

80 超音波による接着接合の非破壊評価 (第Ⅱ報)

大阪支所 *津島 聰 千秋 貞仁 伊飼 通明
櫻井 昭男 小野 正夫

1. はじめに

接着接合はその利便性のため、航空宇宙など広い分野で使われている。また、船体や海洋構造物などにおいても大型化に伴い接着接合の重要性が増している。しかし、接着接合の適切な非破壊評価法が確立されていないため一次構造体への適用は制限されている¹⁾。それ故に、接着接合を用いた構造物の信頼性や安全性の向上のためには接着接合部の非破壊評価の確立は重要である。

前報²⁾では、微小ボイドが接着層に多数存在する場合の超音波による非破壊評価法として、接着層からの反射率と周波数の関係を求めた。その結果、反射率は周波数に比例することが分かった。

本報告では接着層を通過して試験体裏面からのエコーを周波数分析することにより、接着層での反射率及び通過率を求めたので報告する。

2. 理論

周波数と応答振幅との関係を求めることで、材料の音響インピーダンス、減衰、厚さ及び位相速度を評価することが可能となる。周波数 ω 、波数 k の平面波がX方向に垂直入射したとき、変位 u は次のように表される。

$$u(x, t) = u_0 \exp[-i(\omega t - kx)] \quad (1)$$

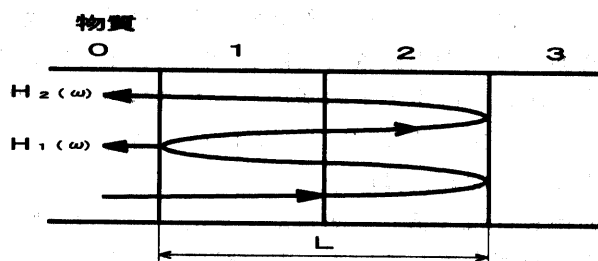
界面からの1回及び2回反射波のフーリエ変換した波をそれぞれ $H_1(\omega)$ 、 $H_2(\omega)$ とするとその比は次のように表せる。

$$H(\omega) = H_2(\omega) / H_1(\omega)$$

$$= R_{10} T_{12} T_{21} R_{20} \exp(-2\alpha L) \cdot \exp[-i\phi(\omega)] \quad (2)$$

ここで、 α 、 ϕ 、 L はそれぞれ減衰率、位相、材料厚さである。また、 R 、 T は反射率、通過率を示す。添字は伝搬媒体の種類を示す。例えば、反射 R_{10} の場合、添字10は媒体1から入射して媒体0との界面で反射することを表している。また、通過 T_{12} の場合、添字12は媒体1から媒体2への通過を表している(図1参照)。式(2)の対数をとると

$$20 \log |H(\omega)| = -2\alpha' L + 20 \log (R_{10} T_{12} T_{21}) \quad (3)$$



$$H_1(\omega) = T_{01} T_{12} R_{23} T_{21} T_{10} \exp(-2\alpha L) \exp[-i\phi_1(\omega)]$$

$$H_2(\omega) = T_{01} T_{12} R_{23} T_{21} R_{10} T_{12} R_{23} T_{21} T_{10} \exp(-4\alpha L) \cdot \exp[-i\phi_2(\omega)]$$

図1 測定原理説明図

ここで、 α' (dB/cm) = 8.686 α (Neper/cm)である。減衰率が周波数に比例すると仮定する³⁾と

$$2\alpha' L = K f \quad (4)$$

ここで、 f :振動数、 K :定数である。従って、式(3)は次式で表される。

$$20 \log |H(\omega)| = -Kf + 20 \log (R_{10} T_{12} T_{21}) \quad (5)$$

T の値は試験体と同じ材料の単板の底面エコーから R_{10} を求めておくことにより求まる。

3. 実験材料及び方法

探触子は垂直入射の広帯域型(公称周波数5MHz)を用いた。また、波のモードは縦波と横波の二種類を用い、接着はシアノアクリレート系瞬間接着剤を用いた。試験体は次の二種類とした。

- (1) 厚さ 8mm のアクリル板を接着剤で接着接合した試験体で接着層にボイドを有する。
- (2) 鋼材と一方向性CFRP(厚さ 2.2mm)との接着試験体

受信したエコーは対象とする波形のみが波形記憶装置に取り込まれた後、周波数分析された。なお、測定に用いたデータは最大エコー振幅より-6dB以内とした。実験により次の値を求めた。

(1) R_{10} の測定

単板の1回反射と2回反射の底面エコーより探触子と試験体との界面での反射率 R_{10} を測定した。

(2) 界面反射 R_{12} の測定

接着界面からの1回反射と2回反射のエコーより R_{12} を測定した。

(3) 通過率 T_{12} の測定

接着接合試験体を用いて、1回反射と2回反射の底面エコーより T_{12} を測定した。

4. 実験結果及び考察

図2はアクリル板接着試験体の測定結果である。底面エコーの周波数と振幅との関係を示している。底面エコーはボイドの増加とともに減少する傾向にある。図2の $f=0$ での振幅から通過率 T_{21} が求まる。なお、探触子のシューと試験体界面の反射率 R_{10} は0.56であった。また、傾きは試験体の減衰率を表している。測定結果を表1に示す。ボイド率 V_f の増加と共に通過率が減少することが分かった。この手法はFRPのような減衰の大きい材料に利用できると考えられる。

図3は鋼材とCFRPとの接着試験体を横波で測定した結果である。CFRPは一方方向性であるため、剛性率に異方性があり、振動極性が繊維方向と繊維に直角方向で異なった。音響インピーダンスの違いのため、探触子・試験体界面の反射率 R_{10} は横波の振動極性と繊維方向は同じ場合小さくなった。鋼材・CFRP界面の反射率 R_{12} は振動極性が繊維方向と平行の場合1.74、垂直の場合1.39となった。この原因については今後検討する。

5. まとめ

ボイドの存在する接着層からのエコーを周波数分析することによって、周波数と通過率の関係を得た。これらの関係から接着層に存在する微小ボイド量を推測する方法を試みた。前報の反射率の測定とを組み合わせることにより、ボイドの推定が可能と考えられるが、精度の向上は今後の課題としたい。横波を使った鋼材と一方方向性のCFRPの試験体探傷の場合、振動極性と繊維方向の関係で反射率、通過率が異なることが分かった。

参考文献

- 1) P.N.Dewen, P.Cawly, Measurement 11, 1993
- 2) 津島、小野、船舶技術研究所研究発表会講演集第73回1999
- 3) J.B.Santos, INSIGHT, Vol.40, No.12, 1998.
- 4) 日本学術振興会編、超音波探傷法、日刊工業新聞社、1974

表1 接着層の通過率 T と反射率 R

ボイド率 V_f	1.6	7.0	13.8
通過率 T	1.01	0.93	0.81
反射率 R	0.02	0.09	0.28

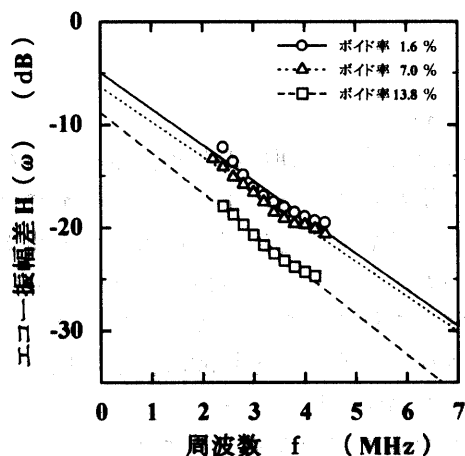


図2 振幅差と周波数

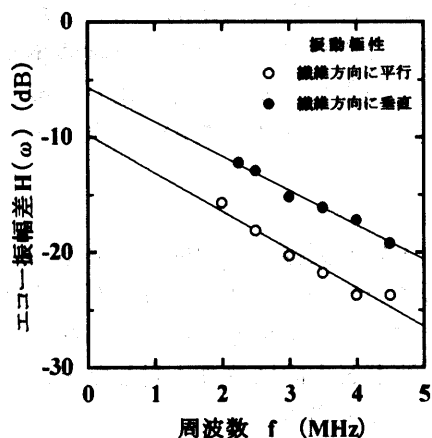


図3 底面エコー振幅差と周波数

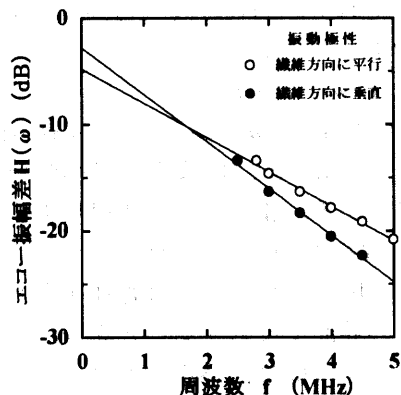


図4 界面エコー振幅差と周波数