

K7-79

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

森川大地¹, 矢田兼章¹, 菊池崇将²
Daichi Morikawa¹, Tomoaki Yata¹, Takamasa Kikuchi²

Abstract: The high-speed water entry phenomenon is a complicated flow which contains a water splash, an underwater shock wave, an underwater projectile, an underwater cavity. This phenomenon is also multiphase unsteady flow of solid, liquid and gas. Each phenomena of the water entry have the different characteristic time scale. Many experiments of low entry speed was reported, but there are few reports of high-speed water entry. In order to clarify the whole phenomena of water entry by the experiment, the water entry phenomena of a sphere, which was launched by a vertical ballistic range, at water surface and at underwater photographed simultaneously by using two high speed video cameras. Experimental measurement of whole phenomena of the water entry succeeded. In addition, we conducted analysis about the phenomenon of closure under the two velocities of 125m/s and 282m/s.

1. 緒言

水中突入には複数の時間的に異なる現象が存在し、水上液滴、水中衝撃波、水中移動、水中空洞が混在している。水上の液滴によって形成された空洞はベルヌーイ効果によって向心力が生じ^[1]、空洞の閉鎖が起きる。また、水中の現象は物体を頂点として円錐形状をして推移していくが、時間の進行と共に膨張・収縮し、或るところで空洞の閉鎖と分裂が起きる。この閉鎖現象はそれぞれ Surface closure, Deep closure と呼ばれ、閉鎖時刻や発生深度等に突入速度との相関が確認されている。低速での水中突入現象に関する多くの報告があるが、高速での水中突入現象は強い非定常性のため計測機器に高い性能が要求され、現象の観測が困難であり、解明が難航していた。しかし、近年の計測機器の目覚ましい発展により、定量測量が可能となった。本研究の目的は、実験計測による高速での水中突入現象の解明である。プラスチック球を高速で水へ突入させ、2つの高速度カメラを用いて撮影した。得られた画像から、水上、水中の生じる各閉鎖現象、水中で生じるキャビティ形状の各実験値を比較し、高速での現象を支配する速度依存性を確認する。

2. 実験概要及び改善した装置

実験概要を Figure1,2 に示す。縦型一段式軽ガス銃の下に可視化窓を備えた金属製の水槽を設置する。2台の高速度カメラ(Shimadzu HPV-X, Vision research PhantomV2511)を水中と水面を観測できる位置に設置する。レーザー光を弾丸の弾道を横切るように通し、フォトディテクタに受信させることで、弾丸がレーザーを遮った瞬間の遮断信号を検出する。遮断信号をカメラのトリガとして利用し、水上と水中の現象に同期させる。Figure2のようにレーザー光をほぼ平行に置かれた鏡で多数回反復反射させることによって、弾道±15mmの範囲をレーザーで覆い、弾道がずれた場合

でもトリガーを作動させることを可能にした。直径 5.97mm, 質量 0.284g, プラスチックレジン製の球状弾丸を突入速度 125m/s で水へ突入させた。

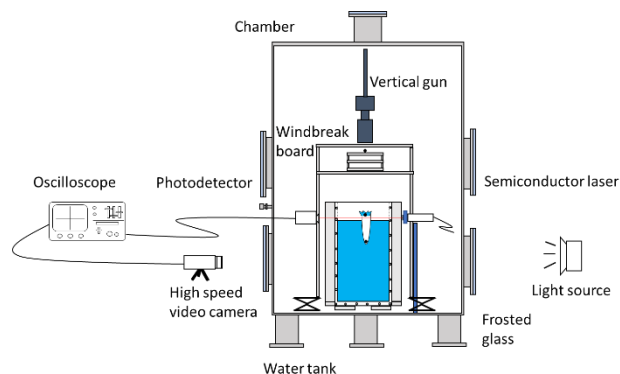


Figure1. Experimental outline front

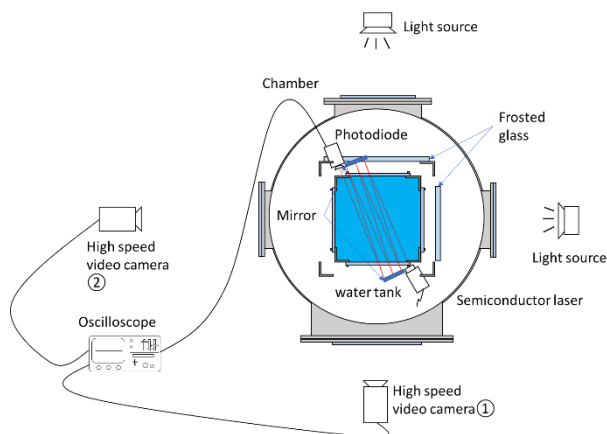


Figure2. Experimental outline plane

3. 実験結果及び考察

Figure3 に水面の可視化結果を示す。弾丸の突入初期は水上液滴が横方向に飛散し、次にラバルノズル状の空洞が縦方向に形成されて水中と大気を繋ぐ気道が形成される。その後、ベルヌーイ効果によって気道内よ

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

りも気道周りの圧力が高くなることで、向心力生じて Surface closure が起き、閉鎖時の水面同士の衝突によって噴流が形成される^[1]。また、Surface closure 後に弾丸の後ろに生じているカルマン渦によって空洞が水面から水中に牽引されることで空洞の終端が自由表面から離脱(Pull-away)している。

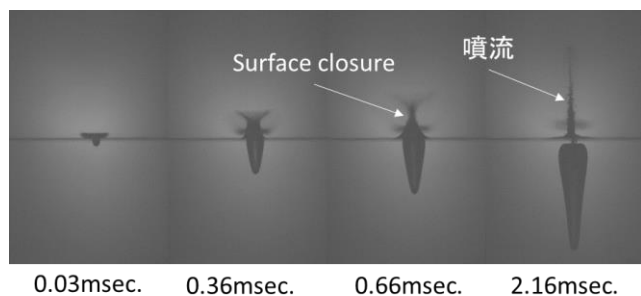


Figure3. Phenomenon near the water (shot023,125m/s)

Figure4 に本実験で得た水中の可視化結果を示す。弾丸の突入初期は円錐状に空洞が形成されるが、水中の空洞は体積の増加に伴って圧力が低下していき、静水圧に押しつぶされて或る深度で Deep closure が生じている。

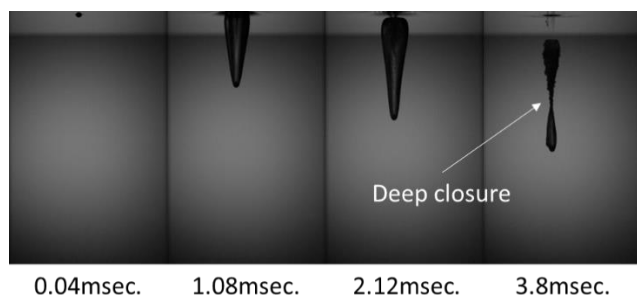


Figure4. Phenomenon under the water (shot023,125m/s)

3-1) Surface closure

突入速度 V_i と Surface closure の起きる時刻 T_s の関係性を Figure5 に示す。突入速度 V_i が大きくなるにつれ、 T_s は大きくなる。突入速度が大きい分、運動エネルギーが大きくなることによる衝撃力の増加で水上液滴によって形成される気道の直径が大きくなり、閉鎖に時間がかかるようになる。また、 T_s の時刻は各速度で 3 データ比較したが、それぞれ一致しており、再現性が高いデータが取得できた。

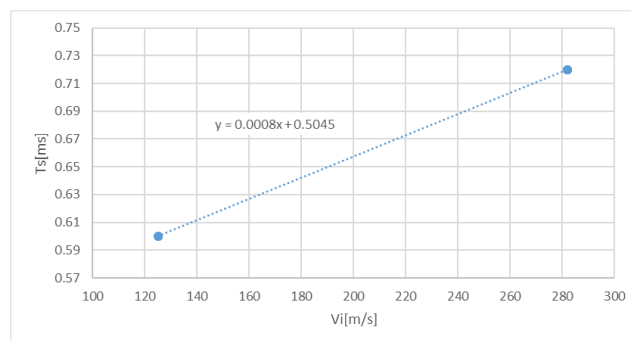


Figure5. The time of surface closure versus impact velocity.

3-2) Deep closure

突入速度 V_i と Deep closure の起きる時刻 T_d の関係性を Figure6 に示す。突入速度 V_i が大きくなるにつれ、 T_d は小さくなる。これは突入速度 V_i が速くなると、空洞の内圧が水圧よりも小さくなる深度に達する時刻が早くなるからである。また、 T_d の時刻は 125m/s においては再現性が高かったが、速度の速い 282m/s では時刻にばらつきがあった。

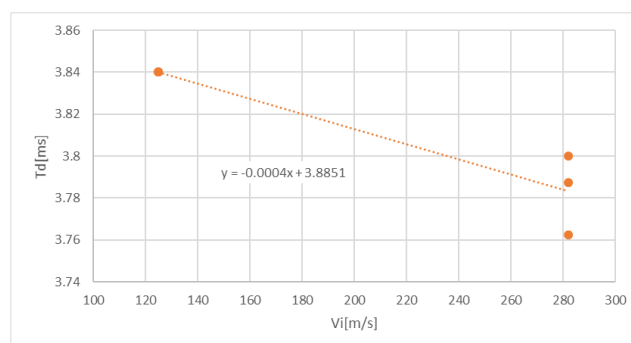


Figure6. The time of deep closure versus impact velocity.

4. まとめ

ハイスピードカメラを 2 台用いることで、縦型一段式軽ガス銃から射出された弾丸が形成する高速水中突入現象を可視化観測することに成功した。閉鎖現象の突入速度依存性を確認できた。

5. 参考文献

[1] M. Lee, R. G. Longoria, and D. E. Wilson : “Cavity dynamics in high-speed water entry”, Physics of Fluids, Vol.9, No.3, pp540-550, 1997.