

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 15 日現在

機関番号：52501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420444

研究課題名(和文)鉄粉散布法による既設コンクリート中の鋼材腐食発生条件の特定

研究課題名(英文) Identification of corrosion initiation condition of re-bar in existing hardened concrete by iron powder sprinkling method

研究代表者

青木 優介 (AOKI, YUSUKE)

木更津工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：70360328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：既設コンクリート中の鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度の測定方法として報告者が考案した「鉄粉散布法」の実用性を検証する研究に取り組んだ。その結果、同方法の実用性には問題があり、その原因は鉄粉の発錆が確認しづらいことにあると判明した。そこで、鉄粉表面の不動態皮膜の破壊を鉄イオン検出試薬により確認する方法へと変更した。その結果、短時間で確実に結果を得られるようになった。今後、この新しい方法の実用性を検証していく。

研究成果の概要(英文)： Researcher has been studied the practicality of "iron powder sprinkling method" as a method of measuring the threshold value of the chloride ion concentration at the corrosion initiation of steel in the existing concrete. As a result, it turned out that there is a problem in the practicality of this method and its cause is due to difficulty in finding the corrosion of iron powder. Therefore, the researcher changed the method for finding the corrosion of iron powder to the method of detecting the destruction of the passivation film on the iron powder surface by iron ion detection reagent. This new method gives us reliable results in a short time. After this, researcher will verify the practicality of this new method.

研究分野：土木工学

キーワード：コンクリート 塩害 診断 塩化物イオン 鋼材腐食 鉄粉散布法

### 1. 研究開始当初の背景

外部から供給される塩化物イオンによりコンクリート内部の鋼材が腐食するというコンクリート構造物の塩害が、日本の各地で生じている。塩害の予防や抑制に適切に取り組んでいくためには、その発生を正確に予測することがまず重要となるが、ここで必要とされる条件の一つが、そのコンクリート中において鋼材が腐食し始める際の塩化物イオン濃度、すなわち、「鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度」である。

配合や使用材料が明らかな新設コンクリート中の同濃度については、過去に積極的な研究が展開され、合理的な設定方法がすでに確立されている。しかし、配合や使用材料が明らかでない既設コンクリート中の同濃度については、研究例も少なく、合理的な設定方法が確立されていない。そのため現在も、既設コンクリート構造物における塩害調査の場面では、同濃度として「全塩化物イオン濃度  $1.2\text{kg/m}^3$ 」という値が慣例的に使われている。この値に対して現場の技術者からは、「本当はより高い値であり、過度に安全側の予測結果を導いている可能性がある。しかしその測定方法がないため、致し方ない」との意見が寄せられている。

既設コンクリート中の同濃度を測定できる測定方法を確立できれば、より正確に鉄筋の腐食を予測することができ、構造物の塩害の予防や抑制に一層適切に取り組むことができる。報告者は以上の背景のもとに検討を重ね、科研費の申請時までには、既設コンクリートから採取したコアの切断面に鉄粉を散布し、その発錆状況から鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を測定するという「鉄粉散布法」なる独自の方法を考案していた（下写真参照）。科研費申請段階において、同方法に関する実験室レベルでの検討は終えており、次なる課題は実構造物のコンクリートでの実用性を検証することにあった。



写真) 科研費申請段階で考案していた鉄粉散布法の実施例。塩化物イオンが浸透しているコアの切断面に鉄粉を散布して、高湿度の密封した箱内に数日以上おいておけば、鉄粉に赤錆が生じる領域と生じない領域とに分かれる。双方の領域の境界＝コンクリート中の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界塩化

物イオン濃度に達している位置だと扱えるのであれば、この境界上をドリルで削り出し、得られる粉末試料中に含まれる塩化物イオン濃度を測定することで、そのコンクリート中の鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を測定できると考えられた。

### 2. 研究の目的

既設コンクリート中の鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度の設定方法として、報告者が考案した「鉄粉散布法」の実構造物コンクリートでの実用性を検証する。

### 3. 研究の方法

以下の順序で研究を進めることにした。

(1) 申請者が、塩害環境下におかれていた実構造物からの撤去済み部材がある現場に出向き、撤去済み部材から鉄筋ごとコアを採取する（下写真参照）。



写真) 撤去済みの鉄筋コンクリート桁から鉄筋ごとコアを採取している様子

(2) 実験室に持ち帰ったコアを鉄筋ごと切断し、切断面に鉄粉を散布して、鉄粉の発錆状況を観察する。鉄粉の発錆境界（散布した鉄粉に赤錆が生じる境界）が現われれば、それとコア内部の鉄筋の腐食状態との関係を確認する（下写真参照）。



写真) 採取してきたコアを切断して鉄粉散布法に供している様子。鉄粉の発錆境界の位置と内部に埋め込まれている鉄筋の腐食状態との関係を観察する。

(3) 発錆境界が鉄筋表面よりも深い位置まで達している場合にのみ鉄筋の表面に腐食が確認されれば、鉄粉の発錆境界の位置＝コンクリート中の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度に達している位置だと扱えることになる。以上の検討を複数の種類のコアについて行い、本方法の実構造物コンクリートでの実用性を総合的に検証する。

#### 4. 研究成果

本研究をつうじて、以下の成果が得られた。

(1) 残念ながら、本方法のままでは実構造物コンクリートへの実用は難しいことがわかった。その理由は、鉄粉の発錆（赤錆化）が不安定で時間がかかり、確実な結果が得られないことである（下写真参照）。



**写真** 鉄粉の発錆が安定しない例。左右の切断面は同じ塩化物イオン分布をもっている。左側の切断面にまかれた鉄粉は全く発錆していないが、右側の切断面にまかれた鉄粉は明らかに発錆している。これは、双方の切断面に偶然に生じた水分状態の違いによるものであり、その制御は難しいと考えられた。また、この結果が得られるまでに1週間以上の時間を要したことも問題であった。

(2) 鉄粉の発錆を確認することは難しいと判断し、鉄粉表面の不動態皮膜の破壊を確認する方法へと変更した。具体的には、溶解した鉄イオンに反応して青色の沈殿を生成するヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液（ヘキサ水溶液）を鉄粉の上から散布して、表面から鉄イオンが溶解している鉄粉の領域＝表面の不動態皮膜が破壊されている鉄粉の領域を特定できるようにした（下写真参照）。



**写真** 下側から塩化物イオンが浸透しているコアの切断面に鉄粉を散布し、その上から、ヘキサ水溶液を散布した例。切断面上の鉄粉の周辺には、肉眼で凝視すれば青色の沈殿の生成を認めることができるが、写真では識別がつきにくい。そのため、上から紙をあてて、沈殿を紙上に移している。ヘキサ水溶液はもともと黄色を呈しているため、通常であれば、紙は黄色に染まるだけである。しかし、塩化物イオンが浸透している下側の領域のみ、鉄粉から生じていた青色の沈殿が移ってきて青色に変色している。この黄色と青色の領域の境界＝表面の不動態皮膜が破壊されている鉄粉の領域だと考えられる。なお、写真の結果はヘキサ水溶液を散布してからわずか30分後に得られている。

(3) 表面の不動態皮膜が破壊されている鉄粉の領域をコアの切断面上で見分けやすくするために、ヘキサ水溶液を噴霧したあとの切断面上に炭酸カルシウム粉末を散布する方法へと改良を加えた（下写真参照）。また、ヘキサ水溶液の安全な処理方法や、本方法の実施後のコアでの塩化物イオン濃度の測定方法についても検討した。



**写真** 改良した鉄粉散布法の実施例。ヘキサ水溶液の噴霧後に白色の炭酸カルシウム粉末を散布している。青色に変色している領域が、鉄粉から青色沈殿が生じた領域＝表面の不動態皮膜が破壊されている鉄粉の領域である。鉄粉から青色沈殿が生じていなければ、白色の炭酸カルシウムの粉はヘキサ水溶液の色である黄色を帯びるため、青色の領域と黄色の領域の境界こそが、鉄粉表面の不動態皮膜が破壊されている境界といえる。この境界上をドリルで削孔し、得られる粉末中に含まれる塩化物イオン濃度を測定すれば、その値を当該のコンクリートの鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度に設定できる可能性がある。

以上のように、本研究では、当初の目的としていた「鉄粉散布法」の実構造物コンクリートでの実用性を検証することはできなかった。しかし、その過程において、同方法の問題点を明らかにし、改良を重ねて、「改良版・鉄粉散布法」を考案するに至った。今後は、この方法の実構造物コンクリートでの実用性を検証していく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

①青木優介, 増田洋介, 嶋野慶次: 鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度設定のための鉄粉散布法とその実証実験の改良, コンクリート工学年次論文集, 査読あり, 第38巻, No. 1, pp. 885-890, 2016. 7

②青木優介, 穴井啓太, 高橋諒, 菅原隆: 鉄粉散布法を用いた既設コンクリート中の鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度設定のための基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, 査読あり, 第37巻, No. 1, pp. 1723-1728, 2015. 7

〔学会発表〕(計6件)

①増田洋介: 新設コンクリート中の鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度評価方法の検討, 第34回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2016. 11. 2, ハイブ長岡(新潟県長岡市)

②横尾知樹: コンクリート表面上に散布した鉄粉が溶解する位置の塩化物イオン量, 第34回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2016. 11. 2, ハイブ長岡(新潟県長岡市)

③青木優介: 鉄粉と試薬を用いる既設コンクリート中の鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度設定方法に関する検討, 第43回セメント・コンクリート研究討論会, 2016. 10. 28, ホテルサンルート広島(広島県広島市)

④青木優介: ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液と鉄粉を利用した鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度の設定に関する基礎的実験, 第71回土木学会年次学術講演会, 2016. 9. 7, 東北大学(宮城県仙台市)

⑤青木優介: 鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度設定のための鉄粉散布法とその実証実験の改良, コンクリート工学年次大会 2016, 2016. 7. 6, 福岡国際会議場(福岡県福岡市)

⑥青木優介: 鉄粉散布法を用いた既設コンクリート中の鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度設定のための基礎的検討, コンクリート工学年次大会 2015, 2015. 7. 14, 幕張メッセ(千葉県千葉市)

〔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

青木 優介 (AOKI, Yusuke)

木更津工業高等専門学校・環境都市工学科  
准教授

研究者番号: 70360328

(2) 研究協力者

菅原 隆 (SUGAWARA, Takashi)

田中 良樹 (TANAKA, Yoshiki)

嶋野 慶次 (SHIMANO, Keiji)

穴井 啓太 (ANAI, Keita)

高橋 諒 (TAKAHASHI, Ryo)

増田 洋介 (MASUDA, Yosuke)

横尾 知樹 (YOKOO, Tomoki)

以上