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 2）
－鋼製橋脚基部の腐食損傷調査と残存板厚の簡易評価と予測－

東京鐵骨橋梁　フェロー　○入部　孝夫　正会員　細見　直史　　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　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)]．地際構造は鋼アーチ橋の垂直材や波形鋼板ウェブ PC 橋，複合トラス橋の斜材，鉄塔基部，ガードレールや標識照明の柱などに多用されており，今後，同様の腐食損傷が懸念される [2)]．これらの腐食は，①局部的かつ板厚方向に進行する損傷で，②腐食の進行性が著しく高く，③コンクリートに埋設された目視できない部位にも生じることが少なくない．目視できない地際部を検査するには，コンクリートのはつり作業や地際部に生じた浮さびを除去するなどの煩雑な作業を要する．そこで，著者らは，渦流探傷検査（以下，ECT）を用いた探傷波形の非線形回帰分析を行うことで，目視できない部位の腐食損傷の位置と平均腐食深さを推定し，非接触で鋼材地際の残存平均板厚の検査が可能な非破壊検査法を提案した [3)]．本研究では，実際の鋼製橋脚基部を対象に本検査手法を用いた試験調査を実施し，検査結果と腐食表面性状の 3 次元計測結果を比較することで，その妥当性を検討した．また，既往の研究 [4)] を用いて，地際部の残存板厚の経時性を簡易予測した．

２．対象構造物　地際腐食損傷部の腐食損傷調査は，角形鋼製門型ラーメン橋脚の基部を対象に実施した．対象橋脚の全景写真を**図-1** に，検査対象部位，測定範囲および目視調査における最大欠損部を**図-2** に示す．調査を実施した対象部位の使用鋼材は SM400A であり，橋脚柱の幅は 2050mm，板厚は 19mm である．なお，調査時における対象橋脚の供用年数は 31 年（1981 年 10 月竣工）である．

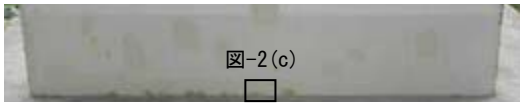
図-1 対象橋脚

３．地際残存平均板厚の推定 [3)]　地際腐食損傷部の ECT および平均腐食深さの推定は，以下で示す手順で行った．この結果から，地際腐食損傷部の残存平均板厚を評価した．

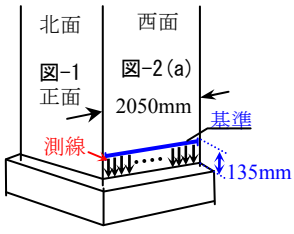
1）対比試験片を用いて探傷機器のキャリブレーションを行う．
2）実構造物の ECT を実施する．
3）ECT 波形の非線形回帰分析を行い，ガウス関数の最大電圧振幅，電圧振幅の標準偏差，最大振幅の位置，および振幅の初期値のパラメータを推定する．
4）対比試験片のキャリブレーション結果と実構造物の被検査材の諸条件を用いて 3)の推定結果から地際平均腐食深さ D と地際腐食位置 Y を計算する．
5）被検査材の腐食前の板厚は設計板厚とし，設計板厚から地際平均腐食深さを差引くことで，残存平均板厚を算出する．

なお，残存平均板厚の推定には，文献 3)の対比試験片による ECT の考察結果から，以下の仮定を用いた．

1）延在方向に対して直交する方向に走査した ECT 波形は，ガウス関数に従う．
2）非線形回帰分析の収束条件は 0.05%以下とする．
3）地際腐食損傷部の欠損断面を矩形断面にモデル化して平均腐食深さを算出する．



(a) 検査対象部位

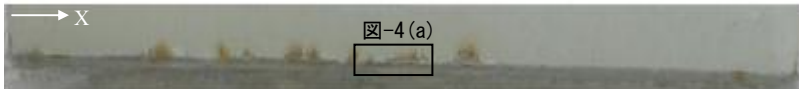


(b) 測定範囲

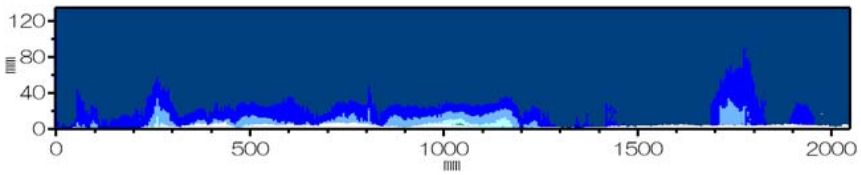
(c) 最大欠損部

図-2 検査対象部位と測定範囲

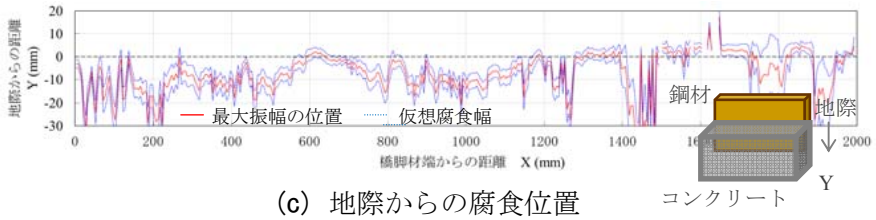
キーワード　鋼製橋脚基部，腐食，地際，渦流探傷，残存板厚
連絡先　〒302-0038　茨城県取手市下高井 1020　(株)東京鐵骨橋梁　技術本部技術研究所　ＴＥＬ0297-78-1113



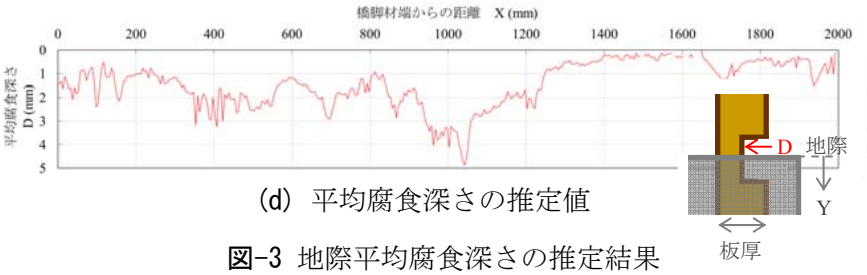
(a) 腐食損傷（検査前）状況



(b) ECT 結果



(c) 地際からの腐食位置

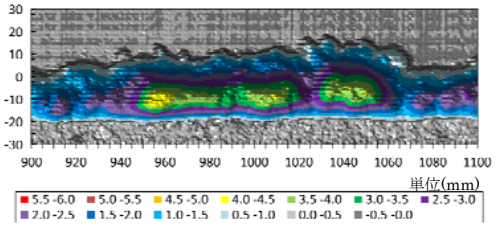


(d) 平均腐食深さの推定値

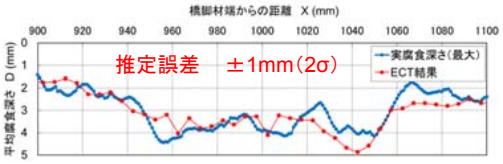
図-3 地際平均腐食深さの推定結果

(a) ケレン後の腐食表面

(b) ハンディースキャン 3D



(c) 現場レーザー変位計



(d) 推定結果との比較

図-4 腐食表面形状の 3D 計測結果

地際部の平均腐食深さの推定結果を**図-3** に示す．**図-3 (a)** は検査前の腐食状況であり，**図-3 (b)** は ECT による電圧振幅変化のコンター図を示している．ECT による電圧測定では，橋脚材端から 300～1200mm 付近の地際近傍で大きな電圧変化が生じた．ECT 波形の非線形回帰分析から算出した地際腐食位置，および平均腐食深さの推定値を**図-3 (c)**，および**図-3 (d)** に示す．地際からの腐食位置は，地際からコンクリート埋設部側に 10mm 程度であり，その平均腐食深さ D_{mean} は 3mm 程度，最大値 D_{max} を約 5mm と推定した．

4．腐食表面形状の 3 次元計測　ECT 後に鋼製橋脚基部の根巻きコンクリートをはつり，地際腐食部をブリッドブラスターによるケレンを行った．次に，セルフポジショニング・レーザースキャナ（以下，ハンディースキャン 3D と呼ぶ.）（Creaform 社製），およびレーザ変位計を用いた現場設置型の XY スキャナ（以下，現場レーザ変位計と呼ぶ.）（東骨社製）による腐食表面形状の 3D 計測を行った．最大欠損部の計測結果を**図-4** に示す．**図-4 (d)** の図中に示す赤プロットは ECT による平均腐食深さの推定結果であり，青プロットは現場レーザ変位計による最大腐食深さを示している．ECT による推定値は，実測値と同様の傾向を示しており，その推定誤差は±1mm（2σ）程度であった．また，地際部を印象材により型取りし，レーザ変位計搭載の卓上 XY スキャナ（九大製）により，測定ピッチを 0.2mm とした腐食表面形状のデータの詳細計測も行った．

5．地際残存平均板厚の評価と簡易予測[4]　文献 4）の簡易的な腐食深さの評価・予測式を用いて地際残存板厚を計算する．ECT による D_{mean} の推定値から最大の腐食深さ D_{max} を算出すると 6mm 程度となる．そのため，地際残存平均板厚 t_{mean} は 16mm，最小残存板厚 t_{min} は 13mm となる．また，腐食深さの実測値 $d_{a,max(b)}$ と供用年数から，塗膜の劣化期間を 10 年と仮定して，腐食促進倍率 A_c を計算すると 4.1 となる．そのため，現状と腐食環境が同じであると仮定すると，10 年後における t_{mean} および t_{min} は，14mm および 9mm と予測される．

6．まとめ　(1) ECT による平均腐食深さの推定値は，実測値と同程度の傾向を示し，その推定誤差は±1mm（2σ）程度である．(2) 著者らの既往の研究成果を用いて，鋼部材の地際部における残存板厚を簡易予測した．

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) 土木学会：日経コンストラクション 2011 年 10 月 10 日号，2011．3) 細見直史，入部孝夫，貝沼重信，山田隆明，永野徹，片山英資：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），第 68 回年次学術講演会，2013．4) 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.