

審査の結果の要旨

氏名 梅澤 啓佑

修士（工学）梅澤啓佑 提出の論文は「せん断荷重を受ける複合材補強パネルの座屈後解析と外板 - ストリング間における初期剥離進展予測」と題し、本文6章と付録からなっている。

航空機の胴体側面部分では、一般に与圧荷重による面内引張力が生じるのに加え、飛行荷重や地上荷重によるせん断力を受ける。このせん断力は主に外板が受け持ち、外板のせん断座屈を引き起こす可能性がある。航空機の通常運航時にこのせん断座屈を許容するか否かは設計方針によるが、弾性限度内でこの座屈を許容するいわゆる座屈許容設計は、航空機構造の健全性を保ったまま軽量化に寄与することができ、胴体構造の効率化につながると期待される。金属構造の機体では座屈許容設計の適用例もあるが、複合材料製胴体でこれを実現しようとする場合、座屈後の外板の面外変形がこれに接着された補強材の外板からの剥離につながる可能性があり、座屈を許容しない保守的な設計にならざるを得ない場合が多い。

この論文では複合材料製胴体外板のせん断荷重負荷下での座屈後挙動について、リッツ法を用いて簡易に解析する手法を開発すると同時に、外板の座屈によって引き起こされる可能性のある補強材の剥離挙動を、破壊力学的に予測することを試みている。

第1章は序論であり、複合材料の航空機への適用と座屈許容設計の複合材料構造への適用の現状をまとめている。その上で複合材料製補強パネルの座屈後解析に関する既存の研究と課題を述べ、座屈後挙動の簡易解析手法の必要性を示して本論文の目的を設定している。

第2章ではせん断荷重下における補強パネルの座屈後挙動の解析手法について述べ、解析結果を示している。まず解析モデルを設定し、解析を行う際に仮定した制約や境界条件等を記述している。次にリッツ法の定式化を行い、ここで用いる変位の近似関数を提案しその有効性を示している。またその近似関数を用いた解析との比較のために行った有限要素解析についても述べている。外板パネルを等方性材料、複合材料積層板とした2ケースについて、リッツ法を

用いた解析結果について詳述している。これらの結果と有限要素解析の結果の比較を行い、リッツ法を用いた提案手法によって補強パネルの座屈後挙動を十分な精度で解析できることを示している。

第 3 章では外板 - スtring 間の剥離に関する解析とその結果を詳述している。まず外板 - スtring 間の剥離が進展する際のエネルギー解放率の解析的導出手法について述べている。この解析的計算法では剥離き裂先端での板としてのひずみを用いてエネルギー解放率を求めているが、この値の予測精度を評価するために行った有限要素解析のモデルについても述べている。最後に等方性材料、複合材料積層板の 2 ケースに対して解析結果を示し、提案された解析的手法の妥当性に関する考察を行っている。

第 4 章では第 5 章で述べる補強パネルの剥離進展予測に必要な、複合材料の層間剥離進展特性を得るために行った材料特性データ取得試験について述べている。この試験では一方向炭素繊維強化エポキシ複合材料 M21/T800S を用いている。まずモード I の剥離進展特性を得るための DCB 試験の概要を述べ、試験で得られた疲労剥離進展特性を示している。次にモード II の剥離進展特性を得るために行った ENF 試験の概要を述べ、同様に得られた疲労剥離進展特性を整理し、これらの材料特性の妥当性を考察している。

第 5 章は補強パネルの剥離進展予測に関する章である。まず、第 2 章と第 3 章で提示された解析手法を組み合わせることで求めたエネルギー解放率の分布が妥当であるかを、有限要素解析の結果と比較することで検討している。座屈許容設計を行う際に想定するような、String 間にあるパネルの局所的な座屈に対して、本論文で提案した簡便な手法が有用であることを示している。次に、上記の手法と第 4 章で得た剥離進展特性を用いて剥離進展予測を試み、剥離の進み易さへの積層構成や板厚の影響について理論的に考察している。座屈荷重がより大きな積層構成が、座屈後の変形状態において必ずしも剥離の進展速度を小さくするとは限らないこと、パネルの板厚が大きくなると座屈荷重が座屈後の静的な剥離進展荷重よりも大きくなる、つまりは座屈と同時に String が剥離する可能性があること、等の重要な知見を得ている。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文はせん断荷重下における複合材料製補強パネルの座屈後挙動に関して、座屈許容設計に必要とされる実用的で簡易な解析手法の提案を行い、その有効性を検証するとともに、実験で得た材料データを用いて String のパネルからの剥離を数値的に予測できることを示しており、胴体外板の板厚や String の配置間隔などの設計パラメータの決定に直接役立つもので、航空機構造力学、航空宇宙工学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。