

(第3号様式)(Form No. 3)

学位論文要旨 Dissertation Summary

氏名 (Name) 橋本和明

論文名: 赤外線サーモグラフィ法による高精度なコンクリート損傷の検出手法の開発
(Dissertation Title)

近年、日本各地でコンクリート構造物の高齢化問題が顕在化し鉄筋腐食に伴うコンクリート落下事故が多数報告されることが背景となり、道路管理者は定期的に5年に1度の頻度で近接目視を行うことが義務化された。全国の橋梁70万橋のうち50万橋を管理する市町村の役割と責任は、ますます大きくなり、財政、人員、技術の面で課題を抱えメンテナンスを行うことが困難な状況になると危惧される。近接目視の代用として離れた箇所から面的に調査可能となる赤外線サーモグラフィ法は、これらの社会情勢に対し有効技術と判断されるが打音検査と比較して検出精度が非常に低いことが問題となっている。この検出精度の問題点を改善させ、赤外線サーモグラフィ法を広く普及させることは意義あることである。

本研究では、赤外線サーモグラフィ法の技術的な課題を既往研究から明らかにし、打音検査と同等以上の検出率を目指し、調査に適切な熱的環境の把握手法、コンクリート損傷検出率の向上のための判別手法、コンクリート劣化進行速度の計測手法について研究を行い、国内に建設されているコンクリート構造物の維持管理の効率化を図るためのシステム開発を行ったものである。

第1章では、研究に至る背景と研究の進め方を概説した。

第2章では、コンクリート損傷を非破壊で検出可能な検査手法を調査するとともに、これまでに提案されている赤外線サーモグラフィ法に関する調査基準を整理し、コンクリート損傷、パッシブ法における調査環境、赤外線カメラの性能を考慮した理論的な裏づけが不十分であることを確認した。次に、コンクリート損傷の形状と温度差の関係に着目し、非定常熱伝導解析と実験を行うことで赤外線サーモグラフィ法による検出可能深さは40mmであることを明らかにした。さらに、赤外線カメラの特性と赤外線の反射率の関係を把握するため、赤外線分光分析を行った。この結果から屋外で使用可能な赤外線カメラは検出器 InSb を搭載したカメラであるとした。

第3章は、日射エネルギーに着目し、コンクリート構造物中の熱流発生状況について、既往の研究動向を調査し、実橋梁の熱流について研究した事例が少ないことを確認した。次に、橋種別、部位別のコンクリート表面温度と気温、日射量の履歴を計測し、橋梁中の熱流発生状況は定置式のコンクリート供試体で確認できるような熱流でなく非常に複雑であることを確認した。さらに、非定常熱伝導解析を行うことで部材厚 300mm 未満の熱流発生時間帯を明らかにした。以上の事項を整理して、調査橋梁中の熱流発生状況を確認

するためには模擬的な損傷を設けたコンクリート版を橋梁に直接貼りつける手法が必要とし、その調査手法の検討・提案を行った。

第4章は、第2章及び第3章で検討した手法を用いて実橋梁にて赤外線サーモグラフィ法の検出精度の検証を行った。その結果から以下に示す問題点を明らかにした。

- ①コンクリート損傷領域を見逃す（未検出）。
- ②健全部をコンクリート損傷として誤判定する（誤検出）。

上記の内容の対応策として熱画像を対象とした画像フィルター処理手法の検討を行うとともに、統計的手法を用いて判別精度が向上するアルゴリズムの検討を行った。このアルゴリズムの検討には、特異な温度変化領域の特徴量を算出する必要があり、本研究では、特異な温度変化領域の形状と温度変化領域内のテクスチャに着目した。テクスチャ特徴の数値化には濃淡ヒストグラム、同時生起行列、差分統計量、ランレンス行列が考えられるが画像処理の研究実績が多い同時生起行列を採用した。解析モデルはニューラルネットワークの判別精度が高い結果となった。

第5章は、剥落の危険性を定量評価することを目的に鉄筋腐食膨張圧模擬実験による各損傷段階の供試体に対し赤外線サーモグラフィ測定を行った結果を基に、実橋梁での剥落危険度の推移を確認すると、凍結防止剤の散布量が多く、かつ、供用年数が20年を超えると劣化進行速度が速くなることが明らかになった。さらに、コンクリート構造物の維持管理戦略の立案が可能となるように、本研究手法の調査指針を作成した。

第6章では、本研究手法の診断結果と打音点検結果を比較することで、本研究手法の検出精度を確認した。その結果、本研究手法の検出精度は打音点検と同等であることを確認した。

今回の研究で得られた結果は、点検や維持管理への取組みが遅れている市町村においても参考となると判断し「高性能赤外線カメラによる剥落調査マニュアル」として、取りまとめ、付録として示した。