

撃力を用いた液体ジェット速度に及ぼす流体物性の影響

Effect of physical properties on speed of liquid jet by water hammer

萬崎 勇貴¹⁾, 武藤 一平²⁾
指導教員 長谷川 浩司¹⁾

- 1) 工学院大学 工学部 機械工学科 混相流研究室
2) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 混相流工学研究室

先細形状ジェットの工業利用にはジェット形状、速度の制御性確保が肝要である。本研究では、撃力による簡易な先細形状ジェットの生成手法を用い、これを高速度カメラにより観測、画像処理によって評価した。本報では、流体物性について注目し、界面形状がジェット速度を決定することならびに動粘度が界面形状の形成に影響を与えることを実験的に確認した。

キーワード : : Liquid jet, Water hammer, Jet velocity, Meniscus, Liquid properties

1. 緒言

現在、液体ジェットは洗浄、無針注射器、など幅広い分野で利用されている^{[1][2]}。これらの液体ジェット生成システムの性能向上には、ジェット形状、速度の制御性確保が不可欠である。また一般普及の観点から、より簡易かつ安価な装置であることが望ましい。しかしながら簡易かつ速度、形状の制御性に優れた先細形状のジェット生成装置は未確立である。簡易な先細形状の液体ジェット生成手法である撃力を用いたジェット生成のメカニズムおよび、各種パラメータがジェット生成に与える影響の解明が必要である。本研究では Antkowiak らが提案した簡易なジェット生成手法^[3]を用いて液体ジェットの生成過程の可視化観測を行い、異なる実験条件がジェット速度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、実験的に検討した。

2. 実験方法および実験条件

図 1 に本研究で用いた実験装置概略図を示す。試験管に試料を充填し、トラバース装置により落下高さを調整した後、試験管キャップを電磁石により保持、試験管を懸架する。その後、試験管保持を停止し試験管を自由落下させる。試験管を衝突させることで撃力を加え、管内で液体ジェット

を生成する。生成された液体ジェットは高速度カメラを用いて撮影する。表 1 に各試験流体の物性を示す。主な物性的特徴として、表面張力が比較的近い値である一方で、動粘度ではシリコンオイルと他 3 種との間に約 25 倍程度の差を持っていることが挙げられる。これらの試験流体を用いることで動粘度がジェット速度、界面形状にどのような影響を与えるかを調べる。

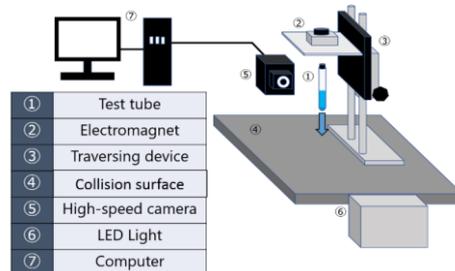


Fig. 1 Schematic of experimental setup

Table 1 physical properties

Sample	Dynamic viscosity [cSt]	Surface Tension [mN/m]
Silicone oil	10	20
n-Hexane	0.456	18
n-Pentane	0.362	15
Acetone	0.387	23

3. 実験結果および考察

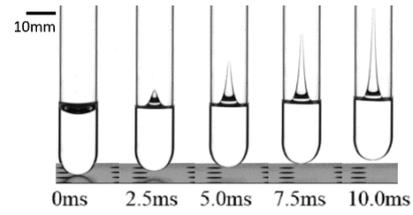
図 2 にシリコンオイル，アセトンのジェット生成過程を示す．両者とも衝突時 ($t=0$ ms)に凹面形状メニスカスが形成され，衝突速度が同一にも関わらず，その深さは同一ではなくジェットの形成状況も定性的に異なることが確認できる．

ジェットの形成状況を定量的に評価するために，図 3 に衝突直前の各流体におけるメニスカス深さ h とジェット速度 V_{jet} の関係を示す．液面高さは 40 mm，落下高さ 100 mm とした．メニスカス深さ h の増大に伴いジェット速度 V_{jet} も増加することが確認でき，メニスカス深さはジェット速度に影響を及ぼしていることが示唆された．シリコンオイル (▼) に注目すると，比較的増速しており，このケースではキャビテーションが発生していることを確認した．図 4 にキャビテーション発生の様子を示す．一定以上の撃力を付与することにより，流体内にごく短い時間で発生，崩壊するキャビテーション気泡が生成，その後崩壊する．発生に必要な力の大きさは作動流体の飽和蒸気圧によって決定される．キャビテーション発生下ではジェット速度が大きくなることが知られており^[4]これはキャビテーションの崩壊による衝撃波が影響していると考えられる．

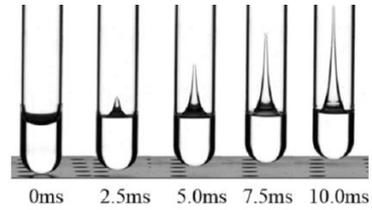
表 2 にジェット速度とメニスカス深さの値を示す．ジェット速度，メニスカス深さともにシリコンオイルとほか 3 種との間で差が生じていることがわかる．これは，動粘度が凹型メニスカス形成に影響を及ぼし，結果的にジェット速度に影響を与えていると推察できる．

参考文献

- [1] 清家善之ら，精密工学会誌論文集，Vol.71 No.1 pp.110-114 (2005).
- [2] Tagawa, Y, et al., *Lab on a Chip*, Vol.13 pp.1357-1363 (2014).
- [3] Antkowiak, A, et al., *J Fluid Mech*, Vol. 577 pp.241-250 (2007).
- [4] Kiyama, A, et al., *J Fluid Mech*, Vol. 787 pp. 224-236 (2016).



(a) Silicone oil



(b) acetone

Fig. 2 Effect of liquid properties on the liquid jet generation

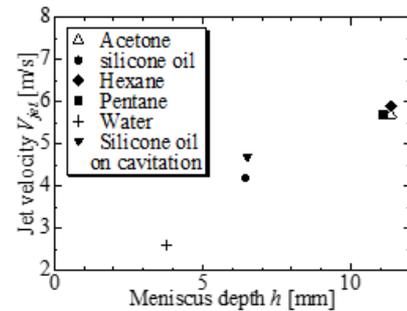


Fig. 3 Effect of meniscus depth on jet velocity

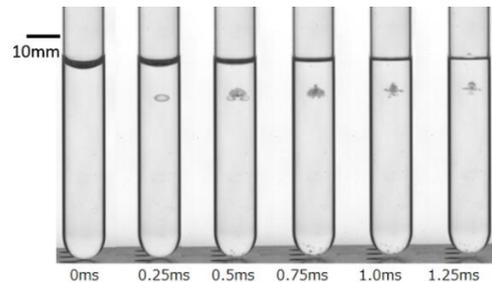


Fig. 4 Silicone oil on cavitation

Table2 Test results for different samples

Sample	Meniscus Depth h [mm]	Jet velocity V_{jet} [m/s]
Silicone oil	6.4	4.2
n-Hexane	11.3	5.9
n-Pentane	11.3	5.7
Acetone	11.3	5.7