「塩分吸着剤」・「アルカリ交換剤」による
複合劣化対策工法

Extended - SSI工法®

Extended-Suppressing Salt Injury Method

設計要領

JRSE 株式会社 ジェイアール総研エンジニアリング

〔目　次〕

1. Extended-SSI 工法とは……1

1.1 複合劣化を生ずる要因……1

1.2「塩分吸着剤」と「アルカリ交換剤」の役割 ……1

2. 使用材料の種類と特長 ……2

3. Extended-SSI 工法の基本仕様……5

4. 設計要領 ……7

4.1 複合劣化抑制材の性能……7

4.2 断面修復材の性能……7

4.3 複合劣化抑制材の適用と設計……8

(1) 防錆効果の考え方……8

(2) アルカリ骨材反応抑制効果の考え方……8

(3) 複合劣化抑制材の設計仕様……9

4.4 設計仕様の照査…… 10

(1) 塩化物イオンの浸入特性と分布状態…… 10

(2) 設計仕様の妥当性照査…… 11

【参考成書・文献】…… 13

1. Extended-SSI工法とは

コンクリート構造物において、「塩害による鉄筋腐食」[1] と「アルカリ骨材反応」[2] による劣化が同時に生ずる現象を『複合劣化』と定義し、両劣化を同時に抑制する工法です。前者を抑制する技術として、SSI 工法[3]（Suppressing Salt Injury Method）があり、前者の防錆機能を担っているのが「塩分吸着剤」[4] です。これに、後者を抑制する機能をもつ「アルカリ交換剤」[5] を加えて、両機能剤を同時に有するポリマーセメント系の複合劣化抑制ペーストを開発し、SSI 工法の拡大版と位置付け、「Extended-SSI 工法」としました。

1.1 複合劣化を生ずる要因

コンクリートの外的塩害は、塩化物イオン（Cl^-）の浸入により生じますが、その主な原因の一つは海塩環境にあるコンクリートで海水に由来する塩化物イオン、もう一つは寒冷地で使用される融雪剤や凍結防止剤に由来する塩化物イオンです。

これらの塩化物イオンは単独で浸入することはなく、アルカリイオン（通常、ナトリウムイオン（Na^+））と対を成して浸入します。すなわち、塩化物イオンが浸入するコンクリートでは同時にナトリウムイオンも浸入し、塩害による鉄筋腐食のみならずアルカリ骨材反応も生じやすくなります。

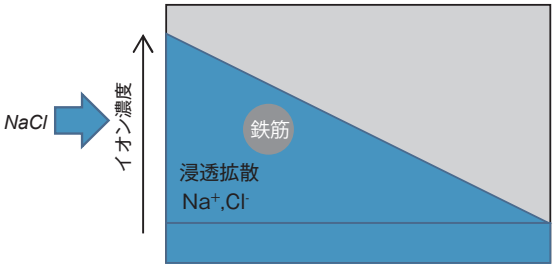


図 1-1　複合劣化を生ずるイオンの浸入

1.2「塩分吸着剤」と「アルカリ交換剤」の役割

「塩分吸着剤」（図 1-2）は、陰イオン成分同士を交換することができる機能剤で、カルシウム・アルミニウム複合水酸化物です。骨格がプラスに帯電しており、塩分（塩化物イオン）を吸着して、予め保持させた亜硝酸イオン（NO_2^-）を放出する機能を持っています。この機能により、鉄筋周辺を腐食環境から防錆環境に改善します。

一方、「アルカリ交換剤」（図 1-3）は、陽イオン成分同士を交換することができる機能剤で、ケイ素・アルミニウム複合酸化物です。骨格がマイナスに帯電しており、ナトリウムイオンやカリウムイオン（K^+）を吸着して、予め保持させたリチウムイオン（Li^+）を放出する機能を持っています。この機能により、コンクリート躯体中に生成したり、新たに生成するアルカリ骨材反応ゲルをリチウム型に変えて、非膨張性に改質し、アルカリ骨材反応を抑制します。

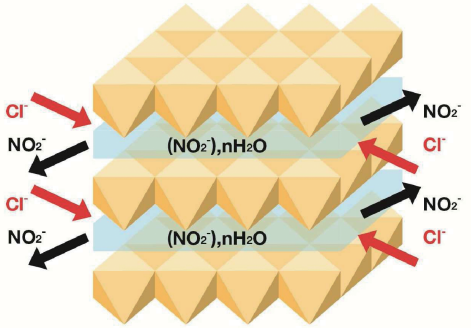


図 1-2　「塩分吸着剤」の構造・作用模式図

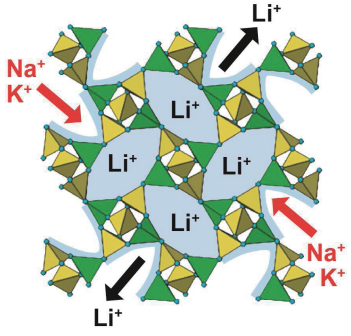


図 1-3　「アルカリ交換剤」の構造・作用模式図

2. 使用材料の種類と特長

Extended-SSI 工法に使用する材料は、複合劣化抑制ペーストを用いるのが最大の特長です。断面修復材、表面仕上げ材は、SSI 工法用材料を準用します。各材料には練り混ぜ水量の許容範囲が示してありますので、施工方法、気象条件などを勘案して、許容範囲内で調整してください。

【複合劣化抑制材】　複合劣化抑制ペースト　AJ1　［吹付／刷毛塗り］

荷姿	10kg 防湿袋入り
練り混ぜ水量	3.05 ～ 3.25 ﾘｯﾄﾙ／袋
使用量	1m^3 当たりの標準使用量：1,450kg（145 袋）
	施工厚 5mm：7.25kg/m^2（粉体使用量）
物性値	・付着強度（28 日）：1.5N/mm^2 以上（JSCE-K 531）
特長	・「塩分吸着剤」と「アルカリ交換剤」を配合した完全一材型のポリマーセメント系複合劣化抑制材です。 ・鉄筋および躯体コンクリートはつり面に塗布することで、「塩分吸着剤」が鉄筋周辺の塩化物イオンを吸着し、亜硝酸イオンを放出することにより、優れた防錆効果が得られます。また「アルカリ交換剤」が、アルカリ骨材反応ゲルをリチウム型に変えて、非膨張性に改質し、アルカリ骨材反応を抑制します。

【断面修復材】　遮塩モルタル　RP200　［吹付／左官］

荷姿	20kg 防湿袋入り	
練り混ぜ水量	3.1 ～ 3.3 ﾘｯﾄﾙ／袋（吹付用）	2.9 ～ 3.1 ﾘｯﾄﾙ／袋（左官用）
使用量	1m^3 当たりの標準使用量：1,750kg（87.5 袋）	
	施工厚 10mm：17.5kg/m^2（粉体使用量） 20mm：35.0kg/m^2（　〃　） 30mm：52.5kg/m^2（　〃　）	
物性値	・圧縮強度（28 日）：30N/mm^2 以上（JIS A 1171） ・曲げ強度（28 日）：6.0N/mm^2 以上（JIS A 1171） ・付着強度（28 日）：1.5N/mm^2 以上（JSCE-K 531）	
特長	・「塩分吸着剤」を配合した完全一材型のポリマーセメント系断面修復材です。 ・適量添加された「塩分吸着剤」が塩化物イオンの浸透を抑制し、構造物を長期にわたって保護します。 ・短繊維が混合されていますので、厚付け性とひび割れ抵抗性に優れ、高い作業性を実現します。	

注）「塩分吸着剤」を配合しない内的塩害対策の耐久モルタル RP100 も別途用意しております。

【断面修復材】 遮塩モルタル RP310 [吹付／左官]

荷姿	20kg 防湿袋入り	
練り混ぜ水量	3.3 ～ 3.5 ﾘｯﾄﾙ／袋（吹付用）	3.2 ～ 3.4 ﾘｯﾄﾙ／袋（左官用）
使用量	1m^3 あたりの標準使用量：1,800kg（90 袋）	
	施工厚 10mm：18.0kg/m^2（粉体使用量） 20mm：36.0kg/m^2（ 〃 ） 30mm：54.0kg/m^2（ 〃 ）	
物性値	・圧縮強度（28 日）：40.0N/mm^2 以上（JIS A 1171） ・曲げ強度（28 日）： 6.0N/mm^2 以上（JIS A 1171） ・付着強度（28 日）： 1.5N/mm^2 以上（JSCE-K 531）	
特長	・「塩分吸着剤」を配合した完全一材型のポリマーセメント系断面修復材です。 ・RP200 の高強度タイプ（圧縮強度：40N/mm^2 以上）であり、PC などの高強度部材の補修に適しています。 ・その他の特長は RP200 と同様です。	

【断面修復材】 遮塩モルタル RP310G [充填]

荷姿	20kg 防湿袋入り
練り混ぜ水量	2.8 ～ 3.2 ﾘｯﾄﾙ／袋
使用量	1m^3 あたりの標準使用量：1,920kg（96 袋）
	施工厚 10mm：19.2kg/m^2（粉体使用量） 20mm：38.4kg/m^2（ 〃 ） 30mm：57.6kg/m^2（ 〃 ）
物性値	・圧縮強度（28 日）：40.0N/mm^2 以上（JIS A 1171） ・曲げ強度（28 日）： 6.0N/mm^2 以上（JIS A 1171） ・付着強度（28 日）： 1.5N/mm^2 以上（JSCE-K 531）
特長	・「塩分吸着剤」を配合した完全一材型のポリマーセメント系充填材です。 ・RP310 の充填タイプで、ポンプ圧送性や打継時の付着性に優れています。 ・その他の特長は RP200、RP310 と同様です。

【表面仕上げ材】

要　求　性　能	・複合劣化抑制工法の表面仕上げ材は、SSI 工法に準ずることとし、シリカ系の材料を中心に、耐久性に優れるものを基本とします。 ・物質の透過性については、劣化因子を遮断し、下図に示すように防水性と透湿性を併せ持つものとします。 ・コンクリートやポリマーセメントモルタルに含浸あるいは塗布できるものであれば、仕上げ材として遮塩モルタルに施工することが可能です。 ・仕上げ材の特長や使用方法等は、メーカーカタログ等をご参照ください。

表面仕上げ材の選択について

外部から塩分等の劣化因子の浸入が懸念される厳しい環境においては、表面仕上げ材を施工することを推奨します。表面仕上げ材は、耐久性や物質の透過性など、上表に示した要求性能を有する製品を選択してください。

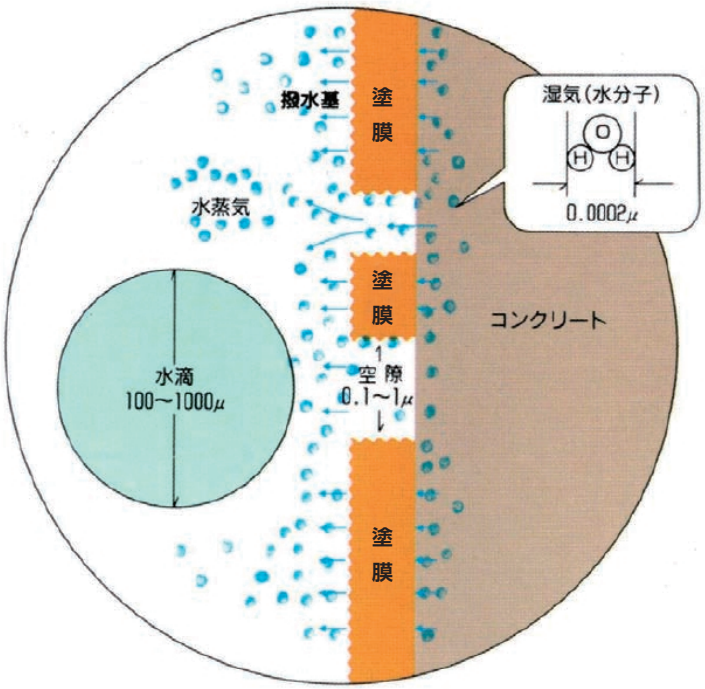


図 2-1　仕上げ材に要求される防水・透湿性機構

3. Extended-SSI工法の基本仕様

複合劣化対策としての Extended-SSI 工法には、鉄筋位置における塩化物イオン量により、以下の 3 つの施工パターンがあります。

施工パターン【a】：塩化物イオン量（鉄筋位置）が 5kg/m^3 未満の場合

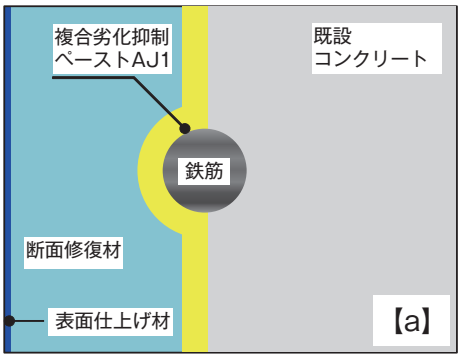


図 3-1 補修断面図―1

適　用	・鉄筋位置の塩化物イオン量が 5kg/m^3 未満の場合に適用します。 ・鉄筋中心まではつり出し、AJ1 を鉄筋および躯体面に 5mm 塗布してください。
効　果	・AJ1 を露出した鉄筋表面と躯体のはつり面に塗布することにより、鉄筋周辺を防錆環境に改質し、同時にアルカリ骨材反応を抑制します。 ・遮塩モルタルが劣化因子の浸透を抑制して内部を保護します。 ・防水・透湿性をもつ表面仕上げ材を併用することで、劣化因子の浸入を抑制します。

施工パターン【b】：塩化物イオン量（鉄筋位置）が 5 ～ 10kg /m^3 以上の場合

（塩化物イオン量（鉄筋位置）が 10kg/m^3 以上の場合も準用）

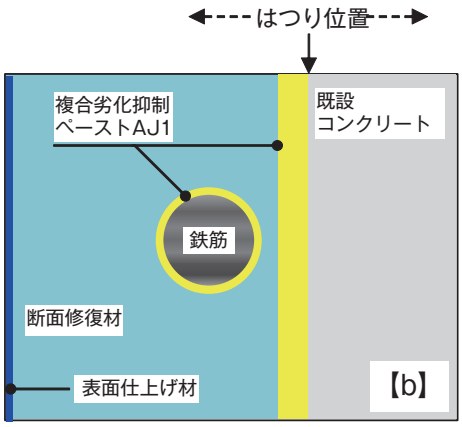


図 3-2 補修断面図―2

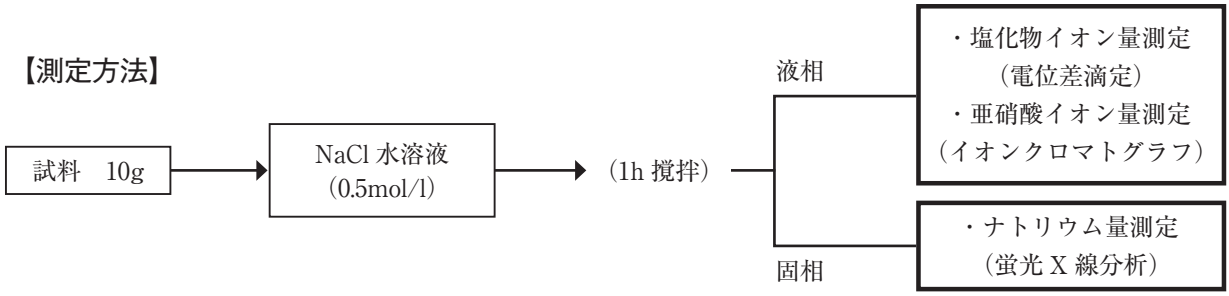
適　用	・鉄筋位置の塩化物イオン量が 5kg/m^3 以上の場合に適用します。 ・鉄筋背面において、塩化物イオン量が 5kg/m^3 未満になるまで（詳細は P.11 参照）はつり出し、AJ1 を鉄筋に 2mm、躯体面に 5mm 塗布してください。
効　果	・AJ1 を鉄筋表面全体と躯体のはつり面に塗布することにより、錆の進行を完全に防止し、残存する劣化因子に作用して、複合劣化を抑制します。 ・遮塩モルタルが劣化因子の浸透を抑制して内部を保護します。 ・防水・透湿性をもつ表面仕上げ材を併用することで、劣化因子の浸入を抑制します。

4. 設計要領

4.1 複合劣化抑制材の性能

複合劣化抑制材（複合劣化抑制ペースト）には、防錆機能を発揮させるための「塩分吸着剤」と、アルカリ骨材反応を抑制するための「アルカリ交換剤」を配合しています。防錆能の指標としては、塩化物イオン吸着量および亜硝酸イオン放出量を、アルカリ骨材反応抑制能の指標としては、ナトリウム吸着量をそれぞれ規定しています。

【測定方法】



【複合劣化抑制材性能表】

品　　名	塩化物イオン吸着量		亜硝酸イオン放出量		ナトリウム吸着量*2 (Na_2O)	
複合劣化抑制ペースト AJ1	規定値 (mg/g)	換算値*1 (mol/kg)	規定値 (mg/g)	換算値*1 (mol/kg)	規定値 (wt%)	規定値 (mg/g)
	4.0 以上	0.11	15.0 以上	0.33	1.0 以上	14.5 以上

＊1　換算値は、モル比を求めるために、規定値を各イオンの原子量あるいは分子量で除してモル (mol) 単位としたもの
＊2　アルカリ量は、通常 R_2O（Na_2O+0.585K_2O）の式で表示し、ナトリウムの場合は Na_2O で表示する

4.2 断面修復材の性能

断面修復材には、SSI 工法用材料を用います。遮塩性能を発揮させるために、適量の「塩分吸着剤」が配合されており、遮塩性能の指標として、塩化物イオン浸透深さを規定しています。

【測定方法】

【断面修復材性能表】

品　名	塩化物イオン浸透深さ
遮塩モルタル RP200	10mm 以下
遮塩モルタル RP310	
遮塩モルタル RP310G	

4.3 複合劣化抑制材の適用と設計

コンクリート構造物に複合劣化抑制材（以下、抑制材と記す）を適用する場合については、躯体コンクリートに塩化ナトリウム（NaCl）として浸入したと想定して、測定した塩化物イオン量とその値から推定したナトリウム量（Na_2O）を用いて、以下の考え方により照査式を導き、設計します。

（1）防錆効果の考え方

防錆効果については、亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル (mol) 比を指標として検討します。ここでは安全側の指標として 1.0 以上を考え、以下の基本式を満たすように設計します。

【基本式】

$$\frac{\text{亜硝酸イオン量}}{\text{塩化物イオン量}} \geqq 1.0\text{（モル比）}$$

上の基本式をもとに、当該イオンの増減を考慮すると、次の式が得られます。

【照査式】

$$\frac{\text{（抑制材により放出・供給される亜硝酸イオン量）}}{\text{（躯体の塩化物イオン量）} - \text{（抑制材に吸着・固定化される塩化物イオン量）}} \geqq 1.0\text{（モル比）}$$

（2）アルカリ骨材反応抑制効果の考え方

アルカリ骨材反応が起こるか否かは、躯体コンクリート中のアルカリ量（R_2O）と躯体コンクリートを構成する骨材のアルカリ反応性との関係で決まり、アルカリ量だけでは一義的に定まりません。

ここでは、塩化物イオンが浸入した際に、これと対を成して浸入したナトリウムイオンによりアルカリ骨材反応を誘発したと仮定し、以下の基本式を満たすように設計します。

【基本式】

$$\frac{\text{塩化物イオンの浸入前のナトリウム量}}{\text{塩化物イオンの浸入後のナトリウム量}} \geqq 1.0$$

上の基本式をもとに、ナトリウムの増減を考慮すると、次の式が得られます。

【照査式】

$$\text{抑制材に吸着・固定可能なナトリウム量} \geqq \frac{\text{浸入したナトリウム量}}{\text{（躯体の塩化物イオン量}\times 0.9\text{）}^{*1}}$$

$$^{*1}\ \text{塩化物イオン量}\times\frac{Na}{Cl}\times\frac{Na_2O}{2Na} = \text{塩化物イオン量}\times 0.87418\cdots \fallingdotseq \boxed{\text{塩化物イオン量}\times 0.9}$$

原子量　Na：22.99
　　Cl：35.45
　　O：16.00

(3) 複合劣化抑制材の設計仕様

複合劣化抑制ペーストの性能を基準に照査の検討範囲を補修界面より 30mm までとすると、塩化物イオン量が約 5kg/m^3 の位置まではつり除去することになります。(図 4-1、4-2) そこで、塩化物イオン量と複合劣化抑制ペーストの塗布量との関係を下表のように定め、本工法を設計します。

① 鉄筋位置の塩化物イオン量が 5kg/m^3 未満の設計仕様

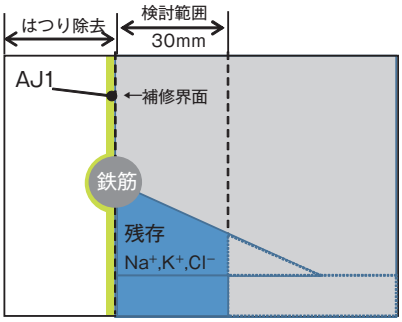


図 4-1　施工断面と照査の検討範囲

表 4-1　塩化物イオン量と複合劣化抑制ペーストの塗布厚との関係

塩化物イオン量（鉄筋位置）	複合劣化抑制ペースト塗布厚
5kg/m^3 未満	5mm

② 鉄筋位置の塩化物イオン量が 5 ～ 10kg/m^3 の設計仕様

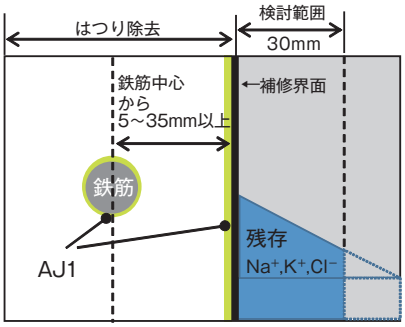


図 4-2　施工断面と照査の検討範囲

表 4-2　塩化物イオン量と複合劣化抑制ペーストの塗布厚との関係

塩化物イオン量（kg/m^3） （鉄筋位置）	鉄筋中心からのはつり 範囲（mm）	複合劣化抑制ペースト 塗布厚
5 ～ 6kg/m^3	5	5mm
6 ～ 7kg/m^3	10	
7 ～ 8kg/m^3	20	
8 ～ 9kg/m^3	25	
9 ～ 10kg/m^3	35	
（※）10kg/m^3 以上	40 以上	

※ 10kg/㎥以上の場合は、鉄筋中心からのはつり範囲を 40mm 以上として検討してください。

4.4 設計仕様の照査

ここでは、前項で設定した仕様が、鉄筋の防錆とアルカリ骨材反応の抑制を同時に満たす性能を有しているかどうかを照査します。

(1) 塩化物イオンの浸入特性と分布状態

照査に際しては、補修界面より深部の各種成分の分布状態を推定する必要があります。そこで、下記（左）の解析モデルを用いて、下記（右）の各条件を設定し、鉄筋位置の塩化物イオン量の例として、①（5kg/m^3 レベル）と②（10kg/m^3 レベル）となる時期（期間）とその分布をそれぞれ求めると、以下のようになります。

【解析モデル】

（コンクリート標準示方書より）

$$C = C_0 \left\{ 1\text{-}erf\left(\frac{0.1x}{2\sqrt{Dt}}\right) \right\}$$

ここで、C：コンクリート中の塩化物イオン量（kg/m^3）

C_0：コンクリート表面の塩化物イオン量（kg/m^3）

x：コンクリート表面からの距離（mm）

D：塩化物イオンに対する拡散係数（cm^2/ 年）

t：経年数 (年）

【解析条件】

- 普通ポルトランドセメント W/C 55%
- 拡散係数　0.71cm^2/ 年
- 表面塩化物イオン量　20.0kg/m^3
- 初期塩化物イオン量　0.30kg/m^3
- 鉄筋位置　表面から 50mm

【解析結果】

塩化物イオンの分布状態

表面からの深さ（mm）	0 ～ 50 かぶり	50 鉄筋	55	60	60	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
鉄筋中心からの深さ（mm）	−	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
①の状態（12.5 年経過）（kg/m^3）	−	5.01	4.13	3.39	2.76	2.23	1.80	1.45	1.17	0.95	0.78	0.65	0.55	0.48	0.43
②の状態（36.0 年経過）（kg/m^3）	−	9.99	9.13	8.33	7.57	6.85	6.18	5.56	4.99	4.46	3.98	3.54	3.14	2.78	2.45

はつり除去範囲

この結果から、上記モデルの解析によれば、①の状態になるまでは 12 ～ 13 年、②の状態になるまでは 35 ～ 37 年程度の期間を経たコンクリートと想定され、①の状態では鉄筋位置 50mm まで、②の状態では鉄筋中心より更に背面側 35mm まではつることになります。

照査の検討範囲は補修界面より 30mm としており、塩化物イオン量の値として、①では、50mm から 80mm までの平均値（5.01+4.13+3.39+2.76+2.23+1.80+1.45）/ 7 ≒ 2.97kg/m^3　を、②では、同様に算出した 85mm から 115 ｍｍまでの平均値 ≒ 3.62kg/m^3　を用います。

(2) 設計仕様の妥当性照査

ここでは、鉄筋位置の塩化物イオン量として、①（5kg/m^3 レベル）と②（10kg/m^3 レベル）の２ケースについて，設計仕様の妥当性を照査します。照査には、前項で算出した塩化物イオン量の平均値を用います。複合劣化抑制ペーストの性能はＰ.７を参照ください。

① 鉄筋位置の塩化物イオン量が 5kg/m^3 の場合

【防錆効果の照査例】

複合劣化抑制ペーストの塩化物イオン吸着量と亜硝酸イオン放出量

品名	塗布厚	使用量	塩化物イオン吸着量	亜硝酸イオン放出量
複合劣化抑制ペースト	5mm	7.25kg/m^2	0.11 × 7.25 =0.79mol/m^2	0.33 × 7.25 =2.39mol/m^2

防錆効果の判定例

塩化物イオン量（鉄筋位置）（kg/m^3）		:	5
鉄筋中心からのはつり深さ（mm）		:	0
検討範囲の塩化物イオン量（補修界面から 30mm まで）	平均値（kg/m^3）		2.97
	（g/m^2）	:	89.1
	（mol/m^2）	:	2.51
吸着塩化物イオン量（mol/m^2）		:	0.79
残存塩化物イオン量（mol/m^2）		:	1.72
放出亜硝酸イオン量（mol/m^2）		:	2.39
モル比		:	1.38
判定値		:	1.0 以上
判定		:	OK

【アルカリ骨材反応抑制効果の照査例】

複合劣化抑制ペーストの吸着可能なナトリウム量（Na_2O）

品名	塗布厚	使用量	吸着可能なナトリウム量
複合劣化抑制ペースト	5mm	7.25kg/m^2	14.5 × 7.25 =105.1g/m^2

アルカリ骨材抑制効果の判定例

塩化物イオン量（鉄筋位置）（kg/m^3）		:	5
検討範囲の塩化物イオン量（kg/m^3）		:	2.97
検討範囲のナトリウム量	（Cl^-）× 0.9（kg/m^3）	:	2.67
	（g/m^2）	:	80.1
吸着可能なナトリウム量（g/m^2）		:	105.1
判定		:	OK

② 鉄筋位置の塩化物イオン量が 10kg/m^3 の場合

【防錆効果の照査例】

複合劣化抑制ペーストの塩化物イオン吸着量と亜硝酸イオン放出量

品名	塗布厚	使用量	塩化物イオン吸着量	亜硝酸イオン放出量
複合劣化抑制ペースト	5mm	7.25kg/m^2	0.11 × 7.25 =0.79mol/m^2	0.33 × 7.25 =2.39mol/m^2

防錆効果の判定例

塩化物イオン量（主鉄筋位置）（kg/m^3）		:	10
鉄筋中心からのはつり深さ（mm）		:	35
検討範囲の塩化物イオン量（補修界面から 30mm まで）	平均値（kg/m^3）		3.62
	（g/m^2）	:	108.6
	（mol/m^2）	:	3.06
吸着塩化物イオン量（mol/m^2）		:	0.79
残存塩化物イオン量（mol/m^2）		:	2.27
放出亜硝酸イオン量（mol/m^2）		:	2.39
モル比		:	1.05
判定値		:	1.0 以上
判定		:	OK

【アルカリ骨材反応抑制効果の照査例】

複合劣化抑制ペーストの吸着可能なナトリウム量（Na_2O）

品名	塗布厚	使用量	吸着可能なナトリウム量
複合劣化抑制ペースト	5mm	7.25kg/m^2	14.5 × 7.25 =105.1g/m^2

アルカリ骨材抑制効果の判定例

塩化物イオン量（主鉄筋位置）（kg/m^3）		:	10
検討範囲の塩化物イオン量（kg/m^3）		:	3.62
検討範囲のナトリウム量	（Cl^-）× 0.9（kg/m^3）	:	3.26
	（g/m^2）	:	97.8
吸着可能なナトリウム量（g/m^2）		:	105.1
判定		:	OK

【参考成書・文献】

1）小林豊治・米沢敏男・出頭圭三：鉄筋腐食の診断，コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ，pp.1-12.

2）小林一輔・丸　章夫・立松英信：アルカリ骨材反応の診断，コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ，pp.3-17.

3）立松英信・佐々木孝彦・高田　潤：塩害による鉄筋腐食の診断と抑制に関する研究，コンクリート工学論文集，Vol.11，No.2，2000 年 5 月，pp.11-20.

4）立松英信：塩分吸着剤による鉄筋の防錆，リテック，Vol.4，2000 年，pp.28-31.

5）上原元樹：新しいアルカリ骨材反応抑制材料の開発，RRR，Vol.66，No.4，pp.26-29.

商品取扱上の注意事項

- 目や皮膚への接触を避けるため、保護メガネ、保護手袋などの保護具を着用してください。
- 目に入った場合は、清浄な水で十分に洗浄し、直ちに眼科医の手当てを受けてください。
- 皮膚に触れた場合は、清浄な水で洗い流してください。

※記載商品の安全取扱上の詳細は、安全データシート（SDS）をご参照ください。
※記載内容については、予告なしに変更する場合がありますので、予めご了承ください。
※記載されている試験結果は、代表的な実験値で、その記載内容を保証するものではありません。

JRSE 株式会社 ジェイアール総研エンジニアリング

本社

〒186-0002　東京都国立市東 1-4-13
TEL 042-572-9530 / FAX 042-572-9560

SSI 工法推進室

〒185-0034　東京都国分寺市光町 1-39-23
TEL 042-501-2605 / FAX 042-501-2838

発　行　2018 年 9 月