

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（Ⅲ）
－PC橋の塩害対策に関する検討－

平成13年3月

国土交通省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室
構造橋梁部橋梁研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

Copyright ©(2001)by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

ミニмумメンテナンスPC橋の開発に関する 共同研究報告書（Ⅲ）

－PC橋の塩害対策に関する検討－

国土交通省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室
構造橋梁部橋梁研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

要 旨

本共同研究では、ミニмумメンテナンスPC橋の検討の一環として、塩害対策のアップグレードについてその必要性も含めた検討を行っている。近年、道路橋示方書が設計年数100年とする方向で検討されており、この場合に従来の道路橋の塩害対策指針(案)では対応できない範囲も生じる可能性がある。また、塩害対策指針(案)の通達以降、既に10数年が経過しており、その間に得られた新材料、新技術の円滑な導入を図る必要がある。ここでは、PC橋の塩害対策に焦点をしぼり、これらの解決に向けての問題点を整理するとともに、今後のLCC試算等の検討の基本とするための塩害対策マニュアルの骨子(案)を作成した。

キーワード：塩害対策、鋼材腐食、耐久性設計

ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究
担当者名簿

国土交通省土木研究所

材料施工部コンクリート研究室	室長	河野 広隆
	主任研究員	渡辺 博志 ^{*2}
	研究員	田中 良樹 ^{*2}
		木村 哲士 ^{*3}
構造橋梁部橋梁研究室	室長	西川 和廣
	研究員	内田 賢一 ^{*1}
	研究員	廣松 新 ^{*1}
		伊藤 公彦 ^{*3}
		続石 孝之 ^{*3}

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究委員会	委員長	中條 友義
	委員	石井 和夫 ^{*1}
	委員	呉 承寧 ^{*2}
	委員	小西 哲司 ^{*1}
	委員	品川 清和 ^{*2}
	委員	高野 茂晴 ^{*1}
	委員	徳光 卓 ^{*2}
	委員	中田 順憲 ^{*1}
	委員	野村 貞広 (1999年6月まで)
	委員	濱田 譲 ^{*2}
	委員	藤田 学 ^{*1}
	委員	渡辺 浩良 ^{*1}

*1: LCCワーキンググループ

*2: 塩害対策ワーキンググループ

*3: 交流研究員として参加

(平成13年3月現在)

第 I 部 塩害対策に関する検討

目 次

1. まえがき	1
2. 塩害対策指針(案)のレビュー	2
2.1 主な検討経緯	2
2.2 主な塩害対策	2
2.3 塩害対策橋に関する実態調査	4
3. さまざまな塩害対策とその選定 ～新材料・新技術の円滑な導入に向けて～	9
3.1 塩害対策のメニュー	9
3.2 かぶりコンクリートの塩分浸透抵抗性	10
3.2.1 かぶりコンクリートによる鋼材の防食	10
3.2.2 W/C低減による塩分浸透抵抗性の向上	11
3.2.3 高炉スラグ微粉末などの混和材による塩分浸透抵抗性の向上	13
3.3 鉄筋の耐食性とその向上	14
3.3.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋	14
3.3.2 ステンレス鉄筋等	15
3.4 PC鋼材の耐食性とその向上	16
3.5 耐久性向上に関わる新材料・新工法の導入上の問題	17
3.6 新材料・新技術への対応	18
3.7 メニューの整理	18
4. スーパー塩害対策(仮称)	21
4.1 新暮坪橋の事例	21
4.2 適用範囲	22
4.3 仕様型から性能型へ	22
4.3.1 鋼材の防食レベル	22
4.3.2 二重三重の対策	22
4.3.3 維持管理の負担	24
4.3.4 万一のときのメンテナンス ～時間的な余裕の確保～	24
5. 施工と耐久性	25
5.1 かぶり不足対策	25
5.2 コンクリートの品質	25
5.3 漏水対策	26
6. 今後の塩害対策のイメージ	27
6.1 塩害対策地域におけるコンクリート橋の長寿命化の基本策	27
6.2 設計年数100年への対応とスーパー塩害対策の位置付け	28
6.3 新材料・新技術への対応	28
7. 塩害対策マニュアルの骨子(案)の位置付け	29

参考文献	31
------------	----

1. まえがき

耐久性があり維持管理負担の小さい橋づくり、すなわちミニмумメンテナンス橋をコンクリート橋で実現するためには、まず沿岸部の塩害を解決する必要がある。これは、現実に塩害による重大な劣化が見られる橋が少なからず存在し、今後も最も重大な劣化要因であり続けると予想できるためである。沿岸部のプレストレストコンクリート橋(以下、P C 橋)がわずか20~30年程度で架け替えられた事例も見られており、しかもその維持管理に要した費用は初期建設費を上回る事例も見られている^{1.1)}。また塩害は、損傷劣化の早期発見が容易でなく、かつ外部にひび割れが生じてからでは既に鋼材の腐食が著しく、補修を行ってもその効果が十分に発揮できない場合もある。

「道路橋の塩害対策指針(案)」(以下、塩害対策指針(案))が1984年に通達されて以降、沿岸部の新設橋の耐久性は改善されていると考えられる。しかし、最近の耐久性向上に重点をおいた道路橋示方書の改訂の動きに連動して今後の橋の設計年数を100年とする場合に、従来の塩害対策指針(案)では対応できない可能性もあると考えられる。また、塩害対策指針(案)の通達以降、既に10数年が経過しており、これまで現場に適用された塩害対策について、その有効性の実証データが出てきている。さらに、この間、産学官が一体となって実施した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」(85-87年)をはじめとして、国内外の多くの機関で塩害に関する各種の調査研究、検討が実施されてきており、膨大な論文や委員会報告などが発表されてきている^{1.2)}。これらの成果を再整理するとともに、耐久性向上のための新材料・新技術の現場への円滑な導入方法を検討する必要がある。

これらの点を踏まえた上で、本共同研究では、ミニмумメンテナンスP C 橋の検討の一環として、塩害対策のアップグレードについてその必要性も含めた検討を実施することとした。塩害対策に関わる課題は少ないので、まずはP C 橋上部構造を中心に検討を始めることとした。本報告書の第Ⅰ部では、今後の塩害対策を考える上での問題点や、塩害対策マニュアルを作成する上での問題点を整理した。現時点では、塩害対策マニュアルの完成は見ていないが、第Ⅰ部の内容と合わせて今後の塩害対策の方向を示すとともに今後の検討の基礎とするため、第Ⅱ部に塩害対策マニュアルの骨子の提案を示すこととした。これに基づき、残り1年の研究期間において、問題点の解決を図るべく、各種の調査結果の集約や骨子案に基づくライフサイクルコストの試算等を行い、今後の道路橋の塩害対策の骨格を示す予定である。

2. 塩害対策指針(案)のレビュー

2.1 主な検討経緯

1970年代は海砂による塩害が顕在化し、細骨材中に含まれる塩化物量の規制あるいは海砂の使用規制が行われるようになっていた。外部からの塩化物物の侵入による塩害については、'70年代後半頃(昭和50年代)から顕在化し始めた。'81~'82年に日本海沿岸部で既に著しい塩害劣化が生じていた暮坪陸橋^{2.2)}において補修・補強及びその前後にトラック載荷による耐荷力の確認試験が実施された。このとき、供用に支障はないと判定されたものの、塩害劣化の重大性をより強く認識することとなった。これを契機に、全国沿岸部のコンクリート道路橋の損傷実態調査('82年)^{2.2)}を実施し、同じ沿岸部の橋梁でも地域によって程度の差があること、海岸線からの距離の影響が大きいこと、プレキャスト部材の方が損傷が軽微であることなどが分かった。一方、それまでの調査研究から、定性的にはかぶりが大きいほど、コンクリートが密実であるほど塩害劣化が生じ難いことが分かっていた。当時、この沿岸部の塩害対策に関する体系的な調査研究はまだ行われていなかったが、現場の対策を最優先として緊急措置を講じる必要性があった。これらを背景に道路橋の塩害対策指針(案)制定に向けての審議が短期に集中して進められ、'84年2月に建設省の課長通達により全国に周知されることとなった。

2.2 主な塩害対策

現行の塩害対策指針(案)の主な対策は次のとおりである。

- 1) 塩害対策地域の明示
- 2) 塩害対策地域、海岸線からの距離に応じた塩害対策区分の設定
- 3) 地域ごとのかぶり増加
- 4) 水セメント比(W/C)の制限、曲げひび割れの抑制 等
- 5) 塗装鉄筋、コンクリート塗装 (オプション)
- 6) 補修事例

そのうち、特に塩害対策を必要とする地域を海岸線からの距離で明確にしたことと、それに応じたかぶりを規定したことがこの塩害対策指針(案)の大きな特徴である。表-2.1、図-2.1に塩害対策を必要とする地域、表-2.2に対策区分、表-2.3に塩害対策指針(案)における最小かぶりを示す。

表-2.1 塩害対策を必要とする地域

地域区分	地 域
A	沖縄県
B	別表-1に示す地域のうち、海上部および海岸線から300mまでの部分
C	上記以外の地域のうち、海上部および海岸線から200mまでの部分

※別表-1 は省略。図-2.1 の斜線部。

表-2.2 対策区分

地域区分	地 域	海岸線からの距離	対策区分
A	沖縄県	海上部および海岸線から100mまで	I
		上記以外の範囲	II
B	表-2.5別表-1 に示す地域	海上部および海岸線から100mまで	I
		100mをこえて200mまで	II
		200mをこえて300mまで	III
C	上記以外の地域	海上部	I
		海岸線をこえて100mまで	II
		100mをこえて200mまで	III

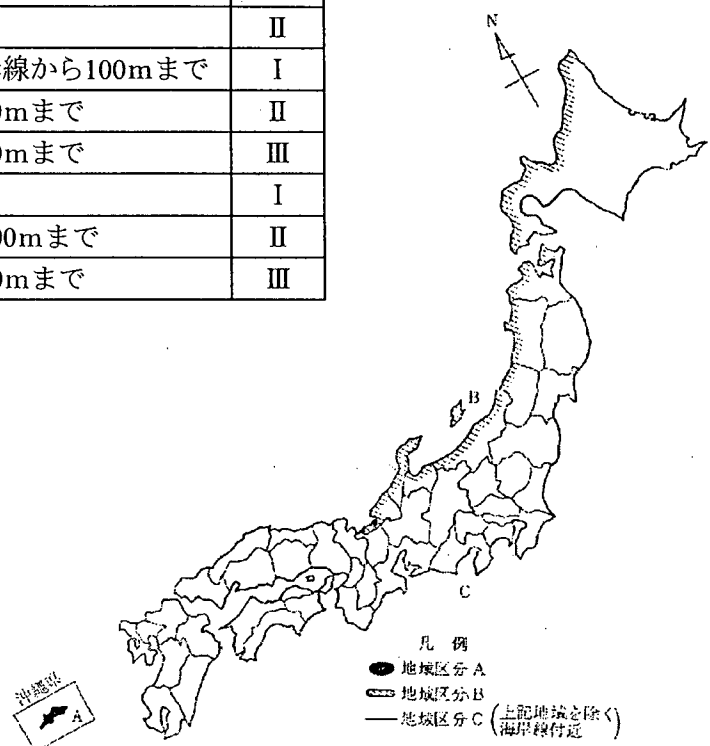


図-2.1 地域区分

表-2.3 塩害対策指針(案)の最小かぶり (c m)

対策区分	上 部 構 造			下 部 構 造	
	床版下面, 地 覆・高欄	け た		梁	柱
		プレテンション方 式によるプレキャ ストPCげた	左記以外 のけた		
I	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0
II	4.0	3.5	5.0	5.0	5.0
III	3.0	2.5	3.5	3.5	4.0

(1) 対策区分の明示

この塩害対策指針(案)で最も重要な点の一つは、損傷実態調査の結果に基づき塩害対策区分を、地域別に海岸線からの距離に応じて設定したことである。

暮坪陸橋が建設された頃(60年代)はまだ、かぶり厚は土木学会のコンクリート標準示方書を参照していたと思われる。初期のコンクリート標準示方書(31年)において既に塩分の影響がある場合にはかぶりを厚くする必要があるとされていたこと、海洋コンクリートではなお厚いかぶりとしていたことなどから、コンクリートの周囲の塩分が多いほど、コンクリート内部の鋼材が腐食しやすく、かぶりを厚くする必要があることが知られていたと考えられる。しかし、その塩分環境の程度を示す指針はなく、塩分環境の厳しさに対する認識は個人差が大きかったと考えられる。このため、橋の計画・設計・施工に携わる方々(及びスペックライター)は、塩分環境に関する共通認識が得られ難い状況にあったと思われる。これに対して、塩害対策指針(案)では、まだ飛来塩分量の定量的な明示がなかったとはいえ、塩分環境、すなわち環境外力が地域区分と海岸線からの距離といったより身近な指標によって明確に示された。良い橋づくりには計画、設計、施工の各担当者の連携が重要であり、塩害対策について言えば、まず塩分環境の共通認識が重要である。塩害対策指針(案)は使い方によってこの共通認識をはかるツールとしても効果があったと考えられる。塩害対策指針(案)を適用した橋でもかぶり不足などの事例が一部に見られたが、その原因の一つはこれらの共通認識が十分に図られていなかった点もあったと思われる。

(2) 対策区分ごとの最小かぶり

もう一つ重要な点は、具体的な対策として、地域区分、対策区分ごとに最小かぶりを示した点である。しかし、塩害対策指針(案)で示されていた最小かぶりの値の根拠は必ずしも明確に示されていなかった。当時の土木学会鉄筋コンクリート標準示方書の海洋コンクリートの規定では、かぶり7cmの規定があり、この値が一つの目安にされたのではないかとと思われる。本共同研究における必要かぶりの検討^{2.3)}によれば、塩害対策指針(案)に示された最小かぶりは、設計年数50年として試算した結果に概ね相当することがわかった。

2.3 塩害対策橋に関する実態調査^{2.4)}

直轄、都道府県および公団により、塩害対策指針(案)を適用して平成7年度までに架設された橋梁の地域別、橋種別、対策区分別建設数をそれぞれ図-2.2～2.4に示す。

図-2.5に主な塩害対策の内訳を示す。ほとんどの橋でかぶり増による対策が取られていたことがわかる。塩害対策指針(案)ではかぶり増以外に、塗装鉄筋やコンクリート塗装の選択もできるようになっており、これらを採用した場合にはかぶり増は必ずしも求められていないが、これまでの事例では、塗装鉄筋やコンクリート塗装はいずれもかぶり増と併用されていたことがわかった。

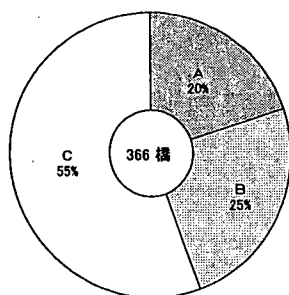


図-2.2 塩害対策が講じられた
コンクリート橋の対策地域別内訳

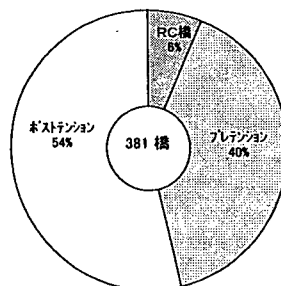
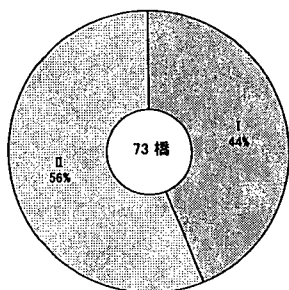
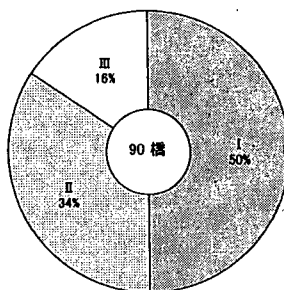


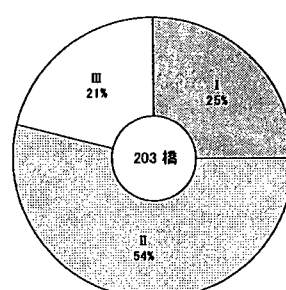
図-2.3 塩害対策が講じられた
コンクリート橋の内訳



地域区分A

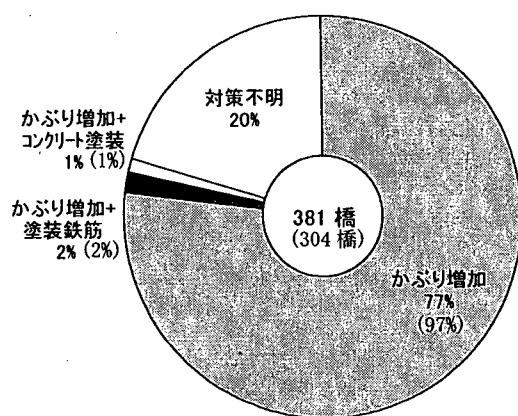


地域区分B



地域区分C

図-2.4 対策区分の内訳



()内は対策不明を除いた場合

図-2.5 コンクリート橋における塩害対策の種類

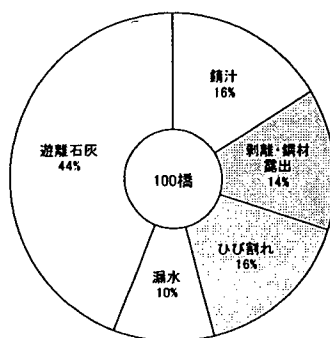
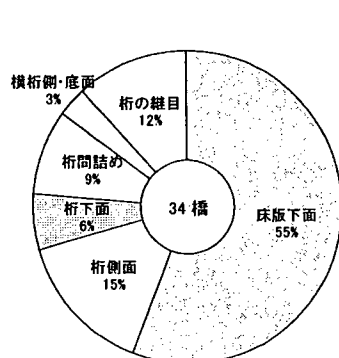
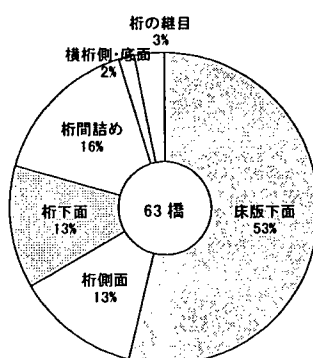


図-2.6 塩害対策が講じられたコンクリート橋の損傷状況（かぶり増加）



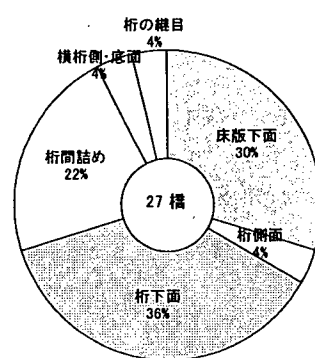
損傷度Ⅱ

(損傷が著しく、交通安全確保の支障となる恐れがある。)



損傷度Ⅲ

(損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。)



損傷度Ⅳ

(損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。)

図-2.7 塩害対策が講じられたコンクリート橋の損傷度別発生部位

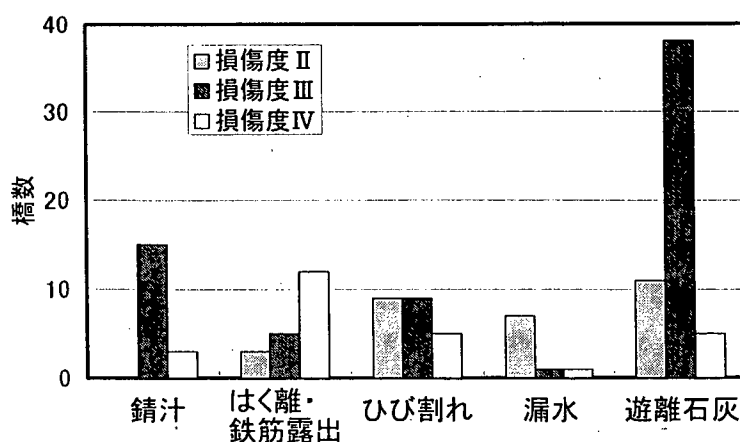


図-2.8 塩害対策が講じられたコンクリート橋の損傷状況（かぶり増加）

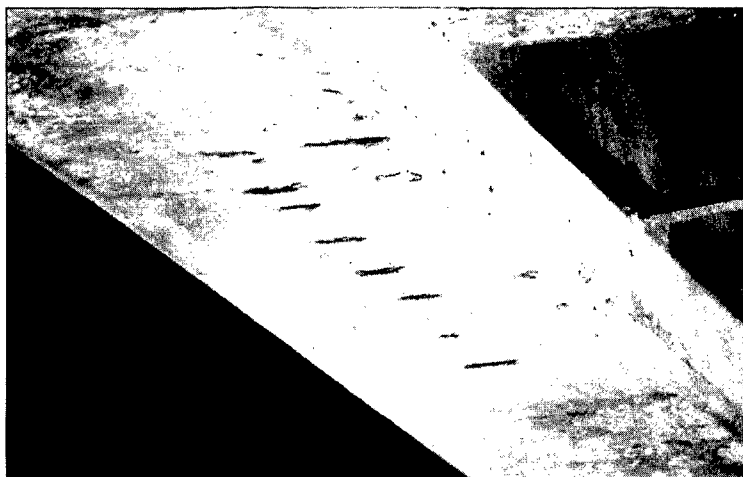


写真-2.1 主桁下面の錆汁(損傷度Ⅱ)
ポストテンションT桁、対策区分B-Ⅲ、1986年竣工

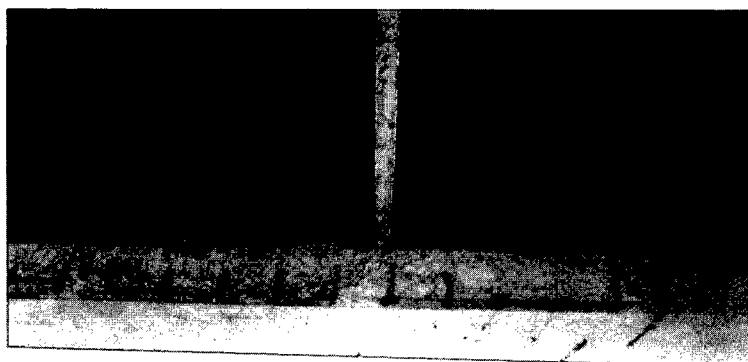


写真-2.2 主桁下面の鉄筋露出(損傷度Ⅱ)
(写真-1と同じ橋)



写真-2.3 主桁下面の鉄筋露出(損傷度Ⅱ)
(写真-1と同じ橋)

かぶり増加による塩害対策を講じたコンクリート橋のうち、37%に何らかの損傷が見られた(軽微な損傷も含む、ただし、地覆・高欄は除く)。図-2.6~8にその損傷の種類、発生部位、程度をそれぞれ示す。写真-2.1~3に錆汁・鉄筋露出の例を示す。錆汁やはく離・鉄筋露出は、調査回答票に添付されていた写真から、かぶり不足によると考えられるものがほとんどであった。塩害対策橋であるにもかかわらずかぶり不足が見られる点は今後何らかの対策が必要であると考えられる。また、ひび割れは床版下面に見られたものがほとんどであり、鋼材腐食によるものは確認されていない。今回の調査では、かぶり不足、他の劣化要因の事例を除くとPC橋に対する塩害対策で重大な問題は見られていない。沿岸部以外のコンクリート橋では鋼材腐食防止の観点から見るともともとのかぶり不足に対してある程度の余裕があるが、沿岸部のコンクリート橋のかぶりは塩分浸透による鋼材腐食に対して余裕がないと考えられる。これらの点から、沿岸部のコンクリート橋では、設計・施工の両者において、特にかぶり確保に注意をはらう必要がある。

なお、これ以外に顕著な損傷とはいえないまでも遊離石灰が見られる事例が多かった。このうち、間詰部や床版張り出し部の横断方向のひび割れなど、漏水に起因する遊離石灰の事例は海水等の塩化物が含まれた場合に無視し得ない場合があると考えられ、これに対する改善策を考える必要がある。

3. さまざまな塩害対策とその選定

～新材料・新技術の円滑な導入に向けて～

3.1 塩害対策のメニュー

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」(’85-87年)では、塩害に関する幅広い各種の調査研究が実施され、塩化物総量規制(’86年技調通達)、沿岸土木構造物の設計・施工指針(案)、塩害を受けた土木構造物の補修指針(案)等、多くの成果が得られた。しかし、コンクリートや補修材料等の長期耐久性は短期的な試験調査では容易に把握できない点も多く、その後のフォローアップに委ねるところが残されていた。その後、FRP等の新素材の検討、塩害の発生機構の詳細検討、耐久性設計概念の構築などさまざまな観点から検討が行われてきている。主な対策を表-3.1に示す。

表-3.1 さまざまな塩害対策手法

かぶりコンクリート
コンクリートの種類(低水セメント比 ^{*1} 、高炉スラグ微粉末 ^{*2} 、シリカヒューム等) プレキャスト化による品質確保(セグメント化、プレキャスト型枠) 透水性型枠を用いた施工 コンクリート塗装 撥水材
鉄筋
塗装鉄筋 ^{*3} ステンレス鉄筋 ^{*4} ステンレスクラッド鉄筋
緊張材
塗装PC鋼材 プレグラウト ^{*8} 耐食性シース(ポリエチレンシース) ^{*5} FRP緊張材 ^{*6*7}
電気防食
一般的な耐久性向上策
適切な排水・防水、ひび割れ対策、グラウト ^{*8} 、施工 ^{*9}

*1)現場打ち高強度コンクリートの設計施工法に関する共同研究報告書、現場打ち高強度コンクリート施工マニュアル(案)、建設省土木研究所、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、共同研究報告書第266号、2001.3

*2)高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針、コンクリートライブラリー86、(社)土木学会、1996.6

*3)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(案)、(社)土木学会、1986.2

*4)Guidance on the use of stainless steel reinforcement, Technical Report No.51, Concrete Society, 1998

*5)ポリエチレン製シース実用化試験報告書、ポリエチレン製シースの品質・設計・施工のマニュアル(案)、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、1995.9

*6)連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用、コンクリートライブラリー72、(社)土木学会、1992.4

*7)総合技術開発プロジェクト、建設事業への新素材・新材料利用技術の開発、FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の設計・施工指針(案)、建設省土木研究所ほか、1994.3

*8)PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改定版)、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、1999

*9)コンクリート標準示方書、施工編、(社)土木学会、1996、2000

これらの実用化の程度は、既に実構造物に適用されているもの、試験的に実構造物に適用されているもの、国内道路橋への適用実績はないが海外では実用化されているものなど、さまざまである。耐久性に及ぼす施工の影響が定量的に把握されていないものが多いと思われるが、研究が進められ、土木学会の指針等にまとめられているものもある。

以下3.2～3.4では、本共同研究においてこれまでに調査したコンクリートの塩分浸透抵抗性、鉄筋の防錆及びP C鋼材の防錆に関する現状、課題等について紹介しておく。

3.2 かぶりコンクリートの塩分浸透抵抗性

3.2.1 かぶりコンクリートによる鋼材の防食

かぶりは鋼材の腐食防止、付着強度の確保、施工性の確保などの要求性能を満足する必要がある。沿岸部の塩分環境の厳しい地域では、塗装鉄筋などの特段の防食を付加しない限り、鋼材の腐食防止はかぶりコンクリートのみによるため、かぶり

厚の設定とその材料の選定が塩害対策の重要な検討項目である。図-3.1に塩化物イオンの浸入に伴う鋼材腐食の概念図を示す。セメントコンクリートの内部には、一般に微細な空隙やゲル水が存在して、外部からの塩化物イオンの浸入経路となり得る。コンクリート中の空隙等の占める割合はコンクリートの種類、配合や品質によって異なる。特に、大気中の塩化物が多く、場所によっては波しぶきが直

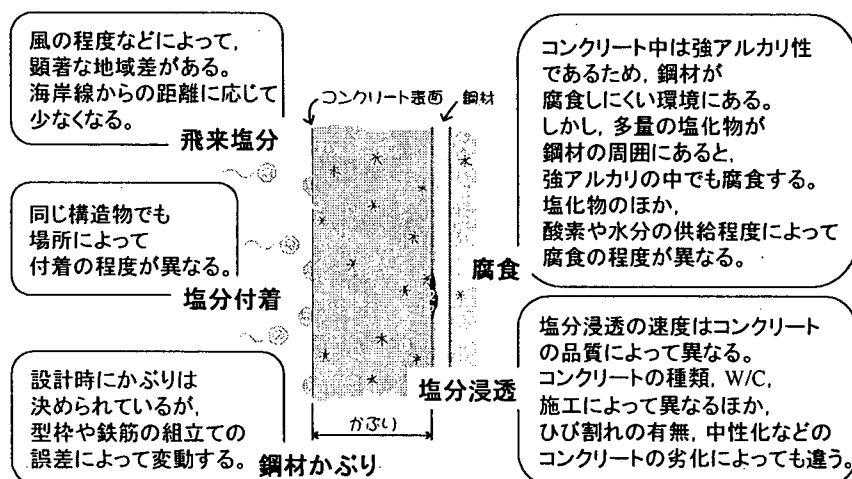


図-3.1 塩害劣化のイメージ

接かかることもある海岸付近では、多量の塩化物が供給されるため、早期に鉄筋位置まで塩化物イオンが浸透して、鉄筋の腐食発生を促し、鋼材の断面欠損やその腐食膨張圧によるコンクリートのひび割れ、剥離などの損傷が早期に発生する事例が多く見られる。

コンクリート中への塩分浸透の過程は一般にフィックの拡散方程式で表され、コンクリート表面の塩化物イオン量が C_0 で常時一定であると仮定すると解は次式のとおりととなる^{3.1)}。

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \quad (3.1)$$

ここに、 x ：コンクリート表面からの距離(かぶり)、 t ：時間、 D_c ：拡散係数、 $\operatorname{erf}()$ ：誤差関数
拡散係数 D_c は、コンクリートの緻密さと関係があり、その種類や品質に依存すると考えられている。かぶりコンクリートの防食機能の観点から材料選定を考える場合に、この塩分浸透抵抗性を表す指標である D_c

を意識する必要がある。ただし、この D_c を得るための試験方法はまだ必ずしも確立されていない。塩水浸漬試験と電気化学的試験の D_c の違い、塩水浸漬試験と屋外暴露試験の D_c の違い、養生方法(環境、時間)の違いなど、 D_c の絶対値を見る場合に注意すべき点が多い。また、 D_c は、式 3.1 では時間に依存しないものとしているが、実際はコンクリートの水和反応や表面の乾燥などに関連して、ある程度の範囲で時間に依存するところもあるため、これについても注意を払う必要がある。

3.2.2 W/C 低減による塩分浸透抵抗性の向上

一般のコンクリートの D_c は、その配合と、設計で想定したコンクリートを得るための施工によって異なる。

コンクリートの配合における D_c への影響因子は、水セメント比(W/C)、骨材量、空気量などが考えられるが、従来一般に使用されているコンクリートの範囲では、これらの中で W/C が D_c に及ぼす影響が最も大きいと考えられる。図-3.2 に屋外暴露試験より得られた D_c と W/C の関係を示す^{3.2)3.3)}。W/C が 25~55%の範囲では、W/C が小さいほど D_c が小さくなる。特に W/C が約 40%以下では、W/C の低減による D_c の低減効果が大い。この結果は、沿岸部のコンクリート橋の塩害損傷実態調査の結果^{3.4)}において、プレテンション PC 桁(W/C40%以下)の損傷事例が、ポストテンション PC 桁(同 40~45%程度)や鉄筋コンクリート桁(同 55~60%程度)に比べて明らかに少なかったことと関連性があると考えられる。

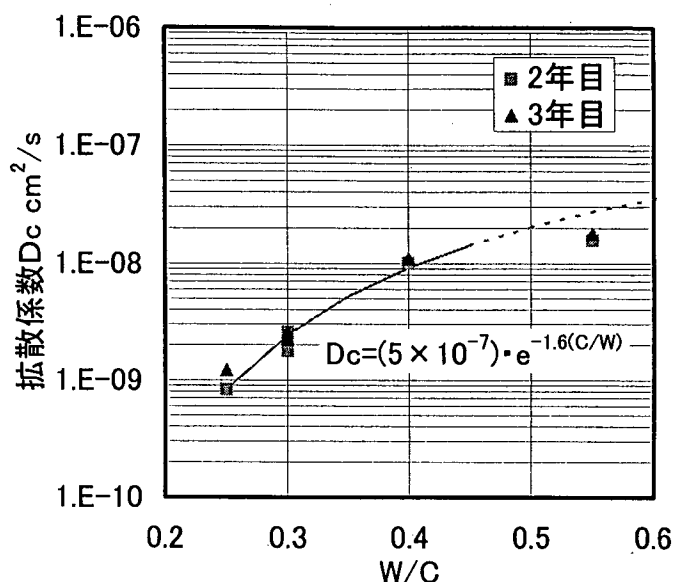


図-3.2 屋外暴露試験における D_c と W/C の関係

図-3.3 に日本海沿岸部に 34 年間供用し、厳しい塩害劣化のため撤去されたポストテンション単純 T 桁橋の各主桁の D_c を示す^{3.5)}。図中には、各主桁から採取したコアの平均圧縮強度も示している。W/C と圧縮強度は骨材の品質や時間の変化の影響などから必ずしも 1 対 1 の関係ではないが、概して見れば、W/C が小さいほど圧縮強度は大きい傾向にある。この橋の場合、G3、G5 は一般的なポストテンション PC 桁と概ね同程

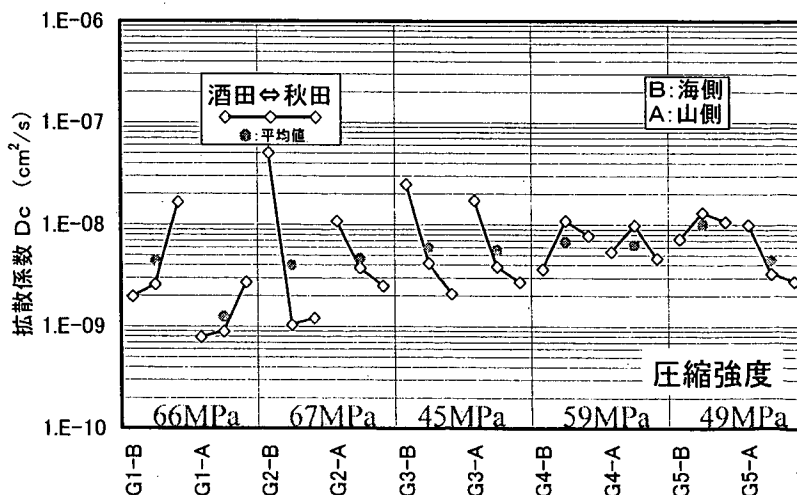


図-3.3 ポストテンション単純 T 桁橋の各主桁の D_c とコア圧縮強度

度の圧縮強度であったが、G1,G2 はそれらよりも明らかに圧縮強度が大きく、主桁によって圧縮強度に顕著な差が見られた。各主桁の D_c も圧縮強度と同様に主桁によって差が見られ、圧縮強度が比較的大きかった G1,G2 の方が他の主桁よりも D_c が小さい傾向にあった。これらの主桁の W/C の範囲は、圧縮強度の結果より概ね 30~45% の範囲にあると推定される。図-3.2 において、W/C が 30~45% の範囲で D_c は $2 \times 10^{-9} \sim 1.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ であり、図-3.3 の事例と同程度の範囲にある。また、図-3.2 において W/C が 30~45% の範囲で D_c の変化が大きく、図-3.3 で主桁間の差が見られたことと傾向が同じである。

図-3.4 にこの橋の橋台の塩化物イオンの浸透状況を示す^{3.6)}。この箇所でのコアの圧縮強度は 16MPa であり、W/C は少なくとも 60% 以上であったと考えられる。この箇所の D_c は $3.8 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。図-3.2 では、W/C が 60% で D_c が概ね $3.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。これらの結果より、図-3.2 は実構造物のコンクリートの D_c と W/C の関係としてかけ離れたものでないことがわかる。

なお、文献 3.3) では、室内における塩水浸漬試験における D_c は屋外暴露試験における D_c より

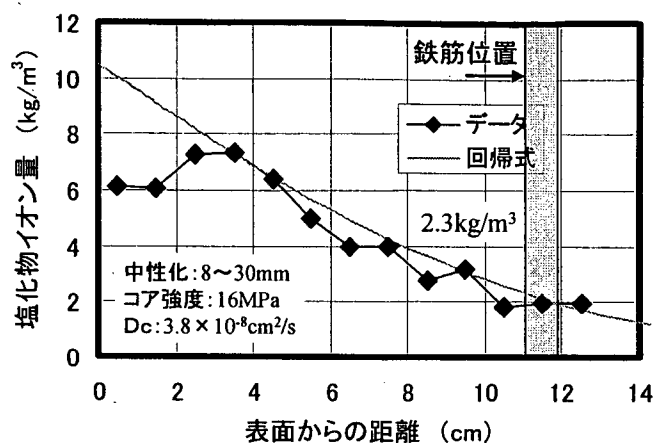


図-3.4 橋台の D_c とコア圧縮強度(図-3.3 と同じ橋)

も 1 桁近く大きい値となることを示した。その原因の一つとして、常時湿潤状態に置かれる塩水浸漬試験と異なり、屋外暴露試験ではコンクリート表面が乾燥するため、その後の塩分の浸透が抑制されている点をあげている。屋外暴露試験はこの乾燥の点において実構造物の環境と概ね同様であることから、上記の屋外暴露試験による D_c と実構造物の D_c が概ね同程度の結果になったものと考えられる。

以上のように W/C が小さいほど D_c も小さくできることから、適切な施工が出来る範囲で W/C を小さくするのが効果的である。近年、高性能 AE 減水剤の普及と高流動コンクリートや高強度コンクリートの研究、実用化が進む中で、W/C を低減した高耐久性コンクリートの実用化も進んでいると言える。なお、W/C を低減し過ぎると、ポンプ圧送が困難になったり、温度ひび割れの抑制が困難になったり、単位セメント量の増加によりアルカリ骨材反応の発生の可能性が高くなるなど、注意すべき点もある。プレテンション PC 桁の場合には、従来より W/C が 35~40% 程度のものが多く、中には 30% 程度のものも見られており、W/C を低減することによる高耐久性化は比較的容易であると考えられる。ポストテンション PC 桁のような現場打ちコンクリートにおいて W/C を低減するときは、「高強度コンクリートの設計施工マニュアル(案)」^{3.2)}などを参考に適切な W/C の設定及び適切な施工に努める必要がある。これまでの高強度コンクリートの研究や実績などから、従来のコンクリートの場合に比べると施工及び施工管理は容易でないが、条件によっては現場打ちでも 30~35% 程度までの W/C の低減は不可能ではないと考えられる。図-3.2 の結果に基づけば、まずは W/C を 40% 以下とするのが D_c 低減に効果的であり、他に施工に支障がない範囲で 1% でも少ない W/C とするのがよいと考えられる。また、W/C が低い場合には、所要の早期強度も比較的得易いと考えられるので、早強セメントにこだわらず、ひび割れ発生抑制のために低熱セメントや高ビーライトセメントなどの使用も

視野に入れて検討するのがよいと考えられる。

3.2.3 高炉スラグ微粉末などの混和材による塩分浸透抵抗性の向上

高炉スラグ微粉末など^{3,7),8)}などの混和材を混合したコンクリートは、その配合などによっては比較的高い塩分浸透抵抗性が得られる場合があり、高耐久性コンクリートの一つとして期待される。米国バージニア州では、近年の高性能コンクリート(High Performance Concrete, 定義は確立していないが、日本の高流動コンクリートと異なり、耐久性を重視したコンクリート、あるいは強度だけでなく耐久性にも配慮したコンクリートなどをいう)の一つとして、シリカフェーム及びフライアッシュを添加したコンクリートが採用された事例がある^{3,9)}。また、英国の第二セバーン橋のアプローチ部(主径間は456mの鋼斜張橋、アプローチ部はすべてコンクリート橋で延長約2km)では、温度ひび割れ対策や耐久性向上の観点から、高炉スラグ微粉末が積極的に使用された^{3,10)}。高炉スラグ微粉末の置換率は30～70%の範囲であり、構造物の場所、部材に応じて置換率を変えて使用された。

高炉スラグやフライアッシュはいずれも産業副産物であるが、コンクリートに再利用するため製品化・JIS規格化されている(それぞれJISA 6206, JIS A 6201)。

高炉スラグ、フライアッシュはコンクリートのアルカリ骨材反応の抑制に役立つことから、1990年の改定以降、道路橋示方書にも記述されるようになった。この点と、比較的安価である点から、アルカリ骨材反応の事例が多く見られた下部構造に高炉セメントが用いられる事例が1980年代後半頃から増加した。これらの混和材はコンクリート中のゲル水とのポズラン反応によりナトリウムなどのアルカリ金属を固定化することから、アルカリ骨材反応の抑制効果が期待されている。この反応とともにコンクリートが緻密化されることが主要因と考えられるが、塩分浸透抵抗性の向上にも役立つことが多くの実験で確認されている。

混和材を用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性は、水粉体比W/B、セメントと混和材の置換率、混和材のブレン値(比表面積)、養生等の施工条件によって異なる。材料選定、配合設計においては、要求性能に応じて、これらの値を適切に設定することが重要である。混和材を多くするほど、ブレン値が小さい(粒径が粗い)ほど、強度が低くなるとともに、中性化が早くなるといわれる。

混和材を用いたコンクリートは普通のコンクリートに比べて養生に時間を要する。また、養生が適切でなかった場合に後で再養生を行っても本来の性能が得られないので、特に養生に気を付ける必要がある^{3,7)}。また、これらの混和材を用いたコンクリートは、生コン工場において混和材のためのサイロを一つ確保する必要があることから、高炉セメントの場合を除いて、その供給が容易でないことが多い。このことから、これらのコンクリートは、工場製品や現場にコンクリートプラントを設ける場合などでの実績は増えつつあるが、一般的な生コンと同様に供給することはできない。PC桁に高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートを採用する場合、上記の要求性能を満足するため、これまでの研究成果より、ブレン値6000の高炉スラグ微粉末を置換率50%程度で混入し、W/Bを40%程度とするのがよいと思われるが^{3,8)}、現場打ちでは供給面での問題が大きいので、当面は、主としてプレキャスト製品に適用するのがよいと考えられる。なお、現行の高炉セメントB種は、高炉スラグ微粉末と普通ポルトランドセメントを混和したものに相当し(実際、それぞれの粉体をプレミックスしているものもある、置換率は45～50%程度)、ブレン値は概ね4000相当のもの

である。ブレン値を上げることは、多くの性能についてメリットが大きい、一般に高価になる傾向にある。また、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフュームは、現時点では需要が少なく、材料の供給の安定性が地域によって異なる場合があるとともに、一般の生コンプラントなどでは、個々の材料の品質管理に不慣れな場合が多いと考えられる。混和材を用いる場合には、養生日数の増加、材料運搬費の増加、サイロの確保に要する手間・費用の増加、品質管理項目の増加に対する手間・費用の増加、材料の運搬費の追加等、材料以外のコストや手間の増加が少なくない。

これらの点を踏まえて、混和材を用いたコンクリートを使用して D_c を低減する場合には、施工性のほか、初期コスト増を含む LCC、強度特性(PC 桁の場合特に早期強度)、中性化速度、供給体制、養生方法などに注意して、最適な材料選定と配合設計を行う必要がある。

3.3 鉄筋の耐食性とその向上

かぶりコンクリートのみで鉄筋の防食を考える場合、コンクリート中における普通鋼材の耐食性を把握しておく必要がある。国内では、コンクリート中の普通鋼材の腐食限界塩化物イオン量は一般に実験により得られた $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ ^{3.11)}と考えられている。これまでの既設橋の調査においても、 1.2 kg/m^3 以下では鋼材の腐食はほとんど見られず、 2.5 kg/m^3 を超えると鋼材の腐食が見られることが多い傾向にある。 $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ の範囲はグレーゾーンであり、かぶり厚に応じて酸素の供給量が異なるためではないかと考えられるが明確にはされていない。土木学会の耐久性照査型コンクリート標準示方書では、塩化物イオンの浸透による鋼材腐食の照査において腐食限界塩化物イオン量は 1.2 kg/m^3 としてよいとされている。米国連邦道路局 (FHWA) では 1.1 kg/m^3 と考えられている^{3.12)}。

一方、鉄筋の耐食性を向上させるため、かぶりコンクリートだけではなく、エポキシ樹脂塗装によって鉄筋を保護するエポキシ樹脂塗装鉄筋やステンレスなどのより耐食性の高い鋼材を使用した鉄筋などが用いられる場合がある。これらは、スーパー塩害対策を推奨する地域^{2.3)}のように塩分環境が特に厳しいところに架設する橋や、それより内陸であっても、自重の軽減や桁高さの抑制のために桁断面をコンパクトにする必要がある橋などにおいて注目される機会が多いと考えられる。以下に、これらの耐食性やコンクリート構造物への適用上の課題などについて述べる。

3.3.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋

米国では凍結防止剤による鉄筋コンクリート床版(RC床版)の塩害対策として、エポキシ樹脂塗装鉄筋(以下、塗装鉄筋)が使用される事例が少なくない。これまで、供用後約 20 年を経過した床版を対象に塗装鉄筋の性能について実態調査が行われ、報告されている^{3.13)3.14)}。

塗装鉄筋の場合、塗膜に顕著な欠陥がなく、コンクリートにひび割れがない場合には、コンクリート中の鋼材周囲の塩化物イオン量が $3.1 \sim 4.6 \text{ kg/m}^3$ 程度の場合に損傷が見られていなかった。一方、損傷が見られた事例としては、塗装鉄筋端部の処理がされていない場合や、コンクリートに多くのひび割れがあり、鋼材周囲の塩化物イオン量が $9.7 \sim 15 \text{ kg/m}^3$ であった場合であった。国内では、海岸部に約 15 年間暴露した結果が報告されている。W/C=60%、かぶり 2cm で初期塩分量が 10 kg/m^3 、かつひび割れ幅 0.1-0.3mm の人工ひび割

れがある場合に軽微な錆が見られたとされている^{3.15)}。

塗装鉄筋の場合でも塗膜に欠陥がある場合には、腐食限界塩化物イオン量は普通鋼材と同じと言われている^{3.16)}が、上記の実態調査の結果を勘案すると、ある程度の品質が確保され、コンクリートのひび割れが抑制されている場合など、腐食限界塩化物イオン量をもう少し多く設定してもよい場合があると考えられる(3-5kg/m³程度か)。

どのような塗装をしても大きなひび割れがあり、塗装鉄筋が塩分環境の厳しい飛沫帯などに直接曝された場合に鋼材が腐食することは鋼橋の塗装をみれば容易に理解できる。しかし、ひび割れがない場合には、ピンホールの発生位置とコンクリート中の塩化物イオン、酸素、水分の存在位置が一致したときに腐食が開始するものと考え、塗装鉄筋とした方が塗装のない普通鋼材のままよりも発生確率は低いと考えられる。また、塗装鉄筋を用いた場合にも周囲の塩化物イオン量のある程度低くした方が発生確率を低くできると考えられる。これらの点から、塗装鉄筋は、コンクリートのひび割れや、コンクリート中の塩化物イオン量のある程度抑制しながら使用するのが適切であると考えられる。なお、施工中に生じる傷については、特に曲げ加工及び現場内の小運搬の際に傷面積率が増加すること、丁寧に扱えばこれらが1/2～1/3程度に低減できることが報告されており、塗装鉄筋の腐食発生確率の低減において施工の配慮が重要であることがわかる^{3.17)}。

3.3.2 ステンレス鉄筋等

1960年代にメキシコにおいて、海上橋として、橋脚にステンレス鉄筋を適用した橋が普通鋼を適用した橋と並列に架設された^{3.18)}。普通鋼を用いた橋は既に撤去されたが、ステンレス鉄筋を適用した橋は特段の補修なしに今も供用されている。コンクリートへのステンレス鉄筋の適用に関する研究は1980年代以降活発となった^{3.19)}。英国では、BS6744:1986にコンクリート用オーステナイト系ステンレス鉄筋の規格が設けられており、SUS304、SUS316相当の成分規格、形状寸法、機械的性質、試験及び検査方法等について記述されている^{3.19)}。’98年に、英国土木学会によって、コンクリートへの適用方法に関するガイダンスがとりまとめられた^{3.20)}。

ステンレス鋼の耐食性は一般にもよく知られているが、コンクリート中においても耐食性が高く、SUS316を用いた鉄筋の場合、普通鋼材との電気的つながりがあっても腐食限界塩化物イオン量は12～20kg/m³、平均で18kg/m³と報告されている^{3.21)}。ステンレス鉄筋の腐食限界塩化物イオン量は普通鋼材の10倍以上であることがわかる。SUS304とSUS316を併用した事例では、ひび割れがある場合にも腐食限界塩化物イオン量は11～18kg/m³とされている。また、ステンレス鉄筋が腐食し始めても、その後の腐食速度は普通鋼材に比べて遅い^{3.21)}。

耐食性以外のステンレス鋼材の機械的性質等、基本的な性質を表-3.2に示す。ステンレス鉄筋は普通鉄筋のような明確な降伏点は見られない。弾性係数はいずれも193GPa(1.97×10^6 kgf/cm²)であり、普通鋼よりも若干小さい傾向にある。また、線膨張係数がそれぞれ 1.6×10^{-5} 、 1.7×10^{-5} /°Cであり、普通鋼の1.5倍程度である。ステンレス鋼のうちSUS430、SUS444は普通鋼と同等の線膨張係数であるが、前者は耐食性がSUS316、SUS304に比べて劣っているといわれている。現在、国内で市販されているステンレス鉄筋はSUS316、SUS304のみである(SUS430等は注文生産可とされている)。これらの補強材とコンクリートの線膨張係数の違いは初

期ひび割れへの影響が若干あるかもしれないが、その影響の程度は明確でない。文献 3.20)では線膨張係数の違いによる問題はないとされている。

国内、国外ともにステンレス鋼の単価は普通鋼の 10 倍程度であり、鉄筋の場合も同様である。耐食性が高いにもかかわらず、これまで橋梁に積極的に本格的に採用されていないのはこの点にある。このことから、維持管理費も含めたライフサイクルコストの観点でステンレス鉄筋と普通鋼の比較が行われている。国内においても、沿岸部において設計年数 100 年以上としたコンクリート橋を考える場合に、一つの選択肢になる可能性があると考えられる。国内では市販されていないが海外ではステンレスクラッド鉄筋が開発され、コストを低減しつつ、耐食性を確保することも考えられている。この鉄筋の端部は塗装鉄筋と同様に防錆処理が必要であり、ステンレスの溶接などによって処理されている。

表-3.2 ステンレス鋼材等の諸性質

材 料 の 種 類	SUS 304	SUS 316	SUS 430	SUS 444	チタン	普通鉄筋 SD295A
密度 (g/cm ³)	7.93	7.98	7.70	7.75	4.51	7.85
熱膨張係数 /°C×10 ⁻⁶ (0~100°C)	17.1	16.0	10.4	10.4	8.4	12
弾性係数 (GPa)	1.93	1.93	1.99	2.11	1.32	2.06
耐力 (Mpa)	284		304		275	295
引張強さ (Mpa)	637		490		392	440-600
伸び (%)	55		29		42	16 以上
用途例	外装、窓枠、 避難階段、 フェンスな どの屋外製 品	海岸地帯、 工場地帯の 外装、窓枠、 避難階段、 フェンスな どの屋外製 品	内装、装飾、 調度品など 一般に屋内 用	太陽熱温水 器、貯水槽、		

※普通鉄筋以外はメーカーカタログによる

3.4 PC鋼材の耐食性とその向上

PC構造物に不可欠である緊張材は引張強さが 1700~1900Mpa 程度の高張力鋼が用いられる。コンクリート中の腐食性状については普通鉄筋ほど実験データが多くない。張力が作用している場合、腐食発生後の腐食速度は無応力下のものよりも早い傾向にある^{3.23)}。しかし、張力の程度が腐食発生限界塩分量に及ぼす影響は明らかにされていない。これまでの塩害を受けた PC 橋の解体調査によると、PC 鋼材の腐食発生限界塩分量は普通鋼材と顕著な差がないものと考えられる^{3.24) 3.25)}。

PC鋼材の耐食性を高めるものとして、エポキシ樹脂塗装 PC 鋼材、プレグラウト PC 鋼材、PE被覆 PC 鋼材などがある。それらの一部は実用化されているものもあるが、適切な検査方法等、実構造物への適用方法は必ずしもまだ明確でないところが残されている。これらの耐食性を見る際には、鉄筋の場合と異なり、シースへの挿入時や緊張時における被覆材の擦り減りやはく離に対する抵抗性及びコンクリート中で緊張し

た状態での耐食性など、PC鋼材特有の検査項目もある場合があるので注意が必要である。

ステンレス鋼材を用いたPC鋼材に関しては、2相ステンレスPC鋼材(オーステナイト相がフェライト地に均一に分散した2相混合組織をもつ2相ステンレス鋼に伸線処理を施したもの)を用いて、機械的性質、疲労特性、リラクセーション特性、耐食性に関する検討及びPC部材での曲げ載荷試験が行われている^{3,26)}。弾性係数は一般のPC鋼材と同等であるが、引張強度、降伏強度は一般のPC鋼材の85%程度とやや小さい。また、破断時の伸びが4.0%であり、JIS規格値を満足しているが、一般のPC鋼材に比べると小さい。耐塩化物腐食特性は優れていることから、設計段階からこれらの機械的性質などに十分配慮するなど、塩害対策の一つとしての適用方法を考える必要がある材料である。

3.5 耐久性向上に関わる新材料・新工法の導入上の問題

構造物の劣化は、材料特性、設計・施工要因のほか、外部環境と時間に依存し、劣化の兆候が見られるまでに時間を要する。長期に供用しなければならない橋などの重要構造物については、計画・設計時に構造物の耐久性をできるだけ明確に把握したいと考えるのが一般的であろう。このため、従来のコンクリート構造物のような数十年の実績があるものと、耐久性を明確に示すことが困難な新材料・新工法を適用したものとは、実績の観点で後者が圧倒的に不利な立場にある。また、コンクリートなどの従来の材料は大量生産などによる生産性向上といった長年の企業努力により比較的安価に供給されているため、新材料の多くは経済的にも厳しいのが実情である。新材料・新工法は、実績をつくりたくても、それ以前に実績の提示を求められることが多く、ジレンマに陥りがちである。

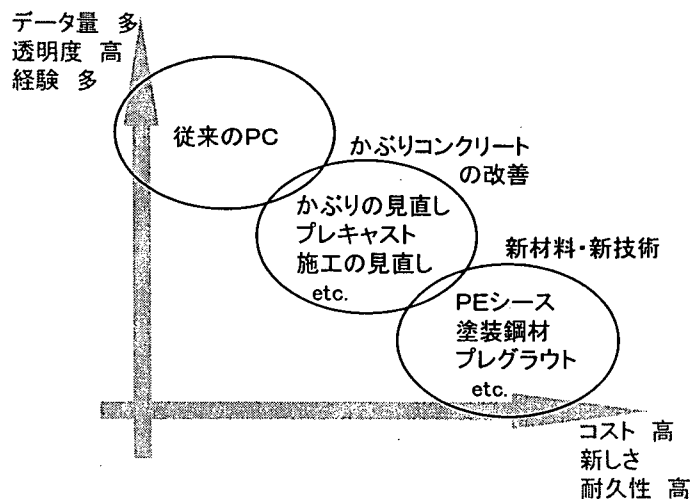


図-3.5 塩害対策技術の新旧の違い

材料・技術の"新"、"旧"をここでは以下のとおり分類してみる。

旧：普通/早強コンクリートのかぶりで防食

実績があるもの、耐久性を評価するための一般的な試験方法がある程度確立しているもの

新：それ以外。ここでいう"新"はすくなくとも実験的裏付けが得られていることを前提とする。

①使用頻度は少ないが長年(10~20年以上)の実績があるもの

塗装鉄筋、一部のコンクリート塗装 等

②素材の耐食性は高いと思われるが、構造、施工、供給等で課題を残しているもの

塗装PC、PEシース、FRP、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼

高炉スラグ微粉末、シリカフューム 等

③現場での実績はほとんどないが、研究成果はある程度得られているもの

電気防食、新しい仕様のコンクリート塗装 等

新材料・新技術によって解決すべき課題はさまざまである。このうち、①についての今日的課題は実績と現状をできるだけ詳細に把握することが最も重要であると考えられる。②、③については試験的にでも使用していく必要があると考えられる。この場合に、次節の検討が重要である。

3.6 新材料・新技術への対応

今日、海外市場参入問題と絡んで、構造物基準類の性能規定化が進められる方向にあり^{3,26)}、これと連動して新材料・新技術の導入の円滑化をはかる方向での検討も進められている。また、コンクリート橋の長寿命化に関して、沿岸部等の塩分環境の厳しい地域においては、従来の材料・技術のみでは困難である場合も生じてくるものと考えられる。これらの点から、新材料・新技術を積極的に受け入れる体制を整え、ひいては民間等の研究開発のインセンティブを高めることのできる基準づくり、環境づくりが必要である。特に、前節の問題点を抱える耐久性に関わる新材料・新技術にとってはなおさら必要である。この解決をみるのは容易でないが、ここでは新材料・新技術を導入する際の一般的ルールとして以下のような内容を考えている。

- ①材料の特性に関して、実験室レベルで把握できるものはできるだけ把握して、効果、使用上の注意、検討課題をまとめておく。特に、使用条件によっては逆効果となるものや、副作用があるものに注意しなければならない。
- ②施工の影響も含めて無理のない品質管理の可能な範囲を示す。
- ③検査方法を含む施工計画を添付する。
- ④適用の効果が後年に検証できるしくみを提案する。維持管理計画を添付する。
- ⑤フェイルセーフ機能をもたせる。(スーパー塩害対策のパーツとして)
または、万一、失敗したときのトラブルシューティングを示す。
- ⑥LCCでのコスト評価結果を示す。新材料・新技術に関する時間的データはないので、試験データをよく吟味して楽観的評価と悲観的評価の両方を算出する。
- ⑦実用性が確認された後の効果(他の構造物への普及効果など)を示す。⑥の結果と合わせてみて、高い効果が期待できる場合は、ある1橋(ないし数橋)で試験的に採用することもあり得ると考えられる(ハイリスク、ハイリターン)。
- ⑧責任者を明示する。
- ⑨補償制度等(本共同研究の検討対象外)

3.7 メニューの整理

新材料・新技術は今後も新しいものが現れることを期待しているが、まず、今後のLCC試算のベースを構築する当面の課題として、これまでの実績からある程度推奨し得るものの組み合わせを整理しておく必要がある。塩害対策は3.1に示したとおり幾つかの選択肢があり、多くの組み合わせが考えられる。しかし、これらの適切な選定手法が明確でないのが現状である。このことから、表-3.3~3.5に示すように、選定の目安として、幾つかの防食材料の組み合わせを防食システムとしてパッケージで示し、それらの防食性のランク、施工の影響度、維持管理のし易さ、LCC寄与度を示すなどの試みが必要である。ここでいうLCC寄

与度は比較的一般的な構造形式を想定して、従来のままのLCCと各パッケージを採用した場合のLCCの比である。楽観的LCCは、基本的に補修・補強を要しないこととなるので、基本的に初期建設費での従来との比となる。悲観的LCCは、塗装鉄筋の腐食発生限界塩分量が普通鉄筋の上限値なみと考えるなど、新材料・新技術が理想どおりではないと考えて何らかのルールの下に試算するものである。今後、これらの検討を通して、材料・工法の選定手法を見出すきっかけとしたい。

表-3.3 プレテンションPC桁におけるPC鋼材に対する防食システムの一例

ランク	記号	かぶりコンクリート	+α	施工の影響度	維持管理のし易さ	LCC (楽観的, 悲観的)
I	a-1	早強セメント, W/C=35%, かぶり 7cm	塗装PC鋼材			
	a-2	〇〇セメント, HSC(W/C=30%), かぶり 5cm	塗装PC鋼材			
	...	高炉スラグ微粉末 (6000,50%)+早強セメント, W/B=40%, かぶり 5cm	塗装PC鋼材			
			FRP補強材			
II	...	〇〇セメント, HSC(W/C=30%), かぶり 5cm				
						

表-3.4 ポストテンションPC桁におけるPC鋼材に対する防食システムの一例

ランク	記号	かぶりコンクリート	+α	施工の影響度	維持管理のし易さ	LCC (楽観的, 悲観的)
I	b-1	早強セメント, W/C=40%, かぶり 7cm	PEシース 塗装PC鋼材			
	b-2	早強セメント, W/C=40%, かぶり 5cm	PE被覆PC鋼材			
	...	〇〇セメント, HSC(W/C=30%), かぶり 7cm	PEシース			
		〇〇セメント, HSC(W/C=30%), かぶり 10cm				
II						

(注) この表中のかぶりはコンクリート表面からシースまたは緊張材までの最短距離を示す。

表-3.5 鉄筋に対する防食システムの一例

ランク	記号	かぶりコンクリート	+α	施工の影響度	維持管理のし易さ	LCC (楽観的, 悲観的)
I	c-1	早強セメント, W/C=40%, かぶり 5cm	塗装鉄筋			
	c-2	早強セメント W/C=40%, かぶり 5cm	ステンレス鉄筋			
	c-3	早強セメント W/C=40%, かぶり 3.5cm	ステンレス鉄筋			
	...	〇〇セメント, HSC(W/C=30%), かぶり 2.5cm	塗装鉄筋			
II	...	〇〇セメント, HSC(W/C=30%), かぶり 5cm				
						

※LCCは、たとえば、PCT桁、支間 30m、5 主桁を対象として設計年数 100 年とした場合の試算するなどして試算例を示す。楽観的LCCと悲観的LCCの両方を試算する。

4. スーパー塩害対策（仮称）

4.1 新暮坪橋の事例

建設省東北地方建設局(現国土交通省東北地方整備局)酒田工事事務所及び秋田工事事務所が主催する塩害PC橋対策技術検討特別委員会(委員長：東北大学大学院 三浦尚教授)では、平成3年より国道7号線の道路橋の塩害対策の維持管理、架替えについて各種の調査検討が実施され、塩害を受けたPC橋の適切な維持管理に貢献するとともに、補修・補強・架替えの判定手法やモニタリングの試行など、他の地域における塩害対策としても役立つであろう各種の成果を上げてきている^{4.1)}。そのうち、酒田工事事務所管内の17橋については、結局、架け替えが必要であるということとなった。それまでの維持管理の経緯から架け替えとなった箇所の環境は特に塩分環境が厳しいものと判断し、従来の塩害対策指針(案)どおりだけではなく、近年の防食技術をできるだけ多く取り入れ、現時点で万全と考えられる対策をはかることとなった。表4.1に同委員会で提案している主な新設橋の塩害対策を示す。現在、これに基づき既に4橋が架け替えられている。

この東北仕様を包含するスーパー塩害対策(仮称)は、今後設計年数を100年以上としたときに汎用的に必要なものと考えられる。本共同研究では、以下の点について検討する必要がある。

表4.1 新暮坪橋の塩害対策（東北仕様のスーパー塩害対策）^{4.2)}

高耐食材料の導入	エポキシ樹脂塗装鉄筋	上部工、下部工ともに、すべて塗装鉄筋を使用する。 その加工には十分配慮し、切断面等にはエポキシ樹脂を塗る。 また、被覆結束線を使用し、内側に折り込む。	
	表面被覆PC鋼材	定着具等の樹脂で被覆されない鋼材は十分な防錆処理を施す。	
	耐食シース	硬質ポリエチレンシースを使用する。	
	セラミック塗装高欄	亜鉛メッキの上に粉体塗装2回、セラミック塗装1回施した高耐食性高欄を使用する。	
	コンクリート塗装	表面被覆された鋼材を使用するため、コンクリート塗装は原則として行わない予定であるが、架橋条件等により検討を行う。	
構造上の配慮	構造形状	塩分付着面積の少ない閉断面の箱桁もしくは中空床版桁とする。	
	鋼材の純かぶり	上部工は、塗装鉄筋を使用していることもあり、ひび割れ制御の観点から通常5cm以上（塗装鉄筋を使用しない場合は7cm以上）、箱内断面では3.5cm以上とする。下部工は、7cm以上とする。スパーサはコンクリート製またはモルタル製を用いる。	
	コンクリートの配合等	水セメント比	上部工：45%以下 下部工：55%以下
		打設時期	コンクリートの打設が冬季にかからないようにする。
		空気量（AE剤添加）	粗骨材最大寸法25mm：6.0% 粗骨材最大寸法40mm：5.5%
		種別	原則としてポルトランドセメントを使用する。
		単位セメント量	単位セメント量は330 kg/m ³ 以上とする。
	支承	ゴム支承を使用し、付属鋼材（アンカー等）には良質のステンレス鋼（SUS316）を使うか、常温亜鉛溶射等の防食処理を施す。	
	伸縮継手	塩分を含んだ水や湿気を遮断するため埋設型ジョイント(分散型)とし、埋め込み鋼材や露出鋼材は防食処理を施す。	
	防水層	床版上面には耐久性に富む防水層を設ける。	
	排水	橋上で排水は行わず、土工部で排水処理をする。橋長が長い場合は、合成樹脂製の排水ます・配水管を使用する。	

4.2 適用範囲

今後設計年数を100年以上としたときにスーパー塩害対策を推奨する地域を示す必要がある。スーパー塩害対策を用いた場合、少なからず初期建設費が高くなる傾向にあり、東北の事例のように明らかに塩分環境が厳しいところでは適切であると考えられるが、それをどの範囲まで適用すべきかの判定基準が必要となる。これについては、必要かぶりの検討の中で、必要かぶりが6.5~7cmを超えるような地域ではスーパー塩害対策を推奨することを提案した。

4.3 仕様型から性能型へ

表4.1に示した東北仕様は、今日考えられる対策として妥当な選択であると考えられるが、本共同研究では、今後の新材料・新技術を含む新たな対策にも順応できるように、スーパー塩害対策の基本的考え方を整理して、ある程度一般化する必要がある。現在、スーパー塩害対策の基本として、以下の内容を検討している。

- ①PC鋼材を含む鋼材の防食を確実にし、腐食発生確率を最小限にする。
- ②二重三重の対策（腐食発生確率の低減、フェイルセーフ機能の確保）を設ける。
- ③維持管理の負担はできるだけ小さくする。
- ④鉄筋の腐食発生防止が万一失敗してもメンテナンスできる範囲に止める。

4.3.1 鋼材の防食レベル

①については、スーパー塩害対策だけでなく、塩害対策全体に関わる内容である。これまでの塩害劣化の事例などを踏まえると、現場において、一旦PC鋼材に塩化物イオンに起因する腐食が発生した場合に、塩化物や錆の完全な除去は不可能である。PC鋼材の存在はいうまでもなく、橋の耐荷力、安全性に直接影響するものであり、PC鋼材への塩化物イオンの付着を避けることがPC橋の長寿命化のポイントである。次に、スターラップ等の防食についてどうするか、PC鋼材と鉄筋の防食レベルを分けるかは難しい選択である。これまでの塩害劣化の事例では、スターラップが腐食しているが、PC鋼材はまだそれほど腐食していないものも見られたが、結局、補修は避けられないので、PC鋼材が腐食している場合と同様に足場を設けて、はつり、断面修復等が行われることになる。また、従来のPC橋では、鉄筋の腐食にともなうかぶりコンクリートのひび割れ、剥離に伴い、PC鋼材も甚だ厳しい状況に曝す結果となっていた。このことから、鉄筋についてもできるだけ腐食の発生を避けるのが賢明であるが、PC鋼材と同じ防食レベルとすることを一般的仕様としてよいかはさらに検討する必要がある。

4.3.2 二重三重の対策

②については、このスーパー塩害対策のポイントとなるところである。まず、ここではPC鋼材に対する二重三重の対策の考え方の例を以下に示す。

(1) 一般部の例

東北仕様を例にみると、かぶり増、PEシース、グラウト、塗装PC鋼材及びひび割れの抑制のためのブ

レストレス力増といった5重の対策が取られている。

①の防食については100%を期待するのは難しい。ある程度年数が経てばPEシース周辺に塩化物イオンが浸入する可能性があること、PEシースには継目があることからPEシース内への塩化物イオンの多少の浸入はあり得ること、グラウトは施工の影響が大きいこと、塗装PC鋼材には塗装欠陥が存在することなど、個々の対策だけで悲観的にみると100%の防食とは言い難いが、これらの組み合わせで考えることによって定性的ではあるが確率的にほとんど"確実"といってもよい防食レベルになっていると考えられる。また、塗装PC鋼材の使用は、施工中の塩化物イオンのある程度の付着に対しても有効である。さらに、万一、過積載等により一時的に曲げひび割れ等が生じても直ちにPC鋼材が腐食に至らないようにすることで、後のメンテナンスで対応できる余地を残すというフェイルセーフの観点からも二重三重の対策をとることが重要である。

(2) セグメント継目部の例

コンクリート橋の長寿命化の基本策(6章)の一つとして、プレキャスト部材とするのが有効であると考えている。このとき、プレキャスト部材の運搬上の制約等から適用支間が限定されるため(現行のプレテンション桁の場合最大25m)、自ずとプレキャストセグメント工法を採用したPC橋(以下、セグメント橋)が必要となる。このセグメント橋を塩害対策地域に適用する場合、セグメントの継目部の防食が重要なポイントとなる。本共同研究では、これについて解決するため、ポリエチレンシース(以下、PEシース)のセグメント継目部用カップラを考案して、塩水浸漬試験による遮塩性の確認を行うとともに、その適用方法についてとりまとめた^{4.3)4.4)}。この中でも、PC鋼材の防食についての考え方を整理する必要がある。セグメント橋は供用荷重に対して基本的に継目部に開き(またはひび割れ)が発生しないように設計されているが、沿岸部における橋の場合、過積載等の何らかの理由により万一ひび割れが発生した場合においてもPC鋼材が直ちに腐食し始めることがないようにしておく必要がある(フェイルセーフ)。このときに想定される塩分の浸透経路を図4.1に示す。カップラを用いた場合には、エポキシ接着剤やグラウトだけでなく、万一ひび割れが生じたときにも間詰材、Oリング、嵌合部で塩分の浸入を防ぐことが期待される(塩水浸漬試験では間詰材、Oリングの効果が確認された)。それぞれの遮塩性は100%でないとしても、カップラの使用によって、コンクリー

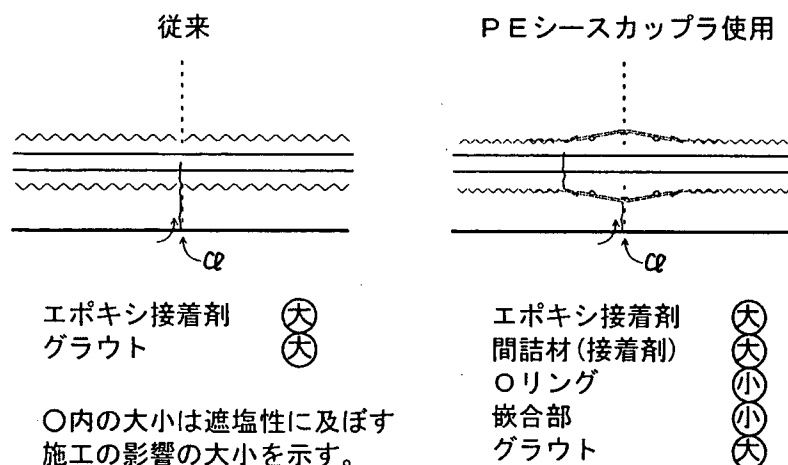


図4.1 PEシースのセグメント継目部用カップラによる塩分進入経路の相違

ト外部からの塩分がPC鋼材位置まで到達する可能性を従来よりも格段に小さくできると考えられる(定性的な確率)。エポキシ接着剤、間詰材、グラウトの遮塩性は施工の影響を受け易いが、適切に施工できたときの遮塩効果は高いので、施工の影響が大きいものに関してまったく期待しないというのではなく、個々に丁寧に施工する必要がある。

(3) 二つの事例の共通点

以上の二つの例から、二重三重の対策には、その組み合わせによって、定性的ではあるが確率的に防食レベルを高める機能と、不測の事態に対するフェイルセーフとしての機能の2種類があり、いずれも必要な機能であることがわかる。ただ、損傷の確率が低ければよいというだけでなく、万一、大きなひび割れが生じるなどの事態が生じたとしてもすぐに腐食が始まるということがないようにするといった考え方である。

4.3.3 維持管理の負担

たとえば、ポリエチレンを用いてPC鋼材への塩分の浸透を防ぐといった場合、①PC鋼材に直接被覆するケース、②PEシースを用いるケース、③コンクリートの外面にポリエチレンシートを貼り付けるケース(実際にはないが)が上げられるが、③の場合、外部に曝されることから、それ自体の耐久性やシートのはがれなどが懸念され、そのための維持管理の負担が大きくなってしまいうことがあれば、本末転倒になりかねない。いかなる新材料・新技術といえどもコンクリート単体の場合よりも著しく維持管理費が増加するようなことは避けるべきであると考えられる。

4.3.4 万一のときのメンテナンス ～時間的な余裕の確保～

ある新材料あるいは新技術を研究開発して現場に適用する際、設計・施工においても万全を期して望むのは当然であろうが、過信し過ぎてフェイルセーフを無視した場合、万一のときに却って維持管理の負担を大きくしたり、あるいは建設コストを極端に大きいものとしてしまう可能性がある。まず、過信せずに万一のときのトラブルシューティングを考えておくとともに、その処置が間に合うようにトラブルの発見・詳細調査・対策検討・予算確保・処置のための「時間的な余裕」を確保する必要がある。

これは、①の防食の確実性と関連し、また、②のフェイルセーフの一つとして包含され得る内容であるかもしれないなど、スーパー塩害対策の中での整理が不十分であるが、少なくともこうした考え方はどこかに残す必要があると考えている。

5. 施工と耐久性

5.1 かぶり不足対策

2.3 で述べたように、これまでの塩害対策橋での損傷はかぶり不足に起因すると考えられるものが多かったことから、今後、何らかの対策が必要である。

かぶりの誤差は、橋脚の測定事例より概ね設計値に対して変動係数 5～10%程度であると考えられる^{5.1)}。ただし、これはコンクリート打設前に鉄筋と型枠の最短距離を測定したものである。完成した構造物のかぶりには、その誤差に加えて、打設中における鉄筋や型枠のずれ等による誤差も生じ得ると考えられるが、これに関するデータがほとんどないのが現状である。実務においても、打設後のかぶりの検査は容易でない。土木研究所の調査によると、非破壊検査機器を用いたかぶり計測の誤差は測定原理や機種にもよるが、通常の PC 桁のかぶり程度であれば±1cm 程度の精度は得られると考えられる。この精度では竣工検査として活用するにはまだ必ずしも十分ではない。このことから、当面の措置として、かぶりの計測を、検査としてではなく、維持管理に必要なデータの収集として位置付けることを考えている。かぶりデータは維持管理の効率化に重要であるので、少なくとも塩害対策地域においては維持管理用のデータとして竣工検査とは別途、発注者側でデータ取りを行う。精度は多少悪くとも、特にひどい施工事例は検出できると考えられるし、万一そのようなことがあったときには部分的にはつつても確認するといったことも考えられる。実務としては、受注者が別途委託を受けて測定してもよいし、別途検査会社に委託して測定してもよい。とにかく、当面は、まず数字をみるところから始めることが重要である。これによってデータの蓄積が進めば、今後のかぶり誤差のより適切な許容値を設定できるようになると考えられる。また、かぶり管理の向上も一層向上する可能性もある。さらに、検査機器としての需要が伸びることに伴って、機器メーカーによる機器の精度や扱い易さの向上が一層推進されることを期待したい。

5.2 コンクリートの品質

コンクリートの W/C はその耐久性に大きな影響を及ぼすことが知られている。この W/C に関連する単位水量は施工時に変動することが懸念される場合があり、昨今のコンクリート構造物の耐久性問題と関連して、この単位水量の検査が注目されているところである。

一般に PC 橋の主桁はコンクリート打設後早期に所定の緊張力を導入する必要があるが、そのときにある程度の強度発現が不可欠であることから、コンクリートの W/C が施工の段階で極端に増加することはほとんどないと考えられる。これまでの塩害を受けた PC 主桁の調査でも、所要の強度が得られていない事例は見られていない。しかし、主桁によって強度に大きな差が生じていたり、同じ主桁の中でも部位によって強度に差が生じている事例が見られた。主桁各部における W/C のばらつきに関するデータはないが、今後、W/C に応じた耐久性設計を導入することを考慮すれば、各部のコンクリートの品質とその均質性の確保がより重要である。このことから、強度だけでなく単位水量の管理も行い、より適切なコンクリートの施工に務める必要があると考えられる。

単位水量の測定は、現状では精度上まだフレッシュコンクリートにおいて行う方が妥当であると考えられる。数年前から特にコンクリートの品質の管理としてこの単位水量の測定が試行的に実施され始めており、測定方法の比較や実際の管理手法などについて検討されている^{5.2)}。本報告書では、参考として骨子(案)の巻末に、エアメータによる単位水量測定法及び乾燥炉による単位水量測定法を示した^{5.3)}。

5.3 漏水対策

2.3 で述べたとおり、間詰部や床版ひび割れ部の漏水対策について改善が必要である。特に漏水に塩水が混じる可能性が高い箇所についてはできるだけ確実な対策が望まれるが、この確実度を高めるのは容易でない。これまでの一般的な漏水対策を基本に以下の方法などの効果を検討する必要がある。

- ① 防水層の設置、歩道部においても必要
- ② 継目形状の工夫
- ③ シースカップラの活用
- ④ 場合によっては樹脂注入 など

①は間詰部の防水対策としてこれまでも実施されているが、実態調査結果などをみると、その対策が必ずしも徹底されていないものと考えられる。近年、床版の疲労耐久性の面から防水層の設置が普及してきており、塩害に対しても好ましい方向にある。このとき、塩害対策地域においては、歩道部も車道部と同様に防水処理を行うのがよいと考えられる。

6. 今後の塩害対策のイメージ

6.1 塩害対策地域におけるコンクリート橋の長寿命化の基本策

塩害対策地域におけるコンクリート橋の長寿命化の基本策として次の内容を考えている。

- ①PC橋とすること
- ②プレキャスト部材とすること
- ③施工可能な範囲で W/C(設計値)をできるだけ低減すること
- ④塩分環境とコンクリートの種類・品質に応じた適切なかぶりを確保すること

①について

PC橋は、所定の工程の範囲で緊張作業を行うために、所要の早期強度が必要であり、かつ鉄筋コンクリート部材に比べて高強度であることから、比較的低い W/C のコンクリートが使用されている。また、プレストレスを導入していることから曲げひび割れ等のひび割れが発生しにくく、鋼材の防食性に優れている。結果として、PC橋の塩害に対する耐久性はRC構造物に比べて高くなっている。

なお、適切な耐久性設計が確立されてくると、今度は強度と耐久性の両方の要求を効率よく満たすことのできる設計が求められることとなる。上記の点から、PC橋の方がこのような設計を実現し易いと考えられる。まだ十分に議論されていないが、これまでの検討の中でも構造設計と耐久性設計の関係に関わる話題があった。本検討における今後の課題の一つとして、次に示す構造設計と耐久性設計の境界に関わる課題が残されている。

- (a) W/C 低減に伴う強度増加分の構造設計へのフィードバック（断面を減少させる 等）
- (b) 耐久性に適した構造設計（断面形状、鋼材配置 等）
- (c) 強度に対する余裕と耐久性に対する余裕のバランス（安全率、誤差 等）

②について

プレキャスト部材は工場で製作されるため、単位水量の少ないコンクリートの打設が可能であること、コンクリートの品質管理が十分に行えることなどから、結果として W/C の低いコンクリート部材を安定して製造できる。また、プレテンションPC桁の場合、かぶりの管理もプレストレッシングの工程上から確実性が高いと考えられる。また、工場で製造することから、耐久性向上が期待できるコンクリートの採用も現場に比べると実現性が高く、コンクリート構造物の長寿命化を効率的に実現できるという点で発展性が高いと考えられる。

なお、支間が約 25m を超える場合は運搬の制約上から工場での製作が困難であるが、近年、プレキャストセグメント工法による長大PC橋の事例が多く見られるようになってきている。この場合に継目部の防食が重要である。(4.3.2(2))

③について

W/C の低減はコンクリートの塩分浸透抵抗性をはじめ耐久性向上に貢献するところが大きい。

④について

塗装鋼材等の使用の有無によってかぶり厚に違いはあっても、環境やコンクリートに応じた適切なかぶりの確保はコンクリート構造物の長寿命化にとって重要である。特に、塩害対策地域においては、かぶりの計測を推奨して、かぶり確保の確実性を改善していく必要がある。(5.1 節)

6.2 設計年数 100 年への対応とスーパー塩害対策の位置付け

図-6.1 に、今後設計年数を 100 年としたときの沿岸部のコンクリート橋の耐久性レベルのイメージを、従来の耐久性レベルと対比して示す。

1984 年の塩害対策指針(案)の通達によって、沿岸部のコンクリート橋の塩害に対する耐久性は改善されたが、今後、設計年数を 100 年とした場合には、海岸線付近はかぶりコンクリートだけでは十分でなく、4 章で述べたスーパー塩害対策を積極的に検討する必要がある。本文では、新暮坪橋等をモデルとして、スーパー塩害対策の仕様の一般化(性能型の表記)についての検討課題を整理した。また、かぶり厚 7cm の範囲を海岸線から 300m までとするなど(従来は同 100m まで)、従来の塩害対策レベルの適用範囲をもう少し内陸まで拡大する必要がある。

これらに加えて、これまでの実態調査などを踏まえて、今後、かぶりや単位水量の計測を推奨するなど、施工の不具合による耐久性低下を防ぐ必要がある。

図-6.1 はこれらのイメージを示したもので、現行(図中の四角枠)の耐久性レベルに比べて、設計年数を 100 年としたときは図上右上にシフトし、海岸線に近いほど改善幅を大きくする方向で、塩害対策の検討を進めていく予定である。

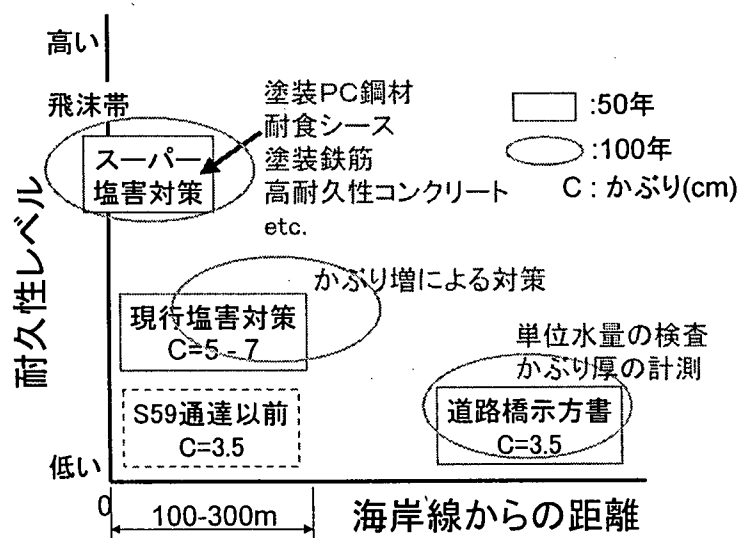


図-6.1 今後の塩害対策のイメージ

6.3 新材料・新技術への対応

コンクリート構造物の維持管理の負担を軽減するためには、既設構造物の適切な維持管理と今後の新設構造物の長寿命化に関する様々な技術開発や施策が必要であり、これに関する技術開発のインセンティブが得られるマニュアルづくりが必要である。しかし、耐久性に関わる新材料・新技術への対応は容易でなく、3章、4章で示した内容を踏まえて、さらに具体的な記述方法について今後検討する必要がある。

7. 塩害対策マニュアルの骨子(案)の位置付け

本書の第Ⅱ部として、塩害対策マニュアルの骨子(案) (以下、骨子(案)) を示した。これは、第Ⅰ部に示した検討内容などを踏まえ、今後の塩害対策をより具体的に示そうとしたものであるが、まだ十分に検討を終えていない内容も多く残している。骨子(案)は、具体的にマニュアル形式で記述することで問題点の再整理をはかること、本共同研究の今後残り1年間においてこれをもとにしたLCCの試算を行うことなどを念頭におき、あえて作成し、ここに示したものである。第Ⅰ部と第Ⅱ部の両者をみていただくことで、検討状況をより明確に伝えることができると考えている。今後、この内容についてのご意見も広く伺いながら検討を進め、正案を作成する予定である。

骨子(案)の構成を概略把握するため、照査の大きな流れを図-7.1 に示す。塩害対策は、かぶりコンクリートだけで防食を考えるものと、塗装鉄筋等の他の防食技術と組み合わせたものに大別している。これらの判別とスーパー塩害対策とするか否かの判別は必ずしも同じではない。たとえば、スーパー塩害対策を推奨する地域でもかぶりを厚くできる部材であれば、かぶりコンクリートのみによる防食も考えられる。また、スーパー塩害対策を推奨する地域でなくとも、部材厚を小さくするために塗装鉄筋を採用することも考えられる。塩害対策の検討を必要とする地域、スーパー塩害対策を推奨する地域はいずれも地域区分と海岸線からの距離により簡便に判定できるものとした。これは、単に設計者のためだけではなく、予算に携わる方から橋梁の計画、施工、維持管理に携わる方々にも塩分環境、塩害対策の程度を容易に把握していただけるように配慮したものである。

図-7.2 に沿岸部における道路橋の概略設計フローを示す。図中の左側は一般的な橋梁の概略設計のフローである。本来、塩害対策の検討は構造設計におけるさまざまな段階において必要であり、構造設計の検討と並行して進める必要があると考えられる。骨子(案)の検討にあたっては、これらのフローを念頭において検討を実施した。

表-7.1 に、骨子(案)における塩害対策の主な変更点と今後の課題を示した。本文でも示したように、新材料・新技術の導入に関してさらに検討を進める予定である。

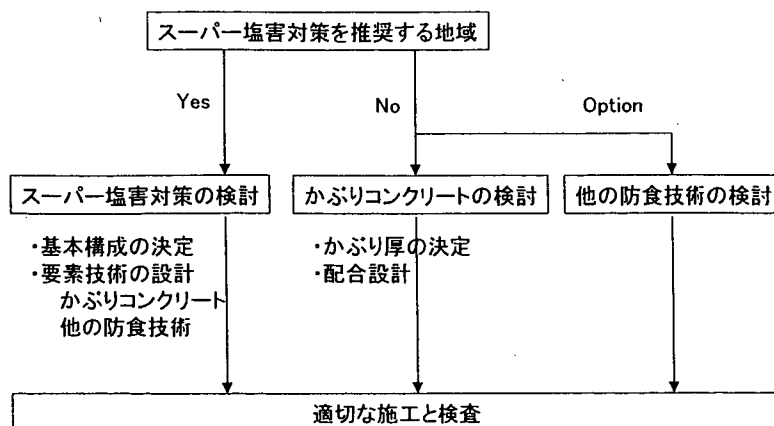


図-7.1 骨子(案)における塩害対策のフロー

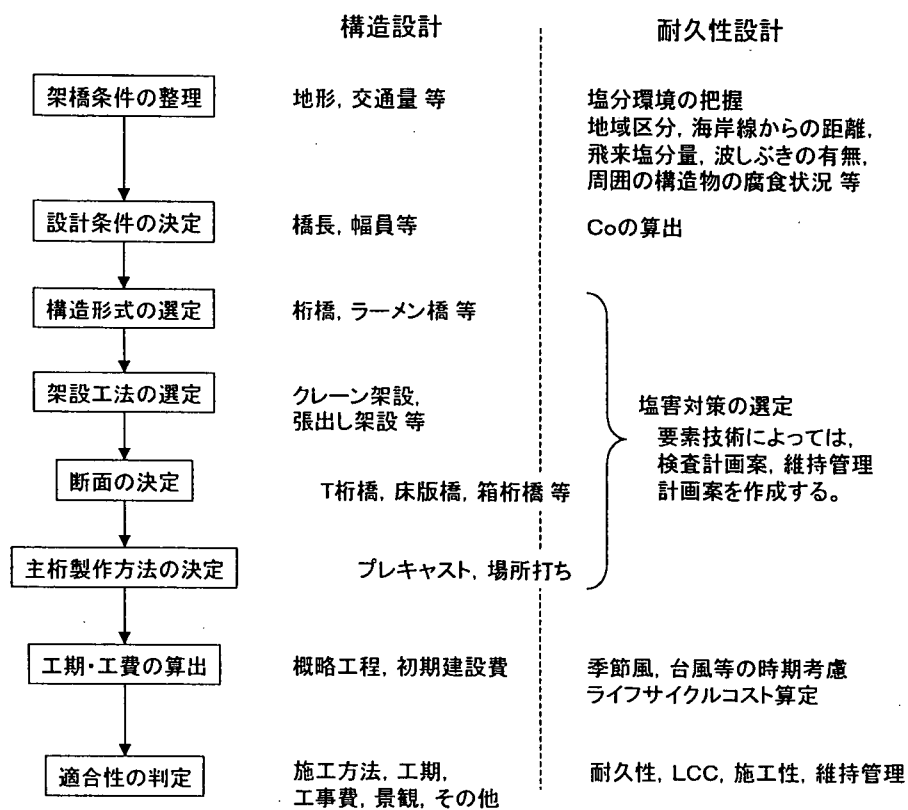


図-7.2 沿岸部における道路橋の概略設計フロー

表-7.1 骨子(案)での主な変更点と今後の課題

検討課題	～平成12年度	平成13年度
①設計年数100年	- 飛来塩分量による塩分環境の明示 - Fick式に基づくかぶり照査法の導入 - 品質の向上(→③) - スーパー塩害対策の概念導入とその推奨地域の明示	
②新材料・新技術	- 要素技術の整理 - 新材料・新技術導入時の検討項目の整理	材料選定手法(防食システムの整理とLCCの試算)
③施工・検査	- 加工鉄筋の寸法検査, 非破壊検査等追加による所要のかぶり確保 - フレッシュコンクリートの単位水量測定等による所要の品質管理	かぶり測定要領
その他		用語の定義

参考文献

1 章

- 1.1) コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究—コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査—, 土木研究所資料第 3811 号, 2001.3
- 1.2) 例えば, 鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向, 土木学会, コンクリート技術シリーズ 26, 1997.12, コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書, 日本コンクリート工学会, 1998.10 など

2 章

- 2.1) 見波潔, 遠藤繁雄, 上阪康雄: 暮坪陸橋の塩害損傷とその対策, 土木施工, 35-7, pp.9-19, 1994.6
- 2.2) 池田道政: 塩害によるコンクリート橋の損傷状況調査結果, 道路, 日本道路協会, 1984.2
- 2.3) ミニマムメンテナンス P C 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅱ)—コンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討—, 土木研究所, P C 建設業協会, 共同研究報告書 258 号, 2000.12
- 2.4) 前記 1.1 と同じ。

3 章

- 3.1) 例えば, 耐久性照査型コンクリート標準示方書, 施工編, 改定資料, コンクリートライブラリー99, (社)土木学会, p.23, 2000
- 3.2) 現場打ち高強度コンクリート部材の設計施工法に関する共同研究報告書, 一高強度コンクリートの設計施工マニュアル(案)—, 国土交通省, (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会, 共同研究報告書第 266 号, 2001.3
- 3.3) 田中良樹, 藤田学, 河野広隆, 渡辺博志: 高強度コンクリートの塩分浸透抵抗性, コンクリート工学年次論文集, 2001 (投稿中)
- 3.4) 前記 2.2 と同じ。
- 3.5) 塩害を受けた P C 橋の耐荷力評価に関する研究(Ⅳ)—旧芦川橋の載荷試験—, 土木研究所資料 3816 号, 2001.3
- 3.6) 非破壊検査を用いたコンクリート構造物の健全度調査—旧榊橋・旧芦川橋下部構造調査結果—, 土木研究所資料 3791 号, 2001.3
- 3.7) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー86, (社)土木学会, 1996. 6
- 3.8) 高炉スラグ微粉末を使用した高耐久性プレストレストコンクリート構造物の開発, 高耐久性 P C 構造物開発検討委員会, (社)日本材料学会, 1998. 3
- 3.9) M. M. Lwin: Deterioration of concrete structures in a marine environment, 16th U.S. - Japan Bridge Engineering Workshop, pp.411-417, 2000
- 3.10) D. Higgins: Developments in the use of ggbs, Concrete, pp.18-20, Jan./Feb. 1996
- 3.11) 大即信明ほか: 塩害(Ⅰ), コンクリート構造物の耐久性シリーズ, 技報堂, p.33, 1986.5
- 3.12) Walter P. Kilaeski: Corrosion Induced Deterioration of Reinforced Concrete -An Overview, Material Performance, pp.48-50, March 1980
- 3.13) J.L.Smith, Y.P. Virmani: Performance of Epoxy-Coated Rebars in Bridge Decks, Public Roads, pp.6-12, Autumn

1996

- 3.14) K.C. Clear et. al.: Performance of Epoxy-Coated Reinforcing Steel in Highway Bridges, NCHRP Report 370, Transportation Research Board, 1995
- 3.15) 星野富夫, 魚本健人, 小林一輔: 15 年間の海洋暴露実験を行ったエポキシ樹脂塗装鉄筋コンクリート梁の耐久性と防食効果, 土木学会論文集, No.592, V-39, pp.107-120, 1998.5
- 3.16) D. W. Pfeifer: High Performance Concrete and Reinforcing Steel With a 100-Year Service Life, PCI Journal, pp.46-54, May/June 2000
- 3.17) 三浦尚, 板橋洋房, 新井哲三: エポキシ樹脂塗装鉄筋の許容塗膜損傷度に関する研究, 土木学会論文集, No.451, V-17, pp.79-88, 1992.8
- 3.18) Low Maintenance, Nickel, Vol.15, No.2, pp.13-15, Dec. 1999
- 3.19) D.B. McDonald et. al.: Stainless Steel Reinforcing as Corrosion Protection, Concrete International, pp.65-70, May 1995
- 3.20) Guidance on the use of stainless steel reinforcement, Technical Report No.51, Concrete Society, 1998
- 3.21) 前記 3.16 と同じ。
- 3.22) 前記 3.20 と同じ。
- 3.23) 小林佑規, 田中義久: P C 鋼より線の 3%NaCl 水溶液における応力腐食特性, プレストレストコンクリート, 33-3, pp.98-106, 1991.5
- 3.24) 田中良樹, 河野広隆, 渡辺博志, 木村哲士: ポストテンション P C 桁の塩害劣化と耐荷力, コンクリート工学年次論文集, 22-3, pp.781-786, 2000
- 3.25) 木村哲士, 河野広隆, 田中良樹: 塩害を受けた P C 鋼材の腐食性状と伸び性能, 第 55 回土木学会年次学術講演会概要集 V, pp.724-725, 2000
- 3.26) 白濱昭二, 方蘇春, 小林剛, 宮川豊章: 2 相ステンレス P C 鋼材の基礎的諸特性およびこれを用いたプレストレストコンクリート部材の曲げ載荷試験特性に関する研究, 材料, 48-10, pp.1199-1206, 1999.10
- 3.27) コンクリート構造物基準類の性能規定化に関する検討, 土木研究所資料 3594 号, 1998.9

4 章

- 4.1) 三浦尚ほか: 暮坪陸橋の塩害による損傷と対策, 橋梁と基礎, 1993. 11, 1993. 12, 1994. 1
- 4.2) 木村恒夫, 高橋智巳, 仁科一義, 染谷保司: 暮坪橋(一括押出し工法)の施工及び暴露試験計画, プレストレストコンクリート技術協会第 8 回シンポジウム論文集, pp.677-682, 1998.10
- 4.3) 田中良樹: プレキャストセグメント工法を用いた P C 橋の継目部防食技術の開発, プレストレストコンクリート, 41-5, pp.53-54, 1999.9
- 4.4) 品川清和, 呉承寧, 田中良樹: プレキャストセグメント工法を用いた P C 橋の継目部防食技術に関する実験的研究, P C シンポジウム論文集, pp.563-568, 2000.10

5 章

- 5.1) 小林茂敏, 渡辺博志, 田村久: かぶりの精度を向上させるための方策に関する研究, 第 43 回土木学会年次学術講演会概要集 V, pp.314-315, 1988.10
- 5.2) 河野広隆, 片平博: フレッシュコンクリートの単位水量を迅速に推定する方法について, 土木技術資料, 42-4, 2000.4
- 5.3) 片平 博, 河野広隆: フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定法に関する実験的研究, 土木研究所資料第 3657 号, 1999

第Ⅱ部 塩害対策WG検討資料

PC橋の塩害対策マニュアルの骨子（案）

目 次

1 章 総則	33
1.1 一般	33
1.2 適用の範囲	34
1.3 用語の定義	36
2 章 対策の基本	37
2.1 一般	37
2.2 塩分環境の把握	38
2.2.1 飛来塩分量	38
2.2.2 スーパー塩害対策を推奨する地域	40
2.3 塩害対策	41
2.3.1 塩害対策の選定	41
2.3.2 コンクリートの設計・施工における塩害対策	42
2.3.3 スーパー塩害対策	43
3 章 設計	44
3.1 一般	44
3.2 構造物の形状および鋼材配置	44
3.3 かぶりコンクリート	45
3.3.1 かぶり	45
3.3.2 ひび割れ	48
3.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋	49
3.4.1 許容付着応力度	49
3.4.2 鉄筋の定着	49
3.4.3 鉄筋の継手	50
3.4.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合のかぶり	50
3.5 支承, 橋梁付属物, 橋面	52
4 章 材料	54
4.1 一般	54
4.2 コンクリート	54
4.2.1 コンクリートの材料	54
4.2.2 コンクリートの配合	55
4.3 グラウト	56
4.4 定着具保護用後埋め材	56
4.5 補強材	56
4.6 シース	57
5 章 施工	59

5.1	施工の基本	59
5.2	施工計画	60
5.3	型枠工	61
5.4	鋼材	61
5.4.1	鋼材の保管	61
5.4.2	鉄筋の加工	62
5.4.3	組立て	62
5.4.4	スペーサー	63
5.5	コンクリートの施工	63
5.6	グラウト工	64
5.7	後施工部の処理	65
5.7.1	継ぎたし箇所の鋼材	65
5.7.2	後埋めコンクリート	65
5.8	エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工	65
5.8.1	受入れ、運搬、保管	65
5.8.2	加工	66
5.8.3	配筋	66
5.9	耐食性シース	67
6章	検査	68
6.1	検査の基本	68
6.2	受入れ検査	69
6.2.1	コンクリートの品質	69
6.2.2	加工鉄筋	69
6.2.3	エポキシ樹脂塗装鉄筋	69
6.2.4	施工金具等	70
6.3	施工検査	70
6.3.1	型枠	70
6.3.2	スペーサー	70
6.3.3	かぶり	70
6.4	完成検査	71
6.4.1	コンクリートの表面	71
6.4.2	かぶり	71
6.4.3	工事報告書等	71
付属資料		
A.	飛来塩分量測定要領	73
B.	かぶりの照査に用いる誤差関数	77
C.	コンクリートの単位水量推定法	82
D.	セグメント継目部用ポリエチレンシースカップラに関する資料	85

E. エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準(案) (塩害対策指針(案)付属資料より抜粋)	91
F. 塩害対策・材料等の選定・施工に関する参考資料	95
F1. スーパー塩害対策	95
F2. 防食材料・防食技術.....	96
F3. 塩害対策に関する施工上の工夫例	99
F4. コンクリートの材料と施工	102
F5. グラウト	108

1 章 総 則

1.1 一 般

このマニュアルは、海岸線付近にあって波しぶきや潮風の影響を受ける道路橋の塩害を防止または軽減するために必要な設計・施工上の対策を示すものである。

海岸線付近のコンクリート構造物においては、完成後、海からの潮風や波しぶきにより塩分が飛来付着し、経年とともにコンクリート内部に浸透する。このことによって、コンクリート内部の鋼材が腐食し、錆により鋼材が体積膨張してコンクリートにはくりやひびわれを発生させる場合がある。さらに、はくりやひびわれが生じると鋼材の腐食が一層促進されることとなる。特に、P C 鋼材は常に高い引張応力度のもとで使用されており、腐食が発生するとその影響度が大きいといえる。

このような現象は塩害と呼ばれている。このほか、塩害には、洗浄が不十分な海砂などからコンクリートの練り混ぜの際に含まれる塩分によって生じるもの、凍結防止剤の散布によって生じるものがあるが、この暫定案では、主に波しぶきや潮風によって生じる塩害についてその対策を示すこととした。

1.2 適用範囲

(1) このマニュアルは、表-1.2.1に示す地域に建設する橋で道路橋示方書が適用される新設橋のコンクリート構造物(無筋コンクリート構造物を除く)の部分のうち、直接、外気に接する部分の設計・施工に適用する。

ただし、表-1.2.1に示す地域以外に存する橋であっても、塩分の飛来により塩害を受ける可能性が認められる場合は、このマニュアルを準用することができる。

表-1.2.1 塩害対策を考慮すべき地域^{1.1)}*

地域区分	地 域
A	沖縄県
B	別表-1に示す日本海沿岸部北部地域のうち、海上部および海岸線から1kmまでの部分
C	上記以外の地域のうち、海上部および海岸線から200mまでの部分

* : 本表の地域区分および数値は道路橋示方書の次期改定で異なるものとなる場合がある。

表-1.2.1 別表-1

北海道のうち、稚内市、留萌市、小樽市、猿払村、豊富町、礼文町、利尻町、利尻富士町(宗谷支庁)、留萌支庁、石狩支庁、後志支庁、檜山支庁、松前町(渡島支庁)
青森県のうち、蟹田町、今別町、平舘村、三厩村(東津軽郡)、北津軽郡、西津軽郡、大間町、佐井村、脇野沢村(下北郡)
秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県

(2) このマニュアルに示していない事項については、道路橋示方書によるものとする。

塩害は、海岸線付近の橋梁のうち、鋼材のかぶり薄いコンクリート橋上部構造に多く発生しているが、大気中にある下部構造にも生じていることがある。

そこで、このマニュアルの適用構造物としては、海岸付近の塩分の影響を受ける地域のコンクリート構造物のうち直接外気に接する部分とした。したがって、直接外気に接しない中空床版橋や箱桁の内面、基礎やフーチングおよび橋台等のうち常に水中にある部分や直接土に接する部分および無筋コンクリート構造物は除外する。

塩害対策を必要とする地域は、既に塩害対策指針(案)^{1.2)}で海岸線付近における既設のコンクリート橋の損傷状況等に基づいて全国の海岸線を3地域に区分し、海岸線からの距離によって設定していた。このときの塩害対策を必要とする地域は、沖縄県全域、日本海北部沿岸地域のうち海岸線から300mまでの部分、その他の地域では海岸線から200mまでの部分とされていた。その後、全国266箇所では1984年から3年間にわたって実

施した飛来塩分量全国調査^{1,3)}の結果に基づき、塩害が比較的多く発生している北海道、東北、北陸地方の日本海に面した地域および沖縄では飛来塩分量が多いなど、塩害損傷状況の分布と飛来塩分量の分布に関係があることを確認するとともに、マクロ的ではあるが飛来塩分量の全国分布を定量的に示した。本共同研究では、この飛来塩分量のデータに基づき、設計年数を100年としたときの必要かぶりを試算するとともに、塩害対策を必要とする地域のイメージを示した^{1,1)}。この中で、塩害対策を必要とする地域は地域区分Bの場合、海岸線からの距離を従来の300mから1kmに変更した。地域区分Cの場合は、試算の結果、従来のままでも支障ないと判断した。これらは、各地域の飛来塩分量に基づく試算で、必要かぶりが3.5cmを超える範囲に概ね相当し、飛来塩分量が約0.6mdd・Cl⁻ (約1mdd・NaCl)以上の範囲に相当する。ただし、これまで地域区分Bにおいて mを超える地域に顕著な塩害損傷事例が見られないこと、仮に損傷が生じても損傷の程度は比較的軽微であるとともに、劣化の進展が海岸線に比べて遅いため適切な維持管理が可能であると考えられることな

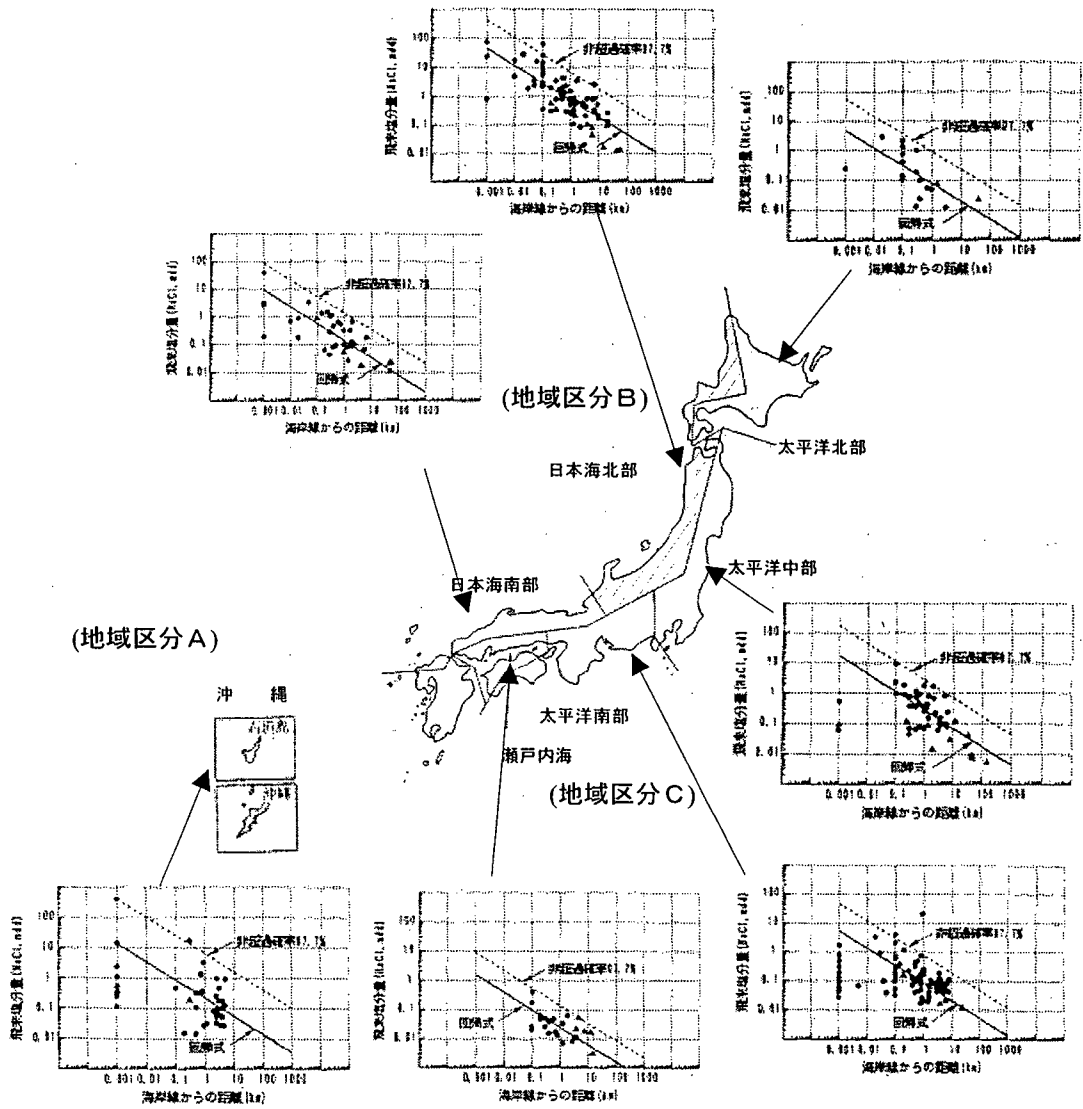


表-解1.2.1 地域区分A～Cと飛来塩分量の分布

どの点から再考して、このマニュアルでは地域区分Bの海岸線から mまでの部分を適用の対象としてもよい。対策区分Aの沖縄県は、従来と同様に全域を塩害対策を必要とする地域とした。

(3) 本マニュアルは塩害対策に限定したものであり、ここで示していない事項については、従来どおり道路橋示方書に従うものとする。また、コンクリートの施工に関して、本マニュアルおよび道路橋示方書に記載のない事項については、土木学会コンクリート標準示方書(施工編)を参考とするのがよい。

1.3 用語の定義

(省略)

用語については検討が不十分であるため、暫定案では省略した。なお、「海岸線」、「塗装鉄筋」、「コンクリート塗装」の定義は塩害対策指針(案)のままとした。今後、定義を明確にしなければいけない用語としては、「飛来塩分量」、「スーパー塩害対策(仮称)」などがある。

参考文献

- 1.1) 建設省土木研究所・プレストレストコンクリート建設業協会：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(Ⅱ)ーコンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討ー、共同研究報告書第257号，2000.12
- 1.2) 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、(社)日本道路協会，1984.2
- 1.3) 飛来塩分量全国調査(Ⅳ)ー飛来塩分量の分布特性と風の関係ー，土木研究所資料第3175号，1993.3

2章 対策の基本

2.1 一般

塩害対策は、架橋地点の塩分環境およびそれに影響を及ぼす地域特性(気象・海象)、海岸線からの距離、地形、周囲の構造物の状況、波しぶきの有無などを十分に把握し、これらの条件に応じて計画、設計、材料の選定、施工を適切に行い、コンクリート構造物が所要の耐久性を確保するよう、有効かつ経済的に行わなければならない。

塩害は、飛来した海塩粒子がコンクリートの表面に付着し、コンクリート中に浸透して内部の鋼材を腐食させることによって生じるが、それぞれの過程において表-解2.1.1で示すような様々な要因が複雑に作用していると考えられる。このことから塩害対策を有効かつ経済的に行うためには、第一に架橋地点の塩分環境を適切に把握することが重要であり(2.2節)、第二にその環境条件に応じた対策を適切に選定する必要がある(2.3節)。

表-解2.1.1 コンクリート構造物の塩害に影響を与える主な要因

過 程	海塩粒子の発生 および飛来	付 着	浸 透	鋼材の腐食
要 因	1.気象条件 2.海象条件 3.海岸状況、地形、 海岸線からの距離	1.構造物の形状 2.コンクリート表面状態	1.コンクリートの健全度 2.コンクリートの密実性 3.供用年数	1.鋼材のかぶり 2.鋼材の種類 3.コンクリートの健全度 4.コンクリートの密実性 5.供用年数 6.温度・湿度

2.2 塩分環境の把握

2.2.1 飛来塩分量

(1) 飛来塩分量は式(2.2.1)により算定してよい。ただし、地域区分Aで海岸線からの距離が300mを超える場合の飛来塩分量は $1.2\text{mdd} \cdot \text{Cl}^-$ ($2.0\text{mdd} \cdot \text{NaCl}$)とする。

$$C_{\text{air}} = C_1 \cdot d^{-0.6} \quad (2.2.1)$$

ここに、 C_{air} ：架橋地点における飛来塩分量(mdd)

※ $\text{mdd} = \text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$

C_1 ：1km換算飛来塩分量(mdd) 表-2.2.1のとおり。

d ：海岸線からの距離(km)

ただし、海上や海岸線で0 kmの場合は $d = 0.001\text{km}$ とする。

表-2.2.1 1km換算飛来塩分量 C_1 の値

地域区分	地 域	1km換算飛来塩分量 C_1 ($\text{mdd} \cdot \text{Cl}^-$)
A	沖縄県	0.6 [0.95]
B	日本海北部	0.6 [0.95]
C	上記以外の地域	0.2 [0.35]

[] 内数値の単位は $\text{mdd} \cdot \text{NaCl}$

(2) 架橋地点において、特異な地形などの要因により、式(2.2.1)による飛来塩分量と明らかに異なると考えられる場合は、所定の方法により測定した飛来塩分量を設計に用いてもよい。

(3) 波や波しぶきが直接かかる可能性が高い部材の設計においては、それを考慮するものとする。

(1) ここでいう飛来塩分量は、1年間に $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ のステンレス板に付着した塩分量を測定日数で除した値をいう。式(2.2.1)のもととなったデータは、海に開けた平野部で測定した結果を用いており、約1ヶ月ごとに測定した12個のデータの平均値である。

飛来塩分量は、海岸線からの距離によって減衰する傾向があり、ここでは地域にかかわらず式(2.2.1)で表すこととした。また、飛来塩分量は、気象・海象の影響により地域特性があることから、ここでは地域区分ごとに C_1 を示すこととした。

C_1 の値は、各地域において、設計年数の期間中の概ね平均的な値とした($0.1\text{mdd} \cdot \text{Cl}^-$ ($0.05\text{mdd} \cdot \text{NaCl}$)単位で丸めた)。すなわち、地域区分Bでは、毎年、冬季の間に卓越した海風や波を起こす季節風の影響によるところが大きく、飛来塩分量の年変動が比較的少ないことから、測定データの平均値を基本とした。一方、地域区分Aでは、台風の影響により年変動が大きく、台風が通過した年とそれ以外の年では飛来塩分量が概ね2

脚注) 本マニュアルでは、飛来塩分量を塩化物イオン量(Cl^-)で表示することを基本とするが、既往の文献等において飛来塩分量を NaCl 換算で示しているものが見られるので、ここではカッコ書きで併記することとした。

桁異なる事例もある。このことから、台風の影響を測定データの平均値に加算する必要がある。ここでは、地域区分Aにおける飛来塩分量の包絡線が地域区分Bにおけるものと概ね同程度であること、沿岸部のコンクリート道路橋の損傷がいずれの地域においても多く見られたこと(これによって塩害対策指針(案)では両地域の海岸線から200mまでの対策を同等としていた)などから、地域区分Aの C_1 は地域区分Bと同じとした。

地域区分Cのうち、関東以西の太平洋沿岸部でも台風の影響が見られ、台風が上陸した年とそれ以外の年で飛来塩分量が概ね1桁異なる事例が見られたことから、これらの地域の設計年数の期間中の飛来塩分量の平均値には台風の影響の程度や台風の上陸の頻度を考慮した。その上で、地域区分Cにおける C_1 は各地方の平均値のうちの上限値とした。

(2) 例えば、沿岸部ではあるが高さ数10mの絶壁の上など、明らかに飛来塩分量が小さいであろうと考えられる場合には、飛来塩分量を実際に測定してそれが少ないことを確認した上で、必要かぶりを小さくしてもよいと考えられる。しかし、海岸線であっても橋脚が高く、上部構造の位置が比較的高い場合には飛来塩分量が少なからうと思われても、背後に急峻な山が迫っている等、周囲の地形などの影響によっては一般的な値と変わらない場合があるので、単に構造物の高さだけにとらわれないように注意する必要がある。

また、海岸線や地形が複雑な場合などで海岸線が明確でない場合には、海岸線からの距離を慎重に検討する必要がある。

飛来塩分量を測定して設計値 C_{air} を決定する際、海岸線からの距離、気象条件の相違による地域特性、季節変動、年変動等を十分把握しておくとともに、その周辺での既存の調査結果(飛来塩分量や構造物の腐食状況等)との比較などによって慎重に検討する必要がある。例えば上記のように年によって飛来塩分量が2桁も異なる事例もあり、1年間、架設地点で実測した飛来塩分量データだけで適切に C_{air} を決定するのは容易でない。このことから、本マニュアルでは、飛来塩分量の値は式(2.2.1)によることを第一とし、地形などの要因により飛来塩分量が式(2.2.1)と明らかに異なる場合に限って実測による飛来塩分量を用いてよいこととした。

(3) コンクリート中における塩化物イオンの拡散係数は、湿潤状態に置いた場合の方が乾燥した状態に置いた場合に比べて概ね1桁程度大きくなる場合がある。このことから、波や波しぶきが頻繁にかかることが想定される部材は2.3.3に示すスーパー塩害対策が必要と考えられる。このことから、架橋地点が海岸線から20m程度までの範囲にある場合は、架橋地点の岩礁やブロックの形状・位置の把握、近隣のヒアリング調査等による各季節における波しぶきの状況の把握、建設後の下部構造の配置を想定した波しぶきの状況の検討など、現地調査を踏まえて慎重に検討する必要がある。

2.2.2 スーパー塩害対策を推奨する地域

海岸線からの距離が表-2.2.2に示した範囲においてはスーパー塩害対策を推奨する。

表-2.2.2 スーパー塩害対策を推奨する地域^{2.1)}

地域区分	地 域	海岸線からの距離
A	沖縄県	海上部および海岸線から100 mまで
B	日本海北部	海上部および海岸線から100 mまで
C	上記以外の地域	海上部および海岸線から20mまで

式(2.2.1)による飛来塩分量により必要かぶりを試算した結果、一般的なコンクリートの場合、海岸線付近では必要かぶりが著しく大きくなり、自重の著しい増加により適用支間の制限や下部構造への負担の増大などが懸念される。ここでは、かぶりコンクリートだけでは十分な塩害対策が容易でないと考えられる地域を「スーパー塩害対策を推奨する地域」として、海岸線からの距離で明示することとした。

この地域の設定は、式(2.2.1)による飛来塩分量が概ね $2.5\text{mdd}\cdot\text{Cl}^-$ (約 $3.5\text{mdd}\cdot\text{NaCl}$, Co にして $2\text{kg/m}^3\cdot\text{Cl}^-$ に相当)を超える地域であり、塩害対策指針(案)以前のコンクリート橋の損傷状況調査で著しい損傷が多く見られた範囲に概ね一致している。地域区分Cにおいては、損傷事例が多くなかったが、波しぶきが直接かかるようなところで損傷事例が見られることから、海岸線から20mまでを対象とした。なお、架橋地点において、特異な地形などの要因により、式(2.2.1)による飛来塩分量よりも明らかに少ないと考えられる場合は、所定の方法で測定した飛来塩分量によりそれを確認した上で、かぶりのみによる塩害対策などを選択してもよい。

2.3 塩害対策

2.3.1 塩害対策の選定

塩害対策は、次に示す事項を配慮して選定することを原則とする。

- 1) ライフサイクルコストを含む経済性
- 2) 材料の耐久性と塩害対策効果
- 3) 構造への影響
- 4) 施工上の留意点
- 5) 品質管理方法
- 6) 検査方法
- 7) 不具合が生じたときの対処方法(施工中および供用後)
- 8) 維持管理のし易さ
- 9) 効果の検証方法(供用後)

さまざまな塩害対策の中から、最も適切な塩害対策を選定する際に配慮すべき項目を示した。

なお、塩害対策としては、次の方法が考えられる。

1) 塩分の付着を少なくするため、次に示す事項を行う。

- ① 橋の構造、形状等に配慮する。
- ② 波しぶきが直接かからないように、架橋地点付近の岩礁や消波ブロックなどの形状・配置に配慮する。

2) 塩分の浸透を阻止ないしは抑制するため、次に示す事項を行う。

- ① コンクリートの設計・施工に配慮する(2.3.2項)。
- ② 鋼材のかぶりを増し、到達時間を遅らせる。
- ③ コンクリート塗装や樹脂含浸処理などを行い、部材の表面で浸透を阻止ないし抑制する。
- ④ 橋面の防水および伸縮装置や排水装置などに配慮して、漏水を防ぐ。

3) 鋼材の腐食に対する抵抗性を向上させるため、次に示す次項を行う。

- ① 防食加工(エポキシ樹脂塗装鉄筋、塗装PC鋼材、ポリエチレン被覆、プレグラウト鋼材)を施す。
- ② ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼を用いる。

4) 電気防食等を行い、腐食反応を阻止ないしは抑制する。

5) 連続繊維補強材やポリエチレンシースなどの腐食が生じない材料を用いる。

これらのうち、本マニュアルでは、かぶり増加による対策、またはエポキシ樹脂塗装鉄筋による対策を基本的な構成要素として記述することとした。ただし、今後も塩害対策に用いる新材料や新工法の積極的な研究開発、実用化を促進する必要があることから、本マニュアルでは、新工法や新材料の導入も念頭に入れて塩害対策の選定の原則を記述することとした。

2.3.2 コンクリートの設計・施工における塩害対策

コンクリートの設計・施工においては、次に示す事項を配慮して行うことを原則とする。

- 1) 適切なかぶりの確保
- 2) 所要の塩分浸透抵抗性を得るための材料・配合・施工
- 3) 塩水の浸入を防ぐためのひびわれの抑制または防水処理

塩害対策を施した道路橋の実態調査でかぶり不足や漏水などの事例が見られた^{2,2)}。コンクリートは外部からの塩化物の侵入をある程度抑制することができるが、そのためには塩分環境に応じた適切なかぶりの確保と所要の塩分浸透抵抗性を確保する必要がある。また、沿岸部の橋梁の場合、ひびわれなどからの漏水に塩化物が混入する可能性が高いと考えられることから、コンクリートの設計・施工においてひびわれの抑制に配慮する。やむを得ず生じたひびわれが、漏水の可能性が考えられる箇所が生じていた場合には防水処理や樹脂注入等の適切な処置が必要である。

かぶり不足を抑制するためには、塩害対策指針(案)に記述されていた以下の①～④に加えて、⑤～⑦についても配慮を行う必要がある。

- ① 鉄筋の組み立て
- ② スペーサー
- ③ 型枠工におけるセパレータ等補助鋼材の除去
- ④ コンクリート打込み時の定規用鉄筋の除去
- ⑤ 施工精度を考慮した無理のない鋼材配置
- ⑥ かぶりに影響すると考えられる加工鉄筋の寸法検査の実施
- ⑦ 打設後の非破壊検査機器を用いたかぶりの測定(試行)

また、コンクリートの所要の塩分浸透抵抗性を得るために、以下の配慮を行う必要がある。

- ① 無理なく施工できる範囲でのコンクリートの水セメント比の低減
- ② フレッシュコンクリートの単位水量の検査の実施(試行)
- ③ 打設中あるいは打設後、コンクリートを波しぶきに直接曝さないなど、打設や部材の仮置き新时期、場所への配慮
- ④ 有害なひびわれの抑制
- ⑤ 塩害雰囲気に着くまでに、養生期間を長くとってコンクリートの水和を十分に進行させるための施工時期の調整やプレキャスト部材の採用 など

2.3.3 スーパー塩害対策

スーパー塩害対策は、次の点に配慮して、複数の塩害対策を併用するものとする。

- 1) 複数の対策の組み合わせにより鋼材腐食の発生確率を低減する。
- 2) 供用後の不測の事態に対処するための時間的余裕を確保する。

沿岸部の厳しい塩分環境では、かぶりの増加だけでは十分な塩害対策が容易でない場合がある。しかし、それに代わる単一の効果的かつ経済的な塩害対策が十分に確立されていないのが現状である。また、そうした厳しい塩分環境下では、材料のばらつきや施工時のヒューマンエラーなどの影響も無視し得ない状況が生じ易い。複数の塩害対策を適切に組み合わせると、定性的であっても確率的に防食レベルを向上できる場合や、それに対処し得る時間的余裕を確保することができる場合がある。スーパー塩害対策は、この点に着目して、複数の塩害対策を効果的に組み合わせるものである。このとき、個々の塩害対策の特徴をよく理解した上で適切な組み合わせを検討する必要がある（具体的な事例を第Ⅰ部、4章に示した）。

参考文献

- 2.1) 建設省土木研究所・プレストレストコンクリート建設業協会：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(Ⅱ)ーコンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討ー、共同研究報告書第257号、2000.12
- 2.2) コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究ーコンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査ー、土木研究所資料第3811号、2001.3

3章 設 計

3.1 一般

設計年数の間において、構造物の所要の性能が、塩化物イオンに起因する鋼材腐食によって損なわれないことを確認しなければならない。

鋼材近傍のコンクリートあるいはグラウト中の塩化物イオン量が腐食発生限界塩化物イオン量を超える
と腐食が始まる。ここでは、設計年数の間に鋼材近傍の塩化物イオン量を腐食発生限界塩化物イオン量より
も小さく保たれていることを確認することにより、鋼材腐食による損傷が生じないものとしてよい。

なお、この照査は、有害なひび割れ、中性化、アルカリ骨材反応など、塩化物の侵入以外に起因する劣化
が生じていないことが前提となっているので、本マニュアルに従って塩害対策を行う場合は、塩害以外の劣
化が生じないような配慮を行うこととする。

3.2 構造物の形状および鋼材配置

構造物の各部の形状および鋼材配置は、次の点に配慮するのがよい。

- 1) 塩分が付着しにくい。
- 2) コンクリートの打ち込み、締固めが容易である。
- 3) かぶりの確保が容易である。

塩害を受けにくい構造とするためには、コンクリートの打ち込み、締固めの容易な構造にするとともに、
できるだけ隅角部を少なくし、塩分の付着面積を少なくするなどの配慮を行うことが望ましい。また、隅角
部付近においては、鉄筋の曲げ半径を大きくとるなどしてかぶりを大きくする等配筋方法についても配慮す
ることが望ましい。

煩雑な鋼材配置はかぶり不足の一因となる場合があるので、これをできるだけ避けるのがよい。やむを得
ず煩雑な鋼材配置とする場合には、実際の形状寸法を図面上に示して、適切に施工できることを確認してお
く必要がある。ポリエチレンシースは鋼製シースと外径が異なる場合があることから、鋼材配置とともに設
計の段階から考慮しておくのがよい。

P C鋼材の配置によっては断面内に不必要な引張応力を生じることがある。万一、塩害による鋼材腐食が
生じ、コンクリートにひび割れが発生した場合には、P C鋼材による断面内の引張応力によってひび割れの
伸展を助長することとなる。このことから、P C鋼材の配置は、このような引張応力が生じないように配慮

するのがよい。

3.3 かぶりコンクリート

3.3.1 かぶり

鋼材の防食に対して、架橋地点の飛来塩分量、コンクリートの種類・配合・品質、かぶりの施工精度を考慮し、設計年数の間において鋼材位置での塩化物イオン量が使用する鋼材の腐食発生限界塩化物イオン量を超えないように、所要のかぶりを算定する。

かぶりコンクリートは、塩分の浸透を遅らせて、鋼材の腐食を保護するとともに、鋼材とコンクリートの付着を確保し、鋼材とコンクリートの一体性を確保することが、その役割である。従って、かぶりの設計においては、コンクリートの種類・品質に応じて、遮塩性、付着強度および施工性が十分確保できるようにかぶりの大きさを決定することが重要である(付着強度および施工性は道示による)。ここでは、以下の方法によりかぶりを算定することによって、所要の遮塩性が得られるものとする。

① 一般に、飛来塩分により供給される場合のコンクリート中の塩化物イオン分布は、拡散方程式に従うと考えて、所要のかぶりは次式(解3.1)を満足するものとする。

$$C(x,t) = C_o \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) < C_{lim} - C_{init} \quad (\text{解 3.1})$$

ここで、

$C(x,t)$: 時間 t (sec) を経過した時点でのかぶり x (cm) の位置での塩化物イオン量 ($\text{kg/m}^3, \text{Cl}^-$)

C_{lim} : 腐食発生限界塩化物イオン量 ($\text{kg/m}^3, \text{Cl}^-$)

C_{init} : コンクリート中の初期塩化物イオン量 ($\text{kg/m}^3, \text{Cl}^-$)

C_o : コンクリート表面での塩化物イオン量 ($\text{kg/m}^3, \text{Cl}^-$)

D_c : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm^2/sec)

$\operatorname{erf}(\quad)$: 誤差関数 (以下の近似式を用いてよい)

$$1 - \operatorname{erf}(y) = 1 / (1 + 0.278393 y + 0.230389 y^2 + 0.000972 y^3 + 0.078108 y^4)^4$$

② C_o は次式によって算出してよい。

$$C_o = 1.5 \cdot C_{air}^{0.4} \quad (\text{解 3.2})$$

ただし、波しぶきが直接かかる可能性がある箇所については $C_o = 13 \text{ kg/m}^3$ とする。

ここで、

C_{air} : 2.2.1 に示す架橋地点における飛来塩分量 ($\text{mdd} \cdot \text{Cl}^-$) $\text{mdd} = \text{mg/dm}^2/\text{day}$

脚注)

C_{air} を NaCl 換算値とした場合は、式(解3.2)は $C_o = 1.2 \cdot C_{air}^{0.4}$ としなければならない。

- ③ 一般の鋼材の腐食発生限界塩化物イオン量 C_{lim} は 1.2kg/m^3 とする。
- ④ C_{init} は初期塩化物イオン量の上限值とする。通常、 0.3kg/m^3 としてよい。ただし、工場製作のプレキャスト部材で、実績によりコンクリート中の初期塩化物イオン量があらかじめ明確になっている場合には、工場実績値を用いてもよい。
- ⑤ D_c は水セメント比 W/C の関数である次式によってよい。
- $$D_c = (5 \times 10^{-7}) \cdot e^{-1.6(C/W)} \quad (\text{解 3.3})$$
- ただし、波や波しぶきが頻繁に受ける部材については、別途検討するものとする。
- ⑥ かぶりの決定にあたって考慮する施工誤差は、かぶりの 5% もしくは 5mm のうち大きい方を採用する。この値は、鉄筋加工時の加工誤差および、配筋検査時のかぶり実態調査結果から定められたものであり、十分なスペーサを用いた施工状況を想定したものである。
- ⑦ 設計年数は道路橋示方書によるものとする。時間 t は、設計年数を 100 年とした場合、 $3.15 \times 10^9 \text{sec}$ とする。

図-解 3.3.1 に、式(解 3.3)によるコンクリートの水セメント比と塩分拡散係数の関係を示す。これは、早強セメントを用いたコンクリート供試体を 3 年間、沿岸部で屋外暴露したときの結果に基づいている (第 I 部 3.2.2)。図中、式(解 3.3)とあわせて、他の機関で実施されたコンクリート供試体の沿岸部における暴露試験結果を示した。また、表-解 3.3.1 に図-解 3.3.1 に示したデータ^{3.1)3.3)}および式(解 3.3)の元データ(3 年目のみ)^{3.2)}を示す。

実際の構造物と同じ屋外での暴露によって得られたこれらのデータをみると、他の機関のデータは式(解 3.3)と同等か、それよりも拡散係数が小さい傾向を示していた。

また、これらのデータには早強セメント以外のデータも含まれているが、セメントの種類による顕著な差はここでは見られなかった。一般には、コンクリートの塩分拡散係数は、配合条件にかかわる項目としては、水セメント比以外にもコンクリートに使用する骨材の材質やセメントの種類などにも左右されると考えられているが、これらをすべて考慮できる拡散係数の評価式はまだ提案されて

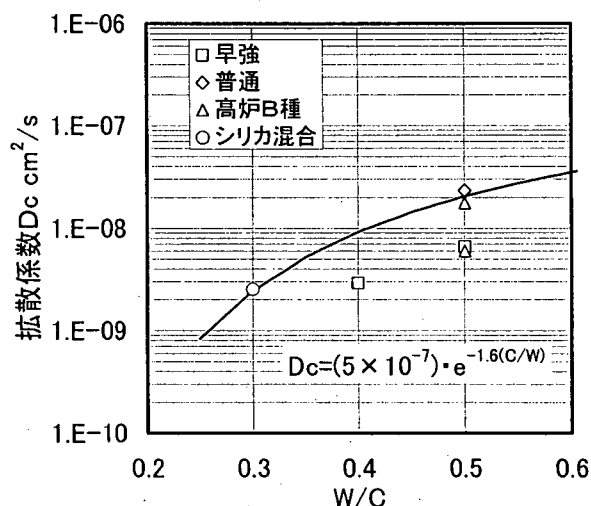


図-解 3.3.1 水セメント比と塩分拡散係数の関係

表-解 3.3.1 沿岸部における屋外暴露試験に基づく塩分拡散係数

文献	W/C (%)	$D_c(\text{cm}^2/\text{sec})$	備考
3.1)	40	2.9E-09	10年暴露(早強セメント)
	50	6.6E-09	10年暴露(早強セメント)
	50	6.0E-09	10年暴露(高炉B種セメント)
	30	2.5E-09	10年暴露(シリカフェーム混合セメント)
3.2)	25	1.2E-09	3年暴露(早強セメント)
	30	2.3E-09	3年暴露(早強セメント)
	40	1.1E-08	3年暴露(早強セメント)
	55	1.8E-08	3年暴露(早強セメント)
3.3)	50	2.3E-08	10年暴露(普通セメント)
	50	1.8E-08	10年暴露(高炉B種セメント)

いない状況である。従って、ポルトランドセメントを用い、骨材の物理的品質が、土木学会コンクリート標準示方書施工編に示された範囲にあるものを用いた場合についてのみ式(解 3.3)が適用可能であるとし、これ以外の材料を用いた場合は、別途試験を行って、塩分拡散係数を求めておくことが望ましい。

なお、コンクリートの塩分拡散係数は、コンクリートの施工状況や品質管理状況によって変動すると考えられる。式(解 3.3)は、道路橋示方書および本マニュアルの 5 章施工に基づき適切に施工が実施される場合のみ適用するものとする。

なお、設計年数 100 年として、コンクリートの W/C を表-解 3.3.3 に示した値とした場合には、表-解 3.3.2 に示す値が最小かぶりの目安となる。

表-解 3.3.2 かぶりコンクリートのみににより鋼材を保護する場合の最小かぶりの目安^{3.4)} *

(単位 : mm)

1) 地域 区分	海岸線からの距離	上部構造			下部構造	
		けた			梁	柱
		プレテン ションP C部材	ポストテ ンション PC部材	左記以外 のけた		
A	海上部および海岸線から 100m まで	スーパー塩害対策を検討				
	同 100mを超えて 300m まで	50	70	90 ²⁾	90 ²⁾	90
	上記以外の範囲	35	50	70	70	70
B	海上部および海岸線から 100m まで	スーパー塩害対策を検討				
	同 100mを超えて 300m まで	50	70	90 ²⁾	90 ²⁾	90
	同 300mを超えて 500m まで	35	50	70	70	70
	同 500mを超えて 1km まで	25	35	50	50	50
C	海上部および海岸線から 20m まで	スーパー塩害対策を検討				
	同 20mを超えて 50m まで	50	70	90 ²⁾	90 ²⁾	90
	同 50mを超えて 100m まで	35	50	70	70	70
	同 100mを超えて 200m まで	25	35	50	50	50

1) 地域区分は表-1.2.1 による。

2) 別途、スーパー塩害対策を検討するのが望ましい。

* : 本表の地域区分および数値は道路橋示方書の次期改定で異なるものとなる場合がある。

表-解 3.3.3 表-解 3.3.2 のかぶり算定時に想定したコンクリートの W/C(%)

上部構造			下部構造	
けた			梁	柱
プレテン ション P C 部 材*	ポストテ ンション P C 部材	左記以外 のけた		
36%	43%	50%	50%	50%

このとき、 $C_{init}=0.3 \text{ kg/m}^3$ 、 D_c は式(解 3.3)による値とした。

*) C_{init} を 0.1 kg/m^3 とした場合、W/C は概ね 40% に相当する。

3.3.2 ひび割れ

コンクリートの性能に有害なひび割れが発生しないように配慮しなければならない。

3.3.1 のかぶりは、有害なひび割れの発生がないものとして算定したものである。一般的に、表面のひび割れ幅が小さいほどコンクリート内部の鋼材は腐食しにくく、また発錆までの期間は長くなる。したがって、塩害対策としては、ひび割れを生じさせないようにするのが最もよいが、コンクリートは引張強度が小さく、乾燥収縮、施工等種々の要因によりひび割れの発生を完全に防止することは困難である。ひび割れ幅の許容値をどの程度にするかは難しい問題であるが、これまでの各種の調査結果から判断すると、塩害対策地域においてはひび割れ幅 0.1 ないし 0.2mm 程度が有害な腐食の分岐点とみなしてもよいと考えられる。

ひび割れ幅と鉄筋の応力度や配置等との関係式は、CEB-FIP の式、Gergely-Lutz の式、あるいは角田の式等多数提案されているが、どの式においても、ひび割れ幅は鉄筋応力度に比例して大きくなっている。したがって、ひび割れ幅を低減させるための一般的な方法は、常時作用する荷重に対して鉄筋の許容応力度を低く規制するか、あるいはプレストレスを導入することが有効であると考えられる。現在、道路橋示方書Ⅲでは、死荷重のみが作用するときの鉄筋の応力度は、 100N/mm^2 以下とすることが望ましいとしており、この指針（案）が適用される構造物においても、プレストレストコンクリートとするか、あるいは鉄筋コンクリートとする場合は、死荷重による鉄筋の応力度を 100N/mm^2 程度以下にして有害なひび割れの発生を防止するのがよい。なお、塗装鉄筋やコンクリート塗装の使用は、有害なひび割れの大きさをいく分緩和する効果もあると思われるが、現時点においては施工実績が少ないことなどから、死荷重による鉄筋の許容応力度は上述と同程度としておくのがよい。

コンクリートの収縮や温度応力に起因するひび割れはできるだけ発生させないよう、配合条件や使用するセメントなどにも配慮することとする。特に、コンクリートの見かけの塩分拡散係数を小さくすることを目的として水セメント比を低下させたコンクリートを使用する場合は単位セメント量が大きくなり、セメントの水和発熱に伴う温度応力に加え、自己収縮も大きくなるので、ひび割れの発生の危険度が大きくなる。この場合は、高性能 A E 減水剤を用いて、適切な施工性を確保した上で単位水量の低下につとめるとともに、低発熱型ポルトランドセメントの使用も検討することが望ましい。なお、高強度コンクリートの初期ひび割れの検討については、文献 4) を参考とするとよい。なお、コンクリートの初期ひび割れ対策を施した場合でも、ひび割れの発生が避けられないこともある。施工後コンクリートの遮塩性能に悪影響を及ぼすようなひび割れの発生が認められた場合には、ひび割れへの樹脂注入を行うなどの対策を施しておくことが望ましい。

3.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋

3.4.1 許容付着応力度

コンクリートの許容付着応力度は、直径 32mm 以下の塗装鉄筋に対して表-3.4.1 の値とする。

表-3.4.1 コンクリートの許容付着応力度

	(N/mm ²)					
コンクリートの設計基準強度	21	24	27	30	40	50
許容付着応力度	1.15	1.25	1.35	1.45	1.60	1.60

実験によればエポキシ樹脂塗装鉄筋の付着応力度は、塗装していない鉄筋に比べて多少小さいので、塗装鉄筋とコンクリートの許容付着応力度を塗装していない鉄筋のその約 80%に規定した。

この規準(案)で規定する以外の塗装鉄筋を用いる場合の許容付着応力度は、別途付着試験を行って定めなければならない。

なお、従荷重および従荷重に相当する特殊荷重の作用時については、道路橋示方書Ⅲ、3.1 の表-3.1.1 によって表-3.4.1 の値を割り増してよい。

3.4.2 鉄筋の定着

- (1) 塗装鉄筋とコンクリートの付着により定着する場合の定着長は、3.4.3(2)項および(3)項に規定する鉄筋の重ね継手長に等しい長さ以上とする。
- (2) フックをつけて引張鉄筋を定着する場合の定着長は、(1)項に規定する定着長の以上とする。また、フックをつけて圧縮鉄筋を定着する場合の定着長は、(1)項の規定によるものとし、フックの効果を考慮してはならない。
- (3) 折り曲げ鉄筋を圧縮部のコンクリートに定着する場合、フックをつけた鉄筋およびフックをつけない鉄筋の定着長は、それぞれ鉄筋の直径の 13 倍および 19 倍以上とする。

(1)、(2)塗装鉄筋定着長は、付着応力度を表-3.4.1 に規定する許容付着応力度を用いて算定するものとし、このほかの事項は道路橋示方書の規定に従った。

(3) 2.1 に規定するように、塗装鉄筋の許容付着応力度が、塗装をしていない鉄筋の約 80%であることを考慮して定めたものである。

3.4.3 鉄筋の継手

- (1) 塗装鉄筋を継ぐ場合は、重ね継手を用いることを標準とする。
- (2) 引張鉄筋に重ね継手を用いる場合は、式 (3.4.3) により算出される重ね継手 l_a 以上、かつ、鉄筋の直径の 25 倍以上重ね合わせなければならない。

$$l_a = \frac{\sigma_{sa}}{4 \tau_{oa}} \cdot \phi \quad \dots \dots \dots (3.4.3)$$

ここに、 l_a : 付着応力度より算出される重ね継手長 (mm)

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

τ_{oa} : コンクリートの許容付着応力度 (N/mm²) (表-3.4.1 による)

ϕ : 鉄筋の直径 (mm)

- (3) 圧縮鉄筋に重ね継手を用いる場合は、式 (3.4.3) により算出される長さ l_a の 80% 以上、かつ、鉄筋の直径の 25 倍以上を重ね合わせなければならない。
- (4) 塗装鉄筋と塗装を行っていない鉄筋を継ぐ場合は、(2)項および(3)項の規定によるものとする。

(1) 鉄筋の継手には、重ね継手、ガス圧接継手などの溶接継手、機械継手、スリーブ継手などがあるが、重ね継手以外の継手は、継手施工時にその部分の塗膜に損傷を与えることが避けがたく、損傷部分に確実な補修を施すことが困難な場合が多い。したがって、塗装鉄筋においては重ね継手を用いることを標準とした。

(2),(3) 最小の重ね継手長は、塗装鉄筋の許容付着応力度が、塗装していない鉄筋の約 80% となることを考慮して定めた。

(4) 塗装鉄筋と塗装していない鉄筋とで重ね継手を構成する場合には、安全をみて塗装鉄筋と同じ規定とした。

(注) 式 3.4.3 については、エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用の有無にかかわらず、近年、見直しの動きが見られるが、本共同研究の範囲を超える内容であるため、ここでは従来の塩害対策指針(案)付属資料 1 を引用するのみとした。

3.4.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合のかぶり

エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合、所要のかぶりは 3.3.1 に準じて算定するものとする。

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、一般の鋼材に比べて腐食しにくいですが、ピンホール等の欠陥部から腐食が発生する可能性があることから、その周囲のコンクリート中の塩化物イオン量は少ない方が望ましい。このことから、一般の鋼材と同様、3.3.1 に準じて所要のかぶりを算定するものとした。ただし、これまでの研究や米国

における実態調査の結果を踏まえて、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合の腐食発生限界塩化物イオン量は 2.0kg/m^3 としてよい。この場合、例えば、スーパー塩害対策を推奨する地域以外で、設計年数 100 年、水セメント比 50%以下とすると、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた場合のかぶりは 3.1.1 に関わらず通常環境での かぶりとしてよいこととなる。(第 I 部 3.3.2 参照)

3.5 支承、橋梁付属物、橋面

- (1) 支承は、橋梁本体と同等以上の耐久性を確保することが望ましい。
- (2) 橋梁付属物は、橋梁本体に悪影響を及ぼさないように適切に配慮するものとする。
- (3) 床版上面に適切な塩害対策を施すものとする。

(1) 支承が設置される個所は、一般に風通しが悪く、また目地部からの漏水などにより腐食しやすい環境となっている。したがって、塩害対策を行う橋梁の支承に鋼製部材を用いる場合は、風通しをよくするなど環境の改善をはかるとともに、高い防食性能を付与する必要がある。また、桁端部周辺は、通気性をよくしたり、維持管理をし易くするため、桁端部の構造を工夫することが望ましい。

なお、スーパー塩害対策を推奨する地域では、近年、ゴム支承を採用し、アンカー等の付属鋼材には良質のステンレス鋼を使うか、常温亜鉛溶射等の防食処理を施す事例が見られる。

(2) 排水管、鋼製高欄などの橋梁付属物は、一般に取付金具にてコンクリート構造物に設置される。したがって、これらの金具についても適切な防錆処理を施すとともに、設置位置などにも配慮し、コンクリート構造物の耐久性を損なわないようにする必要がある。

なお、スーパー塩害対策を推奨する地域では、伸縮装置および排水について以下の配慮を行う事例が見られる。

- 1) 伸縮装置は、塩分を含んだ水や湿気を遮断するために埋設型ジョイントとし、埋め込み鋼材や露出鋼材には防食処理を施す。
- 2) 排水は、橋上で行わず、土工部で排水処理する。橋長が長い場合には、合成樹脂製の排水ます・配水管を使用する。
- (3) 道路橋示方書では、塩害のおそれがある場合などにおいて必要に応じて床版に防水層を設けることが望ましいとしている。特に、橋面に波しぶきがかかる場合には、床版上面に防水層を設ける必要がある。防水層の設計・施工にあたっては、「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料(日本道路協会)」によるのがよい。

地覆やその周辺は、床版の横締めPC鋼材の定着体が埋め込まれている場合があるので、使用するコンクリートに応じた所要のかぶりを確保するか、必要に応じて防水処理を施すのがよい。

参考文献

- 3.1) 海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書（飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究 第2分科会）－暴露期間10年経過後までの研究成果－，国土交通省土木研究所，(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，共同研究報告書第142号，1995.12
- 3.2) 現場打ち高強度コンクリート部材の設計施工法に関する共同研究報告書，－高強度コンクリートの設計施工マニュアル(案)－，国土交通省土木研究所，(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，共同研究報告書第266号，2001.3

- 3.3) 竹田宣典：海洋環境下における鉄筋コンクリート部材の耐久性評価に関する研究，九州工業大学学位論文，1999.3
- 3.4) ミニмумメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅱ)ーコンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討ー，建設省土木研究所，プレストレスト・コンクリート建設業協会、共同研究報告書第 257 号，2000.12

4 章 材料

4.1 一般

2.3.1 にしたがって選定した塩害対策に使用する材料は、所要の性能を明確にした上で、それに必要な性能を満足するものを用いるものとする。

塩害対策橋の耐久性を確保するには、使用するコンクリート、グラウト、後埋め材、補強材、シースおよび塗装材などの材料が、塩害対策・構造・施工において要求される性能を満足することが重要である。本章は2.3.1 にしたがって選定された塩害対策に使用する材料について、それを用いた上での具体的な規定を示したものである。

4.2 コンクリート

4.2.1 コンクリートの材料

- (1) セメントは、原則として JIS R 5210 に適合するポルトランドセメントまたは JIS R 5211 に規定する高炉セメントを用いるものとする。
- (2) フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量は 0.30 kg/m^3 以下とする。

(1) 一般に、プレストレストコンクリートには、早期強度が必要とされるため、早強ポルトランドセメントが用いられるが、水和熱によるひび割れに対して十分な配慮が必要となる。また、中庸熱ポルトランドセメントおよび低熱ポルトランドセメントは発熱量が少なく、耐海水性も良いが、初期強度が小さいので注意が必要である。

JIS R 5211 に規定する高炉セメントは、耐海水性が良く発熱量も少ないなどの理由で、下部構造に採用される事例が増加している。高炉セメントや、JIS R 5213 に規定するフライアッシュセメントを用いた場合、前者は強度発現速度が遅いこと、後者については初期強度が小さいことなどの特性を有するので、その使用にあたっては、それぞれの特性に十分に配慮する必要がある。

(2) 道路橋示方書でも示されているとおり、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を制限するものである。初期に混入する塩化物イオン量は、3.3.1 の必要かぶりの算定において初期塩化物イオン量として考慮することとしているので、やむを得ず制限値を超える場合は必要かぶりまたは水セメント比などを再検討する必要がある。

なお、コンクリートに用いる化学混和剤は、JIS A 6204 に適合する AE 剤、減水剤、AE 減水剤および高性能 AE 減水剤などがある。JIS A 6204 のうち I 種に適合する混和剤は、塩化物イオン量が 0.02 kg/m^3 以下であることから、塩害対策橋のコンクリートにはこれを用いるのがよい。

4.2.2 コンクリートの配合

- (1) コンクリートの水セメント比は、設計で想定した値以下とすることを標準とする。
- (2) コンクリートのスランプは、運搬、打込み、締固め等作業に適する範囲となるように定めるものとする。

(1) コンクリート中に浸透する塩分と酸素の量を低下させ、鋼材の腐食を抑制するためには、かぶり厚さを増すだけでなく、コンクリートの水セメント比を小さくし、品質を高めることが大切である。このことから、塩害対策指針(案)では水セメント比の上限値を示していた。しかし、その後の調査研究より、塩分浸透抵抗性と水セメント比の関係が明らかになってきたことから、本マニュアルでは、必要かぶりの算定において水セメント比に応じたかぶりを算定することとしている。このため、コンクリートの水セメント比は、従来のように上限値を示すのではなく、設計で想定した水セメント比とすることを標準とすることとした。「設計で想定した値」とは、例えば、表-解 3.3.2 のかぶりとした場合には、表-解 3.3.3 に示す値である。仮に、プレテンション PC 部材の必要かぶりの設計において、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を 0.1kg/m^3 以下に管理できる工場で製作することを前提に水セメント比を 40%と想定した場合には、水セメント比を 40%としてよい。なお、一般に耐久性の高いコンクリートとするためには、コンクリートの水セメント比を PC 橋の本体で 45%以下、その他の部材でも 50%以下とすることが望ましい。また、水セメント比を 35%よりも小さくする場合は、一般に高強度コンクリートと同様に温度ひび割れの対策やポンプ圧送性の検討が必要となるので、「高強度コンクリートの設計施工マニュアル(案)」^{4.1)}などを参考とするのがよい。

耐久性の観点から水セメント比を特に小さくした場合、結果的にコンクリート強度が高くなるので、設計においてこれを考慮することが望ましい。

(2) コンクリートのスランプを大きくしすぎると、作業性が向上するものの、粗骨材がモルタルから分離する傾向が著しくなる。また、スランプを大きくするために単位水量を多くするとブリーディング量が多くなり、乾燥収縮量が大きくなったり、密実さが低下するなど、耐久性の面で好ましくないコンクリートとなる。逆に、スランプを小さくしすぎると、作業性が低下して、コンクリートの充填不良や締め固め不足を生じ、表面にジャンカが発生するなど、コンクリートの遮塩性を低下させることとなる。このため、コンクリートのスランプは所要の品質を確保するために適度な作業性が得られるものとする必要がある。

従来、作業性と単位水量の制限の観点からスランプは 8cm とされていたが、近年、高性能 AE 減水剤の普及とともにコンクリートが多様化しており、必ずしも単位水量を増加させなくても適度な作業性を確保できるがその場合にスランプが 8cm を大きく上回るなど、スランプを規定するだけで適切な配合が定められなくなってきている。このことから、コンクリートのスランプは、運搬、打込み、締固め等作業に適する範囲となるように定めるものとし、特に標準となる数値を示さないこととした。ただし、高性能 AE 減水剤を用いず、かつ単位水量の管理を別途行わない場合は、従来と同様にスランプ 8cm を標準とするのがよい。なお、高性能 AE 減水剤を用いた場合でも、スランプが 18cm を超えると、粗骨材がモルタルから分離する傾向が強くなるので注意が必要である。

4.3 グラウト材

グラウト材は所要のPC鋼材の付着性能を確保し、充填作業に適したものとする。ただし、鋼製シーースを用いた場合で、かつ鋼製シーースのかぶりの最小値が3.3.1で算出したかぶりと同程度の場合には、グラウト材の水セメント比をコンクリートの設計で想定した値以下とすることを標準とする。

グラウトはPC鋼材の防食およびコンクリート躯体とPC鋼材の付着を目的に行うものである。ただし、ここでいうPC鋼材の防食とは、未充填部分での湿気、床版定着体などから侵入する水または塩水およびその侵入した水の凍結によるひび割れ発生などに起因する腐食を対象としたものである。グラウトを要するPC部材では一般にシーースのかぶりが大きいので、コンクリート表面から浸透する塩化物に対する遮塩性は所要の付着性能が確保できる程度でよいと考えられる。ただし、PC鋼材の配置によってはそのかぶりが所要のかぶりと同程度となる部分が局所的に見られる場合があるので、鋼製シーースを用いて、かつこのような配置がなされている場合は、グラウト材の水セメント比を本体のコンクリートの必要かぶりの算定に用いた値とする必要があると考えられる。

なお、グラウト材については、プレストレスト・コンクリート建設業協会の「PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル（改訂版）」^{4.2)}を参考とするのがよい。

4.4 定着具保護用後埋め材

ポストテンション方式のPC鋼材定着部の後埋め材は、定着具が腐食しないように、無収縮コンクリートあるいは無収縮モルタルなど、ひび割れや桁本体との隙間が生じない材料とすることが望ましい。後埋め材のコンクリートあるいはモルタルの配合は3.3.1の必要かぶりの算定に用いた水セメント比以下を標準とする。

主桁の定着体が配置される桁端部周辺は、湿気が多い傾向にあること、伸縮装置や排水装置の不具合等によって塩化物を含む漏水があり得ることなどから、一般に腐食環境が厳しい。特に、桁端部と橋台パラペットの間に土や塵埃などがたまり、かつそこに海水等が浸透した場合、桁端部は塩水浸漬試験と同等の環境に置かれることとなり、塩化物イオンの浸透速度が大きくなるものと考えられる。これらの点から、桁端部の後埋め材についても、本体と同様に所要の遮塩性能を確保する必要がある。後埋め材のかぶりが十分に確保できない場合には、桁端部に塗装を行うのが望ましい。

4.5 補強材

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準(案)およびJSCE-E 102に適合したものをを用いるものとする。

塩害対策として各種の材料・方法で被覆された鋼材があるが、その場合においても使用する鋼材は道路橋示方書に適合するものを用いるものとする。

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、樹脂塗料の品質、鉄筋の素地調整、塗装厚およびピンホールが存在等によって、その防食性能が大きく左右される。また、衝撃や曲げ加工などによって塗膜の割れやはく離を生ずることがあり、これらの欠陥を生じると、エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐食性が著しく損なわれることがある。本マニュアルの巻末に示したエポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準(案)およびJSCE-E 102「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準」は、これらの点を考慮し、エポキシ樹脂塗装鉄筋に使用する材料の品質基準や試験方法等について定めている。

エポキシ樹脂被覆 PC 鋼線、エポキシ樹脂塗装 PC 鋼棒、プレグラウト PC 鋼材およびポリエチレン被覆 PC 鋼線などの被覆された PC 鋼材は、現在、適切な品質基準がないため、使用にあたっては、エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準を参考に、実際の使用状態を想定した耐久性試験を行う必要がある。また、PC 鋼材の引込みや、緊張などの作業によって、塗膜等の被覆材の割れやはく離が生じないことを、適切な試験方法により確認しなければならない。

連続繊維補強材は、土木学会基準^{4.3)}および「FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の設計・施工指針(案)」^{4.4)}などを参考として、必要な試験結果より判断しなければならない。

4.6 シース

ポリエチレンシースを用いる場合は、その取扱い中あるいはコンクリートの打込み時に、容易に変形しないものであり、かつ、塩化物の侵入を防ぐものとする。

ポリエチレンシースは、ダクトを形成するだけではなく、塩化物の侵入を遮断する役割が期待される。しかし、コンクリートを蒸気養生する場合、ポリエチレンシースが熱によって変形したり、かぶりが比較的小さい場合にはコンクリートとの熱膨張係数の差によりコンクリートにひび割れを生じさせることがあるため、養生温度の管理に注意が必要である。ポリエチレンシースの選定・使用にあたっては、「ポリエチレン製シースの品質・設計・施工のマニュアル(案)」^{4.5)}を参考とするのがよい。

プレキャストセグメント部材にポリエチレンシースを使用する場合には、万一、セグメントの継目部にひび割れが生じてもすぐにシース内に塩化物イオンが侵入しないよう、遮塩性および施工性に配慮したポリエチレンシースカップラ(巻末資料)を用いるのがよい。

なお、鋼製シースは道路橋示方書に適合するものを用いるものとする。

参考文献

- 4.1) 現場打ち高強度コンクリート部材の設計施工法に関する共同研究報告書，—高強度コンクリートの設計施工マニュアル(案)—，国土交通省，(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，共同研究報告書第266号，2001.3
- 4.2) P Cグラウト&プレグラウトP C鋼材施工マニュアル(改定版)，(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，1999
- 4.3) 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー88，(社)土木学会，1996.9
- 4.4) 総合技術開発プロジェクト，建設事業への新素材・新材料利用技術の開発，FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリート道路橋の設計・施工指針(案)，建設省土木研究所ほか，1994.3
- 4.5) ポリエチレン製シース実用化試験報告書，ポリエチレン製シースの品質・設計・施工のマニュアル(案)，(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，1995.9

5 章 施 工

5.1 施工の基本

- (1) 施工にあたっては、コンクリート構造物が所要の耐久性を確保するよう品質管理および工程管理等を行わなければならない。
- (2) 全ての施工段階において、塩化物の鋼材への付着およびコンクリート中への侵入をできるだけ避けるよう適切な対策を講じなければならない。
- (3) 施工に従事する者は、架橋地点の塩分環境および塩害対策の基本を知らなければならない。
- (4) 新材料や新工法を採用する場合は、それらの塩害対策の主旨、施工上の留意点、検査方法を熟知した上で、施工計画を策定するものとする。

(1) 昭和 57 年に実施されたコンクリート橋の損傷状況調査によると、コンクリート構造物の塩害は、鉄筋のかぶりが少ない個所やコンクリートの締固めが十分でない個所に多く認められた。これらのかぶり不足などの要因は必ずしも施工によるものだけではないが、施工の良否が構造物の耐久性に及ぼす影響は大きいと考えられる。したがって、長期耐久性に必要な品質を確保するための適切な品質管理および工程管理等が必要である。また、施工に先立って施工計画を十分検討することが重要である。

(2) 鋼材の搬入、保管、組み立ての間に、鋼材に塩化物が付着したり、それによって錆が発生しないように、また、コンクリートの打設、養生、仮置きなどの間に塩化物が混入(侵入)しないように、現場の状況に応じてできる限りの工夫が必要である。スーパー塩害対策を推奨する地域では、天候によって波や波しぶきの程度が著しく変化することがあるので、塩化物の付着・侵入に特に注意しなければならない。

(3) 塩害対策に関する施工の良否の多くは、現場の監督だけでなく、施工に従事するすべての者に関わることから、架橋地点の塩分環境や塩害対策等の特異点を周知するとともに、施工に従事する者のそれぞれの職種に応じた留意点を周知することが重要である。なお、施工に対する信頼性をより高めるためには、これらの知識を有する技術者を第三者監視員として配置することが有効である。

5. 2 施工計画

- (1) 施工計画は、対象構造物の塩害対策の基本ならびに塩害対策に関連する設計、材料、検査について熟知した上で、塩害対策の主旨を考慮して策定するものとする。
- (2) コンクリートおよび鋼材に対する波しぶきや潮風の影響をできるだけ小さくするように、施工する時期を適切に選定しなければならない。
- (3) やむを得ず、施工中に波しぶきや潮風の影響を受けることが予想される場合は、防護設備の設置等により施工現場の塩分環境の改善を図るなど、この塩分環境を考慮に入れた施工計画を策定しなければならない。
- (4) 施工計画を変更する場合、塩害対策の主旨を再度確認した上で行うものとする。

- (1) 施工計画の策定にあたっては、本章のみならず、2章対策の基本、3章設計、4章材料、6章検査の記述などを参考として、対象構造物における塩害環境、塩害対策の主旨、塩害対策に関連して施工時に配慮すべき事項、検査計画をよく理解しておく必要がある。また、施工計画は対象構造物における検査計画とあわせて検討するものとする。
- (2) 施工時期によっては、施工の費用が高くなるだけでなく、耐久性に関わる不慮の事態が生じ易い場合があるので、施工計画の策定にあたっては、施工する時期等の選定について十分注意する必要がある。例えば、季節風などによって飛来塩分量が増加する時期は、できるだけ施工を避けることが望ましい。特に、スーパー塩害対策を推奨する地域においては、季節風の強い時期を避けることによる効果が高いものと考えられる。
- (3) やむを得ず季節風の強い時期に施工を行う場合は、最も厳しい塩分環境を想定して、施工計画を策定する必要がある。施工計画の段階で付録資料Fに示すような施工上屋や風除け板などの防護設備の配置を検討し、波しぶきや潮風の影響をできるだけ小さくするように配慮しなければならない。また、PC桁などのコンクリート部材を現場で仮置きする場合、海からできるだけ離れた場所に置き、シート等で防護する必要がある。
- (4) 施工計画を変更する場合は、変更後においても当初想定した塩害対策の主旨に適合しているか、あるいは別の塩害対策によって、本来必要な塩害対策が施されているかを再度確認しておく必要がある。

5.3 型枠工

- (1) 型枠は、定められた荷重に対して必要な強度と剛性を有し、コンクリート構造物の設計図に示された形状寸法に従い、目違いや隙間等が生じないように設計、施工しなければならない。
- (2) 型枠の保管において、型枠内面に塩化物が付着しないよう配慮しなければならない。万一、波しぶきなどにより型枠内面に塩化物が付着したおそれのある場合は、速やかにそれらを取り除かなければならない。
- (3) 型枠セパレータおよび型枠組立て等に用いた補助鋼材は、かぶり内から除去するものとする。
- (4) 型枠の取りはずしは、コンクリートの耐久性も考慮して、その時期を決定しなければならない。

(1) 打設中に型枠がたわむとスペーサーがはずれるなどして、かぶり不足の原因となるので、所要の強度と剛性を有するものとするのがよい。また、モルタルもれによる型枠目地部の豆板等は、コンクリートの密実性を大きく損なうので、型枠の目違い、すき間等が生じないようにこれを組立て、コンクリート打設前に十分な検査を行なうものとする。目地部のシーリングなど、モルタル漏れ防止対策を実施するとよい。また、コンクリートの充填性を確認するため、型枠に検査窓を設けることが考えられるが、この場合にも一般の型枠と同様に適切な設計・施工が必要である。

(2) 型枠の保管においても、型枠内面に塩化物が付着しないように注意が必要である。やむを得ず季節風の強い時期に施工する場合は、施工上屋を設置していても型枠に塩化物イオンが付着する可能性があるので、鉄筋の組立て前、もしくはコンクリート打設前には、型枠を水洗いするものとする。

(3) 型枠セパレータのコーンには、埋殺しタイプと除去タイプがある。埋殺しタイプを用いると、コンクリート表面に露出しているコーンから腐食が進行する恐れがあるので使用しないのがよい。また、除去タイプのコーンを用いる場合は、セパレータの端部がかぶり内に残らないようにするとともに、その跡穴に膨張モルタル等を入念に充填しなければならない。

(4) 型枠の取りはずし時期は、一般にはコンクリートの強度発現状況により決定される。しかし、塩害対策を行う橋梁の型枠の取りはずし時期は、気温、天候、季節風の状況等を適切に評価し、コンクリートの耐久性に影響を及ぼす初期欠陥が生じないことを確認して決定しなければならない。

5.4 鋼材

5.4.1 鋼材の保管

鋼材は、塩化物が付着し腐食しないように、倉庫内に保管するか、または屋外に保管する場合は適切な保管庫を設けて保管を行うことを原則とする。やむを得ず屋外に仮置きする場合は、適当な覆いをしなければならない。

ここでいう鋼材とは、鉄筋、PC鋼材、シース、定着具等をいう。

季節風や台風等により塩化物が広範囲に飛来する。したがって、鋼材は、保管中に腐食が生じないよう十分注意する必要がある。また、加工された鋼材は、速やかに使用するよう努めなければならない。やむを得ず、使用まで保管が必要な場合は、適切な保管庫を設けて保管を行うことを原則とした。やむを得ず、屋外に仮置きする場合は、適当な覆いをしなければならない。

5.4.2 鉄筋の加工

- (1) 鉄筋は、設計で定められた寸法および形状に正確に加工しなければならない。
- (2) エポキシ樹脂塗装鉄筋は5.8によるものとする。

塩害対策を行う橋梁では、所要のかぶりを確保するために、所要の精度で鉄筋加工を行う必要がある。特に、スターラップなど、かぶりの確保に対して影響が大きい鉄筋については、所定の精度で鉄筋加工ができる専門の工場で行うことが望ましい。また、鉄筋の加工後もしくは加工鉄筋の搬入時および組立て前に鉄筋の寸法検査を実施し、定められた加工精度で加工されていないものは、これを使用してはならない。

5.4.3 組立て

- (1) 鉄筋等は、コンクリート打込み時にずれなどが生じないよう設計図に示された位置に堅固に組み立てるものとする。
- (2) 組立て後、波しぶきなどにより塩化物が付着したおそれのある鋼材、型枠内面、シース内等は、速やかに塩化物を取り除かなければならない。

(1) 所要のかぶりを確保することが塩害対策として極めて重要であり、鉄筋、シース、PC鋼材等は設計図面に示された位置に精度よく配置し、しかも施工時にずれなどが生じないよう十分結束する必要がある。

組立てにおいては、結束線がかぶりに残らないよう、結束線を内側に折り曲げておく必要がある。必要に応じて、防せい処理された結束筋を使用することも有効である。

PC鋼材の配置に関わるシース等の配置の際、図面に表されない断面であってもシースの所要のかぶりが確保されていることを確認するものとする。

(2) 組立て後、鋼材に塩化物が付着すると、打設までに鋼材の腐食が始まることもある。また、鋼材、型枠内面に付着した塩化物はコンクリートの打設の際にコンクリート中に塩化物を混入することとなるので、これを避けるよう、水洗いなどを行い、速やかにこれを除去するものとした。このとき、洗浄後の水が型枠の底に溜まらないように注意する必要がある。なお、鋼材にさびが見られた場合は、この錆中に塩化物イオンが含まれている可能性があることから、これを除去することが望ましい。

施工中、シース内に水や塩化物が侵入すると、グラウトを充填するまでにPC鋼材が塩水に浸漬されるこ

ととなるので、配管に注意するとともに、配管後は両端を塞いでこれを防止しなければならない。

5.4.4 スペーサー

(1) 配筋にあたっては、所要のかぶりを確保するため適切な間隔で、かつ適切な位置にスペーサーを配置しなければならない。

(2) 型枠に接するスペーサーは、次の点に配慮して選定するものとする。

- 1) コンクリート中の鋼材の腐食を促進するような材質もしくは品質を有するものを使用しない。
- 2) コンクリートと線膨張係数が大きく異なるものとする。
- 3) コンクリートとの付着性がよいものとする。
- 4) 組み立てられた鉄筋等の重量や打設作業時の横荷重などを支持するために必要な耐荷力を有するとともに、施工中に容易に動かないよう鉄筋等へ確実に固定できるものとする。

(1) 設計で想定したかぶりを確保するためには、スペーサーを適切に配置することが最も確実な方法である。スペーサーの設置個数は、フーチング・柱・壁高欄等では2個/m²以上、梁・主桁・横桁では4個/m²以上を標準とする。また、スペーサーは、PC鋼材の棚筋位置や床版の幅止め筋位置など、組み立てられた鉄筋を支持するために効率的な位置に配置することが必要であり、対象構造物の構造形式や規模、スペーサーの強度等に応じて、配置個数や配置位置を検討しなければならない。

(2) 塩害対策を行う橋梁では、腐食を誘発する恐れのある鋼製スペーサーを使用してはならない。コンクリート製もしくはモルタル製のスペーサーを使用する場合は、本体コンクリートと同等以上の品質を有するものとする。コンクリートとの熱膨張率の相違、付着および耐荷力不足等に関して問題のあるプラスチックスペーサーなどは使用しないものとする。ステンレス等の耐食性金属によるスペーサーは、異種金属間の接触腐食について十分検討する必要がある。

適切にスペーサーを配置しても、鋼材等の自重によって破壊したり、打設時の横荷重でずれてしまったりすると、かぶり不足の原因となるので、このようなことがないようにスペーサーの選定・配置・固定に注意する必要がある。

5.5 コンクリートの施工

(1) コンクリートの打継目は、できるだけ少なくし、特に鉛直打継目は極力避けるものとする。やむを得ず、鉛直打継目を設ける場合は、漏水が生じないよう適切な防水処理を施すものとする。

(2) コンクリートの養生水に、海水を用いてはならない。

(3) コンクリートの打込み時に用いた定規用鉄筋は、鋼材のかぶり内から除去するものとする。

ポンプ車によるコンクリート打込みが普及し、ややもすると施工性の面からスランプを大きくする傾向が

あるが、他の打込み方法あるいはポンプ車の機種や管径などの選定を十分検討し、かつ入念に打込み、締固めを行って、スランプを大きくすることなく、設計で想定したものと同等以上の密実なコンクリートとするよう努めなければならない。流動化剤などの特殊な混和剤を使用して、単位水量を減ずるとともにワーカブルなコンクリートを得る方法もあるが、使用にあたっては十分な品質管理を行う必要がある。また、コンクリートの品質を高めるためには、標準的な養生期間よりもできるだけ長く湿潤状態を保つことが望ましく、腐食環境への暴露は十分な養生を行った後に行うのが望ましい。

PC橋では、一般に富配合のコンクリートが使用される。塩害対策として、さらに小さい水セメント比が選定されている場合などは、温度ひび割れの発生が懸念される。養生計画においては、温度ひび割れが発生しないように留意しなければならない。必要に応じて、温度応力を低減させるためのプレクーリングや低発熱形のセメントの使用等を検討するとよい。

(1) コンクリートの打継目は、塩化物や水が浸入し易く、防食上の弱点となり易い。したがって、打継目ができるだけ少なくなるようコンクリートの打設計画を立案しなければならない。しかしながら、例えば、橋脚の水平打継目、鋼連続げたの床版の鉛直継目、張出し施工による連続桁の鉛直打継目、ポストテンションT桁の床版間詰め部等、施工上もしくは構造上打継目を避けることができない場合もある。このような場所の打継目は防食上の弱点とならないよう道路橋示方書の規定に従い、入念に施工しなければならない。

特に、鉛直打継目については、橋面上からの塩化物を含む漏水が生じた場合にコンクリート中の鋼材を腐食させるとともに、主げたにも塩水を直接供給することとなるので、適切な防水処理を施すこととした。

(3) 定規用鉄筋は使用しないのがよいが、やむを得ず使用した場合には、かぶり内から除去するものとした。

5. 6 グラウト工

グラウトの施工は、充填もれがないように適切に管理するものとする。

グラウトの施工は、プレストレスト・コンクリート建設業協会の「PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル（改訂版）」を参考とするのがよい。

5.7 後施工部の処理

5.7.1 継ぎたし個所の鋼材

継ぎたし等のために、長期間にわたり鉄筋が大気にさらされる場合は、腐食に対し鋼材を適切な方法により保護するものとする。

塩害対策が行われる橋梁では、長期間にわたり鉄筋が大気中にさらされないようにしなければならない。しかし、将来拡張が予定されている構造物、上下部構造の施工時期がずれる構造物、または一期施工と二期施工というように分割して施工されるような構造物において、やむを得ず、鋼材が長期間にわたり大気に曝される場合には、鋼材が腐食しないように適切な塗装を行うなどによりこれを保護しなければならない。

また、地覆・高欄の鉄筋、ポストテンション桁における横組立等の鋼材、または定着具等、一時的に大気にさらされる鋼材についても、シート等で覆うなど塩化物の影響を受けないように十分な配慮を行わなければならない。

5.7.2 後埋めコンクリート

PC鋼材定着部の後埋めは、定着体を腐食させないために、緊張、グラウト終了後速やかに行わなければならない。また、施工用金具撤去跡等の後埋めは型枠撤去後、速やかに行わなければならない。

PC鋼材定着部の後埋めは、定着部鋼材の腐食の進行を避けるために、緊張・グラウト終了後速やかに行わなければならない。また、施工用金具撤去跡等についても同様である。

跡埋め部は、本体部分との密着性が低く、一般には一体化しにくいと考えられる。そのため、本体コンクリートの表面をできるだけ粗にし、水洗いを十分に行なった後に、収縮の少ない膨張コンクリートあるいはセメント系無収縮モルタルなどを使用して入念に施工するのがよい。

5.8 エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工

5.8.1 受入れ、運搬、保管

- (1) 塗装鉄筋は、これを用いる前に所要の品質を有することを確かめなければならない。
- (2) 塗装鉄筋の運搬にあたっては、塗膜に損傷を与えないよう適切な方法により行うものとする。
- (3) エポキシ樹脂塗装鉄筋の保管は、5.4.1に示す鋼材の保管と同様とするのがよい。

- (1) 塗装鉄筋を用いる前に、付録資料Eに規定する品質を有していることを確かめなければならない。
- (2) 塗装鉄筋運搬・積みおろし時においては、強い衝撃や積みおろし時のワイヤーロープとのこすれなどによって塗膜が損傷しないように注意を要する。塗膜が損傷した場合は、速やかに修繕を行うものとする。

5.8.2 加工

- (1) 塗装鉄筋の加工にあたっては、塗装の品質に有害な影響を与える熱や衝撃を加えてはならない。また、塗装の品質に適合した加工温度で行われなければならない。
- (2) 塗装鉄筋の切断箇所および塗膜の損傷箇所は、鉄筋に用いた塗料と同等以上の品質を有する材料を用いて、速やかに補修塗りを行わなければならない。

- (1) 塗装鉄筋の切断は、シアーカッターまたは金のこを用いて行うのがよい。

塗装鉄筋を高音に過熱して加工すると、塗膜が熱によって変質する。また、塗装鉄筋を指定された加工温度以下で曲げ加工すると、塗膜にひびわれが生じる恐れがある。このような損傷を防ぐため、加工は製品に示される加工可能な温度範囲で行うことが大切である。

- (2) 塗装鉄筋の切断部は、加工後速やかに補修用塗料で補修しなければならない。その場合、補修箇所は錆・油・汚れをふきとり、先に塗装された樹脂塗膜と補修用塗料との接着性をよくするために、サンドペーパーなどで前処理を行うものとする。また、加工に際しては、できるだけ塗膜を損傷させないものとする。やむをえず損傷した箇所は、切断部に準じて補修するものとする。

5.8.3 配筋

- (1) 塗装鉄筋は、原則としてビニル被履鉄線、カラー鉄線等を用いて、互いに十分堅固に組み立てるものとする。
- (2) 塗装鉄筋の組立て後、塗膜の検査を行い、損傷箇所は補修塗りを行わなければならない。

- (1) ビニル被履鉄線、カラー鉄線は表面がすべりやすいので、結線は特に堅固に行われなければならない。また、モルタルスペーサーで用いられている結束線についても、ビニル被履鉄線、カラー鉄線等を用いるものとする。なお、結線のかわりに行う点溶接は、用いてはならない。

- (2) 組立てに際しては、できるだけ塗膜を損傷させないものとする。やむをえず塗膜を損傷させた場合は、補修塗りをを行うものとする。補修塗りに、塗装鉄筋に用いた塗料と同程度の品質を有する補修用塗料を用いなければならない。

5.9 耐食性シース

耐食性シースの継目からシース内に、塩化物が侵入しないように配慮するものとする。

耐食性シースの継目は、一般にセメントペーストがシース内に漏れてグラウトの欠陥とならないように、カップラを用いるとともに、シース本体とカップラの隙間をテープ等により密閉しているが、これは施工中や供用後においても、継目部がシース本体と同等の遮塩性を確保するために重要である。また、プレキャストセグメント工法を用いた橋梁に耐食性シースを用いる場合は、継目部においてもシース本体と同等の遮塩性が確保できるように、図-解 5.5.1 に示すようなセグメント継目部用のカップラを用いるのがよい。巻末の参考資料に、このカップラの遮塩性、施工性や実構造物への適用方法の検討結果を示した。

なお、ポリエチレン製の耐食性シースは、鋼製シースに比べて鋼材等への固定が容易でないことがあるので、あらかじめその固定方法を検討しておくのがよい。

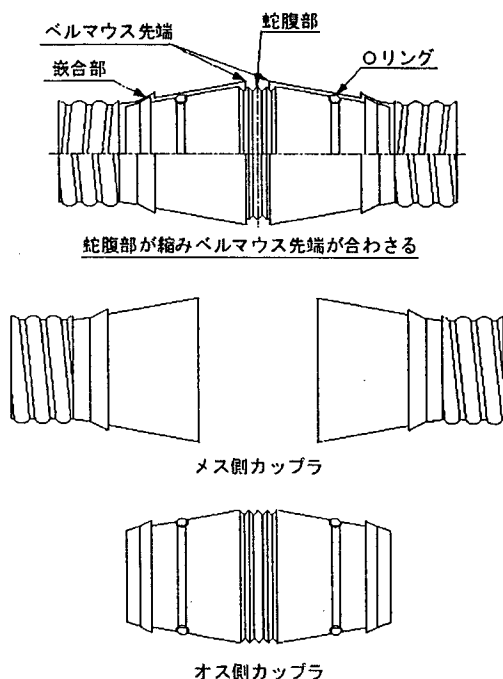


図-解 5.5.1 セグメント継目部用ポリエチレンシースカップラ

参考文献

- [1] 品川 清和, 呉 承寧, 田中 良樹: プレキャストセグメント工法を用いた PC 橋の継目部防食技術に関する実験的研究, 第 10 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.563-568, 2000.10
- [2](社)プレストレスト・コンクリート建設業協会: PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材 施工マニュアル (改訂版), 1999

6章 検 査

6.1 検査の基本

- (1) 検査計画の作成にあたっては、材料受入時、施工中、完成時の各段階において、塩害対策としての所要の性能が得られていることが検査できるよう考慮するものとする。
- (2) 新材料や新工法を採用する場合は、所要の性能を確認するための検査方法を検査計画に明記するものとする。
- (3) 塩害対策に関わる検査において、所要の性能が確保されていない場合の対処方法について、検査計画に記述しておくものとする。

(1) 塩害対策橋においては、一般の橋梁と同様の検査を行うとともに、塩害対策に関わる検査を実施することとした。表-解6.1.1に、現場施工における塩害対策に関わる主な検査項目と検査者(一例)を示す。

表-解6.1.1 塩害対策における検査項目と検査者(一例)

段階	検査項目	検査者(一例)	
		施工者	専任者
材料受入時	コンクリートの品質	○	△
	伝票による配合等確認	○	△
	単位水量測定(試行)	※	△
	加工鉄筋	○	△
	エポキシ樹脂塗装鉄筋	○	△
	施工金具等	○	△
	新材料	○	△
コンクリート打設前	型枠	○	△
	スペーサー	○	△
	かぶり	○	△
完成時	コンクリートの表面	○	○
	かぶり(試行)	※	○
	工事報告書等	※	○

○：品質管理として、主体的に実施するもの。 △：随時、実施するもの。

※：実施することが望まれるもの。

○、△は発注者や工事の規模等によって異なる。

(2) 新材料や新工法を用いる場合は、その所要の性能を明確に把握した上で、適切な検査計画を策定することとした。現場における検査方法の適性や検査の適合範囲について、あらかじめ試験等により明確にしておく必要がある。

(3) 各検査において、合格と判定されない場合の対処方法についてあらかじめ検討しておき、検査計画に示すこととした。

6.2 受入れ検査

6.2.1 コンクリートの品質

- (1) コンクリートの打設作業前に、コンクリートの種類、水セメント比等の配合について、所要の品質のものが納入されていることを伝票において確認しなければならない。
- (2) コンクリートの納品時にフレッシュコンクリートの単位水量を測定することが望ましい。

- (1) かぶりコンクリートの遮塩性を確保する上で、コンクリートの種類や水セメント比などの配合は重要であることから、不適当なコンクリートが混入しないように伝票によってこれを確認しなければならない。
- (2) 近年、コンクリートの耐久性向上を目的として、現場においてフレッシュコンクリートの単位水量を測定する事例が増加している。かぶりコンクリートの遮塩性を確保するためには、特に所要の水セメント比が得られていることが重要であり、これを現場で即時に把握するためには上記の単位水量の測定が有効であると考え、前項の配合の確認を行うとともに、納品時にフレッシュコンクリートの単位水量を測定することとした。

現場におけるフレッシュコンクリートの単位水量の測定方法は多数提案されているので、測定器具等の入手のし易さ、現場での簡便性、用途に応じた測定精度などの各測定方法の特性を考慮して適切なものを選定する必要がある。また、各測定方法の精度に応じて適切な適合範囲をあらかじめ設定しておく必要がある。参考として、巻末に単位水量の測定方法の一例を示した。

6.2.2 加工鉄筋

スターラップ等、かぶりの確保に影響を及ぼす鉄筋においては、鉄筋の加工後または加工された鉄筋を納入する際、所定の形状寸法に加工されていることを確認するものとする。

かぶりの確保に影響を及ぼす鉄筋をあらかじめ把握した上で、加工が適切に行われていることを確認するものとする。エポキシ樹脂塗装鉄筋の場合においても、同様に実施するものとする。所定の形状寸法には、重ね継手部、鉄筋の交差部およびシースの取り合いも考慮し、鉄筋を無理なく組み立てられるよう設計図をあらかじめ確認しておくことが望ましい。

6.2.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、所要の品質基準に適合していることを確認しなければならない。

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、構造物の耐久性に害を及ぼすような傷等がないように検査を行い、万一、それらの有害な変状が発見された場合には、補修等の適切な措置を施すものとする。

6.2.4 施工金具等

- (1) セパレータ、スペーサーなど、かぶりの確保に関わる施工金具等は、所定の形状寸法のものであることを確認する。
- (2) コンクリート中に埋め込まれる施工金具等は、構造物の耐久性を損なうことがないよう、所要の品質のものであることを確認しなければならない。

6.3 施工検査

6.3.1 型枠

型枠は、所定の形状寸法のとおりに組み立てられていることおよびコンクリートの施工時に変形・移動しないように固定されていることを確認しなければならない。

コンクリートの打設中に型枠が変形したり、移動したりすると、鉄筋の固定が不安定となって所要のかぶりの確保に支障をきたすおそれがあることから、型枠について記述した。

6.3.2 スペーサー

- (1) スペーサーは、所定の個数が適切な位置に配置されていることを確認しなければならない。
- (2) スペーサーは、コンクリートの打設中に移動しないよう固定されていることを確認しなければならない。

6.3.3 かぶり

組み立てた鉄筋表面と型枠の内面との間隔は、所要のかぶりが得られていることを確認しなければならない。

構造物が大規模になるほど、鉄筋等がすべて組み立てられてから、鉄筋表面と型枠の内面との間隔を確認することが困難となるので、鉄筋を組み立てている途中においても適宜その間隔を測定しておくのがよい。なお、鉄筋組立後、長期に放置した場合には、コンクリート打設前に再度、鉄筋の配置について確認する必要がある。

6.4 完成検査

6.4.1 コンクリートの表面

かぶりコンクリートの遮塩性を損なうような充填不良や有害なひびわれなどが生じていないことを目視により確認しなければならない。

平均的にはかぶりが確実に確保されていても、ジャンカや空洞がある場合に実質上かぶりが不足していることとなるので、これらが生じていないことを目視により確認することとした。

6.4.2 かぶり

脱型後、かぶりが適切に確保されていることを非破壊検査機器を用いて確認することが望ましい。

かぶりの検査は、組み立てた鉄筋の配置検査においても行うが、型枠、鉄筋およびスペーサーの固定度によっては、コンクリートの打込み後にかぶりの値が変化することがある。このことから、完成後のかぶりを測定することが望ましいとした。完成後のかぶりを把握しておくことは、橋の維持管理にも重要な情報となるので、引渡し後に管理者となる発注者は、これに積極的に取り組む必要がある。

なお、かぶりの非破壊検査機器には電磁誘導法、電磁波反射法、放射線透過法等があるが、いずれの方法を用いる場合においても、測定前にキャリブレーションを行うとともに、測定方法に応じた適切な許容値を設定するのがよい。極端にかぶりが小さい個所が広範囲に見られた場合は、局部的にはつりを行うなどしてかぶりを確認する必要がある。

6.4.3 工事報告書等

塩害対策に関わる性能が得られていることを書類によって確認するものとする。なお、塩害対策に関わる施工・検査の記録は、維持管理部門への引渡しを容易にするため、別冊としてとりまとめることが望ましい。

塩害対策に関わる書類上の検査項目としては、以下のものなどがあげられる。

- a) 実際に用いたコンクリートの種類、配合、フレッシュコンクリートの性状、塩化物イオン量、単位水量測定結果、圧縮強度試験結果
 - b) コンクリート打設前および完成時のかぶり測定結果
 - c) 完成時のジャンカや空洞、有害なひびわれなどの初期欠陥の位置、状況がわかる図および写真
 - d) エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質検査結果
 - e) 新材料・新技術に関するすべての情報および維持管理計画(案)
 - f) 施工時の主な問題点と処置
- 等

付 属 資 料

A. 飛来塩分量測定要領

1. 測定方法の概要

調査地点に付図-1.1 に示す塩分捕集器を設置して、以下の手順で飛来塩分量を測定する。

- ①10cm×10cm のステンレス板に付着した塩分を水によりポリタンク内に洗い流し、そのポリタンクを回収する。
- ②回収した水の量および塩分濃度を測定する。
- ③飛来塩分量を次式で算出する。

$$\text{飛来塩分量 (mdd)} = \frac{\text{塩分濃度 (mg/ml)} \times \text{ポリタンク内の水量 (ml)}}{\text{調査期間 (日)} \times \text{捕集面積 (dm}^2\text{)}}$$

注) 1 mdd = 1 mg/d m²/day、1 dm² = 100 cm²

2. 測定期間

測定期間は1年間を標準とする。また、測定間隔は1ヶ月程度とする。

ただし、季節風の影響が見られる地域では飛来塩分量が卓越する冬季のみの測定によるなど、飛来塩分量を安全側に評価できる場合には、適宜測定期間を設定してよい。

3. 塩分捕集器の設置

海岸線までの距離が最短となる方向に向けて、塩分捕集器を設置するのを標準とする。

ただし、海岸線から測定地点周辺までの地形が複雑に起伏している場合には、海からの風が卓越する方向に向けて塩分捕集器を設置するなど、適宜検討する必要がある。

4. ポリタンクの設置

- (1) ステンレス板、シリコンホースおよびポリタンク内部を、予めイオン交換水で洗浄する。
- (2) ポリタンクを所定の位置に設置し、シリコンホースを介してステンレス板と接続する。

5. ポリタンクの回収

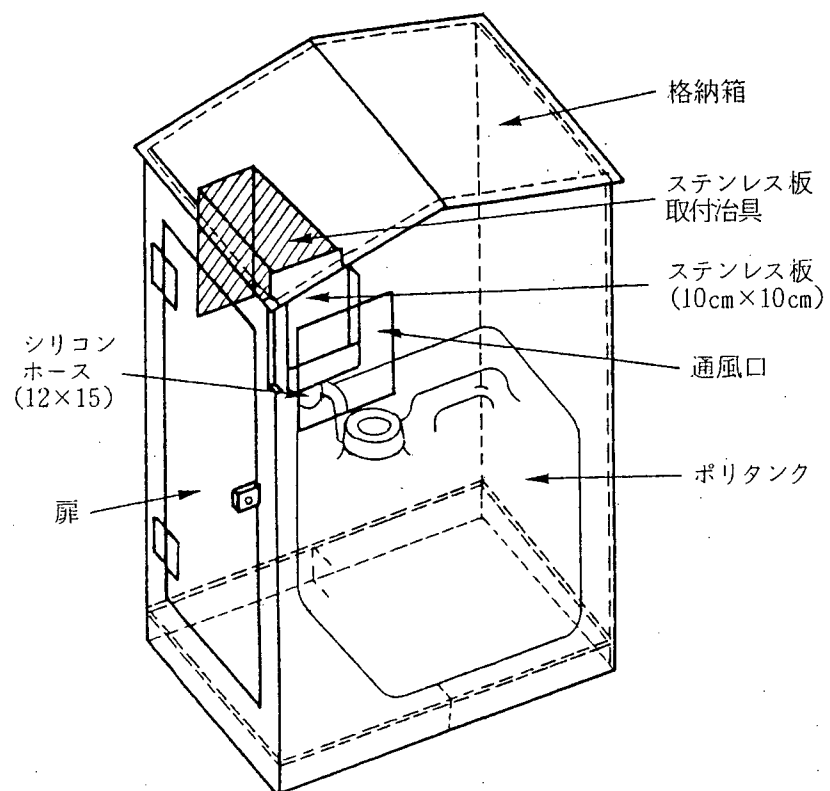
ステンレス板の捕集面およびシリコンホース内に付着した塩分を、イオン交換水でポリタンクの中へ洗い流し、そのポリタンクを回収する。

6. 塩分量の分析

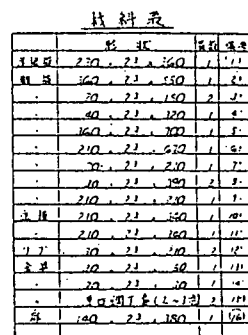
- (1) 回収したポリタンク内の水をビーカーに移す。埃等を取り除くため、No.4 の濾紙で濾過し、濾紙をイオン交換水で洗浄する。
- (2) ポリタンク内面には塩分が付着している場合があり、内側全面をよく洗浄する必要があるため、イオン交換水によるポリタンク内の洗浄を3回程度繰り返す。
- (3) その濾液を洗液とともにメスシリンダーに移し、液量を測定する。
- (4) メスシリンダー中の試料の塩分濃度を分析する。塩分濃度の分析はモール法または電位差滴定法によるのを標準とする。

7. その他

- (1) 市販の蒸留水には多量の塩素イオンが含まれていることがあるので、飛来塩分量の測定で用いる洗浄液等はイオン交換水を使用しなければならない。
- (2) 塩分濃度が低くなると分析の精度が低下する場合があるので、洗浄に用いるイオン交換水の使用量は必要最小限にするのが望ましい。
- (3) 参考として付図-1.2～1.5 に、飛来塩分量全国調査に用いた土研式塩分捕集器の製作図を示す。



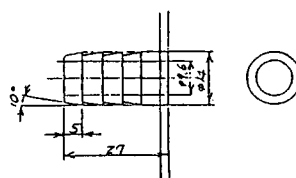
付図-1.1. 土研式塩分捕集器

[illegible]

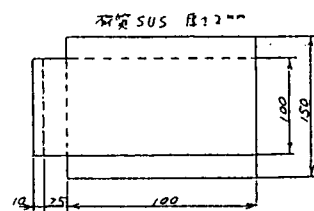
※斜線部はコンクリートブロックを暴露するための収納スペースとして設けていたものであり、通常は省いてよい。

[illegible]

① 材質 SUS



(B)



展開図 (点線ヲ折り目ナル)

SUS: ステンレス鋼

— 75 —

B. かぶりの照査に用いる誤差関数

誤差関数の定義

$$\text{Erf } k = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

これを級数展開すると、

$$\text{Erf } k = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot x^{2n+1}}{n!(2n+1)} = \frac{2e^{-x^2}}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n x^{2n+1}}{(2n+1)!!}$$

(注) 所要の精度を得るためには $n > 25$ とする。ただし、 $k < 3$ 。

Fick の拡散方程式の解

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \text{Erf } \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D_c \cdot t}} \right)$$

x : コンクリート表面からの距離

D_c : 拡散係数

t : 時間

ここで、 $k = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D_c \cdot t}}$ とおけば、

$C(x, t) = C_0 (1 - \text{Erf } k)$ となり、前述の級数展開が適用できる。しかし、拡散方程式を解くのに毎回計算を行うのは面倒であるから、簡易に計算が可能となるよう、予め k に対する誤差関数の解を求めておくものとする。

ここで、 $\text{Erf } k$ を解くと図-1のごとくになる。

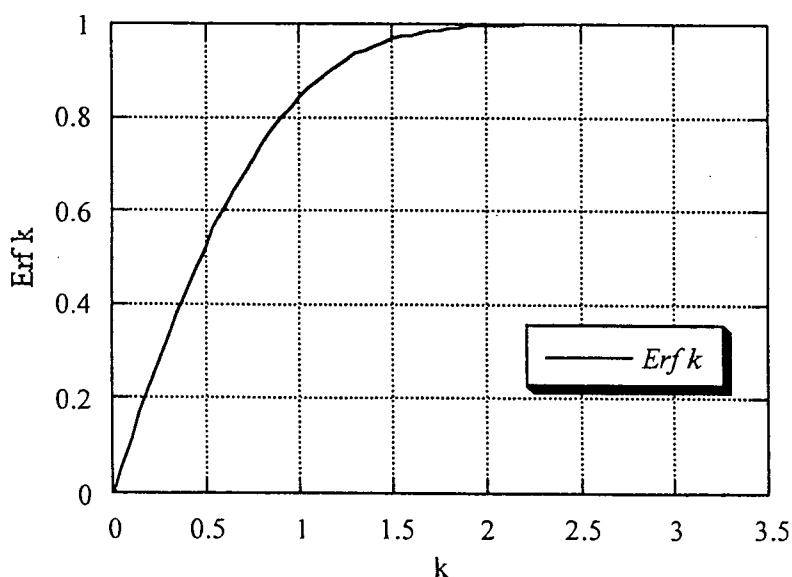


図-1 Erf k と k の関係

これを有効桁数 2 桁として、数表に表すと表-1 のとおりになる。

表-1 Erf k の解

k の値		10 ⁻² 位 の 値									
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
10 ⁻¹ 位 以 上 の 値	0.0	0.000	0.011	0.023	0.034	0.045	0.056	0.068	0.079	0.090	0.101
	0.1	0.112	0.124	0.135	0.146	0.157	0.168	0.179	0.190	0.201	0.212
	0.2	0.223	0.234	0.244	0.255	0.266	0.276	0.287	0.297	0.308	0.318
	0.3	0.329	0.339	0.349	0.359	0.369	0.379	0.389	0.399	0.409	0.419
	0.4	0.428	0.438	0.447	0.457	0.466	0.475	0.485	0.494	0.503	0.512
	0.5	0.520	0.529	0.538	0.546	0.555	0.563	0.572	0.580	0.588	0.596
	0.6	0.604	0.612	0.619	0.627	0.635	0.642	0.649	0.657	0.664	0.671
	0.7	0.678	0.685	0.691	0.698	0.705	0.711	0.718	0.724	0.730	0.736
	0.8	0.742	0.748	0.754	0.760	0.765	0.771	0.776	0.781	0.787	0.792
	0.9	0.797	0.802	0.807	0.812	0.816	0.821	0.825	0.830	0.834	0.839
	1.0	0.843	0.847	0.851	0.855	0.859	0.862	0.866	0.870	0.873	0.877
	1.1	0.880	0.884	0.887	0.890	0.893	0.896	0.899	0.902	0.905	0.908
	1.2	0.910	0.913	0.916	0.918	0.921	0.923	0.925	0.928	0.930	0.932
	1.3	0.934	0.936	0.938	0.940	0.942	0.944	0.946	0.947	0.949	0.951
	1.4	0.952	0.954	0.955	0.957	0.958	0.960	0.961	0.962	0.964	0.965
	1.5	0.966	0.967	0.968	0.970	0.971	0.972	0.973	0.974	0.975	0.975
	1.6	0.976	0.977	0.978	0.979	0.980	0.980	0.981	0.982	0.982	0.983
	1.7	0.984	0.984	0.985	0.986	0.986	0.987	0.987	0.988	0.988	0.989
	1.8	0.989	0.990	0.990	0.990	0.991	0.991	0.991	0.992	0.992	0.992
	1.9	0.993	0.993	0.993	0.994	0.994	0.994	0.994	0.995	0.995	0.995
	2.0	k=2 以上は便宜的に 1 として計算してよい。									

ただし、 $k = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D_c \cdot t}}$

また、 $K=(1-\text{Erf } k)$ とおくと、 $C(x,t) = C_0 * K$ で表される。ここで、 K を求めると表-2の結果が得られる。

表-2 (1 - Erf k) の数値表

kの値		10 ⁻¹ 位 の 値									
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
10 ⁻¹ 位 以 上 の 値	0.0	1.000	0.989	0.977	0.966	0.955	0.944	0.932	0.921	0.910	0.899
	0.1	0.888	0.876	0.865	0.854	0.843	0.832	0.821	0.810	0.799	0.788
	0.2	0.777	0.766	0.756	0.745	0.734	0.724	0.713	0.703	0.692	0.682
	0.3	0.671	0.661	0.651	0.641	0.631	0.621	0.611	0.601	0.591	0.581
	0.4	0.572	0.562	0.553	0.543	0.534	0.525	0.515	0.506	0.497	0.488
	0.5	0.480	0.471	0.462	0.454	0.445	0.437	0.428	0.420	0.412	0.404
	0.6	0.396	0.388	0.381	0.373	0.365	0.358	0.351	0.343	0.336	0.329
	0.7	0.322	0.315	0.309	0.302	0.295	0.289	0.282	0.276	0.270	0.264
	0.8	0.258	0.252	0.246	0.240	0.235	0.229	0.224	0.219	0.213	0.208
	0.9	0.203	0.198	0.193	0.188	0.184	0.179	0.175	0.170	0.166	0.161
	1.0	0.157	0.153	0.149	0.145	0.141	0.138	0.134	0.130	0.127	0.123
	1.1	0.120	0.116	0.113	0.110	0.107	0.104	0.101	0.0980	0.0952	0.0924
	1.2	0.0897	0.0870	0.0845	0.0819	0.0795	0.0771	0.0748	0.0725	0.0703	0.0681
	1.3	0.0660	0.0639	0.0619	0.0600	0.0581	0.0562	0.0544	0.0527	0.0510	0.0493
	1.4	0.0477	0.0461	0.0446	0.0431	0.0417	0.0403	0.0389	0.0376	0.0363	0.0351
	1.5	0.0339	0.0327	0.0316	0.0305	0.0294	0.0284	0.0274	0.0264	0.0255	0.0245
	1.6	0.0237	0.0228	0.0220	0.0212	0.0204	0.0196	0.0189	0.0182	0.0175	0.0168
	1.7	0.0162	0.0156	0.0150	0.0144	0.0139	0.0133	0.0128	0.0123	0.0118	0.0114
	1.8	0.0109	0.0105	0.0101	0.0097	0.0093	0.0089	0.0085	0.0082	0.0078	0.0075
	1.9	0.0072	0.0069	0.0066	0.0063	0.0061	0.0058	0.0056	0.0053	0.0051	0.0049
	2.0	k=2 以上は便宜的に (1-Erf k)=0 として計算してよい。									

$$\text{ただし、} k = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D_c \cdot t}}$$

数値表の使い方

計算例を以下に示す。

なお、Fick の拡散方程式はコンクリート標準示方書[施工編]の式(2.3.2)による。

$$C_d = \gamma_d \cdot C_o \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c}{2 \sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right)$$

ここに、 C_d ：鋼材位置における塩化物イオンの期待値 (kg/m³)

γ_d ：鋼材位置における塩化物イオン濃度 C_d の設計値のばらつきを考慮した安全係数

C_o ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

c ：かぶり (mm)

D_d ：塩化物イオンに対する設計拡散係数 (cm²/年)

t ：塩化物イオンの侵入に対する耐用年数 (年)

(1) 地域区分 B、 $D_d = 1.1 \times 10^{-8}$ cm²/s、 $Y = 100$ 年、 $C_{\text{corr}} = 0.9$ kg/m³、 $C_o = 1.2 \times C^{0.4}$ kg/m³、海岸線からの距離 100m、の条件で必要なかぶりを求める。

① コンクリート表面における塩化物イオン濃度の計算

地域区分 B の条件より $C_1 = 0.92$ (mdd)、また $d = 0.1$ km の条件から、飛来塩分量は、

$$C_{\text{air}} = C_1 \cdot d^{-0.6} = 3.66 \text{ (mdd)}$$

よって、コンクリート表面における塩化物イオン濃度は、

$$C_o = 1.2 \cdot C_{\text{air}}^{0.4} = 2.02 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

② 最小かぶりの計算

$k = \frac{0.1 \cdot c}{2 \sqrt{D_d \cdot t}}$ とおき、 $\gamma_d = 1.0$ とすれば、拡散方程式は次式で表される。

$$C_d = C_o (1 - \operatorname{erf} k)$$

$C_d = 0.9$ 、 $C_o = 2.02$ より、

$$(1 - \operatorname{erf} k) = \frac{C_d}{C_o} = \frac{0.9}{2.02} = 0.445$$

表-2より、 k を逆算すると $k = 0.54$ が求められる。

D_d の単位を cm²/年に修正すると、

$$D_d = 1.1 \times 10^{-8} \times 31.536 \times 10^6 = 0.3469 \text{ (cm}^2\text{/年)}$$

よって、必要な最小かぶりは、

$$0.1 \cdot c = k \cdot 2 \sqrt{D_d \cdot t} = 0.54 \cdot 2 \cdot \sqrt{0.3469 \times 100} = 6.36 \text{ (cm)}$$

$$c = 63.6 \text{ (mm)}$$

(注) 拡散係数は本文と単位が異なる点に注意。 cm²/s = 31,536,000 cm²/年

(2)地域区分 B、 $D_d=1.1 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 、 $Y=100$ 年、 $C_o=1.2 \times C^{0.4} \text{kg/m}^3$ 、海岸線からの距離 10m、
 の条件で、設計かぶり 70mm が、 $C_d < C_{\text{corr}}=0.9 \text{kg/m}^3$ を満足するかチェックする。

①コンクリート表面における塩化物イオン濃度の計算

地域区分 B の条件より $C_1=0.92(\text{mdd})$ 、また $d=0.01\text{km}$ の条件から、飛来塩分量は、

$$C_{\text{air}} = C_1 \cdot d^{-0.6} = 14.58 (\text{mdd})$$

よって、コンクリート表面における塩化物イオン濃度は、

$$C_o = 1.2 \cdot C_{\text{air}}^{0.4} = 3.51 (\text{kg/m}^3)$$

②鋼材位置における塩化物イオン量

$k = \frac{0.1 \cdot c}{2\sqrt{D_d \cdot t}}$ とおくと、 $D_d = 0.3469 (\text{cm}^2/\text{年})$ 、 $t=100$ 年、 $c=70\text{mm}$ より

$$k = \frac{0.1 \cdot c}{2\sqrt{D_d \cdot t}} = \frac{7.0}{2\sqrt{0.3469 \times 100}} = 0.59$$

表-2 より $1-\text{erf } k$ の値を求めると、 $1-\text{erf } k = 0.404$

$\gamma_d=1.0$ とすれば、 $C_d = 1.41(\text{kg/m}^3) > C_{\text{corr}}=0.9\text{kg/m}^3$ となり条件を満足しない。

③最小かぶりの計算

$C_d = 0.9$ 、 $C_o = 3.51$ より、

$$(1-\text{erf } k) = \frac{C_d}{C_o} = \frac{0.9}{3.51} = 0.256$$

表-2 より、 k を逆算すると $k = 0.80$ が求められる。

よって、必要な最小かぶりは、

$$0.1 \cdot c = k \cdot 2\sqrt{D_d \cdot t} = 0.80 \cdot 2 \cdot \sqrt{0.3469 \times 100} = 9.42 (\text{cm})$$

$$c = 94.2 (\text{mm})$$

C. コンクリートの単位水量推定法

乾燥炉による単位水量迅速推定法

【概要】

乾燥炉によってコンクリートを加熱乾燥させ、蒸発水量から単位水量を推定する。

1. 装置の仕様

(1) 乾燥炉

- ・炉内温度が 450℃ のものと 600℃ のものが市販されてる。

600℃ のほうが乾燥時間はやや早いですが、過剰に乾燥させると骨材が割れ、はじけ飛ぶことがあるので、450℃ の炉のほうが無難である。

- ・コンクリート試料量：約 1,200g (500cc)

- ・乾燥時間：10 ～ 15 分

乾燥炉の性能によって乾燥時間が異なるので、完全に乾燥し、試料の質量が一定になるまでの時間をあらかじめ把握しておくことが望ましい。

(2) 電子秤：秤量 6kg, 感度 0.1g

2. 試験方法

(1) コンクリート試料をトレイに約 1,200g 採取し、質量(M1)を測定する。

(2) トレイを手でゆすり、試料をトレイ上にまんべんなく敷き詰める。

(3) 乾燥炉に入れ、一定時間(10 ～ 15 分間)乾燥させる。

(4) 試料質量(M2)を測定する。

(5) 試料を 5mm フルイ上で水洗いし、粗骨材を抽出する。

(6) 粗骨材の表乾質量を測定する。

3. 単位水量の推定式

最も簡易な推定式を以下に示す(推定上の仮定条件によって式は異なる)。

$$W = \frac{Mm}{Mm1} \times W1 - Ws \quad (1)$$

ここに W：推定単位水量 (kg/m³)

Mm：配合上のコンクリート 1 m³ に含まれるモルタル質量 (kg/m³)

$$Mm = Mw + Mc + Ms$$

ここに、Mw：配合上の単位水量 (kg/m³)

Mc：配合上の単位結合材量 (kg/m³)

Ms：配合上の単位細骨材量 (kg/m³)

Mm1：試料中のモルタル量 (g)

$$Mm1 = M1 - Mg1$$

ここに、M1：乾燥前の試料質量 (g)

Mg1：試料に含まれる粗骨材の表乾質量 (g)

W1：試料中のモルタルの蒸発水量 (g)

$$W1 = M1 - M2 - Wg1$$

ここに、M1：乾燥前の試料質量 (g)

M2：乾燥後の試料質量 (g)

Wg1：試料中の粗骨材の含水量 (g)

$$Wg1 = Mg1 \times \frac{Qg}{100 + Qg}$$

Qg：粗骨材の吸水率(%)

Ws：配合上のコンクリート 1m³ 中の細骨材の含水量(kg/m³)

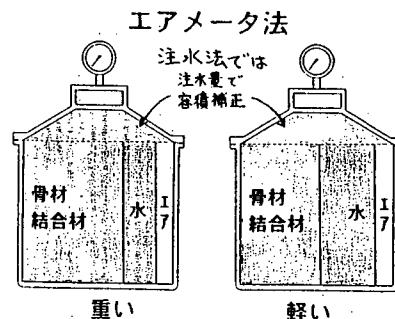
$$Ws = Ms \times \frac{Qs}{100 + Qs}$$

ここに、Qs：細骨材の吸水率(%)

エアメータ法による単位水量推定法（簡易法）

【概要】コンクリート材料の中で、水は他の材料に比較して密度が小さいので、単位水量が変化するとコンクリートの密度も変化する。エアメータ法はコンクリートの密度の違いから単位水量を推定する。

注水法、無注水法どちらでも推定が可能であるが、エアメータの検定を十分に行う。



1. 測定機器

- ・圧力式エアメータ
 - ・秤 容量：25kg
最小目盛：1g（5gでも可）
電源：持ち運びを考慮すると乾電池式が良い
- ※事前準備と測定作業では同じ秤を使用すること
（秤によって測定値がずれる場合があります）

2. 事前準備

2.1 エアメータの質量の測定

エアメータの下容器と蓋の質量を1 g (5g)単位で測定する。

2.2 エアメータの容積の測定

コンクリートを詰める下容器容積、および下容器と蓋の部分を含めた全容積を測定する。容積は容器内に水を充填し、水の質量を1 g (5g)単位で測定することによって行う。下容器に水を満たす場合は水面を容器上縁に精度良く一致させるためにスリガラス等を用いると良い。

2.3 エアメータの検定

・注水法による測定の場合

- (1) 下容器に水を満たす。蓋を締め、注水孔から注水して排水孔から排水される状態でコックを締める。
- (2) 空気量の測定法にならって注水法の見盛りで空気量①を測定する。
（空気量が0を示せば0点の誤差は無い）
- (3) (1)の状態から、下容器容積の約5%排出させる。排出した水の量を正確に測定する。
- (4) 空気量の測定法にならって注水法の見盛りで空気量②を測定する。
- (5) (3)で排出した水量を下容器容積で除した値と空気量②を比較する。
（双方の値が一致すれば測定誤差は無い。差があればその分だけ測定空気量を補正する必要がある。）

・無注水法による測定の場合

- (1) 下容器容積に一致する分の水を満たし、蓋を締める。
- (2) 空気量の測定法にならって無注水法の見盛りで空気量①を測定する。
（空気量が0を示せば0点の誤差は無い）
- (3) (1)の状態から、下容器容積の約5%排出させる。排出した水の量を正確に測定する。
- (4) 空気量の測定法にならって無注水法の見盛りで空気量②を測定する。
- (5) (3)で排出した水量を下容器容積で除した値と空気量②を比較する。
（双方の値が一致すれば測定誤差は無い。差があればその分だけ測定空気量を補正する必要がある。）

3. 測定作業

注水法による場合を以下に示す(無注水法による場合は③④を省略する)

- ①空気量測定法に従ってコンクリートを下容器に詰め、表面を均し、蓋を締める。
- ②容器ごと、質量(W_A)を1 g単位で測定する。
- ③注水孔から注水し、排水孔から排出されるまで注水した段階でコックを締める。
- ④質量(W_B)を測定する。
- ⑤空気量を0.1 %単位で測定する。

4. 単位水量推定法(簡易法)

4.1 計算式

試験で得られる単位容積質量と示方配合上の単位容積質量を比較することで単位水量を推定する。ただし、単位容積質量は空気量を除いて計算する。

示方配合上の単位容積質量 γ_1 と、試験結果から得る単位容積質量 γ_2 は次式によって計算する。

$$\gamma_1 = Wc / (1 - Air \times 0.01) / 0.998 \quad (1)$$

ここに、 γ_1 ：示方配合上の単位容積質量(kg/m^3)

Wc ：示方配合上のコンクリート質量(kg/m^3)

Air ：示方配合上の空気量(%)

0.998：セメント粒子に水が浸潤することによる修正係数

$$\gamma_2 = W_2 / (V_2 \times (1 - Air_2 \times 0.01)) \quad (2)$$

ここに、 γ_2 ：アーマータ法で得られる単位容積質量(kg/m^3)

W_2 ：試料の質量(g) $W_2 = W_A - (\text{エアメータの全質量})$

V_2 ：試料の容積(リットル) 注水法の場合 $V_2 = (\text{エアメータの全容積}) - (W_B - W_A)$
無注水法の場合 $V_2 = (\text{エアメータの下容器の容積})$

Air_2 ：測定した空気量(%)

4.2 判定方法

単位水量が 7kg/m^3 増加するとコンクリートの単位容積質量は 10kg/m^3 程度減少する。従って γ_1 と γ_2 を比較し、次式により単位水量の推定を行う。

$$\text{単位水量の誤差 } W' = (\gamma_1 - \gamma_2) \times 0.7 \quad (\text{kg/m}^3) \quad (3)$$

4. 骨材密度の誤差が単位水量の推定値に与える影響

コンクリートの質量の大半は骨材が占めるために、骨材の密度が正確に把握されていないと、単位水量の推定精度は低下する。例えば、配合計算に用いた粗骨材の密度が真の密度より 0.02g/cm^3 大きい場合、推定単位水量は約 5kg/m^3 多く計算される。

参考文献

片平 博, 河野広隆：フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定法に関する実験的研究, 土木研究所資料第3657号, 1999

D. セグメント継目部用ポリエチレンシースカップラに関する資料

PCシンポジウム論文集に発表した資料 (pp.563-568, 2000.10)

プレキャストセグメント工法を用いたPC橋の継目部防食技術に関する実験的研究

プレストレストコンクリート建設業協会 正会員 ○品川 清和
同 上 正会員 呉 承寧
建設省土木研究所 正会員 田中 良樹

1. はじめに

プレキャストセグメント工法を用いたプレストレストコンクリート橋(以下、セグメント橋)は、一般に現場施工の省人化を目的に採用されている。このセグメント橋は、個々のセグメント部材のコンクリートの品質が比較的高いことから、耐久性の高い橋としても期待できる。その際にセグメント部材間の継目部の耐久性確保が重要となる。通常、セグメント橋は、継目部に隙間が生じないようにエポキシ樹脂系接着剤がコンクリートの接合面に塗布されるとともに、活荷重載荷時においても引張応力が生じないようなプレストレスが導入されている。しかし、沿岸部の塩分環境の厳しい地域におけるセグメント橋は、万一、継目部にひび割れが生じたとしてもPC鋼材の腐食を防ぐことのできるフェイルセーフ機能を有する必要があると考えられる。近年、PC鋼材の塩害対策の一つとして、ポリエチレンシース(以下、PEシース)が採用され始めているが、これをセグメント橋に適用する際には、継目部における本来のPEシースとしての機能と上記のフェイルセーフ機能の観点からPEシースの連続性を確保する必要がある。

このことから、セグメント継目部に用いるPEシースのカップラ(以下、カップラ)を考案して、その遮塩性を確認するための塩水浸漬試験を実施した。また、その供試体製作の段階でカップラの施工性についても確認を行った。さらに、これらの結果を踏まえた上で、カップラの適用方法をまとめた。

2. PEシースの連続性確保に関する提案

2. 1 セグメント橋継目部の要求性能

塩害対策地域に建設するセグメント橋継目部の要求性能を以下のとおり整理した。

- ①万一、セグメント継目部に開きが生じたときにもPC鋼材に腐食を生じさせない。(耐久性)
- ②セグメントつなぎの施工性を著しく損なわない。また、グラウトの施工を阻害しない。(施工性)
- ③維持管理の負担となる構造としない。(経済性)
- ④シース継手が極端に大きな断面とならない。

なお、①における万一の状況とは、例えば、過積載車両の通行や設計施工におけるヒューマンエラーなどであり、設計の前提としてはあり得ない内容である。しかしここでは、フェイルセーフとして、こうした不測の事態が生じてPC鋼材を海岸部の厳しい環境に曝すことがないように対策を施しておくべきであると考えた。これらを踏まえて、図-1に示すカップラを考案した。

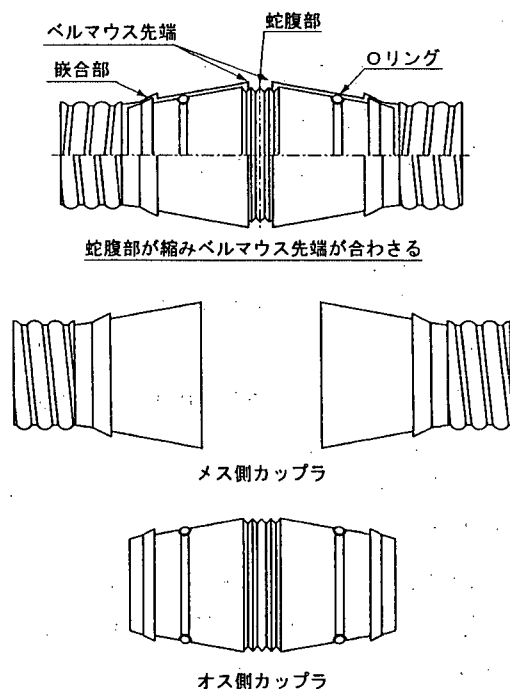


図-1 カップラ

2. 2 カップラの構造

カップラは、PE製の中央に蛇腹部を有するオス部品1個とベルマウスを持つメス部品2個およびゴム製の^オリング2個からなる。カップラ各部の機能を以下に示す。

- ①^{かんこうぶ}嵌合部：オスとメスのカップラ一体化。遮塩性・止水性の向上。
- ②蛇腹部：施工誤差の吸収。セグメント接合時の作業性の向上。
- ③テーパー：セグメント接合時の挿入しやすさの確保。PC鋼材曲げ上げ部への適用性向上。
- ④^オリング：遮塩性・止水性の向上。
- ⑤ねじ部：一般部のPEシースと接合。

3. 塩水浸漬試験

3. 1 概要

本試験では、セグメント橋継目部にひび割れが入った状態でのカップラの遮塩性ならびに施工性を確認する。セグメント橋を模した供試体を製作し、継目部に強制的にひび割れを生じさせた後、赤インク入り塩水(以下、赤色塩水)に浸漬した。所要の浸漬期間が終了した供試体は、引き上げ、解体の後、目視およびEPMA試験(1年目のみ)によって赤色塩水の浸入の程度を確認した。なお、小型の供試体ではあるが供試体製作時に施工性も見ながら進めた。

表-1 ひび割れ幅の目標値

供試体番号	緊張時鋼材ひずみの目標値(μ)	ひび割れ導入方法	ひび割れ幅の目標値(mm)
A 2	1000	曲げ載荷	最大0.3
B 2	100	〃	残留0.2

実験の主なパラメーターは、継目部のひび割れ幅および塩水浸漬期間である。表-1に継目部のひび割れ幅の目標値を示す。活荷重によるPCブロックT桁橋のひび割れ幅に関する報告から²⁾、シリーズAではコンクリート下面の目標ひび割れ幅を最大0.3mmとし、除荷後はひび割れが閉じるようにあらかじめプレストレスを導入しておいた。一方、シリーズBはシリーズAよりも過大な設定とし、残留ひび割れ幅が0.2mmとなるように設定した。シリーズAは実際のセグメント橋が置かれる環境としては最も厳しい状況を想定した。シリーズBは実際のセグメント橋ではほとんど見られない状況であると考えられるが、塩水浸漬期間が比較的小さいことを考慮して、実際よりも相当厳しい状況として設定した。

表-2 供試体の諸元

コンクリート	早強ポルチランドセメント, W/C=38%
グラウト	普通ポルチランドセメント, W/C=45% ノンリーチング・高粘性型グラウト用混和剤使用
接着剤 (カップラ間詰材)	コンクリート用2液性 エポキシ樹脂系接着剤
PEシース及び カップラ	高密度ポリエチレン(HDPE) 呼び径φ70mm, 厚さ1~2mm
鋼材	全ねじ鋼材, 4T, M12

塩水浸漬期間は1, 3, 6ヶ月および1年とした(本文では1ヶ月目の結果のみ報告する)。

3. 2 供試体

表-2, 図-2に供試体の形状寸法と諸元を示す。供試体数はシリーズA, Bそれぞれ2体の予備試験体を含めて6体ずつ用意した。供試体の中心にPEシースを配置するとともに、ある程度のプレストレスを与えるため、PEシース中心に全ねじ鋼棒を配置した。

コンクリートの接合面には一般的なコンクリート用2液性エポキシ接着剤を塗布した。

オス側カップラとメス側カップラの間は、^オリングおよびカップラの^{かんこうぶ}嵌合部で遮塩性を確保す

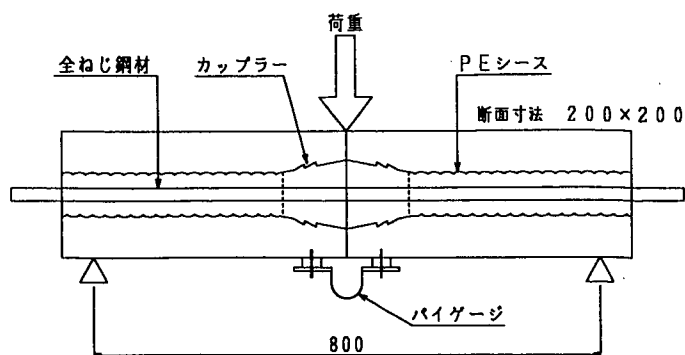


図-2 供試体の形状寸法とひび割れ導入方法

るようになっているが、ここではさらに少しでも遮塩性の向上を図るため、そのカップラ間にコンクリートの接合面に使用するものと同じエポキシ接着剤を間詰材として用いることとした。接着剤の塗布にはハケやヘラを用いた。接合面、カップラの周囲に接着剤を塗布した後、二つのセグメントを全ねじ鋼棒の端部のボルトを締めることによって引き寄せ、カップラの嵌め込みもその緊張力に任せた。シリーズA、Bともに鋼材のひずみが1000 μ になるまで緊張し、シリーズBはすぐに100 μ 程度まで戻した。

接着剤塗布から2日後、グラウトを実施した。P C鋼材曲げ上げ部のグラウト充填性を確認する目的で、供試体を10° 傾けた状態でグラウト注入を行った。グラウト材は水セメント比45%とし、ノンブリーディング・高粘性型グラウト用混和剤を使用した。

グラウト後10日目以降に以下の方法により、供試体の継目部付近に曲げひび割れを発生させた。

3. 3 ひび割れ導入方法

図－2にひび割れ導入方法を示す。曲げ载荷によりひび割れを発生させ、表－1に示した目標ひび割れ幅になるまで载荷を行った。ひび割れは、いずれの供試体も継目部付近で発生し、想定どおりのひび割れが導入できた。浸漬後1ヶ月目に回収した供試体A 2およびB 2のひび割れ幅を表－3に示す。

表－3 ひび割れ導入試験結果

供試体 番号	鋼材の 残留 ひずみ (μ)	プレストレス量		ひび割れ幅 (mm)	
		導入力 (kN)	コンクリート 応力度 (N/mm ²)	最大値	残留値
A 2	1004	14. 3	0. 36	0. 306	0. 052
B 2	108	1. 5	0. 04	0. 805	0. 223

3. 4 塩水浸漬方法

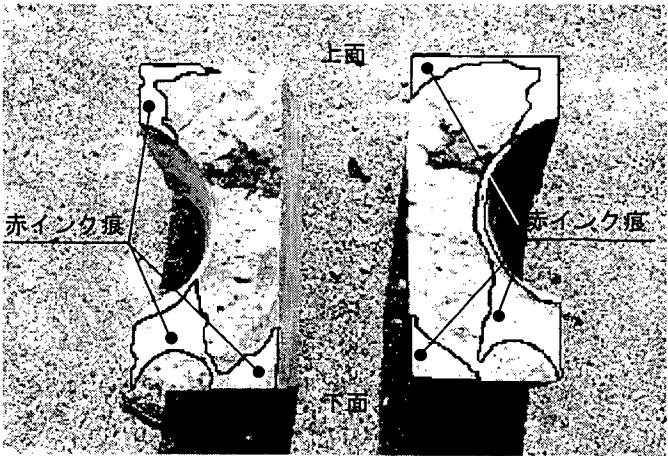
ひび割れを発生させた供試体を、NaCl濃度が3%の赤色塩水に入れ一定期間放置した。赤色をつけるために200 $\frac{1}{2}$ の水槽に700mlのペン用赤色インクを投入した。予備試験により、微細なひび割れでも塩水浸入の程度を十分把握できることを確認した。放置期間中は水の量に注意し、蒸発した量と同量の水を補充した。所定の期間経過した後、供試体(本文では、1ヶ月经過した供試体A 2およびB 2)を塩水中から取り出し、供試体に含まれる水分が解体時に移動するのを防ぐ目的で、40℃の恒温槽で2日間乾燥させた。乾式コンクリートカッターで供試体を軸方向に縦割りにし、カップラの側断面が観察できるようにした。硬化したグラウト材、オス側カップラ、間詰材、メス側カップラをそれぞれ取り外して、赤色塩水の浸入による着色部分(以下、赤色部分)の分布を目視観察した。また、セグメント継目部の曲げひび割れに沿ってセグメントを分割し、ひび割れ内部への赤色塩水の浸入の程度を目視観察した。EPMA試験は、浸漬後1年目の供試体のみ実施する予定としている。

4. 結果と考察

4. 1 遮塩性

供試体A 2、B 2の間に、塩水浸入の程度に関して顕著な差が見られなかった。供試体外部、ひび割れ内部ともに、赤色部分と元のコンクリートの色は容易に識別することが可能であった。ここでは、赤色部分が赤色塩水浸入箇所と同じであるとした。目視観察の結果を以下に列挙する(写真中、線で囲まれた箇所は赤色部分を示す)。

- ①曲げひび割れの内部は、コンクリート下面の残留ひび割れ幅が0. 05mmであっても赤色になっていた(写真－1)。



写真－1 セグメント継目部端面

②コンクリート接合面の接着剤充填不足部があり、その空洞化した部分に赤色部分が見られた（写真－１）。

③曲げひび割れの入っていた断面のカップラの周囲全て（蛇腹部分外側およびメス側カップラの突合せ部）に赤色部分が見られ、曲げひび割れの入っていた箇所だけに塩水が浸入したものではなかった（写真－２）。

④グラウトの周囲には赤色部分が見られなかった（写真－３）。

⑤オス側とメス側の間の間詰材（接着剤）の充填が不足している箇所があり、その空洞化した部分には赤色部分が見られた（写真－４）。

⑥^{オス}リングならびに^{かんこうぶ}嵌合部には赤色部分が見られなかった（写真－４）。

⑦メス側カップラの外側とコンクリートの界面にも赤色部分が見られた。

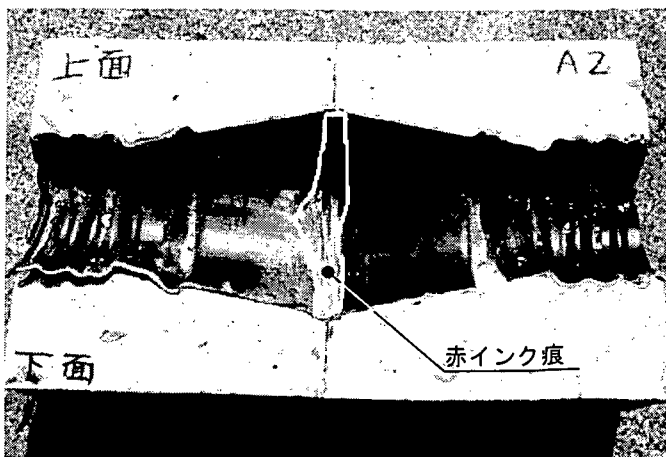
図－３に、継目部にひび割れが生じた場合のカップラの塩分浸透経路を示す。エポキシ接着剤は引張が生じた場合に、コンクリートの引張強度まで継目部のひび割れ発生を抑制する効果がある。しかし、ひび割れ発生後は、塩分浸透の抑制効果は期待できない。

そして、PEシースが不連続である場合には、グラウトにも容易に曲げひび割れが伸展するものと考えられる。よって、ひび割れ発生後はひび割れを通じてPC鋼材位置まで塩分が容易に到達するものと考えられる。また、エポキシ接着剤とグラウトはいずれも施工の程度の影響が大きく、万一何らかの要因によりそれらの施工が適切でなかった場合に、PC鋼材は直ちに厳しい環境に置かれることになる。

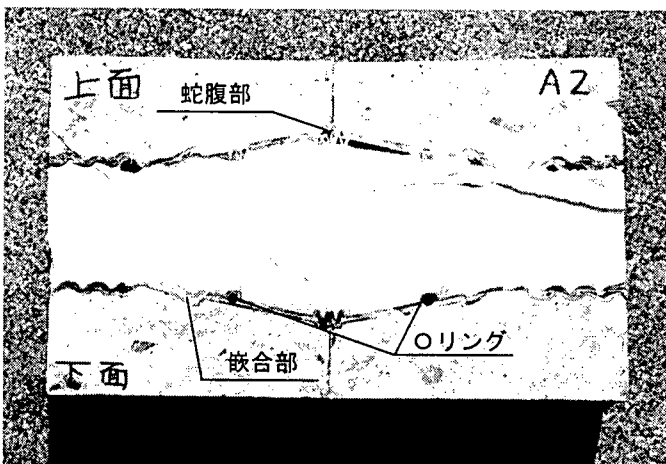
一方、カップラを用いた場合には、ひび割れが生じたときにも間詰材、^{オス}リング、^{かんこうぶ}嵌合部で塩分の浸入を防ぐことが期待される。今回の１ヶ月目の試験結果より、間詰材の遮塩効果が確認された。しかし、間詰材は接合面のエポキシ接着剤やグラウトと同様に施工の程度の影響が比較的大きいことも確認された。

^{オス}リング、^{かんこうぶ}嵌合部の遮塩性は今回の結果では確認できなかった。

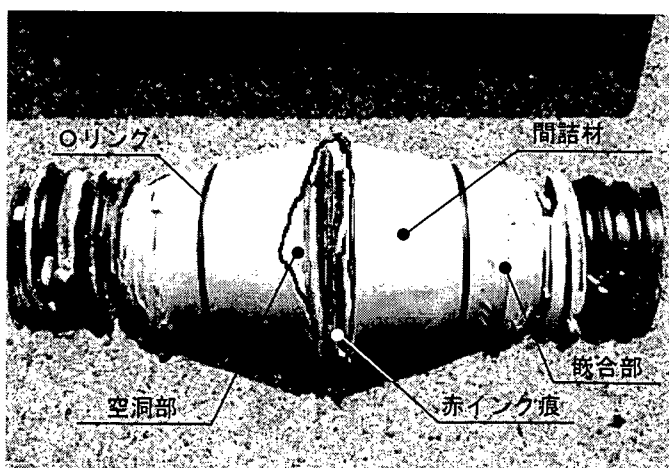
以上の点から、カップラを採用した場合に、コンクリート外部からの塩分がPC鋼材位置まで到達する可能性を、従来の場合よりも小さくできると考えられ



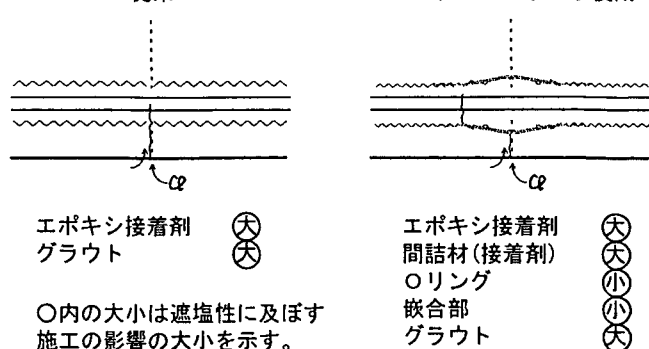
写真－２ メス側カップラの内側



写真－３ 供試体側断面



写真－４ オス側カップラの外側
従来 PEシースカップラ使用



図－３ カップラによる塩分進入経路の相違

る。エポキシ接着剤、間詰材、グラウトの施工は施工の影響を受け易いが、適切に施工できたときの遮塩効果は高いので、いずれもカップラの有無にかかわらず丁寧に施工する必要がある。

4. 2 施工性

今回の供試体は実構造物に比べて小さいので、カップラの施工性を全て把握することができないが、供試体製作を通して分かったカップラの施工性と施工上の留意点を表-4にまとめた。カップラのテーパーの角度設定は、設計・施工の両面から最適な角度にする必要がある。テーパーの角度は、PEシース間のあき等の配置上の問題、配置される位置での傾斜への対応、セグメント接合時の施工誤差(PEシース位置のずれ)、グラウトの充填性を考慮する必要がある。

表-4 カップラの施工性と留意点

項 目	施 工 性 と 留 意 点
①カップラの扱い易さ	・カップラは軽量で作業性は良い。 ・蛇腹部は想像以上に硬く、人力での変形は困難である。
②間詰材の塗布の容易さ	・試験では、間詰材の充填不足箇所が見られた。塗布作業はコンクリート接合面への塗布と同時に作業できるが、十分に充填できるように間詰材は厚めに塗布する必要がある。
③カップラの挿入し易さ	・今回はカップラのテーパーの角度が比較的大きいため、挿入し易かった。 ・PEシースの配置上、テーパー角度をもう少し小さくする必要があるが、全くないと施工誤差等の修正が困難になり、セグメント接合時に支障をきたすので、多少のテーパーは必要である。
④グラウトの施工性	・一旦、嵌合部が固定されれば、接着剤がシース内に漏れる心配がない。 ・嵌合部の隙間や蛇腹部は、細部までグラウトで充填されていた。 ・今回のグラウトは、テーパーと同程度の角度に供試体を傾けて実施したため、オス側カップラ内部もグラウトが比較的良く充填できていた。

5. 実構造物への適用方法案

以上の検討を踏まえて、カップラの実構造物への適用方法を以下のとおり整理した。

- (1) 曲げモーメントが大きい箇所にフェイルセーフとしてカップラを入れる。何らかの要因で曲げひび割れが出るとすると、その箇所は支間中央付近の下縁及び連続桁橋の支点上付近の上縁である。これらの範囲では、曲げ上げ角度は比較的小さい。カップラの採用は、曲げ上げ角度 $0 \sim 3^{\circ}$ 程度までの範囲とする。これにより、カップラのテーパーを 3° 程度とすることができ、カップラの配置が比較的容易となる。
- (2) カップラ適用箇所の決定は、曲げひび割れの発生の可能性、曲げ上げ角度等の諸要因をよく検討して決めることを基本とする(図-4)。

- (3) カップラを使用しない継目は、エポキシ接着剤に期待するところが大きいので、継目部の接着剤の施工を特に注意する必要がある。接合面の面積が大きいほど継目面に不陸が生じ、隙間も大きくなる傾向があるので、その隙間を充填できるように適切な量のエポキシ接着剤を塗布する必要がある。

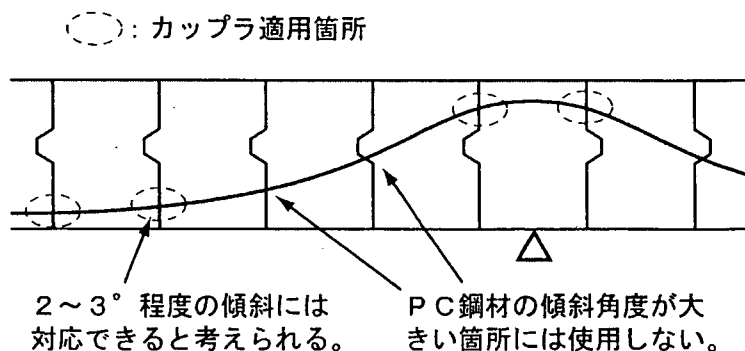


図-4 カップラの適用箇所

6. まとめ

本文では、塩害対策地域におけるセグメント橋継目部の要求性能を整理した上で、カップラを提案し、その遮塩性、施工性を把握するための塩水浸漬試験を実施した。また、その結果を踏まえて、同カップラの実構造物への適用方法について提案を行った。主な検討結果は以下のとおりである。

(1) 継目部のひび割れに沿って浸入した赤色塩水は、カップラの周囲まで既に到達していたが、カップラの存在により、PEシース内側のグラウト部分には侵入していないことが確認できた。ひび割れが生じた状態での塩水浸漬試験は、実構造物の継目の置かれる環境よりも厳しいものと考えられるが、この状態でもカップラで十分遮塩できることが分かった。

(2) 一般にセグメント継目部に用いられるコンクリート用接着剤をカップラの間詰材としてオス、メスの間に塗布した結果、充填されているところは遮塩効果が見られた。ひび割れ発生後のカップラの遮塩性は、間詰材、^オリング、^{かんごうぶ}嵌合部の二重三重の障壁により従来よりも向上できると考えられる。ただし、間詰材は、施工の際に塗りむらが生じないように厚めに塗布する必要がある。

(3) 実構造物への適用にあたっては、カップラのテーパの角度を設計・施工の両面から最適な角度に設定する必要がある。テーパの角度は、PEシース間のあき等の配置上の問題、配置される位置での傾斜への対応、セグメント接合時の施工誤差(PEシース位置のずれ)、グラウトの充填性を考慮する必要がある。

(4) カップラの配置上の問題を軽減するため、カップラの適用は何らかの要因により曲げひび割れが出るところに限定し、曲げ上げ角度の比較的小さい範囲にカップラを適用することを提案した。

7. おわりに

実験で採用した案はセグメント継目部でPEシースの連続化を図ることで、継目部の遮塩性能を向上させる目的で開発してきたものである。浸漬期間が1ヶ月という限定された実験の結果ではあるが、この範囲では十分遮塩性の向上という目的は達せられたと理解している。今後は、さらに実験データを増やし、カップラの信頼性を向上させるとともに、改良によって適用性の拡大を図っていくべきであると思っている。

継目部を工夫すれば、セグメント化は塩害対策地域におけるPC橋のLCC低減に有効な一方策になると考えている。今回のカップラ案にとられることなく、継目部の耐久性を確保するためのより適切な手法が提案されることが望まれる。

謝辞

本検討は建設省土木研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会による「ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究」(平成11~13年度)の一環として実施したものである。カップラの考案、試作、試験等、本研究にご協力いただいた関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 田中良樹, 「プレキャストセグメント工法を用いたPC橋の継目部防食技術の開発」, プレストレストコンクリート, Vol. 41, No. 5, pp. 53-54, 1999年9月
- 2) 杉江功, 下村幸徳: PCブロックT桁橋の補修・補強, 橋梁と基礎, pp. 75~78, 1994. 8

出典: 品川清和, 呉承寧, 田中良樹: プレキャストセグメント工法を用いたPC橋の継目部防食技術に関する実験的研究, PCシンポジウム論文集, pp.563-568, 2000.10

E. エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準(案)

(道路橋の塩害対策指針(案)・同解説(日本道路協会, 1984.2), 付属資料より抜粋)

1. 種類

塗装鉄筋は、曲げ加工可能温度範囲により 1 種、2 種の 2 種類とする。

表-1

種類	加工下限温度	表 示	塗装の色
1 種	5℃以下	望ましい加工温度の範囲を明示する。	青色系
2 種	15℃以下	望ましい加工温度の範囲を明示する。	青色および錆色系 以外

塗装鉄筋は、塗料の種類によって曲げ加工温度範囲が異なることがある。特に、低温で曲げ加工する際に困難を伴う場合がある。このため、塗装鉄筋を低温でも加工できる 1 種と常温での加工に限った 2 種とに区別した。また、これらの種類は、塗膜の色によって表示するのが望ましい。

2. 品質

- (1) 塗装鉄筋は、品質管理の行きとどいた塗装工場において製造されたものでなければならない。
- (2) 塗装鉄筋の製造に用いる棒鋼は、JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼の品質を満足する異形棒鋼で塗装に適した表面性状のものでなければならない。
- (3) 塗装鉄筋は、エポキシ樹脂または同等の品質を有する材料を主体とした粉体塗料を用いたものでなければならない。
- (4) 塗装鉄筋は、製造時に素地調整を行った鉄筋に静電塗装を行う工程を含むものとする。
- (5) 塗装鉄筋は、長時間にわたって耐食性を確保するとともに、構造物の使用条件を満たすために表-2 の規定を満足するものでなければならない。

表-2 塗装鉄筋の品質

項目	品質
塗膜の外観	塗膜は均一で、われ、はがれ、きずがないこと
塗膜厚	塗膜厚さは 180±50μ を標準とする
ピンホール	鉄筋長さ 1m 当り 5 個以内であること
塗膜硬度	硬度 F の鉛筆で塗膜の表層を破損しないこと
耐打り性	耐打り性試験においてふくれやはがれを生じないこと
耐食性	腐食促進試験において錆が生じないこと
コンクリートとの付着性	塗装鉄筋の最大付着応力度が非塗装鉄筋の最大付着応力度の 80% 以上であること
耐衝撃性	試験によって塗膜にわれ、はがれが生じないこと
曲げ加工性	試験によって塗膜にわれ、はがれが生じないこと
塗膜硬化度	試験によって塗膜が粘着化しないこと

- (6) 塗装鉄筋は、立会い試験または公的機関による試験で品質が確認されたものでなければならない。

- (1) 塗装鉄筋は素地調整および塗装工程に専用の装置と熟達した技術を有する品質管理の行きとどいた工場
で生産されたものでなければならない。
- (2) 現在流通している異形棒鋼のなかには、きずや線状きずがみられるものがある。これは鋼素材やシ工程に
起因するものであり、塗装後塗膜にピンホールを生じ易いので、製造時には、これらの欠陥が棒鋼表面にないこ
とを確認しなければならない。
- (3) コンクリート中での塗膜の耐久性や塗膜のしゃ塩性能を確保し加工時の損傷のうけにくさを考慮して、こ
の基準(案)では塗装材料は当面エポキシ樹脂粉体塗料とする。ただし塗装鉄筋用に種々の粉体塗料が開発さ
れつつあるので、エポキシ樹脂以外の塗料を使用する場合は、品質や実用性を十分調査試験し採用するものと
する。
- (4) 塗装鉄筋の品質は、塗料だけでな素地調整度や塗装方法によっても大きく異なるもので、次のような条件を
満足するよう施工しなければならない。素地調整はブラスト処理により少なくとも SIS Sa 2¹/₂ とし、表面粗度は
40 μ i ~ 80 μ i (Rmax) 程度とする。また、素地調整を終えた棒鋼は、空気中の水分による錆のもどりを防ぐため、4
時間以内に塗装するのが望ましい。塗装は均一で欠陥のない所要の厚みの塗膜を効率よく得るため、棒鋼を予
熱して静電塗装するものとした。
- (5) 塗装鉄筋は、十分な耐食性を有するほか、耐衝撃性、曲げ加工性などの作業性およびコンクリートとの付着性も
十分なものでなければならない。これらの性能は、エポキシ樹脂粉体塗料の種類および膜厚によって異なるので、
塗装鉄筋を使用するにあたっては、下記の項目についてその品質を確認しなければならない。

1) 塗膜の外観

塗装の良否を判定するために行う。

2) 塗膜厚

各種塗装鉄筋の品質試験結果によれば、耐食性、すなわち塗膜のしゃへい性能は膜厚が厚いほど
優れ、一方、耐衝撃性や曲げ加工性、コンクリートとの付着性などの物理的性能は、膜厚が厚くなるほど劣っ
てくる。したがって、耐食性能および物理性能の両者を満足させるために、ある範囲内の膜厚とする
必要があり、塗膜厚について標準的な値を提示することにした。

3) ピンホール

異形棒鋼に塗装した場合には、ふしやリブ部分の塗膜が薄くなり、塗膜にピンホールが発生する場
合がある。素地まで塗膜を貫通するピンホールは、塗装鉄筋の耐食性を低下させるものであり、皆無
であることが望ましい。工場塗装の管理水準としては、鉄筋長さ 1m 当り多くとも 5 個以内とし、これ
をこえる数のピンホールが発生する場合は、棒鋼および塗装工程全体のみ直しを行うものとする。ピ
ンホールは塗装鉄筋に用いた塗料と同等以上の品質を有する塗料を用いて補修しなければならない。

4) 塗膜硬度

塗膜は塗装鉄筋の取扱い、運搬、コンクリート打込み作業などを考慮すると、ある程度の硬さが必要
であり、しかも曲げ加工が支障なく行える硬さでなければならないので、塗膜硬度を F より硬いこと
とした。

5)耐アルカリ性

合成樹脂系塗料の中には耐アルカリ性が劣り、塗膜がふくれたりはがれたりするものがある。実験結果によれば、品質の劣る塗装鉄筋が短時間でふくれたりはがれたりするのは、アルカリ性溶液中に部分浸漬された場合である。そこで耐アルカリ性試験を行って、品質を確認することにした。

6)耐食性

海上あるいは海岸線付近の波しぶきや潮風を受ける、いわば飛沫帯での利用を前提にした防食材料の腐食促進試験方法には、建設省土木研究所で提案している試験方法等がある。

7)コンクリートとの付着性

コンクリート構造に用いる鉄筋は、コンクリートとの付着性を確保しなければならない。実験によれば、塗装鉄筋の付着強度は、非塗装鉄筋に比べて低下することが知られているが、実験結果によれば、異形棒鋼に塗装した場合には塗装を行っていない鉄筋の80%以上の付着強度は得られることが明かとなったので、これを品質規格の下限值とし、塗装鉄筋を用いてコンクリートの設計を行なう場合には、そのことを配慮して行うこととした。付着性試験方法は「日本工業規格原案」となっている方法または日本コンクリート工学協会の「付着強度試験方法(案)」等によるものとする。

8)耐衝撃性

塗装鉄筋に用いられる塗膜は、一般に多少の衝撃では傷つきにくいものである。塗装鉄筋についての運搬時や取扱上の注意は定められているが、不測の大きな衝撃に対しても塗膜に傷がつかないように、耐衝撃性を試験項目に入れた。

9)曲げ加工性

鉄筋の曲げ内半径および曲げ形状は、道路橋示方書に規定されているので、塗装鉄筋といえどもこの規定に定められる最小曲げ内半径で加工ができるものでなければならない。塗装鉄筋は低温になるほど曲げ加工が困難となり、曲げ加工を低温においても可能とするには高価な材料を用いなければならない。したがって経済性を考慮して、低温時にも加工が可能な1種と、常温で加工することを前提とした2種の2種類を規定することにしたものである。試験によってわれやはがれが生じない曲げ加工下限温度をもとめなければならない。

10)塗膜硬化度

塗膜が十分に硬化しているか否かは、塗膜性能に大きく反映するので、これを簡単に調べる方法として、溶剤ラビングテストを採用した。硬化不十分なときには塗膜が軟化したり粘着性を帯びてくるので、指食評価によって判定する。

以上の品質試験方法は「塗装鉄筋の品質試験方法(案)」(省略)に準拠するものとする。

(6) 塗装鉄筋の品質は材料、製法によってかなり変化するが、外見からは見分けることが困難であるので、立会試験または公的機関による試験で品質の確認されたものを用いることとした。

3. 検査

塗装外観、塗膜厚、ピンホール、塗膜硬度、曲げ加工性、塗膜硬化度は、一製造単位ごとに検査を行ない、2. 規定に適合しなければならない。

塗装鉄筋の品質を確認するため、基本的には、この基準に定められた全項目の検査をすることが望ましいが、品質項目によっては試験に長時間を要したり、特殊な試験機器を用いなければならないものがあるため、検査項目を限定した。製造者は、一製造単位ごとに定められた試験方法に基づき検査を行ない、検査成績書を作成し、提出しなければならない。

4. 表示

塗装鉄筋は、種類を区別する表示および製造年月、製造者名を適当な方法で表示しなければならない。

塗装鉄筋は曲げ加工可能温度により1種と2種とに分けられるが、1種については青色系の塗料、2種については青色および錆色系以外の色の塗料を用いたものを使用するものとする。

また、製造年月日、製造者名は略号による表示によって鉄筋表面に表示するのが最も望ましい方法であるが、ミルシート等によって表示する場合は、塗膜の色や塗装する鉄筋の形状の特徴等をミルシートに表示し、製品に識別が容易に行えるように配慮しなければならない。製品説明書またはミルシートには曲げ加工可能な温度の範囲を明記する。

F. 塩害対策・材料等の選定・施工に関する参考資料

F 1: スーパー塩害対策

スーパー塩害対策として複数の対策の組み合わせを検討する際の参考として、表-1.1 または表-1.2 に示す各対策の目的や効果などを示す。

表-1.1 対策工法の例と目的、その効果、考慮すべき点の一覧

対策工法	目的	期待される効果	考慮すべき点
かぶりの増加	遮塩層の厚さの増加	発錆開始時期の遅延	拡散係数はW/Cに依存 施工の良否に強く依存 自重の増加
遮塩性に優れたコンクリートの採用	遮塩性能の向上(拡散係数の低下)	発錆開始時期の遅延	W/Cのばらつきに依存 施工(養生等)に依存
耐腐食性補強材料の採用	鋼材の保護、非腐食	発錆の抑止、発錆原因の除去	材料の信頼性、耐久性 施工に伴う損傷の可能性
遮塩塗装・防水工	外部遮塩層の付加	塩化物イオン浸透の予防・浸透量の抑制	施工の程度に依存 メンテナンスの要否・時期
周辺環境の整備	飛来塩分量の低減	外力の軽減	周囲の環境・生活への影響
その他(新工法・新材料)	-	-	信頼性と確実性 メンテナンスコスト・ランニングコストなど

表-1.2 主な塩害対策

目的	方法
コンクリートの遮塩性	低 W/C の採用
	かぶり増加
	コンクリート表面塗装
	混和材の使用
鋼材の遮塩性	塗装鉄筋
	塗装 PC 鋼材
	PE シース
鋼材の非腐食性	クラッド鋼鉄筋
	ステンレス鉄筋
	ステンレス PC 鋼材
	電気防食
	FRP 緊張材

F 2. 防食材料・防食技術

塩害対策には、遮塩性能ならびに耐腐食性に優れた材料を用いるのがよく、新たに開発された工法や材料を用いる場合は、あらかじめその性能を確認するとともに、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさない事を確かめておく必要がある。

(1) 高炉スラグ微粉末

高炉スラグ微粉末は、潜在水硬性を有するコンクリート混和材であり、高炉スラグ微粉末を用いることによって、コンクリートの塩化物浸透抵抗性および海水に対する耐久性が向上する。しかし、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、置換率が大きくなるほど、初期強度発現が遅くなり、中性化速度が早くなる恐れがあるため、高炉スラグ微粉末の粉末度やセメントに対する置換率の調整が必要となる。既往の研究成果から、鋼材保護性能および耐海水性を向上するために、表-2.1 に示す置換率の範囲が適切と考えられる¹⁾。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの特性は、普通コンクリートに比べて養生方法に強く左右されるため、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートでは、十分な湿潤養生が必要である²⁾。高炉スラグ微粉末などを用いる場合は、事前に施工条件を確認し、施工性を確認しておくのがよい。

表-2.1 高炉スラグ微粉末の置換率の範囲

高炉スラグ微粉末の種類	置換率の範囲
高炉スラグ微粉末 4000	45～55 %
高炉スラグ微粉末 6000	45～60 %
高炉スラグ微粉末 8000	45～70 %

(2) シリカフューム

シリカフュームは、高いポゾラン反応性を有する混和材であり、シリカフュームを用いたコンクリートは、緻密な硬化体組織の形成により、塩化物イオン、水分および酸素などの鋼材を腐食させる物質の浸透を抑制し、電気抵抗の増大により、腐食電流も流れにくくなる。しかし、シリカフュームを大量に使用すると、コンクリートの凍結融解抵抗性が低下し、コンクリートのアルカリ度が低下するため鋼材が腐食しやすくなる。よって、シリカフュームの置換率の決定にあたっては十分な配慮が必要である。鋼材の保護を目的とする場合、シリカフュームの置換率は5～10 %とする³⁾。また、シリカフュームを用いたコンクリートは、ブリーディング水が少ないので、打設後コンクリートの上面にプラスチックひび割れが発生しやすい。これを防ぐために、シリカフュームを用いたコンクリートでは、打設後、十分な湿潤養生が必要となる⁴⁾。

(3) フライアッシュ

フライアッシュは、シリカフュームと同様に、ポゾラン反応性があり、コンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性を向上させる。しかし、フライアッシュのポゾラン反応性は、原料となる石炭の種類や、燃焼温度お

よび収集方法に大きな影響を受けるため、コンクリートの品質が変動するので、注意が必要である。

(4) PC鋼材の防食

PC鋼材の耐腐食性能を向上させる方法として、鋼材の表面へのエポキシ樹脂の塗装や、ポリエチレンシースとエポキシ樹脂接着剤の被覆により、塩化物イオンから鋼材を保護する方法がある。これらの防錆処理されたPC鋼材の種類には、エポキシ樹脂被覆PC鋼線、エポキシ樹脂塗装PC鋼棒、プレグラウトPC鋼材およびエポキシ樹脂被覆PC鋼線などがある。

これらの材料の耐腐食性能は、樹脂塗料またはポリエチレンシースの品質、PC鋼材の素地調整、塗装厚あるいはピンボールの存在などによって大きく影響される。現在、これらの防錆処理されたPC鋼材の品質基準はないため、使用にあたっては、塩害対策指針(案)付属資料「塗装鉄筋の設計・施工・品質基準(案)・同解説」およびJSCE-E 102「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準」を参考にして試験を行うとともに、PC鋼材の引込みや、緊張などの作業によって、塗膜の割れやはく離を生じないことを、必要な試験により確認しなければならない。

(5) FRP

炭素繊維、アラミド繊維およびガラス繊維などの連続繊維補強材は、塩化物による錆を生じることがないため、プレストレストコンクリート構造物の塩害対策として有効と考えられる。しかし、連続繊維補強材はその材質や形状によって、各種の物理的特性、化学的特性が異なるため、構造物の設計にあたっては、土木学会基準 JSCE-E131「連続繊維補強材の品質規格(案)」に従って試験を行い、材料の特性値を調べておかなければならない。さらに施工計画やその実施にあたっては、伸線や組立て、パイプレータによる締め固めによって傷がつきやすいため、施工に十分留意しなければならない。

(6) コンクリート塗装

コンクリートの表面塗装は、鋼材腐食の原因となる水、酸素、塩分及び炭酸ガスの浸透を抑制することができる。しかし、コンクリートの表面塗装の保護効果は、塗装材とコンクリートとの付着性や、水、塩分など劣化因子に対する遮断性、ひび割れ追従性などについて実験等により把握しておく必要がある。

(7) 電気防食

電気防食工法は、コンクリートの表面に設置した陽極からコンクリートの内部の鋼材に防食電流を供給し、鋼材をすべて陰極とすることで、鋼材の腐食を停止させる防食方法である。電気防食の効果は使用する陽極の種類及び設置方法によって異なるため、電気防食に用いる材料の選定には、必要な試験の結果により判断する必要がある。

(8) 防錆剤

防錆剤は、コンクリート中の鋼材の腐食速度を遅らせる混和剤として用いられている。しかしながら、今

までの使用実績が比較的少ないため、防錆剤の採用は、必要な試験の結果より判断する必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針、pp.8～9、1996
- 2) 土木学会、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針、pp.1～64、1996
- 3) 土木学会、シリカフュームを用いたコンクリートの設計・施工指針（案）、pp.15～16、1995
- 4) 土木学会、シリカフュームを用いたコンクリートの設計・施工指針（案）、pp.1～36、1995

F 3. 塩害対策に関する施工上の工夫例

(1) やむを得ず季節風の強い時期に施工を行う場合は、施工計画の段階で図-3.1 に示すような風除け板や施工上屋などの防護設備の配置を検討し、波しぶきや潮風の影響をできるだけ小さくするように配慮する。

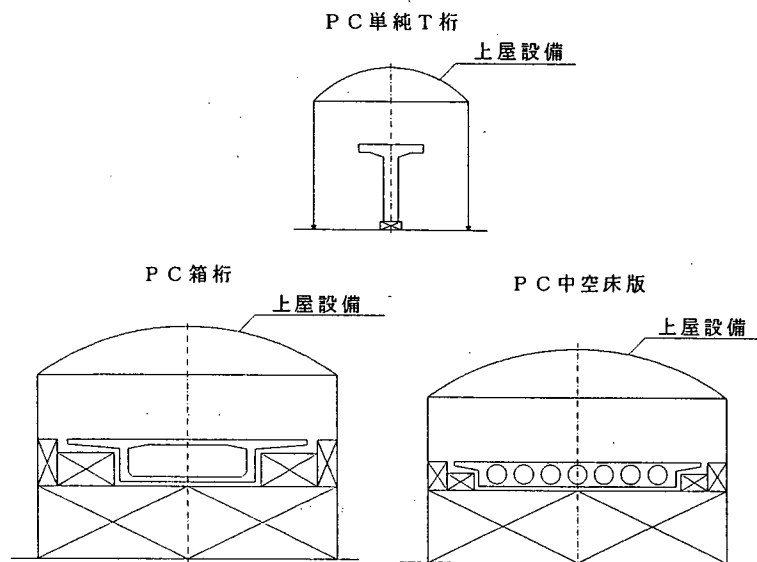


図-3.1 施工ヤードの上屋設備

(2) 季節風や台風により、塩化物イオンは広範囲に飛来する。したがって、鉄筋は、保管中に腐食が生じないように十分注意する必要がある。加工された鉄筋は、速やかに使用するのがよいが、やむを得ず、屋外に保管が必要な場合は、図-3.2 に示すような保管庫を設けて保管を行う。なお、鉄筋の組立て後、塩化物イオンが付着すると腐食が助長されるので、水洗いなどを行い、速やかにこれを除去しなければならない。

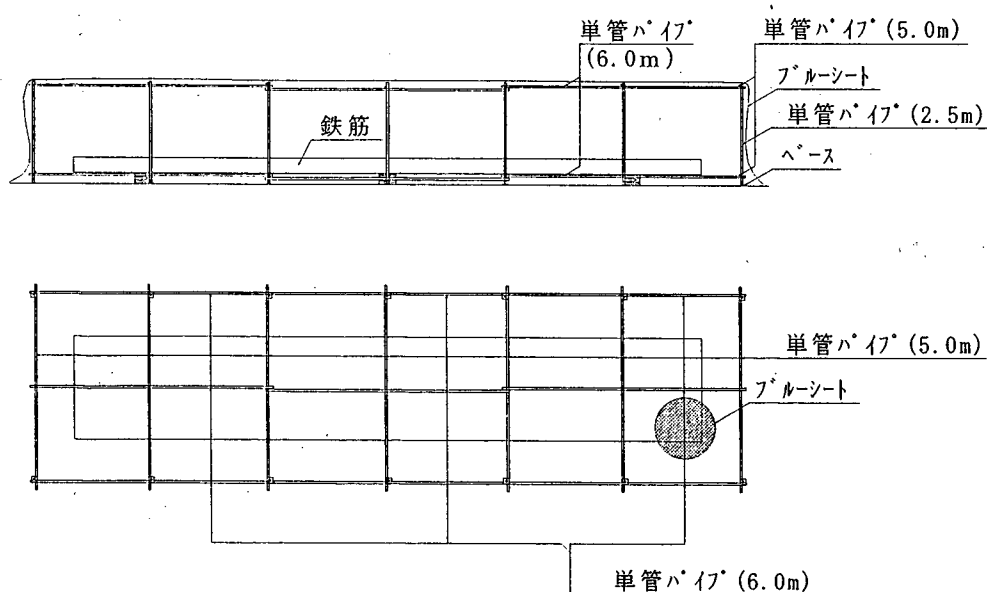


図-3.2 鋼材の保管

(3) コンクリートの充填性および密実性を高める方法として、型枠への検査窓の設置や透水性型枠の使用などが考えられる。型枠の検査窓の設置例を図-3.3 に示す。なお、鋼製型枠を使用する場合、透水性型枠の施工が困難なときがあるので、あらかじめ施工性を確認しておく必要がある。

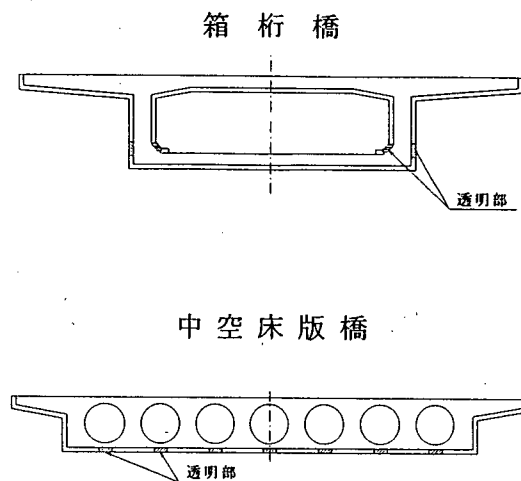


図-3.3 型枠の検査窓

(4) PC定着部鋼材の防せいは、PC鋼材の防せいと同様に非常に重要である。一般には、収縮の少ない膨張コンクリートあるいはセメント系無収縮モルタルなどを使用して後埋めされるが、さらに、図-3.4 に示すように、後埋め部もしくは桁端部に防水処理を施すことも有効であると考えられる。

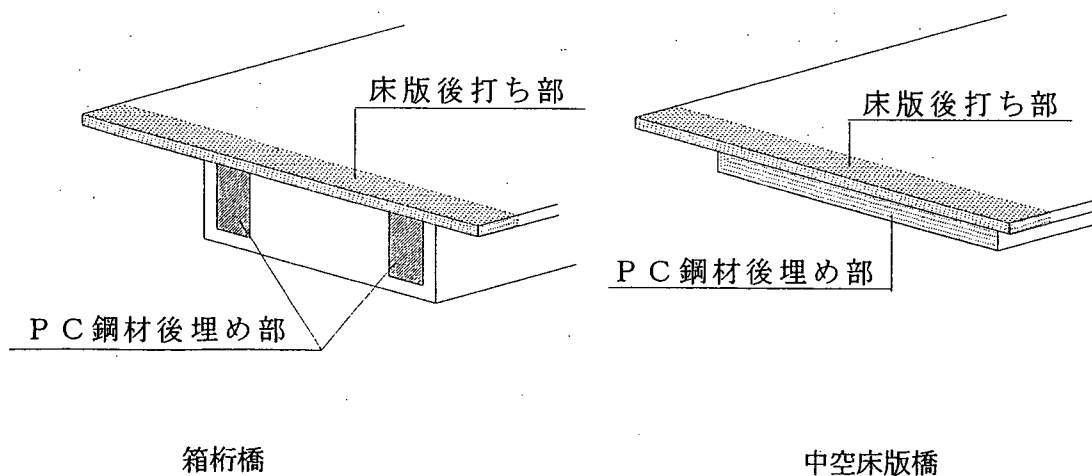


図-3.4 桁端部の防水処理

(5) 支承が設置される個所は、一般に風通しが悪く、また目地部からの漏水などにより腐食しやすい環境となっていることから、桁端部の構造を工夫し、点検のための設備を設置することによって橋梁の耐久性、維持管理性を向上させることも有効である。図-3.5 に耐久性を向上させた桁端部の構造および点検設備の例を示す。

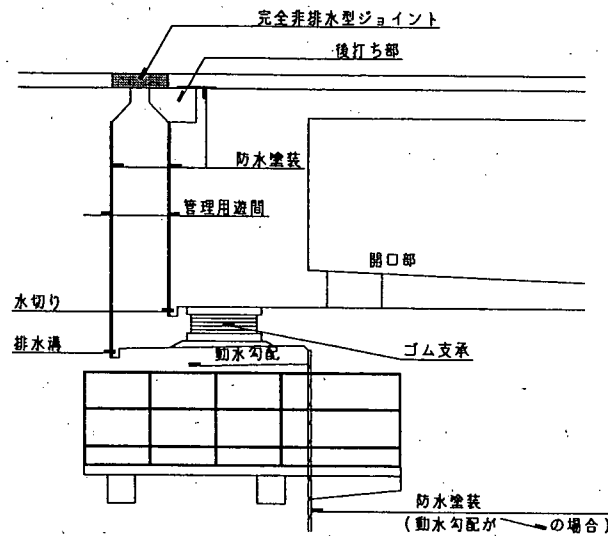


図-3.5 耐久性を向上させた桁端部の構造および点検設備の例

(6) 図-3.6 に床版端部の耐久性向上策の一例を示す。

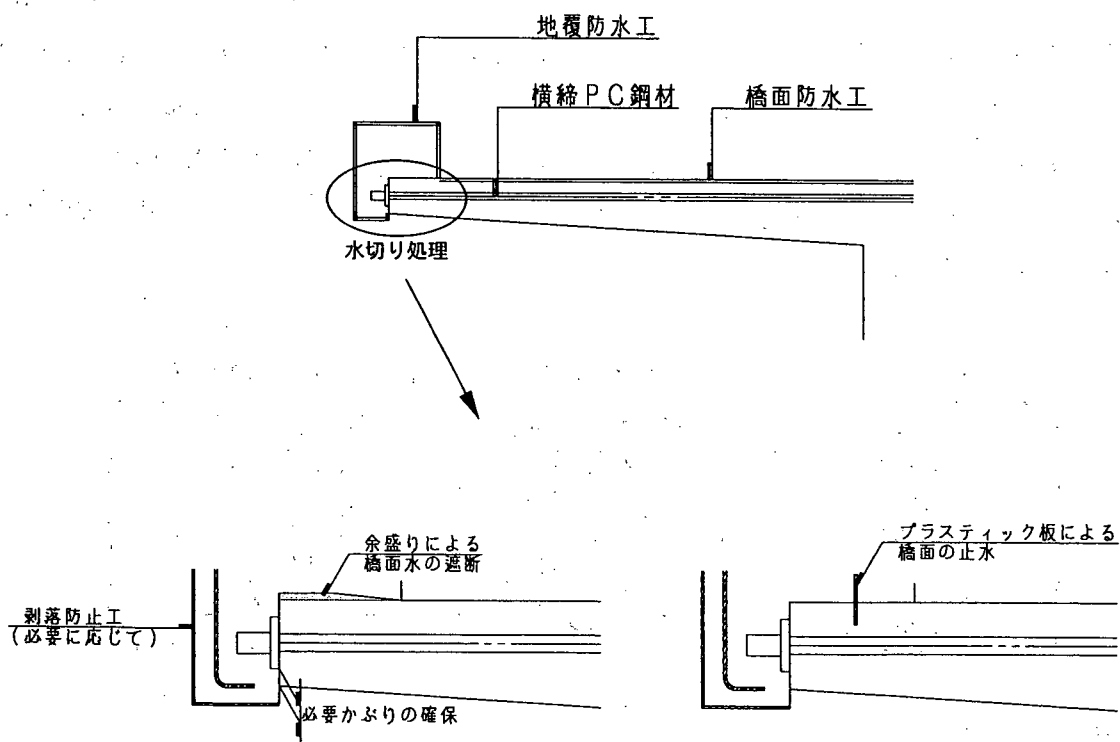


図-3.6 耐久性を向上させた床版端部の構造例

F.4. コンクリートの材料と施工

遮塩性能に優れたコンクリートやグラウト材、後埋め材の採用は塩化物イオンの浸透速度を遅くする効果がある。このようなコンクリートとするためには、一般的なコンクリートにおいても適切な材料の使用および適切な施工が必要である。コンクリートの材料・施工に関する一般的な事項は、道路橋示方書（コンクリート橋編）および土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕等に従うとよいが、ここでは、そのうち、特に塩害対策に特化しないまでも、コンクリートの耐久性の確保に重要と考えられる事項を示すこととした。

(1) コンクリートの材料

1) コンクリートに用いる化学混和剤は、JIS A 6204 のⅠ種に適合するものを使用する。

コンクリートに用いる化学混和剤は、JIS A 6204 に適合する AE 剤、減水剤、AE 減水剤および高性能 AE 減水剤などがある。これらの混和剤には、塩化物を含むものがあるため、JIS A 6204 では、塩化物イオン量により混和剤をⅠ種、Ⅱ種およびⅢ種で分類されている。Ⅰ種の混和剤は、塩化物イオン量が 0.02 kg/m^3 以下であり、それに含まれる塩化物イオン量はほとんど無視することができるため、本マニュアルでは、コンクリートに用いるⅠ種の化学混和剤を用いるものとした。

2) コンクリートに用いる水、骨材、混和材料は、塩分の有害量を含まない。

フレッシュコンクリートに含まれる塩分は、硬化後、コンクリートの表面から浸入する塩分とともに、塩害の原因となるので、コンクリートの使用材料に含まれる塩分はできるだけ少なくする方がよい。塩分規制の方法として、各々使用材料に含まれる塩分量で規制する方法と、コンクリート中の総塩分量で規制する方法がある。JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では各々使用材料に含まれる塩分量およびコンクリート中の塩化物含有量を、表-4.1 のごとく規制している。また、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量は 0.30 kg/m^3 以下でなければならない。

表-4.1 コンクリートの使用材料に含まれる塩化物含有量の規制値

材 料 名	塩化物の測定単位	塩化物の含有量
ポルトランドセメント	塩化物イオン	0.02 % 以下
練混ぜに用いる水	塩化物イオン	200 ppm 以下
骨材	NaCl	0.04 % 以下
混和剤	塩化物イオン	0.02 kg/m^3 以下（コンクリートとして）
高炉スラグ微粉末	塩化物イオン	0.02 % 以下
シリカフューム	塩化物イオン	0.10 % 以下

(2) コンクリートの配合

1) コンクリートの水セメント比は、設計で想定した塩分拡散係数が得られるコンクリートを使用する必要がある。ただし、プレストレストコンクリートの水セメント比は最大でも橋梁本体で 45 % 以下、その他の部材でも 50 % 以下とする。

コンクリート中に浸透する塩分と酸素の量を低下させ、鋼材の腐食を抑制するためには、かぶり厚さを増すだけでなく、コンクリートの水セメントを小さくし、品質を高めることが重要である。塩害地域における、コンクリート構造物は、凍結融解作用、海水に含まれる各種塩類による化学的作用などを受ける可能性がある。このような厳しい環境条件では、耐久性を保持するために、普通の地域にあるコンクリート構造物に比べて、比較的小さな水セメント比のコンクリートを用いるのがよい¹⁾。コンクリートの水セメント比は設計で想定した拡散係数が得られるよう配合することが重要である。特に、設計において耐久性上の要求から拡散係数を規定した場合、水セメント比が小さくなり、結果的にコンクリート強度が高くなる。このような場合には、経済性を加味して、水セメント比とともに、設計基準強度を定めるのがよい。

2) コンクリートの単位水量は、作業ができる範囲内で、できるだけ少なくなるよう、試験によってこれを定める。

ひび割れが少なく、塩分浸透抵抗性やその他の耐久性に優れたコンクリート構造物を造るには、運搬、打込み、締固め等の作業が可能な範囲内で、できるだけ単位水量を少なくするのがよい。コンクリートの単位水量は表-4.2 に示す上限値以下とするのがよい²⁾。

表-4.2 コンクリートの単位水量

粗骨材の最大寸法 (mm)	単位水量の上限値 (kg/m ³)
20~25	175
40	165

3) 単位セメント量は、単位水量と水セメント比から定める。ただし、最小単位セメント量は、表-4.3 の値を標準とする。

単位セメント量は、単位水量と水セメント比から定まるが、均質で密実なコンクリートを造るには、ある程度以上の単位セメント量が必要となる。塩害地域におけるコンクリート構造物は、塩化物の浸透により、コンクリート中の鋼材が腐食するおそれがあるため、最小単位セメント量を表-4.3 のとおりとするのがよい³⁾。

表-4.3 コンクリートの最小単位セメント量

部 材 の 種 類		最小単位セメント量 (kg/m ³)
橋梁本体	プレテンション式	350
	ポステンション式	300
橋面工（地覆・高欄など）		230

4) コンクリートのスランプは、部材の断面および鋼材の配置などの打設状況に応じて設定する。

スランプの小さなコンクリートは一般に作業性が劣るため、コンクリートの充填不良や締め固め不足を生じやすく、表面にジャンカが発生しやすい。逆に、スランプの大きなコンクリートは作業性が向上するものの、粗骨材がモルタルから分離する傾向が著しくなる。このため、コンクリートのスランプは作業性と打設

後の構造物の品質を勘案して適切に定めなければならない。

コンクリートのスランプを大きくするため単位水量を増すと、ブリーディングが大きくなり、乾燥収縮が大きくなるおそれがある。これに対して、高性能 AE 減水剤を用いた場合、スランプ 8 cm のコンクリートと同じ単位水量で、より高いスランプのコンクリートを製造することができる。高性能 AE 減水剤を使用してコンクリートのスランプを増した場合には、コンクリートの品質が損なわれることはほとんどないが、スランプが 18cm を超えると、粗骨材がモルタルから分離する傾向が強くなる。よって、高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートのスランプの上限値は 18cm とするのがよい³⁴⁾。ただし、これは土木学会の「高流動コンクリート施工指針」を満足し、かつ、コンクリートの単位水量が 175kg/m^3 以下の高流動コンクリートの適用を除外するものではない。

(3) コンクリートの施工計画

1) コンクリート構造物においては、施工の良否が構造物の性能に大きな影響を与えると考えられる。施工においては、施工計画に従って施工を行い、その結果を記録する。

施工においては、適切に工程等を管理する。また、各施工段階で、材料の受入れ検査、施工の検査、最終的な構造物の検査を行い、工程などとともに工事記録をまとめる。適切かつ効率的な品質管理を行うために、施工計画に基づいて検査計画を検討する。表 4.4 には、これまでに一般的に広く用いられてきた施工方法と、その施工を行う際に最低限守るべき管理値を示しているので、施工計画の参考にするといよい。

表 4.4 設計で想定するコンクリートの施工方法の標準

作 業 名	項 目		標 準		備 考
現場内での運搬	運搬方法		コンクリートポンプ		
打込み方法	吐出口から打込み面までの高さ		1.5 m		スラブ、はりを除く
	打込みの1層の高さ		40～50 cm		
締固め方法	締固め方法		内部振動機		
	挿入間隔		50 cm		
	挿入深さ		下層に10 cm程度		
	一ヶ所当たりの振動時間		5～15秒		
養生方法	養生方法		湿潤養生		湿布、散水、型枠存置
	養生時間	普通ポルトランドセメント	15℃以上	5日	
			10℃以上	7日	
			5℃以上	9日	
		早強ポルトランドセメント	15℃以上	3日	
			10℃以上	4日	
			5℃以上	5日	
		混合セメントB種	15℃以上	7日	
			10℃以上	9日	
			5℃以上	12日	

2) 塩害対策橋の施工は、コンクリート橋の施工や塩害に関する十分な知識を有する技術者が行うことを原則とする。

施工計画の立案から工程管理に至るまでの一連の施工作業は、コンクリート橋の施工およびコンクリートの塩害に関する十分な知識を有する技術者により行われるのが望ましい。また、施工に対する信頼性をより

高めるためには、これらの知識を有する技術者を第三者監視員として配置することが有効である。コンクリート橋の施工に関する十分な知識を有する技術者とは、技術士（コンクリートを専門とするもの）、コンクリート主任技士、コンクリート技士、あるいはこれらと同等以上の技術力を有する者をいう。

3) 施工条件等の変更により、所定の品質および性能が確保されないことが予想される場合には、施工前、施工中に関わらず、施工計画等を見直さなければならない。

施工計画の変更は、諸条件の変更が最小限となるように行われることが望ましい。一般には、施工計画で設定するコンクリートの配合設計と施工方法の変更で対応できる場合が多い。しかし、それらの変更で対応できない場合は、再度設計に戻り、構造物の性能の照査を行わなければならない。

(4) コンクリートの施工

1) コンクリートは、速やかに運搬し、ただちに打ち込み、十分に締め固めなければならない。

コンクリートの運搬、打込み、締め固め中に、塩化物イオンが侵入しないように配慮しなければならない。対策の一つとして、プレキャスト部材の使用が考えられる。プレキャスト部材を一般の環境下で製造することにより、コンクリート硬化前に塩化物イオンが侵入することを阻止できる。ただし、プレキャスト部材の運搬、保管、架設においては、塩化物イオンが侵入しないように配慮しなければならない。一方、コンクリートを密実に締め固めると言う観点から、1回のコンクリート打設量を制限することも考えられる。1台の内部振動機で締め固められるコンクリート容積は、現場の状況によっても相違するが、一般には小型のもので4～8m³/h、二人で扱う大型のもので30m³/h程度であるので参考にするといよい。また、一回のコンクリート打設量が比較的少ない場合は、コンクリートの材料分離を少なくし、密実なコンクリートを製造することができるバケットによるコンクリート打設を検討してもよい。

2) コンクリート打設後は、適切に養生しなければならない。養生水に、海水を用いてはならない。

コンクリートに所要の耐久性を発揮させるためには、一般環境下の構造物よりも注意深く養生を行い、均質で緻密なコンクリートを施工しなければならない。コンクリートの品質を高めるためには、表-4.4に示した標準的な養生期間よりもできるだけ長く湿潤状態を保つことが望ましく、腐食環境への暴露は十分な養生を行った後に行うのが好ましい。また、施工中においても、できる限り塩化物イオンを侵入させないことが重要であるので、養生水には海水を用いてはならない。

PC橋では、一般に富配合のコンクリートが使用される。塩害対策として、さらに小さい水セメント比が選定されている場合などは、温度ひび割れの発生が懸念される。養生計画においては、温度ひび割れが発生しないように留意しなければならない。必要に応じて、温度応力を低減させるためのプレクーリングや低発熱形のセメントの使用等を検討するとよい。

3) コンクリートの打継目は、できるだけ少なくし、特に鉛直打継目は極力避けるものとする。打継目には防水処理を行うことを原則とする。

コンクリート打継目は、塩化物イオンや水が浸入しやすく、防食上の弱点となりやすい。したがって、打継目ができるだけ少なくなるようコンクリートの打設計画を立案しなければならない。しかし、張出し施工による連続桁の鉛直打継目やポストテンション工の床版間詰め部等、施工上もしくは構造上打継目を避けることができない場合もある。このような場合、旧コンクリートの打継面は、ワイヤブラシで表面を削るか、チッピング等によりこれを粗にして十分吸水させ、セメントペースト、モルタルあるいは湿潤面用エポキシ樹脂などを塗布した後コンクリートを打設するなど、入念な施工を行なわなければならない。また、打継目には、防水処理を行う必要がある。

(5) 鉄筋工

1) 鉄筋は、設計で定められた正しい寸法および形状をもつように、材質を害さない方法で加工し、これを所定の位置に正確に組み立てなければならない。

塩害対策を行なう橋梁では、所要のかぶりを確保するためにも、できるだけ精度よく鉄筋加工を行なう必要がある。そのためには、専門の工場で精度よく鉄筋加工を行うことも考えられる。また、組立て前に寸法検査を実施し、定められた加工精度で加工されていないものは、これを使用してはならない。組立てにおいては、結束線がかぶりに残らないよう、結束線の内側折り曲げを徹底しなければならない。必要に応じて、防せい処理された結束筋を使用することも有効である。また、組立て筋等の固定材を有効に利用して、コンクリート打設時に鉄筋が移動しないように留意する必要がある。ただし、組立て筋等の鋼材に対しても、設計で規定したかぶりを確保しなければならない。

2) 組立て後、鉄筋に塩化物イオンが付着している恐れがある場合や既に浮きさびが生じている場合は、速やかにそれらを取り除かなければならない。

3) 設計で規定したかぶりを確保するためには、スペーサを適切に配置するのが最も確実な方法である。スペーサの設置個数は、壁高欄等では2個/m²以上、主桁・横桁では4個/m²以上を標準とする。スペーサは、PC鋼材の棚筋位置や床版の幅止め筋位置に配置することが推奨されるが、対象構造物の構造形式やスペーサの強度等に応じて、配置個数や配置位置を検討しなければならない。

(6) PCI

1) 耐防食性を有するシースや保護管を用いる場合は、その特性に応じた適切な方法で加工や組立て等を行わなければならない。

耐防食性を有するシースには、取扱い中あるいはコンクリート打設中の衝撃や振動機との接触によって、容易に変形したり、つぶれたりしないものを使用しなければならない。また、シースの合せ目や継目から、セメントペーストがシース内に漏れたり、塩化物イオンが侵入しない構造や材質を有していなければならない。

外ケーブル構造に用いられる保護管は、緊張材の保護および防せい材の充てん用ダクトとして、十分な役割を果たし、所要の強度、耐久性があり、有効な防食対策が施されたものでなければならない。

2) PC鋼材定着部の後埋めは、定着体を腐食させないために、適切な材料を用いて行うものとする。

後埋め部は、本体部分との密着性が低く、一般には一体化しにくいと考えられる。そのため、本体コンクリートの表面をできるだけ粗にし、水洗いを十分に行なった後に、収縮の少ない膨張コンクリートあるいはセメント系無収縮モルタルなどを使用して入念に施工するものとする。なお、PC定着部鋼材が一時的に大気にさらされる場合についても、シートで覆うなどの配慮を行わなければならない。

(7) 型枠工

型枠は、定められた荷重に対して必要な強度と剛性を有し、コンクリート構造物の設計図に示された形状寸法に従い、ずれの起きないように設計、施工しなければならない。

モルタルもれによる型枠目地部の豆板等は、コンクリートの密実性を大きく損なうので、型枠の目違い、すき間等が生じないようにこれを組立て、コンクリート打設前に十分な検査を行うものとする。目地部のシーリングなど、モルタル漏れ防止対策を実施するとよい。

参考文献

- 1) 土木学会、コンクリート標準示方書施工編、平成8年版、pp.230～231、1996
- 2) 土木学会、コンクリート標準示方書施工編、平成8年版、pp.16～18、1996
- 3) 日本道路協会、道路橋示方書・同解説、コンクリート橋編、pp.305～311、1996
- 4) 土木学会、高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工指針（案）、pp.12～17、1993

F 5. グラウト

平成 8 年に制定されたコンクリート標準示方書[施工編]では、PCグラウトにはノンブリーディングタイプのグラウトを使用するのが望ましいという方針が示された。これに伴い、現在では、ノンブリーディングタイプのグラウトに関する施工マニュアル¹⁾が整備されている。PCグラウトを行う際には、これらのマニュアル類を参考にするとよい。このタイプのグラウトを使用することにより、次のような効果が期待できる。

①ブリーディングの発生がないためグラウト硬化後、ダクト内に空隙が残留しない。

②粘性タイプの使用により鉛直方向に高さ変化のあるPC鋼材に対しても、シースの曲げ下がり部分での充填率が改善される。

(1) グラウトの材料

1) グラウトはPC鋼材の防錆、ならびにコンクリート躯体とPC鋼材の付着を目的に行うものである。グラウトにブリーディングを生じるとこれらの性能が低下するため、グラウトはブリーディングを生じないノンブリーディング型グラウトでなければならない。

2) グラウトはPC鋼材の種類、シースの配置形状および気温、施工条件に応じて、流動性、膨張性、圧縮強度などが所定の品質を確保できるよう、適切な使用材料及び配合を選定しなければならない。

3) グラウトはPC鋼材と直接的に接触しているため、グラウトに含まれている塩化物はPC構造物の耐久性に大きな影響を与える。したがって、グラウトに含まれている塩化物イオン量は可能な限り少なくするのがよく、最大でも 0.3kg/m^3 を超えてはいけない。

(2) グラウトの施工

1) PCグラウトは、シース内を完全に充てんして緊張材を包み、腐食させないように保護するとともに、部材コンクリートと緊張材とを付着により一体とするものでなければならない。

PCグラウトは、注入作業が終わるまで良好な流動性と充てん性を保ち、できるだけ小さいブリーディング率および適量の膨張率を持つことが要求される。また、硬化したPCグラウトには、緊張材、シース等との間に十分な付着強度を有するとともに、水密性に富み、緊張材の腐食を防止すること等が要求される。グラウト用混和剤には、品質の確保や現場での施工性を検討のうえ、セメントの種類、配合、使用条件、温度などにより適切な混和剤を選定しなければならない。特に、高機能混和剤については、それぞれの材料的特徴のために取り扱い上の注意を要する場合があるので、現場での作業では混和剤の特徴を十分に理解したうえで使用することが必要である。グラウトの練り混ぜ水として上水道水以外の水を使用する場合には、JIS A 5308-1996 付属書 9「レディーミクストコンクリートの練り混ぜに用いる水」の規格に満足することを確かめておかねばならない。

最近では、P C橋の耐久性向上および施工の省力化を目的として、グラウトの代わりにエポキシ樹脂系の材料を予めシース内に充てんしておき、これをプレストレス導入後に硬化させて後付着させるプレグラウトP C鋼材を用いる例が増えてきている。しかし、硬化が温度に依存する樹脂を充てん材として使用する場合は、コンクリートの硬化発熱等に十分留意しなければならない。

2) P C鋼材組立て時は、グラウトホースが確実についていることを確認するとともに、鋼材番号をつけて管理しなければならない。

グラウトホースは、コンクリート打設中にはずれたりしないように、結束線やガス管用の接続具、接着剤などで堅固に定着部やシースに取り付ける必要がある。また、半透明の糸巻きビニールホース（テトロンプレードホース）を使用し、施工上問題ない範囲内でできる限り太径のものを使用することが望ましい。

グラウト作業の確実性を高めるためには、グラウトホースのナンバリングを徹底するとともに、注入口および排出口に使用するホースの色を変えるなどして明確にそれを識別できるように工夫する必要がある。また、グラウト忘れがないように、グラウトを充てんしたグラウトホースには、それが分かるようにマーキングすることも大切である。

3) コンクリート打設前には、シースに損傷がないか、また接続箇所のゆるみがないか点検しなければならない。また、コンクリート打設時にはシースに損傷を与えてはならない。

シースに穴あきが発見された場合、ビニールテープなどを用いて速やかに補修しなければならない。また、シースの接続部も、必ずビニールテープなどを巻くようにして、セメントペーストが流入しないようにしておかなければならない。コンクリート打設時は、コンクリートの側圧やバイブレータの振動によりシースに損傷を与える可能性があるため、特に注意する必要がある。

4) グラウトは、注入作業中に必要な流動性を保持していなければならない。また、グラウト作業中は、常にP Cグラウト流量計による流量管理および注入圧力管理を行い、注入状況を把握していなければならない。

流量の管理は、グラウト注入作業が完全に行われたことを確認するために、注入データ（注入量など）が記録できる機能を備えたP Cグラウト流量計を使用することを原則とし、設計グラウト量と実測グラウト量を比較し、確実に注入されていることを確認する。

注入圧力管理は、施工中のトラブル発生を防ぐために予めそれらの能力、耐圧力から注入最大圧力を設定し、グラウト注入時の圧力が設定した注入最大圧力を超過しないように管理する。

5) 現場においては、グラウト作業管理者を選任することを義務づけ、グラウト作業管理者は必ず作業に立ち会い、管理・監督を行わなければならない。また、グラウト作業員に対して、必要な教育および打合せを行わなければならない。

グラウト作業時には、グラウト作業管理者を選任し、グラウト作業の管理・監督を行わなければならない。グラウト作業管理者はP Cグラウトに精通していることが必要であり、原則としてプレストレストコンクリ

ート技士・PCグラウト研修会修了者等の資格を保持している者から選任するものとする。

グラウト作業に先立っては、グラウト作業員に対してグラウトの意義、重要性、配合方法、機器の取扱い、注入排出方法、安全管理など、グラウト作業に必要な教育を行わなければならない。実際の作業においては、作業日ごとに当日の作業内容（予定鋼材、予定グラウト量、管理体制など）を記録しなければならない。また、PCグラウト流量計による流量管理結果および注入圧力管理結果を記録するとともに、必要に応じて、非破壊検査により充填状況の確認を行い、その結果も記録しなければならない。

参考文献

- 1) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会:PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材, 施工マニュアル(改訂版), 1999

前回報告書の正誤表

報告書名：

共同研究報告書第258号，2000.12

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（Ⅱ）

—コンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討—

訂正内容：

表-1 に示すとおり，地域区分5～7の試算に用いた C_1 の値は，当初，平均 $+0.5\sigma$ （または 1.0σ ）を採用する予定でしたが，これと違った値を用いていました。これに伴い，表-2のとおり，本文を訂正していただけるようお願いします。

表-1 C_1 の正誤表

地域区分	誤		正		備 考
	0.5σ ※	1.0σ ※	0.5σ	1.0σ	
1～4	—	—	—	—	C_1 は平均値としたため訂正なし。
5	0.33 (1.2σ)	—	0.15 (0.5σ)	—	表-7.3において，地域区分Cにおける C_1 は地域区分4によって いるので，同表への影響はない。
6	0.19 (2.9σ)	—	0.03 (0.5σ)	—	同上
7	0.62 (0.56σ)	1.0 (0.83σ)	0.56 (0.5σ)	1.35 (1.0σ)	表-7.3において，地域区分Aにおける C_1 の値の根拠を 0.5σ (1.0σ) としていたが，これらは 0.56σ (0.83σ)に相当していた。

※ 0.5σ ， 1.0σ は当初の設定値。実際は太字の値に相当していた。 σ は $\log C_1$ の標準偏差

表-2 本文の正誤表

頁／行	誤	正
P.18/L.10-12	③・・・，ここでは平均値に $\sigma/2$ を加えたものとした。	③・・・，ここでは平均値にばらつきを加えたものとした。 <u>(その他太平洋1.2σ，沖縄0.56σ，瀬戸内海2.9σに相当)</u>
P.20/L.2-3	参考として，Cairに関して，太平洋，瀬戸内海の場合に平均値 $+\sigma/2$ ，沖縄の場合に平均値 $+1\sigma$ ，それ以外の地域は平均値とした場合の計算結果を図-6.3に示す。沖縄を平均値 $+1\sigma$ とした場合の・・・	参考として，Cairに関して， <u>太平洋で平均値$+1.2\sigma$，瀬戸内海で平均値$+2.9\sigma$，沖縄で平均値$+0.83\sigma$，それ以外の地域は平均値とした場合の計算結果を図-6.3に示す。沖縄を平均値$+0.83\sigma$とした場合の・・・</u>
P.26/L.8-9	・・・，ここでは平均値に $\sigma/2$ を加えた値とした。(地域区分A(沖縄)について，台風の頻度が高いことを考慮して平均値に 1σ を加えた値・・・	・・・，ここでは平均値に <u>0.56σ</u> を加えた値とした。 (地域区分A(沖縄)について，台風の頻度が高いことを考慮して平均値に <u>0.83σ</u> を加えた値・・・
P.29/L.25-26	ここでの試算では， $m+\sigma/2$ とした。ちなみに，地域区分7で $m+\sigma$ とした場合は，・・・	ここでの試算では， $m+\underline{0.56\sigma}$ とした。ちなみに，地域区分7で $m+\underline{0.83\sigma}$ とした場合は，・・・
P.29/L.30-31	このことから，沖縄の場合， $m+\sigma/2$ から $m+\sigma$ の範囲が概ね妥当であると考えているので，ここでは， $m+\sigma/2$ を特性値とした。なお，表-7.3では，地域区分Aの C_1 として $m+\sigma$ とした場合に・・・	このことから，沖縄の場合， $m+\underline{0.56\sigma}$ から $m+\underline{0.83\sigma}$ の範囲が概ね妥当であると考えているので，ここでは， $m+\underline{0.56\sigma}$ を特性値とした。なお，表-7.3では，地域区分Aの C_1 として $m+\underline{0.83\sigma}$ とした場合に・・・