

79 FRP船の劣化診断技術の検討

材料加工部 * 勝又健一、松岡一祥、林 慎也
岩田知明

1. まえがき

FRPを使用した船舶では漁船及びレジャーボートに多い。FRP船は腐食のような劣化が少なく、現状維持が長時間に及ぶ。劣化損傷として考えられるのは、衝撃等による繊維破断、樹脂と繊維の剥離がある。また、水分浸透による損傷も考えられる。劣化損傷した船体の部分は、非破壊的に検出することが望まれる。ここでは、超音波を用いて健全、剥離における底面・界面エコーの状態を調べ、FRP劣化の診断法を提唱したものであり、その結果を報告する。

2. 装置及び試験体

使用装置：AD-3212 デジタル探傷器（A&D）

探触子：2C15N-DL、接触媒質：ソニコートBSN

試験体：FRP板（衝撃などによる部分剥離した試料、板厚 5, 10mm、大きさは200*100mm）

剥離域の確認：FRP試料の剥離は、X線フィルム観察器に当てて透明でない領域を調べて境界線を判断した。

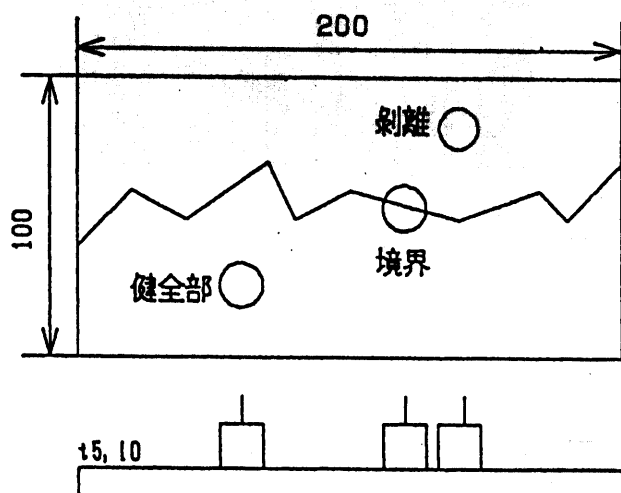
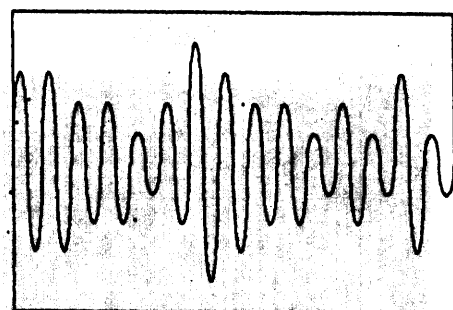


図1. 試験片と実験の模式図

3. 実験

図1は試料の外寸法及び実験の模式を示したものである。健全及び、剥離域が明らかとなったFRP試料に対して、垂直探傷を行った。健全部、境界部、剥離部におけるエコーを任意な位置で各々20点ずつ調べた。測定は探触子を当てた状態で底面エコー及び、界面エコーの両高さを求めるものである。探傷器の波形が表示される時間軸は図2のように送信域、界面域及び底面域と分類して目的のエコーを調べる。基準となる感度は、各板厚の試料において健全部の何点かの平均の底面エコー高さが±40%(80%)近傍となる設定である。

FRP試料の音速は、厚さの実測に一致する底面の路程から2500m/sを予め導いて有る。



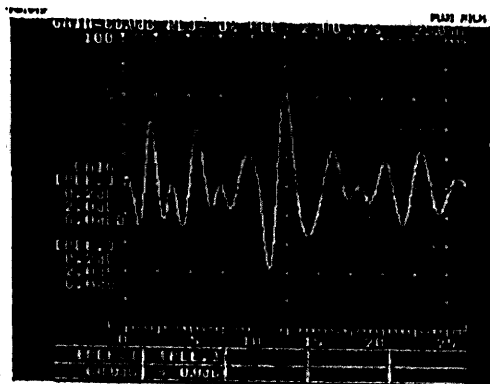
1 : 送信域
2 : 界面域
3 : 底面域

図2. 時間軸の領域分類

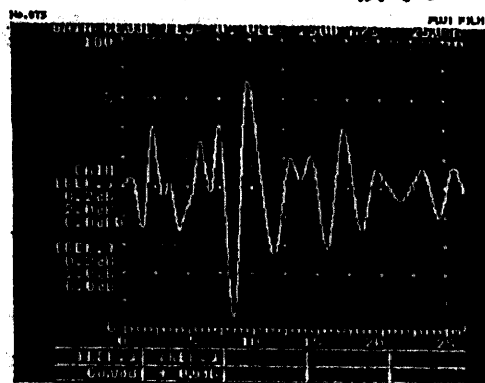
4. 結果及び考察

図3は測定した波形の例である。健全部の場合、底面域を定めた位置には底面エコーが表れている。その前の界面域にもエコーが出現し、界面エコーであることが分る。これは樹脂と繊維の媒質界面による音響インピーダ

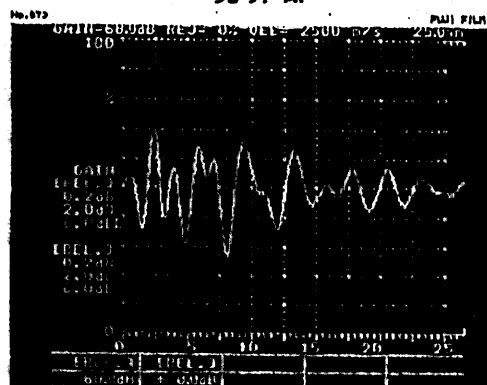
板厚10mm 健全部



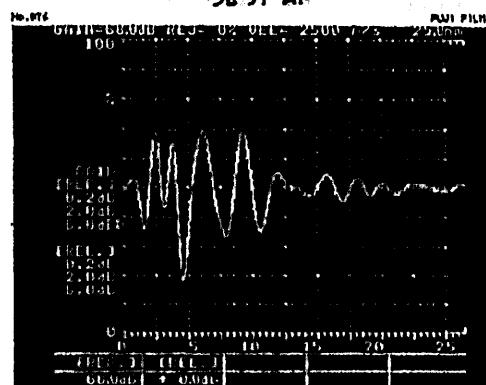
健全部 板厚5mm



境界部



境界部



剥離部



剥離部

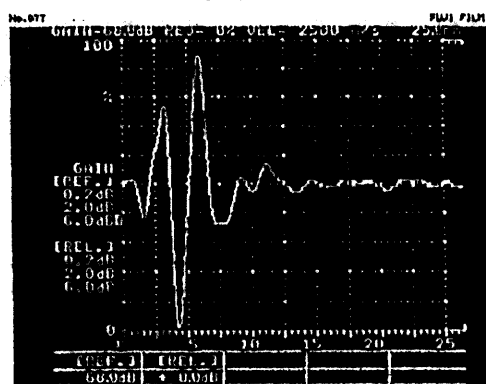


図3. 波形例 (左側: 板厚10mm、右側: 板厚 5mm)

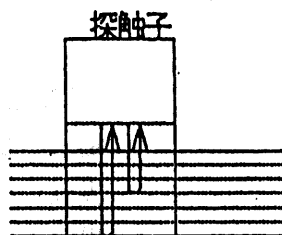


図4. 底面・界面エコーの模式図

ンスの差が超音波の反射となっていることによる（図4）。剥離域では層間の空気遮断され底面エコーが現れ難い。健全と剥離が混在する境界部は剥離、界面及び底面の波形で干渉されるようで複雑となった。

測定結果は次に示す。

板厚10mm、底面エコー		
健全部	境界部	剥離部
27～46%	10～24%	2%以下
界面エコー		
健全部	境界部	剥離部
8～38%	8～40%	42～80%
板厚 5mm、底面エコー		
26～44%	12～26%	2%以下
界面エコー		
18～24%	18～44%	30～78%

これらの測定値は、両板厚とも類似した結果のようである。底面エコーは、健全部が最も高く、次いで境界、剥離部と納得できる。界面エコーでは、剥離部は非常に大きいので存在が分かるものの、境界部と健全部の差が明白でないので両者の区別し難い。面積比は剥離と健全が1対1なので健全部の方が小さいと考えられるが、剥離の位置等の変化で、界面エコーと干渉して振幅が大きく変わると思われる。

同測定点の底面エコーと界面エコーとの比、 $(H_B)/(H_{IF})$ で表した場合、健全部、境界部及び、剥離部は下記の範囲であった。

板厚10mm		
健全部	境界部	剥離部
0.03～0.05、	0.56～0.58、	1.36～1.42
板厚 5mm		
健全部	境界部	剥離部
0.03～0.07、	0.55～0.78、	1.56～1.89

H_B/H_{IF} は、 H_B のみの場合よりも健全、境界、剥離と分離されたことが分る。

探触子の音場内における底面エコー高さは、

健全面積率に比例と考えられる。界面エコーは剥離があると増加傾向なので、半比例すると思われる。界面等の反射率 r 、往復通過率の総計 T_s 、減衰率 α を考慮するとエコー高さ H は次に示される。

$$H=K\cdot r\cdot T_s\cdot e^{(-\alpha x)}\cdot P_0\quad \cdots (1)$$

ただし K は定数、 x は距離、 P_0 は送信音圧である。 α の実測は、dB表記で0.4dB/mm(2MHz)となった。近距離音場なので平面波（図5）とみなし、探触子の遅延材とFRPとの反射損失は考慮した。測定には T_s が含まれるので、(1)式から T_s が除かれる。

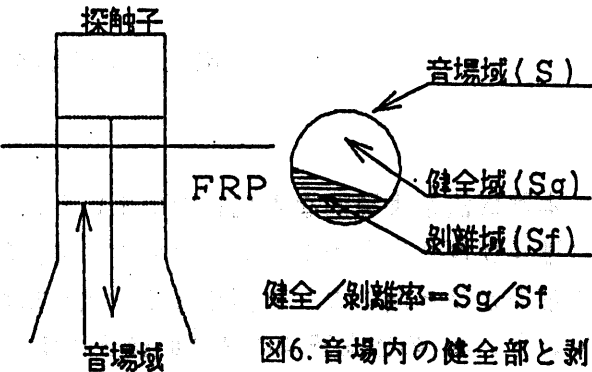


図5. 音場の概念図

樹脂とガラス繊維との音響定数から求める界面の反射率 r は約0.5、底面では一方が空気なので音響インピーダンスは0に近く、1が得られる。

音場域の健全部と剥離部の面積比（図6：音響的、 $S_r=0$ で $S_g/S_r=C(100\%)$ とする）を縦軸に取り、次式で計算すると図7が得られる。

$$H_B/H_{IF}=r_B\cdot e^{(-\alpha x)}/r_{IF}\cdot e^{(-\alpha x/2)}$$

ただし、 x は板厚で、界面の距離は板厚の半分とした。図において、マークは実験値を示している。マークは最大と最小を示し、バラツキの範囲となる。実験値の縦軸は、0%(剥離部)、50%(境界部)、100%(健全部)の3点と少ないが、計算と比べて近似した結果が示された。

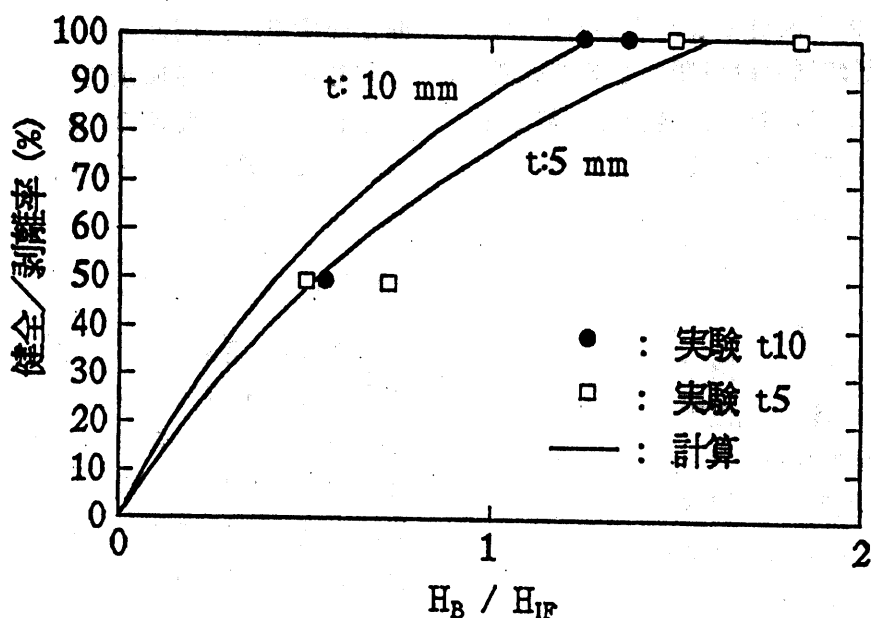


図7.音響的健全/剥離率と H_B / H_{IF} との関係

本評価法を実際の劣化診断に用いるには、音速及び厚さを予め調べる。次いで、健全部の底面及び界面エコーを測定して、比を求めておき、図7の様な基準の特性曲線を作成する。しきい値を決めて探傷作業に入る手順を踏む。しきい値以下が剥離と判断することになる。特性曲線は板厚、減衰に関連する超音波の周波数、樹脂及び繊維の音響定数などに影響されると考えられる。

FRP船舶の外板等は、表面は一様に仕上げて流麗で探傷に適している。内面は層を重ね接着していくので僅かな厚さが変化している。ただし、その変化は底面エコーの位置に影響を与える程ではないものと思われる。何かの原因で傷ついて補修した場合、FRP板を外板に接着する場合が考えられる。この時は音速と板厚を調べておき、正しい底面エコーを観察することが大事である。

5. まとめ

垂直探触子(2C15N-DL)を用いてFRPの剥離劣化を評価するための探傷を試みた結果、

次のことが分った。

- 1) 底面エコーは健全部、境界部、剥離部の順で平均的に低下する。剥離では極端に小さい。
- 2) 界面エコーは剥離の状態が最も高いが、健全部と境界部での差が顕著ではなかった。
- 3) 剥離劣化の評価は底面エコー及び、底面エコーと界面エコーの比による方法が有効と思われる。
- 4) 底面エコー/界面エコーで整理した場合、その値は健全部、境界部、剥離部の順に小さく、底面エコーのみの場合よりも三者の判別能が向上した。

6. 今後に向けて

今回は層間剥離内部は空気である。剥離に水分が含浸していることも考えられる。水は超音波を伝搬することが予想されるので、底面エコーの低下が少ないと思われ、界面エコーの情報がより重要と考えられる。これには新たな視点で検討していく予定である。