

フェイズドアレイ探傷器を用いた衰耗のど厚の測定方法

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

1. はじめに

近年の海難事故解析によると、腐食衰耗したデッキプレート－ロンジ接合部破断が大規模な船体破損が進行する過程で重要な役割を演じていることが分かり、その防止対策が、経年船体の健全性を確保するために不可欠の要素と認識された。そのためには、腐食衰耗した接合部のど厚を評価することが必要であるが、その手法の実用化には以下の困難な点がある。(1)デッキプレート－ロンジ接合部は、デッキプレート背面にあり、アクセスがきわめて困難な場所である。(2)デッキプレート－ロンジ接合部に接近しても、接合部周辺も腐食衰耗しているため、衰耗したのど厚を測定するための基点が無く測定できない。

そこで、デッキ側から超音波を用いて残存のど厚を測定する方法を実験的に調べた。第一段階として一般的な超音波探傷用の斜角探触子(焦点型含む、5MHz、10MHz、屈折角45度)を用いてのど厚測定を試みたが、誤差が大きすぎて実用的でなかった¹⁾。誤差の原因としては、超音波ビームの広がりのため、のど部以外の溶接止端部からのエコーを捉えるためと考えられた。

これを改善するためにフェイズドアレイ探傷器を用いた測定法を検討した。同探傷器では、超音波の発生受信を多数の微小短冊形振動子の位相制御により行い、鋼材内の超音波の屈折角、焦点深さ等を電子的に制御できるため、形状が一定でないのど部からのエコー検出に適している。フェーズドアレイ探傷器は、原子力発電施設のきず高さ測定の超音波探傷試験にも取り入れられ²⁾、また、ポータブル型の市販製品が登場したことから、今後大きく普及すると思われる。

2. 実験方法

(a) フェイズドアレイ探傷器

実験に使用したフェイズドアレイ探傷器の仕様を表1、写真を図1に示した。ポータブル型でデータはノートパソコンに記録する。探触子は、128エレメントの振動子を有し、そのうち32エレメントの送受信タイミングを制御し、屈折角及び焦点深さを電子的に制御する。探触子を接触媒質を介して試験片に接触させると、探触子下方の試験片断面の超音波画像が得られる。

(b) 実験方法

のどエコー測定の模式図と探傷画像の例を図2に示した。のど厚測定には、未溶着部エコーとのど部エコーを確実に検出することが重要なので、未溶着部エコーを屈折角0度(垂直)のリニヤスキャン(送受信位置の走査)で検出し、のど部エコーは、左右それぞれについて、屈折角-40度と40度のリニヤスキャンで検出し記録した。のど厚評価には45度が望ましいが、屈折角42度以上の領域は探触子の送受信感度が急激に低下するため、-40と40度を用いた。

試験片は、実船のデッキプレートから採取した自然



図1 フェイズドアレイ探傷器の外観

表1 フェイズドアレイ探傷器の仕様

探 触 子					探 傷 器					記録解析
エレメント				エレメント 全体の大きさ (mm)	制御エレ メント数	リニヤスキャン ステップ数	屈折角 範囲 (度)	重量 (Kg)	寸法 (mm)	
数	ピッチ (mm)	高さ (mm)	周波数 (MHz)							ノートパソコン
128	0.74	10	5	95×10	32	96	-42～42	3.4	263W370H61H	

衰耗試験片2枚、海難事故を起こした船舶のフレームブラケットから採取した自然衰耗試験片2枚、溶接まま試験片6枚、模擬衰耗試験片として、機械加工によるもの8枚（機械衰耗と称す）、グラインダ加工によるもの12枚（人工衰耗と称す）を用いた。各試験片の仕様とどの部画像の例を表2に示した。

(c)解析方法

以下の3手順でのど厚を求めた。

c1. エコー高さ、路程情報の抽出：得られた探傷画像から位置－ピークエコー高さ、位置－路程を抽出する。

c2. 未溶着部端部の決定：屈折角0度の位置－ピークエコー高さ関係から、図3に示すとおり、のど部付近の最大ピークの1/2を示す位置を未溶着部端部として、左右ののどについて求める。

c3. のど厚の計測：c1. で抽出したのどエコーの位置－路程グラフにc2. で求めた端部位置を記入し、端部位置から45度方向に直線を引き抽出したのどエコーと交わる点までの距離を求め、のど厚とする。のどエコーと交わらない場合には、のどエコーを外挿し交点を求める。図4参照。

一方、比較のためののど厚を以下の手順で求めた。のど厚試験片の端面において、未溶着端部から45度方向で隅肉余盛りまでの距離を測定し、端部における実のど厚とした。溶接線長さ50mmの試験片については、両端面部における実のど厚から、測定部位の実のど厚を内挿計算で求め、超音波測定値との比較に用いた。

溶接線長さが120mm以上の試験片については、型取り材により隅肉形状を測定し、端部における実のど厚と組み合わせ、測定部位の実のど厚を内挿計算した。一部の試験片は、隅肉余盛りの凹凸をレーザー変位計で求め、これと端面部の実のど厚から測定部位の実のど厚を内挿計算した。

3. 実験結果

(a)のど厚値測定精度

数種の試験片の結果を分かりやすくするため、人工衰耗と機械衰耗、デッキロンジとフレームブラケット、溶接ま

まの時の首振りなしと首振り有りの場合に分けて、図5、図6、図7に示した。図の横軸を実のど厚とし、縦軸を超音波によるのど厚測定値として、両者の対応を見た。斜めの点線は両者が等しい点であり、誤差ゼロを示す。

人工衰耗と機械衰耗は、実のど厚と良い対応を示した。また、自然衰耗材のうちデッキロンジは、実衰耗と超音波測定値が良く対応した。フレームブラケットは、やや対応が悪い傾向があった。この原因の一部は、フレームブラケット材余盛部に生じた腐食凹凸面であると考えている。図9は、4つの試験片の余盛り部凹凸をレーザー変位計によって溶接線方向で測定した結果である。フレームブラケット材では、大きな凹凸（基準長=25mmでRmax=1mm程度）が認められ、位置によりのど厚が変動し、また、のどエコーも安定しないと考えられた。

溶接まま材のバラツキが大きいのは、余盛り部の凹凸が大きいため、フレームブラケット材と同じ理由で測定精度が悪いためと考えられた。この場合、のどエコーが不安定であったので、探触子の方向を溶接線に直角方向で固定することを止め、直角方向から左右に振り（首振り）エコーが高く安定する位置でも計測し、のど厚計測に用いた。首振り角は±10度以下であるため、角度による補正量は小さいので、無補正でのど厚を求めた。その結果を、図7の首振り有りで示した。首振りは実のど厚7mm以下のデータのみであるが、首振りにより、のど厚測定精度向上が見込まれた。

図8には、全体を取りまとめて示した。

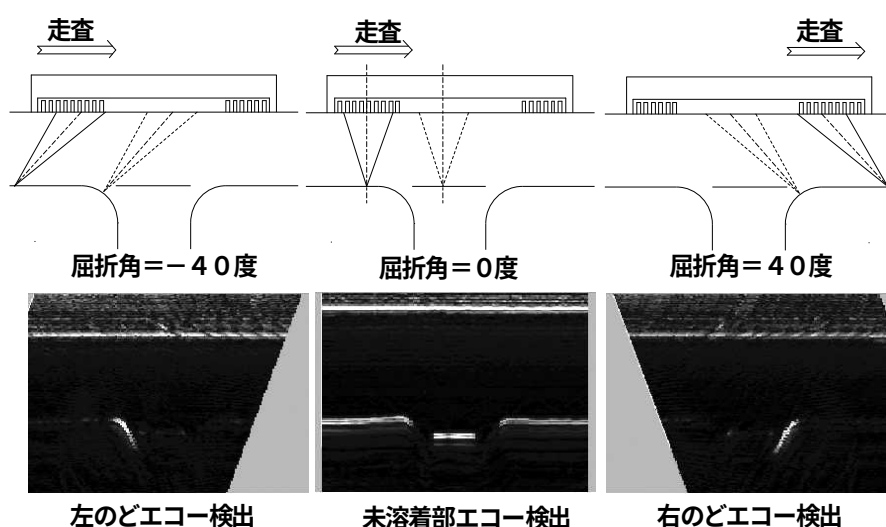


図2 のどエコーと未溶着部エコーの検出方法
(上：測定方法の説明、下：測定例)

表3に、のど厚測定誤差をとりまとめた。デッキロンジ材及び板厚22mmの人工衰耗材では平均誤差が小さかった。フレームブラケット材と板厚12mmの人工衰耗材では、0.5mm程度の過大評価、機械衰耗材及び溶接ままの首振り無しでは、-0.5mm程度の過小評価であった。機器の設定が薄い板にはやや不向き(制御エレメント範囲32エレメント×0.74ピッチ=24mmで薄いところをは不得手。エレメント数を少なくする必要がある)であるため、板厚による精度の違いが生じた。また、首振りの効果(実のど厚7mm以下を表示)が溶接まま試験片で確かめられた。

(b)測定上の留意点・精度の改善

本方法でのど厚を計測する場合には、以下に注意することが肝要である。

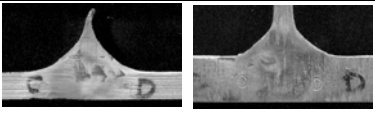
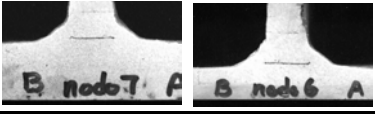
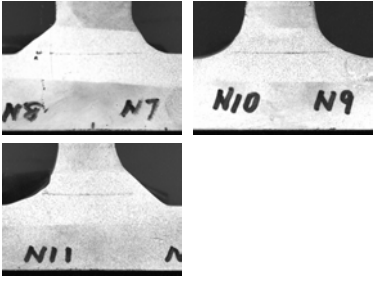
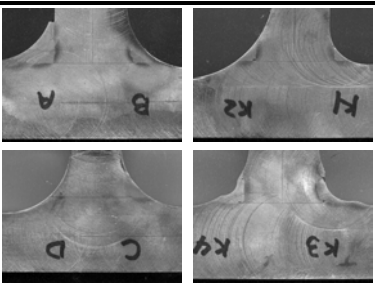
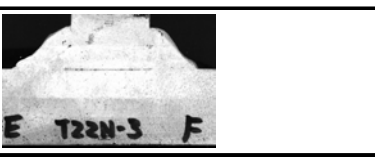
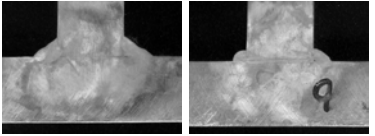
(1)表面をなるべく平滑に仕上げる。やせ馬状態のときは、左右別々に平滑化し計測も左右別々に行う。

(2)フェーズドアレイ探触子を保持し、屈折角0度、40度、40度でリニヤスキャン画像を計測する。

(3)のど部のエコーが安定しない場合には、溶接線直角方向から首振り走査を行い、エコー高さが大きい位置を探し、計測する。

(4)未溶着端部にスラグ巻込み等の欠陥が存在すると、未溶着端部決定が困難になる。このときのスラグ端部からの測定になる事を留意しておく。たくさん測定する場合には、平均化するので、問題とならないと思われる。

表2 のど厚試験片

試験片		溶接線		測定箇所 の数	のど形状の例
種類	板厚 (mm)	数	長さ (mm)		
デッキロンジ	8,14	2	160,150	12	
フレームブラケット	9,16	2	140,120	8	
人工衰耗	5,12,19,20.5,22	12	50	13	
機械衰耗	5,12,19,20.5,22	8	50	8	
溶接まま#1	12,22	2	50	4	
溶接まま#2	12,22	4	150	16	

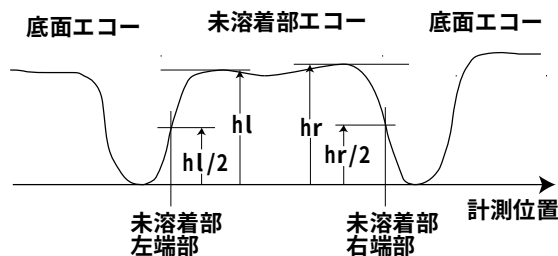


図3 未溶着部端部の決定方法



図4 のど厚の求め方

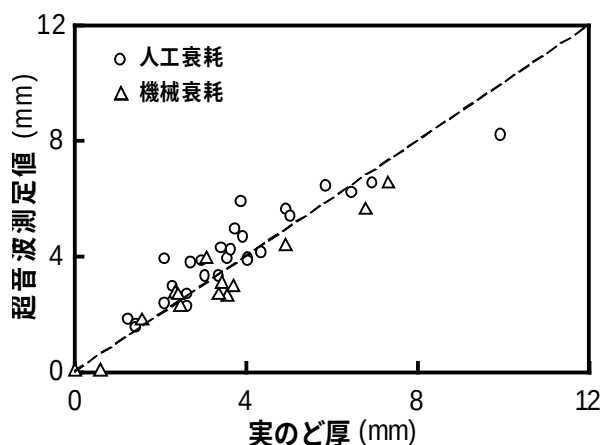


図5 のど厚測定結果（模擬衰耗材）

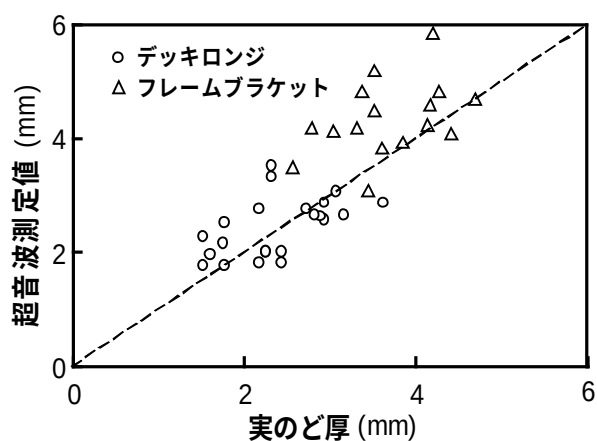


図6 のど厚測定結果（自然衰耗材）

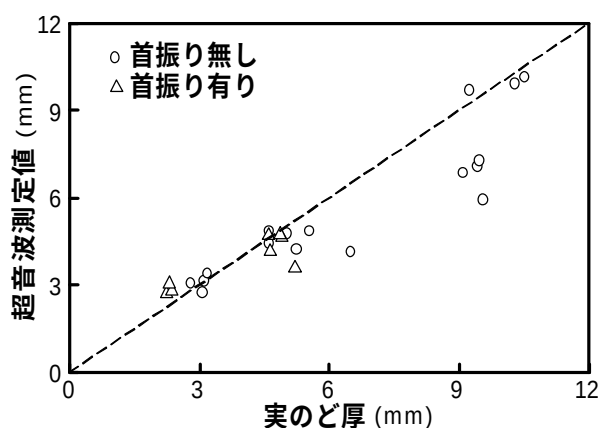


図7 のど厚測定結果（溶接まま材）

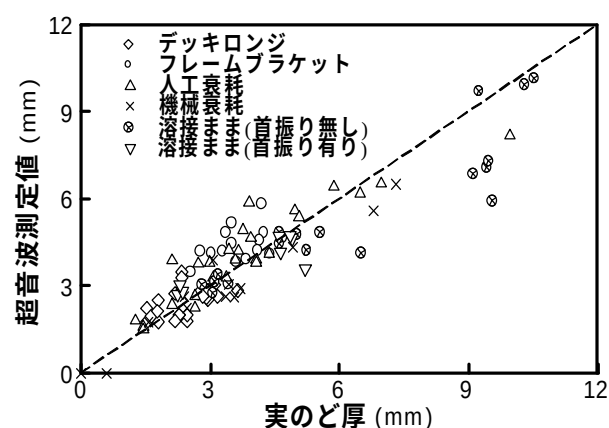


図8 のど厚測定結果（全体）

4. まとめ

実船舶から採取した自然衰耗材と機械衰耗材、人工衰耗材、溶接まま隅肉試験片にフェイズドアレイ探傷器を適用し、のど厚測定実験を行い、有効性が確かめられた。基本

的な適用方法、誤差低減の方法等が分かった。計測条件のチューニングにより、さらなる精度向上が見込まれる。

現在直接のど厚を測定できる手法は、本方法のみである。今後の活用が期待される。

本研究は国土交通省技術研究開発委託費（海事局）により実施しました。

5. 参考文献

- (1)国土交通省海事局、ダブルハルタンカーの構造の経年劣化に関する研究 H15年度報告書,p97-98
- (2)日本電気協会、JEAC4205-2000 軽水型原子力発電用機器の供用期間中検査

表3 のど厚測定誤差

試験片	デッキロンジ	フレームブラケット	人工衰耗		機械衰耗	溶接まま		全体
						首振り無し	首振り有	
板厚	8,14	10,16	22	12	9~22	12,22	12,22	
誤差	平均	0.03	0.64	0.3	0.52	-0.44	-0.47	-0.08
	RMS	0.53	0.92	0.55	0.88	0.83	0.89	0.69

(単位:mm)

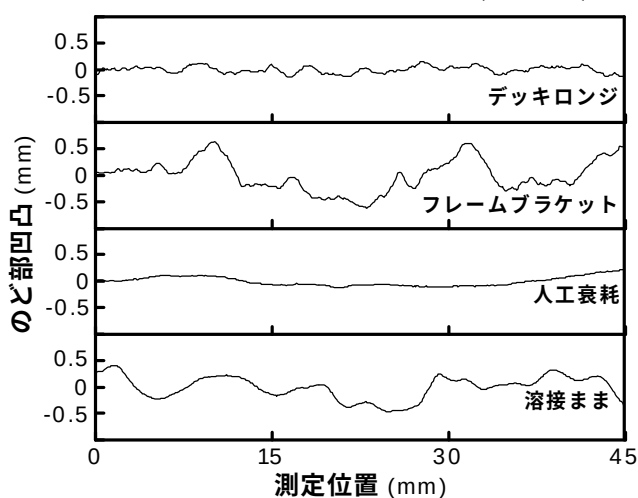


図9 余盛り部の凹凸計測例