

論文の内容の要旨

論文題目 成形爆薬による超高速射出装置の開発と
CFRP板への超高速衝突による損傷評価法に関する研究

氏 名 永 尾 陽 典

21世紀に入り、探査衛星による科学への貢献や、地球周回軌道を飛行する通信衛星による実利面での貢献など、宇宙活動によって人類にもたらされるものは極めて大きくなっている。また、国際宇宙ステーションの建設とそれを利用した活動も本格化しようとしている。一方、人工衛星等の宇宙機の増加は人類に大きな利益をもたらすと共に、宇宙ゴミといわれる宇宙デブリの増加という深刻な課題も同時に投げかけている。NASAによるシミュレーション解析ではデブリとデブリがぶつかって更なるデブリを産み、留まることがなくなる結果が得られている。この結果によると2000年に全ての打ち上げを中止してもデブリが増え続け、数十年後にはデブリによって地球の周りが占有され、新規の打ち上げができない状況となる。このような環境条件のなかで、新たな衛星打ち上げと運用が行われていく。そのため、近年、宇宙機にはデブリ衝突に対する防御や損傷を考慮した設計が求められている。既に従来の衛星や国際宇宙ステーション開発等を通じ、アルミニウム合金に関しては多くの超高速衝突による損傷データが取得され、デブリが構造を貫通する限界式などが実験的に求められている。

一方、軽量化要求から衛星構造や宇宙機構造には軽量化の観点から、複合材料がほぼ全面的に用いられているが、これら複合材料に超高速のデブリが衝突した時にどのような事象がおこり、また構造の健全性がどのような影響を受けるかについては、ほとんど明らかされていない。従って、複合材料へのデブリ衝突を模擬した地上設備による超高速衝突試験によってデータを取得していく必要があるが、以下の課題がある。

(1)低軌道での代表的なデブリ速度は約10km/secとされているが、この速度で模擬デブリを射出できる装置は、成形爆薬（以降CSCと称す）にほぼ限られる。しかしCSCから射出された模擬デブリによる損傷は、同じ速度・質量の固体球が衝突した場合よりも大きな損傷を与える事が報告されている。従って、CSCによる損傷量をそのまま用いること

はできず、固体球衝突による損傷との関係を求める必要がある。

(2)炭素繊維を用いた複合材料（以降CFRPと称す）の超高速衝突による損傷データは少ない。そこでCSCに比べて簡便に多くのデータ取得ができる2段式ガスガンを用いて試験を行い、CFRPのデブリ超高速衝突に関する損傷特性とその評価方法を明らかにする必要がある。

以上を背景に、CSCと固体球を射出する2段式ガスガンとの損傷量の比較を行うため、ガスガンのほぼ上限速度である、7km/secまで速度を下げたCSCを開発した。このCSCを用いて2段式ガスガンとほぼ同質量・同速度の模擬デブリを射出し、損傷量を比較することで装置の差異による損傷関係を求めた。その結果、速度7.5km/secから10km/secの速度範囲でかつ質量が約2.0gの場合について、CSCによる損傷は固体球の質量が1.6倍のときと同じ損傷量になる事を明らかにした。これを等価損傷質量として定義した。また、この過程で超高速衝撃シミュレーション解析ソフトの有効性についても明らかにした。

異なる速度、異なる球径の模擬デブリを、異なる板厚のCFRPへそれぞれ超高速衝突させデータを取得した。この時、板厚で規準化した損傷面積と、同じく板厚で基準化した衝突エネルギーとでデータを整理する方法を提案した。この方法を採用することで、両者の間に一定の相関式が得られる事を明らかにした。さらにこの整理法によって、金属の場合と異なり、デブリが板を貫通する限界は規準化エネルギーによって、ほぼ一定値として求められることを明らかにした。本研究では、質量が0.72gから480mgでかつ速度が2.0km/secから6.8km/secの範囲で、規準化損傷面積と規準化エネルギーとは貫通域と非貫通域の2本の関係式で示すことができることを示した。また、超高速衝撃後の構造健全性の評価手法として、圧縮試験が有効であることを示した。

さらに、CFRPの繊維強度が貫通限界に及ぼす影響についても明らかにした。また、超高速解析シミュレーションソフトを用いて、異方性である積層板のCFRPを2次元で簡易的にモデル化する手法によって、層間剥離の進展挙動や剥離位置などを求めることができる事を示した。

CFRPに対して、CSCを用いた10km/secでの超高速衝撃試験を行った。その結果、上述のCSCの等価損傷質量を用いて求めた、規準化エネルギーと規準化損傷面積との関係は、この速度域でも適用できる見通しを得た。

以上に示したとおり、成型爆薬（CSC）による超高速射出装置を用いた損傷評価の手法を確立した。

また、炭素繊維複合材料に対する超高速衝突損傷事象と、損傷量の予測手法を明らかにした。