

鋼部材のコンクリート地際における残存板厚の評価・予測（その1） —地際腐食部の平均腐食深さに基づく残存板厚の推定手法—

東京鐵骨橋梁 正会員 ○細見 直史 フェロー 入部 孝夫 九州大学大学院 正会員 貝沼 重信
日本電測機 山田 隆明 永野 徹 福岡北九州高速道路公社 正会員 片山 英資

1. はじめに 下路トラス橋の斜材とコンクリート床版との境界部や鋼製橋脚基部の地際部に著しい腐食損傷が数多く報告されている¹⁾。著者らは、これまで地際部の腐食挙動や疲労耐久性を検討してきた^{2, 3)}。これらの研究成果を実構造に反映させるためには、**図-1**に示す地際部の腐食損傷を周辺のコンクリートをはつることで把握する必要がある。これまで、地際部の腐食損傷の非破壊検査法として、超音波を用いた方法が主として検討されてきた。しかし、超音波探傷を適用する場合、鋼材表面の腐食生成物や塗膜を除去する必要があること、腐食した鋼材表面の凹凸が超音波の入射反射の障害となることなどから、超音波で腐食損傷を検出することは原理上、困難である。そのため、コンクリートや腐食生成物を除去するなどの煩雑な作業を必要としない簡易かつ効率的な非破壊検査法の開発が求められている。そこで、本研究では地際腐食部の渦流探傷検査（以下、ECT）を応用した非破壊検査技術を開発し、各種対比試験片の検査波形に対して非線形回帰分析を行うことによる地際腐食部の平均腐食深さの推定結果に基づき残存平均板厚を推定する手法を提案した。

2. 渦流探傷検査 ECTは**図-2**に示すように、きず信号（欠損体積）が電磁誘導現象によりコイル（センサー）の電圧変化で得られるため、非接触で導体の高速検査が可能である。しかし、従来の装置ではセンサーが腐食の上側を通過する必要があるため、地際腐食部の検査には適用困難である。そこで、ECTを鋼材のコンクリート地際部の腐食検知に適用するために、新たに腐食検知用渦流センサーを開発した。このセンサーを用いることで、腐食生成物や塗装を除去することなく、非接触で短時間かつ連続的な検査を実現した。さらに、ECTにより欠損体積に応じた信号変化から地際部の平均腐食深さを推定する方法が提案されていないため、地際部の平均腐食深さを推定する手法を考案した⁴⁾。

3. 平均腐食深さの推定手法 渦流探傷センサーの電圧変化は、センサーがきず直上（最大の腐食深さ位置）を通過した際に最大となり、この最大の電圧変化を検出することで腐食欠損体積が求められる。

鋼材の地際部分において、その延在方向に対して直交する方向に人工きずを通過するようにセンサーを走査させた場合の探傷波形を**図-3**に示す。図中に青で示す探傷波形は、断面欠損の体積減少による電圧低下の累積を示している。赤実線は探傷波形に近似するガウス関数の非線形回帰分析を行うことで、最大電圧振幅 a 、電圧振幅の標準偏差 b 、最大振幅の位置 c 、および振幅の初期値 d の各パラメータにより近似した確率密度関

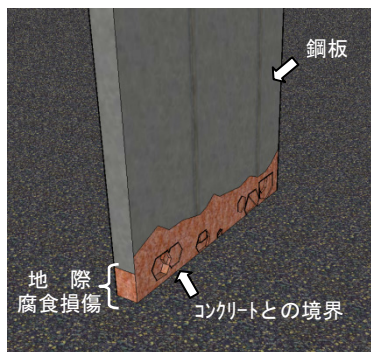


図-1 地際腐食損傷

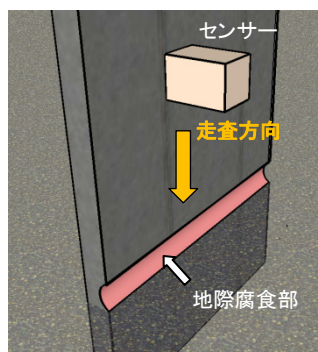


図-2 渦流探傷検査

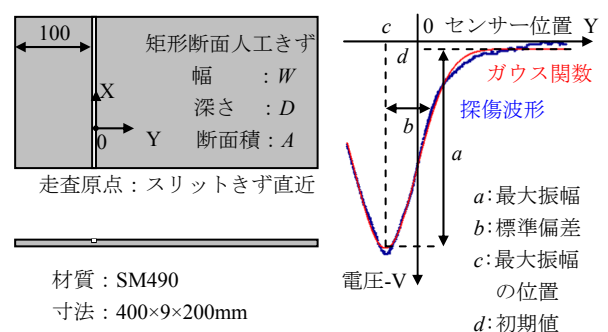
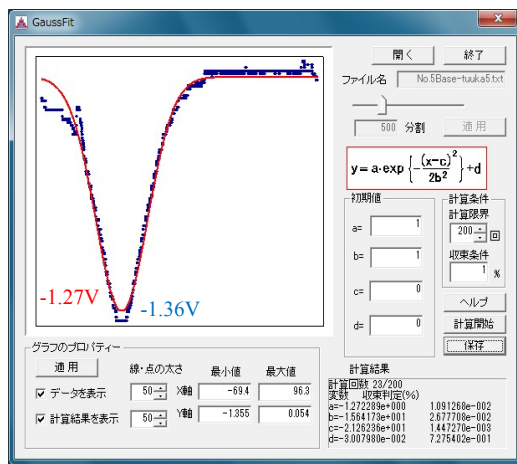


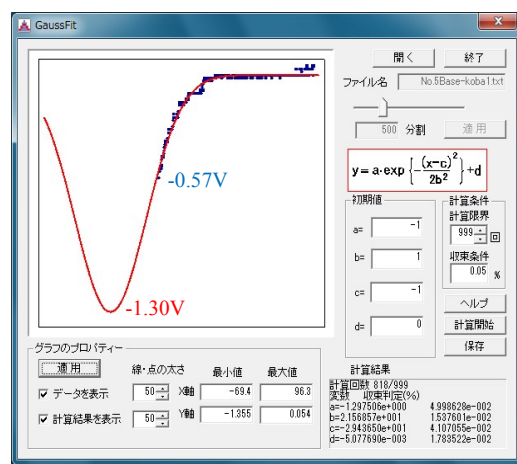
図-3 対比試験片と探傷波形

キーワード 鋼部材，腐食，地際，非破壊検査，渦流探傷

連絡先 〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020 (株)東京鐵骨橋梁 技術本部技術研究所 TEL 0297-78-1113



(a) きず通過



(b) きず直近

図-4 ガウス関数を用いた非線形回帰分析の結果

数を示している。探傷波形はガウス関数にほぼ一致している。しかし、腐食が最も著しい部位は、コンクリートの埋設部近傍であるため、きずを通過させる走査は困難である。そのため、センサーにより直接最大の電圧変化を検知できず、最大の欠損断面を求められない。そこで、目視できない部分の腐食深さ（残存板厚）を評価するためには、腐食損傷による最大電圧の変化を推定する必要がある。

図-3 に示す対比試験片の ECT 波形の一例を図-4 に示す。図-4(a) は、きずを通過させた場合の ECT の走査波形を示している。図中に青プロットで示す ECT 走査波形の最大電圧振幅が-1.36V であるのに対し、赤実線の非線形回帰分析による最大電圧振幅 a を-1.27V と推定している。その推定誤差は-7%程度であり、複数回実施したものの同様の結果であった。また、収束条件を厳しくしても推定結果に差は生じなかった。

きず直近までセンサーを走査した際の探傷波形を図-4(b) に示す。図-4(a) に示す人工きずを通過させた ECT 走査波形の最大振幅に対し、きず直近で走査を停止した ECT 波形の最大振幅は、-0.57V と 40%程度の信号しか得られていない。しかし、非線形回帰分析を行うことで-1.30V の最大振幅が推定でき、その推定誤差は約-4%となった。しかし、最大振幅に対して 40%程度の波形信号から非線形回帰をしているため、計測データのばらつきの影響が大きく、波形の乱れは非線形回帰の収束条件を低下させ、回帰による推定値が小さくなる傾向にあった。実際に、約 1300 測線のデータの回帰分析を行った結果、その 70%以上のデータでは収束条件 0.05%を満たしたものの、それ以上に収束条件を厳しくするとほとんどのデータで収束しなかった。また、収束条件 0.03%により回帰ができた計測データを用いて、0.03%に対する 0.05%の収束誤差を検討した結果、 a , b , c の推定値の誤差は-10%程度であった。

次に、センサーの電圧変化は腐食により欠損した体積に依存するため、平均腐食深さを求めるためには、腐食している区間（以下、仮想腐食幅と呼ぶ。）を推定する必要がある。そこで、地際腐食部の欠損断面積を矩形にモデル化し、簡易にモデル化することで、ガウス関数から仮想腐食幅の算出式を構築して平均腐食深さを推定した。その結果、仮想腐食幅および平均腐食深さの推定誤差は、対比試験片の実きず幅、および深さ寸法に比べて、8%および-6%であった。

4. まとめ 鋼部材がコンクリートに埋設された目視できない地際部の腐食損傷を非接触で高速に検査可能とする非破壊検査技術を開発した。また、その平均腐食深さを推定することで、地際部における鋼部材の残存平均板厚を推定する手法を構築した。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋補修・補強事例集 2007 年版，山海堂，2007.，2) 貝沼重信，細見直史，金仁泰，伊藤義人：鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的な腐食挙動に関する研究，土木学会論文集，No.780/I-70，pp.97-114. 2005.，3) 細見直史，貝沼重信：コンクリート境界部で腐食した鋼構造部材の疲労挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集 A，Vol.64，No.2，2008.，4) 入部孝夫，細見直史，貝沼重信，山田隆明，永野徹：地際腐食損傷部の平均腐食深さの推定による残存平均板厚推定方法（特許出願中）