4.　塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化、第三者被害予防に着目した点検・調査方法の検討

4.1　報告書（その９）の概要

(1)　対象期間の活動内容

年度	活動項目	活動内容
令和４年度	塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化【H28 年度からの継続テーマ】	・報告書の検討として ①　参考文献の体系化 ②　補修時診断における評価手法検討
令和５年度		・最終報告書とりまとめ ①　塩害補修の留意点 ②　塩害再劣化事例集
令和６年度	第三者被害予防に着目した点検・調査方法の検討【新テーマ】	・不可視部を有する橋梁の点検診断結果等資料収集整理 ・鋼部材に関する第三者被害予防措置留意点の整理 ・点検支援技術に対するアンケート調査

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表 4.1 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）			報告書（その９）			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	R4	R5	R6	
●	●	●	●	●	●																						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
															●	●	●										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
																										●	第三者被害予防に着目した点検・調査方法の検討

4.2.2　部会の目的と背景

構造部会／橋梁 WG では、橋梁の「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を目的とし、これまで表 4.1 に示すテーマで活動している。

報告書（その９）では、**(1)塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化、(2)第三者被害予防に着目した点検・調査方法の検討**の、２つの活動テーマについて報告する。

(1) 塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化

平成 28 年度から令和 5 年度の期間は、「塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化」をテーマとし、コンクリート橋の塩害に対する補修の留意点を整理することを目的として以下の内容で活動し、報告書を提出した。本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に加え現地確認）
- **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

【活動テーマ設定の背景】

北海道開発局が管理する橋梁において、平成 16 年度から橋梁定期点検が開始された以後、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

「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%
（出典：国土技術政策総合研究所資料　コンクリート橋の塩害対策資料集　平成 14 年 11 月）

② 北海道開発局の管理橋梁における老朽化の状況

・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）平成 27 年 3 月）

・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（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

（平成 29 年 8 月 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

平成 28 年度　調査　　塩害が主要因　13 橋（35.1%）／全架替え 37 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（V）令和 2 年 6 月)」

(2) 第三者被害予防に着目した点検・調査方法の検討

令和 6 年度から、橋梁の「第三者被害予防に着目した点検・調査方法の検討」を新テーマとして活動を開始した。コンクリート床版が、鋼板や繊維シートなどで覆われ、コンクリートの状態を直接確認できない「不可視部」を有する部材に対し、点検時の留意点や非破壊検査技術などの適用性ついて検討を行い、抜け落ちや部材の剥落による第三者被害を防ぐことを目的として、具体的に以下の内容について検討を行っている。

なお、本成果の内容は維持管理サイクルのうち「点検」に該当するものである。

＜課　題＞	＜対策の検討＞
➢ コンクリート床版下面に塗装や鋼板が敷設され「不可視部」が存在する床版の点検・診断では**コンクリート素地の状態を把握することが困難**。 ➢ I型格子床版の底鋼板は、型枠の代替として施工時に敷設されており、板厚が薄いため水の影響により腐食すると腐食片落下や破断に至る場合があり、その進行性は早い。 ➢ JR跨線橋など**立入に制約を受ける橋**ではすぐに補修ができないため、**補修ができない期間に対する維持管理方法**を検討する必要がある。	① 鋼板接着や表面被覆が施されている床版等の事例について、**資料収集・分析**し、**点検時の留意点と対策方針を検討**する。 ② 現行の第三者被害予防措置要領の対象部材を拡充し、それぞれの構造に特有の事象等を整理し、**鋼部材の点検留意点**として事例写真を基に**参考事例をまとめる。** ③ 不可視部に対する**「非破壊・微破壊検査技術」**や、**「監視点検技術」「モニタリング技術」**について、多数ある新技術の中から、積雪寒冷地や実事象に適用可能な技術を抽出する。

【活動テーマ設定の背景】

令和 5 年 8 月 10 日、網走開発建設部管内一般国道 39 号泉跨線橋にて床版下面に設置された鋼板が脱落し、床版コンクリートが抜け落ちる事象が発生した。損傷状況を図 4.1 に示す。なお、本橋は JR 石北線が交差していることから、安全が確認されるまで JR は運休を決定するなど、社会に対する影響が大きい事象であった。

ほかにも、令和 4 年に発生した一般国道 274 号白石高架橋や一般国道 337 号千歳ランプ橋の、I 型格子床版腐食片の落下事象（図 4.2）や、令和 3 年に発生した一般国道 228 号白神覆道の頂版の敷設したシートとコンクリートの剥落事象（図 4.3）などが発生している。

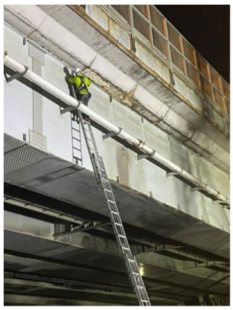
いずれも、橋下に交差物があるため、部材片の落下による第三者被害の恐れがあることや、シートや底鋼板に覆われて床版等のコンクリートを直接確認することができない「不可視部」が存在することが共通の特徴である。これらの事象に対し、第三者被害を発生させないような点検・調査方法を検討することが重要である。

一方、JR 跨線橋のように橋下の敷地内に立ち入る際に制約を受ける橋では、点検や補修を行うことも容易ではなく、補修ができない期間に対する維持管理方法（監視点検やモニタリング）についても検討する必要があると考えた。

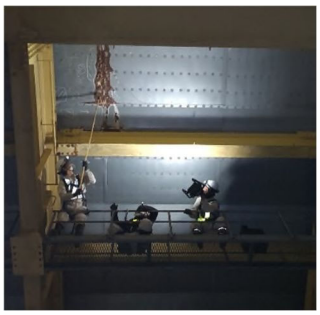


一般国道 39 号泉跨線橋
鋼板接着＋床版剥落事象

図 4.1　JR 跨線橋での損傷事象（鋼板接着）



一般国道 274 号
白石高架橋



一般国道 337 号
千歳ランプ橋

I 型格子床版底鋼板腐食片剥落事象

図 4.2　JR 跨線橋での損傷事象（I 型格子床版）



図 4.3　一般国道 228 号白神覆道　シート＋床版剥落事象

4.3 部会の活動内容（塩害環境におけるコンクリート橋の再劣化）

4.3.1 報告書作成に向けたとりまとめ

(1) 塩害再劣化の定義

報告書を取りまとめるにあたり、再度「塩害再劣化」の定義を議論し、以下の通りとした。

1)「塩害再劣化」の定義

塩害損傷した桁部材の補修後､同一部材内で再度塩害損傷が発生する現象を｢塩害再劣化」と定義する。

2) 対象とする再劣化

本検討では、特に補修後 10 年程度で発生する早期再劣化を課題として扱う。

3) 再劣化の分類

「塩害補修の留意点」の整理にあたり、再劣化を以下の 2 種類に分類する。

再劣化 A：補修部位で再度発生した劣化損傷

再劣化 B：同一部材での補修部以外で新たに発生した劣化損傷

1)「塩害再劣化」の定義

塩害再劣化は、「部材単位」で扱うこととし、再劣化 A および B の 2 種類に分類した。

一般的には再劣化を「再劣化 A（補修部位での再劣化)」と認識されているが、橋梁補修では損傷部位の補修のほかに、未損傷部位に対する予防保全措置（表面含浸材塗布などの表面処理）も実施している。これらの措置は実質的に部材全体の補修となるため、「再劣化 B（同一部材内での補修部位以外での劣化損傷)」も再劣化として扱うこととした。本報告では、予防保全的な対策の適切性についても検証した上で、留意点を示すこととする。

2)対象とする再劣化

塩害による再劣化事例を調査した結果から、補修後最初の橋梁点検（概ね補修後 1～3 年）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）に「C2 判定」(健全度III＝早期措置段階）となる事例が多いことを確認した（参照：表 4.2、図 4.4)。

図 4.4 は、点検と補修のサイクルにおける早期再劣化のパターンである。この状況では、10 年以下の周期での補修の繰り返しが必要となり、橋梁全体および対象部材全体に対して効果的な維持管理とは言えない。その結果として、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、などの問題が懸念される。

表 4.2　対策区分の判定区分　と　道路橋の健全性診断区分

対策区分の判定区分
（出典：橋梁定期点検要領）

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか，損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C１	予防保全の観点から，速やかに補修等を行う必要がある。
C２	橋梁構造の安全性の観点から，速やかに補修等を行う必要がある。
E１	橋梁構造の安全性の観点から，緊急対応の必要がある。
E２	その他，緊急対応の必要がある。
M	維持工事で対応する必要がある。
S１	詳細調査の必要がある。
S２	追跡調査の必要がある。

道路橋の健全性診断区分
（出典：道路橋定期点検要領）

区分		状態
Ⅰ	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
Ⅱ	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
Ⅲ	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
Ⅳ	緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

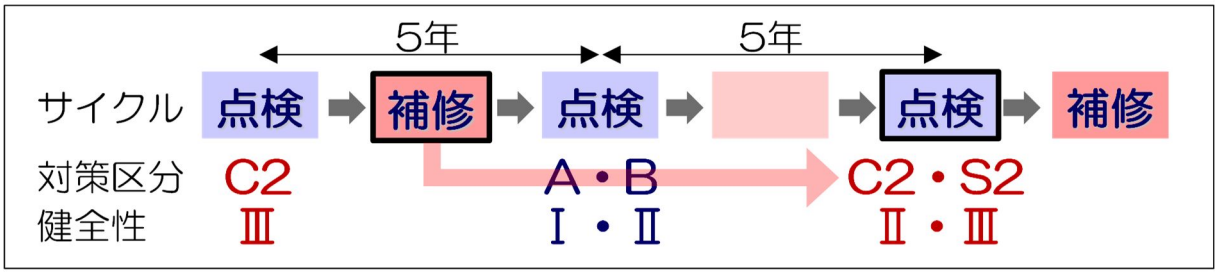


図 4.4　早期再劣化のイメージ

3)再劣化の分類

塩害橋梁補修において、再劣化ＡとＢでは必要な対策が異なるため、補修の留意点も異なる。

以上を踏まえ、再劣化Ａ、Ｂを分けて、「塩害補修の留意点」を整理することとした。

再劣化 A：補修部位で再度発生した劣化損傷

再劣化 B：同一部材での補修部以外で新たに発生した劣化損傷

塩害補修の留意点の目標は以下の通りとする。

再劣化 A：「事後保全対策」により 10 年以上補修部位の健全性を維持（図 4.5）

再劣化 B：「予防保全対策」により 10 年以上部材全体の健全性を維持（図 4.6）

図 4.5 は、目標とする事後保全対策のパターンで、補修後 3 回目以降の点検まで補修部位の健全性を維持する、つまり補修後 10 年間以上の再劣化を防止することが目標となる。

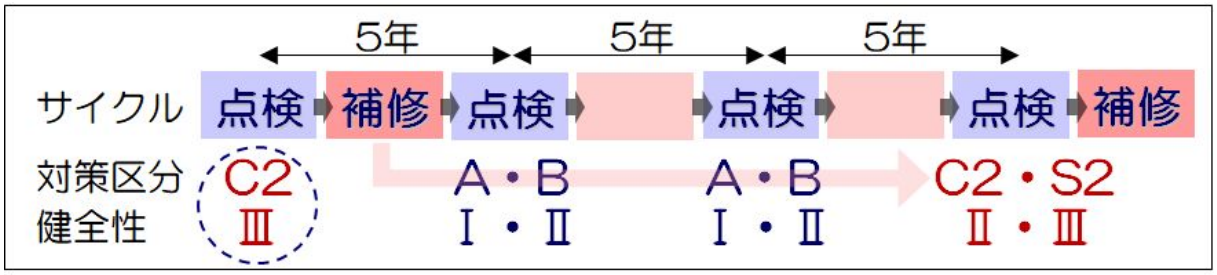


図 4.5　目標とする事後保全対策のパターン

図 4.6 は、目標とする予防保全対策のパターンで、塩害損傷が無く鋼材発錆前（※1）に予防保全措置（※2）を実施し、部材全体の塩害による劣化損傷を予防することが目標となる。

※1：鋼材発錆前で、塩化物イオン濃度が発錆限界値 1.2kg/m^3 未満の状態

※2：含浸材塗布など表面処理等により劣化因子浸入を抑止し C2 判定を阻止する措置

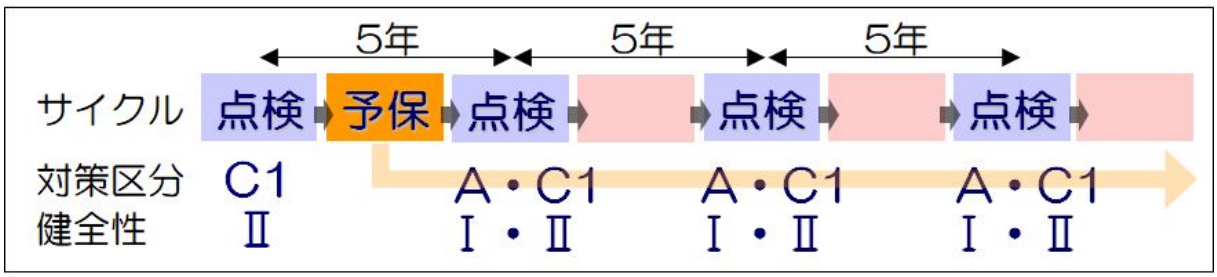


図 4.6　目標とする予防保全対策のパターン

(2) 参考文献の体系化

1)体系化の目的

北海道開発局が管理する橋梁構造物の設計・施工には、「北海道開発局 道路設計要領 第 3 集橋梁」（以下、「局要領」という。）が適用される。塩害橋梁の維持管理においても同様である。

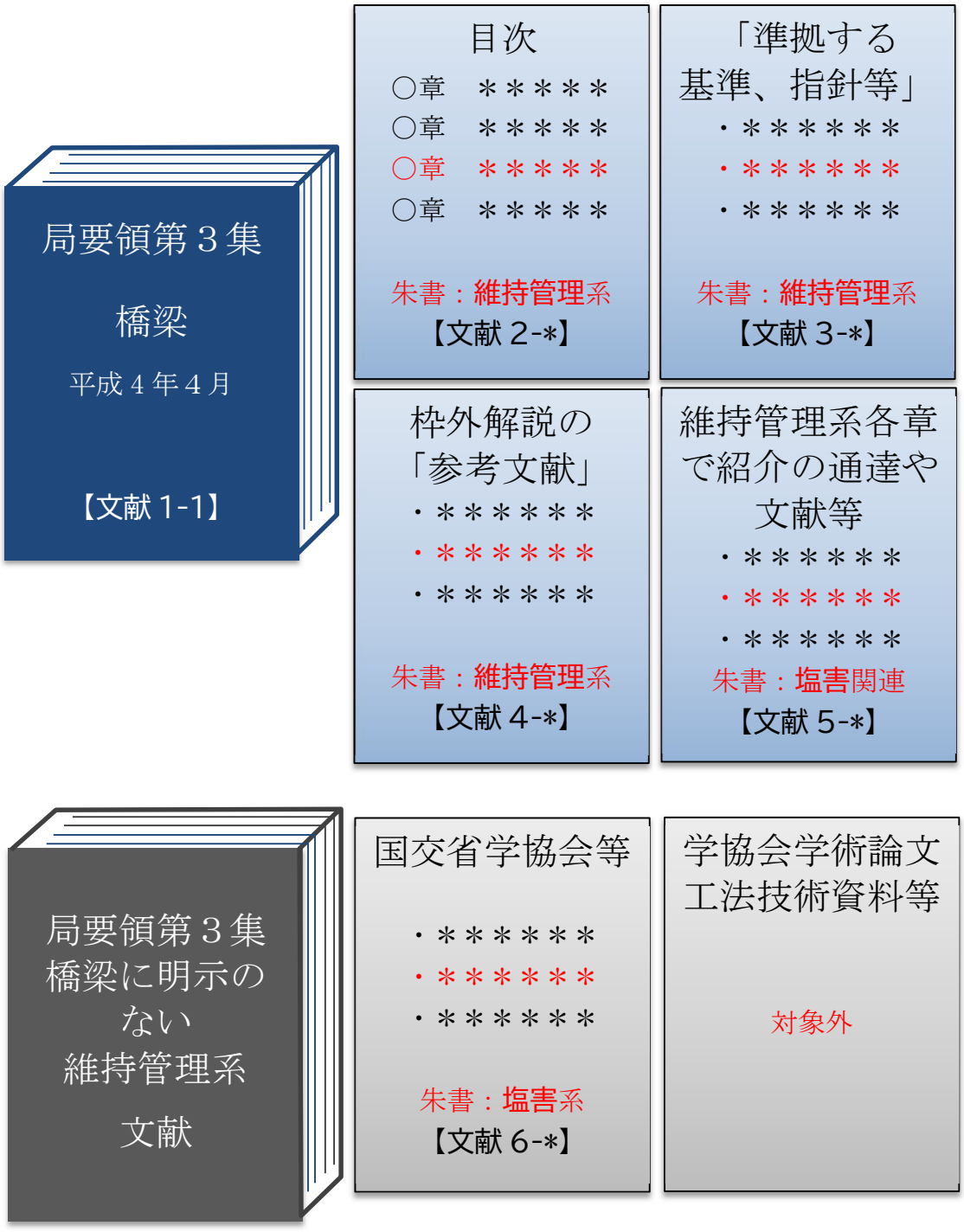
また、塩害劣化を含むコンクリート橋の維持管理に関して、局要領に記載のない有益な文献が多数存在する。これらは設計、施工、維持管理の各段階において、必要に応じて活用されている。

関連文献は多岐にわたり、技術開発や新規知見の導入に伴って更新・改定が行われている。また、新刊への統合による廃刊も含め、文献の入れ替わりが頻繁に生じている。このため、体系的に整理された資料が存在せず、文献検索は技術者の経験や知識に依存している状況にある。

以上のことから、橋梁の維持管理に携わる道路管理者および技術者が、設計、施工、維持管理の各段階で必要な文献を効率的に検索できるよう、補助ツールとして文献集を作成した。これにより、文献検索の効率化と活用文献の標準化が図られ、適切な補修の実施などの効果が期待できる。

文献集は、令和 4 年 4 月版「局要領」に記載されている「準拠、指針等」、「参考文献」、「維持管理系の各章で紹介されている通達や文献」から網羅的に抽出した。さらに局要領に掲載されていないコンクリート橋の維持管理に関わる代表的な文献も、公開・非公開を問わず抽出し収録した。なお、文献集の作成中に令和 5 年 4 月版「局要領」が発刊されたが、令和 4 年 4 月版からの変更は文献の発刊年度の更新程度であり、大きな改定や目次の変更はなかった。このため、令和 4 年 4 月版を基本として整理を継続した。なお、学術論文および各種工法の技術資料は対象が広範となるため、本文献集からは除外した。

図 4.7 に、文献集における文献の収集イメージを示す。



（*：枝番号，１以上の数字）

図 4.7　文献集の収集イメージ

以下において、文献番号を【文献１～６-*】と示す。

【文献１～５-*】は、「局要領」に掲載されている文献で、【文献６-*】は、「局要領」に掲載されていない文献である。

2) 文献の活用方法

コンクリート橋の維持管理に関する代表的な文献は多数存在する。このため、文献の種類や位置付けによって分類し、それぞれの特性を考慮した活用方法を以下に示す。

① 文献の分類

文献は、以下のａ～ｄのように分類する（文献番号は、文献集4.2～4.4を参照されたい）。

【ａ】橋梁維持管理の基本理念、工法選択、補修工法の留意点を網羅的にまとめた要領など
➡分類【ｂ～ｄ】を共通の考え方に基づいて総合的（一気通貫に）取り纏めた文献

【文献4-12】「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル2022版」（土木研究所）
【文献6-11】「橋梁補修「設計・施工」の手引き（案）R4.10」（北海道開発局）
【文献6-39】「塩害橋の維持管理ハンドブック案　H29.3」（北海道道路管理技術センター）　など

【ｂ】橋梁維持管理における個別補修工法の留意点などをとりまとめた専門性の高い指針
➡詳細設計や施工計画において必要となる理論や知見を示す参考にすべき各論の文献

【文献6-32】「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」（日本コンクリート工学会）
【文献5-16】「表面保護工法設計施工指針(案)」（土木学会）
【文献6-21】「(ｺﾝｸﾘｰﾄﾗｲﾌﾞﾗﾘｰ157)電気化学的防食工法指針(案)」（土木学会）　　など

【ｃ】橋梁維持管理全般にわたる基本理念をとりまとめた示方書など
➡国内の橋梁維持管理において遵守すべき基本理念の具体を示す分類ａに準ずる文献

【文献3-83】「コンクリート標準示方書［維持管理編］（土木学会）　　など

【ｄ】橋梁設計全般に関する法令等およびそれらの解説書である基準・示方書・指針類
➡道路や橋梁として必要な性能を確保するために遵守すべき大原則を示す文献

【文献1-1】「北海道開発局 道路設計要領 第３集 橋梁　R4.4」（北海道開発局）
【文献3-1】　「道路構造令」（政令）
【文献3-23】「道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編」（日本道路協会）
【文献3-25】「道路橋示方書・同解説Ⅲｺﾝｸﾘｰﾄ橋・ｺﾝｸﾘｰﾄ部材編」（日本道路協会）
【文献3-62】「道路橋床版防水便覧」（日本道路協会）

コンクリート橋の補修設計実務では、分類[a]を基本として活用する。これは、補修全般を網羅し、地域特性を踏まえた道路事業者の維持管理方針が反映されているためである。

補修計画の検討にあたっては、維持管理全般の基本理念を分類【ｃ，ｄ】で確認し、個別の補修工法に関する理論、留意点、最新知見については分類【ｂ】を参照するという手順で活用することを推奨する。

②文献の活用方法

具体的な活用方法の１例を提案する。（分類【ｄ】の文献1-1を「局要領」、分類【ａ】の文献4-12を「土研マニュアル」、文献6-11を「手引き」、文献6-39を「ハンドブック」と呼ぶ。）

■補修全般が網羅されている分類【ａ】の文献を活用して補修設計を進める

・コンクリート構造物の補修では、**文献4-12「土研マニュアル」**を活用する。
本文献は令和4年に改訂され、最新の研究成果（分類[b,c]）が反映されており、特に〝水処理〟を補修工法として扱っている点が特徴である。
また、4.2～4.4に含まれない分類[b]の参考文献や論文も紹介されており、必要に応じて参照することができる。

・北海道開発局管理の橋梁補修設計では、主体的に**文献6-11「手引き」**を活用する。
本文献は平成28年版「土研マニュアル」を反映し、北海道特有の規定をとりまとめたものである。なお、「土研マニュアル」は令和4年版が最新であるため、両文献を併せて活用する必要がある。
ただし、本文献は非公開の内規であり、設計業務報告書等への転記が禁止されている。本文中には分類[b,c,d]の文献が多数引用されているため、これらから転記可能な文献を引用することを推奨する。

・劣化原因が“塩害”の場合は、参考に**文献6-39「ハンドブック」**を活用する。
本文献は塩害に特化した文献であり、文献6-11「手引き」中の塩害関連の補修設計の留意点をより詳細に解説している。
本文献は、平成29年3月発刊の自主研究成果（非公開）であるが、北海道開発局および寒地土木研究所の協力による積雪寒冷地の塩害損傷事例の収録、分類【ｂ、ｃ】の各種文献や関連学会の論文に基づく理論的知見も参考にして取りまとめられた実践的文献となっている。
これらの文献は、「土研マニュアル」や「手引き」と併せて活用することが望ましい。ただし、「ハンドブック」は補修設計の根拠資料とすることはできないため、注意が必要である。

■個別の補修工法の詳細について分類【ｂ】の文献を参考に詳細設計や施工計画を行う

・分類【ｂ】の参考文献は、「局要領」や「手引き」に多数掲載されている。これらの活用にあたっては、発行機関の信頼性および発行年度を確認し、最新の技術知見であるかを判断した上で参照することが望ましい。

■コンクリート橋の補修方針・計画は分類【ｃ，ｄ】の文献を参照する

・北海道開発局が管理する橋梁の補修設計実務では、**文献1-1「局要領」**を最優先として準拠する。本文献は橋梁維持管理に特化したものではないが、4.3に示される維持管理関連項目および紹介文献を参照して補修を実施する必要がある。

・文献3-7「橋、高架の道路等の技術基準の改定について」および文献3-23～27「道路橋示方書・同解説」における維持管理関連の記載事項を遵守しなければならない。

・文献3-83「コンクリート標準示方書[維持管理編]（土木学会）」は、コンクリート構造物の維持管理に関する基本理念を体系的に整理した文献であり、分類【ａ、ｂ】の文献の基礎となっている。また、[基本原則編][設計編][基準編]についても、必要に応じて参照することが望ましい。

③分類【ａ】文献の概要

北海道開発局が管理する橋梁の補修設計実務を円滑に進めるためには、補修全般を網羅した分類【ａ】の文献を活用することが望ましい。

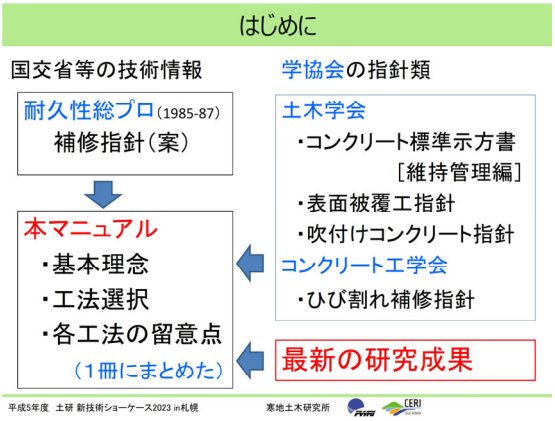
特に「手引き」および「ハンドブック」は、積雪寒冷地である北海道の地域特性を考慮して整理されており、「土研マニュアル」の内容を反映している。これらに「局要領」を加えた4文献が特に重要となる。

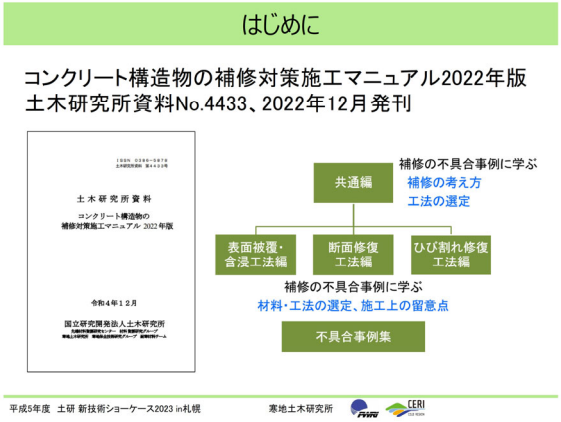
表4.3～4.5に、橋梁維持管理に特化して総合的に整理された分類【ａ】の文献4-12「土研マニュアル」、文献6-11「手引き」、文献6-39「ハンドブック」について、その特徴を示す。

表4.3　【文献4-12】土研マニュアル　の特徴

文献名	『第4433号　土木研究所資料 コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル2022版』
発行年	令和4年12月
発行者	国立研究開発法人土木研究所
位置付け	土木研究所資料（下記URLからダウンロード可能） https://zairyo.ceri.go.jp/ceri_zairyo/topics5/maintenance-dr.html
引用可否	可
概　　要	各種劣化損傷に対する土木コンクリート構造物の耐久性の回復もしくは向上を目的とし、既設コンクリート構造物の補修の標準が示されている。 ・補修の一般事項（設計、施工、検査、補修後維持管理） ・工法選定留意点（方針設定、劣化の要因や段階に応じた補修工法） ・早期劣化防止のポイント（施工前の調査、補修後の維持管理） ・対象工法は、水処理、表面被覆と含浸工法、断面修復、ひび割れ修復で、不具合事例を踏まえた早期劣化防止の留意点と、各補修工法の品質向上に資する測定方法、試験方法を紹介

※参考情報：「土研マニュアル」の講演会資料抜粋





【出典】 土研 新技術ショーケース 2023 in 札幌　寒地土木研究所による講演資料

表4.4　【文献6-11】手引き　の特徴

文献名	『橋梁補修「設計・施工」の手引き（案）』
発行年	令和4年10月改定版
発行者	北海道開発局道路　道路建設課　道路維持課
位置付け	非公開内部資料 配布先　：　北海道開発局職員および開発局橋梁補修に関わる実務者
引用可否	記載内容を設計業務報告書等へ引用・転記することは禁止
概　　要	道路の維持管理に関わる実務者を対象に、既設道路橋の補修設計や補修工事を円滑に行うために、補修設計の基本的な流れや留意すべきポイント、代表的な補修・補強の事例を示したものである。事例は特定の条件下における一例であることを踏まえ、本手引き(案)の利用に際しては，類似の条件であっても画一的に適用するのではなく，劣化状態，発生原因，対象構造物の特性や要求性能などを十分に勘案した上で適宜参照するべきことに留意する必要がある。 対象は、コンクリート部材の材料劣化、鋼部材の腐食,亀裂など全般である。 また活用方法として、各開発建設部の地域特性を考慮して「手引き」を踏まえた具体的な「統一事項」を整理して運用している事例もある。

表4.5　【文献6-39】ハンドブック　の特徴

文献名	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）
発行年	平成29年3月
発行者	一般財団法人　北海道道路管理技術センター　道路管理技術研究所
位置付け	自主研究成果 テーマ　：「橋梁の塩害及び当該・塩害複合劣化対策に関する調査研究」 配布先　：　同センター内の「道路管理技術委員会」の関係者 北海道開発局職員および開発局橋梁補修に関わる実務者
引用可否	非公開資料であり、引用・転記することは禁止
概　　要	本ハンドブックは「橋梁補修『設計・施工』の手引き（案）　平成 28 年 4 月 北海道開発局 道路建設課 道路維持課」の内，塩害に係わる設計を分かりやすく解説する目的で整理されたものである。橋梁定期点検や塩害特定点検等において塩害と推定または確定された橋梁の損傷事例や補修事例を収集・分析し，詳細調査，健全度評価，補修設計を適切に実施するための留意点がまとめられている。 特に、下記項目について具体的な記載があり参考にすることを推奨する。 ・「3.2 変状の進行予測」の塩化物イオンの拡散予測手法の解説 ・「表 3-6 塩害の評価および判定の管理限界値の例」の鋼材発錆限界値の適用例 ・「表 3-8～11」の PC 桁の変遷(桁断面,鋼材かぶり)と PC 鋼材発錆年数予測例 ・「3.3 性能評価および対策の要否判定」の塩害橋の耐荷力評価と対策判定例 ・「4.5 表面含浸材塗布」の各種含浸材の比較(一覧表)、塗布後性能の評価例 ・「4.6 電気防食」の北海道開発局管理橋梁における採用橋梁の紹介(一覧表)

3)　文献集を活用する際の注意事項

『文献集』は、文献集（1）、（2）、（3）の3種類に分割して整理した。

『文献集』を活用する際は、以下の事項に注意されたい。

①掲載文献の範囲

掲載した文献の抽出元は下記の通りである。

『文献集（1）』：「局要領」R4.4の掲載文献

『文献集（2）』：「局要領」R4.4に未掲載の有益と思われる文献

『文献集（3）』：開発局の橋梁補修設計で必ず活用する「手引き」R4.10の掲載文献

『文献集（2）』は、代表的な文献を抽出したものであり、既存の全ての文献を網羅したものではない。したがって、本文献集に掲載されていない文献が重要でないということを意味するものではない。

②文献の更新

本文献集に掲載した文献は、令和4年（2022年）までに発行および更新を確認したものである。これらの文献は、最新の知見や技術を反映した改訂、新文献への統合による旧版の廃止、あるいは新規文献の刊行が行われる可能性があることに留意が必要である。

③適用範囲

本報告書は、北海道開発局における橋梁補修設計での活用を前提にとりまとめたものである。調査対象とした塩害損傷事例は、全て塩害環境が厳しい日本海側に位置する北海道開発局管理の橋梁である。したがって、本報告書の適用範囲は「北海道における橋梁の塩害損傷に対する補修」に限定される。

また、(2)で示した活用方法についても、北海道開発局における橋梁補修設計での使用を前提としている点に留意が必要である。なお、北海道外の橋梁の塩害補修においては、「積雪寒冷地における橋梁の塩害損傷に対する補修」の参考資料として参照することは可能と思われる。

④本文献集の追加・更新について

本文献集は随時更新を行わないため、改訂版や新刊の文献を参照する際は、その分類や用途に留意する必要がある。

2)で示したように、塩害補修に関する文献は、今後も更新、廃止、新規刊行が予想される。しかし、本文献集は必要かつ有益な文献を検索・追跡するための基礎資料として活用できる。

本文献集の目的は、文献検索性の向上と活用文献の標準化を図り、これらを通じて適切な補修の実現に資することである。これらの目的は、文献集を随時更新しなくても達成可能と判断した。

4)　文献集（1）／北海道開発局「道路設計要領第３集橋梁」に明示されている維持管理系文献

①「目次」より

北海道開発局が管理する橋梁構造物の設計・施工には、「北海道開発局 道路設計要領 第 3 集橋梁」（以下、「局要領」という）が適用される。表 4.6 に現行の局要領を、表 4.7 にその目次を示す。表 4.7 では、既設コンクリート構造物の維持管理に関連する項目を朱書きで表示している。

表　4.6　適用基準類

文献番号	分類	基準類名称	発行年	発行元
1-1	【d】	北海道開発局 道路設計要領 第3集 橋梁	令和 4 年 4 月	北海道開発局

表　4.7　局要領第３集　橋梁の目次抜粋

文献番号	分類	編	章 （赤字:コンクリート橋の維持管理系）	節、その他 （赤字:維持管理系）
2-1	【d】	第1編　道路橋	第1章　総則	1.1.2　示方書及び指針の枠内に準拠する基準類、枠外に参考資料
2-2	【d】		第 2 章　上部工	
2-3	【d】		第 3 章　下部工	
2-4	【d】		第 4 章　深礎基礎	
2-5	【d】		第 5 章　土留工・仮締切工	
2-6	【d】		第 6 章　仮橋	
2-7	【d】		第 7 章　橋梁付属物	
2-8	【d】		第 8 章　現況拡幅の設計（下部工）	
2-9	【d】		第9章　橋梁補修	9.1　一般
2-10	【d】			9.2　橋梁用防護柵の補修
2-11	【d】			9.3　連続繊維シートによる補修・補強
2-12	【d】		第 10 章　その他	
2-13	【d】		付属資料	A.杭基礎　　B.岩の土質試験結果と強度定数の評価
2-14	【d】			C.重要構造物調査成果図書作成要領（橋梁）
2-15	【d】			D.上部工形式選定、E.下部工形式選定
2-16	【d】			F.伸縮装置の選定、G.PC 定着工法別比較表
2-17	【d】	第2編　コンクリート	第1章　一般	
2-18	【d】		第2章　コンクリートの品質	
2-19	【d】		第3章　寒中コンクリート	
2-20	【d】		第4章　海洋コンクリート	
2-21	【d】		第5章　コンクリート部材の塩害対策	5.1　一般
2-22	【d】			5.2 路面凍結防止剤対策
2-23	【d】		参考資料	A.耐寒剤を用いる寒中コンクリートの施工指針（案）
2-24	【d】			B.道路橋での表面含浸材の適用にあたっての留意事項
2-25	【d】			C.積雪寒冷地において劣化作用を受けるコンクリート構造物の維持管理に関する留意事項

②「1.1.2 示方書及び指針」枠内に示す「準拠する基準、指針等」より

橋梁の設計・施工については、「道路設計要領　第３集」の「1.1.2　示方書及び指針」の枠内に、準拠すべき基準・指針等を表 4.8（1/6～6/6）に示す。このうち、既設コンクリート構造物の維持管理に関する基準類を朱書きで表示した。

表　4.8(1/6)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」に示す「準拠する基準、指針等」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要（朱字のｺﾝｸﾘｰﾄ橋の維持管理系についてのみ記載）		
		[法令等]		
3-1	【d】	道路構造令	昭和 45 年 最終改正: 令和2年 11 月 20 日	政令第 320 号 政令第 329 号
3-2	【d】	道路構造令施行規則	昭和 46 年 最終改正: 平成 31 年 4 月 19 日	建設省令第 7 号 国土交通省令第 34 号
3-3	【d】	自転車道等の設計基準について	昭和 49 年 11 月 29 日	建設省都街発第 63 号 道企発第 91 号
3-4	【d】	立体横断施設技術基準	昭和 53 年 3 月 22 日	都市局長、道路局長通達
3-5	【d】	道路標識設置基準	令和元年 10 月 21 日	国土交通省道路局企画課
3-6	【d】	道路照明施設設置基準の改定について	平成 19 年 9 月 5 日	国都街第 19 号 国道公安第 29 号
3-7	【c】	橋、高架の道路等の技術基準の改定について	平成 29 年 7 月 21 日	国都街第 45 号 国道企第 23 号
		概要:「橋、高架の道路等の技術基準」（道路橋示方書）は、昭和 47 年の制定以降、技術的な知見や社会的な情勢の変化等を踏まえて改定を行ってきているところであるが、今般、制定以来の大幅な改定を行った（【文献 3-23】参照）。 ＜改定のポイント＞ ・橋の安全性や性能に対しきめ細やかな設計が可能な設計手法を導入 ・橋が良好な状態を維持する期間（設計供用期間）として、100 年を標準とすることを規定し、その間適切な維持管理を行うことを規定		
3-8	【d】	河川管理施設等構造令	昭和 51 年 最終改正:平成 25 年 7 月 5 日	政令第 199 号 政令第 214 号
3-9	【d】	河川管理施設等構造令施行規則	昭和 51 年 最終改正:平成 25 年 7 月 5 日	建設省令第 13 号 国土交通省令第 59 号
		[建設省・国土交通省・土木研究所]		
3-10	【d】	鋼道路橋設計ガイドライン(案)	平成 7 年 10 月	建設省
3-11	【d】	鋼道路橋付属物の設計ガイドライン(案)	平成 10 年 8 月	建設省
3-12	【d】	土木構造物設計ガイドライン	平成 31 年 3 月	国土交通省
3-13	【d】	土木構造物設計マニュアル（案）-橋梁編-	平成 11 年 11 月	建設省

表　4.8(2/6)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」に示す「準拠する基準、指針等」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要(朱字のコンクリート橋の維持管理系についてのみ記載)		
3-14	【d】	土木工事 仮設計画ガイドブック(Ⅰ)	平成 23 年 3 月	国土交通省監修
3-15	【d】	土木工事 仮設計画ガイドブック(Ⅱ)	平成 23 年 3 月	国土交通省監修
3-16	【d】	景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン	平成 16 年 3 月	国土交通省
3-17	【d】	泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル	平成 29 年 3 月	土木研究所寒地土木研究所
3-18	【d】	北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関するガイドライン	平成 22 年 4 月	土木研究所寒地土木研究所
3-19	【d】	北海道の道路デザインブック(案)	平成 31 年 3 月	土木研究所寒地土木研究所
3-20	【d】	北海道における道路景観のチェックリスト(案)	平成 31 年 3 月	土木研究所寒地土木研究所
3-21	【b】	凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)	平成 29 年 5 月改訂	土木研究所寒地土木研究所
		概要:本手引書は，コンクリート構造物の維持管理に際し，現場にて外観目視調査を行い，コンクリートに発生している変状が凍害もしくは凍害に関連する複合劣化を促す危険性があるか否かを評価し，対策要否の判定，適切な補修補強設計を行うために，理解しておくべき基礎知識をとりまとめている.		
		［日本道路協会］		
3-22	【d】	道路構造令の解説と運用	令和 3 年 3 月	日本道路協会
3-23	【c】	道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編	平成 29 年 11 月	日本道路協会
3-24	【c】	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編	平成 29 年 11 月	日本道路協会
		概要:平成 29 年 7 月に「橋、高架の道路等の技術基準」が改定(【文献 3-7】参照)。改訂内容は、性能規定化の推進、長寿命化の合理的な実現(設計供用年数 100 年にわたる適切な維持管理)、熊本地震における被災を踏まえた対応等である。 道路橋示方書・同解説は、道路橋の設計段階に留まらず維持管理に到るまで配慮されていることら維持管理系の基準とし、特にコンクリート橋の維持管理系基準として「Ⅰ共通編」「Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材」を示した。		
3-25	【d】	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋・鋼部材編	平成 29 年 11 月	日本道路協会
3-26	【d】	道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編	平成 29 年 11 月	日本道路協会
3-27	【d】	道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編	平成 29 年 11 月	日本道路協会
3-28	【d】	道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編に関する参考資料	平成 27 年 4 月	日本道路協会
3-29	【d】	鋼道路橋疲労設計便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-30	【d】	ﾌﾟﾚｷｬｽﾄﾌﾞﾛｯｸ工法によるﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄTげた道路橋設計・施工指針	平成 4 年 10 月	日本道路協会
3-31	【d】	小規模吊橋指針・同解説	昭和 59 年 9 月	日本道路協会
3-32	【d】	立体横断施設技術基準・同解説	昭和 54 年 1 月	日本道路協会

表　4.8(3/6)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」に示す「準拠する基準、指針等」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要（朱字のコンクリート橋の維持管理系についてのみ記載）		
3-33	【c】	防護柵の設置基準・同解説 防護柵の設置基準・同解説 防護柵の設置基準・同解説 防護柵の設置基準・同解説 防護柵の設置基準・同解説/ボラードの設置便覧	平成 10 年 11 月 平成 16 年 3 月改訂 平成 20 年 1月改訂 平成 28 年 12 月改訂 令和 3 年 3 月改訂	日本道路協会
		概要:平成 10 年 11 月の仕様規定から性能規定への改訂、平成 16 年 3 月の良好な景観形成への配慮への改訂。その後、ガードレールに付着した金属片による負傷事故や、追突された車両が歩道を乗り越えて橋梁の高欄を突破する車両転落事故に関連した通達を受け、平成 20 年 1 月に所要の改訂。さらに、平成 28 年 12 月には生活道路用柵に関する改訂、令和 3 年 3 月には、交差点部の歩道に待機する歩行者の保護対策を図る際に参考とする「ボラードの設置便覧」を新たに「防護柵の設置基準」の解説書と合本の形で取りまとめた。		
3-34	【c】	車両用防護柵標準仕様・同解説	平成 16 年 3 月	日本道路協会
		概要:「防護柵の設置基準」の性能規定を満足する車両用防護柵は、平成 11 年に建設省道路局道路環境課長より「車両用防護柵標準仕様について」として通知されている。本「車両用防護柵標準仕様・同解説」は、車両用防護柵標準仕様の内容を紹介し、防護柵を設置する際の理解を助けるための解説書として取りまとめたもの。		
3-35	【d】	道路橋支承標準設計(ゴム支承・ころがり支承編)	平成 5 年 4 月	日本道路協会
3-36	【d】	道路橋支承標準設計(すべり支承編)	平成 5 年 5 月	日本道路協会
3-37	【d】	道路橋耐風設計便覧	平成 20 年 1 月	日本道路協会
3-38	【c】	道路橋伸縮装置便覧	昭和 45 年 4 月	日本道路協会
		概要:現在使用されている道路橋の主な伸縮装置に対して、適正な形式選定とより良い設計、施工ができることを目的として作成されたものである。したがって伸縮装置の過去より現在にいたる変遷と破損現況、破損原因等を詳しく記述し、計画設計、施工等の基本的な事項、各型式の構造細目、施工方法等をできるだけ理解しやすいものとした。		
3-39	【c】	道路橋支承便覧	昭和 48 年発刊 平成 3 年改訂 平成 16 年改訂 平成 31 年 2 月改訂	日本道路協会
		概要:最新の改訂は、【文献 3-23～27】道路橋示方書・同解説（平成 29 年 11 月）の改訂に伴い、改訂趣旨を反映し便覧を改訂。具体的には、支承部の性能の標準的な検証手法の提示、材料・試験法の記述の見直し、施工・維持管理の条件の明確化等。		
3-40	【d】	道路橋ケーブル構造便覧	令和 3 年 11 月	日本道路協会
3-41	【c】	道路橋点検必携 平成 27 年版～橋梁点検に関する参考資料～	平成 27 年 4 月	日本道路協会
		概要:平成 26 年、国土交通省令として「道路の維持・修繕に関する技術基準」が定められ、5年毎の定期点検が義務付け。このため、本書は道路管理者をはじめ道路橋の点検に関わる業務を行う者が適切に業務を遂行するために知っておくことが有効と思われる情報を、現場に携行して、いつでも確認できることを目的にとりまとめたもの。		

表　4.8(4/6)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」に示す「準拠する基準、指針等」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要(朱字のコンクリート橋の維持管理系についてのみ記載)		
3-42	【c】	道路橋補修・補強事例集(2012 年版)	平成 24 年 3 月	日本道路協会
		概要:本資料は，近年わが国で実施された道路橋の補修・補強の事例を「道路橋補修・補強事例集(2012 年版)」としてまとめたもの。橋桁、橋脚、付属物等に発生した損傷に対して各道路管理者が調査・研究をもとに補修・補強をおこなった 36 事例を掲載。		
3-43	【d】	道路照明施設設置基準・同解説	平成 19 年 10 月	日本道路協会
3-44	【d】	鋼道路橋設計便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-45	【d】	鋼道路橋施工便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-46	【d】	鋼道路橋防食便覧	平成 26 年 5 月	日本道路協会
3-47	【d】	鋼道路橋塗装・防食便覧資料集	平成 22 年 9 月	日本道路協会
3-48	【d】	鋼道路橋疲労設計便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-49	【d】	コンクリート道路橋設計便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-50	【d】	コンクリート道路橋施工便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-51	【d】	鋼管矢板基礎設計施工便覧	平成 9 年 12 月	日本道路協会
3-52	【d】	杭基礎設計便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-53	【d】	杭基礎施工便覧	令和 2 年 9 月	日本道路協会
3-54	【d】	斜面上の深礎基礎設計施工便覧　令和 3 年度版	令和 3 年 10 月	日本道路協会
3-55	【d】	道路震災対策便覧(震前対策編)【平成 18 年度改訂版】	平成 18 年 9 月	日本道路協会
3-56	【d】	道路震災対策便覧(震災復旧編)【平成 18 年度改訂版】	平成 19 年 5 月	日本道路協会
3-57	【d】	道路震災対策便覧(震後危機管理編)	令和元年 7 月	日本道路協会
3-58	【d】	道路橋景観便覧　橋の美	昭和 52 年 6 月	日本道路協会
3-59	【d】	道路橋景観便覧　橋の美Ⅱ	昭和 56 年 6 月	日本道路協会
3-60	【d】	道路橋景観便覧　橋の美Ⅲ　橋梁デザインノート	平成 4 年 5 月	日本道路協会
3-61	【d】	鋼橋の疲労	平成 9 年 5 月	日本道路協会
3-62	【b】	道路橋床版防水便覧	平成 19 年 3 月	日本道路協会
		概要:平成 14 年道路橋示方書において床版防水層の設置等、床版内部への雨水等の浸透を防止する措置を講じることが規定された。これを受け、最新の知見をもとに、「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料」の内容を見直した。		
3-63	【d】	鋼道路橋の細部構造に関する資料集	平成 3 年 7 月	日本道路協会
3-64	【d】	道路橋の耐震設計に関する資料	平成 9 年 3 月	日本道路協会
3-65	【d】	道路橋の耐震設計に関する資料(PC ラーメン橋・RC アーチ橋・PC 斜張橋等の耐震設計計算例)	平成 10 年 1 月	日本道路協会
3-66	【d】	既設道路橋の耐震補強に関する参考資料	平成 9 年 9 月	日本道路協会
3-67	【d】	既設道路橋基礎の補強に関する参考資料	平成 12 年 2 月	日本道路協会
3-68	【d】	道路技術基準図書の SI 単位系移行に関する参考資料　第 1 巻－交通工学・橋梁編－	平成 14 年 11 月	日本道路協会

表　4.8(5/6)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」に示す「準拠する基準、指針等」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要（朱字のコンクリート橋の維持管理系についてのみ記載）		
3-69	【d】	道路技術基準図書の SI 単位系移行に関する参考資料　第2巻－道路土工・トンネル編－	平成 14 年 11 月	日本道路協会
3-70	【d】	道路土木構造物技術基準・同解説	平成 29 年 3 月	日本道路協会
3-71	【d】	道路土工 道路土工要綱	平成 21 年 6 月	日本道路協会
3-72	【d】	道路土工 盛土工指針	平成 22 年 5 月	日本道路協会
3-73	【d】	道路土工 軟弱地盤対策工指針	平成 24 年 8 月	日本道路協会
3-74	【d】	道路土工 擁壁工指針	平成 24 年 7 月	日本道路協会
3-75	【d】	道路土工 カルバート工指針	平成 22 年 3 月	日本道路協会
3-76	【d】	道路土工 仮設構造物工指針	平成 11 年 3 月	日本道路協会
3-77	【d】	道路土工 切土工・斜面安定工指針	平成 21 年 6 月	日本道路協会
3-78	【d】	道路標識設置基準・同解説	令和 2 年 6 月	日本道路協会
3-79	【d】	道路標識構造便覧	令和 2 年 6 月	日本道路協会
		[土木学会]		
3-80	【d】	コンクリート標準示方書【基本原則編】	平成 25 年 3 月	土木学会
3-81	【c】	コンクリート標準示方書【設計編】	平成 30 年 3 月	土木学会
		注記:平成 24 年制定版の改訂、平成 29 年制定版である。平成 24 年制定版の構成[本編][標準][付属資料]の構成を踏襲。 概要:[本編]では、鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリート構造物に要求される性能、それらを満たす構造物を建造するための構造計画、およびその設計・照査の基本を提示。[標準]ではこれら複数の要件を達成するための標準的な方策を技術の進展にあわせて具体的に提示。[付属資料]では設計図に記載する設計条件表の記載項目の例、津波の影響の取り扱いに関する資料等を新たに追加して提示。 特に、コンクリート橋の維持管理で留意すべき項目を以下に示す。 ・「設計編:標準」「4編使用性に関する照査」「2章ひび割れによる外観に対する照査」の内、「2.3.4 曲げひび割れ幅の設計応答値の算定」 ・「設計編:標準」「2 編耐久設計および耐久性に関する照査」「3章耐久性に関する照査」の内、「3.1.4 塩害環境下における鋼材腐食に対する照査」		
3-82	【d】	コンクリート標準示方書【施工編】	平成 30 年 3 月	土木学会
3-83	【c】	コンクリート標準示方書【維持管理編】	平成 30 年 10 月	土木学会
		注記:平成 25 年制定版の改訂、平成 30 年制定版である。平成 25 年制定版の構成[本編][標準][劣化現象・機構別]の構成を、[本編][標準][標準付属書]に変更。(その後、令和 4 年制定版が発刊されている。) 概要:[劣化現象・機構別]の水掛かり、ひび割れ、鋼材腐食は[標準]に組み入れ、[標準付属書]には道路橋床版に関する留意事項を記した章を新設。 特に、コンクリート橋の維持管理で留意すべき項目を以下に示す。 ・「維持管理編:標準」「1章総則/2 章維持管理計画/3章点検/4章劣化機構の推定/5 章予測/6 章性能の評価および判定/7章対策/8 章記録」 ・「維持管理編:標準付属書」「1編劣化機構、1章総則/2章中性化/3 章塩害/4章凍害/5 章化学的浸食/6章アルカリシリカ反応/7章疲労/8章すりへり」		

表　4.8(6/6)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」に示す「準拠する基準、指針等」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要（朱字のコンクリート橋の維持管理系についてのみ記載）		
3-84	【c】	コンクリート標準示方書【規準編】	平成 30 年 10 月	土木学会
		概要:2005 年版から、土木学会規準と JIS 以外の関連規準をまとめて1冊として土木学会が製作し、コンクリート標準示方書との関係が深い JIS を日本規格協会が編集して1冊にまとめ、2 分冊で発行している。 特に、コンクリート橋の維持管理に関連する項目を以下に示す。 ・JIS 規格:鋼材・補強材、フレッシュコンクリート、硬化コンクリート、補修材料 ・土木学会規準:鋼材・補強材、フレッシュコンクリート、硬化コンクリート、補修材料		
3-85	【d】	鋼構造架設設計施工指針【2012 年版】	平成 24 年 5 月	土木学会
3-86	【d】	仮設構造物の計画と施工【2010 改訂版】	平成 22 年 10 月	土木学会
3-87	【d】	土木製図基準 【2009 年改訂版】	平成 21 年 2 月	土木学会
3-88	【d】	土木 CAD 製図基準(案)通則編【2011 年 6 月改訂版】	平成 23 年 6 月	土木学会

③「1.1.2 示方書及び指針」枠外解説に示す「参考文献」より

局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」の枠外の解説には、表 4.9（1/2～2/2）に示す「参考文献」が記載されており、参考文献の適用は協議にて決定するものとされている。

なお、表 4.9 では、既存コンクリート構造物の維持管理に関わる文献を朱書きで示した。

表　4.9(1/2)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」枠外解説に示す「参考文献」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要(朱字のコンクリート橋の維持管理系についてのみ記載)		
4-1	【d】	国土技術政策総合研究所資料 No.1162 道路橋の設計における諸課題に関わる調査(2018-2019)	令和 3 年 9 月	国土交通省　国土技術政策総合研究所
4-2	【d】	改定 解説 河川管理施設等構造令	平成 25 年 7 月	日本河川協会
4-3	【d】	建設省制定土木構造物標準設計(各巻)		全日本建設技術協会
4-4	【d】	建設省制定土木構造物標準設計手引(各巻)		全日本建設技術協会
4-5	【d】	既設橋梁の耐震補強工法事例集	平成 17 年 4 月	海洋架橋・橋梁調査会
4-6	【d】	最新車両制限令実務の手引 第4次改訂版	平成 26 年 4 月	道路交通管理研究会
4-7	【d】	'21 デザインデータブック	令和 3 年 6 月	日本橋梁建設協会
4-8	【d】	北海道における鋼道路橋の設計及び施工指針	平成 26 年 10 月	北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会
4-9	【d】	北海道におけるコンクリート橋および橋梁下部構造の設計の手引き	平成 14 年 11 月	北海道土木技術会 コンクリート研究委員会
4-10	【a】	北海道におけるコンクリート構造物の性能保全技術指針	平成 25 年 12 月	北海道土木技術会 コンクリート研究委員会
		概要:本指針は，北海道における道路コンクリート構造物の維持管理に適用することを目的とし作成した．本指針の特徴は，道路橋示方書，土木学会コンクリート標準示方書等の技術基準に準じ，かつ，積雪寒冷地の環境条件下のコンクリート構造物に対する維持管理の手法を詳述したことにある．なお，コンクリート構造物は，各道路管理者が別途規定した基準類を用いて維持管理を実施しており，それらの基準類と合わせ，参考として利用されることを期待するものである．		
4-11	【d】	土木研究所資料「土木構造物用塗膜剥離剤ガイドライン(案)」	平成 29 年 4 月	(国立研究開発法人)土木研究所

表　4.9(2/2)　局要領第３集「1.1.2　示方書及び指針」枠外解説に示す「参考文献」

文献番号	分類	基準類名称 注:コンクリート橋の維持管理系を朱字	発行年	発行元
		概要(朱字のコンクリート橋の維持管理系についてのみ記載)		
4-12	【a】	(土木研究所資料第 4433 号) コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 版	令和 4 年 12 月	(国立研究開発法人)土木研究所
		概要:コンクリートの代表的な補修対策として表面被覆・含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法について研究し、「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)2016 年版」が作成された。2022 版では、各工法の新たな研究成果の反映、不具合事例を追加し、(案)を外し、基本的な構成はそのままに発刊された。 具体的な 2022 年版の改定内容は、[共通編]では、各編の改定に対応するように補修工法の選定上の留意点が見直された。[表面被覆・含浸工法編]では、特にシラン系表面含浸工法に関する情報の充実化が図られた。[断面修復工法編]では、吹き付け工法の内容充実、積雪寒冷地での適用を想定した付着性改善方法の提案、露出鉄筋の防錆処理、塩分吸着剤、犠牲陽極などの特徴や留意点が整理された。		
4-13	【d】	補訂版 道路のデザイン-道路デザイン指針(案)とその解説-	平成 29 年 11 月	(財)道路環境研究所
4-14	【d】	機械式鉄筋定着工法の配筋設計ガイドライン	平成 28 年 7 月	機械式鉄筋定着工法技術検討委員会
4-15	【d】	場所打ちコンクリート杭の鉄筋かご無溶接工法　設計・施工に関するガイドライン	平成 29 年 9 月	日本基礎建設協会 機械式鉄筋定着工法

④維持管理系各章中で紹介された通達や文献より

局要領第３集の目次（表 4.7）の内、維持管理に関連する「第 1 編／第 9 章、付属資料」および「第 2 編／参考資料」について、本文の解説中に示されている文献を表 4.10（1/4～4/4）に整理した。また、表 4.10 では、塩害に起因する損傷の維持管理に関する記載がある文献を朱書きで表示した。

表　4.10(1/4)　局要領第３集、維持管理系各章で紹介の通達や文献等

文献番号	分類	局要領第 3 集の出典	基準類名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す 概要や注記	発行年	発行元
			［建設省・国土交通省・土木研究所・国土技術政策総合研究所］		
5-1	【c】	第1編道路橋 第 9 章橋梁補修 9.1.1 適用基準【解説】	(事務連絡) 「橋・高架の道路等の技術基準」の修繕設計時の適用基準としての当面の扱いについて	令和 2 年 7月 20 日	国土交通省
			概要:「橋・高架の道路等の技術基準」(平成 29 年7月改訂)の修繕設計時の適用基準としての当面の取り扱いについて、適用の範囲、適用する技術基準等を示している。		
5-2	【c】	同上	(事務連絡) 「橋・高架の道路等の技術基準」を既設橋の修繕設計に適用する場合の留意事項(参考)	令和 2 年 7月 20 日	国土交通省
			概要:「橋・高架の道路等の技術基準」(平成 29 年7月改訂)の修繕設計に適用する場合の留意事項として以下を示している。 ・橋の耐荷性能の現況の評価に関する留意事項 ・修繕における橋の耐荷性能の達成方法に関する留意事項 ・橋の耐荷性能の照査に用いる部分係数の標準的な考え方 ・修繕を行う部位・部材等の耐久性能の確保にあたっての留意事項		
5-3	【c】	同上	(事務連絡) 「橋・高架の道路等の技術基準」の修繕設計時の適用基準としての当面の扱いについて	令和 2 年 7月 20 日	北海道開発局道路建設課橋梁係
			概要:同上		
5-4	【b】	第1編道路橋 第 9 章橋梁補修 9.2.1 橋梁用防護柵の基本方針【解説】	「橋梁部の防護柵の補修について」	平成 15 年 3 月	北海道開発局道路維持課
			概要:橋梁車両用防護柵補修フロー、床版張出部応力照査フロー、床版張出部応力照査詳細フロー、参考資料としてフローによる床版補強の判定例を掲載。		
5-5	【b】	第1編道路橋 第 9 章橋梁補修 9.2.3 その他の照査【解説】	「防護柵設置基準・同解説」「参考資料　歩車道境界の連続基礎」	平成 28 年 12 月	日本道路協会
			注記:「参考資料-2　橋梁用ビーム型防護柵設計方法による設計計算例」の内、「4.歩車道境界の連続基礎」に該当する。		

表　4.10(2/4)　局要領第３集、維持管理系各章で紹介の通達や文献等

文献番号	分類	局要領第３集の出典	基準類名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
			概要や注記		
5-6	【b】	第1編道路橋 第９章橋梁補修 9.3.2 基本方針【解説】	コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ)-炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)-	平成 11 年 12 月	建設省土木研究所
			概要:炭素繊維補修・補強の設計・施工法の整備を目的に各種試験を実施。試験結果をもとに、炭素繊維シート接着工法を道路橋コンクリート部材の補修・補強に適用するための設計・施工指針(案)を取りまとめた。		
5-7	－	第２編コンクリート 参考資料Ｃ	塩害が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)　廃止	平成 17 年 3 月	北海道開発局建設部道路維持課、北海道開発土木研究所
			注記:【文献 5-8】「塩害橋梁維持管理マニュアル(案)」によるため廃止		
5-8	【a】	第２編コンクリート 参考資料Ｃ	塩害橋梁維持管理マニュアル(案)	平成 20 年 4 月	国土交通省(橋梁塩害対策検討委員会)
			概要:塩害環境下におかれているコンクリート橋を適切に維持管理していくには，塩害固有の特徴等を踏まえて統一された考え方に基づいた詳細調査および補修・補強対策を実施することが望ましいことから，定期点検要領を補足してより具体の対策検討の考え方を示した塩害橋梁維持管理マニュアル(案)を作成。		
5-9	－	第２編コンクリート参考資料Ｃ	アルカリ骨材反応が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)　廃止	平成 16 年 3 月	北海道開発局建設部道路維持課、北海道開発土木研究所
			注記:【文献 5-10】「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」によるため廃止		
5-10	【b】	第２編コンクリート 参考資料Ｃ	道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)	平成 15 年 3 月	国土交通省
			概要:国土交通省では、アルカリ骨材反応に関する対策検討委員会を設け、一連の総合的な維持管理システムとして本維持管理要領(案)を取りまとめた。以下に、目次を抜粋して示す。 1. 対応の基本的な考え方　2.ASR の影響を受けている可能性があるかどうかの判定　3.外観詳細調査と判定　4.補修の検討を行う必要性の判断　5.補修で十分であるかの判断　6.詳細調査(ASR 等状況調査)　7.補修対策工の検討　8.詳細調査(鉄筋健全度調査)　9.補強の要否の判断　10. 構造物の補強方法の検討　11.調査結果および補修・補強方法の記録　12.定期的な監視		

表　4.10(3/4)　局要領第３集、維持管理系各章で紹介の通達や文献等

文献番号	分類	局要領第３集の出典	基準類名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
			概要や注記		
5-11	【b】	第２編コンクリート 参考資料Ｃ	アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)	平成20年3月	国土交通省 ASRに関する対策検討委員会
			概要:本ガイドライン(案)は、【文献5-10】「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」に示す補修・補強対策を検討する場合の指針を定めたものである。 以下の最新の知見を追加。 (1)ASRによる劣化が著しい場合は、耐荷性能に影響が生じるおそれもあること (2)ASR劣化構造物の耐荷力を構造計算によって評価する場合の基本的な考え方 (3)詳細調査等の計画、個々の試験の実施方法についての注意点 (4)補修対策を選定する際の注意点		
			[土木学会他、学協会]		
5-12	【b】	第1編道路橋 第９章橋梁補修 9.3.2 基本方針【解説】	(複合構造シリーズ09) FRP接着による構造物の補修・補強指針(案)	平成30年7月	土木学会
			概要:土木学会・複合構造委員会に「FRP による構造物の補修・補強指針作成小委員会」を設置、コンクリート構造物および複合構造物の補修・補強工法の共通の標準を示した。以下、指針の特徴の要約。 (1)鋼構造物の FRP による補修・補強の設計・施工方法をしめしていること (2)新しい補強用 FRP 材料や高伸度弾性樹脂などの諸元を示したこと (3)剥落破壊のメカニズムの考え方や補強された部材の耐久性評価法を規定したこと		
5-13	【b】	第1編道路橋 第９章橋梁補修 9.3.2 基本方針【解説】	(コンクリートライブラリー95) コンクリート構造物の補強指針(案)	平成11年9月	土木学会
			概要:対象とする補強事由は、耐震およびその他一般の補強であり、対象とする主な工法は、外ケーブル工法、FRP 接着工法、鋼板接着工法、FRP 巻立て工法、鋼板巻立て工法、増厚工法、巻立て工法(コンクリート巻立て工法)である。		
5-14	【b】	第２編コンクリート 参考資料Ｂ	(コンクリート技術シリーズ58) コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状	平成16年2月	土木学会
			概要:、土木学会コンクリート研究委員会に設置の「コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会」、第１期目の活動。 コンクリート構造物の劣化抑制という観点から、コンクリートの表面被覆、表面改質技術について、現状を調査すると共に、コンクリート構造物の劣化抑制、耐久性向上における要求性能を整理し、これらの技術の定量的な評価手法を検討することを目的として活動し、その成果を取りまとめた。		

表　4.10(4/4)　局要領第３集、維持管理系各章で紹介の通達や文献等

文献番号	分類	局要領第３集の出典	基準類名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
			概要や注記		
5-15	【b】	第２編コンクリート 参考資料Ｂ	(コンクリート技術シリーズ 68) コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告	平成 18 年 4 月	土木学会
			概要:土木学会コンクリート研究委員会に設置の「コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会」、第２期目の活動。 表面保護工の内、表面含浸工法に着目し、アンケートなどにより技術の現状を詳細に調査、表面含浸工法の中の浸透性吸水防止材を対象として、浸透性吸水防止材に期待される効果、試験方法を検討し、その成果を取りまとめた。		
5-16	【b】	第２編コンクリート 参考資料Ｂ	(コンクリートライブラリー119) 表面保護工法設計施工指針(案)	平成 17 年 4 月	土木学会
			概要:本指針(案)は、コンクリート構造物の耐久性の向上、劣化の抑制または補修を目的として、コンクリート構造物の表面または表面近傍断面に適用する保護工法(表面保護工法と呼称する)の設計および施工に関する一般的な標準を示すものである。 なお、本指針(案)のほかに、「表面含浸材の試験方法(案)」、「コンクリート構造物の維持管理計画と表面保護工法の性能設計」、工種別表面保護工に関する各種資料、さらに指針(案)を補完する「表面保護工法　工法別マニュアル編」も作成。		
5-17	【c】	第２編コンクリート 参考資料Ｂ	北海道におけるコンクリート構造物維持管理の手引き(案)	平成 18 年 3 月	北海道土木技術会コンクリート研究委員会、コンクリート維持管理小委員会
			注記:【文献 4-10】「北海道におけるコンクリート構造物の性能保全技術指針」が改訂版に相当する 概要:北海道土木技術会コンクリート研究委員会では平成 13 年にコンクリート維持管理小委員会を設置、活動成果を本手引き(案)として取りまとめた。以下に目次を示す。 1.はじめに　2.コンクリート劣化の現状分析　3.コンクリート構造物の点検・試験方法 4.コンクリート構造物の診断　5.コンクリート構造物の補修・補強		
5-18	【c】	第２編コンクリート 参考資料Ｃ	複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書	平成 13 年 5 月	日本コンクリート工学協会
			概要:現実の構造物は、劣化機構が単独でコンクリート構造物に影響を与えるばかりでなく、複合して影響を与えることがある。そのような場合には、単独の劣化機構で検討し、診断、対策を行うのみでは不十分となったり、かえって劣化を促進しかねないことがある。このような観点から調査研究を行い、委員会報告書とした。コンクリート構造物に作用する複合劣化の評価方法(第 1 編)、それに基づいたメンテナンス対策(第 2 編)、撤去桁を用いた実構造物における検証(第 3 編)、および中性化と塩害の複合を中心としたガイドライン(第４編)である。		

5)　文献集（2）／北海道開発局「道路設計要領第３集橋梁」に明示のない維持管理系文献

局要領第３集の「1.1.2　示方書及び指針」（枠内本文および枠外解説）と維持管理関連章の解説には示されていな文献で、既存コンクリート構造物の維持管理に関する文献を表 4.11(1/6～6/6)に示す。また、表 4.11 では、塩害に起因する損傷の維持管理に関する記載がある文献を朱書きで表示した。

表　4.11(1/6)　局要領第３集に明示のない維持管理系文献

文献番号	分類	基準類等の名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
		概要や注記		
		[建設省・国土交通省・土木研究所・国土技術政策総合研究所]		
6-1	【b】	塩害を受けた土木構造物の補修指針(案)	平成元年 5 月	建設省
		注記: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術の開発」の成果の一部で、コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)(H28.8)が改訂版に相当する 概要:塩害を受けた構造物に適用する表面被覆材料の品質を設定		
6-2	【b】	アルカリ骨材反応被害構造物(土木)の補修・補強指針(案)	平成元年 5 月	建設省
		注記: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術の開発」の成果の一部 概要:アルカリ骨材反応を受けた構造物に適用する被覆材料の品質を設定		
6-3	【c】	(国総研資料第 55 号) コンクリート橋の塩害対策資料集―実態調査に基づくコンクリート橋の塩害対策の検討―	平成 14 年 11 月	国土技術政策総合研究所
		概要:道路橋示方書・同解説Ⅲ・Ⅳ編(平成 14 年 3 月)に反映されたコンクリートの耐久性向上対策の考え方からかぶりの設定根拠について報告。この中で、腐食発生限界塩化物イオン濃度、初期含有塩化物イオン濃度をそれぞれ、1.2, 0.3kg/m3 と示している。		
6-4	【b】	橋梁部の防護柵の補修について　補修資料	平成 15 年 3 月	北海道開発局道路維持課
		概要:局要領第 3 集「第 1 編道路橋」「9 章橋梁補修」「9.2　橋梁用防護柵の補修」に準拠として明記		
6-5	【b】	コンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易分析シート　使用マニュアル	平成 15 年 8 月	土木研究所
		注記:HP 公開 概要:現地のコンクリート構造物表面からコアを採取し、試験で求めた深度毎の塩化物イオン濃度分布を元に、諸定数を求め、将来予測を行うためのエクセルを提供している。なお、解を得るために収束計算を手動で行う必要があり、再現性に劣るという課題も指摘されている。		
6-6	【a】	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	平成 15 年 10 月	独立行政法人土木研究所、日本構造物診断技術協会
		注記:コンクリート構造物の健全度診断技術に関する共同研究報告書―コンクリート構造物の健全度診断マニュアル(案)―(1998.3)の改訂版に相当 概要:土木研究所と日本構造物診断技術協会の共同研究成果を一般販売の参考本として発行。		

表　4.11(2/6)　局要領第３集に明示のない維持管理系文献

文献番号	分類	基準類等の名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
		概要や注記		
6-7	【c】	コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領(案)	平成 16 年 3 月	国土交通省道路局国道・防災課
		概要:橋梁に与える各種の劣化原因のうち、「塩害」という特定の劣化原因に着目して、予防保全的な観点から行う特定点検について定めたもので、・・(中略)・・一般国道の塩害による劣化が生じる可能性があるコンクリート橋の特定点検に適用する。 参考資料に掲載の「コンクリート橋の塩害劣化予測法について」により、劣化予測が一般的に普及した。		
6-8	【c】	橋梁定期点検要領	平成 26 年 平成 31 年 3 月改訂	国土交通省道路局国道・防災課 国土交通省道路局国道・技術課
		概要:H26 版は、構造物の点検義務化に伴う定期点検要領の改訂。H31 版は5年一巡後の改訂。		
6-9	【b】	~~(事務連絡)橋梁耐震補強及び橋梁補修時のコンクリートはつり工等の取扱いについて~~	平成 20 年 8 月	北海道開発局
		注記:【文献 6-10】「(事務連絡)既設橋梁の補修補強に伴うコンクリートはつりについて」に伴い廃止		
6-10	【b】	(事務連絡)既設橋梁の補修補強に伴うコンクリートはつりについて	平成 25 年 4 月	北海道開発局
		注記:【文献 6-11】「橋梁補修『設計・施工』の手引き(案)」「6.2 断面修復工」の引用文献である。 概要:コンクリートのはつりについて、1)防護柵取替に伴う地覆コンクリートのはつり選定フローを提示、2)防護柵取替を伴わない地覆補修、床版補修および下部工等におけるコンクリートは、コンクリートの健全性が比較的良好な場合は WJ 工法を基本とする。		
6-11	【a】	【非公開】 橋梁補修「設計・施工」の手引き(案)	初版未確認 平成 31 年 3 月 令和 4 年 10 月改訂	北海道開発局 道路建設課道路維持課
		概要:道路の維持管理に関わる実務者を対象に、既設道路橋の補修設計や補修工事を円滑に行うために、補修設計の基本的な流れや留意すべきポイント、代表的な補修・補強の事例を示したもの。事例は特定の条件下における一例を示したものとして、本手引き(案)の利用に際しては，類似の条件であっても画一的に適用するのではなく，個別の劣化状態，発生原因，対象構造物の特性や要求性能などを十分に勘案した上で適用する必要があることに留意する必要がある。対象は、コンクリート部材の材料劣化、鋼部材の腐食,亀裂など全般である。 また活用方法として、各開発建設部の地域特性を考慮して「手引き」を踏まえた具体的な「統一事項」を整理して運用している事例もある。		

表　4.11（3/6）　局要領第３集に明示のない維持管理系文献

文献番号	分類	基準類等の名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
		概要や注記		
6-12	【c】	東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)	平成 29 年 8 月改訂版	国土交通省東北地方整備局　道路部・東北技術事務所
		概要:本手引き(案)は、橋梁定期点検で補修が必要とされた診断区分Ⅱ、Ⅲの橋梁について、当初設計で期待している機能を回復させるための維持・補修に適用する。 本手引きは、第1編共通、第 2 編日常管理、第 3 編鋼橋、第 4 編床版、第 5 編 PC 橋、第 6 編 RC 橋、第 7 編下部構造、第 8 編橋梁付属物、第 9 編耐震補強、および参考資料編より構成される。		
6-13	【d】	新設橋の排水計画の手引き(案)	平成 24 年 10 月	国土交通省東北地方整備局
		概要:排水計画の基本を、架橋地点の自然環境、供用環境、維持管理の確実性等を考慮して適切に定めるものとし、構造細目毎に留意事項を示している。 構造細目としては、1)伸縮装置　2)地覆下部水切り　3)箱桁内導水　4)床版水抜き孔等　5)歩道内点検口　6)橋座の排水勾配等　7)排水管の材質等についての 6 項目である。		
6-14	【d】	橋梁架設工事の積算(令和 4 年度版)	令和 4 年 5 月	社団法人日本建設機械施工協会
		概要:一般に施工される架設工法について、仮設備機械の数量算出と損料の解説を行い、その積算例をもって理解を助けるものとしている。さらに標準的な工法については略図でその施工方法を解説した。特に、架設歩掛については、公表されている国土交通省土木工事積算基準の諸数値を印刷書体で区分すると共に、関係する他の歩掛についても参考値として示し使用者の利便を図った。		
6-15	【d】	足場工・防護工の施工計画の手引き(鋼橋架設工事用)	平成 14 年 3 月 改訂初版 数回の改訂 令和 4 年 3 月 改訂版	日本橋梁建設協会
		概要:鋼橋架設工事に広く使用足場工および落下防止の防護工について、標準的な計画要領を掲載し、改訂を重ねている。最新版の改訂は、つり足場組立・解体作業中における墜落事故が減らない実態を踏まえ、組立・解体作業時の安全性向上(墜落防止対策)を目的に、足場用つり金具とは別の親綱専用つり金具配置を定め追加しました。また、橋梁補修工事では殆どの工事で採用され、橋梁新設工事でも採用が増加傾向にあるシステム足場(パネル足場含)について、代表的なシステム足場(パネル足場含)の種類、各種足場の特徴、足場図および強度計算事例を追加した。		
6-16	【d】	建築物の解体等に関わる石綿飛散防止対策マニュアル	平成 26 年 6 月	環境省　水・大気環境局大気環境課
		注:コンクリート橋に関する文献ではないため、概要は割愛する。		
6-17	【d】	土木研究所資料　土木鋼構造物用塗膜剥離剤ガイドライン(案)	平成 29 年 3 月	国立研究開発法人土木研究所
		注:コンクリート橋に関する文献ではないため、概要は割愛する。		

表　4.11（4/6）　局要領第３集に明示のない維持管理系文献

文献番号	分類	基準類等の名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
		概要や注記		
		[土木学会他、学協会]		
6-18	－	~~(コンクリートライブラリー101)　連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針~~　廃止	平成 12 年	土木学会
		注記:【文献 5-12】「FRP 接着による構造物の補修・補強指針(案)」制定に伴い廃止 概要:平成 10 年に連続繊維シート補修補強研究小委員会を設置し、調査研究を実施。その成果を、連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強に関する設計・施工指針および試験方法に関する規準として発行するものである。		
6-19	【b】	(コンクリートライブラリー150)　セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針	平成 30 年 6 月	土木学会
		概要:【文献 5-13】「コンクリート構造物の補強指針(案)」が対象とする補強工法の内、外ケーブル工法、接着工法を除く、増厚工法と巻立て工法を対象として改訂。具体的には、新しい材料(PCM など)への対応、上位基準であるコンクリート標準示方書の改訂への対応等である。		
6-20	－	~~(コンクリートライブラリー107)　電気化学的防食工法設計施工指針(案)~~　廃止	平成 13 年 11 月	土木学会
		注記:【文献 6-21】「電気化学的防食工法指針(案)」改訂に伴い廃止		
6-21	【b】	(コンクリートライブラリー157)　電気化学的防食工法指針(案)	令和 2 年 9 月	土木学会
		注記:【文献 6-20】「電気化学的防食工法設計施工指針(案)」の改訂版 概要:前指針からの技術進歩や適用範囲の拡大、コンクリート標準示方書等の性能規定化の動向を踏まえた改訂。共通編、工法別標準(電気防食、脱塩、再アルカリ化、電着)、付属資料の構成。		
6-22	【c】	(コンクリート技術シリーズ 110)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報告書	平成 27 年 11 月	土木学会
		概要:塩害補修対策の工法選定にライフサイクルコスト(LCC)比較を導入。塩害損傷に対する断面修復工法のケーススタディでは、塩分吸着剤(SSI)を採用。		
6-23	【b】	(鋼構造シリーズ 25)道路橋支承部の点検・診断・維持管理技術	平成 28 年 3 月	土木学会
		注記:(鋼構造シリーズ 17)道路橋支承部の改善と維持管理技術(平成 23 年 3 月)の改訂版 概要:東北地方太平洋沖地震によって受けた支承部の損傷状況や自治体で行われた点検結果などを精査し，支承部として考慮すべき事項についての新しい知見を加えるとともに，支承部の予防保全と長寿命化技術の提案および今後の維持管理に向けて提言。		
6-24	－	~~(鋼構造シリーズ 27)道路橋床版の維持管理マニュアル 2016~~　廃止	平成 28 年 11 月	土木学会
		注記:道路橋床版の維持管理マニュアル(平成 24 年 6 月)の改訂版 注記:【文献 6-25】「道路橋床版の維持管理マニュアル 2020」改訂に伴い廃止 概要:複合劣化に関する知見を加え、さらに国土交通省の定期点検要領に準拠するように改訂		
6-25	【b】	(鋼構造シリーズ 35)道路橋床版の維持管理マニュアル 2020	令和 2 年 11 月	土木学会
		注記:【文献 6-24】「道路橋床版の維持管理マニュアル」の改訂版 概要:多様化する床版の損傷状況、点検から対策工法の選定までを、解りやすく解説。道路橋床版に関して点検要領を補完する参考資料。		

表　4.11（5/6）　局要領第３集に明示のない維持管理系文献

文献番号	分類	基準類等の名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
		概要や注記		
6-26	【b】	(鋼構造シリーズ 33)鋼道路橋 RC 床版更新の設計・施工技術	令和 2 年 4 月	土木学会
		概要:RC 床版の更新に関して設計実務に有益な情報を集めて整理。RC 床版の現状、設計・施工の配慮事項、施工事例、最新の知見・技術の紹介等。		
6-27	【b】	道路橋の塩害対策指針(案)・同解説	昭和 59 年 2 月	日本道路協会
		概要:塩害対策としてコンクリート塗装の重防食仕様を設定		
6-28	【c】	塩害対策区分 S の具体的対策例	平成 15 年 1 月	日本道路協会コンクリート橋小委員会
		注記:雑誌道路(平成 15 年 1 月号)、HP 公開 概要:H14　道示Ⅲ Ⅳ、コンクリートの耐久性改訂で導入した区分 S の具体性対策例を解説		
6-29	【b】	鋼道路橋の疲労設計指針	平成 14 年　3 月	日本道路協会
		概要:疲労損傷に対する研究成果の蓄積を踏まえて、疲労耐久性確保に対する基本的な考え方や照査方法について取りまとめている。		
6-30	【b】	鋼道路橋塗装・防食便覧	平成 17 年 12 月	日本道路協会
		概要:コンクリート塗装の重防食仕様を設定		
6-31	【c】	コンクリート診断技術‘01[基礎編][応用編] ・・・‘02～‘21(毎年改訂) コンクリート診断技術‘22[基礎編][応用編]	平成 13 年刊行 ・・・(毎年改訂) 令和 4 年 2 月	日本コンクリート工学会
		概要:2001 年(平成 13 年)に刊行されたコンクリートの診断、補修・補強技術の集大成に則ったものであるが、常に最新の技術を反映させるため、毎年、加筆・修正を重ねてきたものである。第一部の基礎編では、変状の種類や劣化機構を示し、それぞれの劣化機構別に診断・維持管理の基本的な考え方を、また、第二部の応用編では、診断例と基準類の変遷について説明している。 特に、2021 年には土木学会コンクリート標準示方書の改訂(【文献】3-31～33)に対応した見直しが行われている。		
6-32	【b】	コンクリートのひび割れ調査・補修指針 コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2003- コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013- コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2022-	昭和 55 年 5 月 昭和 62 年 2 月 平成 15 年 6 月 平成 21 年 3 月 平成 25 年 3 月 令和 4 年 6 月	日本コンクリート工学会
		概要:最新の改訂は、調査、補修・補強の最新情報を追加、水掛かりを考慮したひび割れの原因推定を追加。また、ひび割れの調査結果に基づき、原因推定、評価、補修・補強の要否判定を行う WEB 版ソフトウェアを制作。		
6-33	【c】	積雪寒冷地コンクリート複合劣化要因研究委員会報告書	平成 22 年 3 月	日本コンクリート工学協会北海道支部
		概要:積雪寒冷地である北海道内におけるコンクリート構造物の点検や診断方法の現状の調査、劣化調査事例の収集による複合劣化の実態を取りまとめている。		

表　4.11（6/6）　局要領第３集に明示のない維持管理系文献

文献番号	分類	基準類等の名称 注:コンクリート橋の塩害系を朱字で示す	発行年	発行元
		概要や注記		
6-34	【b】	プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(案) [断面修復工法]	平成 21 年 9 月	プレストレスト・コンクリート建設業協会
		概要:塩害を受ける PC 橋の上部構造を対象に断面修復工法により補修する際の手引きとして取りまとめ。具体的には、マクロセル腐食による再劣化、断面はつりによるPC 部材の力学的挙動、追加プレストレスの耐荷性状等に関する検討。		
6-35	【b】	プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き [PC グラウト再注入工法]	令和 2 年 4 月	プレストレスト・コンクリート建設業協会
		概要:PC グラウト充填不足の調査計画立案、PC グラウト再注入の施工計画の際に必要な情報、最新の知見を取りまとめ。		
6-36	【b】	伸縮装置設計の手引き	平成 22 年 3 月	日本道路ジョイント協会
		概要:「伸縮装置選定要領(案)」(1999 年 11 月、日本道路ジョイント協会)の約 10 年ぶりの改訂。		
6-37	【b】	伸縮装置の設計ガイドライン	平成 31 年 4 月	日本道路ジョイント協会
		注記:道路橋伸縮装置便覧(日本道路協会)を、現行道橋示方書の観点から、メーカーサイドが補完したガイドライン。 概要:【文献 3-23～27】道路橋示方書・同解説(平成 29 年 11 月)の改訂に伴い、性能や限界状態を適切に設定および設計出来るようにガイドラインを定めた。		
		その他		
6-38	【c】	現場技術者のための塩害対策ノート	平成 24 年 7 月	中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社
		概要:塩害の環境にある道路構造物の維持管理に必要とする基礎知識を解り易く解説。具体的には、実構造物の塩害劣化、調査と診断、塩害対策とその事例、再劣化橋に対する塩害対策等。		
6-39	【a】	**【非公開】** 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
		注記:非公開文献である。配布先は北海道開発局および発行元が主催する道路管理技術委員会の一部関係者のみとなっている。以上から、設計業務報告書等への転記はできないため注意されたい。本文献は、道路管理技術委員会の HP(アクセス制限あり)からダウンロードすることが可能である。 **概要**:【文献 6-11】「橋梁補修『設計施工』の手引き(案)」の旧版である H28.4 版の内、塩害に関わる設計を分かりやすく解説することを目的として、橋梁定期点検や塩害に関する特定点検等において塩害と推定または確定された橋梁の損傷事例や補修事例を収集・分析し、詳細調査、健全度評価、補修設計を適切に実施する上での留意点をまとめたものである。 【文献 6-11】「橋梁補修『設計施工』の手引き(案)」は R4.10 版が最新刊で、今後も更新されることが想定される。本ハンドブック(案)を活用する際は、「手引き(案)」の改定内容に留意しながら、塩害に特化した解説書として活用されたい。		

6) 文献集（3）／北海道開発局「橋梁補修「設計・施工」の手引き（案）R4.10」の引用文献

「橋梁補修『設計・施工』の手引き（案）」の目次に対応した引用文献を表 4.12（1/2～2/2）示す。

表 4.12(1/2) 「橋梁補修『設計・施工』の手引き(案)」の目次に対応した引用文献

「手引き」の目次 注:コンクリート橋の塩害系朱字	文献引用部抜粋
「第 3 章 補修設計の流れ」 「3.1 橋梁補修設計における基本方針」	・アルカリ骨材反応については、【文献 5-9】「アルカリ骨材反応が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)」に従うとの記載がある。しかし、【文献 2-25】局要領 3 集「C.積雪寒冷地において劣化作用を受けるコンクリート構造物の維持管理に関する留意事項」にて【文献 5-9】を廃止し、【文献 5-10】「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」を採用していることに留意する必要がある。
「3.5 各補修設計における具体的内容と留意点」 「4)鋼構造物補修(亀裂)」	・鋼構造物の亀裂に対しては、【文献 6-29】「鋼道路橋の疲労設計指針」参照との記載がある。なお、令和 4 年現在では設計分野の最新のアップデイトは【文献 3-48】「鋼道路橋疲労設計便覧」であることに留意する必要がある。
「第 4 章 補修工法」 「4.1 ひび割れ修復工」	・ひび割れ補修工法の選定、ひび割れ注入材およびひび割れ充填材の選定は、【文献 4-12】「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)」の最新の知見を参照する。 ・コンクリート橋、下部工において、構造性、耐久性に影響を及ぼす可能性のあるひび割れを【文献 6-12】「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)改訂版」より抜粋し、解説。
「4.2 断面補修工」	・断面修復工法の詳細については、【文献 4-12】「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)」、施工規模については【文献 5-16】「表面保護工法設計施工指針(案)」を参考とするのが良いとしている。
「4.10 補修工事足場工」	・橋梁補修工事において工種により使い分けがなされる足場工について、【文献 6-14】「橋梁架設工事の積算」を参照、足場の構造計算は【文献 6-15】「足場工・防護工の施工計画の手引き」を参考としている。
「第 5 章対策事例」 「5.4 鋼部材の腐食補修工」	・桁端部の当て板補修事例に、【文献 6-12】「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)改訂版」を追加紹介。
「第 6 章設計における留意事項」 「6.1 ひび割れ修復工」	・ひび割れ補修工法選定は、【文献 3-83】「コンクリート標準示方書【維持管理編】」、【文献 6-32】「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-」(注:2022 版が最新改訂)、【文献 4-10】「北海道におけるコンクリート構造物の性能保全技術指針」等を参考に現場状況に応じ、適切な補修工法を選定することとしている。
「6.2 断面修復工」	・断面修復工におけるはつりは、【文献 6-10】(事務連絡)「既設橋梁の補修補強に伴うコンクリートのはつりについて」によるものとしている。
「6.3 塩害対策工」	・【文献 5-8】「塩害橋梁維持管理マニュアル」は、「外観に塩害によると思われる橋梁」に対し、「寿命をおおよそ 50 年」と考え定めたものである。このため、あと 5 年程度で架け替えを行うことが前提となることに留意しなければならないとしている。 ・塩害地域で断面修復を行う場合のマクロセル腐食対策として、【文献 6-32】「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-」(注:2022 版が最新改訂)を参照した犠牲陽極材を紹介。犠牲陽極材を設置した場合は、その部位が分かるよう、履歴を確実に残すこととしている。

表　4.12(2/2)　「橋梁補修『設計・施工』の手引き(案)」の目次に対応した引用文献

「手引き」の目次 注:コンクリート橋の塩害系朱字	文献引用部抜粋
「6.5 アルカリ骨材反応対策工」	・アルカリ骨材反応については、【文献 5-10】「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」に従い設計を行うことを基本とする。 ・【文献 5-11】「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)」、【文献 5-9】「アルカリ骨材反応が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)」等を参考に現場条件に応じ最適な工法を選定することとしている。しかし、「第 3 集第 2 編コンクリート参考資料 C」にて、【文献 5-10】の全国版制定に伴い、開発局版【文献 5-9】を廃止していることに留意する必要がある。
「6.6 鋼部材の腐食補修工」	・負圧集塵装置等の算出方法については【文献 6-16】「建築物の解体等に関わる石綿飛散防止対策マニュアル」を参考とすること。 ・塗膜除去工法選定の際は【文献 6-17】「土木研究所資料　土木鋼構造物用塗膜剥離剤ガイドライン(案)」を参考にし、現場状況に応じて適切な塗膜除去・素地調整方法を選定することとしている。 ・断面補修・補強工は当て板補修工を基本とし、高力ボルトにより接合するものとしており、【文献 6-12】「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)」より引用して解説している。
「6.8 橋面排水工」	・橋面防水工は、【文献 2-2】「第 1 編道路橋　第 2 章上部工」「2-5 橋面防水工」に従い設計することを基本とする。 ・床版防水工、排水処理については、【文献 4-8】「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針」[第 1 編設計・施工編]「3.8 防水工」、「6.5 排水設備」を参考のこと。 ・RC・PC 床版の施工例、床版の水抜き孔設置間隔の規定の例を、【文献 3-62】「道路橋床版防水便覧」より抜粋して紹介。 ・既設面の劣化状況やコンクリート母材自体の劣化等により従来の防水工では所定の機能を満足できない場合がある。その場合には、複合防水工等の高機能防水工を検討することとしており、【文献 4-8】「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針」[第 1 編設計・施工編]「3.8 防水工」の複合型、複合型;塗膜系(反応樹脂型)の層構成を抜粋して紹介している。
「6.11 伸縮装置補修工」	・寒冷地域仕様の止水構造(例)、ジョイント端部の導水構造(例)を、【文献 4-8】「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針」[第 1 編設計・施工編]「「6.3 伸縮装置」より抜粋して紹介している。 ・地覆部立ち上げ構造は、伸縮装置端部とこの境界部からの漏水を防止するため、伸縮装置端部を境界部材の天端高さ近傍まで立ち上げる構造や、伸縮装置を外側まで配置する構造など確実な漏水対策を施すものとするとして、【文献 6-13】「新設橋の排水計画の手引き(案)」より構造令を抜粋して紹介している。
「6.12 その他」	・RC 床版の設計基準の変遷、PC 構造定着の変遷、グラウトの変遷、間詰コンクリート形状の変遷、プレテンション T 桁の断面形状の変遷(JIS 桁)、ポストテンション T 桁の断面形状の変遷(建設省標準設計)の各々について、【文献 6-12】「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)」より、抜粋して紹介している。 ・鉄筋・PC 破断時の取り扱いについて、「塩害劣化の場合には、」・・(略)・・「現況復旧が基本であるため、破断時の応力度が許容値以内(TL-20)として、破断分の補強を行うことを基本とする」としており、留意が必要である。

(3) 補修時診断における評価指標の検討

現地部会で調査した 23 事例から、鋼材腐食が進行し耐荷力への影響が生じているにもかかわらず、補修設計時の耐荷力に対する意識が不足している事例が確認された。この状況を踏まえ、特に「耐荷力に主眼を置いた」補修時診断における評価の目安と補修方針の考え方について、一覧表とフロー形式による形式知化を試みたものである。

1) 「評価の目安（案）」の提案について

塩害再劣化と補修に関する事例の調査結果から、鋼材腐食による耐荷力低下が懸念されるにもかかわらず、耐荷力の現状評価や将来予測を実施していない事例が多く確認された。この背景には、劣化状態と健全性評価の判定基準が体系化されておらず、特に耐荷力との関連性が明確に示されていないことが要因として考えられる。

これらの課題を踏まえ、コンクリート橋の補修時診断における耐荷力評価を重視した判定基準と補修方針を検討し、一覧表とフローチャートとして体系化を試みた。

コンクリート橋の補修では、以下の診断過程が適切な補修と維持管理に重要となる。

1）外観状態、鋼材腐食程度、塩化物イオン量による劣化状態の把握
2）現状と将来における安全性、使用性、耐久性の評価
3）対策判定区分と健全性診断区分の判断

診断過程 2)において、供用中の橋梁では安全性確保が大前提であり、維持管理上の重要課題は耐荷力に基づく適切な評価・判断である。

① 塩分量と耐荷力の関係

塩害損傷を受けたコンクリート桁の維持管理方針は、鋼材位置における塩化物イオン濃度の発錆限界値（1.2kg/m^3）を基準として区分される。この限界値を超過すると、鋼材腐食の進行により、かぶりコンクリートの剥落や鋼材断面の減少が生じ、耐荷力の低下が懸念される。

② 外観変状および鋼材腐食状況と耐荷力の関係

塩害損傷を受けた橋梁の補修診断では、劣化進行度に応じた耐荷性能評価が不可欠である。しかし、損傷状況は橋梁ごとに異なるため、現状では技術者の経験と知見に基づく個別判断に依存している。

③ 耐荷力に着目した補修時診断における評価の目安

塩害損傷を受けたコンクリート橋の維持管理では、耐荷力の現状と将来予測に基づく対策選定が重要となる。本稿では、損傷事例の調査知見から、補修判断の目安を一覧表とフロー図に整理した。

④　『評価の目安（案）』を用いた一覧表について

ここで、外観状態や塩化物イオン量による劣化状態と、補修の要否判定である対策判定区分・健全性診断区分を補完することを目的とした『評価の目安（案）』を用いた一覧表（案）を表 4.13 に示す。

表 4.13 「評価の目安」一覧表(案)の例

外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態	評価の目安(案)	対策判定区分	健全性診断区分	AI 診断措置方針	対策工
RC 桁を対象としたコンクリート標準示方書のグレーディング(※1)を引用				(※2)		(※3)	
Ⅰ	潜伏期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以下	・塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 未満（外縁鉄筋位置）	C1 予防保全補修	Ⅱ. 予防保全段階	長寿命化	・表面被覆 ・表面含浸
			外縁主鉄筋位置の塩化物イオン量 <=> 1.2kg/m³				
Ⅱ	進展期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以上	・塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 以上（外縁鉄筋位置）	C1 予防保全補修	Ⅱ. 予防保全段階	延命	・表面被覆 ・表面含浸 ・電気防食
		・腐食が開始	・外縁主鉄筋の腐食発生	C2 構造安全性補修 S2 追跡調査	Ⅲ. 早期措置段階	延命	・断面修復（防錆対策含） ・電気防食
Ⅲ-1	加速期前期	・腐食ひび割れや浮きが発生し、錆汁が見られる	塩害損傷（外観）の有無				
			・外縁主鉄筋の断面減少は軽微				
Ⅲ-2	加速期後期	・腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生 ・腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少は見られない	外縁主鉄筋断面減少の程度				・補強 ・追跡調査 ・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ
			・外縁主鉄筋の断面減少は顕著 ・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.3mm 以下				
Ⅳ	劣化期	・腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少が見られる	設計荷重時の曲げひび割れ幅 <=> 0.3mm （※4,5）				
			・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.3mm 超過（許容値超過相当）	E1 構造安全性緊急対応	Ⅳ. 緊急措置段階	危機管理	・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ ・崩落対策 ・補強
		・変位・たわみが大きい	・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.4mm 超過（鉄筋降伏超過相当）			緊急措置	・通行制限

脚注　※1　土木学会：2018 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]、p-135、2018.10
※2　国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領、2019.3
※3　第 15 回 CAESAR 講演会、澤田守：地域の橋を長生きさせよう～AI による診断支援と長寿命化～、20220823
※4　土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書[設計編：標準]、p-237、2018.3
※5　北海道土木技術会コンクリート研究委員会：北海道におけるコンクリート構造物の性能保全指針[構造物編]、p102-103、2013.12

表 4.13 左側の青枠部分は、土木学会『コンクリート標準示方書［維持管理編］』における外観グレードI～Vを示している。同示方書では『劣化の状態』を『指標』として扱っているが、本来定量的であるべき指標を、劣化状態の定量化が困難なため定性的な表現で整理している。

表 4.13 右側の緑枠部分には、国土交通省『橋梁定期点検要領』の対策判定区分と健全性診断区分を示し、これらに対応する推奨対策工を独自に整理した。また、土木研究所が検討中の AI 診断措置方針を参考情報として併記し、既存の判定区分との関連性を示した。

表 4.13 中央部の赤枠部分『評価の目安（案）』は、耐荷力の観点から外観グレードと各種区分を関連付けた独自の指標として提案したものである。『劣化期』の判断基準として示した曲げひび割れ幅は、土木学会『コンクリート標準示方書［設計編］』における鉄筋の許容引張応力超過レベルに相当する値とした。以上は一提案であるため判断の目安とされたい。

このように、一覧表の赤枠『評価の目安（案）』を介することで、青枠「国交省／橋梁定期点検要領」と緑枠「土木学会」の関連性の理解促進に繋がることを期待するものである。

⑤　『評価の目安（案）』を用いた評価指標フロー（案）について

図 4.8 は、『評価の目安（案）』に基づく外観グレードと対策工選定のための判断フローを示している。点検・診断業務で用いる対策判定区分（C1～E1）と健全性診断区分（I～IV）は、補修設計の主目的ではないため省略した。

なお、補修設計では詳細調査結果に基づき各区分の妥当性を確認して対策工を決定する。この過程で対策工と既存の判定区分に不整合が生じた場合は、道路管理者等と協議の上で区分の見直しが必要となる。

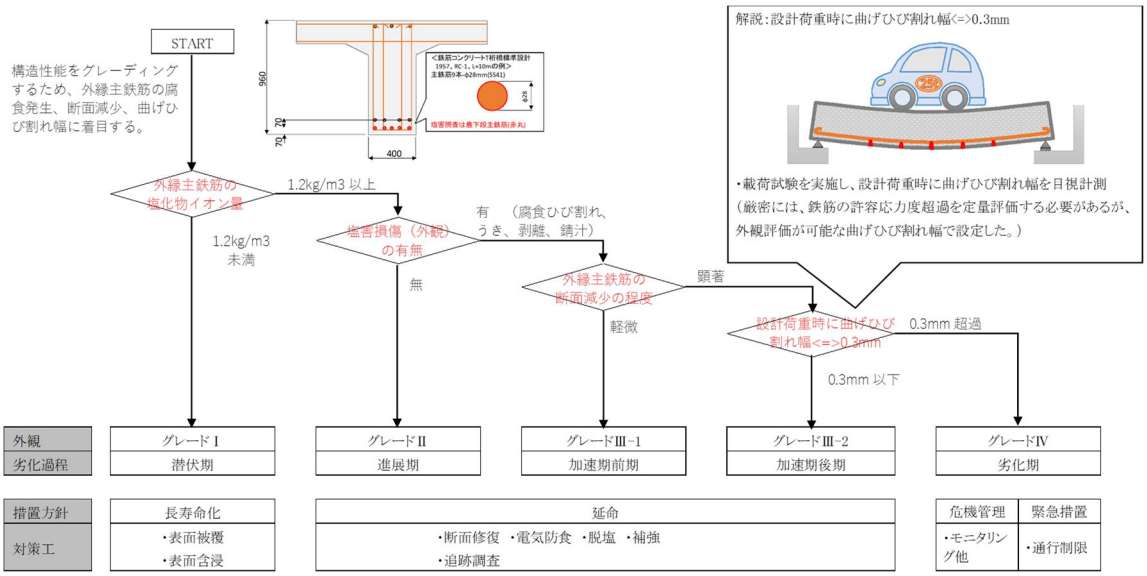


図 4.8　評価指標フロー（案）の例

⑥　「評価の目安（案）」の活用方法と注意事項

◆活用方法

これらの評価目安一覧表（表 4.13）や評価指標フロー（図 4.8）は、以下のような活用を想定している。

> 塩害損傷が顕在化したコンクリート橋の外観グレードを踏まえて、「定量的な耐荷力検討の要否判定」、「点検・診断業務における各種判定区分との整合性確認」などを評価する際の「目安」として参照する資料。

◆注意事項

・本資料は補修設計時の参考として活用し、最終的な判断根拠としないこと
・点検・診断業務における判定区分（対策判定区分 C1～E1、健全性診断区分I～IV）の評価には使用しないこと
・関連基準類の改定時は、最新の内容に基づき適切に評価すること

2)　作成した評価目安一覧表

上部工の形式毎に作成した、評価目安一覧表を表 4.14～4.16 に示す。

表 4.14　RCT 桁・ボックスカルバート

外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態	評価の目安(案)	対策判定区分	健全性診断区分	AI 診断措置方針	対策工
RC 桁を対象としたコンクリート標準示方書のグレーディング(※1)を引用				(※2)		(※3)	
Ⅰ	潜伏期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以下	・塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 未満（外縁鉄筋位置）	C1 予防保全補修	Ⅱ. 予防保全段階	長寿命化	・表面被覆 ・表面含浸
			外縁主鉄筋位置の塩化物イオン量 <=>1.2kg/m³				
Ⅱ	進展期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以上	・塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 以上（外縁鉄筋位置）	C1 予防保全補修	Ⅱ. 予防保全段階	延命	・表面被覆 ・表面含浸 ・電気防食
		・腐食が開始	・外縁主鉄筋の腐食発生	C2 構造安全性補修 S2 追跡調査	Ⅲ. 早期措置段階	延命	・断面修復（防食対策含） ・電気防食
			塩害損傷（外観）の有無				
Ⅲ-1	加速期前期	・腐食ひび割れや浮きが発生し、錆汁が見られる	・外縁主鉄筋の断面減少は軽微				
			外縁主鉄筋断面減少の程度				
Ⅲ-2	加速期後期	・腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生 ・腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少は見られない	・外縁主鉄筋の断面減少は顕著 ・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.3mm 以下				・補強 ・追跡調査 ・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ
			設計荷重時の曲げひび割れ幅 <=>0.3mm （※4,5）				
Ⅳ	劣化期	・腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少が見られる	・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.3mm 超過（許容値超過相当）	E1 構造安全性緊急対応	Ⅳ. 緊急措置段階	危機管理	・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ ・崩落対策 ・補強
		・変位・たわみが大きい	・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.4mm 超過（鉄筋降伏超過相当）			緊急措置	・通行制限

脚注　※1　土木学会：2018 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]、p-135、2018.10
※2　国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領、2019.3
※3　第 15 回 CAESAR 講演会、澤田守：地域の橋を長生きさせよう～AI による診断支援と長寿命化～、20220823
※4　土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書[設計編：標準]、p-237、2018.3
※5　北海道土木技術会コンクリート研究委員会：北海道におけるコンクリート構造物の性能保全指針[構造物編]、p102-103、2013.12

表 4.15　PC プレテン桁

外観上のグレード	劣化過程	評価指標	評価の目安(案)	対策判定区分	健全性診断区分	AI 診断措置方針	対策工
RC 桁を対象としたコンクリート標準示方書のグレーディング(※1)を改変				(※2)		(※3)	
Ⅰ	潜伏期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以下	・外縁 PC 鋼材の塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 未満	C1 予防保全補修	Ⅱ. 予防保全段階	長寿命化	・表面被覆 ・表面含浸
			外縁 PC 鋼材の塩化物イオン量 <=>1.2kg/m³				
Ⅱ	進展期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以上	・外縁 PC 鋼材の塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 以上	C1 予防保全補修	Ⅱ. 予防保全段階	延命	・表面被覆 ・表面含浸 ・電気防食
		・腐食が開始	・外縁 PC 鋼材の腐食発生	C2 構造安全性補修 S2 追跡調査	Ⅲ. 早期措置段階	延命	・断面修復（防食対策含） ・電気防食 ・補強 ・追跡調査 ・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ
			塩害損傷（外観）の有無				
~~Ⅲ-1~~	加速期前期	~~・腐食ひび割れや浮きが発生~~ ・さび汁が見られる ・腐食ひび割れが発生しない場合がある（※4）	・PC 鋼材の腐食・破断の進行（プレストレス低下）				
~~Ⅲ-2~~	~~加速期後期~~	~~・腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生 ・腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少は見られない~~					
			設計荷重時に曲げひび割れが発生（※5）				
Ⅳ	劣化期	~~・腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる~~ ~~・鋼材の著しい断面減少が見られる~~ ・さび汁発生個所の増加	・設計荷重時に曲げひび割れが発生	E1 構造安全性緊急対応	Ⅳ. 緊急措置段階	危機管理	・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ ・崩落対策
		・変位・たわみが大きい	・設計荷重時の曲げひび割れ幅の増加（PC 鋼材の降伏超過相当）			緊急措置	・通行制限

脚注　※1　土木学会：2018 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]、p-135、2018.10
※2　国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領、2019.3
※3　第 15 回 CAESAR 講演会、澤田守：地域の橋を長生きさせよう～AI による診断支援と長寿命化～、20220823
※4　朝倉啓仁、佐藤誠、近藤雅紀、山崎通人：コンクリート橋の塩害損傷である錆汁と腐食ひび割れの発現順序に関する一考察、土木学会第 71 回年次学術講演会、pp.1117、2016
※5　朝倉啓仁、寺澤岳真：塩害損傷を受けた PC 橋の構造性能評価手法の提案、土木学会第 76 回年次学術講演会、V-250、2021

表 4.16　PC ポステン T 桁

外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態	評価の目安(案)	対策判定区分	健全性診断区分	AI 診断措置方針	対策工
RC 桁を対象としたコンクリート標準示方書のグレーディング(※1)を改変				(※2)		(※3)	
Ⅰ	潜伏期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以下	・外縁 PC 鋼材の塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 未満	C1 予防保全 補修	Ⅱ. 予防保全段階	長寿命化	・表面被覆 ・表面含浸
			外縁 PC 鋼材の塩化物イオン量 <=>1.2kg/m³				
Ⅱ	進展期	・外観上の変状が見られない ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度以上	・外縁 PC 鋼材の塩化物イオン量が 1.2kg/m³ 以上	C1 予防保全 補修	Ⅱ. 予防保全段階	延命	・表面被覆 ・表面含浸 ・電気防食
		・腐食が開始	・外縁 PC 鋼材の腐食発生	C2 構造安全性 補修 S2 追跡調査	Ⅲ. 早期措置段階	延命	・断面修復 (防食対策含) ・電気防食 ・補強 ・追跡調査 ・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ
			塩害損傷(外観)の有無				
Ⅲ-1	加速期前期	・腐食ひび割れや浮きが発生 ・さび汁が見られる	・PC 鋼材の腐食・破断の進行(プレストレス低下) ・設計荷重時に曲げひび割れが発生しない				
Ⅲ-2	加速期後期	・腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生 ・腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少は見られない					
			設計荷重時に曲げひび割れが発生(※4)				
Ⅳ	劣化期	・腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少が見られる	・設計荷重時に曲げひび割れが発生	E1 構造安全性 緊急対応	Ⅳ. 緊急措置段階	危機管理	・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ ・崩落対策
		・変位・たわみが大きい	・設計荷重時の曲げひび割れ幅の増加(PC 鋼材の降伏超過相当)			緊急措置	・通行制限

脚注　※1　土木学会：2018 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]、p-135、2018.10
※2　国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領、2019.3
※3　第 15 回 CAESAR 講演会、澤田守：地域の橋を長生きさせよう～AI による診断支援と長寿命化～、20220823
※4　朝倉啓仁、寺澤岳真：塩害損傷を受けた PC 橋の構造性能評価手法の提案、土木学会第 76 回年次学術講演会、Ⅴ-250、2021

＜注意事項＞　Ⅲ-2「加速期後期」とⅣ「劣化期」を判断する評価の目安

表 4.17 は、「塩害損傷グレーディングの評価の目安（案)」のうち「RC 構造物」からの一部抜粋版である。これを用いて、Ⅲ-2「加速期後期」とⅣ「劣化期」を判断する評価の目安（着色部）に関する注意事項を整理した。「PC プレテン桁」や「PC ポステンＴ桁」でも類似の表があり、いずれも「曲げひび割れの発生」を目安であるが共通の注意事項とすること。

表 4.17　RCT 桁・カルバート【一部抜粋版】

Ⅲ-1	加速期前期	・腐食ひび割れや浮きが発生し、錆汁が見られる	・外縁主鉄筋の断面減少は軽微	C2 構造安全性 補修 S2 追跡調査	Ⅲ. 早期措置段階	延命	・断面修復 (防食対策含) ・電気防食 ・補強 ・追跡調査 ・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ
			外縁主鉄筋断面減少の程度				
Ⅲ-2	加速期後期	・腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生 ・腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少は見られない	・外縁主鉄筋の断面減少は顕著 ・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.3mm 以下				
			設計荷重時の曲げひび割れ幅 <=>0.3mm				
Ⅳ	劣化期	・腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる ・鋼材の著しい断面減少が見られる	・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.3mm 超過(許容値超過相当)	E1 構造安全性 緊急対応	Ⅳ. 緊急措置段階	危機管理	・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ ・崩落対策 ・補強
		・変位・たわみが大きい	・設計荷重時の曲げひび割れ幅 0.4mm 超過(鉄筋降伏超過相当)			緊急措置	・通行制限

塩害損傷グレーディングの評価に関する表（案）とフロー（案）では、表 4.17 着色部（Ⅲ-2「加速期後期」とⅣ「劣化期」を判断する評価の目安）に関して、RC 構造物では曲げひび割れ幅 0.3mm、PC 橋では曲げひび割れの有無を目安としている。これは桁全体が一様に損傷し、一様に耐荷力が低下している場合を想定しており注意する必要がある。

塩害によるひび割れ、うき・剥離、鋼材腐食の発生は PC 桁、RC 桁など形式によらず一様でない場合がほとんどである。このような場合、部分的に発生した曲げひび割れで部材全体の評価をすることは適切ではない。

以上から、Ⅲ-2「加速期後期」とⅣ「劣化期」を判断する評価の目安は、次の【A】か【B】で実施することを推奨する。

【A】机上にて損傷分布と鋼材断面の減少程度の影響を構造計算で再現し，適切な残存耐荷力を評価する

【B】現地にて設計荷重を大型車両により実際に載荷し，橋梁の挙動を計測して残存耐荷力を評価する

後述する評価指標フローに関しても同様に、曲げひび割れによる目安は「参考」として活用されたい。

3)　塩害損傷に対する補修時診断の評価指標フロー（案）

上部工の形式毎に作成した、評価指標フローを図 4.9～4.11 に示す。

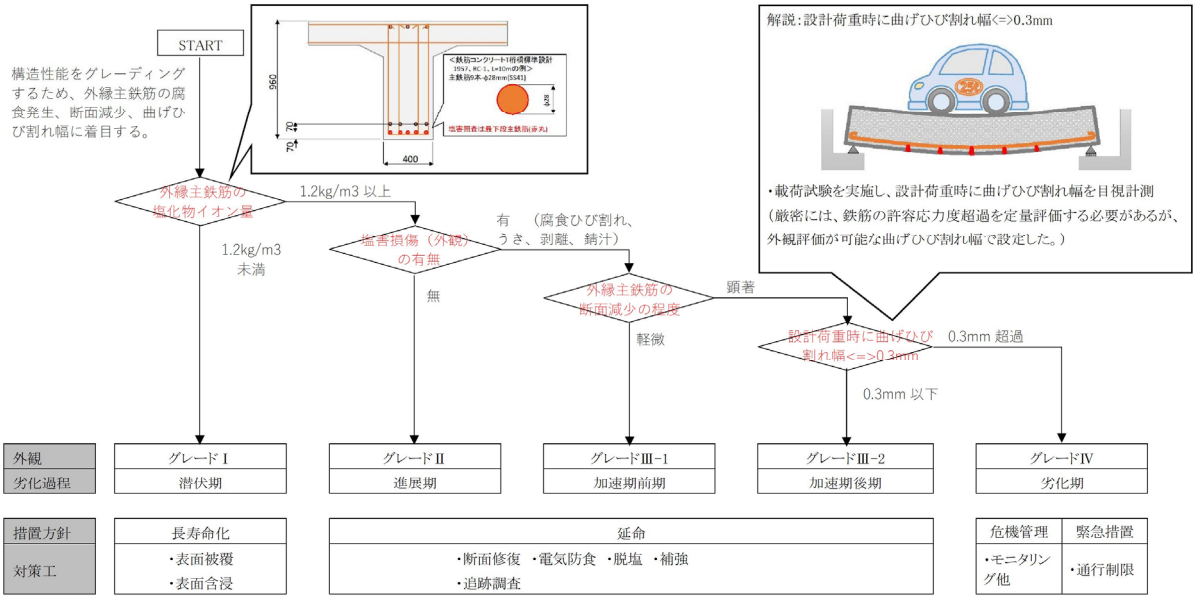


図 4.9　RCT 桁･ボックスカルバート

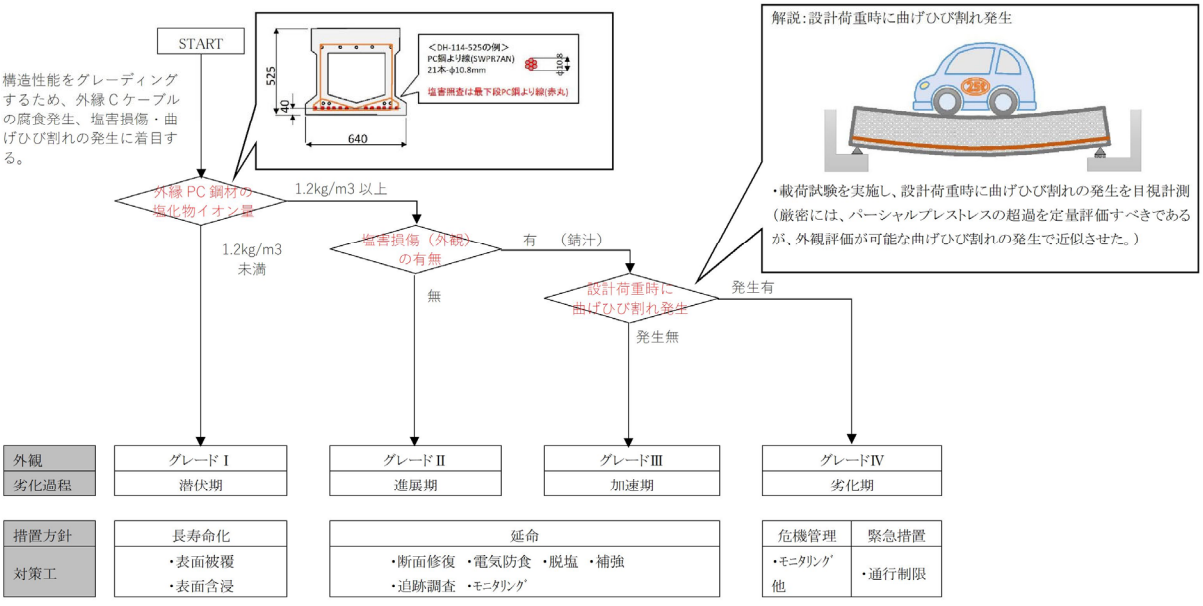


図 4.10　PC プレテン床版橋

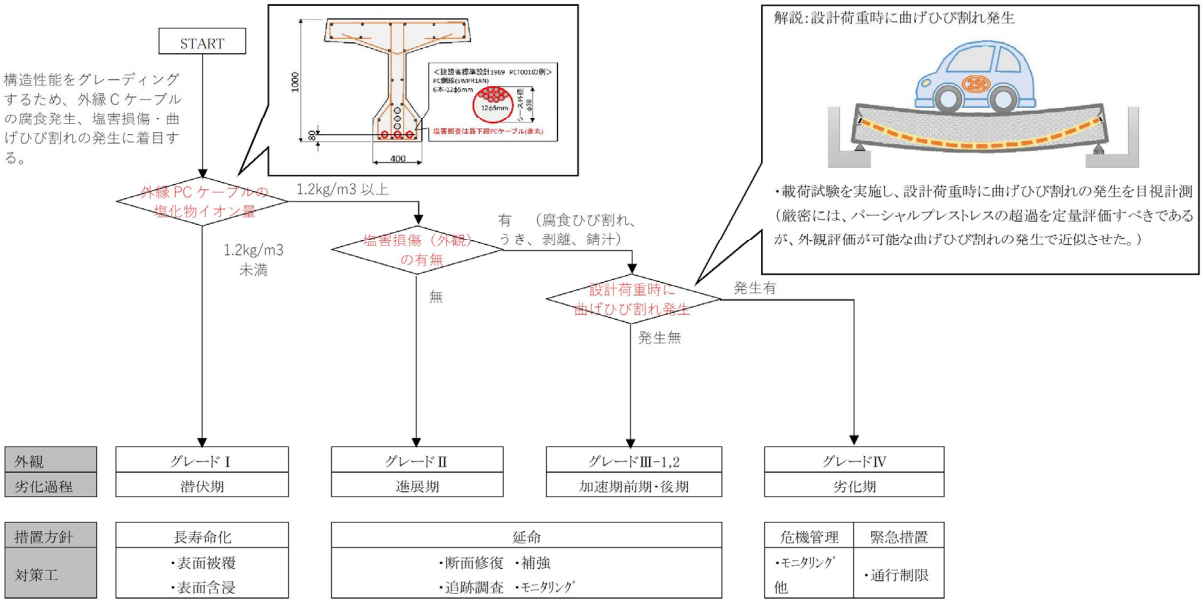


図 4.11　PC ポステン T 桁

(4) 塩害補修の留意点

現地部会での現場調査結果を踏まえて、以下の 5 項目について留意点を整理した。

A.補修時診断　　：損傷状況、診断の目安、補修目標・方針・工法
B.詳細調査　　：調査項目、調査時期、調査範囲、塩化物イオン濃度分析
C.鋼材の発錆限界値　：発錆限界値
D.補修（形式毎）　：PC プレテン桁、PC ポステン桁、RC ボックスカルバート、RC 桁
E.補修（工法毎）　：表面処理、部分断面修復、全断面修復、電気防食

留意点は、前述の 5 項目（A～E）とその内容について、表 4.18 に示す 3 つのカテゴリーで体系的に整理する。

表 4.18　留意点の体系一覧表

カテゴリーⅠ	カテゴリーⅡ	カテゴリーⅢ
A.補修時診断	A-1 損傷状況 A-2 診断の目安 A-3 補修目標・方針・工法	
B.詳細調査	B-1 調査項目 B-2 調査箇所 B-3 塩化物イオン濃度	
C.鋼材発錆限界値	C-1 発錆限界値	
D.補修（形式毎）	D-1 PC プレテン桁 D-2 PC ポステン桁 D-3 RC ボックスカルバート D-4 RC 桁	1) 代表事例 2) 構造特性 3) 再劣化の傾向 4) 補修の留意点 基本事項,未損傷部,外観損傷部
E.補修（工法毎）	E-1 表面処理 E-2 部分断面修復 E-3 全断面修復 E-4 電気防食	1) 工法と留意点 2) 適用性と事例 3) 問題点 4) 解決方法（案） 5) 補修後の管理

1） 補修時診断（カテゴリー【A】）

補修設計段階では、橋梁点検および橋梁診断の結果を踏まえ、補修設計のための診断を改めて実施する必要がある。本項では、塩害再劣化の抑制と橋梁の延命化を目的とした維持管理の観点から、塩害損傷に対する補修時診断の評価指標（案）を表 4.19 に示す。

なお、塩害損傷の評価は「損傷の状況→診断の目安→補修目標・方針・工法」の流れで整理する。

表 4.19　塩害損傷の補修時診断の目安

（A-1, A-2, A-3 はカテゴリー記号）

塩害損傷の状況【A-1】	補修時診断の目安【A-2】		補修の目標・方針・工法【A-3】
	外観グレード	対策区分判定	
損傷なし・鋼材発錆前 ・外観損傷：なし～軽微 ・塩化物イオン濃度（鋼材位置）： 調査結果　濃度＜発錆限界 1.2kg/m³ 将来予測①濃度≧発錆限界 1.2kg/m³（予防保全補修） 将来予測②濃度＜発錆限界 1.2kg/m³（未補修）	Ⅰ潜伏期	C１ 予防保全観点から補修	目標：将来のC２判定阻止 方針：劣化因子浸入防止（長寿命化） 工法：表面処理（塩分浸入抑制） 表面含浸材工法など
損傷あり・鋼材発錆後［安全性能確保］ ・外観損傷：あり（ひび割れ、浮き、錆汁など） ・塩化物イオン濃度（鋼材位置）： 調査結果　濃度≧発錆限界 1.2kg/m3 ・鋼材発錆： 断面欠損なし（鋼材腐食度判定区分①、②） （判定区分③軽微な欠損の場合、適宜判断し、必要に応じて残存耐荷力の検討と評価が必要）	Ⅱ進展期 ～ Ⅲ-1 加速期前期	C２ 構造安全性観点から補修 （将来の安全性低下を防止する観点での補修）	目標：補修効果の長期維持 方針：塩害損傷進行抑制（延命） ➡未損傷部位の損傷回避 ➡損傷部位の鋼材腐食進行抑制 工法：損傷部位：断面修復(除塩)、犠牲陽極(防食)、電気防食 未損傷部位：表面処理 補修後管理：ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ(点検強化)
損傷あり・鋼材断面欠損～破断［安全性能低下］ ・外観損傷：あり （ひび割れ、剥離剥落、鋼材露出、たわみ、変形など） ・塩化物イオン濃度（鋼材位置）： 調査結果　濃度＞発錆限界 1.2kg/m3 ・鋼材発錆： 断面欠損あり（鋼材腐食度判定区分③、④、⑤）	Ⅲ-2 加速期後期 ～ Ⅳ劣化期	C２ 構造安全性観点から補修 （構造性能の低下進行抑止の観点で補修） E１ 構造安全性観点から緊急対応	目標：補強や架替えまで安全維持 方針：C２➡塩害損傷進行抑制（延命） E１➡補強、通行制限（危機管理） 工法：C２➡断面修復、犠牲陽極、補強、追跡調査(対策区部Ｓ２) E１➡ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞ、補強（応急）、通行制限

① 損傷状況（カテゴリー【A-1】）

損傷状況は、外観損傷の有無、鋼材発錆の有無、塩化物イオン濃度レベルの３項目を指標として判断する。外観損傷が認められない場合は、鋼材発錆の有無を判断するため、鋼材位置における「塩化物イオン濃度の調査（鋼材発錆限界濃度 1.2kg/m³ 以上以下を判定）」と、「ハツリ調査による直接的な鋼材腐食有無の確認」を実施することを推奨する。

補修時の診断では、補修設計時点の塩化物イオン濃度に加え、将来（10 年後）の鋼材位置における塩化物イオン濃度の予測値を確認することが重要である。また、補修方法の検討においては、表面処理工の効果を考慮した将来予測を実施し、補修対策の効果を検証することを推奨する。

外観損傷が認められる場合は、外観損傷の状況と鋼材の発錆状況が補修時診断の着目点となる。特に鋼材発錆については、断面欠損の程度が構造性能に大きく影響する。鋼材腐食度判定区分でⅢ以上（断面欠損あり）の場合は、残存耐荷力の評価・検討が必要となるため、特に注意を要する。

② 診断の目安（カテゴリー【A-2】）

外観グレード（正式名称：構造物の外観上のグレード）は、「2018 年制定コンクリート標準示方書［維持管理編］」（土木学会）においてⅠ～Ⅳ段階で規定されており、それぞれ潜伏期、進展期、加速期前期、加速期後期、劣化期という劣化過程に対してその劣化状態が定義されている。

この外観グレードは、劣化状態の把握、適切な診断および補修工法の選定における基本指標として、補修設計で常に活用されている。

一方、対策区分判定は、「橋梁定期点検要領」（国土交通省）に示される対策区分の判定区分であり、橋梁点検および橋梁診断における評価指標である。

③ 補修目標・方針・工法（カテゴリー【A-3】）

補修の目標・方針は、塩害補修後の早期再劣化防止を目的とした指標（案）として提案する。具体的な目標は、補修後 2 回の橋梁点検（約 10 年間）において、対策区分判定を A 判定または B 判定に維持することである。これは、C2 判定に対する補修後、10 年以上にわたり補修効果を持続させることを意図している。

2) 詳細調査（カテゴリー【B】）

① 調査項目（カテゴリー【B-1】）

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。

② 調査箇所（カテゴリー【B-2】）

塩化物イオン濃度試験のコア採取は、錆汁や剥離等の塩害による外観損傷箇所で実施し、かつ雨水や漏水による塩分の流出がない箇所を選定することを推奨する。現状では、設計者の判断や業務費用の制約により採取数量が決定され、設定方法に統一性がない状況が確認された。

コア採取の位置および数量は、以下の観点から総合的に判断することが望ましい。

・損傷部位の追跡調査
・地形条件や橋梁形式の特徴による塩分量分布の違い
・橋梁全体の損傷状況の把握（非破壊調査によるスクリーニングの活用を含む）

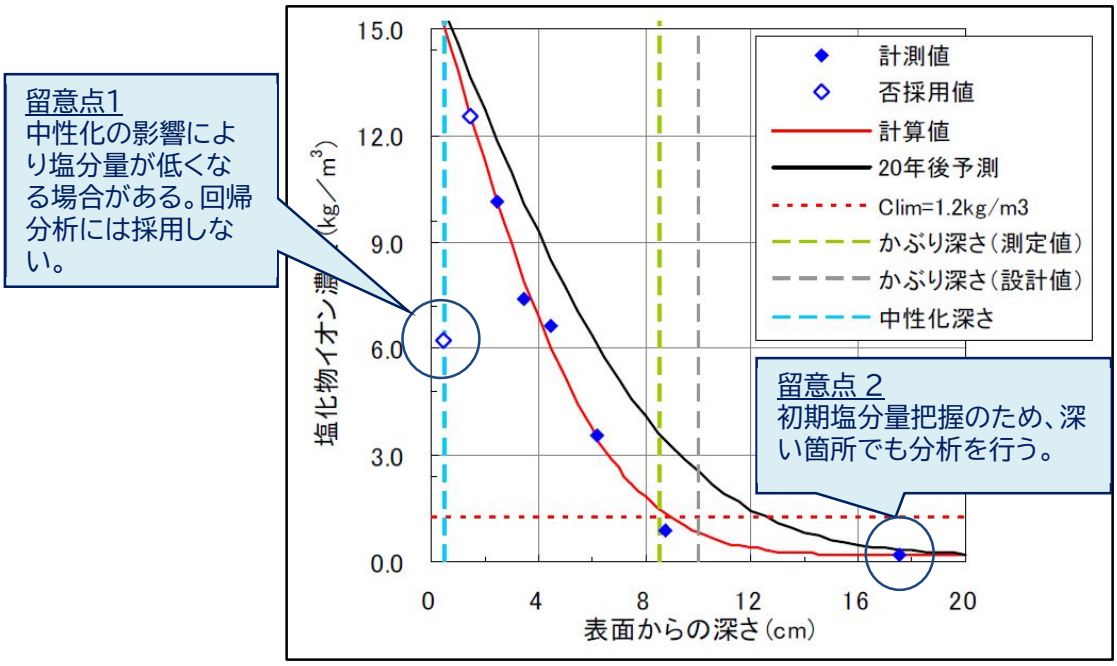
③ 塩化物イオン濃度（カテゴリー【B-3】）

図 4.12 に、塩化物イオン試験後の回帰分析について、好事例と改善が必要な事例を示している。塩化物イオン試験の実施箇所（コンクリート表面からの深さ）は、回帰分析を行うことを念頭に決定する必要がある。

・表面塩分量の把握：中性化の影響を受ける範囲を深さ方向に細かいピッチで試験を実施。
・初期塩分量　　：可能な限り深い箇所を分析することを考慮。
・試料数　　：部材厚にもよるが、図 4.12 の好事例グラフのような回帰曲線を描けるよう 7～10 試料を理想として試験計画を立案。
・分析グラフ　　：ハツリ深さの決定を念頭に、分析グラフは分かり易く作成。
　⇒分析グラフから、補修深さや、マクロセル腐食の検討を行うため、内在塩分の分布を精度よく再現できるように作成。

《事例と留意点》

“好事例”【塩分濃度回帰分析結果①】



“改善が必要な事例”【塩分濃度回帰分析結果②】

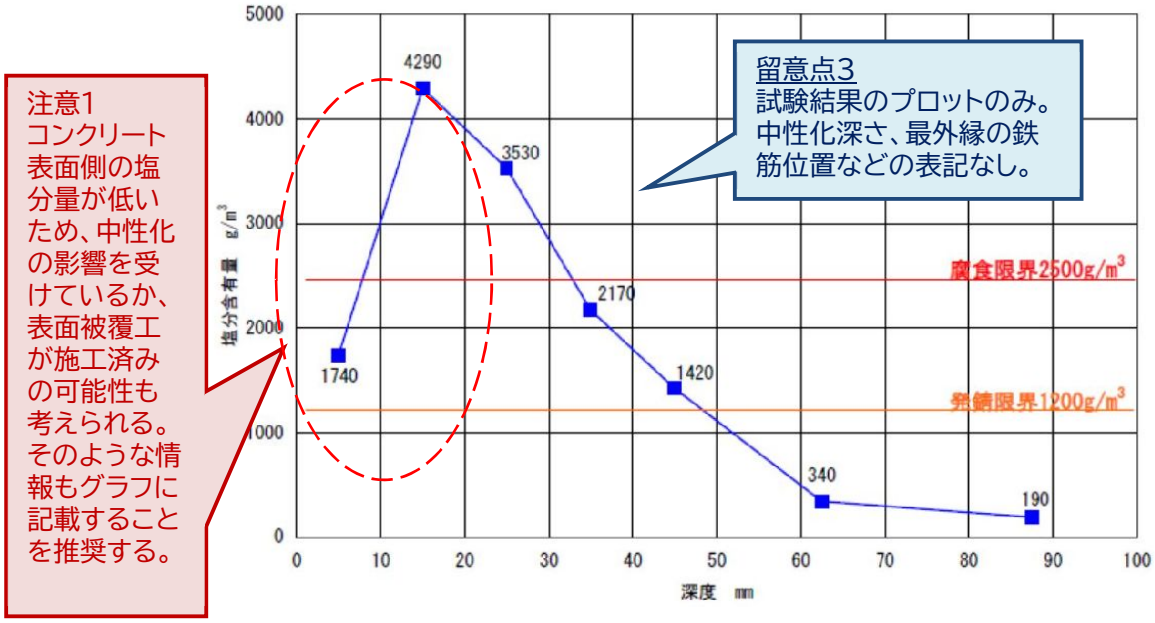


図 4.12　塩分分析結果事例

3) 鋼材発錆限界値（カテゴリー【C】）

① 鋼材発錆限界値（カテゴリー【C-1】）

今回実施した机上調査の結果、塩害補修設計で採用している鋼材の発錆限界値を表 4.20 に示す。

表 4.20　補修設計時の鋼材発錆限界値の採用傾向（机上調査の対象橋梁）

発錆限界濃度	橋梁数
1.2kg/m^3	38 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元は以下のとおりである。

① 塩化物イオン濃度 2.5kg/m^3

・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）

・補修設計年次が平成 18～20 年頃に多い。

② 塩化物イオン濃度 1.2kg/m^3

・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）

・本文献の発刊後の補修設計では、1.2kg/m^3 を基本としている事例が多い。

③ 塩化物イオン濃度 1.75 kg/m^3

・出典：「2013 コンクリート標準示方書維持管理編」（土木学会）

本報告書においては、以下を踏まえ「鋼材発錆限界値＝1.2kg/m^3」とすることを推奨する。

・国土交通省では、コンクリート橋およびコンクリート部材において、塩害特定点検での評価や土木研究所で検討中の診断 AI 等において発錆限界 1.2kg/m^3 を採用している。また、「道路橋示方書・コンクリート橋編」では、塩害に対する耐久性確保の観点から、この発錆限界値を用いてかぶりを規定している。具体的には、供用開始から 100 年後の鋼材位置における塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^{3}を超えないかぶり値を定めている。

・鋼材の発錆限界値は、国土交通省「塩害橋梁維持管理マニュアル(案)」（平成 20 年）および土木研究所「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル」（令和 4 年、土研資料）に準拠することが望ましい。

・現地部会による調査および机上調査の好事例から、鋼材の発錆限界値 1.2kg/m^{3}は、再劣化防止の絶対的な指標ではないものの、安全側の判断基準として妥当な値であると評価できる。

4) 補修（カテゴリー【D】）

塩害補修の留意点について、表 4.21 に構造形式毎に示す。

表 4.21　塩害補修における構造形式毎の留意点

カテゴリーⅠ	カテゴリーⅡ	カテゴリーⅢ
D.補修（形式毎）	D-1　PC プレテン桁 D-2　PC ポステン桁 D-3　RC ボックスカルバート D-4　RC 桁	1) 代表事例 2）構造特性 3）再劣化の傾向 4）補修の留意点 基本事項,未損傷部,外観損傷部

①代表事例

本報告書における「塩害補修の留意点」は、橋梁 WG が実施した現地調査およびその後の検討結果に基づいて整理したものである。代表事例として、以下の 4 橋を抽出した。

D-1　PC プレテン桁　：　R229 当別橋　[小樽]
D-2　PC ポステン桁　：　R228 唐津内橋[函館]
D-3　RC ボックスカルバート：　R231 萱泊橋　[留萌]
D-4　RC 桁　：　R232 臼谷橋　[留萌]

これらは各構造形式における典型的な塩害再劣化事例である。

ここでの典型的な塩害再劣化とは、平成 20 年（2008 年）頃に当時の一般的な考え方で補修を実施し、その後 10 年以内に再劣化が顕在化したものを指す。

代表事例以外の橋梁においても、その構造特性や補修内容に応じて、類似の損傷パターンで再劣化が発生している。

抽出した 4 橋は、平成 20 年（2008 年）頃に塩害損傷に対する補修を実施し、平成 30 年（2018 年）前後の橋梁点検・診断において塩害による再劣化と判定された事例である。なお、代表事例以外の橋梁においても、構造特性や補修内容に応じて、類似の損傷パターンによる再劣化が確認されている。

②構造特性／ ③再劣化の傾向／ ④補修の留意点について

カテゴリーIIIの 2)～4)では、橋梁形式 D-1～4 に対する一般的な留意事項を整理した。これらは、代表事例に示した橋梁のほか、その他の調査橋梁の結果も含めて取りまとめたものである。

次頁、図 4.13～4.16 に、各構造形式毎に検討した補修時留意点を掲載する。

(1)PC プレテン桁（カテゴリー【D-1】）

1） 代表事例

※参照:「7. 塩害再劣化事例集 No.1」

小樽開建管内／R229 当別橋	形式：PC プレテン方式Ｉ桁橋（主桁：Ｉ桁、JIS Ａ 5313-1980）

■補修履歴

H20 点検:主桁下面剥離、間詰部遊離石灰
H22 補修:部分断面修復
全面表面被覆(ｼﾗﾝ系含浸材)
H25 点検:再劣化無し
H30 点検:主桁ひび割れと錆汁、間詰コンからの漏水、地覆うき(補修箇所)
※これまで橋面防水は未実施(記録なし)

■塩分濃度・鉄筋腐食

H20 調査:2.27kg/m³(塩害特定点検)
H30 調査:2.14kg/m³(塩害特定点検)
鋼材腐食ｸﾞﾚｰﾄﾞⅡ

■橋梁概要

・PC プレテン床版橋
・S58(1983)建設
・地域区分:B 地域
・対策区分:S



写真１： 橋梁全景

■再劣化の状況:鋼材腐食の抑制対策としては不十分な表面含浸工を採用し腐食が進行した事例



写真２： 主桁下面の再劣化状況
含浸材塗布箇所のひび割れ、錆汁(漏水)
塩分濃度10年間無変動だが、残存塩分で腐食進

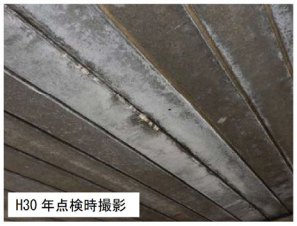


写真３：主桁下面の状況
間詰コンクリート部の漏水、遊離石灰
(橋面防水の劣化)

■当該事例の補修設計概要

・詳細調査は、コンクリート強度試験、塩化物含有量試験、中性化試験、はつり調査を実施。
・塩化物イオン量は、海側桁下面で最大 2.27kg/m³と発錆限界値を超過。
・補修は、損傷部の「部分断面修復」と、未損傷部への「シラン系表面含浸材の塗布」を実施。
・内在塩分濃度が高いことによる鋼材腐食の進行とマクロセル腐食の発生が懸念される状況。

2） 構造特性

・PC プレテン桁の断面や鋼材配置などの特性は、次の文献に参考情報が整理されている。
【文献 6-39】 塩害橋の維持管理ハンドブック案(H29.3) 表 3-8～3-11 桁断面の変遷
・I桁の他に、T桁やホロー桁(中空床版)があり、年代毎に断面形状、鋼材配置、かぶりが異なる。
・PC プレテン桁には、JIS 桁(I断面)や各種 PC メーカーの桁がある。（参照：図 5.1.3、5.1.4）
・PC プレテン桁は、下記の構造特性から塩害劣化に対する補修が最も困難な橋種の一つである。
・今回の調査結果では、塩害再劣化が生じている建設年代は 1960～1985(S35～60)年が多い。
この頃の桁は、PC 鋼材までのかぶりが 30～40mm(T 桁, ホロー桁は 40～70mm)程度と小さい。
最外縁スターラップのかぶりは 20mm 程度の場合もあり、鋼材位置の塩化物イオン濃度が高い。
鋼材のかぶりが非常に薄く、最外縁スターラップや PC 鋼材の腐食進行が速い。
構造はＩ桁や中空床版桁を接合した「版構造」であるため、桁1本単位の交換が困難。
T 桁形式の場合は外ケーブル補強が可能だが、床版形式の場合は外ケーブル補強が困難。

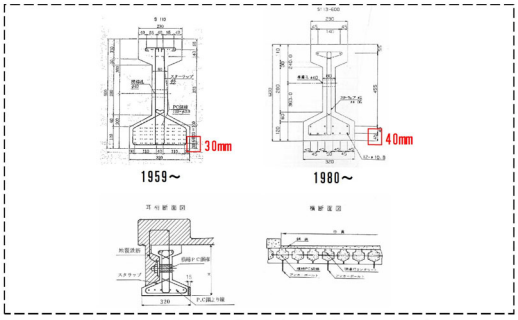


図 5.1.3 PC プレテンＩ桁のかぶり（JIS 桁カタログより）

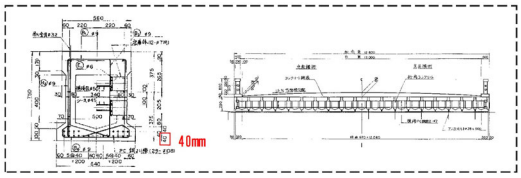


図 5.1.4 PC プレテンホロー桁のかぶり
（北海道 PS コンクリート(株)カタログ（S48 年発刊））

3） 再劣化の傾向

・かぶりが薄いため、鋼材位置の塩化物イオン濃度は 2.0～5.0kg/m³ 程度と全体的に高い。
・部分断面修復＋表面処理(シラン系含浸材)で補修した場合は、ほぼ再劣化している。
・再劣化の状況は、ひび割れ、漏水と錆汁、補修部のうきや剥離、など塩害特有の損傷が多い。
・部分断面修復時に犠牲陽極設置などのマクロセル対策が実施されず再劣化した事例が多い。
・鋼材かぶりが薄いため、PC鋼材が破断に至る事例も多い。

4） 補修の留意点

①塩害補修の基本
・塩害に対する根本的な補修は、「除塩」と「鋼材防食」を実施することである。
・また補修後の耐久性向上のため、劣化因子の浸入防止のため「水処理」の併用が必須である。
・補修設計では、塩化物イオン濃度に応じた、未損傷部と損傷部の各補修対策が必要である。
・PC プレテン桁の PC 鋼材が既に腐食している場合、鋼材かぶりが小さくハツリによる除塩可能な深さが限定的となるため、根本的な塩害対策工法として除塩と鋼材防食の対策は困難である。
・根本的対策が困難な場合は、安全性(耐荷性能)を評価した上で、架け替えへの方針転換の必要性を検討し、点検やモニタンリングの強化による延命化措置の実施を推奨する。
・以上から、当該形式の PC 橋の塩害補修では、補修後も残留塩分に起因する劣化進行を前提とし、架け替えまでの「維持管理計画」の立案も、補修設計の一環として実施することを推奨する。
・さらに、道路管理者、橋梁点検および診断の担当者、年維持業者のそれぞれが「補修後の維持管理計画」を共有し、適切な維持管理の措置を継続的に実施することが重要である。

②未損傷部補修の留意点
・対象部材が未損傷で、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界値未満かつ、かぶりコンクリートの塩化物イオン濃度が低く、遮塩後にコンクリート内部へ塩化物イオンが拡散しても鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界値未満となる場合は、予防保全策として「表面含浸工法」が有効であり、劣化因子浸入を防止する「シラン系表面含浸材」などを塗布することを推奨する。仮に塩化物イオン濃度の将来予測値が発錆限界値を超過しない場合であっても、C1 判定として予防保全を目的とした同様の措置を実施することが望ましい。
・最も有効な鋼材腐食抑制対策は「電気防食」であると考える。ただし形式毎に異なる通電可能鋼材に考慮して採用可否を判断する必要がある。当該事例のシングルストランド PC 鋼より線の場合は、主鋼材に通電が可能であり電気防食が有効と考える。一方、JIS A 5313-1959(PC鋼材多段配置)の場合、最外縁PC鋼材以外には通電できないため効果は限定的となる。
・PC プレテン桁において塩害損傷が顕在化している場合は、未損傷部でも塩化物イオン濃度が高く鋼材腐食の可能性も高く、「表面含浸工法」は有効な根本的塩害対策とは言えない(表面含浸工法を適用し再劣化した事例は多数存在)。ただし、新たな塩分浸入の抑制効果は期待できる。

③損傷部補修の留意点
・塩害対策工法は、除塩と鋼材防食を基本(根本的な対策)として検討する。
・損傷部付近の除塩のためのハツリは、プレストレスロス回避のため、かぶりコンクリートまでの深さとする。なお、ハツリ工法として高圧水処理工(WJ 工法)を採用した場合、再劣化が抑制される傾向にある。
・断面修復工では、新旧コンクリート間の塩化物イオン濃度差に起因するマクロセル腐食への対策（犠牲陽極材の設置、亜硝酸リチウムの注入・塗布、塩分吸着材による修復など）を推奨する。

図 4.13 PC プレテン桁の補修時留意点

(2)PC ポステン桁（カテゴリー【D-2】）

1） 代表事例　※参照:「7. 塩害再劣化事例集 No.12」

函館開建管内／R228 唐津内橋	形式：単純 PC ポストテンション方式 T 桁橋（4 連）

■補修履歴
H18 塩害特定点検:塩分が発錆限界を超過
H20 調査:主桁全体のうき、剥離、鉄筋露出
H23 補修:損傷部の部分断面修復
表面含浸材塗布（全面）
橋面防水工
H24 点検:塩害損傷なし
H29 点検:主桁のうき、ひび割れ、鉄筋露出
床版の漏水、遊離石灰
橋台のひび割れ、うき、遊離石灰

■塩分濃度・鉄筋腐食
H18 調査:3.34 kg/m³(塩害特定点検時)
H20 調査:鋼材腐食グレードⅠ～Ⅱ

■橋梁概要
・ポステンT桁
・S54(1979)建設
・地域区分:B 地域
・対策区分:S



写真1: 橋梁全景

■再劣化の状況：高い塩分濃度に対して鋼材腐食対策が実施されず鋼材腐食が進行した事例



写真2： 主桁(第１径間)の鉄筋露出
主桁／ウェブ下面のかぶりが剥落し、軸方向鉄筋が露出 （他にうきも確認された）



写真3： 主桁(第１径間)の再劣化
主桁／断面修復部近傍に、うき(枠線内)と橋軸方向ひび割れが発生

■当該事例の補修設計概要
・詳細調査は、コンクリート強度試験、中性化試験、塩分量調査、ハツリ調査を実施。
・塩化物イオン濃度は鉄筋位置で 3.3kg/m³と発錆限界値(1.2kg/m³)を大幅に超過。
・鋼材腐食抑制対策が必要な段階であったが、未損傷部には鋼材腐食抑制対策としては不十分な表面含浸工(劣化因子供給抑制対策)を採用した上で、剥離損傷が発生している個所は部分断面修復工法による補修を実施。
・部分断面修復箇所では、マクロセル腐食対策を実施せず、鋼材全体の腐食が今後も進行するため、ひび割れ、漏水と錆汁、剥離と剥落などの再発、拡大、新規発現が懸念される。

2） 構造特性
・PC ポステンT桁では、PC 鋼材が鉄筋よりも内側に配置されている。(参照:図 5.1.5)
・PC ポステンT桁では、PC 鋼材までのかぶりが約 80 ㎜で、外側にスターラップが配筋される。
・鋼材腐食が顕在化した場合、ハツリ調査で確認できる鋼材はスターラップである場合が多い。
・PC 鋼材(シース、PC 鋼線)の腐食調査を実施する場合は、鉄筋より深くハツリ取る必要がある。
・最外縁スターラップのかぶりは、40mm 程度であるため、鉄筋位置の塩化物イオン濃度は高い。
・鉄筋腐食が進行すると、かぶりコンクリートが剥離し、内側の PC 鋼材の腐食リスクが増大する。
・T 桁形式の場合、外ケーブル補強が可能だが、床版橋の場合は外ケーブル等の補強が困難。

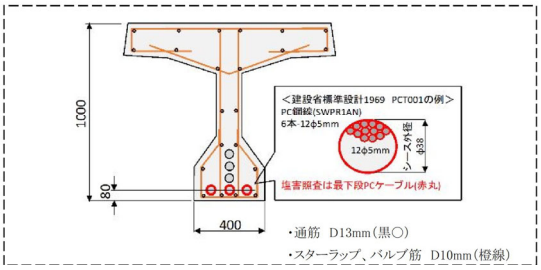


図 5.1.5 PC ポステンT桁の断面例 （建設省標準設計 1969 の例）

2)再劣化の傾向
・鉄筋のかぶりが薄いため、鉄筋位置の塩化物イオン濃度は 2.0～6.0kg/m³ 程度と全体的に高い。
・部分断面修復と表面処理(シラン系含浸材)で補修した場合は、再劣化している事例が多い。
・PC 鋼線およびシースが腐食し外ケーブル補強を実施した事例もある。(参照:図 5.1.6)
・鋼材腐食による橋軸方向ひび割れがPC鋼材や鉄筋に沿って桁下面に発生する特徴がある。
・部分断面修復が必要となった桁の未損傷部は、鋼材腐食が進行し再劣化する場合が多い。
・部分断面修復後の損傷部と周辺部では、内在塩分による鋼材腐食の進行と、マクロセル腐食により再劣化が生じる。



写真 19 PC 鋼材の腐食（グラウト充填、脆弱化）

図 5.1.6 PC ポステンT桁の PC 鋼材腐食事例

4） 補修の留意点

①塩害補修の基本
・塩害に対する根本的な補修は、「除塩」と「鋼材防食」である。
・補修後の耐久性確保には、水処理工による適切な劣化因子の浸入防止対策が重要である。
・補修設計においては、未損傷部と損傷部それぞれの塩化物イオン濃度に応じた補修対策を選定する必要がある。
・スターラップの腐食は主鋼材の損傷ではないため、直ちに構造安全性が低下するものではない。PC 鋼材の健全性が確認できた場合は、損傷部への部分断面修復工(マクロセル腐食対策を併用)と、未損傷部への劣化因子浸入防止対策(シラン系含浸材塗布など)が有効である。
・PC 鋼材の腐食が確認された場合、耐荷性能の低下が懸念されるため、PC 鋼材の腐食程度の調査、耐荷力への影響評価、および補強対策の検討が必須である。
・PC ポストテンション T 桁では、PC 鋼材が腐食している場合、PC 鋼材への通電ができないため電気防食工法を採用できない。ただし、外ケーブルによる補強と併せて、鉄筋を電気防食工法(リボンメッシュ方式)により防食する対策が考えられる。(事例:6. 再劣化事例集「R231 彦部橋」参照)
・コンクリート内部の塩化物イオン濃度が高い場合、完全な除塩と鋼材防食は困難である。このため、補修後も劣化が進行することを前提とし、将来の架替えを考慮した維持管理計画の立案を補修設計に含めて実施する必要がある。
・維持管理計画を立案した場合は、道路管理者、橋梁点検・診断担当者、および日常維持業者の間で共有し、適切な維持管理を継続的に実施することが重要である。

②未損傷部補修の留意点
・対象部材が未損傷で、塩化物イオン濃度が発錆限界値未満の場合は、表面含浸工による補修が有効である。具体的には、鋼材腐食抑制対策として、シラン系表面含浸材の塗布を推奨する。また、将来の塩化物イオン濃度予測値が発錆限界値を超過しない場合でも、C1 判定として予防保全による補修を実施することが望ましい。
・PC ポストテ桁で塩害損傷が顕在化している場合、未損傷部も塩化物イオン濃度が高く、鋼材の腐食が進行していると想定される。このため、表面含浸工は新たな塩化物イオンの浸入抑制効果のみが期待できる補助的な対策であり、根本的な塩害対策とはならない。
・鋼材腐食抑制対策として電気防食工が最も有効であるが、PC ポストテ桁の場合に通電可能な鋼材は鉄筋のみであるため、PC 鋼材への防食効果は期待できない。このため、PC 鋼材の防食に関しては別途対策を検討する必要がある。

③損傷部補修の留意点
・塩害対策工法は、除塩と鋼材防食を基本(根本的な対策)として検討する。
・損傷部付近の除塩のためのハツリは、プレストレスロス回避のため、かぶりコンクリートまでの深さとする。なお、ハツリ工法として高圧水処理工(WJ 工法)を採用した場合、再劣化が抑制される傾向にある。
・断面修復工では、新旧コンクリート間の塩化物イオン濃度差に起因するマクロセル腐食への対策(犠牲陽極材の設置、亜硝酸リチウムの注入・塗布、塩分吸着材による修復など)を推奨する。

図 4.14 PC ポステン桁の補修時留意点

(3) ボックスカルバート（カテゴリー【D-3】）

1) 代表事例　　※参照：「7. 塩害再劣化事例集 No.22」

留萌開建管内／R231 萱泊橋	形式：RC ボックスカルバート

■補修履歴

H17 点検：ひび割れ、うき、剥離、鉄筋露出
　ひび割れ幅－1.2～1.5mm
H21 補修：全断面修復（頂版、底版、側壁）
　（かぶり増厚→90mm 確保）
　表面含浸材（シラン系）
H23 点検：損傷無し
H27 点検：再劣化
　補修部の軽微なひび割れ、
　漏水・遊離石灰

■塩分濃度・鉄筋腐食

H20 調査：10.53 kg/m³、（頂版）
　9.45 kg/m³、（側壁）

■橋梁概要



写真1：函渠全景（海側端部）

■再劣化の状況：全断面修復工法を適用した RC 函渠で、効果的に鋼材腐食を抑制している事例



写真2：補修前の損傷状況　　写真3：再劣化状況

■当該事例の補修設計概要

・広範囲に多数のひび割れ、うき、剥離・鉄筋露出の損傷と 10 kg/m³ 超の塩分を確認。
・補修は、次のように実施し、10 年経過時点では再劣化は発生していない。
　除塩対策として、全断面修復工法によるかぶりコンクリートの全面除去を実施。
　鋼材腐食防止策として、かぶりの増厚により内空側純かぶり 90mm を確保。（図 5.1.7 参照）
　劣化因子浸入抑制として、内空全面にシラン系表面含浸材を塗布。
・今後、高濃度の内在塩分による鋼材腐食進行、新旧コン塩分濃度差によるマクロセル腐食の発生が懸念される。

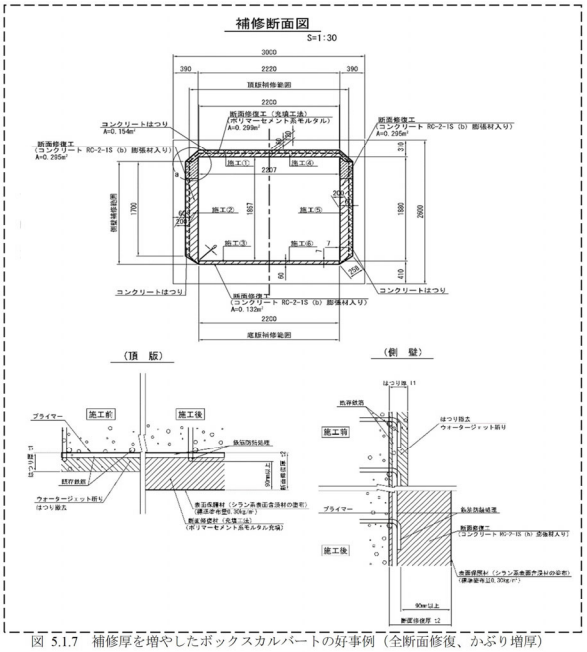


図 5.1.7　補修厚を増やしたボックスカルバートの好事例（全断面修復、かぶり増厚）

2) 構造特性

・RC ボックスカルバートおよび RC ラーメン構造は、頂版上面に土被りが存在し、側壁背面には埋戻し土による土圧が作用する構造であり、内空側の鋼材が主鉄筋として配置されている。このため、耐荷力の観点から重要な補修対象は部材の内空側となる。
・再劣化が生じているボックスカルバートの建設年次は 1950～1975 年（昭和 25～50 年）が多い。
・頂版および側壁の内空側では、鉄筋のかぶりが設計値を下回る事例が多く、この場合、劣化による耐荷性能への影響が大きくなる。
・最外縁鉄筋位置の塩化物イオン濃度は 2～11kg/m³ と全体的に高い。
・内空側の補修では、全断面修復工と表面処理工（シラン系含浸材）を組み合わせた工法が多く採用されている。これは、RC 構造では鉄筋より深い位置までの除塩（ハツリ）が可能なためである。

3) 再劣化の傾向

・全断面修復時の再劣化は、補修部のひびわれやうき、ひびわれ部からの漏水として現れることが多い。補修部のひびわれは、補修材の自己収縮や乾燥収縮、拘束による収縮ひびわれ、下地処理の不足、修復材の収縮特性などに起因しており、塩害による再劣化とは異なる現象である。
・補修厚に関して、劣化因子の浸入抑制を目的として、かぶりを増厚（100～180mm）している事例が多く確認されている。本事例でも、60mm のハツリ後に 90mm の純かぶりを確保する補修を実施している。内空断面積に余裕がある場合は、河川管理者などとの協議により、側壁を増厚し、塩害環境に対応した必要純かぶりを確保することを推奨する。

4) 補修の留意点

①塩害補修の基本

・ＲＣボックスカルバートの塩害補修では、劣化が内空面側に顕在化するため、除塩および鋼材防食による根本的な補修が可能な場合が多い。
・ＲＣ構造物の全断面修復工において引張主鉄筋の背面までハツリを行う場合、RC 構造としての耐荷力が著しく低下する。このため、道路交通の供用制限や支保工設置等の補助工法の採用について、慎重な検討が必要である。
・ＲＣ構造物の全断面修復工において、発錆限界値を超える塩化物イオン濃度の領域が深く、耐荷性能確保の観点から全てのハツリが困難な場合は、かぶりコンクリートまでのハツリとかぶりの増厚による鋼材腐食の抑制が有効である。
・鉄筋腐食により断面欠損が発生した場合、内空断面に余裕があれば、部材の増厚および新規鉄筋の追加配置による補強を検討する必要がある。

②未損傷部補修の留意点

・部分断面修復工を適用する場合は、未損傷部の塩化物イオン濃度に応じた補修が必要である。塩化物イオン濃度が発錆限界値未満の場合は、表面含浸工による劣化因子の浸入抑制を推奨する。一方、発錆限界値以上の場合は、鋼材腐食の進行が想定されるため、損傷部と同様の補修にマクロセル腐食対策を追加することを推奨する。
・鉄筋全体の防食対策として電気防食工の適用が可能である。ただし、内空部に通電装置を設置した場合に、波浪の影響や漂流物の衝突により損傷する可能性があるため、通電装置の防護対策について十分な検討が必要である。

③損傷部補修の留意点

・損傷部位が局所的な場合、部分断面修復工の適用が合理的である。ただし、除塩が部分的となること、修復部以外の鋼材防食が未実施となること、および修復部でのマクロセル腐食が懸念されることから、除塩および鋼材防食が不完全な補修となることに注意を要する。
・除塩および鋼材防食が不完全な補修となる場合は、補修後の維持管理計画の立案と、その計画に基づく確実な維持管理の実施が重要である。
・全断面修復工におけるマクロセル腐食対策として、犠牲陽極材の設置および塩分吸着材を用いた SSI 工法について、比較検討を実施することを推奨する。
・断面修復工に用いる材料は部材厚によって選定されるが、自己収縮を低減する材料や、短繊維を混入させたコンクリートの採用、普通コンクリートでは膨張剤を混和するなど、初期ひびわれを極力防止することが望ましい。

図 4.15　ボックスカルバートの補修時留意点

(4) RC 桁（カテゴリー【D-4】）

1) 代表事例　　※参照:「7. 塩害再劣化事例集 No.23」

留萌開建管内／R232 臼谷橋	形式：RCT 桁

■補修履歴

H19 点検：ひび割れ（max0.6mm）、剥離、鉄筋露出（腐食ｸﾞﾚｰﾄﾞⅢ～Ⅳ）

H20 補修：H19 補修設計➡H20 施工
全断面修復（WJ ハツリ）※
ひび割れ補修（注入、充填）
表面含浸材（シラン系）
橋面防水工（歩車道別々）
※発錆限界 2.5 kg/m³で設計

H27 点検：ひび割れ（桁下面、桁側面）

■塩分濃度・鉄筋腐食

H19 調査：1.5～4.7 kg/m³（補修設計時）
腐食ｸﾞﾚｰﾄﾞⅡ～Ⅳ（ｽﾀｰﾗｯﾌﾟ）

■橋梁概要



写真1：桁下全景

■再劣化の状況：RCT 桁に全断面修復工法を適用したが、残留塩分の影響で再劣化した事例

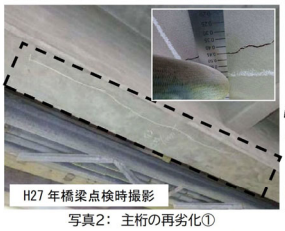


写真2：主桁の再劣化①
全断面修復補修された主桁下面に、橋軸方向のひび割れが発生

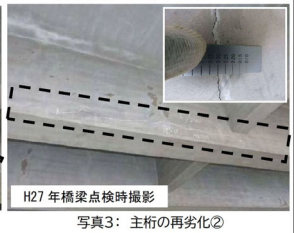


写真3：主桁の再劣化②
全断面修復補修された主桁側面に、橋軸方向のひび割れが発生

■当該事例の補修設計概要

・主桁下面にひび割れ、剥離、鉄筋露出が見られ、鋼材位置の塩化物イオン濃度は 1.5～4.7 kg/m³と発錆限界濃度 1.2 kg/m³を超過していた。
・全断面修復工法を採用し、できる限り広範囲の除塩を実施する積極的な補修が実施された。
・除塩（ハツリ）は、WJ（ウォータジェット工法）を採用し、塩化物イオン濃度 2.5kg/m³以上の深さを除塩範囲とした。（除塩深さ：G3～5 桁：50mm（かぶり相当）、G6 桁：90mm（主鉄筋より深く））
・断面修復は、修復部の収縮ひび割れ抑制のため、短繊維混入コンクリート吹付工法を採用した。
・補修前に設置されていた鋼板被覆を除去し、シラン系表面含浸材を桁全面に塗布した。
・新旧コンクリートの塩分濃度差により発生するマクロセル腐食への対策は実施されていない。

2) 構造特性

・RCT 桁の断面、配筋の状況の特徴は下図の通りである。（参照：図 5.1.8）
・再劣化が発生している RC 桁は、1955 年（昭和 30 年）前後に建設されたものが多い。
・RC 部材の特徴として、桁下面に橋軸直角方向の微細な曲げひびわれの発生を許容している。このため、RC 桁では桁下面のひびわれ部から塩化物イオンが浸入し、塩害劣化が発生しやすい。
・主桁下面の主鉄筋かぶりは小さいものが多く、最外縁鉄筋位置での塩化物イオン濃度が高い。
・RC 桁ではプレストレスロスの懸念がないため、鉄筋より深い位置までの除塩が可能である。
・引張主鉄筋より深い範囲の除塩を行う場合は、桁の耐荷力低下が懸念される。このため、補修時に支保工の設置が必要となる場合があり、十分な検討が必要である。

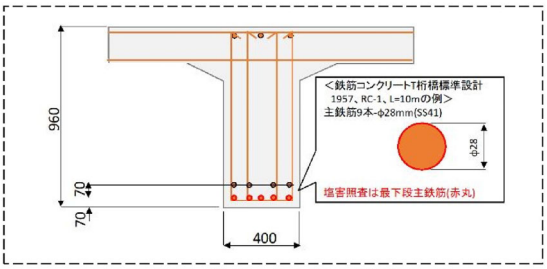


図 5.1.8　RCT 桁の断面例　（1957 年 RCT 桁標準設計の例）

3) 再劣化の傾向

・塩害劣化が顕在化した場合、鋼材位置の塩化物イオン濃度が既に発錆限界値（1.2kg/m³）を超過している。このため、完全な除塩が困難な場合、補修後も鋼材腐食が進行し再劣化が発生する。
・再劣化の形態は、補修部のひび割れ、漏水と錆汁、かぶりの剥離、鉄筋露出等が多い。
・補修部のひびわれ発生要因は、補修材の自己収縮や拘束ひび割れ、下地処理不足などの場合が多い。これらは塩害による再劣化というより、修復材の特性に起因する初期欠陥の可能性が高い。このため、鋼材腐食の進行によるひびわれかどうかの慎重な判断が必要である。
・典型的な損傷形態は、前頁の写真2，3に示すように、主桁下面の主鉄筋腐食に起因する主桁下面と側面下方の橋軸方向ひびわれである。
・ひびわれ部からの錆汁を伴う漏水や遊離石灰の溶出は、RC 床版で多く発生し、その主な原因は橋面防水の劣化である。主桁でも同様の変状が確認される事例があるが、これは他の構造形式でも見られる現象であり、橋面防水の健全性確保が重要である。

4) 補修の留意点

①塩害補修の基本

・RC 桁の塩害補修では、鉄筋より深い範囲までの除塩可能性を検討する。
・RC 桁の塩害補修では、全断面修復工による広範囲の除塩を検討する。
・RC 桁の塩害補修にて全断面修復工法の適用する際に、引張主鉄筋の背面まで除塩する場合は、耐荷力の一時的な低下に対し、交通の供用制限や支保工設置等の補助工法を検討する。
・橋面防水工の劣化状況を確認し、補修の要否を検討する。
・完全な除塩ができない場合は、補修後も塩化物イオンが残留する場合は、劣化進行を前提とした維持管理計画を立案し、将来の架替えも考慮した補修計画を提案する。
・維持管理計画を立案した場合は、道路管理者、橋梁点検・診断担当者、および日常維持業者で共有し、連携して実施する。

②未損傷部補修の留意点

・未損傷部は、塩化物イオン濃度の詳細調査を実施し、その結果に基づく補修を検討する。
・鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界値未満かつ、かぶりコンクリートの塩化物イオン濃度が低く、遮塩後にコンクリート内部へ塩化物イオンが拡散しても鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界値未満となる場合は、表面含浸工による劣化因子の浸入抑制を補修工法として推奨する。
・塩化物イオン濃度が発錆限界値以上の場合は、鋼材腐食の進行が想定されるため、電気防食工の適用を検討することを推奨する。
・未損傷部の補修では表面含浸材の塗布のみとする事例が多い。しかし、表面含浸工は新たな劣化因子の遮断は可能であるものの、既に進行している鋼材腐食に対する抑制効果は期待できないことに留意が必要である。

③損傷部補修の留意点

・損傷範囲が限定的な場合は、部分断面修復工を基本として補修方法を検討する。
・損傷範囲が広範な場合は、全断面修復工を基本として補修方法を検討する。
・修復範囲全域において、犠牲陽極材の設置、亜硝酸リチウムの注入・塗布、または塩分吸着材による修復などのマクロセル腐食対策の適用を検討する。
・断面修復工に用いる材料は部材厚によって選定されるが、自己収縮を低減する材料や、短繊維を混入させたコンクリートの採用、普通コンクリートでは膨張剤を混和するなど、初期ひびわれを極力防止することが望ましい。

図 4.16　RCT 桁の補修時留意点

5) 補修工法（カテゴリー【E】）

塩害補修に用いられる各種補修工法について、留意点や適用性、問題点と解決方法を表 4.22～4.26 に記載する。

表 4.22　表面処理

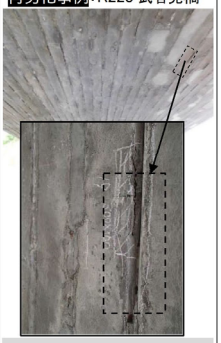
工法	工法概要 と 留意点	適用性／開発局内実績	問題点 と 解決方法(案)
E-1 **表面処理** ・表面含浸工法 ・表面被覆工法	**工法概要** ・本工法は、コンクリート表面に被覆材を施工、または含浸材を塗布するものである。 ・本工法は水分と塩化物イオンの外部からの浸入の抑制効果はあるが、除塩や鋼材防食の効果は無く、根本的塩害対策とはならない。 ・表面被覆工法は、内在塩分を封じ込めること、コンクリート表面を目視困難になること、被覆材の更新（塗替え）が必要となることなどに留意する必要がある。 **留意点** ・表面含浸工では、シラン系含浸材の撥水効果による水分浸入抑制が一般的である。ただし、改質効果の持続期間は 10～20 年程度であり、供用期間によっては複数回の再補修が必要となるため、これらを考慮した維持管理計画の立案が重要である。 ・塩化物イオン濃度が発錆限界値(1.2kg/m³)未満の場合は、塩化物イオンの浸入抑制による鋼材腐食の予防保全対策が可能である。 ・一方、発錆限界値（1.2kg/m³）以上の場合は、既に内在塩化物イオン濃度が高いため、鋼材腐食の進行抑制効果は期待できない。 **【文献 6-39】参照** **「塩害橋の維持管理ハンドブック案」4.4、4.5**	**適用性** 【RC 桁ほか】　多数(※1) 【PC プレテン桁】多数 【PC ポステン桁】多数 （※1）RC 床版、函渠、下部工など塩害補修での実績多数 **再劣化事例**：R228 武者見橋  写真上：PC ﾌﾟﾚﾃﾝ床版の状況 写真下：主桁の再劣化箇所 塩分量 1.2kg/m3 以上で外観変状が無い部位(破線内)に表面含浸材を塗布した結果、鋼材腐食が進行し「うき」と「ひび割れ」の再劣化が発生	**問題点** ・塩化物イオン濃度が発錆限界値（1.2kg/m³）を超過しているにもかかわらず、外観変状が顕在化していない部材に本工法を適用した結果、鋼材腐食が進行し再劣化が発生する事例が非常に多い。 ・特に PC プレテンション桁では、かぶりが小さいため抜本的対策（除塩、鋼材防食）が困難である。このような状況で、現状または将来予測において塩化物イオン濃度が発錆限界値を超過しているにもかかわらず、外観変状が軽微という理由で本工法を適用し延命化を図ろうとした結果、多数の再劣化事例が確認されている。 **解決方法（案）** ①外観変状が軽微で、現状の鋼材位置における塩化物イオン濃度が 1.2kg/m³未満であるが、将来予測値が 1.2kg/m³を超過する場合は、**判定区分 C1（予防保全補修）**として本工法の適用を推奨する。なお、表面処理による被覆効果を考慮した塩化物イオン濃度分布の将来予測を実施し、必要に応じて下記②の検討を行う。 ②外観変状が軽微であっても、現状または将来予測値において鋼材位置の塩化物イオン濃度が 1.2kg/m³を超過する場合は、本工法による補修効果は期待できない。このような場合は、電気防食工による延命化対策（腐食進行の抑制）を推奨する。 **補修後の管理** ・鋼材の腐食抑制対策として、電気防食工による延命化対策が困難な場合は、表面含浸工による塩化物イオンの浸入抑制を実施した上で、再劣化の発生を前提とした維持管理が必要となる。このような場合は、**判定区分 S2（追跡調査）**相当の管理として、モニタリングの実施や点検頻度の強化を含めた維持管理計画の策定を推奨する。

表 4.23　部分断面修復①

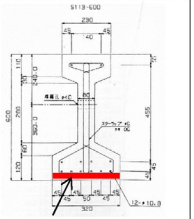
工法	工法概要 と 留意点	適用性／開発局内実績	問題点 と 解決方法(案)
E-2 **部分** **断面修復①**	**工法概要** ・本工法は、コンクリート部材に発生した「うき」「剥離」の損傷に対して、損傷部の「ハツリ＋鋼材防食＋修復材充填」により部分的な除塩と防食を実施する根本的な対策である。 **留意点** ・「除塩」対策としては、鋼材の発錆限界値（1.2kg/m³）を超える範囲のハツリ除去が再劣化防止に重要である。ただし、引張鋼材の有効性維持（プレストレスロスの回避等）の観点から、鋼材より内側のコンクリート除去は困難である。 ・「防食」対策としては、内在塩分による腐食抑制、再劣化防止策として新旧コンクリートの塩化物イオン濃度差により発生するマクロセル腐食への対策（犠牲陽極工法など）のほか、亜硝酸リチウムや塩分吸着材を活用する鋼材防食対策が必要である。 犠牲陽極工法：ガルバーシールド工法 パッチガード工法 塩分吸着剤　：ＳＳＩ工法など ・部分修復工法は、損傷部のみの補修方法であり、部材のうち未損傷部位は別途塩害対策が必要となるため注意する必要がある。 **【文献 6-39】参照** **「塩害橋の維持管理ハンドブック案」4.3**	**適用性** 【RC 桁ほか】　多数(※1) 【PC プレテン桁】多数 【PC ポステン桁】多数 (※1)RC 床版、函渠、下部工など塩害補修での実績多数 **再劣化事例**：R299 当別橋  含浸材塗布後の主桁再劣化（未補修部のひび割れと錆汁）  プレテン床版下面かぶり かぶり厚＝30～40mm 程度 上段写真：ﾌﾟﾚﾃﾝ床版の損傷 下段図面：ﾌﾟﾚﾃﾝ床版(※2) 桁下面のかぶり部分(赤着色部)が薄く、十分な除塩が困難	**問題点①（下線部）** ・塩化物イオン濃度が鋼材発錆限界濃度 1.2kg/m³以上の場合、鋼材の腐食に外観変状（うき、剥離など）が発生し、鋼材断面の減少による耐荷力低下が懸念される状態である。この状況に対しては、**判定区分 C2（構造安全性観点の補修）**として、損傷部位に対して「部分断面修復」と「未損傷部位への含浸材塗布」が実施される事例が多い。 ・外観変状が発生している状況では、未損傷部位も塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m³以上と高く、含浸材塗布後も鋼材腐食が進行する。 ・外観変状が発生している状況では、設計荷重に対する残存耐荷力の評価が必要であるが、検討が不十分なケースが散見される。 ・PC 桁の場合、鋼材位置より深い部分のハツリによる除塩ができないため、本工法適用による補修効果は限定的である。 **解決方法①「未補修部位を含む部材全体の防食対策」（上記下線部）** ・外観変状が発生している部材において、未損傷部位の塩化物イオン濃度が 1.2kg/m³以上の場合、未損傷部でも鉄筋腐食進行の可能性が高いため、部材全体の防食対策には「電気防食」や「含浸材塗布（塩分浸入抑制）」の適用と、「補修後モニタリング」の併用を推奨する。 ・PC 桁に電気防食を適用する場合、形式毎に通電可能な PC 鋼材が限定されるため注意する必要がある。（後述「(4)電気防食)」を参照） **補修後の管理** ・PC プレテン床版桁のように、ハツリによる十分な除塩ができない部材の場合（参考：左図※2）、かぶりコンクリートの部分断面修復および未損傷部への含浸材塗布だけでなく、「塩害のさらなる進行と耐荷力低下の可能性を考慮した補修後の維持管理計画」を立案することを推奨する。また電気防食を適用する場合は、通電状況や通電箇所の健全性などの管理方法を維持管理計画に盛り込む必要がある。

表 4.24　部分断面修復②

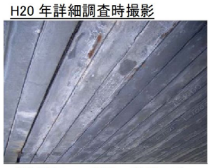
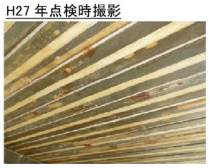
工法	工法概要 と 留意点	適用性／開発局内実績	問題点 と 解決方法(案)
E-2 部分 断面修復②	**工法概要** ・本工法は、コンクリート部材に発生した「うき」「剥離」の損傷に対して、損傷部の「ハツリ＋鋼材防食＋修復材充填」により部分的な除塩と防食を実施する対策である。 **留意点** ・「除塩」対策としては、鋼材の発錆限界値（1.2kg/m³）を超える範囲のハツリ除去が再劣化防止に重要である。ただし、引張鋼材の有効性維持（プレストレスロスの回避等）の観点から、鋼材より内側のコンクリート除去は困難である。 ・「防食」対策としては、内在塩分による腐食抑制、再劣化防止策として新旧コンクリートの塩化物イオン濃度差により発生するマクロセル腐食への対策（犠牲陽極工法など）のほか、亜硝酸リチウムや塩分吸着材を活用する鋼材防食対策が必要である。 犠牲陽極工法：ガルバーシールド工法 パッチガード工法 塩分吸着剤　：ＳＳＩ工法など ・部分修復工法は、損傷部のみの補修方法であり、部材のうち未損傷部位は別途塩害対策が必要となるため注意する必要がある。 【文献 6-39】参照 「塩害橋の維持管理ハンドブック案」4.3	**適用性** 【RC 桁ほか】　多数(※1) 【PC プレテン桁】多数 【PC ポステン桁】多数 (※1)RC 床版、函渠、下部工など塩害補修での実績多数 **再劣化事例**：R231 礼受橋 鋼材腐食ｸﾞﾚｰﾄﾞⅣで耐荷力低下 ➡桁補強、桁補修 H20 年詳細調査時撮影  損傷状況：ひび割れ、遊離石灰 塩分濃度：7.45kg/m³ 鋼材腐食：グレードⅣ(断面減少) ←H22 桁補強（炭素繊維ﾌﾟﾚｰﾄ） ←H22 桁補修（表面含浸材） H27 年点検時撮影 	**問題点②**（下線部） ・塩化物イオン濃度が鋼材発錆限界濃度 1.2kg/m³ 以上の場合、鋼材の腐食に外観変状（うき、剥離など）が発生し、鋼材断面の減少による耐荷力低下が懸念される状態である。この状況に対しては、**判定区分 C2（構造安全性観点の補修）**として、損傷部位に対して「部分断面修復」と「未損傷部位への含浸材塗布」が実施される事例が多い。 ・外観変状が発生している状況では、未損傷部位も塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m³以上と高く、含浸材塗布後も鋼材腐食が進行する。 ・外観変状が発生している状況では、設計荷重に対する残存耐荷力の評価が必要であるが、検討が不十分なケースが散見される。 ・PC 桁の場合、鋼材位置より深い部分のハツリによる除塩ができないため、本工法適用による補修効果は限定的である。 **解決方法②「残存耐荷力の検討と評価」（上記下線部）** ・コンクリート桁の鋼材腐食が進行し、鋼材の断面減少が認められる場合は、残存耐荷力を検討し、対策判定と健全性診断が必要となる。 ・残存耐荷力が不足する場合は、**対策判定区分Ｅ１（構造安全性観点の緊急対応）、緊急措置段階Ⅳ**として対策を講じることを推奨する。 ・残存耐荷力に余裕がある場合は、**対策判定区分Ｃ２（構造安全性観点の補修）、早期装置段階Ⅲ**として検討することを推奨する。 ・設計荷重に対する残存耐荷力の検討方法と評価方法の例 【A：机上計算】鋼材断面減少の影響を構造計算で再現し、構造特性に応じて設定した耐荷力限界の閾値に対して評価する方法である。 【B：現地試験】設計荷重を大型車両により載荷し、橋梁の挙動を計測して残存耐荷力を評価する方法である。 補修設計時に A,B いずれかの方法で評価することを推奨する。 **補修後の管理**：前ページ表 5.2.5-(2)の「**補修後の管理**」を参照

表 4.25　全断面修復

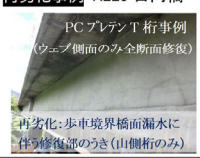
工法	工法概要留意点	適用性／開発局内実績	問題点と解決方法
E-3 全断面修復	**工法概要** ・本工法は、コンクリート部材に発生した「うき」「剥離」の損傷に対して、対象部材全面を「ハツリ＋防食対策＋修復材充填」により除塩と防食を実施する対策である。 **留意点** ・「除塩」対策としては、鋼材の発錆限界値（1.2kg/m³）を超える範囲のハツリ除去が再劣化防止に重要である。ただし、引張鋼材の有効性維持（プレストレスロスの回避等）の観点から、鋼材より内側のコンクリート除去は困難である。 ・「防食」対策としては、内在塩分による腐食抑制、再劣化防止策として新旧コンクリートの塩化物イオン濃度差により発生するマクロセル腐食への対策（犠牲陽極工法など）のほか、亜硝酸リチウムや塩分吸着材を活用する鋼材防食対策が必要である。 犠牲陽極工法：ガルバーシールド工法 パッチガード工法 塩分吸着剤　：ＳＳＩ工法など ・鋼材断面が減少している場合は、新規の鋼材や繊維シートなどによる耐荷力対策の検討が必要となる。 【文献 6-39】参照 「塩害橋の維持管理ハンドブック案」4.3	**適用性** 【RC 桁】　多数(※1) 【PC プレテン桁】少数(※2) 【PC ポステン桁】少数(※3) (※1)RC 床版、函渠や下部工も実績多数 (※2) R229 日内橋を確認 (※3)当該調査では未確認 **再劣化事例**：R231 萱泊橋  **再劣化事例**：R232 臼谷橋  **再劣化事例**：R229 日内橋  	**問題点** ・PC 桁では、プレストレス力の低下を防ぐため、PC 鋼材位置以深を除塩しない。よって桁内部に塩化物イオンが残留する場合が多い。 ・RC 構造物では、鋼材位置以深の除塩が可能だが、鋼材以深のハツリ作業時は断面欠損による耐荷力低下を考慮し、仮設支保工などの補強対策が必要となる。 **解決方法** ・PC 桁への本工法の適用は、除塩可能範囲が限定されるため、効果的な対策となるケースは限られる。 適用事例としては、架け替えまでの延命措置として、T 桁ウェブ側面の全面修復などがある。 適用時は、残存塩化物イオンに対する防食対策（犠牲陽極設置によるマクロセル腐食対策、塩分吸着材による断面修復、電気防食による最外縁鋼材の防食など）と表面保護工の併用を推奨する。なお、ハツリ作業時はプレストレス力の保持に留意が必要である。 ・RC 構造物では、深い範囲のハツリによる除塩作業時は断面不足による耐荷力低下が懸念されるため、施工中の活荷重に対する補強対策が必要となる。 補修対象がボックスカルバートの場合は、内空に余裕があれば、かぶり増厚による全断面修復も有効な防食対策として推奨される。 **補修後の管理** ・PC 桁、RC 構造物とも、除塩や鋼材防食の効果には限界があり、補修後も塩害進行による耐荷力低下が懸念される。そのため、継続的な監視に基づく維持管理計画の策定が重要となる。

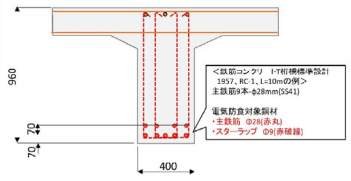
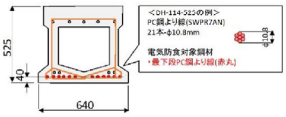
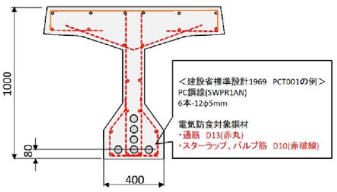
表 4.26　電気防食

工法	工法概要留意点	適用性／開発局内実績	問題点と解決方法
E-4 **電気防食** （外部電源方式）	**工法概要** ・電気的に鋼材の腐食進行を抑制する。 電気防食では、外部から微弱な直流電流を供給し、鉄筋の電位を制御することで腐食を防止する。具体的には、陽極材をコンクリート表面に設置し、鉄筋を陰極とする電気回路を形成することにより、既存の塩化物イオンを陰極側へ移動させ無害化できる。 **留意点** ・供用期間中の通電確認や機器点検が重要。 ・PC 桁では、通電可能な鋼材が限定される。（次項の表 5.2.5-(6)参照） 【文献 6-39】参照 「塩害橋の維持管理ハンドブック案」4.6	**適用性** 道内国道実績は全８橋 【RC 桁】RCT3 橋、函渠 1 橋 【PC プレテン桁】1 橋(※1) 【PC ポステン桁】3 橋(※2) (※1)通電可＝最下段 PC 鋼材 (※2)通電可＝最外縁鉄筋 **電気防食事例**:本稿掲載分 R231 雄冬橋（RCT 桁） R231 湯泊橋（ﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ） R231 彦部橋（PC ﾎﾞｽﾃﾝ T 桁） R228 大磯橋（PC 箱桁） R229 恵比寿橋（R CT 桁）	**問題点** ・本工法は、塩化物イオン濃度が 1.2kg/m³ を超え、軽微な損傷段階（対策判定区分Ｃ１）での予防保全対策（損傷発生前の防食対策）として推奨される。実際の適用は、腐食が顕在化した段階（対策判定区分Ｃ２）での適用事例が多いが、Ｃ２段階でも高い延命効果が期待できることが確認されている。 ・電気防食の通電可能な鋼材は構造形式により異なる。PC プレテン桁では最下段 PC 鋼材のみ、PC ポステン桁では最外縁の鉄筋のみが対象となる。一方、RC 構造物では全ての鉄筋に通電できる可能性がある。詳細は表 5.2.5-(6)「電気防食対象鋼材一覧表」を参照されたい。 ・電気防食設備の維持管理では、橋梁点検時に電気防食の存在自体が把握されていない（または記録されていない）ケースがある。そのため、通電設備の稼働状況を点検調書や台帳に明記し、定期的な管理が可能な体制を管理者と協議のうえ構築することが重要である。 **解決方法** ・電気防食工法は、腐食が顕在化した段階（対策判定区分Ｃ２）での適用も有効であるが、軽微な損傷段階（対策判定区分Ｃ１）での予防保全対策としての活用を推奨する。 ・通電可能な鋼材を明確にするため、表 5.2.5-(6)「電気防食対象鋼材一覧表」を幅広く共有することと活用することを推奨する。 **補修後の管理** ・電気防食設備の維持管理では、定期点検調書や橋梁台帳に電気防食の適用を明記し、通電状況の確認を含めた点検を確実に実施する必要がある。



電気防食工法に関しては、橋種形式毎に留意点を検討した。表 4.27 に示す。

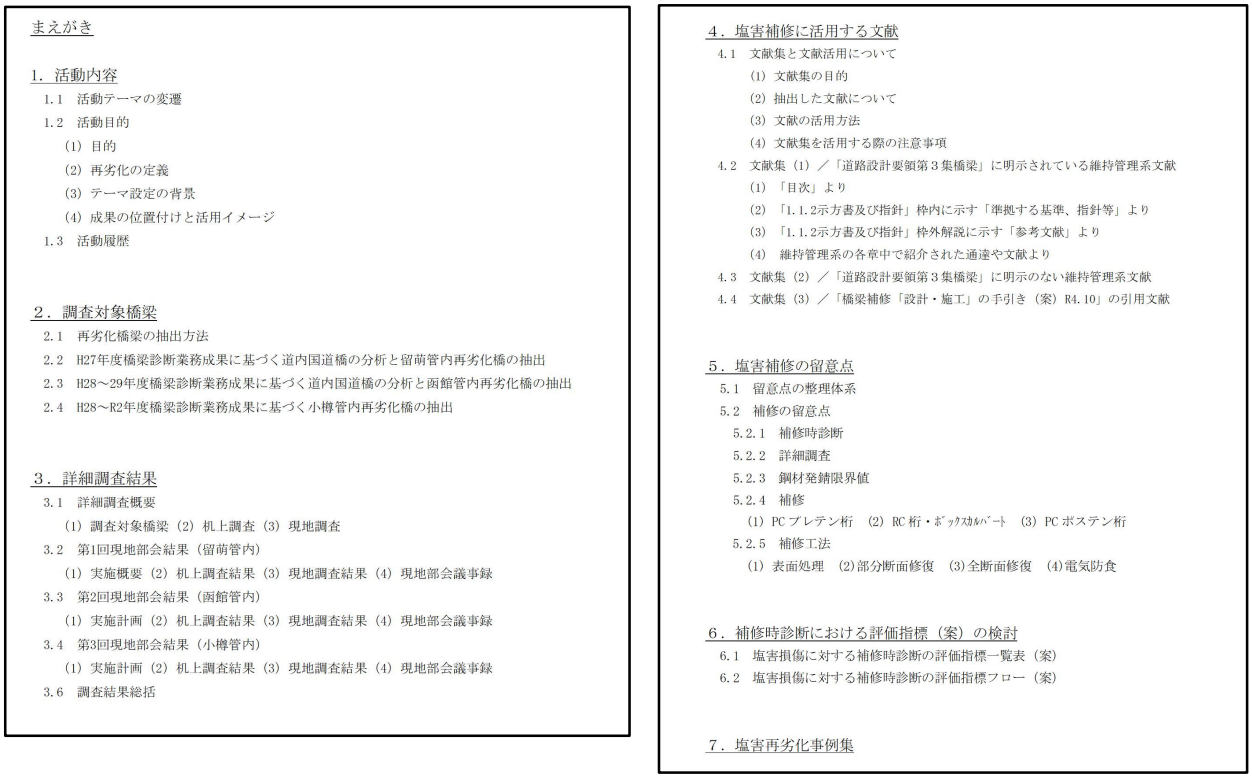
表 4.27　コンクリート橋の電気防食対象鋼材

	RC 橋	PC プレテンション方式床版橋	PC ポストテンション方式桁橋
断面図 （例）	 ＜鉄筋コンクリート T 桁標準設計 1957 例＞	 ＜DH-114-525 の例＞	 ＜建設省標準設計 1969 の例＞
電気防食 対象鋼材	・主鉄筋　Φ28mm ・スターラップ　Φ9mm	・最下段 PC 鋼より線　Φ10.8mm	・通筋　D13mm ・スターラップ、バルブ筋　D10mm
留意点	・RC 橋では最下段引張鉄筋位置での発錆照査が必要である。 ・電気防食は引張鉄筋二段目までの実績有。	・PC プレテンション方式では PC 鋼線、PC 鋼より線位置での発錆照査が必要である。 ・電気防食は最下段 PC 鋼より線までの実績有。	・PC ポストテンション方式では PC ケーブル位置での発錆照査が必要である。 ・PC ケーブルは電気防食出来ないため、発錆に伴い外ケーブル等の補強を要する。
開発局実績 ※	R229　恵比寿橋(T 桁) R232　金浦橋(T 桁) R231　雄冬橋(T 桁) R231　湯泊橋(函渠工)	R232　茶俊内橋(中空床版橋)	R231　彦部橋(T 桁)外ケーブル併用 R334　日の出大橋(T 桁)外ケーブル併用 R228　大磯橋(箱桁)

(5)　全体報告書の作成

上記の検討内容をとりまとめ、全体報告書を作成した。報告書の目次を図 4.17 に示す。

前段に活動内容、後半には検討成果を掲載し、前書きに本報告書の見方や各章との関連がわかりやすいようにコメントを付記することとした。


まえがき

1．活動内容
1.1　活動テーマの変遷
1.2　活動目的
（1）目的
（2）再劣化の定義
（3）テーマ設定の背景
（4）成果の位置付けと活用イメージ
1.3　活動履歴

2．調査対象橋梁
2.1　再劣化橋梁の抽出方法
2.2　H27年度橋梁診断業務成果に基づく道内国道橋の分析と留萌管内再劣化橋の抽出
2.3　H28～29年度橋梁診断業務成果に基づく道内国道橋の分析と函館管内再劣化橋の抽出
2.4　H28～R2年度橋梁診断業務成果に基づく小樽管内再劣化橋の抽出

3．詳細調査結果
3.1　詳細調査概要
（1）調査対象橋梁（2）机上調査（3）現地調査
3.2　第1回現地部会結果（留萌管内）
（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
3.3　第2回現地部会結果（函館管内）
（1）実施計画（2）机上調査結果（3）現地調査結果（4）現地部会議事録
3.4　第3回現地部会結果（小樽管内）
（1）実施計画（2）机上調査結果（3）現地調査結果（4）現地部会議事録
3.6　調査結果総括

4．塩害補修に活用する文献
4.1　文献集と文献活用について
（1）文献集の目的
（2）抽出した文献について
（3）文献の活用方法
（4）文献集を活用する際の注意事項
4.2　文献集（1）／「道路設計要領第３集橋梁」に明示されている維持管理系文献
（1）「目次」より
（2）「1.1.2示方書及び指針」枠内に示す「準拠する基準、指針等」より
（3）「1.1.2示方書及び指針」枠外解説に示す「参考文献」より
（4）維持管理系の各章中で紹介された通達や文献より
4.3　文献集（2）／「道路設計要領第３集橋梁」に明示のない維持管理系文献
4.4　文献集（3）／「橋梁補修「設計・施工」の手引き（案）R4.10」の引用文献

5．塩害補修の留意点
5.1　留意点の整理体系
5.2　補修の留意点
5.2.1　補修時診断
5.2.2　詳細調査
5.2.3　鋼材発錆限界値
5.2.4　補修
（1）PCプレテン桁　（2）RC桁・ﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ　（3）PCポステン桁
5.2.5　補修工法
（1）表面処理　（2）部分断面修復　（3）全断面修復　（4）電気防食

6．補修時診断における評価指標（案）の検討
6.1　塩害損傷に対する補修時診断の評価指標一覧表（案）
6.2　塩害損傷に対する補修時診断の評価指標フロー（案）

7．塩害再劣化事例集

図 4.17　全体報告書目次案

4.4　部会の活動内容（第三者被害予防に着目した点検・調査方法の検討）

4.4.1　不可視部を有する橋梁の点検診断結果等資料収集整理

(1)　損傷事例資料収集整理

北海道開発局道路維持課から受領した４橋の損傷事例について、最終報告書（復旧状況・対策工・事後のモニタリング有無等）を受領し分析した。対象橋梁の概要を表 4.28 に示す。

緊急対応、応急対応、その後の維持管理方法等を取り纏めて報告した。

表 4.28　損傷事例橋梁の概要

	①R274 白石高架橋	②R337 千歳ﾗﾝﾌﾟ橋	③R39 泉跨線橋	④R276 白神覆道
床版形式等	I 型格子床版	I 型格子床版	RC 床版＋鋼板接着	覆道頂版＋塩害塗装
事故事象	令和 4 年 4 月 28 日張出床版の底鋼板の腐食部近傍から金属片が JR 敷地に落下	令和 4 年 9 月 13 日桁間床版の底鋼板の腐食部近傍から腐食片が JR ﾎｰﾑ上に落下	令和 5 年 8 月 10 日路面陥没と桁間床版の鋼板の捲れ、内部脆弱ｺﾝｸﾘｰﾄが JR 敷地に落下（鋼板施工年次不明）	令和 3 年 7 月 17 日頂版のかぶりｺﾝｸﾘｰﾄが平成 10 年に施工した塩害対策塗装とともに剥落
緊急点検概要	4 月 29 日遠望目視により近接目視を実施する箇所を抽出（全 66 ﾊﾟﾈﾙ） 5 月 2～5 日近接点検により 16 ﾊﾟﾈﾙの腐食鋼板を撤去	同日深夜に検査路から長尺の工具を使用して落下発生点のさび残りを除去 9 月 20 日電磁波ﾚｰﾀﾞｰ、ｺｱ採取等詳細調査実施	同日 JR を運休させ脆弱部の叩き落しを実施。防災ﾄﾞｸﾀｰの現地診断により 8 月 15～17 日にｺﾝｸﾘｰﾄ充填＋落下防止ﾈｯﾄを設置 8 月 22～24 日床版開削調査、8 月 29 日土木研究所来現	7 月 18 日防災ﾄﾞｸﾀｰによる現地確認後、脆弱部を除去し落下防止ﾈｯﾄを敷設して交通開放
原因の考察	路面や、剛性防護柵側面の鋼製型枠部境界から浸透した水分が凍結膨張し変形や腐食が発生	防水工施工目地から浸入した水が、底鋼板上に滞水し腐食が発生	隣接する歩道からの雨水が床版上面に浸入し凍害による土砂化が進行 ｱﾝｶｰ定着部ｺﾝｸﾘｰﾄの脆弱化	塩害劣化による鉄筋の腐食膨張によりかぶりｺﾝｸﾘｰﾄにｸﾗｯｸが発生 ｸﾗｯｸや塗装に浸入した水分の凍結融解により分離が進行
恒久対策工	防水工の設置、地覆天端等止水材注入 令和 4 年～補修実施	防水工施工境界部への注入目地施工 鋼板内部ｺﾝｸﾘｰﾄへの樹脂充填によるひびわれや脆弱部の一体化	現在全面の床版打替え工事実施中 年度内に繊維ｼｰﾄ補強実施予定 防水工実施	剥落発生前に補修工事発注済み 鉄筋防錆、犠牲陽極設置、ﾓﾙﾀﾙ吹付後に繊維ｼｰﾄ敷設済（工事完）
その後の状況確認	令和 5 年：定期（JR 貨物） 令和 6 年：第三者（JR 旅客） 令和 8 年：定期+第三者予定	令和 5 年 7 月：ﾛｰﾌﾟｱｸｾｽによる第三者被害予防措置時に錆落としと保護塗装を実施。塗装の状態を継続監視中（漏水･腐食進行なし） 令和 8 年：定期+第三者予定	今年度中に工事完了し、当面はこのまま定期点検などを継続 本来の恒久対策は「架け替え」であり、検討中であったとのこと	恒久対策後、管内の覆道全てで再度第三者被害予防措置を実施 白神覆道では側壁部のうきが進行しており、部分断面修復を行うとのこと

各種工法毎に、入手した資料などから得られた知見を留意点としてまとめた結果を図 4.18,4.19 に示す。なお図中、青文字の箇所は特に重要な留意点を示している。

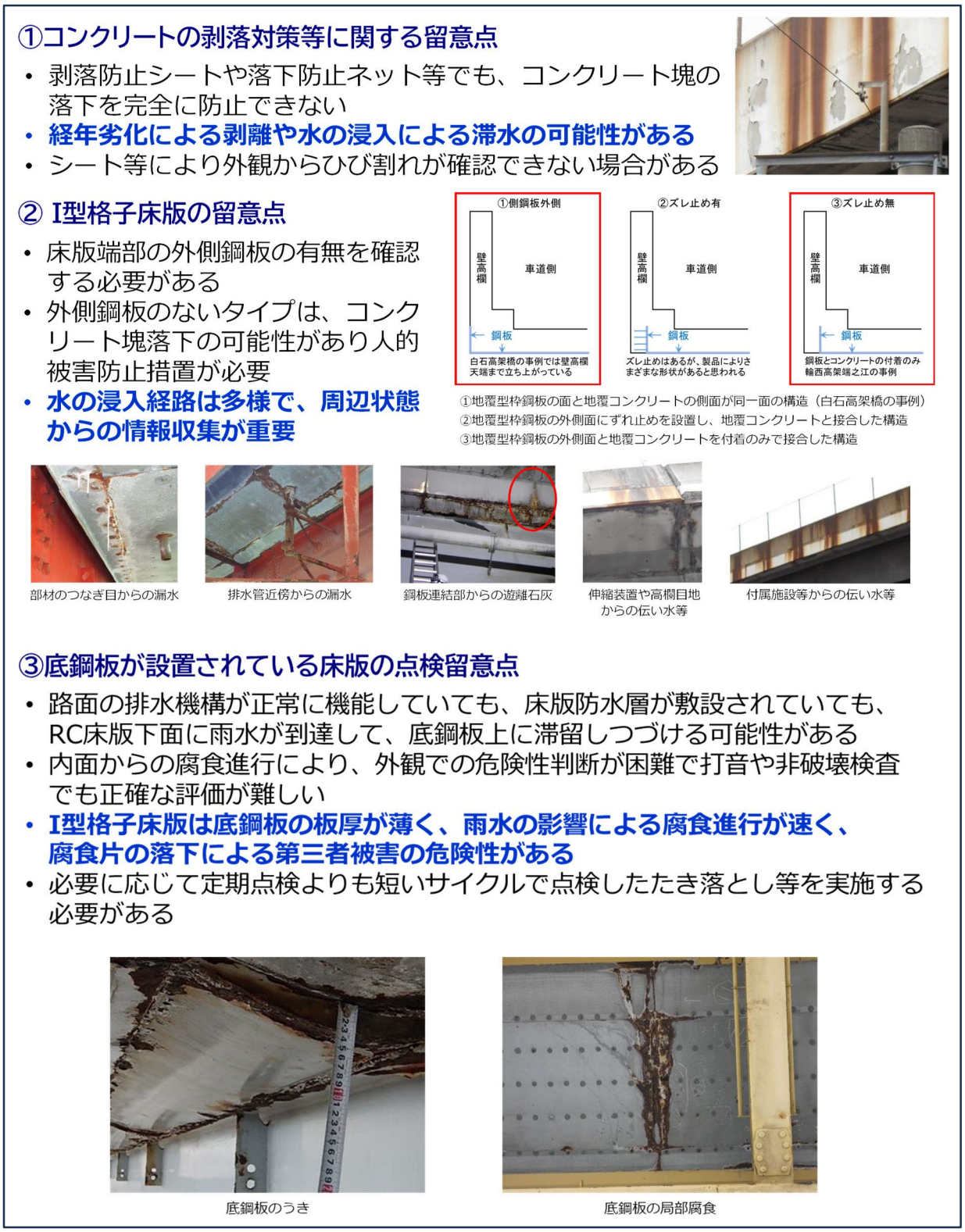
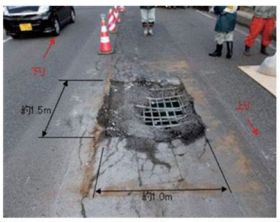


図 4.18　入手した損傷事例橋梁から得られた留意点①（委員会資料より）

④鋼板接着されている床版の点検留意点

- 下面が鋼板で覆われているため、床版コンクリートの状態確認が困難
- 打音検査では振動がコンクリートに明確に伝達せず、正確な状態推定が難しい
- **アスファルト舗装の打継目から床版上面への水の侵入が見られる場合、鋼板設置により床版に侵入した水が抜けにくいため、土砂化進行の可能性がある**
- 土砂化は目視や打音で確認可能な範囲より深く広い範囲に微細なひび割れが内在
- 接着剤充填による固定の場合、長期耐久性が不明確であり、加水分解による強度低下の程度も明らかでない
- **アンカー定着周囲のコンクリートが健全であることが大前提であり、床版コンクリートの土砂化進行の可能性がある状況では抜け落ちの危険性が高い**
- 床版上面側のみの部分的補修では、既設部分と補修部分の界面剥がれ等による再劣化の可能性が高いことから、抜け落ち発生後の恒久的対策としては、床版全厚の打替えの検討が必要



国道7号 きみまち大橋の床版抜け落ち


床版上面（橋梁上の舗装）の異常
<出典1：土砂化の事例>



<出典2：鋼板接着補強の抜け落ち事例>

出展1：道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究、土木研究所資料、第4398 号、pp.9、2020
出展2：神戸橋の損傷と対応について、第29 回日本道路会議

⑤床版を介した他の部位への水の侵入

- アスファルト舗装のひび割れや床版の鉄筋に沿うひび割れが発生
- 水の侵入により鉄筋腐食や表面被覆材の劣化が進行
- **水の侵入経路を踏まえた防水対策が必要**
- 床版防水工に合わせて、床版水抜きパイプの設置、導水等も行うこと。


アスファルト舗装のひび割れ


床版のひび割れ


表面被覆材の浮き


表面被覆材のひび割れ

<出典3：直轄診断事例>

出展3：令和2 年度施行 直轄診断【白老橋】 直轄診断報告書、2021

特に水の侵入による劣化進行と、外観から判断が困難な内部損傷の危険性があることが、不可視部を有する床版の全般的な留意点と言える

図 4.19　入手した損傷事例橋梁から得られた留意点②（委員会資料より）

(2)　不可視部を有する橋梁（床版等）の点検・診断結果

Ｉ型格子床版（グレーチング床版）、サンドイッチ床版、鋼板接着、繊維シート接着等を対象に、x-road などのデータベースより、上記キーワードで検索・抽出し、損傷が発生している対象橋梁を 147 橋リストアップした。

これらについて、橋毎に所見や損傷写真などを抽出し、図 4.20 に示す統一様式にて整理した。とりまとめ、分析は令和７年度に実施する。

No.	1
橋梁ID	43_09431_141_28768
事務所	札幌開発建設部
出張所	札幌道路事務所
路線	5
橋梁名	発寒高架橋（下り）
橋梁形式	3径間連続RC中空床版橋2連，3径間連続非合成鈑桁橋，3径間連続RC中空床版橋2連，5径間連続RC中空床版橋2連
定期点検年月日	20210129
代表対策区分	Ｃ２
健全度	Ⅲ
第三者被害予防措置年月日	
第三者被害予防措置判定	
留意すべき部材の場所	7，8，9径間目
留意すべき部材	7，9：繊維シート（剥落防止），8：グレーチング床版
対象部材の交差物	7：市道，8：JR，9：市道
診断所見	
20201116	本橋は供用後49年が経過した「3径間連続RC中空床版橋2連，3径間連続非合成鈑桁橋，3径間連続RC中空床版橋2連，5径間連続RC中空床版橋2連」で、C2判定の損傷を有する橋梁である。 【本橋の健全度について】 ・本橋では、橋梁構造の安全性に影響する部材毎の健全性判定において、健全度Ⅲが主桁、床版、高欄、排水管、添架物に、健全度Ⅱが主桁、床版、柱部・壁部、竪壁、支承本体に発生している。 ・このうち、道路橋毎の健全性の診断根拠となる損傷は、第7径間のグレーチング床版型枠に見られる、鋼板継ぎ目部全体の塗膜劣化、局部的な断面減少を伴う腐食、破断であり、橋面からの雨水等の床版への浸透による型枠内への浸入が原因と推定される。型枠鋼板の腐食であり、床版の耐荷力や耐久性に支障が生じている可能性は低いと推定されるが、桁下は鉄道であり、腐食片落下による第三者に対する安全性が低下している。グレーチング床版型枠は、前回点検から損傷の進展が見られ、損傷が急速に進展する可能性は否定できず、次回点検まで放置すると、グレーチング床版型枠の機能や耐久性、耐荷力が著しく低下する懸念がある他、腐食片落下により第三者被害が懸念され、早期の措置が望まれる。 ・以上より、本橋は、道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずるべき状態（Ⅲ）であると言える。 【発生損傷一覧】 1)コンクリート剥落、鋼材腐食片剥落による第三者（道路・鉄道）被害が懸念される損傷が以下に発生している。 ■床版(第8径間)：腐食，破断（C1判定：Ⅲ）■床版(第8径間)：剥離・鉄筋露出（C1判定：Ⅲ）■床版(第2径間)：剥離・鉄筋露出（C1判定：Ⅱ） ■床版(第7径間)：剥離・鉄筋露出，補修・補強材の損傷，床版ひびわれ，漏水・遊離石灰（C1判定：Ⅱ）■落橋防止システム(第6･9径間)：うき（C1判定：Ⅱ）■高欄(第1･2･25径間)：剥離・鉄筋露出（C1判定：Ⅱ） ■地覆(第7径間)：剥離・鉄筋露出（C1判定：Ⅱ）　■地覆(第22径間)：うき（C1判定：Ⅱ）　■袖擁壁(第1径間)：剥離・鉄筋露出（C1判定：Ⅱ） 以上の損傷に対して、第三者被害防止を目的とした措置が必要である。具体的には、再塗装、断面修復、剥落防止対策等である。 2)曲げ応力に関連した損傷が以下に発生している。 ■主桁(第2･10･11･17･18･19･24･25径間)：ひびわれ（C2判定：Ⅲ）　■床版(第2･10･11･17･18･19･24･25径間)：床版ひびわれ（C2判定：Ⅲ） 以上の損傷に対して、耐荷力回復を目的とした措置が必要である。具体的には、繊維シートの貼り付け等である。 3)塩害および凍害に関連した損傷が以下に発生している。 ■高欄(第17･21径間)：うき（C2判定：Ⅲ）　以上の損傷に対して、耐荷力回復を目的とした措置が必要である。具体的には、断面修復等である。 4)伸縮装置からの漏水および橋面水等の水分の影響に関連した損傷が以下に発生している。 ■排水管(第1･9径間)：腐食，破断（C2判定：Ⅲ）　■添架物(第4･6･11･13･17･18･19･20･21･24径間)：腐食，破断（C2判定：Ⅲ）　■添架物(第16径間)：その他（蓋脱落）（C2判定：Ⅲ） ■主桁(第1径間)：ひびわれ，うき（C1判定：Ⅱ）　■主桁(第7･9径間)：腐食（C1判定：Ⅱ）　■主桁(第12･20径間)：剥離・鉄筋露出（C1判定：Ⅱ） ■床版(第1･3･4･6･8･15径間)：漏水・遊離石灰，床版ひびわれ（C1判定：Ⅱ）　■床版(第13径間)：うき（C1判定：Ⅱ）　■柱部・壁部(P20)：漏水・滞水（C1判定：Ⅱ） ■竪壁(A2)：漏水・滞水（C1判定：Ⅱ）　■支承本体，アンカーボルト(第7･9径間)：腐食（C1判定：Ⅱ）　■伸縮装置(第1･3･6･9･12･20径間)：漏水・滞水（C1判定：Ⅱ） ■舗装(第7･9径間)：舗装の異常（C1判定：Ⅱ）　■舗装(第9径間)：路面の凹凸（C1判定：Ⅱ）　■添架物(第4径間)：ゆるみ・脱落（C1判定：Ⅱ） ■添架物(第5･14･15･16･23径間)：腐食，破断（C1判定：Ⅱ） 以上の損傷に対して、水の浸入防止、防錆、損傷拡大を目的とした措置が必要である。具体的には、根本原因である伸縮装置の止水や床版防水層の施工を行った上で、部材取替、再塗装、断面修復、ひびわれ補修等である。

※主に、点検・診断の結果や、損傷図・写真などを収集

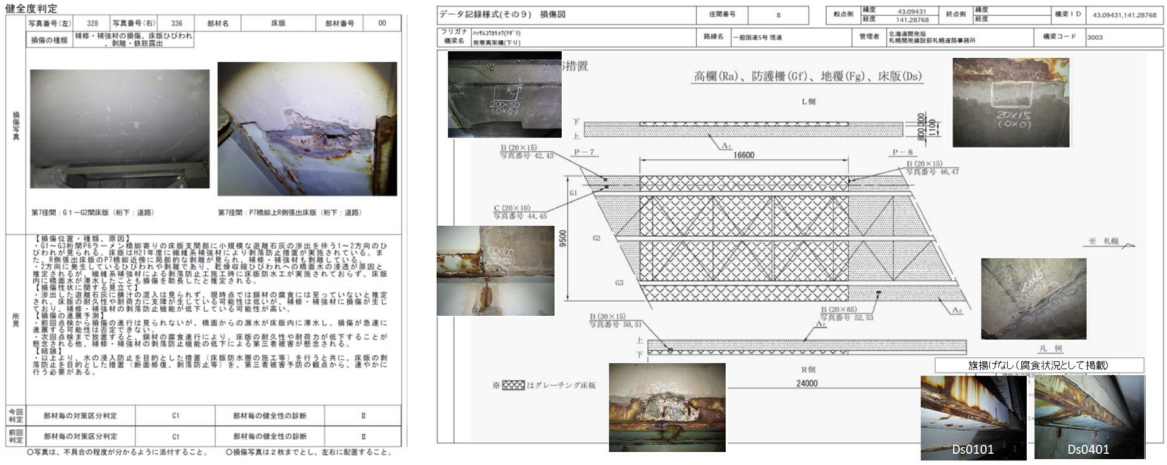


図 4.20　損傷事例とりまとめ様式

4.4.2　鋼部材に関する第三者被害予防措置留意点の整理

検討当初の点検要領は、「橋梁定期点検要領　平成 31 年 3 月」「橋梁における第三者被害予防措置要領　平成 28 年 12 月」である。これらの要領には、主に第三者被害に対し、コンクリート部材の落下に着目した留意点は記載されているものの、鋼部材やＩ型格子床版によりコンクリート面が全て被われた床版に対しては点検対象外となっていた。4.4.1 の損傷事例では、鋼部材やさび片の落下が鉄道敷地内に落下し、緊急点検を実施した経緯もあることから、点検時には腐食片などに着目し、脆弱部を確実に除去することが望ましい。そのため、鋼部材への第三者被害予防措置の留意点などをまとめ、点検要領を補完する資料を整理した。

その後、令和 6 年 7 月に橋梁定期点検要領が改訂され、第三者被害予防措置に鋼部材も含むこととなり、損傷事例も掲載された。そのため、現行要領に掲載されている図解や、事例写真を拡充し、鋼部材の点検時着目点をまとめることとした。

以下の 6 部材について、留意点を整理している。作業中であるが、一例を図 4.21 に示す。

①I 型格子（グレーチング）床版　②鋼板接着・鋼床版　③サンドイッチ床版

④対候性鋼材　⑤繊維シート補強　⑥その他（排水管等）

また、先の 4 事例で得られた留意点を写真とともにコメントとして記載し作成している。



図 4.21　鋼部材に関する第三者被害予防措置留意点の様式一例

4.4.3　点検支援技術に対するアンケート調査報告書作成に向けたとりまとめ

開発局管理橋梁において発生した第三者被害の恒久対策前の経過措置や、第三者被害そのものを未然に防ぐためのツールとして適用可能な非破壊検査技術、監視点検方法やモニタリング技術を予め選定し、使用しやすい環境を整えることを目的とする。

抽出元のデータベースとして、NETIS 等の新技術も網羅する点検支援技術性能カタログ（令和 6 年 4 月更新）を用いた。今回想定する使用方法に適合する可能性がある技術のフィルタリングを行い、抽出された技術に対して、アンケートやヒアリングを実施し、最終的に、北海道内の第三者被害予防措置に適用可能な技術を選定するため、アンケート送付先の技術を下記のように選定した。

アンケートを行う技術の選定方法は、適合する可能性がある「床版」「主桁」「下部工」といったキーワードにより技術の 1 次フィルタリングを行った。

下記の通り、非破壊検査技術 40 件、計測・モニタリング技術 29 件を抽出した。



アンケートの設問は次のとおりとした。

❶鋼構造及びコンクリートの第三者被害予防措置を対象として実施可能な技術

御社所有の技術は、第三者被害予防措置に適用可能な非破壊検査技術（事前のスクリーニング）モニタリング技術（恒久対策前の経過措置確認、不可視部）であるかご回答をお願いします。

❷適用可能な材料および部材種類

御社所有の技術項目を活用した調査を行う場合、その対象とする材料および部材種類について適用可否［選択］について、ご回答をお願いします。
部材：主桁・床版上面・床版下面・下部工
鋼部材可否・コンクリート部材（PC，RC）可否・その他（不可視部）※可否
※コンクリート部材で鋼鈑や繊維等で補修/補強された不可視部の確認。

❸第三者被害予防措置に活用可能な事例

第三者被害予防措置に活用可能な内容をご紹介願います。
※公開されている書籍や論文、HP上の技術資料等があれば記載をお願いします。

❹検査手法、設置方法（必要機械など）

非破壊検査時に用いる作業機械・足場の有無、モニタリング機器の設置時における作業機械・足場の有無について、「点検車（高所作業車）、吊足場、枠組足場、梯子、必要無し、その他」から回答の選択をお願いします。また備考欄に、採用する上での留意事項等の記載もお願いいたします。

❺使用する機器の利用条件

電源、設置に必要な空間、適用可能な気象条件（温度、湿度等）

❻適用事例や適用実績数（北海道の実績、積雪寒冷地での実績）

地域：北海道、積雪寒冷地(道外)、上記以外

❼必要な機材と保有機材数

本技術に用いる必要な主要機材と御社が保有している機材数について、ご回答をお願いします。

❽機器の利用形態（買取、レンタル、業務委託等）

当該機器を利用する場合の利用形態をご回答をお願いします。
買取、リース・レンタル、業務委託、その他

❾北海道内で使用する場合の留意事項（輸送など）

本技術を、北海道内で使用することは可能であるか回答をお願いします。
また、可能である場合は、その留意事項があれば記載してください。
また、不可能な場合は、その理由について回答をお願いします。

❿資料提供

技術資料をまとめる際に利用可能な下記データの提供をお願いいたします。
（守秘義務や著作権等で使用が不可能なもの以外で、ご提供いただけるものでかまいません）
なお、データは、返信メールに添付または利用可能なHPｱﾄﾞﾚｽ等で送付をお願いいたします。
・画像や動画ﾌｧｲﾙ
・実績等で提示できる事例の論文や報告資料
・実績等で提示できる機器設置例（図面、数量、報告書、工事費等）

⓫その他

その他情報がございましたらご記入ください。

アンケートの回答は次年度には最終結果が判明するが、今年度までの途中経過としては概ね以下の通りとなった。適用可能な技術に対し、今後ヒアリングを行う予定である。

❶鋼構造及びコンクリートの第三者被害予防措置を対象として実施可能な技術

御社所有の技術は、第三者被害予防措置に適用可能な非破壊検査技術（事前のスクリーニング）モニタリング技術（恒久対策前の経過措置確認、不可視部）であるかご回答をお願いします。

目　　的	可	否
非破壊検査技術（第三者被害予防措置の事前スクリーニング）	25	18
モニタリング技術（恒久対策前の経過措置確認、不可視部）	19	24

❷適用可能な材料および部材種類

御社所有の技術項目を活用した調査を行い場合、その対象とする材料および部材種類について適用可否［選択］について、ご回答をお願いします。

部材	鋼部材		コンクリート部材		**その他(不可視部)※**	
	可	否	可	否	**可**	否
主桁	21	22	27	16	**14**	29
床版上面	17	26	27	16	**13**	30
床版下面	20	23	26	17	**13**	30
下部工	19	24	26	17	**13**	30

※コンクリート部材で鋼鈑や繊維等で補修/補強された不可視部の確認

4.4.4　次年度に向けて

- 「不可視部を有する橋梁の点検・診断結果収集、分析」は、抽出した 147 橋について様式にまとめ、床版種別毎に損傷の傾向を分析する。また、資料収集した 4 橋の事例とともに分析を進める。
- 上記 147 橋から、現地部会に適した橋梁を選定する。
- 「鋼部材に関する第三者被害予防措置留意点の整理」は、作成した素案に対して追加・修正を行い、留意点をとりまとめる。
- 「第三者被害予防措置に適用可能な非破壊検査技術等の検討」は、実施したアンケート調査結果を分析し、令和 8 年度の検証に向けて適用可能な技術を抽出・整理する。また、令和 7 年度に改訂される点検支援技術性能カタログで追加された技術の確認とアンケートを実施する。