

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	MEHBOOB RASUL
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	都市博甲第2106号
学位授与年月日	2019年9月13日
学位授与の根拠	学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項
学府・専攻名	都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻
学位論文題目	Prediction of maximum thermal crack width in RC abutments and investigation on influential factors using artificial neural networks
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 細田暁 横浜国立大学 教授 山田均 横浜国立大学 教授 前川宏一 横浜国立大学 教授 勝地弘 横浜国立大学 准教授 藤山知加子

論文及び審査結果の要旨

本研究は、マスコンクリート構造物に発生する温度ひび割れの最大ひび割れ幅に関する研究である。山口県で運用されているひび割れ抑制システムにおける橋梁の橋台の施工記録のデータベースを活用して、ニューラルネットワークにより橋台に発生する温度ひび割れの最大ひび割れ幅を予測する機械を構築し、最大ひび割れ幅に影響を及ぼす要因について定量的に分析を行い、得られた知見を実構造物のひび割れ抑制に活用することを目的としている。実構造物の施工記録データベースの精査により、信頼できないデータを削除し、信頼性の高いデータベースを準備し、膨大な数の試行錯誤により、精度よく最大ひび割れ幅を予測する機械の開発に成功し、実構造物で温度ひび割れの最大ひび割れ幅を抑制するための有用な知見が多く得られている。

序論では、マスコンクリート構造物のひび割れ発生やひび割れ幅の予測に関する数値技術の課題や、ひび割れを巡る建設マネジメント・構造物の耐久性上の問題、ニューラルネットワークによる機械学習に関する状況、などの研究の背景が述べられ、本研究の目的がまとめられている。

2章では、本研究に関連する既往の研究がレビューされている。

3章では、機械学習に活用するための、山口県の品質確保システムにおける施工記録のデータベースについて検討がなされている。2007年から正式に運用されている山口県のシステムにおいて、橋梁の橋台のたて壁および胸壁を研究の対象として、データベースに登録されている施工記録のデータの精査を行っている。明らかに間違いと思われるデータや、疑わしいデータについても山口県の技術者とやり取りを重ね、信頼できるデータセットを構築した。たて壁、胸壁ともに、部材の構造諸元、単位セメント量などのコンクリートに関する情報、外気温などの機械学習に用いる入力要因の散布図が示されており、機械学習と組み合わせるのにふさわしい、十分な分布を持ったデータであることが示されている。

4章では、機械学習を用いた研究の第一段階として、ひび割れの発生の有無を予測する機械を開発した。ニューラルネットワークを用い、隠れ層を一層とする、ひび割れ発生の予測精度の高い構造を見出した。5分割交差検証により、機械の制度を検証した。施工記録中の入力要因数を減らして、データ数を200程度に増やした方が、予測精度の高い機械となった。交差検証過程で、橋台を構成するたて壁については81.5%程度の予測精度を、胸壁については90%程度の予測精度を示した。ひび割れ発生に与える影響が相対的に大きい因子として、橋台の長さ、リフト高さ、単位セメント量が上位に並んだ。

5章では、山口県のひび割れ抑制システムで実際にマネジメントの対象となる、最大ひび割れ幅を予測する機械を開発した。山口県では、ひび割れの発生は許容しており、貫通ひび割れについては、0.15mm以上の幅となると補修が必要となる。ここでもニューラルネットワークを用い、隠れ層を2層とする機械を開発した。橋台を構成するたて壁につ

いては、データ数が200程度であったため、実際に発生した最大ひび割れ幅を適切に予測する機械が開発できた。一方で、胸壁については、活用できるデータが75程度であり、過学習と思われる現象が確認された。胸壁については、少ない数のデータを用いた機械学習について、今後も検討が必要である。

6章では、5章で開発した、橋台のたて壁に発生するひび割れの最大ひび割れ幅を予測する機械を活用して、最大ひび割れ幅に影響する要因について定量的に分析した。橋台の長さ、リフト高さ、鉄筋比、単位セメント量、打込みの時期（季節）等が最大ひび割れ幅に及ぼす影響が定量的に示され、山口県の補修基準である0.15mmと関連付けて、効果的なひび割れ抑制対策を提示した。今後、山口県のひび割れ抑制、品質確保システムへの知見のフィードバックが期待される。

7章では、本研究で得られた知見がまとめられ、今後の課題に言及している。

博士論文の内容は新規性に富み、工学上有用な知見を多く含んでおり、論文としての体裁も整っており、審査委員全員一致して合格と判定した。

提出された論文に対して、iThenticateにより剽窃、盗用の不正行為を確認したが、専門用語や短い一般的な現象の定義表現を除き、剽窃や盗用に該当するものは無いことを確認した。

公聴会は、令和元年8月1日（木）13時00分～14時00分に、土木工学棟セミナー室において、審査委員全員出席のもとで行われた。審査会は公聴会の後、14時から同室で引き続き行われた。

博士論文の内容に関する質疑応答は次のような項目について行われた。

- (1) 比較的少ないデータ数でのニューラルネットワークの予測結果の妥当性
- (2) 開発したニューラルネットワークの今後の活用方法
- (3) 得られた工学的な知見をどのように学会規準類や実務に実装していくか

博士論文の内容に関する説明およびそれに対する質疑応答に基づき、研究内容の新規性、独創性、工学上の有用性および論文全体の完成度について審査した結果、本論文は博士学位論文として十分な内容を有していると判断された。

また、質疑応答の結果から、博士論文の研究内容のコンクリート構造物のひび割れ発生原因、コンクリート構造、機械学習、有限要素法、および関連する分野の科目について、博士（工学）の学位を得るにふさわしい学力を有すると判定された。

外国語としての英語については、本論文や投稿論文を英語で執筆し、また、国際学会で発表していることから、十分な能力があることが確認された。終了に必要な単位は全て取得済みである。

以上の結果および学位に必要な条件を全て満たしていることを考慮し、審査委員全員一致して最終試験は合格と判定した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。