



繊維強度低下に基づく複合材料の疲労損傷と高強度複合材料の開発に関する研究

日和, 千秋

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1991-10-07

(Date of Publication)

2007-09-10

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1576

(JaLCOI)

<https://doi.org/10.11501/3062327>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001576>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	ひわちあき 日和千秋 (兵庫県)
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	博ろ第52号
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位授与の日付	平成3年10月7日
学位論文題目	繊維強度低下に基づく複合材料の疲労損傷と高強度複合材料の開発に関する研究
審査委員	主査 教授 中川隆夫 教授 冨田佳宏 教授 中前勝彦 教授 前川善一郎

論文内容の要旨

本論文は平織ガラス複合材料の疲労損傷機構に新たに繊維損傷の概念を導入し、この材料特有の低い疲労強度と残留強度が、繊維損傷による繊維強度分布の変化といった損傷モードの存在によることを明らかにし、また疲労強度を向上させた複合材料の開発も行い、それらの成果を「繊維強度低下に基づく複合材料の疲労損傷と高強度複合材料の開発に関する研究」と題してまとめたものである。

複合材料の疲労では繊維、樹脂およびその界面の強度が基本的な特性を決める。しかしそれ以上に繊維の分布形態により疲労強度は大きく変化する。これは複合材料では強化繊維の分散形態により疲労損傷モードが異なってくるため、それぞれの繊維形態に応じた疲労損傷を検討し、累積損傷則を組み立てなければ、疲労挙動の説明や予測が出来ないことを示している。

平織GRPは、強度と扱い易さの点で多く用いられているが、特に疲労強度や残留強度の低下が著しい。このことについて従来の損傷モードにより検証を加えたところ、これだけの大幅な疲労強度の低下は全く説明が出来なかった。この構造をもつ材料の疲労機構を説明するには新たな損傷モードを見出す必要があり、これに対し著者は“繊維強度の低下”と言う概念の導入を試みた。疲労中の“繊維強度の低下”は次のように起ると考えた。

平織構造は織目での縦糸と横糸の交差が存在し、ここでは繰返負荷により樹脂は容易に剥離を起こす。その後接触が可能となった繊維同志が擦れ合い、摩擦を起こして損傷が発生するというものである。

この材料に対して残留強度と束繊維強度を測定し疲労中の繊維強度分布の変化に対応させたところ、負荷荷重から得られる繊維損傷の強度低下と一致し、大幅な強度低下や残留強度の低下が解明できた。

さらに高分子フィルムを用いて繊維損傷モードが生じない構造の新材料を開発したところ、この材料は一方向材と等しい高疲労強度を有しているという成果が得られた。これにより繊維強度の低下に基づく新しい疲労損傷モードの妥当性を実験的にも確認出来た。

また複合材料の高機能化をめざし、微量の金属繊維を添加した耐熱性機能性複合材料を開発した。あるいは樹脂-繊維間界面せん断力の小さな材料での複合材の開発を可能にする、異形端末繊維複合材料の開発をも行った。

本文は7章で構成され、各章の内容は次のとおりである。

第1章は序論であり、現在までの複合材料の疲労研究の成果を概観してその特徴と問題点を挙げるとともに、本研究の基礎となる理論を示し、その考え方と背景を述べて、本論文の目的と意義を明らかにしている。

第2章では繊維の強度と複合材料の強度の関係について論じている。まず繊維自身の強度分布と束強度の関係、そして複合材料としたときの強度を複合則に基づいて検討している。また、繊維が損傷する場合その損傷の大きさと強度について検討し、繊維強度が低下したときの複合材の強度を予測している。

続いて繊維損傷の基礎的データである単一の繊維強度をガラス繊維と炭素繊維について実測し、その強度分布を Weibull 分布で近似し母数を決定している。また強度と寸法効果について言及している。さらに束繊維強度を測定し単繊維強度分布との関係について把握している。

第3章では一方向材や平織GRPの疲労強度と残留強度および残留束強度を測定し、各々の強度から疲労中繊維強度分布の変化を示している。織布構造と負荷応力の関係から、繊維損傷の大きさを見積り、その大きさのき裂を有するガラス繊維強度を検討し、疲労中の繊維強度分布と比較して繊維損傷機構の妥当性を示している。さらに平織GRPと疲労強度の優れた平織炭素繊維複合材（以下平織CRPと表す）とのハイブリッド化を行い、その疲労挙動についても検討を加え、繊維損傷による影響のあることを示している。また平織CRPの残留強度や疲労強度については、繊維損傷の機構が作用してもガラス繊維の場合と比較すると損傷が生じない事を主張し検討を加えている。

第4章では繊維損傷の有無や大きさが複合材料に与える影響について論じている。繊維径の異なる炭素繊維を横束繊維にした複合材料を作り、荷重方向の縦束繊維に損傷が小さくなるかを検討している。さらに高分子フィルムを用いて縦ガラス繊維に全く損傷を与えない構造の平織GRPを作成し、その疲労強度や残留強度を検討している。強度繊維に損傷がなければこの材料の疲労強度は一方向繊維複合材料と等しくなるはずでありこれを比較して示している。本研究のモデルの正しさを証明するため、さらにこの材料を平織CRPとハイブリッド化することにより、高強度な複合材料の開発を検討し、成果を示している。

第5章は複合材料の弱点の一つである耐熱性について、実際の使用を前提にし、SMC材に微量の金属繊維を添加した耐熱性機能性複合材料の開発で得られた複合材料の強度向上法に関する知見と、優れた温度特性や大きな強度向上が得られた材料開発の成果を示している。

第6章は複合材料は樹脂と繊維間界面のせん断力が低下すると、材料の強度が保持できない。例え

ば、近年使用が増大している熱可塑性樹脂での界面せん断力の小さな材料の使用や、あるいは従来の複合材料の高温雰囲気での使用で問題となる。そこで界面強度が小さくても繊維強度を引き出せる、異形末端を有した繊維による複合材料の開発を行っている。その結果得られた異形末端繊維の形状、寸法等の知見と共に、高温環境下で強度増大等の成果を示している。

第7章は結論であり、本研究の成果を総括して述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は平織ガラス複合材料の疲労損傷機構に新たに繊維損傷の概念を導入し、この材料特有の低い疲労強度と残留強度が、繊維損傷による繊維強度分布の変化といった損傷モードの存在によることを明らかにし、また疲労強度を向上させた複合材料の開発も行い、それらの成果を「繊維強度低下に基づく複合材料の疲労損傷と高強度複合材料の開発に関する研究」と題してまとめたものである。

複合材料の疲労では繊維、樹脂およびその界面の強度が基本的な特性を決める。しかしそれ以上に繊維の分布形態により疲労強度は大きく変化する。これは複合材料では強化繊維の分散形態により疲労損傷モードが異なってくるため、それぞれの繊維形態に応じた疲労損傷を検討し、累積損傷則を組み立てなければ、疲労挙動は説明や予測が出来ないことを示している。平織GRPは強度と扱い易さの点で多く用いられているが、特に疲労強度や残留強度の低下が著しい。このことについて従来の損傷モードにより検証を加えたところ、これだけの大幅な疲労強度の低下を全く説明出来なかった。この構造をもつ材料の疲労機構を説明するには新たな損傷モードを見いだす必要があり、これに対し著者は“繊維強度の低下”と言う概念の導入を試みた。

疲労中の“繊維強度の低下”は次のように起ると考えた。平織構造は織目での縦糸と横糸の交差が存在し、ここでは繰返し負荷により樹脂は容易に剥離を起す。その後接触が可能となった繊維同士が擦れ合い、摩擦を起こして損傷が発生するというものである。この材料に対して残留強度と束繊維強度を測定し疲労中の繊維強度分布の変化に対応させたところ、負荷荷重から得られる繊維損傷の強度低下と一致し、大幅な強度低下や残留強度の低下が解明できた。

さらに高分子フィルムを用いて繊維損傷モードが生じない構造の新材料を開発したところ、この材料は一方向材と等しい高疲労強度を有しているという成果が得られた。これにより繊維強度の低下に基づく新しい疲労損傷モードの妥当性を実験的にも確認出来た。

また複合材料の高機能化をめざし、微量の金属繊維を添加した耐熱性機能性複合材料を開発した。あるいは樹脂-繊維間界面せん断力の小さな材料での複合材の開発を可能にする異形末端繊維複合材料の開発も行った。

本文は7章で構成され、各章の内容は次のとおりである。

第1章は序論であり、現在までの複合材料の疲労研究の成果を概観してその特徴と問題点を挙げるとともに、本研究の基礎となる理論を示し、その考え方と背景を述べて、本論文の目的と意義を明らかにしている。

第2章では繊維の強度と複合材料の強度の関係について論じている。まず、繊維自身の強度分布と束強度の関係、そして複合材料としたときの強度を複合則に基づいて検討している。また、繊維が損傷する場合その損傷の大きさと強度について検討し、繊維強度が低下したときの複合材の強度を予測している。続いて繊維損傷の基礎的データである単一の繊維強度をガラス繊維と炭素繊維について実測し、その強度分布を Weibull 分布で近似し母数を決定している。また強度と寸法効果について言及している。さらに束繊維強度を測定し、単繊維強度分布との関係について把握している。

第3章では一方向材や平織GRPの疲労強度と残留強度および残留束強度を測定し、各々の強度から疲労中繊維強度分布の変化を示している。織布構造と負荷応力の関係から、繊維損傷の大きさを見積り、その大きさのき裂を有するガラス繊維強度を検討し、疲労中の繊維強度分布と比較して繊維損傷機構の妥当性を示している。さらに平織GRPと疲労強度の優れた平織CRPとのハイブリッド化を行い、その疲労挙動についても検討を加え、繊維損傷による影響のあることを示している。

第4章では繊維損傷の有無や大きさが複合材料に与える影響について論じている。繊維径の異なる炭素繊維を横束繊維にした複合材料を作り、荷重方向の縦束繊維に損傷が小さくなるかを検討している。さらに高分子フィルムを用いて縦ガラス繊維に全く損傷を与えない構造の平織GRPを作成し、その疲労強度や残留強度を検討している。強度繊維に損傷がなければこの材料の疲労強度は一方向繊維複合材料と等しくなるはずであり、これを比較して示している。本研究のモデルの正しさを証明するため、さらにこの材料を平織CRPとハイブリッド化することにより、高強度な複合材料の開発を検討し、成果を示している。

第5章は複合材料の弱点の一つである耐熱性について、実際の使用を前提にし、SMC材に微量の金属繊維を添加した耐熱性機能性複合材料の開発で得られた複合材料の強度向上法に関する知見と、優れた温度特性や大きな強度向上が得られた材料開発の成果を示している。

第6章は複合材料は樹脂と繊維間の界面のせん断力が低下すると材料の強度が保持できなが、界面強度が小さくても繊維強度を引き出せる異形端末繊維の形状、寸法等の知見と共に、高温環境下で強度増大等の成果を示している。

第7章は結論であり、本研究の成果を総括して述べている。

本研究は繊維強化複合材料の疲労損傷機構について、それに繊維同志の接触による損傷という概念を導入し、この種の材料の強度低下が以上述べた損傷機構によるものであることを明らかにし、さらにこれを疲労強度の一層高い複合材料の開発に応用したものであり、この成果は工学及び工業上有用かつ重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって学位申請者、日和千秋は博士（工学）の学位を得る資格があると認める。