

FRP 船の劣化診断装置の開発

輸送高度化研究領域インテリジェント加工法研究 G

海上安全研究領域構造安全性研究 G

研究統括主幹

*勝又健一、秋山繁、林慎也

田中義照

松岡一祥

1. まえがき

FRP 船の安全性維持の目的から非破壊的な診断技術が望まれている。FRP 船の検査は厚さの品質管理が建造時のみ行われている。竣工して航行した FRP 船は障害物等との衝突により、FRP 船体が損傷する場合がある。航行に対する安全性を確認する上でドック入り時には、FRP 船の劣化診断が必要と考えられる。

海上技術安全研究所が主体的に開発した FRP 劣化診断装置は、超音波による探傷技術が駆使されている。本装置は研究室的にはその機能が確認されたが、現場的な実証実験が必要なため、実際にドック入りした FRP 船(5 トン級)に対して現地で FRP 船体の劣化診断が行われた。本報告はその結果について述べる。

2. 現地調査

実証実験は三浦の小型造船所において、15 年 1 月に実施した。FRP 船は 1972 年竣工、1984 年竣工、1994 年竣工、1998 年竣工の 4 隻である。とが遊漁船、とは漁船である。

遊漁船では右舷船首 5m 付近喫水線上の損傷がみられた近辺について測定した。4 箇所のうち図 1 の測定部直径 20cm 範囲に対して、11 点中 5 点が剥離として検出が可能であった(表 1 参照)。



図 1 . 遊漁船の測定部(t=10)

表 1 . 剥離個所の測定結果

測定 No.	凹-高さ	ヒール路程	H _N /H _F	良否
1	52 %	3.7 mm	0.6	合
2	56 %	4.7 mm	0.6	合
3	31 %	4.9 mm	0.6	合
4	32 %	4.8 mm	0.7	合
5	55 %	3.3 mm	0.6	合
6	39 %	3.0 mm	0.5	合
7	37 %	3.4 mm	0.3	否
8	71 %	5.8 mm	0.3	否
9	72 %	5.9 mm	0.3	否
10	73 %	5.9 mm	0.3	否
11	73 %	4.4 mm	0.2	否

漁船の測定は船底等船体中央部に対して行った。図 2 は剥離が検出された船側下部である。その結果は表 2 に示す。



図 2 . 漁船の剥離検出した測定部(t=8)

表 2 . 漁船における損傷部の測定結果

測定 No.	IC-高さ	ビーム路程	H _B /H _F	良否
1	11 %	6.0 mm	2.2	合
2	19 %	7.6 mm	0	否
4	29 %	6.1 mm	0.4	否
5	22 %	6.6 mm	2.0	合
6	32 %	7.0 mm	1.2	合
7	24 %	4.0 mm	1.8	合
8	47 %	6.4 mm	0.4	否
9	13 %	5.4 mm	2.8	合
10	34 %	5.8 mm	0.4	否

漁船は図 3 に示したバルバスバウが衝突して生じた損傷部が測定域である。先端から 15cm(半径)までは損傷が目に見えていた。測定の結果、15cm ~ 20cm まで剥離、25cm 付近は健全、30 ~ 35cm は剥離していることが分かった。



図 3 . バルバスバウの損傷部(t=10)

衝突によって損傷した場合、損傷部周辺が剥離する可能性があり得ることが FRP 劣化診断装置によって初めて分かった。したがって、修理する際には、破壊損傷部の周辺を調べる必要があると思われる。

遊漁船は竣工して間もない FRP 船であり、剥離損傷は考えられなかったが、左舷船首から 3.6m の船側上部において、剥離の可能性が検出された。自然損傷でなく、悪天候時の航行で浮遊物と衝突したとの報告を受けた。他の場所では損傷が確認されなかった。表 3 は剥離個所(t=8)のデータである。17 点中 7 割が否となった。図 4

は劣化診断の様子を示したものである。

表 3 . 遊漁船における損傷部のデータ

測定 No	IC-高さ	ビーム路程	H _B /H _F	良否
1	35 %	8.0 mm	1.5	合
2	74 %	7.2 mm	0.3	合
3	81 %	7.2 mm	0.4	否
4	80 %	7.0 mm	0.5	合
5	34 %	7.1 mm	0.8	合
6	50 %	7.2 mm	0.4	否
7	49 %	7.0 mm	0.4	否
8	43 %	7.3 mm	0.4	否
9	74 %	7.0 mm	0.4	否
10	66 %	7.3 mm	0.4	否
11	35 %	4.5 mm	2.2	合
12	53 %	7.3 mm	0.4	否
13	85 %	7.3 mm	0.4	否
14	46 %	6.9 mm	0.4	否
15	81 %	7.2 mm	0.4	否
16	88 %	7.1 mm	0.5	合
17	67 %	7.3 mm	0.4	否



図 4 . 遊漁船における実験の様子

劣化診断の実証試験は装置の検出能力が主であったので、損傷が見えた個所が優先的に行われた。FRP 船の検査では測定個所の選択あるいは測定法など規準化作りが大事な要素になることは、今後の検討事項となる。

表における H_B/H_F は、FRP の底面エコー高さ / 界面エコー高さである。比が小なほど剥離の確立が高い、あるいは剥離面積が大きい。また、エコ

ー高さとビーム路程は界面からのエコーを示す。
底面エコーは設定板厚において 40%に調整している。界面エコーが大きいほど否となる頻度が大きく、ビーム路程は短いほど表面に近い。

3．劣化診断装置について

FRP 劣化診断装置は超音波による垂直探傷法を用いた専用機である。市販の探傷器に対して異なる要素は次の点である。専用のデータ取得機能、信号処理機能及び各種の表示画面が含まれている。剥離は2系統のゲートによってゲート内に出現した界面エコー及び底面エコーの両者から評価演算式によって推定される。そのフローチャートは図5に示す。

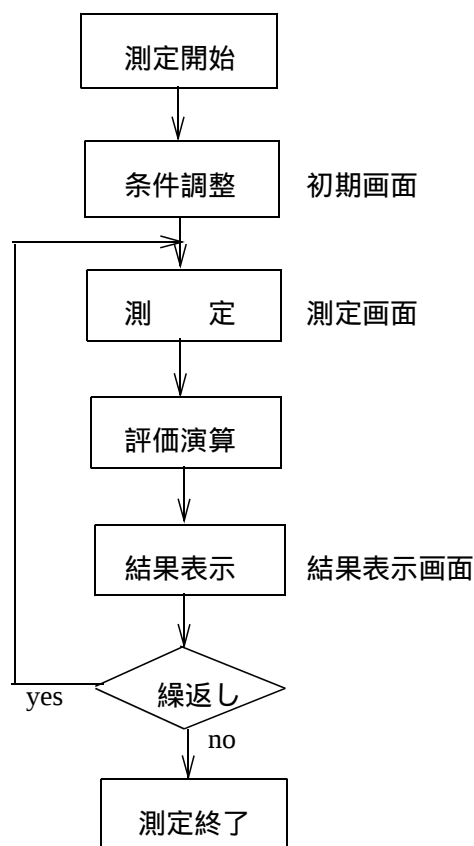
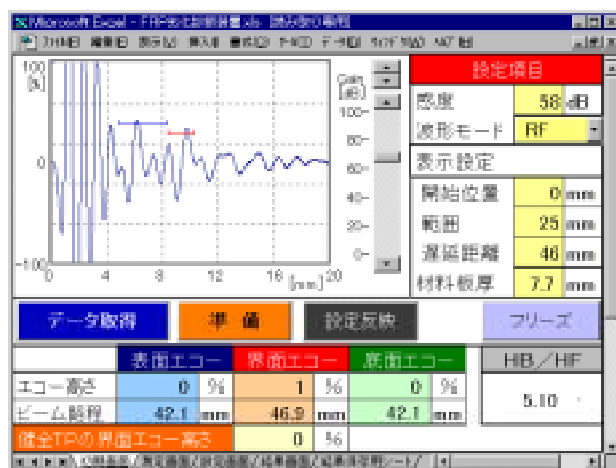


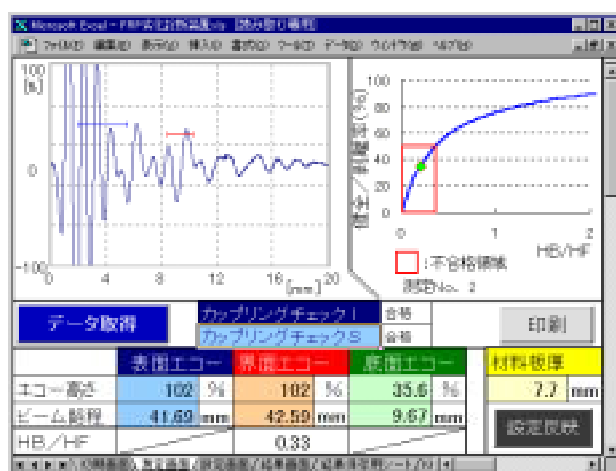
図5．測定のフローチャート

条件調整には初期画面、測定には測定画面及び、結果表示には結果表示画面と、フローに応じた画面に移動する。これらの画面は図6の各種画面表示に示す。各画面はオンラインで印刷可能となっている。

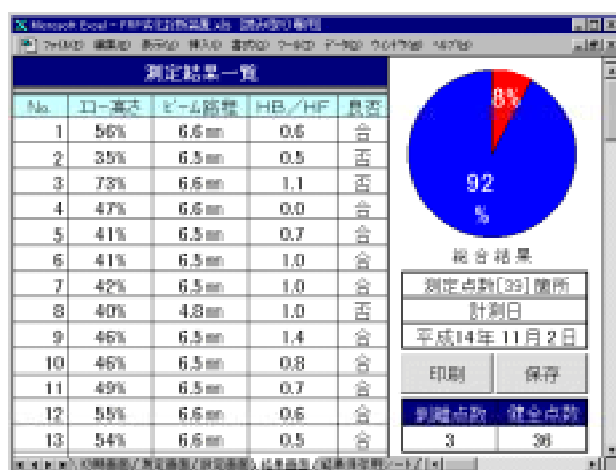
評価演算は底面エコーと界面エコーの高さか比



初期画面



測定画面



結果表示画面

図6．各種画面表示の実例

から剥離の大きさを求め、寸法のしきい値(50%)

から良否が自動的に判定される。

4．評価演算の理論的根拠

近距離音場において位相の揃った平面波として扱い、振動子面積が検査領域とする。その領域内ではエコー高さは剥離寸法に比例し、健全面積もエコー高さに比例する。拡散損失はないので、超音波の損失は減衰係数に依存される。

FRP の厚さ t において、深さ x における剥離の面積を S_f 、健全面積 S_g 、振動子面積 S とし ($S_f + S_g = S$)、底面エコー高さ H_B 、剥離を含めた界面エコー高さを H_f とすれば、 H_B / H_f は次式で表される。

$$\frac{H_B}{H_f} = \frac{S_g e^{-2\alpha t}}{S_g r e^{-2\alpha x} + S_f e^{-2\alpha x}} \quad (1)$$

ただし、 r は界面反射率、 α (Np) は減衰係数である。剥離の深さ x 及び H_B / H_f は測定から得られ、(1)式から振動子面積に対する健全面積比が求まるので剥離の定量評価が可能となる。

5．実験的裏付け

FRP はガラス繊維の織物を樹脂で接着して積層され、界面等の状況によって超音波の伝搬が影響される。したがって、鉄鋼のような均一材料でないことから、底面エコーでさえ一定になり難い。しかしながら、剥離を定量的に扱うには(1)式に加えて実験の裏づけが必要であった。

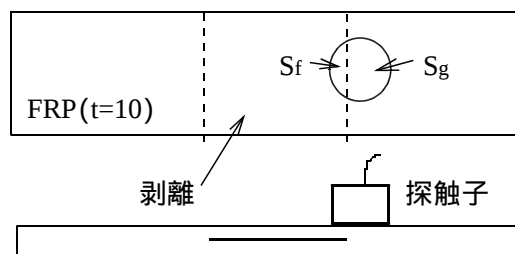


図7．FRP試験片と探傷法

図7は試験片と探傷法である。剥離は試験片中央部に作成し、探触子の位置によって剥離面積と健全面積の比、 $S_g / (S_g + S_f)$ は変わる。

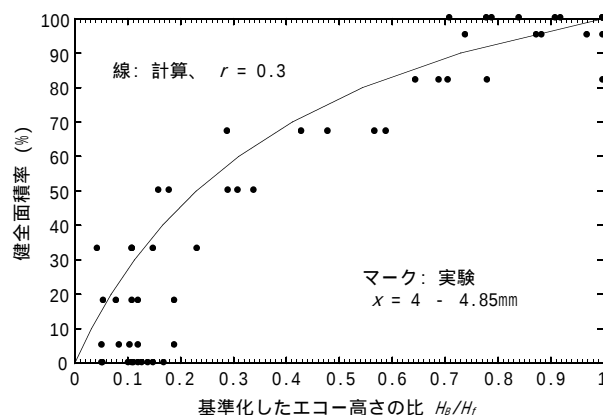


図8．標準化したエコー高さの比 H_B / H_f と健全面積率との関係

図8は H_B / H_f を最大値で標準化した値と健全面積率との関係である。測定点は横に幅を有しているが、健全面積率とは対応している。計算は実験とも一致した。計算に使用した界面反射率 r は0.3、減衰係数 α は使用探触子の中心周波数 2 MHz において、0.5 dB/cm を与えた。

剥離を模擬した実験、あるいは実際の剥離において、エコー高さと剥離域とは一定の関係は得られるが、FRP 特有のバラツキが生ずる^{(1),(2)}。したがって、現場的な検査においては良否を判定することが出来れば、実用機と考えた。

劣化診断装置の良否のしきい値 50 % は健全面積率 50% である。測定から求めて評価演算した値が 50 % 以下の場合に否(剥離あり)になる。

6．まとめ

FRP 劣化診断装置による FRP 船での実証実験は、補修のためにドック入りした小型漁船などに対して行った。船体には喫水線付近に小規模の損傷を受けた形跡が見られ、それらの周辺では剥離と判断できる個所がいくつか測定によって得られた。軽微な損傷は船尾付近よりも、船首後方の場合が多いようであった。

7．参考文献

- (1) 勝又健一, FRP の剥離損傷の検出について, 非破壊検査協会第 8 回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集, (2001), p17-22 .
- (2) 勝又, 他 3 名, FRP 船の劣化診断技術の検討, 第 1 回海上技術安全研究所講演集, (2001), p363-366 .