

審査の結果の要旨

氏名 久田 深作

修士（科学）久田深作提出の論文は、「複合材 T-joint の製造時残留応力の評価及び破壊進展の抑制」と題し、6 章と Appendix からなっている。

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic(CFRP)）は、優れた機械的特性と耐環境性を有することから、近年航空宇宙構造への適用が広がっているが、著しい異方性を有するために、特に接合部の成形と破壊が課題である。複合材接合部の代表的な形態である T-joint は、2 つの L 型材とスキン、及び各部材の隙間を埋めるデルトイドから構成され、垂直部材と水平部材の荷重を伝達する役割を担っているが、成形残留応力や面外方向の脆弱な力学特性によって、早期破壊を起こすことが問題である。特に成形時に発生するデルトイド部の亀裂は、接合部の機械特性に大きな影響を与えるにも関わらず、そのメカニズムは十分に明らかになっていない。一方で、発生した亀裂の進展を抑制することで接合部の損傷許容性を向上させる試みも行われてきているが、現在提案されている Z-pin 等の手法は面外方向の強度向上には寄与するものの、面内方向の初期破壊強度や疲労特性が低下する問題があり、従来のボルト締結に代わる手段とまではなっていないのが現状である。こうした背景のもと、本論文では複合材 T-joint の信頼性向上を目的として、成形時の亀裂発生メカニズムの解明及び新たな亀裂進展抑制機構による損傷許容性向上の両面から研究を実施している。

第 1 章は緒言で、国内外の先行研究を概観し、課題について述べている。さらに予備的な検討として、T-joint の引張試験を行い、成形時にデルトイド部に発生する亀裂により、接合部の機械特性が大幅に低下することを明らかにしている。

第 2 章では、光ファイバセンサを用いた T-joint デルトイド部の成形時ひずみ分布計測を行っている。独自に構築した光ファイバ埋め込み手法に基づくその場計測により、閉鎖空間であるデルトイド内部のひずみ分布を計測することに初めて成功しており、デルトイドの頂点に近いほど L 型材からの拘束を受けて大きな成形応力が生じることを明らかにしている。また、航空機に用いられる高靱化 CFRP に含まれる層間樹脂層の影響も評価しており、層間樹脂層の配向によってデルトイド内部の応力状態及び破壊様式が変化することを見出しており、デルトイド部の成形破壊にはデルトイド各隅で生じる垂直応力及びそれらの大小関係が重要であると指摘している。

第 3 章では、成形プロセスの有限要素解析を行い、T-joint デルトイド部の成形破壊に対する指標について考察しており、従来の応力基準指標よりもエネルギー基準指標のほうが、デルトイド部の成形破壊に対してより適した指標となることを明らかにしている。さらに、デルトイド部の成形破壊を抑制するトライアングルデルトイド構造を新たに提案し、有限要素解析及びひずみ計測を援用しながらその有効性を実証している。

第 4 章では、亀裂進展抑制のための繊維強化型クラックアレスタ機構の提案と双片持ちはり

試験片による実証試験を行っている。まず、亀裂端部の変形状態を有限要素解析により評価し、Mode-I による亀裂進展が支配的であることを見出している。交差繊維を亀裂進展経路に挿入することで Mode-I での亀裂進展を抑制するアレスタ機構を提案し、双片持ちはり試験で破壊靱性値及びエネルギー吸収特性が著しく向上すること、さらにはアレスタ部の積層構成によって破壊様式及び機械特性が変化することを明らかにしている。

第5章では、第4章で提案したアレスタ構造を T-joint に導入し、引張荷重下で亀裂進展が抑制できることを試験により実証している。T-joint の最終破壊はフランジスキン界面で生じるため、アレスタを接着界面に導入するだけで十分な亀裂進展抑制効果が得られており、初期破壊荷重の低下や重量増加を抑えつつ、効率よく T-joint の損傷許容性を向上させることができると結論付けている。

第6章は結論で、本論文で得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文は従来から問題となっている複合材 T-joint の高信頼化に向け、成形破壊メカニズムの解明及び亀裂進展抑制による損傷許容性向上の両面から、独自の手法を用いて取り組んだものである。なお、本論文の第2章から第5章は武田展雄氏と水口周氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。広く航空宇宙構造の接合部の問題に適用可能な知見が得られており、軽量構造の実現による省エネルギー化の点で、先端エネルギー工学、特に軽量構造工学に貢献するところが大きい。よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1999 字