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	再劣化橋梁の詳細調査と検討	・机上調査
(令和元年度)		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。

報告書 報告書 報告書 報告書 報告書 報告書 報告書 報告書 (その4) (その7) (その5) (その8) (その1) (その2) (その3) (その6) 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 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 RC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

表 4.1 活動テーマの変遷

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に、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	ポステンT	主桁再劣化(S1判定)
可笑内橋	末。ステン木ロー	主桁•床版再劣化(S1判定)
武者見橋	プレテ刈桁	主桁再劣化(S2判定)
唐津内橋	ポステンT	主桁•橋台再劣化(S1判定)
大磯橋	ポステン箱桁	主桁再劣化(S1判定)
新小安在橋	鋼鈑桁	橋脚補修で <mark>ガルバーシールド工法</mark>
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)	こ参加)					

合計 17 名

机上調査結果 (5)

机上調査結果【PCプレデン床版桁】 4.2 表

対ト調本結単「し」、ア		女 4.7~4.4 (4、7) に 調宜 指来 2 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	「ヨーナラーで、こう、「こう、」「こうで、」「コーナラー」の表示を表示して、「コートリー」の表示を表示して、「コートリー」の表示を表示して、「コーナラー」の表示を表示して、「コーナラー」の表示を表示して、	上前年指示がの場合ははつつ	No ● 面部開発確認部 R278 大傷川機 基礎性機 建模式等分配 A24 指数性機能 A244 (A244 全部部分 no (第第81 no 表部分ano)	11年度では「最終支援を持ている情報」を発売を持ている。 の展開を指揮・の運動を受けたいでは、「国産の制御・鉄路衛出)、日季党(監建のひび前れ、道職 の原展を指する、アスコを行うを行う。 その機能を指する、アスコを行うと呼びます。 では、アスコを行うというというというというというとなっている。 では、アスコを行うというというというというというというというとなっている。 では、アスコを行うというというというというというというというというというとなっている。 では、アスコを行うというというというというというというというというというというというというという	指揮が行くないよびの形と、本部が無人では本事が存むなから、本事が用して発電す (大学者の主義の主義の主義の主義の主義の主義の主義の主義の主義の主義の主義の主義の主義の	資子は大阪の大阪のお店のお店のお店のお店のお店のお店のお店のお店のお店のお店のお店のお店のお店の	数本銀行にも行む。第四個的心を指令し、一部機能を行うが大力送りだけが対象が関係される。 重点を認める特別 「国際」を指する。 「国際」を指する。 「国際」を指する。 「国際」を表する。 「国際、 「国際」を表する。 「国際」を表する。 「国際」を表する。 「国際」を表する。 「国際」を表する。 「国際、 「」 「」 「」 「」 「」 「」 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「 「	を受け、一般などの主になっている。大学のでは、「なった」である。 「他のでは、「なった」では、「なった。」では、「なった。」では、「な	「人のなっぱい。大きなできない。そのものとは最後できる。 デリン・ディンコー こうかい できまい アインコード こうかい かいしょう はんしょう はんしょく はんしょう はんしょく はんしん はんしょく はんしょく はんしょく はんしょく はんしん はんしん はんしん はんしん はんしん はんしん はんしん はんし	協議的 50 X PremZ(コア指摘開業) 26 4V PremZ(フュミット・プ・スー) 重要 18 Mem (フュミット・ブ・スー) 重要 4 American (フェミット・ブ・スー)	effective 70		「原原的(指揮形)、治療力の整体 グレド国、その他 1、(現金部): グレード 1 密度形 (場座): アカが 1 主教所 1 FF 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	10条部 新商券電子(ADVT - セチンドよる機能)(電池セクバよるはつり、左面工法))、 教育を選ぶて(シケン条件を全部で)を発送し、 ************************************	本語の 1981年 日本語
\$66 88	R278	厚木橋	8	PCプレテン床板	S50(1975)	H20	H24、H29	9年(H2O工事)	工銀工	83	2.471426)	1.2	14 (H2G)	グレード I (H26)	I	■新面修復、ひび割れ補修 橋面的水工	I	ı	0	1	おなどを開い、 おいたとの様に、様に、単一位のできた。 おいた、「人名よりの様に、一名できた。」 といては、「人名よりの様に、全部のできた。」 といて対す、「人名よりの様に、全部のできた。」 といて対す、「人名よりの様に、全部のできた。」 がたる機能は、一部をでして、のできた。 がたる機能は、一部をでして、のできた。 がたる機能が、一般を関係である。これを開発が がたる機能が、一般を関係である。これを開発が があるが、一般を関係である。これを開発が があるが、一般を関係である。これを開発が があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を関係がある。 があるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 がまるが、一般を表現がある。 は、一般を表現が、一般を表現がある。 は、一般を表現が、一般を表現が、 は、一般を表現が、 は、一般を表現が、 は、一般を表現が、 は、一般を表現が、 は、一般を表現が、 は、 は、 は、 は、 は、 は、 は、 は、 は、 は
超	R278	製笥中	8	PCプレテン床版	S48(1973)	H22	H23, H28	6年(H22工事)	工能工	S1	4.25(H18) 5.47(H17)	1.2	19.0(H18) 45(H17)	グレードW(H21)	表面含濃材(シラン系)	■はつの十断面修復 ポリマーセメントモルタル	I	1	ı	1	日本の主義を表現して、 日本の主義を表現して、日本の主義を表現して、日本の主義を表現して、日本の主義を表現して、日本の主義を表現して、日本の主義を表現して、日本の主義を表現して、日本の主義を表現している。 20分割に、 2
超超	R278	総無(日	8	PCプレテン床版	846(1971)	H23	H23, H28	5年出23工事)	工領寸	20	1,02(H18) 4.2	12	17.5(H18) 19.0	グレード皿付21) グレー	表面含浸材(シラン系)(シ	■新面修復 ポリマーセメントモルタル	I	I	0	1	等化 整体 19.4年 19.4 19.44
超離	R228	製量量額 いっぱん いっぱん いっぱん いっぱん いっぱん いっぱん いっぱん いっぱん	BS	レテン床版	45(1970)	l21, H28	H23, H28	年(H21実施	下部工 ※参売店	C2	2.62(H19)	25(H20)	92.0(H19)	製画なし	0	•	1	1	0	ひび割れ注入	開発に関いて、 1. 2月17日 2月17
M	Z	星紅	В	プルチ	S45(·	H21,	H18, H	10年(日	工銀工	88	4.78(H20) 5.07(H27)	2.5H20) 1.2H27)	229(H20) 229(H27)	PO網線 配力筋破断 (H27)	0 ※腐臭印制材付与	•	ı	1	Ü	ı	自然の企業を 1.21、上部工の金 (大) 「大) 「大) 「大) 「大) 「大) 「大) 「大) 「大) 「大) 「
超	R228	報配虫	BS	PCプレテン床版	S43(1968)	H23	H19, H24, H29	6年(H23工事)	工魄工	ß	4,88(H21)	1.2	不明	腐食むり	〇 金属食品制材的与	•	I	I	I	以素繊維シート接着 (補修工事でPC線材破断への対応)	1422年18の89条列を開発したる協議対策が開 1423年20日 (1435年、1429年8月 1429年8日 (1435年8月 1429年8日 (1435年8月 1439年8日 (1435年8月 1435年8月
超	R228	製廠早	B1	PCプレテン床版	\$45(1970)	H21	H18, H23, H28	7年(H21工事)	工協工	88	5.84 (H20)	2.5	調査なし	調査なし	〇 ※ 職員抑制材付与	•	I	ı	I	1	1-12 工事の企業を提供を開いて、各位電気開放 関係の企業を記憶しておらず、十2名品様 正て生产の金属・乾酢組の確認化に至っ に事例である。
16191	総規	然難器反	塩害対策区分	離補伤以	建松年次	補修年慶	点後年度	塩害の補修対策からの経過年	刘泰郎材	刘策区分※赤字年の刘策区分	原外線鉄筋位置の塩分量 (kg/m3)	調 補修判定に用いた発銷限界塩分量 査	る 協分調価が必必 (mmn)	はつり調査による網材腐食	表面処理	断面修復(即分:■α′全面:●)	油マクロセル路側対策 参	内 容 看知的食	橋面防水屬	敲荷力評価と対策	開発化の存取 (銀四・単義)

表 4.3 机上調査結果 [PCポ ステン桁・函渠・門型カルバート]

函館	R278	大椰川橋	S	門型カルバート	S50(1975)	H22	H18, H23, H28	9年(H22実態)	顶板	δ	0.04(H21)	1.2	60(H21)	グレード国(H21)	表面含浸材(シラン系)	# " UV-EAZY-EA-9A	ı	_	ı	断面修復厚を厚く対応	の からり不足、 製面の手の 減りによる検討 の からり不足、 製面の手の 減りによる検討 数数が関して、 は影響の が悪い 大型 を変形 目 (の変形 面の 多形 あり) で により、 第 工場が 的 上 、 再
函館	R229	福士橋	S	獣圏	(1971)	21	H22,H27	10年(H21工事)	御煙	S1	5.4 (H21)	2.5	47(H21)	5U−FW(H21)	表面含浸材 (腐食抑制材付与)	はつめ+断面補修 3次リート打設	I	_	_	_	## 1471 # ## 1480 ## 1480 ## 1471 # ## 1480 ### 1480 ### 1480 ### 1480 ## 1480 ### 1480 ## 1480 ### 1480 ### 1480 ### 1480 ### 1480 ### 1480
189	R2	韓	8	E61	846(197	H2·	H22	10年(H	顶板	0)	ı	2	53(H21)	ı	ı	はつの+断面補修ボリマ-セメント収付	ı	1			無象化影响 1.15.1 在第二版前 1.15.1 在第二版前 1.15.1 在第二版前 1.15.1 在第二版前 1.15.1 在第四版 1.15.1
図館	R229	五郎ベエ沢橋	BS	獣圏	S43(1968)	H21	H22,H <mark>27</mark>	10年州21工事)	西仙	S1	13.6(H21)	2.5	37(H21)	グレードW(H21)	表面含浸材 (腐食抑制材付与)	●はつめ+断面補修 3ツリー付打設	ı	_	_	ı	HSTREEM HER STREET HER SOmm HER SOmm HER STREET HE STREET HER STREET HE STREET HER STREET HE STREET HER STREET
100	R,	加配	3		S43(н	H22	10年小	顶板		1	Z	57(H21)	Ι	1	はつめ+断面補修 ボリマーセント吹付	I	_			無象化等的 12. 在電压面板 12. 在 13. 在 14. 在 15.
図館	R229	虹羅橋	BS	獣	S48(1973)	H21	423, H28	7年(H21工事)	御壓	ω	1.14(H20)	12	68(H2O)	グレード I (H20)	〇 ※腐食抑制材付与	•	ı	_	_	ı	等期 大名稱為自身化表,所称,但是已過騰, 東部國外之為自身的人,是因為 各種化。 不有效の麻餅的學表身等 是一種的一種的一種的一種的 是一種的一種的一種的一種的一種的 是一種的一種的一種的一種的一種的 是一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的 是一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的一種的一
633	ď	JK		COS	848	1	H18, H23,	H) \$4.H	頂版	0	1.36(H20)	12	(H20)	グレード I (H20)	表面描述						等 到别 种工程的 "在我们的" 在我们的"一个" 20 一个"一个" 20 一个"一
図館	R228	大磯橋	B1	ポステン梅 ヒンジレーメン 雄朽	S53(1978)	H2O, H21, H22	23, H28	9年(H22実施)	下部工 ※参考值	0	4,55 P3 H17 0,91 P2 H20 3,51 P1 H20 5,78 (A1 H27)	25	115(H17) 179(P2:H20) 87.0(P1:H20) 76.0(A1:H27)	グレード II (H20)	0	•	ı	1	なし (不明)	ı	自然数の食・品質開口 即工能面接収表権。 即工能面接収表権。 即の死性解表別の 主行制権(開発に)、 数が指揮を打ている。 数とし、
has	R	×	3	ボステン有ヒン	S53(H20, H	H18, H23,	н)≢6	工銀工	S	0.18(H18) 0.3(ウェブH20) 3.12(下床版H20)	2.5	33.5(H18) 44(ウェブH20) 50(下床版H20)	つな葦鯛	0	•	ı	O エピットンタモ	つな縁品それな	ı	## 12
國國	R229	可樂内橋	81	ポステン中空床板	S55(1980)	H21	H18, H23, H28	10年(H21実施)	II 1994 IT	S	3.24(H18) 2.32(H26)	1.2	25(H18) 34(H26)	37-FI (H26)	〇 ※腐食抑制材付与	•	I	I	設計図書有:工事履歴無	I	事例 中国工的解释的两张山区以上, 中国工的企业工程,则是是一个人工的企业工程, "在工厂工程的工程,但是一个人工程的工程, "在工厂工程的工程,并且一个人工程的工程, "在工厂工程的工程,并且一个人工程的工程, "在工厂工程的工程,并且一个人工程, "是一个工程的工程,并且一个人工程, "是工程的工程,并且一个人工程, 是工程的工程,并且一个人工程, 是工程的工程,并且一个人工程, 是工程的工程,并且一个人工程, 是工程,工程,工程,工程,工程, 是工程,工程,工程,工程,工程,工程,工程,工程,工程,工程,工程,工程,工程,工
図館	R228	唐津内橋	BS	ポステンT桁	S54(1979)	н19, н23	24, H29	8年(H23実施)	下部工※参考值	S	0.17 (H18)	1.2	79tH18)	グレード II (H20)	0	•	ı	-	0	ひび割れ注入	の機能能務地に対 の機能を開発して対している。 分が同じ機能が、乗り等 分が同じ機能を打て 系、機能のさび汁や 育されている。
100	R2	類組	8	ポスプ	\$54(H19,	H19, H24,	用)	工銀工	ß	3.34 (H19)	1.2	33.5 (H19)	グレードII(H20)	〇 ※腐食抑制材付与	•	ı	-		ı	開発化準例 1 M2 1 M1 1 M2
図館	R229	見市橋	B1	ポステンT哲	S38(1963)	H21, H29	24, H29	10年(H21実施)	下部工 ※参考值	S	0.26(H18) 0.31(H28)	12	100(H18) 71.7(H28)	グレードII (H28)	0	•	ı	ı	0	ひび割れ注入	薬が優られていたこ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
653	R	e e	3	ポス5)8ES	H21,	H19, H24,	10年(ト	工銀工	₩	0.92(H19) 0.81(H28)	12	30(H19) 66.3(H28)	グレードII (H28)	〇 ※ケイ酸塩系	•	I	ı	,	ສຸດດ	超光性 18.5
卸卸	際思		塩書対策区分	構造形式	建設年次	補修年度	点棱年度	協害の補格対策からの経過年	対象部材	均類区分※赤字年の対策区分	展外線鉄筋位置の塩分量 (kg/m3)	調 補修判定に用いた発動限界塩分量 	内 容 塩分調酶かぶの深さ (mmn)	はつの調査による網材鑑食	表面処理	断面修復(部分:■or全面:●)	油 マクロセル階級対策 物	咨 詹克的食	標面的水圖		(開発・辺辺) 間気の子が経

表 4.4 机上調査結果 [RCラージ・RCT 桁・RC 床版(鋼橋)・下部工(鋼橋)】

組織	R228	大緒講	B1	合成級桁	1973)	H25	H20,H25,H30	6年(H25工事)	上版工	S	5.9 H23)	12	55(H23)	グレードW#23)	表面的液材(シラン※)	■断面修復 ***リマーセメントモルタル	O 犠牲踴쪌	ı	0	ı	### 1987年 Marker
POS	R	R	3	¹ 60	S48 (1973)	I	нгогн	川) 卦9	工銀工	G	2.5(H23)		15(H23)	グレード国(H23)	表面名漫材 (腐食抑制材付与)	46454くX3-5V 末	_	I		I	海条化重构 有条件重换 有条件
2000	R228	整	1	CASENTS	972)	H26	26,R1	(全工事)	下部工	8	0.9(H25)	12	132 (H25)	グレードII(H25)	表面名談材 整体:シラン系 糖磨:ケイ製植系	■断面修復 ボリマーセメントモルタル	O 機性緩極	ı		ひび書加注入	下面Common Sagatic Admin Pictorial Transportation Transporta
M	R2	機川橋	81	非合成級桁	S47 (1972)	H25H26	H21,H26,R	5年(H26工事)	上部工	S1	10.3 (H25)	1	33(H25)	グレード国(H25)	表面含漬材 (シラン系)	●はつり+断面補修 # 'ワンーセメントヤン付	_	ı	0	補強鉄筋造加	
西館	R228	248	BS	CASENT.	(086)	H24	24,H29	,24工事)	下部工	S	2.1(H22)	12	73(H22)	グレードII(H22)	表面含浸材 (シラン系)	■新面修復 ボリマーセメントモルタル	〇 犠牲鍚稑	ı	た (不明)	1	大阪市へのSS工芸に 連動機能の機能が に、 H2のの場でのは で、 H2のの場でのは では、 H2のの場でのは ではっついては発展 がの場所の意味が がのがある。
國	ZH	韓報二	8	非合成級桁	\$55 (1980)	H23H24	H19H54,H29	(東工42,82H) 本7	тинт	∢	(ZZH)Z'9	1	44(H22)	グレードIV(H22)	表面含浸材 (腐食抑制材付与)	(関単語を含くなる) のととしては のとは、 。	科最初兴斯 O	ı	カルテ記録なし	-	新学年度を行うに対して 19 日本の 19 日本の
2000	R228	曲の橋	B1	非合成飯桁	(978)	H25	26.R1	(紀元章)	下部工	8	13.7(H23)	12	40.6(H23)	グレード I (H23)	表面含浸材 (腐食抑制材付与)	■断面修復 ボリマーセメントモルタル	軽御難 ○	I	0	ひび書加注入	大学会議に東下面へのSSTIAによる
國	ZH	¥	8	18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-1	\$53 (1978)	Ξ	H21,H26,R1	:≇T97H) ⇒9	тинт	8	原版:20.1 (H23)	1	17.9(H23)	グレード国(H23)	表面保護工 樹脂系表面保護	ISS 剝製風場+のご料●	科最物兴斯 O	ı	0	-	的影响 中心的形成 中心的影响 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的形成 中心的的 中心的的 中心的 中心的 中心的 中心的 中心的 中
620	83	7.枯醇		5种5	97.3)	H24	4, H29	4実施)	工態土	00	5,51(P2;H21) 0,27(A,2;H21)	12	39.6(P2:H21) 129.4(A2:H21)	グレード皿(H21)	0	•	科最物兴斯 O	ı		くまれまひむ	5. 工法各指目心压棄 商。 朱析 "那么名的" 为少全者的整理(46 章 是在第二人。 在 意在第二人。 在 意即所证据の多署 意即所证据の多署 近礼。 《魏斯佛修即 近代》(《魏斯佛修即
超图	R228	清部大橋	181	合成級桁	848(1973	H23, H24	H19, H24, H29	7年(H24実施)	上部工(床版) ※参考值	δ	12以上(床版刊21)	1.2	26.7(H21)	グレード国(H21)	0	•	O 科最級長期	ı	0	1	日本の
620	28	在橋		銀桁	8886	4, H29	4, H29	3実施)	下部工	8	52M21) 1.3M28)	12	44.8(H21) 75.6.(H28)	グレード国(H21) グレード国(H28)	ı	•	O 犠牲鍚瘞	ı		(H29)	事業を応用した事件 これ、前面を関した面別 これ、前面を関した面別 でしている。 でフローに対策 でフローに対策 ののラーメン機能で を図う一メン機能で を図う一メン機能で を図う一メン機能で を図う一メン機能で
國國	R228	新小安在	B1	非合成級桁	S63(1988	H23, H24,	H19, H24,	8年(H23実施)	上部工(床板) ※参考值	δ	1.2以下(床板H21) 0.1(床板H28)	12	36.8(H21) 62.6(H28)	グレードII(H21) グレードI (H28)	ı	•	_	ı	0	製器対策(H29)	日本の大人の大人の大人の大人の大人の大人の大人の大人の大人の大人の大人の大人の大人の
函館	32	相咨內橋	1	5径間のゲルバーRCT桁橋	957)	Н20	23, H28	(6実施)	上部工(主桁)	-	0.48∼5.491µ.± (H25)	12	55,5~125 (H19)	グレードII (H25)	表面的資材 (シラン系)	X >> FEASA	O 機柱陽極		ı	・ウム防錆材も含めた	### 1
188	R232	開	181	5径間のゲル/	S32(1957)	Ï	H18, H23,	5年(H26実施)	工銀工	Б	1.58~5.68W± (H25)	-	36~40 (H19)	ググ・ボ	数価配適材 (シレン株)	%6%34<\X3-5.6\# ■	_		0	下部工は、亜硝酸リチウム防鎖材も含<塩害対策を実施。	海外に使用できながます。 主所にので割れがあって さ、こまがこので割れがある。
2000	R229	島散橋	BS	ノ (中空床版)	1973)	H26	126,R1	5年(H26工事)	下部工	81	7.5 (H25)	1.75	90(H25)	グレードⅢ(H25)	1	●はつり+断面補修 SSI	O 塩分吸葡材	ı	0	I	5元よる全 、土指不 、大力が必 、大子部で基 、大子部で 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、
HES	RS	añ	В	RCラーメン	S48 (1973)	Ĭ	H21,H26,R1	5年(H)	工器工	S1	8.3(H25)	÷	38(H25)	グレードI (H25)	ı	●はつり+新面補修 SSI	O 塩分吸膏材	ı		ı	海代本部 中の基準に下限工にSS173 自の基準的に表現。 に1001~03mmの毎年以下 第1002~03mmの毎年以下 第4002の73mmに対してある 本の無が確認されている。 本の無が確認されている。 のでする。 では、またが、またが、またが、 では、またが、またが、またが、 では、またが、またが、またが、またが、またが、またが、またが、またが、またが、またが
知识	路線	以機能與区	塩害対策区分	精谱形式	建設年次	補修年度	点筷年度	塩書の補修刘策からの経過年	刘象郎村	対策区分※赤字年の対策区分	服外線鉄筋位置の塩分量 (kg/m3)	調 補修判定に用いた発銷限界塩分量 査	る 協分調産からの楽み (mmn)	はつの調査による縄材腐食	表面処理	断面修復(部分:■の全面:●)	油 マクロセル雑食対策 修	20	總面的水廳	最初力評価と対策	原労(七の万間(昭位・披儺)

(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⊺桁
建設年	\$38 (1963)
塩分量	0. 92kg/m³ (H19) 0. 81kg/m³ (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

- ・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	ポステン中空床版
建設年	\$55 (1980)
塩分量	3. 24kg/m³ (H18) 2. 32kg/m³ (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

- ・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



■橋梁概要

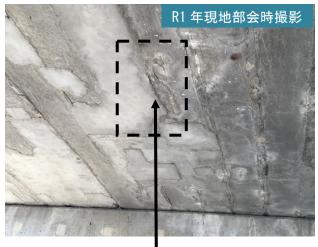
形式	プレテン中空床版						
建設年	S45 (1970)						
塩分量	4. 78kg/m³ (H20) 5. 07kg/m³ (H27)						
鋼材腐食	PC 鋼材破断(H27)						

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



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



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

- ・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↑桁
建設年	\$54 (1979)
塩分量	3. 34kg/m³(H19)
鋼材腐食	グレードⅡ (H20)

■補修履歴

補修年	補修概要										
	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)									
H23	下部工 ひび割れ注入、部分断面修復 全面表面含浸材 (シラン系、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

- ・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、<u>うき</u>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	\$53 (1978)
塩分量	3. 12kg/m³(H2O)
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)									
ПZZ	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



橋台竪壁 全断面修復部にうきは見られない

- ・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<u>うき、ひび割れ</u>が発生している。
- ・全断面修復部で補修した橋台竪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<u>ひび割れ</u>も、材料に起因する初期欠陥(<u>収縮ひび割れ</u>)の可能性がある。

6) 清部大橋 (RC 床版、橋脚)

■対象橋梁



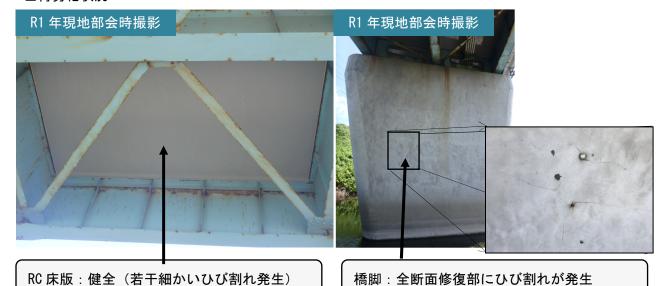
■橋梁概要

形式	RC 壁式橋脚(上部:鋼鈑桁)
建設年	\$48 (1973)
塩分量	5.51kg/m³ (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											
	上部工(床版)	部分断面修復(防錆材、塩分吸着材配合[SSI工法])										
H24	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



- ・橋脚の全面断面修復部にかぶり不足による<u>うき</u>、沓座付近や壁部に<u>ひび割れ</u>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



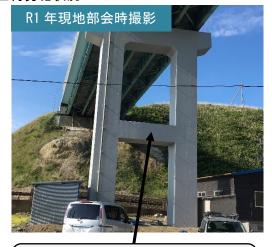
■橋梁概要

形式	RC ラーメン橋脚(上部:鋼鈑桁)								
建設年	\$63 (1988)								
塩分量	5. 2kg/m³ (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		部分断面修復(犠牲陽極設置※) ※ガルバーシールド										
H29~H30	下部工	部分断面修復(犠牲陽極設置※) ※ガルバーシールド 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

- ・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がったコメント・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。

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「うき」の発生なし 断面修復部にはひび割れ、うきが発生 断面修復部にひび割れが発生 全断面修復 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 全面に表面含浸材 ひび割れ注入 考察 典型的なマクロセル腐食が発生! 全断面修復の好事例! 断面修復部のひび割れ、うきにより鉄 修復部ひび割れは、材料特性による収 筋腐食進行の再劣化が懸念される 縮ひび割れ(初期欠陥)と推察される

表 4.5 部分断面修復と全面断面修復の比較

(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)

調查箇所: 小樽開発建設部管内



図 4.2 調査箇所図

総合検査結果より 架設 塩害地 路線 名称 ヨミガナ 起点側所在地 橋梁形式 橋種 橋長 健全度 竣工年 域区分 策区分 犠牲陽極 電気防食 再劣化 B- (S) 229 恵比毒橋 エビスバシ RC橋 単純RCT桁橋 1953 電気防食 古平町浜町 10.6 再劣化 C1 Ш 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 В 229 サカイバシ 積丹町野塚 特定溝橋(BOXカルバート) 6.3 1972 B-(S) 再劣化 犠牲陽極 ${\rm I\hspace{-.1em}I}$ 2径間連続RCT桁橋, 2径間連結PCプレテン中空床版橋 229 余別橋 ヨベツバシ 積丹町来岸町 1961 B-(S) 再劣化 犠牲陽極 \blacksquare 混合橋 30.7 S1 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ニノメバシ 7.34 1971 B-(S) 犠牲陽極 229 二の目橋 神恵内村神恵内 PC橋 単純PCプレテン床版橋 Α B-(S) 再劣化 229 日内橋 PC橋 16.7 1976 犠牪陽極 ニチナイバシ 岩内町敷島内 単純PCプレテンT桁橋 S1 Ш 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 \blacksquare 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 ${\rm I\hspace{-.1em}I}$ 229 幌別橋 ホロベツバシ 寿都町横澗 PC橋 単純PCポステン中空床版橋 12.17 1983 B-(S) 再劣化 В Ι

表 4.6 対象橋梁一覧

※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	rr. b	所属			
	6/29	7/8	氏 名	1ノ1 /1学3			
委員	0	0	松本 高志	北海道大学大学院			
安貝	0		佐藤 太裕	北海道大学大学院			
アドバイザー	0	0	島多 昭典	寒地土木研究所			
	0	0	寿楽 和也				
	0	0	大山 高輝				
	0	0	佐藤 誠				
	0	0	荒木 誠司				
専門技術者 担当技術者	0	0	朝倉 啓仁				
	0	0	伊藤 雄二				
	0	0	井上 雅弘				
	0		坂田 浩一				
		0	高畑 智考				
	0	0	石川 雅啓	Rmec企画部橋梁診断室			
事務局	0	0	傳田 徹	Rmec企画部橋梁診断室			
	0	0	葛西 恭平	Rmec事業部			
	14名	13 名					

(2) 机上調査結果

表 4.7 机上調査結果【PCプレジ床版桁・プレジT桁・ポスシT桁・ポスシT桁・ポスシ床版桁】

表 4.8 机上調査結果【函渠・RCT 桁・RC ラーメン】

地域	影器	対級語樂	塩害対策区分	精造形式	建設年次	補修年度	点被年级	塩害の補修対策からの経過年	対象部材 頂版	対策区分※赤字年の対策区分	展外複鉄部位置の塩分量 kg/m3	補修判定に用いた発薪限界塩分量 2.4	内 協分調査かぶり深さ 75(H21) (mm)	はつり調査による調材機食 調査なし	表面の理 表面の理 (シラン系)	●はつり十断面積 断面修復(部分: ■cv全面:●) 復 過式吹付	補 マクロセル協食対策 参	電気防食	橋面防水居		再劣化の内間 (明位・損職) 再次化準度 T-22程間(1 - 1224
があ	R229	凝白褐	B2	账	\$48(1973)	H22	H23, H28	6年(H22工事)	整霉	82	(21) 8.79(H21)	4 2.4	(21) 60(H21)	まし グレードIV(H21)	液材 大米) (シラン米)	●はつり+断面②□ンツー・打設	ı	I	I	鉄筋(D13@500)追加 (頂版・竪壁)	14.2年度 「東の3391-14.2.9 14.2年度 「東の3391-14.2.9 14.1年度
47	Z	6編	8	I ⊠	S48(197	H2·	H23,	7年112	頂版	1	4,0(H21)	2.4	75(H21)	1) 調査なし	表面的液材 (シラン米)	修 ●はつの+断面修 復 温式吹付) 鉄筋(D13@500)追加	単次に (2007) 1-1412 0 日本 (17年に「後の79年) 142 (17年に「後の79年) 142 (17年) 142 (17年) 143 (17年) 1
小樽	R229	絵の沢橋	BS	账	1973)	21	H23, H28	7年(H21工事)	暫强	œ	10,79(H21)	2.4	60(H21)	グレードIV(H21)	表面的資材(シラン※)	はつり十断面修 復 コンツート打設				島加(頂板・竪壁)	がリードスクリング (大大大人の) (大大大人の) (大大大人の) (大大人の) (大人の) (
小樓	R229	争亚中	SB		S49(197	H21	HZ3,	7年(H21工事)	頂板	1	4,0(H21)	2.4	75(H21)	調査なし	表画の資材 (シラン米)	はつの+断面修 復 温式吹付		1		鉄筋(D13@500)追加 (頂板・壁壁)	高学(大学) (1997)
drit.	ō.	夲	10	עוז	974)	_	HZ8	(#T)	翻	В	5.15(H21)	2.4	60(H21)	グレードIV(H21)	米国の資本(ション米)	はつり+断面修 復 コバリー・打設				加(頂板・竪壁)	サードスンの ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
\$\$\tr\?	R229	境格	BS	透透	\$47(1972)	H22	H21, H26, H81	11年(H22工事)	頂版、剛壁	St, B	1.11(H21) 側壁	1.2	42(H21) 側壁	グレード II (H21:頂版)	表面は適な(ツラン米)	■断面修復 ポリマーセメントモルタル	O 機性陽極	-	ı	ひび割れ補修を実施	多化基準 27年工作の機能が同時に72以7 一番人・雑元ののが同かれ、事学化 は移動関応よるのが74と高水の を受ける部位であることに推定され、 を受ける部位であることに推定され、
如梅	R229	惠比寿椅	BS	RC1#	528(1953)	H21, H22, H	H20, H25, H	12年(H21工章	上部工(主格・床	5	4.06(H19) OX 整壁	1.2	78(H19) 3 整壁	調査無し	I	■断面修復 ボリマーセメントモルタル	1	シャタンメッシ	0	ひび割れ補係を実施	海が上海に大主教の副分制面像第・ 中の年工事に大主教の副分制面像第・ 要 チントンタンの自動型を行っている が、一人の合義にて連絡する教育収集や 調水に至った事務である。
						H29	H30	a	床板)		065(H20) 主桁		34(H2O) 主桁			ルタル		ŭ		東施	
小楼	R229	白岩橋	BS	RCラーメン	S47(1972)	H23	H21, H26, H31	10年(H23工事)	頂版、側壁	SS B	6.13(H21) 商曜	12	73(H21) 側壁	グレード皿(H21:頂瓶、側壁)	I	●断面修復(吹付) ボリマーセメントモルタル	(本語) (本語) (本語) (本語) (本語) (本語) (本語) (本語)	I	I	ひび割れ補修を実施	毎年代事項で、全体的な物価が修工事 力行力ないたのか、143 に称ぶて19時 からかれているが、143 に称ぶて19時 からが、143 に対すが対すがある。 から、143 に対すが対すがある。 新発音を確認されている。全体的なは、 かに大きが高が続くが行れているであっ からは、143 に対すがですが、143 に対すがあるがある。 書の進行が予測される事例である。

(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

- ・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/m³ (竪壁部)

・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・竪壁にひび割れ、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

- ・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



■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



■現地部会状況



主桁補修状況と再劣化の状況確認



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

- ・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



■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/m³

· 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

■現地部会状況



主桁補修状況 (断面修復)



主桁補修状況 (断面修復)

- ・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で数か所残っていた。
 - → 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



■再劣化経緯

・H19 塩害特定点検:鉄筋位置で 6.20kg/m³

・H20 定期点検 : 主桁に剥離

・H22 補修 : 断面修復(凸型)

シラン系含浸材

・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



■現地部会状況



主桁補修状況 (陸側)

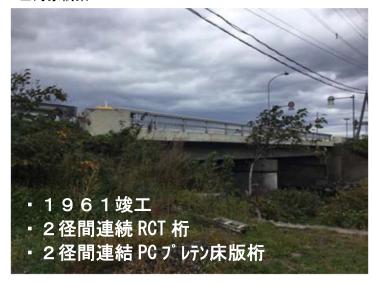


主桁補修状況 (海側)

- ・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/m³ (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





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



■現地部会状況



下フランジイニ繊維シート補強

■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

- ・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/m3

· 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/m³

(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)



上フランジ補修部の錆汁

横桁補修部の錆汁

床版下面補修部のうき

- ・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



主桁の状況(下流側=海側)

■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



主桁下面断面修復部(1)

主桁下面断面修復部(2)

主桁下面断面修復部(3)

- ・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侵材塗布

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侵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。)

参考検討

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

アメタスに波浪テータかなく、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

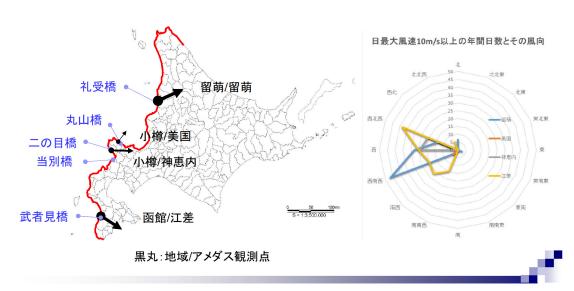
▶ 対象橋梁

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

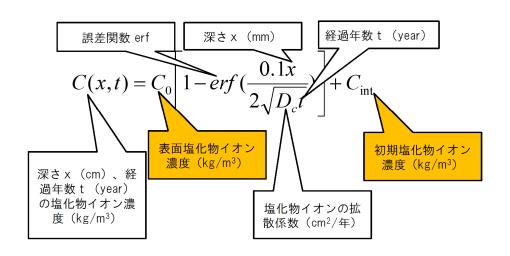
飛沫発生環境(日最大風速10m/s以上の年間日数)

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、CO、Cintを計算





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





PC鋼材かぶり

	JIS A 5313-1959	JISA5313-1980
PC鋼材 かぶり	PC鋼線φ2.9mm2本より (SWPC2) 8 mull (SWPC2) 8 mull (SWPC2) 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	PC額より線1S9.3mm (SWPR7A) ************************************
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

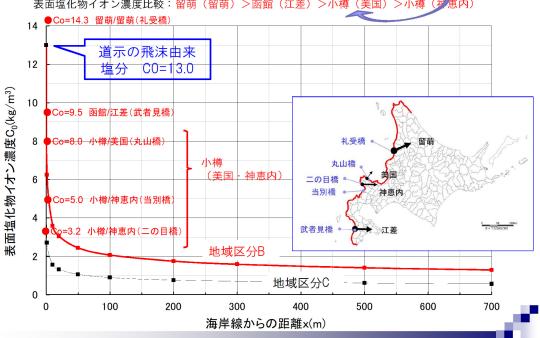
		建設年/ 塩分調査年/ 経過年数	JIS A 5313桁	C0 (CI-	D (cm2/	Cint (CI-	塩分量 (Cl-kg/m3) (PCかぶり mm)	PC鋼材腐食開始年	
			適用年	kg/m3)		kg/m3)	調査時点	Clim=1.2 kg/m3	Clim=2.5 kg/m3
礼受橋	留萌/ 留萌	1971/2006/35	1959	14.3	0.185	0.3	4.8 (c27.1)	5.7	9.8
丸山橋	小樽/ 美国	1962/2007/45	1959	8.0	0.185	0.3	4.3 (c27.1)	7.9	16.8
二の目 橋	小樽/ 神恵内	1971/2009/38	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

飛沫発生環境: 留萌(留萌)>函館(江差)>小樽(神恵内)>小樽(美国) 表面塩化物イオン濃度比較: <mark>留萌(留萌)>函館(江差)>小樽(美国)>小樽(</mark>返恵内)





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CO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/m³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

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。

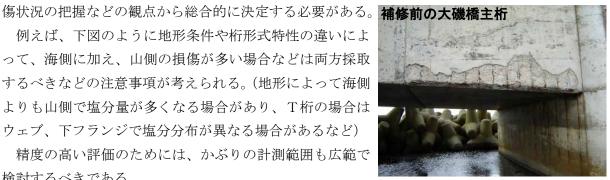
② 調査箇所

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。

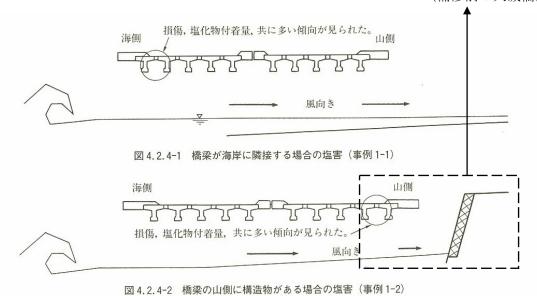
採取数量では、設計者の判断や、業務費用の制約等で整合が取れていない事例を確認した。損 傷部部位の追跡調査や、地形条件や橋梁形式の特徴による塩分量分布の違い、特性橋梁全体の損

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 する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 検討するべきである。



山側の塩害損傷事例 写真 4.2 (補修前の大磯橋主桁)



(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)

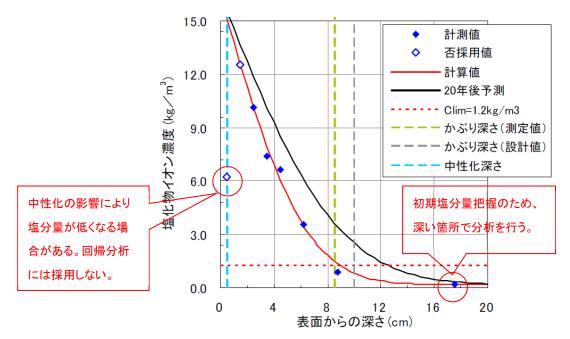
図 4.3 地形特性と塩害発生個所に関する事例

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、 $7 \sim 10$ 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

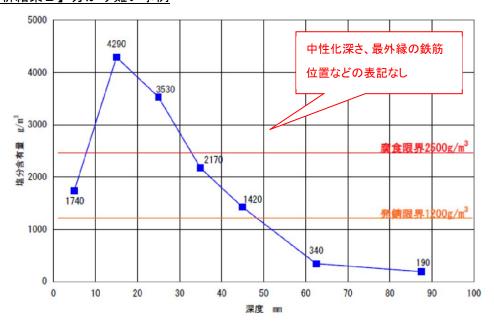


図 4.4 塩分分析結果事例

(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/m³	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]

	Y恤おより判定の官理限外値の例[1]
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	補修の要否の判断 2.5kg/m³
直轄・地方自治体	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
E-#1 2027 E 16 F	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/m³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
11 1/10 D D 4/2/140	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	1. 2kg/m ³
工学協会	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	2. 5kg/m³以上 (劣化度 B)
構造物診断技術協	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
会	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/m³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/m³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。
口士洪亦切人	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/m ³
	出典:大井埠頭桟橋劣化調査・補修-マニュアル(案)-,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。

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。

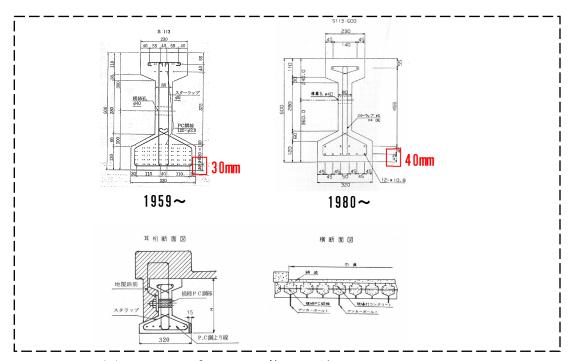


図 4.5 PC プレテン I 桁のかぶり (JIS 桁カタログより)

北海道 PS コンクリート(株)カタログ(S48 年発刊)

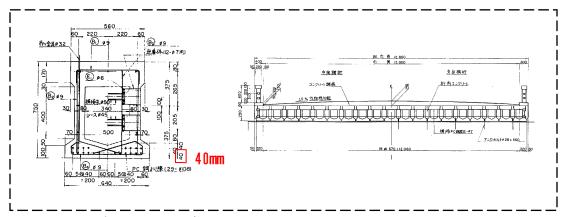


図 4.6 PC プレテンホロー桁のかぶり (北海道 PS コンクリート(株)カタログ (S48 年発刊))

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、PC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。

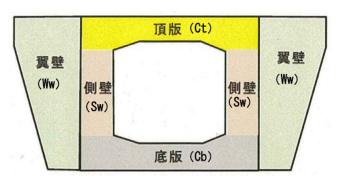
以上のように、PC プレテン床版桁の場合は、塩害に対して可能な措置に限界がある。 そのため現在の設計では、PC 鋼材用のポリエチレンシース、被覆 (エポキシ) P C鋼材・鉄筋、 かぶり確保、コンクリート塗装等の塩害対策などにより、新設時に鋼材腐食を防止する対策を行 っている。

※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2.0~11kg/m3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なためである。
- ・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。)

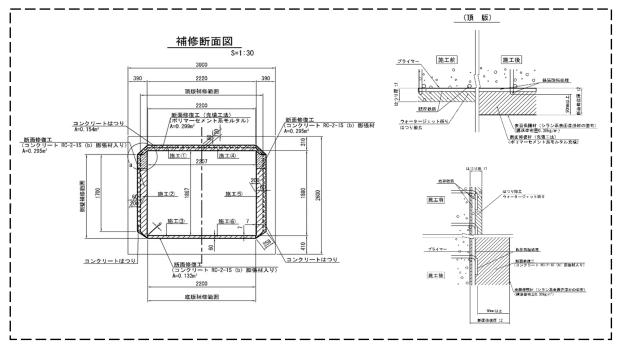


図 4.8 補修厚を増やしたボックスカルバートの好事例(全断面修復、かぶり増厚)

ボックスカルバートの補修の留意点

- ・RC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 SSI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。