

地際腐食損傷に対する非接触・非破壊検査の効率化に関する検討
 —渦電流センサと鋼部材の離間距離が検査精度に及ぼす影響—

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 フェロー 貝沼 重信 日本電測機 山田 隆明 永野 徹

1. はじめに 鋼製橋脚の基部や鉄塔、道路標識・照明支柱などの地際部では、マクロセル腐食により著しい腐食損傷が生じる。この地際腐食損傷を検査するには、コンクリートのはつり作業や塗膜の除去などの煩雑な作業を要する。そのため、著者らは鋼材表面と渦電流センサとの離間距離（以下、リフトオフ）を2mmとした渦電流探傷検査（以下、ECT）により、非接触で鋼材地際部の残存板厚が推定可能な非破壊検査法を提案した¹⁾。地際部の腐食損傷が著しく、腐食生成物層が比較的厚い場合には、リフトオフを大きくする必要があるが、探傷信号のSN比（信号対雑音比）が低下する。本研究では検査効率を向上させるために、リフトオフの増加が探傷信号から得られる電圧振幅と最大振幅位置の推定精度に及ぼす影響を定量的に検討した。

2. 渦電流探傷試験 渦電流探傷試験には、図-1(b)に示す地際腐食損傷を模した矩形溝きずを機械加工した鋼板を用いた。供試鋼板には JIS G 3106 SM490A を用い、その寸法を 200×400×9mm とした。溝幅は 5mm 一定とし、深さを 1, 3, 6mm とした 3 種類の対比試験片を製作した。溝の諸寸法を表-1 に示す。渦電流探傷試験は図-1(b)に示すように、溝の縁端から 50mm 離れた位置からセンサが溝直上を通過するように鋼板上を移動させ、板幅方向に 5mm 間隔で 5 測線の測定を行った。基準感度は、No.2 試験体の矩形溝（幅 5mm、深さ 3mm）の縁端にセンサを配置した際のセンサ電圧が-0.5V になるように調整した。また、走査位置には地際部の腐食生成物層や塗膜を想定して、アクリル板を用いてセンサから鋼板表面までのリフトオフを 2, 4, 6mm に変化させて測定した。

表-1 試験体の緒元

No.	幅 W (mm)	深さ D (mm)	断面積 A =W×D (mm ²)
1	5.00	6.36	31.8
2	4.98	3.18	15.8
3	4.98	1.09	5.4

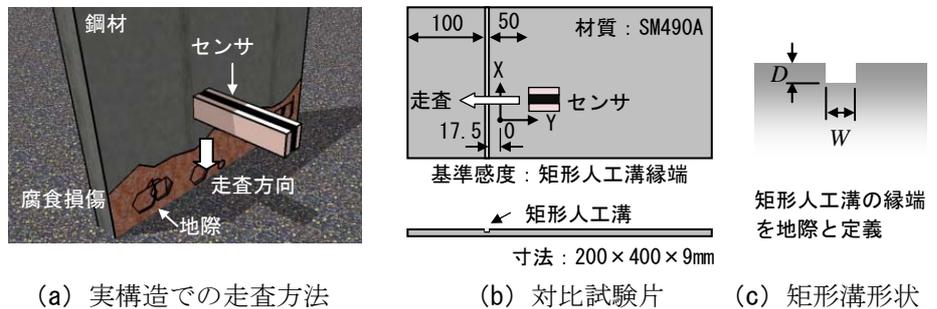


図-1 渦電流探傷試験

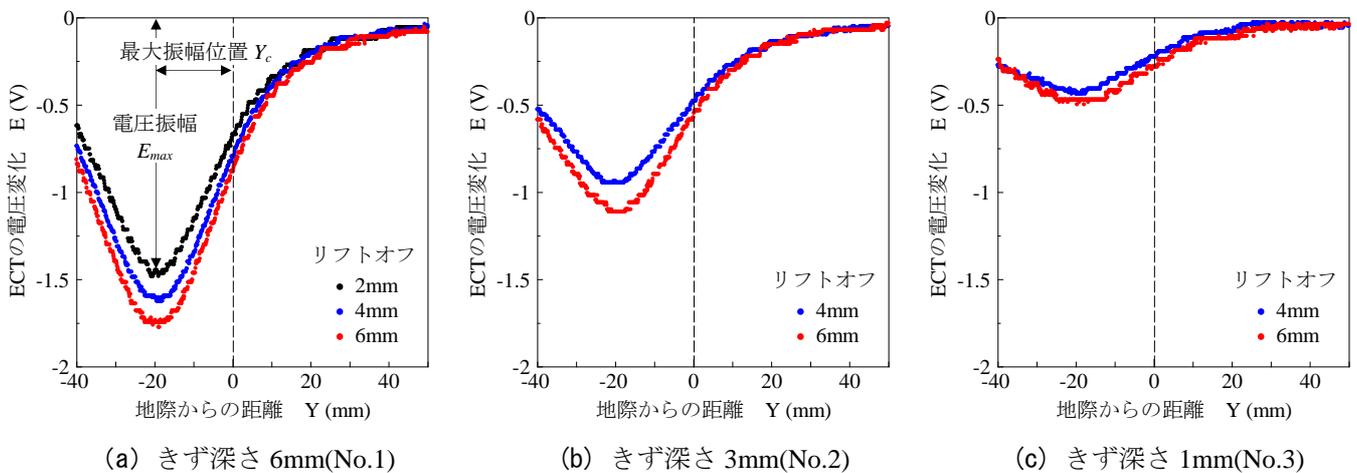


図-2 リフトオフを 2, 4, 6mm に変化させた場合の ECT の電圧変化の一例

キーワード 腐食, 地際, 鋼部材, 非破壊検査, 渦電流探傷

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 TEL0297-78-1113

表-2 ECT 結果 (平均値)

きず深さ(mm) (試験体 No.)	リフトオフ (mm)	電圧振幅 E_{max} (V)	最大振幅位置 Y_c (mm)
6mm (No.1)	2	-1.46	-20.6
	4	-1.62	-20.4
	6	-1.78	-19.8
3mm (No.2)	4	-0.95	-21.2
	6	-1.08	-19.3
1mm (No.3)	4	-0.45	-21.7
	6	-0.49	-20.9

表-3 非線形回帰分析結果 (平均値)

きず深さ(mm) (試験体 No.)	リフトオフ (mm)	非線形回帰分析			
		a	b	c	d
6mm (No.1)	2	-1.32	15.1	-21.5	-0.04
	4	-1.49	15.8	-19.0	-0.10
	6	-1.61	16.2	-20.5	-0.12
3mm (No.2)	4	-0.87	16.7	-19.2	-0.05
	6	-0.97	16.5	-17.9	-0.08
1mm (No.3)	4	-0.40	17.8	-21.9	-0.04
	6	-0.43	16.9	-19.7	-0.05

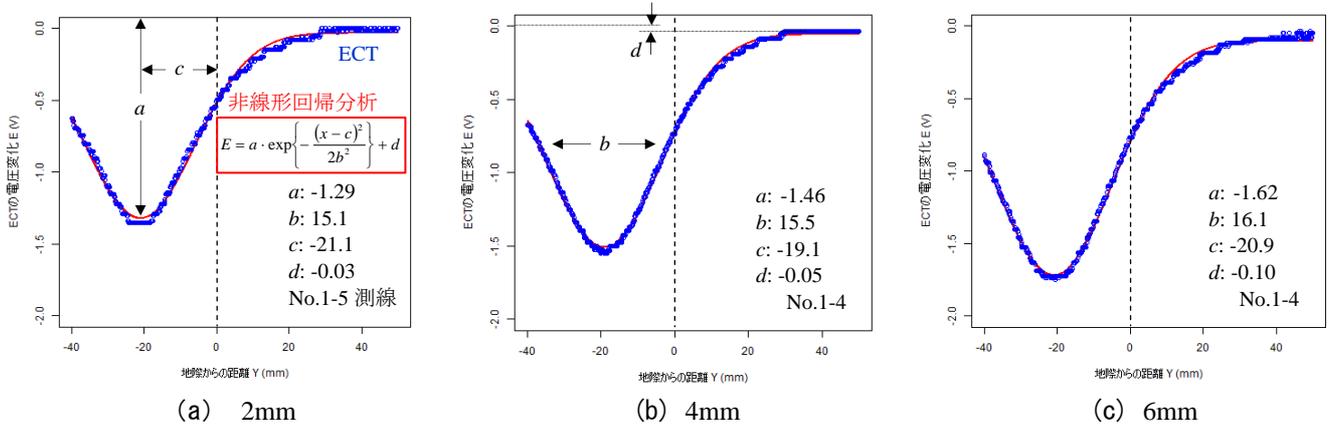


図-3 リフトオフを変化させた場合の非線形回帰分析例 (きず深さ 6mm(No.1))

リフトオフを 2, 4, 6mm に変化させた場合の ECT の電圧変化の一例を図-2 に示す. 図-2(a) はきず深さ 6mm (No.1) の場合を示している. リフトオフが増加するに従って, ECT の電圧振幅が大きくなっているが, その波形形状にリフトオフによる大きな違いは見られない. 図-2(b) に示すきず深さ 3mm (No.2), および図-2(c) のきず深さ 1mm (No.3) では, きず深さが小さくなるに従って電圧振幅は減少しているが, 小さなきずでリフトオフが大きい場合に, 探傷信号に若干の雑音が見られ SN 比が低下している. 全測線での電圧振幅 E_{max} と最大振幅位置 Y_c の平均値を表-2 に示す. 電圧振幅 E_{max} はリフトオフが 2mm 大きくなる毎に, きず深さに関わらず 10% 程度増加しているが, 最大振幅位置 Y_c はきず深さやリフトオフに関わらず同程度となっている.

3. 非線形回帰分析¹⁻³⁾ きず深さ 6mm (No.1) の場合に本試験により得られた探傷波形, およびその非線形回帰分析結果の一例を図-3 に示す. 図中の青プロットは探傷波形であり, 赤実線は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探傷波形に近似したガウス関数を示している. 探傷波形はリフトオフに関わらず, ガウス関数にはほぼ一致している. この傾向はきず深さが 3mm, および 1mm の場合でも同様であった. 全測線の a, b, c, d , 各パラメータの平均値を表-3 に示す. 非線形回帰分析による電圧振幅の推定値 a は, 表-2 の電圧振幅に比べて約 10% 小さくなっており, 最大振幅位置の推定値 c は, $\pm 10\%$ 程度の誤差が生じている. しかし, きず深さやリフトオフに依らず同様の傾向を示している. 以上から, リフトオフ 2mm に対して, 4mm あるいは 6mm とした場合に, リフトオフの違いが推定精度に及ぼす影響は小さいと考えられる.

4. まとめ (1) 地際部の腐食損傷が著しく, 腐食生成物層が比較的厚い場合, リフトオフを 4mm あるいは 6mm に増加させることで, 検査精度を低下させることなく, 検査効率を向上させることが期待できる.

(2) 渦電流探傷による電圧振幅は, リフトオフが 2mm 大きくなる毎に, きず深さに関わらず 10% 程度増加するが, SN 比が若干低下する. また, その波形は, リフトオフやきず深さに関わらずガウス関数になる.

(3) 非線形回帰分析による電圧振幅, および振幅位置の推定誤差は 10% 程度であり, リフトオフやきず深さに依存しない.

参考文献 1) 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., 2) 入部孝夫, 細見直史, 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 2), 第 68 回年次学術講演会, 2013., 3) 細見直史, 入部孝夫, 貝沼重信, 山田隆明, 永野徹: 地際腐食損傷の非接触・自動非破壊検査による平均腐食深さの推定(その 1), 第 69 回年次学術講演会, 2014.