

K-41

水中突入現象の解明

Elucidation of the water entry phenomena

○海老井祐介¹, 菊池崇将², 村松旦典²*Yusuke Ebii¹, Takamasa Kikuchi², Akinori Muramatsu²

Abstract: A plastic resin sphere of 5.97 mm in diameter was entered water at velocity ranging from 12 to 375 m/s, resulting water entry phenomena were photographed by a high-speed video camera. The surface closure of phenomenon above water and the deep closure of underwater phenomenon were measured quantitatively. A non-dimensional parameter, which reported by previous studies, was applied to the entry speed and the timing of deep closure. This non-dimensional time was not.

1. 緒言

水中突入現象とは、物体が水中に突入する際に発生する現象である。物体が水中に突入すると、水上では水しぶきが閉鎖する現象 Surface closure(以下 SC)が、水中では水中空洞がある深さで閉鎖する現象 Deep closure(以下 DC)が発生する。

突入速度 100 m/s 以下の低速水中突入現象は、多くの研究者が実験計測を行ってきた。それにより、物体の大きさや突入速度を考慮したスケール則が構築されている^[1]。また、比重の大きな物体を用いることで水の影響を無視できるため、現象に対する比重の影響は無視されてきたが、Aristoffらは、物体の比重によって水中突入現象が変化することを確認した^[2]。

突入速度 100 m/s 以上の高速水中突入現象の実験計測には高性能な計測機器を要するため、数値模擬による予測^[3]に留まっていたが、2000年以降から高速水中突入現象の実験計測が行われるようになった。菊池ら^[4]は、高速水中突入現象を影写真法で可視化し、突入速度が空気音速以下でも、水上液滴によって水上衝撃波が発生することを確認した。森川^[4]は、比重の小さい突入物体と2台のカメラを用いることで、低速現象よりも範囲が大きい高速現象のすべての現象を同時に可視化し、高速現象のスケール則を構築した。またその傾向は、数値模擬による高速現象の予測と異なる結果を示した。

高速現象のより正確な予測を行うには、実験に基づいた予測が必要だと考える。そのためには、多くの研究者が構築してきた低速のスケール則と、森川が構築した高速のスケール則を比較する必要があるが、比重が異なるため直接比較することができない。低速のスケール則を高速へ拡張するためには、1種類の突入物体による幅広い速度域での実験計測と、広い速度域に適用可能な統一的なスケール則を構築する必要がある。

また、速度域の拡張による水上空気の影響の検証や、比重のみを変えた実験計測とスケール則の構築が必要である。

本研究では、低速域の実験データを高速域の予測や解明に応用することを目的とする。本稿では、1種類の突入物体に対する幅広い速度域における実験概要および可視化結果、先行研究^[5]の無次元量の適用結果を示す。

2. 1種類の突入物体に対する幅広い速度域における実験概要と可視化結果

2020年度までの研究で、1種類の突入物体に対して12–375 m/sの幅広い速度域における水中突入現象の実験計測を行なった。現象の範囲が大きい高速では2台のカメラを、低速では1台のカメラを用いて撮影した。全ての速度域で外乱を与えず SC と DC の撮影に成功した。得られた SC の可視化画像を Fig.1 に、DC の可視化画像を Fig.2 に示す。

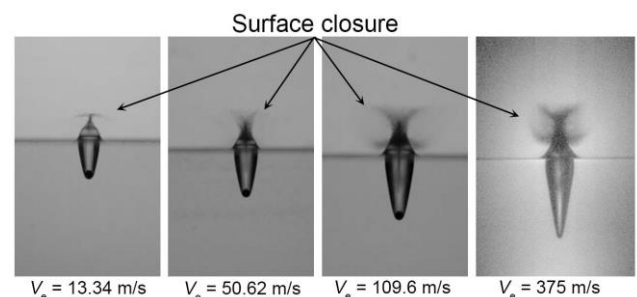


Fig.1 Visualized images of Surface closure.

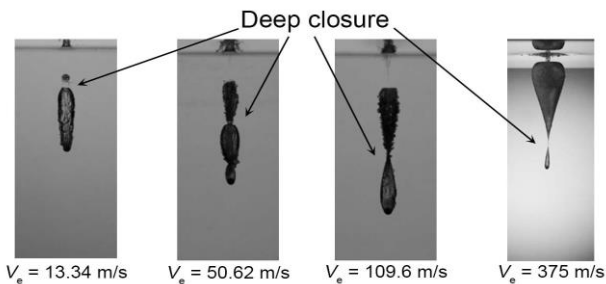


Fig.2 Visualized images of Deep closure.

3. 先行研究のスケール則の適用結果

先行研究で構築された無次元量を実験結果に適用し、比較を行った。用いた無次元量^[5]を式(4)に示す。ここで、 t : DC が起きた時刻, D : 直径[m], g : 重力加速度 [m/s^2] である。

$$\tau = t \sqrt{\frac{2g}{D}} \quad (4)$$

球体に適用するとほぼ一定の値を取るという報告^[6]があるため、それらと比較した。Fig.3 に本研究のデータから得られた突入速度と τ の関係を、Table.1 に2つの先行研究と本研究の実験条件と τ の計算結果を示す。

先行研究と比べて、傾向も値も全く異なる結果が得られた。本研究で用いられている突入物体は、比重と直径が小さい球体であるため、表面張力などの影響を受けやすく、違う傾向を示した可能性がある。

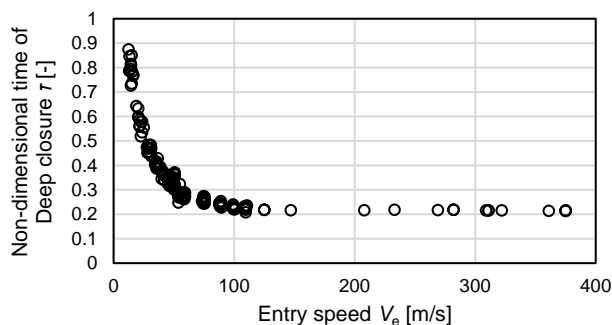


Fig.3 Non-dimensional time of DC, τ vs Entry speed V_e : 12 – 375 m/s.

Table.1 Experimental conditions and Calculation results of Non-dimensional time of DC, τ .

Data source	Material of Projectile (Sphere)	Diameter of Projectile [mm]	Entry speed [m/s]	Non-dimensional time of DC, τ [-]
Gilberg ^[7]	Steel	6.35 – 25.4	4.57 – 30.5	1.74
Truscott ^[8]	Phenolic resin	57.2	1.9 – 7.5	1.726 ± 0.0688
This study	Plastic resin	5.97	12 - 375	0.22 – 0.87

4. まとめ

- ・ 1種類の球体に対して、突入速度 12–375m/s の水中突入現象を可視化した。
- ・ 先行研究の無次元量を適用したところ、先行研究と異なる結果を示した。

5. 今後の予定

- ・ 表面張力や圧縮性など、速度域ごとに変化する現象に影響を与える要因に着目して解析を行う。
- ・ 突入物体の材質条件のみを変更した幅広い速度域における水中突入現象を実験計測する。

6. 参考文献

- [1] May, A: Vertical entry of missiles into water. Journal of applied physics, Vol. 23, No. 12 , pp.1362-1372, (1952).
- [2] 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.
- [3] 菊池崇将, 沼田大樹, 高山和喜: 「直接撮影と写真真法を用いた高速水中突入の可視化」, 平成 23 年度衝撃波シンポジウム, pp145-148, (2011).
- [4] 森川大地: 「高速水中突入現象に関するスケール則の構築」, 修士論文, 日本大学, (2019).
- [5] Glasheen JW, McMahon TA: “Vertical water entry of disks at low Froude numbers”, Phys. Fluids 8:2078–83, 1996.
- [6] Tadd T. Truscott, Brenden P. Epps, and Jesse Belden: “Water Entry of Projectiles”, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 46:355-378, 2014.
- [7] 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, pp127-139, 1948.
- [8] Truscott TT, Techet AH: “Water entry of spinning spheres”, J. Fluid Mech. 625:135–65, 2009