

# 弾道飛行装置で射出した高速飛行体の水中突入が駆動する衝撃波現象

○菊池崇将、沼田大樹、高山和喜（東北大）  
takamasa.kikuchi@gmail.com

## 1. 緒言

水への突入現象は、衝撃波発生と気液界面変形を伴う非定常流れであり、衝撃波工学と気泡力学の基礎研究課題である。近年では、爆発やスペースデブリ衝突で発生する高速飛散物の防護壁開発が期待されている<sup>1)</sup>。また、地球物理学への学際応用<sup>2)</sup>が強く期待できる。水中突入現象は、1940年代まで第二次世界大戦を背景に軍事的な目的で行われた。その後、水上飛行機の着水時、救命ボートの落下時の衝撃負荷測定やスーパーキャビテーション実験の補助的な目的として研究された。主な実験値は10~60 m/s程度の低速であり、100 m/s以上の高速の実験報告は僅かである。また、高速突入の可視化結果は1コマ撮りであり、非定常現象の全体を把握できない。高速条件の突入を連続的に観測した実験結果の整備が急務である。水への突入現象の解明には、突入した飛行体や、気液界面の運動の他、水中と気中の流れ場の同期的議論が必要である。流れ場を可視化するには、影写真、シュリーレン法等の光学的可視化法が知られている。局所的な媒体の密度変化に従い、媒体の光の屈折率が変化する。流れに垂直に平行光束を入射すれば、光は屈折率変化に対応して曲げられ、受像面に白と黒の線で流れ場を表示できる。

弾道飛行装置を用いて直径5mmのステンレス球を200m/s以上の高速で射出し、試験部に設置した水槽へ突入させた。観測に影写真法を用い

た。本稿は、高速飛行体の水中突入が駆動する衝撃波現象について可視化した結果を報告する。

## 2. 実験

### 2-1 弾道飛行装置

図1に東北大学流体化学研究所斜め式弾道飛行装置を示す。この装置は、試験部に対する砲身の角度を自由に設定でき、斜め衝突、垂直衝突ができる。本実験では、軸対象を仮定するために、垂直衝突を選択した。

### 2-2 飛行体とサボ

図2に実験に用いた飛行体とサボを示す。飛行体は直径5mm、質量0.52g、SUS304ボールベアリングである。飛行体はサボは、直径10mm、長さ12mmの4分割型ポリカーボネートサボに格納する。球とサボの総質量は0.8gである。

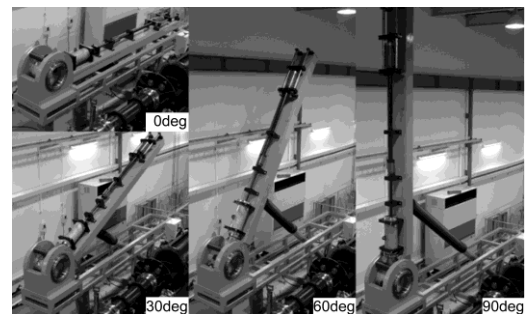


Fig.1 The oblique ballistic range in Tohoku University



Fig2 A spherical projectile and 4-parts sabots

### 2-3 水槽

水槽は、厚さ 20 mm のステンレス鋼板を、幅 320 mm、奥行き 100 mm、高さ 280 mm に組み立て、可視化の亚克力窓を両側に備えている。なお、水深は 105 mm である。

### 2-4 可視化計測

影写真法の光学系を図 3 に模式的に示す。メタルハライド光源(PCS-UMX350, NIPPON.P.I.Co,Ltd)の光を組レンズで集光させ、凹面鏡で平行光束にした。可視化画像は高速度ビデオカメラ Phantom V7.3(Vision Research Inc.)で記録した。撮影速度は、毎秒 21,052 齣、露光時間 1 マイクロ秒である。

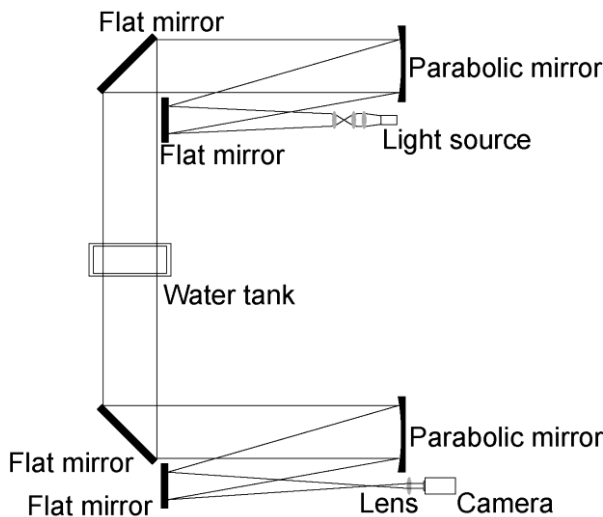


Fig4 Optical arrangement of shadow graph

### 3. 実験結果および考察

得られた可視化画像を図4に示す。突入速度は 256.05 m/s で空気音速以下であるため、飛行体前面

に離脱衝撃波は存在しない。しかしながら、突入に伴い気中に衝撃波が発生している。これは、水面上に発生する高速液滴が駆動した衝撃波である。また、水中には水中衝撃波が発生している。水中衝撃波の背後の輝度値は変化するが、飛行体と水中衝撃波の間の輝度値の変化は確認できない。

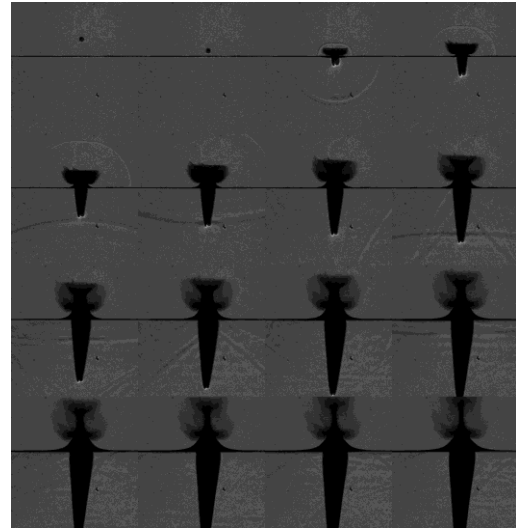


Fig4 Sequential photographs, where entry speed is 256.05 m/s.

### 4. 結論

弾道飛行装置を用いて球を射出し、高速で水に突入させた。突入前後の球周りの流れを、影写真法で観測した。可視化結果では、突入速度が空気音速以下の場合にも、気中に衝撃波の駆動を確認した。

参考文献：

- (1) 高橋秀明、柴田邦也、新井和吉、長谷川直：液体を用いたスペースデブリシールドのCFRP構成の検討、平成 22 年度スペースプラズマ研究会・講演集
- (2) 中沢弘基：生命の起源・地球が書いたシナリオ、新日本出版