

中性化と内的塩害を受けた 鉄筋コンクリート構造物の維持管理

コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム2026
～インフラ長寿命化を支える維持管理技術の最前線～

2026年7月2日

西日本旅客鉄道株式会社
鉄道本部 構造技術室 荒巻 智

1. JR西日本の概要

2. 対象とする鉄筋コンクリート構造物

3. 山陽新幹線について

- 1) 山陽新幹線建設時の時代背景や社会環境
- 2) 山陽新幹線コンクリート問題の発生と劣化要因
- 3) 山陽新幹線高架橋等総合診断

4. コンクリート問題発生後の取組み

- 1) 補修工法選定フローに基づくRC構造物の補修実績
- 2) JR西日本の「コンクリート構造物補修の手引き」
- 3) コンクリート補修施工管理技士制度

5. 工法を誤ると改悪になる事例

6. 近年の取組み

- 1) 断面修復工法の施工効率化, 品質向上の取組み
- 2) 劣化したコンクリート高欄の対策
- 3) 再アルカリ化工法の適用拡大について
- 4) 線状流電陽極方式電気防食工法の試験施工

7. おわりに

JR西日本の概要

※一部路線の名称は、愛称名で表記しています。

京阪神エリア路線図



営業エリア
2府16県

路線延長
約4,900km

駅
1,150駅



500万人/日のお客様にご利用いただいています
(2025年度実績)

対象とする鉄筋コンクリート構造物

対象とする劣化機構 = 中性化と内的塩害の複合劣化

□ 中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食

鋼材位置に水と酸素が供給されると腐食が誘発されるが、中性化によりコンクリート中の細孔溶液のpHが低下すると、鋼材腐食が生じやすくなる。

□ 内的塩害

塩害: コンクリート中における塩化物イオンの存在により、鋼材腐食が促進される劣化現象。

内的塩害: 塩化物イオンはコンクリート製造時に材料※から供給される場合

※材料: 除塩不足の海砂などの骨材、混和剤など

(参考) 外的塩害

塩化物イオンは海水や凍結防止剤に含まれて、構造物の外部環境から供給される場合

○ 対象とする鉄筋コンクリート構造物



山陽新幹線鉄筋コンクリート高架橋を主として
1970年代に建設された高架橋

(1986年の「コンクリート中の塩化物総量規制」の制定前に建設された構造物)

山陽新幹線建設時の時代背景や社会環境



【当時の時代背景や社会環境】

戦後の**高度経済成長期**（いざなぎ景気S41～S45年）

S47年 日本列島改造論

S46年 公共用水域の水質汚濁の防止に関する法律の施行

S48年 河川法の規制強化

S49年 名古屋新幹線訴訟

S50年 新幹線鉄道騒音に関わる環境基準の告示（環境庁）

S48年 第1次オイルショック

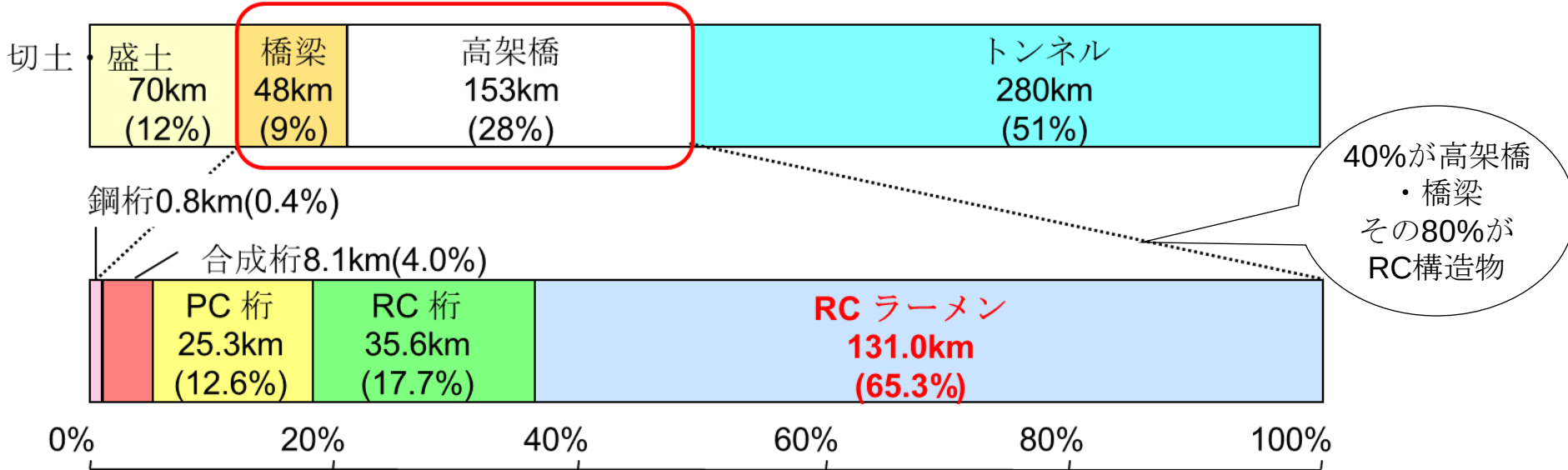
⇒環境との調和，石油ショック，**人手不足・物不足，物価高騰等**のなか，新幹線建設反対を乗り越え，国鉄の工事能力の総力（約1／3）を集中して開業した。

⇒**契約方式（責任施工方式へ）や施工法（機械化施工へ）の過渡期**にあった。

川砂，川砂利
の採取規制
海砂の使用

コンクリート
構造物が
多く建設

山陽新幹線の土木構造物の概要



プレストレストコンクリート
(PC) 桁

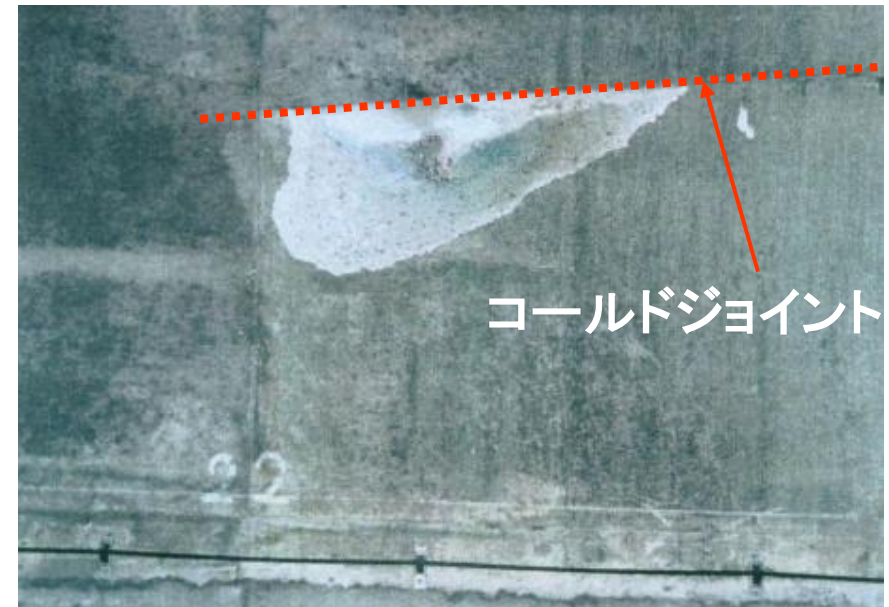


鉄筋コンクリート (RC) 桁



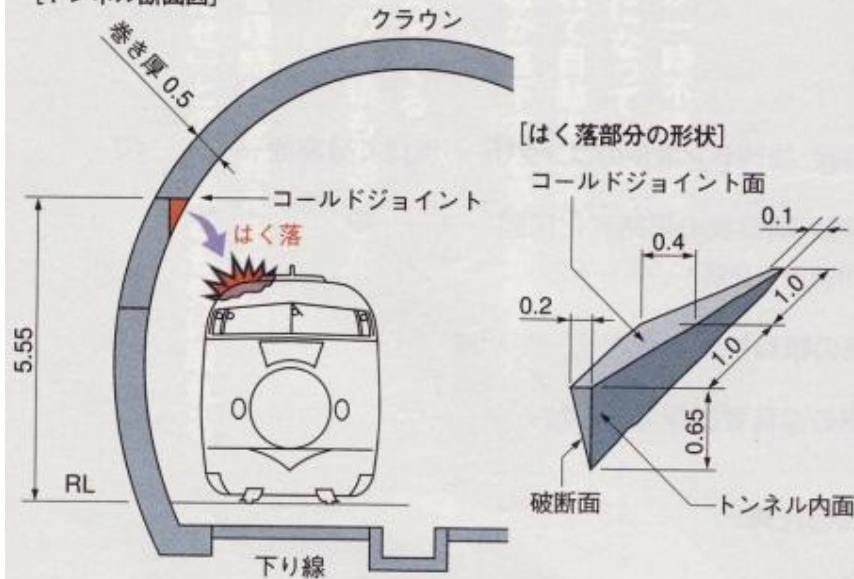
鉄筋コンクリート (RC)
ラーメン高架橋

1999年 山陽新幹線コンクリート問題の発生(トンネル)



●コンクリートはく落部分の概要

[トンネル断面図]



1999 (H11).6.27

山陽新幹線 小倉・博多 福岡トンネル

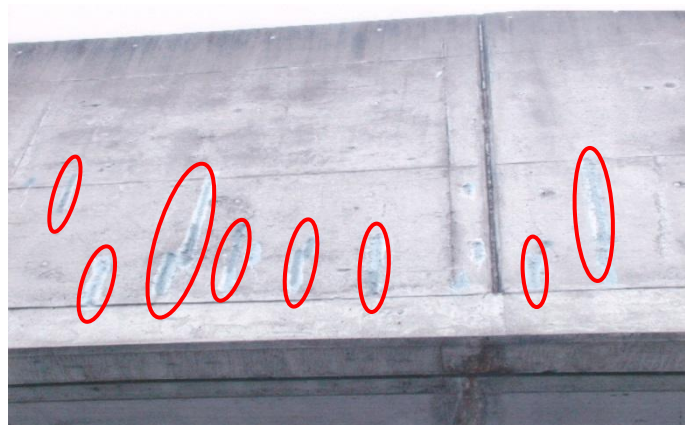
落下したコンクリート片

($2 \times 0.65 \times 0.4\text{m}$ 約200kg)が剥落

(←日経コンストラクションより)

1999年 山陽新幹線早期劣化事象の顕在化（高架橋等）

福岡トンネル事故と前後して、当時、高架橋のかぶりコンクリートの浮きや剥離が多発し、叩き落とし箇所の補修が追いつかず、早期劣化が顕在化した。

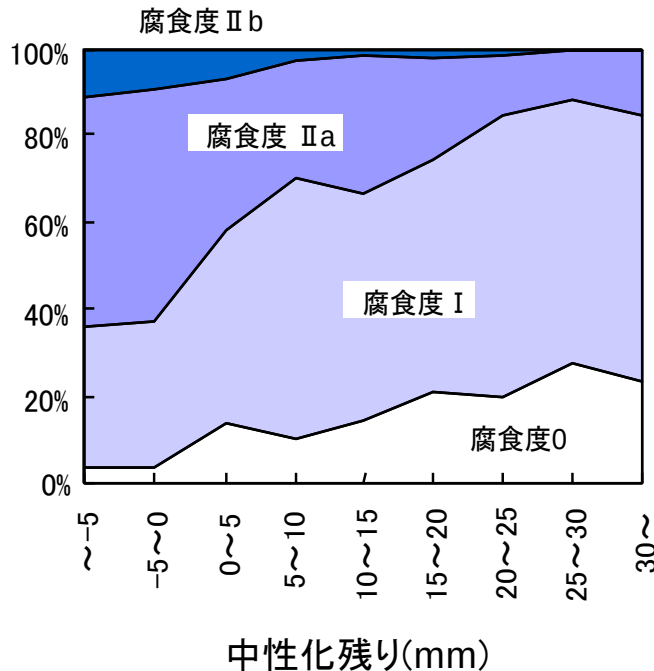


左上：高架橋スラブ下面
左下：高欄
右：高架橋柱

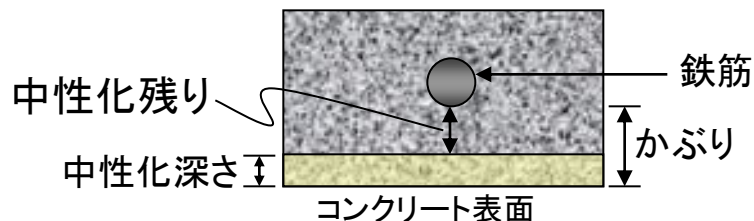
中性化と内的塩害による変状事例（浮き箇所の叩き落とし）

山陽新幹線コンクリート構造物の劣化要因

○山陽新幹線コンクリート構造物の健全度を維持していくための方策を得ることを目的に、当時、運輸省の主導のもと、鉄道総研に「山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会(委員長:長滝重義新潟大学教授)」を設置し、検討を進めた。



中性化残りと鉄筋腐食度の関係



※ (中性化残り = かぶり - 中性化深さ)

◎検討委員会の概要

▼ 設置期間: 1999年8月～2000年7月

▼ サンプル調査 (800箇所) の実施

かぶり, 中性化深さ, 鉄筋腐食度,
塩化物イオン量等を測定

◆ 検討結果

- ・ 高架橋等の主たる劣化要因は**中性化**である
- ・ 塩化物イオン量は中性化ほど顕著ではないが、その値が大きいほど鉄筋腐食が進行
- ・ 1999年時点で**高架橋床版の耐力に問題はない**
- ・ 今後とも健全な状態で維持管理していくために必要な補修工法の適用の考え方 (**補修工法選定フロー**)を提案

鉄筋腐食度の評価基準(JR西日本)

評価基準	腐食度	写真
施工時の状況を保ち、以降の腐食が認められない	0	
部分的に軽微な腐食が認められる	I	
表面の大部分に腐食が認められる	II a	
部分的に断面欠損が認められる	II b	
鉄筋の全周にわたり断面欠損が認められる	III	
鉄筋断面が1/6以上欠損している	IV	

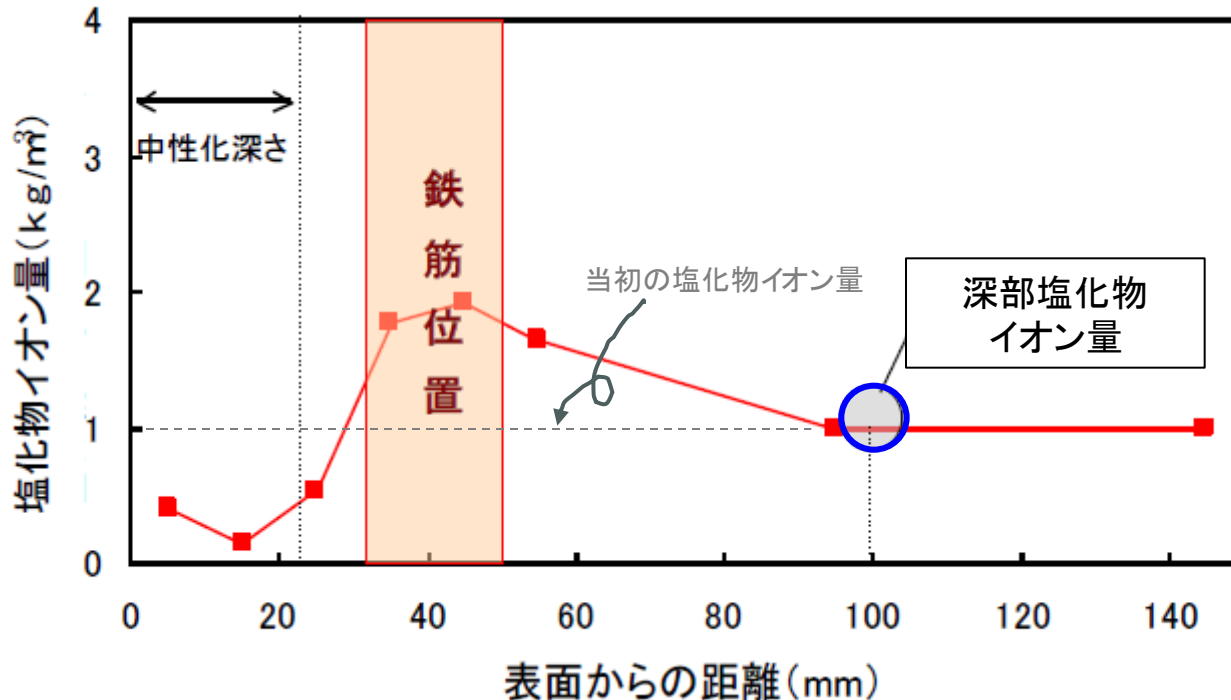


左:鉄筋腐食度見本(教材)

中性化による塩化物イオンの移動濃縮

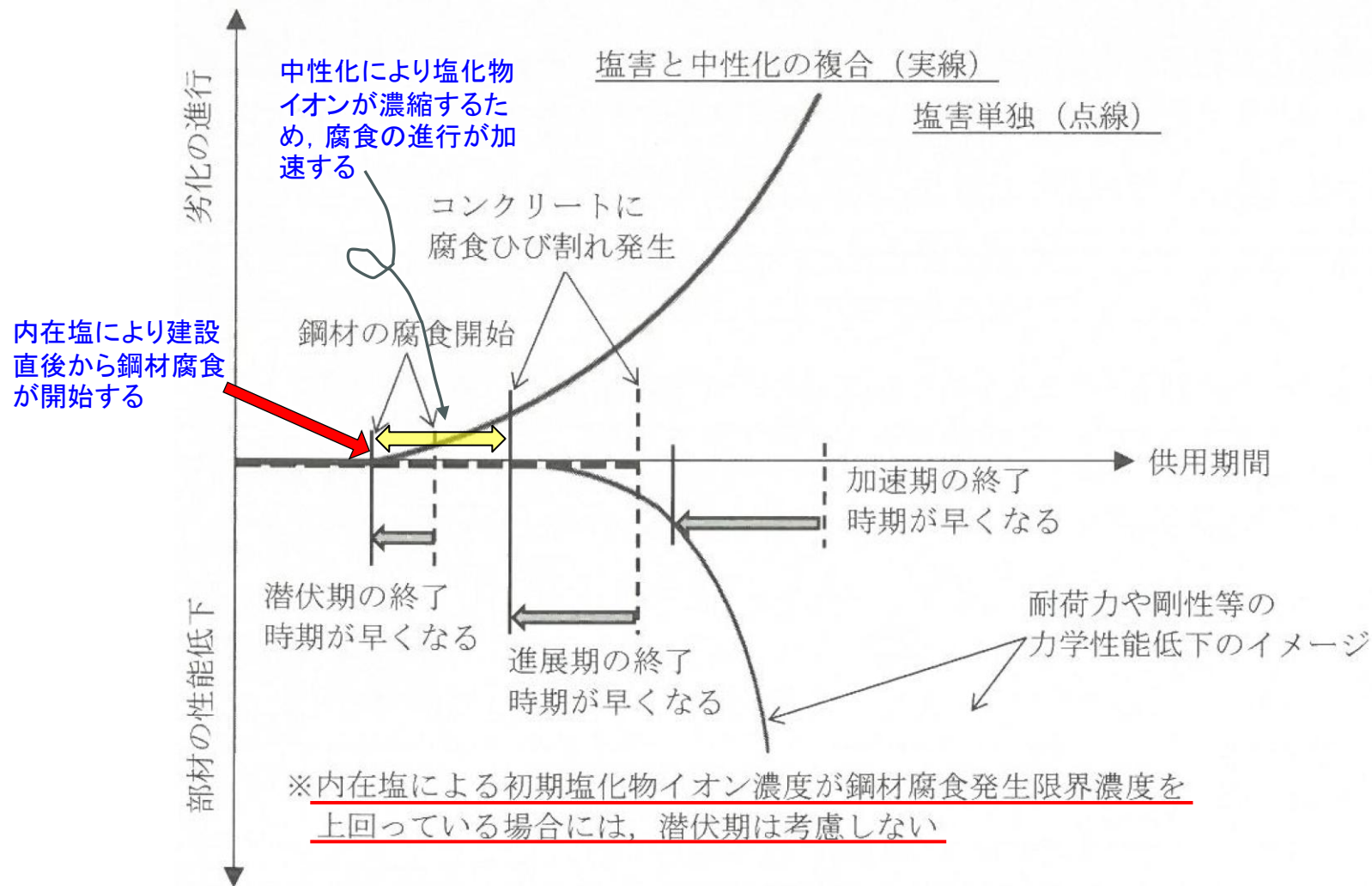
● 中性化の進行によって、コンクリート中のセメント水和物に固定化されていた塩化物イオンが細孔溶液中に遊離し、この塩化物イオンがコンクリート内部へと拡散・移動し、中性化深さの位置付近で濃縮する。

(中性化の進行によって、鉄筋位置で当初の塩化物イオン量の2倍ぐらい濃縮することもある)



中性化の進行と塩化物イオン量の深さ方向分布の例

中性化と内的塩害を受ける構造物の劣化の進行と性能低下の概念図

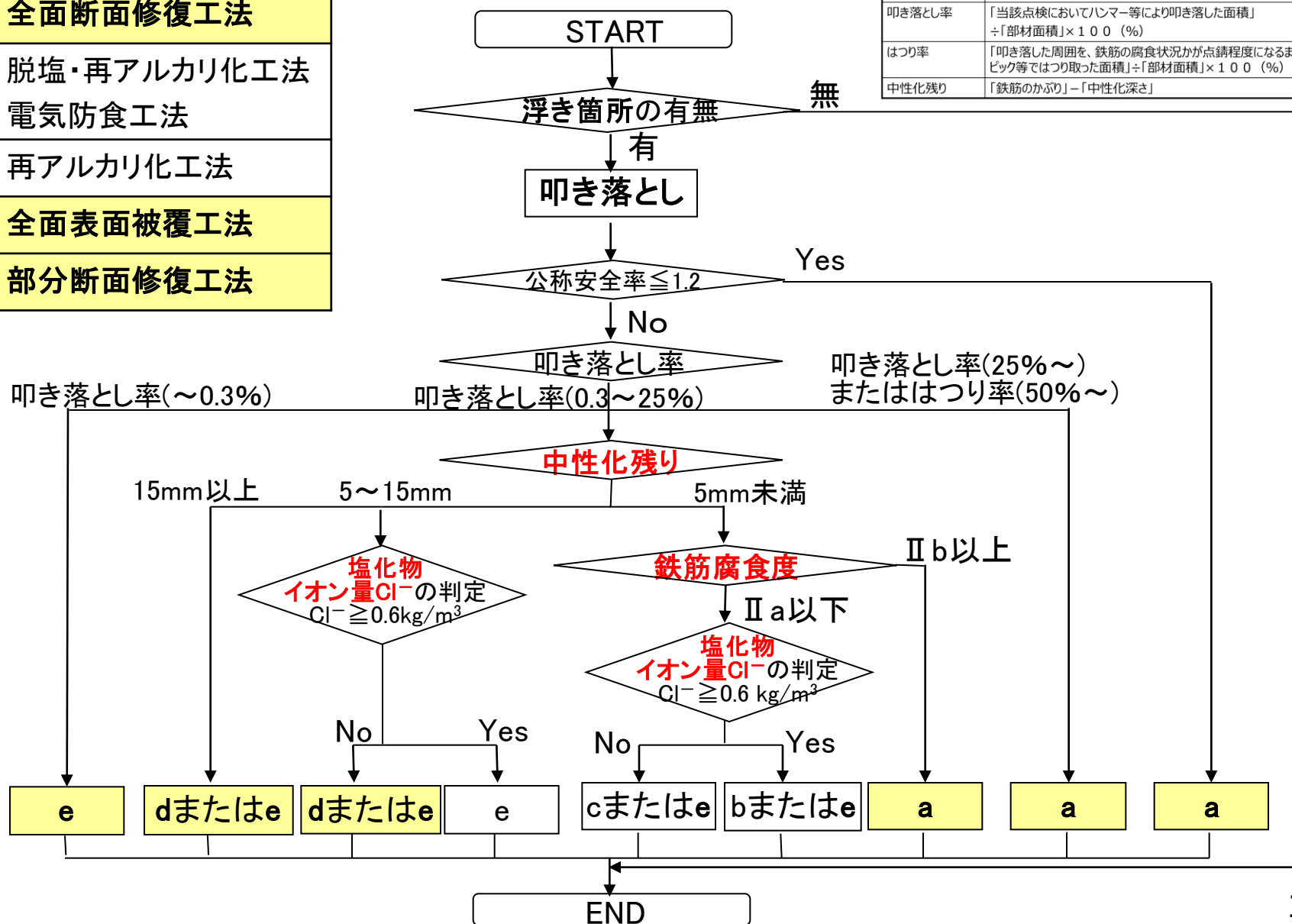


【出典】土木学会:2022年コンクリート標準示方書[維持管理編]

補修工法選定フロー（山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会 提言：2000年7月）

a	全面断面修復工法
b	脱塩・再アルカリ化工法 電気防食工法
c	再アルカリ化工法
d	全面表面被覆工法
e	部分断面修復工法

用語	用語の説明
公称安全率	「鉄筋径の測定等により推定した実耐力」÷「設計耐力」
叩き落とし率	「当該点検においてハンマー等により叩き落した面積」 ÷「部材面積」×100（%）
はつり率	「叩き落した周囲を、鉄筋の腐食状況が点錆程度になるまで電動 ピック等ではつり取った面積」÷「部材面積」×100（%）
中性化残り	「鉄筋のかぶり」－「中性化深さ」



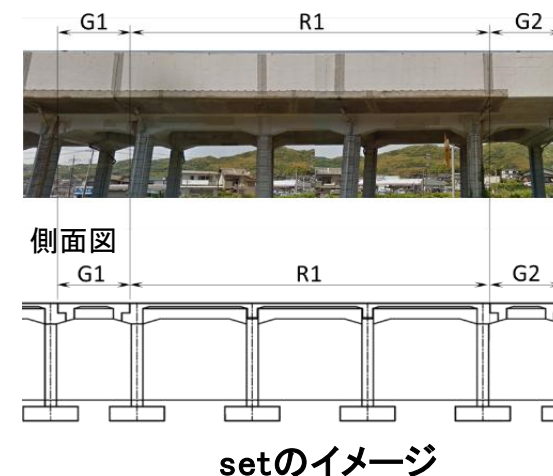
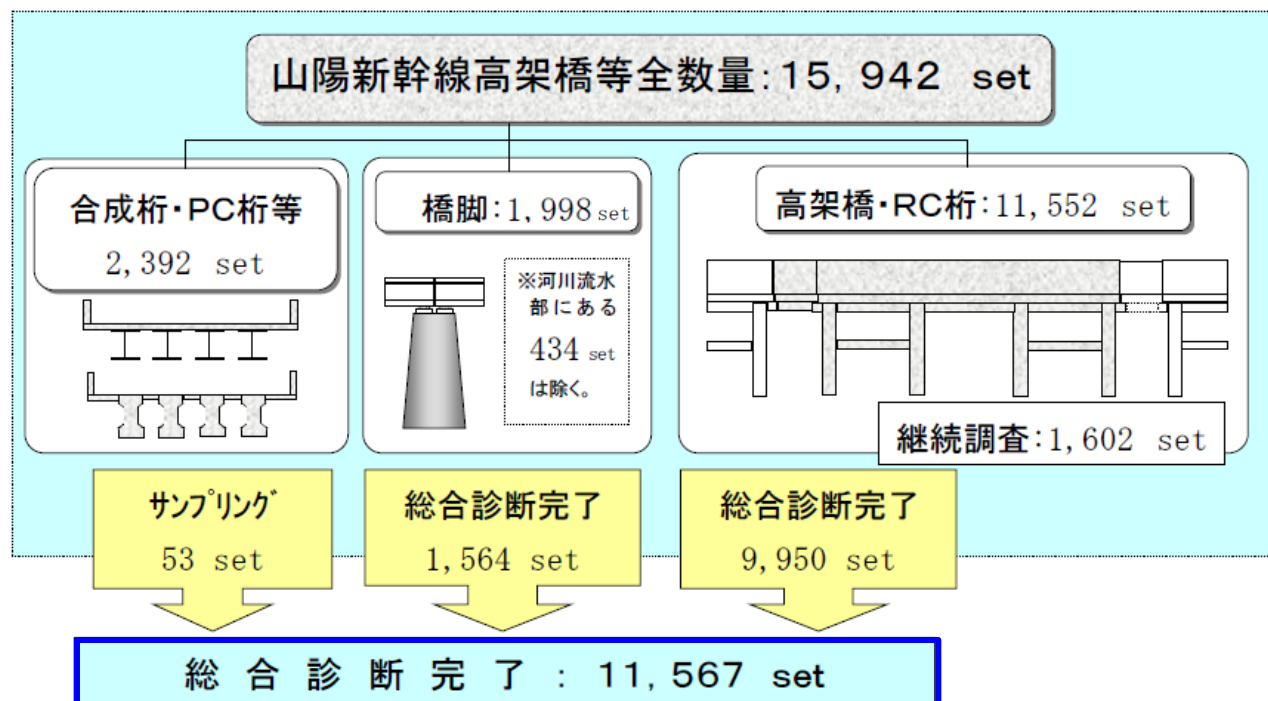
山陽新幹線高架橋等総合診断の実施目的と数量

●実施目的

- ✓ 検討委員会で提案された「補修工法選定フロー」を個々の構造物に適用し、対策を実施していくために必要なデータの収集
- ✓ 将来にわたる山陽新幹線鉄筋コンクリート構造物の維持管理に活かすため

●実施期間：1999年10月～2000年12月

●実施対象：山陽新幹線の高架橋等の全数量15,942setとし、11,567set を実施



山陽新幹線高架橋等総合診断の調査内容

●調査内容

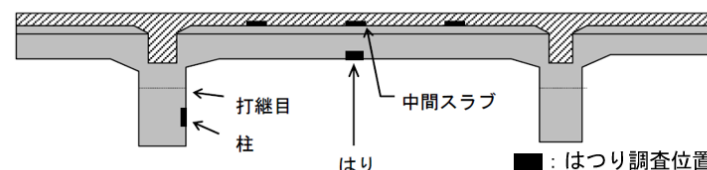
➡はつり調査を実施（なお、中間スラブのみ、はつり調査を2～3箇所を実施し、その平均値を採用）

総合診断項目

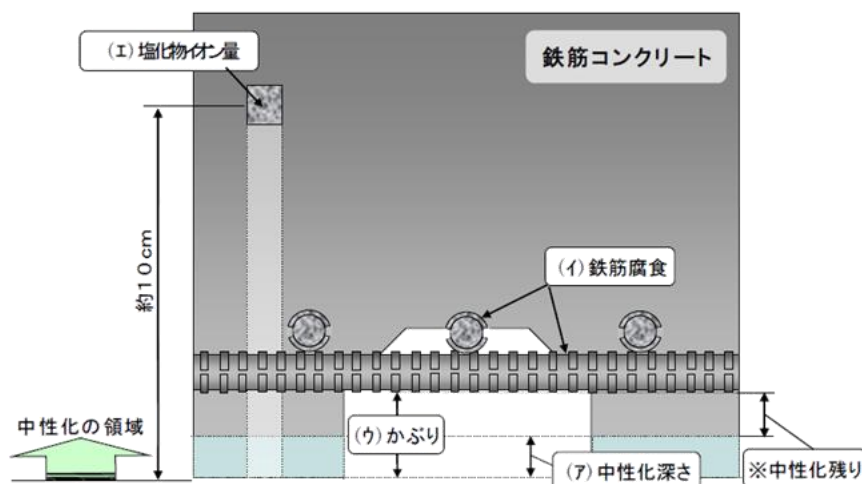
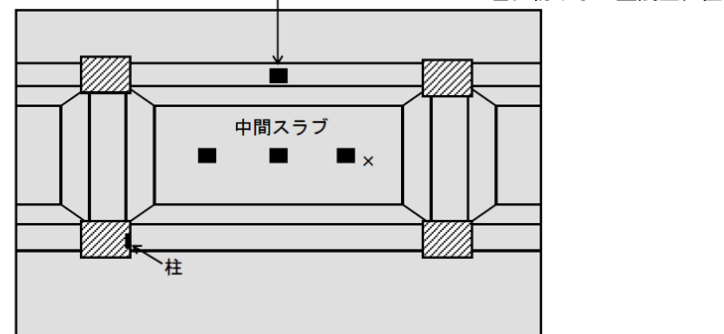
対 象 物	部 位	中 性 化 深 さ (ア)	鉄 筋 腐 食 度 (イ)	か ぶ り (ウ)	塩 化 物 イ オン 量 (エ)※
高 架 橋	中 間 ス ラ ブ	○	○	○	○
	柱	○	○	○	—
	は り	○	○	○	—
橋 梁	桁	○	○	○	○
	橋 脚	○	○	○	—
	ラーメン橋台・橋脚	○	○	○	—

※塩化物イオン量の調査数については、その他のデータ数と比較して1割程度実施

【縦断面図】



【平面図】



※ 中性化残り [= (ウ) - (ア)]

総合診断項目(図解)

総合診断の調査位置

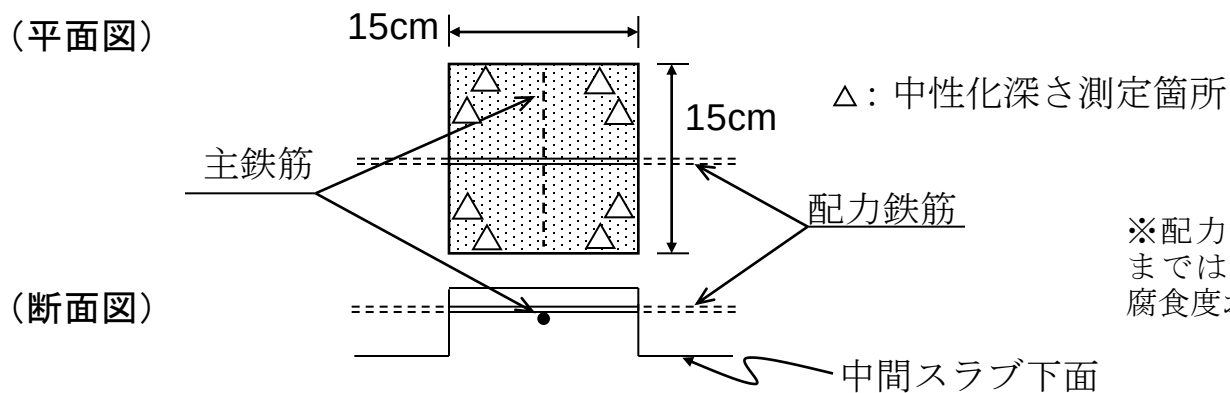
山陽新幹線高架橋等総合診断の実施状況等



ラーメン高架橋での実施状況



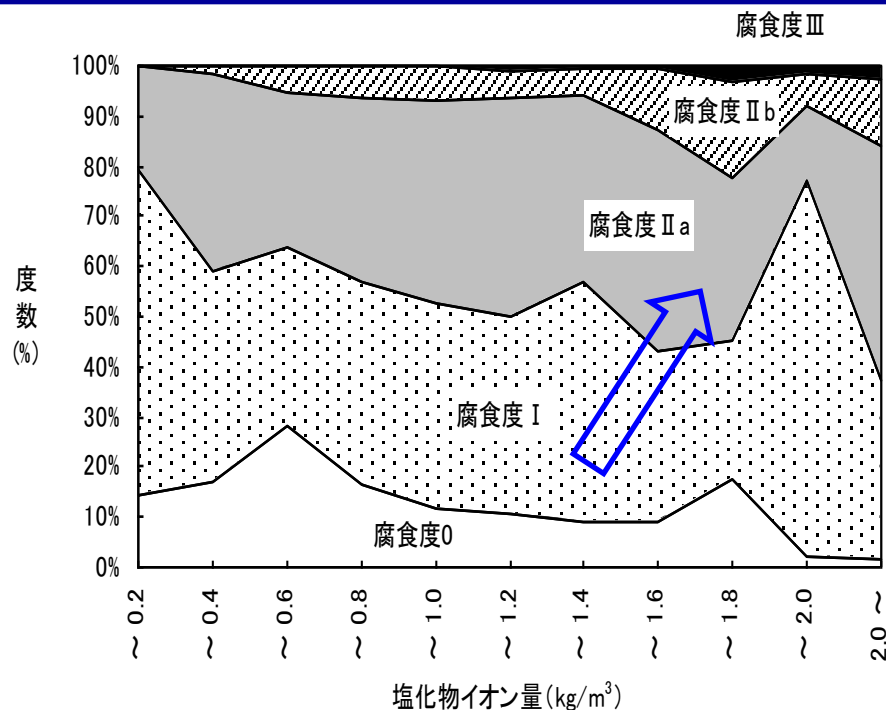
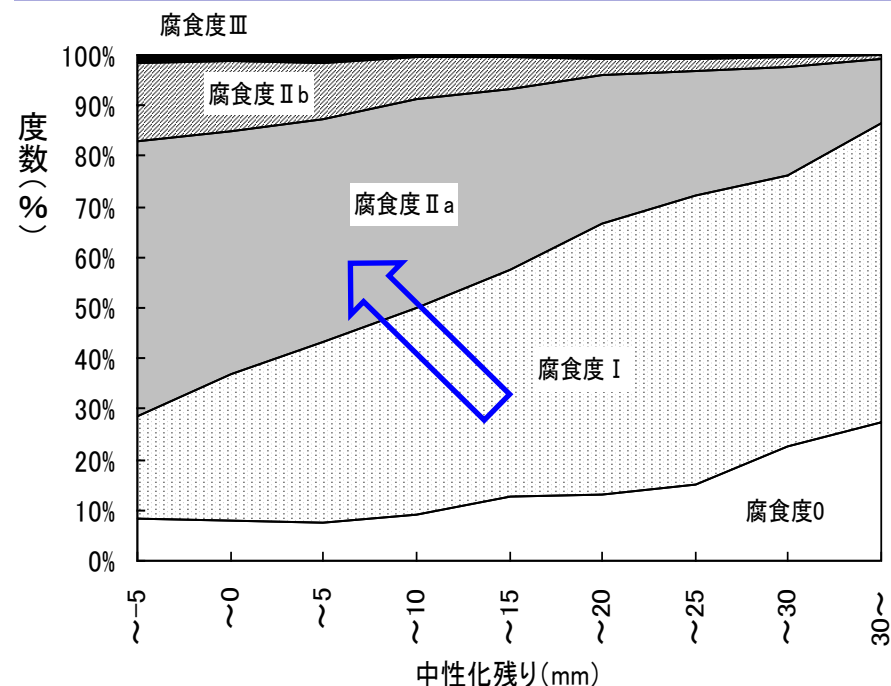
はつり調査箇所の状況



※配力鉄筋（奥の鉄筋）が露出するまではつり出し、中性化深さ、鉄筋腐食度およびかぶりを測定する。

調査箇所の詳細（中間スラブの例）

山陽新幹線高架橋等総合診断の結果(中間スラブ)



中性化と鉄筋腐食の関係

塩化物イオン量と鉄筋腐食の関係

- 高架橋等の主たる劣化要因は**中性化**である
- 塩化物イオン量は中性化ほど顕著ではないが、その値が大きいほど鉄筋腐食が進行

	かぶり	中性化深さ	鉄筋腐食度	塩化物イオン濃度
設計値	25mm	約10mm	—	—
平均値	31mm	22.5mm	Ⅱa以上47%	0.97kg/m³

山陽新幹線コンクリート問題で得た教訓

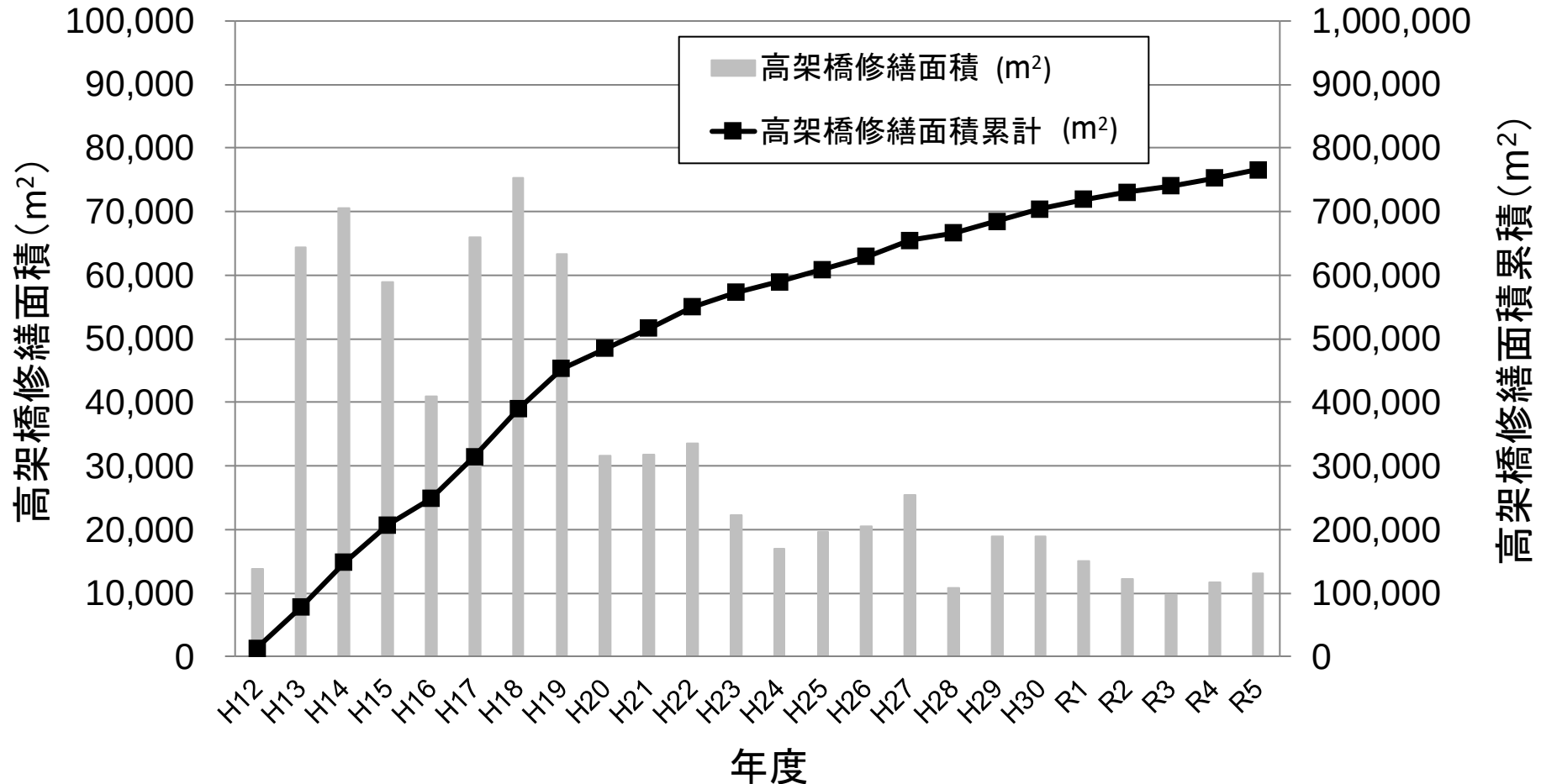
山陽新幹線コンクリート問題から得た教訓

- ①適時適切な維持管理が必要
(検査(方法, 頻度, 精度)と補修(方法、時期、材料)の体系化)
- ②「確認すること」の重要性
(確認項目や確認方法、合否の判定基準の明確化・・・など)
- ③要求性能としての「公衆安全性(第三者影響度)」の重要性
- ④技術開発の必要性
(検査精度向上, 材料や工法の性能確認・・・など)
- ⑤記録の活用と更新
(記録のデータベース化, 使いやすさ・・・など)
- ⑥人材育成(量, 質)
(構造物を診る目, 維持管理に対する使命感・矜持・・・など)

⇒山陽新幹線コンクリート構造物は、建設当時の社会背景もあって生まれながらにして維持管理上の課題を多く抱えている。
⇒着実な維持管理を継続していくこと(確認すること)が、劣化の抑制、長寿命化の取り組みにつながる。

コンクリート問題発生後の維持管理に関わる主な取組み

目 的	項 目、内 容
検査・補修を体系的に進める	・初回全般検査、特別全般検査を含む新しい検査体系への移行 ・維持管理体制の強化 ・補修工法選定フローに基づく補修の実施
変状箇所を確実に 見つける新技術の導入 (検査精度の向上) (見落としをなくす)	・覆工表面撮影車の導入とトンネル保守管理システムの構築 ・『トンネル保守管理の手引き』の制定 ・トンネル検査車の増配備 ・赤外線剥離検査システムの開発・導入 ・鉄筋曲げ加工部の非破壊検査の試行 ・検査専門子会社「(株)レールテック」の発足
変状箇所を確実に補修する	・『コンクリート構造物補修の手引き』の制定(基準類の整備) ・現場確認試験や暴露試験による補修材料の性能確認 ・コンクリート補修施工管理技士制度の施行(資格制度)
検査データ等を記録し 活用する	・検査記録や補修内容のデータベース化(総合診断の実施等)
技術開発を進める (省力化, 耐久化・・・)	・光硬化型樹脂接着シートの開発 ・トンネル路盤下注入材料の開発 ・再アルカリ化, 脱塩・再アルカリ化工法, 電気防食工法の試験施工 ・レーザーを用いたコンクリートの剥離検知手法の検討 ・PC桁外ケーブル張力モニタリング方式の開発
人材育成を進める	・専門技術者の育成 ・大学, 学協会等との連携強化 ・「コンクリート構造物の維持管理に関する検討委員会」の活用



※修繕面積は、部分断面修復、全面断面修復、全面表面被覆、再アルカリ化工法等を実施した数量の合計。

2000年度当初の計画では、2000～2003年度までの4年間の補修計画であったが、その後、補修面積は累積で増加し続けている。

各工法の補修実績(2000～2023年度)

工法	補修面積(m ²)	
	2000～2014年度	2015～2023年度
全面断面修復工法	130,200	16,000
脱塩・再アルカリ化工法, 電気防食工法	3,700	100
再アルカリ化工法	15,500	100
全面表面被覆工法	289,300	14,200
部分断面修復工法	203,300	93,200
合計	642,000	123,600

2000～2006年度ごろまでは、中性化の進行を抑制する目的で表面被覆工法を中心に補修が実施されたが、近年は部分断面修復工法が大宗を占めている。また、後ほど説明する再アルカリ化工法を2016年度に、電気防食工法を2019年度に試験施工している。

断面修復工法および表面被覆工法による補修



(a)全面断面修復工法



(d)全面表面被覆工法



(e)部分断面修復工法

補修品質向上の必要性 ～補修モルタル落下事象を受けて～

1999年度 断面修復工法を多く実施



2000年8月 高欄部の施工目地部から**補修モルタルが落下**



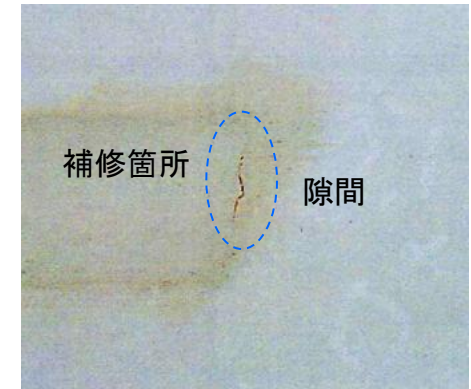
1999年度の補修箇所の一部について、至近距離から目視、打音検査を実施

＜検査結果＞

- ・異音を発する箇所
- ・補修モルタル表面にひび割れが生じていた箇所
- ・母材コンクリートと補修モルタルの間に隙間が生じていた箇所を確認

【顕在化した課題】

- ✓これまでの補修仕様が不適切であること
- ✓補修材料の性能確認を屋外暴露や実構造物で実施していないこと
- ✓現場施工責任者の理解や技術力にばらつきがあること



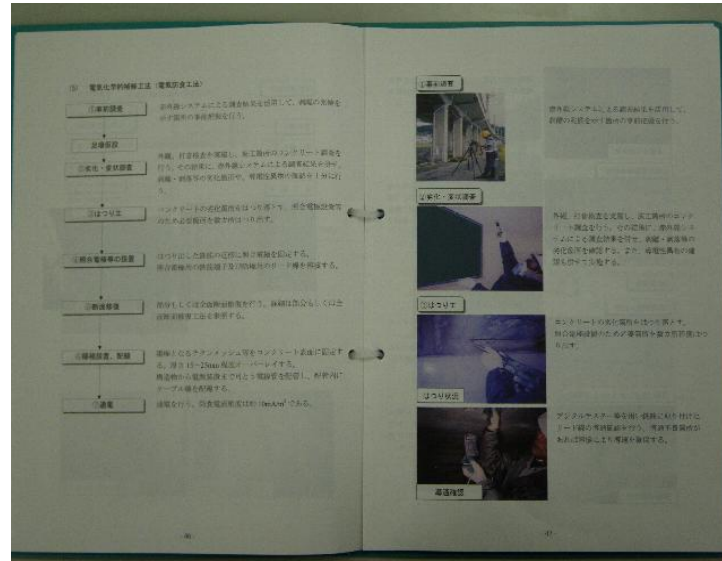
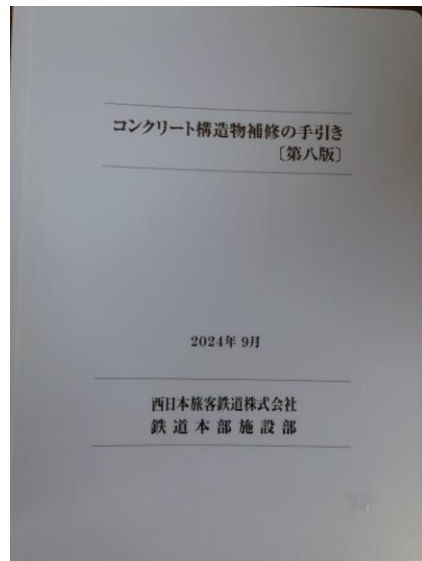
補修端部に隙間が生じている事例

【補修品質向上に必要なこと】

- ①補修仕様の抜本的な見直し
- ②長期暴露試験結果等に基づく性能確認と補修材料の認定化
- ③補修工事現場に常駐して施工管理を行う技術者への資格認定と継続教育

JR西日本の「コンクリート構造物補修の手引き」

『コンクリート構造物補修の手引き』の策定(初版 平成13年4月制定)



・補修を適切に実施していくことを目的として策定

- ・各種補修工法の手順
- ・施工上の留意点
- ・品質管理項目
- ・使用材料の品質規格
- ・当社認定材料

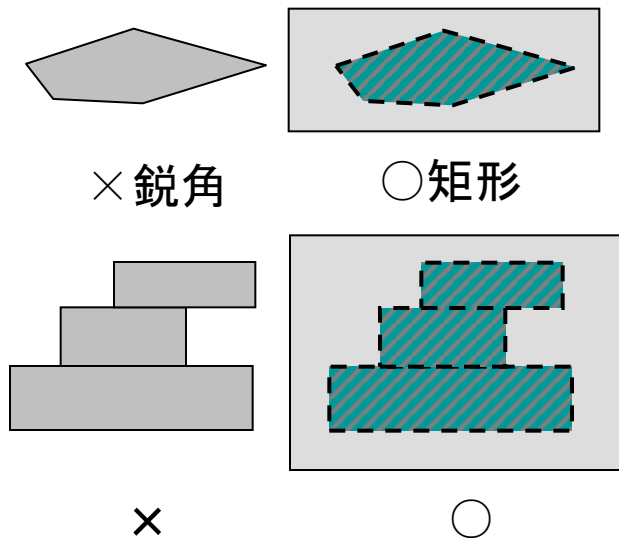
『コンクリート構造物補修の手引き(第8版)』(2024年9月改定)

『手引き』では、わかりやすいように写真・図を多用し視覚化を心掛け、逐次改定

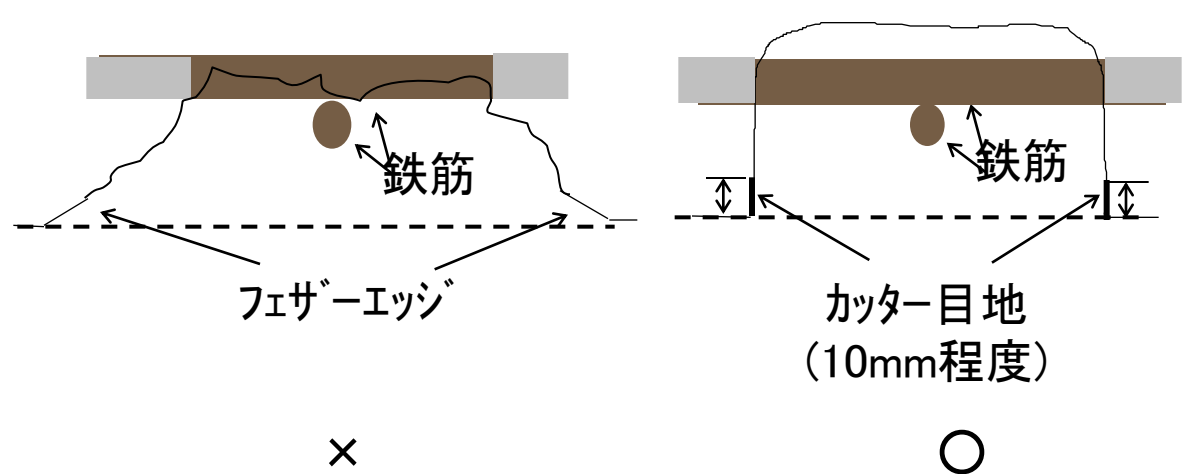
補修仕様の変更の一例

補修品質の向上を図るため、補修仕様の変更を実施。

平面的には矩形形状にまとめて、点錆になるまではつり込み、深さ方向にはカッター目地を入れてフェザーエッジが生じないよう、また鉄筋裏20mmまではつり込み、ケレンを適切に実施することとした。



平面図



断面図

コンクリート補修施工管理技士制度①

【制度導入の背景】

- ・補修品質の向上
- ・補修工事に携わる技術者の技術力等向上
- ・施工側の意識改革(確認の重要性など)

【制度導入】2001年6月～

【対 象 者】補修工事に従事する一定の資質を有する施工会社の技術者

【資格認定等の概要】

- ・劣化メカニズム,補修材料(認定),補修工法(認定),補修仕様についての講習会を実施
- ・『コンクリート構造物補修の手引き』をテキストとして使用
- ・認定試験に合格した者に資格を付与
- ・資格認定者 約800名(R7年度時点)
- ・継続教育として有資格者研修会を1～2年ごとに実施



補修施工管理技士の講習会

認定番号 ○○○○ 号	
コンクリート補修施工管理技士資格証	
氏名 ○ ○ ○ ○	
生年月日 ○年○月○日	
上記の者をコンクリート補修施工管理技士と認める。(○年度末まで有効)	
研修会参加日 ○年○月○日	
登録日 ○年○月○日	
西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部長	

資格証

コンクリート補修施工管理技士制度②

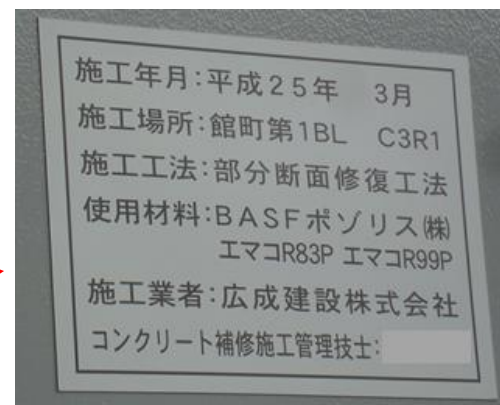
【資格認定者の役割】

- ・補修工事の現場に**常駐** ※当初は山陽新幹線を対象, 2002年度からは在来線にも適用
 - ①施工手順・施工工程の遵守
 - ②気象条件(天候、気温、湿度等)の確認
 - ③使用する各種補修材料の仕様の遵守
 - ④工程ごとの管理基準の確認と記録

【補修の記録】

- ・工事完了後, 補修に関する記録を記した**銘板**を設置

⇒今後の検査, 再補修時の参考



铭板の例

補修に関する情報の記録

工法を誤ると改悪になる事例

- ✓ 表面被覆工法(ライニング工法)の選定は要注意
- ✓ 断面修復工法と表面被覆工法は根本的に異なる工法
 - ・ 断面修復工法…劣化箇所を取り除く
 - ・ 表面被覆工法…劣化因子(空気中の二酸化炭素)の侵入を阻止する

中性化と内的塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物に
表面被覆工法を適用すると…

→ コンクリート中に塩化物イオンが残存したままとなる

- ✓ 塩化物イオンが残存しているとどうなるか

第1永手町高架橋コンクリート剥落



剥落事象の概況

- ✓ 発生日時 2019年8月24日(土)14時45分頃(受報)
- ✓ 発生場所 東海道本線 住吉・六甲道間 第1永手町BL
(1973年建設)
- ✓ 特記事項 剥落範囲は約2.9m×6.5m, 厚さ約3cm
総重量は約1.3t(推定)
床版に表面被覆工(メッシュ入り)を施工
(施工年度不明)
- ✓ 検査・点検履歴

種別	方法	日時	判定	備考
随時検査	徒歩目視	2018.11.17	A2	
至近点検	高所作業車	2018.8.23	—	全面浮き
通常全般検査	徒歩目視	2017.11.15	A2	

剥落前後の比較

✓ 前回検査(2017年11月)

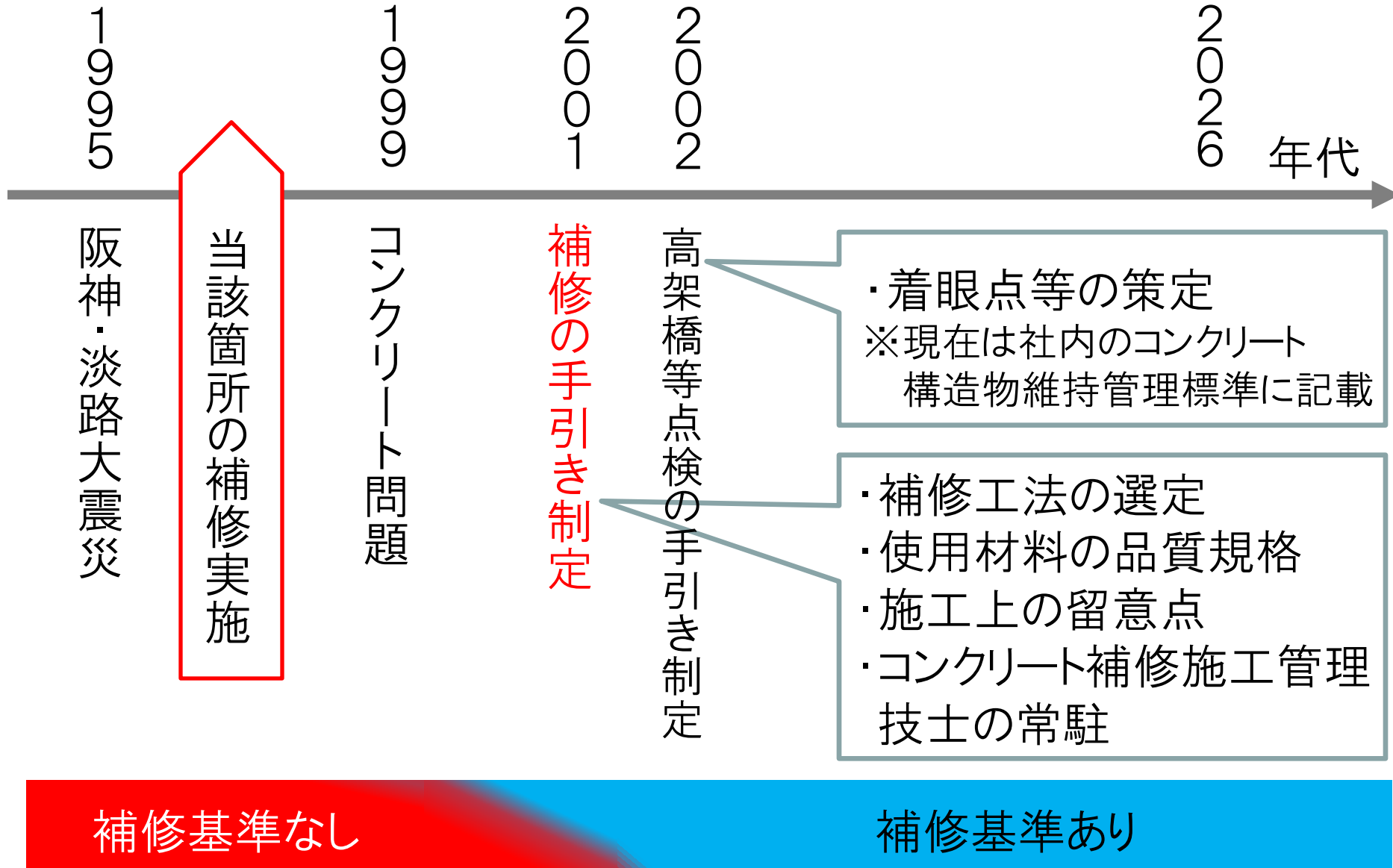


✓ 落下直後(2019年8月)



※全面的に浮いていたが、表面被覆工(メッシュ入り)によってひび割れが表面に顕在化せず徒歩目視では変状の把握が不可(ただし、部分的な浮きはあったと思われる)

JR西日本の社内の技術基準の変遷



各種調査結果

✓ 圧縮強度推定(リバウンドハンマーによる測定)

床版	縦梁	横梁
30.2N/mm ²	29.7N/mm ²	30.6N/mm ²

→ 設計基準強度(240kgf/cm²)は満足

✓ 中性化深さ, かぶり, 鉄筋腐食度(床版)

中性化深さ	設計かぶり (mm)	実かぶり (mm)	鉄筋径 (主鉄筋)	鉄筋腐食度
30～49mm	30	15～40	D19	IV※

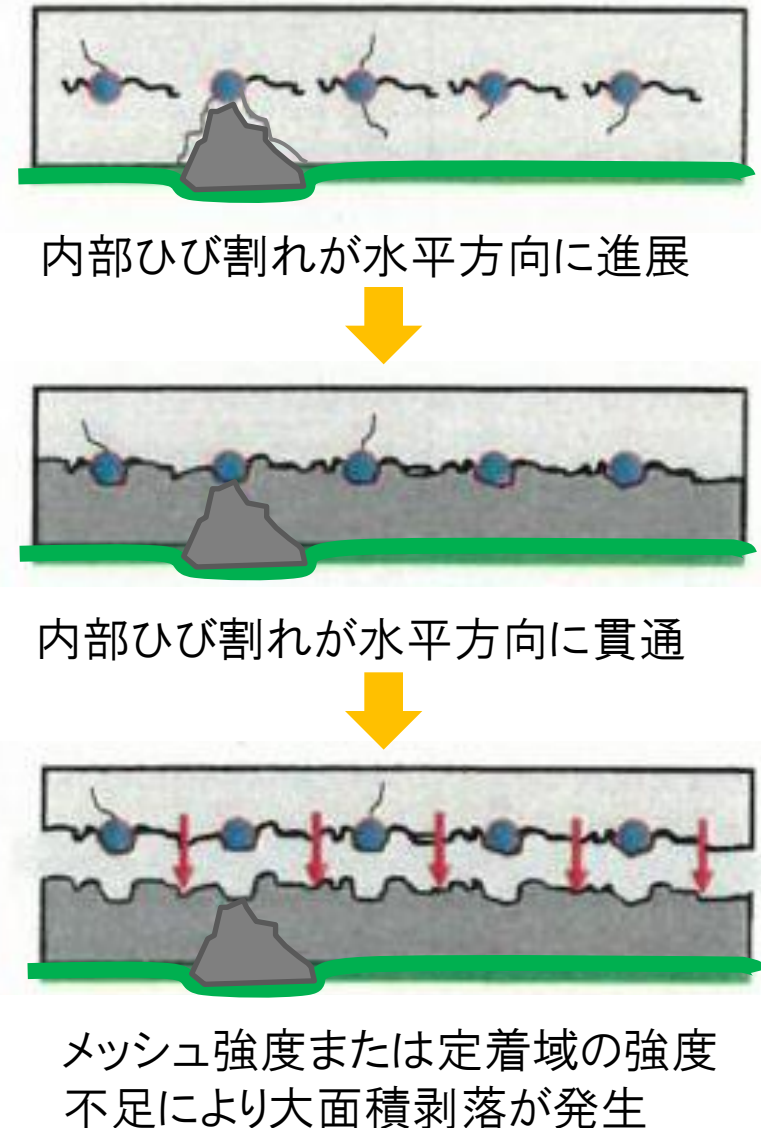
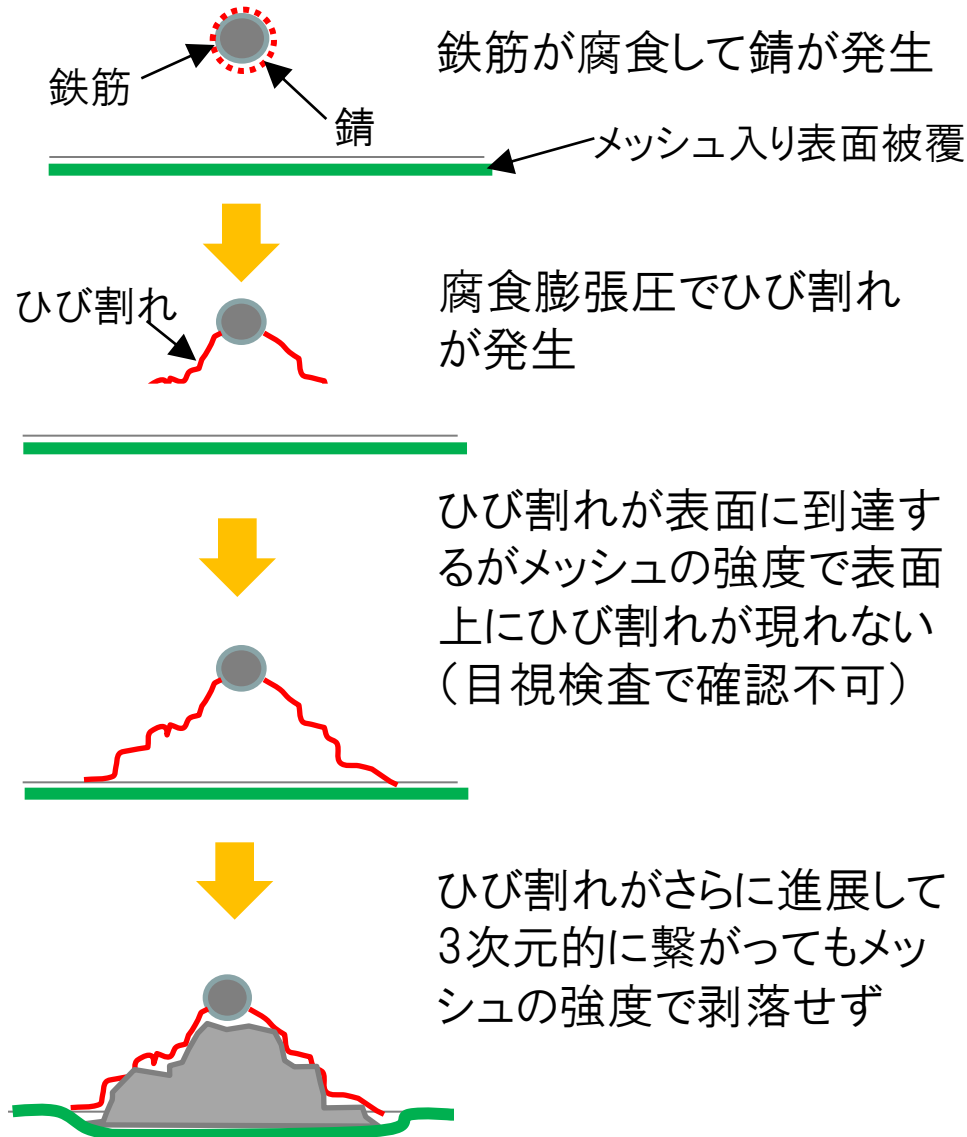
→ 中性化残りは-34mm～10mm、鉄筋は断面欠損

✓ 塩化物イオン量(床版)

表面からの距離	30～50mm	90～110mm
Cl ⁻ 濃度(kg/m ³)	1.99	1.43

→ 鉄筋近傍に発錆限界(1～2kg/m³)に近い塩化物イオン

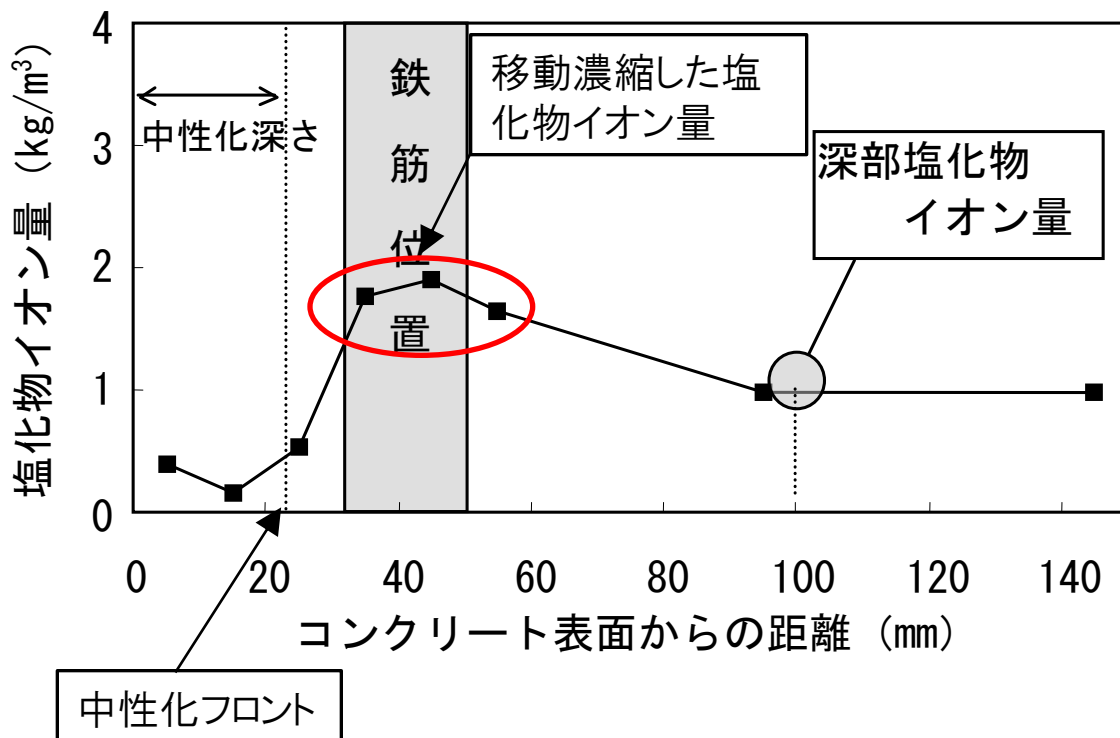
全面にわたって剥落した原因



鉄筋腐食が著しく進行した原因(推定)

✓ 当該剥落箇所の補修方法(推定)

- ・ 塩化物イオンが存在し、かつ中性化が鉄筋近傍まで進行した状態で表面被覆を実施



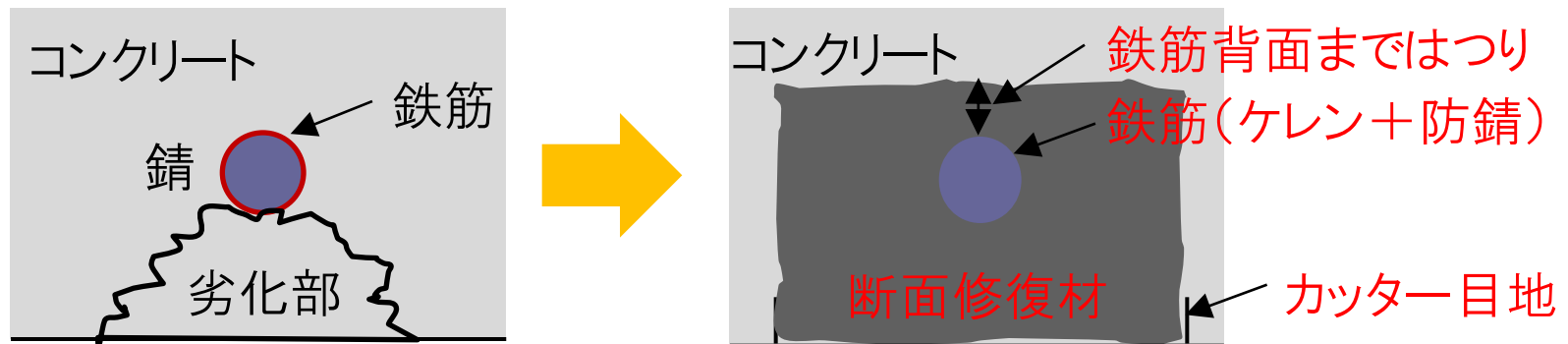
- ・ 塩化物イオンは中性化フロントに移動して濃縮
- ・ 鉄筋近傍まで中性化が進行すると鉄筋位置付近に塩化物イオンが濃縮
- ・ このような状況で表面被覆を施工すると中性化が進行せず、塩化物イオンは鉄筋近傍に残ったままとなり、鉄筋腐食を通常よりも助長

補修工法選定の重要性

✓ 補修工法を誤ることで鉄筋腐食を助長する可能性あり

✓ 補修工法は「コンクリート構造物補修の手引き」に記載の補修工法選定フローによって選択

✓ 第1永手町BLを補修工法選定フローに当てはめると、断面修復工法の施工となる



鉄筋コンクリート構造物を健全な状態で供用し続けるために

【課題認識】

□塩化物イオンを含む劣化したコンクリートの補修の効率化が必要

- ①断面修復工法のさらなる施工効率化
- ②取替え可能な部材の開発

□事後維持管理から予防維持管理へ

補修工法選定フローでは、浮き箇所(変状)の有無からスタートしており、事後維持管理が前提となっている。劣化箇所が少なければ対応可能だが、増加すると対応できなくなる可能性がある。

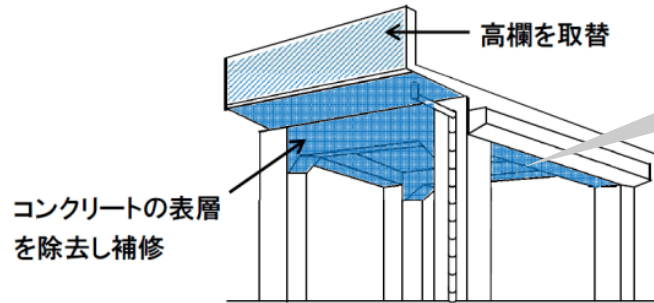
⇒**予防維持管理**の検討が必要

鉄筋腐食を伴う劣化に対する対策工法として実績のある電気化学的防食工法の適用を検討

断面修復工法の施工効率化、品質向上の取組み

橋りょう(コンクリート橋)

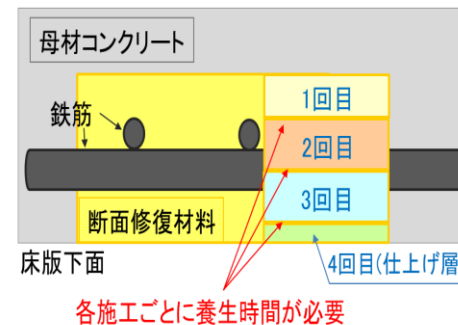
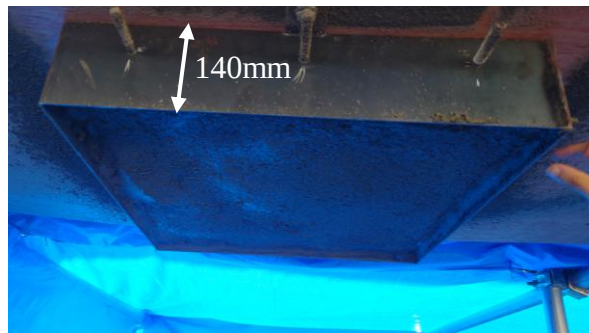
・断面修復工、高欄取替



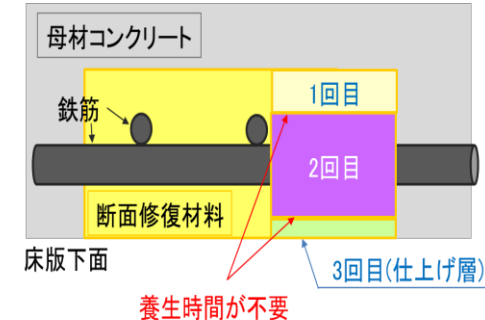
断面修復工



厚付け仕様の断面修復材料の導入の検討状況



(a)従来工法



(b)厚付け仕様

従来工法との比較

【厚付け仕様の断面修復材の特長】

- ・1回の吹付け厚さが70mmを超える断面修復材料
⇒作業時間の約20%短縮を達成
- ・断面修復材の層間が減り、品質向上に寄与

劣化したコンクリート高欄の対策（高欄取替の取組み）

高欄取替

場所打ち構造

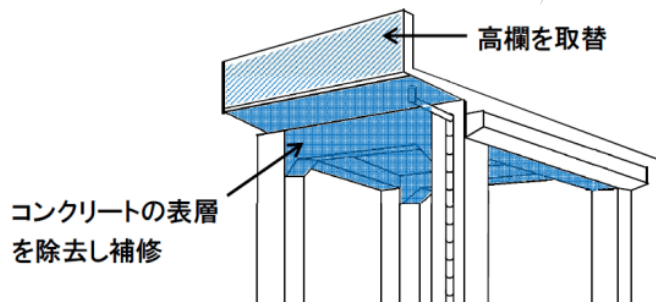


間柱構造



橋りょう(コンクリート橋)

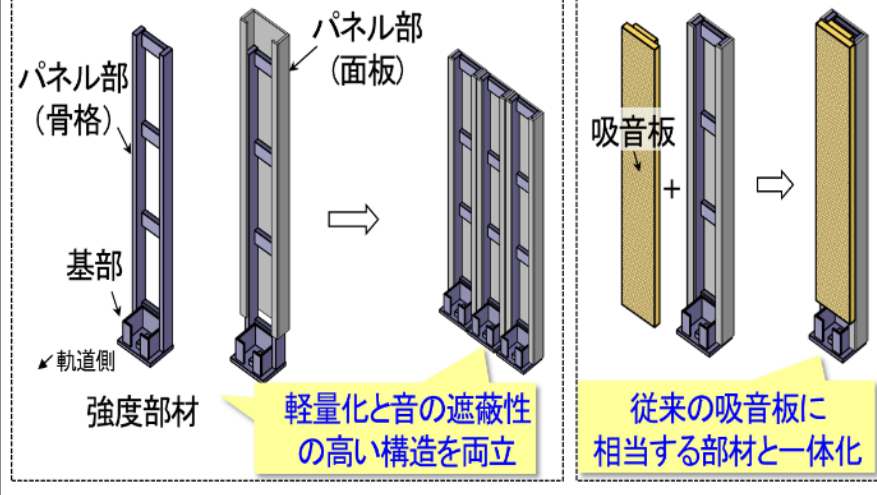
・断面修復工、高欄取替



取り替える高欄の材料には高耐食性めっきを使用



100年以上の
耐用年数を見込む



支柱を設けない新型高欄の概要

高欄取替の取組み



支柱を設ける取替高欄の外観



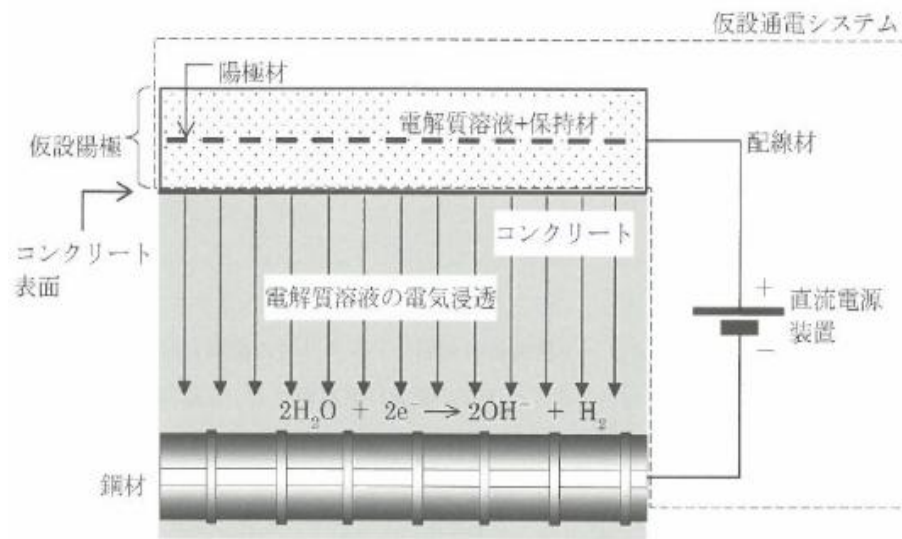
支柱を設けない新型高欄の外観

【新型高欄の特長】

- ・軽量化と遮音性の高い構造を両立することが可能
⇒従来の吸音板に相当する部材と一体化できる構造
- ・人力での運搬・設置が可能
⇒これまで夜間作業で支柱間に強化プラスチック複合板を設置していたが
これに相当する作業が昼間に施工可能となった ⇒施工効率が向上

再アルカリ化工法の適用拡大について

再アルカリ化工法は、コンクリート中にアルカリ溶液を電氣的に浸透させる工法で、中性化によって損なわれたコンクリートの防錆機能を回復させ高めることを目的とする電気化学的防食工法の一つである。



再アルカリ化工法

(利点)

工法終了後は、仮設陽極や直流電源装置等の仮設通電システムを撤去し、通電で使用した付帯物を残すことがないため、既設コンクリート構造物の外観を損なうことがない点。

○山陽新幹線における施工実績

⇒1997年に実構造物にはじめて適用
(これまでに約15,000m²の適用実績)

効率施工型再アルカリ化工法の試験施工

➤ 効率施工型再アルカリ工法の検討

従来施工型と比較して、積算電流量は同一、電流密度を2倍、通電期間を1/2として工期を短縮した工法の試験施工を2016年度に実施.

従来施工型

電流密度: 1A/m^2
通電期間: 14日間

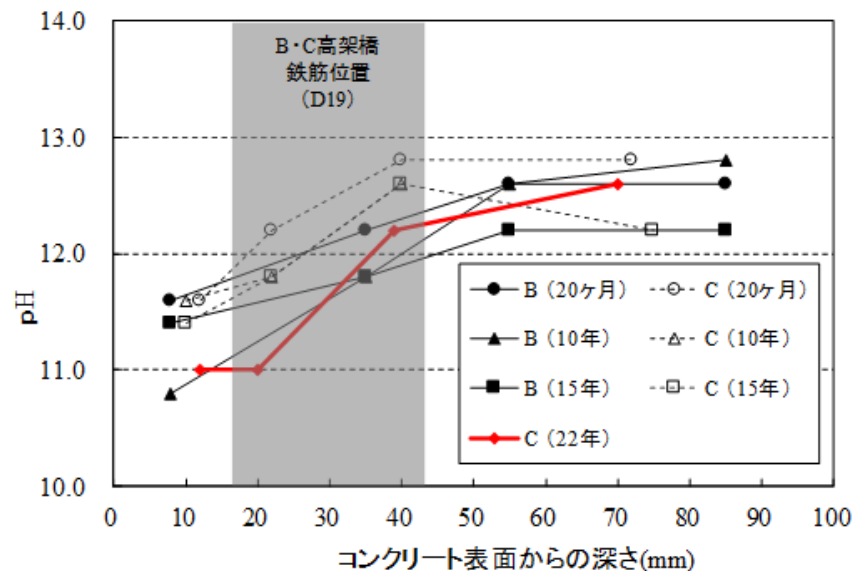


効率施工型

電流密度: 2A/m^2
通電期間: 7日間



ファイバー法(アルカリ溶液を吹き付け)



再アルカリ化工法の追跡調査結果
(定期的に効果を確認)

鉄筋コンクリート構造物の補修について

中性化と内的塩害により鉄筋が腐食して、かぶりコンクリートに剥離が発生した高架橋等に対しては、主として、断面修復工法を適用して補修している

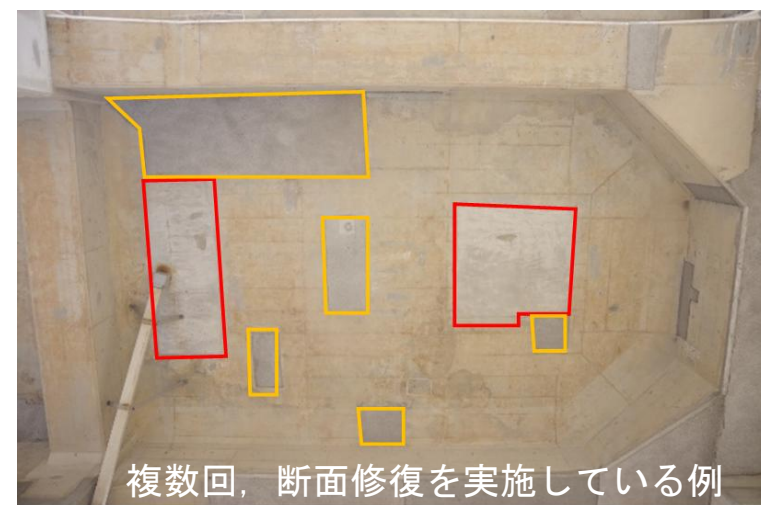
事後維持管理

しかし、塩化物イオンが既設コンクリート部分に残存している場合、経年によって既補修箇所以外の部分において劣化が進行し、複数回、部分断面修復による補修を実施する場合がある



【課題】

- ①既補修箇所以外の部分の劣化
⇒複数回の補修によるコスト増
- ②将来の急激な生産年齢人口の減少
⇒必要な時期にリソースを割けない



予防維持管理

劣化が発生あるいは進行しないように予防的な適切な対策を講じ，構造物の維持管理を行う方法

【対象】 複数回，部分断面修復工法を実施した鉄筋コンクリート高架橋等
予防維持管理の導入を検討

既補修箇所以外の部分の変状が顕在化する前に措置，劣化進行の抑制

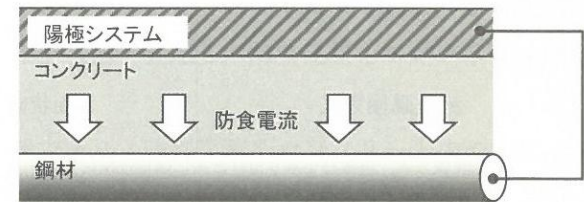


補修周期延伸・コスト削減に寄与

【予防維持管理の一つの案】

線状流電陽極方式の電気防食工法の検討

- ・ 日常的な電流管理不要
- ・ コンクリート表面に陽極システムを設置することにより，予防維持管理したい範囲に対策することが可能



※鋼材と陽極材のイオン化傾向の差によって生じる起電力により防食電流を供給する

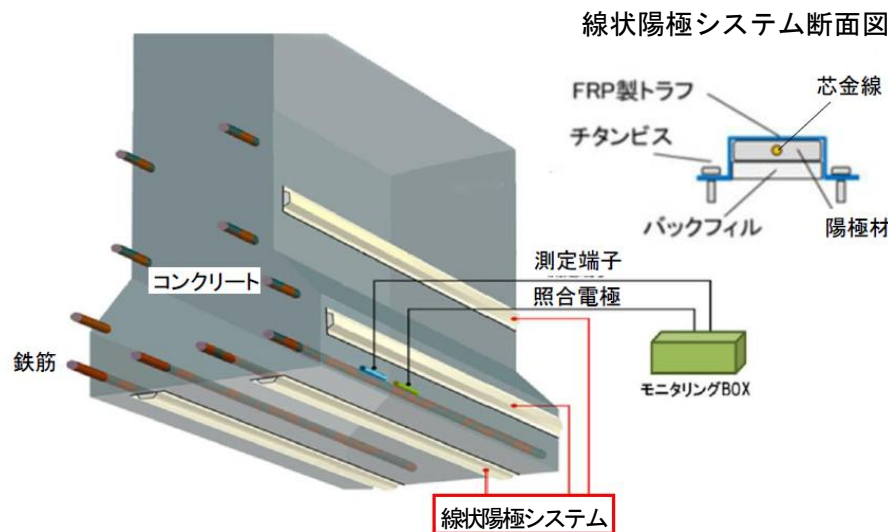
流電陽極方式の電気防食工法

【出典】土木学会：電気化学的防食工法指針

線状流電陽極方式電気防食工法の試験施工 -線状流電陽極方式の概要-

- ・ 陽 極 材：亜鉛
- ・ バックフィル：吸水シートに電解質溶液を含浸させたもの
- ・ 電解質溶液：陽極の接地抵抗を下げるために、従来は塩化物系電解質溶液を使用

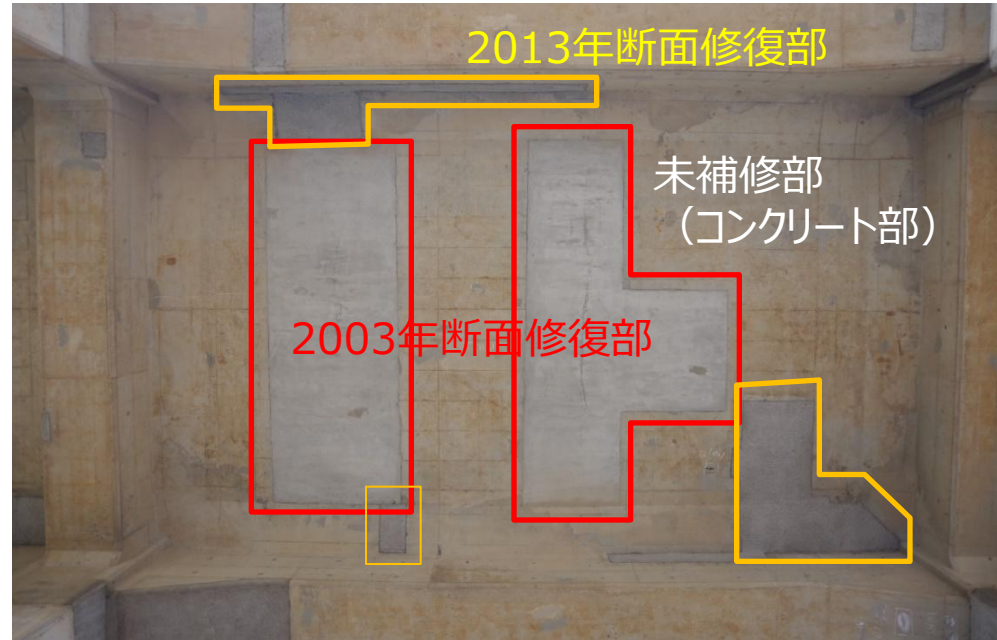
⇒内的塩害の構造物への適用を考慮して、**非塩化物系電解質溶液**を開発



- ・複線2柱式3径間ラーメン高架橋（1975年しゅん功）
- ・沿岸から約10kmの内陸部に位置
- ・2003年と2013年に部分断面修復を施工(P/C:6%のPCMを使用)
- ・中間スラブ全体面積の約30%が補修済
- ・塩化物イオン濃度（コンクリート表面から100mmの深さ）：1.95kg/m³



対象構造物

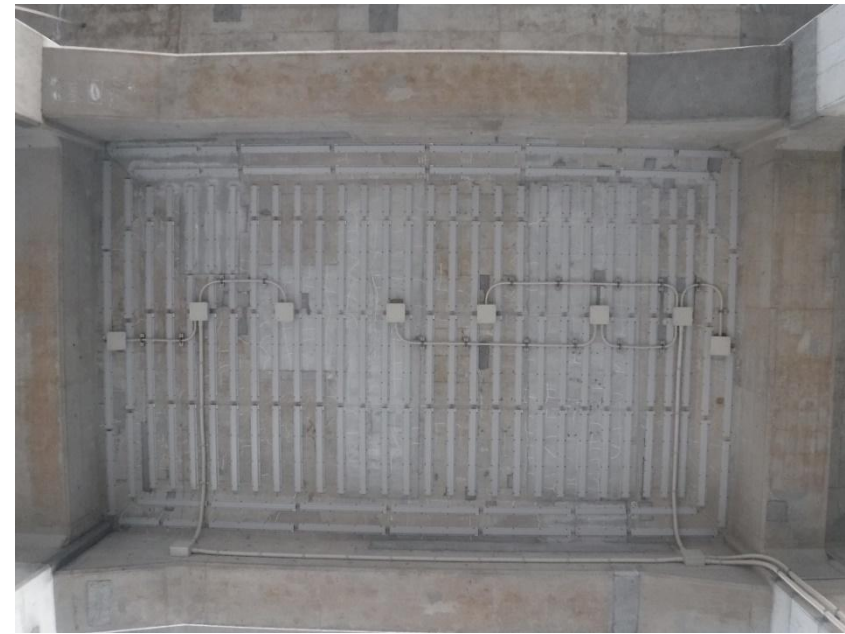


施工対象部位（中間スラブ下面）

- ・施工作業は高所作業車（スーパーデッキ式）1台を使用
- ・床版（約33m²）を照合電極設置等の事前処理も含め概ね5日間、計20人工で施工完了
- ・仮に同面積を断面修復した場合は、概ね25日間、計120人工程度が必要。



施工状況

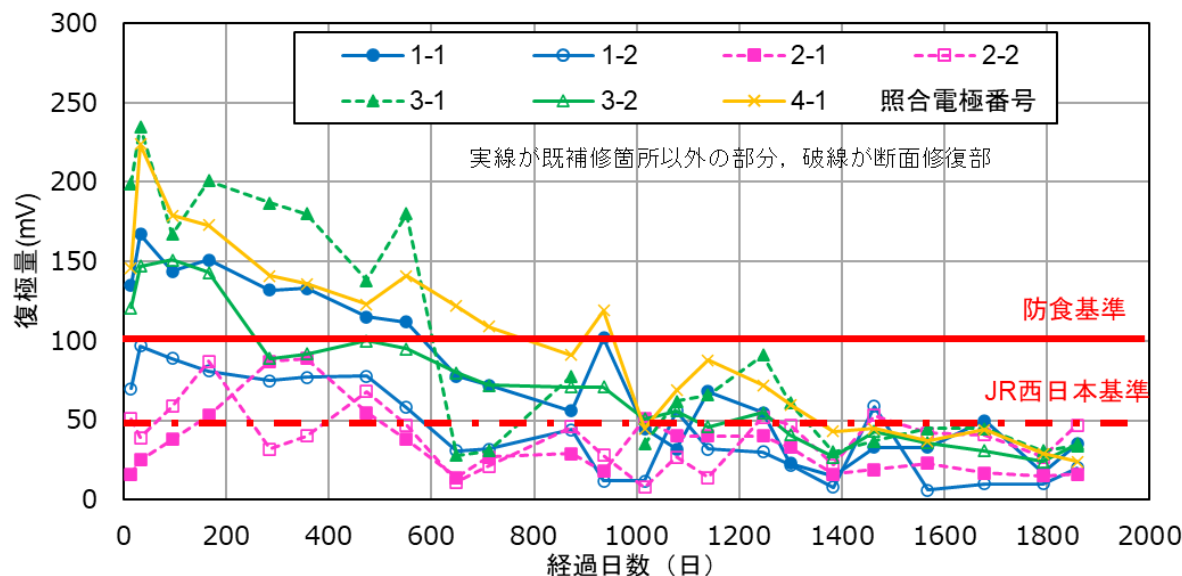
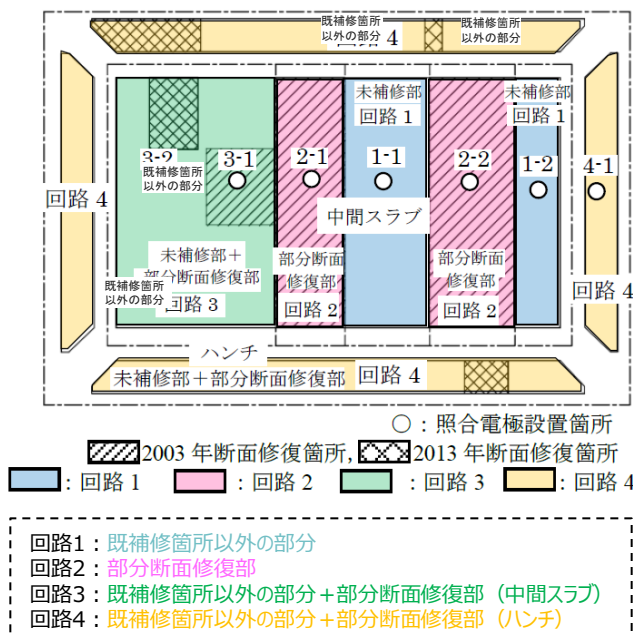
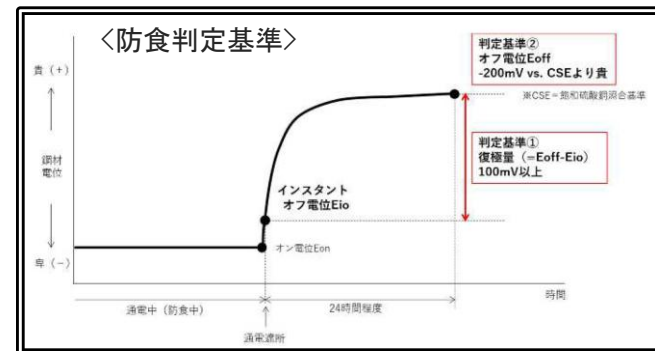


線状陽極システム設置完了状況

- 回路1,3,4の復極量について、照合電極1-1,3-1,4-1が550日まで防食判定基準100mV以上を満足、4-1のみ710日まで満足
- 1000日以降では、いずれも防食基準を下回っている
- 部分断面修復部のみの回路2については、復極量が50mV程度以下で推移

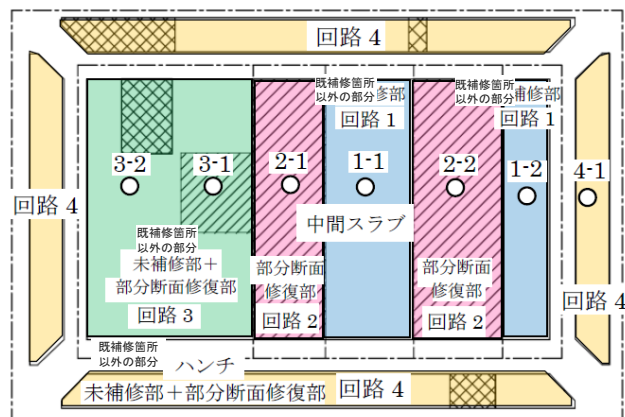
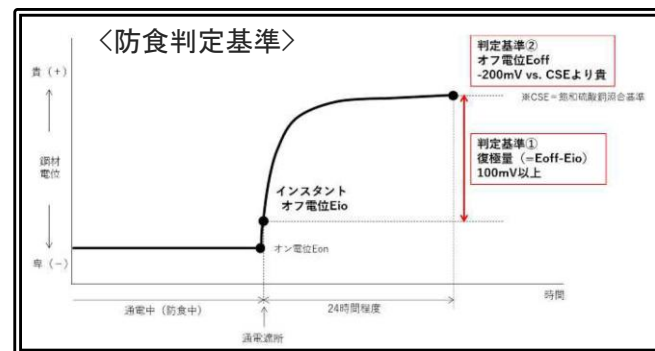
<参考>

対象構造物のようなコンクリート中の塩化物イオン量が比較的少ない内的塩害の環境では、復極量50mVで管理した場合に腐食速度の低減効果があることを確認済

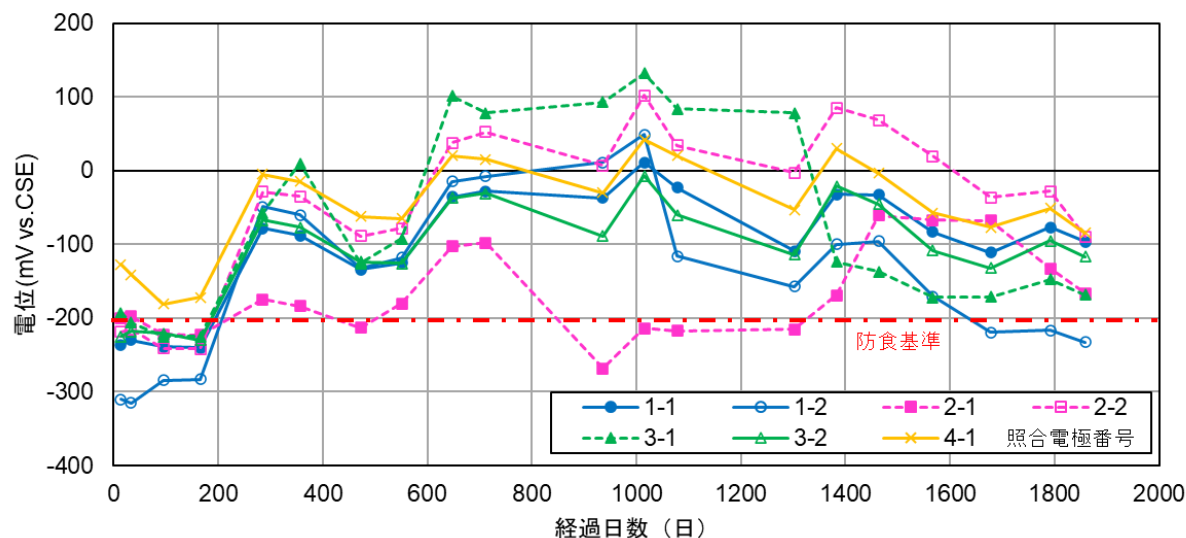


復極量の経時変化

- 280日以降は、照合電極2-1を除く回路で防食基準である-200mV以上を満足
- 1380日からは、すべての回路で防食基準を満足していたが、1680日以降、照合電極1-2で防食基準を下回る



○: 照合電極設置箇所
 2003年断面修復箇所, 2013年断面修復箇所
 回路 1: 既補修箇所以外の部分
 回路 2: 部分断面修復部
 回路 3: 既補修箇所以外の部分 + 部分断面修復部 (中間スラブ)
 回路 4: 既補修箇所以外の部分 + 部分断面修復部 (ハンチ)



オフ電位の経時変化

約5年間の防食状況(復極量)の推移から、500日程度までは防食基準の100mVを満足していたが、近年は50mVも下回っている。一方、防食状況(オフ電位)は、ほとんどの回路で防食基準の-200mV以上を満足していた。また、部分断面修復を実施した箇所では、防食基準を満足していない時期が認められるが、外観変状はないことから、防食効果が継続していると考えている。

おわりに

中性化と内的塩害を受けた鉄筋コンクリート構造物の維持管理ということで、1986年の「コンクリート中の塩化物総量規制」が制定される以前に建設された山陽新幹線鉄筋コンクリート構造物を主な対象として取り上げた。

以下に、維持管理に関して留意する点をまとめる。

- 発生した変状の劣化機構を推定し、発生原因を把握する。
- 構造物の変状に応じた適切な対策を実施する。特に、中性化と内的塩害を受ける場合、塩化物イオンが濃縮することに注意する。
- 新技術・新工法を導入する際には実地での試験施工を行うことが望ましい。また、定期的に効果の確認を行うことが大切。（失敗は成功のもと。）