

複合材料の欠陥深さの計測

Depth Measurement of Composites

超音波方式と赤外線方式とのデータ比較

Comparison of Ultrasonic Testing and Pulse Thermography

○陣内 さやか

Sayaka Jinnai

村上 丈子

Takeko Murakami

西谷 豊

Yutaka Nishitani

羽深 嘉郎

Yoshio Habuka

日本クラウトクレマー株式会社

Krautkramer Japan Co., Ltd.

概 要

近年複合材料は、人工衛星のほか航空機など適用範囲が拡大している。複合材料を代表する CFRP の非破壊検査について従来用いられている超音波試験と赤外線サーモグラフィによる非破壊検査方式の比較をしたので報告する。航空機の製造段階ではフェイズドアレイ超音波探傷が主流であるが、今回は精密検査として 25MHz 焦点型探触子にて走査試験を行い、赤外線のパルス光励起による位相解析方式の結果と比較した。試験したサンプルでは、25MHz 焦点型探触子で、10 層 (2.5mm) まで、赤外線位相解析方式では、5~6 層まで (1.5mm) が試験可能域であった。

キーワード：複合材料、超音波試験、赤外線サーモグラフィ、非破壊検査

1. 緒言

本論文では、近年、構造材として人工衛星のみならず航空機や自動車等での使用が増加している複合材料の検査方式として、超音波法と赤外線法の比較を行った。

超音波法では 25MHz 焦点型探触子を X-Y 走査、全体を水没して 0.1mm の走査ピッチで試験を行なった。層間の剥離を各層ごとに検出可能であると共に、2.5mm の深さの剥離が検出可能である。

赤外線法は、キセノンフラッシュランプ励起で、100Hz のフレームレートで熱画像を撮影し位相解析法により試験を実施した。試験深さの最大は、今回の組成の CFRP ではおよそ 1.5mm であった。

検査時間を比較すると、25MHz の精密探傷では約 15 分、一方赤外線試験では、データ採取に約 10 秒、解析は 1 分程度と短時間で可能であった。

2. 試験法の概要

2.1 サンプル

試験に用いた CFRP のサンプルを FIG.1 に示す。衝撃試験で剥離欠陥を付けたテストピースで、厚さ 5mm (1 プライ 0.25mm、全 20 層) である。

FIG.2 は比較のために別途作成した CFRP のサンプルで、直径 10mm の平底穴を深さ別に加工した。



FIG.1 衝撃試験サンプル



FIG.2 平底穴サンプル

2.2 超音波試験

探傷器 HIS3 HF (D-view)

探触子 25MHz (振動子径: 5mm、焦点距離: 25mm)

探傷は層間剥離を見るため、各層間にゲートをかけて探傷した。実験装置を FIG.3、試験結果を FIG.4 に示す。図は層毎に色の濃さを変えてあるが、CFRP は、各層間で剥離が発生しているのが明瞭に示された。深さに従って周辺に欠陥が広がる様子が見られる。



FIG.3 超音波探傷装置映像化装置 D-view

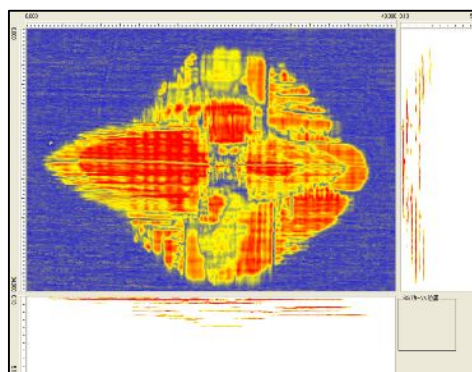


FIG.4 打痕部裏面探傷結果

2.3 赤外線サーモグラフィーによる試験

赤外線カメラ	ThermaCAM SC6000 (InSb)
励起方法	キセノンフラッシュランプ 1000J×2灯
解析ソフト	IRPhaser ver.1.0

FLIR 社製の赤外線カメラ SC6000(InSb)でテストピース表面の熱画像の時間変化を収録後、位相解析[1]を弊社製解析ソフト「IRPhaser」で実施した。赤外線の実験装置を FIG.5 に示す。



FIG.5 赤外線試験装置

熱画像の例を FIG.6、位相像の例を FIG.7 に示す。この位相画像から、超音波で確認した欠陥の深さに対する、位相像の観測可能な周波数 (max) をプロットするとグラフ 1 となる。このグラフの横軸は周波数 (Hz)、縦軸は板の厚さ (mm) である。

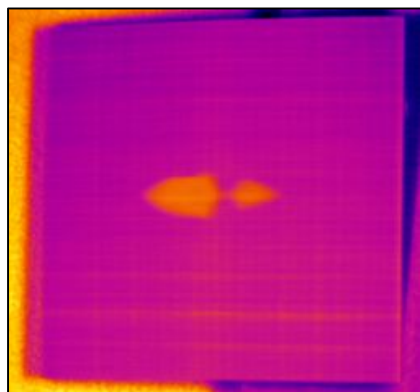


FIG.6 熱画像の例

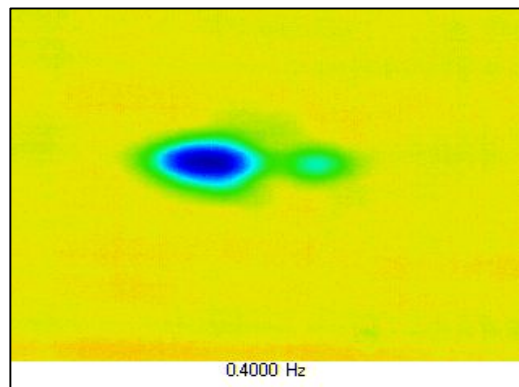


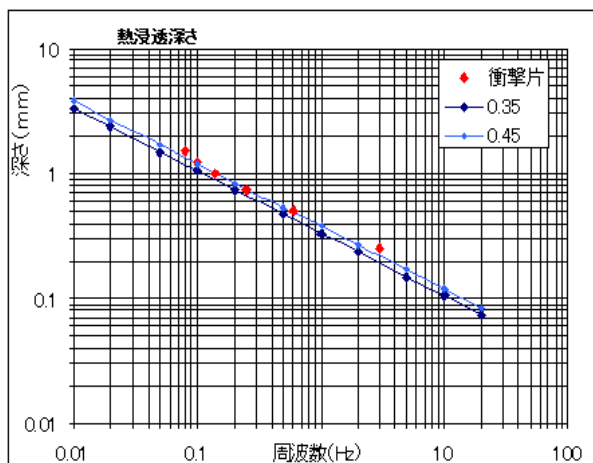
FIG.7 位相画像の例

サーモグラフィーによる方式は、よく知られているように熱浸透深さ (熱波動の到達範囲) μ は材料の熱拡散率 α と熱波動の周波数 f に依存して次式の関係がある。

$$\mu = \sqrt{\alpha / \pi f}$$

$$\alpha = \lambda / (\rho c)$$

- | | |
|---------------|------------------|
| μ : 熱浸透深さ | α : 熱拡散率 |
| f : 熱波動の周波数 | ρ : 比重 |
| c : 比熱 | λ : 熱伝導率 |

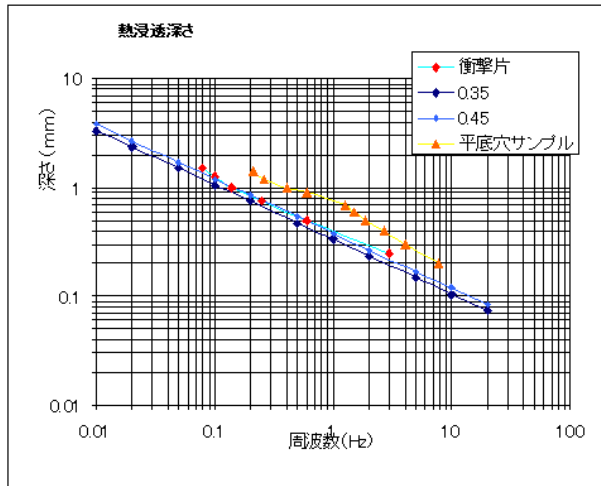


グラフ 1 衝撃試験片

また、CFRPの熱伝導率 α は、0.35~0.45 mm²/secと一般に言われている[2]。

この値を用いて、上の式から熱浸透深さを計算し、周波数対応で同じグラフに記入するとグラフ1になり、衝撃片の数値と一般的なグラフが良く一致した。ただし、試験片の熱拡散率を測定していない。

平底穴のサンプルについても熱浸透深さと周波数のグラフを作成したのでグラフ2に示す。組成(繊維含有量など)が異なると、熱伝達率も異なるということが考えられる。



グラフ2 平底穴のサンプル

次に、超音波法と赤外線法の得られた画像の比較を、衝撃試験テストピースで示す。超音波試験、赤外線法ともに、表面からある深さ(層)までの断面像である。

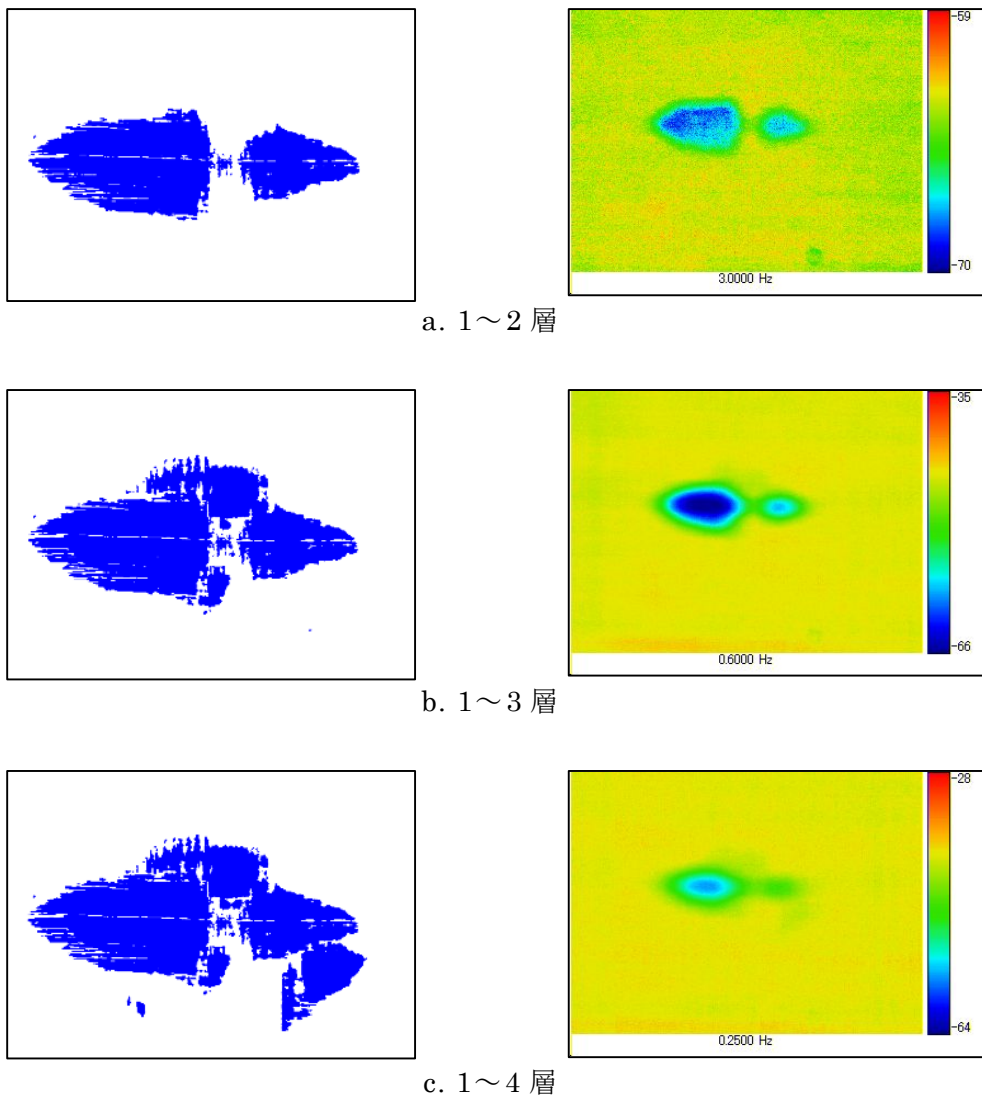
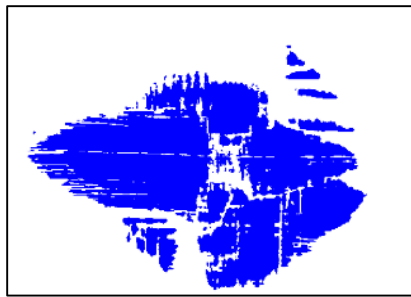
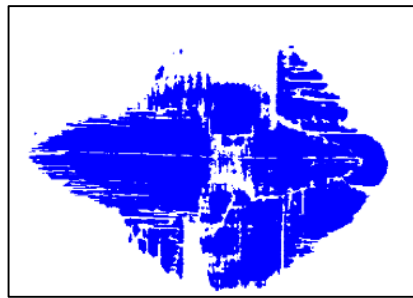
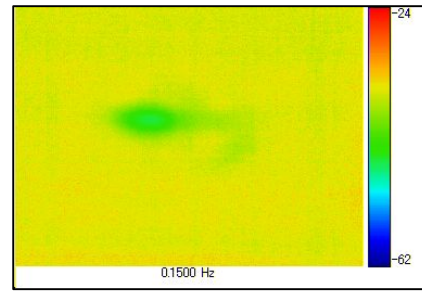


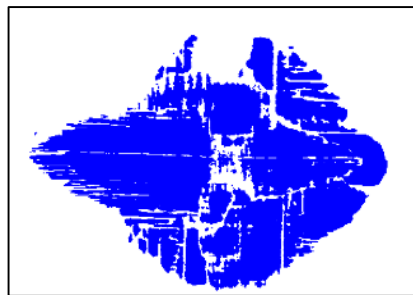
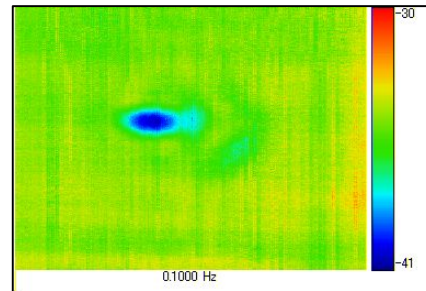
FIG.9 断層Cスコープ画像の超音波と赤外線と比較



d. 1～5 層



e. 1～6 層



f. 1～7 層

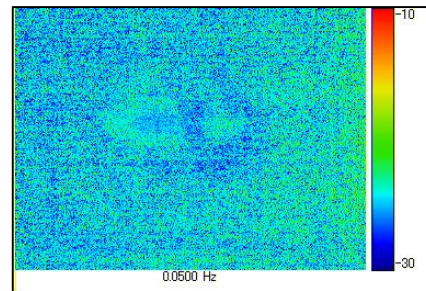


FIG.9 断層 C スコープ画像の超音波と赤外線と比較 (続き)

どちらも順次深さの順に像が現れてくることがわかる。赤外線法については位相像の現れるもっとも高い周波数が深さを示すものと考えプロットしている。検査者の目視により主観的に周波数を決定するので、明瞭に深さの値を特定するのは困難である。

3. 結論

複合材料の代表として、CFRP の積層パネルの非破壊試験を、超音波法と赤外線法を用いて行い、検出できる欠陥深さなどの比較をした。

超音波法は、試験領域（深さ）、精度ともに優れた試験方法であるが、水没して試験しなければならない、探触子の走査の時間を要する。また、被検査材が水などとの接触が不可能な場合は超音波法を採用できないことになる。試験時間についてはフェイズドアレイ探傷を採用すると大幅に改善され、現状のシステムは十分に実用に供されている。

一方、赤外線法は、非接触で且つ短時間に広い範囲を試験することが可能であることが示された。しかし、その試験領域、分解能は超音波に比べて制限がある。

また、深さ測定には音速の決定が必要な超音波法と同様に、複合材料はその組成により、熱的な物理定数が異なり（グラフ2）、厚さの正確な測定には定数が必要となる。

弊社の開発した赤外線試験法は、パルス励起でデータを収録し広い周波数領域で解析し、位相画像とするもので、広い深さ範囲を一度に解析可能にした。試作機であるが、実用性が示された。

赤外線方式では、表層近くの欠陥の検出が可能ということが判明し、超音波法との違いは、接触媒質が不要であり広い面積の結果を短時間に検出できることであるが、それぞれの利点を生かし超音波と赤外線を組み合わせたシステム開発を進めたい。また、検査領域の拡大も課題である。

参考文献

- [1] G.Busse, D.Wu,and W.Karpen, J.Appl.Phys. **71**, p3962 (1992)
- [2] Steven M.Shepard Material Review/ July p 690 (2007)