

物理学実験「水の粘性係数」の改良

山本 愛士*

(令和7年10月31日受付)

Improvement of the physics experiment “viscosity of water”

Aishi YAMAMOTO

(Received October 31, 2025)

Abstract

物理学実験のテーマの1つである「水の粘性係数」について改良を行った結果を報告する。本実験テーマは、これまでレポートの報告値に大きなばらつきがあった。この最も大きな原因は、使用しているガラス管の内径の測定方法であり、長年の課題であった。最近になって、管の内径が公差も含めて保証されているステンレス管があることがわかったため、ガラス管をステンレス管に変更する試みを行った。試行してみたところ、得られた粘性係数は、概ね不確かさの範囲内で参考値と一致し、大きく改善できることが期待された。そこで、2024年度の授業で実際に導入してみたところ、報告値のばらつきは大きく減少することが示された。さらに、これまでは難しかった粘性係数の温度依存性についても考察できることがわかった。

Key Words: physics experiment, viscosity of water, glass tubes, stainless pipes

1. はじめに

広島工業大学では、工学部を中心として多くの学科の1年生または2年生を対象に物理学実験を開講している。本科目は、自然現象を体験として学ぶとともに、基礎的な実験を通して、測定機器の扱い方、解析の手法、レポートの作成方法など、工科系の技術者にとって必要なスキルを習得する場を提供している。この授業では、中学、高校までに座学として学習したこと、および本学の専門科目で学習することに関連した実験を19テーマ用意している。測定技術は日々進歩しているため、それらを実験テーマに取り入れ、改良していくことが望まれる。我々は、その時々において、気づいた点を導入し、改良を加えながら進めている^[1]。

本科目は、実験の入門科目であるため、物理現象の本質を理解してもらえればよく、精度の高い測定は必ずしも必要ではない。したがって、比較的安価に手に入る実験装置を使って実験テーマを組み上げている。その範囲内におい

て、学生が本質を理解できる程度の測定結果や達成感が得られるように実験を改良していくことは必要であろう。本稿では、実験テーマの1つである「水の粘性係数」について、改良した結果を報告する。最初に本テーマの実験の概略とその課題について述べる。次に、改良内容および実施結果について述べ、最後にまとめる。

2. 水の粘性係数の実験^[2]

本実験テーマの概略を述べる。実験装置の概略図を図1に示す^[2]。体積 V の水を貯めた球状容器を置き、半径 a 、長さ l の円管を通して水を流す。このときに水が流れる時間 t を測定して、粘性係数 μ を求める。

円管の両端にかかる圧力差は、標線 A の高さ h_2 と B の高さ h_1 の平均値と管の先端の高さ h_0 との差 $h (= (h_1 + h_2) / 2 + h_0)$ で生じる圧力差として、 $\Delta p = \rho gh$ で求められる。ここで、 $\rho (= 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)$ は水の密度、 $g (= 9.7965 \text{ m/s}^2)$ は重力加速度の大きさである。水が層流とみなせる場合、

* 広島工業大学工学部機械情報工学科

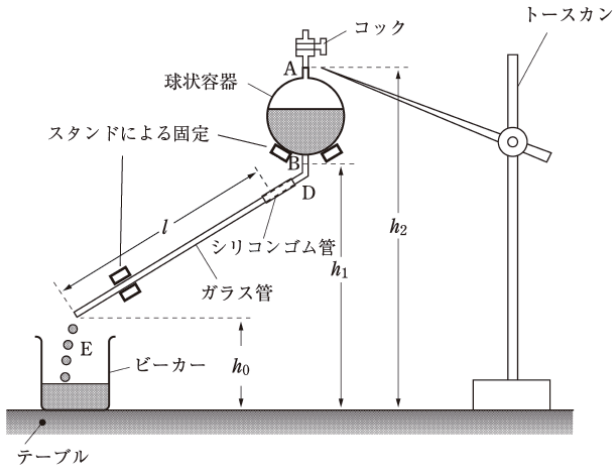


図1 水の粘性係数の測定配置 (文献 [2] から許可を得て転載)。

$$\mu = \frac{\pi a^4 \Delta p}{8 l V} t \quad (1)$$

より、 μ が求められる。学生実験では、 t 、 $h_0 \sim h_2$ 、 l 、 a を測定し、(1) 式を使って μ を求めさせている。

この実験系でのレイノルズ数 Re を求める。本実験では、 $V \sim 70 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 、 $t \sim 200 \text{ s}$ であったので、流速は $v = 0.45 \text{ m/s}$ となる。20 °C の水の粘性係数 $1.002 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ [3]、使用している管の内径 $a = 0.5 \text{ mm}$ を用いると、

$$Re = \frac{2 \rho a v}{\mu} = 450 \quad (2)$$

と求められ、層流の条件、 $Re < 2000$ を満足している。

図2は、2023年度の機械システム工学科のレポートの報告値をまとめたものである。点線は、20 °C の水の粘性係数を示す。なお、レポートでは計算ミスをしているケー

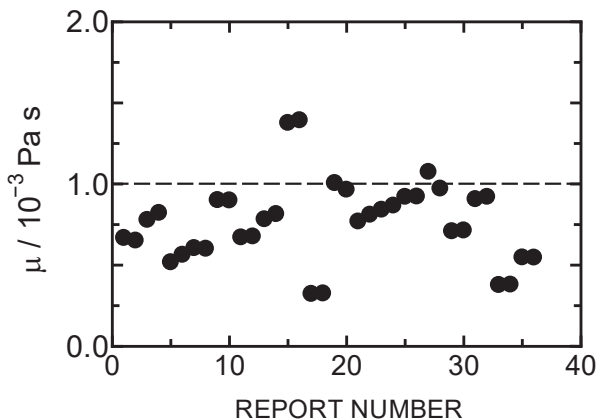


図2 2023年度の粘性係数の報告値。

スもあったため、レポートで報告されていた直接測定値、 t 、 $h_0 \sim h_2$ 、 l 、 a (実際にはあとで述べる m の値)、 V を使って計算した μ の値を示している。平均値は $0.77 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ と全体的に小さく、標準偏差は $0.24 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ となり、ばらつきが 35% もあった。実は、粘性係数は温度依存性が大きく、10 °C のときは、 $1.307 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ である [3]。しかし、これまでの実験方法では、測定値のばらつきが大きく、水温による影響を考察することは不可能だった。

このばらつきの原因の1つは、管の内半径 a の測定方法にあった。管として、 $a \sim 0.5 \text{ mm}$ 、外径約 1 cm、 $l = 30 \text{ cm}$ のガラス管を用いていた。ガラス管は、作成の都合上、管の径を精度よく制御できないと言われており、使用する管ごとに a を求める必要があった。本実験では、以下のような方法で a を求めていた。まず、スポイトを使って、ガラス管内を水で満たし、ガラス管内の水のみをビーカーに出す。次に、その水の質量 m を電子天秤で測定し、その体積を見積もってガラス管の半径を求めるというものである。式で書くと

$$a = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho l}} \quad (3)$$

と表される。ところが、ガラス管内の水の量は微量であり、ガラス管の外に付着した水が入ったり、ガラス管内に水が残ってしまったため、その質量を正確に求めるのは難しく、それが長年の課題となっていた。

その代替品として注目したのが、ステンレス管である。現在、ステンレス管は、内径およびその公差がわかっている物が市販されている。我々は、 $2a = 1.00 \pm 0.03 \text{ mm}$ 、長さが $l = 15 \text{ cm}$ のステンレス管 (ケーエス産業、HGSP パイプ、2.0) を使用してみることにした。内半径 a の値は、メーカーが保証している値を使用できるため、測定をする必要がなくなった。管以外の部分はこれまでと同じ実験器具を使用した。

3. 実験結果

図3は5本のステンレス管 (No.1 から No.5) を水温 20 °C で測定した粘性係数である。圧力差は、2種類で行った。圧力差を変えたのは、実際の学生実験でのセットアップの仕方によってこの程度の幅があるからである。図に示すように、管による依存性は小さいことがわかる。エラーバーは、内径の公差が最も大きな寄与をしている。それは、(2) 式からわかるように μ は a の 4 乗に比例するためである。圧力差が大きい方が粘性係数が大きく出る傾向にあるが、概ね不確かさの範囲内に参考値が入ることがわかった。

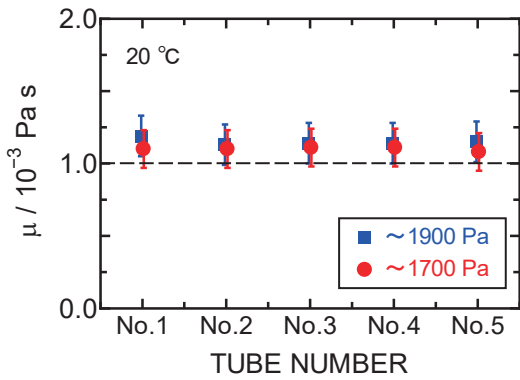


図3 5本のステンレス管の粘性係数の測定値。

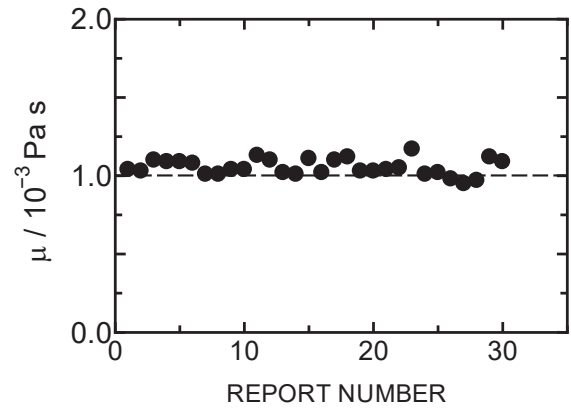


図5 2024年度の粘性係数の報告値。

図4は、水温および圧力差依存性を測定した結果である。点線は、水温が10℃と20℃のときの参考値である。図のように、明らかに水温が高い方が粘性係数が小さく、概ねエラーバーの範囲内に参考値が入ることがわかった。エラーバーが測定条件によって変わっているのは、不確かさの有効数字の決め方を、物理学実験で採用している方法で行うと、その桁数が1桁になる場合と2桁になる場合があるためである^[4]。図に示すように、圧力差が大きくなると、粘性係数も大きくなる傾向がある。これは、圧力差が大きくなるにしたがい、流速が圧力差に比例して増加していないのかもしれない^[5]。そのため、流れる時間 t が大きくなり、粘性係数が大きくなる傾向が現れたのかもしれない。

ステンレス管を使用することで改善することが見込まれたため、2024年度はこの方法に改めて物理学実験を行った。図5は、機械システム工学科でのレポートの報告結果を示す。2023年度の場合と同様に、レポートで直接測定された値、 t 、 $h_0 \sim h_2$ 、 l 、 V を使って μ を計算した。これらの平均値は 1.05×10^{-3} Pa s、標準偏差は 0.05×10^{-3} Pa sとなり、ばらつきが5%と非常に小さくなった。図からも測定値のばらつきが大きく改善されたことが見て取れる。また、実験では、水温も測定するようにさせ、水温による影響を考察することも可能となった。

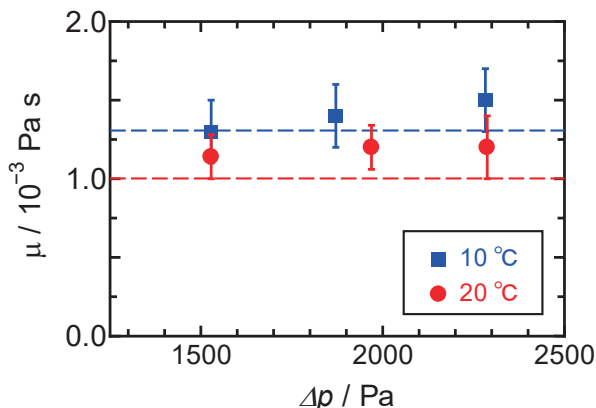


図4 粘性係数の水温および圧力差依存性。

4. まとめ

物理学実験の1つのテーマである「水の粘性係数」について、使用する管を変更することによる効果について報告した。管をガラス管からステンレス管に変更することで、粘性係数の報告値のばらつきを大きく改善させることができた。また、これまでは難しかった水温による効果についても議論ができるようになった。

謝辞

広島工業大学工学部機械システム工学科（現在は電気システム工学科）の吉田憲司教授からステンレス管の使用について有益なご助言をいただきました。忘年会の席上で雑談をしたことがきっかけとなりました。ここに謝意を表します。

文献

- [1] 山本愛士, 井上光, 尾崎徹, 木船弘一, 小島健一, 安塚周磨, 大村訓史, 物理学実験の改善 — 「HIT 実験ノート」の作製とテキスト「工科系のための物理学実験」の改訂一, 広島工業大学紀要 教育編, 第17巻, p.85-90, 2018年.
- [2] 井上光, 尾崎徹, 山本愛士, 木船弘一, 安塚周磨, 松岡雷士, 工科系のための物理学実験 (第5版), p.95-99, 東京教学社, 2022年.
- [3] [2] p.170.
- [4] [2] p.29-30. 本物理学実験において、不確かさの有効数字は、次のようなルールで運用している。基本的には1桁とするが、0でない数字が1になる場合は2桁とする。
- [5] 大阪英雄, 藤田重隆, 一宮昌司, 望月信介, 宇都宮浩司, 福島千晴, 亀田孝嗣, 上代良文, 流体工学の基礎, p.59, 共立出版, 2021年.