

研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第2021-1号	ドローン・機械学習・3次元構造解析・信頼性理論の融合による劣化RC橋梁の健全度の自動判定	秋山充良 早稲田大学理工学術院
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>本研究では、pix2pix等の機械学習モデル、および非線形有限要素解析 (Non-FEA) とそれらの予測に伴うモデル誤差を考慮したモンテカルロシミュレーション (MCS) を行い、腐食ひび割れ幅分布から劣化RC部材の耐荷力を確率論的に推定する手法を構築した。これら一連の手法では、機械学習モデルを用いて腐食ひび割れ幅から鉄筋腐食率を予測するために必要となるデータベース (鉄筋腐食率分布と腐食ひび割れ幅分布の関係) を構築する必要がある。RC部材を多数腐食させ、その実験結果を用いて機械学習用データベースを構築することは、経済的・時間的な制約から困難である。そこで、まず構造細目が異なるRCはりの鉄筋腐食率分布の実験値に基づき、Spectral Representation Method (SRM) を用いて部材軸方向と部材軸直角方向の相関性を表すパラメータを同定し、鉄筋腐食率分布を2次元確率場として表現した後、鉄筋腐食率分布からNon-FEAを用いて腐食ひび割れ幅分布を擬似的に多数作成することでデータベースを構築した。その後、画像間の関係を学習する機械学習モデルであるpix2pixを用いて、入力画像を腐食ひび割れ幅および構造細目、出力画像を鉄筋腐食率としてデータベースを学習させることにより、構造細目が供試体間で異なる、複数本の鉄筋を有するRCはりを対象に、腐食ひび割れ幅分布を与条件とした鉄筋腐食率分布の予測、および耐荷力の推定を可能にした。</p> <p>さらに、この耐荷力推定手法を実構造物に適用することを見据えると、腐食ひび割れ幅を取得する技術についての検討が必要である。道路橋の点検において、ドローンにより撮影したデジタル画像が活用されつつある。しかし現状は、ひび割れの検知に終始しており、その結果に基づく橋梁の健全性の評価などは行われていない。そこで本研究では、ドローンを用いて撮影したデジタル画像と前記の耐荷力評価手法を一体化し、腐食ひび</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>割れ幅の取得から耐荷力の推定までを一貫して行うことができるフローに拡張した。</p> <p>得られた主な結論を以下に示す。</p> <p>(1) ドローンを用いて撮影した画像から劣化RC部材の耐荷力の確率密度分布を得る一連のフローを構築した。フローは、デジタル画像処理、機械学習 (pix2pix)、確率場理論、非線形有限要素解析、およびモンテカルロシミュレーションで構成される。腐食ひび割れの画像から劣化RC部材の耐荷力、すなわち健全性の判定における最も重要な情報を取得できるフローを構築したところに研究の新規性と独創性がある。</p> <p>(2) X線撮影とデジタル画像処理を用いてRC部材内の腐食生成物厚さを測定することで、腐食実験条件の違いを考慮した腐食生成物モデルを提案した。非線形有限要素解析を用いて推定される腐食ひび割れ幅の再現性が既往研究と比較して向上した。また、提案した腐食生成物モデルを用いることで、腐食ひび割れ幅から鉄筋腐食率を予測するために必要な機械学習用データベースを構築した。</p> <p>(3) ドローン撮影および近接撮影により取得される腐食ひび割れ画像から推定される耐荷力を比較し、劣化RC部材の耐荷力の推定に必要な腐食ひび割れ画像の画質について考察した。その結果、クラックスケール上で0.05 mmの目盛線を認識できるデジタル画像が求められることを明らかにした。</p> <p>主な対外発表の実績は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> - この分野の主要な国際ジャーナル (Engineering Structuresなど) に2本の論文が掲載されている。さらに2本の国際ジャーナル論文 (Cement and Concrete Compositeなど) に投稿を終えている (査読中)。 - IALCCE2023 (イタリア・ミラノ工科大学)、およびIWERSM2023 (中国・同濟大学) において本内容で基調講演を行った。 - 土木学会全国大会およびAI・データサイエンスシンポジウムで発表を行った。 </div> </div>		

PROBABILISTIC LOAD-BEARING CAPACITY ESTIMATION OF RC BEAMS USING CORROSION CRACK DISTRIBUTIONS OBTAINED BY UAV AND MACHINE LEARNING

Akiyama, M.¹ Ono, K.¹ Wakahara, T.² Kimoto, K.³ and Fujita, M.²

¹Waseda University ²Ohsaki Research Institute, Inc. ³Keisoku Research Consultant Co.

For concrete structures located in an aggressive environment, multiple environmental and mechanical stressors lead to deterioration of their structural performance. Such deterioration will reduce the service life of structures and increase the life-cycle cost of maintenance actions. Various environmental stressors such as airborne chloride affect the degradation mechanisms of concrete structures. However, the effects of these stressors are difficult to predict, as they vary in time and space. Because of the presence of such uncertainties, long-term structural performance must be predicted based on probabilistic concepts and methods, and life-cycle reliability assessment methodologies must be established.

The present study introduced core technologies for probabilistic prediction of the remaining lifetime of deteriorating concrete structures. They include:

(a) X-ray technology and digital image processing: Modelling the steel corrosion is important, but steel corrosion in RC members can only be observed after severely damaging these members. To understand the steel corrosion growth process, continuous monitoring is necessary. Novel X-ray and digital image processing techniques have been applied to observe steel corrosion in RC members. The experimental outcomes are introduced to provide a fundamental understanding of the non-uniform spatial growth of the steel weight loss and the corrosion cracking.

(b) Reliability assessment with the stochastic simulation: The deterioration of RC structures due to chloride-induced corrosion is not uniform because of the spatial variability related to material properties and environmental stressors. This variation has a substantial effect on the reliability of RC structures. Based on the experimentally obtained model parameters, the spatial steel weight loss distributions in the longitudinal and transverse directions are simulated by 2D spectral representation method.

(c) Finite element models considering the effect of steel corrosion: 3D FE modeling is capable of simulating the behavior of RC members in a more comprehensive way provided that appropriate constitutive models are adopted. Detailed structural analysis with a 3D FE model allows for a more accurate description of the corrosion damage at the material and structural levels. Comparison between experimental and computational results demonstrates that the 3D FE model provides better predictions of the structural behavior of the corroded RC members with multiple rebars than the 2D FE model, especially when the member has a small correlation coefficient of steel cross-sectional area loss in the transverse direction. The 3D FE model is recommended for evaluating the structural performance of corroded RC members.

(d) Machine learning: Machine learning-based approaches have gained attention owing to the capability of simulating the complex physical process for structural assessment. With the aid of the three core technologies mentioned previously (i.e. (a), (b) and (c)), an artificial database for developing the machine learning model is generated to predict the steel corrosion distributions inside the concrete members using the corrosion crack widths.

In an illustrative example, the remaining lifetime of a deteriorating concrete structure is probabilistically estimated using the inspection results (e.g. observational information on corrosion crack widths taken by using a drone). Finally, future issues necessary to advance the life-cycle analysis of deteriorated concrete structures are discussed.

KEYWORDS: *corrosion, chloride attack, UAV, stochastic simulation, finite element models, machine learning, X-ray, digital image processing*