

2 段式軽ガスガン(藤原銃)の移設と衝突実験

○堀江 孝佑(法政大・院) 山口 太一(法政大・学)

長谷川 直(ISAS/JAXA) 新井 和吉(法政大)

1. 緒論

近年、宇宙開発に伴いスペースデブリと呼ばれる宇宙のゴミが増加し、それらと宇宙機との衝突が問題視されている。スペースデブリは一般に、秒速数 km という超高速で地球の軌道上を周回しており、それらと宇宙機が衝突した際には甚大な被害が予想される¹⁾。

そこで、従来のスペースデブリ衝突の研究において、1 段および 2 段式軽ガスガンやレールガンなどによる超高速衝突実験が世界各国の研究機関において行われてきた。法政大学においても、1 段式軽ガスガンを用いた宇宙機用デブリバンパ機構の研究、複合材料や金属材料、脆性材料などの低速衝突実験などを行っている^{2, 3)}。

本研究では、本年度 ISAS/JAXA から法政大学へ譲渡された 2 段式軽ガスガン(通称、藤原銃)の移設および稼働状況、これからの展望について報告する。

2. 2 段式軽ガスガン(藤原銃)の移設

1981 年に当時京都大学の藤原顕先生が、2 段式軽ガスガンを京都大学において導入した。その後、藤原先生の異動に伴い 2 段式軽ガスガンも ISAS/JAXA に移設され、昨年度まで稼働していた。しかし、ISAS/JAXA では、新型 2 段式軽ガスガンの導入により、稼働頻度が低下し、国内の他研究機関へ移設されることとなった。2013 年 4 月に ISAS/JAXA から 2 段式軽ガスガンの移設希望募集を受け、法政大学でも移設希望応募および準備を進め、5 月に正式に移設が決定した。移設決定後、ISAS/JAXA 特殊実験棟に移設業者と事前に視察し、移設日を 7 月 3 日に決定した。その後、移設後に必要な発破器や火薬(譲受許可証)などの調達を行った。火薬の保安管理については、堀江と山口が乙種火薬類取扱保安責任者の資格を取得した。移設当日、特殊実験棟から大型クレーンとトラックを用いて搬出を行った。同日午後、法政大学で搬入・設置を行い、移設作業は完了した。2 段式軽ガスガン移設完了後の法政大学での外観を図 1 に示す。

3. 移設後のメンテナンスと改良

3. 1 移設後の各種メンテナンス

移設後に行った各種メンテナンスを以下に箇条書きにて示す。

- ・ 2 段式軽ガスガンの衝突試験室である真空チャンバの左右上部にある三か所の観察窓の取替えを行った。新しいアクリル板を全てに取付け、光学観察性能の改善を行った。
- ・ 真空チャンバの真空計と真空ポンプの取付けおよび交換を行った。
- ・ 真空チャンバ内は、円筒状になっており、試験片の水平設置が困難であった。そこで、チャンバ内の底部にステンレス板材を新たに取付けることで試験片設置を容易とした。
- ・ ポンプチューブや高圧カップリングなどの接続部における Oリングが、経年劣化によりシール性能が低下していることが確認されたため、各 Oリングの取替えを行った。
- ・ 衝突実験後に、高圧カップリングに嵌ったピストンを取り出す際にピストンが飛び出す可能性があったため、ピストン受け皿を作製した。



Fig.1 Two-stage light gas gun

- ・装置全体の重心が比較的高い位置にあり、カップリング部の開閉時に 2 段式軽ガスガンが揺れることがあるため、地震発生時の安全性も含め、装置架台に脚を取付けることで耐震性の向上を図った。

3. 2 ラプチャ板の改良

2 段式軽ガスガンは、火薬を用いてピストンを駆動することにより軽ガスを急激に超高压状態にまで圧縮し、圧縮された軽ガスの推進力で飛翔体を加速する装置であるが、軽ガスの圧縮状態を保ち、所定圧で急速に圧力を開放するのが高压カップリング内に設置されたラプチャ板(ダイヤフラム)である。このラプチャ板に平板のもの(図 2(a)参照)を用いると、圧力解放時にラプチャ板の破片も飛翔体の後方から共に加速され、衝突試験片と衝突し、飛翔体の単独衝突実験の弊害となっていた。一例として、板厚 0.2mm の平板のラプチャ板を用いた衝突実験結果を図 3 に示す。試験片はアルミニウム合金 (A5052H112) で、寸法は $\Phi 130 \times t 15\text{mm}$ の円盤とした。飛翔体は $\Phi 7\text{mm}$ の PC 球を用い、衝突速度は 3.5km/s とした。中央部が飛翔体の衝突であるが、その周辺にラプチャ板の破片が衝突している様子がわかる。飛翔体衝突位置とラプチャ板の破片の衝突位置の一部が重なっており、飛翔体の単独衝突での評価は難しく、また、破片の衝突で生じたクレータから、破片がある程度の大きな衝突エネルギーを有して衝突していることもわかる。そこで、ラプチャ板の改良の検討を行った。改良後のラプチャ板は板厚を 0.8mm とし、その中央部に十字の切込みを行った(図 2(b))。切込み深さは 0.6mm とし、最薄肉部は平板の板厚と同じ 0.2mm となるようにした。なお、ラプチャ板の材料は改良前後共にステンレス鋼を用いた。改良後の衝突実験結果を図 4 に示す。試験条件および使用した試験片および飛翔体は変更前と同一とした。試験片には飛翔体のみが衝突しており、また、ラプチャ板は切込みに沿って展開し破片が発生していないことが確認できた。

4. 2 段式軽ガスガンを用いた衝突実験

上記の図 3 および図 4 に示した衝突実験からもわかるように、今回移設された 2 段式軽ガスガンは、飛翔体衝突位置の精度が高いことがわかった。そのため、現在は EOI(Edge on Impact)と呼ばれる直方体試験片の側面部への衝突実験なども行っている⁴⁾。

5. 今後の展望

現在、使用する火薬量やラプチャ板の板厚と材質を変化させた衝突実験を行っておらず、今後これらのパラメータを変化させて、衝突速度へ及ぼす影響を検討する予定である。また、現在使用している飛翔体は $\Phi 7\text{mm}$ の PC および Nylon 球であり、今後は円柱などの飛翔体形状を変化させた衝突実験、さらには、飛翔体の直径を変化させた衝突実験を行うため、サボと呼ばれる装弾筒を用いた衝突実験などの検討も行っていく予定である。

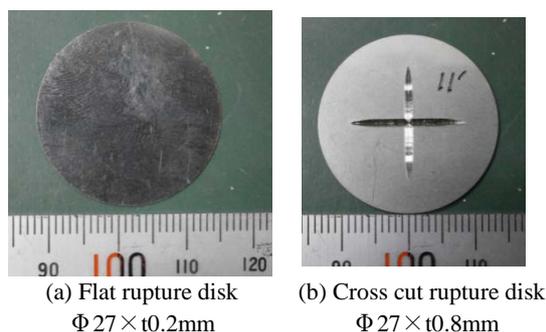


Fig.2 Rupture disk

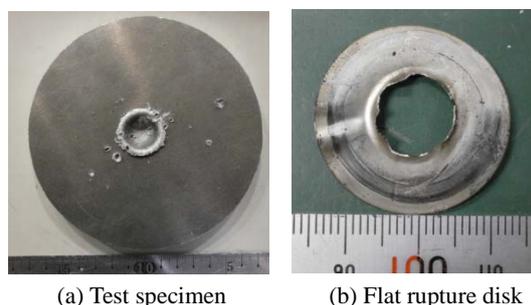


Fig.3 Test result used flat rupture disk

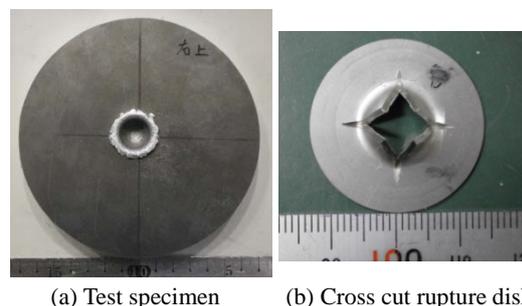


Fig.4 Test result used cross cut rupture disk

謝辞

2 段式軽ガスガン(藤原銃)の ISAS/JAXA から法政大学への移設にあたり、ISAS/JAXA 関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 八坂哲雄：宇宙ゴミの問題－スペースデブリー， p.58, 裳華房, 1997
- 2) 浦澤ら：チタン合金薄板のスペースデブリー貫通限界方程式，日本材料科学会第 19 回若手研究者討論会講演予稿集， pp.17-18, 2012
- 3) 浦澤ら：引張荷重下における Ti-6Al-4V 薄板の貫通限界方程式，第 56 回宇宙科学技術連合講演会講演集(CD-ROM)， 2C10, 2012
- 4) 森口ら：透明材料への超高速衝突による動的破壊の実時間撮影，平成 25 年度スペースプラズマ研究会， 35, 2014