

スペースデブリ対策の研究
Research of countermeasure against space debris
デブリ防御技術の研究
Research of debris protection

宇宙先進技術研究グループ 永尾陽典
Advanced Space Technology Research Group Yosuke Nagao

Abstract

This research investigates the influence of debris collision on a structural integrity. And, test equipment is developed in order to conduct a hypervelocity impact test on the ground. The influence on the composite material which is a major material of a space structure is mainly investigated. Moreover, it inquires about the hypervelocity impact numerical simulation to composite material.

1. はじめに

宇宙基地や宇宙往還機などが滞在する LEO では 10km/s の速度でデブリが周回しており、その数は記録されていない mm オーダーのものまで入れると 4,000 万個にもものぼるといわれ、さらに増え続けると考えられている。これらの環境のもと、直径 1cm 以下のデブリに対しては観測も難しく構造側で防御することが求められている。しかしこれらのデブリがバンパーや構造に衝突した場合の破壊に関する情報はアルミ合金など一部の材料に関してはデータ化されているが、衛星や宇宙往還機などの構造材に大幅に適用される事が想定されている CFRP などについての超高速衝撃データはほとんど取得されていない。一方、構造側で最も考慮すべきとされるデブリは重量 1 g / 速度 10km/s 程度とされているが、この状況を安定的に実現できる超高速射出装置はまだない。そこで超高速射出装置の開発と CFRP 等に関する超高速衝突に関する情報を取得・蓄積していく事は宇宙機の一次構造部材としての材料選定あるいは構造様式を設定する上で必要不可欠な情報でありかつ急務と考えられる。

本研究では、10km/s での試験を可能とする成形爆薬を用いた超高速射出試験装置の開発と、CFRP 板をターゲットとしてデブリを模擬したアルミを超高速衝突させ、その現象を実験的・解析的に調べることで宇宙機用の複合材料構造設計、特にデブリ防御構造の設計指針を得るデータを取得する事とを目標としている。なお複合材への衝突試験についてはイタリアのパドバ大学と共同研究を行っている。

2. 研究の概要

平成 16 年度は以下の 2 項目について研究を行った。

(1) 超高速射出装置に関する研究

成形爆薬方式により 1 g の質量を 7.5km/s で超高速射出する技術を 15 年度に取得したが、16 年度は後追いで飛翔する質量の除去技術を確立した。また同じ速度で射出できるガスガンとの衝突比較予備実験を行った。発射されるプロジェクティル形状の差異があるため直接の比較は今後の課題となったが、液状となる成形爆薬と固体で衝突するガスガンとでは損傷事象が異なる知見が得られた。さらに今回行った試験結果と衝撃解析ソフトを用いて得られたジェット生成解析結果とを比較し、解析上の課題も明らかにした。

(2) 複合材料等の衝突データベースに関する研究

CFRP 板への超高速衝撃試験を実施した供試体の圧縮残存強度データを取得した。昨年度は衝突エネルギーと損傷面積との関係を明らかにしたが、16 年度は衝突エネルギーと残存強度の関係を明らかにした。

(3) 解析技術に関する研究

超高速衝撃解析ソフト AUTODYN の複合材解析部を用いて、複合材超高速衝突実験結果との比

較研究を行った。

3. 成果の概要

(1) 超高速射出装置に関する研究

本研究では成形爆薬法と他超高速射出法との相関に関するデータ取得作業を行い、実用化のための有益なデータを取得すると共に今後の課題を明らかにした。作業は以下を行った。

- 後追いジェット分離装置の製作／試験準備（横方向加速火薬の設置）
- 射出試験の実施
- 試験結果の評価・整理
- ガスガンとの比較予備試験

① 後追いジェット分離装置の製作／試験準備

後追いジェットを除去するために、プロジェクタイトが通過後のタイミングに合わせて横方向の速度を与えるシート火薬を設置した。シート火薬単体の発火試験を行い、信号速度と火薬の発火状況を確認した。なお、2 段式ガスガンとの相関を得るためにプロジェクタイト速度は 6～7 km/s を目標としている。射出試験用の成形爆薬供試体は 3 式準備した。供試体の概要を Fig.-1 に示す。

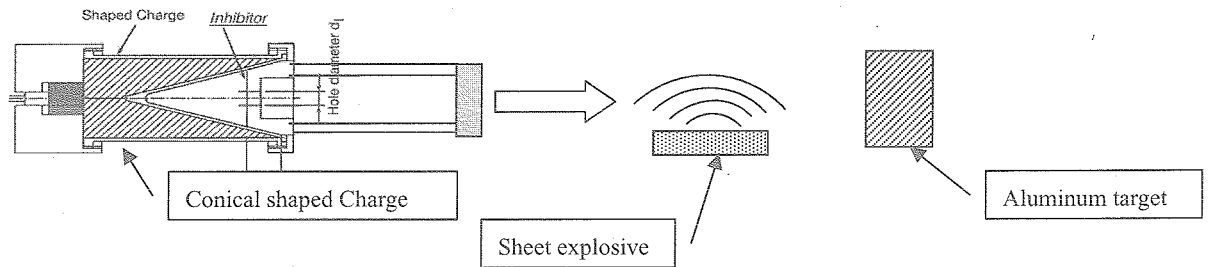


Fig.-1 Concept of test arrangement

② 射出試験

シート爆薬の爆薬量と起爆位置とをパラメータとして試験を実施し、後追いジェットが確実に除去できる仕様を設定した。昨年度の射出実験結果と比較すると、標的の表面の微小クレータが激減していること及び X 線写真結果から、後追いジェットが除去できている事を確認した。今年度のターゲット画像を Fig.-2 に示す。

③ 試験結果の評価・整理

7 km/s 改善仕様射出体を用いて、質量 1.04～1.40 g、速度 7.4km/s の先端ジェットを取得でき、後追いジェットの除去も確認した。AUTODYN-2D によるジェット生成解析を実施し、今回の試験結果と同様のジェットが生成できる事が解析からも得られた。但し、解析による標的板の損傷は実験結果に比較してやや小さくなる結果となり、今後の精度向上が課題として残った。

④ 2 段式ガスガンとの比較予備試験

成形爆薬よりやや低速の 6.3～6.7km/s の速度での試験結果となった。損傷深さ、径ともに成形爆薬試験の結果よりもやや小さくなっている。AUTODYN による解析も行い、ジェットの形状効果を考慮する必要があるとの知見を得た。2 段式ガスガンによる衝突試験による標的板の損傷を Fig.-3 に示す。



Fig.- 2 Target of conical shaped charge

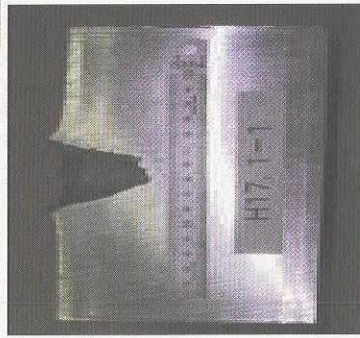


Fig.- 3 Target of 2staged gas gun



(2) 複合材料等の衝突データベースに関する研究

板厚の異なる CFRP 板に対し、アルミ製のプロジェクタイトルを 2 段式軽ガスガンで射出した供試体について以下に示す作業を行い、プロジェクタイトルのエネルギーと圧縮残留強度との相関を把握するデータベースを蓄積した。

- 圧縮残留強度の測定
- 試験結果の評価・整理

① 圧縮非破壊検査

15 年度には超高速衝突のエネルギーと損傷面積との関係について明らかにしたが、16 年度は衝突後の圧縮残留強度を測定した。複合材料は圧縮荷重を受けた場合に内分損傷の影響が最も顕著にあらわれる。これは樹脂剥離が起これと繊維が局部座屈を起これし早期に破壊するためであり、構造健全性の評価に有効な方法である。

② 試験結果の評価・整理

衝撃エネルギーと圧縮残留強度との関係を Fig.- 4 に示す。この図から以下の結論を得た。なお、ここでの衝撃エネルギーは板厚で正規化している。

- a) プロジェクタイトルが貫通しない場合、圧縮残留強度は板厚に依存する。同じ板厚当たりエネルギーでは、板厚が大きいほど残留強度が高い。
- b) プロジェクタイトルが貫通する場合、圧縮残留強度は板厚に依存しない。同じ板厚当たりエネルギーでは、板厚に関係なく一定である。

4. まとめ

(1) 超高速射出装置に関する研究

成形爆薬方式により 1 g 程度の質量を 7.5km/s で超高速射出する技術確立した。また、後追いジェット除去も可能となり、プロジェクタイトル衝突の評価がより精度高く行える事となった。同じ衝突エネルギーを有するガスガンによる衝突比較実験を行い、プロジェクタイトルの様相によって損傷状況が異なる知見を得た。

(2) 複合材料等の衝突データベースに関する研究

CFRP 材に対する超高速衝撃を与えた供試体について、衝撃エネルギーと圧縮残留強度について

との相関を把握した。今後もデータを充実させていく。

(3) 解析技術に関する研究

今年度は衝撃実験結果を参照しつつ解析を実施した。複合材の内部損傷の進展や状況については定性的に良い一致が得られる段階に達したが、まだ複合材の内部損傷解析が定量的に可能な段階には至っていない。今後はソフトメーカーの支援以外に、大学等と解析的な研究を共同で行う事を検討する。

[参考文献] 省略

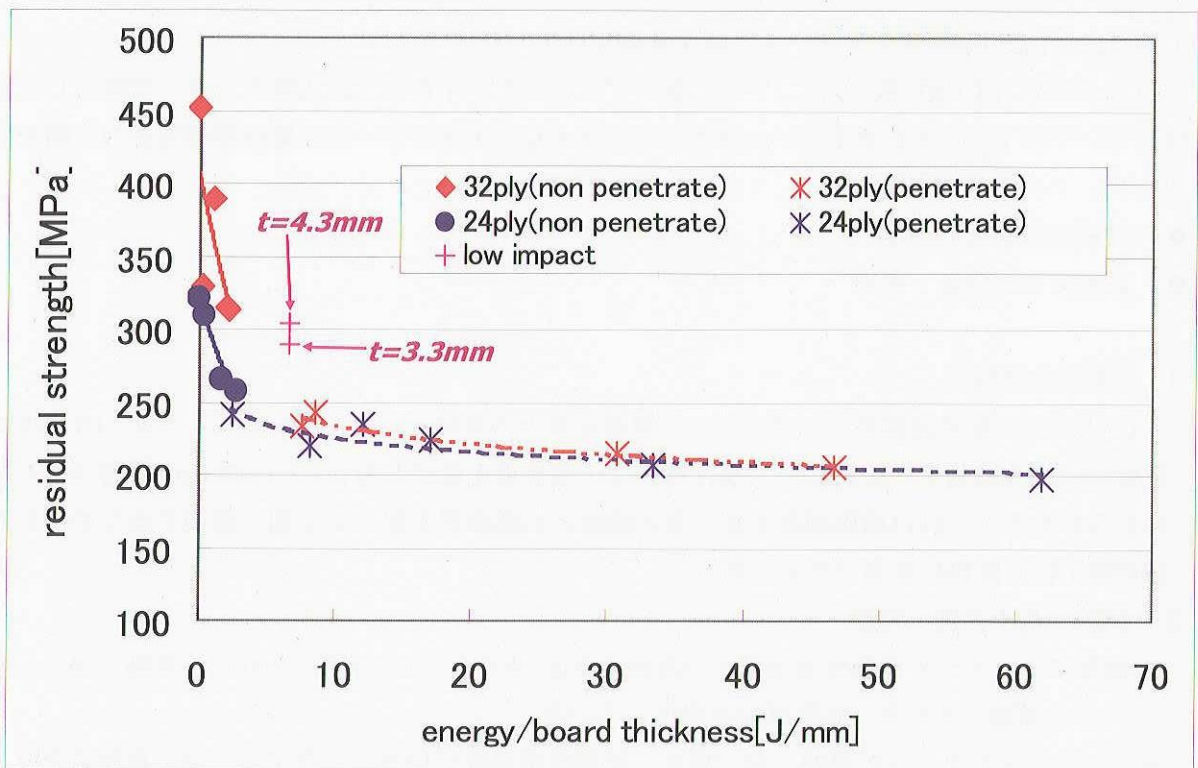


Fig.-4 Relation between specified impact energy and residual strength