

塩分固定化能を有するエポキシ樹脂系ひび割れ注入材の補修効果に関する検討

鹿児島大学大学院 学生会員 ○長井信也
 鹿児島大学 正会員 山口明伸, 審良善和, 小池賢太郎
 日本国土開発株式会社 正会員 横山大輝

1. はじめに

RC 構造物は、建設または供用開始初期に温度ひび割れや乾燥収縮ひび割れなどの初期欠陥が発生することがある。ひび割れは劣化因子の浸透を容易にするため塩害等の劣化を促進させる要因となることから、適切な対策が必要になる。このような背景から、初期ひび割れ発生後の塩害対策として、塩分固定化能を有するナノサイズの硝酸型ハイドロタルサイトをエポキシ樹脂に混合させた塩分吸着型エポキシ樹脂系ひび割れ注入材(以下、HEPと記す)が開発された¹⁾。本研究では、HEPを使用したRC供試体による暴露試験およびモルタル供試体による塩化物イオン透過性試験を行い、HEPの持つ塩分固定化能の評価およびひび割れ補修効果について実験的な検討を行った。

2. 実験概要

2.1 暴露試験の概要

図1に供試体概要図を示す。供試体形状は、100×150×500mmの角柱であり、内部に異形鉄筋(D13)1本をかぶり50mmの位置に埋設した。材齢28日まで封緘養生を行い、二点荷重にて供試体中央部に0.3mmまたは0.5mmのひび割れを導入した。その後、ひび割れ面(暴露面)以外の5面をエポキシ樹脂で被覆した。暴露試験は、海洋暴露場(鹿児島市谷山港)の海上大気中で実施し、所定の期間(3, 6, 12か月)、ひび割れ内部へ塩化物イオン(Cl⁻)を浸透させた後、HEPによるひび割れ補修を実施した。n数は5体である。検討項目は、鉄筋腐食調査として、自然電位を定期的に測定した。また、コンクリート中およびHEP中におけるCl⁻の浸透状況を確認するためEPMAによる面分析を実施した。図2に自然電位の測定位置およびEPMA用コアの採取位置を示す。EPMA用のコアは所定の期間経過後に採取した。測定元素はC, Cl, Si, Caの4元素とし、ひび割れを中心に暴露面から深さ0~20mmの範囲を測定した。

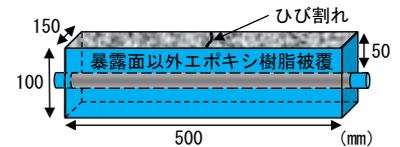
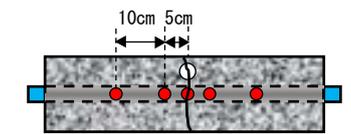


図1 供試体概要図



○ EPMA用コア採取位置(φ25mm)
 ● 自然電位測定点(計5点)
 図2 自然電位の測定点およびEPMA用コア採取位置

2.2 塩化物イオン透過性試験

ひび割れ補修を施したφ100mm×10mmの円柱モルタル供試体(W/C=50%)を用いて、Cl⁻透過性試験(自然拡散試験)を実施した。図3に試験の概要図を示す。供試体に導入したひび割れは0.3mmおよび0.5mmとした。また、ひび割れ注入材はHEPおよびEPの2種類として、それぞれ軟質系および硬質系のEPを用いた。したがって、ひび割れ注入材は計4種類となる。また、比較用として、ひび割れなしの供試体も作製した。n数は3体である。Cl⁻透過性試験は、セルAに0.5mol/Lの塩化ナトリウム水溶液、セルBに0.3mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を注水しCl⁻を自然拡散させた。定期的に両セルの塩化物イオン濃度を測定し、Cl⁻の浸透量からCl⁻の拡散係数を算出した。ここで、拡散係数の算出はFickの第2法則を用い差分法により求めた。

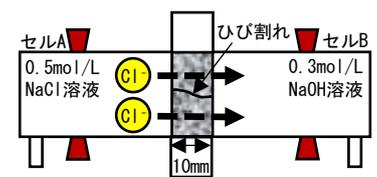


図3 Cl⁻透過性試験概要図

3. 試験結果および考察

3.1 海上大気中暴露試験

図4に暴露3か月後にHEPを注入した供試体の自然電位の経時変化を一例として示す。自然電位は供試体5体の平均とし、供試体名は注入材名-ひび割れ幅-注入時期とする。暴露開始時から自然電位は徐々に卑化し、暴露3か月後に「腐食あり」または「不確定」と判定される値を示した。暴露3か月後以降、各供試体の自然電位は「腐食あり」

キーワード ひびわれ補修, 塩害, エポキシ樹脂, 塩分吸着材

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40 鹿児島大学大学院工学専攻海洋土木工学プログラム

食なし」と判定される-200mV vs. CSE よりも貴な値まで回復した。その後、注入なしの供試体の自然電位は再び卑化し、「不確定」と判定される値となった。一方、HEP を注入した供試体は、貴化以降の自然電位が概ね安定していることが確認できた。これは HEP を注入したことにより、鉄筋表面の Cl⁻を HEP が固定化し、鉄筋を再不働態化させたためであると推察される。

図 5 に暴露 3 か月後にひび割れ注入し、注入後 1 年経過時にコア採取を行ったひび割れ幅 0.3mm と 0.5mm の供試体の EPMA による Cl の元素分布図を示す。左図は SEM 像である。また、上側が暴露面となる。SEM 像の黒色部分がひび割れに HEP が充填されている部分であり、いずれのひび割れ幅においても HEP の充填によりひび割れが閉塞していることが確認できる。また、Cl 濃度分布図から HEP 中の Cl 濃度はコンクリート中より高いことが分かる。ここで、図 5 に示す 1~6 のエリア分析から求めた Cl 濃度を定量した結果を図 6 に示す。なお、図中のエリア 7 は、Cl の固定が確認されない HEP のエリア分析を実施した結果であり、HEP に含有される Cl 濃度となる。エリア 1~6 の全てのエリアにおいてエリア 7 よりも高い Cl 濃度が確認された。これは、ひび割れ内部およびその周辺の自由 Cl が HEP 中に取り込まれ固定化したと考えられる。この固定化量はコンクリート表面からの距離にしたがい低下する傾向を示したが、これはひび割れおよびコンクリート表面からの Cl の拡散によるひび割れ深さ方向の濃度差が影響しているものと推察される。また、ひび割れ部周囲の Cl 濃度が低下している傾向が認められ、コンクリート中の Cl も固定化されている可能性が高い。なお、コンクリート表層付近での固定化量は 0.5mass% 程度であった。

HEP はひび割れ周辺の自由 Cl を固定化する能力を有することが確認できた。したがって、鉄筋表面に蓄積した Cl⁻も同様に HEP が固定化していると予想され、図 3 で示した自然電位の貴化は HEP による Cl⁻の固定化の効果であると考えられる。

3.2 塩化物イオン透過性試験

図 7 に、ひび割れ補修を施したひび割れ幅 0.3mm および 0.5mm の各モルタル供試体の Cl⁻拡散係数を示す。ひび割れ注入によりひび割れを閉塞させることで HEP、EP ともに Cl⁻拡散係数はひび割れなしと同程度となることが確認できた。しかし、ひび割れ幅 0.3mm の HEP 軟質の 1 体の供試体において、Cl⁻拡散係数が若干高くなる傾向が見られた。これは、ひび割れ注入が十分でなく、ひび割れ中に微細な欠陥が生じていたと予想される。したがって、微細なひび割れに対し、HEP を使用する場合には未充填部を作らないように注意する必要があると考えられる。

4. まとめ

HEP による Cl⁻の固定化および鉄筋の再不働態化が確認された。また、HEP の Cl⁻透過性については、通常の注入材として用いられる EP と比べてもイオン透過抵抗性に大きな差異は認められなかった。

参考文献

- 1) 千賀年浩, 山内匡, 横山大輝, 伊達重之: 塩分吸着材を混入したエポキシ樹脂の基本的性質, コンクリート工学年次論文集, vol.37, No.1, 2015

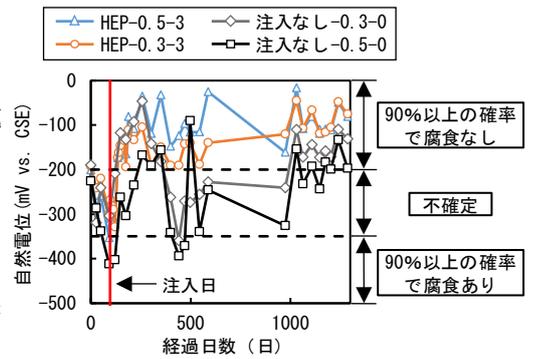


図 4 自然電位の経時変化

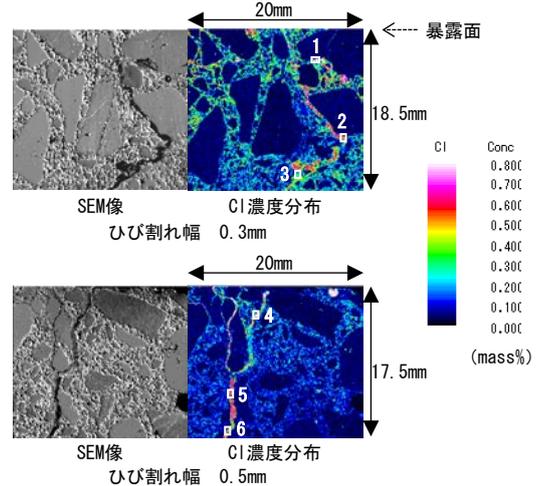


図 5 面分析による Cl 濃度分布

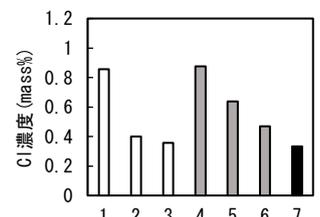


図 6 各エリアの Cl 濃度分布

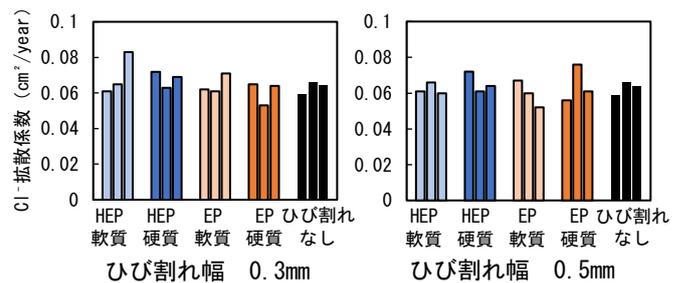


図 7 Cl⁻拡散係数