

氏 名	はる 春 名 かず し
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 乙 第 50 号
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 題 目	FRP 接合体の強度設計に関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 前川善一郎 教 授 高橋雅興 教 授 岩本正治

論文内容の要旨

本論文は、炭素繊維で強化された FRP (Fiber Reinforced Plastics) 構造物の接合部の強度設計手法の確立ならび設計基礎データの蓄積をめざした研究である。本論文は 6 章および緒論と結論から構成されるものであり、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、機械的継手ならびに接着的継手の強度設計手法に関する動向を概観し、本研究で取り組むべき問題点を明確にしている。

第 2 章では、代表的な先端複合材料である炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の機械的継手の継手強度ならびに破壊様相を実験から求めている。そして、主要な最終破壊様相は、圧かい破壊と引張破壊に分類でき、安定的な破壊挙動を示す圧かい破壊の発生を前提とした設計が必要であることを示唆している。圧かい破壊の破壊強度を予測する手法として、引張破壊に有用な Point-Stress 規範が適用できることを示し、実験結果との比較を行っている。さらに本手法を拡張して、複数のピンからなる機械継手の強度の予測が可能であることを示している。

第 3 章では、CFRP のシングルラップ接着継手の破壊様相と強度予測手法を取り扱っている。接着継手の最終破壊様相は、凝集破壊、界面破壊、被着体破壊に分類されるが、この中で強度予測法が確立していない界面破壊を対象として、第 2 章の機械的継手と同じ Point-Stress 規範を適用し、その有効性と適用範囲を明確にしている。

第 4 章では、接着継手の接着部における硬化収縮過程のメカニズムを取り扱っている。接着剤の硬化過程における体積収縮率とせん断弾性率の関係を求め、接着継手の強度に加え、接着ひずみの予測を行っている。これらの結果から、接着接合の強度予測に加え、硬化収縮による応力や変形の予測が可能となり、総合的な接着継手の設計が可能となった。

第 5 章では、CFRP 機械的継手において、積層順序の異なる擬似等方性積層板の継手強度ならびに破壊機構を系統的な実験によって検討し、継手の円孔部の応力集中を軽減して、高い継手強度が得られる最適積層順序を明確にすることを試みている。その結果、耐引張負荷に対して必要な 0° 層を最外層に、次に 90° 層を配し、ボルトやリベットの圧縮荷重を最も負担している最内層に応力集中軽減効果の大きい 45° 層を配する積層順序が最も効果的であることを明確にしている。

第 6 章では、CFRP の機械継手の継手強度の向上をめざして、層間に等方性の熱可塑性フィルムを挿入する方法を提案している。その結果、フィルム部の変形吸収によって応力集中を軽減し、最終破壊荷重はそれほど向上しないものの、初期破壊発生荷重が約 50% 向上し、疲労強度など長期的な信頼性を向上できることが判明した。

第 7 章では、マトリックスに PEEK を用いた CFRP 機械継手の機械的継手強度について検討している。

そして、これまでの章で用いたエポキシ樹脂をマトリックスとした継手の力学的特性と比較することで、熱可塑性樹脂をマトリックスとした機械継手の優れた力学的特性を明確にしている。すなわち、PEEKを用いることでマトリックス部分の微小破壊の発生や進展が抑制され、エポキシ樹脂の場合に比べ、50%以上の高い継手強度を示すことを明らかにしている。

最後に第8章では、各章で得られた知見をまとめ、FRP 接合体の強度設計手法を総括している。

論文審査の結果の要旨

本研究では、FRP 構造物において、構造物全体の強度を左右する重要な因子である機械的継手と接着的継手の力学的挙動を検討している。これは、機械的継手の円孔部や、接着継手の接着端においては、著しい応力集中を伴うことから、継手部の強度は、被接合部の強度よりも低くなることが多いためである。構造物の強度設計においては、機械的継手、接着継手を問わずその強度データが、使用する材料系に対して、実験主体に収集されているが、数値解析による強度予測を主体とした設計手法がいまだ確立されていないのが現状である。そこで本研究は、FRP 機械的継手ならびに接着継手を対象とした強度予測手法の確立を主目的とし行われたものである。強度予測の対象は、継手部材としてその役割を完全に失う最終破壊荷重とし、両継手の場合に対して検討を加えている。

最初に、機械的継手において観察できる圧かい破壊と引張破壊の最終破壊荷重の推定に Point-Stress 規範が有用であることを見だしており、安定的な破壊挙動を示す圧かい破壊の発生を前提とした設計手法を提案している。さらに、積層順序の異なる擬似等方性積層板の継手強度ならびに破壊機構を系統的な実験によって検討し、継手の円孔部の応力集中を軽減して、高い継手強度が得られる最適積層順序を明確にした。

次に、接着継手に関しては界面破壊に注目し、機械継手と同様に、Point-stress 規範が設計基準になることを見出だしている。その上、硬化収縮による応力や変形をも考慮した設計手法を確立している。

さらに、継手強度の向上をめざして、積層板の積層順序の検討、熱可塑性フィルム挿入による方法、マトリックス樹脂の検討を行い、優れた成果を上げるなど、機械・接着継手の最適設計のための指針を得ている。

以上の結果より本論文の内容には十分の新規性と独創性ならびに高い学術的な価値があることを全審査員が認めた。

本論文の諸成果は日本機械学会論文集 A 編に 3 編、日本接着学会誌に 1 編が掲載され、レフリ制度のある国外の学術誌である J. Composite Materials に 1 編、J. Composite Technology & Research に 1 編、J. Adhesion Science & Technology に 1 編が掲載されている。これら 7 編の中の 4 編は申請者が筆頭著者である。