

新日本製鐵(株) エレクトロニクス研究所 石田 次雄
 新日本製鐵(株) 先端技術研究所 久保村 健二
 日鉄テクノス(株) 相川 康浩
 新日鐵化学(株) 商品開発センター 中西 朋宏

1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)では、強化繊維が荷重の大部分を負担しているため、繊維破断は品質に大きな影響を及ぼす。繊維破断は代表的な非破壊検査手法である超音波やX線法では検出が困難なため、炭素繊維の導電性を利用した電気抵抗法[1]や渦流探傷法[2-3]が試みられている。しかし、前者は一方向強化材に適用が限られ、また試験片端面に導電性塗料を塗布しリード線を取り出すことが必要である。一方、後者は主に金属の探傷法として従来よく用いられており、非接触、高速検査が可能であるという特徴をもつ。ただし、この方法をCFRPに適用する際の問題は、CFRPが異方性導電材料で、繊維方向とその直角方向で電気抵抗が3~4桁も異なるという点にある。

本研究はこの点を考慮して、破断を検出しようとする繊維方向に選択的に渦電流を流すことによって、高感度で繊維破断を検出可能としたものである。

2. 実験方法

2.1 探傷原理

渦流探傷法の一般的な原理を図1を参照して説明する。励磁コイルaに交流電流を流すと試験体には電磁誘導によって渦電流が流れ、検出コイルbにはコイルaがつくる磁界 H_a と渦電流がつくる磁界 H_c が作用し、起電力が生ずる。試験体に傷があれば渦電流の流れ方が変わるので、渦電流がつくる磁界 H_c が変化し、コイルの起電力が変化する。従って、コイルbの起電力の変化から傷を検出することができる。

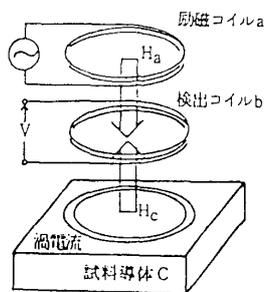


図1 渦流探傷法の原理

2.2 試験片

実験に用いた試験片の寸法を図2に示す。直径3.5mm、肉厚0.6mm、長さが750mmの管である。

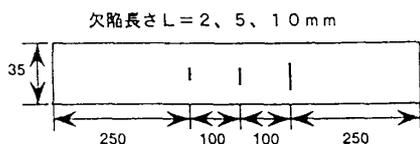


図2 試験片の寸法形状

積層構成は(90°₂/0°₂/90°₂)であり、0°が管の長手方向、90°が管の円周方向である。0°層プリプレグの図示した位置に長さL=2、5、10mmの繊維破断を、カッターナイフで90°方向に入れた。繊維破断を0°層の外側1層のみに入れたものと、0°の2層全部に入れた2種類の試験片を、各n=2本作成した。

2.3 実験装置

図3に装置のブロックダイアグラムを示す。試験片と同軸上に配置した励磁コイル及び検出コイルポピンの中を、試験片がスキャナーによって貫通走査される。渦流探傷器からの高周波出力はパワーアンプによって増幅され励磁コイルに加えられる。そして、検出コイルの出力電圧は同期検波により直流電圧に変換されレコーダーに記録される。本実験に使用した2種類の励磁コイルと検出コイルを図4に示した。(a)は鋼管や線材等の探傷に一般的に用いられる貫通型の励磁コイルで、(b)は本研究において0°層の繊維破断検出用に開発した方形型の励磁コイルである。検出コイルは2種類の励磁コイルに対して共通で、励磁コイルよりも小型のものを2個並べて差動型とした。

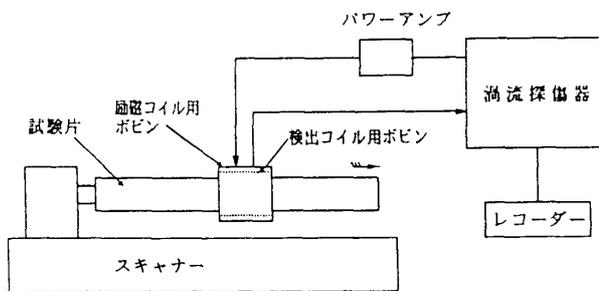


図3 実験装置のブロックダイアグラム

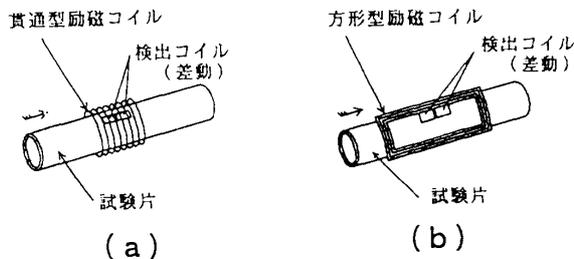


図4 励磁及び検出コイル

3. 結果及び考察

図5に実験結果のチャートを示した。横軸は時間で試験片の長手方向に相当し、縦軸は検出コイルの出力電圧である。(a)及び(b)は方形型励磁コイルによる測定結果で、(a)が0°層の外側1層のみに繊維破断を入れた試験片の結果、(b)が0°の2層とも繊維破断を入れた試験片の結果である。ピーク①、②、③は、繊維破断の長さLがそれぞれ2、5、10mmのときの検出信号で、両端のピークは試験片の端部に相当する。これらの結果から、繊維破断が0°層の1層と2層では検出信号の大きさにおよそ倍の差があること、また破断長さにほぼ比例して信号が大きくなっていることがわかる。つまり、繊維破断の大きさ(層数、長さ)が定量的に測定できていることを示す。一方、(c)及び(d)は貫通型励磁コイルによる測定結果で、繊維破断を検出出来ない。そして、方形型励磁コイルの場合に比べノイズレベルが高いことがわかる。

以下、これらの結果について考察する。試験片中の渦電流の流れ方、即ち大きさ・時間遅れ・分布は励磁コイルの形状・励磁コイルと試験片との距離・試験片の形状・電気伝導度・透磁率・試験周波数・傷の存在などに左右される。しかし、マクロな渦電

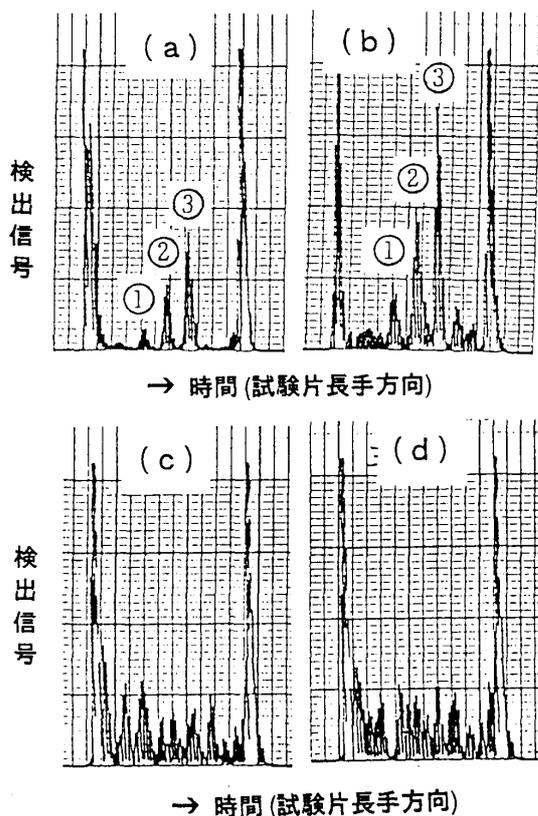


図5 実験結果 ((a),(b):方形型励磁コイル、(c),(d):貫通型励磁コイルの結果)

流の分布は励磁コイルの形状によってほぼ決まり、励磁電流と相似の形(電流の向きは逆)で試験片中を流れる。従って、貫通型励磁コイルでは試験片の円周方向、即ち90°層の炭素繊維中を渦電流が流れているため0°層の繊維破断の影響を受けないことが、検出出来なかった原因と考えられる。一方、方形型励磁コイルでは試験片の長手方向、即ち0°層の炭素繊維中を渦電流が流れており、繊維破断によって渦電流が遮られるために検出できたと考えられる。

前述したようにCFRPは異方性導電材料であるため、CFRPの繊維破断を渦流探傷法で検査する場合は、電気抵抗が小さい繊維方向に渦電流を選択的に流すことが有利である。これは、方形型励磁コイルの一端を繊維破断を検出しようとする繊維方向に一致させることにより可能である。

なお、本実験に使用した方形型励磁コイルと検出コイルの組み合わせによる欠陥の検出特性を図6に示す。横軸は検出コイルと欠陥位置の円周方向のズレ、縦軸は相対検出感度である。図のような特性をもつため、管全体の検査には試験片の角度を変えて複数回の走査が必要となるが、走査速度が高速(1m/sec程度)なため数十秒以内で検査できる。

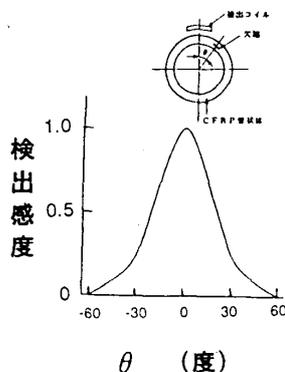


図6 欠陥検出特性

4. 結 言

CFRP管体の長手方向(0°方向)の繊維破断を、渦流探傷法によって定量的に高感度で検出出来ることを明らかにした。そして、異方性導電材料であるCFRPの渦流探傷では検査しようとする繊維方向に渦電流を流す必要があること、そのためには方形型励磁コイルが有効であることを示した。

本技術は、0°方向のみならず任意の方向の繊維破断検出や板への適用も可能と考えられるので、今後も開発を進めていきたい。

参考文献

- [1] 津島、吉澤：日本機械学会[No.900-86] 材料力学講演会講演論文集(90.11)、p203-205
- [2] 卜部、佐伯、川上：第4回新素材及びその製品の非破壊評価シンポジウム講演論文集、p47-52、(平成5年1月)
- [3] S.S.Lane,R.J.Churchill,H.P.Groger：Review of Progress inQuantitativeNondestructiveEvaluation ,Vol.9(1990)