

異なる負荷速度における CFRP の面外衝撃損傷挙動

学生証番号 96077 氏名 永島 匠
(指導教員 小笠原 俊夫 教授, 武田 展雄 教授)

Key Words : Impact test, Composite Material, Delamination, Simulation.

民間航空機用エンジンとして用いられるターボファンエンジンでは、ファンの軽量化によるエンジン性能の向上を図るため、軽量、高強度の炭素繊維強化複合材料(CFRP)の適用が試みられている。ファンエンジンの前部へCFRPを適用する際の技術的課題として異物衝撃損傷が挙げられる。この解決のためには、異物衝撃損傷を受けたときの複合材料の詳細な挙動を知る必要があり、実際に打ち込み試験を行うのに加えて、数値シミュレーションを活用することが望ましい。特に高速域での打ち込み試験は設備やコストの面から容易に行えるものではなく、でき得る限り数値シミュレーションを活用することが必要であると考えられる。

そこで本研究では、実験結果と数値解析によって損傷挙動を明らかにし、最終的には低速度域での結果から高速度域での損傷を予測可能にすることを目的としている。高速衝撃試験では損傷進展を観察することは困難であるため、静的押し込み試験によって損傷挙動の調査を行い、低速衝撃試験、高速衝撃試験の結果との比較を行うことでそれらの損傷挙動の調査及び負荷速度による違いを調査した。低速と高速での貫通限界調査結果について考察した。また、面外衝撃に関する数値解析を構築し、静的押し込み試験、高速衝撃試験の再現を行った。

静的押し込み試験における断面観察の結果、繊維破断の少ない試験片は他の試験片と比べ剥離が広範囲に渡っていた。剥離によって繊維破断が抑制され、最大荷重が高くなった可能性が示唆された。低速衝撃試験における貫通限界調査では、積層構成による貫通限界の大小が試験片によって逆の傾向を示すものがあった。断面観察の結果、貫通限界の高い積層構成ほど繊維破断の少ない傾向が見られた。高速衝撃試験では、どの試験片においても擬似等方積層の方が直交積層よりも剥離が広範囲に進展していた。他所で実施された高速の貫通限界調査と低速での結果を比較すると、高速では低速に比べ、総じて擬似等方積層Iの貫通限界が高く、平織り材の貫通限界が低かった。前者は剥離が広範囲に広がっており、後者は剥離がほとんど発生していなかった。高速では剥離の進展によって貫通限界が高くなる可能性が示唆された。

調査した損傷の再現を目指して数値解析の構築を行った。損傷後のCFRP積層板には層内き裂、繊維破断、層間剥離が発生しており、本研究では層内き裂は連続体損傷力学モデルで、繊維破断は応力基準の破壊則で、層間剥離はCohesive要素を用いたエネルギー基準の結合力モデルでそれぞれモデル化した。モデルは対象性を考慮して1/4モデルとした。各層は2つの低減積分8節点ソリッド要素であり、ソリッド要素に連続体損傷力学モデルを適用した。解析はABAQUS Explicit 6.10-1を用いて行い、静的解析では計算コスト削減のために400倍のマスキングを行った。

負荷速度1.0 [m/s]での静的押し込み損傷の模擬では、剥離進展と共に急激な荷重低下が発生した。試験結果においても同程度の変位量で大きな剥離進展が生じており、損傷進展の様子は良く一致した。しかし、試験では見られない急激な荷重低下が解析では見られ、荷重-変位関係が試験結果と一致しなかった。解析では試験に比べ広範囲に剥離が進展しているため、試験ほど荷重が増加しなかったと考えられる。また、解析と試験では、剥離進展の方向に違いが見られた。原因として試験で発生した繊維方向へ伸びる長い層内き裂の影響が考えられた。

速度160 [m/s]で高速衝撃試験を模擬した。剥離が円形に進展し、長手方向に層内き裂が密な部分が発生しており、試験結果と良く合った。静的押し込みでは、本研究のモデルでは表現できない長い層内き裂による影響が強いものに対して、高速衝撃では影響が少ないために、高速での解析結果と試験結果がよく合った可能性が示唆された。