

ソフト探触子を用いた腐食部材の厚さ測定

輸送高度化研究領域 * 島田 道男

環境エネルギー研究領域 成瀬 健

元輸送高度化研究領域 吉井 徳治

1. まえがき

船舶や海洋構造物の健全性を確保するため、超音波厚さ計を用いた腐食衰耗のチェックが広く実施されている。一般に、腐食した部材の厚さを測定するには、超音波の伝達を安定化するため、腐食凹凸面の平滑化を要する。しかしながら、厚さ測定が多数点に及ぶ場合や、グラインダ用の交流電源の準備が困難な時など、腐食凹凸面の平滑化を省略して測定したい場合がある。このような場合の測定に振動子面が柔軟に変形できるソフト探触子の適用が有効と思われたので、従来型のセラミックス探触子との厚さ測定比較実験を実施した。

凹凸面に通常の超音波探触子を押し当て、得られた底面エコーから厚さを計算すると、探触子と腐食凹凸面の間に存在する接触媒質中の伝搬時間

が底面エコー伝播時間に加わるため、厚さ測定値は、真の厚さより大きくなる(図1参照)。これまでの腐食凹凸面における測定実験から、船舶構造に生じた凹凸(表面粗さ0.5~1mm, 基準長24mm)においては、0.6~1.5mm程度過大評価⁽¹⁾することが分かっている。

腐食管理の面からは、厚さの過大評価は危険側の評価であり、好ましくない現象である。腐食凹凸面からの厚さ測定を実用化するためには、出来る限り過大評価を押さえることが必要となる。

ソフト探触子は、凹凸面に押し当てられると、凹凸面に沿って変形するので、図1に示すとおり、探触子と凹凸面の間の接触媒質の量を少なくできる。これによって、接触媒質中の伝播時間が減少し、厚さ測定における過大評価の傾向が改善されると期待される。

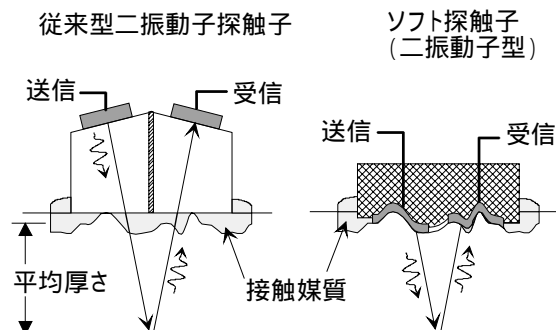
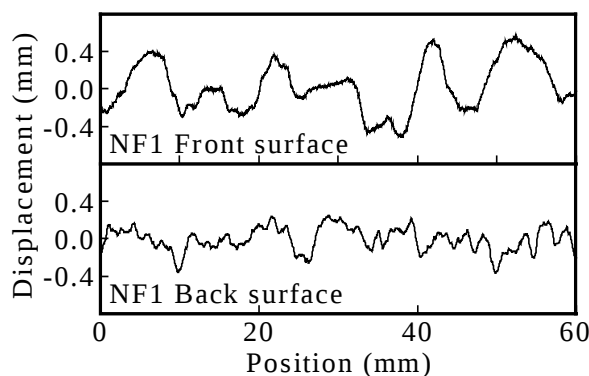


図1 凹凸面における厚さ測定

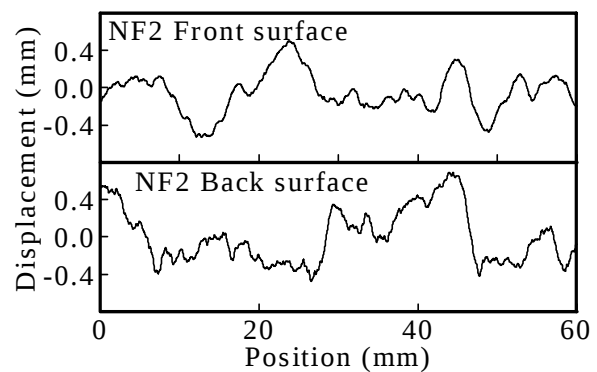
2. 実験方法

試験には、船体から切り出した2種の腐食衰耗鋼材(記号NF1及びNF2)を用いた。その表裏面の錆を落とし、2台のレーザー変位計で表裏面の凹凸を連続測定(1/40mm間隔)し厚さを求めた。測定例を図1に示した。

連続した厚さ測定値から、超音波測定点(縦横30mm間隔)の厚さを抽出し、その平均と標準偏差



(a) NF1



(b) NF2

図2 腐食面の凹凸測定例

表 1 腐食試験片の厚さと表面粗さ

Specimen		NF1	NF2
Thickness	mean	6.81	13.32
	stdev	0.50	0.83
Roughness Rmax	front	1.08	0.78
	back	0.57	0.89
Size		300 × 300	240 × 210

(unit : mm)

を求めた。結果を表 1 に示した。また、連続測定値を基準長 25mm 毎に分割し、表裏面の粗さ (Rmax) を求め、平均値を同様に表 1 に示した。

表 1 から分かる通り、試験片 NF2 の方が NF1 より厚く、厚さの標準偏差も NF2 の方が大きい。粗さ平均値は、NF1 の方がやや大きい。

計測システムは、帯域幅 35MHz のパルスレーザとデジタルオシロ (500Ms/s、8bits)、波形記録解析用のパソコンを用いた。パルスレーザの励振は、スパイクパルスである。

ソフト探触子として振動子径 5 φ 二種 (5MHz 及び 10MHz) と 10 φ 一種 (5MHz)、比較用の通常型探触子 6.3 φ (5MHz) 一種を使用した。全て二振動子型の探触子である。鋼板 15mm の底面エコーを参考のため、図 4 に示した。10MHz を除いて狭帯域型の特性を示した。

計測は、試験片上に縦横 30mm 間隔で測定点をあらかじめ決めておき、これらの点で、順次測定を行った。測定点の数は、NF1 で 63、NF2 で 36 である。ただし、5 φ の探触子 2 個については、送受を入れ替え測定したので、測定点数は 2 倍である。

収集したエコー波形は、絶対値を求めた後、低域濾波フィルタを通すことで、検波波形に直して解析した。5MHz の波形についてはカットオフ 3MHz ストップバンド 4.5MHz、10MHz の波形についてはカットオフ 8MHz ストップバンド 12MHz を低域濾波フィルタの定数とした。

TOF の測定法が厚さ測定に与える影響を検討するため、底面エコーの路程は、検波波形のピーク時刻と、ピークの 1/2 まで立ち上がる時刻 (図 5 参照) について求めた。

また、送信と受信をに 2 つの振動子を用いる二探法と一方の振動子で送受信を行う一探法の双方で測定を行い、厚さ測定への影響を調べた。

TOF から厚さへの変換は、鋼板 5mm の多重反射からもとめた厚さと TOF の関係を近似する 1 次式を用いた。

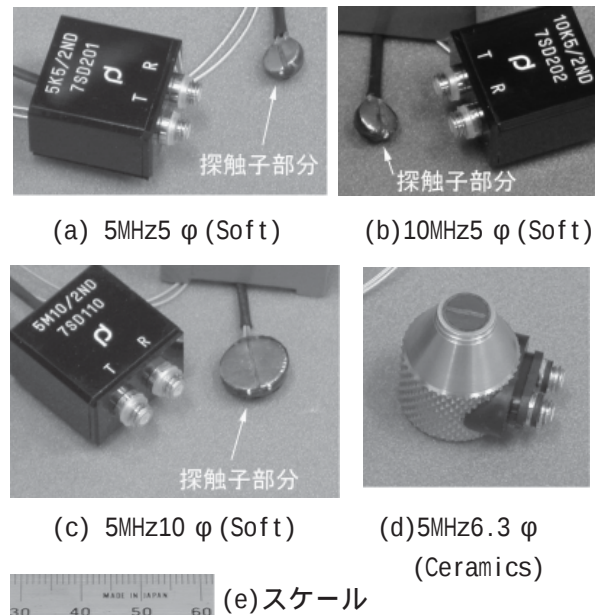


図 3 探触子外観

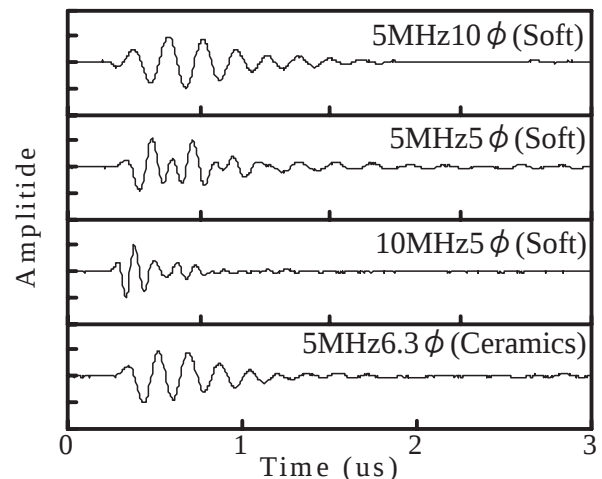


図 4 4 つの探触子の波形比較

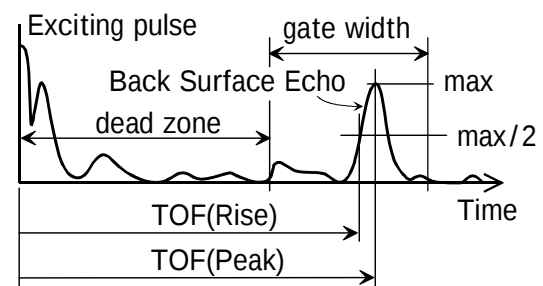


図 5 TOF の測定方法

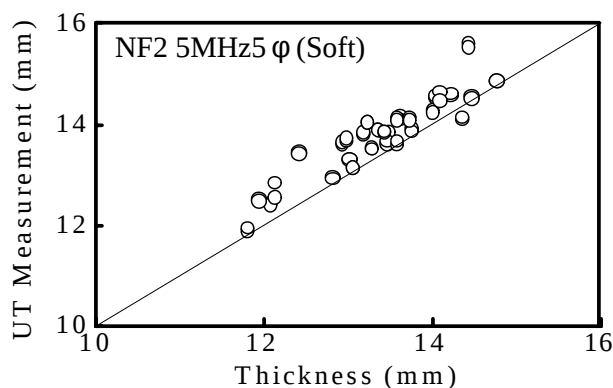
3. 実験結果

個々の測定点における超音波による厚さ測定値からレーザー変位計による値を差し引いて、超音波厚さ測定誤差を求めた。以下では、ピークによ

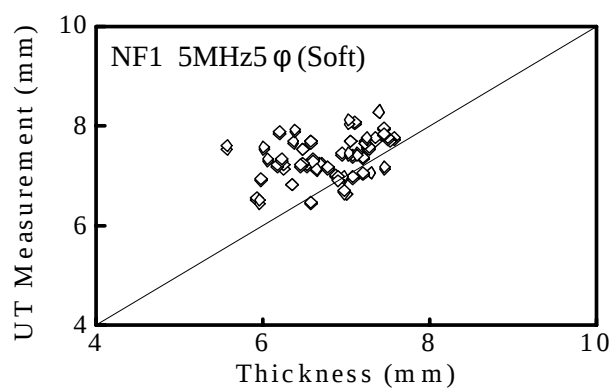
表2 4つの探触子による測定値の誤差比較

Specimen	Soft Probe						Conventional	
	5MHz10 φ		5MHz5 φ		10MHz5 φ		5MHz6.3 φ	
	average	stdev	average	stdev	average	stdev	average	stdev
NF1	1.26	0.53	0.57	0.53	0.74	0.52	1.02	0.63
NF2	0.92	0.34	0.41	0.3	0.41	0.6	1.24	0.78

(unit:mm)



(a) NF2



(b) NF1

図6 厚さ測定値の散布図

るTOF測定、二探法を標準として説明する。特に指定がない場合には標準で測定したものである。

表2は、ピークで検出したTOFを用いた時の測定誤差の平均と標準偏差を表す。振動子径が大きい5MHz10φと従来型探触子で誤差が大きい。5MHzと10MHzの5φの誤差が小さい。全体的傾向として厚さの小さいNF1は、NF2に比べ誤差が大きい。NF1とNF2の荒さの違いもあるが、厚さが小さいほど表面荒さが測定結果に与える影響が大きい。

この時の真の厚さと超音波厚さ測定値の関係例(NF2, 5MHz5φ)を図6に示す。実厚さと超音波測定値が1:1で対応する線を実線で示した。厚さの大きいNF2では、両者の対応が比較的良好なことが

分かる。

表3は、TOF測定方法の影響を表す。Peak、Riseは、それぞれTOFをピーク時刻、1/2立ち上がり時刻で測定したことを表す。試験片は、NF2である。誤差の大きい5MHz10φと従来型探触子では両者の差が小さいが、精度が良い5MHzと10MHzの5φでは、Peakの方が良い精度を示した。腐食凹凸面ではノイズの影響が少ない高いエコー位置で測定した方が誤差低減に有利と思われた。

探触子を二探法として用いた場合と、一探法として用いた場合の測定誤差を試験片NF2について、表4に示した。ソフト探触子を凹凸面に適用すると、送信と受信の指向性が凹凸面の影響で一

表3 TOF測定法の違いによる測定誤差の比較

Specimen	Soft Probe						Conventional	
	5MHz10 φ		5MHz5 φ		10MHz5 φ		5MHz6.3 φ	
	average	stdev	average	stdev	average	stdev	average	stdev
Peak	0.92	0.34	0.41	0.3	0.41	0.6	1.24	0.78
Rise	0.93	0.3	0.85	0.3	0.6	0.29	1.18	0.67

(unit:mm)

表4 二探法と一探法における測定誤差の比較

Specimen	Soft Probe						Conventional	
	5MHz10 φ		5MHz5 φ		10MHz5 φ		5MHz6.3 φ	
	average	stdev	average	stdev	average	stdev	average	stdev
二探法	0.92	0.34	0.41	0.3	0.41	0.6	1.24	0.78
一探法	0.69	0.42	0.41	0.39	0.63	0.44	-	-

(unit:mm)

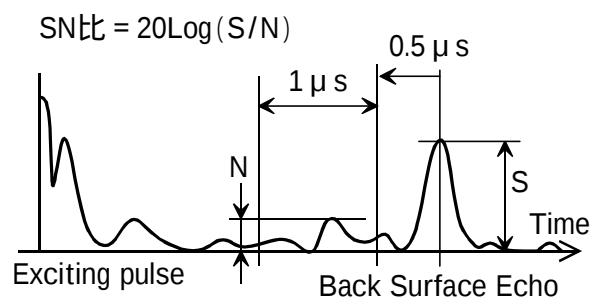


図7 SN比の定義

致しなくなるため、二探法は不利となる可能性もあるが、5 φ 5MHz と 10MHz では、その影響は見なく、10 φ 5MHz のみで影響が見られた。径が大きい時は、二探法は不利になることが分かった。

測定の難易度を評価するため、ピーク値とピーク値前の1.5us ~ 0.5us における最大エコー高さを求め、両者の比をSN比(図7参照)として検討した。表5にその結果を示した。NF2に較べてNF1がややSN比が悪いが、どの探触子においても平均14dB以上のSN比があり、測定解析は、比較的容易と考えて良い。

NF1の試験片を用いて、二探法と一探法のSN比の比較を行った表6では、一探法のSN比が著しく低下していることが分かる。5MHz10φの一探法の×印は、底面エコーが判別出来ないことも多く、測定をあきらめたものである。従って、5MHz5

φと10MHz5φよりも悪いSN比と思われる。一探法では短いTOF領域に励振パルスの影響が残るため、厚さの小さいNF1で特にSN比が低下したと考えられる。振動子サイズが大きい場合、表面の凹凸の影響を強く受けるため、10φ5MHzでは、5φよりも測定が困難になったと考えられる。

4. まとめ

腐食した船体鋼板材を用いて、腐食凹凸面厚さ測定へのソフト探触子の適用性を調べた。表面粗さがRmaxで0.8~1.1mmの腐食鋼板を対象として、通常型の厚さ測定用分割型振動子と比較すると、5MHzおよび10MHzの5φソフト探触子が、測定精度に優れていた。5MHz10φソフト探触子の測定精度は、通常型探触子と大差なかった。

厚さ測定に用いる伝搬時間の計測は、エコーピークを検出する方法が、エコー立ち上がりを検出する方法より、精度が優っていた。腐食凹凸面からの測定においては、ノイズエコーによりエコーの波形が乱れることが多いため、立ち上がり位置がピーク位置よりもこれらの影響を受け、変動しやすいためと考えられた。

参考文献

(1) 島田・吉井・成瀬 新素材の非破壊評価特別研究委員会資料No.007-187 1999.7

表5 NF1 と NF2 試験片における SN 比の比較

Specimen	Soft Probe						Conventional	
	5MHz10φ		5MHz5φ		10MHz5φ		5MHz6.3φ	
	average	stdev	average	stdev	average	stdev	average	stdev
NF1	16.4	5.8	17.9	4.3	16.4	4.4	14.1	4.3
NF2	21.2	4.7	22.8	4.8	15.9	4.8	14.3	3.2

(unit: dB)

表6 二探法と一探法における SN 比の比較

Specimen	Soft Probe						Conventional	
	5MHz10φ		5MHz5φ		10MHz5φ		5MHz6.3φ	
	average	stdev	average	stdev	average	stdev	average	stdev
二探法	16.4	5.8	17.9	4.3	16.4	4.4	14.1	4.3
一探法	×	×	2.5	5.3	-0.7	8.4	-	-