

塩害環境におけるPCT桁橋の付着塩分量に関する調査・検討

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○正木 守
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 細江 泰規
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 谷口 正輝
 (国研) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター 石田 雅博

キーワード：PC橋，付着塩分量，飛来塩分量，表面塩化物イオン量

1. はじめに

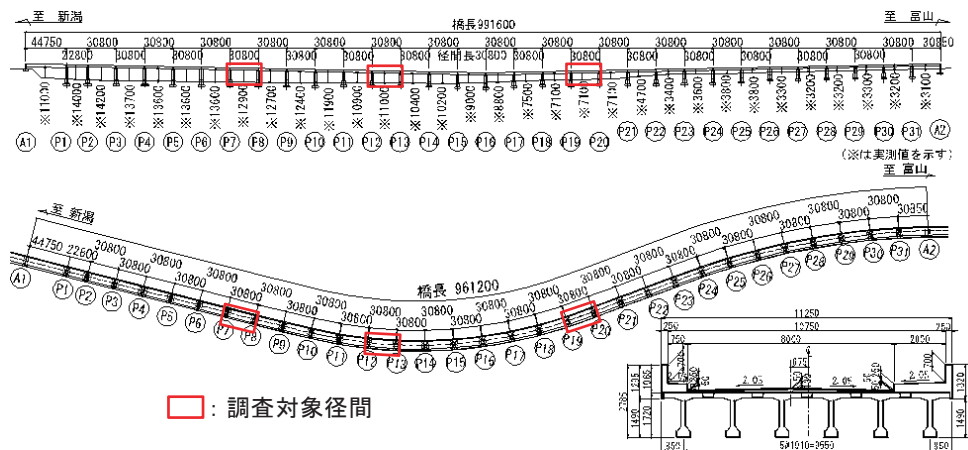
土木研究所とPC建協では共同研究「撤去橋梁を用いた既設PC橋の補修補強技術の高度化に関する研究」において、既設PC 橋の性能評価法および補修補強技術の確立を目的に活動している。本共同研究では、活動の一環として塩害によって劣化した撤去PC桁を対象に、損傷状態の調査や解体調査によって、環境条件に応じた最適な補修補強方法の検討を進めている。しかし、撤去予定の橋梁は部材の架設位置や形状によって主桁に付着する塩分量が異なると考えられることから、撤去予定の部材がどのような塩害環境におかれていたのか把握しておく必要がある。本報告では、撤去に先立って実施した現時点で部材に付着している塩分量と飛来塩分量の調査結果、さらに、それらの塩分量に架設位置や形状が与える影響やコンクリート表面の塩化物イオン量との関係について報告する。

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は昭和50年に建設された鋼単純鈹桁橋（1径間）とポストテンション方式PC単純T桁橋（31径間）から構成される橋梁である。橋梁諸元を表-1，橋梁一般図を図-1，橋梁外観を写真-1に示す。なお、25径間以降は現在BOX化（構造変更）されている。本橋は日本海沿岸に位置し、波浪の影響を受ける状況にあるため、厳しい塩害環境下におかれている。また、PC桁の標高（海面から桁下面までの距離）は3.4～14.2mと差が大きく、径間によってその塩害環境条件は異なると考えられる。これまで、過酷な塩害環境による経年劣化が顕在化し、建設から18年後の平成6年から断面修復工法や表面保護工法などによる補修が繰り返し実施されている。また、平成17年からは塩分量調査や主ケーブルの健全性調査（はつり調査）なども実施された径間も存在す

表-1 橋梁諸元

構造形式	単純 PC ポステン T 桁橋(6 主桁)
架設年	1975 年(S50 年)
橋長	991.6m
支間割	30.8m 他
全幅員	11.3m
架橋条件	海岸(日本海)



□：調査対象径間

図-1 橋梁一般図

る。本橋は平成29年3月に更新橋への交通切替えがすでに完了しており、本橋の撤去も平成29年度から開始されている¹⁾。

3. 調査概要

3.1 調査の目的

撤去前の桁へ付着している塩分量と、同位置へ飛来してくる塩分量を事前に調査することで、空間的な要因（海岸との距離、標高、構造物の形状、遮蔽物の有無）やコンクリートの表面状態（塗装、含浸剤）が桁表面に付着する塩分量のばらつきに及ぼす影響やコンクリート表面の塩化物イオン量との関係の有無を確認する。

3.2 調査対象および調査項目

過去に実施されている補修・健全度調査履歴を踏まえて調査対象と調査項目を決定した。調査対象の補修・健全度調査履歴を表-2に示す。調査対象とする径間は以下の観点から決定した。

- 1) 健全度調査の情報（過年度に塩分量の実態調査を行っている箇所）がある箇所
- 2) 1)のうち補修時期の違いが比較可能な箇所
- 3) 1)のうち補修グレード（塗装／含浸剤）の違いが比較可能な箇所
- 4) 1)のうち損傷度の違いが比較可能な箇所

調査対象の桁は、主桁架設位置が付着塩分量に及ぼす影響を確認するためにG2桁、G5桁、G6桁とした。調査項目は付着塩分量（拭き取り法、ドライガーゼ法）とした。調査対象と項目を表-3に示す。

3.3 調査方法

付着塩分量の測定方法は、日本道路協会の鋼道路橋塗装・防食便覧³⁾に示されたガーゼ拭き取り法（以下、拭き取り法）およびドライガーゼ法（JIS Z 2382）に準じて実施した。今回は構造物へ付着する塩分量の調査を目的としているため、ドライガーゼプレートは直接主桁に設置し、調査期間は平成29年10月17日～平成29年11月1日までの2週間とした。付着塩分量の調査箇所の大きさは200×200mmとした。本稿ではドライガーゼで収集された飛来塩分量（2週間でドライガーゼに付着した塩分量）を「ドライガーゼによる付着塩分量」と呼ぶ。塩化物イオンの測定は電位差滴定法によって行った。

3.4 調査位置

付着塩分量の調査位置はウェブの両側面、主桁下面とした。1主桁あたりの橋軸方向の調査位置は、拭き取り法は支間中央付近と端部付近（主桁端部から約1m中央側に移動した位置）の2断面、ドライガーゼ法は端部付近の1断面とした。調査位置図を図-2に示す。



写真-1 橋梁外観 (G6 桁が海側)

表-2 補修・健全度調査履歴²⁾

年	第4径間	第8径間	第13径間	第20径間
H6				塗装
H17	塩分	塩分		
H19	塗装	塗装		
H21			修復・含浸	
H22				はつり・塩分
H24		塩分	はつり・塩分	
H26				塩分

塗装：全面塗装 修復：断面修復 含浸：表面含浸工
はつり：主ケーブルはつり調査実施
塩分：コンクリート塩分量調査実施

表-3 調査対象および調査項目

調査項目	第8径間	第13径間	第20径間
付着塩分量 (拭き取り法)	G2 端部・中央 G5 端部・中央	G5 端部・中央 G6 端部・中央	G5 端部・中央
付着塩分量 (ドライガーゼ法)	G2 端部, G5 端部	G5 端部, G6 端部	G5 端部

※第4径間は調査時点ですでに撤去済み

4. 調査結果

4.1 付着塩分採取方法による比較

拭き取り法の測定結果を図-3、ドライガーゼ法の測定結果を図-4に示す。付着塩分量は拭き取り法で1.05～1.680mg/dm²、ドライガーゼ法で8.33～125.6mg/dm²であり、径間および計測位置によって異なることが確認された。主桁の架設位置で比較した

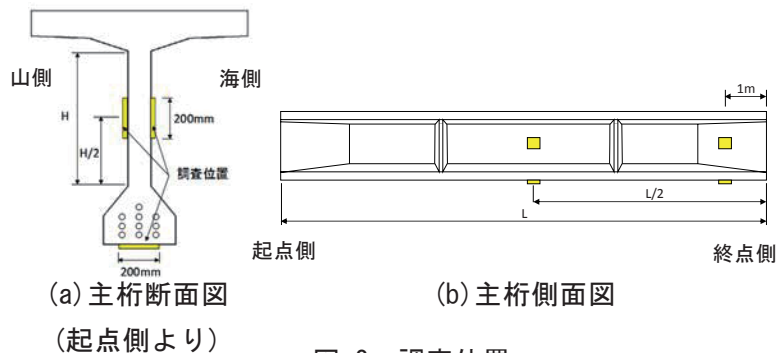


図-2 調査位置

した場合、G2桁およびG5桁は主桁下面の付着塩分量が大きい傾向にあり、ウェブ面は山側よりも海側のほうが少し大きいものの顕著な差は見られなかった。しかし、海側に面しているG6桁については、山側および下側よりも海側の付着塩分量が大きくなる傾向であった。これは、G6桁の海側のウェブ面がもっとも海からの波浪や風の影響を受けやすいためと推察される。この傾向は拭き取り法およびドライガーゼ法ともに同様であるが、ドライガーゼ法では山側と比較して海側の付着塩分量は5倍程度となっており、拭き取り法の場合よりもその差が大きかった。

橋軸方向の測定位置（支間中央、主桁端部）で比較した場合、主桁下面までの標高が比較的高い第8径間（標高：12.9m）では端部よりも支間中央の主桁下面のほうが付着塩分量は大きく、標高の低い第20径間（標高：7.1m）では支間中央よりも端部のほうが大きい傾向であった。塗装の有無や表面含浸剤に付着塩分量に及ぼす影響は明確ではなかった。

4.2 コンクリートの表面塩化物イオン量と付着塩分量の関係

拭き取り法とドライガーゼ法によって測定した付着塩分量について、過去に実施されたコンクリート中の塩化物イオン量の分析結果から求めた表面塩化物イオン量との関係を確認した。過去に実施されたコンクリート中の塩化物イオン量の測定結果を図-5に示す。コンクリート中の塩分測定位置は主桁中央付近のウェブ位置であるが、ドライガーゼ法が主桁端部のみしか測定していないため、拭き取

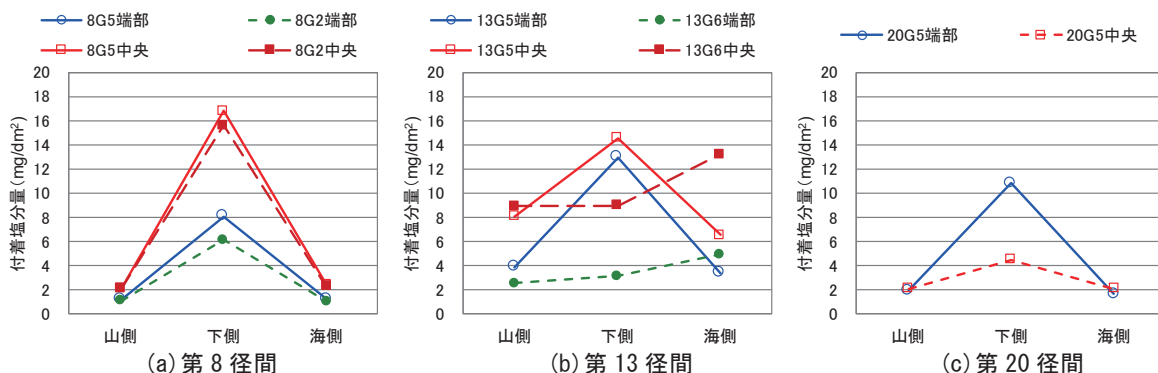


図-3 付着塩分量（拭き取り法）

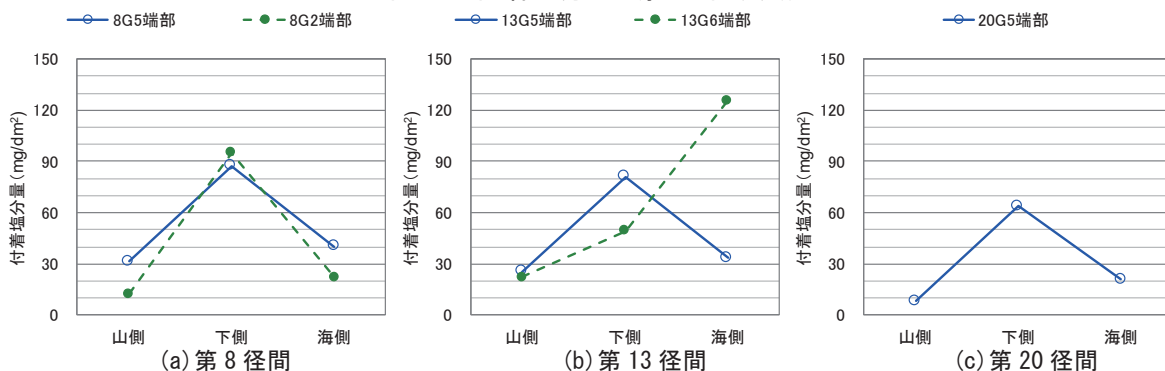


図-4 付着塩分量（ドライガーゼ法）

り法についても主桁端部の測定結果を用いた。過去の塩化物イオン量分析結果は対象の桁でもっとも新しい結果を対象とした。塩分分析結果から求めた表面塩化物イオン量の計算結果と各種測定による付着塩分量を表-4, それらの関係を図-6に示す。拭き取り法による付着塩分量と表面塩化物イオン量との相関は確認されなかった。これは第8径間と第20径間は表面塗装がされており, 塗装の有無によって付着性状が異なるためと推察される。

一方で, 塗装工法 (第8径間, 第20径間) のほうが含浸工法 (第13径間) よりもドライガーゼ法による付着塩分量 (飛来塩分量) に対する付着量は小さい傾向であった。ドライガーゼ法による付着塩分量は表面塩化物イオン量と一定の相関が確認された。そこで, ドライガーゼ法の付着塩分量を飛来塩分量に換算し, 土木学会のコンクリート標準示方書⁴⁾に示される式(1)を用いて表面塩化物イオン量を求めた。

$$C_0 = -0.016 \times C_{ab}^2 + C_{ab} + 1.7 \quad \text{式(1)}$$

ここに, C_0 : コンクリート表面塩化物イオン量 (kg/m³)

C_{ab} : 飛来塩分量 (mg/dm²/day)

計算結果を表-5に示す。飛来塩分量から求めた表面塩化物イオン量は3.15~4.45kg/m³であり, コンクリート中の塩化物イオン量から求めた表面塩化物イオン量よりも全体的に小さかった。これは, 調査を実施した期間, あるいは, 対象とした主桁が表面塗装や表面含浸工が実施されており, その時期も異なることが原因と考えられ, 今後の課題とする。

5. まとめ

撤去予定のPC桁を対象として実施した付着塩分量の調査結果を以下に示す。

- ・拭き取り法とドライガーゼ法によって得られた付着塩分量の分布は同様の傾向を示し, 主桁の下面の付着塩分量が高い傾向であった。しかし, もっとも海側に近い主桁においては, 海側のウェブ面が高い傾向であった。
- ・ドライガーゼ法によって測定された付着塩分量とコンクリート中の塩分分析結果から求めた表面塩化物イオン量には一定の相関があることが確認された。

参考文献

- 1) 高橋弥成, 尾高一人, 森山実, 三本竜彦: 国道8号歌高架橋の施工, プレストレストコンクリート, Vol. 60, No. 1, pp. 33-38, 2018. 1
- 2) 岩下義一, 川尻克己: 架橋40年海岸部に位置する塩害橋梁の更新について, 北陸地方整備局事業研究発表会, 2013
- 3) 日本道路協会: 鋼道路橋防食便覧, pp. 158-160, 2014. 3
- 4) 土木学会: 2017年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp. 163-164, 2018. 3

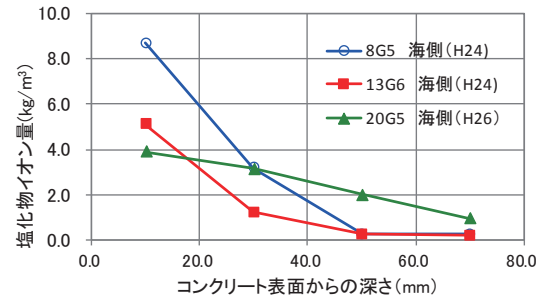


図-5 過去の塩化物イオン量分析結果

表-4 表面塩化物イオン量 (付着塩分量)

	第8径間	第13径間	第20径間
表面塩化物イオン量の計算結果 (kg/m ³)	12.54	7.97	4.67
拭き取り法による付着塩分量 (mg/dm ²)	1.28	3.38	1.65
ドライガーゼ法による付着塩分量 (mg/dm ²)	40.35	33.53	20.78

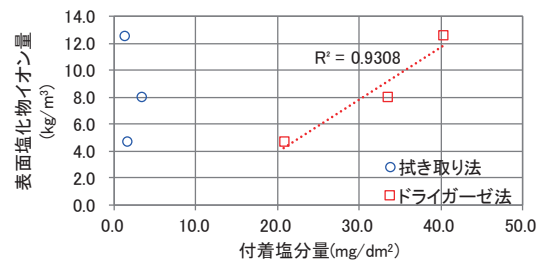


図-6 表面塩化物イオン量と付着塩分量の関係

表-5 表面塩化物イオン量

	第8径間	第13径間	第20径間
表面塩化物イオン量の計算結果 (kg/m ³)	12.54	7.97	4.67
ドライガーゼ法による計算結果 (kg/m ³)	4.45	4.00	3.15