

設 計 要 領
第 二 集
橋梁保全編

平成21年7月

中日本高速道路株式会社

設 計 要 領

第 二 集

橋梁保全編

1章 総 則

2章 鋼構造物

3章 コンクリート構造物

4章 床 版

5章 支承および付属物

6章 耐震設計

3 章 コンクリート構造物

1. 基本方針	3- 1
2. 補修・補強工法の選定	3- 3
3. 前処理	3- 9
3-1 適 用	3- 9
3-2 変状部の調査	3-10
3-3 表面処理	3-11
3-4 はつり処理	3-12
3-4-1 はつり処理	3-12
3-4-2 はつり処理時の設計	3-14
3-4-3 鉄筋防錆	3-16
4. コンクリート構造物の補修	3-17
4-1 表面被覆	3-17
4-1-1 概要	3-17
4-1-2 適用	3-17
4-1-3 要求性能	3-18
4-1-4 使用材料	3-20
4-1-5 設計・計画一般	3-21
4-2 ひび割れ補修	3-22
4-2-1 概要	3-22
4-2-2 適用	3-22
4-2-3 要求性能	3-22
4-2-4 使用材料	3-23
4-2-5 設計・計画一般	3-26
4-3 断面修復	3-27
4-3-1 概要	3-27
4-3-2 適用	3-28
4-3-3 要求性能	3-28
4-3-4 使用材料	3-29
4-3-5 設計・計画一般	3-30
4-4 電気防食工法	3-32
4-4-1 概要	3-32
4-4-2 適用	3-32
4-4-3 電気防食工法の種類	3-33
4-4-4 留意事項	3-35

4-5 はく落防止対策	3-36
4-5-1 概要	3-36
4-5-2 適用	3-37
4-5-3 目視点検	3-40
4-5-4 事前処理	3-41
4-5-5 要求性能	3-42
4-5-6 設計・計画一般	3-43
4-6 塩害対策	3-44
4-6-1 概要	3-44
4-6-2 適用	3-44
4-6-3 塩害対策の流れ	3-45
4-6-4 調査	3-45
4-6-5 対策工の選定	3-47
4-6-6 材料	3-51
4-6-7 施工	3-51
5. コンクリート構造物の補強	3-52
5-1 鉄筋補強上面増厚工法	3-52
5-1-1 工法の概要	3-52
5-1-2 適用	3-52
5-1-3 使用材料	3-53
5-1-4 設計・計画一般	3-54
5-1-5 構造細目	3-56
5-2 鋼板接着工法	3-57
5-2-1 工法の概要	3-57
5-2-2 適用	3-57
5-2-3 使用材料	3-58
5-2-4 設計・計画一般	3-58
5-2-5 構造細目	3-60
5-3 プレストレス導入工法	3-61
5-3-1 一般	3-61
5-3-2 使用材料	3-63
5-3-3 設計一般	3-65
5-3-4 設計手順	3-67
5-3-5 外ケーブルのプレストレス力の算定	3-68
5-3-6 断面力の算出	3-69
5-3-7 設計荷重時の照査	3-70
5-3-8 終局荷重時の照査	3-70
5-3-9 定着部の設計	3-72
5-3-10 偏向部の設計	3-79

5-3-11 構造細目	3-81
5-4 連続繊維シート接着工法	3-82
5-4-1 工法の概要	3-82
5-4-2 適用	3-83
5-4-3 使用材料	3-84
5-4-4 設計・計画一般	3-84
5-4-5 構造細目	3-85
6. コンクリート橋の連結	3-86
6-1 計画一般	3-86
6-2 主桁連結工法	3-89
6-2-1 工法の概要	3-89
6-2-2 設計一般	3-90
6-2-3 構造細目	3-93
6-3 中央ヒンジ部連結工法	3-94
6-3-1 工法の概要	3-94
6-3-2 設計一般	3-95
6-3-3 構造細目	3-97
7. 耐震対策で行う隣接橋梁との連結	3-98
7-1 主桁同士の連結	3-98
7-2 上部構造の違う橋梁の連結	3-98

4-6 塩害対策

4-6-1 概要

塩害対策は、塩害で劣化したコンクリート構造物に対し、塩化物イオン除去、断面修復、表面被覆などを施しコンクリート構造物の劣化を補修する目的で行う。

塩害とは、コンクリート中に侵入した塩化物イオンが鉄筋に作用して不動態被膜を破壊し、酸素と水の供給によって腐食した鉄筋の膨張圧によりひび割れが発生することをいう。塩害による鉄筋の腐食メカニズムを図3-4-16に示す。

塩化物イオンの侵入原因は、コンクリート製造時における海砂の使用や練混ぜ水・混和剤（材）等に含まれる内部塩分と、コンクリート硬化後の海水、海水のしぶき、飛来塩分、凍結防止剤の散布等による外部塩分がある。従来、塩害の劣化要因となる塩化物イオンのコンクリート構造物への侵入は、建設時における除塩不足の海砂の使用や混和剤（材）に含まれる塩化物、または海岸近くに位置する場合の飛来塩分などが主な供給源と考えられていた。近年では、これに加え凍結防止剤の散布に伴う桁端部や床版上面の塩害が顕在化してきている。

一般に、塩害による鉄筋の腐食膨張圧は、中性化の場合より小さいといわれている。このため、塩害によってひび割れやかぶりのはく離が変状として現れるが、変状を確認した時点では鉄筋の腐食はかなり進行している場合が多い。すなわち、変状が顕在化していない箇所でも鉄筋の腐食が発生している可能性がある。一方、塩害に対する補修は、変状部のみに対して行われることが多く、有害な塩化物イオンの除去が不足していたことなどにより、補修後の再劣化が生じている事例もある。このため、塩害対策は、発生した変状に対して単に4-1から4-4に示した補修などを適用するだけでは不十分である。塩害対策では、塩害が生じた要因（塩化物イオンの供給源）の特定、補修後の塩化物イオンの供給予測および対策後のコンクリート内部の塩化物イオンの拡散予測などを検討することが必要となる。

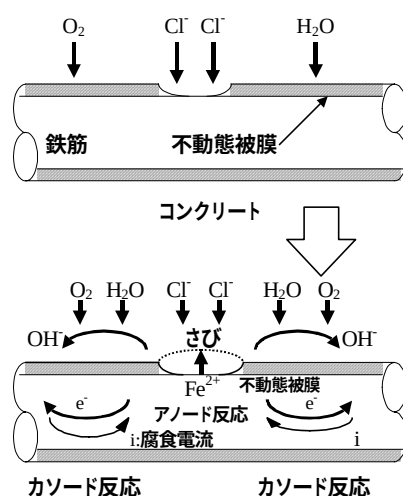


図3-4-16 塩害による鉄筋の腐食メカニズム

4-6-2 適用

塩害が原因で劣化したコンクリート構造物の補修に適用する。

本項では、内部塩分あるいは外部塩分によって劣化したコンクリート構造物の塩害対策において必要となる標準的な調査方法、劣化予測および対策工法を示した。

4-6-3 塩害対策の流れ

塩害対策は、凍結防止剤や飛来塩分などからの塩化物イオンによるコンクリート構造物の劣化に対し適用する。塩害対策の流れを図 3-4-17 に示す。

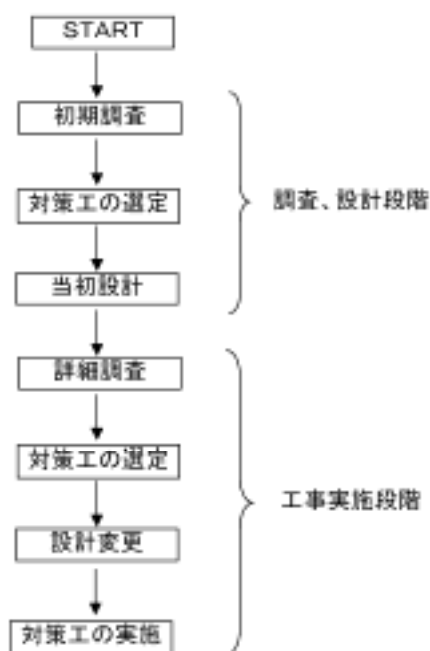


図 3-4-17 塩害対策の流れ

塩害対策の流れは、工事発注前の調査、設計段階と、工事実施段階のふたつに大きく分かれる。コンクリート構造物の点検および診断等で塩害対策または調査が必要と判定され場合、点検結果のみでは劣化要因に関するデータが不足するため、一般に調査が必要となるが、調査のためだけに足場を設置することは、不経済である。そこで、調査、設計段階では、足場が不要な箇所、あるいは簡易足場、高所作業車等で調査可能な範囲で初期調査を行うこととし、工事実施段階では、工事中足場を用いた詳細調査を行い、初期調査に基づく当初設計の妥当性を検証し、対策工法の選定、対策範囲等を見直すものとした。

4-6-4 調査

調査は、当初設計のための初期調査と工事段階の詳細調査に分け実施する。

(1) 初期調査

初期調査は、工事の発注に向け対策工法、対策範囲を決定するために行うもので地上部からあるいは、簡易足場や高所作業車等を用いて調査が可能な範囲を調査する。調査項目および調査内容は、(3)によるものとする。

(2) 詳細調査

詳細調査は、工事発注後、当初設計の妥当性を検証するために行うもので、工事中足場等を利用し対象となる構造物を詳細に調査する。調査項目および調査内容は、(3)によるものとする。

(3) 調査項目および内容

調査の項目、内容は、表 3-4-6 を標準とする。

表 3-4-6 調査項目および調査内容

調査項目	調査目的	調査内容
外観、変状範囲調査	補修範囲の決定	漏水範囲の目視観察，変状(ひび割れ、浮き)範囲の打音点検での把握
塩分浸透量調査	対策工法の判定	ドリル法 ¹⁾ (変状部：鉄筋背面深さ方向 4 試料)
鉄筋かぶり・鉄筋腐食状況調査	補修範囲，深さ（鉄筋腐食範囲）の決定	1m間隔メッシュ程度 自然電位測定 ²⁾ ：-200mv より卑な範囲（-300～-500 に向かう）を把握する。
はつり調査	鉄筋付近の塩分量の把握	鉄筋腐食度観察，鉄筋位置の塩分量

(3)について

調査項目等は表 3-4-6 を標準とするが，調査目的を十分理解したうえで現場条件により適宜行うものとする。

1) ドリル法とは，以下の流れで行うものをいう。

①鉄筋位置の調査

試料採取に先立ち，鉄筋探査機を使用し鉄筋位置の確認を行う。

②試料採取の方法

試料採取は，鉄筋位置を避けて削孔する 3 点をマーキングし，ハンマードリルによりコンクリート表面から 2cm ピッチで試料を得る。1 試料は，深さ毎に 3 点削孔し合わせたものとする。このドリルによる試料採取は，コンクリート構造物から採取した試料を直接塩分の分析に用いるもので，コア採取とその切断・粉碎作業を簡略化したものである。（図 3-4-18 参照）

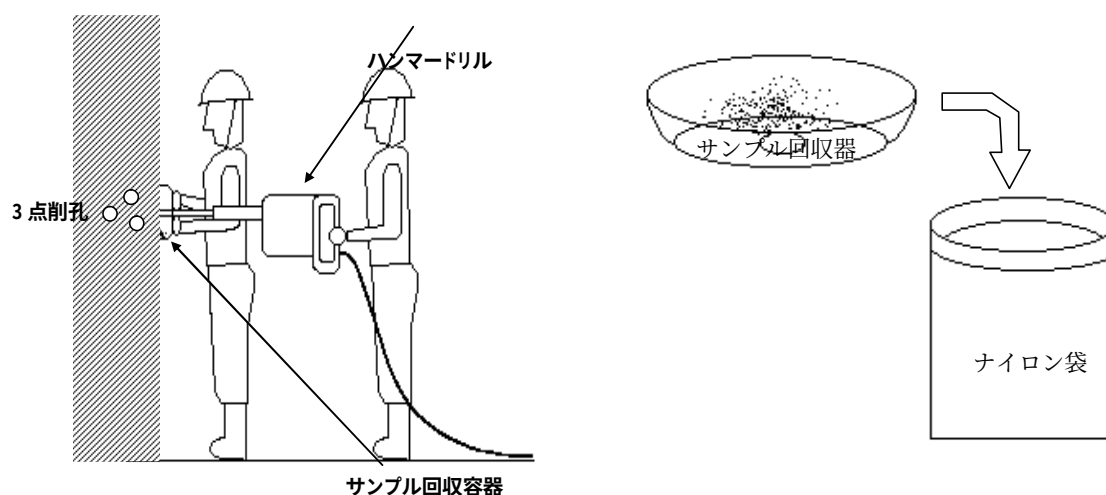


図 3-4-18 試料採取の方法

③塩化物イオン濃度分析

塩化物イオン濃度分析は，振動ミルにて試料調整（0.15mm程度以下）を行い，JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に従い，コンクリート中の全塩化物イオン濃度を分析する。

2) 自然電位測定は、コンクリート構造物における自然電位測定方法（JSCE-E601-2000）に従い、コンクリート表面にて内部鋼材の電位を測定することにより、内部の鉄筋の腐食状況を推定するものである。

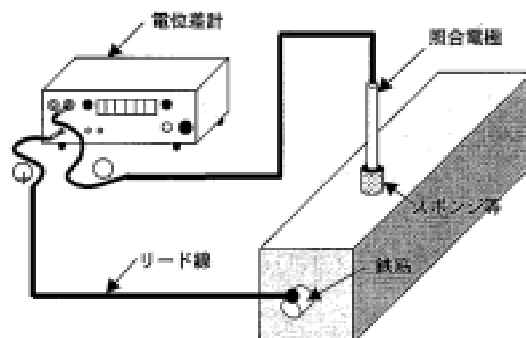


図 3-4-19 自然電位測定

4-6-5 対策工の選定

塩害対策工は、4-6-4 調査の結果等から適切に選定するものとする。

塩害対策工の選定に際し、次に示す事項を考慮するものとする。

- ① 変状が生じていない部分では、表面除去範囲（深さ）を少なくする。
- ② 未対策部分との間でのマクロセル腐食による再劣化が発生しない工法を検討する。
- ③ 断面補強を合わせて行う場合には、将来の塩分移動の影響を考慮する。
- ④ 対策後には、外部からの塩分浸入を防止する。

塩害対策工は、次に示す工法から選定するとよい。

- (1) 表面被覆工法
- (2) 表面除去工法＋断面修復工法＋表面被覆工法
- (3) 表面除去工法＋防錆剤入りポリマーセメントモルタル（以下、PCM）＋断面修復工法＋表面被覆工法
- (4) 電気防食工法

対策工の選定の一例を、図 3-4-20 に示す。

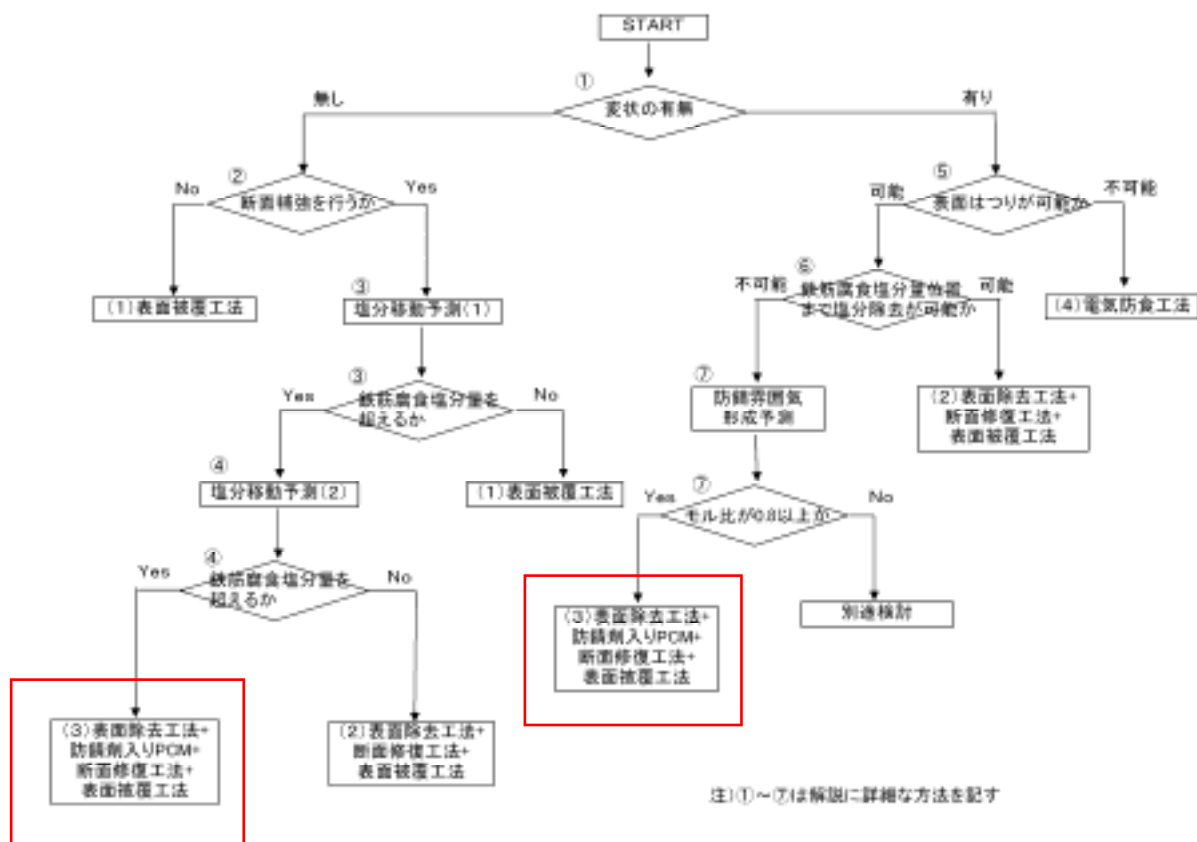


図 3-4-20 塩害対策工選定の流れ（一例）

(1) 表面被覆工法

本要領 4-1 による。

(2) 表面除去工法+断面修復工法+表面被覆工法

かぶり部に浸透した塩分を除去するためにコンクリート表面部をはつり取り、はつり取った部分を、本要領 4-3 により断面修復を行った後、4-1 により表面被覆を行うものである。

(3) 表面除去工法+防錆剤入り PCM+断面修復工法+表面被覆工法

かぶり部に浸透した塩分を除去するためにコンクリート表面部をはつり取り、はつり取った部分に、防錆剤入り PCM を 1cm 吹付けた後、本要領 4-3 により断面修復を行い、さらに 4-1 により表面被覆を行うものである。

(4) 電気防食工法

PC 上部工など大規模な表面はつりを行うことが困難な場合、本要領 4-4 による電気防食を行う。

図 3-4-20 における①～⑦の検討は、下記によるとよい。

①について

変状の有無は、初期調査および詳細調査の外観、変状範囲調査、はつり調査により判断する。ここでの変状有りとは、塩化物イオンの浸透によりコンクリート内部の鉄筋にグレードⅢ以上の腐食度¹⁾が発生している状態をいう。

表 3-4-7 鉄筋腐食グレード

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

②について

ここでの断面補強を行う例は，以下のような場合をいう。

- ・塩害を受けた橋脚をRC巻立て，炭素繊維巻立てで耐震補強を行う場合

また断面補強を行わない例は，以下のような場合をいう。

- ・予防保全的に塩害対策を行う場合

③について

塩分移動予測(1)とは，塩害対策を行わず断面補強のみを行う場合の既設コンクリート中の塩化物イオン濃度の移動予測を行うことをいう。

塩分移動予測(1)および(2)は，以下の方法で行うものとする。

- 1) Fickの拡散方程式を基本にして，内部に蓄積された塩分総量は変わらないとし，式(3-4-1)に示す差分法のモデルにより求めるものとする。(図3-4-21 参照)

$$C(x_i, t + \Delta t) = D_c \times \frac{A}{(\Delta x)^2} \times \Delta t + C(x_i, t) \quad \text{式 (3-4-1)}$$

$$\text{ここに、} A = C(x_{i-1}, t) - 2 \times C(x_i, t) + C(x_{i+1}, t)$$

ただし、 C : 塩化物イオン濃度(kg/m³)

D_c : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm²/sec)

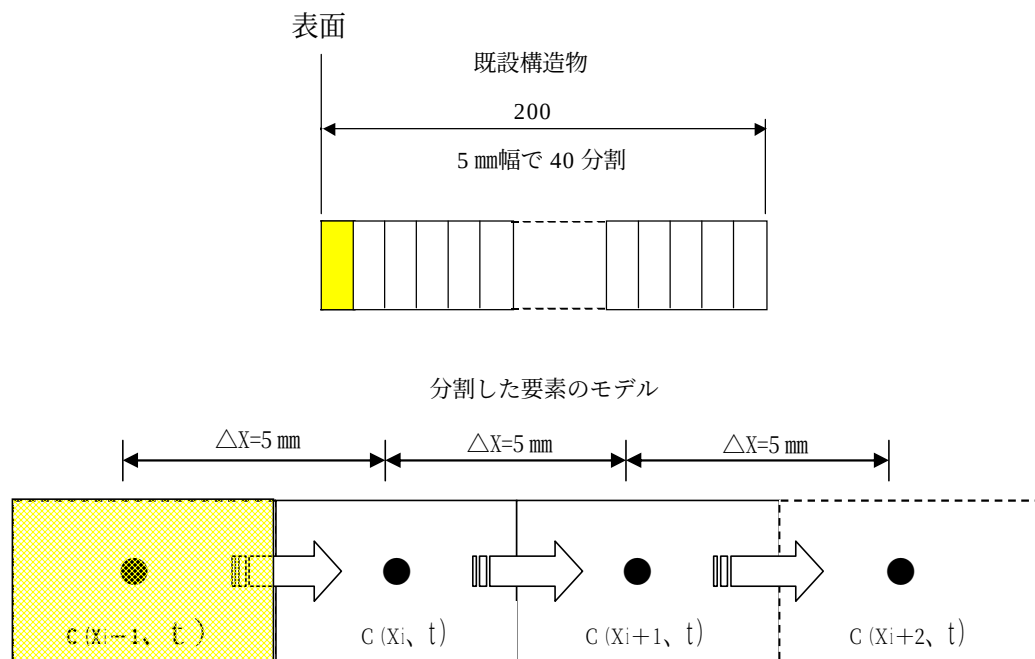


図 3-4-21 差分法の考え方

2) 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (D_c) は、対象構造物での塩化物イオン濃度の分布状況から回帰分析し算定することが望ましい。塩化物イオン濃度調査数量が少なく、回帰分析で算出することが適当でない場合、既往の事例から $3.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度としてよい。

鉄筋腐食塩分量は、補修対象構造物の部位、環境、重要度、類似構造物の実測結果等を参考に定めてよい。一般に実環境での暴露実験では $1.2 \sim 2.4 \text{ kg/m}^2$ 程度とされている。²⁾

④について

塩分移動予測(2)とは、塩害対策として塩化物イオンを含んだコンクリート表面を除去し断面修復を行った後、断面補強を行う場合の既設コンクリートおよび増し厚コンクリート中の塩化物イオン濃度の移動予測を行うことをいう。コンクリート表面を除去する範囲は 5cm を標準とするが、塩分移動予測結果に基づき定めてもよい。

塩分移動予測(2)は、③と同様に行うものとする。

鉄筋腐食塩分量は、③と同様に考えてよい。

⑤について

ここでの表面はつりが不可能である例は、以下のような場合をいう。

- ・ PC 上部工等で、表面はつりによりプレストレス損失が想定される場合
- ・ 表面はつりを行うことが、電気防食を行うことに比べ著しく不経済となる場合

⑥について

管理段階では、補修対象構造物が供用中であり、既設構造物の表面を大きくはつると、構造物の安全性に影響を及ぼすことが懸念される。従って一般に、表面はつり範囲は帯鉄筋背面までとする。ただし、塩分を除去のために帯鉄筋背面を超え鉄筋腐食塩分量の範囲まで、はつっても構造物の安全性を確保することが確認できる場合には、帯鉄筋背面を超えてはつりを行ってもよい。

鉄筋腐食塩分量は、③と同様に考えてよい。

⑦について

防錆雰囲気形成予測とは、対象とする鉄筋位置で高濃度の防錆剤入りのPCMから拡散される亜硝酸イオン(NO_2^-)と塩化物イオン(Cl^-)とのモル比を予測することを用いる。ここでいうモル比とは($\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$)のモル比を用いる。

モル比を0.8以上確保すれば、防錆雰囲気が形成されていると考えてよい。ここでは、対策後3年以内に防錆雰囲気が形成できるか否かを判定するものとする。

防錆雰囲気の形成に3年以上の時間がかかる場合には、防錆雰囲気形成までの間の鉄筋腐食防止方法について別途、検討するとよい。

参考文献

- 1) コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2003-：コンクリート工学協会
- 2) 2007年制定 コンクリート標準示方書[設計編：本編]：土木学会

4-6-6 材料

(1) 断面修復材

本要領 4-3 による。

断面修復材に防錆材を入れる場合には、亜硝酸リチウムを固形分で $55\text{kg}/\text{m}^3$ 混入させるとよい。

亜硝酸リチウムの品質規格の一例を表 3-4-8 に示す。

表 3-4-8 亜硝酸リチウムの品質規格の一例

項目	単位	規格		試験法
		40%水溶液	25%水溶液	
外観		青色透明	青色透明	目視
亜硝酸リチウム濃度	%	39～41	24～26	滴定法等
比重		1.2～1.3	1.1～1.2	JIS K 0061
pH		8～10	9.5～11.5	JIS K 8802
粘度	mPa・S	50 以下	10 以下	JIS K 6833

なお亜硝酸リチウムは、皮膚や目、粘膜に炎症を起こすことがあり、経口摂取、吸引すると急性中毒を起こし危険であるので、製品安全データシートに従い適切に取り扱うよう注意が必要である。

4-6-7 施工

(1) 表面除去

表面除去は 3-4-1 によるものとする。