

28 超音波厚さ測定の省力化と信頼性向上に関する検討

輸送高度化研究領域 インテリジェント加工法研究グループ *成瀬 健
新材料利用研究グループ 島田 道男 吉井徳治

1. はじめに

ダブルハルトンカーを含む大型船舶等において、疲労き裂の発生と腐食衰耗が船体の安全性を考える上で最も重要な問題である。現状では、これらを調べるために行われる船舶検査は、主に、目視検査によるき裂等の検出と超音波厚さ計による腐食衰耗量の測定により行われている。様々な制約からこの状況は容易には変わらないものと考えられ、検査面から船舶の安全性向上に資するためには、第一義的に、目視検査と厚さ測定の省力化と信頼性の向上が望まれる。

通常、船体構造部材の厚さ測定は超音波厚さ計により行われている。しかし、腐食した構造部材の表面は、腐食生成物に覆われていたり、大きな凹凸を生じているなどの理由から、グラインダー等による測定面の前処理が必要となり、そこに多くの費用と労力を要することが問題となっている。また、測定者が前処理を行う際に、削りやすい箇所を測定点に選定することによる測定結果の偏向も懸念されている。

そこで本研究では、腐食部材の超音波厚さ測定において、グラインダーによる測定面の前処理省略を検討するため、実際の腐食鋼板を、ブラシ等により錆を落としただけの状態で超音波厚

さ測定を行い、機械式厚さ測定と比較した。その結果、グラインダー処理を省略した場合、平均値で、プラス側に0.6mmから2.2mmの測定誤差が発生することを確認し、その対策として、表面エコーの持続時間による補正方法を検討した。

2. グラインダーによる前処理を省略した腐食鋼板の超音波厚さ測定

グラインダーによる測定面の前処理を省略した腐食鋼板の超音波厚さ測定を行い、機械式の厚さ測定と比較した。

供試材は、腐食衰耗の著しい船舶から採取した腐食鋼板3枚で、表面の錆はワイヤブラシ、スクレーパー等で除去した。供試材の寸法および表面あらさを表1に示す。厚さは、機械式の測定方法(後述)により求めた厚さ分布の平均値である。また、表面あらさは、35MHzの集束型超音波探触子による0.25mmピッチの水浸探傷TOF(Time of Flight)画像により求めたもので、基準長L=12mmの中に含まれる山と谷の間隔の最大値の平均である。

超音波測定には、パルサーレーシーバーとデジタルオシロスコープを使用し、波形を一旦パソコンで収集してから厚さを計算した。探触子は、

表1 供試材の寸法および表面あらさ

Specimen No.	Test surface	Size (mm)	Thickness* (mm)	Surface Roughness Rmax (L=12mm)
1	A	195 × 195	14.70	0.76
	B		14.66	0.66
2	A	230 × 345	19.07	0.81
	B		19.10	0.69
3	A	200 × 225	6.77	0.81
	B		6.72	0.42

* Thickness: Average thickness measured by caliper

遅延材付一振動子探触子（周波数：2.25MHz、振動子直径： ϕ 12.7mm、遅延材寸法： ϕ 12.7 × 12.7mm）を用いた。

測定は、表裏両面について縦横 15mm 間隔で行った。測定点数は、供試材の寸法により異なり、121点から294点であった。測定の際、超音波を十分に伝達させるため、測定面の凹凸に接触媒質（グリセリンペースト）が十分にいきわたるよう配慮した。

厚さの計算は、R・B1方式およびS・B1方式¹⁾の2種類で行った。腐食面からのエコーは立ち上がり不明瞭であることから、エコーのピークを基準として伝搬時間を計算した。Bm・Bn方式¹⁾は、第2回目以降の底面エコー高さが著しく低下するため行わなかった。

厚さ測定と同時に、最も厚い供試材2についてB1エコーのS/N比を計算して実用性を検討した。ここでS/N比は、SエコーとB1エコーの間の2 μ sの範囲のノイズ平均値に対するB1エコーピーク振幅値とした。

機械的厚さ測定は、供試材を表裏から二つのダイヤルゲージで挟む方法（キャリパー）により行い、測定点は、超音波測定領域（ ϕ 12.7mm）の中心点とした。

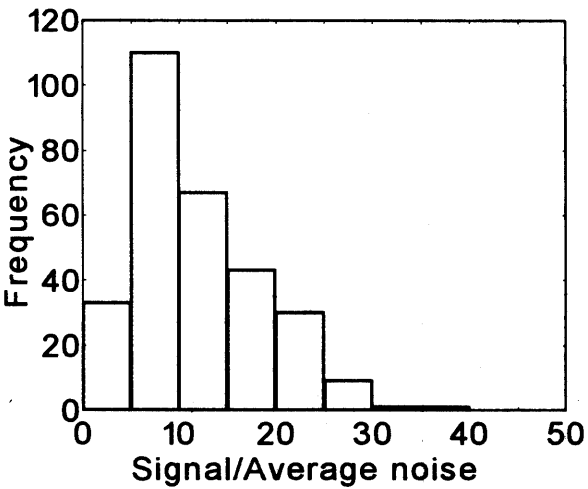
さらに、比較のため、市販の超音波厚さ計によ

る計測も行った。厚さ計は、表示器付きのもので、測定方式はR・B1方式である。探触子は、二振動子探触子（振動子直径： ϕ 12.7mm、周波数：5MHz）である。

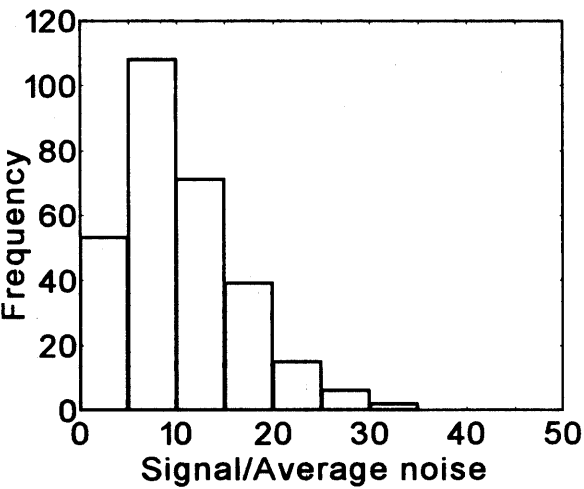
図1に、供試材2のS/N比の頻度分布を示す。測定面A、BともにS/N比が5以上である割合が高く、グラインダ処理を省略しても、厚さ約19mmの腐食鋼板でB1エコーが十分に検出されている。船舶検査では、厚さ30mm程度まで適用が望まれるため、この結果は十分ではないが、20mm程度までは測定できることを示している。

R・B1方式、S・B1方式、超音波厚さ計、補正したR・B1方式（後述）およびキャリパーにより測定した厚さの頻度分布を図2に示す。また、それらの平均値と標準偏差を表2に示す。図2から、R・B1方式、S・B1方式および超音波厚さ計による測定結果のいずれも、キャリパーによるものに比べてプラス側にシフトしているのが確認される。誤差の大きさは、平均値で、約0.6mmから2.2mmであった（表2）。これは、危険側への評価であるとともに、大きさも実用上許容できるものではない。

誤差の要因として、接触媒質（グリセリン）の音速（1880m/s）が鋼板の音速（5900m/s）の3分の1程度と小さいことにより、腐食による測定

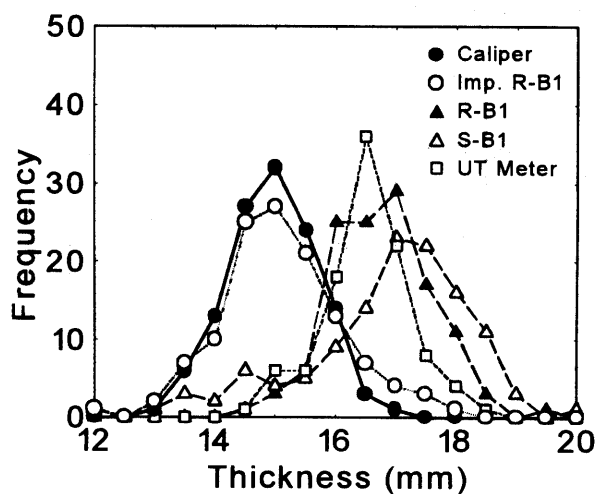


(a) 測定面 A

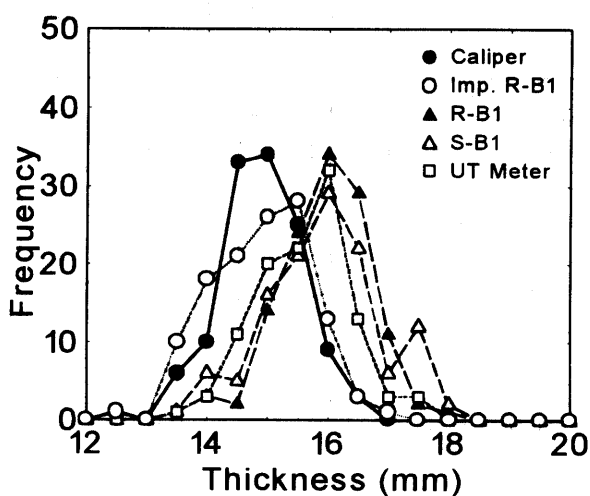


(b) 測定面 B

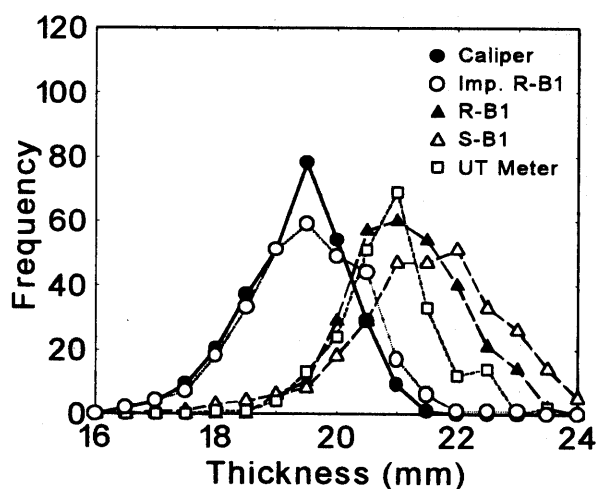
図1 B1エコー S/N 比の頻度分布（供試材2）



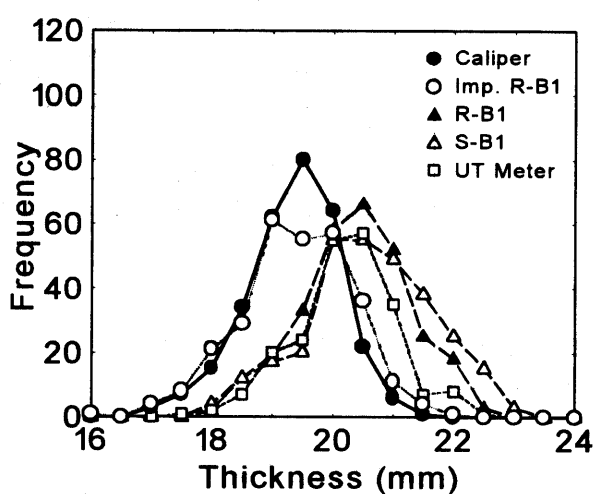
(a) 供試材 1, 測定面 A



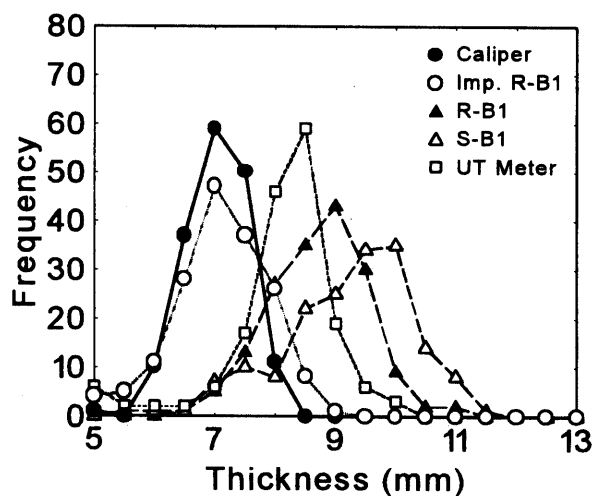
(b) 供試材 1, 測定面 B



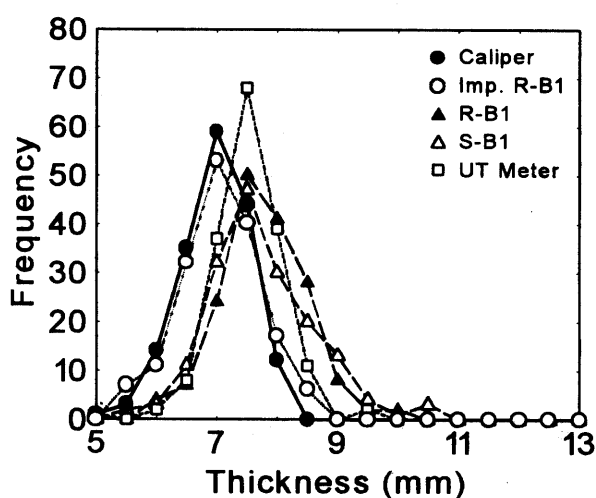
(c) 供試材 2, 測定面 A



(d) 供試材 2, 測定面 B



(e) 供試材 3, 測定面 A



(f) 供試材 3, 測定面 B

図2 厚さ測定値の頻度分布 (探触子径 12.7mm)

表2 厚さの平均値と標準偏差（探触子径 12.7mm）

Specimen No.	Test surfa										
		R-B1	S-B1	UT meter*	Improved R-B1	Caliper	R-B1				
2	A	16.52	16.60	16.23	14.86	14.70	0.83	1.40	0.90	0.99	0.74
	B	15.69	15.66	15.40	14.66	14.66	0.74	0.99	0.77	0.82	0.68
	A	20.92	21.25	20.67	19.25	19.07	0.92	1.24	0.85	1.01	0.88
	B	20.12	20.37	20.01	19.15	19.10	0.89	1.08	0.82	0.94	0.78
3	A	8.47	8.99	7.91	6.85	6.77	0.81	1.09	0.95	0.77	0.52
	B	7.50	7.48	7.30	6.80	6.72	0.71	0.89	0.60	0.65	0.56

* UT Meter: Ultrasonic thickness meter (R-B1)

表3 小型探触子による厚さ測定結果（供試材 1, R-B1 方式）

		Test surface	Ultrasonic measurement				Caliper
			3mm φ	6mm φ	9mm φ	12.7mm φ	
Thickness (mm)	Average	A	15.68	15.91	15.96	16.55	14.74
		B	15.18	15.28	15.45	15.62	14.63
	Standard deviation	A	0.69	0.60	0.50	0.69	0.60
		B	0.56	0.72	0.68	0.89	0.72

面の凹凸に溜まった接触媒質層で超音波の伝搬時間が増加したと考えた²⁾。

3. 小型探触子による測定誤差の低減

誤差要因が測定面の接触媒質によるものと考え、探触子径を小さくすることにより測定面の接触媒質を薄くして誤差を低減することを試みた。

使用した探触子は、直径 3mm、6mm、9mm の 3 種類で、周波数は 10MHz である。測定は、試験片 1 の A 面を縦横 30mm 間隔（測定点数 27 点）で行った。探触子径を小さくしたことにより感度が低下し、測定が難しくなったことから、キャリパー測定点を中心とする直径 12mm の円内で B1 エコーが確認できる場所を選んで測定を行った。

測定結果を表 3 に示す。探触子径を小さくすることにより誤差が減少し、直径 3mm の探触子では、直径 12mm の探触子に比べ、A 面で約 0.9mm、B 面で約 0.4mm の誤差が低減した。しかし、さ

らに A 面で約 0.9mm、B 面で約 0.6mm の誤差が残された。探触子径が小さくなると、感度が低下してノイズの影響を受けやすくなること、超音波ビームが広がることにより斜め方向からの反射波が混入すること等が原因として推測される。以上から、小型探触子ではこれ以上の誤差低減は難しいと考えた。

4. S エコー持続時間増加量による測定誤差の補正

測定誤差の低減は、探触子と測定面の間にある接触媒質の厚さを何らかの方法で推定することによっても可能となる。そこで、測定面で反射した S エコーを利用して誤差を補正することを試みた。

遅延材付探触子の場合、遅延材と測定面の接触部から S エコーが得られる。測定面が平滑であれば、遅延材端面と測定面が一致しているため、S エコーの波形は、振動子で発生した波形のままであるが、測定面に凹凸がある場合、遅延材端面

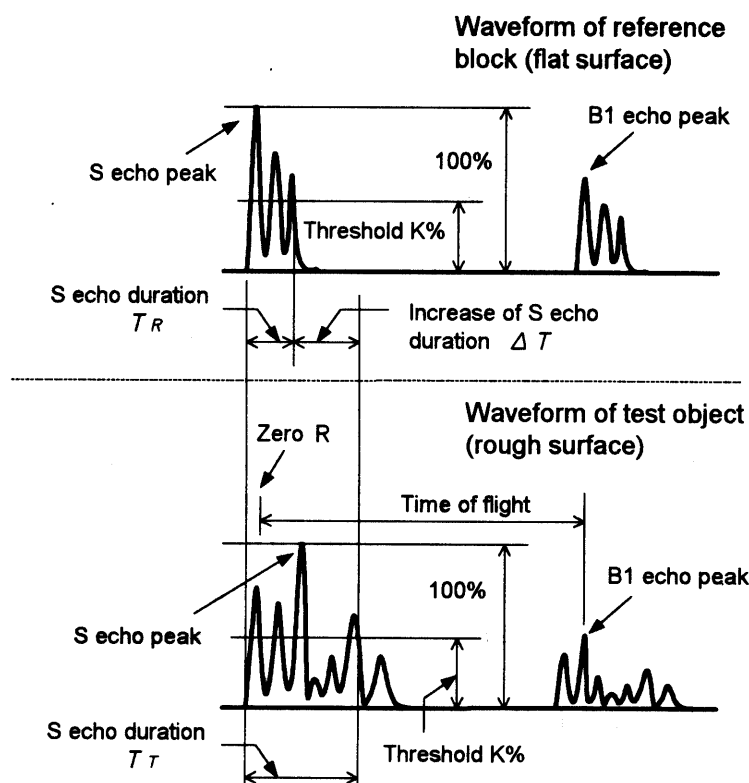


図3 Sエコー持続時間増加量の定義

からの反射波に、接触媒質を通過して測定面で反射した遅れエコーが混ざってSエコーの持続時間が長くなる。したがって、Sエコーの持続時間により誤差を補正することを考えた。

Sエコーの持続時間増加量と誤差の関係を調べるため、Sエコー持続時間増加量を図3のように定義した。測定面の平滑な対比試験片と測定物の両方についてSエコー波形を測定し、両方のSエコーに、それぞれのピーク振幅を基準とする共通のしきい値K%を設定して、しきい値を超える部分の時間を、それぞれ対比試験片および測定物のSエコー持続時間 T_R および T_T とし、対比試験片に対する測定物のSエコー持続時間の増加量をSエコー持続時間増加量 ΔT と定義した。

対比試験片に (STB-N1) を使用し、しき

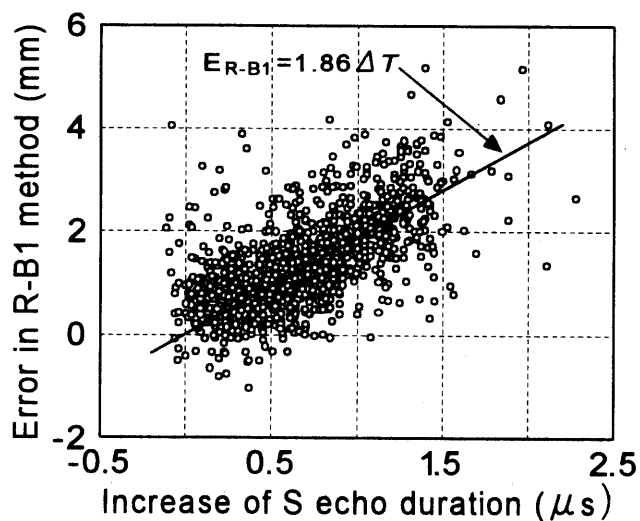


図4 R-B1方式による測定誤差とSエコー持続時間増加量の関係

い値Kを20%として、R・B1方式による測定誤差とSエコー持続時間増加量の関係を整理した結果を図4に示す。R・B1方式による測定誤差とSエコー持続時間増加量の間には正の相関関係が見られる。そこで、回帰分析により求めた傾き $\alpha = 1.86\text{mm}/\mu\text{s}$ を利用して次式(式1)により誤差 $E_{\text{RB-1}}$ を推定した。

$$E_{\text{RB-1}} = \alpha \times \Delta T \quad \text{-(式1)}$$

そして、R・B1方式により測定した厚さ $D_{\text{RB-1}}$ から誤差 $E_{\text{RB-1}}$ を除去して補正值Dを次式(式2)で求めた。

$$D = D_{\text{RB-1}} - E_{\text{RB-1}} \quad \text{-(式2)}$$

結果を、表2および図2中に示す(Improved R・B1またはImp. R・B1)。図2から、補正值がキャリパーの厚さ分布に近いことが確認できる。また、標準偏差は最大で48%増加したものの、厚さの平均値は0.2mm以内でキャリパー測定値と一致している(表2)。

しきい値によるSエコー持続時間の評価は、あくまでも統計的なものであり、測定点が少ない場合は注意を要する。しかし、平均値としてキャリパー測定値に近い値が得られ、測定点が多く確保できる場合は有効である。船舶検査では、多くの測定点が確保できるため十分に活用できるものと考ええる。

5. まとめ

腐食部材の超音波厚さ測定において、グラインダーによる前処理の省略を検討するため、実際の腐食鋼板を、ブラシ等により錆を落としただけの状態で超音波厚さ測定を行い、機械式厚さ測定との比較等から以下の結果を得た。

- (1) グラインダー処理を省略しても、ブラシ等により錆を落とせば、厚さ約19mmの腐食鋼板のB1エコーは十分に検出できた。
- (2) グラインダー処理を省略した場合、厚さ分布の平均値で、プラス側に0.6mmから

2.2mmの測定誤差が発生した。

- (3) 探触子の直径を小さくすることで測定誤差は減少するものの、最大0.9mmの誤差が残された。
- (4) Sエコー持続時間増加量による測定誤差の補正は、厚さ分布の平均値が0.2mm以内で機械式の測定値と一致し、測定点を多く確保できる場合は有効である。

参考文献

- 1) JIS Z 2355 超音波パルス反射法による厚さ測定方法
- 2) 島田道男、吉井徳治、成瀬 健；二振動子探触子による腐食部材板厚評価特性の検討、日本非破壊検査協会 新素材の非破壊評価 特別研究委員会資料 No.39 (1999)