

論文 薄板モルタル供試体を用いた PCT 桁橋上部工における塩害環境調査

吉次 優祐*1・富山 潤*2・松田 愛子*3・佐伯竜彦*4

要旨：沖縄県は亜熱帯海洋性気候に属し、高温多湿でかつ島嶼環境であり、さらに、夏季の台風襲来や冬季の風浪により多くの飛来塩分が内陸へ輸送され、塩害環境の厳しい地域である。一方で、同一構造物においても部位・部材によって劣化の程度が異なることが知られており、構造物の合理的な維持管理を行うためにも部材・部位ごとの塩害環境、地域性を考慮して把握することは重要である。本研究では、PCT 桁橋上部工を対象に薄板モルタル供試体を用いて、2015 年 6 月～2016 年 2 月の約 8 カ月間を 3 期間に分け、異なる部材・部位における塩害環境調査を行い、対称橋梁上部工の維持管理に有効な基礎資料を得ることができた。

キーワード：コンクリート橋梁、薄板モルタル供試体、塩害環境、台風、冬季風浪

1. はじめに

沖縄県は亜熱帯海洋性気候に属し、高温多湿でかつ島嶼環境であり、さらに、夏季の台風襲来や冬季の風浪により多くの飛来塩分が内陸へ輸送され、塩害環境の厳しい地域である¹⁾。一方で、同一構造物においても部位・部材によって劣化の程度が異なることが知られており²⁾、構造物の合理的な維持管理を行うためにも部材・部位ごとの塩害環境、地域性を考慮して把握することは重要である。

筆者らは、PCT 桁橋上部工を対象に、2012 年～2014 年まではガーゼ拭き取り法^{3),4)}、2014 年から薄板モルタル供試体⁵⁾を用いた塩害環境調査^{6),7)}を継続的に行ってきた。同時に部材・部位ごとの塩害環境予測の方法として、ランダムウォーク法⁸⁾を用いた数値解析的な予測検討も行い、ランダムウォーク法とガーゼ拭き取り法の結果については良い相関が得られた⁴⁾。しかし、薄板モルタル供試体との結果には差異が生じた^{6),7)}。これは、ガーゼ拭き取り法から得られる結果が、直近の付着塩分量を表しているのに対して、薄板モルタル供試体の結果は、付着塩分を含む浸透塩分量を表していることに原因がある。したがって、付着塩分量を表すランダムウォーク法の結果は、ガーゼ拭き取り法と相関が良いのは当然である。しかし、構造物の合理的な維持管理を行うために、ランダムウォーク法と薄板モルタル供試体を組み合わせた予測法の構築は、有力な予測手段の一つになると考えられることから、本研究では、薄板モルタル供試体を用いた結果を蓄積するために、上記で説明した対象橋梁に対して薄板モルタル供試体を用い、2015 年 6 月～2016 年 2 月の約 8 カ月を 3 期間に分け、各部材・部位の塩害環境を調査した。本論文ではこれらの結果を示す。

なお、薄板モルタル供試体は、水セメント比の異なる 2 種類を使用したため、それらの関係性についても考察する。

2. 対象構造物

2.1 概要

対象橋梁は平成 23 年 3 月に供用開始された 3 径間ボストテンション PC 橋であり、沖縄本島北部東シナ海側に位置する。図—1 に位置図を示す。また、図—2 に対象橋梁側面図及び断面図を示す。

調査は図—2 に示した N (北側端部)、M (中央部)、S (南側端部) の位置の 5 主桁すべてで行った。本論文では、強風と護岸の影響で直接波しぶきを受ける南側・北側端部と波しぶきの影響を受けない中央部の測定結果を報告する。



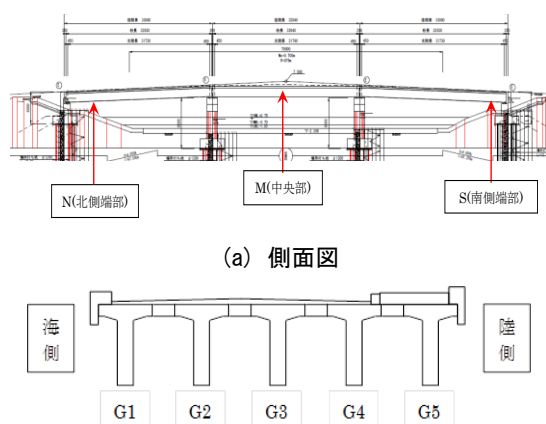
図—1 位置図(Google Map より)

*1 富士ピー・エス (株) 修士(工学) (正会員)

*2 琉球大学 工学部環境建設工学科准教授 博士(工学) (正会員)

*3 琉球大学 工学部環境建設工学科 (学生会員)

*4 新潟大学 工学部建設工学科教授 博士(工学) (正会員)



(a) 側面図
(b) 上部工標準断面図
図—2 対象橋梁概略図

2.2 対称橋梁周辺の大域的な風況

対象橋梁周辺の卓越風向の整理として、伊是名気象観測所の観測データを集計した。本論文で示す調査期間を表—1に示す。

図—3～図—5に各期間の累積風向割合を示す。これらの図から、夏季である期間 A では南寄りの風が卓越していることがわかる。なお、期間 A においては、いくつかの台風が接近、襲来した。秋口から冬季の期間 B、期間 C では、季節風による北寄りの風が吹いていることがわかる。また、対象橋梁のある沖縄本島東海岸は冬季になると波の高さが、夏季のおよそ2倍となる可能性があることが気象庁の観測結果より推測される⁹⁾。実際に冬季には、橋梁端部の路面まで波しぶきがかかる場合も確認している。

表—1 調査期間

期間名	調査期間
A	2015年6月25日～2015年8月26日(62日間)
B	2015年8月26日～2015年11月27日(93日間)
C	2015年11月27日～2016年2月26日(91日間)



図—3 期間 A の累積風向割合(回)



図—4 期間 B の累積風向割合(回)



図—5 期間 C の累積風向割合(回)

3. 薄板モルタル供試体

3.1 特徴

薄板モルタル供試体を用いた塩害環境調査は、設置に特殊な機材や技術が必要なく容易に設置できるのが特徴である。本研究では、水セメント比の異なる2種類の薄板モルタル供試体を使用した。表—2に詳細を示す。また、写真—1に薄板モルタル供試体の一例を示す。

表—2 薄板モルタル詳細

	供試体 A	供試体 B
W/C(%)	50	60
寸法(cm)	4×4×1	4×4×0.5
作成	自作	製品

薄板モルタル供試体の主な特徴は、以下のことが挙げられる。

- マクロ塩害環境の評価のために複数個所の飛来塩分の捕集・調査が容易
- 構造物のメゾ塩害環境の評価のための付着塩分量の捕集・調査が容易

以上のことから、薄板モルタルを用いた飛来塩分量および付着塩分量の調査は、構造物の点検優先度等への利用や合理的な維持管理を行うために必要なデータを継続

的に蓄積することが容易である。これらの結果と数値解析手法との組み合わせでメゾ塩害環境の高精度な予測が可能となる。

薄板モルタル回収後の塩分量分析は乾燥させ、粉碎処理をして粉末試料とし、JCI-SC5 に基づき電位差滴定法(自動滴定装置 GT-2001 型)によりモルタル中に含まれる塩化物イオン量を求める。



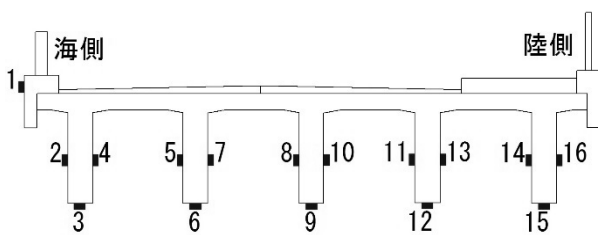
写真—1 薄板モルタル供試体の一例

3.2 薄板モルタルの設置

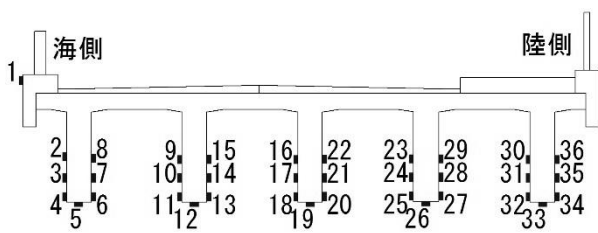
薄板モルタル供試体を、北側・南側端部、中央部で図—6～図—8 のように設置した。表—3 に期間ごとの設置個所を示す。中央部の設置には橋梁点検車をを用いて設置回収を行った。写真—2、写真—3 に橋梁点検車をを用いた設置の様子と薄板モルタル供試体の設置状況を示す。なお、詳細な設置高さは後述する。

表—3 期間ごと使用供試体と設置個所

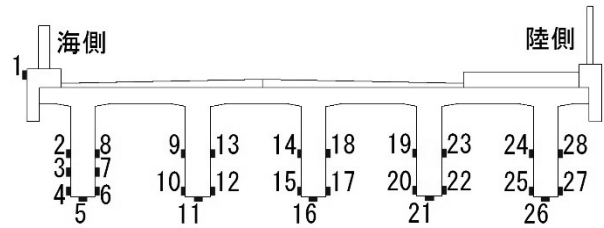
期間	設置個所	供試体
A	北側・南側	A
B	北側・南側	A
C	北側・南側・中央	A・B



図—6 北側・南側端部における設置位置(供試体 A, B)



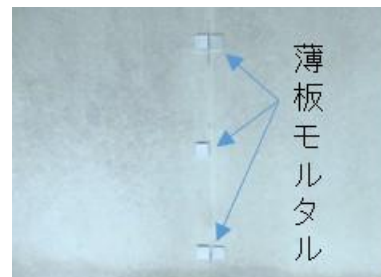
図—7 中央部における設置位置(供試体 A)



図—8 中央部における設置位置(供試体 B)



写真—2 橋梁点検車



写真—3 薄板モルタル設置

4. 測定結果および考察

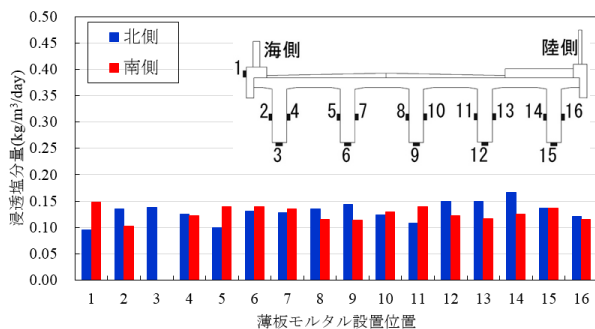
4.1 各期間での部材部位ごとの整理

ここでは、期間 A～C すべてで使用した供試体 A の結果について示す。各期間での計測結果として、図—9～図—12 に示す。なお、得られた塩分量は薄板モルタル供試体の表面に付着した塩分と内部への浸透塩分の和を用いて整理し、浸透塩分量と表現した。

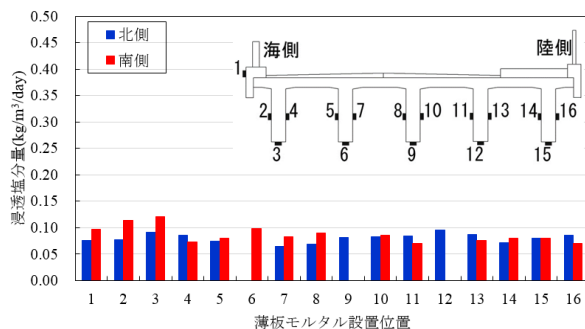
はじめに、両端部についての結果を考察する。ガーゼ拭き取り法では、主桁側面よりも主桁下面の方が浸透塩分量は多くなる結果を得た⁴⁾。しかし、図—9、図—10 に示した期間 A と期間 B においては、下面と側面には浸透塩分量に大きな差がないことがわかる。しかし、一方で、図—11 に示した期間 C における南側端部では、桁下面の浸透塩分量が側面に比較し多くなっていることがわかる。これは冬季風浪により、桁下面から側面下側まで波しぶきを直接受けていることが原因である。さらに北側端部と南側端部の結果を比較すると、期間 A、期間 B においては浸透塩分量に大きな差はないが、期間 C では、南側端部が大きくなっている。これは冬季の波の侵入方向に依存した結果である。時期ごとの浸透塩分量の比較では、冬季の季節風による波しぶきを直接受ける期間 C が最も多く、次の夏場の期間 A が大きい。期間 B と期間

Aでは、前述したように期間Aにいくつかの台風が接近、襲来した結果、期間Bと比較し、期間Aの浸透塩分量が多くなったと考えられる。

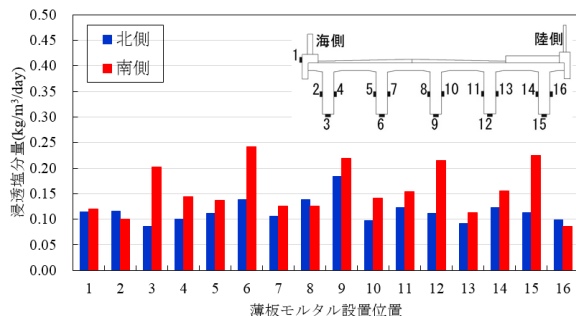
次に、期間Cの中央部の浸透塩分について考察する。図—12に示した結果より、平均的に図—11に示した両端部の値より少ない結果を示している。中央部は、波しぶきを直接受ける環境にないことから、おおむね飛来塩分による浸透塩分量であると考えられることができる。



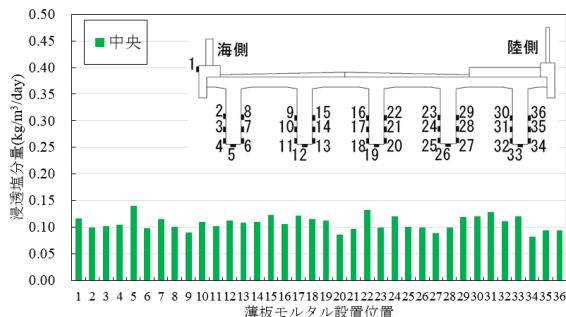
図—9 期間Aの両端部での浸透塩分量(供試体A)



図—10 期間Bの両端部での浸透塩分量(供試体A)



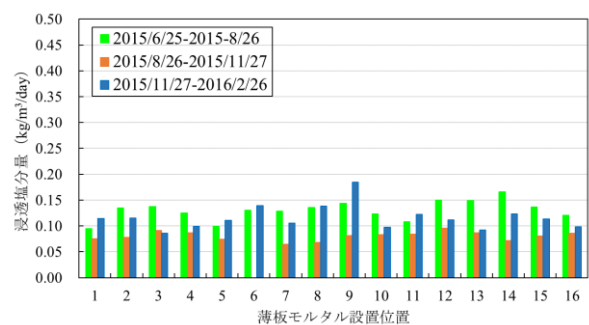
図—11 期間Cの両端部での浸透塩分量(供試体A)



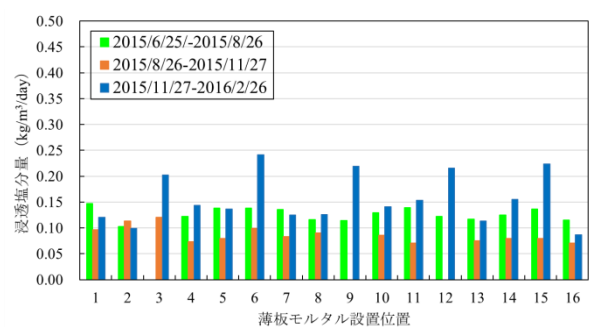
図—12 期間Cの中央部での浸透塩分量(供試体A)

4.2 期間ごとの比較

ここでは、4.1でも少し触れたが、期間ごとの供試体Aを用いた浸透塩分量の比較として、すべての期間実施した端部について、北側端部を図—13、南側端部を図—14に示す。これらの結果より、北側、南側ともに、期間Cの浸透塩分が全体的に多く、その次に、期間A、期間Bの順となっている。先にも示したが、期間Aの浸透塩分量が多いのは、台風の影響であると考えられる。



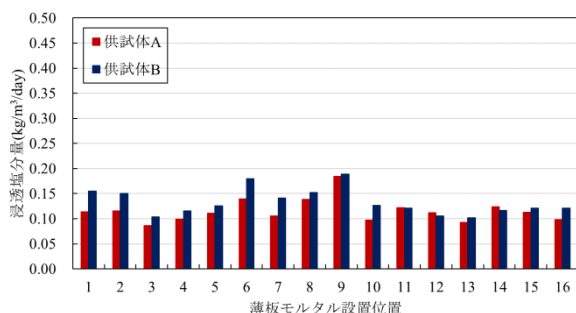
図—13 期間ごとの比較(北側端部)



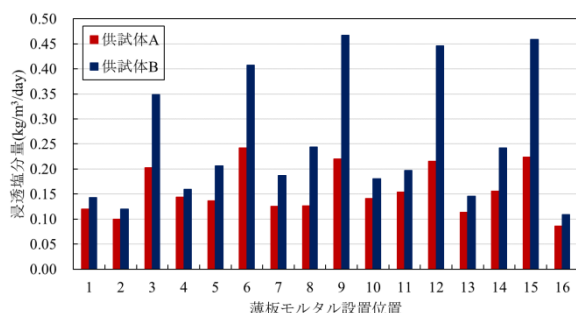
図—14 期間ごとの比較(南側端部)

4.3 水セメント比での比較

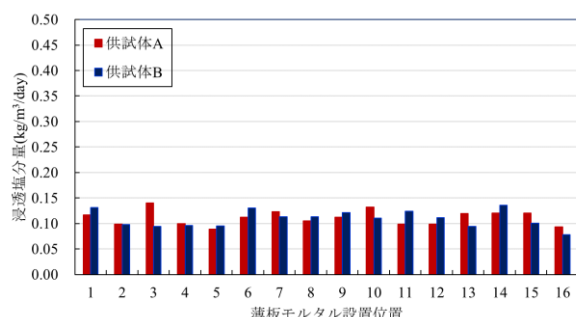
次に、期間Cにおける異なる水セメント比での比較を図—15～図—17に示す。ただし、中央部の供試体設置場号については、端部の設置位置の番号に合わせて表示している。たとえば中央部G1下面は5番であるが、端部に合わせて3番としている。この結果を見ると、北側と中央ではほぼ同等の浸透塩分量であった。しかし、南側では、2つ供試体の結果に明らかな差異が生じ、W/C=50%の供試体AとW/C=60%の供試体Bでは、供試体Bの浸透塩分量が明らかに多い結果となった。この結果から、環境外力としての外来塩分量が、コンクリート中の塩分浸透速度を決定する見かけの拡散係数に影響を与える可能性があることが示唆され、コンクリートの応答を考える場合に重要なファクターとなる可能性がある。これについては、今後詳細な検討を行う予定である。



図—15 水セメント比での比較(北側端部)



図—16 水セメント比での比較(南側端部)



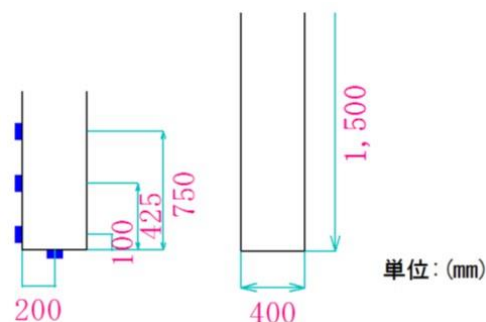
図—17 水セメント比での比較(中央部)

4.4 高さによる比較

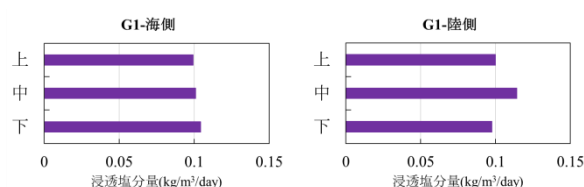
中央部については、側面に3ヶ所ずつ設置をしている。ここでは、同一面内における浸透塩分量の高さ方向の違いを整理した。図—18に設置位置の具体的な寸法を示す。また、整理した結果を図—19に示す。

この結果を見ると、海側側面と陸側側面で浸透塩分量は、高さによって異なっているのがわかる。ほぼすべての桁の海側側面は中段(下から425mm)に設置した供試体の浸透塩分量が多くなる傾向を示している。陸側側面は上段(下から750mm)に設置した供試体の浸透塩分量が多い傾向を示した。このことから、同一面であっても、浸透塩分量が場所によって異なることから、劣化の程度が高さによって異なる可能性がある。また、本論文で示した図—19は期間Cのみの結果であり、季節によって構造

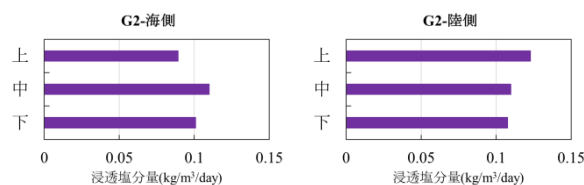
物周辺の卓越する風況が異なることが予想されるため、この結果は、季節特有の可能性があり、継続的な測定が必要である。



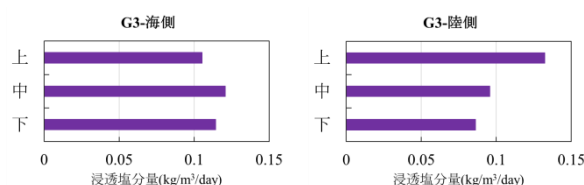
図—18 供試体設置位置



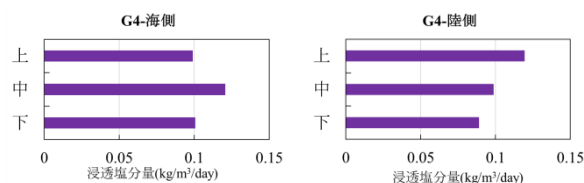
(a) G1 桁



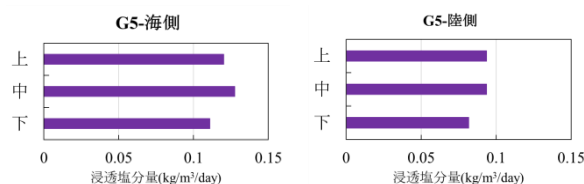
(b) G2 桁



(c) G3 桁



(d) G4 桁



(f) G5 桁

図—19 主桁側面の浸透塩分量の高度分布

5. まとめ

本研究では、沖縄本島北部に建設された PCT 桁橋を対象に薄板モルタルを設置し、塩害環境調査を行った。以下に本研究で得られた知見を示す。

- 1) 夏季においては主桁の側面部と下面部では浸透塩分量に差はなかった。しかし、冬季(期間 C)の端部において、側面と下面では浸透塩分量に差があった。これは冬季風浪により波しぶきが路面にまで到達し、桁下面から側面下側まで波しぶきを直接受けていることが原因と考えられる。逆に、波しぶきの影響を受けない中央部ではあまり差が見られなかった。
- 2) 期間ごとに比較を行ったところ、冬季は風浪による浸透塩分量が多いことがわかった。また、夏季においても台風が接近、襲来すると多くの飛来塩分が輸送される可能性が示された。
- 3) 異なる水セメント比の薄板モルタル供試体の浸透塩分量は、塩分量が少ない場合は、ほとんどの位置で同等の結果となったが、波しぶきの影響があり、塩分量の多い箇所では大きな差が生じた。これは環境外力としての外来塩分量が、コンクリート中の塩分浸透速度を決定する見かけの拡散係数に影響を与える可能性があることを示している。外来塩分量は、コンクリートの応答を考える場合に重要なファクターとなる可能性がある。
- 4) 同一面であっても、浸透塩分量が場所によって異なることから、劣化の程度が高さによって異なる可能性がある。また、本論文で示した側面の高度分布の比較は 1 期間のみの結果であり、季節によって構造物周辺の卓越する風況が異なることが予想されるため、この結果は、季節特有の可能性があり、継続的な測定が必要である。

謝辞：本研究は、対象橋梁を管理する大宜味村に協力を頂いた。また、本研究は平成 28 年度国総研：「道路政策の質の向上に関する技術研究開発（タイトル：薄板モルタルとデータ同化手法を利用したコンクリート橋の 3 次元塩分浸透予測手法の開発）」の支援を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 例えば、真喜志和広，山田義智，富山潤：塩害環境下における飛来塩分量特性に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.28,No.1,pp.929-934,2006
- 2) 材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会(342 委員会):委員会報告書およびシンポジウム講演概要集 コンクリート技術シリーズ No.98，土木学会，2012.
- 3) 松浦葵，富山潤，宮井俊也，本間英貴，青柳聖：ガーゼ拭き取り法におけるコンクリート橋梁の付着塩分量に関する調査研究，土木学会第 68 回学術講演会，V-495，pp.989-990，2013.9
- 4) 富山潤：コンクリート橋上部工に付着する飛来塩分に関する数値解析的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.874-879，2014
- 5) 例えば，佐伯竜彦，能勢陽祐，菊池道生：薄板モルタル供試体を用いたマイクロ塩害環境評価手法に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.803-808，2011
- 6) 富山潤：コンクリート構造物を対象としたマイクロ・マクロ塩害環境に関する研究，日本材料学会，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.15，pp.405-510，2015
- 7) 吉次優祐，松田愛子，富山潤，佐伯竜彦，藍檀オメル：薄板モルタルと数値解析手法による橋梁上部工の付着塩分量予測に関する基礎研究，日本材料学会，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.16，pp.489-494，2016
- 8) 例えば，田中孝和，富山潤，伊良波繁雄，吉村 忍：ランダムウォーク法による飛来塩分の拡散シミュレーションに関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.789-794，2004
- 9) 気象庁：<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>（波浪に関するデータより）