

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04554

研究課題名(和文)鉄筋腐食によるかぶりコンクリートの剥落リスク評価手法の構築

研究課題名(英文)Development of a method for evaluating the risk of spalling of concrete cover due to rebar corrosion

研究代表者

松島 学 (Matsushima, Manabu)

香川大学・創造工学部・特命教授

研究者番号：00130302

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本塩害を受けるRC構造物を対象に、鉄筋の腐食量、かぶり厚さ、鉄筋間隔などの条件が剥離・剥落リスクに与える影響を検討した。得られた成果は以下の通りである。1. 鉄筋コンクリート製スラブ大型試験体に対する電食試験を実施し、鉄筋コンクリート部材のひび割れモードの変化に与える、かぶり、配筋条件、コンクリートの性能等の諸条件を特定した。2. 破壊力学に基づく損傷モデルによるシミュレーションにより、鉄筋同士を繋ぐ内部ひび割れ、剥離、表面ひび割れ等の各ひび割れ発生モードの条件を特定した。3. 環境や使用材料、供用年数をパラメータとしたひび割れ損傷度に対する回帰モデルを、機械学習モデルを援用して構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物において、鉄筋腐食の程度が、かぶりコンクリートのひび割れ発生や進展性状、剥離や剥落に至るか否かを事前に判別するニーズがある。本成果により、塩害劣化したコンクリートの破壊予測モードに応じた維持管理戦略の立案に貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：The effects of conditions such as the amount of corrosion, cover thickness, and spacing of reinforcing bars on the risk of delamination and spalling were investigated for RC structures subjected to this salt damage. The results obtained are as follows: 1. Electrical corrosion tests were conducted on a large reinforced concrete slab specimen to identify various conditions such as cover, reinforcement conditions, and concrete performance that affect the cracking mode of reinforced concrete members; 2. The regression model for the cracking damage degree with the parameters of environment, materials used, and service life was developed with the help of machine learning model. The regression model was constructed with the aid of a machine learning model.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：コンクリート 鉄筋腐食 剥離 剥落 シミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物において、鉄筋腐食の程度が、かぶりコンクリートのひび割れ発生や進展性状、剥離や剥落に至るか否かを事前に判別するニーズがある。

2. 研究の目的

本研究では、塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物を対象に、鉄筋の腐食量、かぶり厚さ、鉄筋間隔などの条件が剥離・剥落リスクに与える影響を、特にコンクリートの内部・外部におけるひび割れの進展に着目して検討するものである。

3. 研究の方法

上記の内容に対して、鉄筋コンクリート製の大型試験体を用いた実験的検討および、破壊力学に基づいた新しい腐食膨張モデルによる数値解析的検討により明らかにする。特に、鉄筋コンクリート部材の腐食の進行モデルと、かぶりコンクリートの剥離・剥落リスクの評価については、機械学習を用いたモデル構築を行う。

4. 研究成果

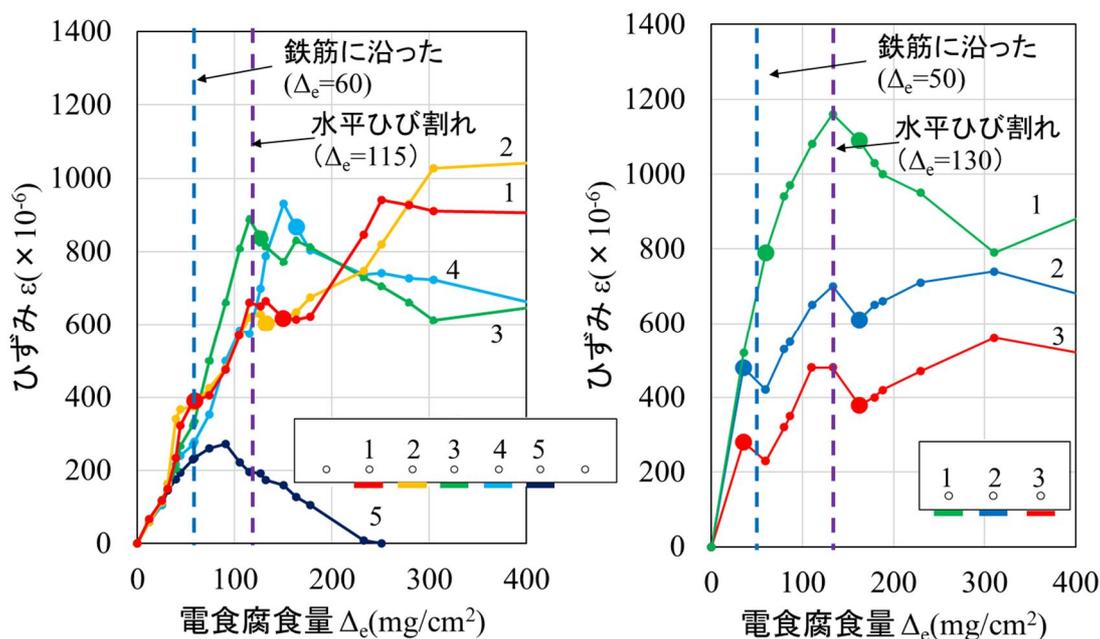
成果1 大型試験体の電食によるひび割れ発生性状の把握

塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物を対象に、鉄筋の腐食量、かぶり厚さ、鉄筋間隔などの条件が剥離・剥落リスクに与える影響を実験的に把握するために、スラブ試験体および梁試験体を作製し、鉄筋を電食させ、ひび割れ発生性状を確認した(写真1)。

各試験体における鉄筋腐食量と鋼材付近のひずみを計測した(図1)。また、ひび割れ発生モードが鉄筋同士を繋ぐような水平ひび割れが卓越するモードから、鉄筋の軸方向に沿ったひび割れが卓越するモードに遷移するような、鉄筋およびかぶりの条件を正規化した無次元量 l_0/ϕ (鉄筋間隔と鉄筋径の比)を用いることにより整理することができた(図2)。



写真1 本研究で使用した試験体(スラブ試験体)



(a) スラブ

(b) 梁

図1 電気腐食量と鉄筋に沿ったひび割れのひずみ値の関係

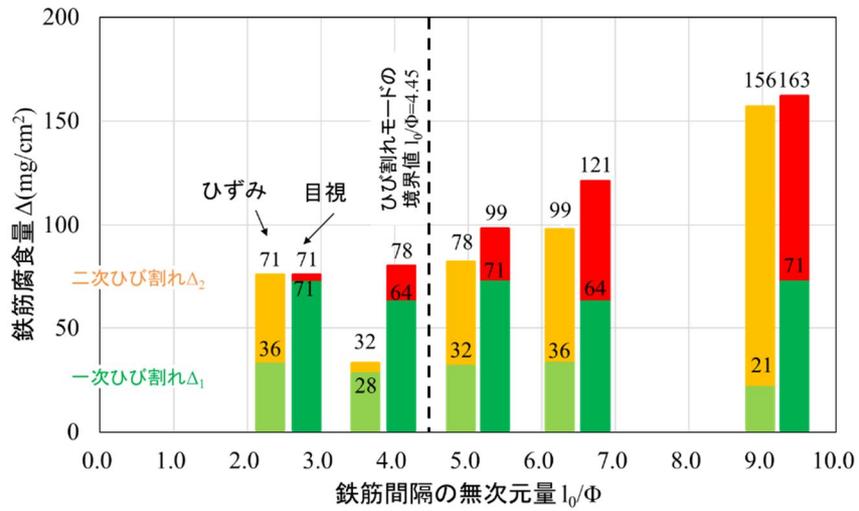


図2 鉄筋間隔に関する無次元量と鉄筋腐食量、ひび割れ発生モードの関係

成果2 鉄筋腐食によるひび割れ発生モデル

成果1の実験結果に基づき、コンクリートの内部の水平ひび割れに着目した力学モデルを構築した(概念は図3)。数理モデルの構築に加え、破壊力学に基づく腐食ひび割れシミュレーションによる検証結果(図4)等を援用することで、無次元量 l_0/Φ 、鉄筋腐食量を用いて、ひび割れモードが遷移する点を計算できるモデルを開発できた(図5)。

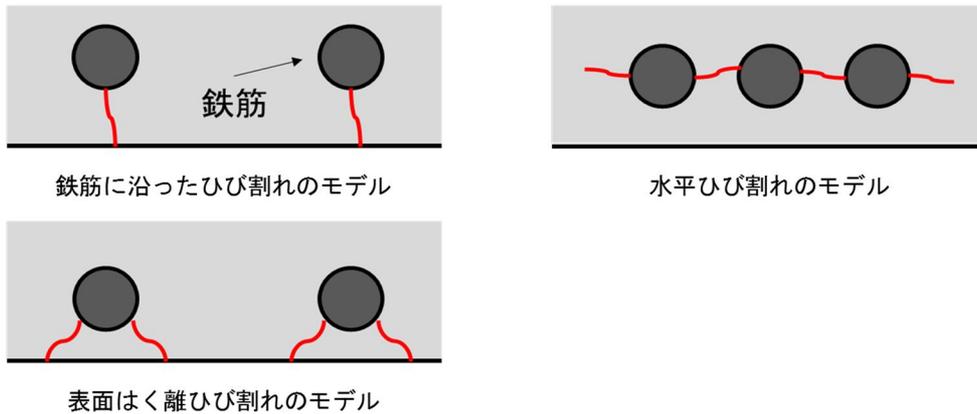


図3 3種類のひび割れのモデル

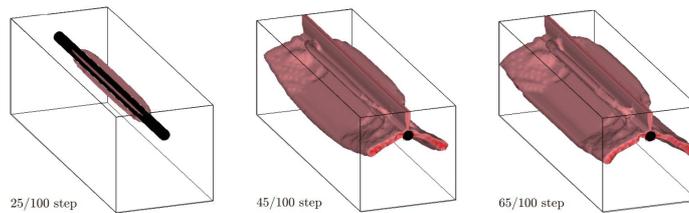


図4 鉄筋間隔による水平ひび割れ発生挙動の違い

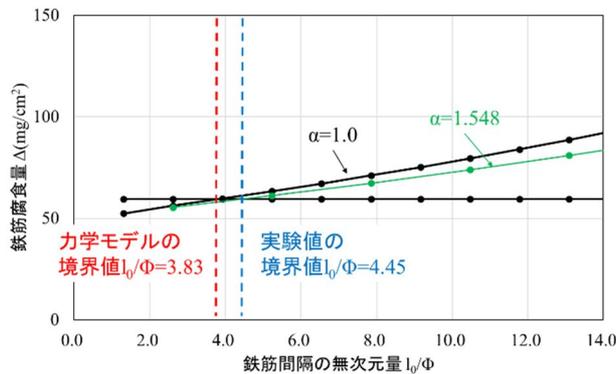


図5 鉄筋間隔に関する無次元量と腐食量による、ひび割れ発生モード判別モデル

成果3 塩害の進行を考慮した寿命予測モデル

成果2のモデルに、塩化物イオンの浸透と鉄筋の腐食進行に関する各モデルを実装し、塩害の進行の時刻歴変化を追跡できるモデルを構築した(図6)。また、表面塩化物イオン濃度の設定値、温湿度が鉄筋腐食速度に与える影響等の環境条件は機械学習を援用したデータ駆動的アプローチを援用して設定した。実構造物を対象とした妥当性検証を行った結果、本モデルを用いることにより、鉄筋腐食量とひび割れ発生モードの関係を正確に再現でき、精度の高い寿命予測が可能となった(図7, 図8)。

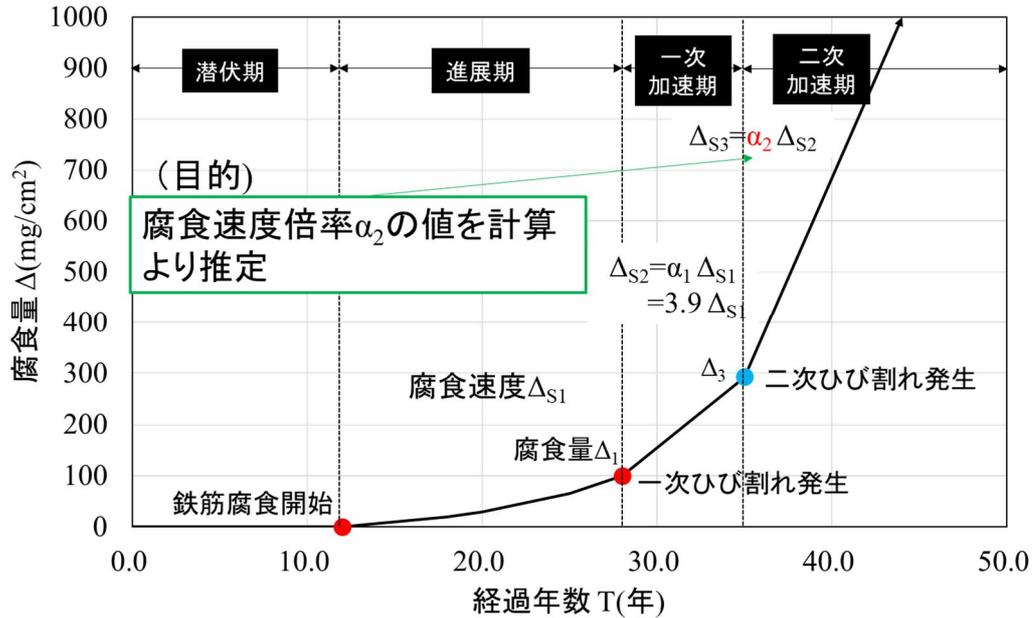


図6 塩害による時刻歴変化モデル

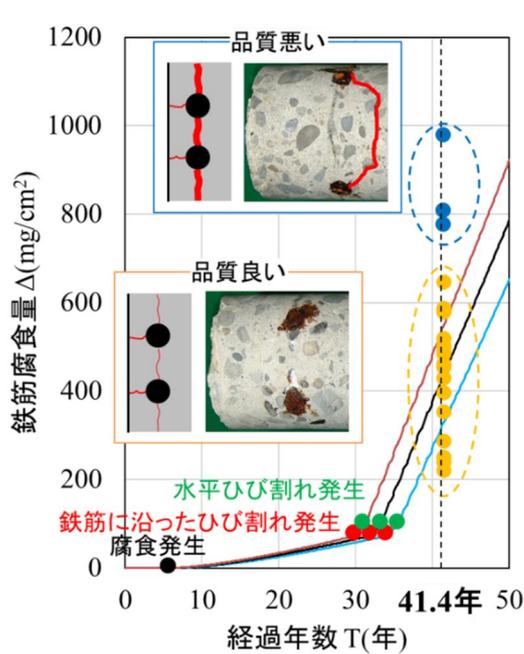


図7 経過年数と鉄筋腐食量

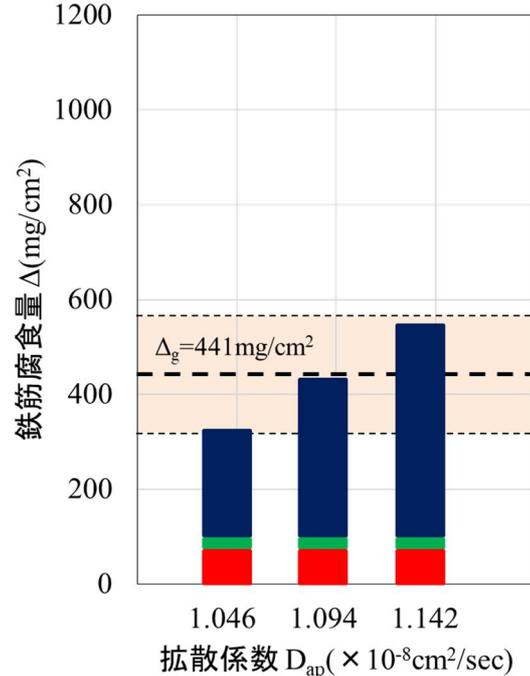


図8 拡散係数と経過年数41.4年時点での鉄筋腐食量

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Okazaki Shinichiro, Okuma Chisato, Kurumatani Mao, Yoshida Hidenori, Matsushima Manabu	4. 巻 10
2. 論文標題 Predicting the Width of Corrosion-Induced Cracks in Reinforced Concrete Using a Damage Model Based on Fracture Mechanics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 5272 ~ 5272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10155272	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sho Kato, Shinichiro Okazaki, Mao Kurumatani, Manabu Matsushima	4. 巻 107
2. 論文標題 Digital Image Correlation Analysis of Corrosion Crack behavior in a Reinforced Concrete Member	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Science and Technology	6. 最初と最後の頁 137-143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 車谷 麻緒、安藏 尚、相馬 悠人、岡崎 慎一郎	4. 巻 2019
2. 論文標題 損傷モデルによる3次元腐食ひび割れ進展解析に関する基礎的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本計算工学会論文集	6. 最初と最後の頁 2019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11421/jsces.2019.20190007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	車谷 麻緒 (Mao Kurumatani) (20552392)	茨城大学・理工学研究科 (工学野)・准教授 (12101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岡崎 慎一郎 (Shinichiro Okazaki) (30510507)	香川大学・創造工学部・准教授 (16201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関