

点検および補修補強に関する 技術的課題の整理

平成27年10月9日(金)
鹿児島県建設コンサルタンツ協会

鹿児島県建設コンサルタンツ協会（橋梁部会）の紹介

橋梁部会員名簿

氏名	所属
中野 智章	(株)大進
牛堀 武志	(株)建設技術コンサルタンツ
有村 良也	(株)南日本技術コンサルタンツ
小原 英徳	鹿児島土木設計(株)
尾上 大樹	(株)新日本技術コンサルタント
山下 順之	三州技術コンサルタント(株)
邊木園 隆太	(株)みともコンサルタント
坂口 陽祐	(株)久永コンサルタント
岩元 亮	(株)国土技術コンサルタント
杉原 庸水	朝日開発コンサルタンツ(株)
梶原 春男	九州テクノリサーチ(株)
別府 次郎	大福コンサルタント(株)

氏名	所属
末吉 智宏	(株)大翔
倉村 昌樹	(株)大亜測量設計
藤井 規彰	新和技術コンサルタント(株)
東川 竜次郎	(株)サタコンサルタンツ
田野 博和	コスモコンサルタンツ(株)
牧 和宏	(株)アジア技術コンサルタンツ
酒匂 秀章	霧島エンジニアリング(株)
荒川 勝広	(株)萩原技研
海江田 正	(株)錦城測量
有村 寿光	中央テクノ(株)
二木 祐介	(株)日峰測地
義村 太	アイ技研(株)

1. 設計業務の進め方
2. 調査試験
3. 対策事例
4. 補修工事および調査に伴う今後の課題

1. 補修設計の概論

1. 補修設計の概論

1-1 はじめに

1-2 業務の進め方

1-1 はじめに

■ 橋梁の維持管理の重要性

- ・高度経済成長期に建設された多くの橋梁が今後、当初の設計耐用年数を迎える。
- ・架け替えや修繕に要する費用が急増することが予想される。



・昨今の経済状況を踏まえると従来のような劣化が進行した時点での補修（事後保全）から、予防的な修繕により橋梁の長寿命化や計画的な架け替えを実施する（予防保全）へ移行し、既設橋梁を有効活用しライフサイクルコストの縮減を図ることが重要である。

※橋梁の長寿命化修繕計画により補修計画を策定を実施したところである。

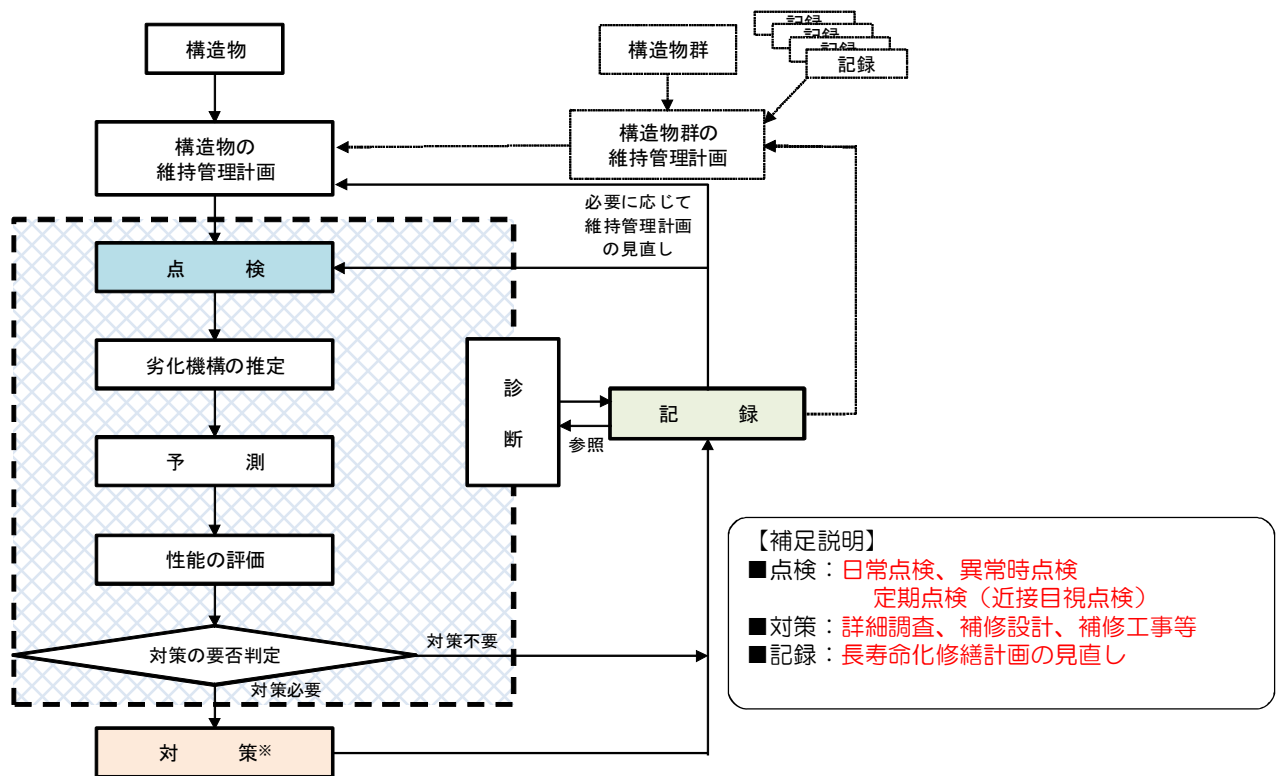
■ 補修とは？

第三者への影響の除去あるいは、美観や耐久性の回復もしくは向上を目的とした対策。ただし、供用開始時に構造物が保有していた程度まで、安全性あるいは、使用性のうち力学的な性能を回復させるための対策も含む。

■ 補強とは？

供用開始時に構造物が保有していたよりも高い性能まで、安全性あるいは、使用性のうちの力学的な性能を向上させるための対策。

構造物の維持管理の手順



※) 対策として解体・撤去が選択された場合には、記録を行った後に終了する。

コンクリート標準示方書（2013年制定）P.12

■橋梁点検（近接目視点検）と詳細調査（補修設計業務）の違い

■橋梁点検（近接目視点検）

橋梁定期点検マニュアル（案）に基づき近接目視点検（詳細点検）を実施し、点検結果はデータベース化を図り、今後の長寿命化計画に反映させる。

なお、近接目視点検とは、すべての部材に発生した損傷を詳細に把握することを目的とし、**橋梁各部に触れる程度の距離まで近接して目視する**点検である。

■補修設計業務で実施する外観調査

補修工事に必要とされる詳細調査であり、現地にて**形状寸法測定を行うとともに、確認される全損傷の寸法を測定**する。また、劣化原因を推定するために**必要な品質試験を実施**する。

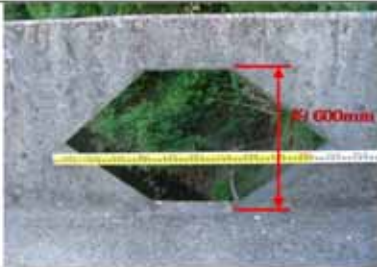


近接目視点検

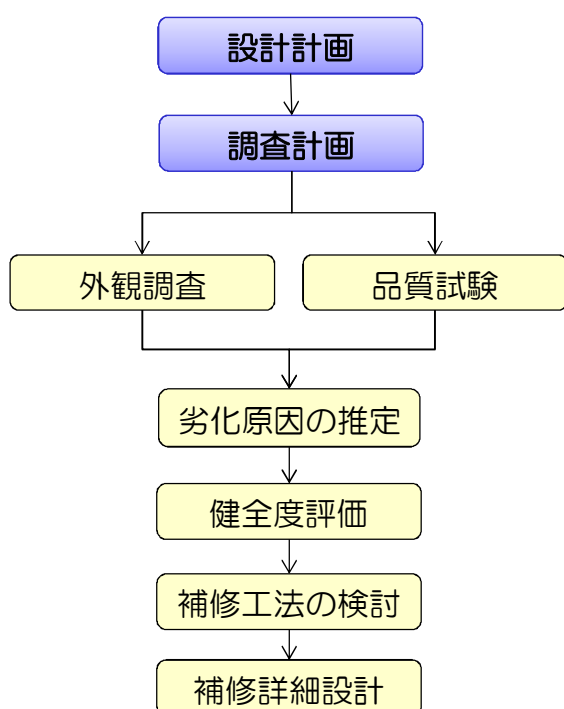


外観調査（ひび割れ幅測定）

表 緊急を要する損傷（例）

緊急を要する損傷（例）	
	
防護柵の欠損(第三者被害防止)	高欄中抜きコンクリート(第三者被害防止)
	
路面の凹凸(約 50mm)	パイルベント橋脚の傾き
	
高架橋の剝離・鉄筋露出(第三者被害防止)	伸縮装置の欠損

1-2 業務の進め方



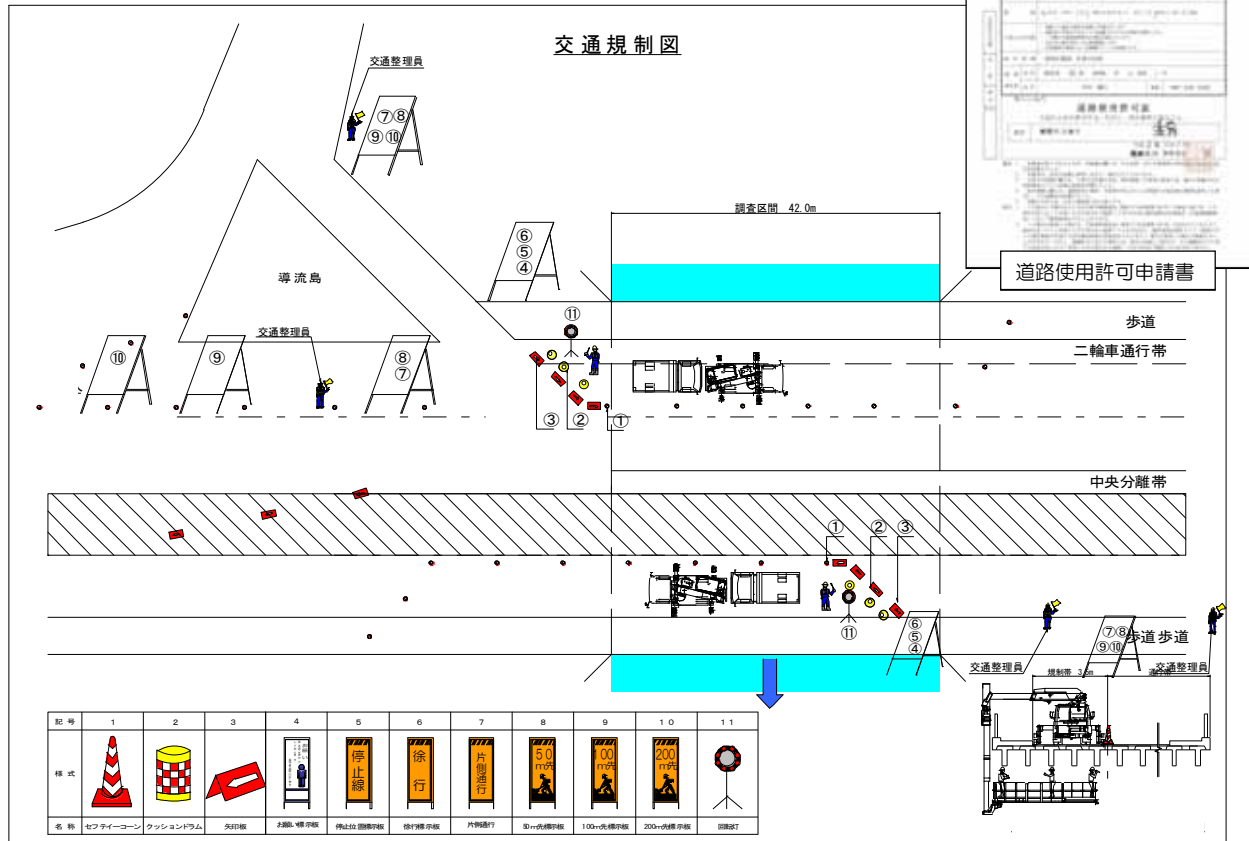
設計計画

- 業務計画書作成
- 資料収集
 - ・ 既設橋の資料収集
 - ・ 過去の点検結果、補修補強工事の有無、履歴
 - ・ 上記で有の場合、設計図、工事図書の入手
- 現地踏査

調査計画

- 作業計画書作成
 - ・ 調査方法（橋梁点検車・足場・梯子等）
 - ・ 品質試験内容
- ※ 橋梁点検車使用の場合
 - ・ 道路使用許可申請
 - ・ 橋梁点検車の手配（点検日時の決定）
 - ・ 交通誘導員の手配
 - ・ 周辺住民への広報（資料配布）
 - ・ 橋梁点検予告看板の設置
- 関係機関協議（必要に応じて）

大型の点検車使用、交差点等の交通量により規制計画が必要となる。



特殊な事例（JR）

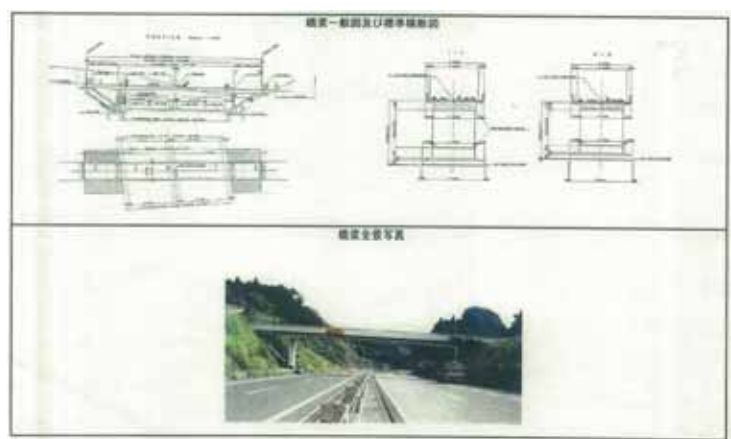
<立入りに関する資料>

点検作業を行う上で、木田橋については、東との立会い、また川橋橋、日ノ木橋については西日本高速との立会いが必要となった。なお、東との立会いについては鹿児島鉄道事業部において、次のような立ち入りに関する手続きを行った。



- 手続を開始
- ↓
- 保安員の紹介
【先注者から鉄道事業者へ】
- ↓
- 指示
【鉄道事業者から先注者へ】
- ↓
- 覽書・施工計画書の提出
【鉄道事業者へ】
- ↓
- 施工打合せ
【鉄道事業者⇄保安員】
- ↓
- 手続を終了
- 同一手続きの流れ

※ 覽書・施工計画書は、鉄道事業者が指定する保安員に作成を依頼し、依頼者から鉄道事業者に提出する。また、施工打合せは保安上の安全対策についての打合せであることから、鉄道事業者と保安員のみで実施してよい。



作業計画（桁下の調査方法）

現地踏査・資料収集から得られた情報を基に、適切な調査方法を選定する。

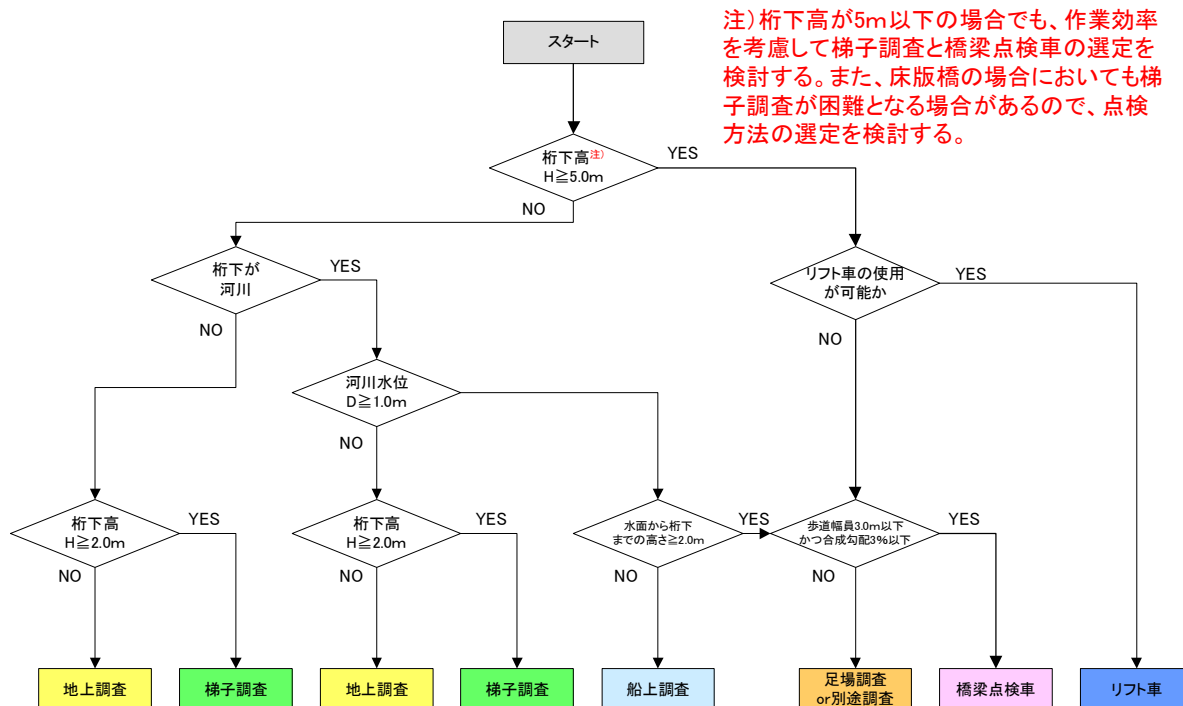
■ 橋梁点検車の場合

- 道路使用許可、交通規制計画などで時間を要する。
- 誘導員配置が必要。（警察より求められる）
- 時間的な制約に追われる。

■ 足場の場合

- 全面吊足場の場合、橋梁点検車より一般的に高価となる。
このため、点検車が使用困難かつ、地盤面からの足場設置が困難な場合のみ吊足場とする。→歩道橋、河川（潮位の影響）など
- 場合によっては河川協議が必要。

調査方法選定フロー（目安）

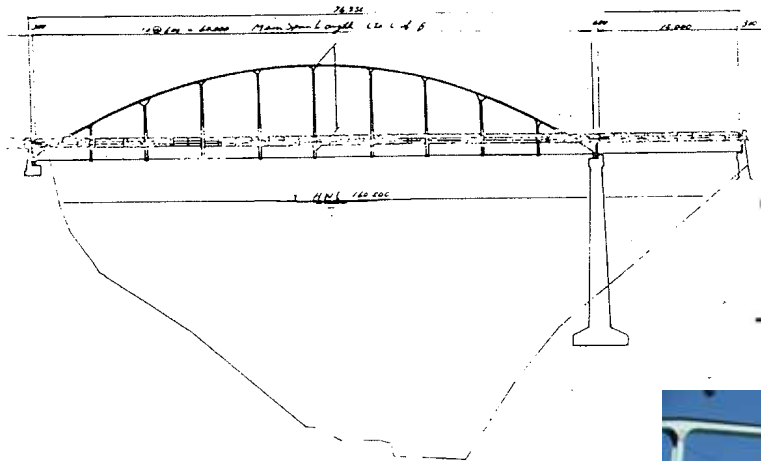


注) 桁下高が5m以下の場合でも、作業効率を考慮して梯子調査と橋梁点検車の選定を検討する。また、床版橋の場合においても梯子調査が困難となる場合があるので、点検方法の選定を検討する。

BT-400: 車輛総重量11t以下	
使用条件	
歩道幅員	3.4m以下
合成勾配	6%程度まで

BT-200: 車輛総重量8t以下		
	歩道にアウトリガーが 載せられる場合	歩道にアウトリガーが 載せられない場合
歩道幅員	2.4m	1.5m
合成勾配	6%程度まで	6%程度まで

点検車による調査



・橋梁点検車配置による
交通規制方法の検討
→片側交互, 全面通行止



BT-200



リフト車



BT-400



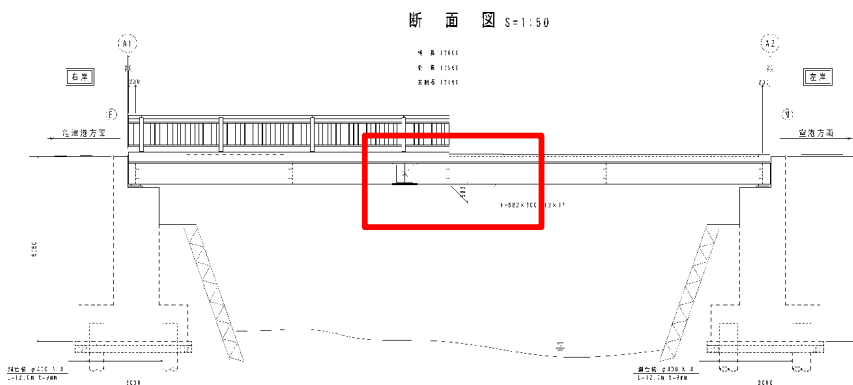
BT-400

■ 跨線橋点検(軌陸車使用)



■ 船上点検

部分足場【支間中央】



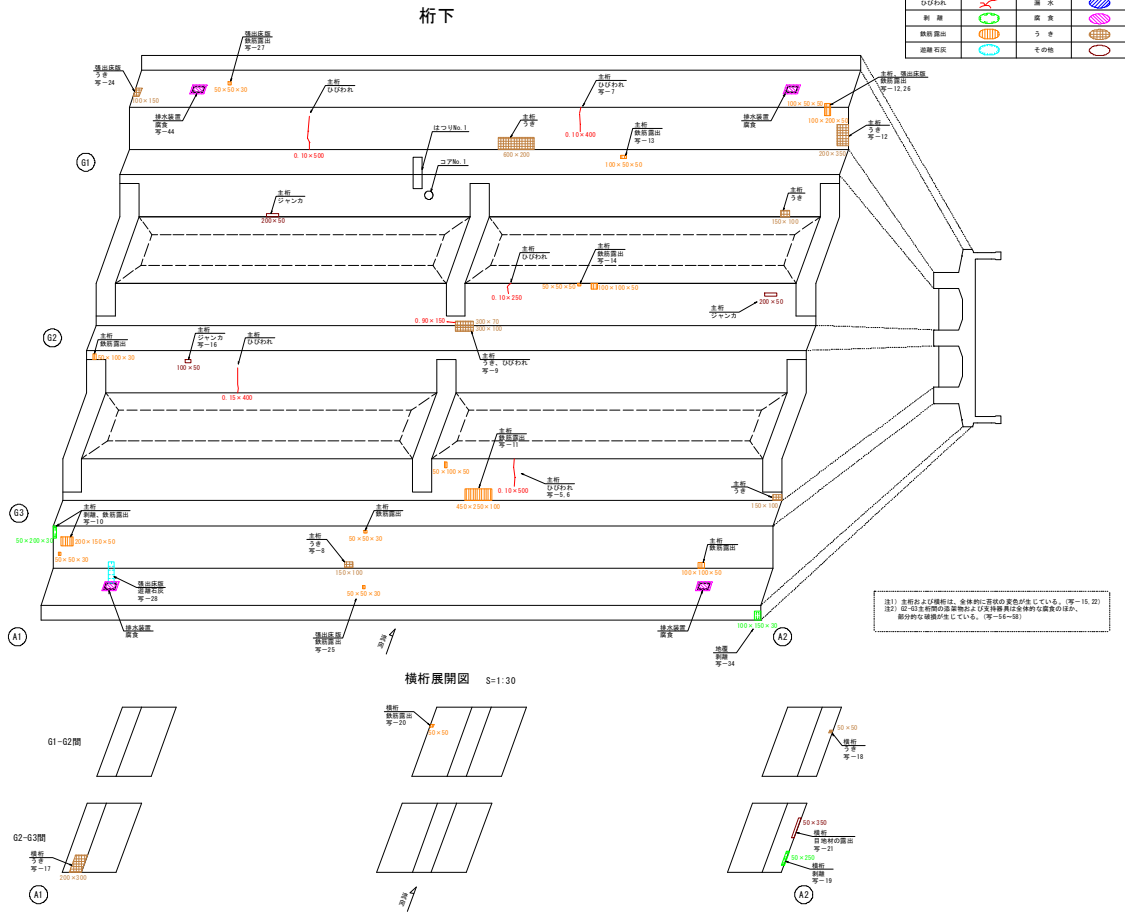
全面吊足場等の場合、橋梁点検車より一般的に高価となる。そのため、点検車が使用困難かつ、地盤面から足場の設置が困難な場合のみ吊り足場と考える。

- 歩道橋
- 河川（潮位の影響を受ける河川）

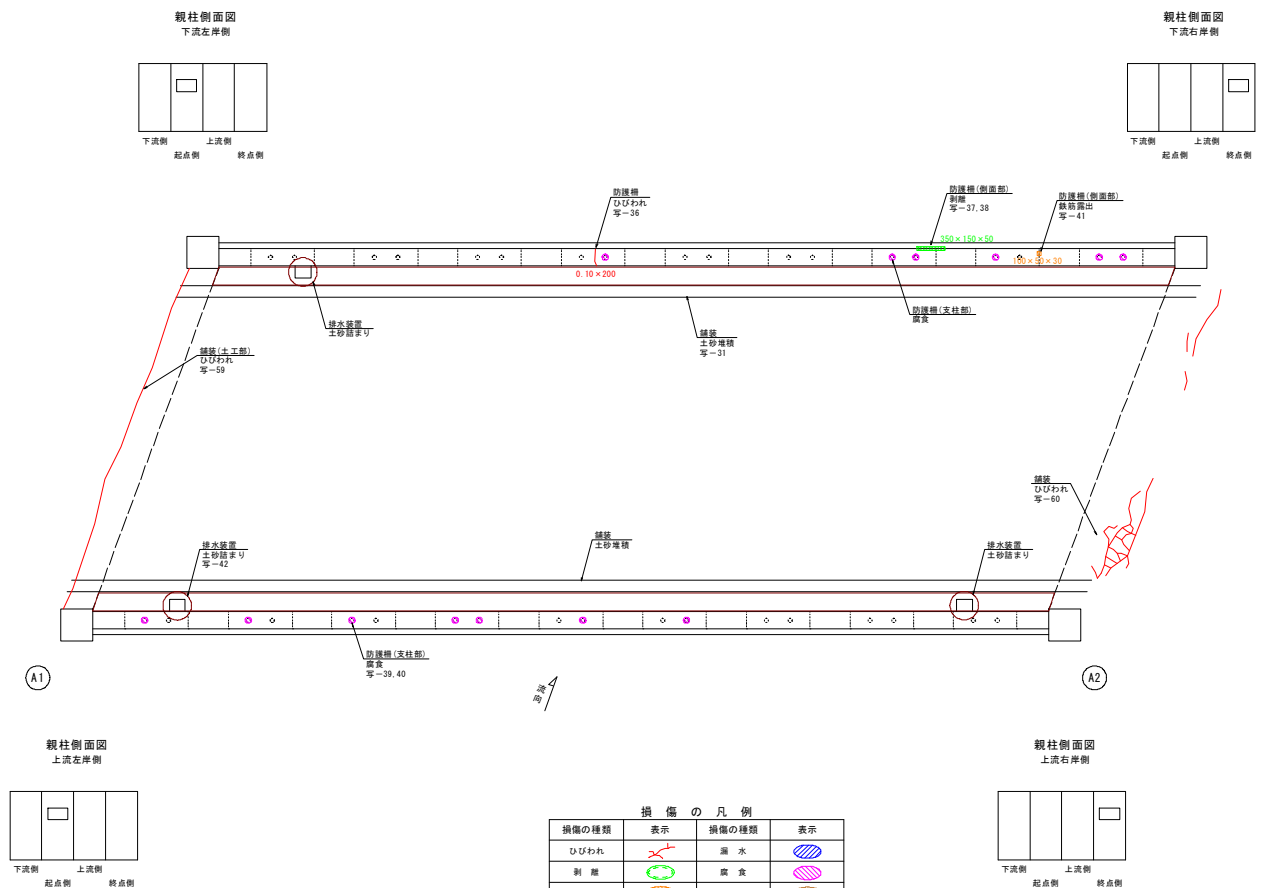


上部工（桁下）損傷図【全面展開の場合】

※補修用

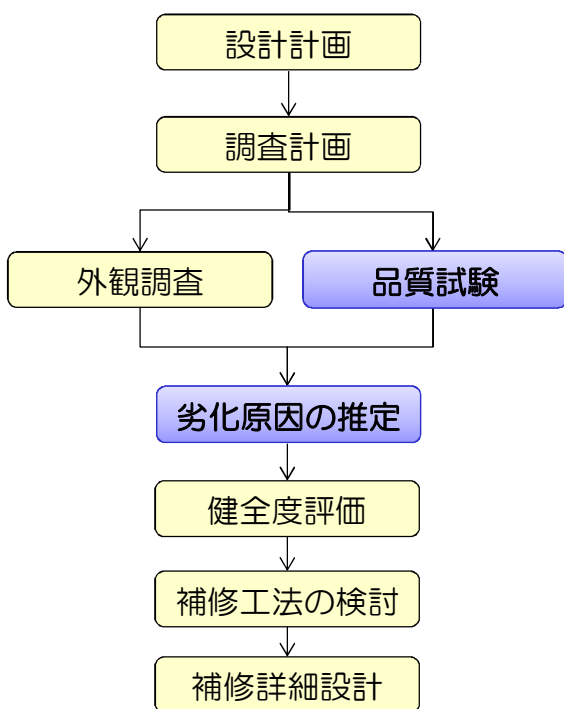
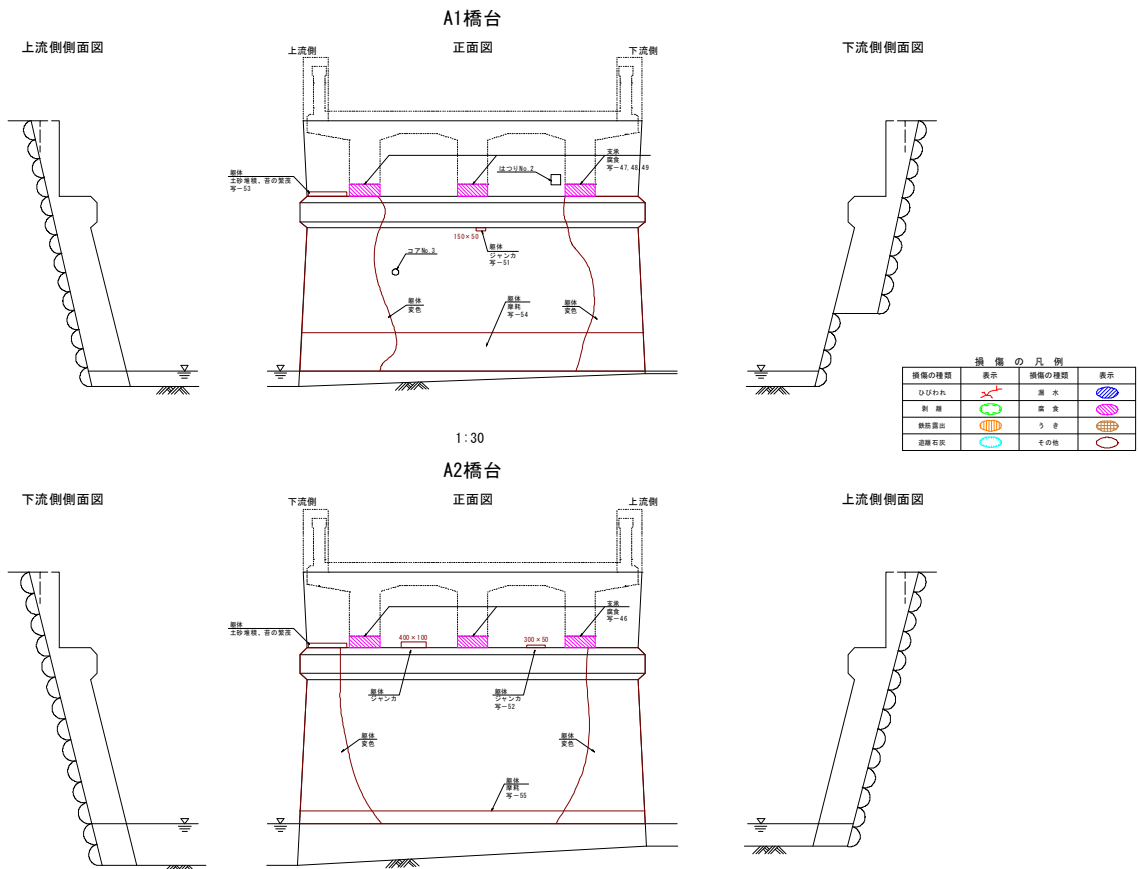


上部工（橋面）損傷図



下部工損傷図

下部工



品質試験

※品質試験以降はコンクリートに着目

1. 構造物の劣化進行の把握

- 中性化試験
- 塩分含有量試験
- アルカリ骨材反応試験
- 鉄筋腐食状況調査

2. コンクリート強度の把握

- リバウンドハンマによる非破壊試験
- コア採取による圧縮強度試験により構造物の耐久性の判定を行う。

劣化原因の推定

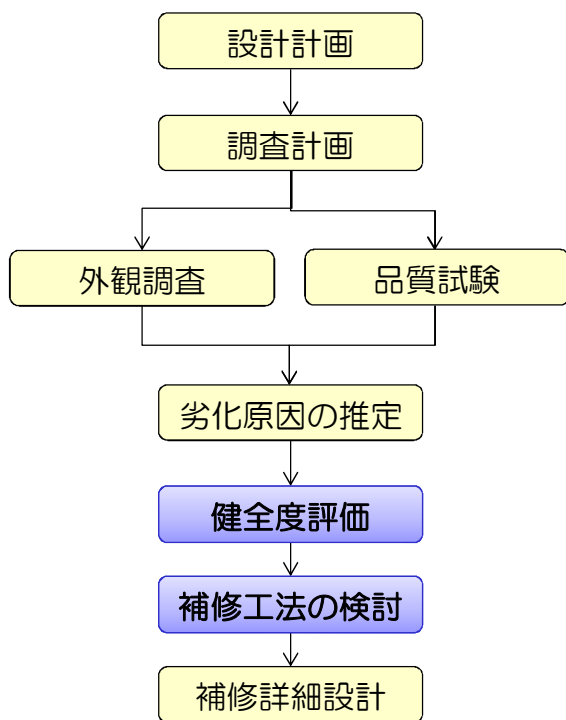
外観変状調査ならびに、コンクリート品質試験結果を踏まえ、劣化原因の推定を行う。

表 化学的劣化外力がコンクリート構造物に及ぼす影響

劣化外力	劣化要因	劣化要因が引き起こす作用	劣化現象
気体の浸透	CO ₂ の浸透	コンクリートの中酸化	鉄筋の発錆
	O ₂ の浸透	鉄筋の腐食に寄与	鉄筋の発錆
液体の浸透	H ₂ Oの浸透 (雨水)	鉄筋の腐食に寄与	鉄筋の発錆
		ASRに寄与 ASR生成物に給水	コンクリート中の 膨張圧発生
		コンクリート凍結融解	コンクリートの凍害
	コンクリート中に成分の溶出	コンクリート組織の破壊・ 汚れ	
	Cl ⁻ を含んだ H ₂ Oの浸透 (融雪剤、飛来塩分)	鉄筋の腐食に寄与	鉄筋の発錆

表 劣化機構(中性化・塩害・アルカリ骨材反応)概要表

	中性化	塩害	アルカリ骨材反応
概要	<ul style="list-style-type: none"> 大気中の二酸化炭素CO₂がコンクリート内に侵入し、水酸化カルシウムCa(OH)₂と反応し、炭酸カルシウムCaCO₃が生成されることでコンクリートのPHを低下させる現象をいう。 鋼材表面の不動態皮膜(厚さ3nm)が破壊されて鋼材腐食が発生するが、コンクリート自体には強度低下などの劣化は及ぼさない。 鋼材の腐食開始時期は中性化残り(かぶり-中性化深さ)で判定する。中性化残りは、塩化物を含まない場合10mm、塩化物を含む場合25mmを下回ると鋼材の腐食が開始する。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート中の塩化物イオン量(濃度)が腐食発生限界値を超えると、鋼材表面の不動態皮膜が破壊され、腐食が発生する。 塩化物イオンがコンクリート中に侵入する原因 <ul style="list-style-type: none"> ①内在塩分: コンクリート製造時に、海砂や塩化物を含む混和剤を使用することにより混入(西日本: 1960年~1980年代に海砂を使用している) ②外来塩分: 飛来塩化物や凍結防止剤などによってコンクリートの表面から侵入(1991年よりスバイクタイアの規制により凍結防止剤散布の増加) 	<ul style="list-style-type: none"> 反応性骨材がコンクリート中の高アルカリ性水溶液と反応し、骨材の周りに水ガラス(ゲル)が生成され、これが異常な膨張性を有し膨張する際に、コンクリートにも異常な膨張を引き起こしてひび割れを発生させる現象である。 1989年(平成元年)にアルカリ骨材反応に関する骨材の試験方法及び判定基準、ならびにアルカリ骨材反応抑制対策の方法が規定され、ASRによるコンクリート構造物の損傷は少なくなっている。
写真			
劣化指標	中性化深さ	塩化物イオン量	膨張量
メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> ①コンクリートは、pHが12以上の高アルカリである。鋼材は、高アルカリ環境により表面に不動態皮膜を形成し、腐食環境より保護している。 ②二酸化炭素が、水酸化カルシウムと反応し、炭酸カルシウムを生成する。 ③炭酸カルシウムとなった部分のpHは8.5~10程度に低下し、不動態皮膜を破壊する。 ④水分と酸素の侵入により鋼材の腐食が発生する。 ⑤鋼材が腐食すると体積が2~4倍となるため、その膨張圧力でコンクリートにひび割れ等が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ①コンクリートは、pHが12以上の高アルカリであるため、鋼材は表面に不動態皮膜を形成し、腐食環境より保護している。 ②塩化物イオンが腐食発生限界濃度に達すると不動態皮膜が破壊される。 ③不動態皮膜が破壊されると、アノード(酸化)・カソード(還元)反応が起きる。 ④この反応で生成した鉄イオンと水酸化イオンが反応して水酸化第一鉄を形成し、アノード部で腐食が始まる。 ⑤鋼材が腐食すると体積が2~4倍となるため、その膨張圧力でコンクリートにひび割れ等が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ①反応性骨材粒子はコンクリート中の高アルカリ水溶液と反応しアルカリシリカゲルを生成する。 ②アルカリシリカゲルは吸水性であり、コンクリート中の水分を吸収して骨材が膨張する。 ③骨材の膨張時に発生する膨張圧力によってひび割れが発生する。
環境	<ul style="list-style-type: none"> ・中性化の進行速さ <ul style="list-style-type: none"> ○屋内>屋外 ○雨が降らない>雨が降る ○高温>低温 ○低湿度<中程度湿度>高湿度 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩害の進行速さ <ul style="list-style-type: none"> ○海岸部>内陸部<山間部(凍結防止剤散布) ○海中部<干潮部 ※海中部は溶存酸素が少ないため。 ○水セメント比大>水セメント比小 ※水セメント比が小さい一緻密 	<ul style="list-style-type: none"> ・膨張 <ul style="list-style-type: none"> ○高温-膨張速度が大きい ○低温-最終膨張量が大きい ○高温-膨張量が大きい ・膨張促進 <ul style="list-style-type: none"> ○雨が降らない<雨が降る
劣化予測	可能である: √t則による	可能である: フィックの拡散方程式	膨張の可能性は判断できる ※定量的な判断はできない。
劣化状況	・かぶりコンクリートの剥離	・ひび割れは、鉄筋に沿ったひびわれとなり、錆汁が滲出する。	・ひび割れは、無筋コンクリートで亀甲状となる。 ・ひび割れは、鉄筋コンクリートで鉄筋に沿ったひび割れとなる。



健全度評価

健全度評価とは、構造物各部材の損傷・劣化判定結果をもとに**構造物全体の健全度を評価・表現**することであり、

- 安全性能
- 使用性能
- 第三者影響度に関する性能
- 美観・景観
- 耐久性能

など構造物の要求性能を満足するかの判定及び満足しなかった場合の対策要否判定を行なう。

補修工法の検討

- 損傷、変状に対する補修工法の検討。
- コンクリート品質改善による、耐久性の回復と向上に対する補修工法の検討。

なお、対策工法選定では、橋梁架け替えも含めてLCC（ライフサイクルコスト）評価により決定します。

【中性化】

解説 表5.1.1 各劣化過程の定義

劣化過程	定義	期間を決定する要因
潜伏期	中性化によって鋼材に腐食が発生するまでの期間	中性化進行速度
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の
劣化期	鋼材の腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間	鋼材の腐食速度

コンクリート標準示方書（2013年制定）P.141

解説 表5.3.3 構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	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、中性化残りが発錆限界以上
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない、中性化残りが発錆限界未満、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	腐食ひび割れの進展とともに剥離・剥落が見られる、鋼材の断面欠損は生じていない
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

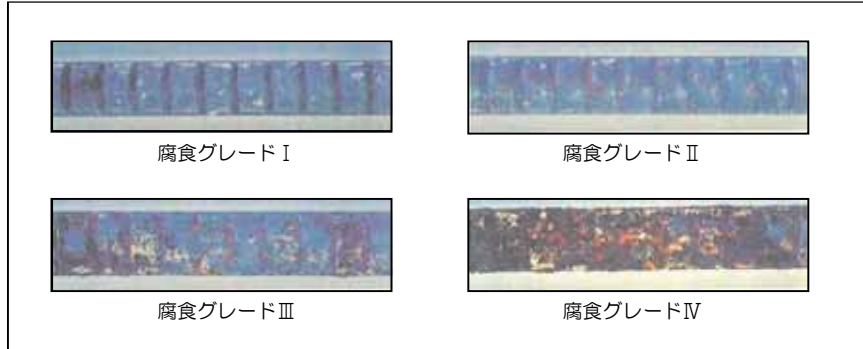
コンクリート標準示方書（2013年制定）P.146

解説 表5.3.4 腐食のグレードと鋼材の状態

腐食グレード	鋼材の状態
腐食グレードⅠ	黒皮の状態, またはさびは生じているが全体的に薄い緻密なさびであり, コンクリート面にさびが付着していることはない。
腐食グレードⅡ	部分的に浮きさびがあるが, 小面積の斑点状である。
腐食グレードⅢ	断面欠損は目視観察では認められないが, 鋼材の全周または全長にわたって浮きさびが生じている。
腐食グレードⅣ	断面欠損が生じている。

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.147

写真 各鉄筋腐食度(腐食グレード)を分類した例



鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査診断および補修指針(案)・同解説(1997.1)

解説 表5.4.1 構造物の外観上のグレードと対策

構造物の外観上のグレード	劣化過程	点検橋架	補修	供用制限	解体・撤去
グレードⅠ	潜伏期	○**	○**		
グレードⅡ	進展期	○	○		
グレードⅢ-1	加速期前期	◎	◎		
グレードⅢ-2	加速期後期	◎	◎*	○	
グレードⅣ	劣化期		◎	○	○

◎: 標準的な対策(◎*: 力学的性能の回復を含む), ○: 場合によっては考えられる対策

○**: 予防的に実施される対策

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.158

解説 表5.4.3 構造物の外観上の劣化グレードと標準的な工法の例

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態	
		安全性・使用性	第三者影響度
グレードⅠ	潜伏期	表面処理*(剥落防止工*を含む), 最アルカリ化*, 増厚*	
グレードⅡ	進展期	表面皮膜(剥落防止工を含む), 【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, 剥落防止工)
グレードⅢ-2	加速期後期	断面修復	表面被覆(主に, 剥落防止工)
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, 剥落防止工), 【鋼板・FRP接着】

*: 予防的に実施される工法

【】: 塩化物イオン濃度が高いことなどにより鋼材腐食速度が速い場合, 腐食量が大い場合に選定する

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.159

【塩害】

解説 表6.1.1 各劣化過程の定義

劣化過程	定義	期間を決定する要因
潜伏期	鋼材の腐食が開始するまでの期間	塩化物イオンの拡散, 初期含有塩化物イオン濃度
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間	

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.161

解説 表6.3.3 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	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, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以上, 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
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, 変異・たわみが大きい

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.166

解説 表6.3.4 塩害を受けるプレストレストコンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	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, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以上, 腐食が開始
グレードⅢ-1	加速期前期	PC鋼材以外の腐食に起因した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	PC鋼材に沿う部分的な腐食ひび割れや浮きが発生, さび汁が見られる
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, PC鋼材の著しい断面減少が見られる, 変異・たわみが大きい

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.166

解説 表6.4.1 構造物の外観上のグレード, 劣化過程と対策の例

構造物の外観上のグレード	劣化過程	点検橋架	補修	供用制限	解体・撤去
グレードⅠ	潜伏期	○	○**		
グレードⅡ	進展期	○	○		
グレードⅢ-1	加速期前期	◎	◎		
グレードⅢ-2	加速期後期	◎	◎*	○	
グレードⅣ	劣化期		○*	◎	◎

◎: 標準的な対策(◎*: 力学的性能の回復を含む)

○: 場合によっては考えられる対策(○*: 力学的性能の回復を含む), ○**: 予防的に実施される対策

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.179

解説 表6.4.2 構造物の外観上のグレードとそれに対応する補修工法の選定方針の例

構造物の外観上のグレード	劣化過程	構造物の要求性能ごとの対策方針 【】は標準的な工法例を示す			
		安全性	使用性(たわみや振動等)	第三者影響度	美観
グレードⅠ	潜伏期	塩化物イオンの浸透量の低減【表面処理】			
グレードⅡ	進展期	塩化物イオンの浸透量の低減・除去, 鋼材の防食 【断面修復】, 【脱塩】, 【電気防食】 ※表面修復や脱塩に際し, 表面処理を併用することもある			
グレードⅢ-1	加速期前期	塩化物イオンの除去, 鋼材の防食 【断面修復】, 【脱塩】, 【電気防食】 ※断面修復や脱塩に際し, 表面処理を併用することもある		剥落防止 【たき落とし】 【断面修復】 【剥落防止ネットの設置】 ※断面修復に際し, 表面処理を併用することもある	美観の回復 【断面修復】 ※断面修復に際し, 表面処理を併用することもある
グレードⅢ-2	加速期後期	耐力, 剛性の回復等 【断面修復】 ※断面修復に際し, 表面処理を併用する場合や, 鋼材の増設・交換を行う場合もある ※プレストレストコンクリート構造物(部材)の場合は, 断面修復に加えて, 電気防食を併用する場合もある			
グレードⅣ	劣化期	耐力, 剛性の回復等 【断面修復+鋼材の増設や交換】 ※断面修復に際し, 表面処理を併用することもある ※上記以外に, 連続繊維接着, 外ケーブル, 巻立て, 増厚等による場合もある			

コンクリート標準示方書(2013年制定) P.180

【アルカリシリカ反応】

解説 表9.1.1 各劣化過程の定義

劣化過程	定義	期間を決定する要因
潜伏期	ASRそのものは進行するものの膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生しない期間	アルカリシリカゲルの生成速度 (反応性鉱物の種類とその量, アルカリ量)
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, ひび割れが発生するが, 鋼材腐食がない期間	アルカリシリカゲルの吸水膨張速度 (水分とアルカリの供給)
加速期	ASRによる膨張速度が最大を示す段階で, ひび割れが進展し, 鋼材腐食が発生する場合もある期間	アルカリシリカゲルの吸水膨張速度 (水分とアルカリの供給)
劣化期	ひび割れの幅および密度が増大し, 部材としての一体性が損なわれる, 鋼材の腐食による断面減少が生じる, 鋼材の損傷が発生するなどにより, 耐力の低下が顕著な期間	アルカリシリカゲルの吸水膨張速度 (水分とアルカリの供給) 鋼材の腐食速度

コンクリート標準示方書 (2013年制定) P.214

解説 表9.3.3 構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	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, ひび割れが発生し, 変色, アルカリシリカゲルの滲出が見られる。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による膨張速度が最大を示す段階で, ひび割れが進展し, ひび割れ幅および密度が増大する。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。外力の盈虚ぬ夜ひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変異・変形が大きくなる。

コンクリート標準示方書 (2013年制定) P.221

解説 表9.4.1 構造物の外観上のグレードと対策

構造物の外観上のグレード	点検橋架	補修	供用制限	解体・撤去
グレードⅠ	○	○**		
グレードⅡ	○	◎		
グレードⅢ-1	◎	◎	○	
グレードⅣ	◎	◎*	◎	◎

◎: 標準的な対策(◎*: 力学的性能の回復を含む), ○: 場合によっては考えられる対策

○**: 予防的に実施される対策

コンクリート標準示方書 (2013年制定) P.227

解説 表9.4.3 構造物の外観上の劣化グレードと標準的な工法の例

構造物の外観上のグレード	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)
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), 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

コンクリート標準示方書 (2013年制定) P.228

～参考例～

劣化機構	構造物の外観上のグレード	①劣化の状態	②対策				③標準的な工法			
			点検強化	補修	供用制限	解体・撤去	安全性	使用性	第三者影響度	美観
中性化	状態Ⅰ (潜伏期)	外観上の変状が見られない。中性化残りが発錆限界以上。	○**	○**			表面処理(剥落防止工含む)、再アルカリ化、増厚			
	状態Ⅱ (進展期)	外観上の変状が見られない。中性化残りが発錆限界未満。腐食が開始。	○	○			表面被膜(剥落防止工含む)【断面修復】、再アルカリ化			
	状態Ⅲ-1 (加速期前期)	腐食ひび割れが発生。	◎	◎			【電気防食】、再アルカリ化、断面修復		表面被覆(主に剥落防止工)	
	状態Ⅲ-2 (加速期後期)	腐食ひび割れの伸張とともに剥離・剥落が見られる。鋼材の断面欠損は生じていない。	◎	◎*	○		断面修復		表面被覆(主に剥落防止工)	
	状態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。		◎	○	○	断面修復【鋼板・FRP接着、巻立て、増厚】		表面被覆(主に剥落防止工) 【鋼板・FRP接着】	
塩害	状態Ⅰ (潜伏期)	外観上の変状が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以下。	○	○**			表面処理			
	状態Ⅱ (進展期)	外観上の変状が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以上。腐食が開始。	○	○			表面処理、脱塩、電気防食、断面修復 *断面修復や脱塩に際し、表面処理を併用することもある。			
	状態Ⅲ-1 (加速期前期)	腐食ひび割れや浮きが発生。錆汁が見られる。	◎	◎			断面修復、脱塩、電気防食 *断面修復や脱塩に際し、表面処理を併用することもある。			
	状態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。	◎	◎*	○		断面修復 *断面修復に際し、表面処理を併用することもある。		たき落とし 断面修復 剥落防止ネットの設置 *断面修復に際し、表面処理を併用することもある。	
	状態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。		○*	◎	◎	断面修復 *断面修復に際し、表面処理を併用することもある 鋼材の増設や交換 *上記以外に、連続繊維接着、外ケーブル、巻立て、増厚等による場合もある。		断面修復 *断面修復に際し、表面処理を併用することもある。	
ASR	状態Ⅰ (潜伏期)	ASRによる膨張及びそれに伴うひび割れがまだ発生せず。外観上の変状は見られない。	○	○**			水処理(止水、排水処理)			
	状態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、ひび割れの発生、変色、アルカリリンリカゲルの浮出が見られる。しかし、鋼材の腐食による錆汁は見られない。	○	◎			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			
	状態Ⅲ (加速期)	ASRによる膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度が増大する。また、鋼材腐食による錆汁が見られる場合もある。	◎	◎	○		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、断面修復、プレストレス導入、接着(鋼板・連続繊維)、巻立て(鋼板・PC・連続繊維)、外ケーブル			
	状態Ⅳ (劣化期)	ひび割れ幅及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。また、鋼材腐食が進行し錆汁が見られる。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。	◎	◎*	◎	◎	水処理(止水、排水処理)、表面処理(被覆)、剥落防止、断面修復、プレストレス導入、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			

・塩害の劣化状態及び工法は、鉄筋コンクリート構造物の場合を示す。

◎：標準的な対策◎*：力学的性能の回復を含む

○：場合によっては考えられる対策(○*：力学的性能の回復を含む)

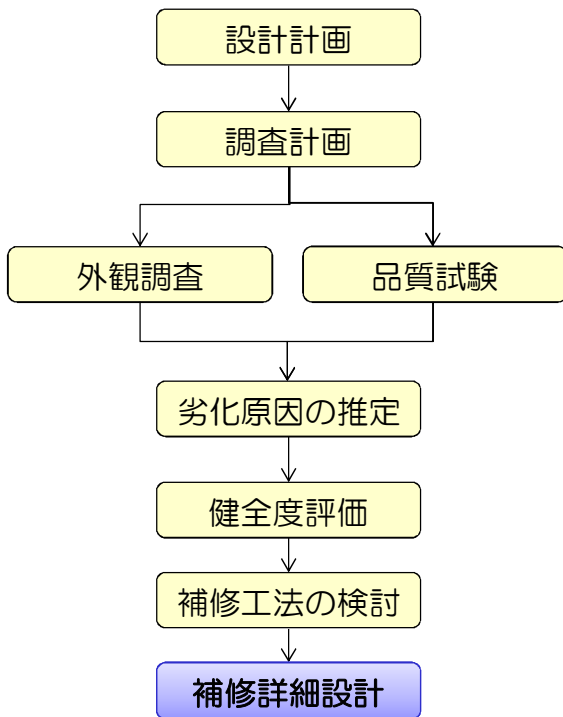
○**：予防的に実施される対策

・中性化対策の*は、予防的に実施される工法

・中性化対策の【 】内は、塩化物イオン濃度が高いことなどにより、

鋼材腐食速度が早い場合、腐食量が大きい場合に選定する

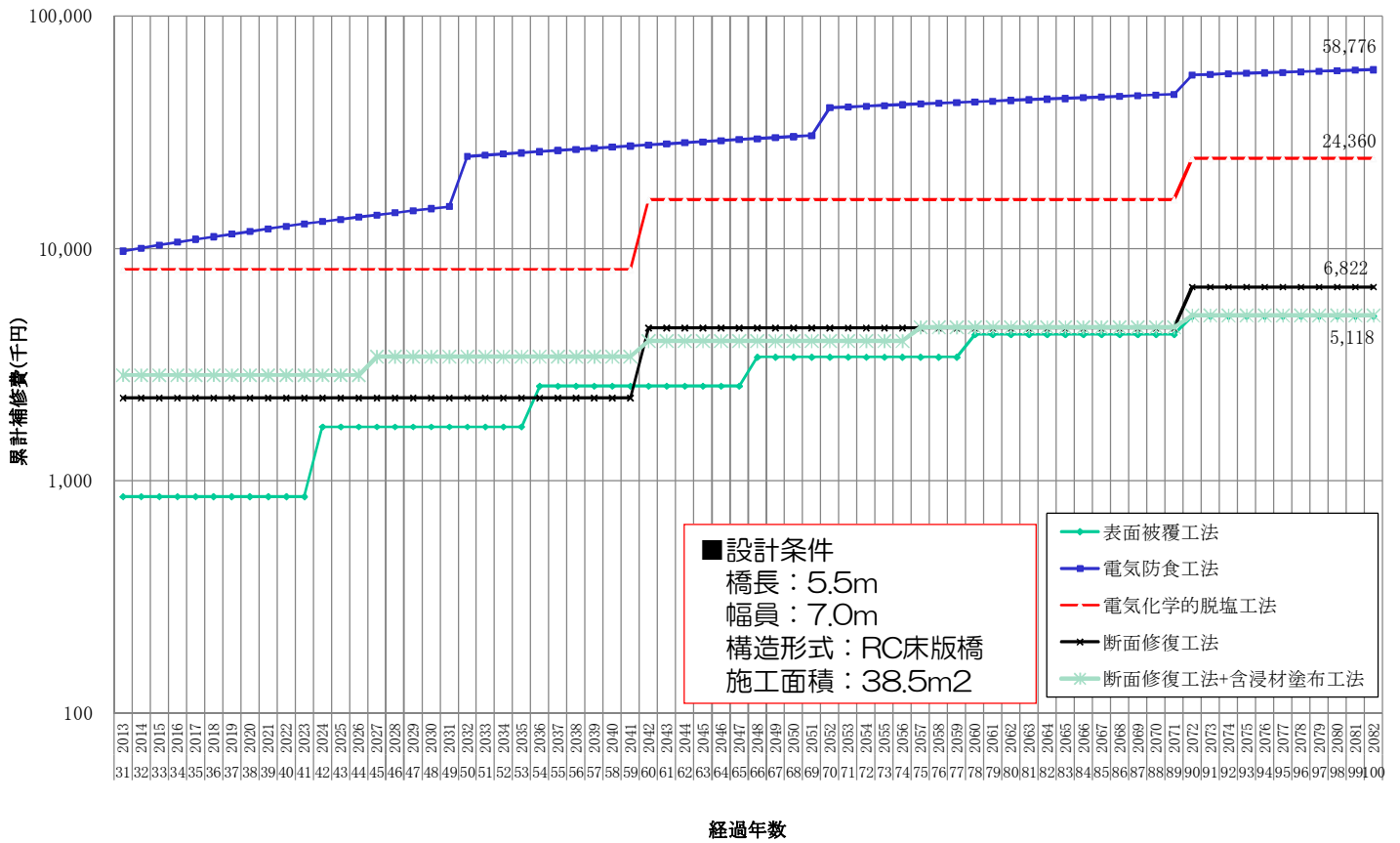
・塩害の工法は、標準的な工法を示す。



補修詳細設計

- 補修方法、補修数量をまとめます。
- 設計図・数量計算書等の作成を行います。
- 今後の補修点検方法や、劣化予測等を踏まえまとめます。

塩害化対策工法 LCC比較 参考例（上部工）



2.調査・試験

2.調査・試験

2-1 試験内容

2-2 アルカリシリカ反応（ASR）

2-3 塩害

2-4 中性化

2.5 その他、主なコンクリート品質試験

2.6 鋼橋の品質試験

2-1 試験内容

試験は劣化要因を推定し、計画的な維持管理を実施することにより、既設橋梁の健全性を持続させることを目的とする。

劣化現象	目的	原理、検出対象	方法
中性化 塩害	中性化深さ	呈色反応 水和生成物等の同定	フェノールフタレイン法、ドリル法 示差熱重量分析、粉末X線回折、EPMA
	微細構造	細孔径分布	水銀圧入法、ガス吸着法
		重量法	塩化銀沈殿法
	塩化物イオン含有量	容積法	モール法、硝酸第二水銀法
		吸光光度法	チオシアン酸第二水銀法、クロム酸銀法
		電気化学的	電位差滴定法、イオン電極法、伝導度滴定法、電量滴定法
	イオン分布	塩化物イオン分布	EPMA、蛍光X線分析
鉄筋腐食量	物理的方法	残存径、腐食面積率、質量減少率、腐食度	
	電気化学的	自然電位、分極抵抗、電気抵抗	
凍害	空気量	空気量 気泡分布	空気量試験 リニアトラバース法
	微細構造	細孔径分布	水銀圧入法、ガス吸着法
		空隙分布、表面形態	SEM
化学的侵食	酸性劣化	呈色反応	フェノールフタレイン法
	硫酸塩侵食	呈色反応	過マンガン酸カリウムと塩化バリウムの混合液、ニトロアゾ化合物溶液、トリフェニルメタン化合物溶液
	腐食性ガス	ガス濃度	ガスクロマトグラフ、高速液体クロマトグラフ、イオンクロマトグラフ、原子吸光光度計、ICP、フーリエ変換赤外分光光度計
	微細構造	細孔径分布	水銀圧入法、ガス吸着法
		生成物、濃度分布 空隙分布、表面形態	示差熱重量分析、粉末X線回折、EPMA SEM
アルカリ骨材反応	反応性	骨材岩種	偏光顕微鏡、粉末X線回折、SEM、赤外線吸収スペクトル分析
		反応性鉱物	
		骨材反応性	化学法、モルタルバー法、促進モルタルバー法
	アルカリシリカゲルの判定	偏光顕微鏡、蛍光X線分析、湿式成分分析、SEM、酢酸ウラニル蛍光法	
	残存膨張量	JCI-DD2法、カナダ法、デンマーク法	
アルカリ量	細孔溶液の化学組成	水溶性アルカリ、酸性アルカリ	

平成26年7月にコンクリート工学協会（JCI）の「ASR診断の現状とあるべき姿研究委員会」よりカナダ法に変わる新方法（案）としてアルカリ溶液浸漬法が提案されている。今後はカナダ法がアルカリ溶液浸漬法に変わるかもしれない・・・

主な損傷原因を推定する試験内容の代表的な試験例

<主なコンクリート品質試験>

●鉄筋探査

→鉄筋位置や深さを求め、**コア採取位置**やはつり箇所を決定する。

●圧縮強度試験（コア・リバウンドハンマ）

→既設コンクリートの**圧縮強度を推定**し、性能を有しているか確認する。

●鉄筋腐食状況調査

→かぶりコンクリートのはつりを行い、**実かぶり厚**や鉄筋径・腐食状況を**目視確認**する。

●中性化試験

→**中性化深さを測定**し、鉄筋位置（かぶり）との関係から**劣化予測**を行う。

●含有塩分量試験

→**塩分濃度分布を測定**し、鉄筋位置（かぶり）との関係から**劣化予測**を行う。

●アルカリ骨材反応性試験（SEM観察・残存膨張量試験）

→アルカリ骨材反応があるか否か、また、**今後の膨張可能性**があるか否か。

●電子線マイクロアナライザー（EPMA）

→**炭素や硫黄、カルシウム等の浸透深さ**を求め、**劣化原因を推定**する。

●サーモグラフィ法

→サーモグラフィ法により**健全部と浮き部等の温度差**を検出する。

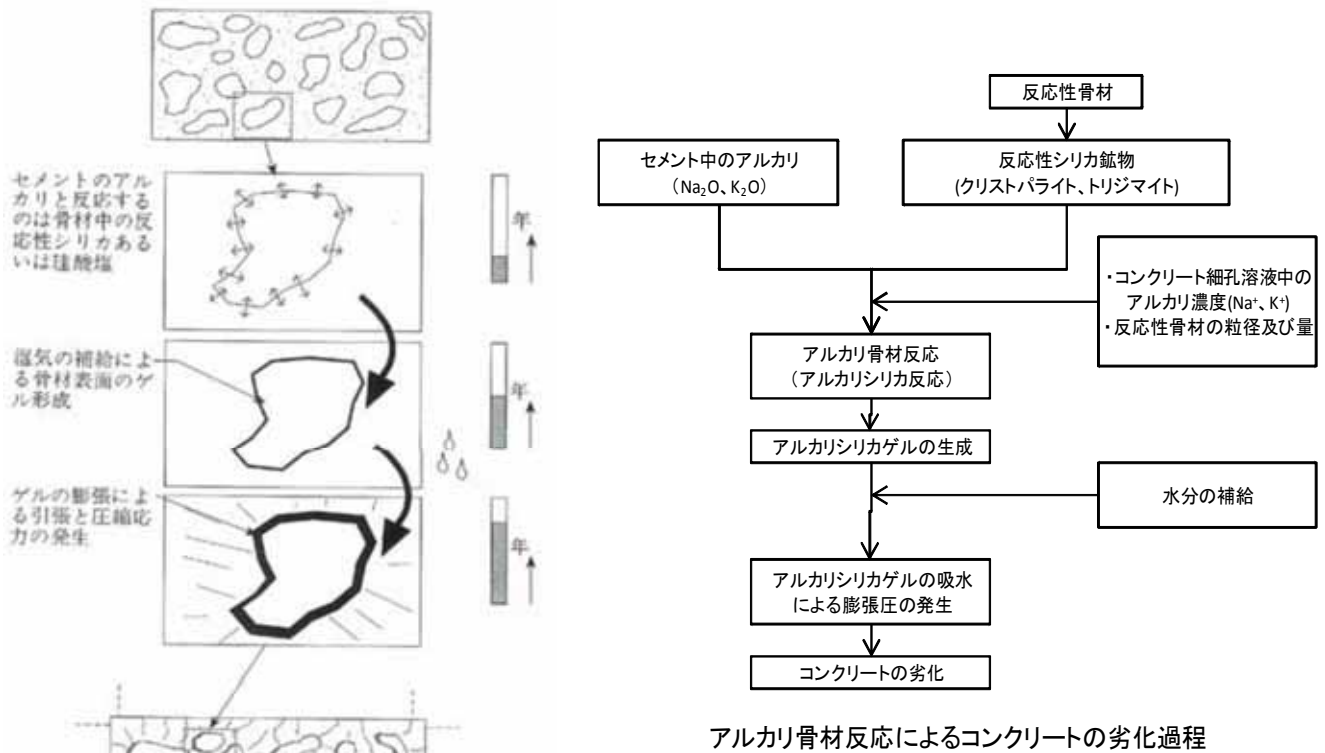
2-2 アルカリシリカ反応（ASR）

（1）概要

コンクリート中に含まれる反応性骨材がアルカリと反応してゲルを生成する。ゲルが吸水膨張することにより、コンクリートにひび割れを生じさせる。



(2) アルカリシリカ反応 (ASR) 発生メカニズム

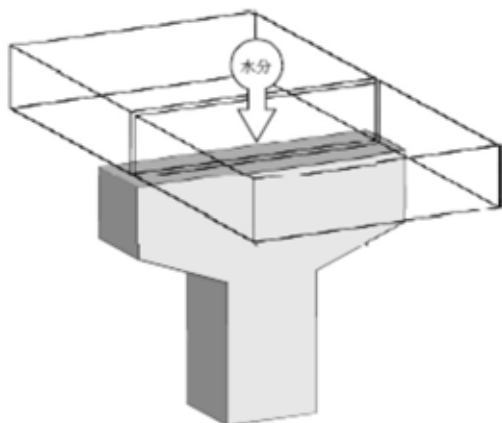


(3) アルカリシリカ反応 (ASR) 劣化構造物の調査方法

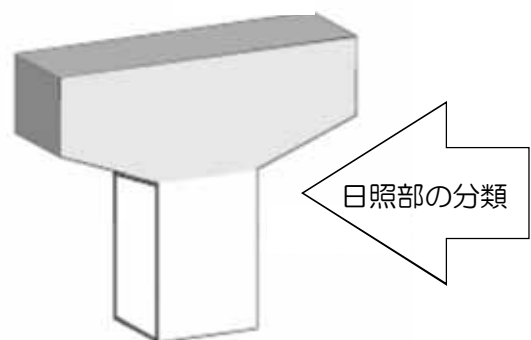
1) 外観調査

外観調査には下記の項目に着目すると良い。また、使用環境についても調査し、記録を残す。

- ①水分の供給状況
- ②日照
- ③温度変化の状況
- ④外部からのアルカリ分の供給 (凍結防止剤等) 状況



①水分の供給状況概要



②日照状況概要

2) コア試料の観察

構造物がASRの影響を受けているかどうかの判定に、コンクリート試料を用いた試験を併用する場合には、各試験の特徴を考慮して適切な方法を選定し、行うものとする。

- ①コンクリート切断面の観察（SEM、EPMA観察）
- ②残存膨張量試験

①に関して、コンクリートの切断面（一般的には、コア試料側面）に現れる骨材の破断面、および骨材周辺を目視で観察する。

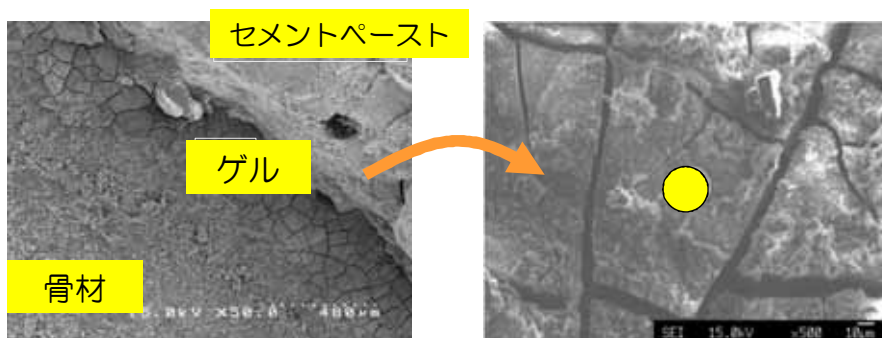
- 骨材の状態やASR生成物の存在を確認する。
- 以下のような状況が認められる場合には、ASRによる劣化が生じていると推測される。

- i) 骨材が割れている
- ii) 反応環（リム）がある
- iii) 骨材の周囲が割れている
- iv) 骨材の周囲だけが濡れているように見える
- v) 空隙に析出物が詰まっている

<アルカリ骨材反応性試験>

●SEM観察

鉍物試験として、コアから採取した粗骨材を顕微鏡による観察を行い、反応性の骨材か否かについて観察を行なう。



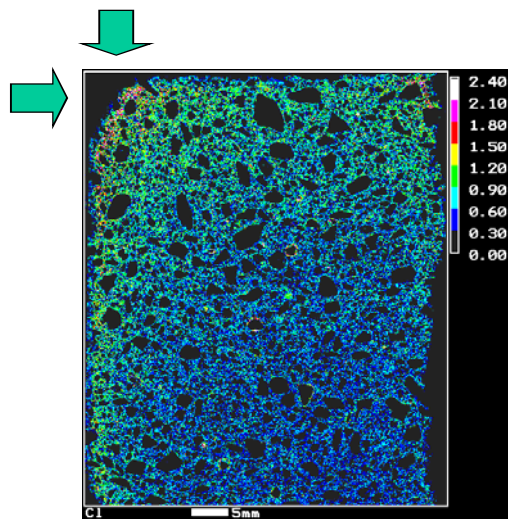
●部のゲルの定量分析結果
SiO₂:54.4% CaO:20.7%
Na₂O:3.7% K₂O:3.9%



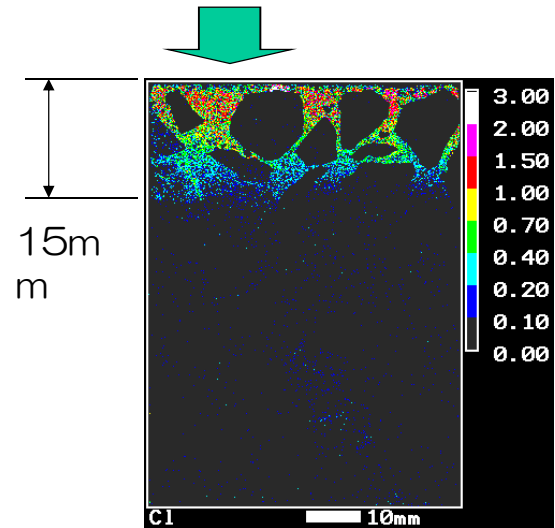
<電子線マイクロアナライザー (EPMA) >

炭素や硫黄、カルシウム等の浸透深さを求め、劣化原因を推定する。

EPMAならではの濃度分布



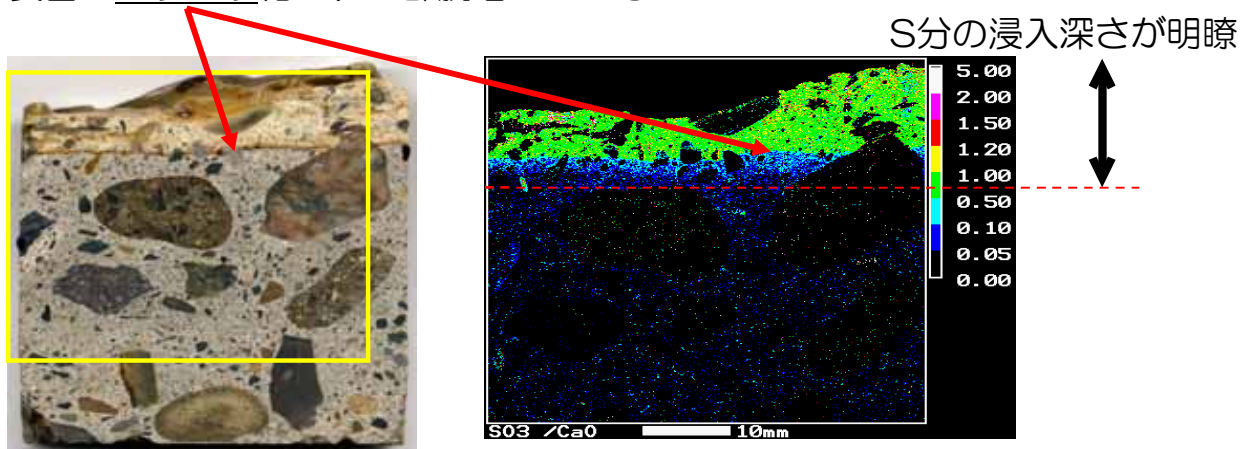
二方向からの塩分浸透



暴露期間が短いときや、
高強度コンクリートの場合

下水道施設の硫酸劣化への適用

表面がセッコウ化し、一部脱落している

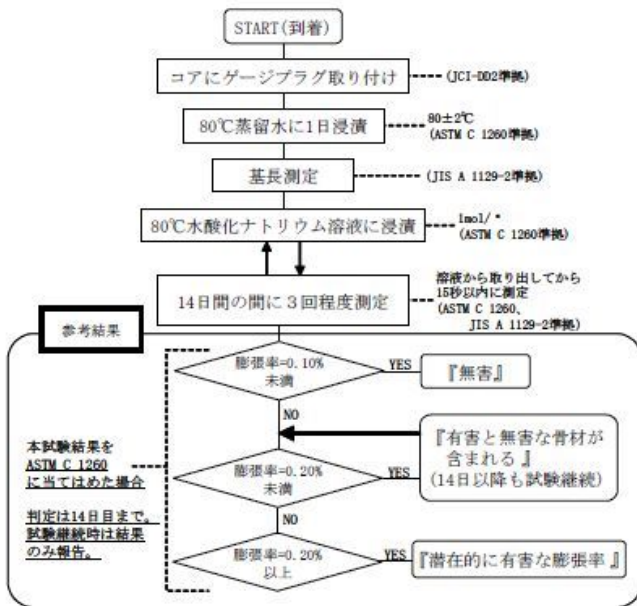


目視観察位置よりも深くまで硫黄分が浸入
⇒適切な、はつり位置の提案！（補修後の再劣化防止）

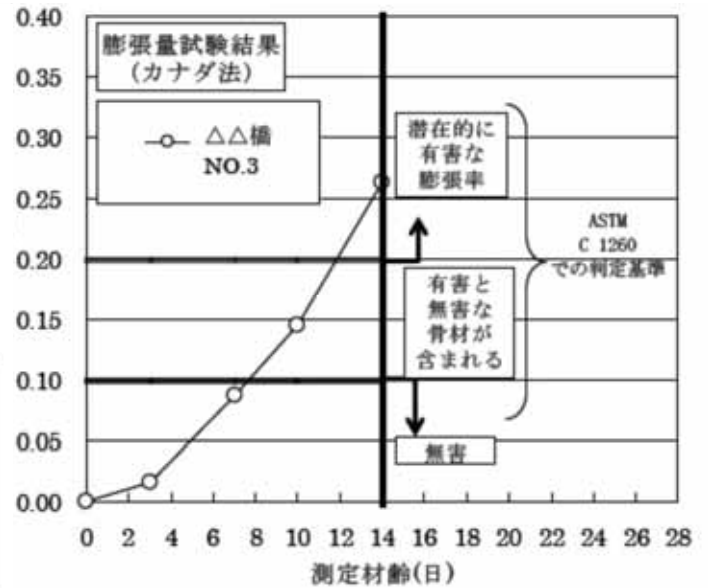
<アルカリ骨材反応性試験>

●残存膨張量試験

残存膨張量試験では、今後のASRによる劣化の可能性について判定する。



コア膨張量試験のフロー（カナダ法）



残存膨張量試験結果（例）（カナダ法）

残存膨張量試験状況



80°C温水浸漬状況



80°C NaOH 溶液浸漬状況



膨張率測定状況

2-3 塩害

(1) 概要

コンクリート中への塩化物イオンの浸入により、鉄筋を保護する不動態被膜が破壊され、鉄筋の腐食膨張によりコンクリートにひびわれ・剥離などが生じる。



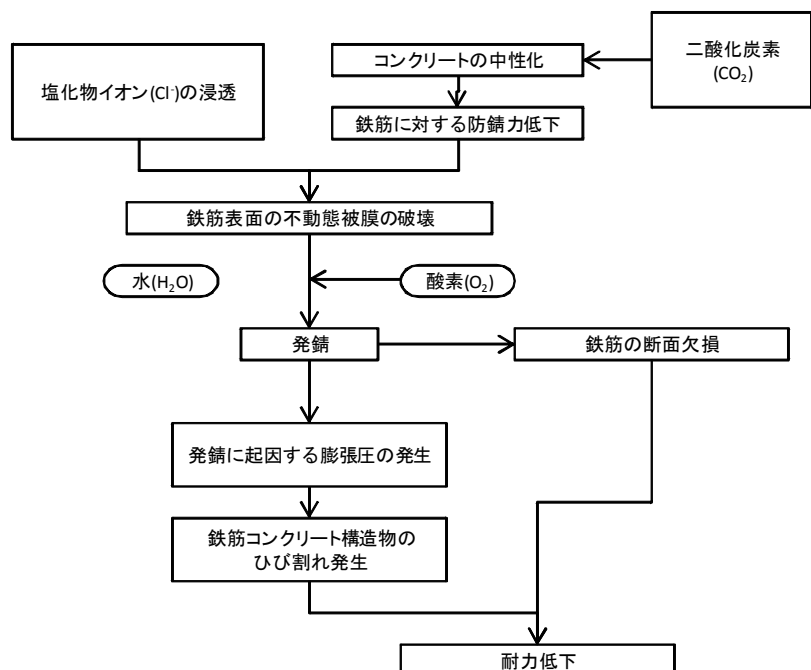
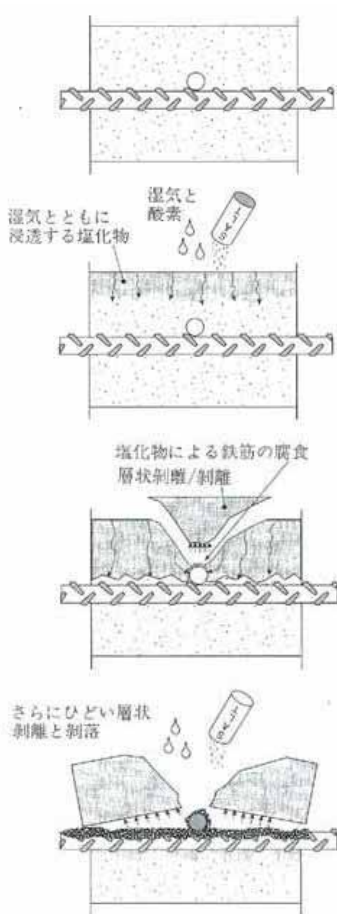
鉄筋の腐食によるかぶりコンクリートの剥離



鉄筋の腐食による断面欠損

(2) 塩害発生メカニズム

塩害環境下や凍結防止剤の散布状況による外的要因と骨材の海砂使用による内的要因が考えられるため、環境条件のみから試験要否の判定は困難である。



鉄筋腐食に基づく鉄筋コンクリート構造物の劣化過程

(3) 塩害劣化構造物の調査方法

1) 外観調査

外観調査には下記の項目に着目すると良い。また、使用環境についても調査し、記録を残す。

- ① 鋼材方向のひびわれ
- ② 錆汁の滲出
- ③ コンクリートのはく離、はく落
- ④ 内部鋼材の露出
- ⑤ 変形、変位



RC桁の鉄筋の著しい腐食により、コンクリートの断面欠損や鉄筋の断面減少、破断が見られる。



PC桁の軸方向鋼材の腐食に沿ったひび割れ。部分的に鋼材の露出も見られる。

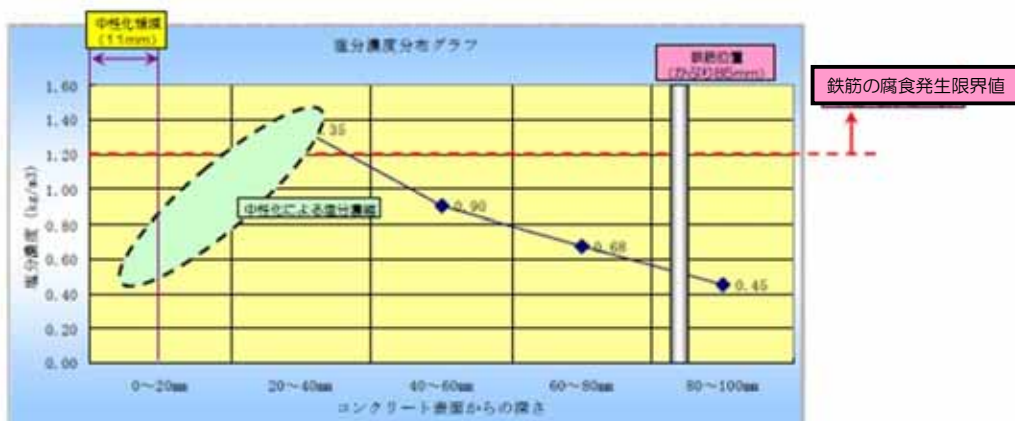
2) コア試料の観察

構造物が塩害の影響を受けているかどうかの判定に、コンクリート試料を用いた試験を併用する場合には、各試験の特徴を考慮して適切な方法を選定し、行うものとする。

・ 塩化物イオン含有量調査

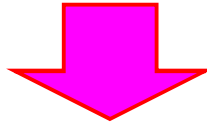
〈含有塩分量試験〉

各深さに対する塩分濃度を測定し、鉄筋位置（かぶり）との関係から劣化予測を行う。



【2007年制定 維持管理編】

- 構造物の点検結果から腐食発生塩化物イオン濃度を求めることを原則
- それらで求められない場合には $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ とみなしてよい



【2013年制定 維持管理編】

- 構造物の点検結果から腐食発生塩化物イオン濃度を求めることを原則
- それによらない場合には、類似構造物の点検結果に基づいて求める
- なお、港湾構造物では $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ とすることが多い
- 類似の構造物の点検結果がない場合には、セメントの種類や水セメント比を確認した上で以下の式によって算出してもよい

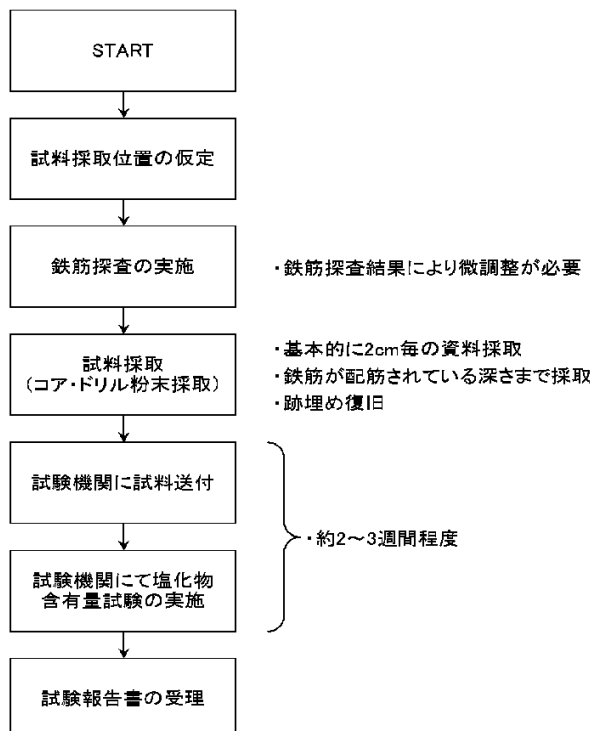
普通ポルトランドセメントを用いた場合

$$\text{Clim} = -3.0(\text{W}/\text{C}) + 3.4$$

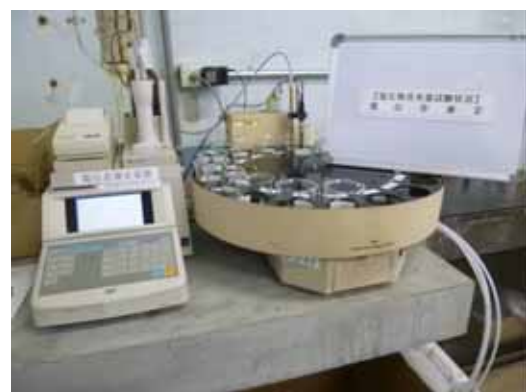
例) $\text{W}/\text{C}=0.3$ のとき、 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$

$\text{W}/\text{C}=0.55$ のとき、 $1.75\text{kg}/\text{m}^3$

<塩化物含有量測定のプロフローチャート>



コンクリートコアスライス状況



電位差滴定 (JIS A 1154)

2-4 中性化

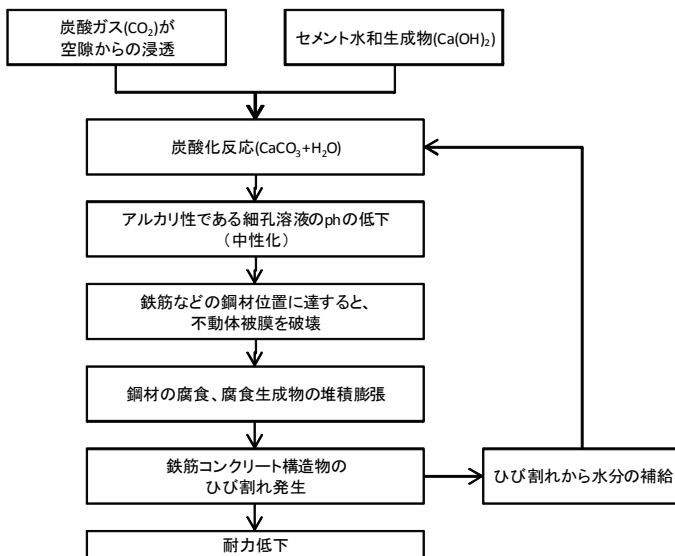
(1) 概要

- コンクリートに大気中の二酸化炭素が浸入することによって、従来、強アルカリ性を呈するコンクリートのPHが低下する。
- 鉄筋の不動態被膜が破壊される。
- 鉄筋の腐食膨張により、コンクリートにひびわれ・剥離が生じる。
- 発生したひびわれから二酸化炭素が供給されることにより、中性化の進行が加速度的に速くなっていく。

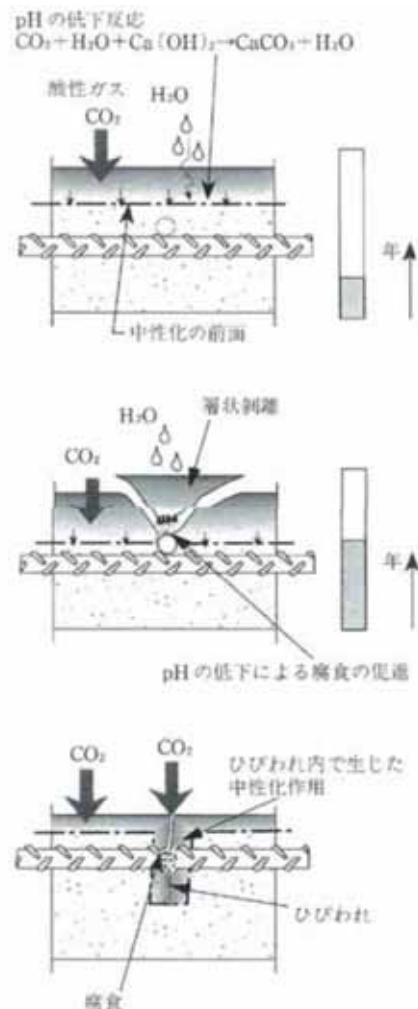


(2) 中性化発生メカニズム

中性化とは、大気中の二酸化炭素などの影響で、コンクリートのアルカリ性が低下する現象で、鉄筋の防錆機能が低下する現象。



中性化による鉄筋コンクリート構造物の劣化過程



(3) 中性化劣化構造物の調査方法

1) 外観調査

外観調査には下記の項目に着目すると良い。また、使用環境についても調査し、記録を残す。

- ① 鋼材方向のひびわれ
- ② 錆汁の滲出
- ③ コンクリートのはく離、はく落
- ④ 内部鋼材の露出
- ⑤ 変形、変位



RC床版の鉄筋の腐食により、かぶりコンクリート浮きが見られる。



RC桁の鉄筋の著しい腐食により、コンクリートの断面欠損や鉄筋の断面減少が見られる。

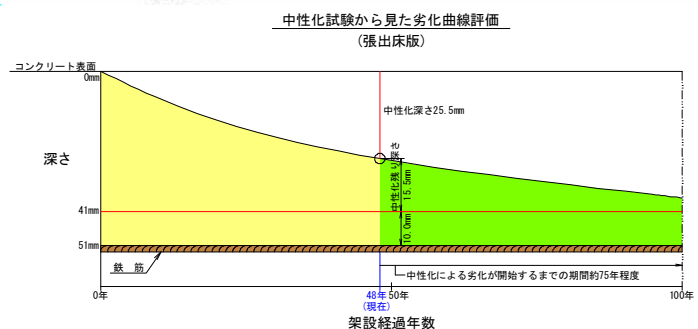
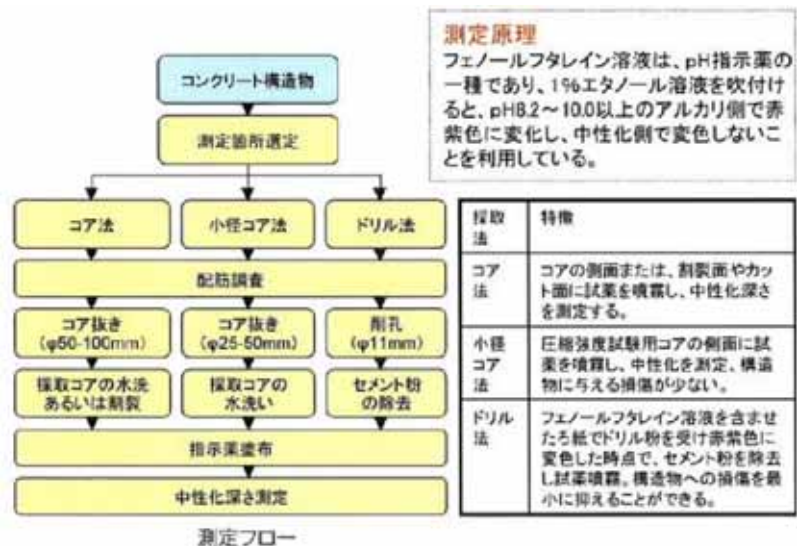
2) 中性化試験

- ・ 中性化深さ測定

中性化深さを測定し、鉄筋位置（かぶり）との関係から劣化予測を行う。



コアによる中性化試験



2.5その他、主なコンクリート品質試験

- 鉄筋探査



- 圧縮強度試験（コアまたは反発硬度法）

※圧縮強度は劣化に直接関係するわけではないが、コンクリートの状態を確認する上で一般的に実施する。

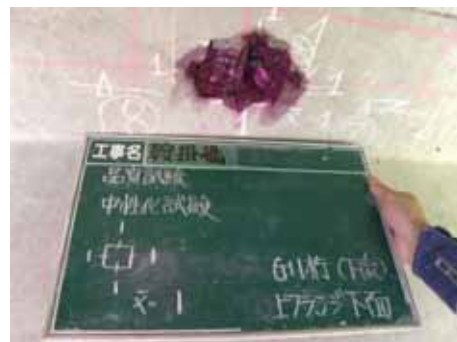


コア試験



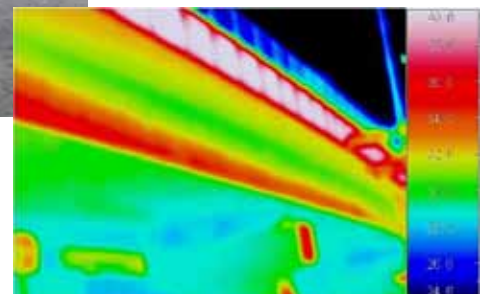
反発硬度法

- 鉄筋腐食状況調査



コア採取できない場合などは、はつり箇所で中性化試験を実施する場合もある。

- サーモグラフィー法



2.6 鋼橋の品質試験

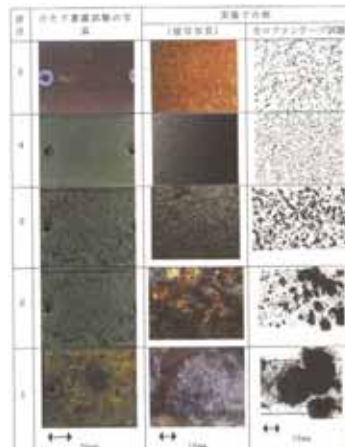
・塗膜厚調査

測定した塗膜厚から余寿命を検討し、塗り替えの検討を行う。



・セロハンテープ試験

評点	さびの状態 (例) (表面さびの粒子の大きさと外観)
5	1) さび粒子は細かいが、均一性に欠ける。 2) さびの色は、明るい色相で、むらがある。 3) 若いさびの状態、腐蝕が非常に良い場合では長期間にわたりこの状態が続く。 4) さび層の厚さは 200 μ m 程度未満である
4	1) さびの平均外観粒径は 1mm 程度で細かく均一である。 2) さびの色は、暗褐色でむらがない。 3) 腐食速度は最小の領域に達している。 4) さび層の厚さは 400 μ m 程度未満である
3	1) さびの平均外観粒径は 1~5mm 程度である。 2) さびの色は、褐色~暗褐色でむらは少ない。 3) 腐食速度は最小の領域に達している。 4) さび層の厚さは 400 μ m 程度未満である
2	1) さびの平均外観粒径は 5~25mm 程度のうちこ状である。 2) さびの色は、腐蝕によって様々である。 3) さび層の厚さは 800 μ m 程度未満である
1	1) さびが腐蝕が深い。はくりがある。 2) さびの色は、腐蝕によって様々である。 3) さび層の厚さは 800 μ m 程度を超える



耐候性鋼材の防食機能の劣化は異常なさびと
なって現れる。

鋼材表面に生成された
浮きさびをセロハンテープ
で回収し、さびの大き
さと均一性により状態を
評価する方法がある。

3. 対策事例

3. 対策事例

3-1 塩害補修事例

3-2 中性化補修事例

3-3 アルカリ骨材反応補修事例

3-4 塩害・ASR複合劣化による補修事例

3-5 鋼橋補修事例

3-6 緊急・応急措置事例

3-1 塩害補修事例

架設年度：昭和40年【供用年数：50年】
橋種：RCT桁橋
海岸線からの距離：100m 塩害区分：A-I

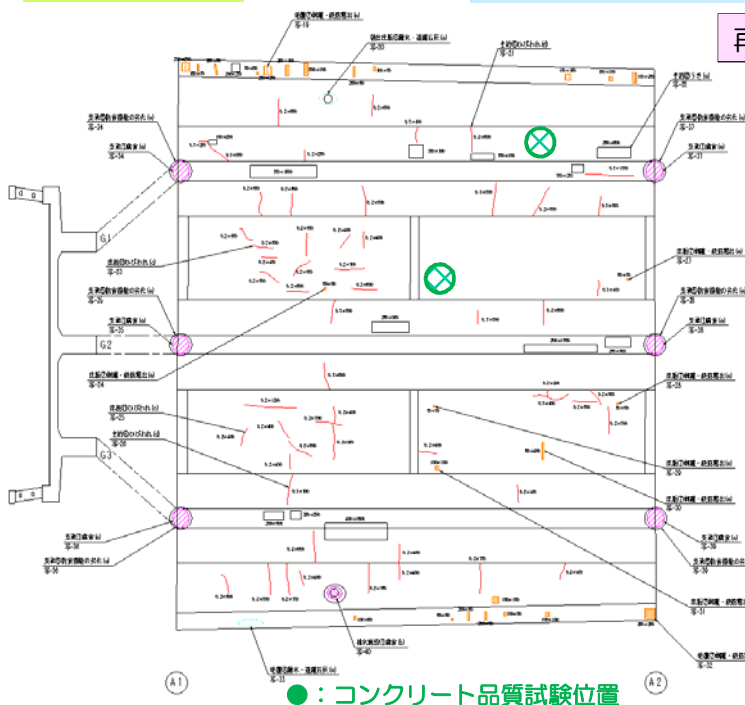
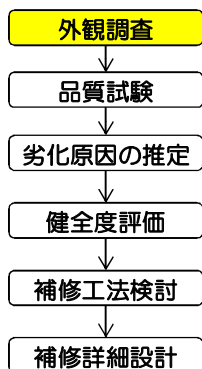
補修履歴
平成16年度 伸縮継手補修
平成17年度 断面補修1式
平成25年度 補修設計

40年経過

8年経過

【外観調査】

<上部工損傷図>



再劣化

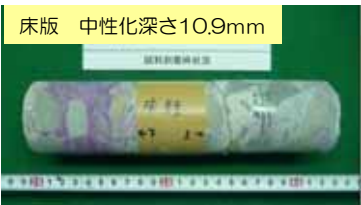
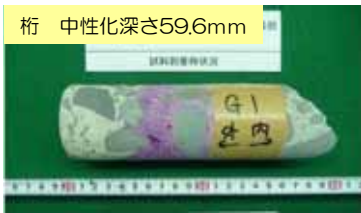
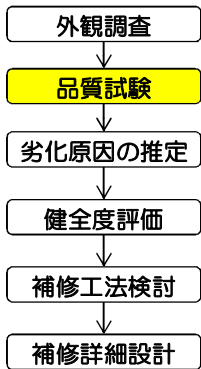


再劣化

3-1 塩害補修事例

【コンクリート品質試験】

- ・圧縮強度試験
- ・鉄筋腐食調査
- ・中性化試験
- ・含有塩分量試験



圧縮強度試験結果

測定箇所	試験結果	設計基準強度
G1桁 下流側	19.7 N/mm ²	18 N/mm ² (推定)※
床板 (G1~G2)	48.7 N/mm ²	18 N/mm ² (推定)※

※1964 (S39) 年「鉄筋コンクリート道路橋示方書」より
桁・床板共に建設時の強度を満足していることを確認した。

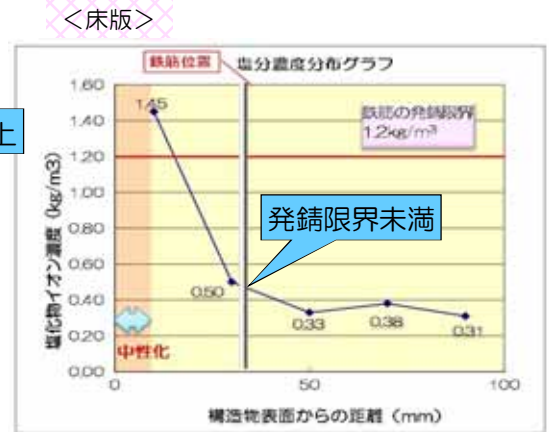
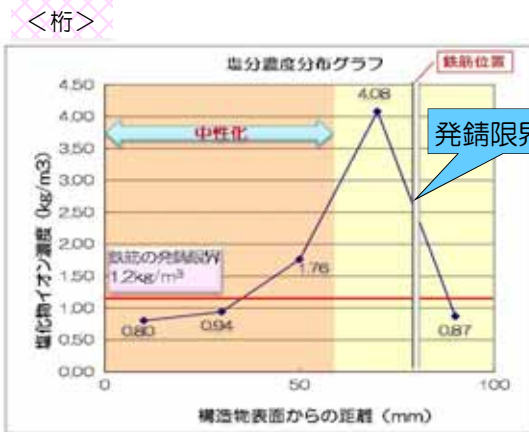
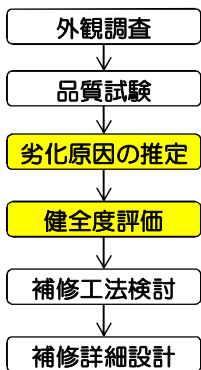
中性化試験結果・鉄筋腐食調査

測定箇所	かぶり	中性化深さ	中性化残り
G1桁 下流側	80mm	59.6mm(平均)	20.4mm
床板 (G1~G2)	35mm	10.9mm(平均)	24.1mm

- 中性化残りが発錆限界以上 > **グレード I**
塩害環境下における中性化残りが少なくなっている
- 鉄筋腐食は部分的にうき、さびを確認
> **腐食グレード II**

3-1 塩害補修事例

含有塩分量試験



【劣化原因の推定】

周辺環境・劣化状況・試験結果より、劣化原因は塩害と推定した。また、鉄筋腐食がみえはじめ、今後、さらに進展していくことと予測される。

解説 表6.3.3 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレード I	潜伏期	外観上の変状見られない、腐食発錆限界塩化物イオン濃度以下
グレード II	進展期	外観上の変状見られない、腐食発錆限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始
グレード III-1	加速期前期	腐食ひびわれや浮きが発生、さび汁が見られる
グレード III-2	加速期後期	腐食ひびわれが多数発生、腐食ひびわ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	腐食ひびわ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

グレード II
進展期と判断

3-1 塩害補修事例

【補修対策の検討】

塩害の劣化グレードⅡ（進展期）を考慮した対策が必要であり、桁については鉄筋位置まで塩化物イオンが浸透していることから**全面的な対策**を基本として選定する。

解説 表6.4.2 構造物の外観上の劣化グレードとそれに対応する補修工法の選定方針の例

外観調査 ↓ 品質試験 ↓ 劣化原因の推定 ↓ 健全度評価 ↓ 補修工法検討 ↓ 補修詳細設計	構造物の外観上の劣化グレード	劣化過程	構造物の要求性能ごとの対策方針【 】は標準的な工法例を示す			
			安全性	使用性（たわみや振動等）	第三者影響度	美観
	グレードⅠ	潜伏期	塩化物イオンの浸透量の低減 【表面処理】			
	グレードⅡ	進展期	塩化物イオンの浸透量の低減・除去、鋼材の防食 【表面処理】、【脱塩】、【電気防食】、【断面修復】 ※断面修復や脱塩に際し、表面処理を併用することもある			
	グレードⅢ-1	加速期前期	塩化物イオンの除去、鋼材の防食 【断面修復】、【脱塩】、【電気防食】 ※断面修復や脱塩に際し、表面処理を併用することもある			
	グレードⅢ-2	加速期後期	耐力、剛性の回復等 【断面修復】 ※断面修復に際し、表面処理を併用する場合や、鋼材の増設・交換を行う場合もある ※プレストレストコンクリート構造物（部材）の場合は、断面修復に加えて、電気防食を併用する場合もある	剥落防止 【たたき落し】 【断面修復】 【剥落防止ネットの設置】 ※断面修復に際し、表面処理を併用することもある	美観の回復 【断面修復】 ※断面修復に際し、表面処理を併用することもある	
	グレードⅣ	劣化期	耐力、剛性の回復等 【断面修復+鋼材の増設や交換】 ※断面修復に際し、表面処理を併用することもある。 ※上記以外に、連続繊維接着、外ケーブル、巻立て、増厚等による場合もある			

- 表面処理
- 脱塩
- 電気防食
- 断面修復

3-1 塩害補修事例

【補修工法の検討】

塩害に対する全面補修として、電気防食工、脱塩工、断面修復工、内部圧入工が考えられるが、維持管理のしやすさ、経済性等を考慮し、**全断面修復案**を採用。

工法名	第1案：電気防食工法	第2案：脱塩工法	第3案：断面修復工	第4案：亜硝酸リチウム内部圧入工法																																																																					
概念図																																																																									
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材の表面に発生している電位差（腐食電流）に対し、コンクリート構造物の表面に陽極となる材料（アノード等）を設置し、コンクリート中の鉄筋を陰極とした防食電流を供給し、電位差（腐食電流）を削減させて腐食を防止する。 防食期間中は10~30mA/m²の持続的な通電が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート表面に陽極材と電解液を充填させたアノードを設置し、コンクリート中の鉄筋を陰極とした電流を流すことで、コンクリート中の塩化物イオンを溶液中に取り出し、塩化物の量を減少させて鉄筋の腐食を抑制する。 1A/m²の電流で約3週間の通電が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 劣化（塩分濃度）部のコンクリートを鉄筋位置まで除去し、鉄筋を防錆処理を施し、コンクリートを復旧する。 従来型の補修工法。 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透拡散型亜硝酸リチウムをコンクリート表面部（鉄筋附近）に内部圧入することによって、鉄筋周囲に急速に亜硝酸イオンを供給する。 																																																																					
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 施工方法：はつり→地処理→電極設置→断面修復→陽極材設置→表面被覆→配管→通電 電気回路の確実な組立が必要 電線の有無や通電、回路の形状などの品質管理が重要となり専門知識、技術が必要 陽極材設置の品質確保に技術が必要 県内職業者の実績は少ないが、全国的には実績もある 	<ul style="list-style-type: none"> 施工方法：はつり→断面修復→電気腐食物の除去→陽極材設置→アノード取り付け→溶液充填→配管→通電→効果確認 構造物における電気腐食物の確実な除去が必要 7日間反応を促進させるため7日間反応の恐れがある場合は要注意 脱塩効果の確認が必要 県内職業者の実績は少ないが、全国的には実績もある 	<ul style="list-style-type: none"> 施工方法：はつり→防錆処理→断面修復→古液材散布 鉄筋位置までのはつりが必要（厚10cm） 一般工法で特殊な技術が必要としない 県内における実績は最も多い 	<ul style="list-style-type: none"> 施工方法：前孔（φ100×500）→圧入装置設置→加圧注入→撤去→クワット充填→含液材散布 かぶりコンクリートをはずすことなく亜硝酸イオンを鉄筋に直接供給することが可能 県内における実績はない 																																																																					
防食効果	◎ 6年防食効果が最も高く、信頼性も高い	◎ コンクリートの塩分濃度が高い場合、濃度低下に限界（実績では6割程度低下）がある ● 脱塩効果が低いとけいれん腐食による再劣化が発生する	△ 劣化因子除去を全断面ではつりとり、鉄筋を防錆処理するため、防食効果は高い	◎ 短期間で亜硝酸リチウムを確実に鉄筋位置に供給することができるため、不導電被覆再生効果が直ちに発揮され、以後の鉄筋腐食を抑制する																																																																					
維持管理	△ 陽極材の耐用年数は30年程度 ● 電気設備や通電状態の確認等の維持管理が必要	△ 断面修復後は、目標程度の点検で特に必要な維持管理は発生しないが、10年後以降は再劣化の状況把握のため、打診調査等の詳細調査が必要となる	△ 劣化因子をすべて取り除くため、再補修は表面被覆工のみ更新する ● 補修後は、目標程度の点検で特に必要な維持管理は発生しない	◎ 再補修は表面被覆工を必要とする ● 補修後は、目標程度の点検で特に必要な維持管理は発生しない																																																																					
経済性	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">施工箇所当り（直工事）</th> </tr> <tr> <th>名称</th> <th>規格</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電気防食工</td> <td>G1~G2桁 74㎡</td> <td>7,400,000</td> </tr> <tr> <td>断面修復工</td> <td>ひび割れ注入 保護塗料含む</td> <td>1,280,000</td> </tr> <tr> <td>維持管理更新費</td> <td>現況1年/20年更新 電気代等含む</td> <td>15,810,000</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td></td> <td>24,490,000</td> </tr> </tbody> </table>	施工箇所当り（直工事）			名称	規格	金額	電気防食工	G1~G2桁 74㎡	7,400,000	断面修復工	ひび割れ注入 保護塗料含む	1,280,000	維持管理更新費	現況1年/20年更新 電気代等含む	15,810,000	計		24,490,000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">施工箇所当り（直工事）</th> </tr> <tr> <th>名称</th> <th>規格</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>脱塩工法</td> <td>G1~G2桁 74㎡</td> <td>6,660,000</td> </tr> <tr> <td>断面修復工</td> <td>ひび割れ注入 含液材散布含む</td> <td>900,000</td> </tr> <tr> <td>維持管理更新費</td> <td>現況1年/20年更新 含液材散布含む</td> <td>14,350,000</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td></td> <td>21,910,000</td> </tr> </tbody> </table>	施工箇所当り（直工事）			名称	規格	金額	脱塩工法	G1~G2桁 74㎡	6,660,000	断面修復工	ひび割れ注入 含液材散布含む	900,000	維持管理更新費	現況1年/20年更新 含液材散布含む	14,350,000	計		21,910,000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">施工箇所当り（直工事）</th> </tr> <tr> <th>名称</th> <th>規格</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>断面修復工（桁全面）</td> <td>はつり含む</td> <td>6,200,000</td> </tr> <tr> <td>維持管理更新費</td> <td>なし</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td></td> <td>6,200,000</td> </tr> </tbody> </table>	施工箇所当り（直工事）			名称	規格	金額	断面修復工（桁全面）	はつり含む	6,200,000	維持管理更新費	なし	0	計		6,200,000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">施工箇所当り（直工事）</th> </tr> <tr> <th>名称</th> <th>規格</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>亜硝酸リチウム内部圧入工</td> <td>φ100×500</td> <td>4,800,000</td> </tr> <tr> <td>断面修復工</td> <td>ひび割れ注入 含液材散布含む</td> <td>900,000</td> </tr> <tr> <td>維持管理更新費</td> <td>現況1年/20年更新 含液材散布のみ</td> <td>1,040,000</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td></td> <td>6,740,000</td> </tr> </tbody> </table>	施工箇所当り（直工事）			名称	規格	金額	亜硝酸リチウム内部圧入工	φ100×500	4,800,000	断面修復工	ひび割れ注入 含液材散布含む	900,000	維持管理更新費	現況1年/20年更新 含液材散布のみ	1,040,000	計		6,740,000
施工箇所当り（直工事）																																																																									
名称	規格	金額																																																																							
電気防食工	G1~G2桁 74㎡	7,400,000																																																																							
断面修復工	ひび割れ注入 保護塗料含む	1,280,000																																																																							
維持管理更新費	現況1年/20年更新 電気代等含む	15,810,000																																																																							
計		24,490,000																																																																							
施工箇所当り（直工事）																																																																									
名称	規格	金額																																																																							
脱塩工法	G1~G2桁 74㎡	6,660,000																																																																							
断面修復工	ひび割れ注入 含液材散布含む	900,000																																																																							
維持管理更新費	現況1年/20年更新 含液材散布含む	14,350,000																																																																							
計		21,910,000																																																																							
施工箇所当り（直工事）																																																																									
名称	規格	金額																																																																							
断面修復工（桁全面）	はつり含む	6,200,000																																																																							
維持管理更新費	なし	0																																																																							
計		6,200,000																																																																							
施工箇所当り（直工事）																																																																									
名称	規格	金額																																																																							
亜硝酸リチウム内部圧入工	φ100×500	4,800,000																																																																							
断面修復工	ひび割れ注入 含液材散布含む	900,000																																																																							
維持管理更新費	現況1年/20年更新 含液材散布のみ	1,040,000																																																																							
計		6,740,000																																																																							
総合評価	△ 防食効果は高い。 ● 施工後の電気設備のメンテナンスが必要。 ○ 3ヶ月以内は比較的高くなる。 不採用	△ 脱塩状況にもよるが防食効果は低い。 ● 残塩分にもよるが、再劣化が早期に発生する可能性がある。 ○ 3ヶ月以内は比較的高くなる。 不採用	△ 防食効果は高い。 ● 劣化の可能性は、含液材を併用するため低い。 ○ 3ヶ月以内は比較的高くなる。 ● 3ヶ月以内は比較的高くなる。 採用	◎ 防食効果は高く、維持管理が容易だが、実績は少ない。 ○ 3ヶ月以内は安価であり、3ヶ月以内も比較的高くなる。 不採用																																																																					

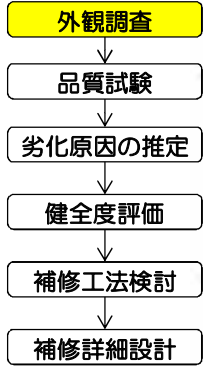
3-2 中性化補修事例 事例①

架設年度：昭和10年【供用年数：80年】
橋種：RCT桁橋
海岸線からの距離：15km

【外観調査】

<上部工損傷図>

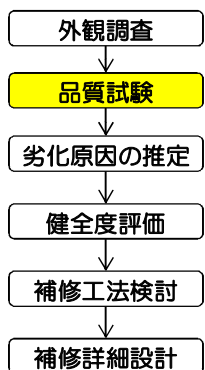
●：コンクリート品質試験位置



3-2 中性化補修事例 事例①

【コンクリート品質試験】

- ・鉄筋腐食調査
- ・中性化試験
- ・含有塩分量試験



鉄筋腐食調査・中性化試験結果



鉄筋かぶり 40mm
部分的に浮き錆

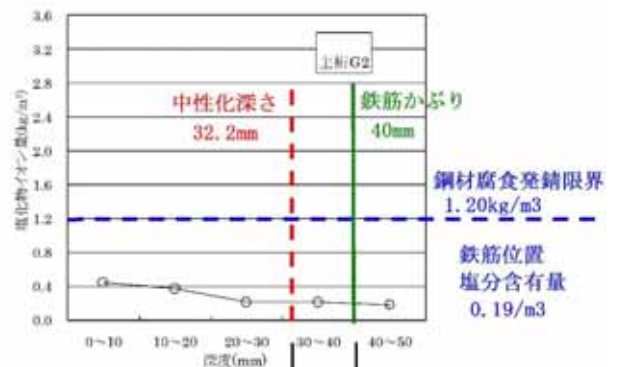
中性化深さ

鉄筋位置



※許容中性化残10mm>現状7.8mm
➢腐食環境下であることを確認

含有塩分量試験



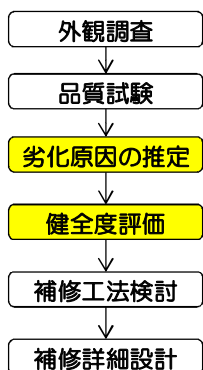
中性化残り 7.8mm

※塩化物イオン量は1.2kg/m³以下
➢塩害の影響は受けていない。

部位	中性化深さ (mm)								鉄筋かぶり深さ (mm)	中性化残り (mm)		
	1	2	3	4	5	6	7	8				
主桁	21.0	17.0	31.5	20.0	48.5	53.0	38.0	28.5	32.2	53.0	40	7.8

許容中性化残りは一般環境で10mm

3-2 中性化補修事例 事例①



【劣化原因の推定】

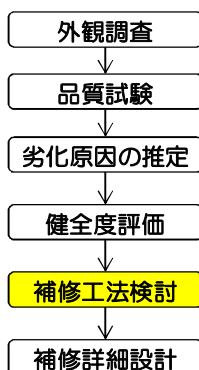
- 周辺環境・劣化状況・鉄筋腐食状況・中性化試験結果より、劣化原因は中性化と推定した。
- 中性化残りが10mmを下回っていることから、補修対策を講じる必要があると判断する。
- 劣化グレードについては、中性化進行状況と鉄筋腐食状況から進展期～加速期前期と推定する。

解説 表 5.3.3 構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	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。中性化残りが築設限界以上
グレードII	進展期	外観上の変状が見られない。中性化残りが築設限界未満。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	腐食ひび割れの伸張とともに剥離・剥落が見られる。鋼材の断面欠損は生じていない
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

2013年制定「コンクリート標準示方書 維持管理編」P146

3-2 中性化補修事例 事例①



【対策の検討】

- 劣化グレード（進展期～加速期前期）の標準的な工法は表面保護工（表面被覆）、再アルカリ化、断面修復等が考えられる。
- 損傷が局部的であり、健全部の鉄筋腐食状況は腐食グレードII（部分的に浮き錆）程度である。



- 損傷部の補修（ひび割れ注入、断面修復等）
- 表面保護工（表面被覆）

解説 表 5.4.3 構造物の外観上の劣化グレードと標準的な工法の例

構造物の外観上のグレード	劣化過程	着目する性能	
		安全性・使用性	第三者影響度
グレードI	潜伏期	表面処理*（剥落防止工*を含む）、再アルカリ化*、増厚*	
グレードII	進展期	表面被覆（剥落防止工を含む）、【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、剥落防止工）
グレードIII-2	加速期後期	断面修復	表面被覆（主に、剥落防止工）
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、剥落防止工）、【鋼板・FRP接着】

*：予防的に実施される工法

【 】：塩化物イオン濃度が高いことなどにより鋼材腐食速度が速い場合、腐食量が多い場合に適用する

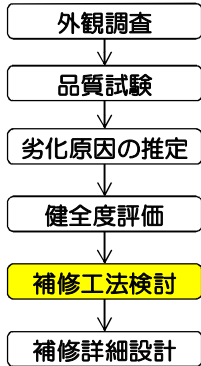
2013年制定「コンクリート標準示方書 維持管理編」P159

3-2 中性化補修事例 事例①

【補修対策】

- 表面保護工については、**表面含浸工法（無色透明）**を採用。
- 含浸材については、中性化抑制に効果が発揮される「**けい酸ナトリウム系**」を採用。

※予めカルシウム材を付与することにより、コンクリート表面部からの改質効果が得られる。



解説 表2.4.1 表面含浸工法に期待される性能と適用効果¹⁾

期待される性能	シラン系	けい酸塩系		その他の系
		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 ²⁾	△	△	—	
美観・景観に関する性能	—	—	—	
はく落抵抗性 ³⁾	△	—	△	

1) 表中の○は適用対象、△は適用する場合検討が必要（他の工法との併用など）、—は適用対象外を示す。
2) アルカリ骨材反応抑制は標準的な遮水性により判定した。
3) はく落抵抗性は付着性を基本に判定した。

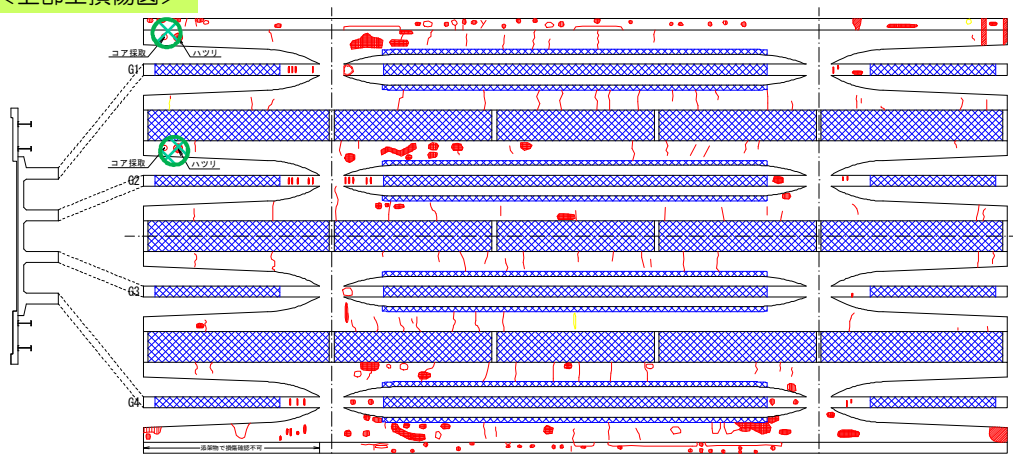
「表面保護工法設計施工指針」P17

3-2 中性化補修事例 事例②

架設年度：昭和10年【供用年数：80年】
橋種：RCT桁橋
海岸線からの距離：11 km

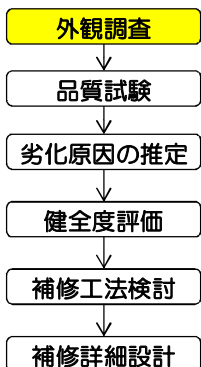
【外観調査】

<上部工損傷図>



●：コンクリート品質試験位置

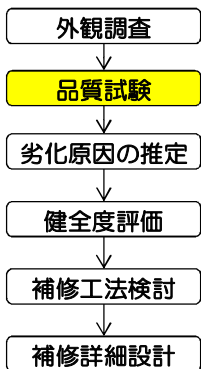
ジャンカおよび鉄筋露出



3-2 中性化補修事例 事例②

【コンクリート品質試験】

- 鉄筋腐食調査
- 中性化試験
- 含有塩分量試験



鉄筋腐食調査・中性化試験結果

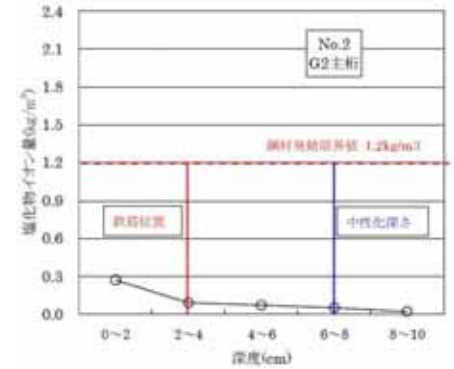
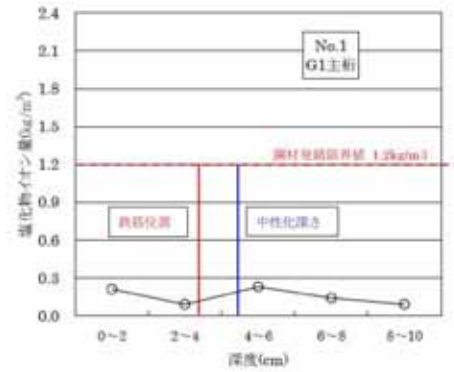
部位	G1主桁側面	G2主桁側面	A1橋台
資料名	コアNO.1	コアNO.2	コアNO.3
中性化深さ	#1	40.0	70.0
	#2	35.0	50.0
	#3	38.0	43.0
	#4	45.0	50.0
	平均値(mm)	39.5	53.3
最大値(mm)	45.0	70.0	
最小鉄筋かぶり(mm)	33.0	30.0	123.0

●中性化は鉄筋位置より深くまで進行。



鉄筋位置

含有塩分量試験

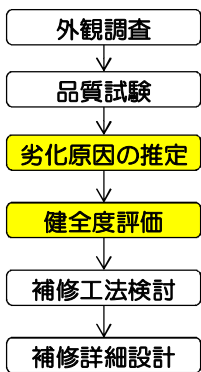


●塩害の影響は無し。

3-2 中性化補修事例 事例②

【劣化原因の推定】

- 劣化原因は中性化と推定
- 劣化グレードについては、グレードⅡ～Ⅲ-1（進展期～加速期前期）と推定。



解説 表 5.3.3 構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードI	潜伏期	外観上の劣化が見られない。中性化残りが鉄筋断面以上
グレードII	進展期	外観上の劣化が見られない。中性化残りが鉄筋断面未満。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	腐食ひび割れの程度とともに剥離・剥落が見られる。腐材の断面欠損は生じていない
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。腐材の断面欠損が生じている

2013年制定「コンクリート標準示方書 維持管理編」P14

【対策の検討】

- 劣化グレードについて進展期～加速期前期と推定
- 鉄筋位置より、深部まで、中性化が進行
 - 全面的な対策を基本として対策を選定

解説 表 5.4.3 構造物の外観上の劣化グレードと標準的な工法の例

構造物の外観上のグレード	劣化過程	着工する性能	
		安全性・使用性	第三者影響度
グレードI	潜伏期	表面処理*（剥離防止工*を含む）、再アルカリ化*、換気*	
グレードII	進展期	表面処理*（剥離防止工*を含む）、【断面修繕】、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、断面修繕	表面処理（主は、剥離防止工）
グレードIII-2	加速期後期	断面修繕	表面処理（主に、剥離防止工）
グレードIV	劣化期	断面修繕、【鋼板・FRP補修、巻いて、遮断】	表面処理（主に、剥離防止工）、【鋼板・FRP補修】

*：下路的に実施される工法

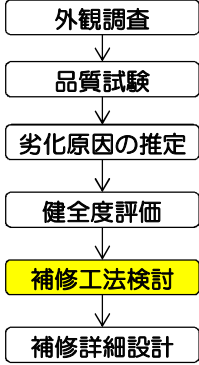
【 】：腐食物イオン濃度が高いことなどにより鋼材腐食速度が速い場合、腐食量が多い場合に選定する

2013年制定「コンクリート標準示方書 維持管理編」P159

3-2 中性化補修事例 事例②

【補修対策】

中性化に対する全面補修として、断面修復案と再アルカリ化案が考えられるが、経済性に優れる、**断面修復(ポリマーセメント吹付け)**案を採用する。

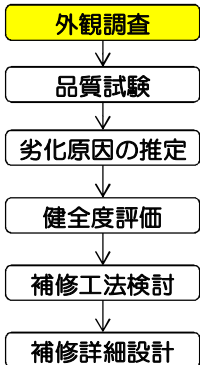


工種	第1案 断面修復 ポリマーセメントモルタル吹付け	第2案 再アルカリ化 電気化学的再アルカリ化工法																																			
写真参照																																					
上記概要	・ 浮き出した鉄筋のコンクリートをはたき取り、断面修復材で埋め戻す工法である。	・ コンクリート表面に塩化亜鉛溶液を塗布し、鉛板をコンクリート中の鉄筋(陽極)へ電気的接続することによってアルカリ性環境をコンクリート中に透過させ、コンクリート表面のpHを回復させる工法である。																																			
施工手順	① はたき撤去 ② 鉄筋の露出 ③ 鋼筋ハースト撤去 ④ プライマー塗布 ⑤ ポリマーセメントモルタル吹付け	① 鋼筋露出 ② プライマー吹付け ③ 塩化亜鉛溶液塗布 ④ 鉛板設置 ⑤ 電気的接続 ⑥ 電気的接続開始																																			
特徴と留意点	<ul style="list-style-type: none"> ● 中性化部を全面に修復する。 ● 鉄筋を露出させるため、腐食対策を全て行わなければならない。 ● 鋼筋露出による騒音のため、騒音対策のある現場である。 ● コンクリートのひび割れが深い。 ● マスターセメント吹付けが難しいところもある。 ▲ 吹付け作業は長時間にわたる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 中性化部を全面に回復させる。 ● 電流による電位差により、鉄筋と鉛板との間に電位差が生じ、腐食が促進される可能性がある。 ● 鋼筋の腐食は発生しない。 ● 吹付け作業は長時間にわたる。 ▲ 吹付け作業は長時間にわたる。 																																			
予設工事の必要	● 中性化を確実に回復できること、断面修復材であるポリマーセメントモルタルは必要である。中性化部や、配筋の配筋性に優れることから断案は高い。	● 中性化を確実に回復させること、断面修復材として使用する。断面修復材は、鋼筋の腐食を抑制する効果がある。																																			
維持管理	● 今後の劣化状況の観察を計画する。	● 劣化が回復した後も、定期的な観察を計画する。																																			
概算費	▲ 1坪あたり約10万円かかる。	▲ 2坪あたり約10万円かかる。																																			
経済性(1坪あたり)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>数量</th> <th>単価</th> <th>原価</th> <th>手続</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>断面修復工(吹付け)</td> <td>250</td> <td>m²</td> <td>1,180,000</td> <td>2,940,000</td> </tr> <tr> <td>はたき上</td> <td>30</td> <td>m²</td> <td>18,000</td> <td>520,000</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>¥3,460,000</td> </tr> </tbody> </table>	工種	数量	単価	原価	手続	断面修復工(吹付け)	250	m ²	1,180,000	2,940,000	はたき上	30	m ²	18,000	520,000	合計				¥3,460,000	<table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>数量</th> <th>単価</th> <th>原価</th> <th>手続</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>再アルカリ化</td> <td>250</td> <td>m²</td> <td>120,000</td> <td>6,000,000</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>¥6,000,000</td> </tr> </tbody> </table>	工種	数量	単価	原価	手続	再アルカリ化	250	m ²	120,000	6,000,000	合計				¥6,000,000
工種	数量	単価	原価	手続																																	
断面修復工(吹付け)	250	m ²	1,180,000	2,940,000																																	
はたき上	30	m ²	18,000	520,000																																	
合計				¥3,460,000																																	
工種	数量	単価	原価	手続																																	
再アルカリ化	250	m ²	120,000	6,000,000																																	
合計				¥6,000,000																																	
判定	●	▲																																			

3-3 アルカリ骨材反応補修事例

【外観調査】

架設年度：昭和57年【供用年数：33年】
橋種：プレテンション方式PC単純スラブ桁橋
海岸線からの距離：1.7 km



上部工損傷状況

● : コンクリート品質試験位置

PC鋼材に沿ったひび割れ

- ・ 塩化物総量規制(昭和61年)以前の架設
- ・ アルカリ骨材反応によるものと推測される、PC鋼材に沿ったひび割れ(幅0.3mm)が数本確認されている。
- ・ 損傷状況から、各種コンクリート品質試験を実施した。

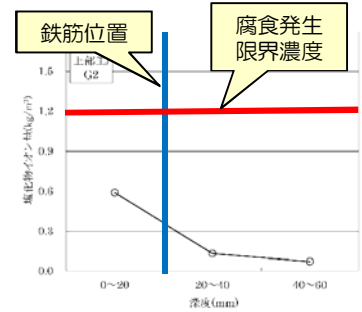
3-3 アルカリ骨材反応補修事例

【コンクリート品質試験】

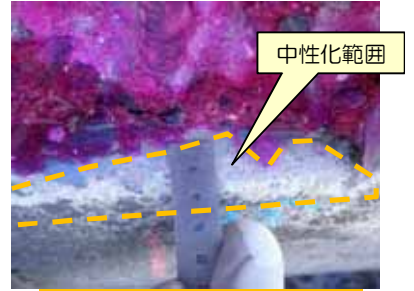
- 圧縮強度試験（コア法）
- 鉄筋腐食調査
- 中性化試験
- 塩分含有量試験
- SEM観察

塩分含有量試験結果

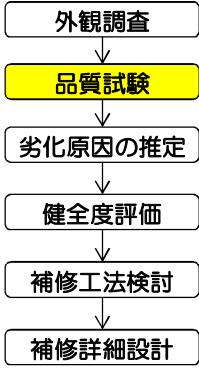
試験箇所	塩化物イオン量 (kg/m ³)	腐食発生限界濃度
G1主桁下面	0.36	< 1.2kg/m ³
地覆側面	0.48	< 1.2kg/m ³



中性化試験（地覆側面）



中性化深さ=15mm（平均）



圧縮強度試験結果

試験箇所	圧縮強度 (N/mm ²)
G2主桁下面	49.6
G3主桁下面 (ひび割れ部)	44.0
G4主桁下面	44.1
G7主桁下面	37.8
G7主桁下面 (ひび割れ部)	45.8

鉄筋腐食度調査



鉄筋腐食度区分：I

中性化試験結果

試験箇所	中性化深さ (mm)	鉄筋かぶり	中性化残り
G1主桁下面	1.9	20.0	18.1 > 10mm
地覆側面	15.0	35.0	20.0 > 10mm

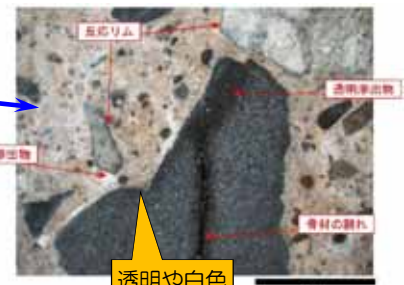
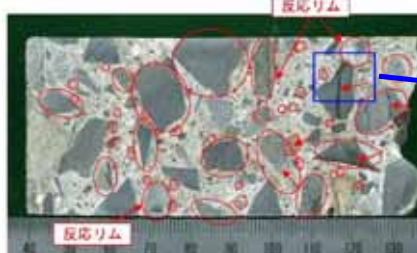
- 鉄筋位置での塩化物イオン濃度は腐食発生限界以下
- 中性化残りは腐食発生中性化残り以上
- 圧縮強度は建設時の強度を満足
- 鉄筋腐食度は軽微な腐食(腐食度区分：腐食グレードI)

3-3 アルカリ骨材反応補修事例

【コンクリート品質試験】

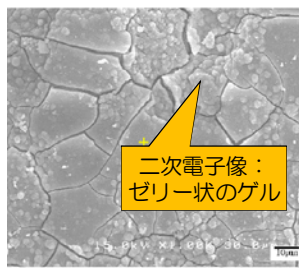
- 圧縮強度試験（コア法）
- 鉄筋腐食調査
- 中性化試験
- 塩分含有量試験
- SEM観察

SEM観察

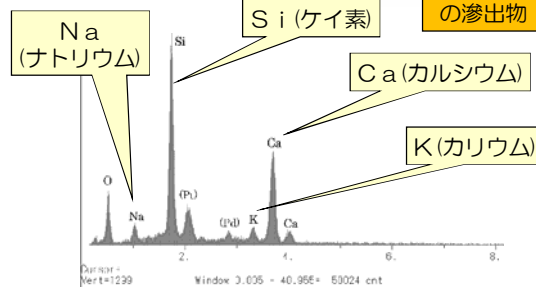


透明や白色の滲出物

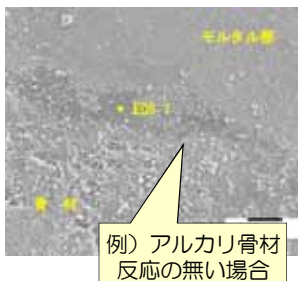
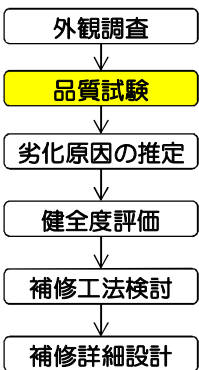
走査型電子顕微鏡による観察



二次電子像：
ゼリー状のゲル



- 試験の結果、骨材の周囲に透明や白色の滲出物が確認でき、滲出物の二次電子像のアルカリ骨材反応生成物の典型的な形態(ゼリー状)を有する。
- 滲出物の成分分析ではケイ素、カルシウム、カリウム、ナトリウムを含むアルカリ骨材反応性生物であることが判明した。



例) アルカリ骨材
反応の無い場合

3-3 アルカリ骨材反応補修事例

【劣化原因の推定】

- 周辺環境・建設時の時代背景・ひび割れ状況・試験結果より、劣化原因は **アルカリ骨材反応** と推定した。ただし、現時点では鋼材腐食は生じていない。
- 塩化物含有量は現時点では、腐食発生限界以下であるが、海岸線から1.7kmで、コンクリート表面の塩化物イオン量が高くなっていることから飛来塩分の影響が考えられる。

外観調査 ↓ 品質試験 ↓ 劣化原因の推定 ↓ 健全度評価 ↓ 補修工法検討 ↓ 補修詳細設計	構造物の外観上のグレードと劣化の状態		
	構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
	グレードⅠ	潜伏期	ASRI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、ひび割れが発生し、変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる。しかし、鋼材腐食によるさび汁はみられない。
	グレードⅢ	加速期	ASRIによる膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度が増大する。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、かぶりの部分の剥離・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。

参考文献:コンクリート標準示方書[維持管理編]2013年制定版 土木学会



劣化グレードは、**グレードⅡ（進展期）**と判断

3-3 アルカリ骨材反応補修事例

【補修対策】

- アルカリ骨材反応の劣化グレード **（進展期）**。
- **今後のアルカリ骨材反応の進行を抑制**するために、橋面防水、伸縮装置の止水化、主桁下面の表面保護工を実施。
- 防水性また **飛来塩分の影響**も考えられるため、これに適した表面処理を実施。

外観調査 ↓ 品質試験 ↓ 劣化原因の推定 ↓ 健全度評価 ↓ 補修工法検討 ↓ 補修詳細設計	構造物の外観上の劣化グレードと標準的な工法の例			
	構造物の外観上のグレード	劣化過程	今後予測される膨張量	標準的な工法
	グレードⅠ	潜伏期	—	水処理(止水, 排水処理)
	グレードⅡ	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
	グレードⅢ		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), 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, 鋼材の損傷箇所への補修

参考文献:コンクリート標準示方書[維持管理編]2013年制定版 土木学会



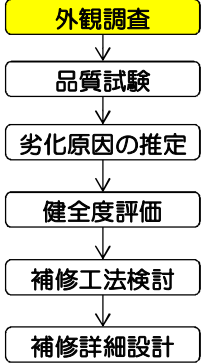
進展期を考慮した対策

- ひび割れ注入工
- 橋面防水工設置
- 伸縮継手取替え
- 表面含浸工（シラン系）

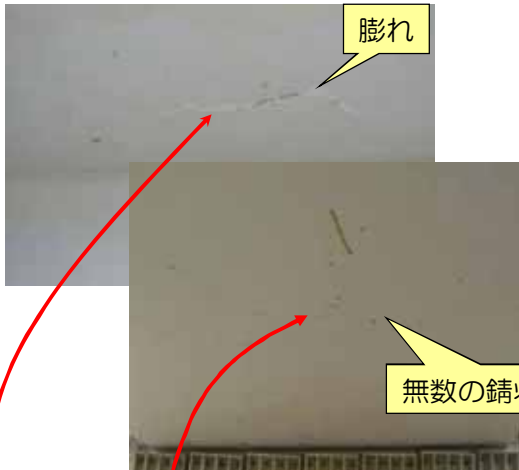
3-4 塩害・ASR補修事例

架設年度：昭和55年【供用年数：35年】
 橋種：ポストテンション方式PC中空床版橋
 海岸線からの距離：100m

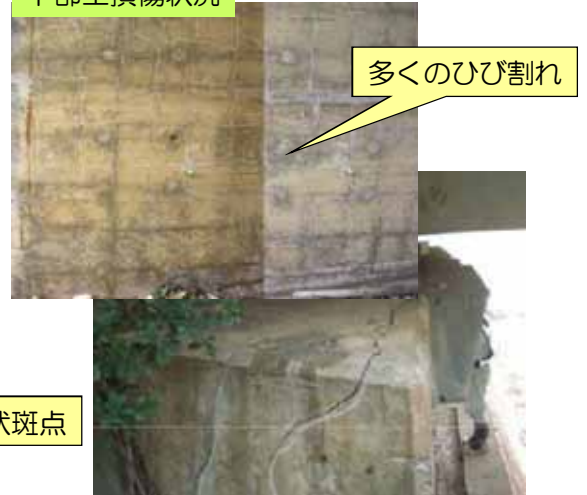
【外観調査】



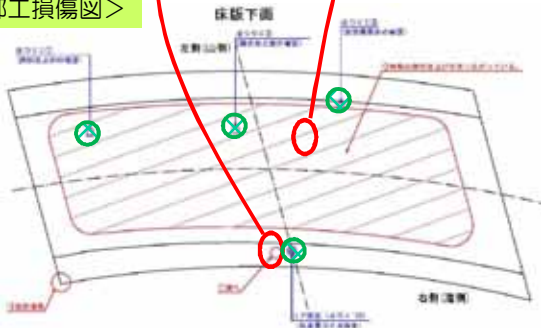
上部工損傷状況



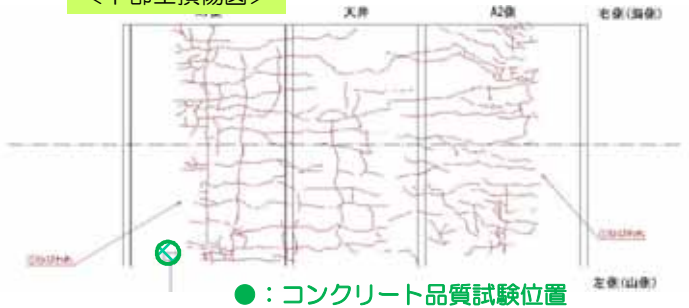
下部工損傷状況



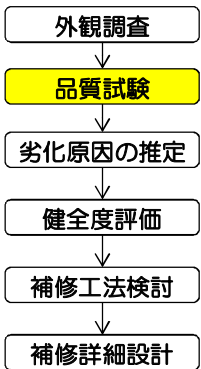
<上部工損傷図>



<下部工損傷図>



3-4 塩害・ASR補修事例



【コンクリート品質試験】

- ・圧縮強度試験
- ・鉄筋腐食調査
- ・中性化試験
- ・含有塩分量試験
- ・SEM観察
- ・残存膨張量試験（カナダ法）

圧縮強度試験結果

	調査箇所	圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)	判定
上部工	床版張出	46.1	39.2	OK
	床版側面	40.0		OK
下部工	A1橋台	25.9	21.0	OK
	A2橋台	30.2		OK

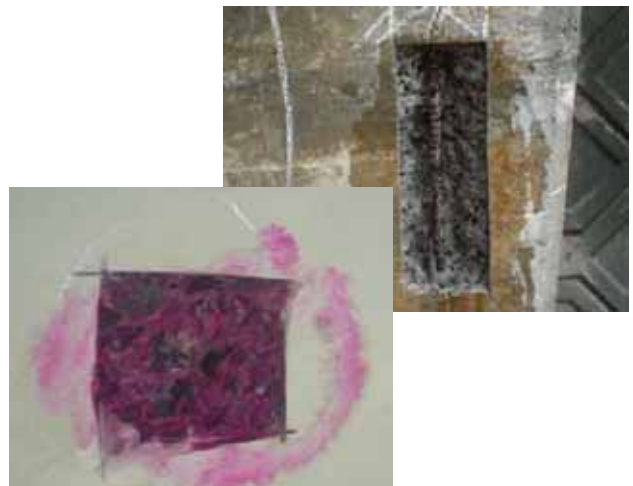
●建設時の強度を満足している。

鉄筋腐食調査・中性化試験結果

	調査箇所	中性化 深さ 平均値 (mm)	鉄筋 かぶり (mm)	中性化 残り (mm)	中性化 速度係数 (mm/√年)	100年後 の中性化 深さ (mm)	100年後 の中性化 残り (mm)
上部工	床版張出	0.0	30	30.0	—	—	—
	床版側面	2.7		27.3	0.50	5.0	25.0
下部工	A1橋台	4.9	37	32.1	0.91	9.1	27.9
	A2橋台	0.0		37.0	—	—	—

※中性化残り (mm) = かぶり - 中性化深さ

- 上・下部工共に中性化進行は微量。
- 鉄筋腐食は表面錆程度。

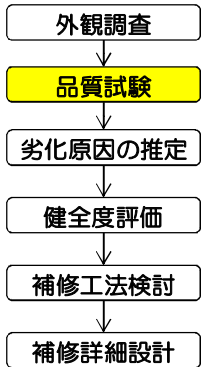


3-4 塩害・ASR補修事例

含有塩分量試験

	鉄筋 かぶり (mm)	試料深度 (mm)	調査時(2009年) 塩分量 (kg/m ³)	将来塩分量 (kg/m ³)
上部工	床版引出	30	20~40	4.04
	床版側面	100	80~100	1.60
下部工	A1橋台	37	20~40	2.14
	A2橋台	37	20~40	2109年(100年経) 0.66

- 鉄筋位置の塩分量は腐食発生限界以上。
- 鉄筋の表面錆は、塩害によるものと想定。

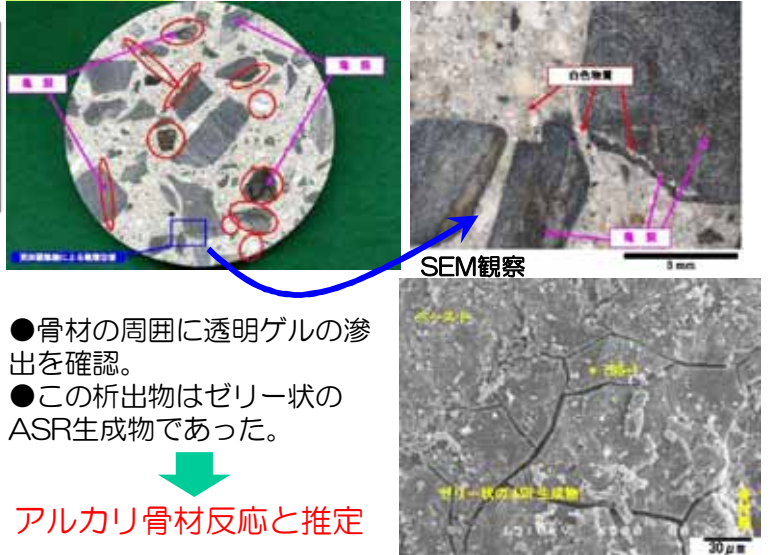


残存膨張量試験 (カナダ法)

●残存膨張量試験 (カナダ法) については、14日間の膨張量が0.10%以下である。

今後のアルカリ骨材反応による膨張は、無害と判定した。

SEM観察



- 骨材の周囲に透明ゲルの滲出を確認。
- この析出物はゼリー状のASR生成物であった。

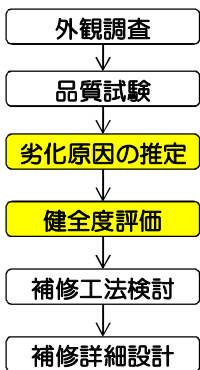
アルカリ骨材反応と推定

測定材齢 (日)		0(基長)	3	7	10	14	ASTM C 1260 での判定 (14日時点)	
測定値	寸法 (mm)	0.401	0.408	0.415	0.422	0.430		無害
		0.424	0.431	0.437	0.443	0.449		
		0.354	0.360	0.368	0.374	0.379		
	膨張率 (%)	0.295	0.302	0.309	0.315	0.321		
		0.000	0.007	0.014	0.021	0.029		
		0.000	0.007	0.013	0.019	0.025		
平均値	膨張率 (%)	0.000	0.007	0.014	0.020	0.026	無害	

3-4 塩害・ASR補修事例

【劣化原因の推定】

- 劣化原因はアルカリ骨材反応と塩害の複合劣化と推定
- アルカリ骨材反応による今後の膨張は概ね少ないと想定。
- 既設構造の鋼材は表面腐食程度が生じている。



解説 表 13.3.3 構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化の状態
状態Ⅰ (潜伏期)	ASRによる膨張およびひび割れはまだ発生せず、外観上の劣化が見られない。
状態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、ひび割れが発生し、変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる。しかし、鋼材腐食による錆は見られない。
状態Ⅲ (加速期)	ASRによる膨張速度が最大を少し超過で、ひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度が増大する。また、鋼材腐食による錆が見られる場合もある。
状態Ⅳ (劣化期)	ひび割れの幅および密度がさらに増大し、脱落、ずれや、かぶりの部分的なはく離・はく落が発生する。鋼材腐食が進行し錆が見られる。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。

ASRの劣化グレードは、**進展期**と判断

解説 表 10.3.4 構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化の状態
状態Ⅰ-1 (潜伏期)	外観上の劣化が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
状態Ⅰ-2 (進展期)	外観上の劣化が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以上。腐食が開始
状態Ⅱ-1 (加速期前期)	腐食ひび割れが発生。錆が見られる
状態Ⅱ-2 (加速期後期)	腐食ひび割れが多数発生。錆が見られる。部分的なはく離・はく落が見られる。腐食量の増大
状態Ⅲ (劣化期)	腐食ひび割れが多数発生。ひび割れ幅が大きい。錆が見られる。はく離・剥落が見られる。変位・たわみが大きい

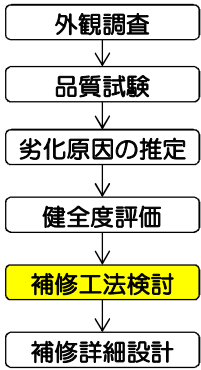
塩害の劣化グレードは、**進展期**と判断

3-4 塩害・ASR補修事例

【補修対策】

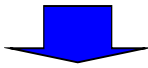
- アルカリ骨材反応・塩害の劣化グレード（進展期）を考慮。
- 防水性・水蒸気透過性・塩化物イオン透過阻止性を有した対策を施す必要がある。

構造部材の種類	劣化原因	劣化状況				その他の劣化
		シラミ	ひび割れ	剥離	その他	
中央部鉄筋（引張圧力部）	鉄筋の腐食	○	○	○	○	鉄筋の腐食
端部鉄筋（引張圧力部）	鉄筋の腐食	○	○	○	○	鉄筋の腐食
中央部鉄筋（圧縮圧力部）	鉄筋の腐食	○	○	○	○	鉄筋の腐食
端部鉄筋（圧縮圧力部）	鉄筋の腐食	○	○	○	○	鉄筋の腐食
コンクリート	ASR	○	○	○	○	ASR
塩害	塩害	○	○	○	○	塩害
その他	その他	○	○	○	○	その他



ASR	構造物の外観上のグレード	今後予想される劣化量	標準的な工法
	状態Ⅰ（潜伏期）	—	表面処理*
	状態Ⅱ（進展期）	小さい	表面処理（止水、排水処理）、ひび割れ注入、表面処理（保護、着色）、はく剥離防止
	状態Ⅲ（加速期）	大きい	表面処理（止水、排水処理）、ひび割れ注入、表面処理（保護、着色）、はく剥離防止、断面修復、プレストレスの導入、鋼板・FRP設置、増厚、鋼板・FRP巻立て、外ケーブル
	状態Ⅳ（劣化期）	小さい	表面処理（止水、排水処理）、断面修復、表面処理（保護）、はく剥離防止、プレストレスの導入、鋼板・FRP設置、増厚、鋼板・FRP巻立て、外ケーブル

塩害	構造物の外観上のグレード	標準的な工法
	I-1（潜伏期）	表面処理*
	I-2（進展期）	表面処理、断面修復、電気防食、電気化学的脱塩
	II-1（加速期前期）	表面処理、断面修復、電気防食、電気化学的脱塩
	II-2（加速期後期）	断面修復
	III（劣化期）	FRP接着、断面修復、外ケーブル、巻立て、増厚



- ひび割れ注入工
- 表面含浸工（シラン系）

3-5 鋼橋補修事例

【外観調査】

架設年度：昭和60年【供用年数：30年】
橋種：鋼桁橋（歩道橋）
海岸線からの距離：海岸線から1 km

補修前



補修後



3-5 鋼橋補修事例

【外観調査】

補修前



補修後



- 最も顕著な変状は、耐候性鋼材の**防食機能の劣化**および**腐食**。
- 構造上重要な主桁・横桁・支承部の腐食進行は耐久性低下につながる。
 - 構造上の問題を顕在化させる可能性
 - 早急な補修対策が必要。
- 下記の理由により、他の防食法に切り替え
 - 無塗装での適用地域（2km以上）でない
 - 層状剥離錆の発生原因の特定が困難

3-5 鋼橋補修事例

【補修対策】

- 以下の理由により、他の防食法による対策工を検討
 - ①耐候性鋼材の被膜が劣化している（無塗装の範囲外）
 - ②再被膜化では再劣化の可能性が高い
 - ③再被膜化の状態確認が困難
 - ④重交通量の道路上で維持管理が頻繁に行えない
- 耐候性鋼材の錆は普通鋼と比較して硬く、電動工具等での完全除去が困難
 - **ブラストによる素地調整（1種）**

耐久性が高い**Rc-I 塗料系**での塗替え
 ※衝突痕については、当て板による補修

7.3.1 一般

塗膜は環境中に暴露されると徐々に劣化し、防せい性能や美観性能も徐々に低下する。鋼道路橋塗装の機能を維持するには、塗膜の性能が管理上必要な水準以下に低下してしまう前に塗替え塗装を行うことで塗装の機能を回復させる必要がある。

鋼道路橋は、塗膜の暴露される環境が塗替え後も変わらないと判断し、従来の塗替え塗装は旧塗装と同じ性能を有する塗料系を一般的に選定していた。しかし、その後の調査によると塗装のライフサイクルコスト、環境対策、景観上の配慮などの観点から、より耐久性の優れた塗料系にする方が有利かつ合理的と考えられるため、塗替え塗装仕様は従来よりも耐久性に優れた重防食塗料系を基本としている。

鋼道路橋防食便覧 II-114
 日本道路協会 H26.3

表-11.7.9 旧塗膜と塗替え塗料系の組合せ

塗替え塗料系	旧塗膜塗料系*	表地調整	特徴
Rc-I	A, B a, b, c	1種	ブラスト工法により旧塗膜を除去し、スプレー塗装する。
Rc-III	A, B, C a, b, c	3種	工事上の制約によってブラストできない場合に適用する。耐久性は Rc-I 塗料系に比べて著しく劣る。
Rc-IV	C c	4種	C 塗料系の塗替えで下塗には劣化がおよんでいない場合に適用する。
Rc-II	B b,c	2種	工事上の制約によってブラストできなく、かつ、ジントリッチプライマーを用いた B 塗料系の旧塗膜、又は C 塗料系の局部補修に適用する。
Ra-III	A a	3種	A 塗料系の塗替えで十分塗膜寿命を有していて、適切な維持管理体制がある場合や橋の残存寿命が 20 年程度の場合に適用する。
Rd-III	D d	3種	暗く換気が十分に確保されにくい環境の内面塗装に適用する。

鋼道路橋防食便覧 II-120
 日本道路協会 H26.3

3-6 緊急・応急措置事例

事例①

架設年度：昭和42年【供用年数：48年】

橋種：鋼活荷重合成箱桁橋

海岸線からの距離：11 km

【外観調査】

- 支承部周辺で下フランジ（ソールプレート接合部）およびウェブに亀裂
- 鋼製支承に**支承機能障害**や**異常な音・振動**を確認。



【劣化原因の推定】

- 本橋の斜角は45° と大きく、鋭角端部で負反力が発生。（劣化原因）
- 負反力の影響で想定以上の荷重が生じたことや下フランジの剛度不足により、金属疲労による亀裂が生じたと推定。

3-6 緊急・応急措置事例

事例①

【応急措置】

- 応急対策は抜本的対策に影響を及ぼさない対策とする。
- 下フランジおよびウェブに確認された**亀裂**に対して
 - 亀裂の進行を防止する「**ストップホール+ボルト締め**」。
- **支承部の機能障害**および**異常な音・振動**に対して
 - 支承本体の上沓と下沓の隙間を埋める「**エポキシ樹脂注入**」。



3-6 緊急・応急措置事例 事例② 【応急措置】

架設年度：平成13年【供用年数：14年】
橋種：PC斜材付変形π型ラーメン橋
海岸線からの距離：12km



本橋は跨道橋のため、橋梁詳細点検を実施するとともに「総点検実施要領（案）【橋梁編】」に基づき、**道路利用者被害**および**第三者被害の予防**を実施した。点検において、道路利用者および第三者被害の可能性のある損傷について、可能な限りの応急措置を行うものである。



具体的には、

- ・コンクリート部材のうき（セパレータ頭部の後埋めモルタル部）
→セットハンマー等でたたき落とす
- ・落下可能性のある部品等の撤去

ただし、点検時の応急措置は点検で携行できる器具等によって対応可能なものに限られ、**応急措置が恒久対策を兼ねることは多くないので、注意**が必要である。

4. 今後の課題

4. 今後の課題

4-1 表面含浸工法について

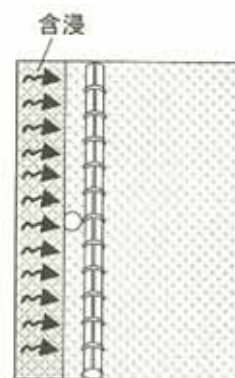
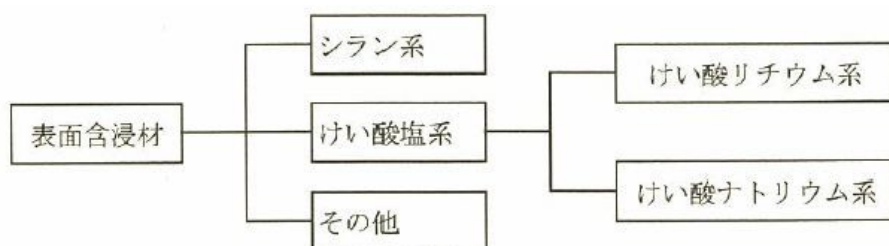
4-2 調査に伴う今後の課題

4-3 補修・補強設計に伴う今後の課題

4-4 補修工事時の課題

4-1 表面含浸工法について

① 表面含浸工法の概要



<シラン系>

浸透性吸水防止材とも称され、コンクリート表層部に含浸させることにより吸水防止層を形成し、外部からの水や塩化物イオンの侵入を抑制する。

<ケイ酸リチウム系>

浸透性固化材や浸透性アルカリ付与材とも称され、コンクリート表層部に含浸させることにより、ぜい弱なコンクリート表層部を硬化したり、中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与して鉄筋の腐食環境を改善する。

<ケイ酸ナトリウム系>

浸透性固化材や浸透性防水材、あるいはコンクリート改質材とも称され、コンクリート表層部に含浸させることにより、細孔内部に不溶性の結晶体を生成し、外部からの水や炭酸ガスの侵入を抑制したり、中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与して鉄筋の腐食環境を改善する。

② 各含浸材の特徴

	シラン系	ケイ酸リチウム系	ケイ酸ナトリウム系
施 工	容易	容易	容易
外 観	コンクリート構造物の外観は変わらない。	コンクリート構造物の外観は変わらない。	コンクリート構造物の外観は変わらない。
含 浸 深 さ	含浸材の 主成分およびその濃度 、下地となる コンクリートの配合や乾燥状態 等により影響を受ける。	下地となる コンクリートの配合や乾燥状態 等により影響を受ける。	下地となる コンクリートの配合や乾燥状態 等により影響を受ける。
改 質 内 容	コンクリート表層部を 疎水性 に改質する。	含浸したコンクリート表層部の 細孔を充てん して、組織を 緻密化 する。	含浸したコンクリート表層部の 細孔を充てん して、組織を 緻密化 する。
機 能	<ul style="list-style-type: none"> ●疎水層により、水が移動媒体となる劣化因子の侵入が抑制される。 ●コンクリートの細孔を塞ぐことがないため、内部からの水蒸気透過性に優れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ●含浸した部分の中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与する。 ●含浸した部分のぜい弱なコンクリート表層部を固化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ●コンクリート組織が緻密になるため、各種劣化因子の侵入が抑制される。 ●含浸した部分の中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与する。 ●含浸した部分のぜい弱なコンクリート表層部を固化する。

③ 各含浸材の適用性

要求性能に関する項目	表面含浸工 適用構造物	けい酸塩系			その他の系 新設・既設
		シラン系 新設・既設	けい酸リチウム系 新設・既設	けい酸ナトリウム系 新設・既設	
劣化に対する抵抗性	中性化抑制（中性化対策）	△	△	○	-
	塩化物イオンの侵入抑制（塩害対策）	○	-	○	-
	凍結融解抵抗性（凍害対策）	○	-	○	-
	化学的侵食抑制	-	-	-	-
	アルカリ骨材反応抑制（アルカリ骨材反応対策）	○	○	△	-
	乾湿繰返し抑制	○	-	-	-
	摩耗抑制（水理構造物のキャビテーション等）	-	△	△	-
	疲労によるひび割れ制御 構造物中の劣化部分の除去	-	-	-	-
水密性	防水	○	-	○	-
	落書き防止	△	-	-	-
美観・景観	排ガス付着防止	△	-	△	-
	防藻・防カビ	△	-	△	-
	意匠性向上	-	-	-	-
	外観維持	○	○	○	-
第三者影響度に関する性能	はく落抵抗性	-	△	△	-
各種機能付加	耐火性向上（爆発防止）	-	-	-	-
	収縮によるひび割れ抑制	-	-	-	-
	保溫性向上	-	-	-	-
	海洋生物付着防止	-	-	-	-
	融雪機の雪溜り防止	-	-	-	-
	車両走行安全性向上 （畜光塗料、視認性向上）	-	-	-	-
ぜい弱部の強度回復（固化）	-	○	△	-	

注) 表中の○は適用対象、△は適用する場合検討が必要（他の補修工との併用等）、-は適用対象外を示す。

出典：土木学会 表面保護工法設計施工指針(案)

④ 新工法(材料)の紹介

亜硝酸リチウム・・・塩害対策とASR対策に有効な材料



図-1 亜硝酸リチウムの荷姿



図-2 亜硝酸リチウムの外観

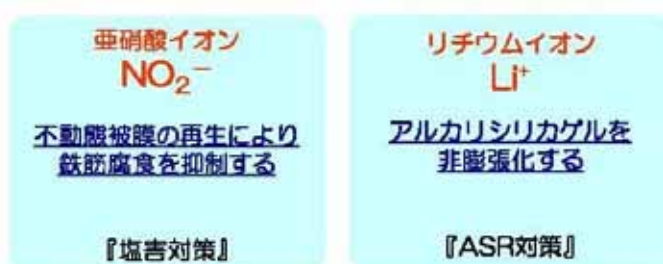


図-3 亜硝酸イオンおよびリチウムイオンの効果

⑤ 考察

表面含浸工は、劣化の抑制に寄与するとともに、補修後も目視点検が可能であることから、施工実績が増えている

しかし、使用する上で、目的に合わない含浸材を使用しても、期待する効果を得ることはできない。

このことから、設計段階で、

- ① 目的を明確にする。
- ② 損傷状況に適した材料を選定する。
- ③ 使用箇所により適否を判断する。

を明示する必要がある。

また、含浸材の材料・工法が次々に登場してきている。

現状もあり、費用対効果・実績等を含めた検討が今後の課題と考えられる。

4-2 調査に伴う今後の課題

(1) 点検、調査の難易度は、橋梁の規模(橋長)だけでなく、交通状況、架設位置の地形条件、植生の繁茂状態、天候等に左右されるため、

通常の作業条件以外に加味すべき点を事前に確認する。



植生の繁茂状態

(2) 交通規制条件(安全対策)は、(1)の条件により、交通誘導員・安全対策器具等の内容が異なる。

- 安全管理
- 看板設置、交通誘導員配置
- 点検の実施



交通誘導員の配置

(3) 橋梁点検車は、万能ではなく、橋梁形式、路面勾配により点検、調査が不可能な場合もある。

歩道付き橋梁	近接橋
・歩道が支障となって橋梁点検車が利用できない橋梁。	・当該橋梁に近接して他の橋梁があり橋梁点検車の点検用バケット挿入が困難。

他の点検方法で補えない場合、特殊な点検方法を考慮する。



特殊高所技術

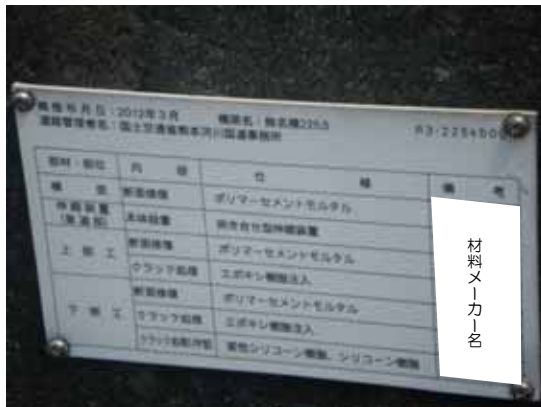
(4) リースである点検車両は、台数が少なく他の業務との重複度合によっては、作業の停滞が起こる。

(5) 離島における点検作業は、塩害による何らかの変状が顕著であり現地での変状確認に時間がかかるため、環境条件等により歩掛を考慮する。

(6) 資料収集において、橋梁の材料強度・配筋等が不明である場合、他のデータより推測する必要があり、状況によっては強度試験・はつりによる確認が必要である。

(7) 同じ橋長であれば、RC橋の方がひび割れ・浮きが発生している場合が多いため、PC橋より点検に時間がかかる傾向にある。また、RC橋・PC橋と比較して鋼橋は部材・接合箇所等が多いため、点検に要する時間が大幅に増加する。

(8) 橋梁点検、調査における結果、補修補強工事完了後の履歴を残し今後の維持管理、長寿命化に反映できる資料を蓄積することが望ましい。



補修履歴版

補修履歴版を橋梁に設置する事例も増加している。

※ 備考欄には使用材料のメーカーを記載

(9) 昭和40～47年頃に工事された鋼橋の塗膜には、人体に悪影響をもたらす鉛やクロム、PCBといった物質が混入している可能性がある。

塗装塗り替えが必要な場合には、これらの有害物質が混入していないかを調査する必要があるが、それらの含有量が一定量を越えると人体への影響がある等の明確な規定が定まっていないため、各自治体での対応が必要となる。

4-3 補修・補強設計に伴う今後の課題

例1：地覆防護柵補修

防護柵や地覆が著しい損傷を受けており、地覆防護柵補修で改良が必要と判断される場合、下記のようなケースがある。

- 既設地覆幅 $W=350\text{mm}$ →新設地覆幅 $W=600\text{mm}$
- 既設防護柵：コンクリート高欄→新設防護柵：現基準防護柵（高欄）

この場合、橋梁付属物としての重量が増え、既設の主桁や床版等が安全であるか否かを確認する必要がある。当該橋梁の建設時資料が無い場合、主桁や床版等の設計状況を確認することが困難であり、推定設計にて補強の要否を判定するほか無いため、**建設時の資料の収集整理が重要**

例2：橋脚補強や落橋防止システム設置

橋脚補強や落橋防止システム設置を行う場合、下記条件が必要となる。

- 設計水平震度（水平力算定に必要）
- 液状化の有無（落橋防止システムの要否に必要）
- 土中内の配筋および杭種・杭径・杭長等（橋脚補強の際に必要）

上記条件が不明の場合、安全側に想定した条件（例えばⅢ種地盤を想定して）推定設計にて実施するか省略するしかないため、**建設時資料の収集整理が重要**

4-4 補修工事時の課題

① 補修目的に応じた提案

設計時においては、調査時の劣化状況と劣化予測を基に工法を選定している。

このことから、補修工事前には、**補修目的と劣化の進行状況（調査設計時との比較等：外観・コンクリート品質試験）を十分に把握し、最適な工法提案を行うことが重要である。**

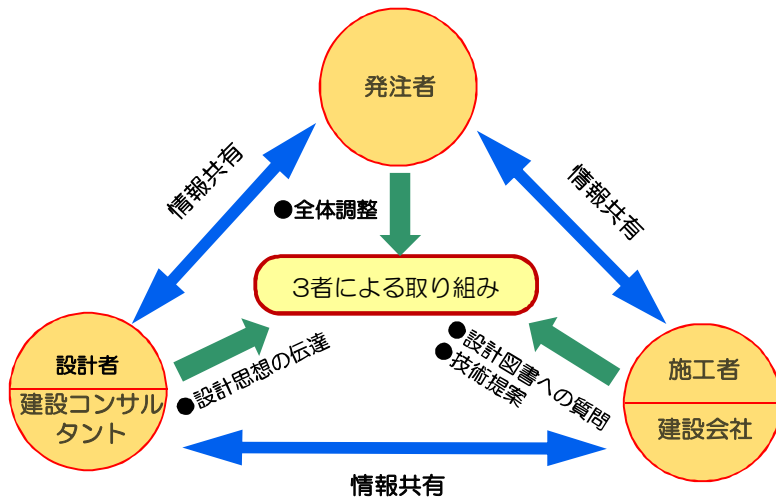
② 劣化過程に応じた対策の提案

例えば、加速期から劣化期に進行した構造体の補修対策については、耐荷力低下を考慮した補修対策を要する。

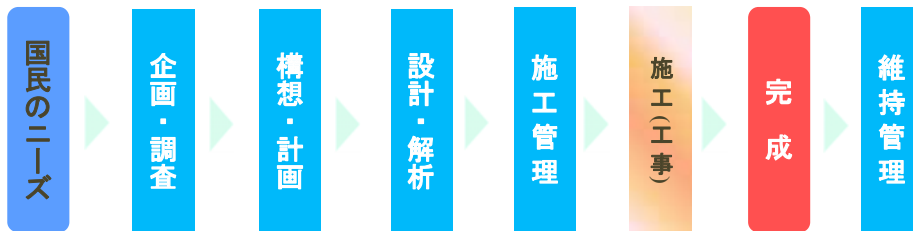
こうした**施工時における劣化程度の把握とそれに伴う、補修対策の選定**が構造物の長寿命化に大きく影響する。

③ 3者（発注者、施工者、設計者）での取り組み

施工時においては、設計思想の伝達や設計図書への質問、新たな技術提案などについて3者（発注者、施工者、設計者）で取り組み、効果的な対策を講じることが重要である。



3者協力による企画・調査から維持管理のサイクルを丁寧に行うことで、**構造物の長寿命化**に繋がる。



御清聴、ありがとうございました。