

海洋環境下で腐食した鋼管構造物における渦流計測法の適用性に関する研究

琉球大学 正会員 下里哲弘 琉球大学 正会員 有住康則
琉球大学 学生会員 塚原雄介 (有)ティティエス 正会員 中野裕二郎

1. はじめに

常に乾燥と湿潤状態とが繰り返される港湾鋼構造物は鋼材にとって非常に厳しい腐食環境下にある。そのため従来から、塗装・FRP等による被覆、電気防食など、設計段階で鋼材に耐食性を持たせる対策が行われてきた。しかしながら、被覆材の経年劣化や、海面境界部付近の電気防食は効きにくいという原理的な問題により、想定外に鋼材の劣化が進んでいる事例も報告されている。また一方で、港湾鋼構造物の検査を行う際には、被覆材や海洋生成物(貝殻等)が検査の妨げとなり、効率の良い検査手法の開発が求められてきた。

本報告では、Pulsed Eddy Current (パルス渦流計測法、以後 PEC と記す) を用いて、港湾鋼構造物への適用性の検討を行った。PEC は、主にプラント機器の点検に使用されており、保温・耐火材下の金属板厚を、非接触で検査するために開発された技術である。

2. PEC の測定原理

写真-1 に PEC の測定システムを示す。測定システムは、測定用のプローブと各種制御を行う PEC 本体、パソコンから構成される。測定原理を図-1 に示す。測定は、発信モードと受信モードとに分かれており、発信モードによりプローブ内のコイルに直流電流をパルス状に流すことで、磁界が発生し、その磁界により対象金属表面に渦電流を発生させる。次に受信モードに切り替わり、減衰しながら金属内部に浸透して行く渦電流の様子をモニタリングする。最終的には、渦電流は対象金属の裏面まで到達して、急速に減衰する。厚い金属を測定した場合は、この減衰点までの時間は長くなり、薄い金属を測定した場合は、その時間は短くなる。PEC は、この減衰するまでの時間の差を測定する事で、板厚値を相対値に評価する。磁界は非磁性体に邪魔されることなく透過できるので、港湾鋼構造物に見られる、被覆材や海洋生成物の影響を受けずに非接触で検査する事ができる。測定点一点あたりの測定範囲については、渦電流が発生するフットプリントと呼ばれる領域の平均板厚を測定している。その大きさは測定対象とプローブとの距離により決まる。

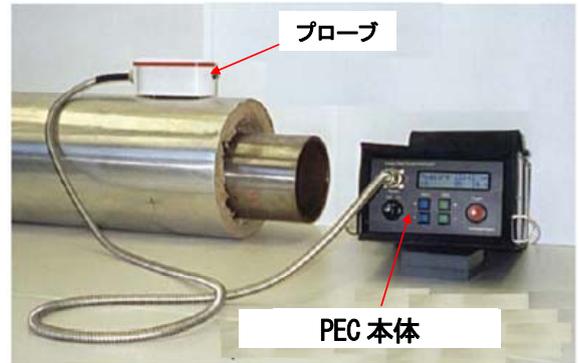


写真-1 PEC システム

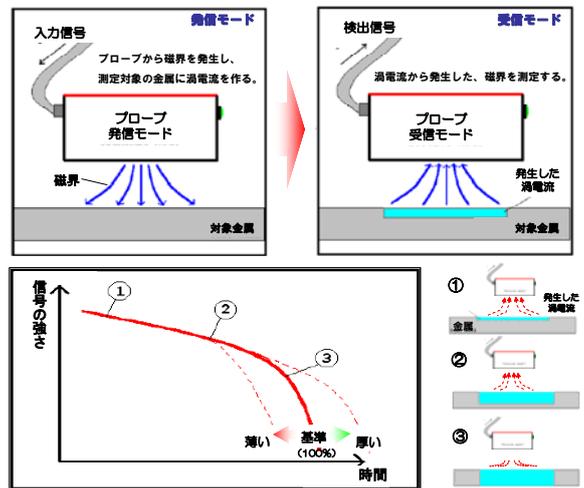


図-1 測定原理



写真-2 実腐食計測試験体

3. PEC による実腐食鋼管測定

沖縄県宮古島で使用されていた、実腐食鋼管 6 本(写真-2)を用いて、PEC の作業性、精度確認を行った。

PEC 測定状況を図-2 に示す。測定位置のマーキングとして、測定ピッチの書かれた薄いフィルムを実腐食鋼管に巻きつけ、プローブ測定面には介在物を模した 4mm 厚さのプラスチック製のシムを挟んだ。

PEC の測定ピッチ・点数を図-3 に示す。測定ピッチは、周方向：20 点、軸方向：90mm ピッチを基本とするが、今回試験体として使用した実腐食鋼管は、飛沫帯や干満帯付近よりコンクリート床版との境界部の腐食が激しいことが目視で確認できたため、その部分のみは、軸方向：60mm ピッチで密に測定した。6 本(約 2000 点)を計測するのに用いた時間は、約 7 時間である。別途、部分的に UT(超音波板厚測定器)でも測定を行ったが、測定前処理の錆除去に多くの時間を費やし、50 点測定するのに約 10 時間を要している。

結果の一例を図-4 に示す。r-1 を基準(100%)とした板厚分布となっている。図中の“×”は、PEC の検出下限値を下回る板厚により評価できなかった測点である。一般的に港湾鋼構造物の減肉分布は飛沫帯と干満帯の 2 カ所の腐食が激しいことが知られている¹⁾が、今回の計測結果では、床版と海上大気中の境界部でも大きな減肉指示が得られている。

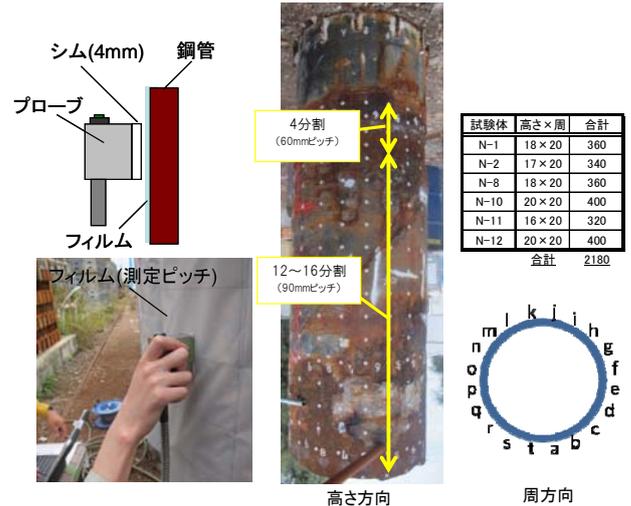


図-2 測定状況

図-3 測定ピッチ・点数

高さ 方向		周方向																			
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
床版 内部	1	96.4	94.9	94.5	97.2	98.5	97.1	100.5	96.8	100.6	97.5	95.6	100.7	101.8	103.9	100.4	97.0	101.3	100.0	96.7	95.1
	2	91.9	95.2	91.3	90.3	94.9	92.9	96.2	96.1	91.7	97.3	97.9	94.8	92.1	98.7	100.1	95.3	96.7	91.3	93.3	90.9
境界部	3	X	X	X	X	X	X	X	X	45.1	X	X	X	X	67.8	X	48.7	39.7	X	X	X
	4	X	68.7	51.2	64.4	69.3	74.8	83.0	62.2	64.3	60.6	76.2	66.6	46.3	90.1	79.7	61.6	42.8	X	53.6	64.6
海上 大気中	5	80.8	81.9	70.4	73.4	89.6	96.3	92.7	94.2	81.1	78.5	77.9	96.8	67.3	97.8	89.0	84.8	52.6	62.7	87.2	81.3
	6	78.1	93.9	86.5	77.4	76.7	92.0	87.1	96.8	91.9	93.5	96.5	94.8	79.5	92.9	91.9	91.0	53.2	60.2	89.1	93.5
飛沫帯	7	88.3	91.1	73.3	72.1	80.5	93.7	92.7	86.7	97.3	95.2	97.7	94.1	88.8	95.5	94.1	91.9	66.8	74.0	86.9	93.6
	8	90.6	92.3	93.8	92.8	97.5	98.0	91.0	59.6	94.6	95.5	90.4	89.4	67.3	67.0	85.9	83.6	96.7	99.4	82.0	83.4
干満帯	9	91.6	98.7	96.7	98.8	95.2	98.3	88.4	92.1	95.1	91.8	71.7	79.3	63.9	64.2	73.1	72.5	96.0	92.7	73.0	73.4
	10	83.6	98.8	91.7	90.0	92.0	99.9	82.9	94.7	100.1	93.9	79.3	67.9	53.1	82.7	73.8	67.9	96.3	89.9	78.2	74.3
飛沫帯	11	64.3	70.1	96.6	97.1	101.7	100.7	103.6	97.5	97.6	87.6	55.6	68.7	54.0	89.8	96.8	80.6	90.3	94.7	89.4	82.7
	12	86.7	67.2	89.3	97.8	94.8	100.7	98.2	102.2	94.5	61.5	X	X	47.0	94.1	86.5	57.7	58.3	90.1	96.4	86.9
飛沫帯	13	91.8	91.0	89.3	86.8	101.7	97.5	97.5	97.3	90.0	51.3	X	58.4	50.8	90.9	81.6	53.3	71.5	91.9	96.1	96.5
	14	93.6	92.2	95.5	93.3	97.9	102.4	95.4	94.5	87.0	74.3	50.3	84.3	90.2	93.9	89.0	89.2	85.8	88.3	98.3	96.3
干満帯	15	94.3	96.5	95.5	98.6	96.7	100.1	105.6	92.8	83.2	87.9	76.5	92.1	91.7	94.2	96.5	94.5	92.1	92.2	96.2	93.9
	16	95.3	94.3	98.9	96.5	98.6	97.9	99.1	99.6	81.4	91.8	87.0	89.0	88.1	90.1	96.9	92.9	86.3	87.2	86.7	87.5
干満帯	17	87.2	90.7	101.4	93.3	91.2	89.1	89.1	93.0	82.1	80.6	78.0	81.0	84.5	89.9	86.3	86.7	80.0	80.1	84.9	83.7

100 : 板厚基準点 × : 減肉大(評価不可)

4. PEC 測定値の検証

PEC 測定値の検証には、金属板を挟み込みこむことで板厚を計測するキャリバーゲージを使用した。PEC 測定後、実腐食鋼管を切断して、切断部をブラスト処理した。ブラスト処理の前後を計測することで、錆び厚と残存板厚を確認した。

図-5 に錆び厚ごとに色分けをした、PEC 値の検証結果を示す。PEC は相対値による板厚評価のため、設計板厚より絶対値変換を行っている。PEC とキャリバーゲージとの誤差は平均で 0.53mm となった。PEC の公称精度は、±10% と言われているが、測定データはおおむねその範囲内である。また、錆び厚の厚さに関わらず、減肉を捕える事も確認できた。

図-4 PEC測定結果

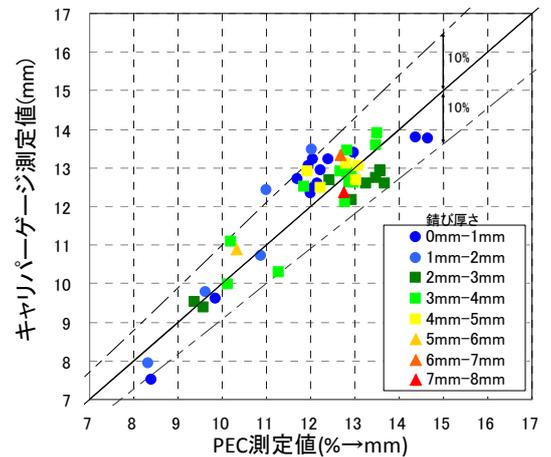


図-5 検証結果

5. まとめ

PEC は非接触で板厚を測定できるため、検査のための表面処理が必要とせず、従来より港湾鋼構造物に用いられてきた UT よりも数十倍の検査効率を持つことがわかった。また、錆を残したまま計測できることも確認できた。キャリバーゲージとの誤差も平均で 0.53mm と小さい。シム上からのデータ取得も可能であることから、ライニング材などの上からでも同様の測定が可能と考えられる。PEC は新しい検査技術として、鋼構造物やライニング鋼管の板厚測定に使用できると考えられる。また、港湾鋼構造物の腐食分布特性は、飛沫帯と干満帯の 2 カ所だけでなく、床版境界部を含めた 3 カ所の減肉分布になることが判明した。このことは、今後の腐食鋼管の残存耐荷力の評価に有益である。

【参考文献】 1) 土木学会：腐食した鋼構造物の残存性能評価および性能回復技術，2007. 5