている。また、発生している異常さびの状況ではうる

こ状さびの発生が18橋、うろこ状さびと層状剥離さびの両方の発生が11橋、その他が2橋であった。さらに、31橋のうち、補修塗装個所の再劣化が認められた橋梁が10橋あった。これら10橋の補修塗装の詳細は不明であるが、補修塗装の再劣化が認められている事実は本研究を進める上で大変重要である。

これらの橋梁に対する補修方法を複数回答可で調査した結果を図-12に示す。すべての橋梁で桁洗浄が行われており、さらに22橋では部分塗装が施されている。耐候性鋼橋梁の異常腐食の補修では、腐食原因の排除が最も重要であるが、この原因の排除が困難な場合には部分補修塗装で対応している現状がうかがえる。

今回の調査を通じて、本研究が目指す部分補修塗装による腐食耐候性鋼材の補修方法の確立の重要性が確認されたものと考えられる。

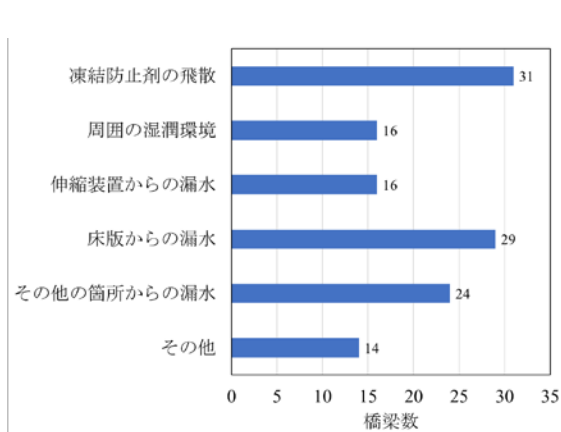


図-11 異常さび推定発生要因

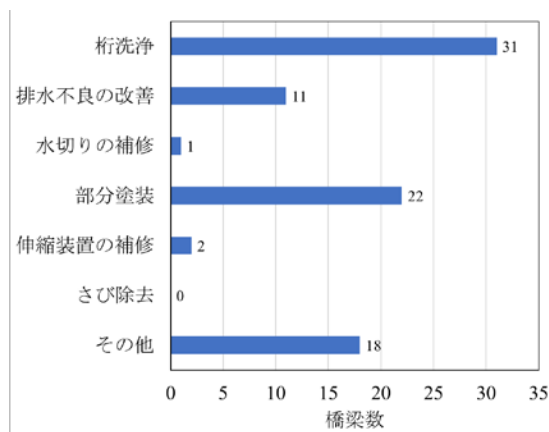


図-12 補修方法

研究の目的・目標からみた研究計画・実施方法・体制の妥当性

本研究では耐候性鋼橋梁の長寿命化のために、腐食環境評価～腐食状況評価～補修方法決定～将来予測と体系だった診断・補修技術の確立を目指している。そのために、各要素技術の開発を進めるとともに、それらを統合する腐食評価・補修フローの構築を図る。この観点からみた研究計画および実施方法は妥当と考えている。

上述の目的を達成するために、本研究では山口大学と松江高専による研究体制をとっている。松江高専では耐候性鋼橋梁の現地観測にとどまらず、環境評価のための数値解析および ICT に関する技術の蓄積がある。また、山口大学ではこれまで多くの耐候性鋼橋梁の調査を実施するとともに、各種の曝露試験も実施しており耐候性鋼橋梁に関する多くの知見を備えている、そのため、本研究の実施体制として妥当であると考えている。また、事例収集にあたっては、適宜、管理者の協力を得ている。

⑦特記事項

(研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の見通しや進捗についての自己評価も記入。)

- ① 橋梁の腐食マップを3D化することで、腐食状況の把握が容易となった。
- ② 耐候性鋼橋梁のさびを定量的に評価する手法およびそのためのツールが提案できた。これにより、従来の経験に左右される評価ではなく多くの技術者による評価が可能となるため、耐候性鋼橋梁の橋梁点検における生産性の向上に寄与できる。
- ③ 異なる腐食環境下において、部分補修塗装の効果を確認する曝露試験を開始した。曝露試験の結果が明らかになるにはなお時間が必要であるが、これまでにない成果が期待できる。

以上より、本研究は概ね計画通りに進捗していると判断できる。