

## 感潮河川にかかる橋梁における塩害の実態調査の取り組み (加振レーダ法による鉄筋腐食状況の非破壊試験編)

群馬大学 正会員 ○三輪 空司 非会員 川上 圭祐  
大田区 正会員 後藤 幹尚 正会員 槇野 ちひろ  
東京工業大学 正会員 岩波 光保 正会員 千々和 伸浩  
国土舘大学 正会員 津野 和宏

### 1. はじめに

次世代の橋梁長寿命化修繕計画においてライフサイクルコストの削減を図るには躯体の耐力に影響を与える鉄筋腐食を定量的に評価することが重要である。一方で、電気化学的手法や従来の非破壊検査手法では鉄筋腐食を定量的に評価することは困難であり、我々は腐食により鉄筋が動き易くなることに着目した加振レーダ法を提案している。

本手法は図1のように励磁コイルによりコンクリート内の鉄筋を正弦的に加振し、ドップラレーダ技術により非接触、非破壊的にその鉄筋振動変位を計測する手法である。図2にRC供試体の電食試験中に加振レーダをスキャン計測し、鉄筋振動変位の空間分布の経時変化をモニタリングした結果の例を示す。図より、積算電流が増加するに伴い振動変位は健全状態の数  $\mu\text{m}$  から  $10 \mu\text{m}$  と4倍程度まで増加し、その増加幅は数 cm の幅で局在化する場合もある。さらに、取り出した鉄筋の断面欠損位置に概ね一致することがわかっており、鉄筋振動変位により定量的な腐食評価の可能性を有している。しかし、本手法を実構造物へ適用した例はなく、本報告では本手法を実構造物に適用し、鉄筋振動変位とはつり箇所の腐食状況との関連を検証した結果について述べる。

### 2. 試験概要

実験は大田区の感潮河川である呑川最下流において60年前に竣工され塩害が懸念されている旭橋の橋台に対して適用した。加振レーダ実験は縦筋との間に挟まれた横筋の約300 mm 区間に対して、左岸11か所、右岸9か所でスキャン計測を行った。また右岸については3本の縦筋について600 mm 区間でのスキャン計測も実施した。

写真1に実験装置の外観を示す。励磁コイルは53 Hz、実効値10 Aの交流電流を整合コンデンサを介して駆動した。鉄筋には交番磁界の正負で引張力が働くため、鉄筋の振動周波数は加振周波数の2倍の106 Hzとなる。写真2に加振レーダのスキャン装置の外観を示す。励磁コイルは半トロイダル状の積層鋼板コアにエナメル線を750巻しており、重量は約10 kgである。

また、本レーダ装置は等価サンプリング方式の直交検波パルスレーダであり、3~5 GHzの帯域の複素レーダ信号を1 msの繰り返し周期で取得できる。送受信アンテナはコイル両足の中央に配置し、コイルとともにボールベアリング付きのスキヤナに固定される。スキヤナは30 mm/s程度で一次元的に手動走査し、レーダ波形と同時に壁面に固定したレーザ距離センサでスキヤナの移動距離も計測できる。

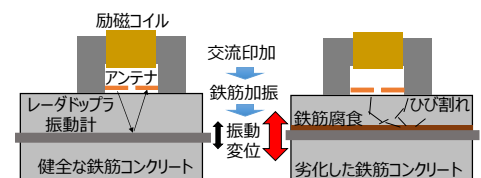


図1 加振レーダ法の概要

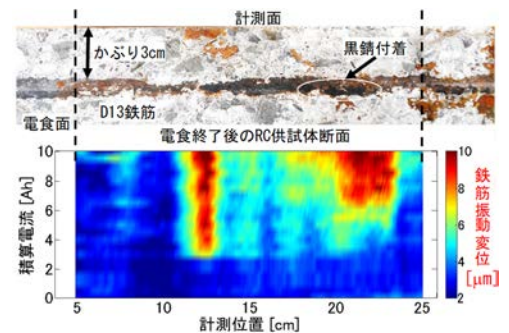


図2 RC供試体の電食試験中における加振レーダ法による鉄筋振動変位の空間分布とその積算電流依存性の例

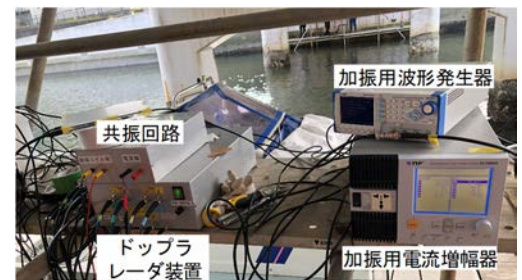


写真1 計測装置の外観図



写真2 加振レーダスキヤナ

キーワード 塩害, 維持管理, 非破壊試験, 鉄筋腐食, 加振レーダ  
連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1 群馬大学大学院理工学府電子情報部門 TEL:0277-30-1779

加振レーダは通常のレーダ画像に加えて、振動周波数で振動する物体のみのレーダ画像を得ることができる点が一番の特徴となっており、画像から鉄筋部位を特定し、両者の振幅比と電磁波伝搬速度から振動変位を位置の関数として得ることができる。コイルの向きは常に計測対象の鉄筋に平行とし、鉄筋に直交する方向にスキャンすれば、鉄筋の特定の位置での正確な断面像と振動変位が、また鉄筋に平行にスキャンすれば、図3のように鉄筋振動変位の空間分布が得られる。

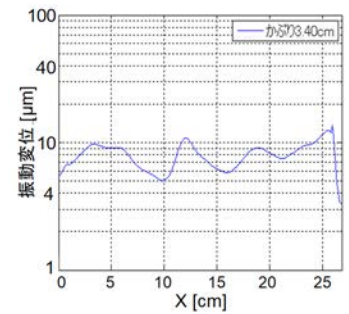


図3 鉄筋に平行スキャンした際の鉄筋振動変位の空間分布の例

### 3. 振動変位のかぶり補正

励磁コイルの加振力のかぶり深さによって概ね指数関数的に減少するため、実構造物において得られる振動変位は鉄筋の動き易さに加えて、かぶり深さによっても変化する。そのため、加振力のかぶり深さ依存性を FEM による電磁界解析によって求め、レーダ画像によって得られた鉄筋かぶり深さの情報から、任意のかぶり深さの鉄筋振動変位をかぶり深さ 40 mm における鉄筋振動変位に補正した。これにより、かぶり深さによらず鉄筋の動き易さを評価できる。

### 4. 実験結果

加振レーダ計測を行った両岸のうち、比較的かぶりが浅く振動変位の信頼性が高いと考えられる右岸でのかぶり補正後の鉄筋振動変位の空間分布を図4に示す。300 mm 及び 600 mm のスキャン区間において図3のように得られる鉄筋直上での振動変位分布を 1~1000 μm までの対数のカラーバーで表示している。カラーバー中の3つの数値は上からその区間での振動変位の最大値、平均値、最小値を示している。図4より配力筋 Y2 の主筋 T3~5 の範囲については数 100 μm を超える振動変位が見られた一方、その 320 mm 上部の配力筋 Y1 の主筋 T5~6 の範囲では数 μm の振動変位となっており、全体的に振動変位の場所によるコントラストが大きく表れる結果となった。

また、実験後に図4中の破線で囲まれた領域の鉄筋をはつり出し、その鉄筋の腐食状態を確認した。はつり後の鉄筋の写真を同図に示す。100 μm 以上の振動変位 (赤) が得られた①、④では鉄筋腐食に伴い断面欠損が確認され、黒錆の付着も確認できる。この領域はかぶり深さが 30 mm 以下と浅く、大きく劣化したものと考えられる。また、30~90 μm 以上の振動変位 (緑、黄色) が得られた②、⑥の領域でも明瞭な断面欠損はみられないものの、赤錆や黒錆を伴う鉄筋腐食が確認された。腐食程度は①、④よりも小さく、振動変位の値も概ね対応している。さらに③、⑤の領域では腐食は確認できず、振動変位も③では数 μm (青色) と極めて小さく、⑤では 10 μm 程度と値と比較的小さい値となっている。このことより、概ね実構造物において加振レーダ計測による鉄筋振動変位と鉄筋腐食状態に対応が見られ、本手法がコントラストの高い腐食評価法になりうる可能性を示唆している。

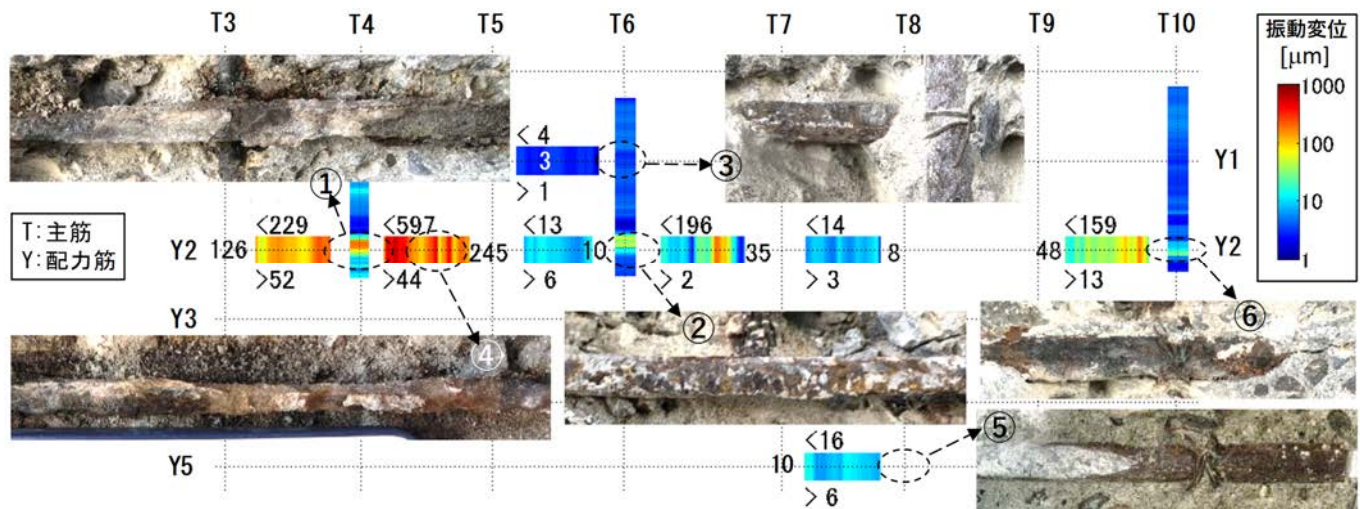


図4 加振レーダ計測により得られる右岸でのかぶり 40mm に補正した鉄筋振動変位とはつり後の鉄筋腐食状況

#### 参考文献

- 1) 三輪空司, 中村和弘, 清水崇至, 小澤満津雄: 加振パルスレーダによる材料劣化した RC 部材の鉄筋振動変位の空間分布計測, コンクリート工学年次論文集, Vol. 43, pp.1169-1174, 2021.