

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	CFRP継手接着層の吸湿率評価のための電磁誘導試験法の開発
Title(English)	
著者(和文)	松永航
Author(English)	Wataru Matunaga
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12182号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:水谷 義弘,轟 章,井上 裕嗣,因幡 和晃,阪口 基己
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12182号, Conferred date:2022/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	松永航		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	水谷義弘
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	轟章

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「CFRP 継手接着層の吸湿率評価のための電磁誘導試験法の開発」と題し、以下の 5 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、旅客機の一次構造材に適用されているファスナ接合の代替として、軽量化等を可能とする接着接合が注目されているものの、ウィークボンド (強度不良)が生じる場合があり、現状、これを検査する有効な手段が存在しないことから、接着接合を単独で適用できていないという研究の背景を述べた。ウィークボンドは各種要因により発生するが、本論文では、吸湿により生じるウィークボンドを検査対象に設定した。接着層は誘電体であるが、近年、導電体だけに適用可能だった電磁誘導試験 (EIT)を誘電体に適用可能にする方法が開発されたこと、また、この方法では誘電体の誘電率変化を測定可能であること、さらに、接着層が吸湿すると誘電率が変化することに着目し、本論文の目的を CFRP 接着継手接着層の吸湿率を測定するシステムと方法を開発するに定めた。

第 2 章「接着層単体の吸湿率測定法の開発」では、接着層の吸湿をモデル化することで、接着層の吸湿率と誘電率を関連づけるとともに、吸湿による接着層の厚さ変化の影響を考慮しながら接着層の吸湿率を EIT で測定する方法を開発した。まず、吸湿率と誘電率を関連づける代表的な 4 つの先行研究を示し、本論文で評価対象とする材料の物性、吸湿範囲、試験条件では、いずれのモデルを適用した場合であっても、吸湿率と誘電率は線形近似できることを明らかにした。次に、この線形関係が成立すると仮定した上で、誘電率及び厚さが既知の誘電体を用いて EIT の出力と誘電率および厚さの関係を校正し、EIT の出力から吸湿率を測定する方法を提案した。最後に、不織布とエポキシから構成される接着層に代えて、吸湿しても形状が保持されるガラス繊維織物とエポキシからなる GFRP を用いて吸湿試験を行い、提案手法の妥当性を実験的に検証した。EIT の出力変化には、吸湿による誘電率変化と厚さ変化の両方の影響が含まれるが、校正試験の結果を用いることで誘電体の吸湿率を推定可能であることを示し、提案手法の妥当性を示した。

第 3 章「導電体に挟まれた接着層の誘電率測定法の検討」では、EIT による継手の接着層誘電率測定の際に、導電体である CFRP が電磁シールドとなり測定に影響を与える可能性があることから、EIT が適用可能となる CFRP の導電率、EIT の励磁周波数を明らかにした。また、測定に適したコイルの形状・配置・仕様を解析と実験により検討した。まず、CFRP の電磁シールド効果を解析的に調査し、一般的な CFRP の導電率であれば、EIT の励磁周波数を 100 MHz 程度まで高くしたとしても、CFRP を介して接着層に電磁波を励磁できることを示した。次に、CFRP に挟まれた接着層の誘電率測定に適したコイルの形状・配置・仕様を実験計画法により検討した。検討の結果、コイル形状を矩形状平面スパイラルとし、試験体に対して上下に挟み込むように配置す

るとともに、励磁コイルの線幅を大きくし、励磁周波数をできるだけ高くすると良いことを明らかにした。最後に、上述の検討結果を基に EIT 用のコイルを作製し、誘電率が既知の誘電体を CFRP 板 2 枚で挟み込んだ継手模擬試験体に対して適用し、誘電率を定性的に測定可能であることを示すことで、本章での検討結果の妥当性を示すとともに、EIT を用いた CFRP 継手接着層の吸湿率測定の実現可能性を示した。

第 4 章「CFRP 継手接着層の吸湿率測定」では、EIT を用いた CFRP 継手接着層の吸湿率測定において、測定に影響を与える可能性がある因子を抽出し、各因子についてその影響度を解析的に調査した。また、第 2 章で提案した校正法と第 3 章で開発した EIT システム、さらに参照用 CFRP を用いて接着層の吸湿を測定する方法を開発した。まず、接着層の吸湿率測定に影響を与える因子として、吸湿による接着層の厚さ変化、CFRP の厚さ・誘電率・導電率変化を取り上げ、各因子の影響度を解析により調査した。その結果、接着層の厚さ変化以外は無視できないことを明らかにした。次に、CFRP 接着継手の吸湿試験を行い、開発した EIT システムの出力が、継手の吸湿に合わせて変化することを確認した。EIT の出力から接着層の吸湿率の情報を得る方法として、誘電率が既知の誘電体を CFRP で挟み込んだ試験体を用意し、継手の EIT 結果と比較する方法を提案した。吸湿率変化を得るためには EIT 出力の校正が必要となるが、第 3 章で明らかにした CFRP のシールド効果はほぼ無視できること、本章で明らかにした接着層厚さは EIT 出力にほとんど影響しないことを踏まえ、第 3 章で用いた試験体の結果を用いて校正した。本提案手法は、吸湿の中-後期以降で、接着層の吸湿率が 7-9%程度になると、適用可能になることを明らかにした。

第 5 章「結論」では、以上の結果をまとめて示すとともに、本研究の今後の展望について述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	松永航		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	水谷義弘	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	轟章	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this paper, a method was developed to evaluate the moisture absorption of the adhesive layer of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) joints by electromagnetic induction testing (EIT), which was beginning to be applied to the measurement of permittivity in dielectrics.

First, the moisture absorption of the CFRP joint adhesive layer alone was measured. The effect of the thickness and permittivity of the adhesive layer of CFRP joints on the output of EIT and the calibration method that could evaluate the moisture absorption rate of the adhesive layer from the output of EIT were proposed. The results showed that changes in the thickness of the adhesive layer alone have little effect on the output of EIT, and that the moisture absorption rate of the adhesive layer alone can be evaluated by measuring the permittivity using EIT.

Next, the electromagnetic shielding effect of CFRP in measuring the permittivity of the CFRP joint adhesive layer by EIT was examined, and the probe arrangement, shape and measurement frequency to enable the measurement of the permittivity of the adhesive layer were also examined. The simulation results showed that the electromagnetic shielding effectiveness of CFRP is almost negligible even at excitation frequencies of around 100 MHz. It was also found that a driver coil with a larger conductor width is applied and rectangular planar spiral coils are suitable for the measurement by placing them top and bottom and increasing the excitation frequency. The effectiveness of the above was confirmed through experiments.

Finally, the moisture absorption of the CFRP joints was measured using EIT. The simulation results showed that changes in the thickness of the CFRP, the permittivity of the CFRP and the conductivity of the CFRP have an effect on the measurement, in addition to the change in the permittivity of the adhesive layer, which is the target of the measurement. In order to remove the effect of changes in the physical properties of CFRP due to moisture absorption, we proposed a method to compare the output of EIT for CFRP and CFRP joints that had absorbed moisture. It was shown that the moisture absorption of the adhesive layer of CFRP joints in the middle to late moisture absorption period can be measured by EIT.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).