

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                                           |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 題目(和文)            | 腐食ひび割れを有する鉄筋コンクリートの電気防食における合理的な前処理と適切な回路分けに関する研究                                                                                                                                          |
| Title(English)    | Streamlined Pretreatment and Appropriate Circuit Separation for Cathodic Protection on Reinforced Concrete with Corrosion-induced Cracks                                                  |
| 著者(和文)            | 邊木 園慧                                                                                                                                                                                     |
| Author(English)   | Akira Hekizono                                                                                                                                                                            |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京科学大学,<br>報告番号:甲第338号,<br>授与年月日:2025年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:岩波 光保,高橋 章浩,佐々木 栄一,千々和 伸浩,丸山 泰蔵                                                                   |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Institute of Science Tokyo,<br>Report number:甲第338号,<br>Conferred date:2025/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文                                                                                                                                                                                      |
| Category(English) | Doctoral Thesis                                                                                                                                                                           |
| 種別(和文)            | 論文要旨                                                                                                                                                                                      |
| Type(English)     | Summary                                                                                                                                                                                   |

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

|                                            |                 |          |                                          |                 |      |
|--------------------------------------------|-----------------|----------|------------------------------------------|-----------------|------|
| 系・コース：<br>Department of, Graduate major in | 土木・環境工学<br>土木工学 | 系<br>コース | 申請学位（専攻分野）：<br>Academic Degree Requested | 博士<br>Doctor of | (工学) |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 邊木 蘭 慧          |          | 審査員主査：<br>Chief Examiner                 | 岩波 光保           |      |

#### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

インフラの主要な構成要素である鉄筋コンクリート（RC）構造物を健全な状態に維持管理することは、安全で安心な国民生活や社会の持続的発展の基盤である。しかしながら、鉄筋の腐食にともなう断面減少、コンクリートのひび割れ、鉄筋とコンクリートの剥離、かぶりコンクリートの剥落などにより、RC 構造物は要求性能を満たせなくなる。これらの腐食劣化に対する防食対策として、電気防食が有効な手法として広く用いられている。電気防食は、部材表面近傍に設置した陽極からコンクリートを介して鉄筋に電流を供給することで腐食速度を低減させる防食法であり、腐食という電気化学反応そのものの進行を制御する特徴を持つ。そのため、酸素や水、塩化物イオンなどの腐食因子の浸透や蓄積の影響を受けにくく、既に鉄筋の不動態皮膜が破壊されて腐食が進行している場合でも防食可能である。また、防食効果を定量評価できる点も大きな利点である。

ただし、既設構造物に対する電気防食においては適切な前処理が不可欠である。既設構造物には、浮きや豆板、鉄筋の錆やコンクリートのひび割れ、スベーサなどの金属類、高抵抗材料を用いた断面修復部やひび割れ注入部、防錆剤、表面被覆部や表面含浸部など、防食電流の流れを阻害し防食効果を損なう可能性のある部位が存在する。これらの阻害要因を事前に適切に処理することが求められ、これを電気防食の前処理と呼ぶ。一般的には、防食電流の阻害が懸念される部位をはつり取り、母材コンクリートと同程度の電気抵抗率を有するモルタルで断面修復を行うことが前処理の基本とされている。断面修復を前処理とした電気防食は、多くの施工実績の中で高い防食効果が確認されている。しかし、部材に含まれる防食効果の阻害要因はその規模や防食効果への影響度が様々であり、必ずしも断面修復が唯一の適切な前処理とは限らない。特に、鉄筋表面の錆やコンクリートのひび割れが電気防食に与える影響に関する近年の研究を勘案すると、腐食ひび割れについてはひび割れ部をセメント系材料で充填するなどの簡略化された補修が合理的な前処理となる可能性がある。しかしながら、現状では種々の前処理に応じた電気防食効果を検討した事例がないため、不経済や非効率の懸念がありつつも、信頼性の高い断面修復を前処理とせざるを得ないことが課題となっている。

以上のことより、本論文では腐食ひび割れが生じた RC 部材を対象として前処理に応じた防食効果を評価し、合理的な前処理を提案することを目的とした。ただし、前処理の合理性は補修に応じた局所的な電気防食の可否だけではなく、防食回路全体における電流分配の適切性を含めて議論する必要がある。すなわち、前処理部だけでなく、健全部、軽度腐食部、未補修部などを含む防食回路における電流分配を明らかにし、必要に応じて適切な回路分けを行うことが求められる。以上より、本論文の目的は以下の2点である。

1. 前処理に応じた電気防食効果の評価に基づいて、合理的な前処理を提案すること。
2. 異なる腐食程度の部位や前処理部を含む防食回路における電流分配の評価に基づいて、適切な回路分けを提案すること。

これらの目的を達成するため、鉄筋とコンクリートあるいはモルタルで作製した試験体を用いた通電実験と、試験体内の電流分布や鉄筋のカソード分極量を算出する数値シミュレーションを行った。

本論文は以下の5章から構成されている。第1章では、RC 構造物の効率的な維持管理に関する社会的要請、電気防食および前処理の意義と課題を述べ、本研究の目的と論文の構成を示した。第2章では、RC 構造物における種々の防食技術や断面修復を前処理とした電気防食の研究、鉄筋の腐食やコンクリートのひび割れが電気防食に与える影響に関する研究を紹介し、本研究の位置づけを示した。第3章では、腐食ひび割れを有する RC 試験体に対して、簡略化された断面修復、ひび割れ注入補修、前処理なしの3条件で電気防食を実施し、その防食効果を評価した。特にひび割れ注入補修に関しては、水道水や亜硝酸カルシウム水溶液の先行注入と超微粒子セメントを用いたひび割れ注入補修による前処理で、断面修復による前処理には及ばないものの、明確な電気防食効果が得られることを防食メカニズムとともに示した。第4章では、モルタル試験体中の鉄筋の腐食程度を健全、ひび割れなしの軽度腐食、腐食ひび割れ（小）、腐食ひび割れ（大）の4段階に調整し、さらに腐食ひび割れ（大）に該当する試験体にはひび割れ注入補修を実施して、腐食程度および前処理が異な

る 4 種類の試験体を用意した．これらを並列接続することで 1 つの防食回路とし，湿潤環境および乾燥環境における各試験体への電流分配を調査した．各環境における電流分配と鉄筋の腐食程度およびモルタルのひび割れや乾燥状態を関連づけて考察するとともに，各環境における適切な回路分けの考え方を示した．最後に，第 5 章では各章の概要を述べ，得られた知見を総括して合理的な前処理と適切な回路分けを提案し，今後の課題について述べた．

備考：論文要旨は，和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか，もしくは英文 800 語を 1 部提出してください．

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は，東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので，公表可能な範囲の内容で作成してください．

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

|                                            |                 |          |                                          |                 |      |
|--------------------------------------------|-----------------|----------|------------------------------------------|-----------------|------|
| 系・コース：<br>Department of, Graduate major in | 土木・環境工学<br>土木工学 | 系<br>コース | 申請学位（専攻分野）：<br>Academic Degree Requested | 博士<br>Doctor of | (工学) |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 邊木 蘭 慧          |          | 審査員主査：<br>Chief Examiner                 | 岩波 光保           |      |

### 要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Maintenance of reinforced concrete (RC) structures is essential for our safety and development of society. Corrosion deterioration of RC reduces their performance, and cathodic protection (CP) is widely used to inhibit corrosion by supplying current to rebars. For existing structures, it is necessary to remove factors preventing the CP current such as rust on the rebar surface, concrete cracks, etc., in advance of applying CP (Pretreatment). While section repair is the reliable pretreatment method for corrosion-induced cracks, there is a possibility of simplifying the pretreatment. Furthermore, appropriate ways of separating the CP circuit depending on corrosion degrees and pretreatment conditions of RC sections (Circuit Separation) should be considered to avoid excessive bias of current distribution.

The objectives of this thesis are to propose streamlined pretreatments based on an evaluation of the corrosion inhibition effect of CP depending on the pretreatment, and to propose appropriate circuit separation based on an investigation of the current distribution in a CP circuit including RC sections at different corrosion degrees and pretreatment conditions.

This paper consists of five chapters. Chapter 1 describes the background, purpose, and organization of this thesis. Chapter 2 introduces previous researches and shows the positioning of this thesis. For the evaluation of the corrosion inhibition effect depending on the pretreatment in Chapter 3, two current supplying tests were conducted using specimens with corrosion-induced cracks, comparing simplified section repair, crack injection repair, and no pretreatment. The results show that the crack injection repair after a pre-injection of water or calcium nitrite solution provides the corrosion inhibition effect. For the investigation of the current distribution in Chapter 4, four mortar specimens at different corrosion stages—sound, mildly corroded, cracked, and severely cracked—were connected in parallel to simulate a CP circuit. The relationship between the corrosion degree of the specimen and the current distribution is considered, and appropriate circuit separation is proposed. Finally, Chapter 5 provides an overview of each chapter and proposes the streamlined pretreatment and appropriate circuit separation as the conclusion with future challenges.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).