

福岡市 道路橋補修教本 — 実践編 —



海の中道大橋
(3径間連続鋼バランスドアーチ橋他)
福岡市で一番長い橋:橋長 750m



よかトピア橋
(3径間単純PCポステンT桁橋)
1989年に開催された「よかトピア」会場内のメインストリート

平成29年3月初版



福岡市 道路下水道局 管理部 道路維持課

道路橋補修教本 ー 実践編 ー

目 次

§ 1. はじめに.....	1
§ 2. 管理橋梁の現状.....	2
(1) 諸元特性.....	2
1) 構造種別	2
2) 建設時期	2
(2) 劣化、補修状況	3
(3) 本教本の意義.....	3
§ 3. 劣化の特徴と補修方法等.....	4
3.1. 中性化	4
(1) 劣化の特徴	4
1) 中性化深さ	4
① R C 構造	5
② ボックスカルバート	6
③ P C 構造	6
④ 全構造.....	7
2) 中性化残り	7
① 中性化のみ（塩害なし）	8
② 中性化、塩害複合（塩害あり）	9
3) 水掛かり要因	10
4) 架設年代	11
5) 市内分布	12
(2) 補修方法等	13
1) 対策の必要性	13
① 中性化のみ	13
② 中性化、塩害複合	13
2) 対策内容	14
① 橋面	14
② 端部	15
③ 伸縮	15
④ 干満	16
⑤ 流水	18
⑥ 桁下面.....	18

3.2. 塩害	20
(1) 劣化の特徴	20
1) 塩化物イオン濃度	20
① 上部工	20
② 下部工	21
③ ボックスカルバート	21
④ 全構造	22
2) 塩分供給要因	23
① 内的要因（内在による塩害）	23
② 外的要因（外在による塩害）	24
3) 架設年代	25
4) 劣化の進行例	26
5) 市内分布	27
(2) 補修方法等	28
1) 対策時期等	28
① 早期対策	28
② 再劣化抑制	28
2) 対策内容	29
① 断面修復工	29
② 表面含浸工	30
③ 電気化学的補修工法	30
④ 経過観察等	31
3.3. アルカリシリカ反応	32
(1) 劣化の特徴	32
1) 外観変状	32
① ひび割れ	32
② 表面劣化	33
③ アルカリシリカゲル滲出	33
④ PC橋中空部への滞水	34
2) 耐荷力等	35
① 上部工	35
② 下部工	35
3) 水掛かり要因	36
4) 架設年代	37
5) 骨材の産地	37
① 上部工	37
② 下部工	37
6) 市内分布	38
(2) 補修方法等	39
1) 対策時期	39
① 再劣化防止	39
② 膨張収束の確認	39
2) 対策内容	40
① 橋面防水工	40
② 水抜き工	41
③ ひび割れ補修工	43
④ 断面修復工	44
3.4. 凍害	45
(1) 劣化事例	45
1) 位置	45
2) 外観変状	46
① 南向き橋台	46
② 北向き橋台	47
③ 主桁	47
(2) 補修方法等	47

§ 4. その他知見.....48

4.1. PC橋の留意点等.....48

- (1) PCプレテン中空床版橋（ホロー形式）48
 - ① PC橋より線の配置 48
 - ② 横締め..... 48
 - ③ 中空部の材料..... 48
 - ④ ベニヤ板使用による初期欠陥例 49
- (2) PCポステンT桁橋（プレキャストセグメント方式）50
 - ① 段取筋の配置..... 50

4.2. 再劣化事例51

- (1) 断面修復工51
 - 1) 左官工法 51
 - ① 付着不足 51
 - ② マクロセル腐食 52
 - 2) モルタル注入工法 53
 - ① 付着不足 53
 - ② 収縮ひび割れ..... 53
- (2) ひび割れ補修工54
 - 1) 全断面コンクリート打替え工 54
 - ① 収縮ひび割れ..... 54
- (3) 表面被覆工55
 - 1) 塩化物イオンの移動..... 55
 - 2) 紫外線劣化..... 56
- (4) 耐荷力向上対策56
 - 1) 繊維シート接着工 56
 - ① 炭素繊維 56

§ 5. 今後の課題.....57

- (1) コスト縮減57
- (2) 新工法、新材料の検証.....57
- (3) 再劣化の検証.....57
- (4) 施工管理基準等57

§ 1.

はじめに

本教本は、福岡市が管理する橋長 2m 以上の道路橋のコンクリート部材（以下、「コンクリート橋」という。）補修において必要となる、実践的事項について示したものである。

- ・ 本教本は、福岡市が管理するコンクリート橋に適用する。ただし、都市高速道路及び臨港道路は除く。
- ・ 本教本は、コンクリート橋の耐久性の回復及び構造物の長寿命化を図るために、適切な補修を行うことを目的とする。
- ・ 点検・調査の結果、対策が必要と判断されたコンクリート橋について、計画的な維持管理を実践し、所定の機能を維持するために適切な補修を実施する際の、文献等に記載されていないような内容を中心とした留意事項等に関する参考教本とする。
- ・ 特に、福岡市独自の劣化の特徴、学識経験者の助言、福岡市橋梁補修工法等検討部会の意向を踏まえた、より経済的、効率的な補修方法等について記載する。
- ・ なお、記載内容については、毎年開催している福岡市橋梁補修工法等検討部会に諮り、より良いものとなるよう修正していく。

§ 2.

管理橋梁の現状

(1) 諸元特性

1) 構造種別

福岡市が管理する橋梁は約 2,000 橋ある。
福岡市が管理する橋梁における上部工の構造種別内訳を図 2-1-1 に示す。約 2,000 橋のうち、コンクリート橋が 96%を占めている。

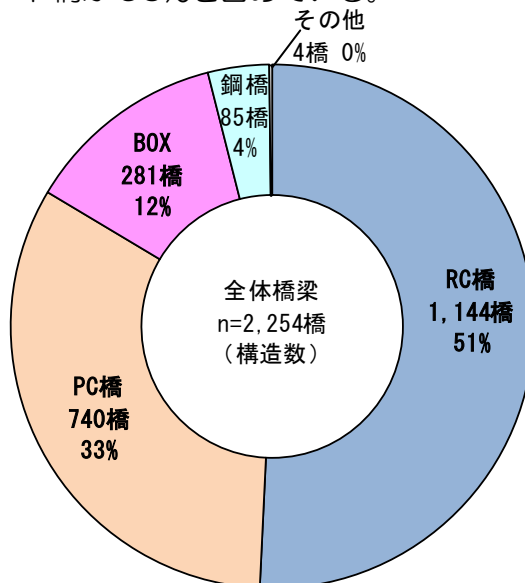


図 2-1-1 構造種別内訳

2) 建設時期

約 75%は、昭和 40～50 年代の経済成長期（高度経済成長期～安定経済成長期）に建設され、特に昭和 47 年の政令指定都市指定後に集中している。図 2-1-2 に架設年代別管理橋梁数の分布を示す。

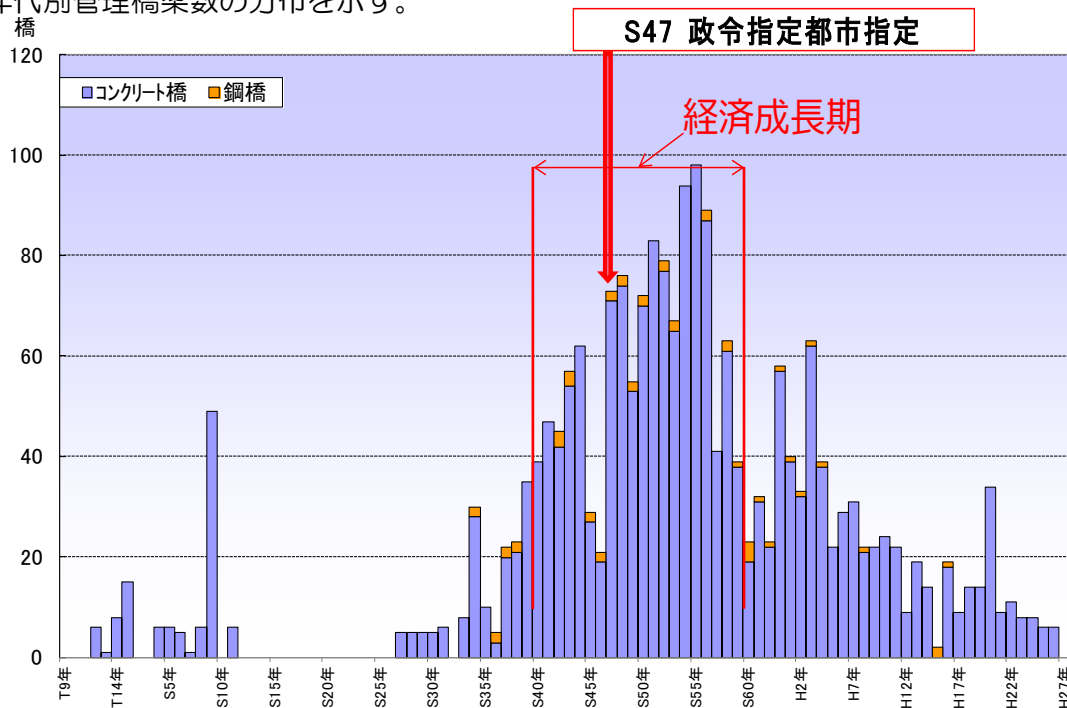


図 2-1-2 架設年代別管理橋梁数分布

(2) 劣化、補修状況

経済成長期やそれ以前に建設された橋梁が高齢化し、毎年多くのコンクリート橋を補修しなければならない状況にある。

コンクリートは知識がなければ劣化機構の特定が難しく、初めて見るような劣化事例を目の当たりにすることもあり、補修についても明確に確立された工法等がないこともある。また、各橋梁で補修内容等を判断しなければならない事項も多いことから、詳細調査時に学識経験者の助言を踏まえ、劣化機構の特定、補修工法の決定等を行っている。

(3) 本教本の意義

道路維持課では、図 2-1-3 のように多くのコンクリート橋について詳細調査を行ってきた。これを基に福岡市におけるコンクリート橋の劣化機構を分析し、劣化機構毎に整理し、劣化機構の特定、補修工法の決定等において、事前に知っておくべき知識習得に役立てるものとして、本教本を作成する。

福岡市では、三大劣化と言われる中性化、塩害、アルカリシリカ反応が圧倒的に多いことから、これらを中心に記載する。



図 2-1-3 詳細調査を行ったコンクリート橋箇所図

§ 3.

劣化の特徴と補修方法等

3.1. 中性化

(1) 劣化の特徴

1) 中性化深さ

中性化の進行速度を示す中性化深さ y (mm)は、経過時間 t (年)の平方根に比例する。

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

ここで、係数 b は中性化速度係数と呼ばれ、値が大きいほど中性化が速くなり、多くの外的要因及び内的要因によって定まる複雑な係数である。通常、写真 3-1-1 のドリル法や写真 3-1-2 のコア法により実測した中性化深さから逆算して求める。



写真 3-1-1 中性化測定事例（ドリル法）



写真 3-1-2 中性化測定事例（コア法）

構造別に実測した中性化深さと経過年数の関係を図 3-1-1～5 に示す。

① R C 構造

- ・ 図 3-1-1 及び 3-1-2 のとおり、上部工、下部工とも、それぞれの条件により中性化深さにばらつきがある。そのような中でも、数十年経過して中性化がほとんど進んでいないような事例もある。
- ・ 図 3-1-2 のとおり、下部工の中性化深さが若干浅いのは、流水、干満等の影響により排気ガス等が滞留しにくいものと考えられる。

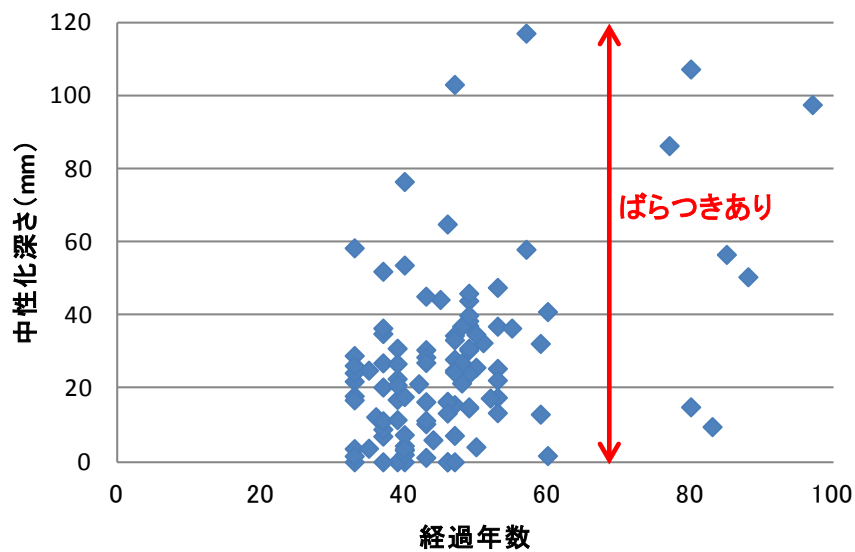


図 3-1-1 中性化深さ【上部工：R C 構造】

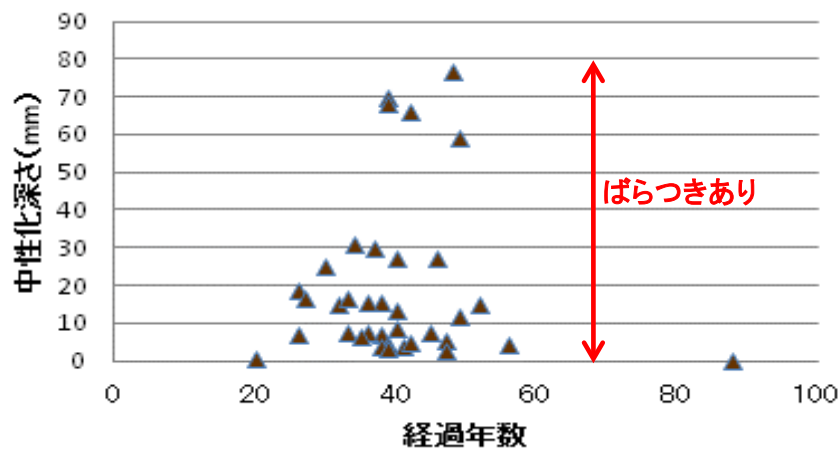


図 3-1-2 中性化深さ【下部工：R C 構造】

② ボックスカルバート

- ・ 図 3-1-3 のとおり、工場製品が多く品質が良いため、通常のRC構造よりも中性化が進みにくく、概ね 30mm 未満である。
- ・ 工場製品は鉄筋のかぶりが浅いことが多く、流水による水掛かりに留意する必要がある。

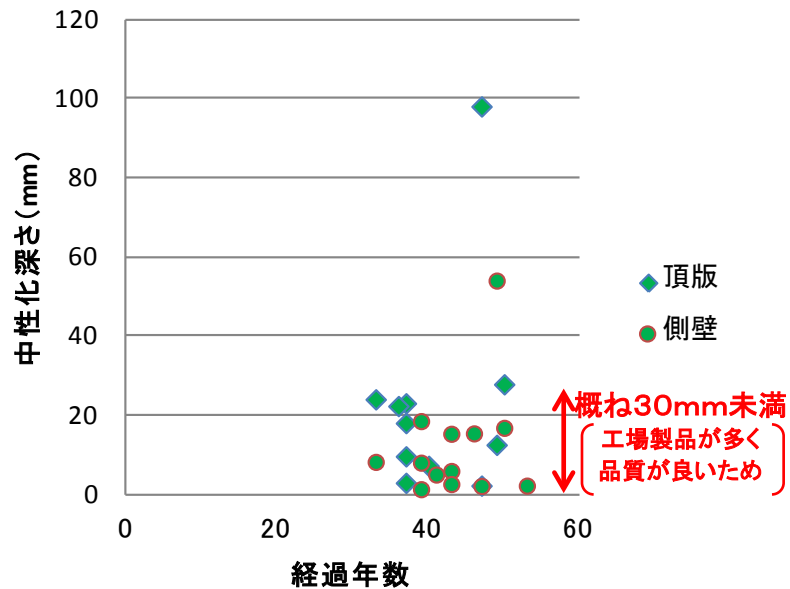


図 3-1-3 中性化深さ【ボックスカルバート】

③ PC構造

- ・ 図 3-1-4 のとおり、材料が緻密なため、中性化がほとんど進まず、数 mm 程度で、ほとんど（約 9 割）が 5mm 未満である。
- ・ 昭和 40 年代架設の PC 橋は、かぶり不足（10mm 未満）であることが散見されるが、中性化と水掛かりだけでは重大な事象に至った事例はない。

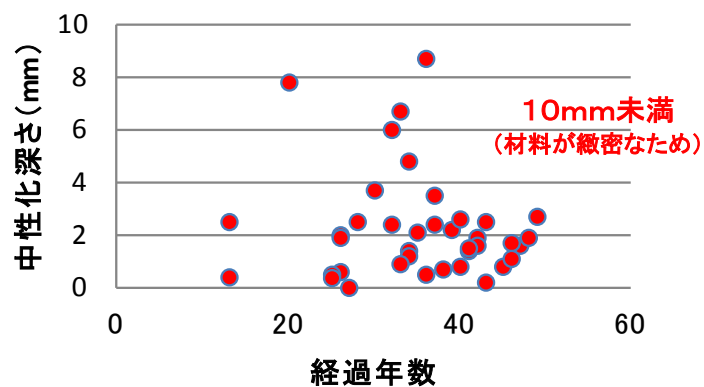


図 3-1-4 中性化深さ【PC構造】

④ 全構造

- ・ 以上及び図 3-1-5 より、中性化深さはコンクリートの品質や環境条件が複雑に影響し、個々の橋梁におかれた条件によってかなりの相違がある。

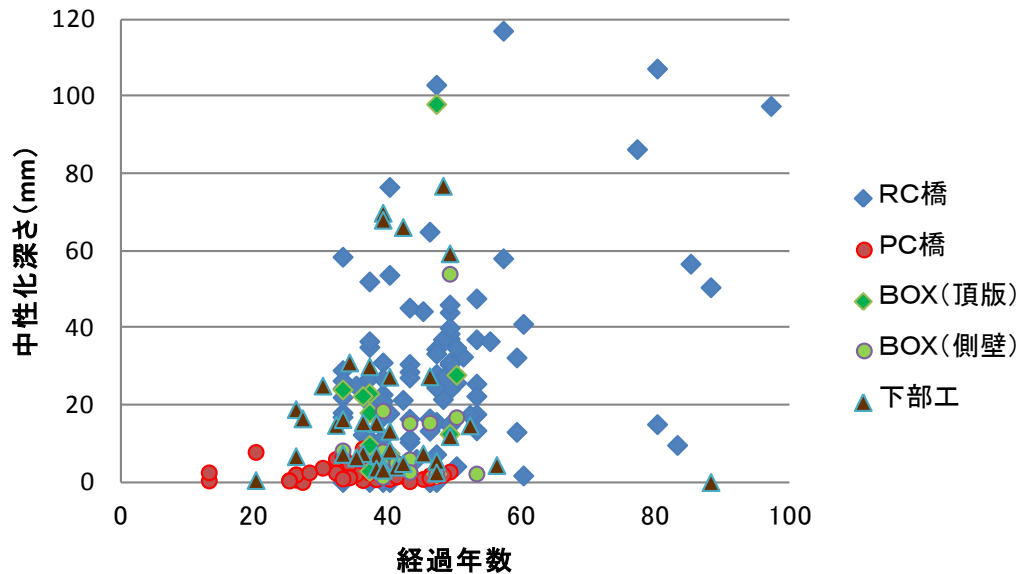


図 3-1-5 中性化深さ【全構造】

2) 中性化残り

中性化残りとは、鉄筋のかぶり厚さと中性化深さの差である。したがって、中性化残りが 0（ゼロ）の位置は鉄筋の表面まで中性化が進行していることを示しており、マイナスの値はそれを通り越している状態である。

鉄筋腐食の開始と中性化の関係は、中性化残りによって整理されており、塩化物を多く含まないコンクリートで約 10mm、塩化物を多く含むコンクリートで約 15mm とされている。ここで、これを腐食限界値とする。

鉄筋腐食度は、表 3-1-1 のとおり鉄筋の腐食状況に応じ①～④に分類される。

表 3-1-1 鉄筋腐食度

鉄筋の腐食状況	鉄筋腐食度	分類例
断面欠損が著しい腐食	①	
浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食	②	
ごく表面的な腐食	③	
腐食なし	④	

中性化残りと鉄筋腐食度の関係を図 3-1-6、8 に示す。

また、詳細調査時に中性化残りが既に腐食限界値以下となっていた橋梁（塩害複合除く）の鉄筋腐食度別割合を図 3-1-7 に示す。

① 中性化のみ（塩害なし）

- ・ 図 3-1-6 のとおり、劣化機構が中性化のみの場合、腐食限界値に近づくことにより鉄筋腐食度が④から③になる傾向となっている。
- ・ しかし、図 3-1-7 のとおり、その後中性化が進行しても、ほとんど（約9割）は腐食の進行がなく、ごく表面的な腐食にとどまっており、この状態ではかぶりが極端に薄い場合を除き、コンクリートの剥落には至らない。
- ・ ただし、ここに大量の水が供給される箇所では、鉄筋腐食が進行しかぶりコンクリートの剥離・剥落、鋼材の断面欠損等が発生する。鉄筋腐食度が②や①となっている事例は、このような箇所を調査結果として用いたためである。
- ・ 以上より、劣化機構が中性化のみで水掛かりがない部位は対策を講じる必要はない。

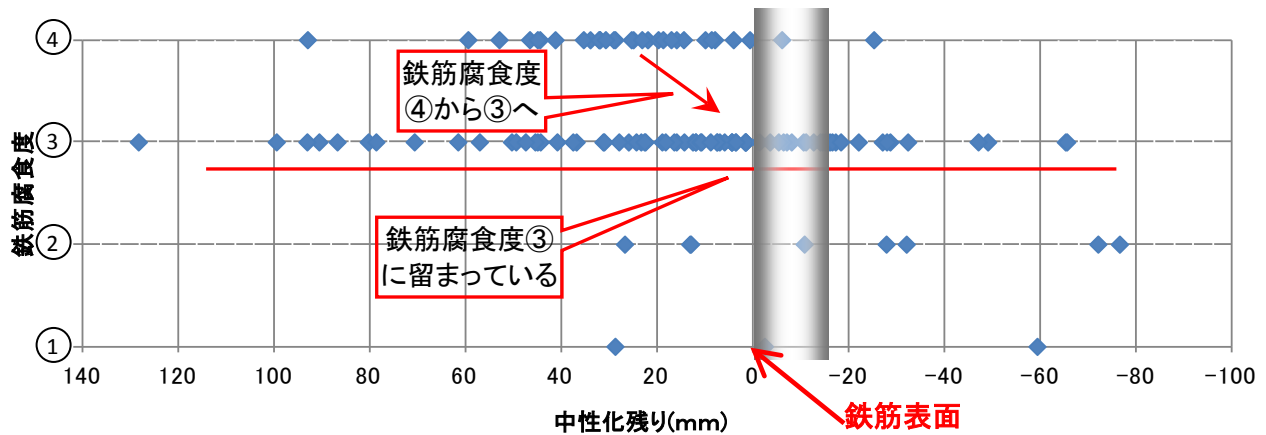


図 3-1-6 中性化残りと鉄筋腐食度の関係【中性化のみ（塩害なし）】

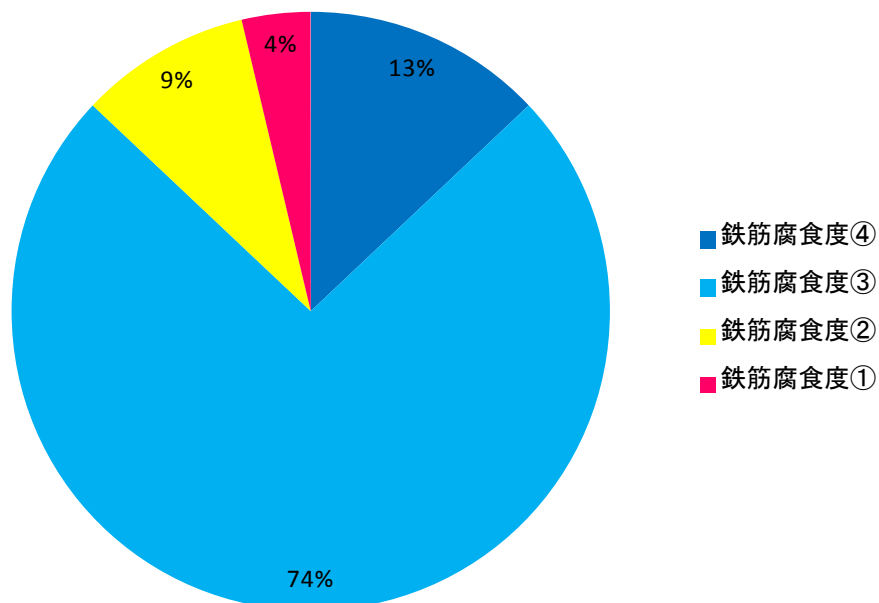


図 3-1-7 中性化橋梁の鉄筋腐食度割合【中性化のみ（塩害なし）】

② 中性化、塩害複合（塩害あり）

- ・ 図 3-1-8 のとおり、劣化機構が中性化と塩害の複合の場合、中性化残りとはさほど関係なく鉄筋腐食が進行し、塩害の影響を大きく受ける。
- ・ したがって、塩害と複合の場合は、塩害に対する対策を行わなければならない。

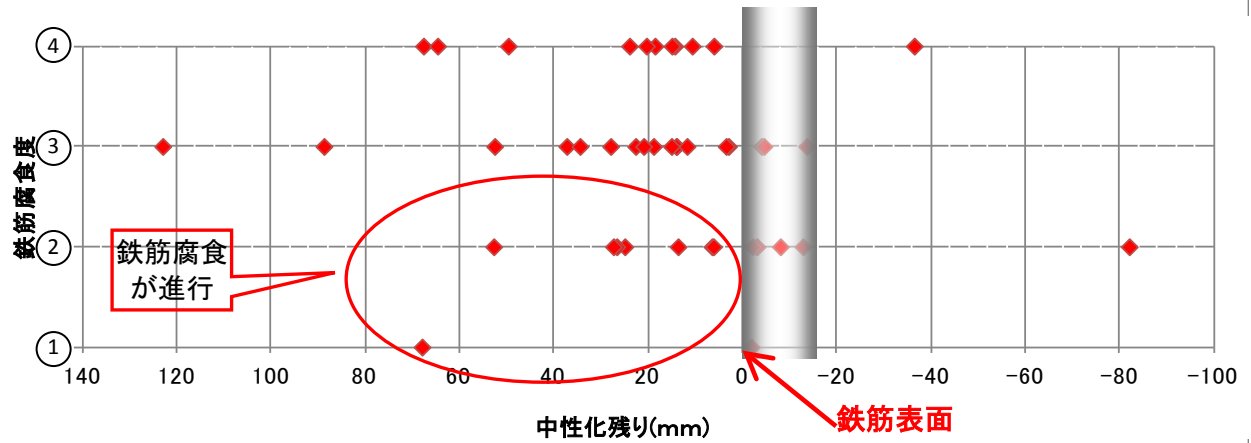


図 3-1-8 中性化残りと鉄筋腐食度の関係【中性化、塩害複合（塩害あり）】

3) 水掛かり要因

詳細調査時に中性化残りが既に腐食限界値以下となっていた橋梁（塩害複合除く）について、構造別の水掛かり件数を図 3-1-9 に示す。

- ・ 図 3-1-9 のとおり、母数が多く中性化が比較的進みやすいRC橋において、中性化に至った橋梁が多い。
- ・ 水掛かり件数は、写真 3-1-3 のような桁端部からが圧倒的に多い。
- ・ 以上より、RC橋の水掛かりに留意し、各水掛かりに応じた対策を行わなければならない。

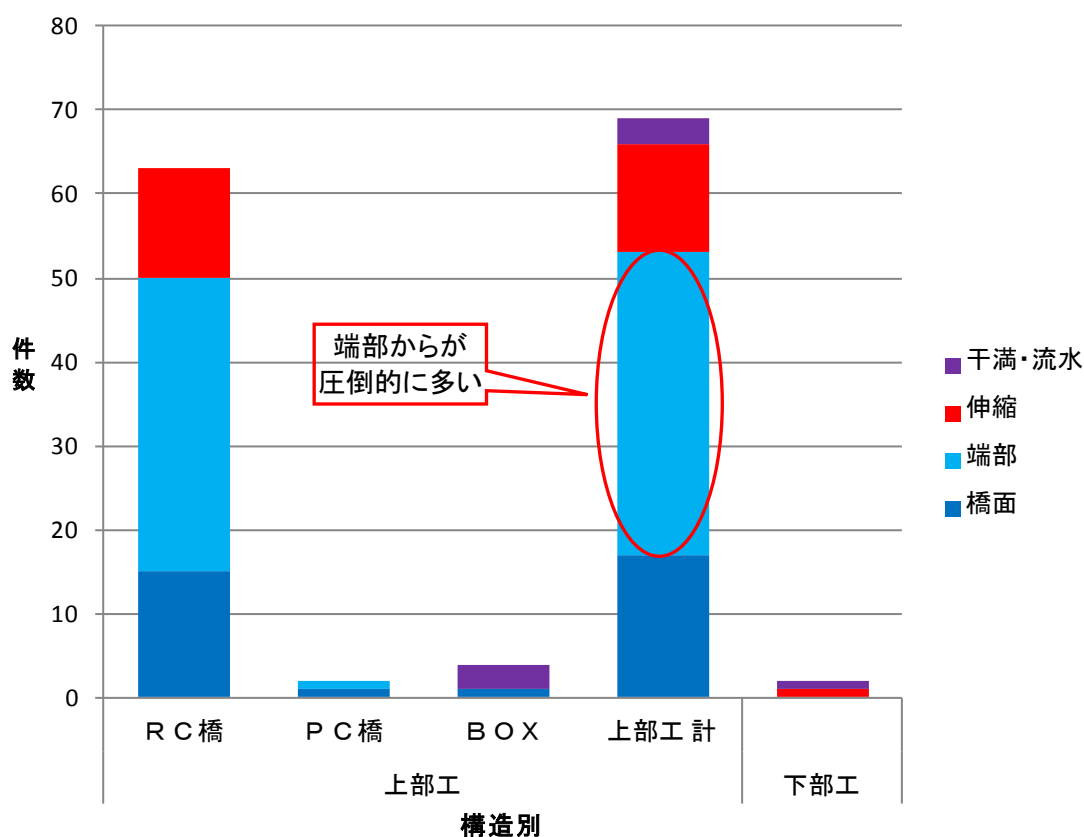


図 3-1-9 中性化橋梁の構造別水掛かり件数【中性化のみ（塩害なし）】



写真 3-1-3 端部からの水掛かり例

4) 架設年代

既に中性化に至った橋梁に加え、供用後 100 年以内に中性化残りが腐食限界値となる橋梁について、架設年代別構造数を図 3-1-10 に示す。

- ・ 昭和 40 年代に架設された橋梁が約 500 橋、昭和 50 年代が 1,000 橋以上あるにもかかわらず、図 3-1-10 のとおり中性化橋梁は昭和 40 年代の方が圧倒的に多い状況である。
- ・ 昭和 40 年代の橋梁で件数が多いのは、加水等により実際の水セメント比が高く、質の悪いコンクリートが多かったことが原因と推察される。

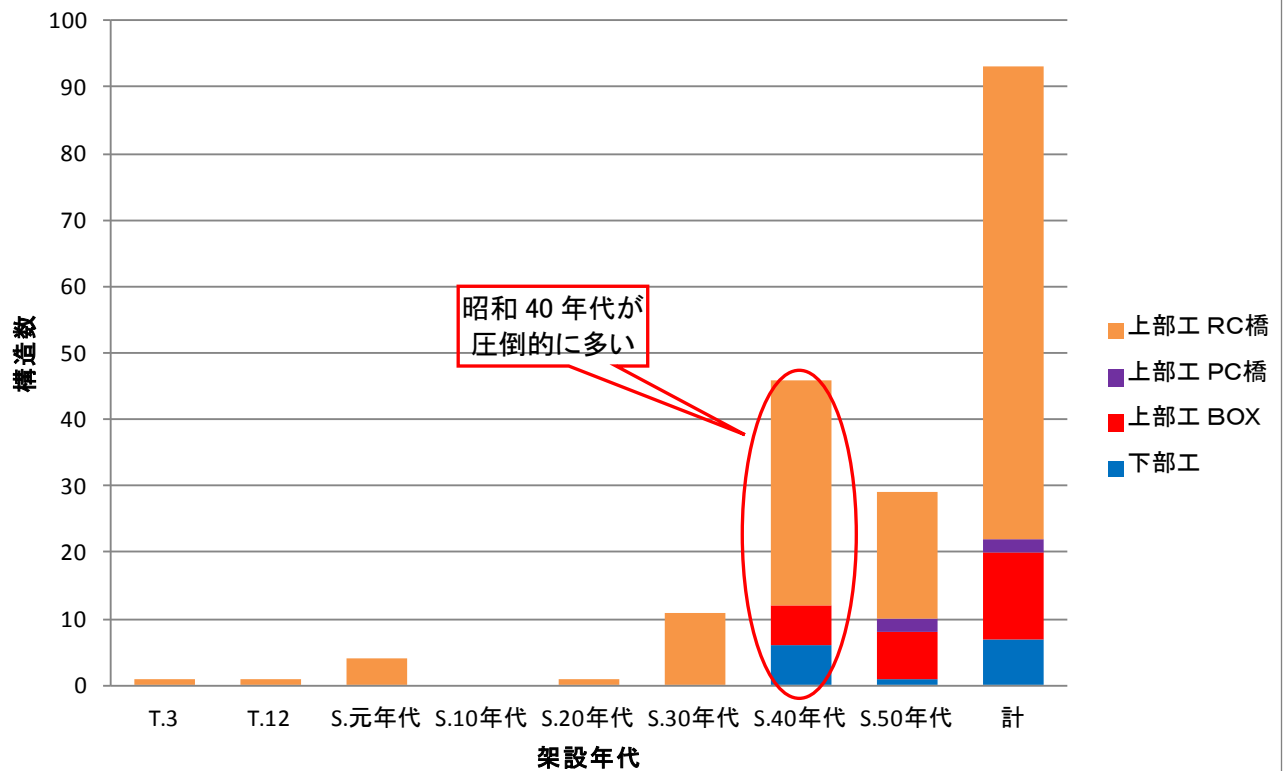


図 3-1-10 中性化橋梁の架設年代別構造数【供用後 100 年以内到達含む】

5) 市内分布

既に中性化に至った橋梁に加え、供用後100年以内に中性化残りが腐食限界値となる橋梁について、市内分布を図 3-1-11 に示す。

- ・ 市内一円に見られるが、かつて大量輸送の鉄軌道系がなく、また道路整備の遅れにより、交通渋滞が著しかった西南部地域（南区、城南区、早良区）に比較的多く、排気ガスの影響が多かったことも一つの原因と思われる。
- ・ 早良区と西区は、両区とも橋数は約500橋であるにもかかわらず、早良区の方が圧倒的に多い。このほとんどが、国道263号と県道 入部中原停車場線に集中している。

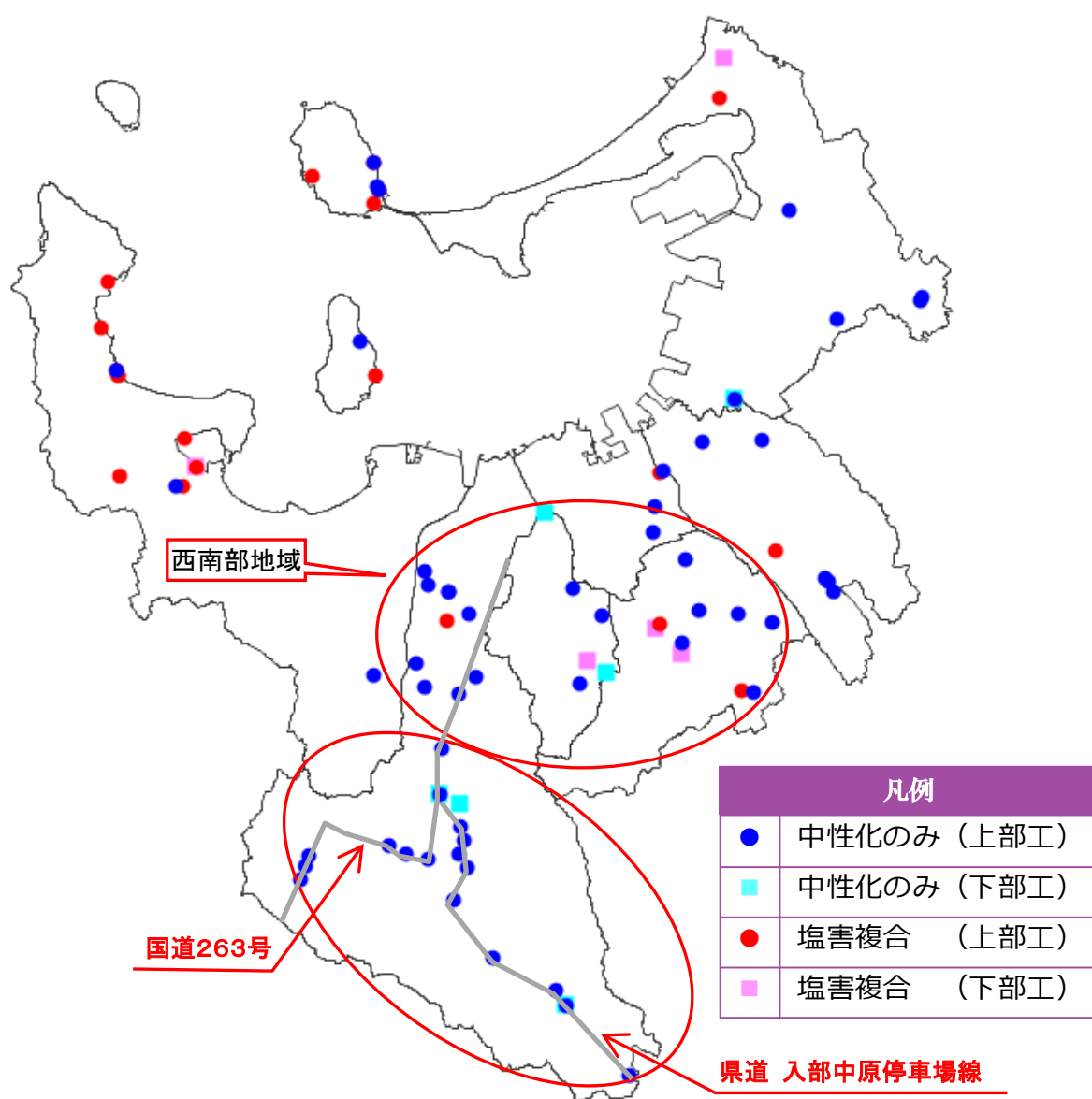


図 3-1-11 中性化橋梁の市内分布図【供用後100年以内到達含む】

(2) 補修方法等

1) 対策の必要性

① 中性化のみ

- ・ 中性化が懸念される橋梁には、中性化の進行を抑制するけい酸塩系表面含浸工があるが、中性化が進行しても大量の水が供給されなければ鉄筋腐食がごく表面的なものにとどまることから、劣化機構が中性化のみで設計基準通りのかぶりがある場合は、中性化への対策を行わない。中性化深さが既に鉄筋位置を通り越していても同様である
- ・ ただし、水掛かりがある箇所へは、水掛かり対策を行う。

② 中性化、塩害複合

- ・ 中性化と塩害の複合劣化の場合は、基本的に後述の塩害の対策を行う。
- ・ ただし、内在塩分が多く、今後中性化の進行により図 3-1-12 のように鉄筋位置に塩分が濃縮されることが懸念される場合は、アルカリ付与剤とけい酸塩系表面含浸工を行う。そのような場合でも、ボックスカルバート等どうしても水掛かりを止められない場合は、水掛かり対策を優先させる。

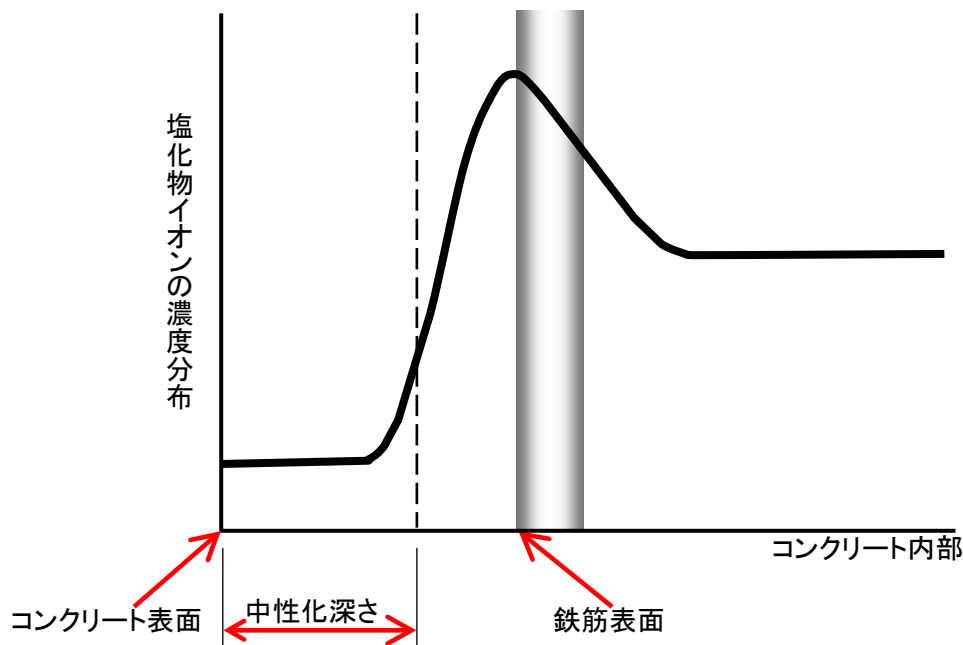


図 3-1-12 塩化物イオンの濃縮例

2) 対策内容

どの劣化機構でも水の侵入を止めることが重要で、水がどこから供給されるか、どうすれば水の供給を断つことができるか検討し、対策を講じる必要がある。

以下に、各水掛かり要因に対する補修方法や留意点をまとめて記載する。これは、他の劣化機構でも同様である。

① 橋面

- ・ ほとんどの既設橋には橋面防水工が施工されていないことから、橋面からの漏水が劣化機構になっている場合は、写真 3-1-4 のように橋面防水工を行うことが効果的である。
- ・ 長大橋では日々施工となるのでやむを得ないが、小規模な橋梁ではできるだけ通行止めにて施工し、橋面防水工の後の舗装工に継ぎ目がないようにする必要がある。
- ・ 橋面からの漏水があまり見受けられず、劣化機構になっていない場合でも、予防保全的に橋面防水工を行う考え方もあるが、長年そのまま問題なく、水が浸み込みにくい環境であることを勘案し、橋面防水を行わないと判断することもある。



写真 3-1-4 橋面防水工（シート系）

- ・ 図 3-1-13 のように、マウンドアップ型の橋梁は、歩道幅員や前後の取り付け高さを勘案し、橋面防水工に先立ち調整コンクリートまたは砕石を除去し歩道を下げるようにしている。これにより、バリアフリー化となり、耐震上の荷重軽減にもつながる。長大橋では耐震補強が必要なくなることもあり、かなりの費用削減が見込まれる。
- ・ 施工においては、端部からの水の侵入を防止するため、地覆、伸縮装置、歩車道境界等で確実に立ち上げる必要がある。

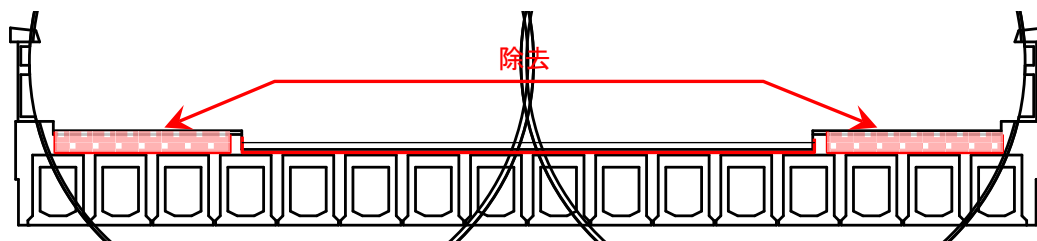
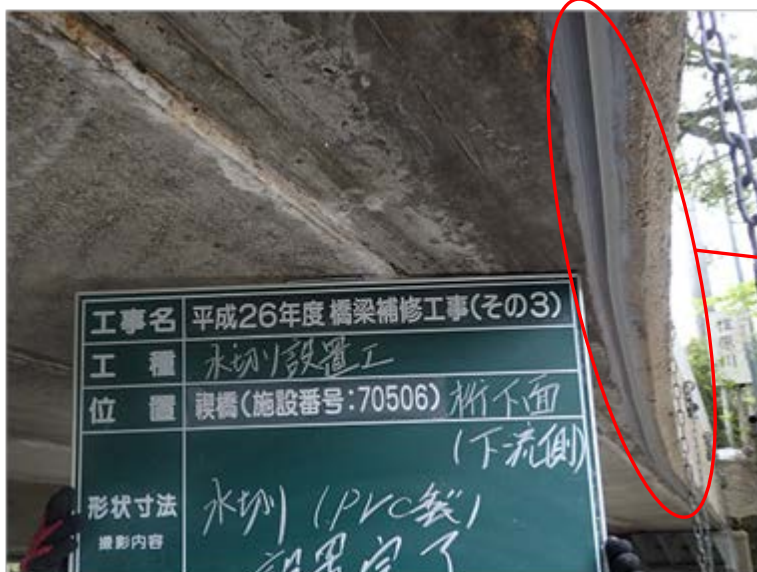


図 3-1-13 マウンドアップ型橋梁【ホロー形式（断面図）】

② 端部

- ・ 端部からの桁下への水の回り込み防止には、写真 3-1-5 のような水切り設置工が大変有効である。



部材詳細
(上側が接着面)

写真 3-1-5 水切り設置工（軟質PVC）

③ 伸縮

- ・ 伸縮装置からの漏水に対しては、写真 3-1-6 のような伸縮装置取替え工が第一に考えられる。
- ・ しかし、伸縮装置を取替えても水を完全に止めることは難しく、既設伸縮装置取壊し時に桁本体を痛めるため、漏水量や伸縮装置の破損状況を勘案し、取り換えの必要性を決定する。
- ・ 漏水により劣化が見られるが、伸縮装置取替え工等の直接的な対策を行わない方が良くと判断した場合は、漏水箇所（下部工本体、上部工の下部工付近等）へのシラン系表面含浸工、樋や水切り設置工等によって、速やかな導水が図れるような対策を行い、経過観察を行うこととしている。伸縮装置取替えを行っても漏水が止まらない場合も、同様の対策をとらなければならない。



写真 3-1-6 伸縮装置取替え工（突合せジョイント）

④ 干満

- ・ 直接水位が上下する干満部のうち、小潮時の干満部付近以下では、劣化の進行が見られないのが特徴である。これは、一日 2 回水につかっており、酸素不足により鉄筋腐食が進まないためと考えられる。
- ・ しかし、図 3-1-14 及び写真 3-1-7～11 のように、小潮時満潮部付近の直上では、劣化が大きく進行する傾向にある。このような状況になった場合は、マクロセル腐食防止の観点から、亜硝酸リチウムを混入させたポリマーセメントモルタルで全断面修復工を行わなければならないこともある。

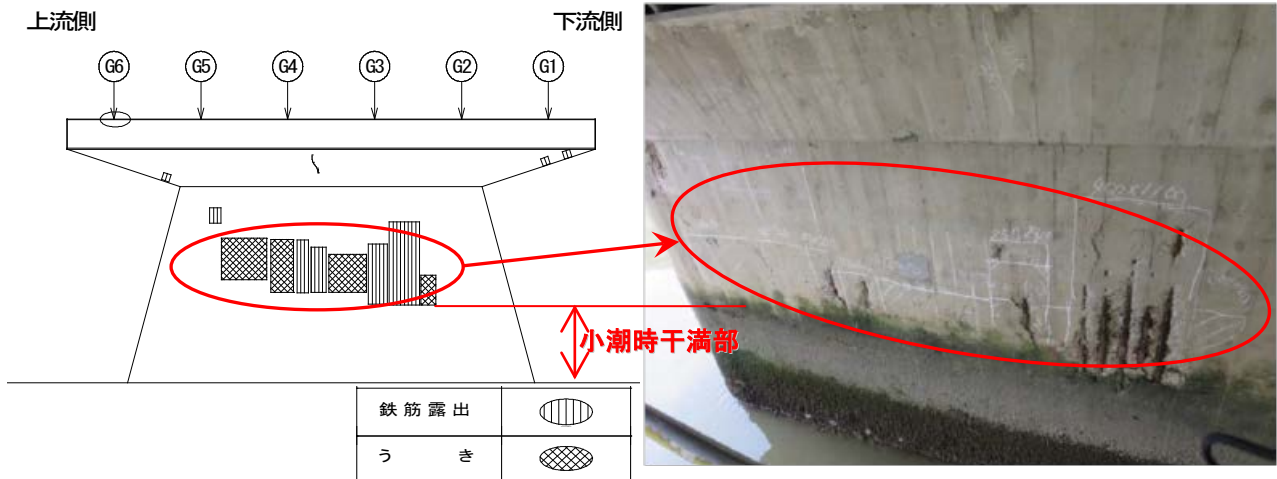


図 3-1-14 干満の影響を受けた劣化事例
＜その 1＞【単柱橋脚(正面図)】

写真 3-1-7 干満の影響を受けた劣化事例
＜その 1＞【単柱橋脚(うき、鉄筋露出)】



写真 3-1-8 干満の影響を受けた劣化事例＜その 2＞【壁式橋脚(うき)】



写真 3-1-9 干満の影響を受けた劣化事例<その3>【ラーメン橋脚(うき)】チョーク斜線部

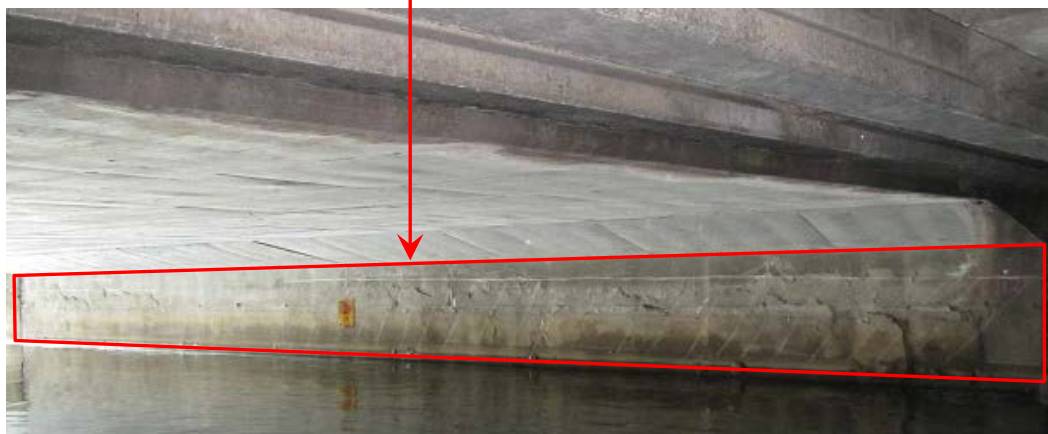
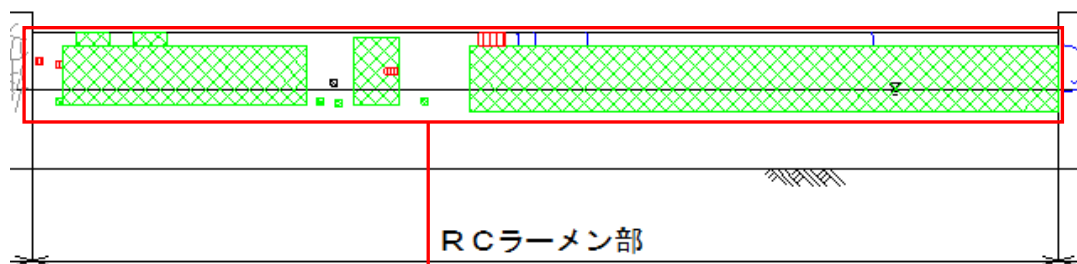


写真 3-1-10 干満の影響を受けた劣化事例<その4>【ラーメン橋台橋脚(うき)】



写真 3-1-11 干満の影響を受けた劣化事例<その5>【BOX側壁(断面修復後)】

⑤ 流水

- ・ 中性化が進行したボックスカルバート等で流水の影響を受ける場合は、劣化が顕在化していなくてもシラン系表面含浸工を行う。

⑥ 桁下面

- ・ 橋梁補修を開始した当初（平成 18 年頃）は、写真 3-1-12 のように桁下から桁側面にかけて樹脂系の材料で表面を被覆し、劣化因子の侵入を防止する工法（表面被覆工）が主流だった。



写真 3-1-12 表面被覆工の例（RCT桁橋）

- ・ 表面被覆工はコンクリート面が見えなくなり、後年の経過観察ができないことから、近年では塗るだけでコンクリート表面を改質し劣化因子の侵入を抑制する、写真 3-1-13 のようなシラン系表面含浸工等を桁下に採用していた。



写真 3-1-13 表面含浸工の例（ホロー形式）

- ・ 現在では、写真 3-1-14 及び 3-1-15 のように、桁下面には直接水が掛からず、大気中の水分では劣化の要因にならないことから、シラン系表面含浸工等も行っていない。
- ・ しかし、水面が近いこと等により、頻繁に結露が付着するような環境であれば、シラン系表面含浸工等を検討する。



写真 3-1-14 桁下無対策の例（P Cポステン中空床版橋）



写真 3-1-15 桁下無対策の例（P CポステンT桁橋）

3.2. 塩害

(1) 劣化の特徴

1) 塩化物イオン濃度

鉄筋表面におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度が、腐食発生限界塩化物イオン濃度をこえると鉄筋の腐食が開始する。腐食発生限界塩化物イオン濃度は、コンクリートの配合、環境条件等によって異なるが、概ね $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ と言われている。

鉄筋表面における塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 以上の橋梁について、鉄筋腐食度との関係を構造別に図 3-2-1～4 に示す。

また、詳細調査時に鉄筋表面における塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 以上となっていた橋梁の鉄筋腐食度別割合を図 3-2-5 に示す。

① 上部工

- ・ 図 3-2-1 のとおり、ほとんどの橋梁が塩化物イオン濃度 $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ 以上で鉄筋腐食が開始し、被りが薄いことが多いため鉄筋腐食が比較的進んでいる。
- ・ 直接海水にさらされる場合は、塩化物イオン濃度が極端に高い。

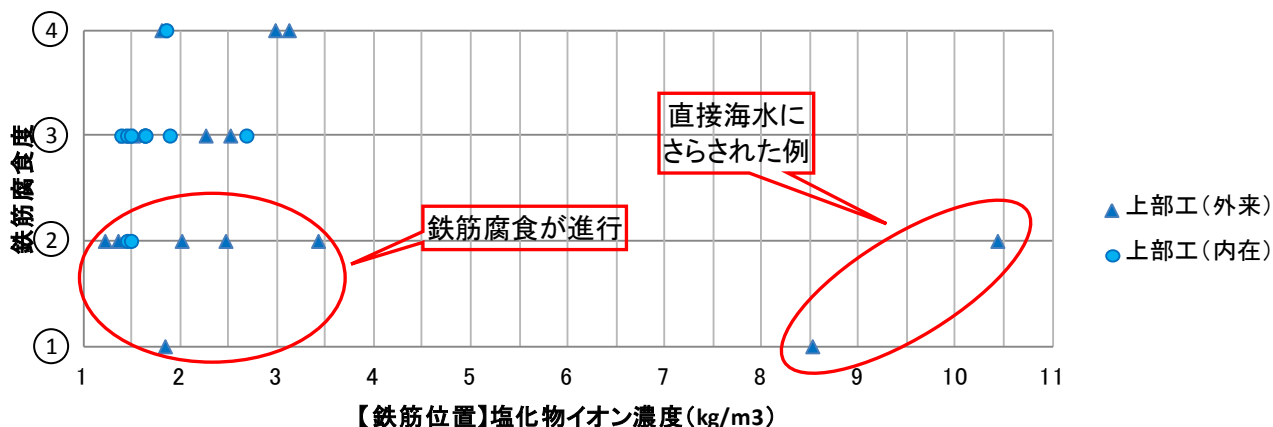


図 3-2-1 塩化物イオン濃度と鉄筋腐食度の関係【上部工】

② 下部工

- ・ 図 3-2-2 のとおり、直接海水にさらされているが、被りが厚いため腐食発生限界塩化物イオン濃度に達している事例自体が少なく、鉄筋腐食も進んでいない。
- ・ しかし、表面の塩化物イオン濃度が非常に高いことから、今後の塩分浸透を抑制する対策を早めに講じる必要がある。
- ・ かぶりが厚いため、劣化が顕在化した時点で既に鉄筋腐食が広範囲にわたることが多く、特に小潮時満潮部の直上に留意する必要がある。

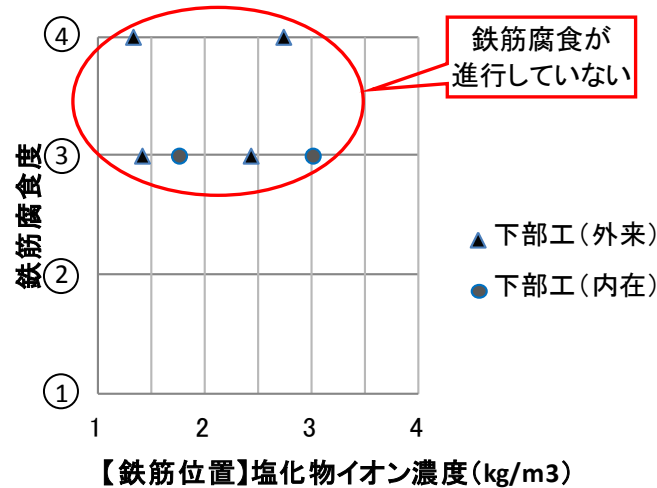


図 3-2-2 塩化物イオン濃度と鉄筋腐食度の関係【下部工】

③ ボックスカルバート

- ・ 図 3-2-3 のとおり、比較的鉄筋腐食が進みにくいが、劣化が顕在化した時には広範囲に及んでいることが多い。
- ・ 下部工と同様に小潮時満潮部の直上に留意する必要がある。
- ・ 内在は全てプレキャストボックスカルバートである。

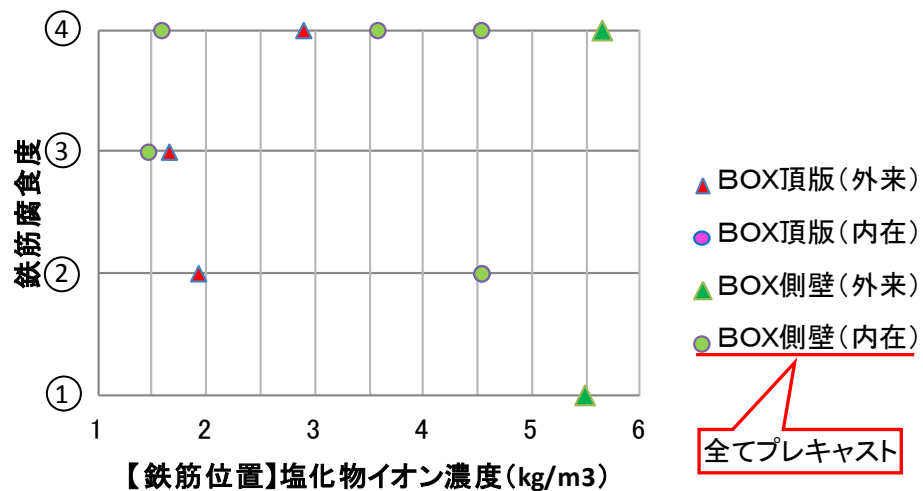


図 3-2-3 塩化物イオン濃度と鉄筋腐食度の関係【ボックスカルバート】

④ 全構造

- ・ 図 3-2-4 および図 3-2-5 のとおり、腐食発生限界塩化物イオン濃度を超えても鉄筋が腐食しない事例もあるが、 1.2kg/m^3 以上で鉄筋腐食が進み、鉄筋腐食度②及び①が3割以上存在する
- ・ 以上より、腐食発生限界塩化物イオン濃度に至るか、また鉄筋腐食が開始するかは、コンクリートの配合、環境条件が複雑に作用し、個々の橋梁によってかなりの相違がある。
- ・ 劣化が顕在化した時には、鉄筋腐食が広範囲になっていることが多いことから、早めの対策が必要である。

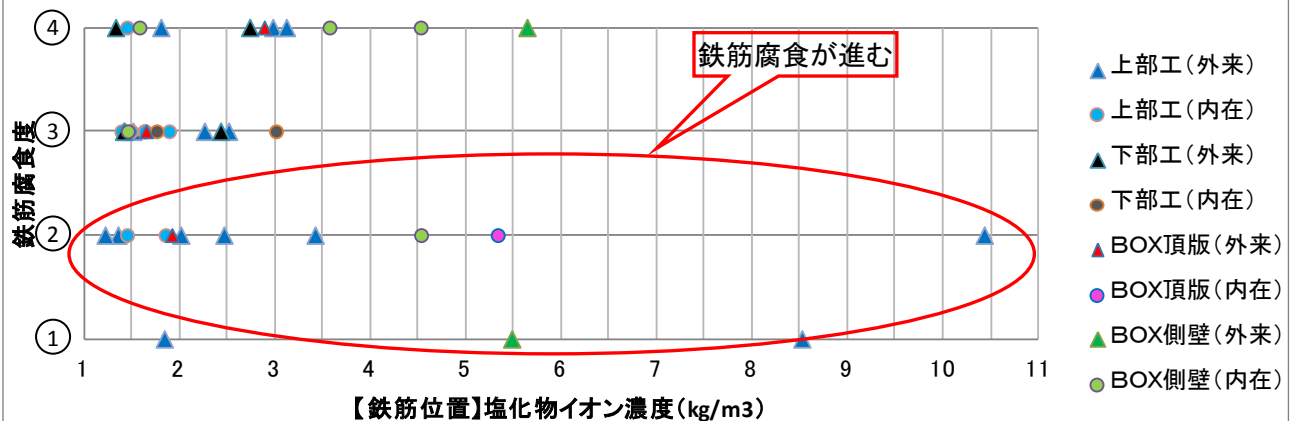


図 3-2-4 塩化物イオン濃度と鉄筋腐食度の関係【全構造】

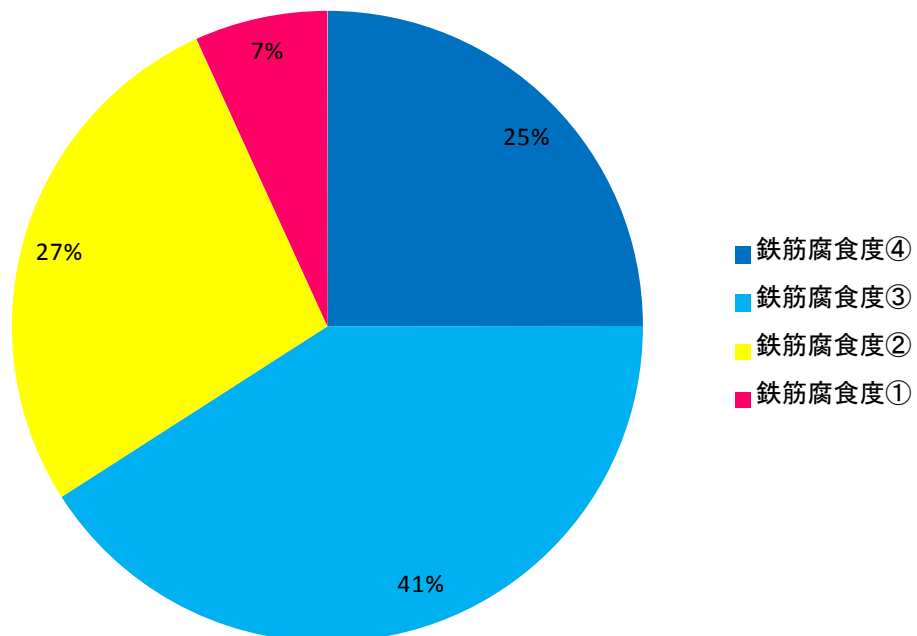


図 3-2-5 塩害橋梁鉄筋腐食度別割合

2) 塩分供給要因

塩分供給要因と塩化物イオン濃度及び鉄筋腐食度との関係を図 3-2-6～7 に示す。

① 内的要因（内在による塩害）

- ・ 図 3-2-6 のとおり、外来ほどではないが内在によって塩害環境にある橋梁はある程度あり、塩化物イオン濃度が高い橋梁も多い。
- ・ しかし、図 3-2-7 のとおり、鉄筋腐食度が③まででとどまっている場合が多く、水掛かりがなければ①に至った事例はない。
- ・ 以上より、内在では水掛かりのある構造（ボックスカルバート等）に留意しなければならない。

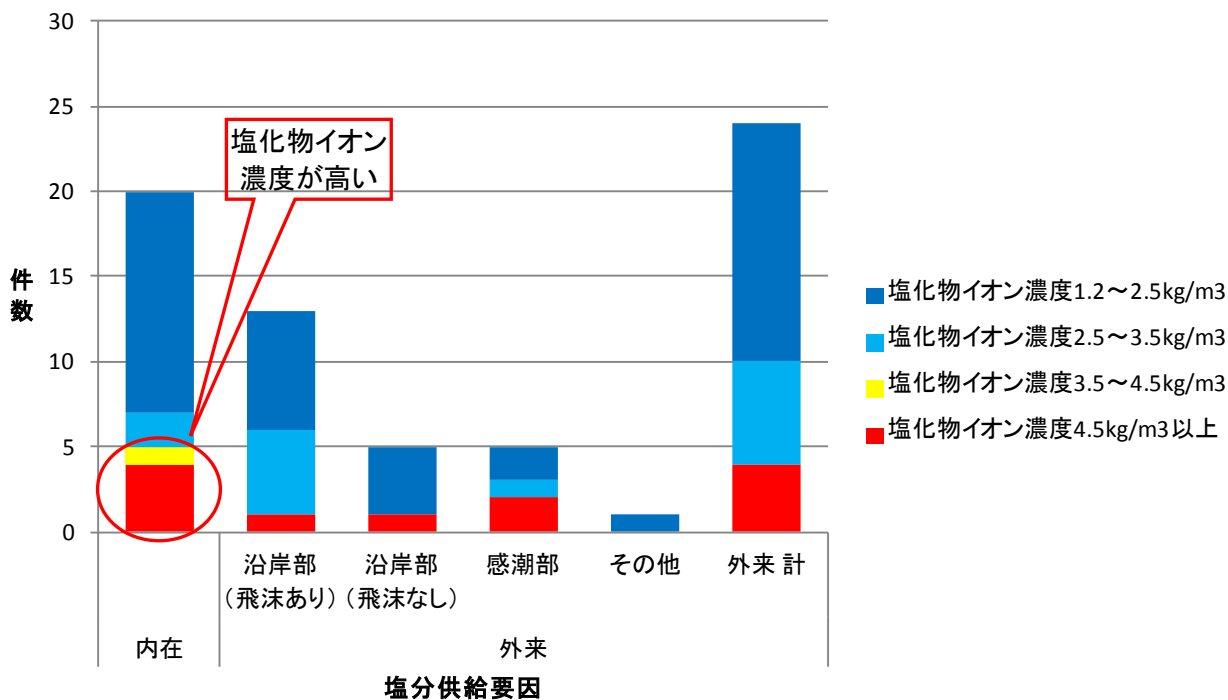


図 3-2-6 塩分供給要因と塩化物イオン濃度の関係

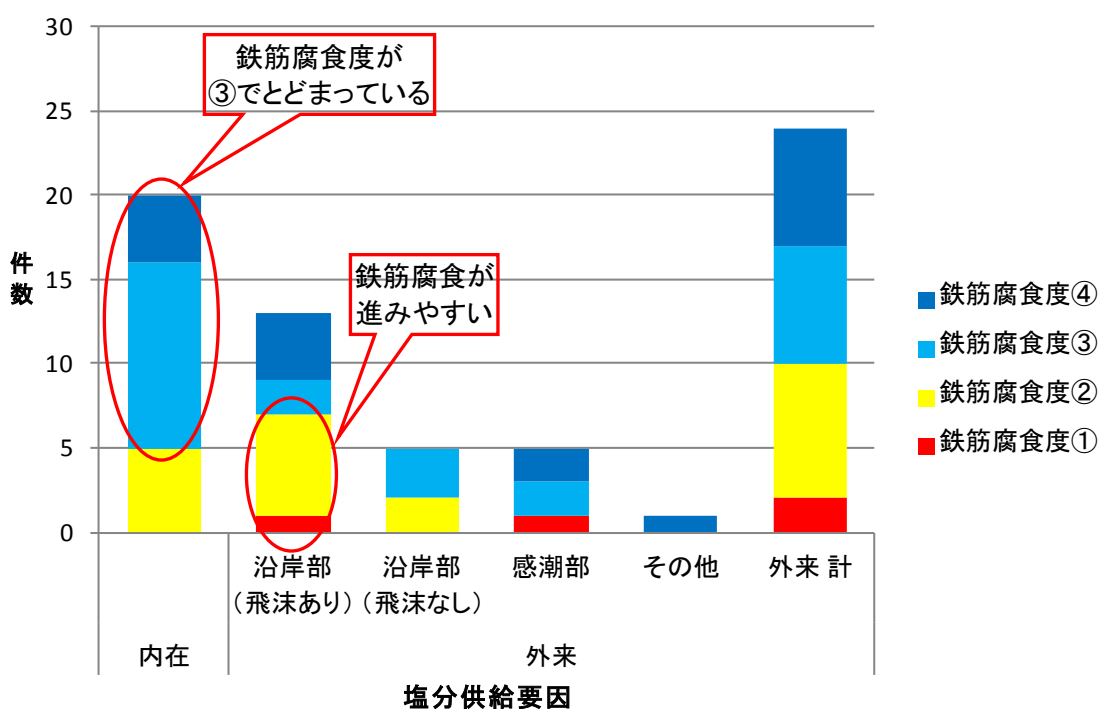
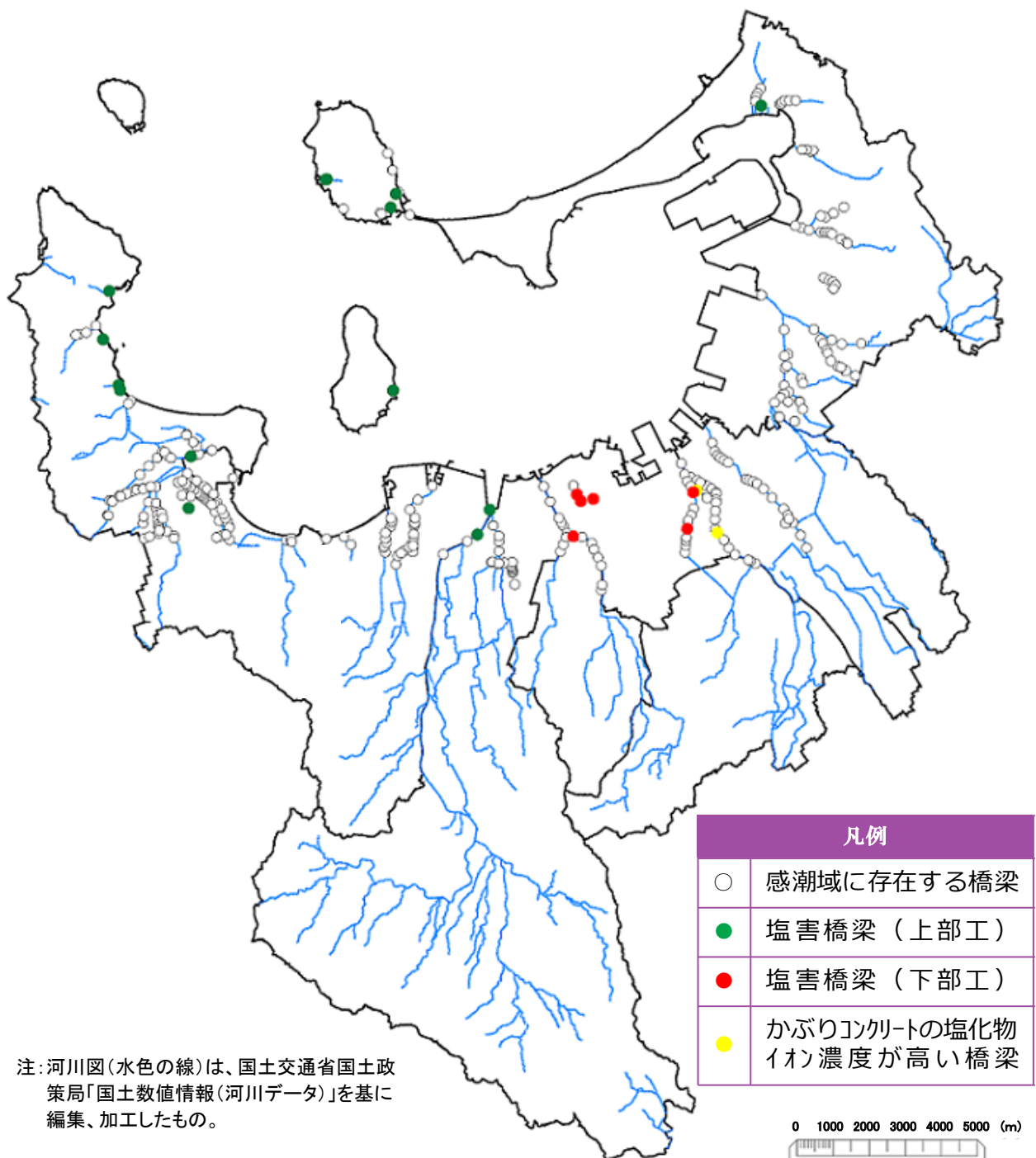


図 3-2-7 塩分供給要因と鉄筋腐食度の関係

② 外的要因（外在による塩害）

- ・ 図 3-2-6 のとおり、沿岸部の橋梁が塩害環境にあるのは当然であるが、海岸線から離れた感潮域でも塩化物イオン濃度が高く、鉄筋腐食度が①になっている事例もある。福岡市の中心部は高低差が少なく、埋め立て地も広いことから、図 3-2-8 のように海岸線から 4km 以上離れても感潮域が存在することがあり、2km 以内では劣化の要因になっている。
- ・ 図 3-2-7 のとおり、沿岸部で直接波や飛沫を受ける場合に、鉄筋腐食が進みやすく重大な事象となることもある。
- ・ どちらも乾湿の繰り返しにより、塩化物イオンが入りやすいためである。
- ・ 以上より、外来では感潮域と直接飛沫を受ける上部工に留意しなければならない



注：河川図（水色の線）は、国土交通省国土政策局「国土数値情報（河川データ）」を基に編集、加工したもの。

図 3-2-8 感潮域橋梁の市内分布図

3) 架設年代

鉄筋表面における塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 以上の橋梁について、架設年代別構造数を図 3-2-9 に示す。

- ・ 昭和 40 年代に架設された橋梁が約 500 橋、昭和 50 年代が 1,000 橋以上あるにもかかわらず、図 3-2-9 のとおり塩害橋梁は昭和 40 年代の方が多少多い状況である。
- ・ 昭和 40 年代は内在塩分の割合が多く、昭和 43 年の砂利採取法施行により十分な除塩を行っていない海砂を多く使用したためと思われる。
- ・ 以上より、全国的な傾向と同様に、昭和 40 年代の橋梁は塩分濃度が高く、質の悪いコンクリートが多いことがうかがえる。

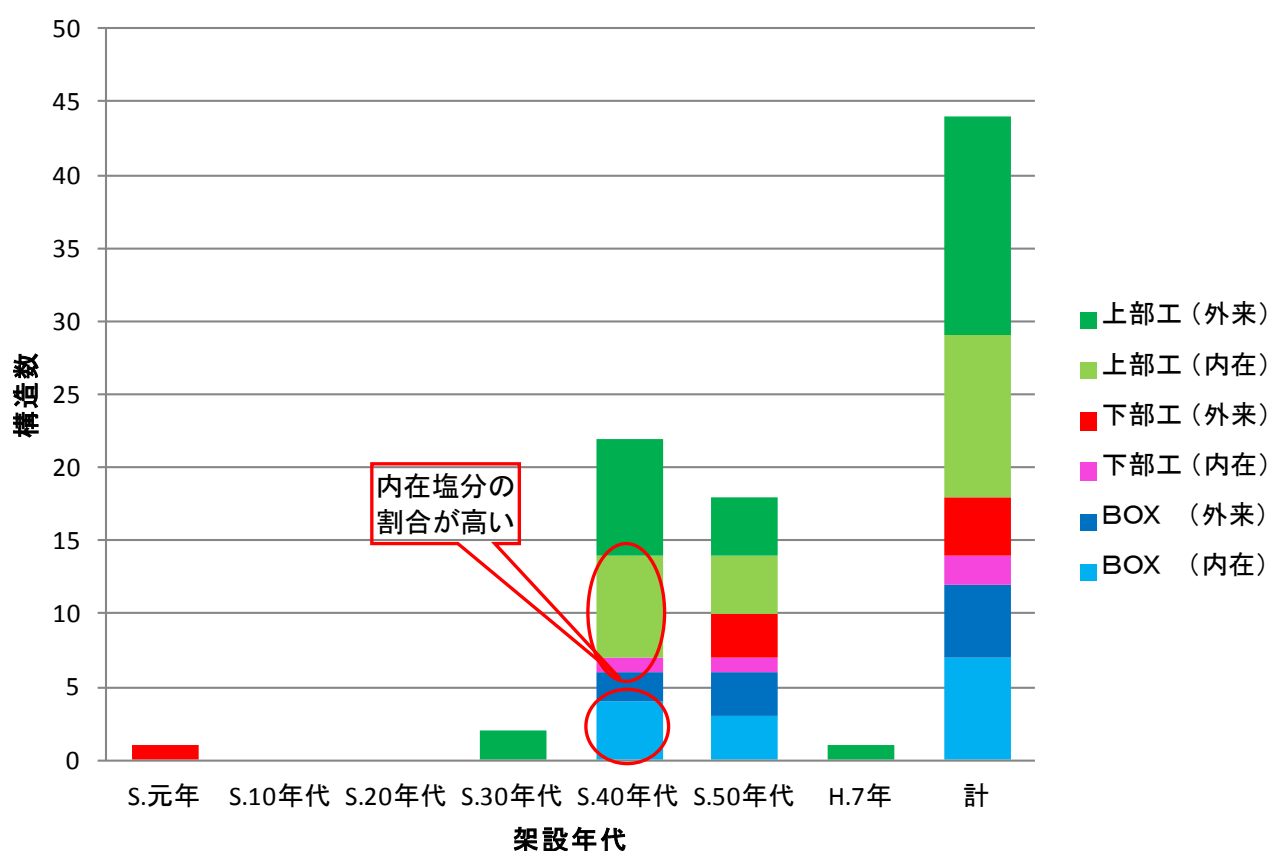


図 3-2-9 塩害橋梁の架設年代別構造数

4) 劣化の進行例

- 写真 3-2-1 の橋梁は平成 7 年竣工で、平成 20 年には主桁下面に塩害による劣化が見られ、平成 24 年には側面にもうきが進み、平成 27 年にはさらに上部へと進行している。
- 平成 20 年で劣化が顕在化していたのはこの 1 主桁のみであったが、平成 27 年には全 12 主桁のほとんどに劣化が見られており、平成 20 年時点で補修対象とし、優先的に対策を行わなければならなかった。



平成 20 年定期点検（うき、判定 b）



平成 24 年定期点検（うき、判定 c）



平成 27 年詳細調査（鉄筋露出、判定 d）

写真 3-2-1 塩害劣化の進行例【P CポステンT桁橋：主桁（同一箇所）】

5) 市内分布

鉄筋表面における塩化物イオン濃度が $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 以上の橋梁の市内分布を図 3-2-10 に示す。

- ・ 福岡市において沿岸部のほとんどは、西区今津から東区大字西戸崎（海の中道）に囲まれた博多湾に面しており、内海であることから比較的塩害が少ない地域である。
- ・ 博多港湾域より外海の玄界灘では、外来による塩害が比較的多い。
- ・ 博多湾の中でも、沿岸部で直接飛沫を受ける上部工や感潮域の下部工において、塩害が散見されている。
- ・ PC 橋は緻密なため、福岡市の環境では塩害に至ることはほとんどないが、直接海水にさらされる場合に塩害に至ることがある。
- ・ 福岡市でも山間部や吹き抜ける風が強い箇所では、凍結防止剤等を散布しているが、頻度が比較的に少ないため塩害に至っていない。
- ・ 内在は市内一円に見られる。
- ・ 以上より、外来は沿岸部と感潮部、内在は市内一円に分布していることに留意する必要がある。

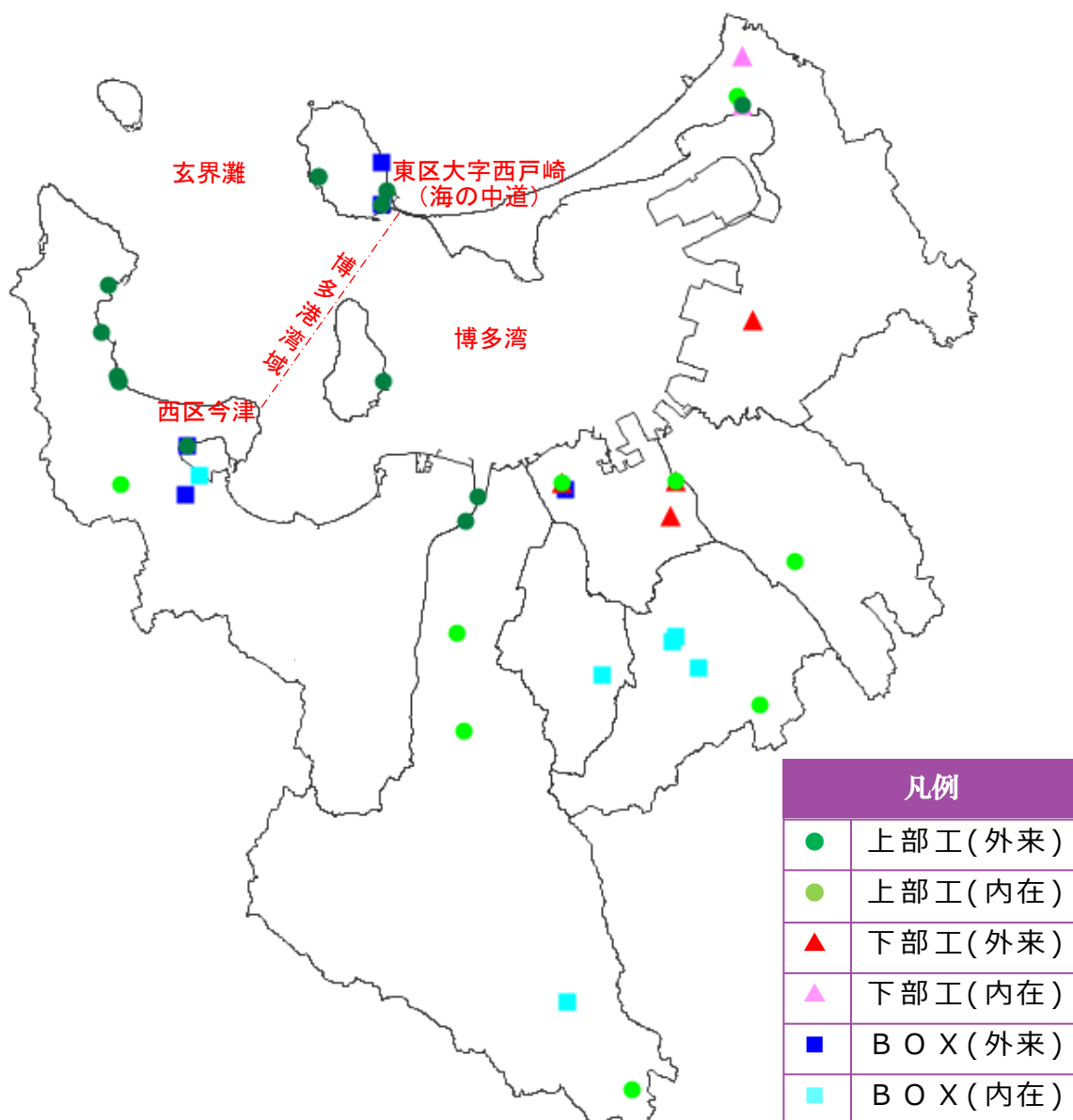


図 3-2-10 塩害橋梁の市内分布図

(2) 補修方法等

1) 対策時期等

① 早期対策

- ・ 塩害は劣化が顕在化した時点で、既に広範囲に劣化が進行しており、その後1～2年で深刻な状況に陥ることがある。定期点検等で塩害と判断された橋梁は、最優先で対策を講じなければならない。
- ・ 通常、対策の2年前に詳細調査を行っているが、直接飛沫があると2年間で劣化が急速に進み、補修工事に着手した時点では架け替えの方が妥当と思われるような事例もある。
- ・ 沿岸部や感潮域にある重要な路線の橋梁（特にPC橋）は、定期点検結果を入念に確認し、少しでも塩害による劣化が見られた場合は、直ちに詳細調査を行い対策を検討しなければならない。時期を逃せば高額な電気防食工を行い、工法によっては供用期間を通じて通電処理をする必要がある。さらに定期的に機器及び電極を更新しなければならない、ライフサイクルコストも非常に高額となる。

② 再劣化抑制

- ・ 断面修復工による補修で、既設コンクリートに残存する塩分により、図 3-2-11 のように補修しなかった部分の鉄筋がマクロセル腐食を起こすことがある。
- ・ マクロセル腐食は通常の腐食（ミクロセル腐食）と比べて、腐食速度が極めて大きく、激しい腐食が生じるのが特徴である。これは残存塩分量が多いほど著しい。
- ・ したがって、補修後の再劣化リスクを小さくする対策が必要である。

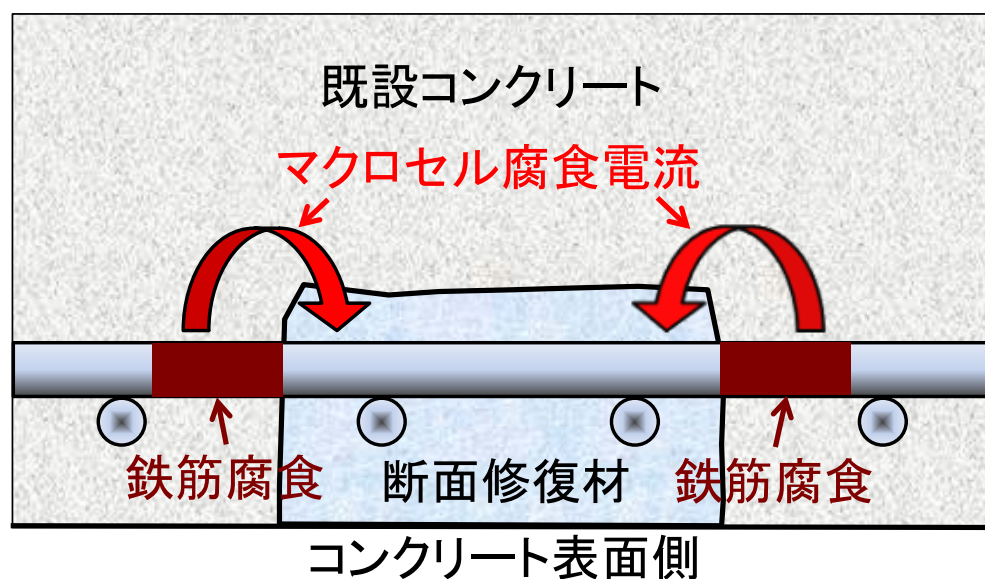


図 3-2-11 マクロセル腐食による再劣化（概念図）

2) 対策内容

① 断面修復工

塩害の橋梁は、断面修復後の再劣化が多いのが特徴である。再劣化防止等のため断面修復工に際しては、以下のような対策をとっている。

I) 亜硝酸リチウム

- ・ 亜硝酸リチウムは亜硝酸イオンにより鉄筋の不動態皮膜を再生させる効果があり、断面修復材に亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルを使用している。亜硝酸リチウム入りの材料を使用するのは、鉄筋の錆を完全に落とせない、防錆剤をしっかり塗布できるほど鉄筋の裏側まではつれないことがある等のためである。
- ・ 塩化物イオンの侵入抑制の観点からも亜硝酸リチウムを使用している。亜硝酸リチウムの含有量は最大で 55kg/m^3 (40%水溶液) まで可能である。通常、亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル比 ($\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比) が 1.0 となる量の亜硝酸リチウムを含有させる。塩化物イオン濃度が 3.5kg/m^3 の場合、計算上亜硝酸リチウムの量は 13.07kg/m^3 (40%水溶液) という結果となる。

II) プライマー、修復厚等

- ・ 既設コンクリートと断面修復材の付着が悪く、鉄筋腐食とは関係なく補修後に浮いている事例がある。コンクリートをはつった後、プライマー塗布を確実にしているか確認する必要がある。
- ・ 一層当たりの修復厚が所定の厚み以内で行っているかも同様である。
- ・ 鉄筋が細っている場合は、定着長を確保するため健全なところまではつって、添え筋をする。

III) 全断面修復工

- ・ 塩化物イオン濃度が高い範囲が広範囲であれば劣化因子の除去、うき、鉄筋露出の面積が大きい場合はマクロセル腐食防止の観点から、写真 3-2-2 及び 3-2-3 のような全断面修復工を行う。
- ・ この場合、塩分吸着型の断面修復材を用いることもある。
- ・ 施工の際は、通行止め、片側交互通行等施工計画に留意すること。



写真 3-2-2 全断面修復工（はつり完了）



写真 3-2-3 全断面修復工（乾式吹付け状況）

IV) PC橋

- ・ PC橋では断面修復工の範囲、厚さが限られることから、早期発見、早期対策が重要である。
- ・ もし広範囲に断面修復工を行うような事態になった場合は、構造計算を行わなければならないこともある。支間中央部では、広範囲な断面修復は難しいことが多い。
- ・ PC橋での広範囲な断面修復は精度を要し、通常のはつり作業では 2~3cm 以上の誤差があり、ブラストでも 1cm 程度の誤差があることから、数 mm 以内の精度があるウォータージェットを用いることもある。

② 表面含浸工

- ・ 劣化が顕在化しておらず、腐食発生限界塩化物イオン濃度に達していなくても、将来の塩分浸透予測と今後の供用期間の関係から、予防保全としてシラン系表面含浸工等を行う。

③ 電気化学的補修工法

I) 電気防食工（外部電源方式）

- ・ 福岡市でも塩分を取り除くのが難しい橋梁に、外部電源方式の電気防食工を適用した事例が、西区の室見橋と新大原橋の2橋存在する。どちらも平成十年代に施工され、その後劣化は進んでいない。
- ・ 外部電源方式は部分的に施工すると施工していない箇所に悪影響を及ぼすことがあり、劣化が著しい箇所が部分的であっても一径間全て施工することが望ましく高額となる。

II) 電気防食工（流電陽極方式：点状陽極）

- ・ 電気防食工でも供用期間中通電する外部電源方式だけでなく、小型犠牲陽極材を埋め込む工法もある。
- ・ 電源盤や直流電源装置が不要で、小規模な場合に経済的であるが、小型犠牲陽極材の寿命や今後の塩分供給等を勘案し工法を決定しなければならない。
- ・ 西区の愛宕大橋（PC ポステン橋）で施工した事例を写真 3-2-4～7 に示す。
- ・ PC ポステン橋で定着部や横締め部の塩害が懸念される場合は、電気防食工が定着部に届いているか縦横断図により確認しなければならない。



写真 3-2-4 はつり状況（ウォータージェット）

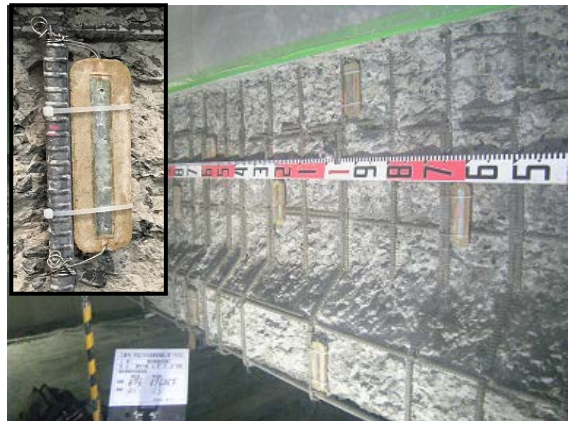


写真 3-2-5 はつり、犠牲陽極取付完了



写真 3-2-6 断面修復状況（湿式吹付け）



写真 3-2-7 断面修復完了

Ⅲ) 脱塩工

- ・ 脱塩工で塩分を抜く方法もあり、アルカリ性も復活するので腐食環境は改善されるが、再度塩分が入るので別途遮断する対策が必要となる。
- ・ 福岡市では採用された事例はない。

④ 経過観察等

重要な橋梁の上部工に波掛かりがある場合は、全断面修復工を行っても再度塩分が浸入し、再度腐食発生限界塩化物イオン濃度となる可能性があることから、経過観察を行う必要がある。

I) 腐食環境検知システム

- ・ 通常は自然電位法を用いるが、鉄筋をはつり出すか、あらかじめ電極を出しておく必要があり、波掛かりがある環境では不向きである。
- ・ 近年では、図 3-2-12 のようにセンサをコンクリート内部に埋め込み、外部から無線通信により構造物内鉄筋近傍の腐食環境を検知する方法がある。3個セットで一番条件が悪い箇所に設置し、異常を検知した時点で多くの箇所も含めて詳細調査を行うと良い。



図 3-2-12 腐食環境検知システム（イメージ）

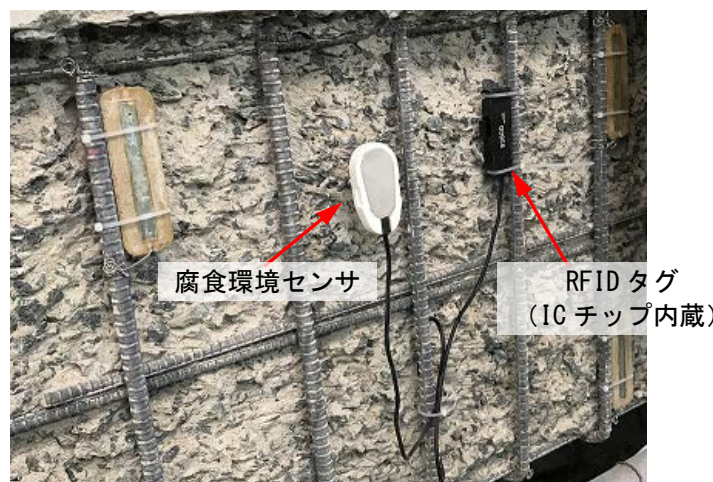


写真 3-2-8 腐食環境検知システム（設置例）

〔この後ポリマーセメントモルタル等にて断面修復〕

II) 塩化物イオン濃度測定

- ・ 補修工事竣工後、実際の断面修復材及び実環境における塩化物イオン濃度を測定することにより、何年後に腐食限界塩化物イオン濃度になるか推定することができる。
- ・ 測定は、条件の悪い箇所、良い箇所それぞれで行うことにより、今後の追加対策が必要な箇所、不要な箇所を判定できる。
- ・ 測定時期は、1、2、5 年後で、深さは 10mm 程度で良い。

III) その後の対応

- ・ 経過観察により、想定より早く腐食限界塩化物イオン濃度に達する箇所があることが判明すれば、波掛かりを遮断しなければならない。
- ・ 表面被覆工では再劣化事例があり、上記のような経過観察ができないため採用できない。
- ・ 今のところ、パネルを波掛かりの上までビス止めで取り付け、経過観察時に取り外せる構造とするのが良いと考えている。ただし、パネルの継ぎ目部にはシーリング材を設置し、定期的に交換しなければならない。

3.3. アルカリシリカ反応

(1) 劣化の特徴

1) 外観変状

① ひび割れ

- ・ アルカリシリカ反応（以下、ASR という。）の影響を受けた橋梁では、架設後数年～数十年が経過した後に、コンクリート表面のひび割れ発生という形で劣化が顕在化する。
- ・ PC 橋では写真 3-3-1 のように橋軸方向に多数のひび割れ、RC 構造では鉄筋に沿ったひび割れ、無筋構造やRC構造でも下部工等でかぶりが厚い場合は写真 3-3-2 のように亀甲状のひび割れが発生する。

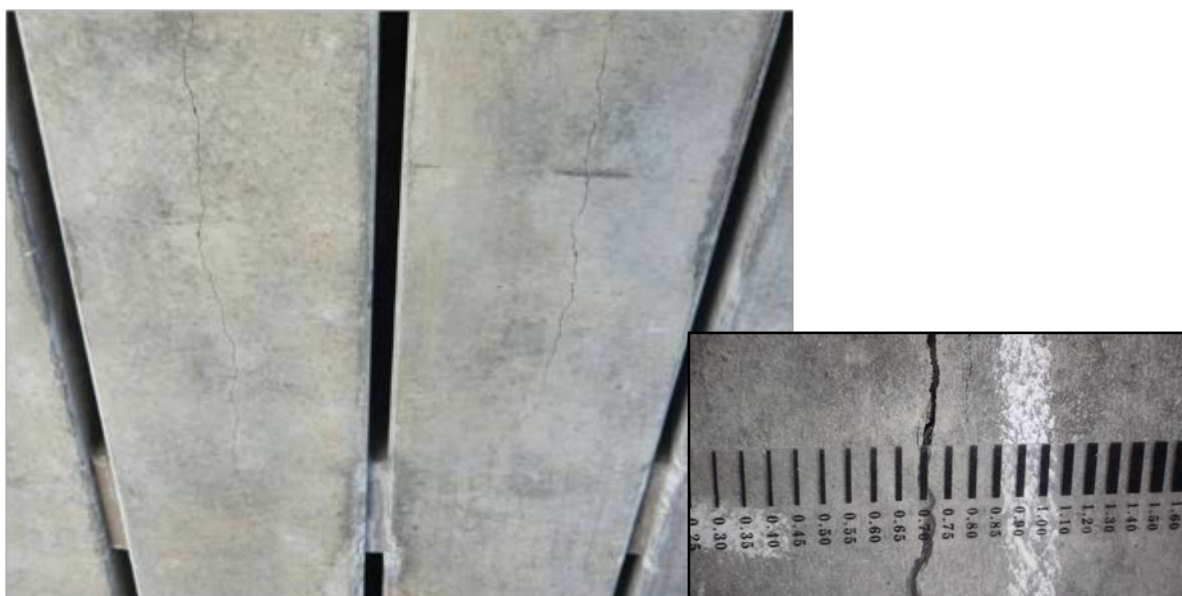


写真 3-3-1 ASRによる橋軸方向のひび割れ例【PCプレテン中空床版橋（ホロー形式）】



写真 3-3-2 ASRによる亀甲状のひび割れ例【橋台】

② 表面劣化

- ・ ASR は大量の水およびアルカリが供給される条件下で、長期にわたって進行するのが一般的である。
- ・ 長期間水が供給され ASR が進むと、PC 橋では写真 3-3-3 のような表面がうろこ状に剥がれる表面劣化が見られる。
- ・ PC プレテン橋（ホロー形式、I 桁形式）では、特に昭和 40 年代のかぶりが薄い場合に、表面劣化による断面減少で PC 鋼材の一部露出が見られることがある。



写真 3-3-3 ASRによる表面劣化例【PCプレテンI桁橋】

③ アルカリシリカゲル滲出

- ・ 長期間水が供給され ASR が進むと、主に下部工では写真 3-3-4 のようなアルカリシリカゲルの滲出が見られる。



写真 3-3-4 ASRによるアルカリシリカゲル滲出例【橋台】

④ PC橋中空部への滞水

- ・ 写真 3-3-5 及び 3-3-6 のように、PC 橋のプレテンホロー形式やポステン形式では、内部の中空部（ボイド）に水が溜まり ASR の進行が促進されている。
- ・ この場合、桁下面だけでなく桁上面にもひび割れがあることが多く、橋面にも遊離石灰が見られ、舗装を取り除くとひび割れから水がしみ出てくるので、ボイド内が満水状態であることが分かる。



写真 3-3-5 桁下面の状況（ひび割れ、遊離石灰、水の浸透）
【PCボステン中空床版橋】



写真 3-3-6 ボイドからの水抜き状況
【PCボステン中空床版橋】

2) 耐荷力等

以下のとおり、福岡市の ASR 橋梁は、劣化が進行しても上下部工とも重大な事象に至るような事例はない。

① 上部工

福岡市において、上部工の ASR は PC 橋にのみ確認されている。

I) ひび割れ

- ・ 写真 3-3-1 のように、橋軸方向の多数のひび割れが発生していることから、当初は耐荷力の低下が懸念され、復元設計やたわみ測定を行った。その結果、福岡市における ASR による PC 橋のひび割れは耐荷力上問題ないことを確認した。
- ・ 非常に多くのひび割れが発生することにより、桁のたわみや反り上りが起こる可能性がある。その場合、高欄の通りを見て判断しているが、異常は見つかっていない。

II) 表面劣化

- ・ 写真 3-3-3 のとおり、PC プレテン橋は、水掛かりが長期間続くとコンクリートがうろこ状に剥がれ、断面が減少し、PC 鋼材が露出することがある。
- ・ PC は、はつり出してまでの断面修復工ができず、置き換えることもできない。ただし、PC プレテン橋は、10 本以上の桁で受け持っており、PC も数本入っているため、露出や腐食が少量であれば問題ない。

III) 鉄筋腐食

- ・ ASR の PC 橋において、はつり調査事例は 9 橋ある。その結果は、鉄筋腐食度④が 8 橋、③が 1 橋であった。
- ・ ASR の PC 橋は水掛かりが多いにも関わらず、鉄筋腐食の心配はないと言える。

IV) PC 橋中空部への滞水

- ・ PC 橋の中空部は桁を軽くするものであり、写真 3-3-5 のように満水状態にある場合は設計以上の荷重がかかっている可能性がある。
- ・ ASR の進行を抑制するのみならず、構造面からも写真 3-3-6 のように直ちに水を抜く必要がある。

② 下部工

全国的には、ASR によるコンクリートの膨張により、鉄筋破断、大きな段差やズレが発生した事例もある。

I) ひび割れ

- ・ 福岡市において、下部工は無筋コンクリートである場合が多く、ASR によって深刻な状態になることはない。
- ・ RC 構造の下部工でも、鉄筋破断、大きな段差やズレが発生した事例はない。

II) 鉄筋腐食

- ・ ASR の下部工のはつり調査事例も 9 橋ある。その結果は、鉄筋腐食度④が 3 橋、③が 6 橋であった。
- ・ 上部工と同様に、水掛かりが多いにも関わらず、鉄筋腐食の心配はないと言える。

3) 水掛かり要因

ASR 橋梁の構造別水掛かり件数を図 3-3-1 に示す。

- ・ 図 3-3-1 のとおり、ASR の進行に欠かせない水の供給要因は、下部工では伸縮装置、上部工では橋面からの漏水が圧倒的に多い。
- ・ 橋梁によって水の供給状況が違うので、それぞれに合った対策を検討しなければならない。

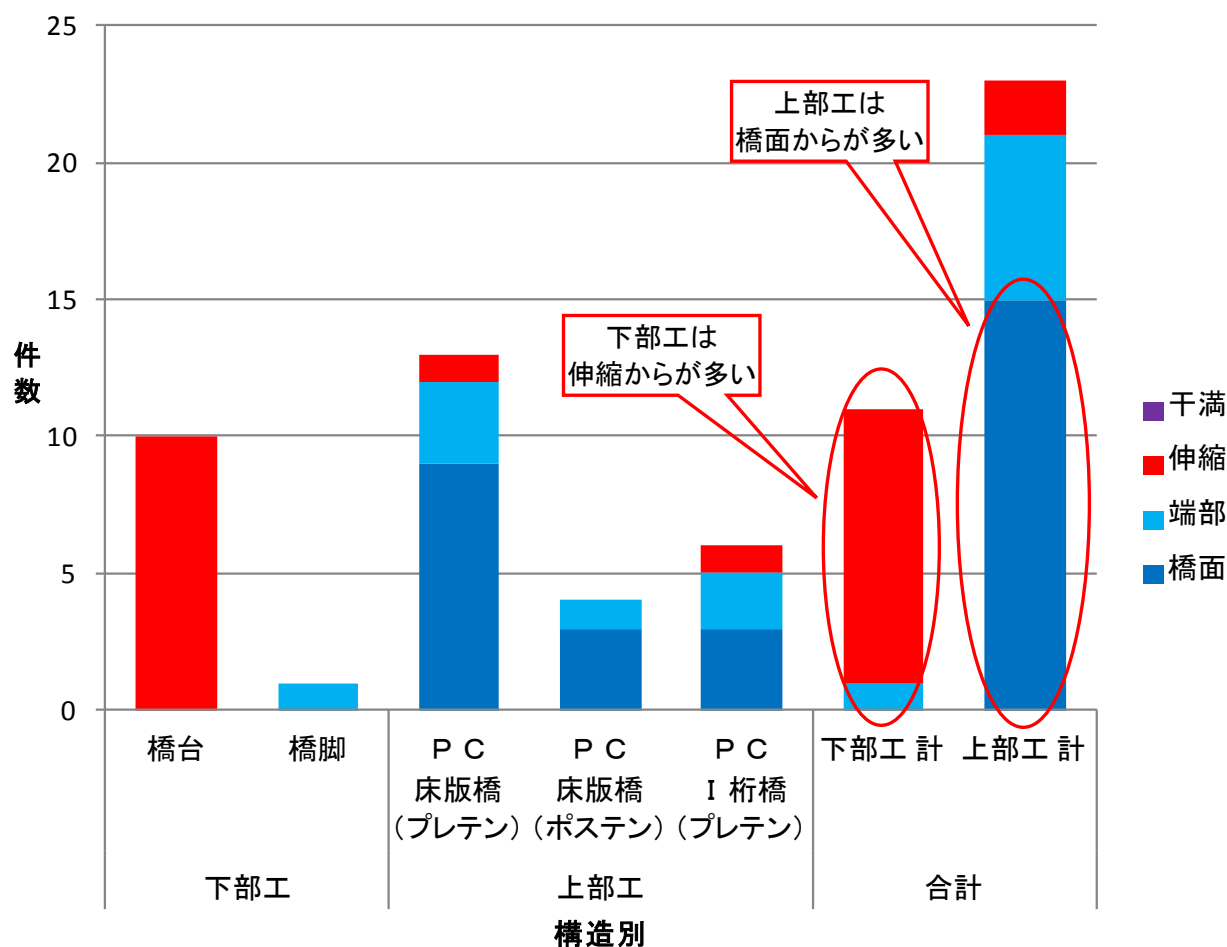


図 3-3-1 ASR 橋梁の構造別水掛かり件数

注：一つの橋梁で水掛かりが二つ以上見られる場合があるため、合計値がASR橋梁の数より多くなっている。

特に、上部工は橋面からの漏水と端部から桁下への水の回り込みの両方が見られる。

4) 架設年代

ASR 橋梁の架設年代別構造数を図 3-3-2 に示す。

- ・ 図 3-3-2 のとおり、下部工より上部工の方が多く、下部工は橋台、上部工は PC プレテン中空床版橋（ホロー形式）が圧倒的に多い。
- ・ PC 橋の架設が始まった昭和 40 年代後半から昭和 50 年代までの橋梁に散見される。その後は通達等が出され減少傾向となっている。
- ・ 以上より、ASR 橋梁は、現在顕在化している橋梁の対策を着実に進めることが重要である。ただし、遅延性の反応性骨材もあることから、今後新たに発生しないとは言えない。

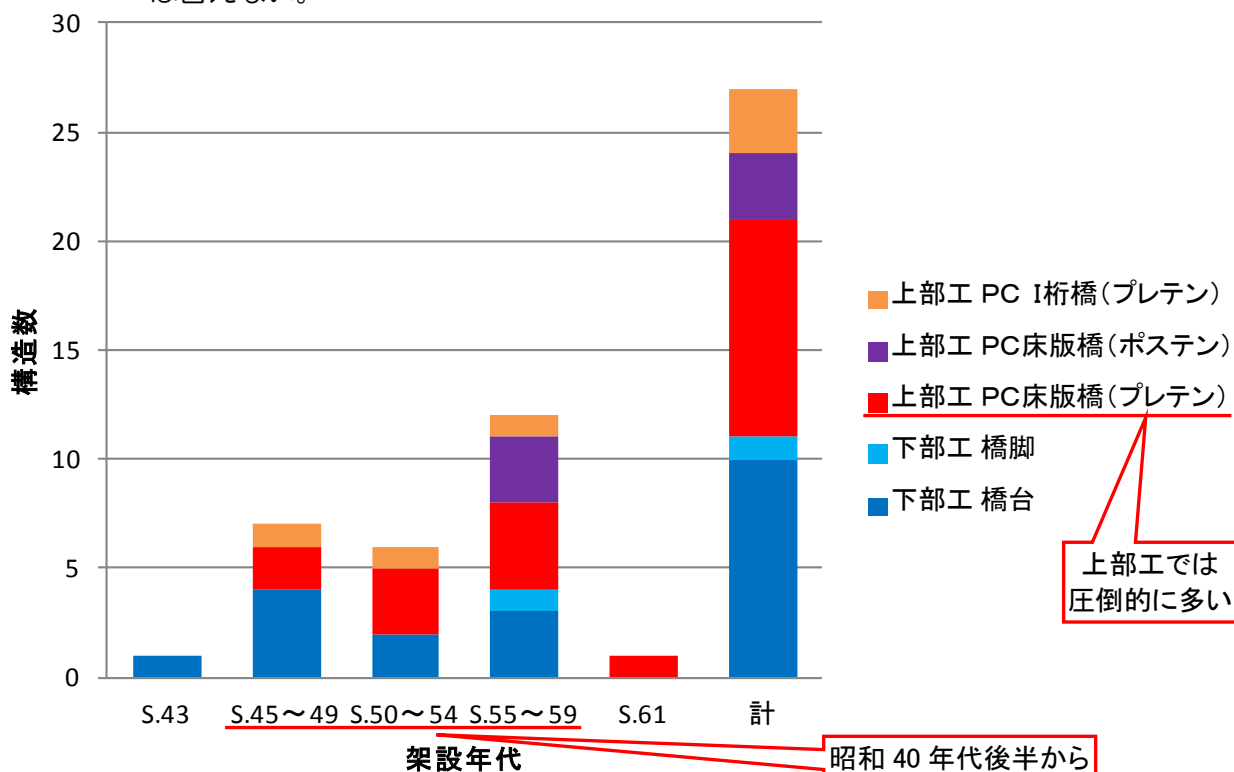


図 3-3-2 ASR 橋梁の架設年代別構造数

5) 骨材の産地

① 上部工

- ・ PC プレテン中空床版の工場が朝倉街道沿いに多く、桁製作時に筑後川の砂を使用したことによる場合が多い。筑後川の砂は、日田から流れ着いており日田の石に反応性鉱物が存在する。

② 下部工

- ・ 近隣町産の角閃石を使用したことによることが多く、写真 3-3-7 のような青色の砕石である。現在、この採石場は閉鎖されている。



写真 3-3-7 ASR 橋台のひび割れ部コア採取

6) 市内分布

ASR 橋梁の市内分布を図 3-3-3 に示す。

- ・ 博多区、南区以外の市内一円に見られるが、数はさほど多くない。
- ・ 城南区の樋井川及び駄ヶ原川沿いにおいて、河川改修時に架け替えられた橋梁に 1/3 程集中している。これは川幅と PC プレテン桁（特にホロー形式）の適用長さが合致したもので、現在は架けるところがないことからホロー形式はあまり製作されていない。
- ・ 以上より、当時の PC 桁製作工場やコンクリート工場に左右されるため、多少分布に偏りがある。

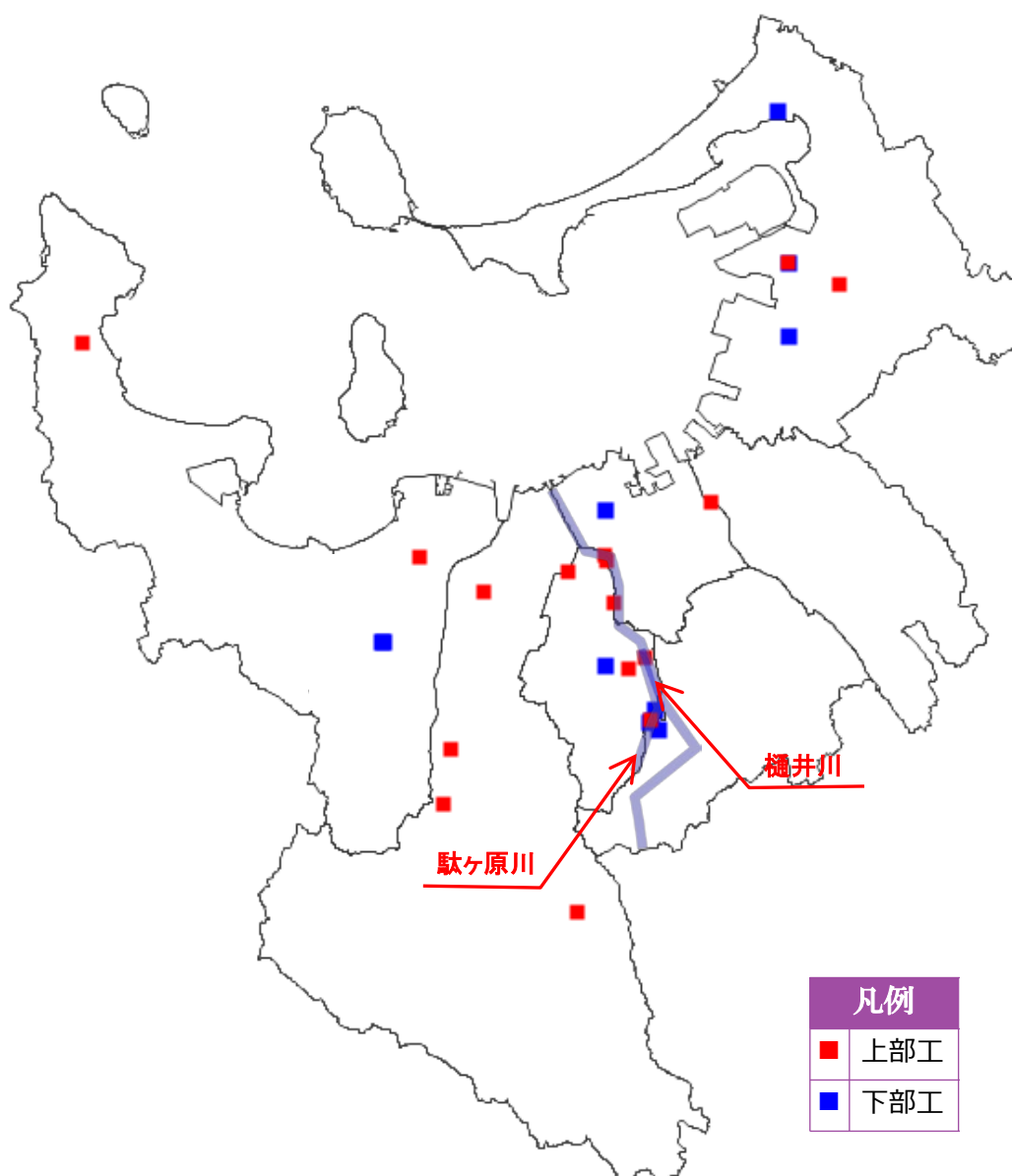


図 3-3-3 A S R 橋梁の市内分布図

(2) 補修方法等

1) 対策時期

① 再劣化防止

- ・ 福岡市での ASR は重大な事象に至らないことが分かっており、まずは水の供給要因に対する対策を行い、コンクリートの膨張が収束するのを待って通常のひび割れ補修を行えばよい。
- ・ 膨張が収束する前にひび割れ補修を行うと、再劣化の原因となる。

② 膨張収束の確認

I) 残存膨張量試験

- ・ 膨張が収束しているかの確認には、通常、写真 3-3-8 のような残存膨張量試験が用いられる。
- ・ しかし、特にカナダ法は実際の環境と合わないため信頼性が低い。
- ・ JCI-DD2 法では大きな（直径 100mm、長さ約 250mm）コアを使用するため、ひび割れがない箇所から採取する必要があり、おのずと ASR が進行していないコアで試験を行うこととなり、残存膨張ありという結果になる事例が多い。これは、今後水が掛かれば進行するという結果にすぎない。
- ・ また、PC プレテン中空床版橋（ホロー形式）では、コア採取自体が不可能である。



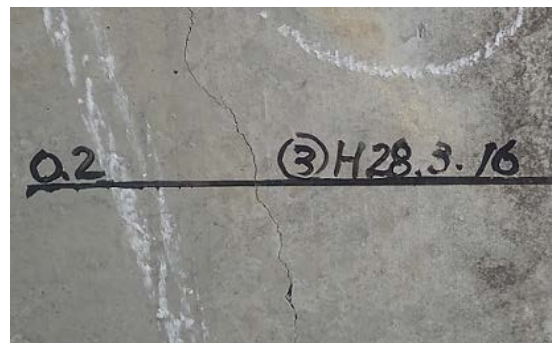
写真 3-3-8 促進膨張用試験体（膨張率測定状況）

II) 簡易的な方法

- ・ 膨張収束の簡易的な確認方法としては、代表的なひび割れを抽出し、写真 3-3-8 のようにひび割れの端部の位置を墨入れし、年月日を記入、幅についても測定位置を墨入れし、幅と年月日を記入し、定期的に経過観察するのが良い。
- ・ マジックは消えるので、墨汁を使用する。
- ・ 経過観察の時期としては、ASR は夏に進行するのでその後の秋と、進行が止まっている冬の後の春の年 2 回行う。
- ・ この方法は、定期点検において点検者の技量の差があっても、客観的にひび割れの進行を判断できる。



【ひび割れ端部墨入れ状況】



【ひび割れ幅墨入れ状況】

写真 3-3-8 ひび割れ経過観察

2) 対策内容

ASR でも特に水を止めることが重要で、3.3-(2)-2)中性化の対策内容で述べたとおりの水の供給を断つ対策を行う。

その他、ASR 独自の留意事項を以下に示す。

① 橋面防水工

- ・ 上部工が ASR の橋梁への橋面防水工の材料は、ひび割れ追従性を勘案し写真 3-3-10 のようなウレタン系を使用してきたが、高額であるため今後は写真 3-1-4 のような通常のシート系等も施工し経過観察を行っていきたい。
- ・ 図 3-3-4 のように、歩車道境界部から歩道の下に水が浸入し、歩道下の桁に ASR によるひび割れ、表面劣化が発生することが多いため、橋面防水工は特に歩車道境界で入念に立ち上げることが重要である。

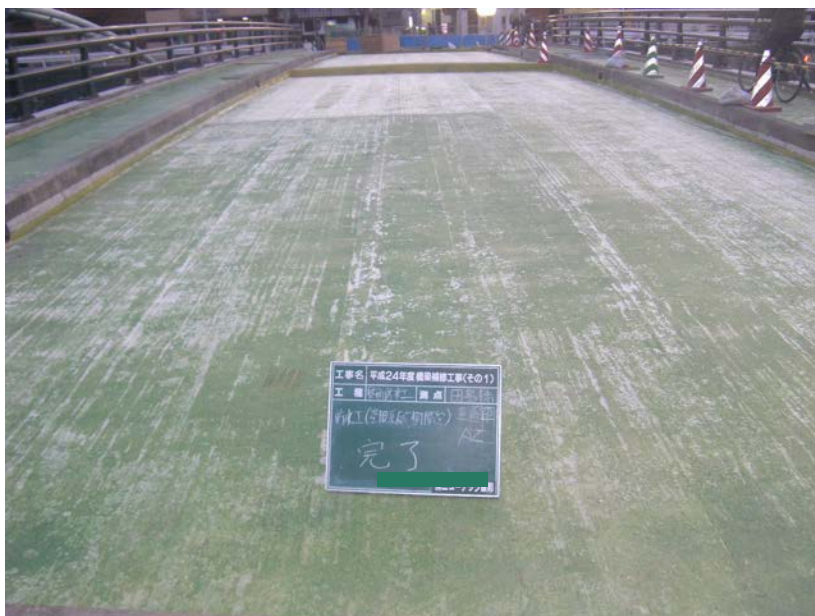


写真 3-3-10 橋面防水工（ウレタン系）

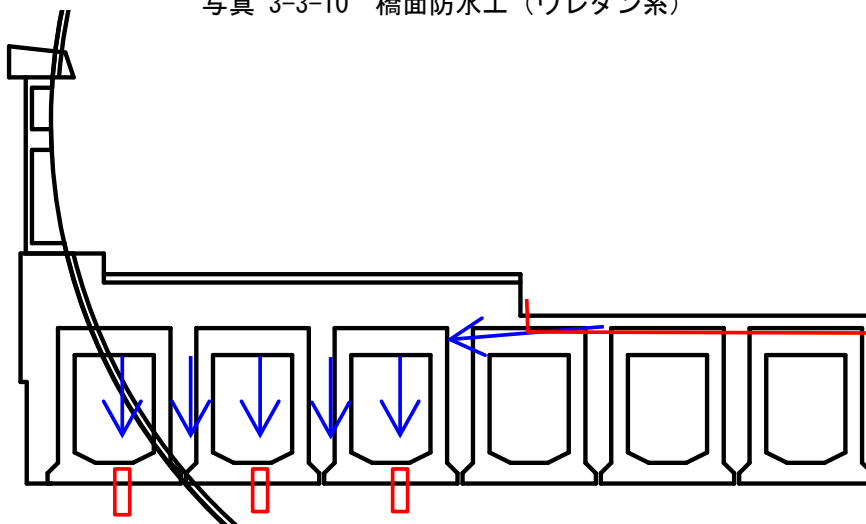


図 3-3-4 水掛かり留意事項【断面図】

② 水抜き工

I) 必要性

- ・ 状況によっては、対策を行っても再度水掛かりが発生する可能性があることに留意する必要がある。
- ・ 橋面防水工を施工しても完全に水が止まるわけではなく、耐用年数も当初想定よりも短いのではとの見解もあることから、再度水がボイドの中に溜まる可能性を想定し、図 3-3-4 や写真 3-3-12 のとおり、水を排出するための水抜き穴を削孔し、管を設置するようにしている。

II) 位置出し等

○ P C プレテン中空床版橋（ホロー形式）

- ・ 削孔の位置出しは構造上比較的容易で、多くの場合中心部である。ただし、古い形式では、図 3-3-5 のように P C 鋼より線（ $\phi 12.4\text{mm}$ ）の間隔が 50mm しかないことから、 $\phi 13\text{mm}$ （外径 18mm、削孔径 20mm）程度の細い管しか設置できない。

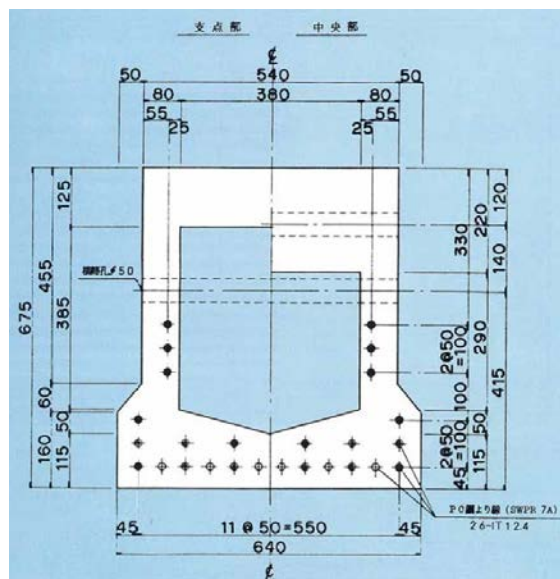


図 3-3-5 ホロー形式 P C 鋼より線配置図の例（古い形式）

- ・ 昭和55年の標準断面図（建設省制定）によると、図 3-3-6 のように中心部分が 150mm 以上 P C 鋼より線がないタイプと、中心に P C 鋼より線が配置されているタイプがあるため留意する必要がある。

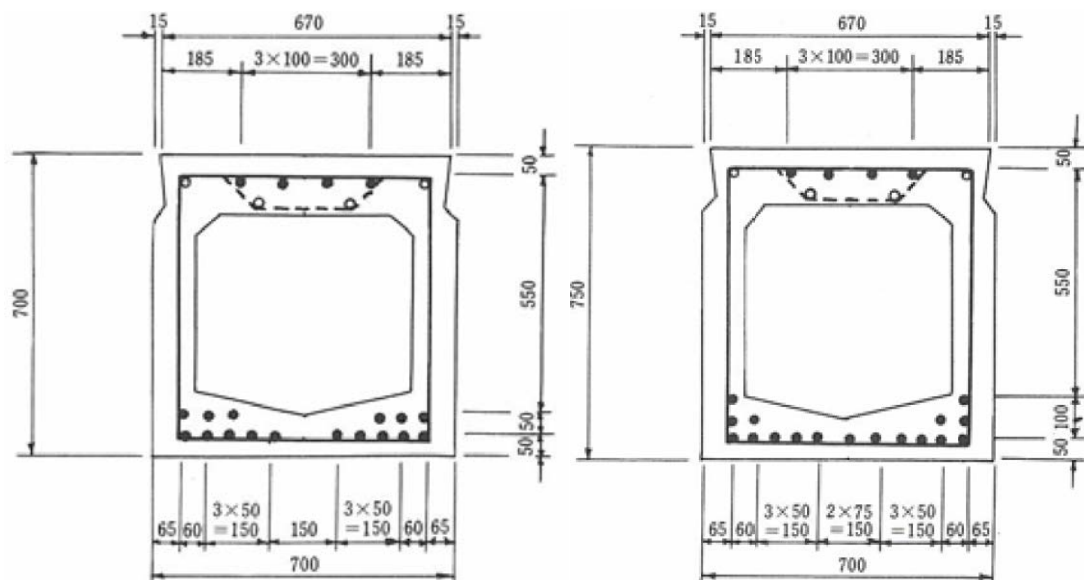


図 3-3-6 ホロー形式 P C 鋼より線配置図の例（建設省制定－1980）

○PCポステン中空床版橋

- ・ 昭和50年代以降のPCポステン中空床版橋では、既に水抜き穴がありそこが遊離石灰でふさがっているの、同じ位置に既設の穴より内径が大きい管を設置できるように削孔を行えばよい。
- ・ 昭和40年代のPCポステン中空床版橋は、水抜き穴がなく、図面も残っていないことから、削孔の位置出しが非常に難しい。
- ・ ボイドが横断方向に何本あり、その中心がどこであるか、また縦断方向に仕切り壁がどこにあるかを探査により確認し、最下端等適切な削孔位置を出さなければならない。仕切り壁で横断方向のボイドの数や位置が変化することがあることにも留意する必要がある。
- ・ ある程度の傾向をつかむまでは、写真 3-3-11 のように小径ドリルで何度も確認削孔を行わなければならない。この作業には、かなりの経験的知見も必要となることから、当時の施工業者の協力が必要となることもある。



写真 3-3-11 小径削孔による位置出し状況（PCポステン中空床版橋）

Ⅱ）管設置

- ・ 特にPCポステン中空床版は、現場打ちで個々のボイド深さが違うため、コンクリート厚を計測しそれぞれに合った管の長さで設置する必要がある。
- ・ 床版への水の回り込みを防止するため、写真 3-3-12 のように管は2cm以上出さようにしている。



写真 3-3-12 管設置完了（PCポステン中空床版橋）



写真 3-3-13 削孔コア
(参考)

③ ひび割れ補修工

ASRによるひび割れに対する留意事項を以下に示す。下記以外については、通常のひび割れ補修と同じである。

I) 材料

- ・ 橋面からの漏水の場合は、写真 3-3-14 のように桁の上面にもひび割れが発生している可能性が高いので、橋面防水に先立って写真 3-3-15～16 のようにひび割れ補修も行う。ポイドまでひび割れが貫通していることを勘案し、ひび割れ注入の材料は、流動性の低いマヨネーズ状のエポキシ樹脂Ⅱ種が良いと考えている。
- ・ 亜硝酸リチウムはリチウムイオンがアルカリシリカゲルを非膨張化し、膨張しているときに効果がある。福岡市の ASR では経過観察を行っても膨張が収束しているので、ひび割れ注入材に亜硝酸リチウムを入れる必要はないと考えている。
- ・ ひび割れが非常に多く、通常のひび割れ補修では高額となる場合は、塗布することによってひび割れを修復し、ある程度の止水効果を有する、固形油脂及び脂肪酸を主材料としたコンクリート用表面補修材も検証していきたい。



写真 3-3-14 桁の上面のひび割れ例 (PCポステン中空床版橋)



写真 3-3-15 桁の上面のひび割れ注入状況



写真 3-3-16 桁の上面のひび割れ注入完了

II) 漏水

- ・ 橋台においては、写真 3-3-4 のようにひび割れが貫通し、橋台の裏側から漏水が懸念されることがある。
- ・ 漏水を止めないと再劣化の原因となることから、漏水量にしたがって止水工法を選定し、水が止まったのを確認してからひび割れ補修を行う。
- ・ 漏水に勢いがある場合は、水に反応するけい酸塩系の材料を高圧注入する方法がある。

④ 断面修復工

I) 表面劣化

- ・ 通常ははつり出しての断面修復工を行うが、うろこ状の剥がれが見られる場合は、表面が劣化している部分を削り取り、ある程度（約 10mm 以上）落とせた箇所のみ断面修復工を行う対策しかない。
- ・ 後は経過観察を行うこととする。

II) 橋台

- ・ 橋台全体にひび割れが見られることがある。
- ・ これをコンクリートで全断面打ちかえるのは、ASR では鉄筋腐食が進んでいなく、健全な部分の躯体をわざわざはつる必要はなく、網金を配置しても、写真 3-3-17 のように必ず収縮ひび割れが入ること等から好ましくないと考えている。
- ・ ポリマーセメントモルタルで全断面修復工を行えば、ひび割れは入らないが非常に高額になってしまう。
- ・ 以上より、橋台に対しては通常のひび割れ補修工を行っている。



写真 3-3-17 ASR 橋台のコンクリートによる全面打替え後の再劣化例（施工後 3 年弱）

3.4. 凍害

(1) 劣化事例

1) 位置

福岡市では、凍害による劣化がないと思われていたが、図 3-4-1 のとおり佐賀との県境近くの早良区大字板屋に 1 橋だけ凍害橋梁の事例がある。

写真 3-4-1 のとおり、かなり山奥であることがうかがえる。

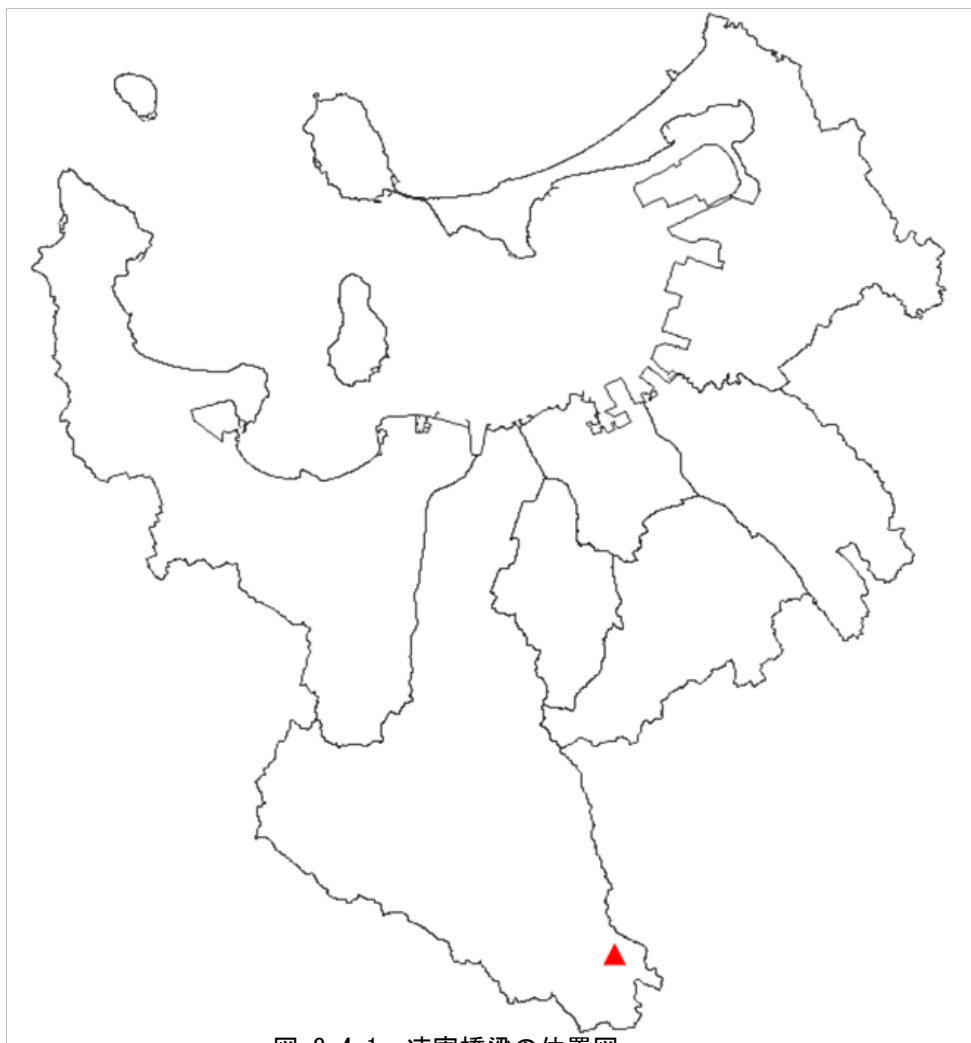


図 3-4-1 凍害橋梁の位置図



写真 3-4-1 凍害橋梁

2) 外観変状

① 南向き橋台

- ・ 写真 3-4-3 のように河川による水掛かりのある、日当たりの良い側（南向き）の橋台全体に、写真 3-4-2 のように教科書的なスケーリングが見られる。
- ・ 写真 3-4-4 のように、橋座が狭くなっている箇所もある



写真 3-4-2 南向き橋台正面（スケーリング）



写真 3-4-3 南向き橋台（河川による水掛かり）



写真 3-4-4 南向き橋台（橋座減少）

② 北向き橋台

- ・ 河川による水掛かりが少なく、日当たりの悪い側（北向き）の橋台は、写真 3-4-5 のとおり部分的なポップアウトにとどまっている。



写真 3-4-5 北向き橋台（ポップアウト）

③ 主桁

- ・ 写真 3-4-6 のとおり、上部工本体のT桁は、水掛かりがないため、部分的なひび割れ、鉄筋露出のみで非常に健全である。



写真 3-4-6 桁下の状況

(2) 補修方法等

橋台への対策としては、断面修復工、橋座確保のための躯体全面へのコンクリート増し厚工に加え、河道掘削により瀬替えを行い河川からの水掛かりを抑える。

§ 4. その他知見

4.1. PC橋の留意点等

(1) PCプレテン中空床版橋（ホロー形式）

① PC橋より線の配置

- ・ ホロー形式の良いところは、PCを先に設置していることから、図 4-1-1 のとおりPCの被りが確実に取れていることであり、鉄筋の被りが取れていないことは、耐力上あまり問題にならない。
- ・ したがって、写真 4-1-1 のようにスターラップが腐食し露出しているも、PCの位置はもっと深いので、部分的であれば通常の断面修復工と同様に鉄筋の裏まではつって修復してもよい。

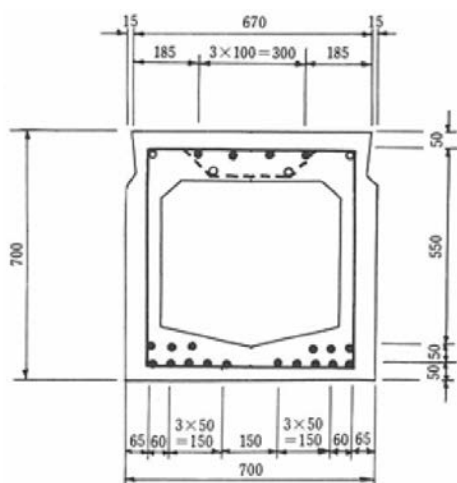


図 4-1-1 ホロー形式標準断面図の例
(建設省制定－1980)



写真 4-1-1 ホロー形式の劣化事例（桁下面）

② 横締め

- ・ 写真 4-1-1 のように、間詰部から漏水し遊離石灰が多く出ている事例が多々あり、横締めのシースが錆びている可能性があるが、直接的な補修方法がないことから、横締めと想定される位置の間詰部から錆汁を伴う遊離石灰が出ていないか等点検時に確認し、あれば早期に橋面防水工を行うくらいの対策しかない。

③ 中空部の材料

- ・ 写真 4-1-1 において、ひび割れから茶色の液体がにじみ出ているが、これは錆汁ではなく、段ボールが長い年月の間に漏水で色が濃縮したものである。
- ・ 現在、中空部には発砲スチロール等が用いられているが、標準図が制定される前はベニヤ板や段ボールが用いられていた。

④ ベニヤ板使用による初期欠陥例

- ・ ベニヤ板が用いられていた場合、中空部が四角になるため下面にコンクリートの充填不足が発生することがある。写真 4-1-2 のように、部分的であるが、下面のコンクリートが薄く PC 鋼材がコンクリートで覆われていない事例もある。
- ・ うきではなく、部材が薄いだけであり、打音が健全部と多少違う程度であることから、注意が必要である。



写真 4-1-2 ホロー形式の初期欠陥事例
【コンクリートの充填不足（はつり後）】



写真 4-1-3 ベニヤ板による中空内部
（下面から撮影）



4.2.再劣化事例

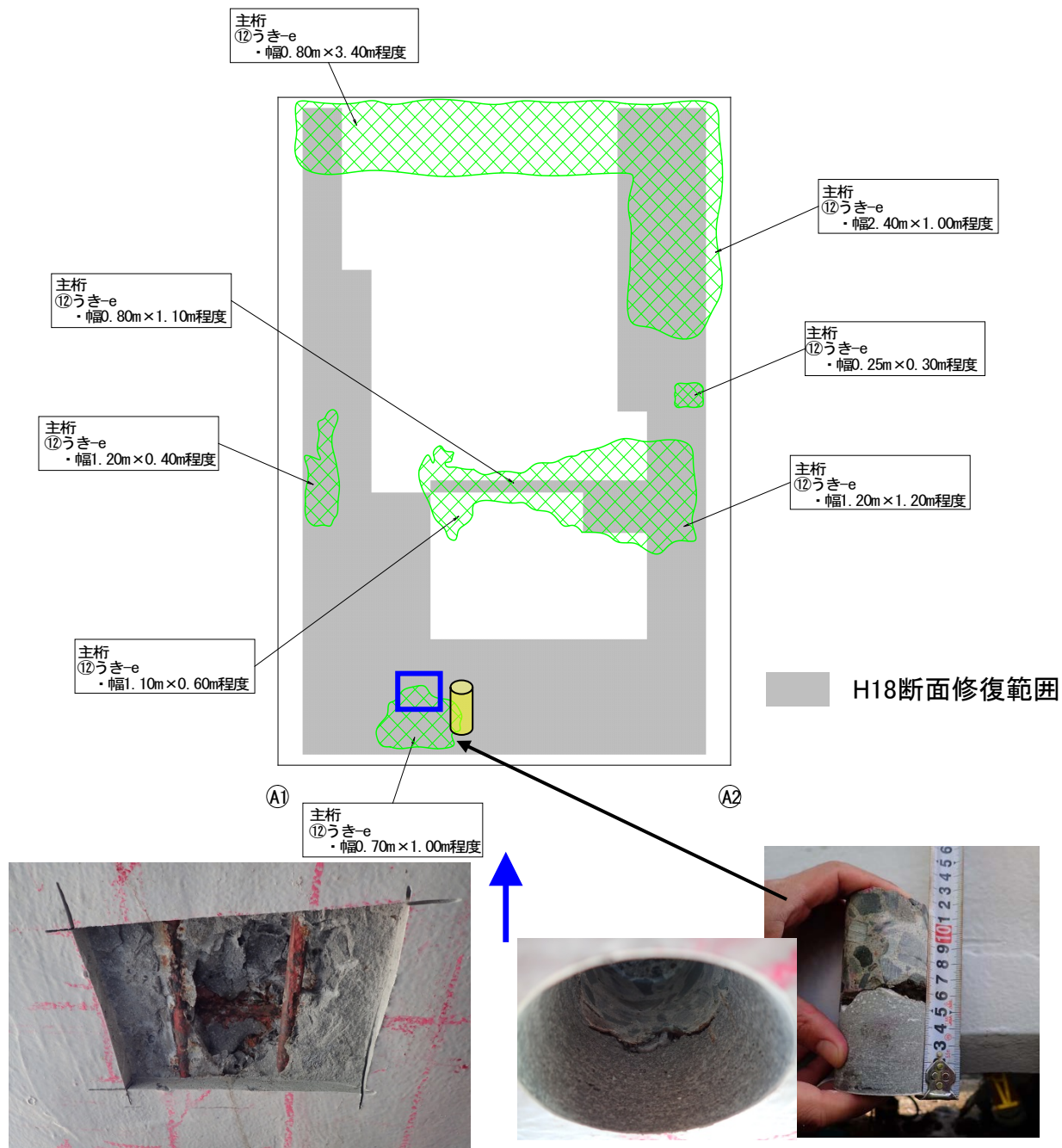
(1) 断面修復工

1) 左官工法

① 付着不足

【事例 1】

- ・ 塩害により劣化し、平成 18 年度に補修した RC 床版橋で、平成 22 年度の定期点検では異常がなかったが、平成 26 年度の定期点検で図 4-2-1 のように断面修復箇所が再度ういていることが確認された。
- ・ 当該箇所でコアを採取すると、断面修復界面にて分離した。断面修復材の側面を観察すると、1 層当たりの修復厚は基準以内であった。
- ・ はつり調査によると、鉄筋は防錆剤が残ったままでまったく錆びていなかった。
- ・ 以上より、再劣化の原因はプライマーの施工不良と思われる。



【事例 2】

- ・ 塩害により劣化し、平成 10 年以前に補修したと推察される RCT 桁橋で、平成 19 年度、平成 24 年度の定期点検及び平成 25 年度の詳細調査では異常がなかったが、平成 27 年度の補修工事に着手したところ以前断面修復工を行った床版部全体が再度ういていることが確認された。
- ・ うき部分を取り除いたところ、写真 4-2-1 のように茶色（樹脂系）のプライマーは塗布されていたが、現在は必ず行っている下記事項を施工せず、落ちたコンクリートを修復したのみと思われる。
フェザーエッジ防止のための補修部境界カッター切断
鉄筋の裏側までのはつり（これによる鉄筋のケレン不足）
断面が消失した鉄筋への添え筋



写真 4-2-1 断面修復工（左官工法）の付着不足による再劣化【事例 2】

② マクロセル腐食

【事例】

- ・ 水掛かりにより劣化し、平成 22 年度に補修した RC 床版橋で、平成 24 年度の定期点検で図 4-2-2 のように断面修復箇所の境界付近がういていることが確認された。
- ・ 断面修復工を行った境界付近が多く浮いていることから、典型的なマクロセル腐食と考えられる。
- ・ 現在では、断面修復材に亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルを使用したり、うき、鉄筋露出の範囲が広範囲であれば全断面修復工を行う等再劣化防止に努めている。

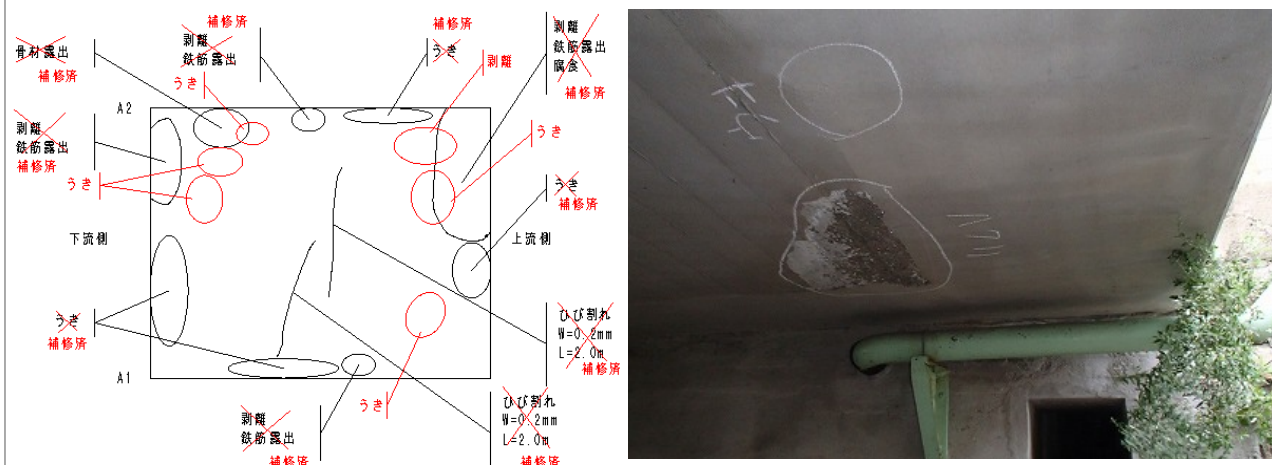


図 4-2-2 断面修復工（左官工法）のマクロセル腐食による再劣化【事例】

2) モルタル注入工法

① 付着不足

【事例】

- ・ 塩害により劣化し、平成 10 年以前に補修したと推察される RCT 桁橋で、平成 19 年度の定期点検では異常はなかったが、平成 24 年度の定期点検で断面修復工を行った T 桁のウェブに水平方向の大きな貫通ひび割れ発生し、上下で部材が分離していることが確認された。
- ・ ウェブを取除いたところ、以前の補修時に帯鉄筋が消失しているにもかかわらず、復旧せずにモルタル注入工法にて断面修復工を行ったため、主鉄筋とモルタルの重みにより分離したと思われる。
- ・ 錆が新しいものではなく、以前の錆とモルタルが固まったような状態であり、鉄筋ケレンも十分でなかったようだ。



写真 4-2-2 断面修復工（モルタル注入工法）の付着不足による再劣化【事例】

② 収縮ひび割れ

【事例】

- ・ 塩害により劣化し、平成 24 年度に補修した現場打ちボックスカルバートで、平成 25 年度の定期点検で断面修復工を行った側壁にひび割れが発生していることが確認された。
- ・ モルタル注入工法では、収縮ひび割れの発生はやむを得ないものである。
- ・ 現在は補修の対象とならない 0.2mm 未満のひび割れだが、今後経過観察が必要である。

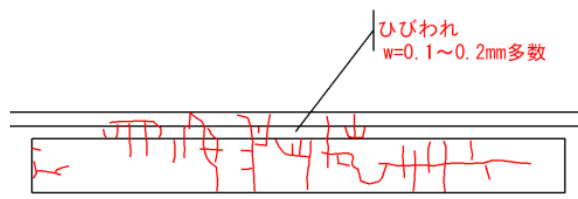


図 4-2-3 断面修復工（モルタル注入工法）の収縮ひび割れによる再劣化【事例】

(2) ひび割れ補修工

1) 全断面コンクリート打替え工

① 収縮ひび割れ

【事例】(44 ページの再掲)

- ・ ASRにより劣化し、平成 24 年度に補修した重力式橋台で、橋台全体にひび割れが発生していたことから、全断面コンクリート打替え工を行ったが、施工後 3 年弱でひび割れが発生していることが確認された。
- ・ ワイヤメッシュを設置し入念な施工を行っても、収縮ひび割れの発生は免れることはできないと思われる。
- ・ 前述(44 ページ)のとおり、同様の事例の場合、現在は通常のひび割れ補修を行っている。

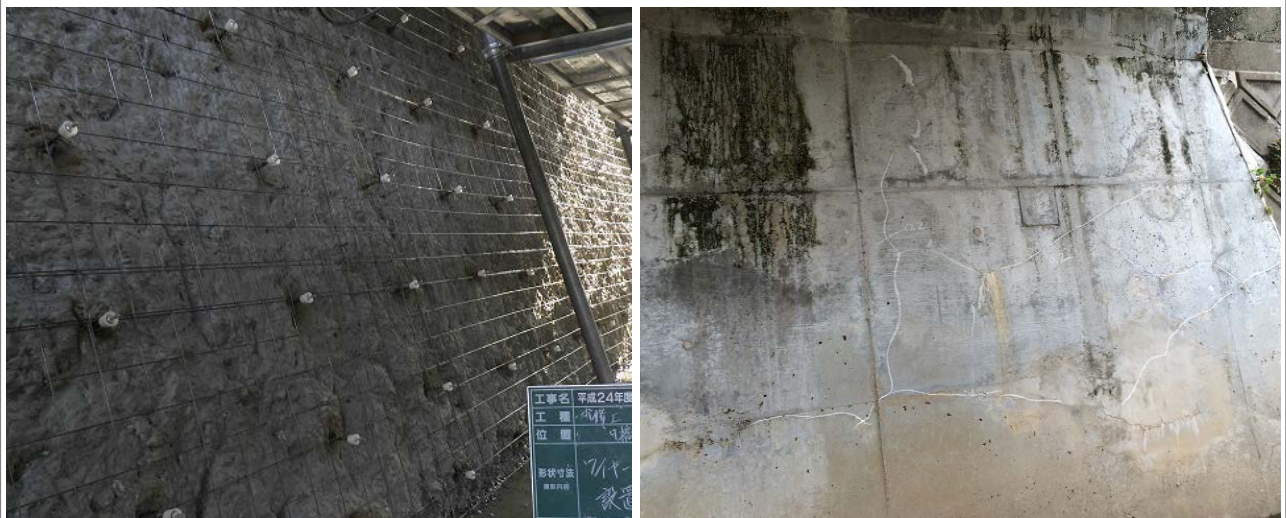


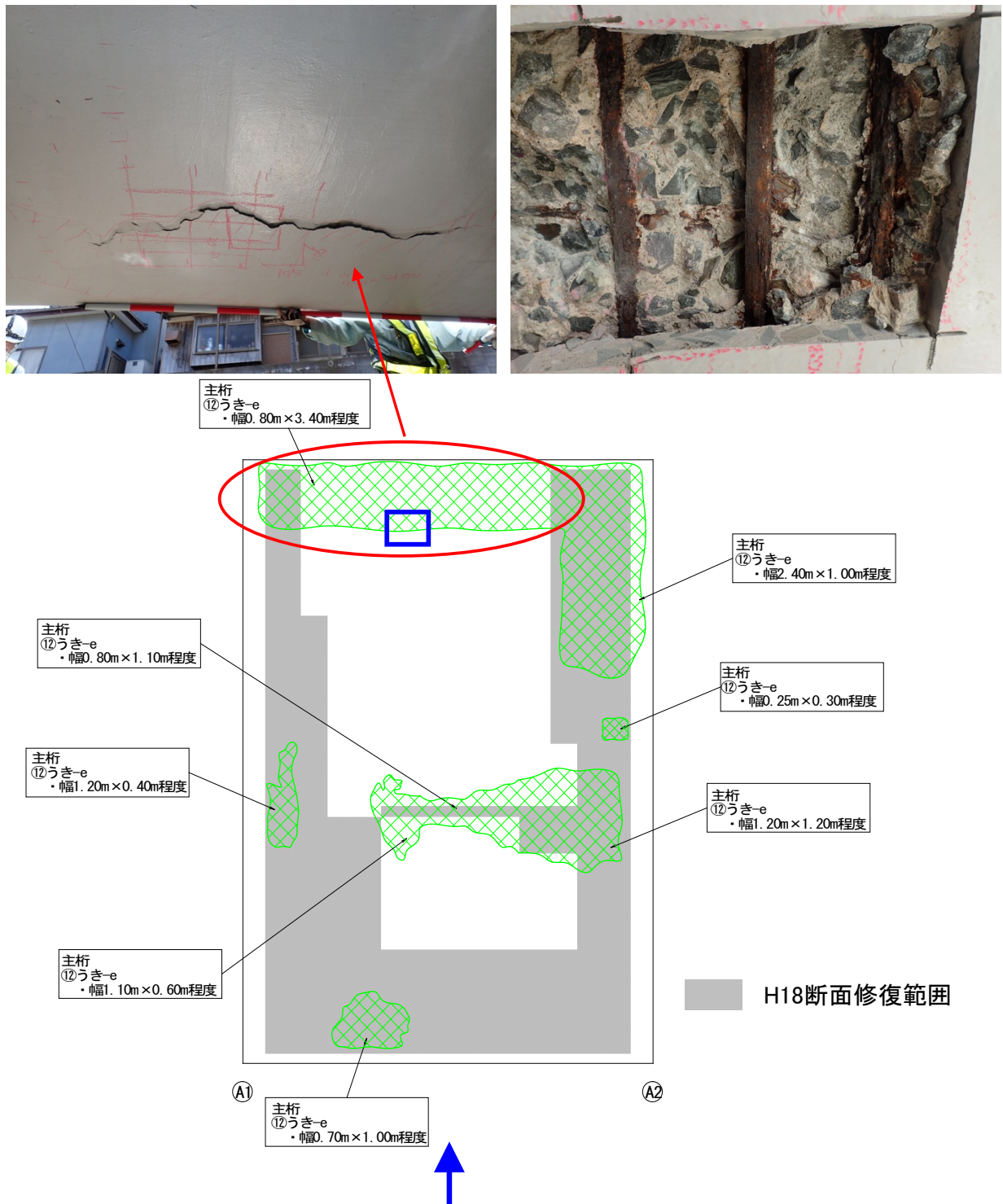
写真 4-2-3 ひび割れ補修工（全断面コンクリート打替え工）の収縮ひび割れによる再劣化【事例】

(3) 表面被覆工

1) 塩化物イオンの移動

【事例】

- ・ 前述の 4.2.(1)-1)-①と同じ橋梁で、平成 18 年度に補修し、平成 22 年度の定期点検では異常がなかったが、平成 26 年度の定期点検で図 4-2-4 のように、断面修復工を行わなかった箇所が新たに広範囲にういていることが確認された。
- ・ 当時の補修では、うき、鉄筋露出部分のみの断面修復工を行い、内部に塩分が残ったまま表面被覆工にてコンクリートを覆ってしまった。これにより内部の塩化物イオンが横移動し、以前は塩化物イオン濃度が低かった箇所の濃度が高くなり鉄筋腐食に至ったと思われる。



2) 紫外線劣化

【事例】

- ・ 上記 4.2.(3)-①と同じ橋梁で、表面被覆材に 10 年弱でチョーキング（白亜化）が見られた。
- ・ 特に地覆部は紫外線が当たりやすい部材で、当初想定より劣化が早かったと思われる。



写真 4-2-4 表面被覆工の紫外線による再劣化【事例】

(4) 耐荷力向上対策

1) 連続繊維シート接着工

① 炭素繊維

【事例】

- ・ 交通量（特に大型車）が多い主要幹線道路等に架かる橋梁に、耐荷力向上対策として炭素繊維シートを使用した場合、通行車両の衝撃により、伸縮装置が大きく破損する、近隣の建築物が揺れだした等の事例がある。
- ・ 炭素繊維シートにより桁の剛性が上がりすぎ、桁のたわみが少なくなったことで、補強前と違う何らかの力が働いたためと思われる、可能であれば、繊維シートの材質選定にも留意する必要がある。

(1) コスト縮減

近年、下記事項により工事費が、数年前より高額（適正額）となっている。

- ・ 労務費等の高騰
- ・ コンクリート補修に関する歩掛新設による、直接工事費の増加
- ・ 橋梁保全の工種新設による、諸経費（主に共通仮設費）の増加

現在の厳しい財政状況を勘案し、劣化の進行にさほど関連性がない対策を省略する、小規模な橋梁ではできるだけ簡便（安価）な対策を採用し経過観察とする等、今後とも危機感を持ってコスト縮減に努めなければならない。

塩害については、早期発見、早期対策により、対策費用を大幅に削減しなければならない。

上記のような状況の中でも、補修後の再劣化を起こさせないために、特に塩害の長大橋ではお金をかけて、良い工法、良い材料を選択しなければならない。

(2) 新工法、新材料の検証

「NETIS 新技術情報提供システム-国土交通省」、「新技術・新工法活用促進制度（福岡新技術・新工法ライブラリー）-福岡県」、「新技術紹介制度-福岡市」のみならず、その他の新工法、新材料についてもよく検証し、良いものであれば積極的に使用するとともに、経過観察をしなければならない。

これが従来工法より安価なものであれば、コスト縮減にもつながる。

(3) 再劣化の検証

今後、補修を行った橋梁が増え、年数が経過した時点で、再劣化についての検証を行い、次の補修設計へのフィードバックを図らなければならない。

(4) 施工管理基準等

コンクリート橋の補修については、全国的にも明確な施工管理基準や検査方法が定められておらず、各工程で監督員が立会を行うにとどまっていることから、他都市の状況や国の動向を勘案し、場合によっては福岡市独自の基準等を定めなければならないと考えている。

