

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06171

研究課題名(和文) マクロセル腐食の抑制効果に優れたRC構造物用断面修復材料及び工法の開発

研究課題名(英文) Development of Patching Materials and Techniques Having Superior Macrocell Corrosion-Inhibiting Effect for RC Structures

研究代表者

出村 克宣 (DEMURA, Katsunori)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：10155484

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：鉄筋コンクリート構造物の断面修復材料として用いるための、カルシウム系防せい剤である「塩化物イオン固定化材」を混入したポリマーセメント系鉄筋防せいペースト及び断面修復モルタルが優れた塩化物イオン固定化能力を有していることを見出している。又、それらを用いた断面修復工法はマクロセル腐食抑制効果を発揮し、犠牲陽極材を併用したハイブリッド型断面修復工法によりその効果の向上が期待されることを明らかにしている。

研究成果の概要(英文)：Polymer-based cementitious rust-inhibiting paste for reinforcing bar and patching mortar containing calcium-based rust-inhibitor have superior Cl<sup>-</sup> fixing performance for using as the patching materials of reinforced concrete structures. The patching techniques using those materials give the superior macrocell corrosion-inhibiting effect, and such effect may be improved by combined use of sacrificial anode material.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：マクロセル腐食 ポリマーセメント系断面修復材料 促進防せい性試験 屋外暴露試験 犠牲陽極材

### 1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート構造物の断面修復において、補修箇所と未補修箇所との境界領域に埋設された鉄筋にマクロセル腐食が生じることが知られている。これは、未補修箇所(既設コンクリート部)と補修箇所(補修材料部)の電気化学的性質が異なることに起因して、境界領域を挟んで局部電池が形成され、未補修箇所の鉄筋が腐食する現象であり、補修に伴う腐食(Repair-Induced Corrosion)と称される。鉄筋コンクリート構造物の断面修復においては、このようなマクロセル腐食の発生を抑制する補修材料及び工法が求められている。

申請者はこれまで、鉄筋コンクリート構造物の断面修復において、カルシウム系防せい剤である「塩化物イオン固定化材」は、鉄筋防せい剤及び断面修復モルタル用混和剤として有用であることを明らかにし、鉄筋コンクリート構造物の断面修復時のマクロセル腐食の抑制に寄与する可能性を見出している。

しかし、マクロセル腐食が抑制される断面修復材料を使用した場合であっても、その後の長期にわたる鉄筋腐食の防止には、鉄筋の自然電位の制御が求められる。そこで、金属材料の腐食制御に適用される犠牲陽極法を取り入れ、塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメント系断面修復材料並びに犠牲陽極材を併用するハイブリッド型断面修復工法の提案を試みている。

### 2. 研究の目的

本研究では、塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメント系断面修復材料並びに犠牲陽極材を併用したハイブリッド型断面修復工法を開発し、断面修復箇所の模擬供試体を用いた促進防せい性試験及び屋外暴露試験により、補修に伴うマクロセル腐食の抑制効果に優れた鉄筋コンクリート構造物(RC構造物)の断面修復材料及び工法としての性能を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、RC構造物の断面修復箇所の鉄筋を塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメントペースト(鉄筋防せいペースト)で処理した後、塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメントモルタル(断面修復モルタル)で埋め戻すことを基本とし、次のことについて実験的研究を行っている。

(1) 断面修復材料(鉄筋防せいペースト及び断面修復モルタル)に固定化される塩化物イオン量を定量分析して、塩化物イオン固定化材の塩化物イオン固定化能力を解明する。

(2) 断面修復材料及びそれと犠牲陽極材を併用したハイブリッド型断面修復工法を適用して、基材コンクリートと断面修復部から

成る RC 構造物の断面修復箇所の模擬供試体を作製し、促進防せい性試験及び屋外暴露試験により、断面修復材料のマクロセル腐食抑制効果及びハイブリッド型断面修復工法の性能を評価して、補修に伴うマクロセル腐食の抑制効果に優れた鉄筋コンクリート構造物の断面修復材料及び工法を提案する。模擬供試体の形状寸法を図-1に示す。なお、犠牲陽極材を用いる場合には、棒鋼の模擬供試体打継部側に結線し、基材コンクリートに埋め込んだ。

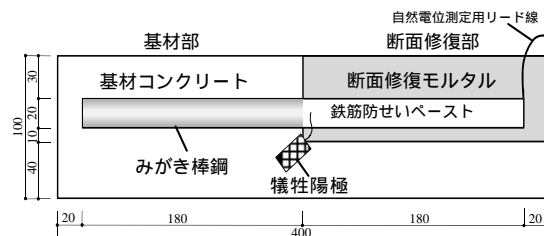


図-1 模擬供試体の形状寸法

なお、試験に用いた試験用棒鋼及び犠牲陽極材、鉄筋防せいペースト、断面修復モルタル並びに模擬供試体の基材コンクリートの使用材料及び基本調合は次の通りである。

- (1) 試験用棒鋼  
みがき棒鋼用一般鋼材 SGD3( 20 × 360mm )
- (2) 犠牲陽極材  
内部挿入型亜鉛含有犠牲陽極材
- (3) 鉄筋防せいペースト

#### 【使用材料】

早強ポルトランド、再乳化形粉末樹脂、細骨材(乾燥けい砂)、防せいペースト改質剤並びに、以下の防せい性混和材。なお、防せい性混和材については、結合材(セメント)に対して置換又は添加した。

- ・塩化物イオン固定化材：CRI
- ・亜硝酸ヒドロカルマイト：NHC
- ・亜硝酸リチウム溶液：LiNO<sub>2</sub>

#### 【基本調合】

結合材：細骨材 = 1 : 0.9 (質量比)  
 ポリマー結合材比 10%  
 CRI 置換率：0, 1, 3, 5, 7%  
 NHC 置換率：15, 17%, LiNO<sub>2</sub> 添加率：11%

- (4) 断面修復モルタル

#### 【使用材料】

鉄筋防せいペーストと同様の使用材料に加え、断面修復モルタル改質剤及び以下の混和材。なお、混和材については、セメントに対して置換し、それを結合材とした。

- ・フライアッシュ：FA
- ・高炉スラグ微粉末：BFS

#### 【基本調合】

結合材：細骨材 = 1 : 2.0 (質量比)  
 ポリマー結合材比 3%  
 CRI 置換率：0, 1, 3, 5, 7%  
 NHC 置換率：11%, LiNO<sub>2</sub> 添加率：10%  
 FA 置換率：25%, BFS 置換率：25%

- (5) 基材コンクリート

#### 【使用材料】

普通ポルトランドセメント, 細骨材(川砂), 粗骨材(砕石), AE 減水剤, 塩化ナトリウム試薬(特級)

【基本調査】

水セメント比 65%, s/a46%, スランプ 18 ± 2.5cm, 空気量 5.0 ± 1.0cm, 塩化物イオン量 3, 5, 10%

4. 研究成果

(1) 塩化物イオン固定化材の塩化物イオン固定化特性

図-2 には鉄筋防せいペースト, 図-3 には断面修復モルタルの塩化物イオン固定化量を示す。CRI 置換率の増加に伴って, 鉄筋防せいペースト及び断面修復モルタルの塩化物イオン固定化量とも増大する傾向にあり, CRI 置換率 3%のもの固定化率は, その性能に優れる NHC と同程度である。しかし, NHC 置換率は鉄筋防せいペーストで 17%, 断面修復モルタルで 11%であり, それより少量使用の CRI が優れた固定化特性を有するといえる。

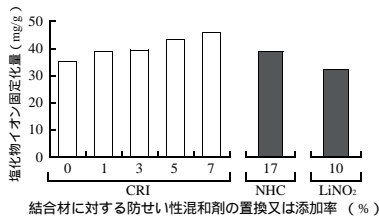


図-2 鉄筋防せいペーストの塩化物イオン固定化量

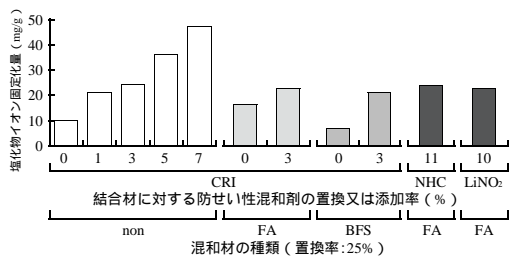


図-3 断面修復モルタルの塩化物イオン固定化量

(2) 促進防せい性試験及び屋外暴露試験により, 断面修復材料のマクロセル腐食抑制効果及びハイブリッド型断面修復工法の性能を評価

促進防せい性試験による断面修復材料, すなわち, 鉄筋防せいペースト及び断面修復モルタルのマクロセル腐食抑制効果の評価においては, RC 断面修復部模擬供試体を図-4のような条件で屋外に暴露して促進防せい性試験とし, 屋外暴露試験は北海道の沿岸部で実施している。

表-1 には, 基材部 Cl<sup>-</sup>量 10kg/m<sup>3</sup>の供試体



図-4 断面修復箇所の模擬供試体

の促進防せい性試験 2 年後の外観観察結果を示す。なお, 記号は, 「鉄筋防せいペースト - 断面修復モルタル」の種類を表し, N は CRI 無混入, Ca は CRI 混入を表している。なお, Ca には, セメントに対する置換率 25%として FA が混和されている。N-N 及び Ca-N 供試体基材部にはひび割れが認められ, Ca-Ca 供試体基材部は健全である。ひび割れは棒鋼に沿って発生しているため, 棒鋼の基材部と断面修復部のマクロセル腐食に起因すると推察され, CRI 混入断面修復モルタルはマクロセル腐食抑制効果を有するものと推察される。なお, 供試体の種類にかかわらず, 犠牲陽極材併用のものではひび割れは認められず, 犠牲陽極材併用の効果が認められる。

表-1 基材部 Cl<sup>-</sup>量 10kg/m<sup>3</sup>の供試体の促進防せい性試験 2 年後の外観

供試体の種類	犠牲陽極材の有無	
	無	有
N-N		
Ca-N		
Ca-Ca		

□: 基材部    ■: 断面修復部    0.05-0.10mm    0.10-1.0mm

図-5 には, 促進防せい性試験 3.5 年後の供試体中の棒鋼の自然電位及び発せい率を示す。自然電位は Ca-Ca 供試体及び SC 供試体で差が認められるものの, それらの棒鋼の発せい率は同程度であり, CRI は NHC と同程度のマクロセル腐食抑制効果を有するものと推察される。なお, SC 供試体とは, NHC を混入した断面修復モルタルを用いたものである。

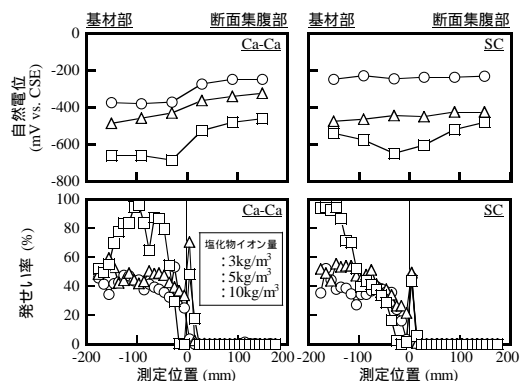


図-5 促進腐食試験 3.5 年後の供試体中の棒鋼の自然電位及び発せい率

図-6 には, 促進防せい性試験 2 年後の犠牲陽極材併用供試体中の棒鋼の自然電位を示す。なお, 自然電位は犠牲陽極材からの防食電流の影響を受けるものと考えられることから, 犠牲陽極材を接続した状態並びに, 犠

性陽極材と棒鋼とを絶縁した状態で自然電位を測定している。供試体の種類にかかわらず、棒鋼に犠牲陽極材を接続した状態での自然電位に比べて、絶縁時のそれは100mV程度貴な電位を与える。

図-7には、屋外暴露4年後の供試体中の棒鋼の自然電位を示す。なお、犠牲陽極材を併用した屋外暴露試験用供試体においては、犠牲陽極材と棒鋼を絶縁できないため、上述の結果を踏まえて自然電位を補正した。いずれの供試体においても、犠牲陽極材の併用によって未併用のものに比べて棒鋼の自然電位は貴な値を与える。

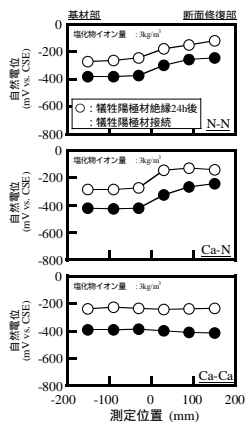


図-6 促進腐食試験 2年後の犠牲陽極材併用供試体中の棒鋼の自然電位

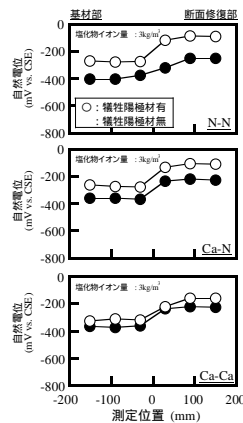


図-7 屋外暴露4年後の供試体中の棒鋼の自然電位

以上のことから、CRIはNHCに比べて優れたCl<sup>-</sup>固定化特性を有するものと推察される。又、CRI混入鉄筋防せいペースト及びFA混和のCRI混入断面修復モルタルを用いた断面修復工法はマクロセル腐食抑制効果をも有し、犠牲陽極材を併用したハイブリッド型断面修復工法によりその効果は更に向上すると考えられる。

### 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3件)

岡田明也, 渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: RC構造物の断面修復部を模擬した供試体の屋外暴露試験による防せい性混和材の性能に関する一考察, 日本建築学会技術報告集, 査読有, Vol.24, No.57, pp.523-528, 2018.6

渡辺宗幸, 岡田明也, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメントモルタルの強さ及び塩化物イオン浸透性状, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.38, No.1, pp.1527-

1532, 2016.6

渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメントモルタルの基礎的性質, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.37, No.1, pp.1177-1182, 2015.6

[学会発表](計6件)

岡田明也, 渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材を用いた断面修復材料のマクロセル腐食抑制効果に関する一考察, 2017年度日本建築学会大会(中国), 発表日: 2017.8.31~9.3, 場所: 広島工業大学

岡田明也, 渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材を用いた断面修復材料の腐食抑制効果に関する研究, 第80回日本建築学会東北支部研究報告会, 発表日: 2017.6.17~6.18, 場所: 由利本荘市文化交流会館カダール

岡田明也, 渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材を用いた断面修復モルタルの遮塩性と防せい性の評価, 2016年度日本建築学会大会(九州), 発表日: 2016.8.24~8.26, 場所: 福岡大学

岡田明也, 渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材を用いた断面修復モルタルの遮塩性と防せい性, 第79回日本建築学会東北支部研究報告会, 発表日: 2016.6.18~6.19, 場所: 東北大学工学部人間・環境教育研究棟

渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメントモルタルの防せい性, 2015年度日本建築学会大会(関東), 発表日: 2015.9.4~9.6, 場所: 東海大学

渡辺宗幸, 齋藤俊克, 出村克宣: 塩化物イオン固定化材混入ポリマーセメントモルタルの防せい効果, 第78回日本建築学会東北支部研究報告会, 発表日: 2015.6.20~6.21, 場所: 山形大学

### 6. 研究組織

(1)研究代表者

出村 克宣 (DEMURA, Katsunori)  
日本大学・工学部・教授  
研究者番号: 10155484

(2)研究分担者

齋藤 俊克 (SAITO, Toshikatsu)  
日本大学・工学部・専任講師  
研究者番号: 70547819

(3)研究協力者

渡辺 宗幸 (WATANABE, Muneyuki)