

論文 塩分吸着剤を用いた断面修復工法における塩化物イオンの再拡散シミュレーションに関する検討

西 信衛*1・山田 あずさ*2・村上 祐貴*3

要旨: 塩害劣化した構造物に対して「塩分吸着剤」を用いた断面修復工法が適用されることがある。断面修復工法を採用する場合は、既存コンクリートの残留塩化物イオンの再拡散シミュレーションにより、補修材構成を決定するのが一般的である。本研究は、「塩分吸着剤」を添加した補修材を用いた場合の、塩化物イオンの再拡散シミュレーションについて、塩分吸着度 (%) によって見掛けの拡散係数を変動させるモデル、吸着効果を要素ごとに減算することで表現するモデルおよび、それらを重ね合わせたモデルを提案し、その妥当性について検討した。

キーワード: 塩化物イオン, 拡散シミュレーション, 塩分吸着剤, 断面修復工法, 再劣化

1. はじめに

従来の鉄筋コンクリート構造物（以下、「RC 構造物」という）の断面修復工法は、鉄筋表面の防錆雰囲気を再構築する亜硝酸リチウム含有ペーストを用いるのが一般的であった。しかしながら、従来の断面修復工法では、はつきり取らなかった既設 RC 部材に塩化物イオンが残留しており、残留塩化物イオンが補修材側に再拡散することで再劣化を生じる可能性が指摘されていた。

再劣化対策として、「塩分吸着剤」を添加した補修材を用いて断面修復を行う工法がある¹⁾。「塩分吸着剤」の主成分である亜硝酸型ヒドロカルマイトは、塩化物イオンを吸着し亜硝酸イオンを放出する。したがって、「塩分吸着剤」を用いた補修材は、既設 RC 部材から再拡散した塩化物イオンを吸着すると同時に亜硝酸イオンを放出するため、高い防錆環境を構築できると言われている。

コンクリート中の防錆効果を評価する指標として、コンクリート中の塩化物イオンと亜硝酸イオンの $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比を用いることが多い。断面修復工法を行う場合、補修後の塩化物イオンの再拡散シミュレーションを行うことにより、モル比の経年変化を予測して、補修材の構成を決定することが一般的である。

「塩分吸着剤」の塩分吸着効果を考慮した塩化物イオン拡散シミュレーションモデルは、木元らにより提案されている²⁾。木元らのモデルは、「塩分吸着剤」を添加した補修材中に拡散した塩化物イオンを、補修材が持つ塩分吸着容量に達するまで、塩化物イオンの拡散を止めることで塩分吸着効果を考慮している。しかしながら、実験値との比較による検証は行われておらず、「塩分吸着剤」による塩分吸着効果が、塩化物イオンの拡散に及ぼす影

響についての検討は、議論の余地が残されている。

そこで、本研究では、塩分吸着効果を考慮した解析モデルを構築し、再拡散シミュレーションを行った結果と、断面修復後の再拡散を模擬した試験体における、塩化物イオンの再拡散分布を比較し、解析モデルの適用性を評価した。さらに、補修材の種類、構成を変化させた場合の再拡散シミュレーションを行い、防錆環境の再形成について将来予測を行った。

2. 「塩分吸着剤」の吸着効果を考慮した解析モデル構築

本研究では、補修材の複雑な境界条件を考慮するため、拡散シミュレーションに差分法を用いることとした³⁾。

2.1 D 変化モデル

「塩分吸着剤」は、主成分である亜硝酸ヒドロカルマイトが亜硝酸イオンを放出したあと、電気的中性を保つため、塩化物イオンを吸着する効果がある。イオン吸着効果も見掛けの拡散係数の変化として捉えるとすれば、塩化物イオン吸着が十分に発揮される吸着初期には、イオン吸着効果による一時的な塩分拡散の促進が生じ、補修材の見掛けの拡散係数は大きくなると考えられる。一方、補修材が所定の塩化物イオン吸着容量に達すれば、イオン吸着効果は消失するので、イオン吸着効果発現時と比べて拡散係数は相対的に低下すると考えられる。そこで、本研究では、「塩分吸着剤」を添加した補修材の見掛けの拡散係数を累計吸着量に応じて変化させることで、実現象を模擬できると考えた。

本研究では、「塩分吸着剤」を用いた場合の吸着、固定効果のうち、自由塩化物の吸着による拡散現象への影響を D 変化モデルとして、次のようにモデル化した。補

*1 (株) ネクスコ・メンテナンス新潟 長岡事業所 (正会員)

*2 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 (学生会員)

*3 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科准教授 博(工) (正会員)

修材の持つ吸着容量と n ステップまでの拡散値累計の比を吸着度(%)とし、吸着度に応じて見掛けの拡散係数を変化させる。本研究では、補修材の見掛けの拡散係数は線形的に変化するものとした。D 変化モデルを式(1)に示す。

$$C_{m,n+1} = D_{ad} \times r \times (C_{m+1,n} + C_{m-1,n}) + (1 - 2D_{ad} \cdot r) \times C_{m,n} \quad (1)$$

$$D_{ad} = a \times A_r + b \quad (2)$$

ここで、

$C_{m,n}$: n ステップ、位置 m における塩化物イオン量(kg/m³)

D_{ad} : 吸着効果を考慮した見掛けの拡散係数(cm²/年)

r : $\Delta t / \Delta x^2$ Δt : 時間の刻み幅 Δx : 浸透深さの刻み幅

A_r : 吸着度(%) a, b: 定数

2.2 減算モデル

「塩分吸着剤」は、既設コンクリート側から拡散した塩化物イオンを亜硝酸ヒドロカルマイトの層間に固定化する。このことから、吸着、固定化された塩化物イオンは、濃度勾配を駆動力とした自由塩化物の拡散現象に寄与しないと考えられるため、補修材の持つ吸着容量を超える塩化物イオンが供給されるまで、補修材領域の塩分量を見掛け上 0 として計算することとした。なお、補修材領域に拡散してきた塩化物イオンは、瞬間的に吸着されると仮定した。

本研究では、「塩分吸着剤」を用いた場合の吸着、固定効果のうち、自由塩化物の固定による拡散現象への影響を減算モデルとして、次のようにモデル化した。補修材側に拡散した塩化物イオンを、その補修材の持つ吸着容量を超えるまで 0kg/m³ として次ステップの計算を行い、ステップごとに計算した拡散値の累積が吸着容量を超えた場合に、補修材要素における塩化物イオンの蓄積および隣接要素への拡散を行うものとする。減算モデルを式(3)、(4)に、計算フローを図-1に示す。

$$C'_{m,n+1} = D \times r \times (C'_{m+1,n} + C'_{m-1,n}) + (1 - 2D \cdot r) \times C'_{m,n} - C_{m,n+1} \quad (3)$$

$$C_{m,n+1} = D \times r \times (C'_{m+1,n} + C'_{m-1,n}) + (1 - 2D \cdot r) \times C'_{m,n} \quad (4)$$

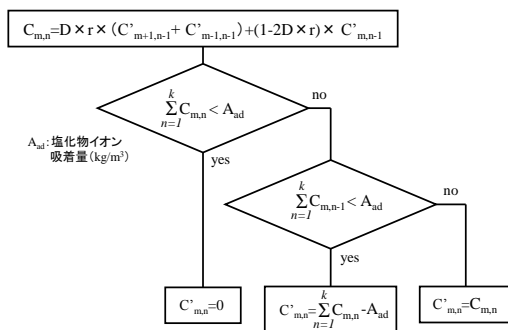


図-1 塩化物イオン濃度 $C'_{m,n}$ の計算フロー

ここで、

$C'_{m,n}$: n ステップ、位置 m における塩化物イオン量(kg/m³)

$C_{m,n}$: 減算判定用の塩化物イオン量(kg/m³)

D: 見掛けの拡散係数(cm²/年)

$C_{m,n+1}$ について、n+1 ステップまでの塩化物イオン量の累計が吸着容量を超えなかった場合は 0 とする。

2.3 D 変化+減算モデル

「塩分吸着剤」の塩化物イオン吸着効果および固定効果による拡散現象への影響を D 変化+減算モデルとして、次ようにモデル化した。n ステップで、補修材のある要素に拡散してきた塩化物イオンは、当該要素のもつ吸着容量に達するまで見掛け上 0 として次ステップを計算する。一方で、n ステップまでに拡散してきた塩化物イオンを用いた吸着度により算出した、見掛けの拡散係数を n+1 ステップの解析に用いる。つまり、減算モデルの効果により、濃度勾配を急にしつつ、D 変化モデルによって、見掛けの拡散係数を減少させていくものである。D 変化+減算モデルを式(5)に示す。

$$C'_{m,n+1} = D_{ad} \times r \times (C'_{m+1,n} + C'_{m-1,n}) + (1 - 2D_{ad} \cdot r) \times C'_{m,n} - C_{m,n+1} \quad (5)$$

3. 解析モデルの適用性評価

3.1 断面修復後の塩化物イオン再拡散模擬実験

(1) 試験体概要

試験体の形状寸法を図-2に、既設部となるコンクリートの配合を表-1に示す。また、補修部の補修材構成を図-3に、用途別に所定量の「塩分吸着剤」を添加した補修材について、塩分吸着量(kg/m³)、亜硝酸放出量(kg/m³)を表-2に示す。試験体は 100×100×400mm の矩形断面で、かぶり 30mm の位置に φ13mm の磨き丸鋼を配置した。断面補修を模擬するため、既設部となるコンクリートには、塩化物イオン含有量が 10kg/m³ となるように、塩化ナトリウム水溶液を練混ぜ水として用いた。養生は封かん養生とし、材齢 75 日で各種補修材を吹き付けたあと、均等な厚さに刷毛およびコテでならした。

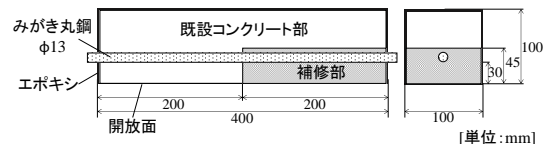


図-2 試験体の形状寸法

表-1 既設部コンクリートの配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)					
	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE剤
55	155	282	795	1074	2.818	0.0085

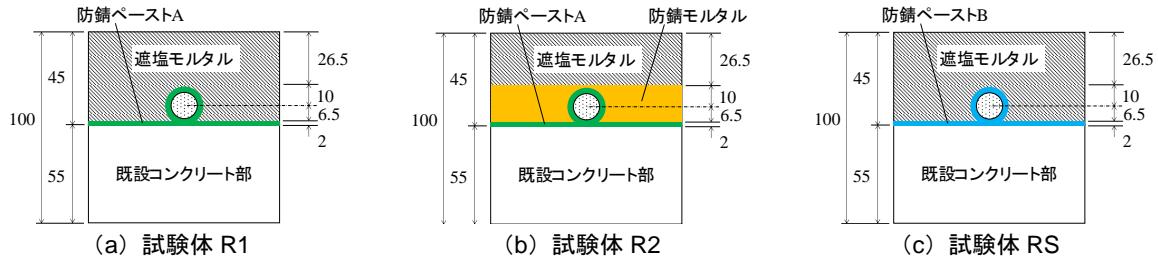


図-3 試験体の補修材構成

表-2 補修材のCl⁻吸着量・NO₂⁻放出量および用途

補修材名	塩化物イオン吸着量 (kg/m ³)	亜硝酸イオン放出量 (kg/m ³)	使用用途
防錆ペーストA	5.467	23.46	鉄筋の防錆処理と保護を目的とし、露出鉄筋に塗布するもの
防錆ペーストB	20.874	33.98	防錆ペーストAに比べ、より厳しい塩害環境下に対応するもの
防錆モルタル	4.828	12.97	防錆ペーストAと組み合わせることで、より厳しい塩害環境下に対応するもの
遮塩モルタル	0.621	1.18	修復断面への塩化物イオン侵入抑制および断面修復材として用いるもの

(2) 乾湿繰返し試験

乾湿繰返し試験は、JCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強筋用棒鋼の促進腐食試験方法-乾湿繰返し法」に準拠し、温度 70℃、湿度 90%の湿潤状態で3日間、温度 10℃、湿度 55%の乾燥状態で4日間静置を1サイクルとして、20 サイクル行った。また、開放面以外の面は、エポキシ樹脂、アルミテープを用いて被覆した。

(3) 塩化物イオンおよび亜硝酸イオンの測定

測定に用いる試料は、ドリル径 11.6mm のハンマードリルを用いて、補修部の中心位置で、既設部端面より 1.5cm までを 1 試料、1.5~8.5cm までを 1cm ピッチで 7 試料、8.5~10.0cm までを 1 試料として、9 試料採取した。塩化物イオン量は、電量滴定法⁴⁾により塩化物イオン濃度(%)を測定した。亜硝酸イオン量は、比色法で測定した。測定方法の詳細は、既往の文献を参考にされたい⁵⁾。

3.2 解析条件

解析条件を表-3 に示す。補修材の塩化物イオン吸着量は、表-2 による。拡散シミュレーションは、補修材構成 3 種類 (図-3) に対して、(1)差分法のみ、(2)D 変化モデル、(3)減算モデル、(4)D 変化+減算モデルの 4 ケースを適用し、計 12 パターンの解析を行った。まず、補修材構成 3 種類に対して、亜硝酸イオンの拡散シミュレーションを行った解析結果と実験の亜硝酸イオン分布を比較し、最も残差の二乗和が小さくなる経過年を、塩化物イオン分布の比較に適用した。ここで、井上らによれば、亜硝酸イオンの見掛けの拡散係数は、水-セメント比が同一であれば塩化物イオンのそれと近い値となる⁶⁾。したがって、亜硝酸イオンの見掛けの拡散係数は、表-3 に示す塩化物イオンのそれと等しいものとして解析を行った。また、補修部の塩化物イオン吸着量および見掛けの拡散係数は、公表値を用いることとし、亜硝酸イオンの初期値は、測定値を用いることとした。

表-3 解析条件

解析入力値		
解析深さ	cm	10
解析深さの刻み幅Δx	cm	0.1
解析時間の刻み幅Δt	年	0.0025
$r=\Delta t/\Delta x^2$		0.25
裏面境界		有限
材料の入力物性値		
既設コンクリート部		
初期塩化物イオン濃度	kg/m ³	10.0
見掛けの拡散係数D	cm ² /年	0.700
各補修材の見掛けの拡散係数D _{ad}		
防錆ペーストA	cm ² /年	1.064
防錆ペーストB	cm ² /年	1.064
防錆モルタル	cm ² /年	0.324
遮塩モルタル	cm ² /年	0.810

3.3 実験結果とシミュレーション結果の比較

補修材構成ごとの解析結果を図-4 に示す。なお、比較のため、各図には実験結果を併せて示した。解析値は、試験体の削孔領域にあわせて、該当する要素の塩化物イオン濃度を平均化した値をプロットしている。また、減算モデルを適用した結果について、全塩化物イオンの測定結果と比較するため、要素ごとに減算された数値を足し合わせたあと、平均化した値をプロットしている。D 変化モデルおよび D 変化+減算モデルに適用する D_{ad} について、吸着度 A_r が 0~100% のとき、表-3 に示した見掛けの拡散係数に対し 1.25~0.75 倍、1.5~0.5 倍、1.9~0.1 倍で線形的に変化するよう式(2)に代入して定数 a、b を求めた。そして、それらを用いて D_{ad} を設定した 3 ケースを解析し、最も一致したケースを図示している。

(1) 実験結果

図-4 より、すべての試験体において、開放面からの深さ 5~6cm の間で拡散方向に対して測定値が上昇している。これは、「塩分吸着剤」の吸着効果により、既設コ

ンクリート内部の塩化物イオンが補修材側に移動したことによると考えられる。この傾向は、試験体 R2 で最も大きい。試験体 RS は、吸着量が最も大きい補修材を使用しているが、吹きつけ厚が所定の厚み(5mm)より小さいため、試験体 R1 と同程度となっている。

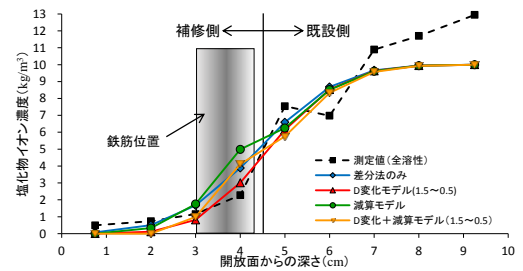
図-5 に各試験体の鉄筋腐食量を示す。腐食量は、各試験体からはつりだした鉄筋を、10%クエン酸二アンモニウム水溶液に24時間浸漬し、20mm間隔で切断した後、乾湿繰り返し試験前後の質量を計測することにより求めた。図-5 より、すべての試験体について、補修部中心位置(図-2左端より300mm位置)における腐食は見られなかった。全塩化物イオンの測定値は、発錆限界を超えていることから、補修材の効果により腐食しなかったと考えられる。

(2) 測定値と解析値の比較

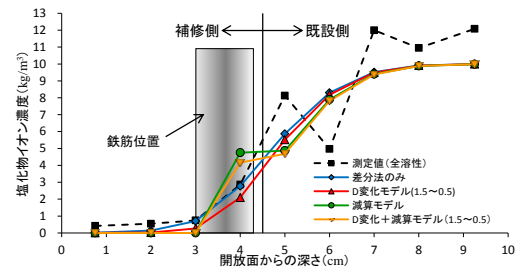
図-4 より、D 変化モデルを適用した場合は、すべての試験体において、開放面からの深さ 1~5cm 位置での塩化物イオン分布と良好な一致を示した。しかし、5~6cm 位置の塩化物イオンの局所的な増加現象は表現できておらず、全体の分布形状は一致していない。ここで、試験体 R1, R2 の補修材構成では、見掛けの拡散係数の変動幅について、1.5~0.5 倍のケースが最も一致していたのに対し、試験体 RS では、変動幅 1.9~0.1 倍のケースが最も良好な一致を示した。これは、試験体 RS に用いられている防錆ペースト B の塩分吸着量が大きく、自由塩化物の吸着にともなう拡散現象への影響が最も大きくなり、実現象においても、防錆ペースト A に比べて拡散係数の変化が大きいためであると考えられる。

減算モデルを適用した解析値は、試験体 R1, R2 で、深さ 4~5cm 位置において、差分法のみ分布に比べて、勾配が緩やかになっている。また、試験体 RS では勾配が逆転している。これは、発生位置は補修材側にずれているが、測定値の深さ 5~6cm 位置における塩化物イオン濃度の上昇傾向と類似した分布である。しかしながら、減算モデルを適用した解析値は、すべてのケースで測定値に比べて全体的に高い値を示した。特に、試験体 RS の補修材構成について、防錆ペースト B を設定した位置における解析値は、測定値との差が大きい。これは、防錆ペースト B の吸着容量が大きく、減算による濃度勾配への影響が長期間で発生したことで、塩化物イオンの拡散が促進されたためである。また、見掛けの拡散係数を一定として計算したため、少ない解析ステップで多くの塩化物イオンが拡散したためと考えられる。

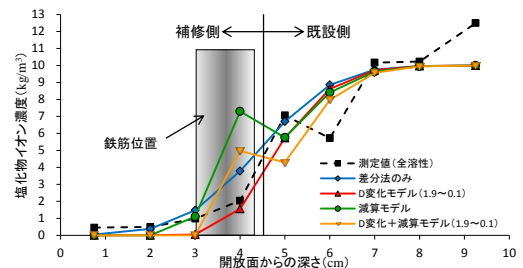
D 変化+減算モデルを適用した解析値は、試験体 R1, R2 で、深さ 4~5cm 位置において、差分法のみ分布に比べて、勾配が緩やかになっている。また、試験体 RS では、勾配が逆転している。これは、発生位置は補修材



(a) 試験体 R1 のシミュレーション結果



(b) 試験体 R2 のシミュレーション結果



(c) 試験体 RS のシミュレーション結果

図-4 シミュレーション結果と測定値

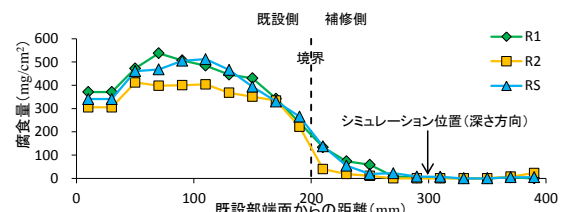


図-5 鉄筋腐食量分布

側にずれているが、測定値の分布と類似している。また、試験体 RS の解析値について、減算モデルに比べて値が小さくなっている。これは、吸着度に応じた見掛けの拡散係数の低下を考慮したことで、拡散する塩化物イオン量が減少したことによると考えられる。

これらのことから、本研究の範囲内では、減算モデルおよび D 変化+減算モデルは、測定値の分布形状を表現することができた。しかしながら、今回提案した解析モデルは、塩化物イオン濃度の測定値の局所的な上昇が発生する位置を表現するに至らなかった。これは、塩化物イオンが瞬間的に吸着されると仮定したことによると考えられる。「塩分吸着剤」が、電気的な引力および濃度勾配により移動してきた塩化物イオンを固定するまでに、

ある程度の時間を要するため、一時的な濃縮現象が発生していると考えられる。したがって、既設部における局所的な塩化物イオン濃度の上昇傾向を、解析的に表現するには、吸着速度を考慮する必要があると考えられ、これは今後の課題である。

4. 再拡散シミュレーションによる防錆環境の将来予測

4章では、実際の断面修復工法を模擬した補修モデルにおける塩化物イオンの再拡散シミュレーションを行い、「塩分吸着剤」を用いた断面修復における防錆環境の構築時期およびその継続性について検討する。解析モデルは、D変化+減算モデルを適用することとし、比較のため差分法のみによる解析も同様に行った。

4.1 解析条件

再拡散シミュレーションを適用する補修モデルを図-6に、解析条件を表-4に示す。各補修モデルは、表面被覆により遮塩されているものとし、塩化物イオンの供給はないものとする。また、既設コンクリートの内在塩分は、供用開始20年後に第一鉄筋背面の位置で 5kg/m^3 、 10kg/m^3 となるよう表面塩化物イオンを設定して、差分法により求めた塩化物イオン分布を各要素における初期値とした。ここで、既設コンクリートの、塩化物イオンの見掛けの拡散係数は $0.7\text{cm}^2/\text{年}$ とし、亜硝酸イオンについても同様とする。補修部における亜硝酸イオンの初期値は、表-2に示した計測値を、各種補修材の物性値は、表-3に示す値をそれぞれ用いることとした。

4.2 解析結果

第一鉄筋背面51mm位置における $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比および塩化物イオンの経年変化を図-7~9に示す。照査位置は、既設コンクリート部からの再拡散をより厳しい条件で評価するため、第一鉄筋のかぶり深さの位置ではなく、第一鉄筋背面の位置とした。また、本研究では、防錆環境について、塩化物イオンに対する亜硝酸イオンのモル比（以下、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比）が0.8以上となった場合に、防錆効果が継続するとして評価を行った。

(1) 補修モデル R1 の解析結果

図-7より、塩化物イオン量 5kg/m^3 の場合、差分法の

みによる解析では、0.77年まで $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比0.8以上となるが、それ以降では0.8以下の値をとりながら補修後20年を経過する。一方、D変化+減算モデルを適用した場合の $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比は、補修後3.05年で最小値0.965となったあと、上昇傾向となり補修後20年以上にわたって防錆環境が継続する。また、塩化物イオン量 10kg/m^3 の場合、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比が0.8以上となるのは、両解析モデルで補修後0.5年以内のみであり、補修後20年間は防錆環境の構築がみられない。補修モデルR1は、塩化物イオン量 2kg/m^3 を上限とした塩害環境が対象の補修材構成であるが、このことから、今回の解析条件では、塩化物イオン濃度 5kg/m^3 まで適用できると考えられる。

(2) 補修モデル R2 の解析結果

図-8より、すべてのケースで補修後1年以内に $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比0.8以上となり、補修後20年以上にわたって防錆環境が継続すると予測される。このことから、補修モデルR2では、より塩害環境の厳しい条件に適用できるといえる。また、塩化物イオン量で比較すると、 10kg/m^3 ケースのほうが、D変化+減算モデルを適用した場合で塩分量は大きく減少し、差分法のみとの差が大きい。これは、塩化物イオン量が多いほど濃度勾配が急となるため、より遠くまで拡散し、既設部から遠い位置の補修材まで吸着効果が現れることで、より多くの塩化物イオンを吸着するためであると考えられる。

(3) 補修モデル RS の解析結果

図-9より、塩化物イオン量 5kg/m^3 の場合、差分法のみによる解析では、補修後9.18年で $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比が最小

表-4 解析条件

解析入力値	
解析深さ	cm 30
解析深さの刻み幅 Δx	cm 0.1
解析時間の刻み幅 Δt	年 0.0025
$r = \Delta t / \Delta x^2$	0.25
表面からの塩化物イオンの供給	なし
裏面境界	有限
既設コンクリート部	
表面塩化物イオン量(鉄筋背面 5kg/m^3 の場合)	kg/m^3 14.51
表面塩化物イオン量(鉄筋背面 10kg/m^3 の場合)	kg/m^3 29.01

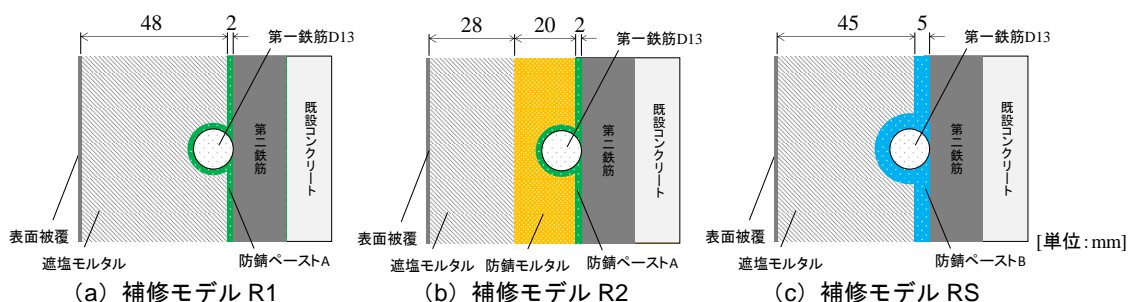
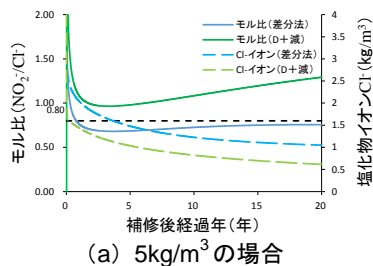
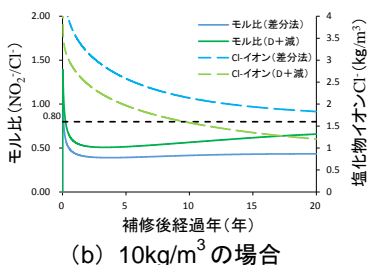


図-6 試験体の補修材構成

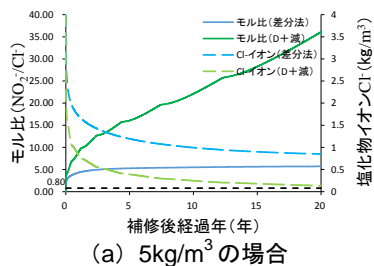


(a) 5kg/m³ の場合

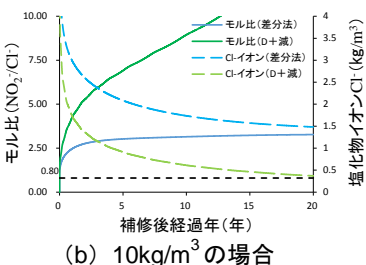


(b) 10kg/m³ の場合

図-7 補修モデル R1 の解析結果

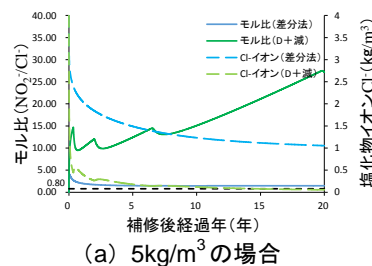


(a) 5kg/m³ の場合

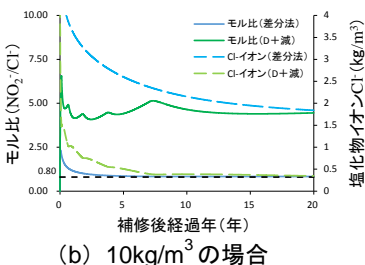


(b) 10kg/m³ の場合

図-8 補修モデル R2 の解析結果



(a) 5kg/m³ の場合



(b) 10kg/m³ の場合

図-9 補修モデル RS の解析結果

値 1.455 となる。その後、ほぼ一定の値をとりながら補修後 20 年以上にわたって防錆環境が継続する。D 変化+減算モデルを適用した場合の NO₂/Cl⁻モル比は、解析直後から 10 を超える値となり、不規則に変化しながら補修後 20 年以上にわたって防錆環境が継続する。この傾向は、10kg/m³ の場合でも同様である。また、10kg/m³ のケースで、差分法のみによる解析を行うと、補修後 8.58 年で NO₂/Cl⁻モル比は最小値 0.834 となる。その後、ほぼ一定の値を示して補修後 20 年以上防錆環境が継続する。このことから、D 変化+減算モデルによる解析を行った場合、差分法のみ比べてより高い防錆効果が構築される結果となる。また、塩化物イオン濃度で比較すると、補修モデル R2 同様、10kg/m³ ケースのほうが差分法のみと D 変化+減算モデルにおける解析値の差が大きい。さらに、塩分濃度 5kg/m³、10kg/m³ の両ケースで補修モデル R2 に比べ、解析モデル間における塩分濃度差が大きい。

5. 結論

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- (1) 減算モデルおよび D 変化+減算モデルは、試験体に見られる塩化物イオンの濃縮現象について、濃縮現象の発生位置は、既設コンクリート側にずれるが、類似した分布形状となった。発生位置のずれは、塩分吸着が瞬間的に行われるものとして解析を行ったため、拡散してきた塩化物イオンを固定するまでに要する時間が未考慮のためであると考えられる。
- (2) 補修モデルによる防錆環境の将来予測において、D 変化+減算モデルを適用した場合、差分法のみ比べて高い防錆環境が構築される予測となる。
- (3) 補修モデル RS において、NO₂/Cl⁻モル比の不規則な変化が顕著に見られた。これは、拡散値の減算を

行ったことと、ほかの補修材に比べて塩化物イオンの吸着容量が大きいものを適用したためであると考えられる。

- (4) 補修モデルによる防錆環境の将来予測において、塩分濃度が高いほど、D 変化+減算モデルを適用した場合の影響が大きい。

参考文献

- 1) 上田洋ほか：塩化物イオン吸着材を用いた鉄筋コンクリート構造物塩害抑制工法の耐久性評価，鉄道総研報告，Vol.26，No.12，pp.11-16，2012
- 2) 木元大輔・神谷清志・立松英信：塩害を受けた道路橋床板の補修に関する一検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1978-1983，2014
- 3) 朝倉啓仁，田口史雄：差分法による数値解析を用いたコンクリート部材の塩分浸透解析，土木学会北海道支部論文報告集，第 61 号，V-15，2005
- 4) 後藤年芳・近藤英彦・野島昭二：硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度迅速測定法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.785-790，2010
- 5) 山田あずさ，西信衛，桑原俊彦，村上祐貴：断面修復後の RC 部材の補修部への塩化物イオンの再拡散，土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，第 33 回，V-2，pp.338-341，2015
- 6) 井上和久・松里広昭・綾田隆史：塗布型防錆剤を用いた鉄筋コンクリートの防食工法に関する研究その 2 コンクリート中への防錆剤の浸透に関する検討，日本建築士学会大会学術講演会研究発表論文集，pp.19-22，1995