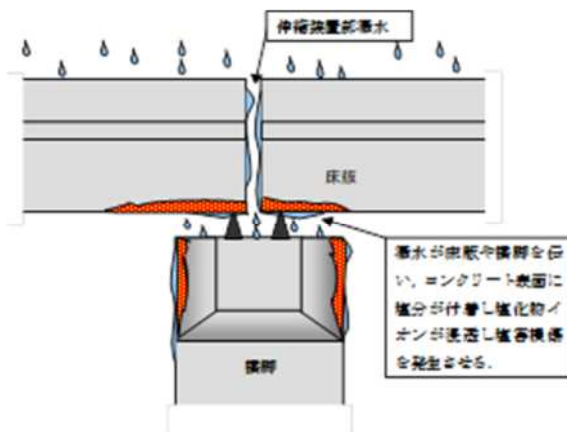


コンクリート構造物

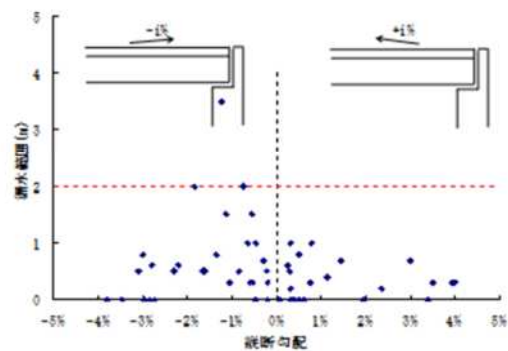
コンクリート橋の補修

1.劣化メカニズム

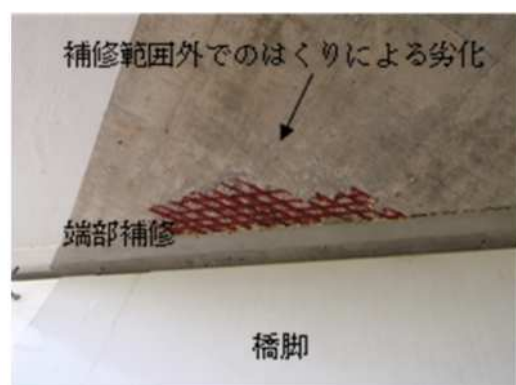
- (1)桁端部塩害は、伸縮装置の破損等から生じる路面水の漏水等が影響して発生します。
- (2)桁端部の塩害劣化が発生している場合、当該箇所の下部工にも塩害劣化が発生しています。
- (3)桁端部の塩害影響範囲は、桁端部から約 2m です。



【桁端部における塩害のイメージ】



【漏水範囲と縦断勾配との関係】



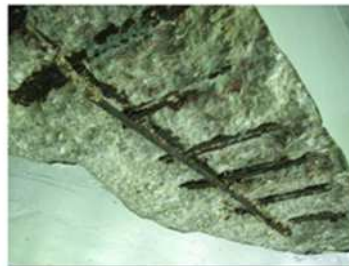
【桁端部の塩害の状況】



【伸縮装置からの漏水の事例】

2.劣化メカニズムの判定

- (1)補修の検討にあたっては、対象構造物の劣化が代表的な劣化メカニズムによるものであることを確認します。
- (2)劣化メカニズムは、既存資料や現地踏査で得た情報を代表的な劣化メカニズムの特徴や劣化事例と照合して判定します。
- (3)劣化が代表的な劣化メカニズムではない可能性が考えられる場合は、劣化メカニズムを究明するための詳細調査の実施を別途検討します。



【端部下面の浮き・剥離、腐食鉄筋の露出】



【中空床版側面・下面の浮き・剥離、腐食鉄筋】



【縦断勾配の高い側の端部で劣化が顕在化】

3.コンクリート橋の詳細調査

調査方針

桁端部補修前には、事前調査を行い、効率的で再劣化リスクの小さい対策工を設計するもの
とします。

上部工形式	試験項目							
	外観 調査 ※1	含有塩分量調査※2			はつり調査※3			自然電位測定
		張出	側面	桁下面 (横桁)	張出	側面	桁下面 (横桁)	
RC 中空床 版	桁端部 から 2m			2			2	桁端部から 275(-mv)より 卑な値まで
PC 桁			2	2		2	2	
PC 箱桁			2	2		2	2	

【上部工の調査項目および数量】

下部工形式	外観調査 ※4	含有塩分量調査 ※2	はつり調査 ※3	表面塩分量調査 ※5	自然電位測定 ※6
橋台	全面	2	2	前面@1.5m	塩分浸透範囲
橋脚	全面	2	2	劣化部周辺	〃

【下部工の調査項目および数量】

※1：浮き範囲、伸縮装置からの漏水範囲の把握、支承の腐食状況の把握。

※2：浮き箇所およびその近傍で1箇所ずつ。

※3：浮き部および浮き箇所の近傍で鉄筋腐食が懸念される1箇所ずつ。

※4：土中部は除く。

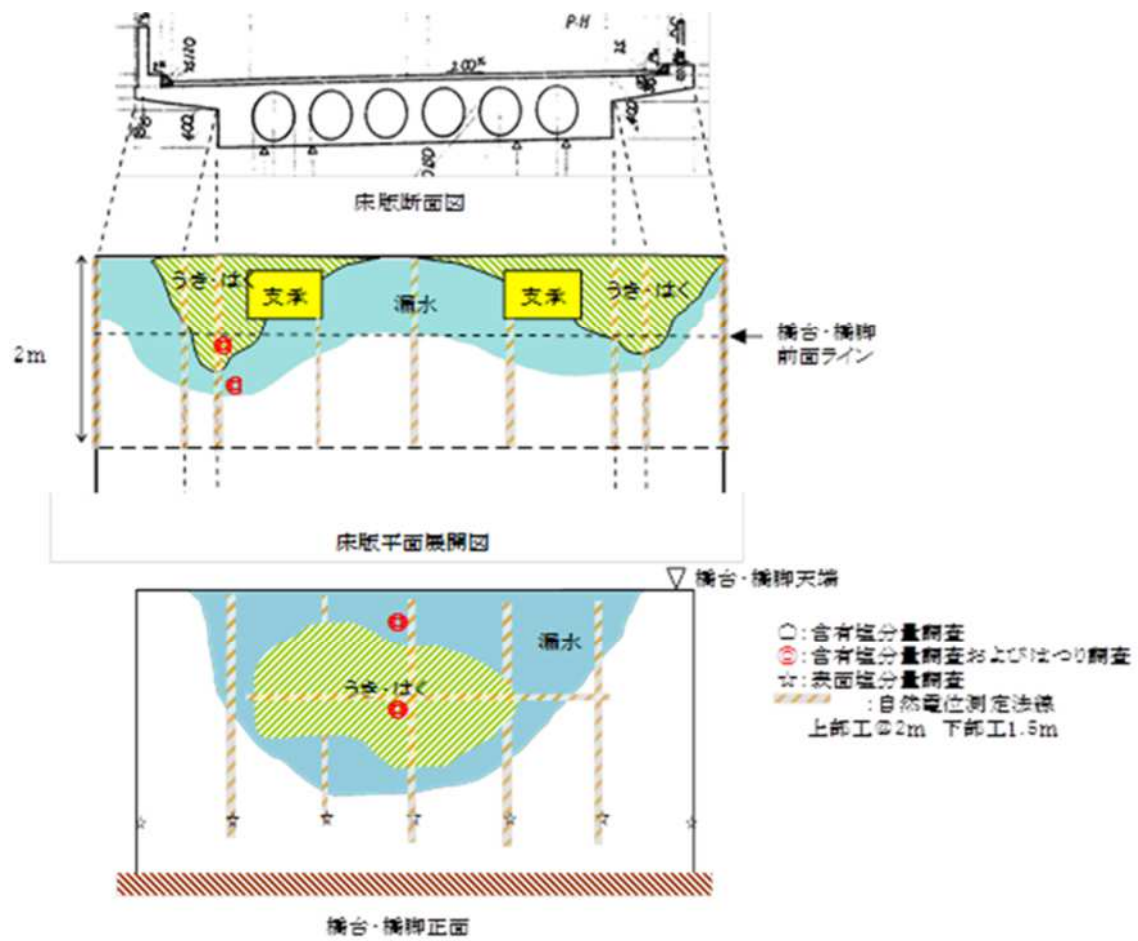
※5：携帯型蛍光X線での塩分浸透範囲と表面塩分量の測定。

※6：表面塩分が確認された範囲を対象に実施。

詳細調査

調査項目および数量は、過去に調査した以下の劣化の特徴をもとにしています。

- 1) RC 中空床版：桁下面において広範囲にわたり劣化が見られます。
- 2) PC 桁橋：横桁下面と横桁下面に隣接する主桁側面に劣化が集中しています。
- 3) PC 箱桁：桁下面に比べて桁側面での劣化が大きい特徴が見られます。
- 4) 橋台・橋脚：前面または側面の漏水の影響範囲でかぶりが小さい箇所では劣化が多数発生している場合があります。



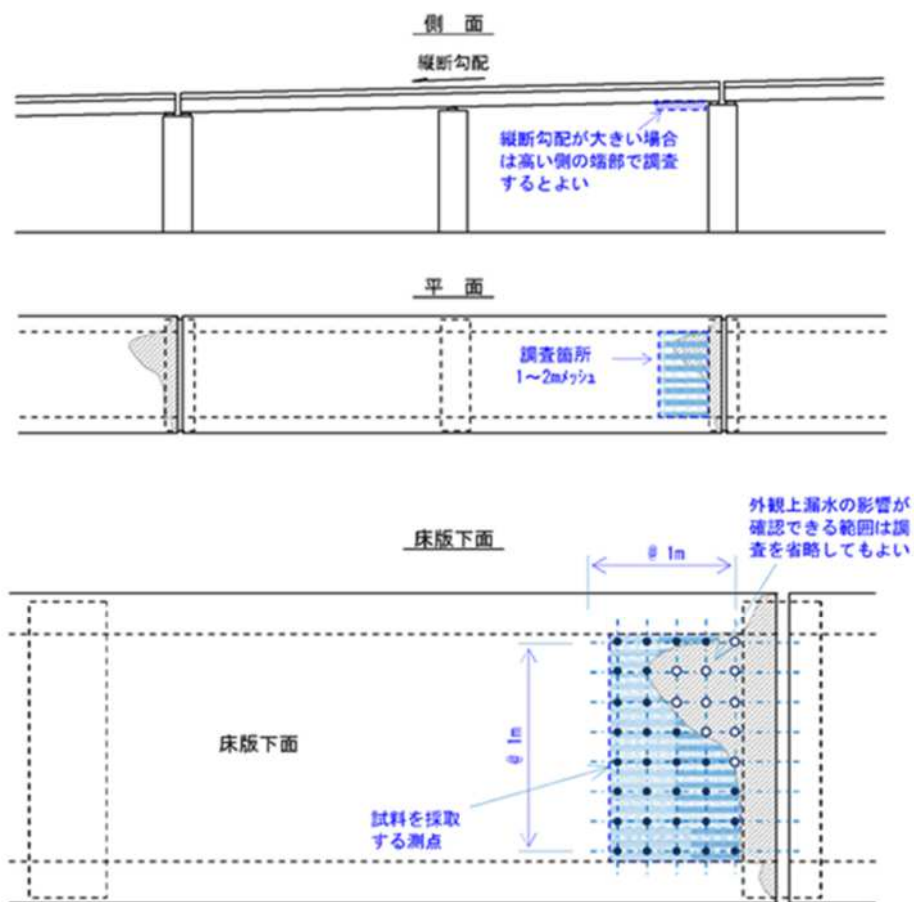
【事前調査イメージ】

外観調査

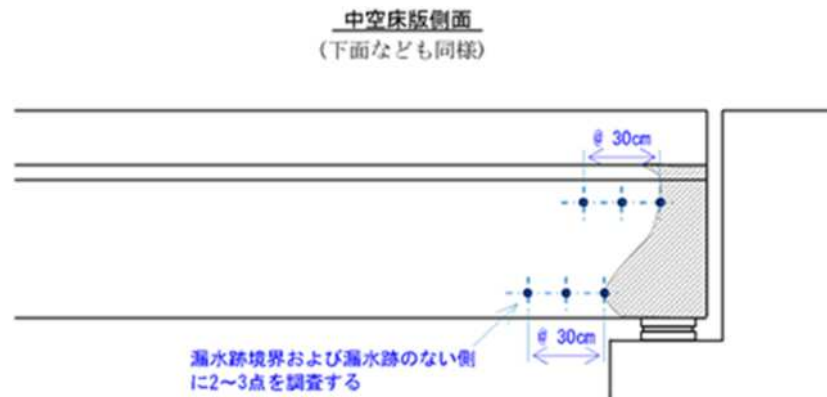
項目	内 容
ひび割れ	ひび割れは、目視により、幅 0.1mm きざみに長さおよび形状を確認する。ひび割れ幅は一樣ではないため、1本のひび割れの中の最大値をもって、そのひび割れの幅とし、延長とともに劣化図に記入します。
浮き	浮きは、打音により、コンクリートの浮き範囲を確認する。内部鉄筋が腐食膨張することにより、かぶり部分において空洞が発生しているケースが多いです。浮きの範囲は、打音とコンクリート表面の振動により判断し、健全部との境界線をマーキングし、形状は最大値の縦×横の寸法をもって劣化面積とします。
はくり	はくりは、コンクリートのかぶり部分が、内部鉄筋の腐食膨張により、面状にはがれているものであります。なお、この現象が鉄筋に沿って線状に、はくりしている場合を鉄筋露出とします。また、はくり付近にコンクリートの浮き等の劣化の有無を確認し、マーキングします。形状は最大値の縦×横の寸法をもって劣化面積とします。
鉄筋露出	鉄筋露出は、内部鉄筋が線状に露出しているものである。鉄筋露出している箇所付近では、コンクリートの浮き等の劣化の有無を確認し、マーキングする。鉄筋露出の形状は、長さの寸法をもって劣化範囲とします。
錆汁	錆汁は、コンクリート内部の鋼材が腐食し、茶色の析出物が発生するものです。その多くは、セパレータの腐食、コンクリート打設時に落下した鉄筋片の腐食、かぶり不足の鉄筋が腐食したために生じています。なお、錆汁付近ではコンクリートの浮き等の劣化の有無を確認し、マーキングします。錆汁は、発生源を劣化として計上します。
遊離石灰	遊離石灰は、コンクリート表面に白濁色の物質が線状に発生しているものがあります。コンクリート中のカルシウム塩の析出物あるいはアルカリシリカゲルによるケースがあります。遊離石灰は、ひび割れやコールドジョイントに沿って発生するケースが多く、当該箇所付近では、コンクリートの浮き等の劣化の有無を確認し、マーキングする。遊離石灰の発生源を劣化として計上します。
豆板	豆板は、コンクリート中のセメントペーストが十分に回りきらず、コンクリート表面に粗骨材が露出したものです。なお、豆板付近にコンクリートの浮き等の劣化の有無を確認し、マーキングします。豆板の形状は最大値の縦×横の寸法をもって劣化面積とします。
漏水	伸縮装置が劣化したことにより、路面水が桁端部へしみ出しているものである。目視により、漏水の範囲を確認し、マーキングします。

漏水の影響範囲

- (1)含有塩分量調査は、調査位置にて鉄筋探査を行い、鉄筋の位置およびかぶりを把握したのち、所定の深さのコンクリート粉末試料をハンマードリルにより採取することを基本とします。
- (2)採取した試料は、コンクリート中の全塩化物イオン濃度を分析することを基本とします。



【漏水の影響範囲調査（範囲の特定）】



【漏水の影響範囲調査（漏水境界付近）】

その他調査

1. はつり調査

- (1) はつり調査は、含有塩分量調査箇所付近で鉄筋が交差する箇所で行うことを原則とします。
- (2) はつり調査は、かぶりコンクリートをはつり取り、鉄筋を露出させ、鉄筋かぶり、径および腐食グレードを判断します。鉄筋の腐食グレードの判定は、表をもとにしてよいです。

腐食度	鋼材の状態
I	黒皮の状態、またはさびが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ありません。
II	部分的に浮きさびがあるが、小面積の斑点状です。
III	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮きさびが生じています。
IV	断面欠損が生じています。

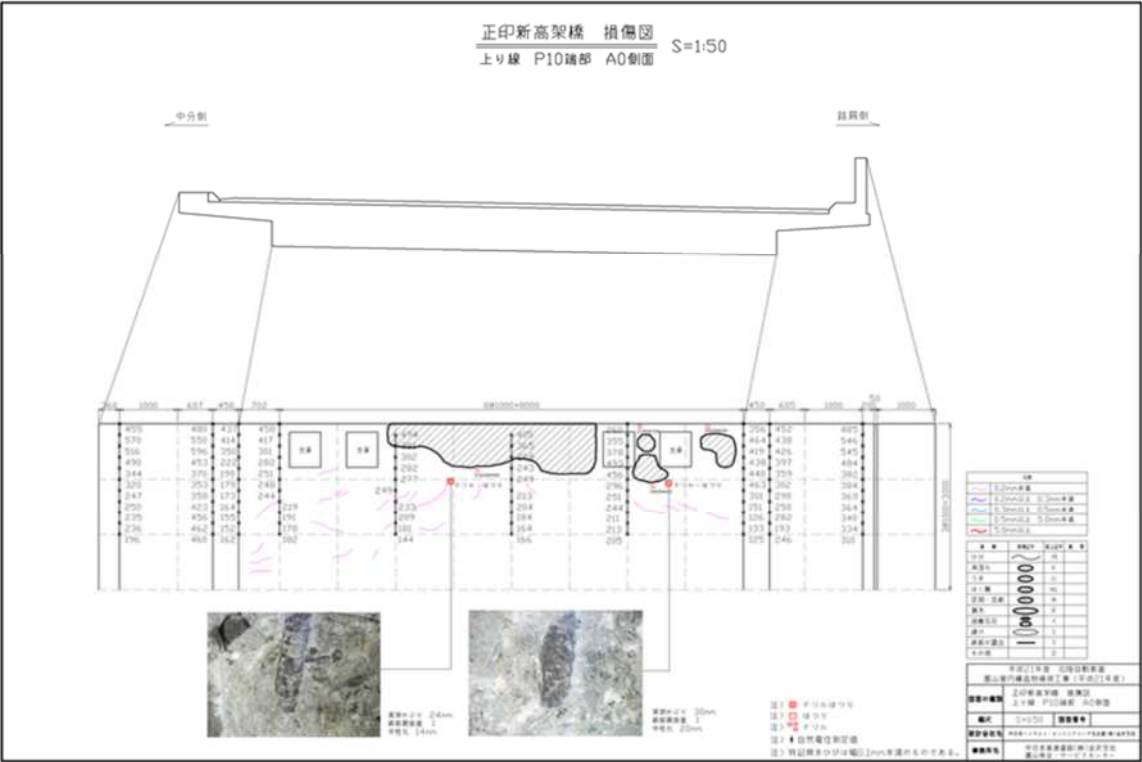
【腐食のグレードと鋼材の状態】

2.自然電位測定

内部鉄筋の腐食範囲を推定し、補修範囲を決定するために自然電位測定を行ないます。

3.表面塩分量調査

コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、携帯型蛍光X線分析装置で測定することを基本とします。



【詳細調査結果の取りまとめ】

劣化度の評価と判定

(1) RC中空床版端部の劣化グレードは、コンクリートの外観変状の有無、コンクリート中の塩化物イオン濃度と浸透深さ、鉄筋の腐食量、中性化深さにより評価します。

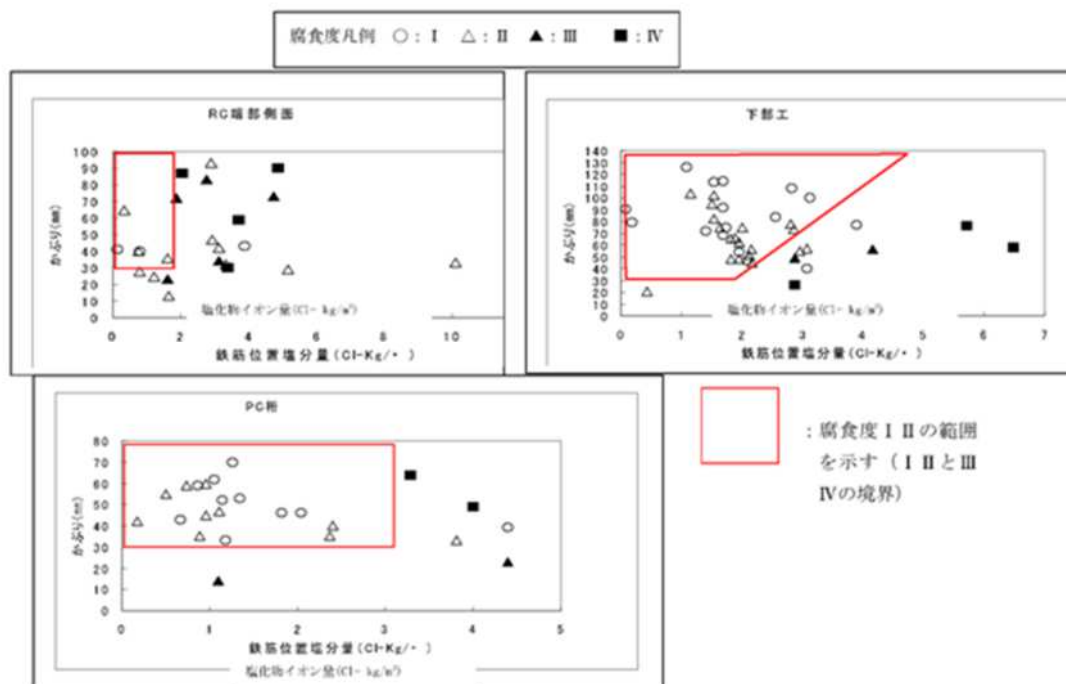
RC中空床版橋の版端部の塩害による劣化度は、劣化グレードに分類します。

(2) かぶり部分の塩化物イオンが拡散移動して、鉄筋位置付近に蓄積することで、塩害環境になる可能性があるかについて予測します。

劣化グレード	版端部に認められる劣化の程度
I	1) コンクリート表面に変色、ひび割れ等の異常が認められません。 2) 伸縮継手部からの漏水が認められません。 3) 鉄筋位置における塩化物イオン濃度は、 2.0kg/m^3 以下で、かぶり表面部分で留まっています。
II	1) コンクリート表面が部分的に変色しています。 2) 鉄筋位置における塩化物イオン濃度は、 2.0kg/m^3 以下で、かぶり表面部分で留まっています。
III	1) コンクリート表面が広範囲に変色し、ひび割れが認められます。 2) 鉄筋付近のコンクリート中の塩化物イオン濃度が 2.0kg/m^3 程度以上である、もしくは中性化残りが鉄筋表面より 25 mm 未満となっています。
IV	1) 部分的にかぶりコンクリートの剥落が認められ、その部位の鉄筋の腐食グレードが 3～4 となっています。 2) 鉄筋付近のコンクリート中の塩化物イオン濃度は、 2.0kg/m^3 以上であります。
V	広範囲にかぶりコンクリートの剥落が認められ、その部位の鉄筋の腐食による断面欠損が著しいです。

【R C 中空床版橋の版端部の塩害による劣化グレード】

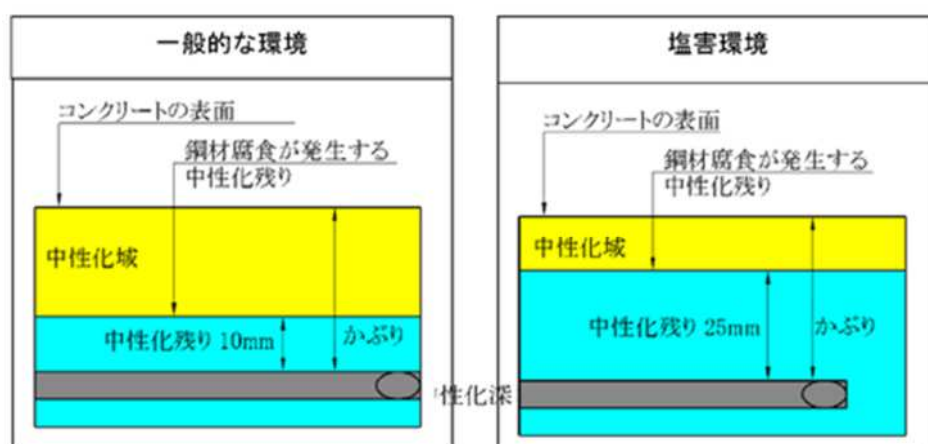
橋梁における鉄筋位置の塩化物イオン濃度、鉄筋かぶり、鉄筋腐食度の関係を調査した結果を示す。北陸道においても、かぶりの影響やコンクリート配合の種類により、腐食度の傾向が異なっていることが確認できます。R C 中空床版橋では、かぶりが小さいため、かぶり 20～30 mm 付近は比較的少ない塩化物イオン量の浸透で劣化が進行する傾向となっています。このため、土木学会「コンクリート標準示方書〔設計編〕」に準拠して塩化物イオン濃度 2.0kg/m^3 を鋼材の腐食発生限界塩化物イオン濃度としました。



【鉄筋位置塩分量とかぶりと鉄筋腐食度の関連(北陸道の事例)】

中性化深さの評価

中性化深さの評価基準に関しては、一般的な環境では、鋼材表面から 10mm 位置まで進行した位置を腐食発生限界値として判定し、塩害環境では、鋼材表面から 25mm 位置まで進行した位置を腐食発生限界値として判定します。

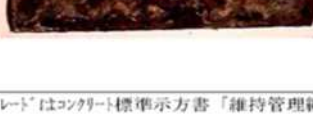


中性化深さの評価は、一般環境と塩害環境に分かれます。

ここでいう一般的な環境とは、飛来塩分や凍結防止剤の影響を受けない環境を示し、塩害環境とは、飛来塩分や凍結防止剤の影響を受ける環境を示します。

鉄筋の腐食のグレード

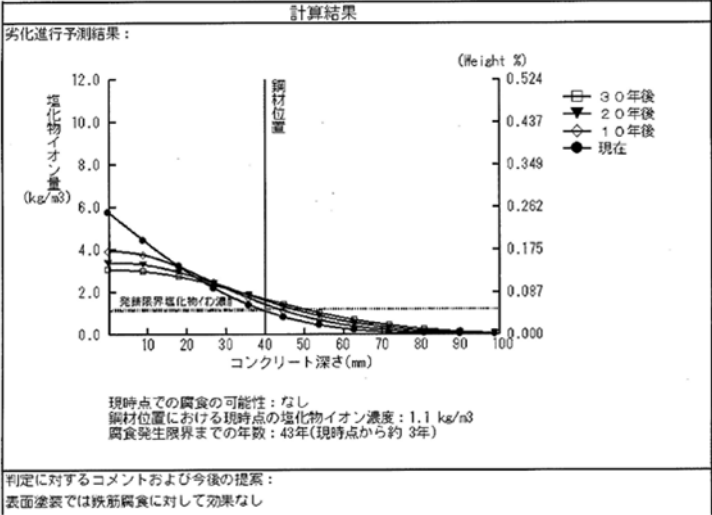
鉄筋の腐食のグレードを判断する際に重要な点は、腐食によって減少する鉄筋断面積の把握です。

腐食グレード	鉄筋の状態	写 真	備 考
1	黒皮の状態、または錆は生じているが全体的に薄い緻密な錆であり、コンクリート面に錆が付着していない状態。		
2	部分的に浮き錆があるが、小面積の斑点状である。		
3	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮き錆が生じている。		
4	断面欠損が生じている。		

参考資料：腐食グレードはコンクリート標準示方書「維持管理編」

【塩化物イオン拡散の推定】

表面塗装の限界



この事例では、10 年後には鉄筋位置における塩化物イオン濃度は腐食発生限界濃度を超える状況になるため、表面被覆工の対策は、適当でないと判断されるものです。

補修工法

1.補修工法の選定

- (1) 補修工法の選定は、事後保全と計画保全を合わせて実施します。
- (2) 補修工法は、高圧洗浄工、断面修復工、マクロセル腐食対策工を基本とします。
- (3) 補修工法の選定は、劣化グレードと塩化物イオン浸透予測に基づくものとします。
- (4) 補修に当たっては、防水システム（伸縮装置部の非排水化、高欄地覆部止水工）などの計画保全対策も合わせても実施します。

2.劣化グレードと補修工法の選定

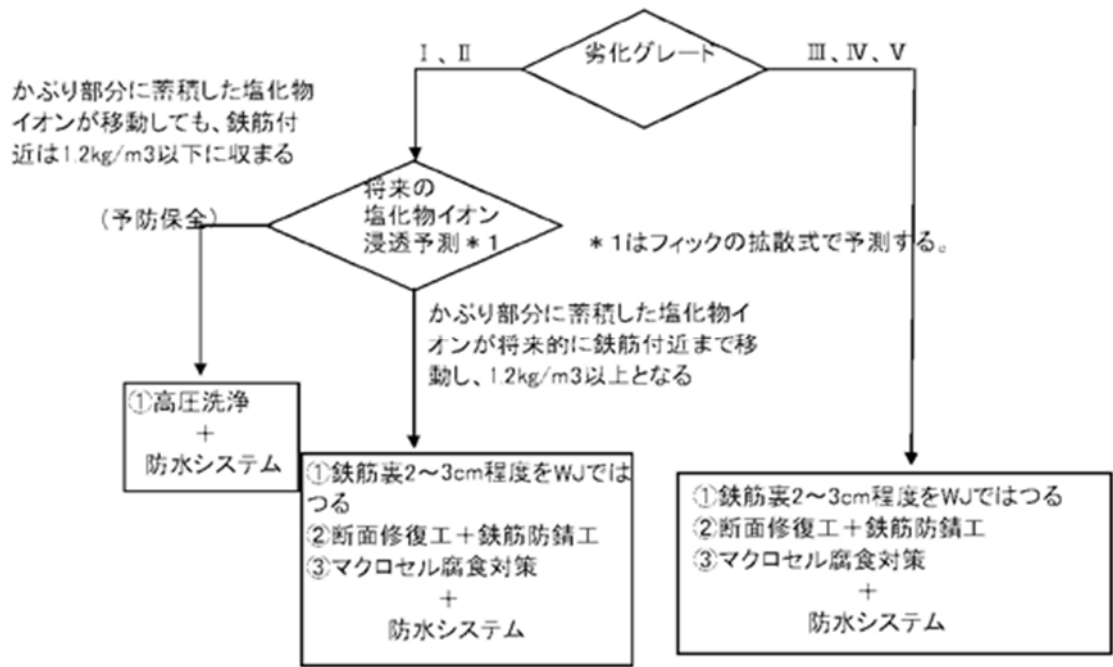
劣化グレード	劣化度グレードに対応する補修工法
I、II	1) 版端部に汚れが認められる場合は必要に応じ高圧洗浄等で汚れを除去する。 2) 塩化物イオンの拡散予測を実施し、将来塩害劣化が予想される場合は、鉄筋裏 2～3cm 程度除去し、断面修復を行う。
III	1) 劣化部コンクリートを鉄筋裏 2～3cm 程度除去し、断面修復を行う。鉄筋には防錆工を施す。 2) マクロセル腐食対策を施す
IV	
V	

3.補修工法の選定

補修工法の選定のフローを示します。鉄筋位置で塩化物イオンが腐食発生限界濃度に達していない劣化グレード I、II の場合は、塩化物イオン浸透予測を実施し、その結果に基づいて補修工法を選定します。

現状のコンクリート中の塩化物イオン浸透量が少なく、塩害による劣化が将来的に進行する可能性が無いと判断された場合は、表面に付着している塩分を除去し、計画保全としての防水

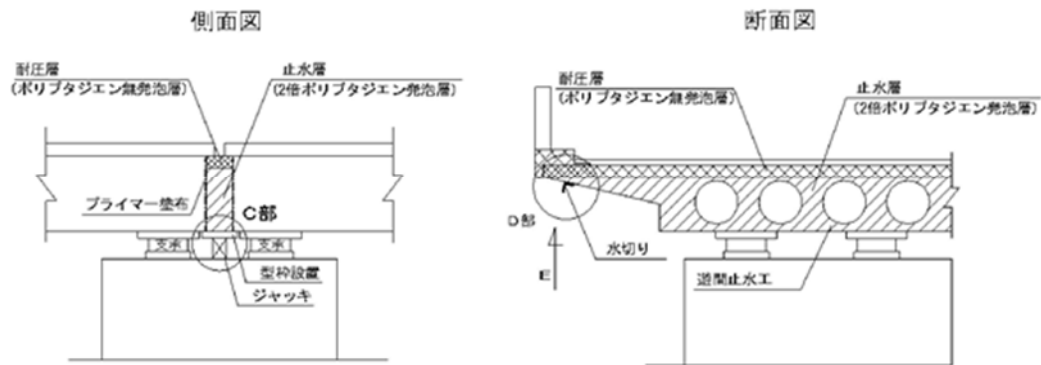
システム（劣化因子の遮断）による対策を実施することを基本とします。塩分の供給遮断対策が早期に実施できない場合には、表面被覆工での計画保全も考慮します。



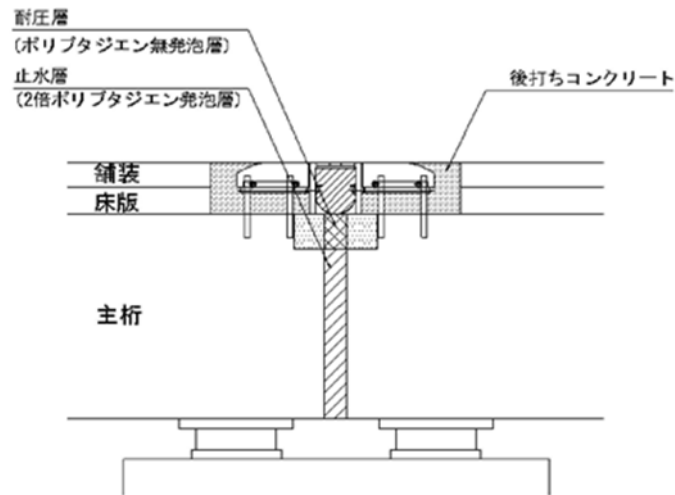
【RC 中空床版端部の補修工法選定の流れ】

コンクリート橋の補修工法の選定例

遊間部を柔軟な材料（ポリブタジエン）で充てんし、伸縮装置を改良する対策事例を示します。

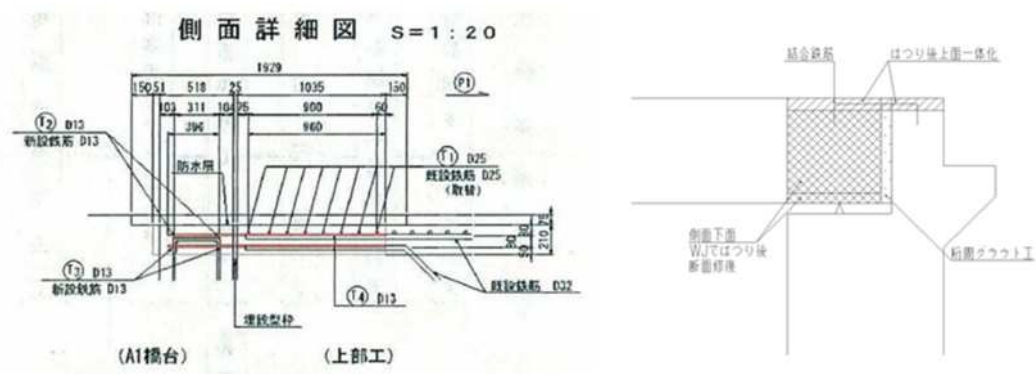


側面図



【遊間部を柔軟な材料で充てんする方法（第1案）】

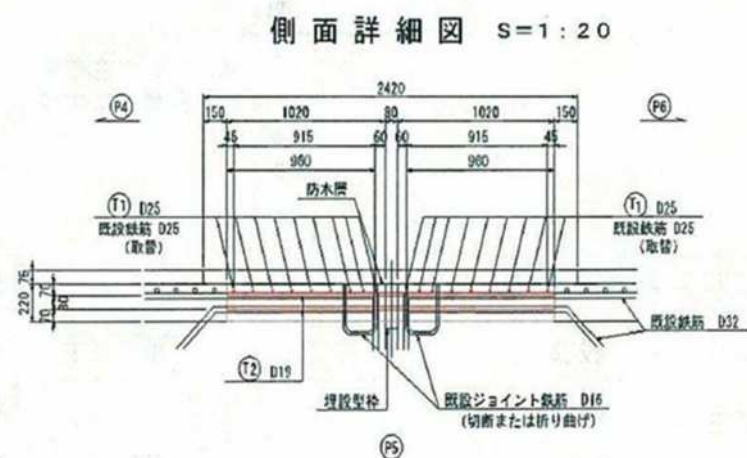
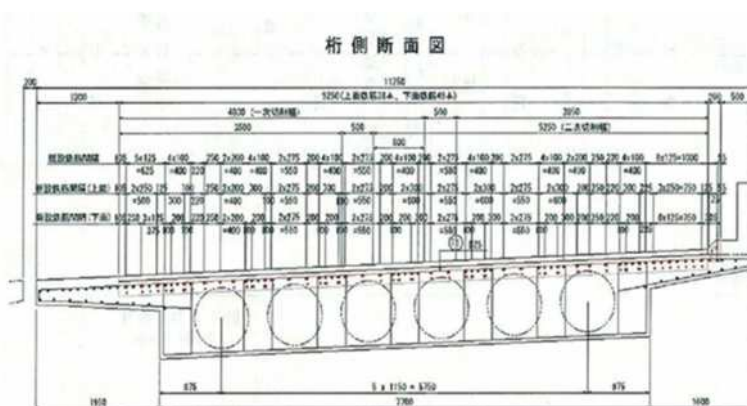
橋台パラペットと上床版を連結し、遊間部の充てん材料も無収縮モルタルを用いて防水する構造の改良案を示します。この改良は、桁の伸縮と回転を拘束する構造となるため、温度変化や活荷重による影響について、下部工やパラペットなどの安全性を照査する必要があります。



【上床版部と橋台パラペット部を接合する案（第2案）】

違い部の上部工の上床版連結構造案を示します。張出し床版部は部材厚さが薄いため、はつり深さの計画に注意を要します。また、構造系の変更に伴い、温度応力が増加することと、地震時慣性力の下部工分担率も変化する可能性があり、下部工の安全性を照査する必要があります。

写真 1.5.1.1 に伸縮装置改良工事の写真を示す。



1.桁端部の劣化度と補修対象優先度

(1)桁端部での劣化度は、損傷率で評価することを基本とします。桁端部の劣化度は、詳細点検業務で管理します。

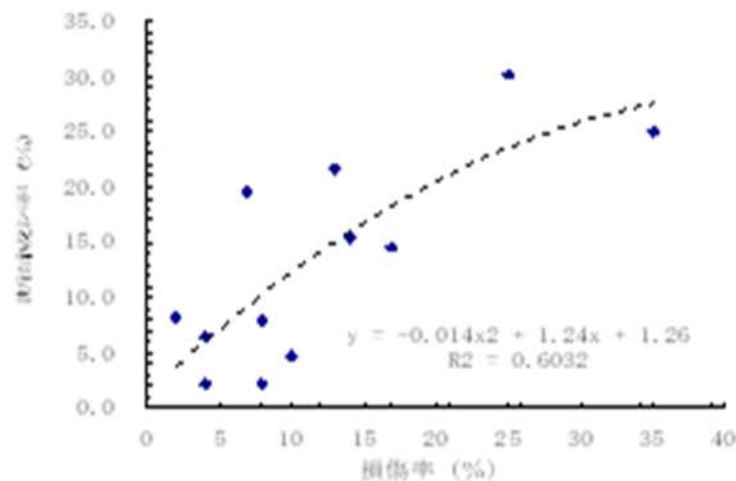
(2)損傷率が5%※を超えた場合、補修対象の目安とすることを基本とします。

※損傷率が増加するに従い、鉄筋の断面減少率が増加する傾向があります。なお、損傷率が10%を超えると断面減少率が大きくなります。塩害の腐食では孔食が発生し、耐荷力に影響します。このため、断面減少率が大きくなる前に補修が必要と考え、この目安を損傷率5%としました。

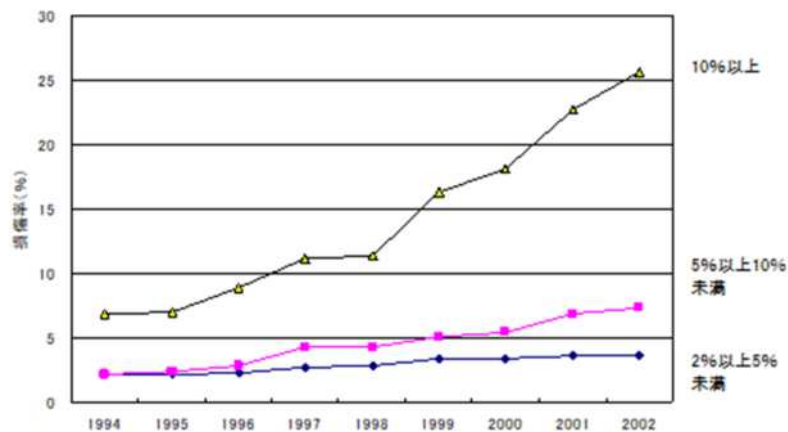
2.補修箇所の優先度の選定

(1)補修は、損傷率が高い桁端部から実施します。

(2)はく落対策を行う径間に桁端部の劣化が発生していた場合、損傷率に関係なく、はく落対策の優先度に従って補修することを基本とします。



【鉄筋の断面減少率と損傷率との関係】



【桁端部の損傷率の推移】

コンクリート橋の補修(断面修復工)

1.工法の概要

断面修復工は、塩害劣化を受けている部位のコンクリートを鉄筋の裏側まではつり、コンクリート断面を修復する工法です。

R C中空床版端部は、伸縮装置部からの凍結防止剤を含む漏水の影響で、コンクリート中に塩化物イオンが浸透し、鉄筋が腐食します。塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度の 1.2 kg / m^3 を超過して浸透している場合は、鉄筋周辺のコンクリートを除去し、断面修復することとした。版端部の断面修復工は側面と下面が対象部位であるため、横向きもしくは上向き施工となる。大～中規模な補修となる場合は、吹付け工法によることを基本とします。

なお、小規模な補修の場合は左官工法の適用を検討するとよいです。

2.仕様材料

断面修復に用いる材料を選定する際は、以下に示す品質・要求性能を満足する材料を選定しなければなりません。

- (1) 断面修復に用いる材料には、セメント系の材料を用いることを標準とします。
- (2) 薄層部の断面修復に用いる材料には、ポリマーセメントモルタルを用いることを標準とします。

(3) 断面修復に用いる材料には、必要に応じて繊維系材料を混入し、繊維補強コンクリートもしくはモルタルとして使用するとよいです。

(4) 断面修復に用いる材料には、以下に示す要求性能を満足する材料を選定するのが望ましいです。

① 力学的性能として、圧縮強度は既存コンクリートと同等以上であることです。また、断面を修復する性能として、付着強度は 1.5N/mm^2 以上であることです。

② ひび割れ抵抗性として、熱膨張係数が既設コンクリートの値の 2.0 倍以下であることです。

③ コンクリート構造物の劣化要因に対する抵抗性として、中性化、凍結融解、塩化物イオン浸入等に対して耐久性に優れることです。

④ 現場施工であるため、作業性がよいことです。

(5) 種々の特徴を有する特殊なコンクリートを使用する場合には、品質の確認されたコンクリートを用いなければなりません。

(6) 断面修復に用いる材料は、施工法を考慮して選定することです。

3.使用材料

(1) 既設コンクリートと同系統のセメント系材料を使用することを標準とします。

(2) 薄層部の断面修復で、コンクリート構造物内部への各種劣化因子の浸透速度を低減したい場合や特に高い打継目付着強度、ひび割れ追随性等が求められる部位の断面修復には、ポリマーセメントモルタルを用いることを標準とします。

(3) 断面修復材の引張強度や脆性の改善による耐久性向上を目的に、必要に応じて繊維系材料を混入し、繊維補強コンクリート(モルタル)として使用するとよいです。

(4) 断面修復工に使用する材料は、既設構造物と可能な限り近い性状の材料を用いるものとし、圧縮強度は同等以上の材料を用いることを基本としました。なお、静弾性係数（ヤング係数）については、材料により必ずしも同等以上を満足する必要はありません。これは、左官工法や吹付け工法では、弾性係数がコンクリートに比べ低いポリマーセメントモルタルを主に用いるためであります。この場合、構造物には設計・施工時の不確定要因に対してある程度安全

率を付与しているため、初期耐荷性能がある程度低下しても、断面修復材との一体性が確保できれば、要求される耐荷性能は満足していると考えてよいです。

断面修復工に要求される性能としては、特に新旧コンクリートの一体性確保が重要と考えられます。この観点から、付着強度が 1.5N/mm² 以上であることとしました。

一体性の確保としては、乾燥収縮や温度変化などに起因する有害なひび割れやはく離の発生を抑制する性能が重要であります。このため、線膨張係数なども既設コンクリートに近い性状の材料を使用することが望ましく、コンクリートの線膨張係数の 2 倍以下を目安に設定をします。

表 3-5-2 モルタル工の断面修復材の品質規格

試験項目	試験体の履歴条件	規格	試験方法
硬化時間*	—	断面修復材の固化時間は 1 時間以上であること	JIS 416
厚塗り性	—	断面修復材は、たれ、ずれ、はがれ、ふくれのないこと	
断面修復材材料の外観（塗装無し）	温冷繰り返し試験後	断面修復材は均一で、われ、はがれ、ふくれのないこと	
硬化収縮性	—	断面修復材の硬化収縮率は 0.05% 以下であること 硬化に伴う発熱により反りかえりがないこと	
熱膨張性	硬化収縮試験後	断面修復材の熱膨張係数は $2.0 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 以下であること	
コンクリートとの付着性	湿潤時	コンクリートと断面修復材との付着強度は、 $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であること	
	耐アルカリ性試験後		
	温冷繰り返し試験後		
圧縮強度	—	補修設計で定めた設計基準強度以上であること	

※ この項目については、施工条件等を勘案の上、必ずしも基準値を満足する必要がないものと判断される場合には、参考値として取り扱うことができるものとする

表 3-5-3 型枠コンクリート工の断面修復材の品質規格

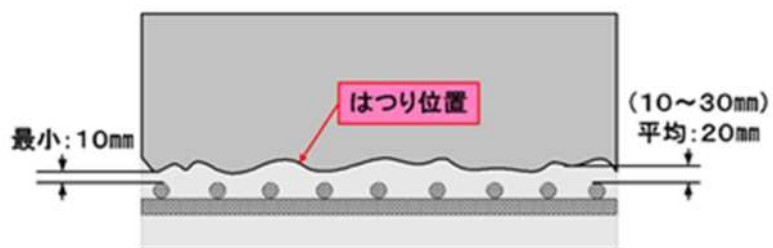
区分	試験項目	規格	試験方法
グラウトモルタル	流動性*	20～75 (s)	プレバックドコンクリートの注入モルタルの流動性試験方法 (P 漏斗による方法) (JSCE-F521-1999), 土木学会基準
	ブリーディング率	0.0～1.0 (%)	プレバックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率および膨張率試験方法 (ポリエチレン袋方法) (JSCE-F522-1999), 土木学会基準
	膨張率	0.0～5.0 (%)	
硬化コンクリート	圧縮強度	補修設計で定めた設計基準強度以上	プレバックドコンクリートの圧縮強度試験方法 (JSCE-G522-1999), 土木学会基準
	乾燥収縮性	5×10^{-4} 以下 (3 ヶ月)	JIS A 1129-1～3
	塗装材料との付着性	1.0N/mm ² 以上	JIS 416

※ この項目については、施工条件等を勘案の上、必ずしも基準値を満足する必要がないものと判断される場合には、参考値として取り扱うことができるものとする

コンクリート	特 徴	適 用
高流動コンクリート	充填性、流動性	狹隘部、過密配筋部
膨張コンクリート	収縮補填	ひび割れ低減
超速硬コンクリート	初期強度発現性、凝結	供用中の施工（吹付けを含む） 施工後短時間での供用

【断面修復工に有効な特殊コンクリートと使用の目的】

鉄筋の背面まで骨材が回りこむことが可能な空間を確保します。



【鉄筋裏平均 20mm はつり概要図】

実績が多いマクロセル腐食対策は、「犠牲陽極を設置する方法」です。

犠牲陽極材による延命化



犠牲陽極材の設置状況

コンクリート構造物の断面修復は、以下の理由から種々の性能を有する特殊なコンクリートを使用することが有効な場合も多いです。

- ・狭隘な場所での施工や過密配筋部での施工が要求されること。
- ・供用中の施工や打込後短時間で供用することが求められること。
- ・逆打ち等の特殊な打設が必要となること。
- ・環境条件も様々であること。

断面修復工に使用される可能性の高い特殊コンクリートとしては、表 5.6.1 のようなコンクリートを挙げることが出来ます。実際の採用にあたっては、施工部の状況とコンクリートの特徴を十分に理解し、目的に合致したコンクリートを選定しなければなりません。

コンクリート	特 徴	適 用
高流動コンクリート	充填性、流動性	狭隘部、過密配筋部
膨張コンクリート	収縮補填	ひび割れ低減
超速硬コンクリート	初期強度発現性、凝結	供用中の施工（吹付けを含む） 施工後短時間での供用

【断面修復工に有効な特殊コンクリートと使用の目的】

各断面修復工法の特徴

1.吹付け工法

乾式吹付け工法の主たる使用材料は、超速硬セメント、繊維（スチールファイバー、ビニロンファイバー）、ポリマー、砂、水が一般的です。

湿式吹付け工法の主たる使用材料は、プレミックスされたポリマーセメントモルタル（SBR系、アクリル系など）と繊維（ビニロンファイバー、ポリエチレンファイバー、炭素ファイバー、アクリルファイバー、スチールファイバーなど）に水を加えて使用されるのが一般的です。

2.打込み工法

打込み工法には、大別してコンクリート打設による方法とモルタル注入工法があり、前者は修復断面厚が大きい場合（厚さ 100mm 程度以上）に、後者は 50mm 程度の厚さに適用されます。使用する材料は、自己充填可能な高流動で、収縮が小さいコンクリートや無収縮モルタルが使用されます。

また、付着性能を高めるため、プライマーを塗布する方法もあるが、施工に当たっては、可使時間は厳守する必要があります。

3.左官工法

左官工法は小断面の断面修復のみ適用される工法であり、使用される材料は、繊維混入のポリマーセメントモルタルが一般的であります。

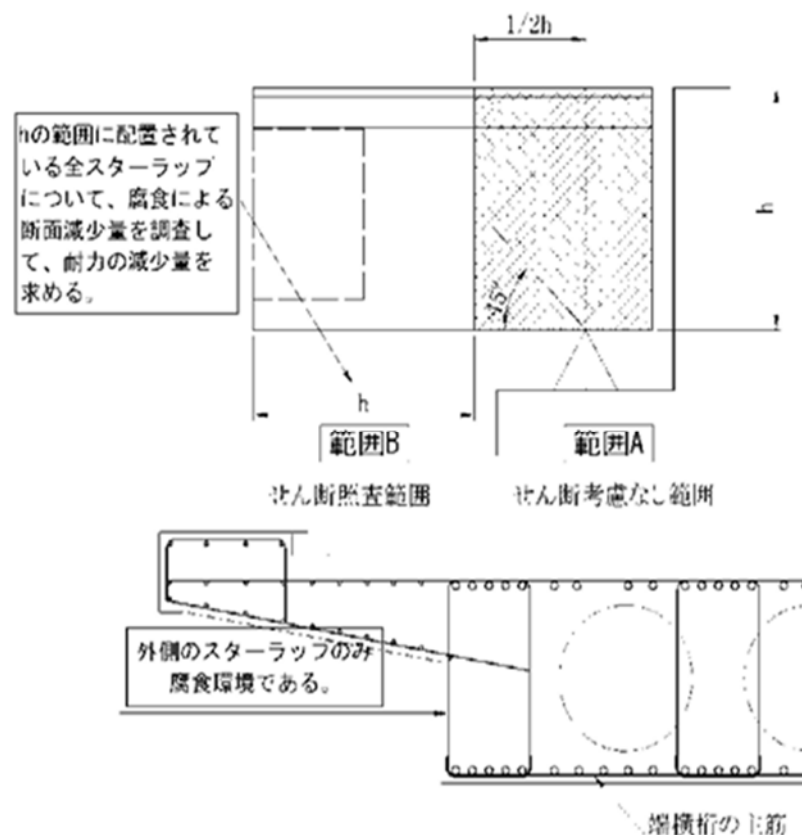
設計計画一般(設計照査)

1.主版の照査

せん断耐力に関する検討

R C中空床版の主版の端部では、側面のスターラップが腐食して断面減少した場合、せん断耐力が低下します。せん断耐力については、劣化の範囲が、支承位置から版高さの $1/2$ の範囲 A 以内であれば、せん断耐力は問題にはならないため照査は不要である。因みに、範囲 A は、約 0.8～1 m 程度です。

範囲 B まで劣化が進行している場合は、せん断耐力の照査が必要となります。しかしながら、通常、腐食するスターラップは主版の両外側のみであり、内側に配置されたスターラップは健全と考えることができます。外側鉄筋の断面減少に伴うせん断耐力の低下の影響は小さいことから、この範囲 B でも応力照査は省略してよいこととしました。なお、範囲 B にせん断ひび割れが発生している場合には、発生の原因等を含め別途検討する必要があります。



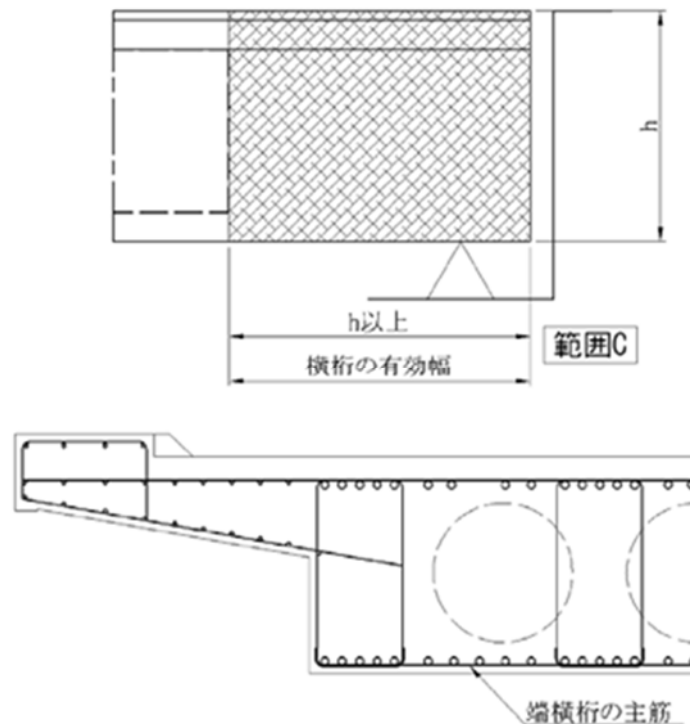
設計計画一般(曲げ耐力に関する検討)

主版端部は、曲げモーメントが小さい部位であり、曲げ耐荷安全性が問題となることはないため、応力照査は省略することができます。但し、主版下面の劣化範囲が支間部まで広がっているような場合には、はつり施工時に、耐荷性能が低下するとともに、剛性も低下し、たわみが増大する可能性があります。このため、はつり範囲が決定した時点で、既設主鉄筋の継手位置と継手方法（一般に、鉄筋継手構造は、ガス圧接と重ね継手になっている）を確認し、重ね継手位置もしくは近傍に、はつり範囲が及ぶ場合には、重ね継手の主鉄筋は考慮しないで応力照査を実施する必要があります。

1.端横桁の照査

端横桁の下面のかぶりが剥離している状態やはつり施工時に鉄筋が露出する状態は、保有耐荷性能が低下しています。RC中空床版の端横桁の設計上の有効幅は、充実断面の範囲Cであり、1.3～1.5m程度であります。劣化した横桁の保有耐荷性能を評価するには、有効幅範囲に配置されている鉄筋の減少量を調査するのが望ましいです。しかしながら、横桁下面（横桁

下面)の鉄筋断面減少量を調査することは、狭隘部であるため不可能です。このため、保有耐力を評価することはできないのが実状です。



【RC中空床版端部の端横桁曲げ照査の有効幅】

2.適用する補修工法

桁端部の補修工法は、含浸材塗布工法、含浸材塗布断面修復工法、防錆剤混入断面修復工法、複合防食工法、電気防食工法および脱塩工法により実施します。それぞれの工法の適用範囲は、次のとおりとします。

(1) 含浸材塗布工法：塩分の影響を範囲の計画保全に適用します。

(2) 防錆剤混入断面修復工法：

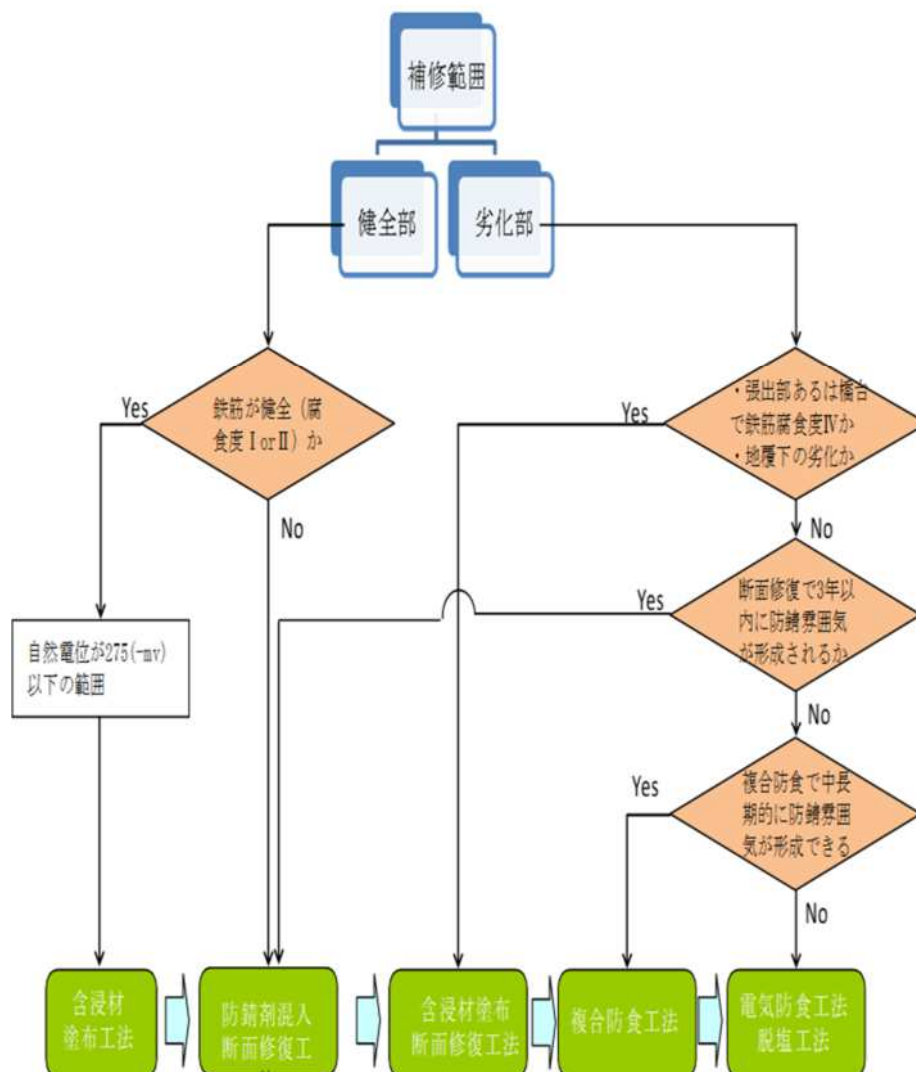
1) 健全部：鉄筋のかぶり迄の断面修復厚さで、鉄筋位置の塩分量が鋼材発錆塩分量に達する前に防錆剤による防錆雰囲気 が 3 年以内に形成できる箇所の計画保全に適用します。

2) 劣化部：第 2 鉄筋の腐食度がⅢ程度であり、第 2 鉄筋表面部までの断面修復厚とし、第 2 鉄筋背面での防錆雰囲気が 3 年以内に形成できる箇所に適用します。

(3) 複合防食工法：犠牲陽極材と防錆剤を複合させ長期にわたり防錆効果を発現させる工法で、防錆剤混入断面修復工法による防錆雰囲気形成が3年以内に期待できない箇所に適用します。

(4) 含浸材塗布断面修復工法：耐荷力に影響を及ぼさない小規模での補修箇所に適用します。

(5) 電気防食工法および脱塩工法：浸透塩分量が多く複合防食工法を適用しても防錆雰囲気形成が中長期にわたり発現できない箇所に適用、あるいは経済比較により適用を検討します。

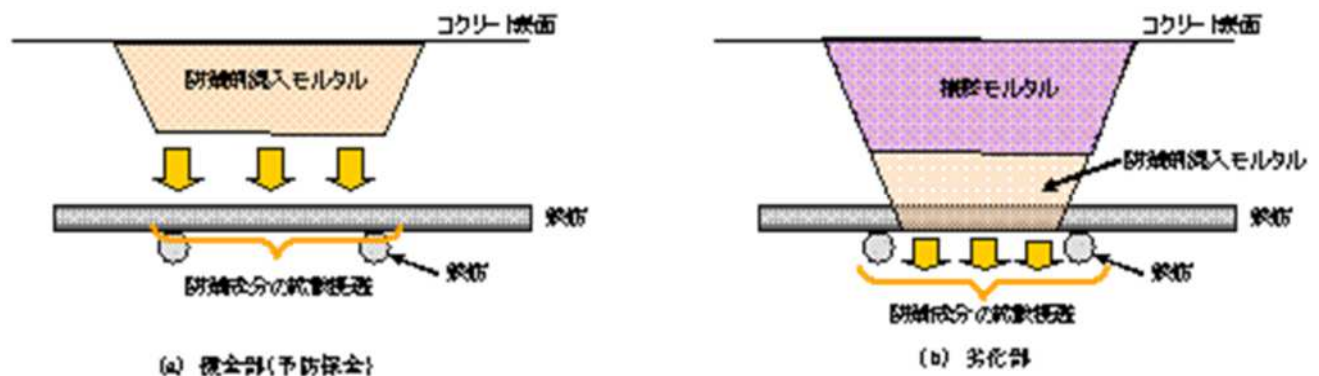


1.含浸材塗布工法

含浸材塗布工法は、塩分の影響範囲で含浸材を塗布し、新たな塩分浸透および鉄筋腐食を抑制する計画保全として使用します。

2.防錆剤混入断面修復工法

健全部の計画保全（腐食度がⅠ～Ⅱ）に防錆剤混入断面修復工法を用いる場合は、高濃度（亜硝酸リチウム原液換算混入量 55kg/m³）の防錆剤混入した補修モルタルを用いてコンクリート表面部を第1鉄筋表面までの厚さで断面修復する工法をいいます。劣化部に用いる場合は、第1鉄筋背面迄の厚さで断面修復を行います。断面修復材中の防錆剤が濃度差によりコンクリート中に浸透し、亜硝酸イオンが鉄筋付近で塩化物イオンとのモル比(NO₂⁻/Cl⁻)が0.8程度になると防錆雰囲気形成されます。桁端部以外の劣化した部位でも、第2鉄筋の鉄筋腐食度がⅢの場合で、3年以内に防錆雰囲気が形成できる場合にも適用されます。



【防錆剤混入断面修復工法の概要】

3.複合防食工法 2)【特許第 40919535 号、特許第 4320040 号】

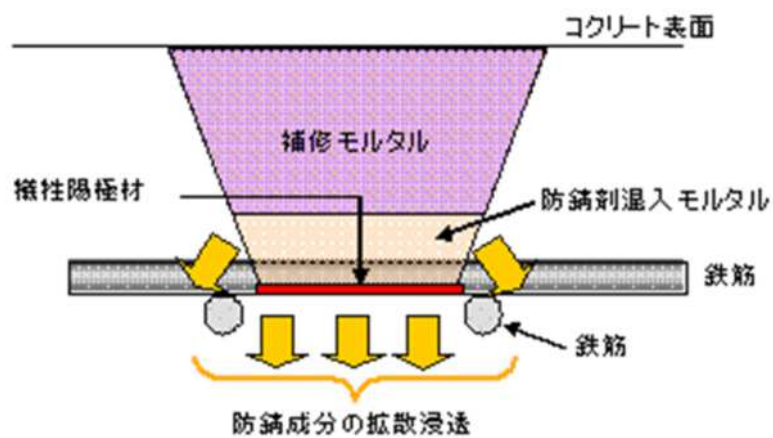
複合防食工法は、亜鉛線を設置し高濃度の防錆剤混入の断面修復材により、中期的には「犠牲陽極材（亜鉛線）による防錆効果」、「長期的には防錆剤による防錆雰囲気形成」により、鉄筋防錆を行うものです。（解説図 5.7.3 参照）複合防食工法の特徴は次のとおりです。

- 1) 加速期のグレードにある部材の断面修復が最小限にできます。
- 2) 再損傷発生リスクを大幅に低減でき、更新費や LCC を小さくできます。

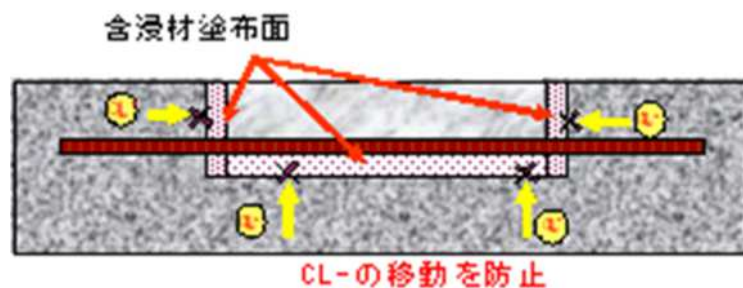
- 3) 従来工法との組み合わせが可能で、特殊な技術を必要としません。
- 4) はく落防止対策と併用できます。（電気防食工法では併用できません。）

4.含浸材塗布断面修復工法 [特開 2008-45290]

含浸材塗布断面修復工法は、防錆剤混入断面修復工法が適用できない箇所において、はつり完了面にて含浸材を塗布し、マクロセル腐食を抑制する方法をいいます。（解説図 5.7.4）本工法は、桁端部以外の部位で第2鉄筋背面の鉄筋腐で s y。



【複合防食工法の概要】



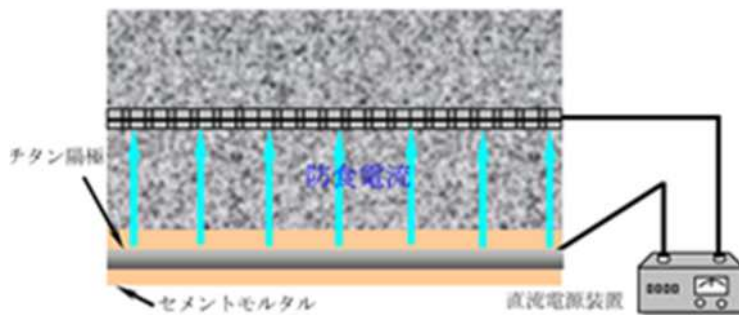
【含浸材塗布断面修復工法】

5.電気防食工法および脱塩工法

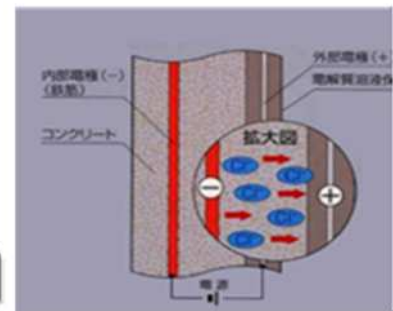
コンクリート内部に塩分が浸透した劣化期のグレードにある塩害劣化部位の従来の補修工法としては、鉄筋背面までの断面修復工法、電気防食工法および脱塩工法が考えられます。鉄筋が輻輳して配置されている桁端部等では、塩分量低減と防錆剤の到達速度を上げるために、は

つり深さが深くなる傾向になります。マクロセル腐食防止の観点から、断面修復工法の適用は難しいとされ、電気防食工法による試験施工を実施した経緯があります。しかし、水の影響を受ける箇所では断面修復箇所で再劣化が発生していることや層間はく離を起こしている箇所があります。外部電源を必要とする場合、設備費等の固定費用が嵩み、桁端部等の小規模面積での適用は経済的に不利です。

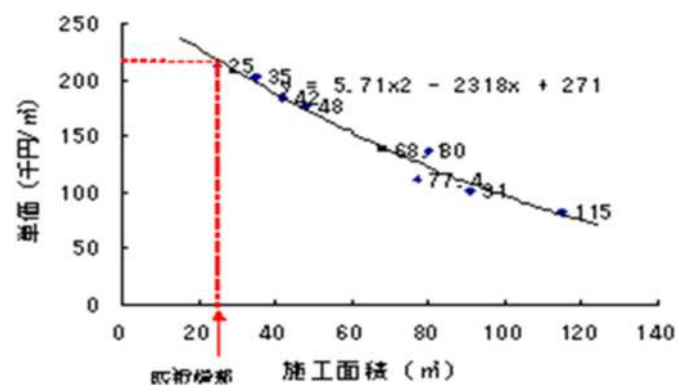
一方、脱塩工法も設備費等の固定費用が嵩み、桁端部等の小規模面積での適用は経済的に不利です。また、鉄筋以深に浸透した塩化物イオンを十分に除去できないケースが多いです。このことより、電気防食工法の適用範囲を「複合防食工法による防錆雰囲気形成が長期にわたり期待できない箇所」に限定し、脱塩工法は塩化物イオンの浸透状況や下部工の補修規模との関係から、適用を検討することとします。



【電気防食工法】



【脱塩工】



【脱塩工法の単価と施工規模との関係】

劣化部位における補修工法

部位		スターラップ 有:○無:×	第2鉄筋背面 の腐食グレード	補修 深さ ^{※1}	はつり作業		補修工法の基本方針 ^{※3}
					人力	WJ	
RC 中空 床版	桁端	○	-	A	-	全て	防錆剤混入断面修復工法または 複合防食工法
	張出	×	III	A	かぶり	残	防錆剤混入断面修復工法または 複合防食工法
			IV	B	全て		含浸材塗布断面修復工法
	地覆下	×	-	B	全て		含浸材塗布断面修復工法
PC 桁	桁端	○	-	A	-	全て	防錆剤混入断面修復工法または 複合防食工法
	張出	×	III	A	かぶり	残	複合防食工法または防錆剤混 入断面修復工法
			IV	B	全て		含浸材塗布断面修復工法
	地覆下	×	-	B	全て		含浸材塗布断面修復工法
橋台	逆T	×	III	A	かぶり	残	防錆剤混入断面修復工法または 複合防食工法
			IV	B	かぶり	残	含浸材塗布断面修復工法
	扶壁・ 箱・ラーメン	×	III	A	かぶり	残	防錆剤混入断面修復工法または 複合防食工法
			IV	B	かぶり	残	含浸材塗布断面修復工法
橋脚	柱	○	III	A	かぶり	残	防錆剤混入断面修復工法 ²
			IV	B	かぶり	残	または 複合防食工法
	梁部	○	III	A	かぶり	残	防錆剤混入断面修復工法 ^{※2}
			IV	B	かぶり	残	または 複合防食工法

※1 A:第1鉄筋背面 B:第2鉄筋背面

※2 補修面積が 0.5m² 未満の場合、含浸材塗布断面修復工法としてもよいです。

※3 複合防食工法が適用できない場合、電気防食工法や脱塩工法の適用を検討します。

劣化部における補修工法

1.RC 中空床版について

桁端部（下面および側面）で橋軸方向や橋軸直角方向の太径鉄筋やスターラップが輻輳して配置されています。この部材で、はつり深さが深くなることは構造物の耐荷力に大きな影響を与えることから、防錆剤を用いた工法（複合防食工法または防錆剤混入断面修復工法）の採用を標準とします。また、張出部および地覆下面では、スターラップ配置がなく耐荷力に与える影響が小さいことから第2鉄筋の腐食度がIVの場合には含浸材塗布断面修復工法を適用します。

2. PC 桁・PC ホロー・PC 箱桁について

PC 構造では有効プレストレスの低下を最小限に抑えるため、はつり深さを小さくできる防錆剤を用いた工法を採用することを標準とします。また、張出部および地覆下面では、耐荷力に与える影響が小さいことから第2鉄筋の腐食度がIVの場合には含浸材塗布断面修復工法を取り入れます。

3.橋台について

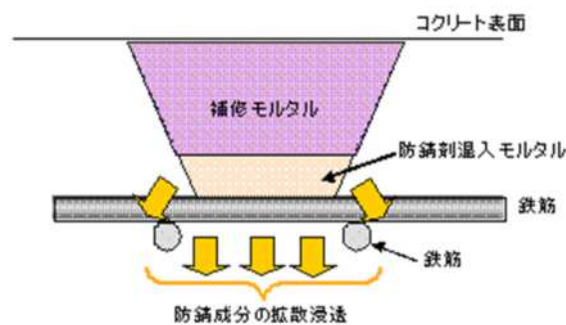
橋台は、はつり作業が耐荷力に与える影響は小さいです。しかし、劣化範囲が大きくなると含浸材塗布断面修復工法はコストが高くなる傾向にあります。小規模の補修での適用であるならば含浸材塗布断面修復工法と防錆剤を用いた工法との単価差はあまりないことやスターラップが配置されていないことから、防錆剤混入モルタルの使用による施工工程の煩雑さを省くために含浸材塗布断面修復工法を取り入れます。

4.橋脚について

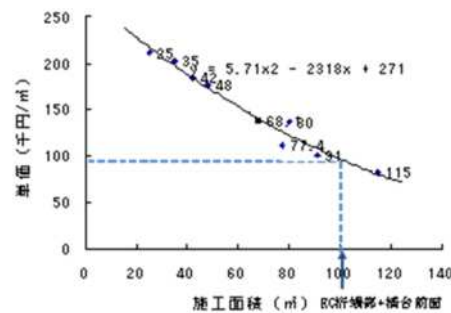
橋脚では、スターラップが配置されており劣化範囲が広がると耐荷力に影響を与えることから、防錆剤を用いた工法を標準とします。なお、小規模の場合は、含浸材塗布断面修復工法を取り入れることとします。梁を有する場合、支承付近等で耐荷力に与える影響が大きい場合は、防錆剤を用いた工法やベント等による補強を加えることとします。

劣化部以外の塩化物イオンの影響範囲で補修工法

- (1) 塩化物イオンの浸透が認められるが、はつり調査により鉄筋腐食が進行していない場合（鉄筋腐食度ⅠあるいはⅡ）は、含浸材を塗布し外部からの塩分供給を抑制して内部鋼材の腐食進行を遅らせる処置を行うこととします。
- (2) はつり調査により鉄筋腐食が進行していた場合（鉄筋腐食度Ⅲ）は、経済的な防錆剤断面修復工法を採用します。（解説図 5.7.8 参照）はつり深さは、防錆剤の拡散性状等を考慮し、経済的な補修設計を行うものとします。
- (3) 脱塩工法では固定的な設備が必要であることから、補修対象面積が小さい場合、費用が高くなる傾向があります。しかし、下部工と併せて塩化物イオンの影響範囲が広がった場合、断面修復工に要する面積との関係から脱塩工法が経済的となるケースがあります。概ね下部工と併せて塩化物イオンの影響範囲が 100 m²を超える場合は脱塩工法の検討を行うこととします。



【防錆剤断面修復工法】



【防錆剤断面修復工法と脱塩工法との経済比較例】

桁端部と橋台前面（100 m²）に脱塩工法を採用した場合の損傷率と補修費の関係を示しています。

補修範囲

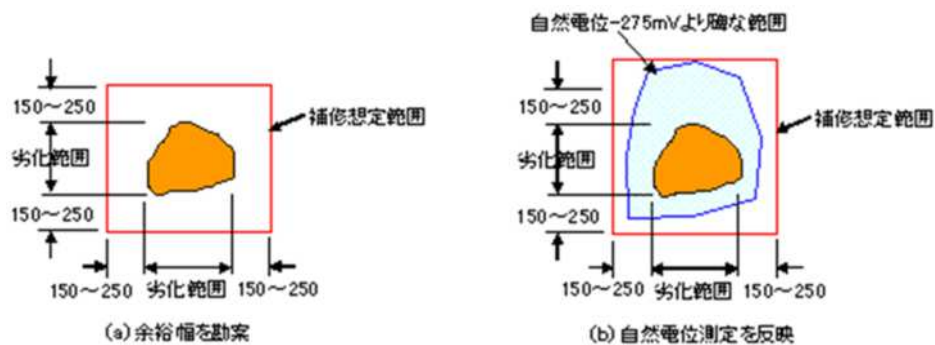
- (1) 劣化部は、外観調査より得られた場合の浮きの範囲の余裕を持った範囲と自然電位-275mVで決まる範囲の大きい方を補修範囲とします。
- (2) 劣化部のはつり取り深さは、下記を基本とします。

劣化部の面積	余裕幅(mm)
0.5 m ² 未満	150
0.5 m ² 以上	250

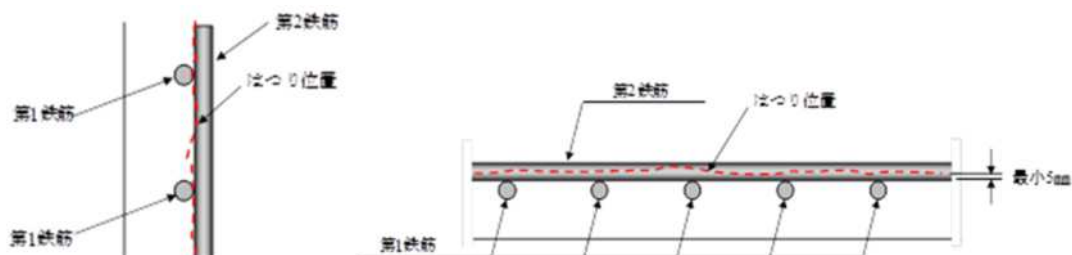
【劣化部におけるはつり範囲の余裕幅】

補修工法	複合防食工法 防錆剤混入断面修復工法 電気防食工法 脱塩工法		含浸剤塗布断面修復工法
はつり深さ	水平面(下面)	鉄筋背面から最小 5 mm	第 2 鉄筋背面から 最小 10 mm
	垂直面(側面)	鉄筋背面から最小 0 mm	

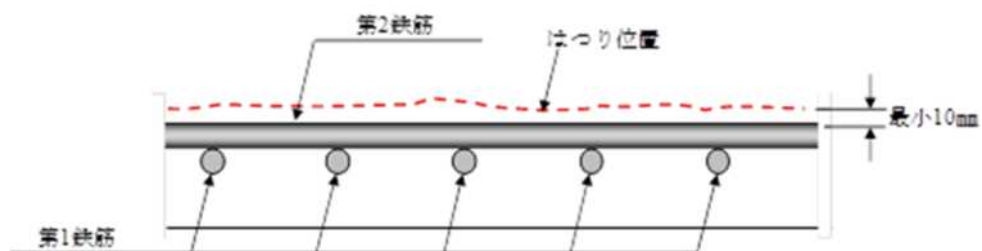
【劣化部におけるはつり取り深さ】



【劣化部における補修範囲】



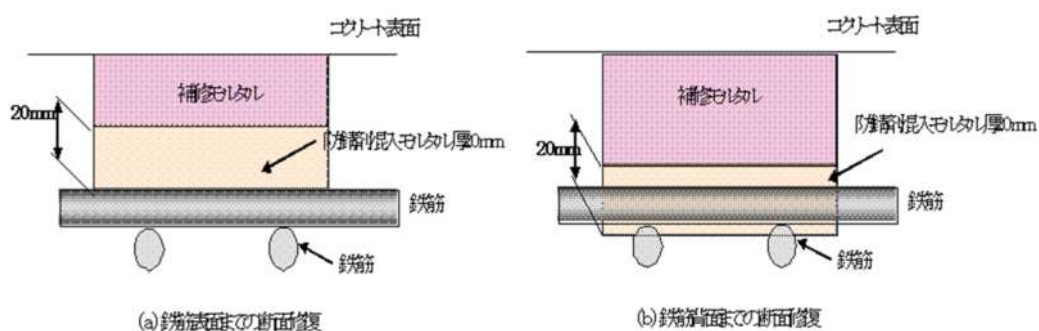
【複合防食工法および防錆剤混入断面修復工法におけるはつり深さの概要】



【含浸剤塗布断面修復工法におけるはつり深さの概要】

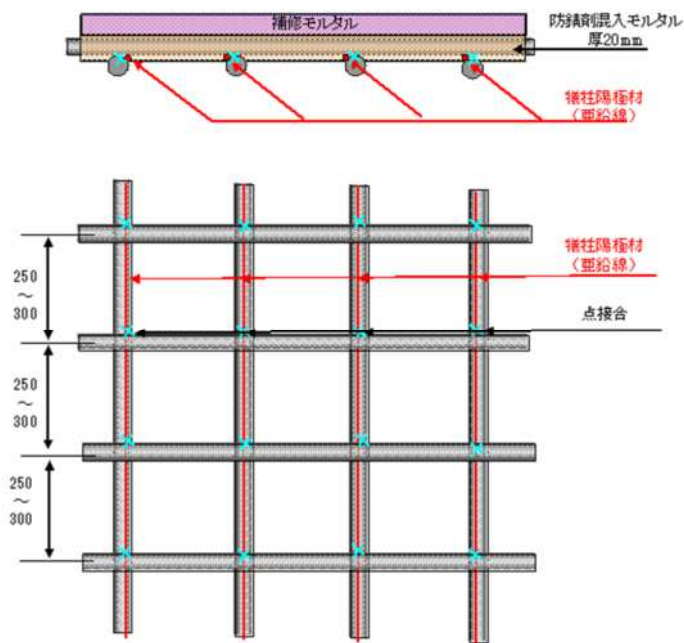
断面修復構造

防錆剤混入断面修復工法および複合防食工法に用いる防錆剤混入モルタルによる断面修復厚さは、20mm 厚を標準とします。この厚さは、断面修復時に鉄筋を概ね被覆できる厚さになるよう決めています。



【防錆剤混入断面修復工法の断面修復構造】

犠牲陽極材である亜鉛線は、はつり取り完了後、第2鉄筋表面に沿って配置することを基本とします。配置された犠牲陽極材は、塩害環境下にある第2鉄筋を、補修直後から防錆剤による防錆効果が発現するまでの間、防食機能を維持させるものです。



【犠牲陽極材の配置】

安全性照査

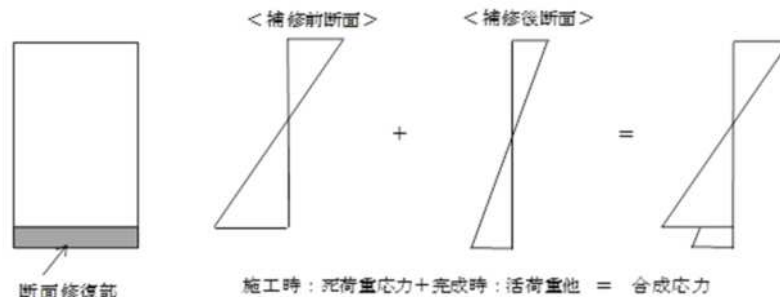
(1) 断面修復を広範囲に主鉄筋背面まで実施する場合は、応力照査を行うことを基本とします。

鉄筋をはつり出す場合、鉄筋とコンクリートが一体となって機能する性能が損なわれることとなるため安全を考慮して、この鉄筋は応力計算には考慮しないことを基本とします。また、応力照査でも考慮する鉄筋の腐食断面積が調査で明らかになっている場合には、鉄筋の断面を減じた有効断面で応力照査することが望ましいです。しかし、一般的には鉄筋の腐食量の調査は数本であり、有効断面を決定するために精度を有していないのが実状です。したがって、腐食による断面減少が存在する箇所は、施工時に鉄筋を補充することを基本とし、腐食による鉄筋の減少量は考慮しなくてもよいものとします。

支保工設置により、死荷重と活荷重を支持し、応力の発生を抑える工法を採用した場合に、応力照査を省略することができます。

完成時の応力度照査にあたっては、死荷重は、はつり後の断面（補修前断面）のみで抵抗し、修復後（補修後断面）に作用する活荷重や後死荷重等を考慮して応力度照査を実施すま

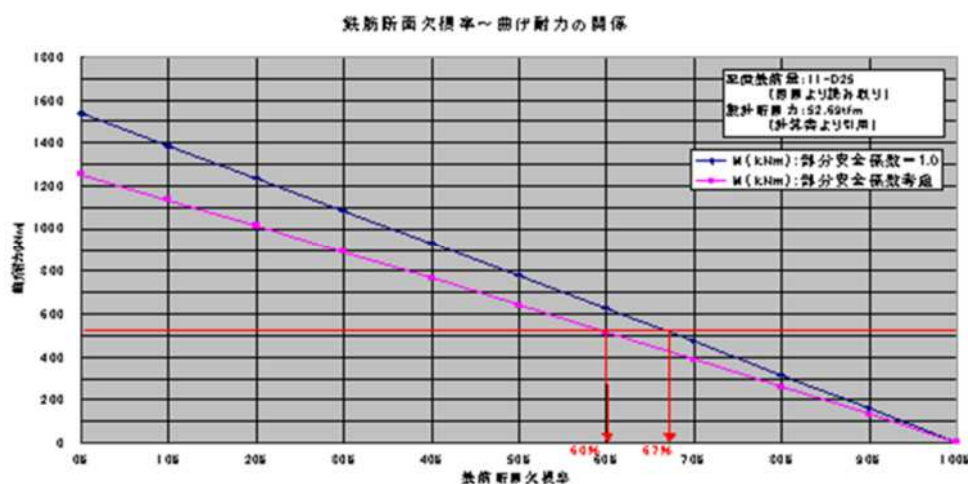
す。完成時の応力度照査は、応力の組み合わせで実施するものとします。なお、応力度照査は、許容応力度法によるものとします。



【完成時の応力度照査の概念図】

(2)鉄筋断面減少が20%程度を越える鉄筋について、断面減少量に見合う鉄筋を用いて補強することを基本とします。

RC 中空床版橋桁端部での橋軸直角方向の鉄筋断面減少率に伴う曲げ耐力の検討を土木学会「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」に従い実施した結果を示します。図より、鉄筋断面減少率が60%になると曲げ耐力が設計荷重を下回ることになります。桁端部での鉄筋断面減少は、部分的であることより20%程度を越えて断面減少がある鉄筋を対象に、断面減少量に見合う鉄筋径(SD295 相当以上)を用いて補強を実施します。



【桁端部での橋軸直角方向の鉄筋断面減少率に伴う曲げ耐力の検討】