

建設コンサルタントから見た 橋梁維持管理の現状と課題

～設計者の視点による点検・調査・診断から
補修・補強設計、新技術活用まで～

令和8年6月22日

- ✓ 橋梁維持管理の現状
- ✓ 橋梁維持管理業務【点検～補修・補強】
- ✓ 橋梁点検業務の概要
点検方法、新技術の活用事例 など
- ✓ 橋梁補修・補強設計業務の概要
劣化機構の推定方法、中性化、塩害、アルカリシリカ
反応におけるコンクリート試験事例、補修工法事例
など
- ✓ 橋梁新設設計業務における配慮事項
道路橋示方書・同解説における耐久性能確保の概要
- ✓ 建コンからみた橋梁維持管理における課題

●道路橋の老朽化

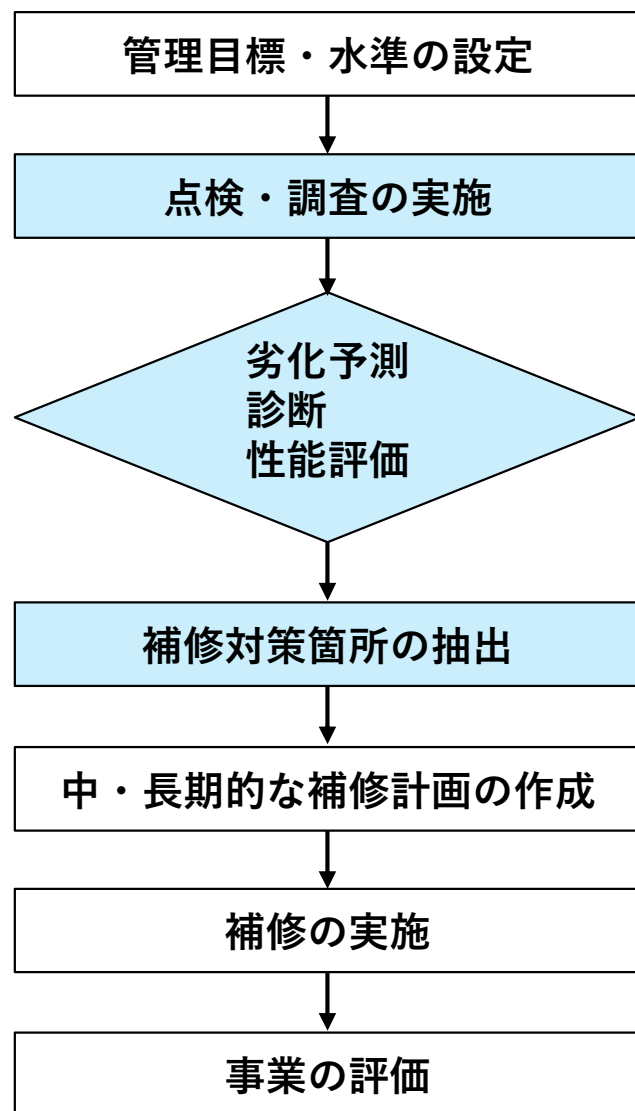
- ・道路橋は約70万橋。うち約50万橋を市町村が管理
- ・2022年時点で道路橋の約43%が築50年以上
- ・今後さらに加速度的に「築50年以上」が増加
- ・中国地方の橋梁において、健全性の判定区分がⅢ判定の橋梁数は約8%

道路管理者	全橋梁数	判定区分Ⅲの橋梁数
中国地方整備局	4,805	284（約6%）
中国5県	87,671	7,069（約8%）
全 国	724,259	52,864（約7%）

道路メンテナンス年報 2025年3月末時点

- ・コンクリート橋の**補修後の再劣化の特徴**は下記のとおり
 - P C橋に比べて、R C橋が多い
 - 「劣化原因は塩害」、「供用年数は60年以上」が多い

●アセットマネジメントについて



・・・維持管理計画

・・・点検業務

・・・補修・補強設計業務

・・・橋梁長寿命化修繕計画業務

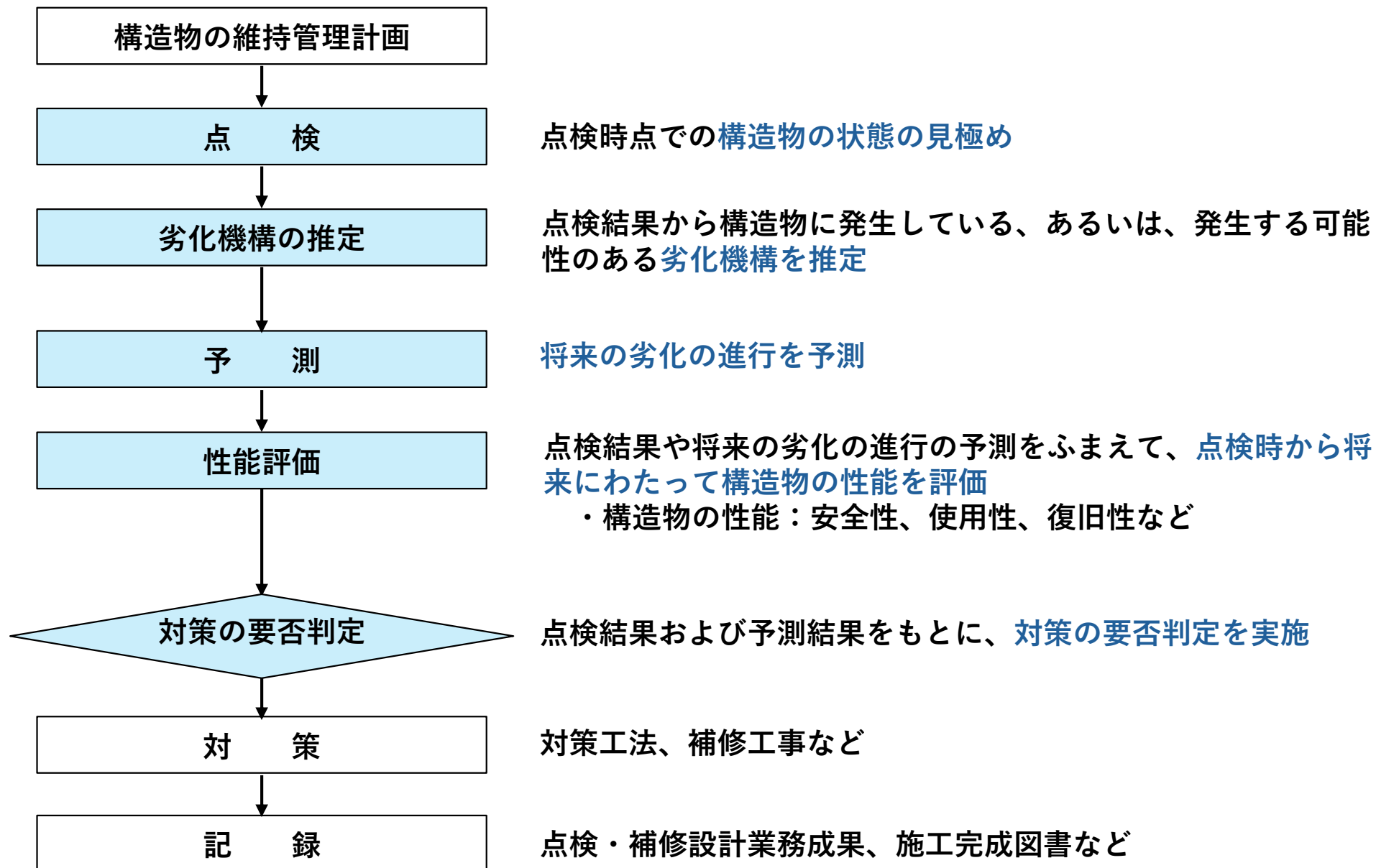
・・・補修工事

・・・維持管理計画の見直し

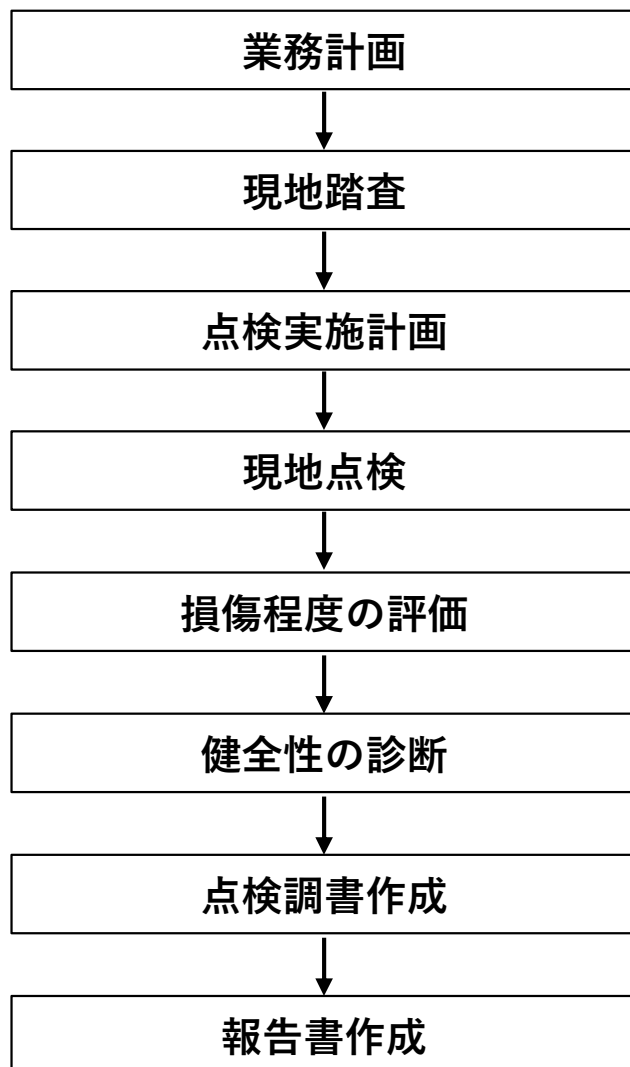
アセットマネジメントは、メンテナンスという維持管理の概念よりも積極的なアセット（社会インフラ）のライフサイクルにわたり、価値を創造していくという積極的な活動

出典）（一社）日本アセットマネジメント協会
ホームページ

●構造物の維持管理の手順



●橋梁点検業務の概要



対象施設の変状程度、交通状況、架橋条件等を確認。対象施設の諸元等の現地整合確認

点検方法、点検工程、実施体制、安全管理計画など所轄警察等との関係機関協議

橋梁点検車等による近接目視点検

最新の点検要領に基づき、損傷程度の評価を実施

最新の点検要領に基づき、健全性の診断の区分（Ⅰ～Ⅳ）の判定

最新の点検要領に基づき、点検調書（様式1～3）を作成
様式3は、健全性の診断の区分にあたって考慮される予防保全の必要性の観点や健全性の診断の前提条件及び**所見**を記録

点検業務の一般的な流れ

●点検の種類

種類	概要
定期点検	橋梁の損傷状況を把握し損傷の判定を行うために、頻度を定めて定期的に実施するもので、近接目視を基本としながら目的に応じて必要な点検機械・器具を用いて実施する詳細な点検をいう。 5年に1回の頻度 で実施する点検
通常点検	損傷の早期発見を図るために、道路の通常巡回として実施する点検
中間点検	定期点検を補うために、定期点検の中間年に実施する点検
特定点検	塩害等の特定の事象を対象に、予め頻度を定めて実施する点検
異常時点検	地震、台風、集中豪雨、豪雪等の災害や大きな事故が発生した場合、橋梁に予期していなかった異常が発見された場合などに行う点検

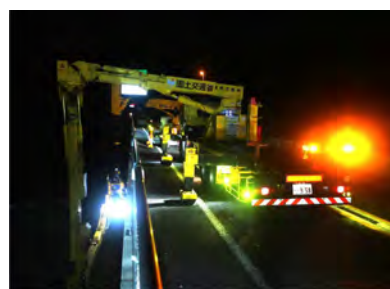
出典) 橋梁定期点検要領 令和6年7月 国土交通省 道路局 国道・技術課

●近接目視のための点検方法

点検方法	選定の目安
地上点検	桁下高が 2 m 未満。河川の場合は水位が 1 m 未満
梯子点検	桁下高が 2 m 以上 5 m 未満。河川の場合は水位が 1 m 未満
船上点検	桁下高が 5 m 未満で水位が 1 m 以上。水面から桁下までの高さは 2 m 未満
高所作業車点検	桁下高が 5 m 以上の跨道橋など
橋梁点検車点検	桁下高が 5 m 以上の渡河橋など
足場点検	桁下高が 5 m 以上で、リフト車や点検車が使用できない箇所



橋梁点検車BT200



橋梁点検車BT400



船点検



ドローン点検



ロープ高所作業

●健全性の診断の区分

健全性の診断の区分の決定にあたっては、道路橋を取り巻く状況も勘案して、道路橋が次回定期点検までに遭遇する状況を想定し、**どのような状態となる可能性があるのかを推定**するとともに、その場合に想定される道路機能への支障や第三者被害の恐れなども踏まえて、効率的な維持や修繕の観点から、次回定期点検までに行うことが望ましいと考えられる措置の内容を検討すること。

出典) 橋梁定期点検要領 令和6年3月 国土交通省 道路局 国道・技術課

●道路橋記録様式（様式1～様式3）

定期点検要領の改定の概要(記録様式の見直し)【橋梁】

国土交通省

改定 様式2様式3

診断項目	特定事象の有無 [有もしくは無]				
	橋梁部分 による被害	ASR	防食機能 の低下	洗滌	その他
上部構造	有	有	無	無	
下部構造		有	無	無	
上下部接続部	無	有	無	有	
その他					

※) 従来の「措置の考え方」にも大きく影響する特定事象について、該当の有無等の記録が残せるように欄を追加

※) 従来の「所見」として自由筆記または、記録としては残されていなかった

「所見」の自由筆記欄は従前通りただし、「性能の見立て」「特定事象」について別途記録欄があるため、主として「健全性の診断の区分」の決定根拠のみを記入できるため質の改善が期待される

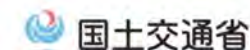
所見には、「健全性の診断の区分」の決定に大きく関わる技術的見解について、措置に対する考え方との関連性がわかるように記載する。

【一般的に所見に含まれるべき主な事項】

- ・性能の見立ての根拠となる点検で把握した状態
- ・**損傷の原因、進行の可能性の推定**
- ・想定する状況に対する構造安全性の推定
- ・**予防保全の必要性や長寿命化の実現などの観点から経年的劣化に対する評価**
- ・道路利用者への影響や第三者被害の発生等の可能性。
- ・措置の必要性に関する技術的観点からの見解
- ・措置の緊急性の有無
- ・性能の見立ての見込み違いの可能性など、詳細調査や追跡調査の必要性の有無

●道路橋記録様式（様式3）の所見の記載例

例



文例1) 上部構造(鋼橋)【構造安全性の観点】

- 上部構造について、主桁の桁端部に局所的な腐食が見られる。
(事実)
腐食による抵抗断面の減少により、主桁に作用する活荷重や地震の影響による鉛直、水平
(推定)
力に対して桁端部の局部座屈や破断が生じる可能性がある。
以上より、支点への荷重伝達が不能になる可能性があることから、次回定期点検までに耐荷性
(根拠) (切迫性) (措置の目的)
能の回復を行うべきである。
(方針)

※記載するときの注意点の例を示しているものであり、
ひな形、模範例のごとく扱わないこと。

出典) 状態の把握に関する参考資料【道路橋】

原因推定、劣化予測、措置の必要性などに関する技術的判断が必要

●定期点検の体制

定期点検は、健全性の診断の区分を適切に行うために必要な知識と技能を有する者による体制で行うこと。

●橋梁点検に必要な知識等

橋梁形式、部材の名称

RC橋、PC橋、鋼橋など。形式ごとの損傷の出やすい部位
主桁、床版、横桁、支承、伸縮装置、橋台、橋脚、基礎、伸縮装置など

損傷原因

塩害、中性化、凍害、ASR、疲労、かぶり不足などの初期欠陥など

点検技術者に必要な視点

- なぜこの損傷が起きたかを推定する
- 今すぐ危険か、経過観察かを見極める
- 補修が必要か、詳細調査が必要かを判断する材料を記録する

●橋梁補修設計に必要な知識等

構造力学の知識

損傷が耐荷力・使用性・耐久性にどう影響するか

劣化機構、補修・補強工法

塩害、中性化、ASRなど。ひびわれ注入、断面修復など、原因除去と再劣化防止

補修設計技術者に特に重要な視点

- どう直すかだけでなく、なぜその工法が最適かを説明できる
- 再発防止まで踏まえた工法選定（予防保全対策）
- 施工可能か、供用しながらできるか、施工計画の立案

橋梁点検における新技術の活用

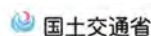
●直轄国道における点検支援技術の活用原則化

直轄国道における橋梁・トンネル・舗装の定期点検業務及び道路巡視の一部項目について、点検支援技術の活用を原則化し、**定期点検の高度化・効率化**を推進。

★活用を原則とする項目

- 1) 人による外観性状の記録が困難な場所での写真撮影・記録
- 2) 点検支援技術を用いた3次元写真記録
- 3) 機器等による損傷図作成
- 4) 水中部の河床、基礎、護床工等の位置計測
- 5) 斜面上に築造された下部構造本体及び斜面の点群データ取得（形状把握）
- 6) コンクリート構造の鋼材位置のコンクリート中に含まれる塩化物イオン量計測、又はかぶりコンクリート内の塩化物イオン量の深さ方向の把握（塩害の影響地域に位置する橋梁）

道路メンテナンス事業補助制度



制度概要 道路の点検結果を踏まえ策定される長寿命化修繕計画に基づき実施される道路メンテナンス事業に対し、計画的かつ集中的な支援を実施するもの

対象構造物 橋梁、トンネル、道路附属物等（横断歩道橋、シェッド、大型カルバート、門型標識）

対象事業 修繕、更新、撤去
※修繕、更新、撤去の計画的な実施にあたり必要となる点検、計画の策定及び更新を含む
※撤去は集約に伴う構造物の撤去や横断する道路施設等の安全の確保のための構造物の撤去、治水効果の高い橋梁の撤去を実施するもの
※新技術等の活用を検討を行い、費用の縮減や事業の効率化などに取り組むもの

追加要件（令和8年度） 長寿命化修繕計画に集約・撤去や新技術等の活用に関する短期的な数値目標及びそのコスト削減効果を記載

優先支援事業（令和8年度） ・新技術等を活用する事業※1
・『地域インフラ群再生戦略マネジメント』（広域連携・多分野連携）や包括的民間委託により実施する事業※2
※1 コスト削減や事業の効率化等を目的に新技術等を活用する事業のうち、試算などにより効果を明確にしている事業
※2 公表された実施方針に基づき実施する事業

事業イメージ
➢ 地方公共団体は、長寿命化修繕計画（個別施設計画）を策定
➢ 橋梁、トンネル、道路附属物等の個別施設毎に記載された計画に位置づけられた道路メンテナンス事業を支援

国庫率 国費：5.5/10×0（※：財政力指数に応じた引上率）

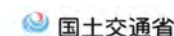
国庫債務負担行為の活用 国庫債務負担行為を可能とし、効率的な施工（発注）の実施と工事の標準化を図る

長寿命化修繕計画

橋梁	トンネル	道路附属物等
長寿命化修繕計画（個別施設計画） 【個別施設計画】	長寿命化修繕計画（個別施設計画） 【個別施設計画】	長寿命化修繕計画（個別施設計画） 【個別施設計画】
長寿命化修繕計画（個別施設計画） 【個別施設計画】	長寿命化修繕計画（個別施設計画） 【個別施設計画】	長寿命化修繕計画（個別施設計画） 【個別施設計画】

【橋梁】 【トンネル】 【道路附属物等】

道路メンテナンス事業補助制度における優先的な支援



背景・概要 今後の維持管理・更新費の増加や将来の人口減少が見込まれる中、老朽化が進行する道路施設に対応するためには、新技術等の活用、地域インフラ群再生戦略マネジメント※や包括的民間委託など効率的なメンテナンス事業の促進を図る必要があることから、道路メンテナンス事業補助制度において優先的な支援を実施。

優先支援① 「新技術等の活用促進」

優先支援対象 コスト縮減や事業の効率化等を目的に新技術等を活用する事業のうち、試算などにより効果を明確にしている事業

従来 近接・野帳の記入が必要
ポートによる近接目標

新技術 近接・野帳の記入が不要
直接ロボットカメラによる写真撮影

※「点検支援技術能力カタログ」に掲載されている技術等の活用

効果の試算

従来技術	新技術
コストの比較	コストの比較
施工期間の比較	施工期間の比較

・点検ロボットカメラによる写真撮影と画像処理による損傷図作成
・橋上や地上から損傷の把握が可視化され、損傷状況スケッチ・野帳への記入、損傷図作成に係るコストや施工期間の削減、安全性の向上が図られる

優先支援② 「群マネ※や包括的民間委託の促進」

優先支援対象 公表された実施方針に基づき、群マネ（広域連携・多分野連携）や包括的民間委託（道路分野・単独自治体）により実施する事業

群マネ（広域連携・多分野連携）イメージ

広域連携の群マネ 市町村間連携による「連携連携」により、自治体の枠を超えてマネジメント

多分野連携の群マネ 道路や河川、公園、下水道など、インフラ分野の枠を超えてマネジメント

包括的民間委託（道路分野・単独自治体）イメージ

A市 点検 維持作業 点検 補修工事

道路メンテナンス事業補助制度充当範囲

※『地域インフラ群再生戦略マネジメント』（通称：群マネ）とは、複数自治体のインフラや複数分野のインフラを（群）として捉え、効率的・効果的にマネジメントを行う考え方

●技術数

- ・平成31年 2 月に定期点検要領改訂とあわせて、点検に活用可能な16技術を点検支援性能カタログ（案）として整理
- ・令和 3 年10月時点で131技術
- ・令和 4 年度から活用を原則化
- ・令和 8 年 3 月時点で307技術（下表）

対象施設	橋梁	トンネル
画像計測技術	91	40
非破壊検査技術	48	25
計測・モデリング技術	76	22
データ収集・通信技術	5	

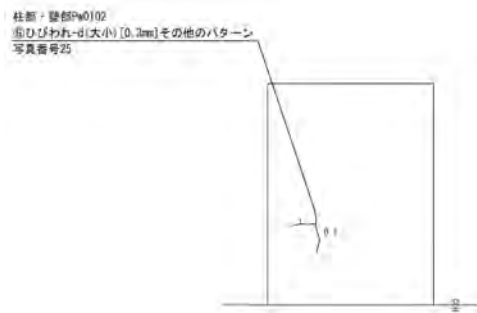
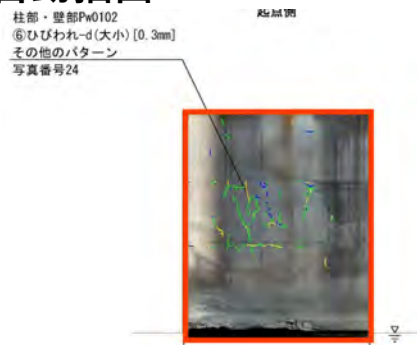
●活用事例紹介【画像計測技術】

- ①点検ドローン＋A I による損傷自動抽出
- ②点検ドローン
- ③無人ボートによる深浅測量
- ④点検ドローン＋A I による損傷自動抽出【3次元モデル作成】

●活用例①点検ドローン＋AIによる損傷自動抽出

- ・ 橋梁形式：鋼連続鈑桁橋
- ・ 対象部位：主桁等、橋脚等



項目	従来技術（中型点検車）	点検支援技術（ドローン）
外業		
内業 （損傷図）	スケッチ（人力） 	AI自動抽出 
交通規制日数	2日（通行止）	規制なし
点検費用	約190万円（1.00）	約270万円（ 1.42 ）
評価	点検費用は増加、点検支援技術活用による損傷図の高度化、交通規制日数削減による 安全性向上	

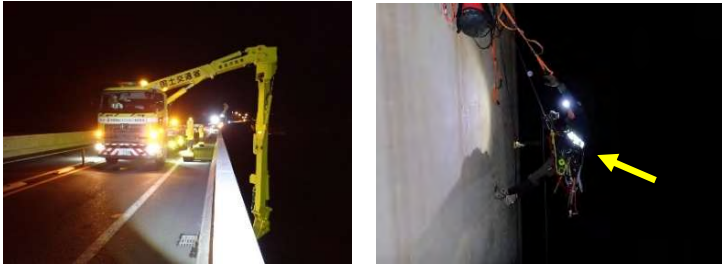


全方向衝突回避センサー付
サイズ：手のひら

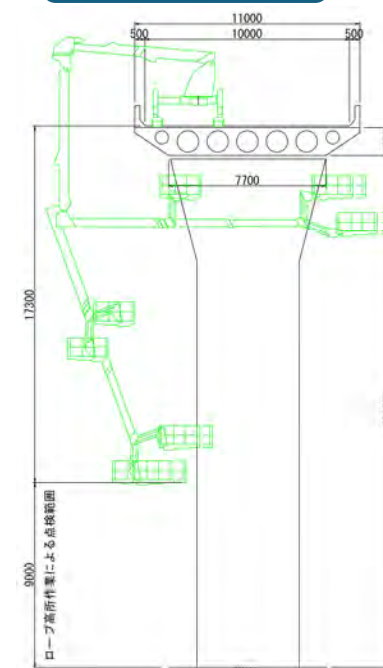
【参考】経済性
大型点検車(リース)との比較事例
従来技術：約230万円
点検支援：約130万円
約45%の縮減

●活用例②点検ドローン

- ・ 橋梁形式：多径間P C プレテン中空床版橋
- ・ 対象部位：主桁等、橋脚等

項目	従来技術（大型点検車＋ロープ高所）	点検支援技術（ドローン）
外業		
内業	野帳及び写真整理	ドローンで取得した写真からオルソ画像を生成、ひびわれ解析し、損傷を抽出
交通規制	あり	なし
点検費用	約530万円（1.43）	約370万円（ 1.00 ）
現地工程	2日	5日
評価	点検費用は約40%削減、現地点検数は増加するが、交通規制日数削減による安全性向上、損傷進行を定量的かつ正確に把握可能となる	

従来技術



ドローン



自動衝突回避
サイズ：810×670mm

【ドローンの概要】

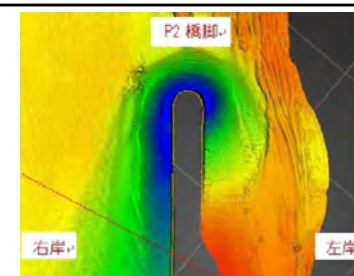
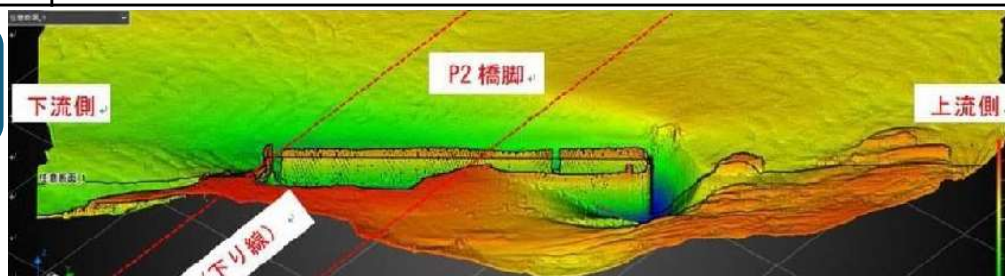
ドローンに搭載されたデジタルカメラで撮影した部材表面のデジタルカラー画像に基づき、状態の記録を行う技術。撮影した写真データからオルソモザイク画像を生成し、画像解析を行うことで損傷図（ひびわれ等）を作成。

●活用例③無人ボートによる深浅測量

- ・ 橋梁形式：鋼連続鈑桁橋
- ・ 対象部位：橋脚（洗掘）

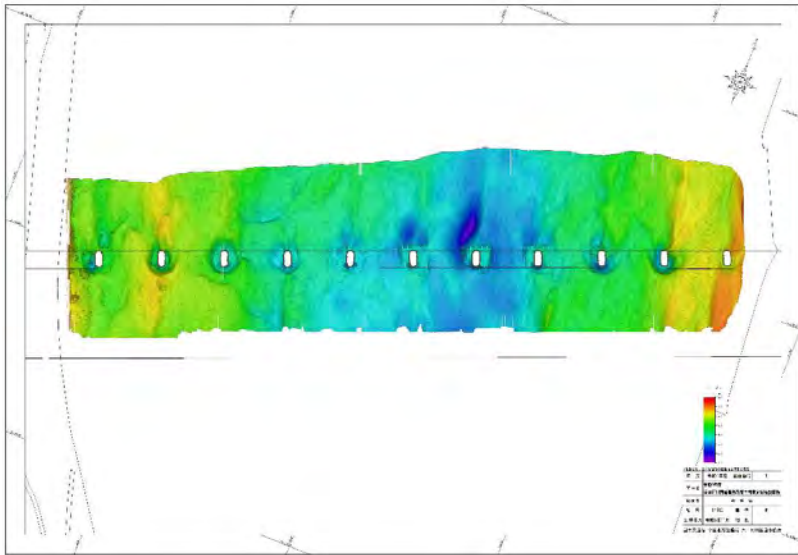
項目	従来技術（潜水土）	点検支援技術（無人ボート）
外業		
内業	スケッチ（人力）	3Dモデルの作成
安全性	潜水作業	無人ボートの遠隔操作
点検費用	約60万円	約60万円
現地工程	2日	1日
評価	点検費用はほぼ同額、3次元で洗掘状況を広範囲に把握でき高度化 潜水作業がなく、作業効率化、安全性向上	

ソナー
計測図

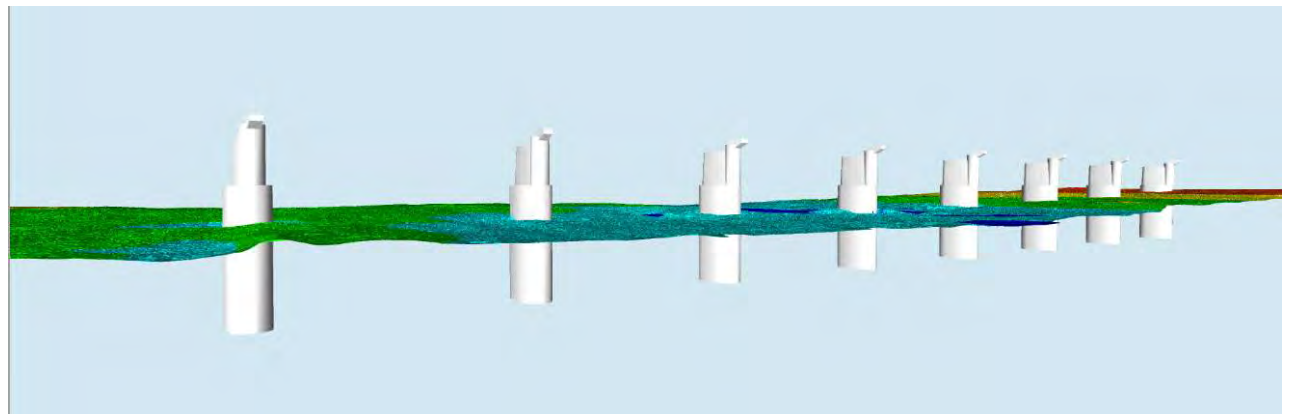
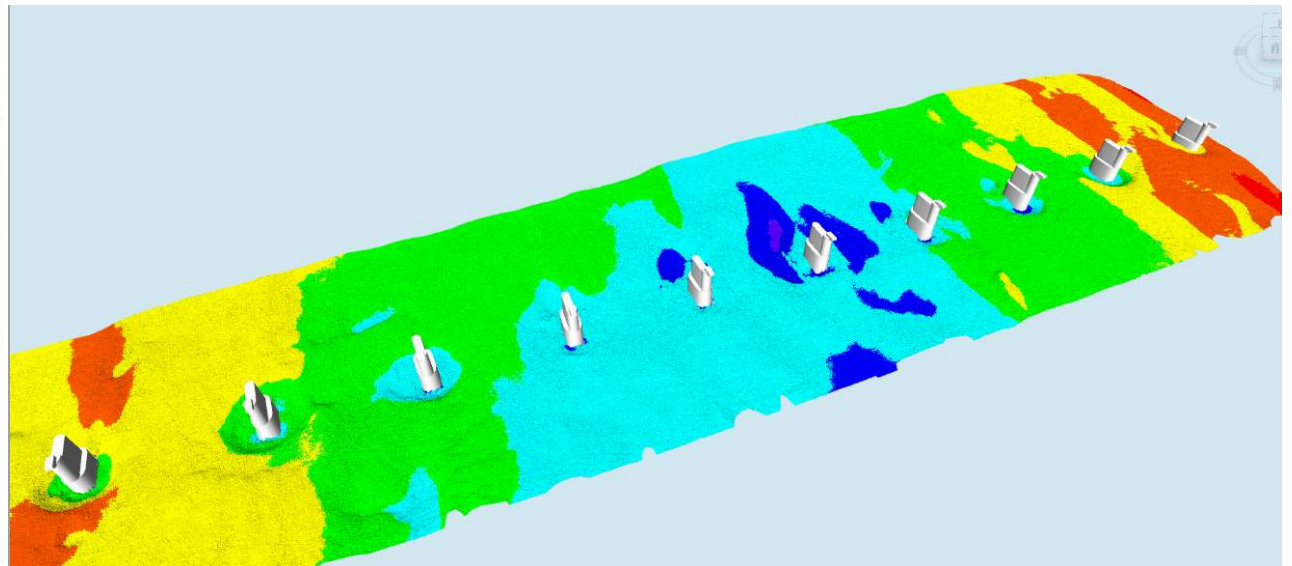


●活用例③無人ボートによる深浅測量（3次元モデル作成事例）

ソナー計測図



3Dモデル図



●活用例④点検ドローン＋AIによる損傷自動抽出【3次元モデル作成】

- ・ 橋梁形式：P C 方杖ラーメン橋
- ・ 対象部位：全体

従来技術：大型点検車



点検支援技術：ドローン＋AIによる損傷自動抽出



【SfM解析による3次元モデルの作成】

- ・ SfM(Structure from Motion)解析とは、異なる視点から撮影した複数の画像から3次元形状を自動復元する技術
- ・ 画像間の位置関係と特徴点を解析し、高密度な3次元点群を生成
- ・ 点群をもとに橋梁形状を忠実に再現した3次元モデルの構築が可能



約1000枚



●活用例④点検ドローン＋AIによる損傷自動抽出【3次元モデル作成】

【3次元モデルによる損傷の把握】



■ 技術面での進化・展開

- ・ AIによる損傷検出の精度向上（ひびわれ・剥離等の判別強化）
- ・ 経年変化を追跡するための「劣化進行モニタリング機能」の実装

■ 運用面での進化

- ・ 点検から報告書作成までのプロセスを完全自動化、作業時間・コストの削減

■ 技術面の課題

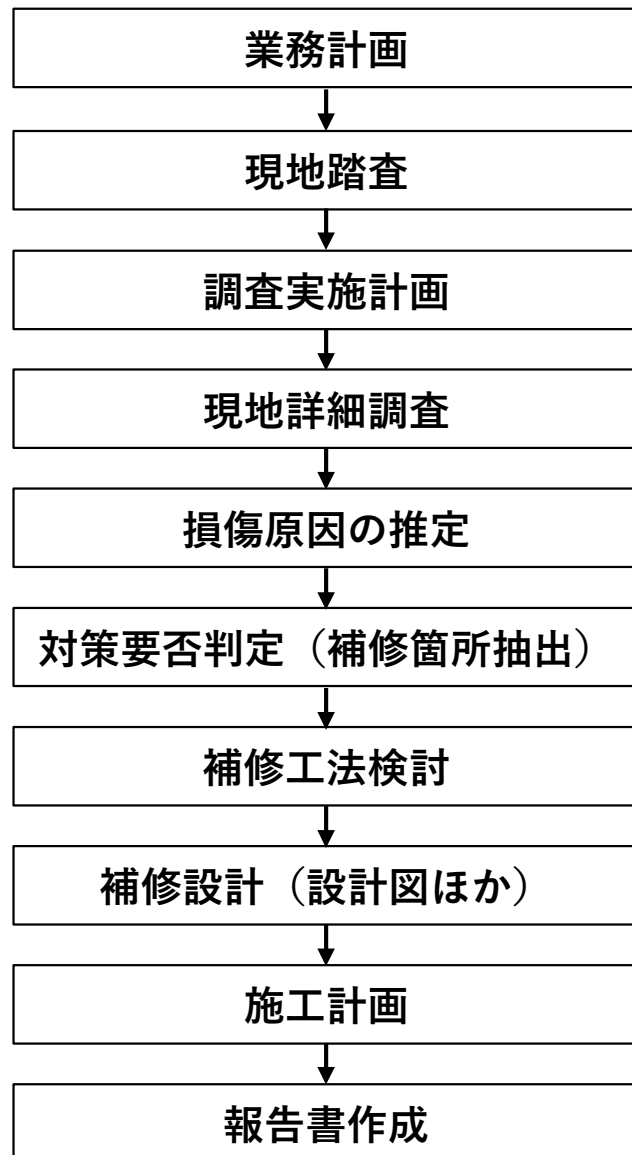
- ・ 材質や光の当たり方によって認識精度が左右される場面がある

■ 運用・業務面の課題

3次元モデルに属性情報（材料、寸法、経年劣化履歴など）を付加したBIM/CIMとの連携

- ・ 生成されたモデル上で、損傷の位置と寸法を正確に確認可能
- ・ 例）幅30cmの剥離や鉄筋露出が3次元モデル上で一目で把握可能

●橋梁補修・補強設計業務の概要



対象施設の変状程度、交通状況、架橋条件等を確認。対象施設の諸元等の現地整合確認

調査方法、調査工程、実施体制、安全管理計画など
所轄警察等との関係機関協議

外観変状、コンクリート試験等の詳細調査

現地詳細調査結果を踏まえて、劣化機構及び損傷原因を推定

劣化及び進行性予測、構造物の性能及び健全度の評価を踏まえて、補修の要否等を判定する。

調査結果等に基づき、構造特性、施工性、経済性及び維持管理性などの総合的な観点から補修工法を選定

設計図、数量計算

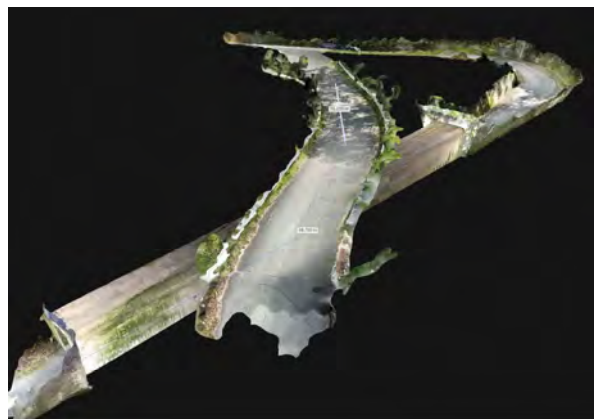
交差条件、河川渡河条件を踏まえて、施工方法、工程、搬入計画等の施工計画書を作成

● 3Dスキャナによるボックスカルバートの土被り確認



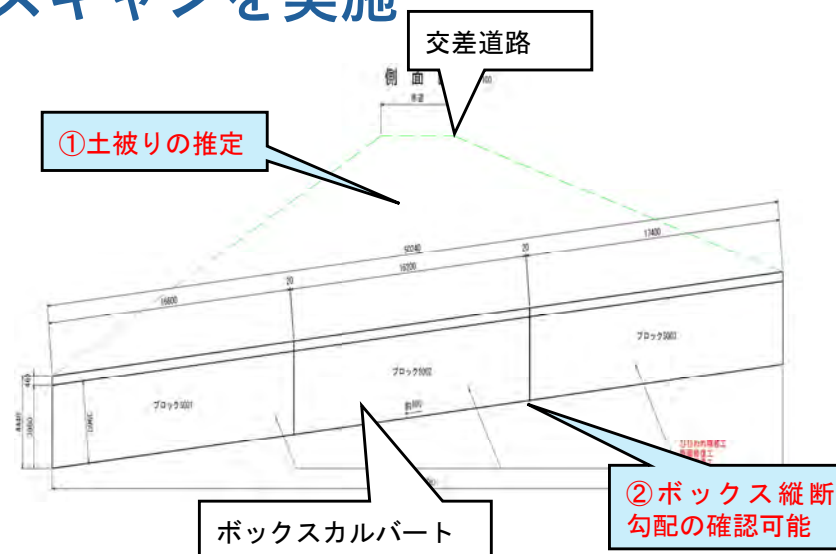
- ・ 頂版に多くのひびわれが確認された
- ・ 損傷原因として、塩害等の劣化のほかに、外力（土被り厚）が考えられた
- ・ 土被り厚の計測方法として、3Dスキャナを活用

● iPhoneのLiDARセンサーを利用した3Dスキャンを実施



交差道路

ボックスカルバート



- ・ 補修設計における計測精度は確保可能
- ・ 測量しなくても容易に確認可能
- ・ 作業時間は1時間程度（距離が長い）

●劣化機構の推定方法

- ①環境条件や使用条件等から決まる作用についての調査結果
- ②構造物の設計や施工の状況等の情報
- ③構造物内部の劣化指標に関する情報

【作用】

・構造物または部材に
応力や変形の増減、材
料特性に継時変化をも
たらす全ての働き

①環境条件や使用条件等から決まる作用についての調査結果

環境・作用		推定される劣化機構
環境	海岸地域	塩害、化学的侵食
	寒冷地域	凍害、塩害
	温泉地域	化学的侵食
作用	水掛かり（乾湿繰返し）	アルカリシリカ反応、塩害、凍害、中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食
	凍結防止剤使用	塩害、アルカリシリカ反応
	繰返し荷重	疲労、すりへり
	二酸化炭素	中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食
	酸性水	化学的侵食
	流水、車両等	すりへり

② 構造物の設計や施工の状況等の情報

○反応性骨材の使用 ⇒ アルカリシリカ反応
・ 1986年に抑制対策

○海砂の除塩 ⇒ 塩害
・ 河川骨材の少ない瀬戸内海、九州周辺、沖縄などの地区で、昭和35年頃から海砂の採取
・ 1986年に塩化物イオンの総量規制

○コンクリートの締固めや養生等に関する不適切な施工

③ コンクリート試験の実施

・ 塩分量の調査など

●劣化機構と要因、特徴及び指標

中性化そのものが劣化ではなく**中性化することに加えて水の存在が劣化（鋼材腐食）を進行させていることを明確化**

劣化機構	劣化要因	特徴	劣化指標の例
中性化と水分浸透による鋼材腐食	二酸化炭素 水掛かり＊	二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応を起こし、細孔溶液中のpHを低下させ、さらに水分が供給されることによって鋼材が発錆し、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材の断面減少を引き起こす。	中性化深さ 鋼材腐食量 腐食ひび割れ
塩 害	塩化物イオン	コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンにより促進され、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材の断面減少を引き起こす。	塩化物イオン濃度 鋼材腐食量 腐食ひび割れ
凍 害	凍結融解作用	コンクリート中の水分が凍結と融解を繰り返すことによって、コンクリート表面からスケーリング、微細ひび割れおよびポップアウト等の形で劣化する。	スケーリング深さ 鋼材腐食量
化学的侵食	酸性物質 硫酸イオン	酸性物質や硫酸イオンとの接触によりコンクリート硬化体が分解したり、化合物生成時の膨張圧によってコンクリートが劣化する。	劣化因子の浸透深さ 中性化深さ 鋼材腐食量
アルカリシリカ反応	反応性骨材	骨材中に含まれる反応性を有するシリカ鉱物等がコンクリート中のアルカリ性水溶液と反応して、コンクリートに異常膨張やひび割れを発生させる。	膨張量 ゲル滲出を伴うひび割れ
疲労 (道路橋床版)	大型車通行量	道路橋の鉄筋コンクリート床版が輪荷重の繰返し作用によりひび割れや陥没を生じる。	ひび割れ密度 たわみ
すりへり	摩 耗	流水や車輪等の摩耗作業によってコンクリートの断面が時間とともに徐々に失われていく。	すりへり量 すりへり速度

作用の種類と劣化機能の関係

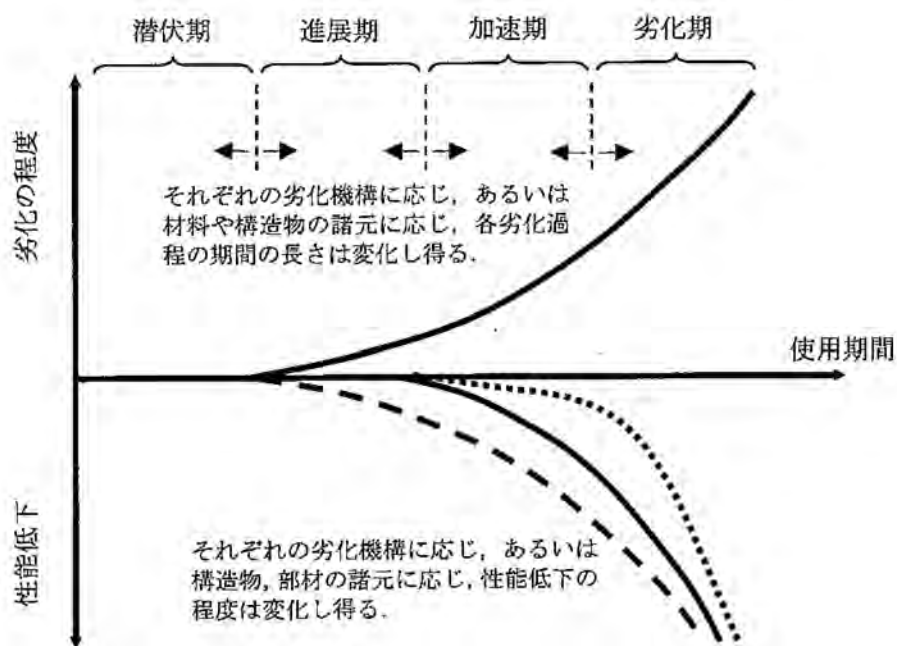
●作用の種類と劣化、劣化機構との関係の例

作用の種類 劣化、劣化機構		水 (水蒸気)	乾燥・ 乾湿繰返し	温度	二酸化 炭素	塩化物 イオン	酸素	化学 物質	繰返し 荷重	摩耗 作用
鋼材の腐食	コンクリートの中性化	○	○	○	◎			○		
	コンクリートへの水分 浸透	◎	○	○						
	コンクリートへの 塩化物イオンの浸透	○		○		◎				
	鋼材の腐食	◎		○			◎	○		
コンクリートの劣化	凍害	○	○	◎		○				
	化学的侵食	○		○				◎		
	アルカリシリカ反応	○		○		○				
	疲労	○							◎	
	すりへり	○								◎

出典) 2022年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]

●外観上のグレードと劣化の状態

外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食開始前
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食が開始
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの伸展とともに剥離・剥落が見られる。鋼材の断面欠損は生じてない
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れとともに剥離・剥落が見られる。鋼材の断面欠損が生じている

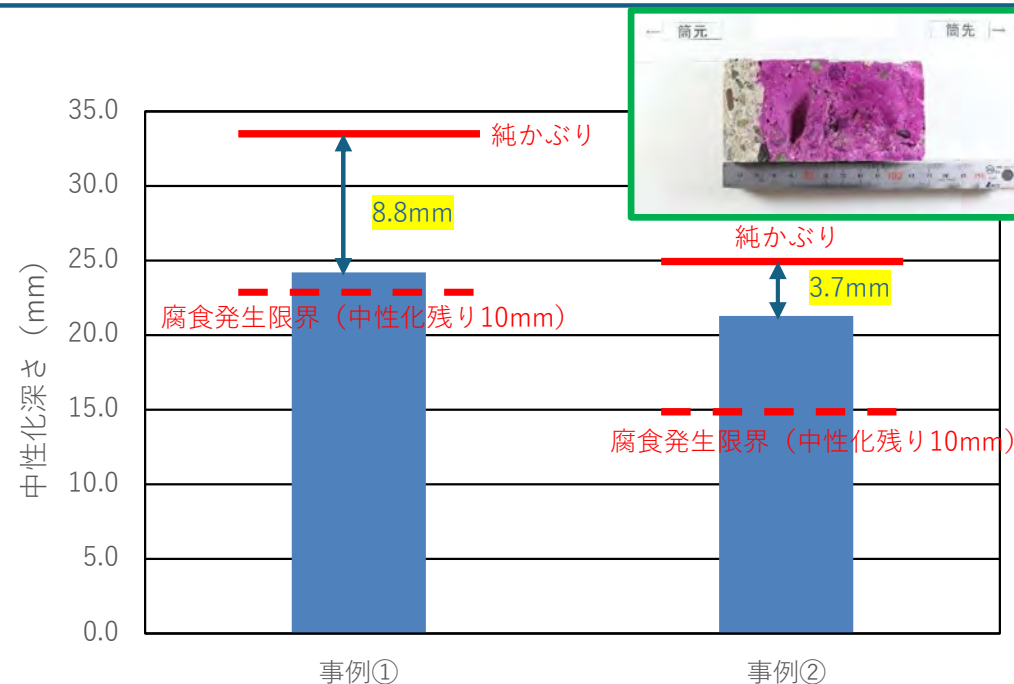


出典) 2022年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]

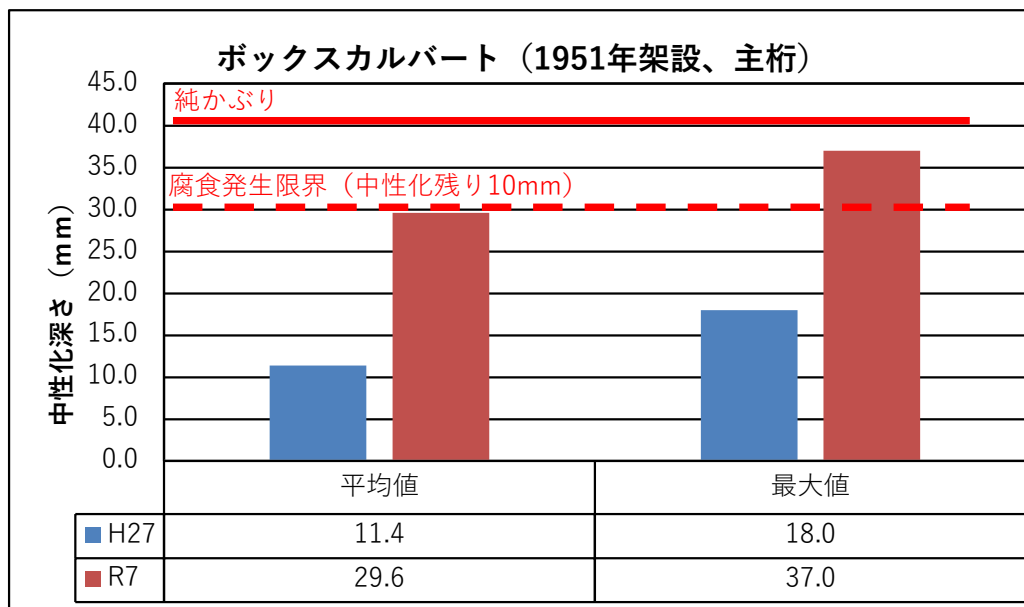
中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食

●中性化深さ試験事例（試験詳細は省略）

項目	単位	事例①	事例②
架設年	年	1936	1969
試験年	年	2016	2024
経過年数	年	80	55
純かぶり	mm	33	25
中性化深さ	mm	24.2	21.3
中性化速度係数	—	2.706	2.872
中性化残り	mm	8.8	3.7



●中性化深さ試験を2回実施した事例



項目	単位	数値	予測値	実測値
平均中性化深さ	mm	11.4	—	18.0
鉄筋の純かぶり	mm	41	—	—
中性化残り	mm	29.6	—	—
架設年数	年	1951	1951	—
試験年	年	2015	2025	—
経過年数	年	64	74	—
中性化速度係数	—	1.425	1.425	—
中性化残り予測値	mm	—	12.3	—

●腐食発生限界

一般的な水掛かり環境下では、中性化残り10mmを目安

●同一構造物でも測定箇所によって中性化深さや中性化速度係数が大きく異なる場合がある。

●中性化の進行予測

- ① $\sqrt{t}$ 則
- ② 促進試験の利用
- ③ 物理化学的モデルの利用

●鋼材腐食の進行予測

- ① 点検結果で得られた腐食量に基づく方法
- ② 鋼材の腐食速度に基づく方法
- ③ 点検結果に基づいてモデルにより予測する方法

●腐食ひびわれの発生予測

鋼材の腐食によるコンクリートのひびわれの発生予測

⇒ 進展期末に相当する腐食ひびわれ発生までを維持管理限界とする場合の予測

- ① 腐食量から判定する方法
- ② 力学モデルを用いる方法

●剥離・剥落の発生予測

腐食ひびわれ発生後から剥離・剥落の発生するまでの期間の予測

⇒ 加速期前期末に相当するかぶりの剥離・剥落までを維持管理限界とする場合の予測

- ① 腐食量から判定する方法
- ② 力学モデルを用いる方法

●中性化の進行予測

中性化深さ試験結果に基づいて、 $\sqrt{t}$ 則による中性化の進行予測結果

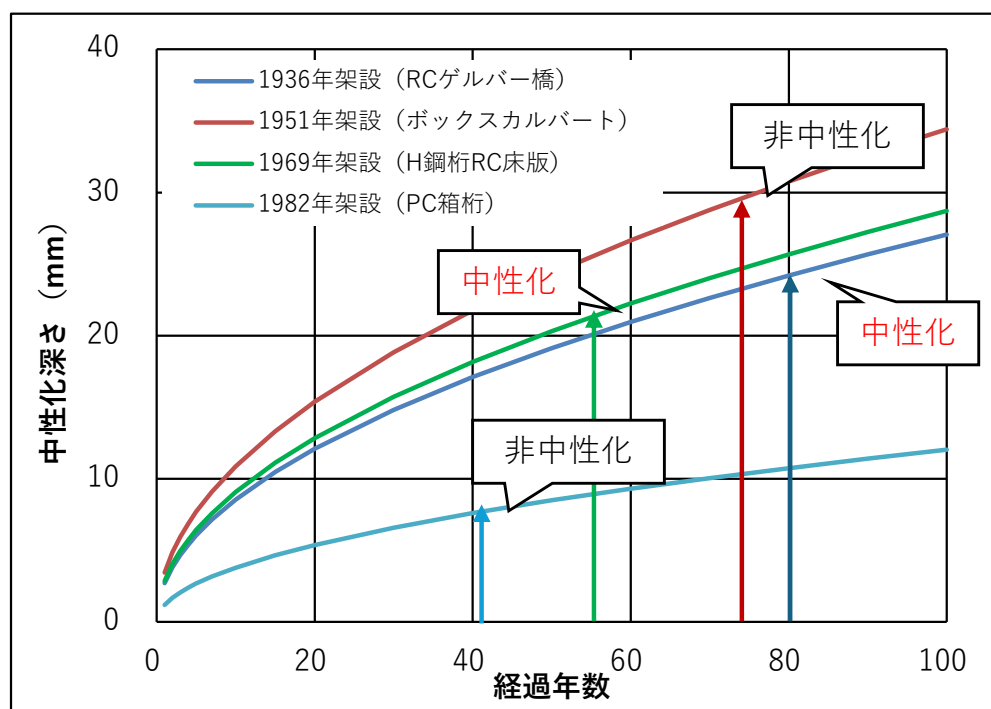
項目	単位	試験結果			
橋梁形式	—	RCゲルバー橋	ボックスカルバート	H鋼桁RC床版	PC箱桁
架設年	年	1936	1951	1969	1982
試験年	年	2016	2025	2024	2023
経過年数	年	80	74	55	41
純かぶり	mm	33	41	25	46
中性化深さ	mm	24.2	29.6	21.3	7.7
中性化速度係数	—	2.706	3.441	2.872	1.203
中性化残り	mm	8.8	11.4	3.7	38.3
判定	—	中性化	非中性化	中性化	非中性化

$$y = b\sqrt{t}$$

ここに、 y : 中性化深さ (mm)

t : 中性化期間 (年)

b : 中性化速度係数 (mm/ $\sqrt{\text{年}}$)



中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食は、密実でないコンクリートが使用され、適切なかぶりが確保されていない構造物の乾湿繰返しを受けやすい場所で問題になることが多い。

●鋼材腐食の進行予測

従来の $\sqrt{t}$ 則での中性化による進行のみでは、鋼材腐食が生じにくい乾燥した環境下で鋼材腐食が早期に生じるとの予測結果になり、実務上の課題

⇒水の浸透を考慮した鋼材腐食の予測式

$$s_t = \sum_{i=1}^t (s_{1-time} \cdot N_w) \quad (t \leq t_{cr})$$

s_t : 供用期間 t (年) における鋼材腐食深さ (mm)

s_{1-time} : 鋼材位置への水の到達 1 回あたりの鋼材腐食深さ (mm)

$$s_{1-time} = F_w \cdot (s_a + I \cdot s_b)$$

水の作用の影響

中性化の影響

N_w : 鋼材位置への水の年間到達回数.

F_w : 水の局所的な作用環境を表す係数.

I : 鋼材の不動態被膜の状態を表す指標.

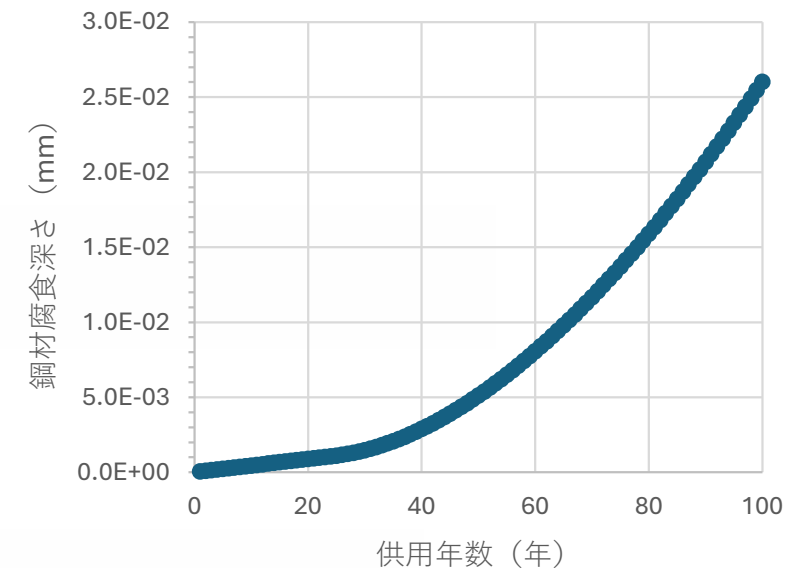
$$I = \frac{\alpha \sqrt{t} - D_N}{D_I}$$

α : 中性化速度係数 (mm/ $\sqrt{\text{年}}$)

t : 供用期間 (年)

●鋼材腐食の進行予測【試算結果】

かぶり: 35mm
中性化速度係数: 3



●腐食ひびわれの発生予測：鋼材の腐食によるコンクリートのひびわれの発生予測

$$s_{crlim} = 13 \cdot (c / \phi) \cdot 10^{-3}$$

ここに、 s_{crlim} ：腐食ひび割れ発生限界腐食深さ (mm)

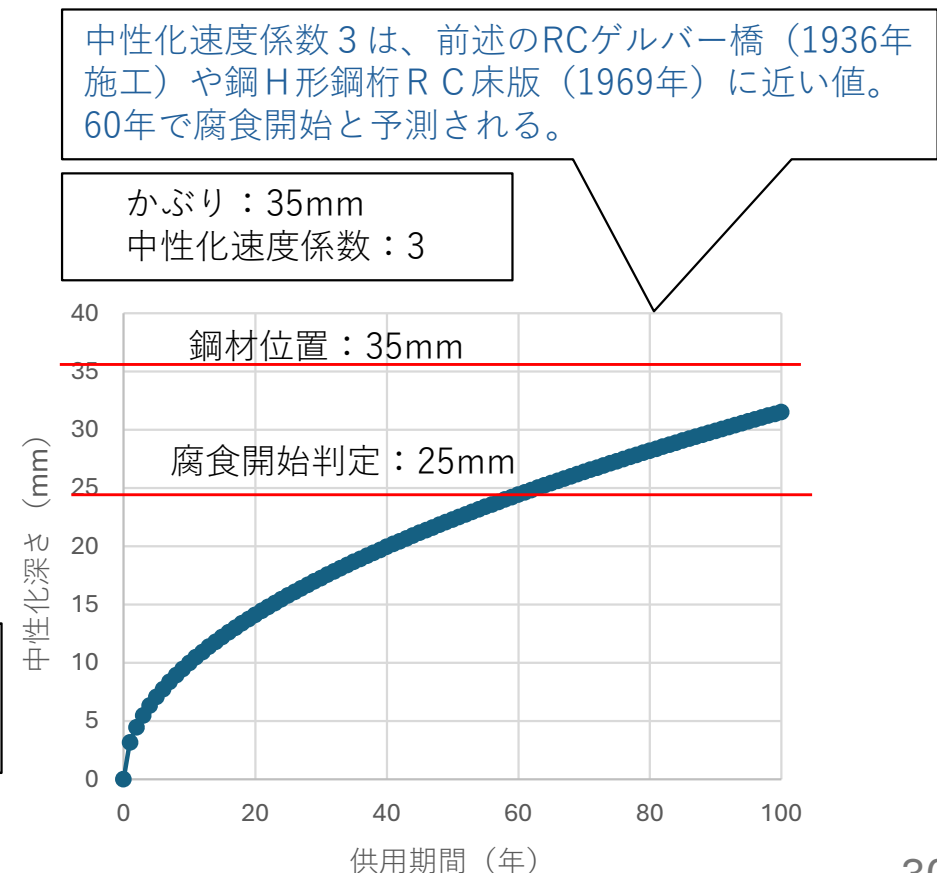
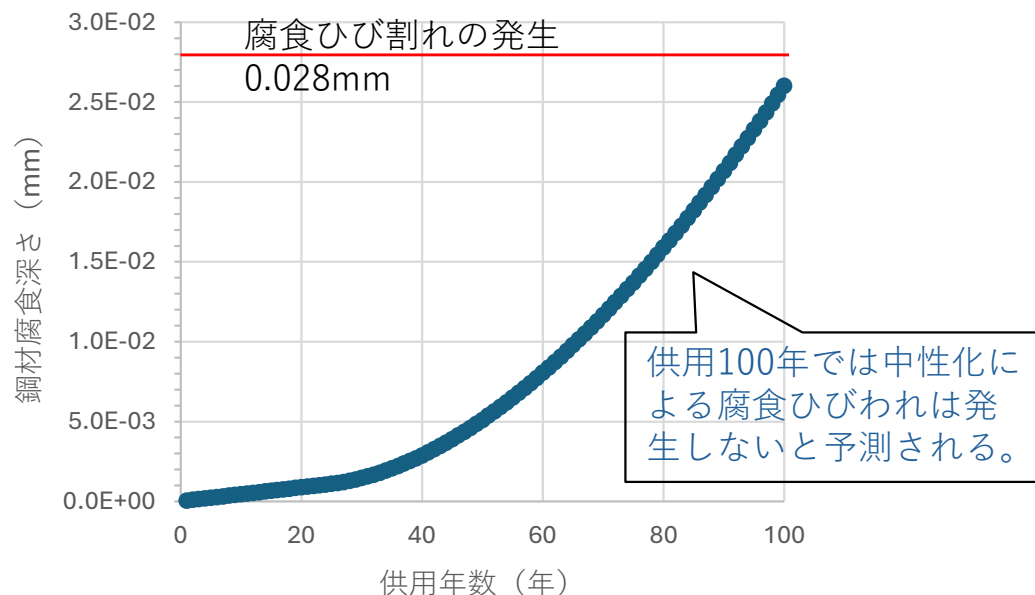
かぶり c : 35mm
鉄筋径 ϕ : D16 $13 \cdot (35/16) \cdot 10^{-3} = \mathbf{0.028mm}$

●剥離・剥落の発生予測：腐食ひびわれ発生後から剥離・剥落の発生するまでの期間の予測

$$s_{splim} = 56 \cdot (c / \phi) \cdot 10^{-3}$$

ここに、 s_{splim} ：剥離・剥落発生限界腐食深さ (mm)

かぶり c : 35mm
鉄筋径 ϕ : D16 $56 \cdot (35/16) \cdot 10^{-3} = \mathbf{0.1225mm}$



●外観上のグレードと標準的な工法の例

外観上のグレード	劣化過程	工法例	
		耐力, じん性, 変形, 振動	剥離, 剥落
グレードⅠ	潜伏期	表面処理＊（剥落防止＊を含む）, 水処理	
グレードⅡ	進展期	表面処理（剥落防止を含む）, 【断面修復】, 再アルカリ化	
グレードⅢ-1	加速期前期	【電気防食】, 再アルカリ化, 断面修復	表面被覆（主に, 剥落防止）
グレードⅢ-2	加速期後期	断面修復	表面被覆（主に, 剥落防止）
グレードⅣ	劣化期	断面修復, 【鋼板・FRP接着, 巻立て, 増厚】	表面被覆（主に, 剥落防止）, 【鋼板・FRP接着】

＊：予防的に実施される工法

【 】：鋼材腐食速度が大きい場合, 腐食量が大きい場合に選定する

※：全ての劣化過程において, 水処理を併用することは鋼材腐食の進行を抑制するために有効である

出典) 2022年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕

●補修工法 ： 表面含浸工法

【表面含浸工法に期待される性能と適用効果】

期待される性能	シラン系	けい酸塩系	
		けい酸リチウム系	けい酸ナトリウム系
中性化抑制	△	△	○
塩化物イオンの侵入抑制	○	－	○
凍結融解抵抗性	△	－	△
化学的侵食抑制	－	－	－
アルカリ骨材反応抑制	△	△	－

出典) 表面保護工法 設計施工指針 (案)

種類	主作用	水の侵入抑制	二酸化炭素の侵入抑制	抑制効果		
				中性化	塩害	A S R
シラン系	撥水化	大	小	小	大	中～大
シロキサン系	撥水化	大	小～中	小～中	大	中～大
けい酸塩系	緻密化・改質	小～中	中～大	中～大	中	中
シラン系＋けい酸塩系ハイブリッド	撥水化＋緻密化	大	中～大	中～大	大	大

●補修工法 ： 表面含浸工法

中性化の潜伏期（鋼材未腐食段階）では、CO₂侵入を物理的に遮断する**けい酸塩系**（緻密化）が予防保全の観点で最も合理的である

【けい酸塩系コンクリート表面含浸材 主な製品・工法一覧】

主成分	製品名	主な効果	建設物価等	工法の特徴・留意点
けい酸塩系	CS-21ネオ	表層緻密化・中性化抑制・塩害抑制・凍害抑制	○	新設コンクリート構造物向けのけい酸塩系表面含浸材。1回塗布・散水不要とされ、施工性に配慮されたタイプ。
	CS-21ビルダー	表層緻密化・中性化抑制・既設構造物の耐久性向上	○	既設コンクリート向けの2液混合型。別工程塗布や散水養生の省略を特徴とする資料がある。
	L-OSMO反応型SG	表層緻密化・吸水抑制・中性化抑制・耐久性向上	○	新設・既設の双方に適用を想定した総合型。L-OSMOシリーズの基幹的な位置づけの製品。
	L-OSMO反応型XP	表層緻密化・吸水抑制・中性化抑制・耐久性向上	○	新設特化型で2回塗り仕様。表層緻密化性能を高めたタイプ
	L-OSMO固化型KK	表層緻密化・吸水抑制・中性化抑制・ひび割れ閉塞補助	○	既設コンクリート向けの固化型けい酸リチウム系。中性化が進行したコンクリートにも適用しやすく、表層緻密化と微細ひび割れ閉塞補助が期待される。
	RCGインナーシリカ	表層緻密化・吸水抑制・中性化抑制	○	けい酸塩反応によりコンクリート表層の緻密化を図るタイプ。表層品質向上による耐久性向上が期待される。
	RCガーデックス土木用	表層緻密化・吸水抑制・中性化抑制・耐久性向上	○	けい酸塩系表面含浸材の代表的製品群の一つ。表層改質により中性化・塩害等への抵抗性向上が期待される。
ナトリウムシリケート・カリウムシリケート主成分	スーパーシールド	中性化抑制・塩害抑制・凍害抑制・鉄筋腐食抑制・ASR抑制・防水/止水	NETIS	多機能型のけい酸塩系表面含浸材。橋梁、橋脚・橋台、ダム、トンネル孔壁などへの適用例が示される。

●補修工法 ： 表面含浸工法

【その他コンクリート表面含浸材 主な製品・工法一覧】

分類	製品名	主な効果	建設物価等	工法の特徴・留意点
けい酸リチウム＋シラン混合型	コンクリートキーパー	表層緻密化・吸水抑制・劣化因子浸透抑制	○	コンクリート保護を目的としたけい酸塩系表面含浸材として整理。表層改質による耐久性向上が期待される。
けい酸リチウム＋シラン混合型（シラン強化タイプ）	コンクリートキーパーneo	表層緻密化・吸水抑制・劣化因子浸透抑制	○	コンクリートキーパーの改良・派生製品として整理されるけい酸塩系表面含浸材。
亜硝酸リチウム系＋表面含浸材	プロコンガードシステムS	鉄筋腐食抑制・吸水抑制・耐久性向上・ASR抑制	NETIS 掲載終了	亜硝酸リチウムを併用した表面含浸工法として整理。鉄筋腐食抑制と表面保護を組み合わせたシステム型。
特殊シリコン系表面含浸工	ポアセイバー	表層保護・吸水抑制・耐久性向上	NETIS	本技術は、コンクリートの表面含浸材において、塗布後、高分子化合物の生成により表層の細孔閉塞による耐久性が向上が期待される。

中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食／補修

●中性化対策工法【加速期】

上部構造において中性化速度が速く既に中性化残りが10mmを切った状態

工法	再アルカリ化工法	簡易型高圧注入	断面修復工法
	電気化学的防食工法	亜硝酸リチウム高圧注入	全断面の断面修復
概要			
効果	コンクリートの再アルカリ化 鋼材の腐食進行の抑制	不動態被膜の再生 鋼材の腐食進行の抑制	中性化したコンクリートの撤去 再劣化防止のため修復材に亜硝酸塩を混入
経済性	○ (1.38)	◎ (1.00)	△ (1.66)
評価	○	◎	△

外観上のグレード	劣化過程	工法例	
		耐力, じん性, 変形, 振動	剥離, 剥落
グレードⅠ	潜伏期	表面処理* (剥落防止*を含む), 水処理	
グレードⅡ	進展期	表面処理 (剥落防止を含む), 【断面修復】, 再アルカリ化	
グレードⅢ-1	加速期前期	【電気防食】, 再アルカリ化, 断面修復	表面被覆 (主に, 剥落防止)
グレードⅢ-2	加速期後期	断面修復	表面被覆 (主に, 剥落防止)
グレードⅣ	劣化期	断面修復, 【鋼板・FRP接着, 巻立て, 増厚】	表面被覆 (主に, 剥落防止), 【鋼板・FRP接着】

●外観上のグレードと劣化の状態

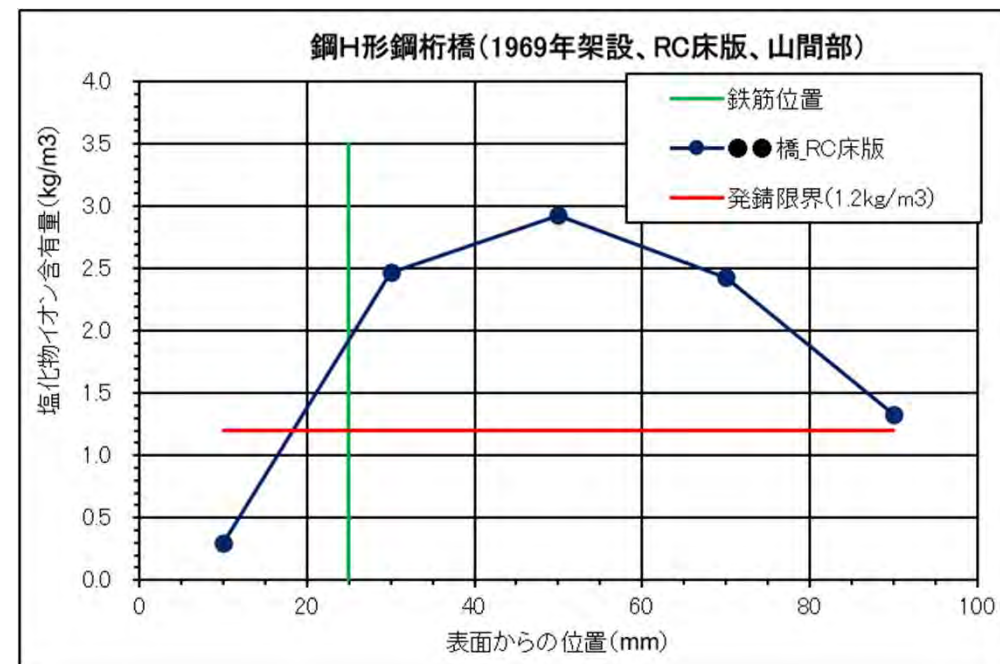
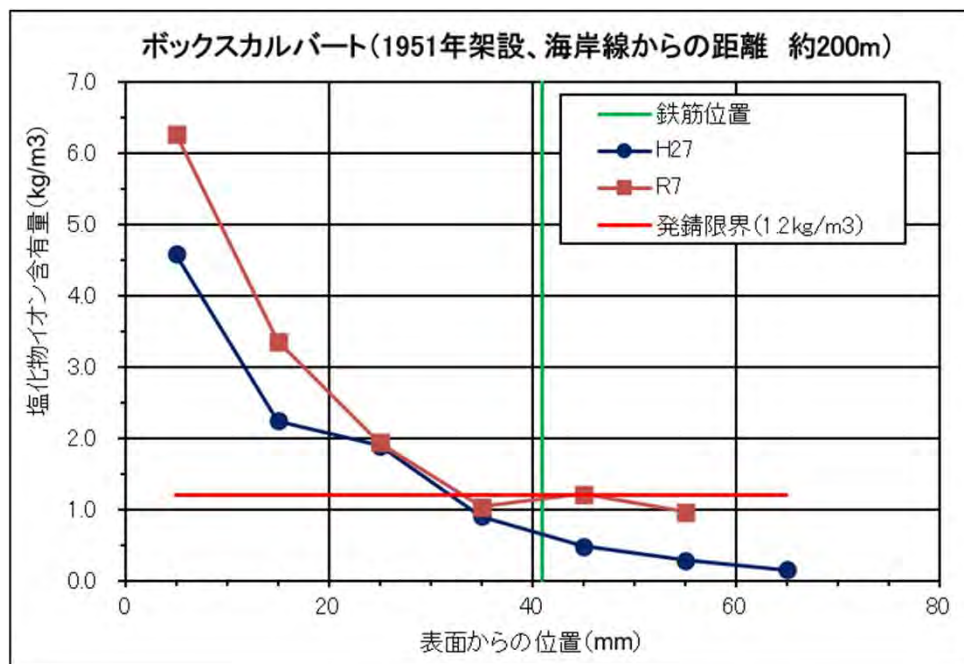
外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生限界濃度以下
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生限界濃度以上，腐食が開始
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れや浮きが発生，さび汁が見られる
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく本数も多数発生している，腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる，鋼材の著しい断面減少は見られない
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる，鋼材の著しい断面減少が見られる，変位・たわみが大きい

出典) 2022年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]

●塩化物イオン量試験事例（試験詳細は省略）

事例① 1951年架設のボックスカルバート
海岸線からの距離 約200m

事例② 1969年鋼H形鋼桁橋 RC床版
山間部



試験を2回実施した事例であり、コンクリート表面において、飛来塩分により濃度が高くなっている

鉄筋位置より深い位置で、濃度が高い理由は内在塩分の影響と推察される



●腐食限界塩化物イオン量

腐食限界塩化物イオン量は、我が国のこれまでの研究結果では、コンクリートの体積あたりの質量で1.2～2.5kg/m³程度の範囲にあると考えられている。

○土木学会コンクリート標準示方書 1.2kg/m³

○建設省 総合研究開発プロジェクト 2.5kg/m³

【2007年制定コンクリート標準示方書「設計編」】

鉄筋コンクリートの塩害に対する照査において、鋼材位置における全塩化物イオン濃度が腐食発生限界イオン濃度以下

⇒コンクリートの配合によらず一律1.2kg/m³以下とされていた

【2013年制定コンクリート標準示方書「設計編」】

使用するセメントの種類と水セメント比毎に、鋼材腐食発生限界濃度が定められるようになった

●塩化物イオンの拡散の予測

- ①見掛けの拡散現象として予測する方法
- ②塩化物イオンの反応や移動のメカニズムに基づいて予測する方法

●①見掛けの拡散現象として予測する方法

見掛けの拡散係数およびコンクリート表面における塩化物イオン濃度等を設定して、下式により将来の塩化物イオンの拡散の予測を行う

$$C(x,t) = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{0.1 \cdot x}{2 \sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) + C_i$$

ここに、 $C(x,t)$: 深さ x (mm), 供用期間 t (年) における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_0 : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

D_{ap} : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm²/年)

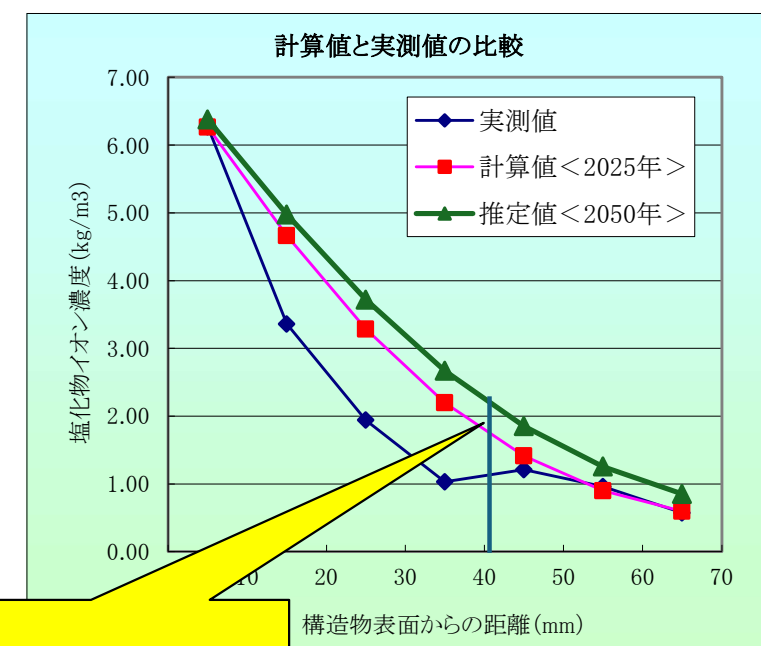
C_i : 初期塩化物イオン濃度 (kg/m³)

erf : 誤差関数

γ_{cl} : 予測の精度に関する安全係数

●予測事例

コンクリート橋の塩害に関する特定
点検要領（案）における「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」により予測した事例



鉄筋位置
2025年 1.8kg/m³
2050年 2.3kg/m³

●外観上のグレードと標準的な工法の例

外観上のグレード	劣化過程	標準的な補修工法例
グレードⅠ	潜伏期	表面処理
グレードⅡ	進展期	表面処理，脱塩，電気防食，断面修復
グレードⅢ-1	加速期前期	断面修復，脱塩，電気防食
グレードⅢ-2	加速期後期	断面修復（力学的な性能の改善を含む）
グレードⅣ	劣化期	断面修復（力学的な性能の改善を含む）

出典）2022年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕

●補修工法 ： 表面含浸工法

塩害単独対策では、撥水層形成によりCl⁻浸透を物理的に遮断する**シラン系**が最も合理的である

【シラン系コンクリート表面含浸材 主な製品・工法一覧】

主成分	主な製品名	主な効果	建設物価等	工法の特徴・留意点
シラン系	プロテクトシル BHN	吸水抑制・塩害抑制	○	高純度シランを主成分とする表面含浸材で、吸水防止および塩化物イオン浸透抑制に優れる。海外・国内でのコンクリート保護実績がある。
	プロテクトシル CIT	吸水抑制・塩害抑制・鉄筋防錆	○	シラン系の表面含浸性能に加え、腐食抑制機能を有するタイプで、塩害環境下の鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上に有効。
	ビルテクト-100E	吸水抑制・塩化物イオン浸透抑制	○	液状タイプで浸透性に優れる。ローラー・刷毛・スプレーの多様な施工方法に対応し、適用箇所の自由度が高い。建設物価に掲載されており、公共工事への採用実績がある。
シラン・シロキサン系	Sto含浸工法	吸水抑制・塩化物イオン浸透抑制・凍害抑制	○	高い浸透性と優れた撥水効果により、コンクリート構造物を塩害や凍害から長期的に保護する。
	マジカルリペラー	吸水抑制・塩化物イオン浸透抑制・凍害抑制・ASR抑制	○	2種類のシリコン分子の相乗効果により高密度な吸水防止層を形成。浸透深さは最大18mm程度で深部まで浸透する。無有機溶剤設計で環境への負荷が低い。
	アクアシール1400	吸水抑制・凍害抑制・白華防止	○	コンクリートやモルタル用の汎用的な吸水防止材として広く使用されている。優れた撥水性を付与し、凍害やエフロレッセンスの発生を抑制する。
	ニュースパンガード	吸水抑制・塩化物イオン浸透抑制・凍害抑制	NETIS 掲載終了	ジェル状のため垂直面・下面でも液ダレしにくく施工性に優れる。シリコンポリマーが毛細管空隙の内壁に結合し、疎水層を形成。20年以上の実橋梁での耐久性実績あり。
シラン・シロキサン系 ＋ナノ粒子	Sクリートガード	超撥水・吸水抑制・塩害抑制・凍害抑制・中性化抑制・防汚・白華防止	NETIS	シラン・シロキサン系にナノ粒子を配合し、超撥水性と深部浸透を両立。含浸深さ10.5mm（土木学会Aランク相当）を確認。氷点下20℃環境でも施工可能な製品設計。

●補修工法：表面被覆工法

部位・部材：上部工

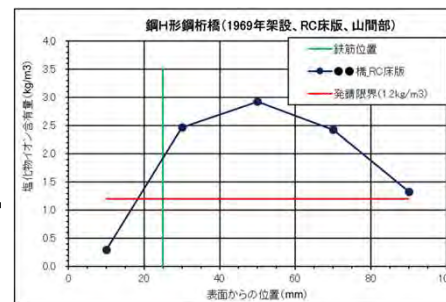
塩化物イオン量：腐食発生限界以上

維持管理性（補修後の点検）に劣るが、**著しい塩害環境下（飛沫帯）における劣化因子の侵入防止**及びかぶり不足箇所に対する表面保護を目的とする

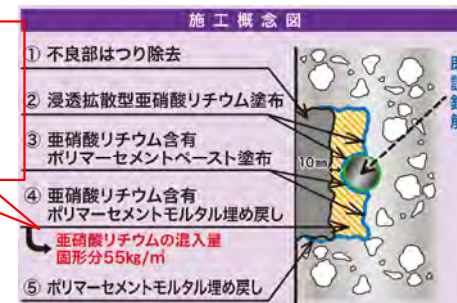
工法	ウレタン樹脂（超速硬）	ウレタン樹脂	クロロpreneゴム
特徴	・飛沫帯での施工が可能 ・漏水箇所において適用可能	・飛沫帯の施工は困難 ・漏水箇所の適用不可	・飛沫帯の施工は困難 ・漏水箇所において施工可能
施工日数	3日	5日	8日
経済性	○ (1.00)	△ (1.11)	△ (1.04)
評価	○	△	△

●補修工法 : 断面修復工法

部位・部材 : 床版
塩化物イオン量 : 腐食発生限界以上



はつり深さは鉄筋断面の半分程度



工法	犠牲陽極工法	塩分吸着材含有工法	亜硝酸リチウム含有工法
概要図			
特徴	・犠牲陽極材により電気化学的に鉄筋の腐食抑制を図る ・はつり量が多い	・塩化物イオンを吸着無害化するとともに、亜硝酸イオンを放出し鉄筋の不動態被膜を再生 ・はつり量が少ない	・亜硝酸イオンにより不動態被膜を形成 ・はつり量が多い
経済性	△ (1.08)	○ (1.06)	◎ (1.00)
L C C	△ (1.01)	○ (1.00)	△ (1.13)
評価	△	○	△

内在塩分の吸着効果があり、経済性に優れる (LCCは100年)

●外観上のグレードと劣化の状態

外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	ASRによる膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生せず，外観上の変状が見られない。
グレードⅡ	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し，軽微なひび割れが発生する。変色，アルカリシリカゲルの滲出が見られる場合がある。しかし，鋼材腐食によるさび汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASRによるひび割れが進展し，ひび割れの幅および密度，範囲が増大する。また，鋼材腐食によるさび汁が見られる場合もある。
グレードⅣ	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し，段差，ずれや，かぶりの部分的な剥離・剥落が発生する。鋼材腐食が進行しさび汁が見られる。外力の影響によるひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変位・変形が大きくなる。

出典) 2022年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]

アルカリシリカ反応

●アルカリシリカ反応の各種試験事例

①一軸圧縮強度試験 ②静弾性係数試験

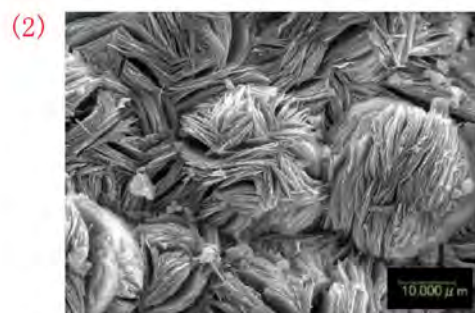
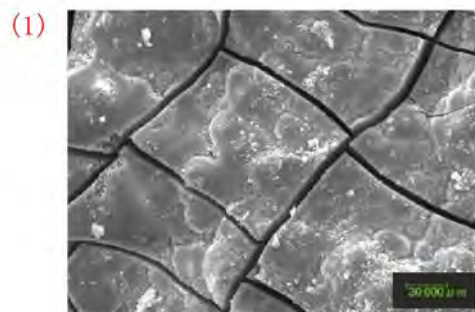
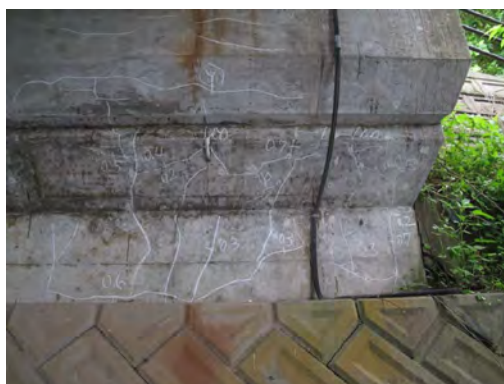
③アルカリ骨材反応関連試験 (SEM-EDS)

④促進膨張量試験

●アルカリ骨材反応関連試験 (SEM-EDS)

・対象部材：橋台

・施工年：1971年



化学式	A2橋台 No. 2	
	(1) 白色部	(2) 白色部
SiO ₂	67.78	64.43
Na ₂ O	5.87	8.72
K ₂ O	6.49	12.60
CaO	19.86	14.25
反応生成物の形態	アルカリ-カルシウム-シリカ型	アルカリ-カルシウム-シリカ型 (K濃度大)
備考	図1, 2	図3~5

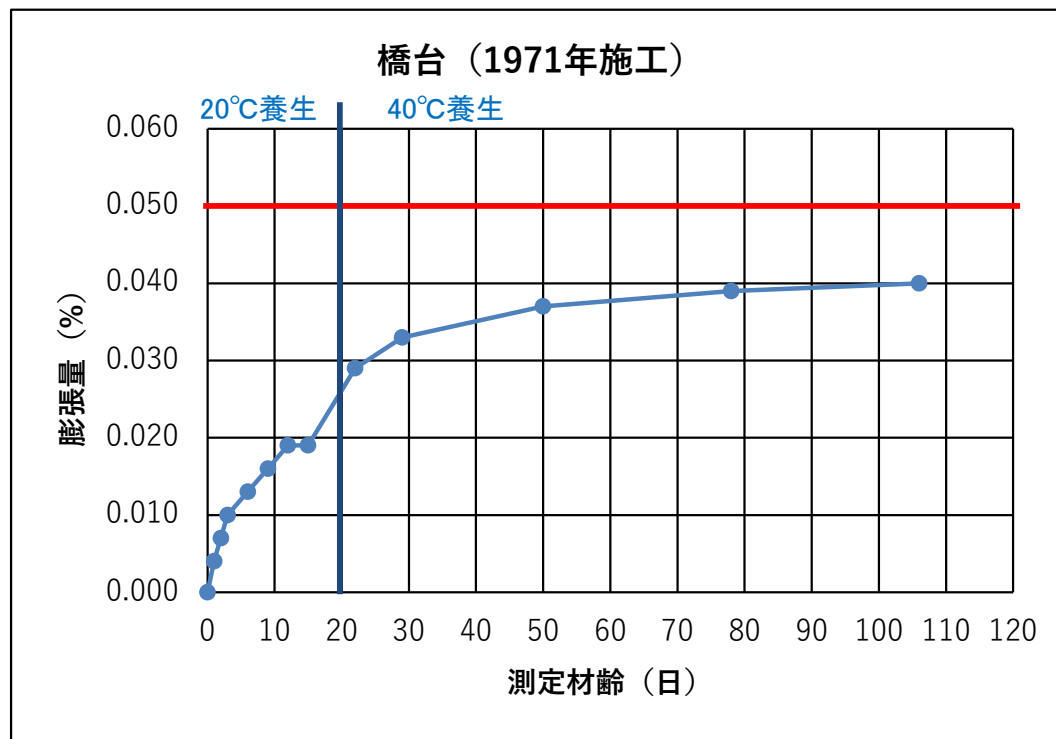
表2 反応生成物の典型例

	①	②	③
典型的形態			
主要成分範囲 (wt%)	SiO ₂ : 60~90 Na ₂ O: 5~30 K ₂ O: 5~30 CaO: 5以下	SiO ₂ : 35~75 Na ₂ O: 3~15 K ₂ O: 3~15 CaO: 10~55	SiO ₂ : 45~75 Na ₂ O: 10以下 K ₂ O: 10~25 CaO: 10~30
組成タイプ	アルカリ-シリカ型	アルカリ-カルシウム-シリカ型	アルカリ-カルシウム-シリカ型 (K濃度大)
骨材の特徴	火山岩系骨材 ←-----→ 堆積岩系骨材		

出典：「コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ2 アルカリ骨材反応の診断 P45」
(森北出版株式会社)

●促進膨張量試験

①JCI-S-011



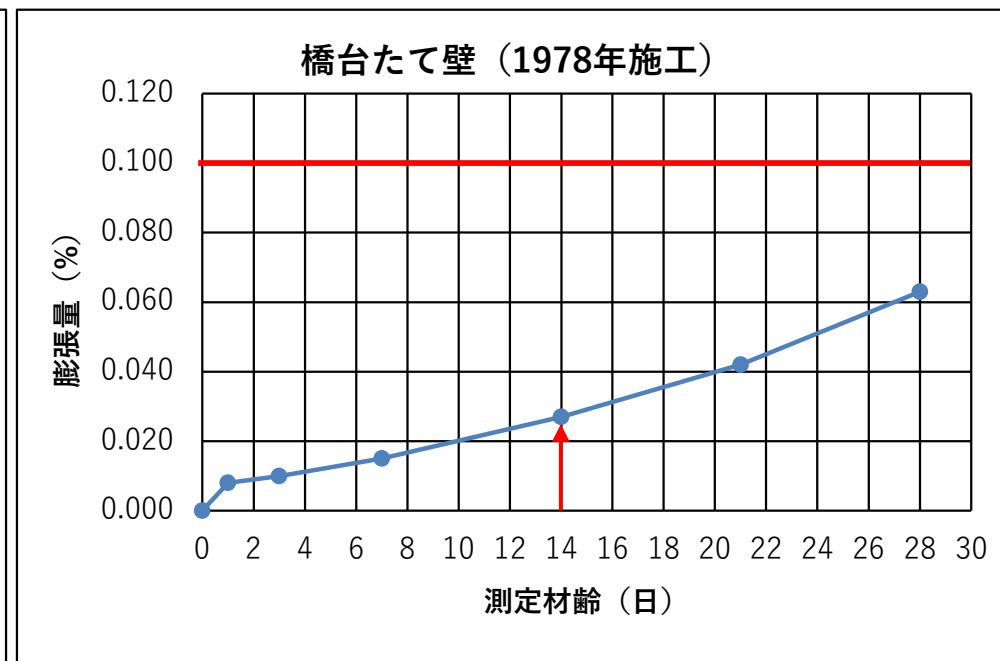
【判定基準】

13週間養生し、0.05%以上の膨張量を示すものを有害または潜在的有害と判定する

【試験結果】

無害

②カナダ法



【判定基準】

試験開始後14日間での膨張量で以下のように判定

0.1%以下の場合：無害

0.1~0.2%の場合：有害と無害な骨材が含まれる

0.2%以上の場合：潜在的に有害な膨張率

【試験結果】

無害

【その他】

上部構造など、 $\phi 100 \times 250\text{mm}$ のコア採取が困難な場合、 $\phi 50\text{mm}$ での試験が可能なカナダ法で実施 46

●外観上のグレードと標準的な工法の例

外観上のグレード	劣化過程	今後予想される膨張量	標準的な工法
グレードⅠ	潜伏期	－	水処理（止水，排水処理）＊，表面処理（被覆，含浸）＊
グレードⅡ グレードⅢ	進展期 加速期	小さい	水処理（止水，排水処理），ひび割れ注入，表面処理（被覆，含浸），剥落防止
		大きい	水処理（止水，排水処理），ひび割れ注入，表面処理（被覆，含浸），亜硝酸リチウム内部圧入工法，剥落防止，断面修復，プレストレスの導入，接着（鋼板・連続繊維），巻立て（鋼板・PC・連続繊維），外ケーブル
グレードⅣ	劣化期	－	水処理（止水，排水処理），断面修復，表面処理（被覆），剥落防止，プレストレスの導入，接着（鋼板・連続繊維），巻立て（鋼板・PC・連続繊維），外ケーブル，鋼材の損傷箇所の補修

出典）2022年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕

●補修工法 ： 表面含浸工法

膨張性評価：有害（膨張の抑制が必要）

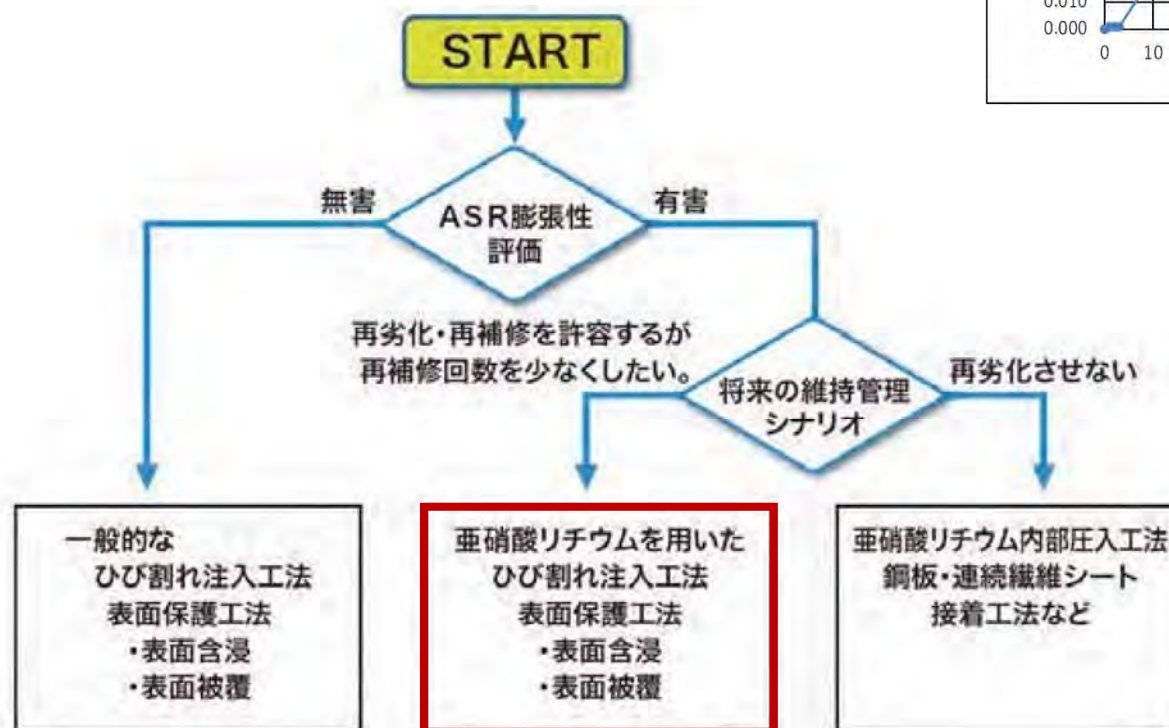
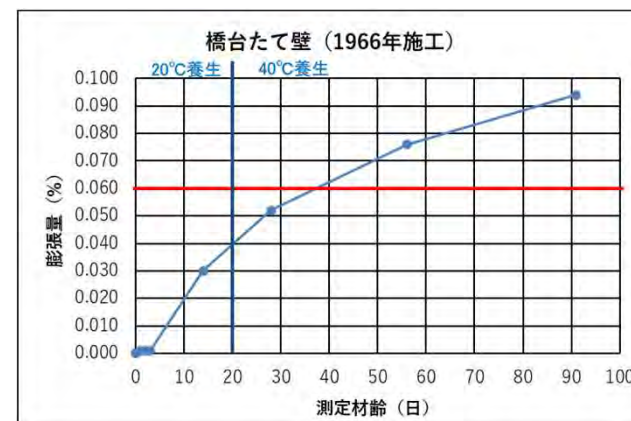
工法		亜硝酸リチウム併用型	シラン系	ケイ酸塩系
概要				
対策効果	中性化	有効	有効	有効
	塩 害	有効	有効	—
	A S R	有効	有効	有効
経済性		△ (1.79)	◎ (1.00)	○ (1.21)
評価		◎	○	△

経済性に劣るが、ASR抑制効果が高い

●補修工法：ひびわれ補修工法

部位・部材：橋台たて壁

膨張性評価：有害（膨張の抑制が必要）



右の選定フローを参考に、「亜硝酸リチウムを用いたひびわれ注入工法＋表面保護工法（表面含浸）」を選定



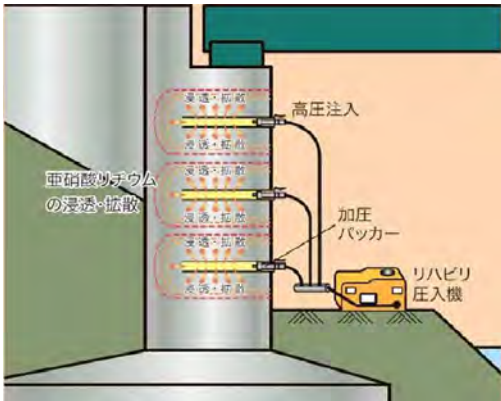
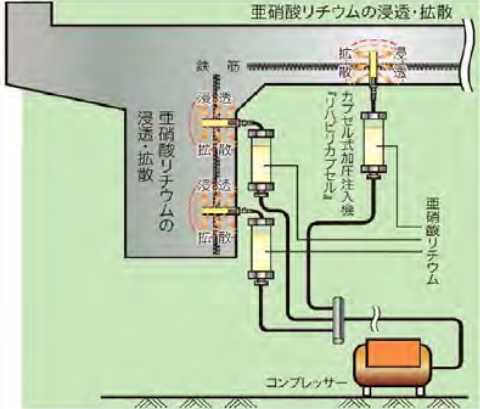
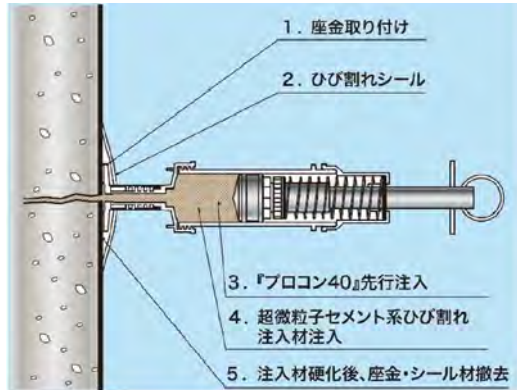
A S R 抑制工法を比較検討

図 3-41 ASRで劣化したコンクリート構造物の補修工法選定フロー

出典) コンクリート構造物の維持管理 ～塩害・中性化・A S R補修の考え方～
技術資料 Ver.4.2 (一社) コンクリートメンテナンス協会)

●補修工法 ： ひびわれ補修工法

【A S R 抑制工法比較事例】

工法		油圧式高圧注入	簡易型高圧注入	ひびわれ低圧注入
概要				
対策効果	中性化	有効	有効	有効
	塩 害	有効	有効	有効
	A S R	有効	有効	有効
施工性		△	△	○
経済性		△	○	◎
評価		△	○	◎

●複合劣化における代表的劣化機構の組合せと発生しやすい環境・部材および劣化の特徴

劣化機能の組合せ	発生しやすい環境・部材	劣化の特徴
塩害と中性化	除塩不足の海砂を使用した 構造物（ 内在塩 ）	コンクリート中に存在する塩化物イオンが、濃度拡散と中性化の進行により内部に移動し、 鋼材位置の塩化物イオン濃度が高くなる 。また、中性化の進行により鋼材位置のコンクリートのpH低下が生じると鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度が低下する。これらの影響で、 塩害単独の場合よりも早期に鋼材腐食が発生 する。
	飛来塩分が供給される海岸地域、凍結防止剤散布環境、（海底）トンネルなど（ 外来塩 ）	
塩害と凍害	凍結防止剤散布環境、寒冷地の海岸地域	塩化物イオンの影響で凍結融解によるコンクリートのスケーリング等が促進される。さらにスケーリング等がコンクリート表面からの塩水浸透を促進するので、早期に鋼材腐食が発生する。
塩害とASR	凍結防止剤散布環境、海岸地域	コンクリート表面から供給されるNaCl溶液や 海水によってASRが進行 し、ひび割れが発生すると、ひび割れから塩化物イオンが浸透し、 早期に鋼材腐食が発生 する。ただし、アルカリシリカゲルによる緩衝作用でひび割れ発生前の劣化段階では鋼材腐食速度が抑制されることもある。

出典) 2022年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]

●塩害と中性化の複合劣化による外観上のグレードと標準的な対策工法の例

外観上のグレード	劣化過程	対策工法
グレードⅠ	潜伏期	表面処理＊（剥落防止＊を含む），脱塩（再アルカリ化）＊
グレードⅡ	進展期	表面被覆（剥落防止＊を含む），脱塩（再アルカリ化），【電気防食】
グレードⅢ-1	加速期前期	【断面修復】，電気防食，脱塩（再アルカリ化），表面被覆（主に，剥落防止）
グレードⅢ-2	加速期後期	断面修復（力学的な性能の改善を含む），表面被覆（主に，剥落防止）
グレードⅣ	劣化期	断面修復（力学的な性能の改善を含む），表面被覆（主に，剥落防止）

全ての劣化工程において，水処理を併用することは鋼材腐食の進行を抑制するために有効

＊：予防的に実施される工法

【 】：鋼材腐食速度が大きい場合，腐食量が大きい場合に選定する

出典）2022年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕

※塩害と中性化の複合劣化の影響を受ける構造物に対しては、**シラン系表面含浸材の適用は有効ではないケースがある。**

●塩害とASRの複合劣化による外観上のグレードと標準的な対策工法の例

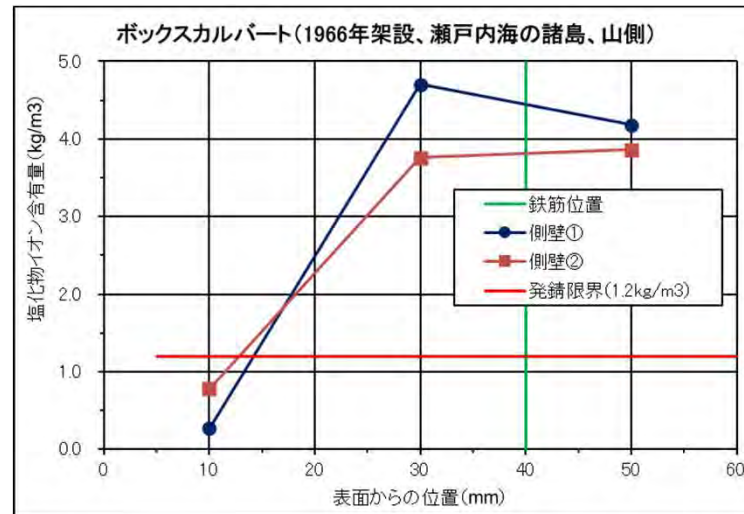
外観上のグレード	劣化過程	対策工法
グレードⅠ	潜伏期	水処理（止水，排水処理）※1，表面処理（被覆，含浸）※1
グレードⅡ，Ⅲ	進展期 加速期	水処理（止水，排水処理）， ひび割れ注入 ， 表面処理 （被覆，含浸），剥落防止 亜硝酸リチウム内部圧入工法 【特に塩害に対する工法（予想ASR膨張量小）】 断面修復，電気防食，脱塩 【特にASRに対する工法（予想ASR膨張量大）】 プレストレスの導入，接着（連続繊維），巻立て（PC・連続繊維）外ケーブル
グレードⅣ	劣化期	水処理（止水，排水処理），断面修復（力学的な性能の回復を含む），表面処理（被覆，含浸），剥落防止，鋼材の損傷箇所の補修 プレストレスの導入，接着（連続繊維），巻立て（PC・連続繊維）外ケーブル

出典）2022年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕

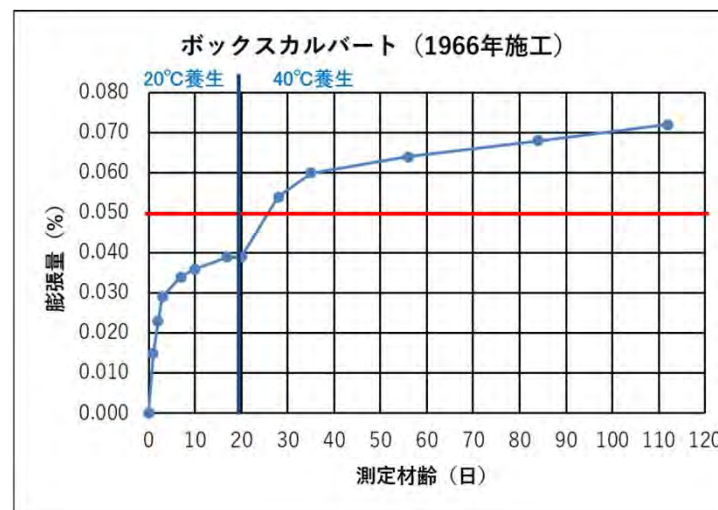
●塩害とA S Rの複合劣化の対策工法検討事例

部位・部材：ボックスカルバート（1966年架設、供用後約60年）

塩化物イオン量試験結果：内在塩分が腐食発生限界以上

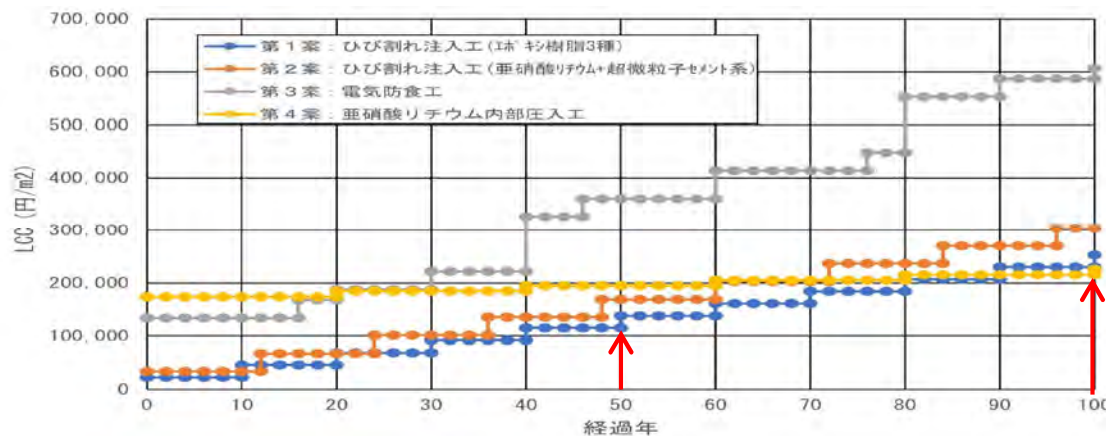


膨張性評価：有害（膨張の抑制が必要）



●塩害とASRの複合劣化の対策工法検討事例

工法	ひびわれ注入（エポキシ樹脂） 表面含浸（シラン系）	ひびわれ注入（亜硝酸リチウム） 表面含浸（亜硝酸リチウム）	亜硝酸リチウム内部圧入工法
概要図			
経済性	◎ (1.00)	○ (1.47)	△ (7.56)
L C C	◎ (1.00)	○ (1.22)	△ (1.41)
評価	◎	○	△



L C Cは50年ではひびわれ注入＋表面含浸（シラン系）が優れるが、100年とすると亜硝酸リチウム内部圧入工法が優れる

★維持管理方針（管理水準、設計耐用期間）の設定が重要

●道路橋示方書・同解説における耐久性能確保の方法（概要）

改訂年	基本的な考え方	具体的な耐久性能確保の方法	実務での要点
昭和47年	仕様規定を守ること で耐久性を確保	・コンクリート強度・水セメント比による品質確保 ・鉄筋かぶりの確保 ・排水勾配・水切りなどの基本的な排水 ・施工品質（締固め、養生、打継ぎ）の確保	標準仕様を確実に守 ることが基本
平成2年	関連する示方書を 統合・体系化し考 え方を共通化	・部材・形式間で異なっていたかぶり・防食仕様の整合 ・排水・防水に関する基本構造の統一的運用 ・コンクリートの品質規定（塩化物量・スランプ等）の整合	耐久性確保の土台を 整理
平成8年	P C橋などで、部 材・材料レベルの 耐久対策を具体化	・P C鋼材保護のためのシース・グラウト品質の向上 ・ポリエチレンシース等の高耐久シースの採用配慮 ・P Cグラウトの充填性・遮塩性の向上 ・主要部材の最小かぶり規定の見直し	部材ごとの弱点を意 識して守る段階
平成14年	性能規定化・耐久 性規定の強化	・塩害環境区分に応じたかぶり・防食仕様の体系化 ・P Cグラウトに関する規定の見直し ・塩害環境下でのエポキシ樹脂塗装鉄筋等 ・床版防水の標準化 ・耐久性に関する照査の考え方の導入	「仕様を守る」から 「 必要性能を満た す 」への転換点
平成24年	橋梁の高齢化を踏 まえ、維持管理が 確実かつ容易に行 えることを重視	・点検しやすい構造（点検路・点検通路・点検孔）の配慮 ・支承・伸縮装置等の交換性に配慮した構造計画 ・排水装置の点検・清掃のしやすさへの配慮 ・桁端部・支承周りでの漏水対策の強化	設計段階から維持管 理を考える流れが明 確化

●道路橋示方書・同解説における耐久性能確保の方法（概要）

改訂年	基本的な考え方	具体的な耐久性能確保の方法	実務での要点
平成29年	設計供用期間、維持管理、要求性能を一体で整理	・設計耐久期間100年 ・劣化しにくい構造計画（水がたまらない、漏れない形状） ・コンクリートのひび割れ抑制（配筋・打継ぎ・養生） ・支承・伸縮装置の更新性・点検性の確保 ・多様な構造・材料への対応（合成構造、新材料等） ・維持管理を見据えた点検・補修スペースの確保	橋の寿命全体で耐久性能を確保する段階
令和7年	耐久性能の評価方法を明確化し、新形式・新技術への対応と復旧性向上を図る	・共通編に「橋の耐久性能に関する基本的事項と評価」の章を整備 ・下部構造編に「下部構造及び部材等の耐久性能の評価」の章を整理 ・上下部接続部編の新設による桁端部周辺の耐久性配慮の充実 ・新しい防食技術・新材料の性能を適切に評価できる枠組みの導入 ・能登半島地震を踏まえた復旧性向上の規定の充実 ・ライフサイクルコスト縮減と長寿命化に資する耐久性能評価の体系化 ・塩害・凍害・中性化・疲労等の各種劣化要因に対する評価の明確化	耐久性能の評価を「見える化」し、新技術導入と長寿命化を両立する段階

●道路橋示方書・同解説における耐久性能確保の方法（概要）

★L C C縮減・長寿命化への寄与

- ・ かぶり増厚／高耐久材料の採用判断を、将来補修費との比較で合理化
- ・ 防水・排水構造への投資判断を、漏水起因の補修費削減効果から評価
- ・ 支承・伸縮装置等の交換性確保水準を、更新コスト・規制コストから判断
- ・ 新材料・新工法を、評価の枠組みに基づき性能を確認したうえで採用可能

★各種劣化要因に対する評価の明確化

主要な劣化要因（塩害・凍害・中性化・疲労）について、どの環境で、どの部位に、どのレベルで評価するか、共通編6章を起点に各編で整理された。

劣化要因	主な発生環境	主な劣化現象	評価の考え方	主な対策
塩害	海岸部、飛来塩分の多い地域、凍結防止剤散布区間	塩化物イオン浸入による鉄筋腐食、かぶりコンクリートの剥離	地域区分に応じた塩害環境設定、塩化物イオン浸入の進行を踏まえたかぶり・防食仕様の評価	かぶり増厚、エポキシ樹脂塗装鉄筋、表面被覆、PC鋼材保護、防水・排水の徹底
凍害	寒冷地、凍結融解の繰返しを受ける部位	スケーリング、ひび割れ、組織劣化	凍結融解作用の頻度・強度を踏まえたコンクリート品質の評価	適切なAE空気量、低水セメント比、緻密なコンクリート、表面保護、水がたまらない構造
中性化	都市部の大気環境、一般的な暴露環境	アルカリ性低下に伴う鉄筋腐食	中性化深さの進行が供用期間中に鉄筋位置に到達しないことの評価	かぶり確保、低水セメント比、緻密なコンクリート、表面被覆
疲労	大型車交通量の多い路線、床版・鋼桁・溶接継手等	鋼部材の疲労き裂、RC床版の押抜きせん断疲労、溶接部の疲労損傷	想定交通量・応力範囲に基づく疲労耐久性の評価（鋼橋では疲労設計を明示）	疲労に強い継手構造、応力集中の低減、床版防水による水の影響排除、合成構造の活用

●土木工事設計マニュアル／中国地方整備局

- ・コンクリート桁の**桁端部**は損傷が多く発生している傾向がある。
- ・凍結防止剤を散布する積雪地域の橋梁の桁端部及び桁端部に位置する下部構造頂部は、あらかじめコンクリート塗装による**表面保護**をすることとする。

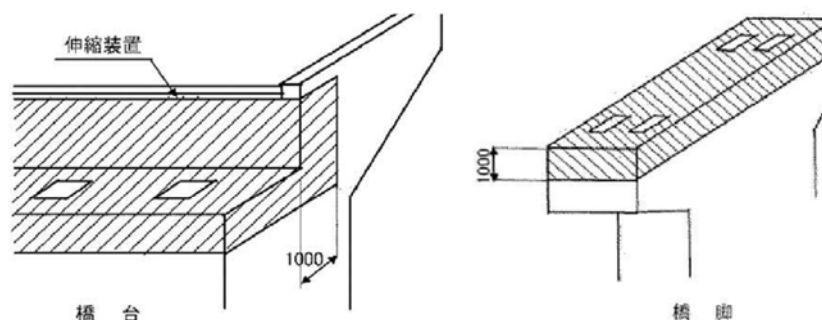


図5-2-52 下部構造頂部の塗装の対策範囲（標準案）

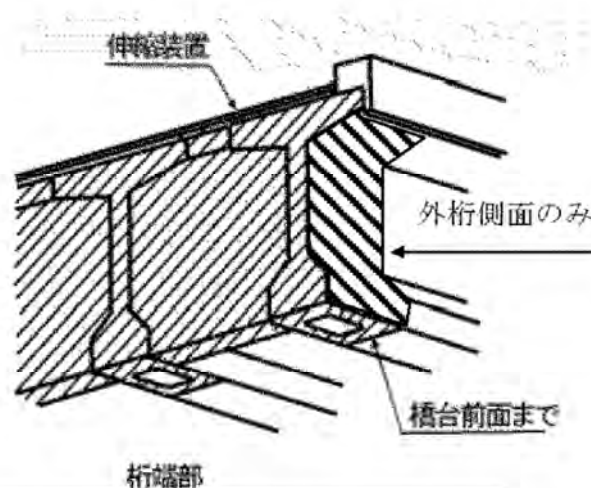


図5-2-53 上部工桁端部の塗装の対策範囲（標準案）

【課題】 補修後の再劣化による健全性の診断区分Ⅲの繰り返し

●コンクリート橋の補修後の再劣化事例

部位	補修工法	再劣化内容	損傷写真	再劣化原因
主桁	断面修復 表面被覆	うき		・ 施工時の下地処理不足 ・ 内在塩分の除去不足
主桁 (海岸線)	ひびわれ注入 断面修復 表面被覆	ひびわれ うき		・ 施工時の下地処理不足 ・ 外来塩分の除去不足
橋台 (海岸部)	ひびわれ注入	ひびわれ 遊離石灰 錆汁		・ 内在塩分の除去不足

●コンクリート橋の補修工法毎の留意点

補修工法	材料選定時	設計時	施工時
断面修復	断面修復材と既設コンクリートの一体化の確保が必要	・塩分濃度が高い部分を完全に除去することができない場合は、十分な腐食抑制効果が得られないことに注意が必要 ・面的、径間毎の塩分量調査の実施 ・フェザーエンジとならないように、「カッター目地」を設計図に明示	・ドライアウトが生じないように既設コンクリートへの十分な給水の実施 ・材料が気温の影響を受けやすい場合は、適切な養生や温度管理を行い施工品質を向上させる。
表面保護	劣化抵抗性、水密性、第三者影響度などを考慮した材料選定	・飛来塩分の侵入は防止できても、既に侵入している塩分や雨水の侵入により、効果が得られないことに注意が必要 ・表面被覆とあわせて、橋面防水を合わせて実施する。	・施工前にコンクリートの含水率を測定し、施工に適した水分状態であることを確認 ・素地調整や不陸調整の品質向上

※表面保護工法

予防保全を目的とした将来の劣化を防止するための対策

※断面修復工

対処療法的対策であり、将来の塩害等の劣化を防止する対策が別途必要

● 湿潤環境下の断面修復材比較（接着不足による再劣化防止）

工法	ポリマーセメントモルタル （従来技術）	湿潤面对応急速効果補修材	高炉スラグ・繊維入りポリ マーセメント
特徴	・プライマーの使用が必要	・湿潤環境下での施工が可能	・湿潤環境下での施工が可能 ・プライマー不要
経済性	○（1.00）	△（13.7）	○（1.00）
評価	△	△	○

● 【参考】 部材背面からのひびわれ部を介した雨水侵入（水みち遮断）対策

工法	Vカット止水材工法	漏水箇所注入工法	背面注入工法
概要	表面をV字にはつり、止水材を埋め込む	漏水箇所に充填剤を高圧力を注入	躯体背面に注入材を拡散
止水性	短期的な表面の止水	長期の止水効果あり	長期の止水効果あり
施工性	工期は短い	工期は短い	工期は長い
経済性	◎（1.00）	○（2.00）	△（2.67）
評価	△	○	△