

## 審査の結果の要旨

氏名 武文晶

本論文では可搬型高エネルギー(950keV,3.95MeV) X線透過撮影技術を用いたコンクリート橋の健全性を定量的に評価するための新たな非破壊検査技術を開発しており、鉄筋コンクリート (RC)内部の鉄筋とプレストレストコンクリート (PC) 内部の高張力鋼材及び鋼橋それぞれの検査について数値解析と実験を実施した。検査対象の状況により、X線透過画像分析、トモシンセシス、パーシャルCTを用いて、内部鉄筋の直径減肉量を評価する手法である。

本論文の第1章は序論である。日本国内の橋梁検査の現状にもとづいて、橋梁の損傷の原因、一般的な点検の手法などを紹介するとともに、X線を用いて橋梁内部の定量化検査の既往研究について述べている。また、橋梁の現場検査を施すシナリオも提案し、研究の目的を①現場でRC橋の内部鉄筋直径減肉を定量的に評価する方法、②現場でPC橋の内部鉄ワイヤ直径減肉を定量的に評価する方法、③二色CTで鉄筋や鉄物件腐食状況を評価する方法であると定めている。

本論文の第2章は現場でRC橋とPC橋の廃棄試料の非破壊検査と関連の定量化評価分析である。築40年ほどの橋の中にある位置が既知の22mm径の鉄筋に対し、10分程度の現場検査で950keV X線源での透過画像から直径(その部分的な)減少を数%精度で評価できた。その結果は適切なメンテナンス計画を立てる時に重要な参考となり、費用を大幅に減少することができた。先験的な知識が不足な場合、違う距離で取った二枚のX線透過画像をジオメトリ情報と併せて分析、直径は推定できる。その精度は小さいサンプル実験で確認し、0.09%に達する。一方で、PC材での30mm径程度のパイプ中の7mm径の十数本の鉄ワイヤは3.95MeV X線源によって1方向透視画像を数秒で取得できたが、散乱低エネルギーX線によるノイズの影響で全数認識できなかった。従って全数の形状の評価には90°程度のスキンの部分角度CTによる再構成が必要であることが明確になった。

本論文の第3章はパーシャルCTに使う部分再構成のアルゴリズムの提案である。いくつかの再構成アルゴリズムを比較し、FBP(Filtered Back Projection)

SART(Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique) SART-TV(Total Variation Minimization) DBPH(Differentiated Back Projection with Hilbert Transform) の中で SART-TV は部分 CT の修正能力が最も優れ、また DBPH は解析的な方法として ROI 再構成にも有効であることを示した。

本論文の第 4 章はパーシャル CT で小さいコンクリートサンプルの内部構成実験である。散乱低エネルギー X 線の影響をコリメータとラインセンサにより抑えたところ、100mm 径の鉄筋入りコンクリートサンプルの CT 検査と断面画像再構成により鮮明な内部画像が得られ、ノイズ除去の有効性が実証された。ノイズ除去につき、ソフト的には Wavelet 解析を適用中である。

本論文の第 5 章は PC 材の定量化評価の手法の提案である。関心のある領域の断面画像の再構成を小さいサンプルで検証した結果、内部ワイヤの直径の推定精度が 10%以内に確認できる。また、数十本の 7mm 径の鉄ワイヤがパイプに入った廃棄 PC 試料でトモシンセシスとパーシャル CT 両方で検査を施した。コリメータが使えないフラットパネル X 線カメラを検出器として使用したため、散乱 X 線の影響が大きいことが明確になった。トモシンセシスはイメージング強化により、直径評価精度は 15%以内である。パーシャル CT は散乱 X 線と角度不足の影響があるため、イメージング強化をかけても評価精度は悪く、さらに改善が必要である。

本論文の第 6 章は 2 色 CT で鉄物件の腐食評価方法である。鉄筋の錆部の評価のために、950keV X 線源でフィルタ有無の準二色 CT から平均的原子番号と密度を評価するプログラムを作成し、腐食された内部鉄筋のファントムで計算結果を検証した。鋼橋の錆びた試料を使って準二色 CT 実験で分析したが、まずはコリメータが使えないフラットパネル X 線カメラを検出器として使用したため、散乱 X 線の影響による誤差が大きかった。今後は 950keV, 3.95MeV X 線源とコリメータとラインセンサを用いて再実験・分析するべきである。

本論文の第 7 章は結論である。

本研究は可搬型 X 線源を用いて橋梁の非破壊検査についての新応用が開発しており、内部鉄筋の定量化推定結果は高齢化橋梁の健全性評価にとって有益であると考えられる。

以上のことから、新規性、有用性、学術的価値から審査した結果、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。