

公益財団法人 セコム科学技術振興財団
研究成果報告書

研究課題名

加振レーダによる RC 部材の鉄筋可動性に着目した定量鉄筋腐食評価技術の革新

Innovation in Quantitative Rebar Corrosion Evaluation Technology Focusing on the
Movability of Rebar in RC Members Using Vibro-Radar

研究期間

令和 3 年 10 月 ～ 令和 7 年 9 月

報告年月

令和 7 年 12 月

研究代表者

群馬大学 大学院理工学府 電子・機械類 教授
三輪 空司

Gunma University, Graduate School of Science and Technology,
Cluster of Electronics and Mechanical Engineering,
Professor, Takashi Miwa

概 要

国民生活に極めて密接に関連する道路、橋梁、トンネル、上下水道等のインフラ施設の多くが、高度経済成長期に建設されてから 50 年以上が経過しようとしている。例えば、全国 73 万橋の道路橋のうち 50 年以上が経過した共用中の橋梁は 30%であるが、10 年後には 55%にも達するといわれており、インフラ施設の高齢化に伴う維持管理コストが社会問題となっている。また、2014 年度に笹子トンネル天板崩落事故を契機に、インフラ施設の 5 年に一度の近接目視点検が義務化された。この定期検査では劣化指標 I ～IVのステージ付けが行われるが、依然として 7 万橋もの橋梁が事後保全区分 III、IV に該当し、順次補修が行われている。しかし、補修後の定期点検では経年劣化により予防保全レベルの区分 I、II から III に遷移する例も多く、劣化要因の大半を占める鉄筋コンクリート(RC)橋における鉄筋腐食を簡便、高速、定量的に評価できるシステムを開発できれば、インフラ構造物の効率的な予防保全計画の策定において革新的な技術になることが期待される。

一般に、鉄筋が腐食しサビが発生すると鉄筋とコンクリートの付着力が低下し、鉄筋の可動性が高まることが考えられる。そこで、我々は、電磁石に交流を印加し鉄筋を強制的に振動させながら、ドップラレーダ技術により数 cm の空間分解能で特定した鉄筋の振動変位を非破壊かつ定量的に計測できる加振レーダ法を独自に開発しており、腐食の進展に伴い、振動変位が健全状態の 4 倍程度まで増加することを確認している。一方、本手法の実用化への課題として、ハード面では可探距離が 6 cm 程度と浅く、1 点につき 1 秒程度の時間がかかるためスキャン計測が困難なことが挙げられる。また、振動変位と鉄筋腐食量との関係や、腐食閾値、振動変位の増加機序を解明する必要がある。そこで、本研究は深さ 10 cm 程度までの鉄筋振動変位を 10 cm/s で連続的にスキャン可能な加振レーダスキャナを開発し、鉄筋振動変位から実フィールドでの鉄筋腐食の空間分布を定量的に評価可能な装置を開発することを目的とした。

その結果、準備研究の成果として連続スキャンにより鉄筋振動変位分布を実フィールドで 10 cm/s 程度で計測可能なことを実証できた。本格研究では、加振用のコイル形状の検討により、従来の半円弧上コイル (8 kg、印加電流 10 A) から、ソレノイドコイル (4 kg、印加電流 7 A) に最適化できた。さらに、インパルスドップラレーダ技術により、深さ 10 cm までの鉄筋振動変位分布を 10 cm/s で連続スキャン可能なシステムを実現できた。さらに、実橋梁等の現場実験に容易に適用できる可搬型の加振レーダ装置も開発し、群馬県及び新潟県の 6 橋梁での実証試験を行うことができた。

また、鉄筋径、鉄筋かぶりを変えた 30 種類の RC 供試体を試作し、健全状態での鉄筋振動変位の鉄筋径、鉄筋かぶり依存性や、振動変位の供試体由来のばらつきを評価した。その結果、平均振動変位はかぶり厚に対して 0.8 倍/cm で指数関数的に減少し、鉄筋径が太いほど低下することがわかった。また、振動変位のばらつきの変動率は 11%程度であり、これより、平均振動変位に対し変動率の 3 倍の 33%を腐食閾値とすることで、微小な腐食も評価可能であることがわかった。

さらに、X 線 CT により腐食生成物の増加による加振レーダの振動変位増加のメカニズムを検討した。磁場印加に伴う腐食鉄筋の X 線透過画像から、磁場印加の有無で鉄筋極周囲に高密度に堆積した腐食生成物が磁場に応じて鉄筋よりも大きく動くことが確認できた。また、この腐食生成物の XRD 解析による成分分析の結果、磁性を有する $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ が支配的であることがわかった。したがって、磁気による有磁性腐食生成物への振動応答が加振レーダにおける鉄筋振動変位増加メカニズムの要因であると結論づけた。