

4. 塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化

4.1 報告書（その8）の概要

(1) 対象期間の活動内容

年度	活動項目	活動内容
平成31年度 (令和元年度)	再劣化橋梁の詳細調査と検討	・机上調査 ・第2回現地部会開催（函館管内） （北海道道路メンテナンス会議と連携）
	留意点とりまとめ	①詳細調査項目 ②鋼材の発錆限界値 ③補修工法選定 ④補修後の管理
令和2年度	再劣化橋梁の詳細調査と検討	・机上調査
	留意点とりまとめ	上記①～④
令和3年度	再劣化橋梁の詳細調査と検討	・机上調査 ・第3回現地部会開催（小樽管内） ・損傷の地域差に関する参考検討と考察
	留意点とりまとめ	上記①～④

(2) 報告書（その8）目次

4.1 報告書（その8）の概要 4.2 部会の目的と活動内容 4.2.1 活動テーマの変遷 4.2.2 部会の目的 (1) 本WGにおける「再劣化」の定義 (2) テーマ設定の背景 4.2.3 部会の活動内容 4.3 塩害を対象にした詳細調査 4.3.1 第2回現地部会結果（函館管内） (1) 実施概要 (2) 机上調査結果 (3) 現地調査結果 (4) 現地部会議事録	4.3.2 第3回現地部会結果（小樽管内） (1) 実施概要 (2) 机上調査結果 (3) 現地調査結果 (4) 現地部会議事録 4.4 塩害に対する補修の留意点 4.4.1 着目点 4.4.2 塩害に対する補修の留意点 (1) 詳細調査に関する留意点 (2) 鋼材発錆限界値に関する留意点 (3) 補修工法選定に関する留意点 (4) 補修後の管理に関する留意点
--	--

4.2 部会の目的と活動内容

4.2.1 活動テーマの変遷

道路管理技術委員会における構造部会／橋梁 WG の活動テーマの変遷を下表に示す。

表 4.1 活動テーマの変遷

報告書 (その1)			報告書 (その2)			報告書 (その3)			報告書 (その4)			報告書 (その5)			報告書 (その6)			報告書 (その7)			報告書 (その8)			活動テーマ
H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	
●	●	●	●	●	●																			橋梁データベース の検討
					●	●	●																	橋梁点検技術と管 理
						●	●	●	●															長大橋梁等の耐震 性能評価に関する 検討
									●	●														道路構造物工事仕 様の変遷
										●	●	●	●											床版上面の探査技 術の検討
															●	●	●							R C 床版の損傷と その劣化要因に関 する資料収集
																		●	●	●	●	●	●	塩害環境における コンクリート橋の 再劣化

4.2.2 部会の目的

構造部会／橋梁 WG の主たる目的は、「点検→診断→措置（補修）→記録」という一連の維持管理サイクルに関する技術向上であり、これまで表 4.1 に示すテーマで活動してきた。

平成 28 年度（2016 年度）からは、「塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化」を新たなテーマとして下記の通り活動し、コンクリート橋に対する「塩害に対する補修の留意点」の整理を目的とした。成果の内容は維持管理サイクルのうち「措置」に該当するものである。

活動内容

事例抽出 （再劣化事例、塩害対策事例を橋梁診断成果から抽出）
机上調査 （再劣化事例の点検、診断、補修設計の内容調査）
現地調査 （再劣化事例、塩害対策事例を机上調査の上で現地調査）
問題点整理 （机上調査と現地調査の結果から、補修の問題点を検討）
参考文献調査 （塩害補修に関する文献から、既存知見を抽出）

成 果

塩害環境下橋梁の再劣化抑制・適正な維持管理に資する
「塩害補修の留意点」「塩害再劣化事例集」を整理

(1) 本WGにおける「再劣化」の定義

- 1) 本テーマで扱う「塩害再劣化」を以下のように定義する。
「塩害損傷した桁部材の補修後に、同一部材内で再度塩害損傷が発生すること。」
- 2) 特に、補修後早期（10年以内）に再劣化が発生することを問題と捉える。
- 3) 本テーマの目的である「塩害に対する補修の留意点」の整理に際しては、再劣化A、再劣化Bを区分して示すこととする。

1)について

塩害再劣化の定義は、再劣化A、Bを含めて「部材単位」で扱うこととした。

塩害の「再劣化」には、次のようにA、Bの2種類がある。

再劣化A：補修部位で再度発生した劣化損傷

再劣化B：同一部材未損傷部で新たに発生した劣化損傷

一般的な認識は、再劣化＝「再劣化A」であるが、実際の橋梁補修では損傷部位の補修のほか、未損傷部位の予防保全的な対策（多くの場合は、表面含浸材の塗布を実施）も実施しており、つまり「部材単位の補修をしている。

以上から、上述の「再劣化B」についても再劣化として扱い、適用した予防保全的な対策が適正であったか否かを検証した上で留意点を示すべきと考え、上記の通り定義することとした。

2)について

塩害による再劣化事例を調査した結果、補修後最初の橋梁点検（補修後1～3年後）では「A判定（健全度Ⅰ＝健全）」となるが、補修後2回目の橋梁点検（補修後10年未満）では「C2判定（健全度Ⅲ＝早期措置段階）」となる事例が殆どであることを確認した。このようなサイクルでは、10年に一度のサイクルで補修を繰り返すこととなり、橋梁全体（対象部材全体）として効果的な維持管理とは言えず、早期に構造性能の低下を招き「健全度Ⅳ＝緊急措置段階」と判定され、大規模な補強や架け替えの時期が早まることが懸念される。

3)について

塩害橋梁補修では、再劣化A、B毎に必要な対策が異なるため、補修の留意点も異なる。

そのため、再劣化A、Bに区分して、次のように「塩害に対する補修の留意点※」を整理する必要がある。

再劣化A（補修部位で再度発生した損傷） に対する補修時留意点

再劣化B（同一部材未損傷部で発生した損傷） に対する補修時留意点

※「塩害に対する補修の留意点」

4.4に令和3年度以前の委員会で報告した内容を掲載しているが、上記の再劣化A、Bに区分した内容とはなっていない。これは定義を整理する前に報告した内容であるためである。本WGの最終報告書では再劣化A、Bに区分して塩害に対する補修の留意点を整理する。

(2) 活動テーマ設定の背景

活動テーマを設定した背景について、検討した時点の情報に基づいて以下に示す。

北海道開発局が管理する橋梁において、H16 年度定期点検開始以後、補修工事が適宜進捗する中、2～3 巡目の定期点検を経て「補修した部材の再劣化」が顕在化している。特に塩害の場合は早期に再劣化する事例があり、国内におけるコンクリート橋の架け替え主要因は「塩害」が最も多いというデータ（国総研）もある。以下では、塩害による損傷の特徴、北海道開発局の管理橋梁における老朽化の状況、架け替え主要因に関するデータなどを紹介する。

① 塩害によるコンクリート橋の劣化・損傷の特徴

- ・塩害環境は、飛来塩分が舞う海岸線近傍と凍結防止剤散布区間
- ・塩害は、完全な修復が難しく、補修後早期に再劣化する傾向あり

特徴：進行が速い、耐荷力低下が顕著（特に PC 橋の PC 鋼材の腐食・破断）、

構造物全体が劣化しやすい（部位・部材毎に劣化の程度は異なる）

主桁は鋼材かぶりが小さく鋼材腐食が発生しやすい

- ・実態調査事例（土木研究所公開情報より）

「海岸線近傍コンクリート橋における補修後 5～10 年後（＝早期）の再劣化」

海岸線から 100m 以上 再劣化率 15%

海岸線から 100m 未満 再劣化率 58%

② 北海道開発局の管理橋梁における老朽化の状況（注：検討に着手した平成 27 年時点）

- ・北海道開発局の管理橋梁 4,162 橋（橋長 2m 以上）

50 年以上経過した橋梁 15%（630 橋）

40 年以上経過した橋梁 44%（1,839 橋）

（出典：北海道開発局橋梁長寿命化修繕計画（案）H27.3）

- ・点検／診断での判定の傾向と想定される劣化要因

40 年以上経過した橋梁で、C（要速やかな補修）、S（要調査）判定が多数ある。

C、S 判定橋梁は補修後の点検／診断においても C、S 判定が出る（再劣化）傾向あり
再劣化はコンクリート主桁が最多で、次がコンクリート床版となる。

コンクリート主桁再劣化の想定要因

→塩害、防水不良、排水不良、複合劣化などが多い

（塩害による損傷では、C、S 判定が多く、発見時には深刻な状況）

コンクリート床版再劣化の想定要因

→防水不良、排水不良、凍害などが多い

（出典：Rmec 橋梁診断室への聞き取りによる）

③ 国内で塩害を主要因として架け替えた PC 橋梁数（国総研調査結果）

平成 8 年度 調査 塩害が主要因 3 橋（16.7%）／全架替え 18 橋

平成 18 年度 調査 塩害が主要因 17 橋（51.5%）／全架替え 33 橋

（出典：国土技術政策総合研究所資料「橋梁の架替に関する調査結果（IV）平成 20 年 4 月」）

4.2.3 部会の活動内容

当初は、平成28年度から取り組んだ「塩害に対する補修の留意点」について、平成30年度を目途に検討およびとりまとめを完了する予定であったが、平成30年9月に発生した北海道胆振東部地震の影響で、平成30年10月に予定した第2回現地部会（函館開建管内）を平成31年度（令和元年度）に延期することとし、令和2年度にとりまとめを実施する計画に見直した。

その後、令和3年度以降の新テーマ検討において、当該テーマの「塩害再劣化」の継続要望があったため、第3回現地部会（令和2年度）として小樽開建管内を追加し、合計3回の現地部会結果と机上調査結果から総合的な検討を実施して「塩害補修の留意点」を整理する計画に見直した。ただし、コロナ禍の影響で第3回現地部会の開催時期が令和3年度にずれ込んだため、最終的には令和4年度にかけてとりまとめを実施する計画に見直した。

活動内容と全体スケジュール

- | | |
|------------------|------------------|
| 1) 再劣化に関する傾向分析 | : 平成28～令和3年度 |
| 2) 塩害対策に関する情報収集 | : 平成28～令和3年度 |
| 3) 再劣化橋梁の詳細調査と検討 | : 平成29～令和3年度 ※ |
| 4) 留意点とりまとめ | : 令和3～4年度 |
| ※現地部会 | : 留萌開建管内（平成29年度） |
| | 函館開建管内（平成31年度） |
| | 小樽開建管内（令和3年度） |

4.3 塩害を対象にした詳細調査

4.3.1 第2回現地部会結果（函館開建管内）

(1) 実施概要

日 時：令和元年（2019年）6月12日～14日

開催目的：①補修後の再劣化事例の調査

②塩害対策工法適用事例の調査（2種類の防錆対策を含む）

③北海道道路メンテナンス会議との連携〔※〕

※「学識者連携による橋梁劣化の症例検討会」として現地部会を開催

時間：14:30～ 会場：松前町町民総合センター2F 講義室

令和元年度 北海道道路メンテナンス会議・道路管理技術委員会 合同企画

学識者連携による橋梁劣化の『症例検討会』

日時：令和元年6月13日（木） 14:30頃～

場所：松前町 町民総合センター 2階 講義室
（松前郡松前町字神明 30）

議 事 次 第

（司会進行：北海道開発局 函館開発建設部 干場 道路防災推進官）

I. 開 会

II. 挨拶

北海道開発局 建設部 道路維持課 特定道路事業対策官 瓜生 和幸

III. 参加者の紹介

IV. 対象4橋毎の補修経緯と対策・劣化現況（委員会のみ）

…………… 資料A

（1）資料等の説明

（2）質疑応答

V. 対象3橋毎の補修経緯と対策・劣化現況（委員会＋開発局＋自治体）

…………… 資料B

（1）資料等の説明

（2）質疑応答、意見交換

VI. 総 括（道路管理技術委員会 委員2氏・アドバイザー1氏より）

VII. 閉 会

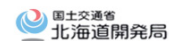


写真 4.1 症例検討会（兼、現地部会）

調査箇所： 函館開発建設部管内 熊石～江差～松前

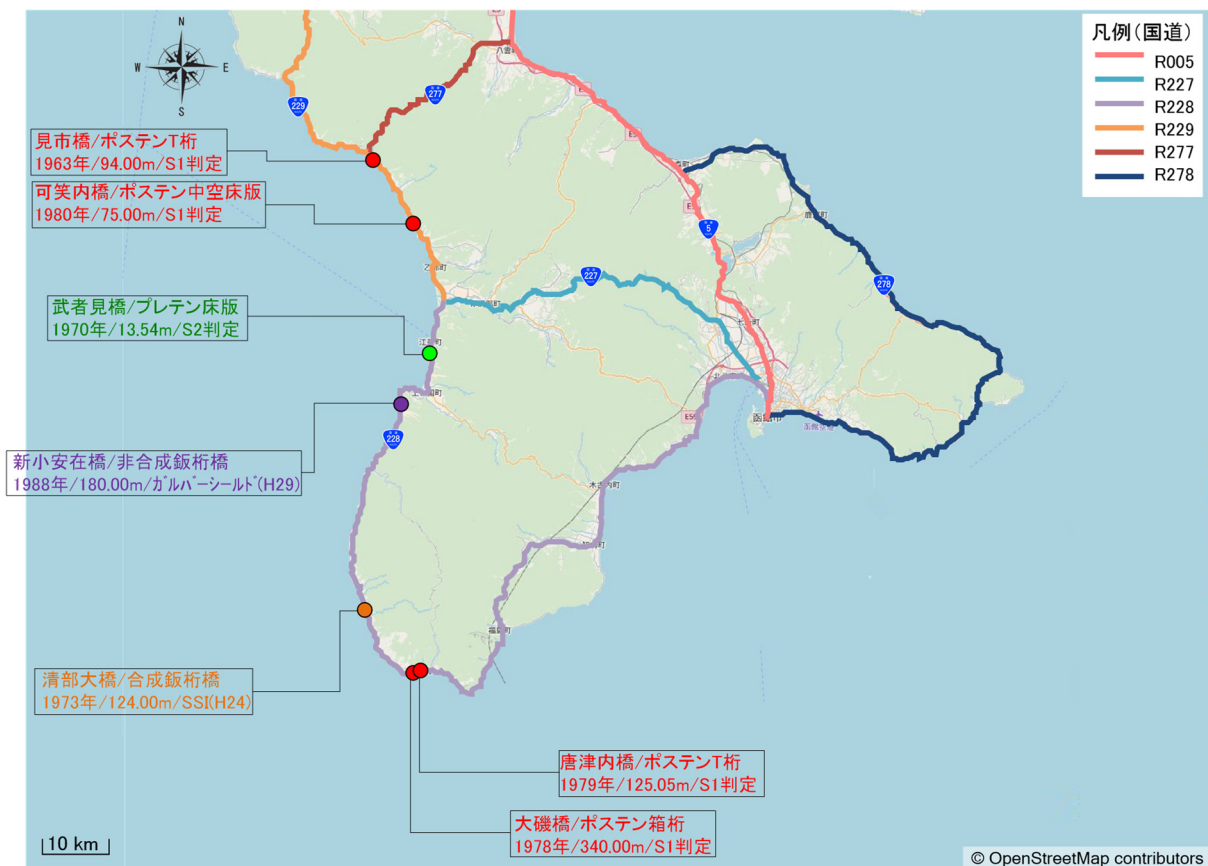


図 4.1 調査箇所図

表 4.1 対象橋梁一覧

対象橋梁		
橋梁	形式	特徴
見市橋	木造T桁	主桁再劣化（S1判定）
可笑内橋	木造中空床版	主桁・床版再劣化（S1判定）
武者見橋	プレテン桁	主桁再劣化（S2判定）
唐津内橋	木造T桁	主桁・橋台再劣化（S1判定）
大磯橋	木造箱桁	主桁再劣化（S1判定）
新小安在橋	鋼鈑桁	橋脚補修でガルバニール工法
清部大橋	鋼鈑桁	橋脚補修でSSI工法

※上表の対象橋梁

対象橋梁は、「(2)机上調査結果」を踏まえて、抽出したものである。

参加者（敬称略）：

① 道路管理技術委員会

参加者	氏 名	所 属
委員	小室 雅人	室蘭工大
委員	松本 高志	北海道大
アドバイザー	西 弘明	寒地土研 寒地基礎技術研究グループ
アドバイザー	葛西 聡	寒地土研 寒地構造 T
アドバイザー	秋本 光雄	寒地土研 寒地構造 T
アドバイザー	安中 新太郎	寒地土研 耐寒材料 T
アドバイザー	遠藤 裕丈	寒地土研 耐寒材料 T
専門技術者	9 名	金副幹事長を含む
事務局	5 名	橋梁診断員を 2 名含む

合計 21 名

② 北海道道路メンテナンス会議

参加者	氏 名	所 属
開発局	瓜生 和幸	本局 道路維持課 特定道路事業対策官
開発局	干場 照平	函建 道路防災推進官
開発局	今野 秀一	函建 工務課長
開発局	近藤 勝俊	函建 函館道路 所長
開発局	武田 大樹	函建 八雲道路 係長
開発局	鶴谷 孝一	函建 道路計画課上席専門官
開発局	山本 裕基	函建 道路計画課専門官
松前町	3 名（現地調査、症例検討会に参加）	
福島町	2 名（現地調査に参加）	
上ノ国町	2 名（現地調査に参加）	
七飯町	3 名（現地調査に参加）	

合計 17 名

(2) 机上調査結果

表 4.2 机上調査結果

[illegible]

机上調査結果について

表 4.2~4.4 は、机上調査結果を一覧表に整理したものである。

再劣化が発生している橋梁の個々の机上調査結果は下表のように整理した。(本報告では、個々の机上調査結果の掲載は省略する)

[illegible]

表 4.3 机上調査結果【PCホスデン桁・函渠・門型カルバート】

[illegible]

表 4.4 机上調査結果【RC ラーメン・RCT 桁・RC 床版(鋼橋)・下部工(鋼橋)】

地域	箇所	箇所	箇所	箇所	箇所	箇所	箇所	箇所	箇所
路線	R229	R232	R228	R228	R228	R228	R228	R228	R228
対象橋梁	曲部橋	相部橋	新小安在橋	東部大橋	曲部橋	二部橋	松川橋	大洲橋	
調査対象区分	BS	B1	B1	B1	B1	BS	B1	B1	B1
構造形式	RC ラーメン (中空床版)	5連間のグレーバー・RCT 桁橋	非合成版橋	合成版橋	非合成版橋	非合成版橋	非合成版橋	合成版橋	合成版橋
建設年次	S48 (1973)	S32(1957)	S63(1968)	S48(1973)	S53 (1978)	S55 (1980)	S47 (1972)	S48 (1973)	
補修年度	H26	H20	H23、H24、H29	H23、H24	H25	H23、H24	H25、H26	H25	
点検年度	H21、H26、R1	H18、H23、H28	H19、H24、H29	H19、H24、H29	H21、H26、R1	H19、H24、H29	H21、H26、R1	H20、H25、H30	
過去の補修履歴からの経過年	5年(H26工事)	5年(H26工事)	8年(H23工事)	7年(H24工事)	6年(H25工事)	7年(H23、24工事)	5年(H26工事)	6年(H25工事)	
対象部材	上部工	上部工(主桁)	上部工(床版) ※参照欄	下部工	上部工(床版) ※参照欄	下部工	上部工	下部工	上部工
対照区分(※赤字年の対照区分)	S1	S1	C1	C2	C1	B	B	S1	C1
部外補修位置の区分量 (kg/m3)	8.3(H25)	1.58~5.68以上 (H25)	0.48~5.49以上 (H25)	5.2(H21) 1.3(H28)	1.2以下(床版H21) 0.1(床版H28)	5.51(P2:H21) 0.27(A2:H21)	13.7(H23)	10.3(H25)	2.5(H23)
補修判定に用いた数値(平均値)	1.75	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
区分間量(30mm)	38(H25)	36~40 (H19)	55.5~125 (H19)	44.8(H21) 73.6(H28)	26.7(H21)	39.6(P2:H21) 12.9(A2:H21)	17.9(H23)	33(H25)	15(H23)
はつり部面による部材腐食	グレートⅠ(H25)	グレートⅡ(H25)	グレートⅠ(H24) グレートⅡ(H28)	グレートⅡ(H21)	グレートⅡ(H21)	グレートⅠ(H23)	グレートⅡ(H23)	グレートⅡ(H25)	グレートⅡ(H23)
表面腐食	－	表面腐食材 (シラン系)	表面腐食材 (シラン系)	－	－	表面腐食材 (シラン系)	表面腐食材 (シラン系)	表面腐食材 (シラン系)	表面腐食材 (シラン系)
断面腐食(部材・部材全面・部材全面)	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS	●はつり・断面腐食 SS
マクロセル腐食対策	○	○	○	○	○	○	○	○	○
電気防食	－	－	－	－	－	－	－	－	－
橋脚の水漏	○	○	○	○	○	○	○	○	○
耐荷力評価と対策	－	－	－	－	－	－	－	－	－
劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)	劣化の程度(部材・損傷)

(3) 現地調査結果

1) 見市橋

■桁下状況



■橋梁概要

形 式	ポステンⅠ桁
建設年	S38(1963)
塩分量	0.92kg/m ³ (H19) 0.81kg/m ³ (H28)
鋼材腐食	グレードⅡ(H28)

■補修履歴

補修年	補修概要
H5～13	コンクリート塗装
H20～21	部分断面修復 表面含浸材(ケイ酸塩系) 橋面防水工

■再劣化状況



上部工：コンクリート塗装部に橋軸方向のひび割れ、錆汁が発生



上部工：部分断面修復部にうき(斜線)、橋軸方向のひび割れが発生

■現地部会所見

- ・主桁下面の部分断面修復部に、橋軸方向のひび割れ、錆汁、うきが発生している。
- ・コンクリート塗装や部分断面修復により補修されているが、塩害による鋼材腐食を効果的に抑制できずに再劣化に到った事例と考える。

2) 可笑内橋

■橋梁全景



■橋梁概要

形 式	ホースン中空床版
建設年	S55 (1980)
塩分量	3.24kg/m ³ (H18) 2.32kg/m ³ (H26)
鋼材腐食	グレード I (H26)

補修年	補修概要
H21	部分断面修復 表面含浸材※(ケイ酸塩系) ※鉄筋腐食抑制効果あり

■再劣化状況



上部工：部分断面修復部にうき（斜線）、橋軸方向のひび割れが発生



上部工：部分断面修復部にうき（斜線）、橋軸方向のひび割れが発生

■現地部会所見

- ・部分断面修復部に、橋軸方向のひび割れ、錆汁、うきが発生している。
- ・表面含浸材塗布部に、橋軸方向のひび割れ、錆汁、うきが発生している。
- ・表面含浸材や部分断面修復により補修されているが、塩害による鋼材腐食を効果的に抑制できず、再劣化に到った事例と考える。

3) 武者見橋

■ 桁下状況



■ 補修履歴

■ 橋梁概要

形 式	プレテン中空床版
建設年	S45 (1970)
塩分量	4.78kg/m ³ (H20) 5.07kg/m ³ (H27)
鋼材腐食	PC 鋼材破断 (H27)

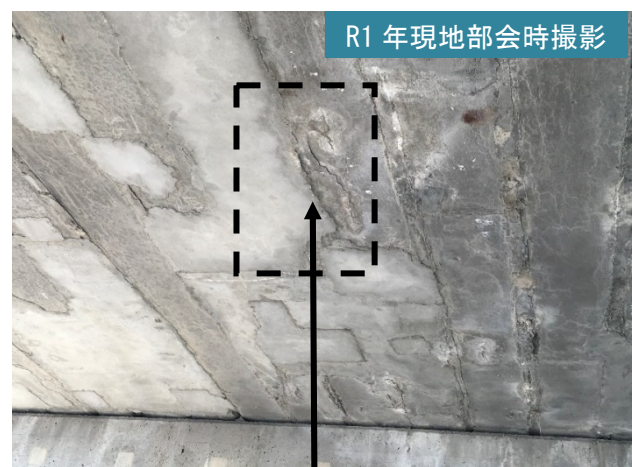
補修年	補修概要
H21	部分断面修復 表面含浸材※(ケイ酸塩系) ※鉄筋腐食抑制効果あり 床版防水工

■ 再劣化状況



H28 年点検時撮影

上部工：表面含浸材塗布部に、うき（斜線）と橋軸方向のひび割れが発生



R1 年現地部会時撮影

上部工：部分修復部周辺の表面含浸材塗布部にひび割れが発生

■ 現地部会所見

- ・ 部分断面修復部に、橋軸方向のひび割れ、錆汁、うきが発生している。
- ・ 表面含浸材塗布部に、橋軸方向のひび割れが発生している。
- ・ 表面含浸材塗布や部分断面修復により補修されているが、塩害による鋼材腐食を効果的に抑制できず、再劣化に到った事例と考える。

4) 唐津内橋

■橋梁全景



■橋梁概要

形 式	ポステンT桁
建設年	S54(1979)
塩分量	3.34kg/m ³ (H19)
鋼材腐食	グレードⅡ(H20)

■補修履歴

補修年	補修概要	
H23	上部工	部分断面修復、桁下全面に表面含浸材（鉄筋腐食抑制効果あり）
	下部工	ひび割れ注入、部分断面修復 全面表面含浸材（シン系、鉄筋腐食抑制効果なし）

■再劣化状況



上部工：断面修復箇所のうき

下部工：断面修復箇所「近傍」
のうき⇒マクロセル腐食

■現地部会所見

- ・主桁の部分断面修復部に、ひび割れが発生している。
- ・橋台の部分断面修復部の近傍に、うきが発生している。部分断面修復部の近傍でマクロセル腐食により再劣化（鋼材腐食、うき）が発生した事例と考える。

5) 大磯橋

■橋梁全景



■橋梁概要

形 式	ポステン箱桁
建設年	S53 (1978)
塩分量	3.12kg/m ³ (H20)
鋼材腐食	ハツリ調査なし

■補修履歴

補修年	補修概要	
H22	上部工	第1径間の桁下面に電気防食工法（チタンメッシュ陽極）
	下部工	全断面修復、表面含浸材（全面）

■再劣化状況



上部工（第1径間）
保護モルタルにうき、ひび割れが発生



橋台縦壁
全断面修復部にうきは見られない

■現地部会所見

- ・電気防食（上部工第1径間）による補修済みで、チタンメッシュ陽極の保護モルタルの一部にうき、ひび割れが発生している。
- ・全断面修復部で補修した橋台縦壁にひび割れを確認したが、うきは発生していない。
- ・いずれのひび割れも、材料に起因する初期欠陥（収縮ひび割れ）の可能性がある。

6) 清部大橋（RC 床版、橋脚）

■対象橋梁



■橋梁概要

形 式	RC 壁式橋脚（上部：鋼鈑桁）
建設年	S48 (1973)
塩分量	5.51kg/m ³ (H21：P2 橋脚)
鋼材腐食	グレードⅢ (H21：P2 橋脚)

■補修履歴

補修年	補修概要	
H24	上部工（床版）	部分断面修復（防錆材、塩分吸着材配合〔SSI 工法〕）
	下部工	全断面修復（防錆材、塩分吸着材配合〔SSI 工法〕） 沓座面に表面含浸材（ケイ酸塩系）

■再劣化状況

R1 年現地部会時撮影

RC 床版：健全（若干細かいひび割れ発生）

R1 年現地部会時撮影

橋脚：全断面修復部にひび割れが発生

■現地部会所見

- ・橋脚の全面断面修復部にかぶり不足によるうき、沓座付近や壁部にひび割れ発生している。
- ・塩害による再劣化か収縮によるものかは外観からは判断できない。
- ・今後の追跡調査（管理）が重要と考える。

7) 新小安在橋（橋脚）

■対象橋梁



■橋梁概要

形 式	RC ラーメン橋脚（上部：鋼鈹桁）
建設年	S63(1988)
塩分量	5.2kg/m ³ （H21：P3 橋脚）
鋼材腐食	グレードⅢ（H21：P3 橋脚）

■補修履歴

補修年	補修概要	
H23	下部工	部分断面修復（犠牲陽極設置※） ※ガルバニールシート
H29～H30		部分断面修復（犠牲陽極設置※） ※ガルバニールシート 剥落防止対策（柱側面全周コンクリート塗装）

■再劣化状況



橋脚：全周コンクリート塗装には特に変状無し



橋脚：部分修復箇所にうき、ひび割れが発生し、修復部近傍にひび割れ発生

■現地部会所見

- ・部分断面修復（犠牲陽極入り）事例だが、修復部周辺のひび割れは注視する必要がある。
- ・剥落防止対策（柱側面全周のコンクリート塗装）の施工箇所の損傷進行は目視確認できず。
- ・剥落防止対策施工箇所は、コンクリート剥落には至らないものの、残留塩分により鋼材腐食進行、ひび割れ発生、うき、錆汁等の損傷が発生する可能性がある。

（4）現地部会議事録

現地部会時に委員、アドバイザーから挙げたコメント・意見を示す。

なお、アンダーライン箇所は、今後の留意点検討に向けて重要なキーワードである。

- ・調査対象橋梁の塩害再劣化の状況は、想像していたほど悪くなかった。
- ・断面修復後の状況を比較すると、部分的な断面修復よりも、全面的な断面修復の方が、再劣化し難いことが確認できた。（次ページ「補足説明」参照）
- ・全般的に、塩害損傷としてひび割れやうきが進行しているが、個別の要因分析が重要である。
- ・要因分析は、補修方法・材料選定・工法選定の妥当性のほか、修復材料や工法（ガルバーシールド等）の耐用年数（寿命）、補修工事の初期欠陥の可能性などを考慮した総合的な分析・検討が必要である。
- ・塩害は、塩分が残留している限り進行し続けるため、補修後の追跡調査を継続実施し、補修方法や防錆工法の効果に関するデータの蓄積が重要である。
（様々な地域の管理者が連携して情報を共有し、好事例を水平展開することが望ましい。）
- ・塩害橋梁の補修方針の決定は、対象橋梁の重要度や維持管理予算を考慮し、架け替えまでの延命等も含めて検討すべきである。
塩害橋梁は、補修後においても残留塩分や補修後に浸透する塩分による劣化損傷が進行するため、継続的な追跡調査や複数回の補修を実施することになる。そのため、特に塩分量が多い場合においては、将来的な架け替えを見据えた維持管理計画の検討が重要である。
- ・本調査で得た知見は、橋梁点検や劣化調査における着目点として重要である。
補修後の経過年数や再劣化の進行状況を明記した「事例集」として整理し、補修設計・補修工事の際の参考資料とすべきと考える。
- ・予算に応じた補修方針検討という観点で、追跡調査によって蓄積するデータに工事費の情報も含めることが望ましい。

【補足説明】部分断面修復と全面断面修復の比較

(1) 事例比較

部分断面修復と全面断面修復の再劣化事例の現地確認結果を示す。

部分断面修復事例：唐津内橋下部工

全断面修復事例：大磯橋下部工

両橋梁は、図 4.1 調査箇所図に示す通り海岸線に位置し、相互の架橋位置も非常に近い。また建設年もほぼ同時期であり、ほぼ同様な塩害環境条件であったと考えられる。

表 4.5 部分断面修復と全面断面修復の比較

修復方法	部分断面修復	全断面修復
対象橋梁	唐津内橋下部工	大磯橋下部工
再劣化状況	 マクロセル腐食による「うき」（斜線部） 断面修復部にはひび割れ、うきが発生	 断面修復部に「うき」の発生なし 断面修復部にひび割れが発生
補修内容	部分断面修復（PCM、犠牲陽極無し） 全面に表面含浸材 ひび割れ注入	全断面修復 全面に表面含浸材
考察	典型的なマクロセル腐食が発生！ 断面修復部のひび割れ、うきにより鉄筋腐食進行の再劣化が懸念される	全断面修復の好事例！ 修復部ひび割れは、材料特性による収縮ひび割れ（初期欠陥）と推察される

(2) 断面修復箇所の再劣化の評価について

部分断面修復による補修後に発生する再劣化は、下記2種類の再劣化が発生する。

- ・断面修復部の「ひび割れ」「うき」
- ・「マクロセル腐食※」による断面修復部近傍の「ひび割れ」「うき」

※断面修復部と未補修部との塩分濃淡電池の電位差で発生する未補修部の鋼材腐食
前者の再劣化の場合、補修時の初期欠陥（収縮ひび割れ）との違いを外観損傷から判断することは難しい。

断面修復工法による塩害補修においては、劣化部（高塩分濃度の深さ）のハツリ、鉄筋防錆処理・プライマー塗布・断面修復（左官工法等）を行うが、これらの補修施工時に発生する可能性

がある「初期欠陥」は次のような事例が挙げられる。

- ・電動工具はつり作業に伴う母材コンクリートへのダメージ（⇒うきの発生）
- ・プライマーの性能不足や低温環境下での付着不良（⇒うきの発生）
- ・不十分な防錆処理（⇒鋼材腐食の進行、ひび割れ、うきの発生）
- ・修復材料であるポリマーセメントモルタル（PCM）の収縮（⇒収縮ひび割れの発生）

以上の「補修施工時の初期欠陥」と「塩害による鋼材腐食の進行による再劣化」見極める際には注意を要する。

4.3.2 第3回現地部会結果（小樽管内）

(1) 実施概要

日 時： 令和3年（2021年）6月29日（火）、7月8日（木）

開催目的： ①補修後の再劣化事例の調査（10橋）

②塩害対策工法適用事例の調査（犠牲陽極、電気防食など6橋）

調査箇所： 小樽開発建設部管内

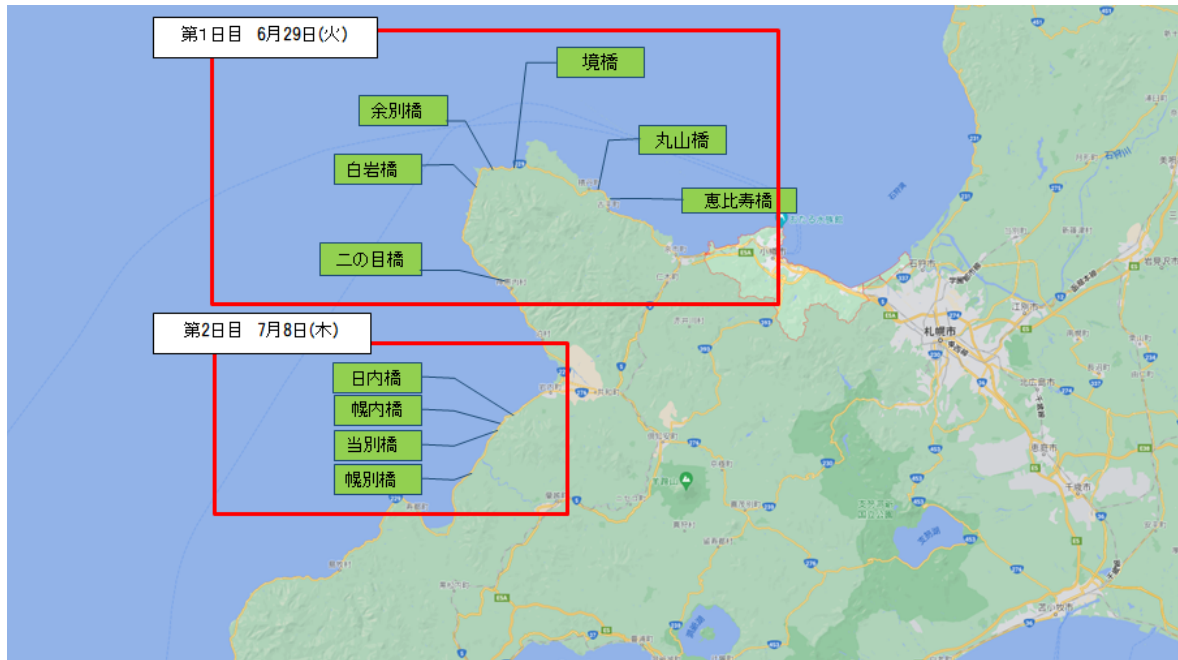


図 4.2 調査箇所図

表 4.6 対象橋梁一覧

路線	名称	ヨミガナ	起点側所在地	橋種	橋梁形式	橋長	架設竣工年	塩害地域区分	総合検査結果より		代表対策区分	健全度
									再劣化	犠牲陽極 電気防食		
229	恵比寿橋	エビスバシ	古平町浜町	RC橋	単純RC T 桁橋	10.6	1953	B- (S)	再劣化	電気防食	C1	Ⅲ
229	丸山橋	マルヤマバシ	古平町群来	PC橋	単純PC プレテン床版橋	7.3	1962	B- (S)	再劣化		B	
229	境橋	サカイバシ	積丹町野塚	RC橋	特定溝橋 (BOXカルバート)	6.3	1972	B- (S)	再劣化	犠牲陽極		Ⅲ
229	余別橋	ヨベツバシ	積丹町来岸町	混合橋	2径間連続RC T 桁橋, 2径間連結PC プレテン中空床版橋	30.7	1961	B- (S)	再劣化	犠牲陽極	S1	Ⅲ
229	白岩橋	シライワバシ	積丹町神岬	RC橋	単純RC ラーメン橋	5.9	1972	B- (S)	再劣化	犠牲陽極	S2	Ⅱ
229	二の目橋	ニノメバシ	神恵内村神恵内	PC橋	単純PC プレテン床版橋	7.34	1971	B- (S)		犠牲陽極	A	
229	日内橋	ニチナイバシ	岩内町敷島内	PC橋	単純PC プレテンT 桁橋	16.7	1976	B- (S)	再劣化	犠牲陽極	S1	Ⅲ
229	幌内橋	ホロナイバシ	岩内町敷島内	PC橋	単純PC ポステンT 桁橋	23.8	1976	B- (S)	再劣化	犠牲陽極	C2	Ⅲ
229	当別橋	トウベツバシ	岩内町敷島内	PC橋	単純PC プレテン床版橋	12.17	1983	B- (S)	再劣化		C1	Ⅲ
229	幌別橋	ホロベツバシ	寿都町横洞	PC橋	単純PC ポステン中空床版橋	12.17	1983	B- (S)	再劣化		B	I

※上表の対象橋梁

対象橋梁は、「(2) 机上調査結果」を踏まえて、抽出したものである。

参加者（敬称略）：

	出欠		氏 名	所属
	6/29	7/8		
委員	○	○	松本 高志	北海道大学大学院
	○		佐藤 太裕	北海道大学大学院
アドバイザー	○	○	島多 昭典	寒地土木研究所
専門技術者 担当技術者	○	○	寿楽 和也	
	○	○	大山 高輝	
	○	○	佐藤 誠	
	○	○	荒木 誠司	
	○	○	朝倉 啓仁	
	○	○	伊藤 雄二	
	○	○	井上 雅弘	
	○		坂田 浩一	
事務局		○	高畑 智考	
	○	○	石川 雅啓	R m e c 企画部橋梁診断室
	○	○	傳田 徹	R m e c 企画部橋梁診断室
	○	○	葛西 恭平	R m e c 事業部
	14 名	13 名		

(2) 机上調査結果

表 4.7 机上調査結果【PC プレゼンテーション・プレゼンテーション・ホステッド版】

[illegible]

表 4.8 机上調査結果

[illegible]

(3) 現地調査結果

1) 恵比寿橋

■対象橋梁



■現地部会状況



通電設備（電線、分電盤）

■再劣化経緯

- ・ H2 年 電気防食による塩害対策
- ・ H23 年 電源装置交換
- ・ 過去複数回にわたり補修を実施



桁裏補修状況、通電設備



桁裏補修状況

■現地部会所見

- ・ 電気防食での対策の際、橋面からの漏水があると効果が発揮されない。
→ 電気防食対策に対しては、橋面防水など排水対策済みを前提とする。
- ・ 電気防食の通電状況確認など維持管理方法の明確化と確実な運用が必要である。
→ 実施方法は橋梁点検業務か、電気関係専門技術者に別途業務か、整理が必要である。
- ・ 桁内に陽極が設置されるため、断面補修の際に陽極を損傷させない配慮が必要である。
→ 点検調書や橋梁台帳などに電気防食が施工済みであることを明記などが考えられる。
補修設計や補修工事の際に容易に図面から読み取れる配慮も重要である。

2) 境橋

■対象橋梁



■再劣化経緯

- ・ H21 点検：
頂版・側壁・翼壁・袖擁壁に剥離、ひび割れ
- ・ H22 断面修復：
犠牲陽極、亜硝酸リチウム、シラン系含浸材
- ・ H26 点検：
断面補修部にひび割れ、漏水・遊離石灰
- ・ R01 点検：
断面修復部のひび割れ、漏水・遊離石灰

■現地部会状況



頂版の補修状況（部分修復）



側壁小口部の補修状況（全断面修

■現地部会所見

- ・ 補修は、WJ（ウォータージェット）によるハツリ、全断面修復、亜硝酸リチウム活用である。
- ・ 修復部のうきなどが無く、断面修復による塩害対策としては良好と現状は評価する。
- ・ 頂版は、部分断面修復材料の収縮によるひび割れが発生し再劣化と診断された。
メカニズムは「乾燥収縮→ひび割れ→水浸透による凍害発生※」と想定される。
※水浸透による凍害発生について
ボックス上部や背面から水が供給されている場合は、排水処理が重要。
断面修復部のひび割れ発生により、今後も補修部の劣化が進行する可能性がある。
- ・ 小口部は、全断面修復で犠牲陽極が配置されており、再劣化は見られない。

3) 白岩橋

■対象橋梁



■再劣化経緯

- ・ H21 点検：
剥離・鉄筋露出、ひび割れ、漏水等
- ・ H21 塩害点検：
鉄筋位置で 6.43kg/m^3 （堅壁部）
- ・ H21 詳細調査：
塩害、凍害、ASR の複合劣化と判定
- ・ H23 補修：
部分断面修復、犠牲陽極、表面保護工
- ・ H26 点検：
主桁・堅壁にひび割れ、漏水・遊離石灰
- ・ R01 点検：
H26 点検時損傷の進行あり

■現地部会状況



頂版：部分修復（犠牲陽極）、含浸材
未補修部でひび割れと遊離石灰



側壁：部分修復（犠牲陽極）、含浸材
未補修部でひび割れと遊離石灰

■現地部会所見

- ・ WJによるハツリ、犠牲陽極による部分断面修復が実施されている。
 - 塩分量は多いが補修部の再劣化は発生していない。
 - 断面修復部において修復材料の収縮ひび割れは発生している。（うきは無し）
- ・ 頂版と側壁の未補修部からの漏水と遊離石灰が発生している。
 - H23 年補修時に橋面（頂版上面）防水工が実施されていない。
 - 頂版、側壁の背面から水の供給がある場合、防水工の対策が必要である。

4) 当別橋

■対象橋梁



■現地部会状況



主桁補修状況と再劣化の状況確認

■再劣化経緯

- ・ H20 塩害特定点検：鉄筋位置 2.20kg/m³
- ・ H22 補修で含浸材塗布
- ・ H25 定期点検：錆汁等は見られず
- ・ H30 塩害特定点検：鉄筋位置 2.14kg/m³
- ・ H30 定期点検：ひび割れ、錆汁の発生



主桁補修状況（断面修復、含浸材）



主桁再劣化箇所の H30 詳細調査跡

■現地部会所見

- ・ 部分断面修復は、ハンドピックハツリ、部分断面修復、含浸材塗布による施工である。
- ・ 断面修復部は健全だが、未補修箇所で一方向のひび割れが発生し劣化が進行している。
- ・ 塩分量は、H20 から 30 年まで 10 年間変動が無く、含浸材塗布の効果と評価できる。
- ・ H30 年度に詳細調査が実施されている。
→鉄筋腐食状況によっては、残留塩分による塩害（鋼材腐食）が進行している。

5) 二の目橋

■対象橋梁



■現地部会状況



主桁補修状況（断面修復）

■再劣化経緯

- ・ H22 補修：
部分断面修復、主桁含浸材塗布、橋面防水
- ・ H25 定期点検：
損傷なし、診断では軽微な錆汁
- ・ H30 塩害特定点検：
鉄筋位置で 3.31kg/m^3
- ・ H30 補修：
部分断面修復(犠牲陽極)、ひび割れ補修
- ・ H30 定期点検：
漏水遊離石灰発生



間詰コンクリートからの錆汁漏出

主桁補修状況（断面修復）

■現地部会所見

- ・ 桁下面は、部分断面修復（犠牲陽極を設置）で補修されており、健全な状態である。
- ・ 海側桁端部は、全面断面修復（WJによるハツリ、犠牲陽極設置、含浸材塗布）で補修されており、健全な状態である。
- ・ 詳細調査時のハツリ個所が未補修の状態为数か所残っていた。
→ 詳細調査後は塩害進行抑止のためにも速やかな鉄筋腐食対策実施が必要である。
- ・ 間詰部からの錆汁漏出を確認した。
→ 将来的に横締PC鋼材の腐食などが懸念される状況と考えられる。
床版防水機能の健全性を確認する調査が推奨される。

6) 丸山橋

■対象橋梁



■現地部会状況



主桁補修状況（陸側）

■再劣化経緯

- ・ H19 塩害特定点検：鉄筋位置で 6.20kg/m^3
- ・ H20 定期点検：主桁に剥離
- ・ H22 補修：断面修復(凸型)
シン系含浸材
- ・ H25 定期点検：外観変状なし
- ・ H30 補修：床版防水工、伸縮装置
- ・ H30 定期点検：ひび割れ、錆汁確認



主桁補修状況（海側）

■現地部会所見

- ・ 主桁下面スターラップのかぶり不足箇所を、凸型断面修復にて補修した事例である。
- ・ 凸型修復部は、再劣化は発生していない。これは WJ によるハツリ、亜硝酸リチウムによる防錆対策により施工されている効果と考えられる。
- ・ 桁下面の凸型修復に関しては、防錆対策により修復部位のみ再劣化が防止されている。未補修部はかぶり不足のままであり、一部で鉄筋腐食（錆汁発生）が進行している。
→ 錆汁の原因分析と対策が必要。（かぶり不足かマクロセル腐食か）
- ・ 間詰コン部分に錆汁は無く、橋面防水工が現状でも機能していると評価できる。

7) 余別橋

■対象橋梁



■再劣化経緯

- ・ H20 塩害特定点検：鉄筋位置で 6.01kg/m^3 （RCT 桁部）
- ・ H21 定期点検：主桁のひび割れ、うき
- ・ H22 補修：断面修復（犠牲陽極）、表面保護
- ・ H26 定期点検：損傷なし
- ・ R01 定期点検：未補修部のうき、ひび割れ、遊離石

■現地部会状況



PC プレテン床版：凸型断面修



RCT 桁：WJ ハツリ、犠牲陽極



うき（未補修箇所）



遊離石灰（未補修部）



ひび割れ（未補修部）

■現地部会所見

- ・ プレテン桁は、凸型断面修復で補修されているが、補修部の再劣化は発生していない。補修箇所以外では、うきやひび割れが発生しているが、ASR の可能性も指摘されており、一概に塩害の再劣化とは言えない状況である。塩害および ASR 共通の対策工として橋面防水工が必要である。
- ・ RCT 桁は、海側桁側面と下フランジ下面を部分断面修復（WJ によるハツリ、犠牲陽極）で補修され補修部の再劣化はない。塩害対策として塗布されていた表面被覆工は H22 年の補修時に除去され、目視点検可能となっている。

8) 日内橋

■対象橋梁



- ・ 1976竣工
- ・ 単純PCプレート床版橋

■現地部会状況



下フランジに繊維シート補強

■再劣化経緯

- ・ H21 定期点検 : 主桁等に剥離
- ・ H22 塩害特定点検 : 鉄筋位置 10.06kg/m³
- ・ H23 補修 : 断面修復、犠牲陽極
- ・ H26 定期点検 : 主桁にひび割れ、錆汁
- ・ H26 補修 : 断面修復
- ・ H30 塩害特定点検 : 鉄筋位置 7.36kg/m³
- ・ R01 定期点検 : 補修部のうき、ひび割れ・錆汁発生



T桁ウェブ側面から錆汁



補修部のうき



上流側ウェブ側面全体のうき



床版・横桁に遊離石灰

■現地部会所見

- ・ 上床版とウェブ全面が断面修復（WJによるハツリ、犠牲陽極設置）により補修され、上流部ウェブ側面以外では再劣化は発生していない。
- ・ 上流側ウェブ側面では、広範囲で「うき」が発生している。
原因は、主桁直上の歩車道境界部からの漏水と推察され、橋面防水補修が必要である。
- ・ 塩分量が多いため、内在塩分による今後の劣化進行が懸念される。
- ・ 下フランジ下面は、繊維シート補強されているため、劣化損傷状況を確認できない。
- ・ 上フランジ下面の補修は、含浸材塗布のみのため、ひび割れと遊離石灰が発生している。

9) 幌内橋

■対象橋梁



■再劣化経緯

- ・ H21 定期点検 : 主桁等で剥離
- ・ H21 塩害特定点検 : 鉄筋位置で 3.61kg/m^3
- ・ H23 補修 : 断面修復、犠牲陽極、表面保護、橋面防水工、伸縮交換
- ・ H26 定期点検 : 主桁等でひび割れ、うき、錆汁
- ・ H30 塩害特定点検 : 鉄筋位置で 5.81kg/m^3
(塗装橋梁のため上部工は推定値)
- ・ R01 定期点検 : うき、錆汁の発生

■現地部会状況



主桁の状況（主桁間）



主桁の状況（上流端）



上ワング補修部の錆汁



横桁補修部の錆汁



床版下面補修部のうき

■現地部会所見

- ・ 部分断面修復の補修方法は、WJ によるハツリ、犠牲陽極設置で実施された。
さらにポリウレタン樹脂での表面保護工が施工されている。
- ・ 主桁など各部材で、ひび割れ、錆汁が発生している。
- ・ 橋面防水が実施されているが、錆汁が発生しているため防水機能の低下が伺える。
- ・ 表面保護工の影響で母材の劣化損傷状況を目視確認できない。
(ひび割れやうきが塩害劣化なのか、表面保護工の割れやうきなのかなどが判断不可)
- ・ 補修後に内在塩分が部材内に拡散され、再劣化が発生した可能性が高い。

10) 幌別橋

■対象橋梁

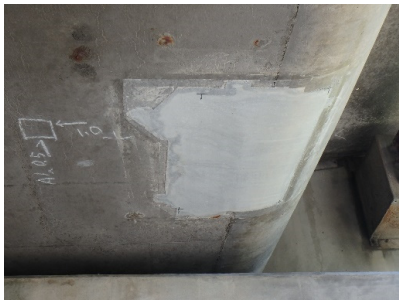


■現地部会状況



■再劣化経緯

- ・ H16 定期点検 : 主桁にひび割れ、錆汁
- ・ H20 塩害特定点検 : 鉄筋位置 5.37kg/m³
- ・ H20 補修 : 部分断面修復（鋼材までハツリ、マクロセル腐食対策なし）、桁下面全面に含浸材、橋面防水工
- ・ H26 定期点検 : 主桁にひび割れ、うき、錆汁
- ・ H30 定期点検 : 補修部以外のひび割れやうき発生
- ・ H30 詳細調査 : マクロセル腐食(スターラップ 鉄筋断面欠損)や ASR 反応を確認
- ・ H31 補修 : 部分断面修復（ASR 塩害対策用モルタル使用）、伸縮装置交換



■現地部会所見

- ・ H20 補修は、部分断面修復（ハンドピックハツリ、犠牲陽極無し）、含浸材塗布である。
- ・ H26 点検で、マクロセル腐食による再劣化が確認されている。
- ・ H31 補修において、ASR 対応可能なモルタル（複合劣化抑制ペースト）を採用している
- ・ H20 および H31 補修において、内在塩分を除去できていないため、今後も塩害劣化と ASR 劣化が進行する。この状態が続くと数年サイクルで断面修復補修を繰り返すことになるかと推察される。未補修部も含めて全体的に内在塩分量が多いと考えられ、今後は架け替えを念頭とした延命対策の検討を推奨する。橋梁全体の詳細調査を実施した上で、電気防食などの抜本的な塩害対策の検討が必要である。

11) 現地部会総括

① 断面補修時のWJ工法によるハツリ（塩分除去）

部分断面修復のハツリ方法に関して、「WJ工法」を採用した事例で、補修後の早期再劣化を回避している事例を確認した。WJによるハツリ施工により早期の再劣化を抑制できる可能性があるため、ハンドピックによるハツリ施工の事例と対比して留意点を整理することが望ましい。

② 鉄筋のマクロセル腐食対策としての犠牲陽極材の設置

マクロセル腐食対策として犠牲陽極を設置した補修では、補修部および周辺部位の健全性が維持されており、防錆対策として効果的であることを確認した。ただし犠牲陽極材は耐用年数（腐食環境によって異なる）を超過すると犠牲陽極材の効果は消失することに留意する必要がある。

マクロセル腐食対策の留意点は、犠牲陽極材の耐用年数を想定し、対象橋梁の供用期間において犠牲陽極材の交換が必要になる場合はこれを考慮し、長期的な塩害対策（維持管理計画）を検討することが重要であることなどについて留意点として言及することが望ましい。

③ 表面処理対策としてのシラン系含浸材塗布

表面含浸材を塗布する対策は、吸水抑制機能が持続しているか否かの目視判断が難しく、課題として改めて認識した。

表面含浸材による対策は、除塩でも防錆対策でもないため、塩分量が多い（発錆限界値以上）場合は根本的な対策とならないことから、適用の是非を十分に検討する必要がある。

また、冬期の塗布作業など、表面が乾燥していない状態では含浸しない可能性が高いため、施工時期に関する留意点も重要である。

④ 電気防食工法における通電設備の維持管理

電気防食工法においては、通電設備が機能していることを定期的に確認・管理を行うアフターケアが重要である。自然電位の継続計測など、具体的な維持管理方法を検討し確実に遂行する必要がある。

⑤ プレテン床版桁におけるかぶり不足対策

調査した塩害橋梁の中に、プレテン床版桁の下面に対して、凸型断面修復によりスターラップのかぶり対策を兼ねる補修事例があった。プレテン床版桁のかぶり不足への対策として、①凸型補修の効果や、②大幅な死荷重増加となってしまう全断面増厚によるかぶり対策の可能性、などについて留意点として言及してはどうか。

⑥ 表面保護工（コンクリート塗装）の留意点

表面保護工による補修事例を確認したが、母材であるコンクリート表面の状況が目視確認できないため、調査時や補修設計時の留意点として撤去も含めた対応について整理する必要がある。

⑦ その他

これまでに留萌、函館、小樽地区の現地部会を実施したが、委員より「損傷状況に地域差があるため、考察が必要。」との指摘があった。（⇒「参考検討」の結果を次頁に示す。）

現地部会追加検討

塩害地域の損傷の違いに関する一考察

検討の目的と方法

Que: 塩害損傷は、留萌・函館＞小樽と感じたが、理由は何か？

- プレテン床版橋（JISA5313、I桁）現地部会橋梁について、飛来塩分環境を分析
- 今回検討の飛来塩分環境
アメダスに波浪データがなく、日最大風速10m/s以上の年間日数で代表塩分量調査結果による表面塩化物イオン濃度COの大小
- 対象橋梁

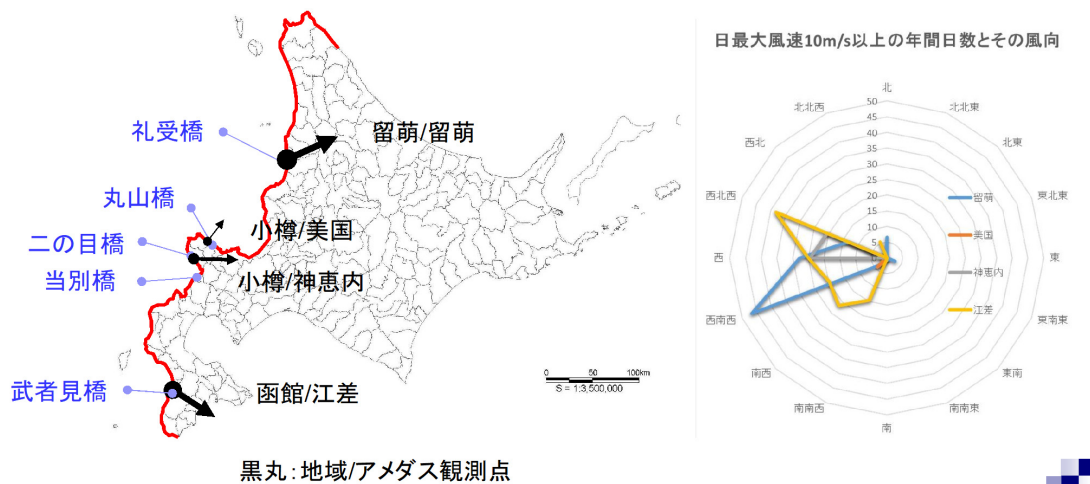
橋名	地域 /アメダス観測点	建設年/ 塩分調査年/ 経過年数	JIS A 5313桁 適用年
礼受橋	留萌/留萌	1971/2006/35	1959
丸山橋	小樽/美国	1962/2007/45	1959
二の目橋	小樽/神恵内	1971/2009/38	1959
当別橋	小樽/神恵内	1983/2009/26	1980
武者見橋	函館/江差	1970/2007/37	1959

飛沫発生環境の整理

飛沫発生環境（日最大風速10m/s以上の年間日数）

日最大風速10m/s以上の頻度（地域/アメダス観測点）

留萌/留萌＞函館/江差＞小樽/神恵内＞小樽/美国



塩分量調査結果から飛来塩分環境をフィティング

フィックの拡散方程式の解を用いて、 C_0 、 C_{int} を計算

$$C(x, t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right] + C_{int}$$

誤差関数 erf

深さ x (mm)

経過年数 t (year)

深さ x (cm)、経過年数 t (year) の塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

表面塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

塩化物イオンの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

初期塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

対象橋梁の海側側面の外観（立地環境）

橋梁名	礼受橋	丸山橋	二の目橋	当別橋	武者見橋
地域/ アメダス	留萌/留萌	小樽/美国	小樽/神恵内	小樽/神恵内	函館/江差
建設年 調査年 経年	1971/2006/35	1962/2007/45	1971/2009/38	1983/2009/26	1970/2007/37
外観 (海側)					
外観 (山側)					

飛沫発生環境の整理

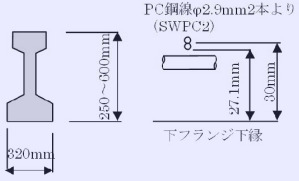
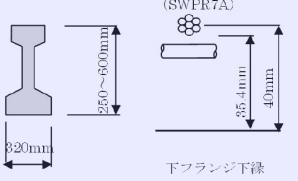
- 波浪（海岸の荒れ具合）の頻度を代表して
日最大風速10m/s以上の年間日数に着目



大風速10m/s以上の日数とその風向（年平均）

アメダス観測点	留萌	美国	神恵内	江差
北	6	0	0	0
北北東	0	0	0	0
北東	0	0	0	0
東北東	0	0	0	0
東	0	0	0	0
東南東	3	0	0	0
東南	0	0	0	0
南南東	1	0	0	0
南	0	0	0	0
南南西	0	1	0	14
南西	3	4	0	21
西南西	46	1	0	19
西	27	0	23	25
西北西	13	0	20	38
西北	0	0	0	0
北北西	1	0	0	5
年数	59	43	43	59
期間起点	1961.1	1977.1	1977.1	1961.1
期間終点	2020.1	2020.1	2020.1	2020.1

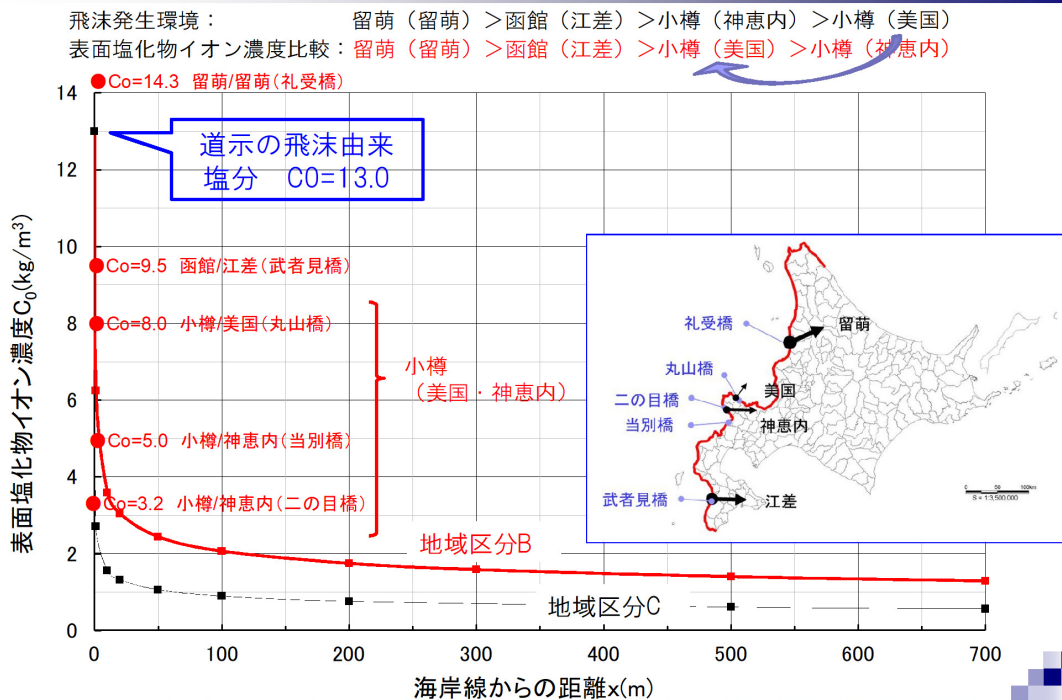
PC鋼材かぶり

	JIS A 5313-1959	JISA5313-1980
PC鋼材 かぶり		
適用橋梁	礼受橋 丸山橋 二の目橋 武者見橋	当別橋

塩分量調査結果から飛来塩分量をフィッティング

橋名	地域/ アメダ ス観測 点	建設年/ 塩分調査年/ 経過年数	JIS A 5313桁 適用年	C0 (Cl- kg/m3)	D (cm2/ 年)	Cint (Cl- kg/m3)	塩分量 (Cl-kg/m3) (PCかぶり mm)	PC鋼材腐食開始年	
							調査時点	Clim=1.2 kg/m3	Clim=2.5 kg/m3
礼受橋	留萌/ 留萌	1971/2006/35	1959	14.3	0.185	0.3	4.8 (c27.1)	5.7	9.8
丸山橋	小樽/ 美国	1962/2007/45	1959	8.0	0.185	0.3	4.3 (c27.1)	7.9	16.8
二の目 橋	小樽/ 神恵内	1971/2009/38	1959	3.2	0.185	0.3	1.8 (c27.1)	17.3	128.2
当別橋	小樽/ 神恵内	1983/2009/26	1980	5.0	0.185	0.3	1.6 (C35.4)	19.0	58.0
武者見 橋	函館/ 江差	1970/2007/37	1959	9.5	0.185	0.29	4.7 (c27.1)	7.1	13.9

検討結果



考察

➤ Que: 塩害損傷は、留萌・函館＞小樽と感じたが、理由は何か？

- プレテン床版橋（JISA5313、I桁）現地部会橋梁について、飛来塩分環境を分析
- 今回検討の飛来塩分環境
 - アメダスデータによる波浪頻度の大小
 - 塩分量調査結果による表面塩化物イオン濃度 C_0 の大小

➤ Ans:

- 飛沫発生環境と表面塩分量の強度順序が一致することを確認
 - すなわち、留萌＞函館＞小樽の順に強度大
- 同じ日本海沿岸のB地域でも、飛沫発生環境の強度に相違あり
- なお、飛沫発生環境は、日最大風速10m/s以上の年間日数で代表した
- 小樽エリア内のアメダス観測点、美国と神恵内との間で、飛沫発生環境と表面塩分量の強度関係に逆転が見られる。データ数を増やすことにより、傾向が安定するものと思われる。
- 今回の検討では、大枠での傾向把握に留めるものとする。

※取扱上の注意点

以上は、3地域の気象条件の違いに着目した参考検討であり、上記考察は損傷の差に対する見解の一例という位置付けで整理したものである。

4.4 塩害に対する補修の留意点

以下に、補修の留意点整理に向けた着目点、留意点を示すが、これらは令和3年度までに道路管理技術委員会において報告した内容であるため、以降の内容は「中間報告」と位置付ける。

4.4.1 着目点

塩害補修の留意点整理は、下記の着目点に沿って実施する。

「詳細調査項目」 : 実施を推奨すべき調査（塩分量調査、鋼材腐食調査など）

「鋼材の発錆限界値」 : 安全側となる設定（基本は 1.2kg/m^3 が目安）

「補修工法選定内容」 : 断面補修範囲の設定（局部の場合、全面の場合）
鋼材腐食防止対策の要否（マクロセル腐食対策など）
構造物の重要度や予算を踏まえた補修計画の考え方

「補修後の管理」 : 橋梁点検以外に行うべき橋梁管理の留意点
・電気防食工法の通電状況の確認など管理上の留意点
・自然電位計測等による腐食状況の追跡調査
(追跡調査→補修→点検(監視)→追跡調査)

4.4.2 塩害に対する補修の留意点

これまで報告済みの「塩害に対する補修の留意点」を示す。

(1) 詳細調査に関する留意点

① 調査項目

詳細調査項目は、塩化物イオン濃度、中性化、かぶり、ハツリ調査（鋼材腐食度判定）を行い総合的に判断すること。

机上調査を実施した事例には、塩化物イオン濃度試験を補修設計年に実施せず、直近の「塩害に関する特定点検」結果を流用しているケースを確認した。補修時の塩化物イオン濃度は増加している可能性が高く、本事例では塩害劣化の状況を過小評価している可能性がある。

② 調査箇所

塩化物イオン濃度試験のコア採取箇所は、錆汁や剥離等、塩害の外観損傷が発生している箇所で採取すること。また、表面塩分が雨水や漏水で流されない箇所で行うことが望ましい。

採取数量では、設計者の判断や、業務費用の制約等で整合が取れていない事例を確認した。損傷部部位の追跡調査や、地形条件や橋梁形式の特徴による塩分量分布の違い、特性橋梁全体の損傷状況の把握などの観点から総合的に決定する必要がある。

例えば、下図のように地形条件や桁形式特性の違いによって、海側に加え、山側の損傷が多い場合などは両方採取すべきなどの注意事項が考えられる。（地形によって海側よりも山側で塩分量が多くなる場合があり、T桁の場合はウェブ、下フランジで塩分分布が異なる場合があるなど）

精度の高い評価のためには、かぶりの計測範囲も広範で検討すべきである。



写真 4.2 山側の塩害損傷事例
（補修前の大磯橋主桁）

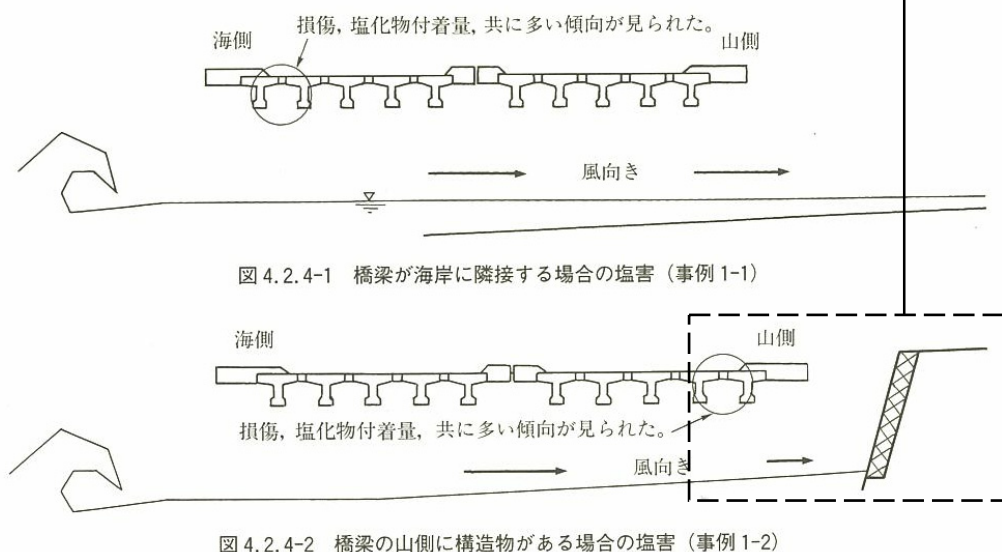
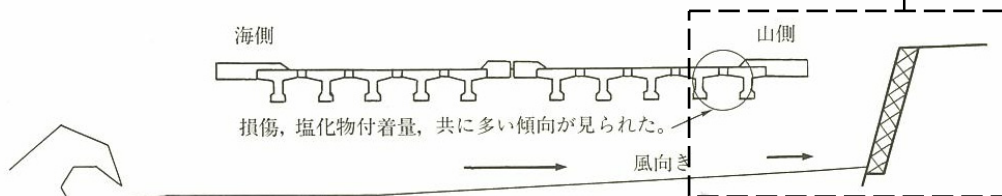


図 4.2.4-2 橋梁の山側に構造物がある場合の塩害（事例 1-2）



（出典：コンクリート診断技術'19 [応用編]
公益社団法人日本コンクリート工学）

図 4.3 地形特性と塩害発生個所に関する事例

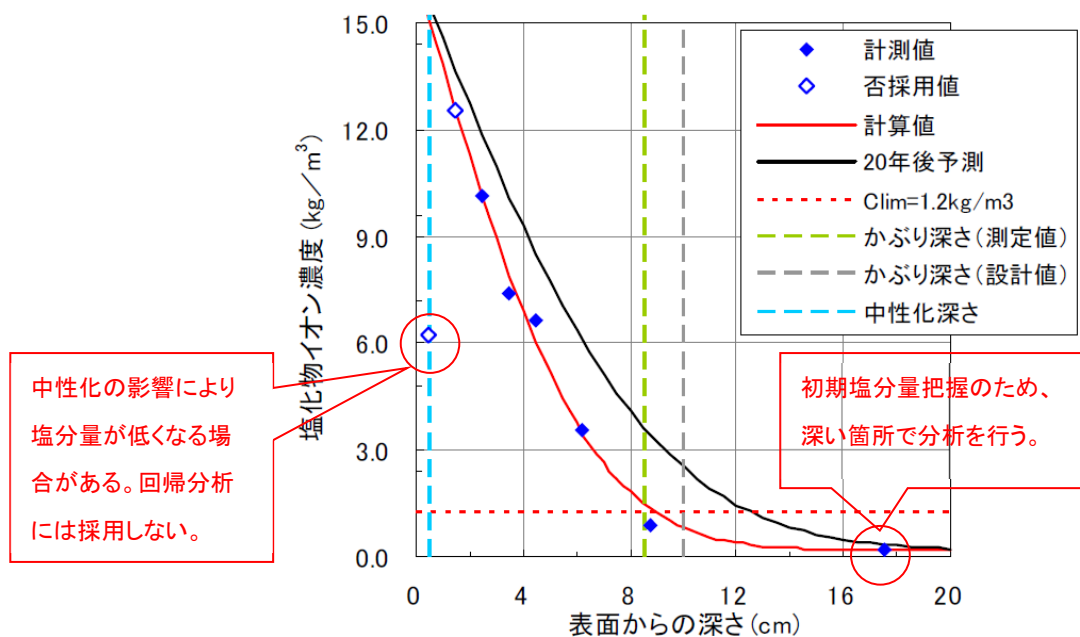
③ 塩化物イオン濃度試験

塩化物イオン試験を行う位置は、回帰分析を行うことを念頭に決定すること。

- ・表面塩分量の把握のため、中性化影響を受ける範囲を細かいピッチで試験を実施する。
- ・初期塩分量は可能な限り深い箇所を分析することを考慮する。
- ・部材厚にもよるが、7～10試料を理想として試験計画を立てる。
- ・ハツリ深さを決定することなどを念頭に、分析グラフは分かり易く作成すること。

⇒塩分分析結果から、補修（はつり）深さや、マクロセル腐食の検討を行うため、内在する塩分の分布を精度よく再現できるように工夫する。

【塩分分析結果A】分かり易い事例



【塩分分析結果B】分かり難い事例

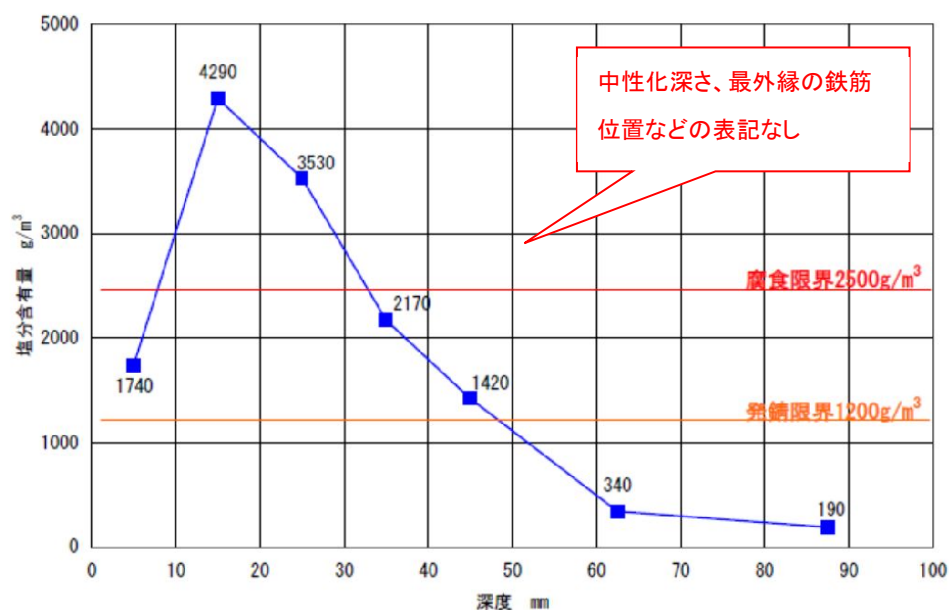


図 4.4 塩分分析結果事例

(2) 鋼材発錆限界値に関する留意点

机上調査結果の結果、塩害補修設計で採用している鋼材の発錆限界値は下表のとおり。

表 4.9 鋼材発錆限界値の採用傾向（机上調査橋梁）

発錆限界	橋梁数
1.2kg/m ³	28 橋
2.5kg/m ³	10 橋
1.75kg/m ³	1 橋
塩分調査なし	1 橋

各発錆限界値の出典は以下の通りと考えられる。

① 塩化物イオン濃度 2.5kg/m³

- ・出典：「塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」（建設省総合技術開発プロジェクト等）
- ・補修設計の年次が H18～20 頃に多い。

② 塩化物イオン濃度 1.2kg/m³

- ・出典：「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）平成 20 年 4 月」
（橋梁塩害対策検討委員会・北陸地方整備局）
- ・本文献の発刊後の設計は 1.2kg/m³ を基本としている事例多数。

③ 塩化物イオン濃度 1.75 kg/m³

- ・出典：「2013 コンクリート標準示方書維持管理編」（土木学会）
- ・適用理由は不明。

鋼材の発錆限界値の設定について、現行における最新の塩害補修に関する国交省の指針は「塩害橋梁維持管理マニュアル(案)」であり、これに準拠して 1.2kg/m³ とするのがよいと考えられる。

現地部会調査や机上調査の結果を踏まえると、必ずしも鋼材の発錆限界値を 1.2kg/m³ として補修設計することが再劣化防止に効果的であるとは言えないが、安全側の目安として妥当な基準値だと考えられる。

補修設計に際しては、鋼材の発錆限界値の設定根拠（出典、考え方）を示すことを推奨する。

次頁に「塩害の評価・判定の管理値限界の例」を示す。

表 4.10 塩害の評価・判定の管理値限界（鋼材発錆限界値）の例

塩害の評価および判定の管理限界値の例 ^[7]	
維持管理者及び学協会等	塩化物イオン濃度（全塩分表示）
国土交通省 直轄・地方自治体	補修の要否の判断 2.5kg/m³ 解説：損傷度Ⅲ（損傷状況としてひび割れ、錆汁、あるいははく離が部分的に認められる場合）における補修の要否について、鋼材位置の含有全塩化物イオン濃度が2.5kg/m ³ 程度以上であれば補修を行うのが望ましい。 出典：塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）：建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発，p66，1989.5
沖縄総合事務局	1.2kg/m³ 出典：コンクリート橋塩害調査・塩害補修設計マニュアル（案），1996.4
日本道路公団	補修の要否の判断 1.0kg/m³ 出典：コンクリート片はく落防止対策マニュアル，2000.11
日本コンクリート 工学協会	1.2kg/m³ 出典：コンクリート構造物の電気防食工法研究委員会報告書 1994.10 ＊次頁に続く
土木研究所，日本 構造物診断技術協 会	2.5kg/m³以上（劣化度 B） 想定される状況：腐食による鋼材の軽微な断面欠損が見られるなど，構造物の劣化が進行していると考えられる段階。 補修要否：補修を実施することが望ましい。 1.2kg/m³以上，2.5kg/m³未満（劣化度 C） 想定される状況：鋼材の腐食はごくわずかか，認められない状態であり，構造物が劣化しているとは判断しづらいが，今後，鋼材が腐食しやすい状態へと移行する兆候が認められる段階。 補修要否：すぐに補修が必要であるとは限らない。 0.3kg/m³を越えて，1.2kg/m³未満（劣化度 D1） 想定される状況：構造物は劣化していないと考えられる段階。 補修要否：現状では補修は必要ない。 0.3kg/m³以下（劣化度 D2） 想定される状況：構造物は劣化しておらず，劣化の兆候も認められない段階。 補修要否：当面は補修を必要としない。 出典：土木研究所，日本構造物診断技術協会：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル，p124,127,130，2003.10，技法堂出版
土木学会(1)	腐食発生限界塩化物イオン濃度 1.2kg/m³ 解説：鋼材の腐食開始時期はかぶりにおける塩化物イオン濃度で判定する。鋼材の腐食状態と鋼材位置における塩化物イオン濃度から腐食発生限界塩化物イオン濃度を求める。これが出来ない場合は，[施工編]にある腐食発生限界塩化物イオン濃度1.2kg/m ³ を用いてもよい。 出典：2001年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編]，p103，2001.1
土木学会(2)	腐食発生限界塩化物イオン濃度 1.2kg/m³ 解説：鋼材の腐食開始時期はかぶりにおける塩化物イオン濃度で判定する。鋼材の腐食状態と鋼材位置における塩化物イオン濃度から腐食発生限界塩化物イオン濃度を求める。求められない場合は，[設計編]に順じて，腐食発生限界塩化物イオン濃度1.2kg/m ³ とみなしてもよい。 出典：2007年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編]，p115，2001.1
土木学会(3)	腐食発生限界塩化物イオン濃度 1.39～2.50kg/m³（表 3-5 参照） 解説：鋼材の腐食開始時期は鋼材表面における塩化物イオン濃度で判定する。類似構造物を含む点検結果がない場合やあっても設定できない場合で，設計や施工記録等の情報からセメントの種類および水セメント比を確認した上で，水セメント比の関係式から設定してもよい。 出典：2013年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編]，p175，2013.10
日本港湾協会	2.0kg/m³ 出典：港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007年版），2014.7 部分改訂最終更新
東京港埠頭公社	1.88 kg/m³ 出典：大井埠頭棧橋劣化調査・補修マニュアル（案）一，1994.3

出典：積雪寒冷地において塩害環境下にあるコンクリート橋の維持管理ハンドブック(案)

平成 29 年 3 月 北海道道路管理技術センター

(3) 工法選定に関する留意点

① PCプレテン床版橋

- ・机上調査の結果、再劣化が生じている年代は、1960～1975（S35～50）年が多い。
- ・プレテン床版桁には、JIS桁（I断面）、各種PCメーカーの桁がある。

これらは、PC鋼材までのかぶりが30～40mm程度である。

最外縁のスターラップのかぶりは古い桁では20mm程度。

以上より、塩害に対して次の特徴がある。

- ⇒ かぶりが薄い。PC鋼材の腐食進行が速い。
- ⇒ 版構造のため桁1本交換が不可能。
- ⇒ T桁形式に比べ、外ケーブル等の補強効果が得られない。

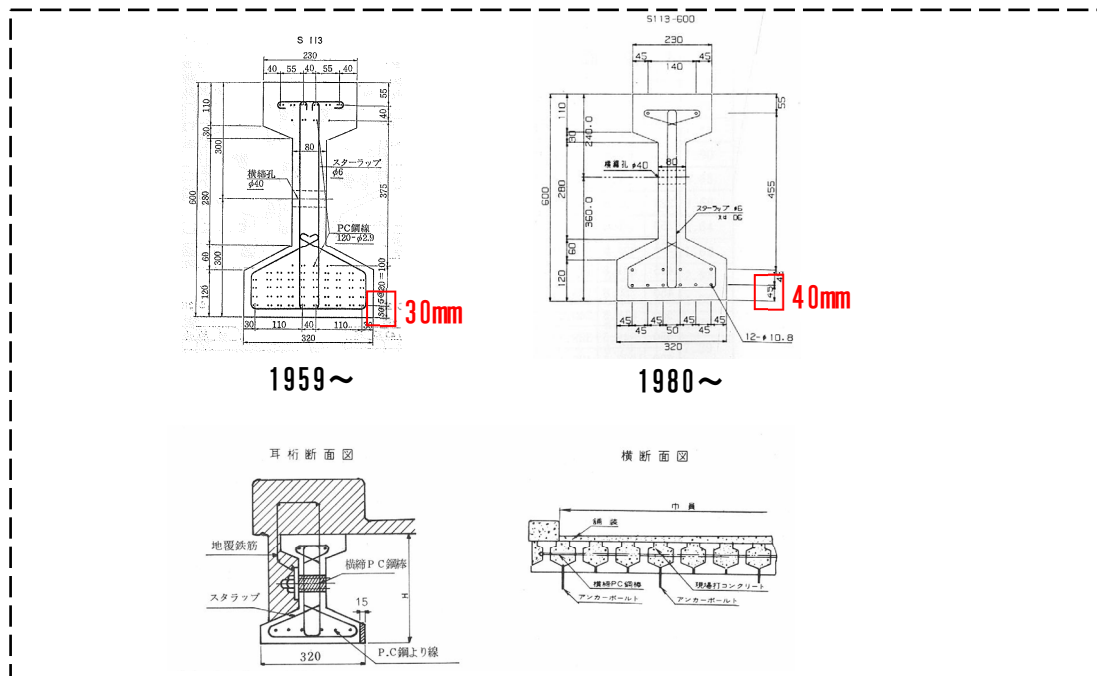


図 4.5 PCプレテン I 桁のかぶり（JIS 桁カタログより）

北海道 PS コンクリート(株)カタログ (S48 年発刊)

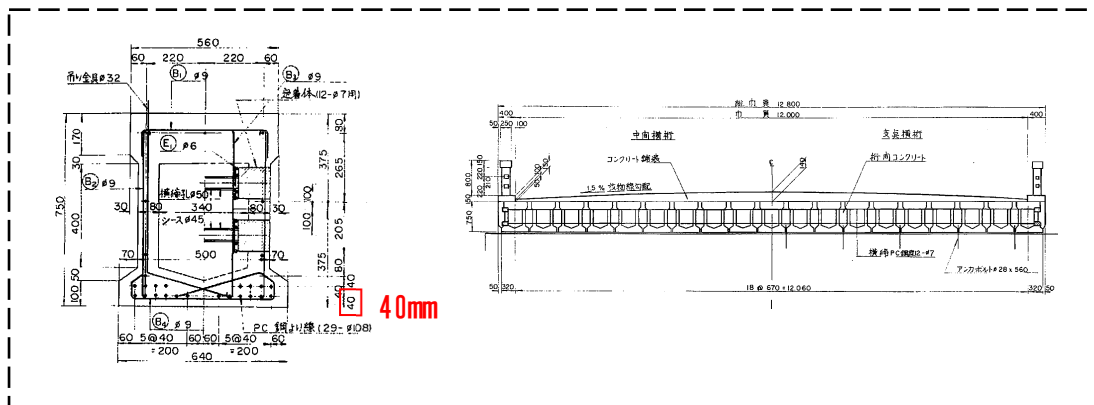


図 4.6 PCプレテンホロー桁のかぶり（北海道 PS コンクリート(株)カタログ (S48 年発刊)）

PC プレテン床版橋の塩害再劣化の特徴

- ・年代、架橋条件に関わらず、最外縁鉄筋位置の塩分量は 2.0～5.0kg/m³ 程度の例が多い。
- ・部分断面修復＋全体に表面処理（シラン系含浸材）の補修の場合は全て再劣化している。
- ・再劣化の傾向は、錆汁や補修部のうき等の塩害特有の症状が出ている。
- ・マクロセル対策として、犠牲陽極を設置した橋梁もあるが、全面に配置していな場合に、犠牲陽極の効果範囲外に再劣化が生じている。
- ・かぶりが薄いため、P C 鋼材破断に至る事例も多い。
- ・ASR との複合劣化事例も多い。

PC プレテン床版橋の補修の留意点

- ・表面処理（含浸材等）の効果が見込めるのは、鋼材が腐食して外観損傷が発生する前の予防保全段階である。
- ・PC プレテン桁はかぶりが薄いため、除塩を目的とした断面修復工法で補修する際に、多くの場合は塩分が鋼材位置より深く浸透しているおり、PC 鋼材より深部までハツリ取ることになる。
 - ⇒ しかし、鋼材位置より深くハツリ取るとプレストレスロスとなるため除塩は不可能。
 - ⇒ そのため、PC プレテン桁の断面修復は、「かぶりコンクリート」までが限界。
 - ⇒ 以上から、防錆対策は脱塩工法や電気防食工法の採用が合理的。
 - ⇒ 部分断面修復を行う際は、最低でも犠牲陽極設置などの鋼材腐食対策の実施が必要。
- ・つまり、PC プレテン桁の場合、かぶりが薄いため十分な内在塩分の除去ができないため、鋼材腐食を抑制する対策として電気防食工法の適用を検討する必要がある。またこの場合は、架け替え案も含めた LCC 比較検討による適切な維持管理方針を整理する必要がある。
- ・PC 鋼材破断等が確認された場合は、補強が必要となり、下面に炭素繊維プレートなど（アウトプレート工法）を設置する場合がある。
 - ⇒ この場合、桁下面が被覆されるため、劣化進行の状態を目視点検で確認不可。
 - ⇒ T 桁であれば外ケーブル補強が採用でき、コンクリートの状態を目視点検可能。

以上のように、PC プレテン床版桁の場合は、塩害に対して可能な措置に限界がある。

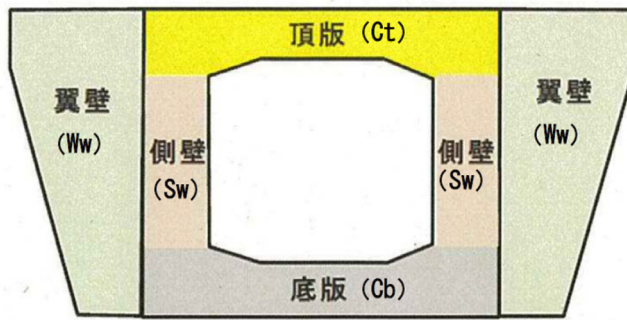
そのため現在の設計では、PC 鋼材用のポリエチレンシース、被覆（エポキシ）P C 鋼材・鉄筋、かぶり確保、コンクリート塗装等の塩害対策などにより、新設時に鋼材腐食を防止する対策を行っている。

※他の PC 桁形式について

PC ポステン桁（中空床版桁、T 桁、箱桁など）の補修時留意点は、本報告書では省略する。令和 3 年度の委員会までの報告していないためである。

PC プレテン床版桁以外の塩害補修時の留意点は、最終報告書に示す。

② ボックスカルバート



部材名称

構造イメージ（側面から）

図 4.7 ボックスカルバート

- ・机上調査の結果、再劣化が生じている函渠の建設年次は、1950～1975（S25～50）年が多い。
- ・頂版、側壁は同じコンクリート材料を使用している例が多いが、鉄筋かぶりを実測すると設計値とは異なる場合が多く、その影響で損傷状態も異なるケースが多い。
- ・最外縁鉄筋位置の塩分量は $2.0 \sim 11 \text{ kg/m}^3$ と幅広い。
頂版と側壁の塩分量を比較すると、側壁の塩分量が高い特徴がある。
- ・補修は、全面断面修復＋表面処理（シラン系含浸材）の事例が多い。
全断面修復が多いのは、RC 構造で鋼材より深い部分もハツリによる除塩が可能のためである。
- ・電気防食 1 例、脱塩工法 1 例の事例もある。
- ・再劣化の傾向は、補修部のひび割れ、錆汁やうき等が多い。
補修部のひび割れは、補修材の自己収縮や、下地処理不足の可能性が考えられる。
- ・補修厚は、補修後塩害防止のためかぶりを増厚(100～180mm)することが可能で事例も多い。
(河川 BOX では、流量に余裕がある場合は、側壁などを増厚して内空断面を小さくできる。)

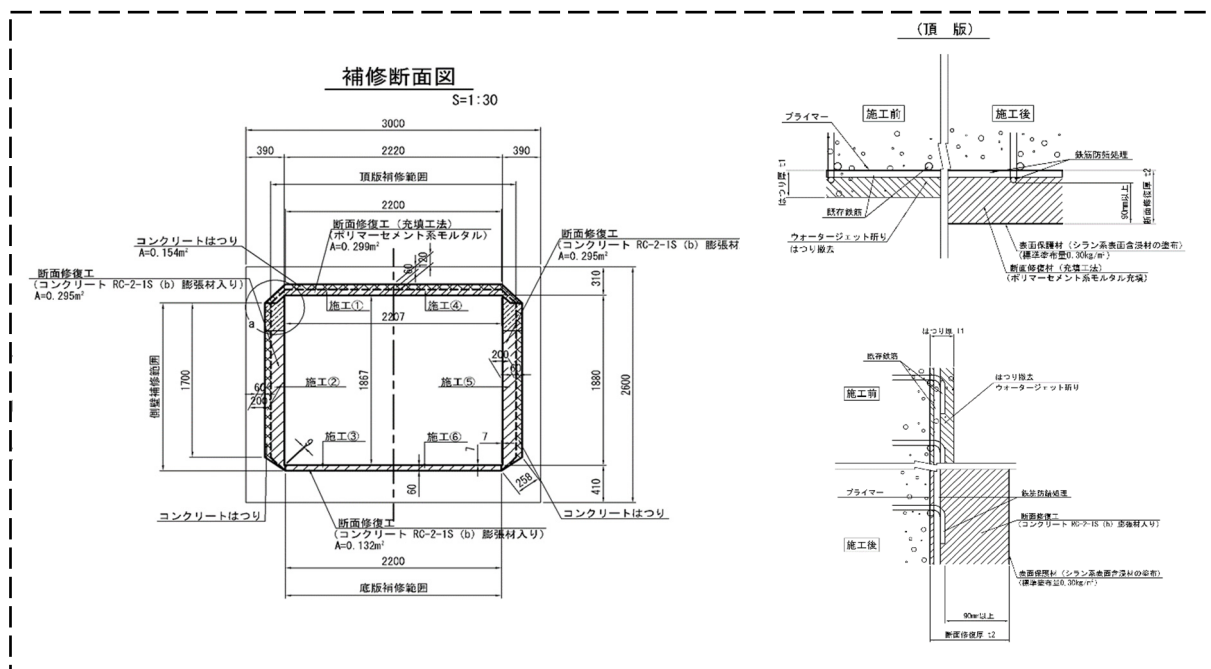


図 4.8 補修厚を増やしたボックスカルバートの好事例（全断面修復、かぶり増厚）

ボックスカルバートの補修の留意点

- ・ R C部材であるため、鋼材より深部までハツリ、除塩することができる。
- ・ 設計かぶりは 70mm程度であるが、現場施工のため実配筋は様々である。
内空断面に余裕があれば、補修厚を増してかぶりを大きく確保することで再劣化を防止することができる。
- ・ 鉄筋腐食による断面欠損が発生していても、新たな鉄筋の追加で補強対応が可能である。

ボックスカルバートの補修事例



図 4.9 ボックスカルバート補修事例（全断面修復）

③ その他

- ・ 部分断面修復におけるマクロセル腐食対策と、SSI 工法の適用性
⇒部分断面修復では、マクロセル腐食対策として犠牲陽極を採用しているケースが多く、再劣化していない事例も多い。
⇒全断面修復を行う場合は、SSI 工法の適用性が高い。
ただし、高価となる場合があるため、適用事例を詳細に検証する必要がある。
- ・ 断面修復ができない PC 橋の補修では、電気防食や架け替えも含めた幅広い視点での検討が必要である。

※他の RC 構造物について

RCT 桁など他の RC 構造物に関する補修時留意点は、本報告書では省略する。

令和 3 年度の委員会までの報告していないためである。

ボックスカルバート以外の塩害補修時の留意点は、最終報告書に示す。

（4） 補修後の管理に関する留意点

現地部会の結果を踏まえ以下の方針で留意点を整理する。

① 電気防食工法

⇒留萌現地部会後にメーカーなどにヒアリングを実施し留意点を再確認した。

その内容を踏まえて留意点として整理する。

② 断面修復工法

⇒犠牲陽極などを設置した場合、自然電位計測等による腐食状況の追跡調査を提案する。

（追跡調査→補修→点検(監視)→追跡調査）

③ 表面処理工法

⇒シラン系は撥水の程度などで確認することが考えられる。

メーカーにヒアリングし、調査項目など整理する。

④ 犠牲陽極（ガルバーシールド工法・パッチガード工法等）

⇒陽極の減少等をモニタリングできないかメーカーにヒアリングを行う。

⑤ S S I 工法

⇒基本的にメンテフリーであると考えるが、点検時の着目点などを調査し整理する。