

塩害対策区分Sの具体的対策例

コンクリート橋小委員会

道路橋の塩害対策は、海岸線付近のコンクリート構造物の塩害による早期劣化が問題となり、昭和59年に「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」が暫定指針として初めて示された。その後、国内外で塩害に関する多くの研究が実施され新たな知見やデータが蓄積されたこと、耐久性上の目標年数を100年と想定したことなどから、従来の「塩害対策指針(案)」の規定を拡大強化して、道路橋示方書・同解説の「コンクリート橋編および下部構造編のみなし仕様として規定している。ここで、「塩害対策指針(案)」では、主としてかぶりの増加を塩害対策として規定していた。しかしながら、近年蓄積された実験データによれば、海岸線近傍で耐久性上の目標年数100年を確保するには非常に大きなかぶりが必要になることから、「道路橋示方書」では、対策区分Sを新たに設け、かぶりに加えて他の対策を併用することとしている。本Q&Aは、この対策区分Sにおける具体的な対策例を示すものである。

なお、塩害対策については、現時点で研究途上の事項が多く残されている。したがって、本Q&Aは、あくまで現時点における知見や実験データ等に基づいて示した一例であり、その他の塩害に対する耐久性を確保できる対策方法や材料の適用を制限するものではないことに留意されたい。

Q1：対策区分Sにおいて、かぶりに加えて併用する対策を選定する場合の留意点を教えてください。

A1：対策区分Sにおいて併用する対策は、対策の耐久性や信頼性、施工性、経済性等を考慮して対応案を選定するのが望ましい。

プレストレストコンクリート橋に対する対策区分Sの併用例を、表-1に示す。ここで、プレテンション方式では、鉄筋に比べて腐食に対して敏感なPC鋼材が直接かぶりコンクリートに接していることから、併用する対策の点検や補修が容易なコンクリート表面塗装による対策としている。一方、ポストテンション方式では、PC鋼材に対しては断面内の全てのシースをプラスチック製シースとするのがよい。なお、塗装鉄筋を併用する場合は、一般に主げたの断面形状によらず断面内の全ての鉄筋を塗装鉄筋とするが、設計上の目標年数に対して鋼材腐食発生限界に達しないことを照査した場合は、その領域を非塗装鉄筋としてもよい。

表-1 プレストレストコンクリート橋の塩害対策例

対策方法	プレテンション方式	ポストテンション方式
	c_k 50N/mm ² (W/C = 36%程度)	c_k 36N/mm ² (W/C = 43%程度)
表面	コンクリート表面塗装 ¹	非塗装
PC鋼材	非塗装鋼材	プラスチック製シース+非塗装鋼材
鉄筋	非塗装鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋
かぶり	70 mm	70 mm

1 コンクリート表面塗装自体の耐久性に留意すること。

Q2：対策区分Sにおけるコンクリート床版の床版厚や最小かぶりについて、注意する点はありますか。

A2：塩害対策地区の床版厚は、道路橋示方書・同解説「コンクリート橋編」7章に規定した最小床版厚に対して、かぶりの増加等を考慮して決定する必要がある。これは、コンクリート床版の最小床版厚は損傷実態等を考慮して規定しているが、最小床版厚に塩害対策のかぶり厚をそのまま適用すると、主鉄筋が断面の中立軸位置近くに配置され、従来のコンクリート床版に比べて有効高の小さい床版となる場合がある。したがって、従来のコンクリート床版と同程度の有効高を確保できるように、床版厚を設定するのが望ましい。

なお、床版上面の最小かぶりについては、舗装をアスファルト舗装とする場合には道路橋示方書・共通編5.3に規定されるように床版上面には防水層を設けることから、道路橋示方書・コンクリート橋編6.6.1に規定する値としてよい。

Q3：対策区分Sにおいて、構造形式選定における留意点はありますか。

A3：コンクリート上部構造の塩害による損傷は、一般に床版橋や箱げた橋に比べ、Tげた橋およびIげた橋に多く生じている。また、構造各部の損傷では、けた下フランジ隅角部に多く見られる。したがって、塩害を受けにくい構造とするためには、できるだけ隅角部が少なく、塩分の付着面積も少ない断面を選定することが望ましい。また、けた下フランジ隅角部など高濃度の塩分が付着する部位に対しては、図1に示すように、かぶりに加えて併用する対策を2重にする（塗装鉄筋、プラスチック製シースとコンクリート表面塗装）などの配慮が望ましい¹⁾。

塩害対策地区におけるプレキャスト桁の選定に関する参考図書に、「道路橋示方書・同解説にもとづく塩害に対するプレキャストPCげた」(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会)がある。

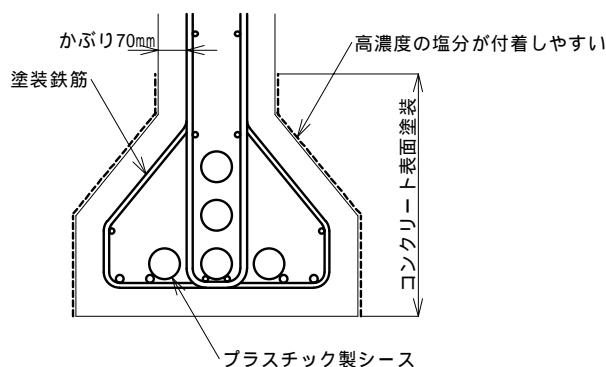


図 - 1 けた下フランジ隅角部のS地区対策例

1) 国土交通省土木研究所：ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究報告書(), 2001.

Q4：対策区分Sで併用する塗装鉄筋は、どのようなものがよいでしょうか。

A4：塗装鉄筋に用いる塗料としては、鉄素地との密着性に優れること、比較的薄膜で塩化物イオンに対する耐食性が確保できること、コンクリートとの付着性状が優れること、施工時に破損しにくいことなどの性能を満足するものが望ましい。現時点では、土木学会規準JSCE E102「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格」に適合したエポキシ樹脂塗装鉄筋、またはこれと同程度の性能を有する塗装を用いたものでなければならない。

Q5：対策区分Sで併用するコンクリート表面塗装は、どのようなものがよいのでしょうか。

A5：コンクリート表面塗装に用いる塗料としては、コンクリート素地との密着性に優れること、耐候性および遮塩性を確保できること、ひび割れを許容する構造に対してはひび割れ追従性があることなどの性能を満足するものが望ましい。しかしながら、現時点では、長期的な耐久性の確認実験など、コンクリート表面塗装に関する十分なデータが少なく、耐久性を含めた良好なコンクリート表面塗装の規定については継続的に調査検討しているところである。したがって、コンクリート表面塗装に関しては、最新の調査結果などを参考にして選定するのがよい^{1)~5)}。

表面被覆材の材質は、大きく有機系材料(合成樹脂塗料)と無機系材料(ポリマーセメント塗布材を含む)に分類することができる。特に有機系材料は、エポキシ樹脂系、アクリル樹脂系、ポリウレタン樹脂系など、その組成が多種多様で、また、同一組成であっても、配合によって、施工性、硬化後性能、経済性などが異なる。そのため、単純に材質の優劣を比較することは難しく、それぞれの材料の特徴を十分に把握し、用途、要求性能など、諸条件によって使い分ける必要がある。

参考として、塩害対策に用いるコンクリート表面塗装の種類と照査項目例を表-2に、要求性能と仕様例を表-3に示す⁶⁾。

表 - 2 コンクリート表面塗装の被覆材の種類と照査項目例

工程	被覆材例	照査項目例
プライマー	エポキシ樹脂系	接着性 耐アルカリ性
	ウレタン樹脂系	
パテ	エポキシ樹脂系	接着性 寸法安定性
	ポリエステル樹脂系	
	ポリマーセメント系	
中塗り（主材） ¹	エポキシ樹脂系	ひび割れ追従性 遮塩性 酸素透過阻止性 耐水性 耐アルカリ性
	柔軟型エポキシ樹脂系	
	ウレタン樹脂系	
	ポリエステル樹脂系	
	ビニルエステル樹脂系	
	アクリルゴム樹脂系	
	クロロプレンゴム系	
	ポリマーセメント系	
上塗り	ウレタン樹脂系	耐候性
	アクリルウレタン樹脂系	
	アクリルシリコン樹脂系	
	フッ素樹脂系	
	クロロスルホン化ポリエチレン系	
	ポリマーセメント系	

1 中塗り材でパテの工程も兼ねられる材料については、パテの要求性能も満足すること

表 - 3 表面被覆材の要求性能と各機関の仕様例

要求性能	評価項目	仕様 ¹	機関	
施工性能	可使用時間	材料の混合比	現場の条件（温度・湿度など）を考慮して設定する	
	可使用温度	温度・湿度		
	塗り重ね時間	塗装間隔・時間		
劣化抑制性能	接着性	付着強度	25/25	塩害対策指針 ²
			1.0 N/mm ² 以上	日本道路公団
	ひび割れ追従性	塗膜の伸び量	塗膜の伸びが1%以上	塩害対策指針（A種、C種）
			塗膜の伸びが4%以上	塩害対策指針（B種）
			ひび割れ幅0.2mmまで欠陥が生じない	鉄道総研
			ひび割れ幅0.4mmまで欠陥が生じない	日本道路公団
	遮塩性	塩素イオン透過量	5.0×10 ⁻³ mg/cm ² /日以下	日本道路公団
			10 ⁻² mg/cm ² /日以下	塩害対策指針（A種、B種）
	酸素透過阻止性	酸素透過量	10 ⁻³ mg/cm ² /日以下	塩害対策指針（C種）
			5.0×10 ⁻³ mg/cm ² /日以下	日本道路公団
耐水性	ふくれ、はがれ	水中に30日間浸漬したのち、劣化が認められない	鉄道総研	
耐アルカリ性	ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬したのち、劣化が認められない	塩害対策指針 鉄道総研	
		水酸化カルシウムの飽和溶液に10日間半分浸漬したのち、劣化が認められない	日本道路公団	
耐候性	白亜化、はくり、われ、はがれ	促進耐候性試験300時間後に劣化が認められない	塩害対策指針、鉄道総研	
		促進耐候性試験700時間後に劣化が認められない	日本道路公団	
維持管理性能	接着性	付着強度	界面剥離しないこと	
	上塗り性		所要の厚さが確保できること	

1 詳細な仕様および試験方法は、各機関の基準を参照のこと

2 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説, (社)日本道路協会, 1984.

1) 建設省総合技術開発プロジェクト：コンクリートの耐久性向上技術の開発，1989.

2) 守分他：既設コンクリート構造物に施工した表面塗装材料の耐久性評価，土木学会論文集，No.520 / -28，pp.99-110，1995.

3) 吉田他：屋外暴露と促進養生によるコンクリート塗装材料の性能検討，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第6部，pp.216-217，2000.

- 4) 山路他：海洋環境に15年間暴露されたコンクリートにおける表面被覆の塩害防止効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.833-838，2003.
- 5) 青山他：厳しい塩害環境下の新設コンクリート橋に適用した各種の表面被覆方法の効果，コンクリート工学，Vol.41，No.9，pp.30-35，2003.
- 6) 牛深：各種仕様書類における規定 - 各機関の規定内容の相互比較とその設定根拠 - ，コンクリート工学，Vol.41，No.9，pp.91-100，2003.

Q6：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合の設計上の留意点はありますか。

A6：エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度は，非塗装鉄筋に比べて低下する。したがって，エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する場合の鉄筋の許容付着応力度は，土木学会規準 JSCE E102「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格」に応じた付着強度とする。

また，エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した場合に部材の耐震性能に与える影響としては，軸方向鉄筋のフーチングからの伸び出し変位の増加，塑性ヒンジ領域における軸方向鉄筋の躯体コンクリート内部での滑りの増加，帯鉄筋，中間帯鉄筋のフック，定着性能の低下などが挙げられる。このうち，およびに関しては，具体的に実験検証がなされていないが，耐力に対しては影響を及ぼさず，また，変形性能については逆に増加させる方向であり，これらの影響によって耐震性能が顕著に低下することにはならないと考えられる。一方，に関しては，以下のように対応すればよい。

(1) 定着フック長

半円形フック及び鋭角フックは，コンクリート中に埋め込み，地震力により定着した鉄筋が引張力を受けた際にフックが広がってはずれないように状況になってもフックの周囲のコンクリートの存在によりはずれないようにするメカニズムであることから，付着強度の低下がフック長には影響を及ぼさないと考えられ，フック長を変更する必要は無い。帯鉄筋に対して直角フックを有する重ね継手を用いる場合には，現状ではかぶりコンクリートが剥離してもフックがはずれないように配慮することとされているため，エポキシ樹脂塗装鉄筋の場合でもフック長を変更する必要はない。中間帯鉄筋の定着に直角フックを用いる場合には，かぶりコンクリートが剥離するような場合も考慮して，設計上定着の効果を見込まないこととしているため，エポキシ樹脂塗装鉄筋の場合でもフック長を変更する必要はない。

(2) 帯鉄筋の重ね継手

道路橋示方書・耐震設計編で規定される最小重ね継手長40は，道路橋示方書・コンクリート橋編6.6.5の規定に基づく重ね継手長の算定式に準拠し，一般的に下部構造に用いられる鉄筋及びコンクリート材料を想定して，コンクリートにひびわれ等の損傷が生じ鉄筋が降伏点相当に到達した場合においても十分な定着が確保できるように，また，設計上の便が考慮されて一律に安全側に規定している。したがって，エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する場合に関しては，付着強度の低下を考慮して，道路橋示方書・コンクリート橋編6.6.5に準拠して求められる定着長と，最小重ね継手長40のいずれか大きい方を用いればよい。

(3) 中間帯鉄筋の躯体断面内部での重ね継手

中間帯鉄筋を躯体内部で定着する場合には，地震時に曲げあるいはせん断損傷が生じた状態においても，中間帯鉄筋とともにせん断筋としても確実に機能させることを考慮し，中間帯鉄筋の重ね継手についても重ね継手長に準じて安全側に設定されている。このため，塗装鉄筋を中間帯鉄筋に用いた場合についても，(2)と同様に考えればよい。

Q 7：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合の施工上の留意点がありますか。

A 7：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合は、塗膜が損傷しないように加工、運搬、貯蔵、組立、継手およびコンクリートの打込み、打継目処理等において配慮しなければならない。また、施工により生じた塗膜欠落部や変質部、傷等は、コンクリートの打込み前に適切に補修しなければならない。具体的には、土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針」を参照するとよい。

なお、エポキシ樹脂塗装鉄筋の最小曲げ内半径は、土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針」および土木学会規準 JSCE E102「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格」より、非塗装鉄筋と同じ最小曲げ内半径としてよい。

Q 8：対策区分Sにおいて、耐久性の観点から望ましい構造細目はありますか。

A 8：上部構造の塩害による損傷は、高濃度の塩化物イオンが含まれる排水などを受ける部位に多く見受けられる。したがって、対策区分Sで塗装鉄筋を併用する場合においても、図 - 2 に示すように、けた端部の端面、側面および底面にコンクリート表面塗装を施すのが望ましい。

また、プレストレストコンクリート構造のけた端面は、プレテンション方式の場合はP C鋼材を部材端部から出ないように切断し、端部処理材で保護した後、コンクリート表面塗装を施すのがよい。ポストテンション方式の場合は、定着部切り欠きを無収縮性のコンクリートやモルタル等で後埋めした後、コンクリート表面塗装を施すのがよい。

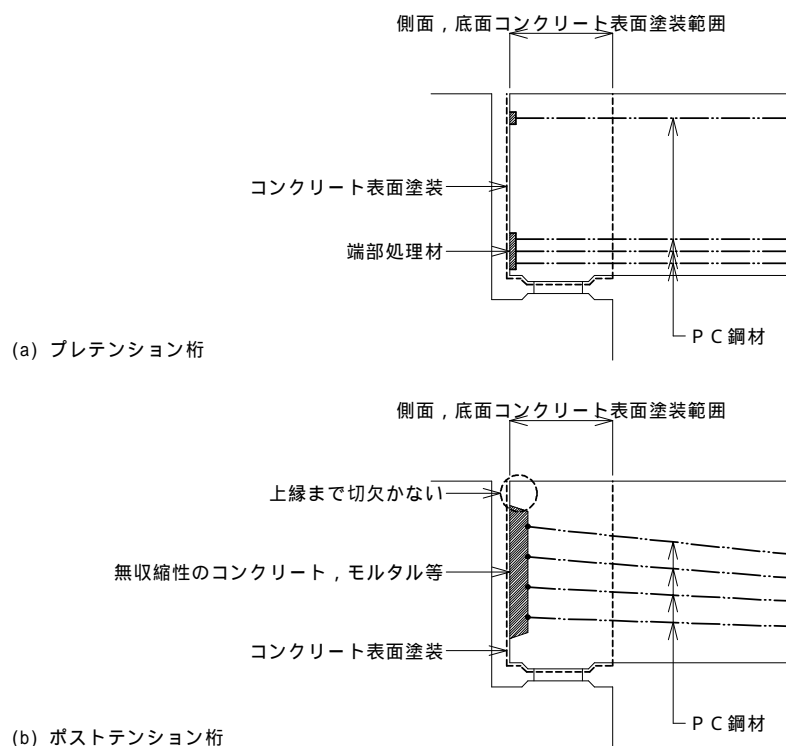


図 - 2 P C 橋けた端部の塩害対策例

Q 9 : 沓座モルタル内の補強格子筋のかぶり厚は、塩害の影響による最小かぶり厚を確保する必要がありますか。

A 9 : 沓座モルタル内に配置する補強格子筋は、支承から伝達される荷重に対して沓座モルタルが破損しないことを目的として配置される。したがって、かぶり厚を大きくすると、補強格子筋本来の目的となる性能を発揮できなくなる。そこで、沓座モルタル内の補強格子筋は塩害の影響による最小かぶり厚を確保しなくてもよいが、図 - 3 に示すように塗装鉄筋およびコンクリート表面塗装の 2 重の対策を施すか、または炭素繊維等の非腐食性の材料を補強材として用いるのがよい。

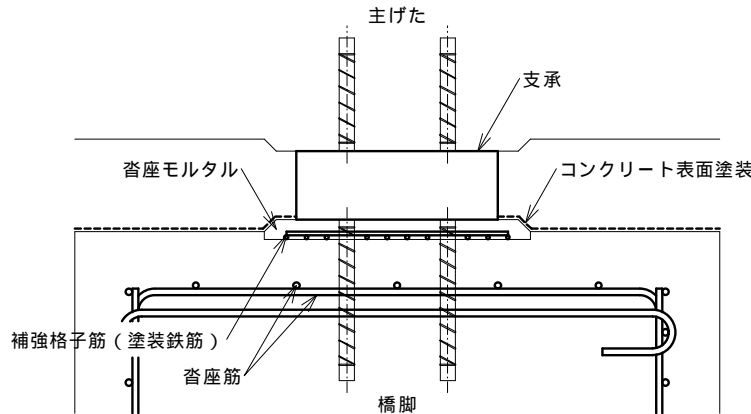


図 - 3 沓座モルタル部分の塩害対策例

Q 1 0 : 伸縮装置の補強筋のかぶり厚は、塩害の影響による最小かぶり厚を確保する必要がありますか。

A 1 0 : 伸縮装置自体に橋本体と同程度の耐久性を期待することは困難であることから、塗装鉄筋等の防錆処理された鉄筋を用いて、かぶり厚は道路橋示方書・コンクリート橋編 6.6.1 に規定する値とすればよい。

Q 1 1 : 開口部補強筋のかぶり厚は、塩害の影響による最小かぶり厚を確保する必要がありますか。

A 1 1 : 開口部については、塗装鉄筋を用いる場合でも塩害の影響による最小かぶり厚を確保する。また、隅角部などでひび割れを制御したい場合は、炭素繊維などの非腐食性の材料を用いてかぶり厚内を補強するのがよい。

Q 1 2 : 対策区分 S の判定における留意点はありますか。

A 1 2 : 対策区分 S は、基本的には道路橋示方書・コンクリート橋編 5.2 に基づき設定するものとする。しかしながら、この対策区分 S の範囲は、これまでの塩害損傷の実態および全国 266 地点に限られた飛来塩分量調査結果に基づき定めていることから、個別の架橋地点に対して厳格に対策区分を規定しているものではない。したがって、個々の橋が対策区分 S に該当するかどうかは、架橋地点の現地調査を行い、地形、気象、海象の状況や周辺のコンクリート構造物の塩害状況等を勘案して判定する必要がある。

なお、道路橋示方書・コンクリート橋編 5.2 における海岸線の位置は、基本的に図 - 4 に示す位置である。ただし、護岸構造物等が無く海岸線が明確でない場合は、海岸保全区域の陸側境界線¹⁾を海岸線とみなしてよい。

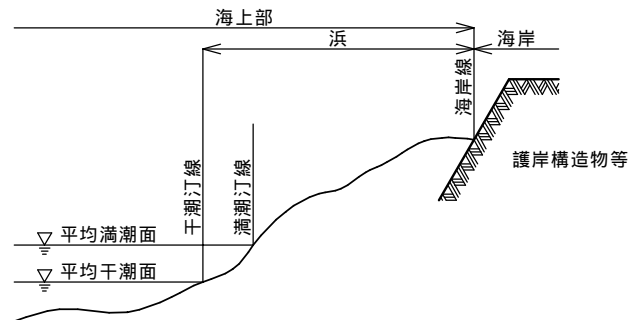


図 - 4 海岸線の位置

1) 土木学会：海岸施設設計便覧[2000年版]，2000.