

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656266

研究課題名(和文) 逆拡散手法を用いたコンクリート中の塩化物イオン除去に関する研究

研究課題名(英文) Reduction of Chloride Ion in RC Structures by Inverse Diffusion Method

研究代表者

睦好 宏史 (MUTSUYOSHI, Hiroshi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60134334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まずイオン交換樹脂を混入したモルタル供試体を用いた塩水浸漬試験により、供試体内部の塩化物量の測定を行った。その結果、イオン交換樹脂の混入量が増加するに伴い、塩化物量も増加することが明らかとなった。次に、予め塩分を混入したモルタルにイオン交換樹脂を混入したモルタルを打ち継ぎした供試体を作製し、塩化物量の測定を行った。その結果、イオン交換樹脂側に移動する現象を明らかにした。以上より、イオン交換樹脂をモルタルに混入し、塩害を受けたコンクリート構造物表面に補修材として用いることにより、除塩が期待できることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Chloride ingress in Reinforced Concrete (RC) structures is the most aggressive phenomenon that causes the corrosion of steel reinforcement bars and warrants untimely expensive repair of the existing structures. To ensure the durability of RC structures, the development of high performing repairing material is immensely expected. This study was carried out using ion-exchange resin admixture to develop a high durable resin mixed cement mortar for reducing the chloride induced corrosion of RC structures. A set of experiments including immersion tests, inverse diffusion tests were conducted to investigate the chloride absorption behavior and corrosion reducing potentiality of resin mixed cement mortar. The test results revealed that, newly developed mortar could effectively reduce chloride concentration at the reinforcement area and restrain the chloride induced corrosion of RC structures.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：逆拡散手法 コンクリート 塩化物イオン除去 耐久性

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート (RC) あるいはプレストレストコンクリート (PC) 構造物の経年劣化による耐久性が社会的な問題となっている。特に、海岸近傍の橋梁や、融雪剤を散布するような所では鋼材が腐食して劣化が進み、補修・補強が行われたり、場合によっては橋梁の架け替えが行われている。塩害を受けた既設コンクリート構造物では、コンクリート内部に多量の塩分が浸透していることが明らかにされており、これを排出する方法として電気化学的脱塩工法が一般的に用いられている。本工法では、比較的大がかりな装置を必要とし、さらに PC 構造物の場合には、通電により発生する水素ガスによる水素脆性の問題、ならびにアルカリ骨材反応を促進する懸念等が指摘されている。一方、塩化物イオンを化学的に吸着する**陰イオン交換樹脂(以下、樹脂)**をコンクリート中に用いて、外部から浸透してくる塩化物イオンを吸着する手法について研究代表者により研究されてきた。しかし、樹脂を混入したモルタル供試体を用いた塩分浸漬実験から、樹脂を多く混入するほど、かえって多くの塩化物イオンが浸透することが実験により確かめられた。

本研究はこの成果を逆に活用して、塩分を含んだコンクリートに樹脂を混入したモルタルを打設することにより、コンクリート中の塩分を樹脂混入したモルタルへ移動(逆拡散)させようとする新しい発想を提案し、塩害を受けた実構造物の脱塩工法に適用することに挑戦しようとするものである。

2. 研究の目的

本研究は、塩害を受けた既設コンクリート構造物内部に塩化物イオンが存在する場合、コンクリート表面あるいはかぶり部分のコンクリートをはつり、陰イオン交換樹脂を混入したモルタルを打設することにより、逆拡散現象により、内部の塩化物イオンをコンクリート表面に移動させて脱塩を行うという画期的な手法を研究・開発するものである。これにより、既設コンクリート構造物の長寿命化を図ろうとするものである。このために、陰イオン交換樹脂の最適混入量、セメントとの適合性、塩化物イオンの逆拡散メカニズム等を実験・解析等により明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は以下について行う。1) 樹脂を混入したモルタル供試体について、塩水浸漬実験を行い、モルタル中の塩化物イオン濃度、樹脂による塩化物イオン吸着量を深さ方向に定量的に明らかにする。実験要因として、樹脂混入量、セメントの種類(普通ポルト、アルミナ、高炉セメント)、浸漬期間とする。2) 上記と同様の供試体に鉄筋を挿入したものをを用いて浸漬実験を行い、鉄筋の腐食程度を明らかにする。3) 塩化物イオンを含むコンクリート供試体に樹脂を混入したモルタル供試体を打ち継ぎ、逆拡散現象による脱塩実験を行い、その効果を明らかにするとともに、Fick の拡散方程式に基づいて、解析的にもこの現象を明らかにする。4) 塩害を受けた実 RC 構造物に対する適用性について検討し、試験施工を行う。

4. 研究成果

樹脂を混入したモルタルを補修材として適用する検討実験として、塩化物イオンの逆拡散現象に着目し実験を行った(図-1)。この現象に対する樹脂混入モルタルの効果を検証するために図-2のような供試体を作製した。塩分を含んだモルタルに樹脂混入モルタルを打ち継ぎし、塩分含有モルタル領域(以下、Cl 領域)から樹脂混入モルタル領域(以下、樹脂領域)への塩化物の移動を検証した。供試体の種類は表-1に示すように4種類である。セメントは、早強ポルトランドセメントおよび補修材として主に使用されているポリマーセメントを使用することとした。電位差滴定法では、測定位置 0~15, 15~30mm は樹脂混入モルタル、30~45, 45~60mm は塩分含有モルタルとなるようにサンプルを採取し、各位置での全塩化物量を測定した。また、EPMA 法では、供試体の中心部分を切り取り、画像分析を行うことによって連続的な塩化物分布の比較を行った。

図-3に電位差滴定法による実験結果を示す。実験結果より、樹脂を混入した供試体において樹脂領域(0~30mm)の全塩化物量が増加しており、また Cl 領域の境界部分(30~45mm)において、時間の経過とともに減少していることが確認された。よって僅かではあるが塩化物の移動傾向が確認され、構造物への補修材として適用出来る可能性が明らかとなった。また、EPMA 法による早強ポルトランドセメントの実験結果を図-4に示す。連続的な塩化物分布から得られる塩化物濃度は、Cl 領域：(樹脂未混入供試体 0%) > (樹脂混入供試体 3%)、樹脂領域：(樹脂未混入供試体 0%) < (樹脂混入供試体 3%)と確認された。また、境界域においても、樹脂混入供試体よりも未混入供試体の方が境界面を鮮明に判断できることが確認された。以上のことより、イオン交換

樹脂を混入することで、塩化物イオンの逆拡散効果が生じることが明らかとなった。また、ポリマーセメントにも同様の傾向が示された。

以上より、本研究成果をまとめると以下のようなものである。

塩水浸漬試験の結果より、樹脂を混入したモルタルの全塩化物量は、樹脂混入量が増加するほど塩化物量も増加することが明らかとなった。この現象を利用して、逆拡散実験を行った。その結果、塩化物の樹脂混入モルタル方向への移動が確認された。すなわち、構造物に樹脂を混入したモルタルを補修材として適用出来る可能性が明らかとなった。

表-1 供試体種類

供試体	セメント	樹脂	含有塩分量
HPC-0%	早強ポルトランドセメント	無(0%)	2.5 kg/m ³
HPC-3%		有(3%)	
PC-0%	ポリマーセメント	無(0%)	
PC-3%		有(3%)	

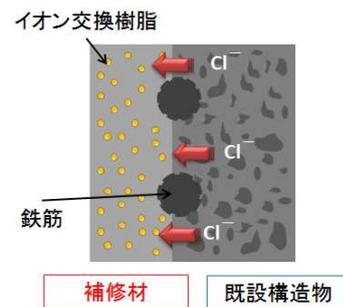


図-1 補修材としての適用概念図

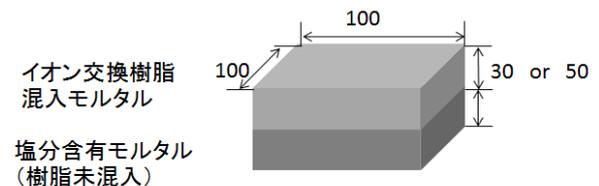


図-2 供試体概要

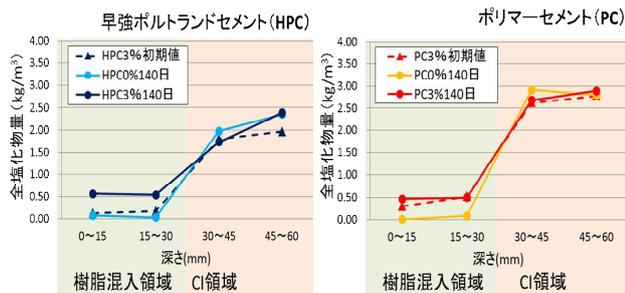


図-3 全塩化物量(逆拡散試験)

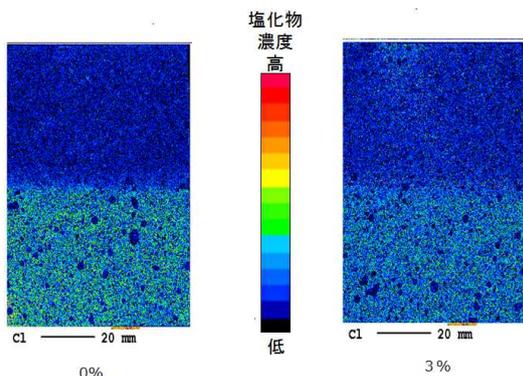


図-4 EPMA 結果(早強)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

①真田修・睦好宏史・浅本晋吾・井上善仁：イオン交換樹脂を混和したモルタルの塩化物イオン拡散特性に関する研究，コンクリート工学論文集，Vol. 24, No. 3pp. 123-134, 2013, 査読有り

②真田修・睦好宏史・Haque Mohammad Najmol：イオン交換樹脂混入モルタルの塩化物拡散特性および鋼材腐食速度に与える影響，プレストレストコンクリート工学会第 22 回シンポジウム論文集，pp. 229-234, 2013, 査読有り

③真田 修，MP. C. M. Gunasekara，井上喜仁，睦好宏史：イオン交換樹脂による塩化物イオンの拡散抑制効果に関する実験的研究，Vol. 34, No. 1, コンクリート工学年次論文集pp. 742-747, 2012, 査読有り

④真田 修，井上喜仁，角田 敦，睦好宏史：P C 構造物の耐久性向上に向けたイオン交換樹脂混入材料に関する実験的研究，第 2 1 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，pp107-113, 2012, Vol. 21, 査読有り

[学会発表] (計 3 件)

①Osamu Sanada, Chamila M. Gunasekara, Hiroshi Mutsuyoshi and Nobuhito Inoue: Experimental Study on New Repair Mortar with Ion-Exchange Resin Admixture to Absorb Chloride in Concrete Structures, ICDC, June 18 2012 (トロントハイム(ノルウェー) Clarion Hotel & Congress)

②Chamila M. Gunasekara, Hiroshi Mutsuyoshi, Osamu Sanada and Atsushi Sumita: High Durable Concrete Using High Strength Concrete and Ion-Exchange Resin Against Chloride Attack, ICDC, June 18 2012 (トロントハイム(ノルウェー) Clarion Hotel & Congress)

③井上喜仁，睦好宏史，真田 修：イオン交換樹脂を混入したモルタルの逆拡散減少に関する研究，土木学会第 6 7 回年次学術講演概要集，2012年9月5日，名古屋大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

睦好 宏史 (MUTSUYOSHI, Hiroshi)
埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60134334

(2) 研究分担者

浅本 晋吾 (ASAMOTO, Shingo)
埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：50436333

(3) 連携研究者

()

研究者番号：