

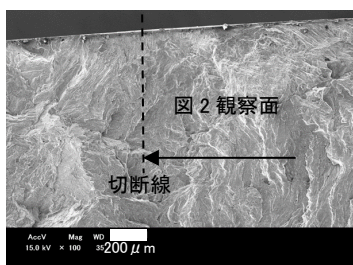
名工研・技術情報

Vol.15
(No.845)

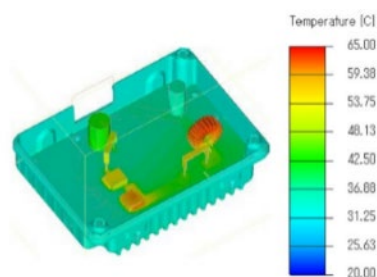
技術紹介特集（月刊名工研 2022 年 5 月～2022 年 8 月号編集版）

4 つの分野の技術をご紹介します

当所では、技術相談や依頼試験等を通し、地域のものづくり中小企業への技術支援に積極的に取り組んでいます。今号では、4 つの分野「物性評価」、「不良・破損解析」、「熱設計と電磁・光」、「材料特性・構造」において、当所が保有する技術と支援内容をご紹介します。当所では、高度化・複雑化する地域中小企業の技術的課題の解決、新製品・新技術開発等を着実に実施するため、常に技術情報の収集や技術の獲得に努めています。本特集が中小企業の皆様が抱えるさまざまな技術的課題の解決や技術開発の一助となれば幸いです。



鉄鋼材料破断面の電子顕微鏡写真
(詳しくは P4 へ)



電子回路基板の熱流体解析
(詳しくは P5 へ)

目次

特集1 物性評価 (P2～P3)

- ・線膨張係数の測定
- ・セラミックスの硬さ試験について
- ・樹脂の流動性測定

特集2 不良・破損解析 (P3～P4)

- ・ソルベントクラック(ケミカルクラック)
- ・製品に付着した異物の混入経路の調査
- ・金属材料の破損解析

特集3 熱設計と電磁・光 (P5～P6)

- ・電子機器の熱設計
- ・光源の明るさ測定 ～全光束について～
- ・MHz～GHz 帯域における回路インピーダンスの特性評価

特集4 材料特性・構造 (P7～P8)

- ・マルチスケール解析による物性予測
- ・吸音材の特性インピーダンスと伝搬定数
- ・CFRP 積層板に生じたクラックの進展様相



特集 1 物性評価

線膨張係数の測定

温度上昇による寸法変化の割合を温度膨張係数(CTE; Coefficient of Thermal Expansion)といい、温度変化による部品の干渉やそりなどにかかわる数値です。固体の場合は長さの変化を示す線膨張係数、液体や気体の場合は体積変化を示す体膨張係数が主に用いられ、単位は $1/K$ です。

当所では、固体の線膨張係数の測定に熱機械天秤(TMA; Thermal Mechanical Analysis)を用いています。TMAでは押し棒などのプローブでサンプルを押さえつけ、熱膨張によりプローブが押し戻された量を変位として測定しCTEを算出します(図1)。フィルムなどは引っ張りで測定します。線膨張係数にはある温度での変位の傾きから計算した瞬間線膨張係数(図1では 20°C 、*印の箇所)、一定区間の変位置量から計算する平均線膨張係数(図1では $50\text{--}150^{\circ}\text{C}$)があり、目的によって使い分けます。エポキシ樹脂などはガラス転移点(T_g 、図1では黒色点線の交点)の前後で線膨張係数が大きく変化します。

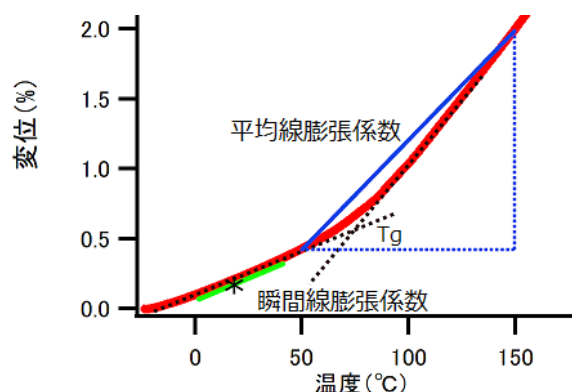


図1 エポキシ樹脂の TMA 測定データ

高分子は測定中の分子配向の緩和や後硬化により生じる寸法変化が変位に上乗せされることがあり、その場合はアニーリング後に測定します。

TMAの測定荷重によって凹んだり伸びたりするような柔らかい材料、石英のように極めて線膨張係数の小さい材料、 380°C 以上の高温での測定は当所では不可能ですが、他機関を紹介しますのでお気軽にご相談下さい。

(環境・有機材料研究室 岡本 和明)

TEL(052)654-9902

セラミックスの硬さ試験について

セラミックスの硬さ試験にはビッカース硬さ試験が用いられていますが、適切に試験を行うには注意が必要です。

図1は粉碎用のアルミナボールの表面です。セラミックスは大小さまざまな気孔を有しており、図1の黒い部分がそれにあたります。試験にあたっては表面研磨をしますが、気孔に砥粒が残らないようにしなければなりません。また、これらの気孔は照明を乱反射し圧痕を見づらくする上に、圧痕の角部に重なれば測定誤差が大きくなります。良好な圧痕を得るなら、大きな塊になっている部分を狙うべきですが、それが無い場合は観察方法を変えるか荷重を大きくして、測定誤差を減らすなどが考えられます。荷重を大きくすると亀裂が入りやすくなりますが、「JIS R 1610 ファインセラミックスの硬さ試験方法」では圧痕が観察できれば亀裂は許容されることになっているため、圧痕の読み取り易さを優先するのが通例です。

本稿ではセラミックスを取り上げましたが、セラミックス以外の材料においても材料・製法によって注意すべき点はさまざまです。材料の硬さ試験にご興味ございましたら、お気軽にお問い合わせください。

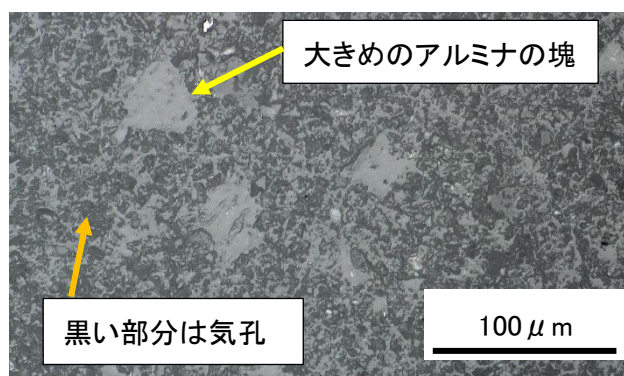


図1 アルミナボールの表面

(金属材料研究室 杉山 周平)

TEL(052)654-9875

樹脂の流動性測定

熱可塑性樹脂の成形においては、材料の熔融時の流動性をよく知っておくことが重要です。メルトフローレート(MFR)は簡便に測定できるため、流動性を示すパラメータとして多用されます。

MFRの測定方法は以下の通りです。加熱したシリンダの中で樹脂を溶融し、ピストンで荷重をかけます。ピストンと反対側のシリンダの穴から一定時間に押し出された樹脂の重量を測定します。これを10分あたりの重量に換算したものがMFRです。MFRが大きいほど流動性が高いといえます。

図1にポリプロピレン(A)と10wt%および30wt%ガラス繊維含有ポリプロピレン(B, C)のMFRの測定例を示します。B, CはAと比較してMFRが小さく、流動性が低いことが分かります。また、ガラス繊維の含有量が多いCの方がBよりもMFRは小さくなりました。

MFRは静的な流動性を評価するものです。樹脂の流動性には速度依存性があり、実際の加工条

件においては流動性が異なる場合もあり、留意が必要です。

当所では MFR を測定できるメルトフロー試験機(井元製作所製、MB-1)を、お客様にお使いいただけます(開放利用)。ご興味がございましたら、お気軽にお問い合わせください。

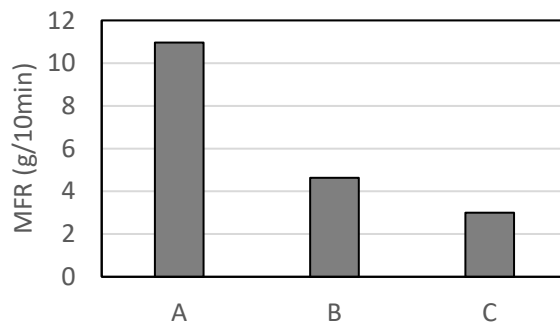


図1 MFR 測定例

(生産システム研究室 名倉 あずさ)

TEL(052)654-9950

特集2 不良・破損解析

溶剤クラック(ケミカルクラック)

プラスチックは、溶剤などの化学薬品が付着すると割れてしまうことがあり、溶剤クラック(ケミカルクラック)として知られています。溶剤クラックを引き起こす薬品として、有機溶剤、油、界面活性剤、可塑剤、防錆剤などがあります。プラスチックの種類にもよりますが、これらの薬品は内部へ浸透し微視的に膨潤状態になるため、小さな応力でも亀裂が入りやすくなります。

図1は、ポリスチレンの射出成形品を酢酸エチルの蒸気にさらしてできたクラックの破断面写真です。平滑な破断面が溶剤クラック部分、ごつごつした破断面が人為的に割った脆性破壊部分になります。実際の製品ではこのような明瞭な破断面ばかりではないため、破断部周辺の成分分析や再現試験などと合わせて溶剤クラックかどうかを判断する必要があります。

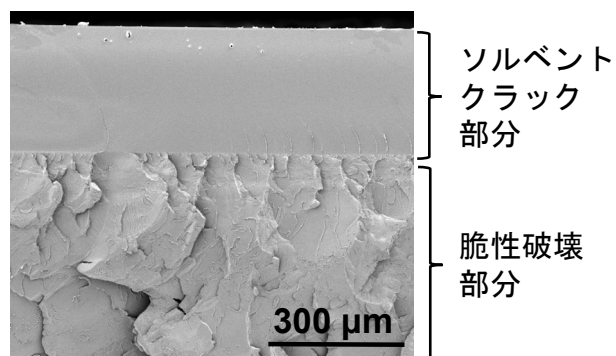


図1 ポリスチレン破断面の電子顕微鏡写真

今回例として取り上げたポリスチレン以外では、ABS、アクリル、ポリカーボネートなどの非晶性樹脂が比較的溶剤クラックを引き起こしやすいことが知られています。プラスチックの破損でお困りの際はお気軽にご相談ください。

(表面技術研究室 中野 万敬)

TEL(052)654-9893

製品に付着した異物の混入経路の調査

製品への異物の付着は、外観不良だけでなく、製品の割れや塗装のブツ・はじきなどのトラブルの一因になります。当所では、異物の成分分析のご相談を混入経路の推定のためによく承ります。付着異物の多くは製品の製造工程内にある材料や製品に接触する梱包材に由来しています。

分析方法は異物の種類などによって異なりますが、ここでは一例として有機物を対象とする赤外分光分析の事例をご紹介します。

異物は出荷検査時にはなく、梱包後出荷し、納品先で開封した際に発見されました。状況から梱包材のいずれかが異物として付着したのではないかと推測しました。図1に異物と2種類の梱包材の分析結果を示します。異物と梱包材1の分析結果がほぼ一致するため、異物は梱包材1に由来すると推定されました。このように、推測される材料と異物の分析結果を比較することで異物の推定を行います。異物と推測される材料がない場合は、既知

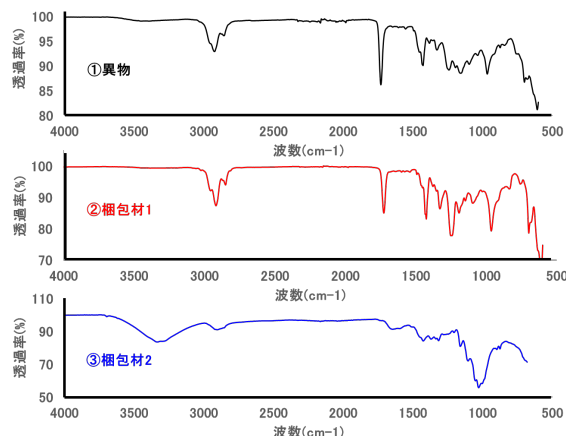


図1 赤外分光分析例

のデータベースの中から異物の類似化合物を検索することもできます。

異物付着でお困りの場合はお気軽にお問い合わせください。

(環境・有機材料研究室 林 朋子)

TEL(052)654-9869

金属材料の破損解析

機械構造物には多くの金属部品が使用されています。使用期間内に破損しないよう設計されますが、実機の使用環境は複雑であり、予期しない破損が生じることもあります。再発を防ぐためには、原因を調査して事故を防止する必要があります。

破損解析では、多くの場合、破断面を観察して破損状況を推測します。目視や光学顕微鏡を用いたマクロ観察では、過大荷重による延性破壊や脆性破壊、または、き裂の成長を伴う疲労破壊や遅れ破壊など、おおよその破壊機構を判断します。

例えば、疲労破壊では、ビーチマークと呼ばれる縞状模様から外力の変化やき裂発生時期の推測を、疲労破断した面積と静的破断した面積から公称応力の推測をすることができます。

電子顕微鏡を用いたミクロ観察では、ディンプル(窪み模様)やストライエーション(溝状縞模様)など局所的な特徴を観察して破損状況を推測します。

図1は鉄鋼材料の典型的な疲労破断面の電子顕微鏡写真です。結晶粒に依存する粗大な凹凸が

存在します。図2は起点まわりを切断した断面を金属組織観察した結果です。組織は0.5~1mm程の結晶粒であり、結晶粒の粗大化が強度低下の一因と推測されます。

このように、金属材料の破損解析では破断面観察をもとに破損状況の推測を行います。この推測に基づき組織や機械的性質を調査して破損原因を明らかにできる場合があります。金属の破損解析にお困りでしたら、お気軽にご相談ください。

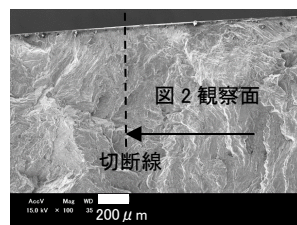


図1 鉄鋼材料破断面の電子顕微鏡写真

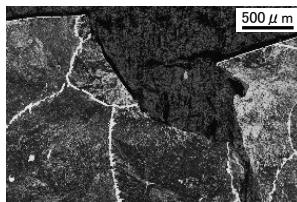


図2 金属組織写真

(金属材料研究室 玉田 和寛)

TEL(052)654-9920

特集 3 熱設計と電磁・光

電子機器の熱設計

近年、自動車の電動化が進められており、電子機器が多く使われるようになりました。電子部品の小型・高性能化により単位面積あたりの発熱量が高くなり、部品温度が上昇する傾向にあります。ところが、電子部品は高温に弱く、故障や短寿命化の危険があります。これらを未然に防ぐため、設計段階から温度上昇を予測し、目標温度で稼働するように放熱方法を考慮した熱設計が必要です。

電子機器は複雑な構造の部品が多数使用されており、温度上昇の予測が難しくなっています。以前は簡単な熱回路網法(熱を電気回路に置き換えた計算)がよく使用されていました。この方法は熱の流れがよく理解できるので現在でも有用ですが、昨今では熱の流れを計算する 3 次元熱流体解析が広く使われるようになってきました(図 1)。当所では計算方法の相談、計算を実施しながら熱対策の相談等を行っています。

上昇温度を計算するには各種材料の熱物性値

と発熱量が必要になります。当所では一般的なものは市販の測定器で対応し、難しいものは独自に治具を設計・製作して測定しています(図 2)。この治具は依頼試験で多くの方に利用されています。また、治具の設計・製作の相談にも対応しており、多くの会社で同様の治具が使用されています。

製品等の試作後では変更に時間とコストがかかりますが、計算であればやり直しが容易です。温度上昇に不安を感じたら、試作前に一度ご相談ください。

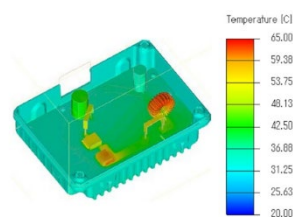


図 1 電子回路基板の熱流体解析

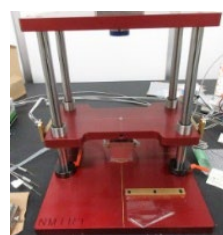


図 2 熱伝導率測定治具

(生産システム研究室 梶田 欣)

TEL(052)654-9940

光源の明るさ測定 ～全光束について～

LED電球の明るさは、60W形相当など白熱電球の消費電力で表現する場合がありますが、LED電球の実際の消費電力は白熱電球の1/6以下と大きく異なります。このため、LEDの明るさの表現には、「全光束」(単位:ルーメン[lm])もよく用いられます。これは、光源が全ての方向に放射する光の量を表す基準です。当所では、2通りの全光束測定に対応しております。

1つ目は、配光測定から全光束を求める方法です。光源が放射する光の強さを、様々な方向から測定した後、球係数法と呼ばれる計算で全光束を求めます。この方法では全光束の他、光源の角度ごとの性質も分かります。例えば、図1はLEDライトを測定したもので、照射部外周に相当する角度の色情報から、570nmあたりが強く黄色味がかっている様子が分かります。

2つ目は、積分球を用いた方法です。白い内壁の積分球内で光源を点灯すると、球内はほぼ均一

の明るさになります。この方法では、均一となった明るさを測定して全光束を求めます。短時間で測定できるため、点灯直後から光量安定までの経時変化などを調べることができます。また、複雑な配光特性を有する光源の測定にも適しています。

光源の特性評価にご興味ございましたら、お気軽にお問い合わせください。

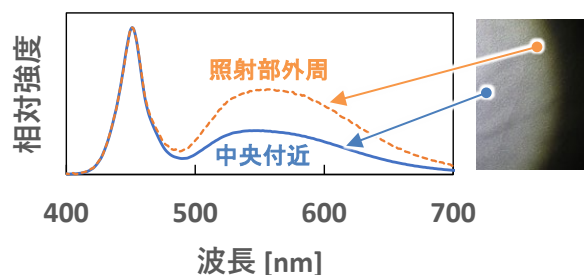


図 1 LED ライト照射部外周の色の違い

(情報・電子技術研究室 村瀬 真)

TEL(052)654-9930

MHz～GHz 帯域における回路インピーダンスの特性評価

当室では電子機器・部品・材料の特性評価試験などを技術支援として担当しており、受動回路のインピーダンス測定では主にインピーダンスアナライザを用いて、数10Hzから数MHz程度までの帯域（周波数域）で対応しております。最近では回路デバイスの高周波対応などに伴い、数MHzを越えて1GHz付近までの帯域での評価に関する相談も寄せられており、供試回路に応じた準備を要する場面も多くなってきました。

インピーダンスアナライザはじめ電圧や電流の信号を検出する計器は概ね数MHz付近が対応できる周波数上限であり、これより高域では電力の透過や反射で測定する計器であるベクトルネットワークアナライザ（以下、VNA）を使用します。この場合MHzまでの帯域での測定系とは事情が異なり、電力信号の伝搬を考慮した測定系の校正（終端開放・短絡・インピーダンス整合）や基準回路の準備等が必要となります。

電気容量式センサのインピーダンスを1ポート回路の反射特性の実測から評価した例を図1に示します。VNAで観測される1ポート測定系の反射係数 S_{11} （入力波に対する反射波の複素振幅比）と被測定回路インピーダンス Z との間は式(1)の関係にあります（測定系の特性インピーダンス： $Z_0 = 50 \Omega$ ）。

$$S_{11} = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (1)$$

この例は高周波実装された供試ではありませんが、VNAポートからのケーブルに接続できる同軸コネクタを供試回路の前段に取付けることを実測の準備として提案し、同ケーブル終端を基準とする校正を行った上で反射特性を実測しました。

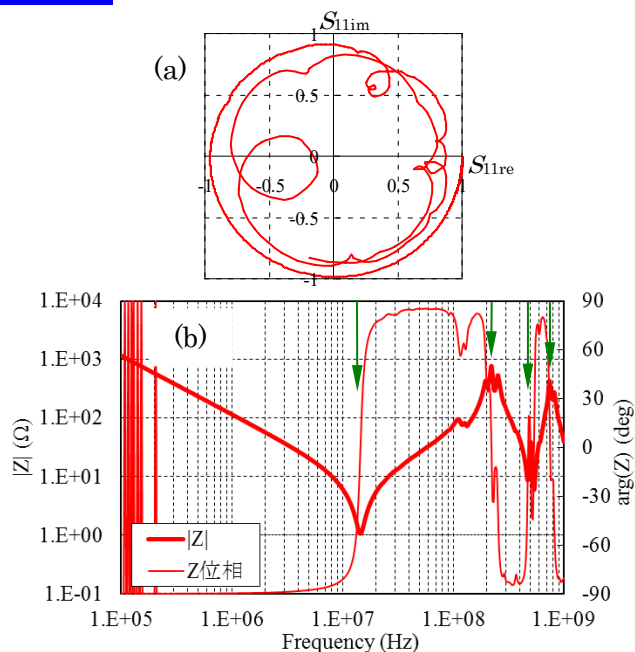


図1 電気容量式センサの各種特性

(a) 1ポート測定による反射特性

(b) インピーダンス値の周波数特性

式(1)から回路インピーダンス値を定量評価した結果、MHz から GHz の帯域で共振などの特異点を持つこと（図 1(b)矢印箇所）が確認されました。このことは同帯域での実装や利用には相応の注意を要することを示しております。

同例のように供試回路でご所望の実測が困難な場合でも、供試内容に応じた測定系の準備を施すことで対応できるような場合もあります。この分野での技術相談や実測評価のご依頼など、ご利用をお待ちしております。

（情報・電子技術研究室 小田 究）

TEL(052)654-9929

特集 4 材料特性・構造

マルチスケール解析による物性予測

不連続繊維強化樹脂は繊維配向、繊維含有率、繊維長などが機械特性と密接な関係にあることが知られています。しかし、繊維長などを意図的に調整し、機械特性との関係を実験から把握することが困難なケースもあります。このような場合、構造解析をマルチスケール解析と連成させたシミュレーションが有効となります。図1に簡易的な構造解析モデルを用いて樹脂に内含される繊維のアスペクト比(繊維長)を変えた場合の応力-ひずみ曲線

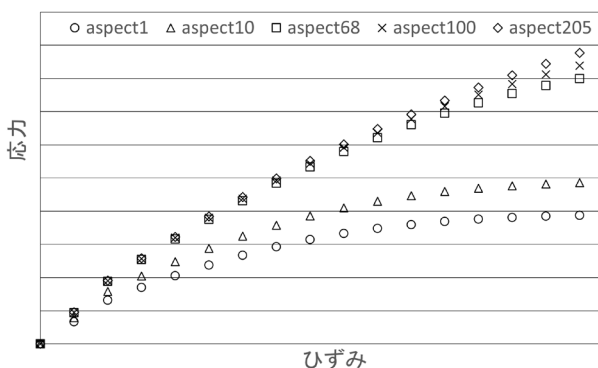


図1 アスペクト比を変えた応力-ひずみ曲線

の予測結果を示します。図1からアスペクト比が大きくなることで応力が増加していることが分かります。しかし、今回のケースではアスペクト比が68を超えると応力の増加は収束傾向になります。また、アスペクト比はヤング率よりも強度に影響を及ぼしていることが分かります。このようにマルチスケール解析と構造解析を連成させることで不連続繊維強化樹脂における機械特性の予測や繊維の状態が機械特性に及ぼす影響を検証することが可能となり開発期間の短縮などが期待できます。

また、マルチスケール解析ではアスペクト比以外にも繊維配向や繊維含有率が機械特性に及ぼす影響についても検証することができます。当所ではスキャナ法による繊維長測定やX線CT装置による繊維配向解析も実施しております。ご興味のある方はお気軽にお問い合わせください。

(生産システム研究室 近藤 光一郎)

TEL(052)654-9892

吸音材の特性インピーダンスと伝搬定数

空気中を伝わる「音」は、弾性媒質中を伝わる波動として音圧 p (Pa)と粒子速度 v (m/s)により表すことができます。両者の関係については電気回路における交流電圧と電流の関係に似ており、音圧を粒子速度で除したものが比音響インピーダンスと呼ばれています。この値は無限媒質中を平面波が伝播するような場合に媒質固有の値をとることからこれを特性インピーダンスといい、空気の場合には $415(\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m})$ 程度の実数値となります。異なる2つの媒質境界においては音の反射や透過が生じますが、境界部の反射率や透過率は両者の特性インピーダンスから計算することができます。

さらに媒質中の減衰や音速に関連した伝搬定数も合わせて考えると、より詳細に音の伝播を計算することができます。例えば自動車の内装部材等にも使用される通気性の良い吸音材の場合には、その特性インピーダンスと伝搬定数は垂直入射型の吸音率測定装置を使えば測定が可能で、これにより材料厚さや背後空気層厚さ(反射面までの距

離)を変えたときの吸音材の性能(吸音率)を予測することができます。

図1は通気性のある繊維系材料について当所の垂直入射吸音率測定装置で特性インピーダンスと伝搬定数を測定し、その数値から空気層厚さを変えたときの吸音率について予測した結果です。実測した吸音率とよく一致しています。

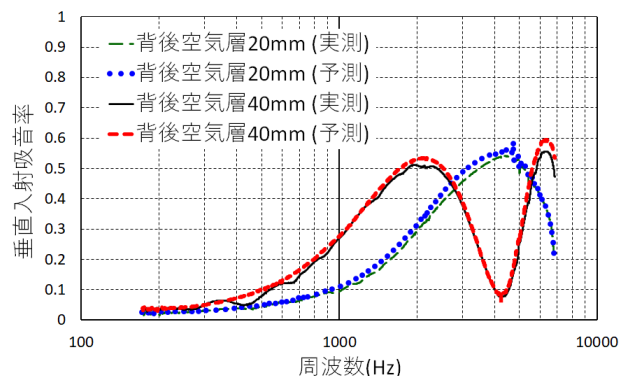


図1 繊維系材料の吸音率の予測値と実測値

(計測技術研究室 山内 健慈)

TEL(052)654-9877

CFRP 積層板に生じたクラックの進展様相

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は軽くて強いことから、近年様々な製品に使用されつつあります。しかしながら、孔の開いたCFRP積層板に引張りの負荷が加わると孔の周りに微視的損傷が発生し、これらが破壊の要因である層間剥離の起点となる可能性があります¹⁾。そのため、設計時や検査時においては微視的損傷の挙動を把握しておく必要があります。

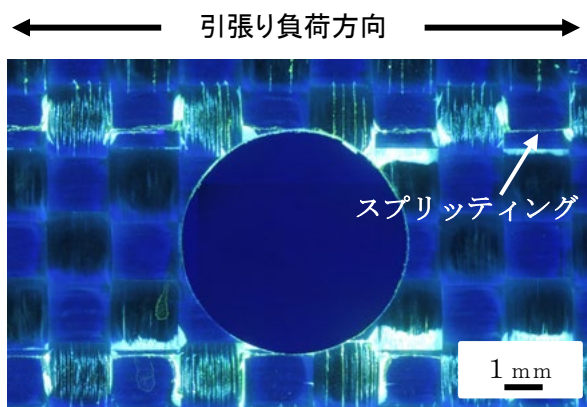


図1 蛍光浸透探傷法による微視的損傷の観察

そこで、スプリッティング(孔の応力集中部を起点とした荷重方向と平行方向のクラック)に焦点を当て、その進展挙動を観察しました。最大荷重を4.9kNとし応力比0.1、試験速度5mm/minで繰り返し引張り負荷を加えて適宜スプリッティング

の長さを測定しました。4000 サイクル時の蛍光浸透探傷法による微視的損傷の様相を図1に示し、スプリッティング長さとサイクル数の関係を図2に示します。

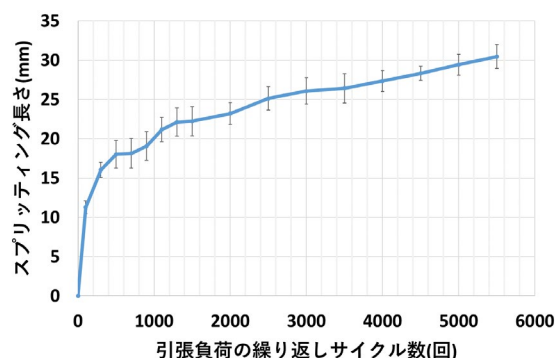


図2 スプリッティング長さとサイクル数の関係

サイクル数の増加とともに初めは急速にスプリッティングが進展していき、その後徐々に進展が緩やかになっていくことが分かりました。CFRP 積層板に生じたクラックの進展様相の観察についてご興味がある方はお気軽にご相談ください。

1) 「円孔を有する CFRP の微視的損傷の観察」
月刊名工研・研究紹介 No.798, p.3.

(金属材料研究室 深谷 聡)

TEL(052)654-9859

名工研・技術情報 Vol. 15(No.845)

発行日 令和4年10月1日

発行部数 1,500部

無料 特定配布

編集 名古屋市工業研究所 支援総括室

技術紹介特集

発行 名古屋市工業研究所

名古屋市熱田区六番三丁目4番41号

電話: 052-661-3161 FAX: 052-654-6788

URL: <https://www.nmiri.city.nagoya.jp>

E-mail: kikaku@nmiri.city.nagoya.jp