

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 27 日現在

機関番号：33302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560170

研究課題名(和文) 安全な社会基盤を再生するための複合材料工学に基づく補修方法開発

研究課題名(英文) Development of repair method based on composite material engineering to remake safe social infrastructure

研究代表者

宮里 心一 (Miyazato, Shinichi)

金沢工業大学・環境・建築学部・教授

研究者番号：60302949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：日本では、コンクリート構造物の老朽化が進んでおり、安全な社会基盤へ再生すべく、補修が施されている。その中で本研究では、最も実績の多い「断面修復工法」に着目し、高い付着性と絶縁性の両者を満足する接着材料の開発に、土木、機械および電気材料の観点からアプローチした。特に、フィラー分散型樹脂を母材と補修材に塗布した供試体を試作し、付着強度と電気抵抗を測定した。その結果、無塗布のケースと比較して、約70%の腐食速度に低減することを明らかにできた。

研究成果の概要(英文)：In Japan, the aging concrete structures is increasing, and repaired to remake a safe social infrastructure. In this study, "patch repair method" with many achievements was intended, and the high adhesive and high insulative adhesive material was tried to develop from the viewpoint of material science under civil engineering, mechanical engineering and electrical engineering. Particularly, the specimen which coated filler dispersion type resin in a base concrete and repair material was created, and a bond strength and electrical resistance were measured. As a result, it can be confirmed that the corrosion rate decreases at approximately 70%, in comparison with a case of no application.

研究分野：工学

キーワード：社会基盤 維持管理 補修 付着性 絶縁性 エポキシ樹脂 フィラー 異分野工学融合

### 1. 研究開始当初の背景

道路、鉄道、港湾などは、市民生活や経済活動に欠かせない社会システムの基盤である。我が国では、1960年代の高度経済成長期に、多くのコンクリート構造物が建造された。しかし50年間が経過した現代、複数の構造物で劣化や老朽化が進んでいる。この危険な状態を回避し、安全な社会基盤へ回生すべく、補修が施されている。

その中で研究代表者は、最も実績の多い補修方法である「断面修復工法」(図1)に着目し、研究実績を挙げてきた。その成果として、A.母材と補修材の間の付着が強いほど部材の耐荷性は向上する、B.母材と補修材の間の電気抵抗が高いほど耐久性は向上する、ことを個別に明らかにした。しかし、一般的な異種材料の付着部において、Aの高い付着性と、Bの高い絶縁性は、相反する。

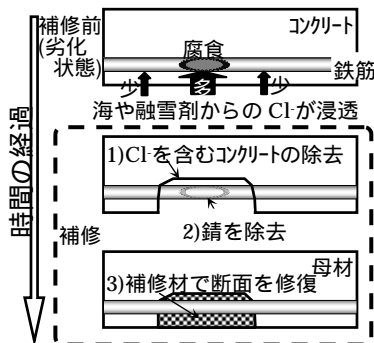


図1 断面修復工法の流れ

ここで、機械材料工学では、高い付着性を有する材料の開発が進められてきた。また、電気電子材料工学では、低い電気抵抗を有する材料の開発が進められてきた。ただし、AとBの両性能を意図して併せ持つ付着方法は、未だ開発・実用されてない。

### 2. 研究の目的

劣化・老朽化した鉄筋コンクリート構造物を断面修復工法により補修する際、母材と補修材の間を強固に接合させ、かつ高い電気抵抗を付与させる付着方法を開発する。

### 3. 研究の方法

#### 研究のフロー

はじめに、機械材料工学の見地に基づき、高い強度特性を有する複合材料を提案した。同時に、電気電子材料工学の見地に基づき、高い電気抵抗率を有する複合材料を提案した。次に、それらのアイデアを統合して成形板を作製し、強度や電気抵抗率を評価した。その際、1)樹脂中へフィラーを均一に分散させる混練技術の開発、2)フィラーへの表面処理技術の開発、3)樹脂とフィラーの種類と添加量の最適解の選定、に取り組んだ。さらに、土木工学の見地に基づき母材と補修材の間、上記で開発された材料を界面層として設

置させた試験体を用い、付着力と電気抵抗が共に高い補修方法を開発した。

#### 機械材料工学からのアプローチ

高い力学特性をもつ微粒子混練樹脂の創製および吸水物性の評価を目的として、エポキシ樹脂板、マイカパウダー5[vol%]混練樹脂板、ガラスビーズ5[vol%]混練樹脂板、アクリルゴム微粒子含有樹脂板を作製し、3点曲げ試験、吸水試験、破面観察を行なった。曲げ強度はいずれの微粒子を混練した場合も、樹脂単体の曲げ強度である133[MPa]に比べ60%~75%の値を示した。一方、吸水後の曲げ強度評価では、飽和吸水後の樹脂単体の曲げ強度114[MPa]に対し、飽和吸水後のマイカパウダー混練樹脂の曲げ強度は100[MPa]を示し、樹脂単体と同等であった。一般に微粒子界面は吸水により劣化し、破壊の起点となるため曲げ強度の低下を招く。これに対し、小粒径および薄片形状のマイカパウダーが樹脂中に分散されている場合、微粒子の体積に対して樹脂と微粒子の界面が大きく、樹脂の体積膨張による微粒子の拘束効果が吸水に伴う界面劣化の影響を上回り、強度低下が生じにくい構造となることが考えられる。以上より、薄片形状の微粒子を樹脂中に分散混練することにより、吸水による強度低下を抑制した、新たなコンクリート補修工法に寄与する材料を開発できた。

#### 電気電子材料工学からのアプローチ

エポキシ樹脂からなる複合材料の電気絶縁性向上をもたらすフィラーを検討した。ガラスビーズ(ソーダガラス)をフィラーとした場合、樹脂単体の抵抗率が約 $2.7 \times 10^{13}$  cmであるのに対し、シランカップリング処理した同フィラーを4wt%混練した複合材料のそれは $3.4 \times 10^{13}$  cmとなった。また、未処理の同フィラーを25wt%混練した複合材料の抵抗率は、樹脂単体に比較し10倍近く増大した。ソーダガラスの抵抗率は $10^{13}$  cm以上であり、樹脂と同等かそれ以上である。ガラスビーズの分散により、これからなる高抵抗ドメインや樹脂/フィラー界面が形成され、電子移動を阻害し高抵抗化に繋がったと考えられる。また、抵抗率の増大は、マイカを10wt.%混練した複合材料でも確認された。

さらに、電気絶縁性と力学特性の同時改善を期待し、アクリルゴムをフィラーとする複合材料の電気特性を検討した。同フィラーの抵抗率は $10^8 \sim 10^{10}$  cm程度であり、樹脂に比較し低い。ただし、フィラーの繋がりが複合材料の両端を橋絡させる導電性パーコレーションパスへと発達しないように充填率を制御した結果、複合材料は $10^{13}$  cmオーダの抵抗率を維持した。電流Iと抵抗率Rは、抵抗Rを介して $I \propto R^{-1}$ の関係にあることから、本研究で開発した高抵抗複合材料を補修材に適用することにより、腐食電流の低減効果を期待できる。

土木材料工学からのアプローチ  
(腐食抑制効果の評価)

多量の塩分を含有する母材部と、塩分を含有しない補修部を接合した供試体を作製した。モルタルの水セメント比は 50%とし、母材部には 2本の鉄筋要素を、一方で補修部には 1本の鉄筋要素を埋設した。また、母材部と補修部の間の打継面に、マイカパウダーをフィラーとして混入したエポキシ樹脂を塗布した。この材料の選定理由は、この検討結果で、高い付着性と高い絶縁性の両者のバランスが適切であったためである。この供試体を、4週間に亘り湿潤気中暴露を行った後に、母材と補修材の内部鉄筋間の電気抵抗と、腐食電流を測定した。

実験ケースを表 1 に示す。エポキシ樹脂の塗布の有無およびフィラー混入の有無の計 3 水準を設けた。なお、エポキシ樹脂の塗布量は、何れも 100g/m<sup>2</sup>である。

表 1 実験ケース

エポキシ樹脂 ケ-ス	無	有	
		単体 (微粒子なし)	微粒子混入
ブランク	-	-	-
A	-	-	-
B	-	-	-

電気抵抗の測定結果を図 2 に示す。これによれば、ブランクと比較すると、ケース A および B において、電気抵抗が高くなることを確認できた。これは、打設面にエポキシ樹脂を塗布したことによるためと考えられる。ただし、エポキシ樹脂単体のケース A と比較してフィラーを混入したケース B において、電気抵抗は低くなった。これは、フィラーに表面処理が施されておらず、エポキシ樹脂とフィラーとの界面に水分が入り込み、電気の導通が生じたためと考えられる。したがって、この検討を踏まえれば、フィラーに表面処理した場合、さらに高い電気抵抗を得られると推察される。

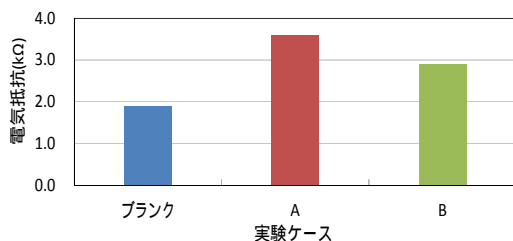


図 2 電気抵抗

総腐食電流密度の測定結果を図 3 に示す。これによれば、ブランクと比較すると、ケース A および B において、総腐食電流密度が低減することを確認できた。また、既往の補修工法に対する効果を評価するため、文献 1)

で検討されたシラン系含浸材を用いたケース C と比較すると、ケース A においては低減し、ケース B においては同等であった。

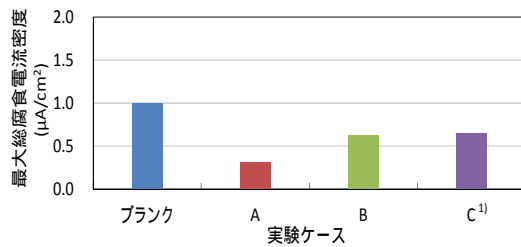


図 3 最大総腐食電流密度

以上の結果を総じた図 4 によれば、電気抵抗が高いほど、最大総腐食電流密度は低減することを確認できた。

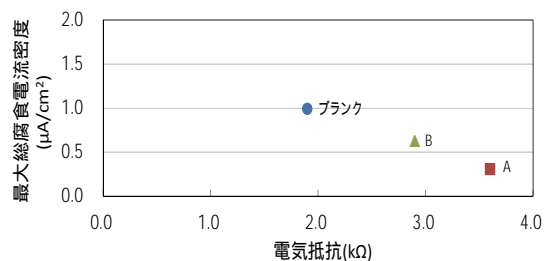


図 4 最大総腐食電流密度と電気抵抗の関係

土木材料工学からのアプローチ  
(付着強度の評価)

基盤となるコンクリート平板(300×300×60mm)の表面に対し、表 1 に示す水準で、エポキシ樹脂を塗布した。次に、水セメント比が 50%のモルタル(300×300×10mm)を打ち継ぎ、1週間に亘り養生した。その後、任意の 3 箇所にグラインダーで切れ込み(40×40×15mm)を入れ、40×40mm のアタッチメントを装着した。硬化後に、建研式付着強度試験器を用いて、JIS A 6909 を参考に付着強度を測定した。

図 5 に付着強度の測定結果を示す。これによれば、ブランクと比較すると、ケース A および B において、付着強度は若干低下した。ただし、その破壊箇所は母材内部であり、十分な付着性を有すると判断した。なお、シラン系含浸材を塗布したケース C では、撥水効果によって付着強度が低下しており、ケース A および B の半分程度であった。

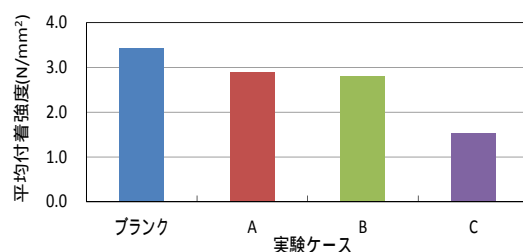


図 5 平均付着強度

<参考文献>

- 1)小松誠哉ほか：シラン系表面含浸材を用いた打継のマクロセル腐食抑制技術の開発，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.66，pp.311-312，2011

4．研究成果

母材と補修材の間を強固に接合させ、かつ高い電気抵抗を付与させる付着方法を開発できた。これを老朽化した社会基盤コンクリートの断面修復に対して適用することにより、耐荷性にも耐久性にも優れた、安全な社会基盤へ回生させ延命できることが期待される。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

畑中達郎、宮里心一、小松誠哉、堀江一志、中島孝之、含浸材と断面修復材を併用したマクロセル腐食低減工法、日本材料学会学術講演論文集、2013年5月19日、pp.325-326、東京工業大学(東京都・大田区)

畑中達郎、宮里心一、水谷真也、含浸材の塗布量がマクロセル腐食低減工法の効果に及ぼす影響、日本学術会議材料工学連合講演会講演概要集、2013年11月25日、pp.869-870、京都テルサ(京都府・京都市)

畑中達郎、宮里心一、エポキシ樹脂の塗布による断面修復後のマクロセル腐食対策、土木学会年次学術講演会講演概要集、2015年9月、発表確定、岡山大学(岡山県・岡山市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし。

6．研究組織

(1)研究代表者

宮里 心一(MIYAZATO, Shinichi)  
金沢工業大学・環境・建築学部・教授  
研究者番号：60302949

(2)研究分担者

斉藤博嗣(SAITOU, Hiroshi)  
金沢工業大学・工学部・講師  
研究者番号：70367457

河野昭彦(KOUNO, Akihiko)

金沢工業大学・工学部・講師  
研究者番号：40597689