

K7-58

## 高速水中突入現象の解明 Elucidation of the phenomenon of high-speed water entry

坂本孝仁<sup>1</sup>, 村上享平<sup>1</sup>, 村松旦典<sup>2</sup>, 菊池崇将<sup>2</sup>Takahito Sakamoto<sup>1</sup>, Kyohei Murakami<sup>1</sup>, Akinori Muramatsu, Takamasa Kikuchi<sup>2</sup>

Abstract: In order to clarify the whole phenomena of water entry by the experiment, high-speed water entry phenomena of a sphere, which was launched by a vertical two-stage ballistic range, at water surface and at underwater photographed simultaneously by using two high-speed video cameras. However, it is impossible to measure the flow and pressure inside the water column by the experiment, therefore it is necessary to calculate them using numerical calculation and clarify the mechanism of Surface closure. Experiment and numerical simulation plan ware shown.

### 1. 緒言

高速水中突入現象とは、物体が高速で水面に突入するときに発生する現象であり、水上の空気、水、突入物体の固気液三相が混在する複雑な現象である。水中突入により、水中に水中衝撃波、物体の背後に水中空洞、水上には水上液滴が発生する。水上液滴は時間経過とともに中空の水柱へ変化し、中空の水柱は最終的に中心軸へ向かって閉鎖する。この閉鎖は surface closure と呼ばれ、内部の圧力が外部の圧力よりも低くなるために発生すると予測されている<sup>[1]</sup>。また、水中では物体を頂点とした円錐状の空洞が生じる。水中空洞も時間経過とともに膨張・収縮し空洞が閉鎖する。この閉鎖は deep closure と呼ばれている。これらの現象は相互に影響を及ぼし合っている<sup>[2]</sup>。

空気の音速を超えた突入速度における高速水中突入現象では、水上に、突入物体が駆動した気中衝撃波が存在するため、突入速度が音速未満の場合と比べて異なった傾向を示すと考えられる。水上で発生する現象は大気圧の影響を受けているが<sup>[1]</sup>、先行研究における数値計算は水上の空気が無視されている。surface closure の発生には水上の空気が強く影響するため、メカニズム解明には水上液滴内部の圧力・流動を測定する必要がある。しかし、液滴内部の流動の可視化は不可能であり、数値模擬を用いる必要がある。

本研究では、実験計測と数値計算によって得られたデータから、高速水中突入現象の物理モデルを作成することを目的とする。本稿では、空気の音速を超えた水中突入現象での可視化実験、数値計算による surface closure 発生メカニズムの解明における概要・計画及び進捗状況を報告する。

実験概要を Figure1, 2 に示す。

音速を超えた突入速度での水中突入現象を実験測定するため発射速度 800~7000m/s の縦型二段式ガス銃を使用し、併設された試験チャンバー内に水槽を設置する。直径 4.67mm, 質量 0.639g, ポリカーボネート製の球状弾丸を射出し、突入速度 450m/s 以上で水へ突入させ、水上と水中の現象を 2 台の高速度ビデオカメラで撮影する。レーザー光を着水地点の水面上に通し、フォトディテクタに受信させることで、弾丸の着水で発生した水上液滴がレーザーを遮った瞬間に検出された遮断信号をカメラのトリガーとして利用し、突入にカメラを同期させる。Figure 2 のようにレーザーとフォトディテクタを平行に二つずつ設置し、弾道がずれても片方が遮断信号を検出すればトリガーが作動するように改良した。Figure3 のレーザー間距離と弾道ブレに対する安全率のグラフから決定する。

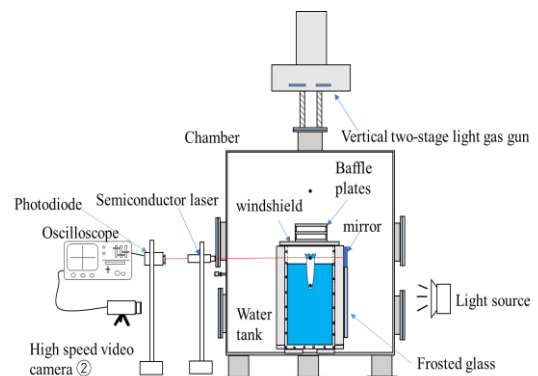


Figure 1. Experimental outline front

### 2. 実験概要及び実験計画

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

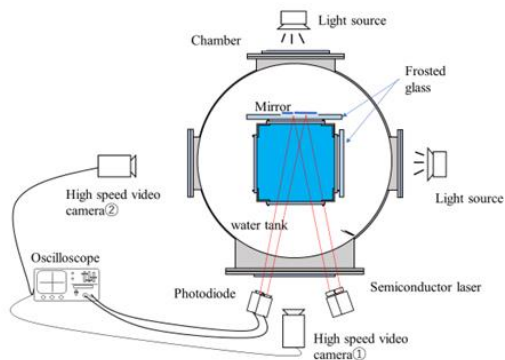


Figure 2. Experimental outline plane

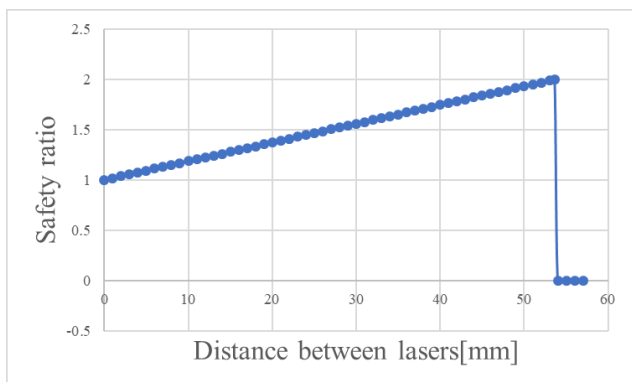


Figure 3. Distance between laser vs Safety ratio

### 3. 数値計算計画

Surface closure 発生のメカニズムを解明するため、ANSYS 社の衝撃解析ソフトウェア AUTODYN を用いて水上液滴内部の圧力と流動を再現する。AUTODYN は高速、超高速ひずみ速度問題を得意とする陽解法ソルバーを用いることで衝突解析や衝撃波の解析に強みを発揮している。

高速水中突入現象の数値模擬は、本研究室では初めての試みであるため、先行研究の報告<sup>[3]</sup>を再現することで計算手法を確立する。高速水中突入現象周りの圧力・速度分布、deep closure の発生時刻及び深度、水中移動物体の速度履歴を取得し、Lee の数値計算結果と比較して、数値計算手法を確立する。

実際の現象は、水上に空気が存在する固気液三相が混在した現象であるが、Lee らの数値計算では、水上の空気を考慮しない固液二相で計算しており、surface closure が再現されていない。水上液滴内部の圧力・流動が surface closure に及ぼす影響を調査するために、数値計算手法の確立後、昨年度取得した実験条件と同一条件で数値計算を行う。数値計算結果と実験結果を比較し、数値計算手法の正確性を検証する。数値計算結果の正当性が確保できた後、その結果から高速水中突入現象周りの圧力・流動を議論し、surface closure の発

生メカニズム、雰囲気大気圧が高速水中突入現象に及ぼす影響を見積もる。また、実験では取得していない雰囲気大気圧での高速水中突入現象を再現することで、大気圧による surface closure に及ぼす影響を考察する。

Figure4 に突入速度 500m/s で直径 20mm の球状弾丸の、突入から 0.6ms までの速度履歴を示す。これは、先行研究<sup>[3]</sup>の再現であり、0.2ms までは良く一致しているが、0.3~0.6ms にかけて徐々に値がずれている。これは、Lee の論文<sup>[3]</sup>においてメッシュ数や弾丸の詳細なデータが明記されていないためと考えられる。

今後は、メッシュ数や弾丸の材料を変更して解析手法を確立する。

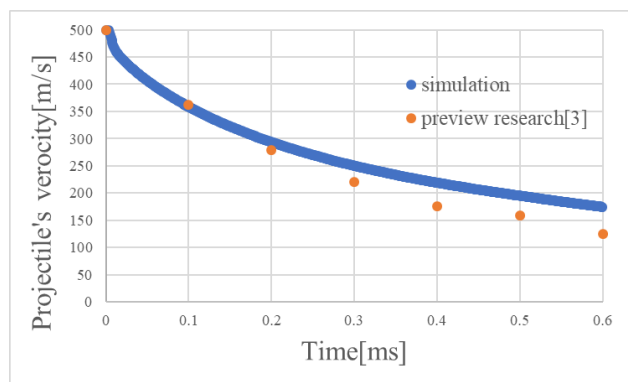


Figure 4. History of the projectile's velocity

### 4. まとめ

- ・ 超高速水中突入実験を確実にを行うため、レーザーカットトリガーシステムを改良した。
- ・ 数値模擬の先行研究<sup>[3]</sup>の再現手法、取得済みの実験結果を数値模擬する手法の検討した。

### 5. 参考文献

[1] David Gilbarg and Robert A. Anderson. Influence of Atmospheric Pressure on the Phenomena Accompanying the Entry of Spheres into Water. *Journal of Applied Physics*, Vol. 19, No. 2, pp 127-139, 1948.

[2] ALBERT MAY. Vertical Entry of Missiles into Water. *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, Vol. 23, No. 12, pp 1362-1372, 1952.

[3] M. Lee, R. G. Longoria, and D. E. Wilson. Cavity dynamics in high-speed water entry. *Physics of Fluids*, Vol. 9, No. 3, pp 540-550, 1997.