

動磁場解析によるパルス渦電流板厚測定法の測定範囲と測定板厚の関係の検討

名古屋大学大学院 学生会員 ○安藤 聡一郎
 名古屋大学大学院 正会員 北根 安雄
 名古屋大学大学院 フェロー会員 伊藤 義人

1. 研究目的

今日、整備後 50 年を経過した鋼構造物が加速度的に増加してきており、腐食劣化した鋼構造物の適切な維持管理手法の開発が急務となっている。現在の鋼構造物の健全度評価では、目視調査及び超音波厚み計を用いた板厚診断(UT)が用いられる。超音波板厚診断は、理想的な環境下であれば精度良く板厚を計測できるが、素地調整が必要であるため、作業効率とコストの面から、より簡便に広範囲を測定できる板厚手法が求められている。

本研究では、素地調整の必要がない板厚測定法として、パルス渦電流を利用した非接触板厚測定法(PEC)に着目する。PEC では、磁界と渦電流を利用するため、腐食生成物や海洋性付着物などの導電性をもたない表面の付着物や塗膜は測定結果に影響を与えないことから、素地調整が必要なく、広範囲を効率良く測定可能である。PEC で計測される板厚は、図-1 に示すようにプローブ下端から鋼板裏面までの距離を直径に持つ円を測定範囲として、その測定範囲内の平均板厚が求められると経験的にいわれている。本研究では、動磁場過渡応答解析により、有限要素法による PEC シミュレーションを断面欠損鋼板に対して行い、平均板厚が求められる測定範囲を算出し、経験則による測定範囲と比較を行った。

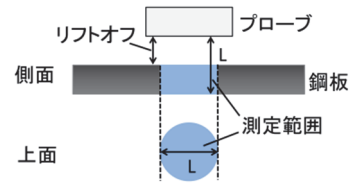


図-1 PEC の測定範囲

2. パルス渦電流板厚測定(PEC)

PEC では、PEC のプローブ内の励磁コイルにより発生する磁界によって鋼板表面に励起した渦電流が、鋼板内を浸透しながら減衰する現象(図-2 参照)を、渦電流による磁界の変化がプローブ内の検出コイルに発生させる電圧の変化として計測する。電圧の変化は、鋼板の電磁気的性質や板厚で特徴づけられ、磁界が急激に減衰する点(減衰開始点)までの持続時間を用いて、板厚既知点に対する相対的な板厚を算出できる。

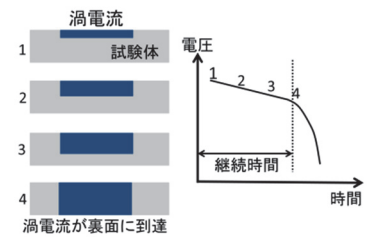


図-2 渦電流の浸透現象

3. 動磁場過渡応答解析

3.1 解析条件

解析ソフトとして、電磁界解析ソフトウェア PHOTO-Series¹⁾のモジュール EDDY を用いた。解析モデルはソリッド要素で作成し、プローブを模したコイル、鋼板とその周囲の空気層からなる

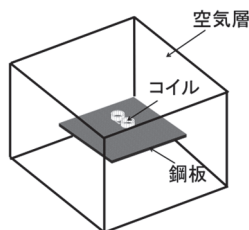


図-3 全体モデル

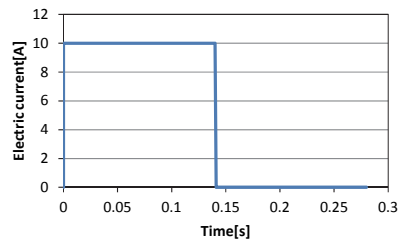


図-4 荷重条件として与えたパルス電流

電流[A]	10
通電時間[s]	0.14
遮断時間[s]	0.14
duty 比	0.50

図-3 に示すような解析モデルを作成した。荷重条件として励磁コイルに図-4 に示すパルス電流を与えた。

3.2 解析モデル

測定範囲の大きさを明らかにする解析モデルとして、測定位置によって平均板厚が異なるモデル(Model A-1) 及び測定範囲の大きさによって平均板厚が異なるモデル(Model A-2,A-3)を作成し、板厚が一様勾配で減少しているテーパ状のモデル(Model A-1)、谷状の減肉が施されたモデル(Model A-2)、すり鉢状の減肉が施されたモデル(Model A-3)の 3 例とした(図-5 参照)。Model A-1 では、プローブモデルが鋼板中心に重なる位置を基準(0mm)にして横方向

キーワード パルス型渦電流、動磁場解析、板厚測定、維持管理、腐食

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-3(651) 名古屋大学大学院 社会基盤工学専攻 TEL 052-789-2736A

にコイルを±25mm 移動させた場合の3例の解析を行い、実際に測定値が鋼板の平均板厚として反映されているかを検討した。次に、Model A-2 と Model A-3 の解析結果から得られた板厚を測定範囲内の板厚分布の平均値として得るための測定範囲を逆算した。また Model A から同定された測定範囲の妥当性を確認するモデルとして、約 19 年間海洋暴露された無防食スパイラル鋼管杭(直径 406.4mm, 長さ 1200mm, 初期板厚 9mm) の飛沫帯部の板厚計測データ²⁾を利用して実腐食表面モデル(Model B)を作成した。

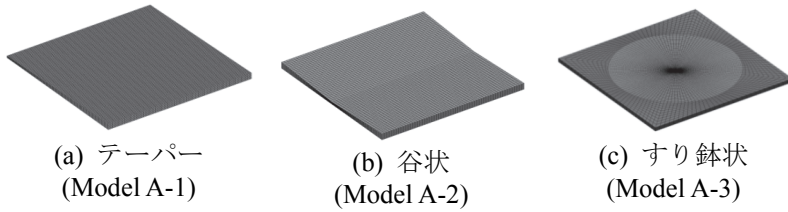


図-5 解析モデル(Model A)

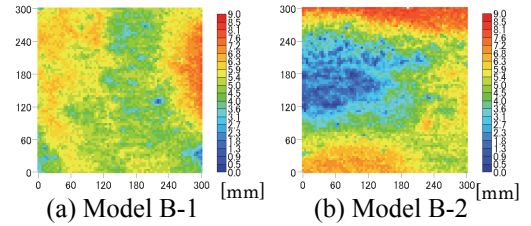


図-6 板厚分布(Model B)

3.3 解析結果

図-7 から図-9 に解析から得られた Model A 及び Model B の電圧減衰曲線を示し、表-1 から表-3 に電圧減衰曲線から得られた減衰開始点とそれにより求められた板厚の解析結果を示す。Model A-1 は一方向テーパモデルであるため、測定範囲の形が円や楕円などの中心に対して対称形であれば、プローブ中心直下の鋼板厚と測定範囲内の平均板厚が同じになる。Model A-1 の解析結果から計算した板厚は、すべての測定点で測定範囲内の平均板厚から誤差 0.2mm 以内に収まり、PEC では測定範囲内の平均板厚が測定されていることが明らかになった。また Model A-2 及び Model A-3 の解析結果の板厚は経験則による測定範囲(本解析においてはφ30 の円)内の平均板厚と大きく異なった。解析結果の板厚が平均板厚となるような測定範囲を円または楕円として計算すると、測定範囲の形状を円よりも楕円とした方が Model A-2 と Model A-3 で測定範囲が良く合致し、今回の解析モデルにおいては、長径約 117mm 短径約 83mm の楕円を測定範囲とすれば平均値が測定できることが判明した。また Model B の解析結果より、

解析で得られた板厚と上記楕円の測定範囲内の平均板厚を比較すると誤差は最大で 0.1mm 程度となり、算出した測定範囲の妥当性が確認できた。

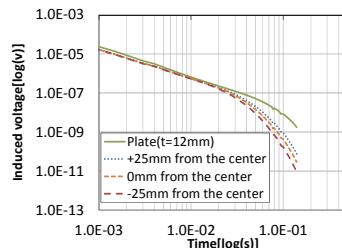


図-7 電圧減衰曲線 (Model A-1)

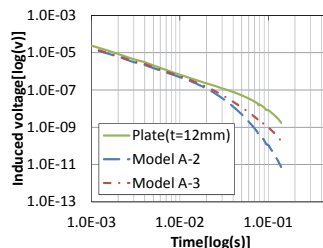


図-8 電圧減衰曲線 (Model A-2, A-3)

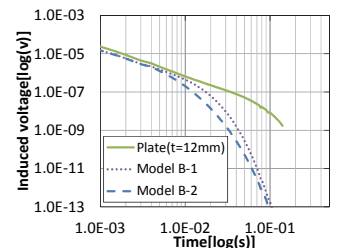


図-9 電圧減衰曲線 (Model B)

表-1 解析結果(Model A-1)

モデル	減衰開始点[s]	板厚[mm]	
		解析値	測定範囲内の平均
平板(12mm)	0.0667	基準	
プローブの位置			
-25mm	0.0237	7.15	7.33
0mm	0.0283	7.82	8.00
+25mm	0.0334	8.49	8.67

表-2 解析結果(Model A-2, Model A-3)

モデル	減衰開始点[s]	板厚[mm]		解析から得られる測定範囲[mm]		
		解析値	経験則	円		
				直径	長径	短径
Model A-2	0.0108	6.60	4.34	230	115	82.0
Model A-3	0.0059	6.72	4.40	204	118	84.4

表-3 解析結果(Model B)

モデル	減衰開始点[s]	板厚[mm]		
		解析値	鋼板全体の平均	測定範囲内の平均
Model B-1	0.0204	4.83	5.25	4.93
Model B-2	0.0209	3.57	4.65	3.67

4. まとめ

- (1) PEC で測定される板厚は測定範囲内の平均的な板厚である。
- (2) PEC の測定範囲は、従来測定範囲とされていたプローブ下面から鋼板裏面までの距離を直径に持つ円よりも大きな範囲であり、その形状は、今回想定したプローブでは、円とするより楕円とする方がより合理的である。
- (3) 約 19 年間海洋暴露された鋼管杭のような減肉の大きい腐食表面であっても、PEC は、本研究で算出した測定範囲内の平均板厚を測定することができる。

参考文献

- 1) PHOTON (2014) : PHOTO-Series MAG/EDDY/MOTION Command Reference.
- 2) 田村功, 渡邊英一, 伊藤義人, 藤井堅, 野上邦栄, 杉浦邦征, 永田和寿, 岡扶樹 (2005) : 海洋環境において腐食した鋼管の形状計測と残存耐力に関する検討, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1103-1110.