

レポート表題

管摩擦係数の測定

第1チャレンジ番号：
(※1)

1 5 4 8 0 0 2

(※1) 第1チャレンジ番号を必ず記入してください。

第1チャレンジ番号は、6月中旬頃参加申込者の自宅宛に郵送します。

氏名：青野 舞奈

学校名又は卒業校名：愛媛大学附属高等学校 学 年：3年

学校のある都道府県名：愛媛県 実験をした場所：愛媛大学附属高等学校 物理室及び階段

共同実験者 (共同で実験を行った人がいる場合に記入してください。)

氏名：

学校名・学年：

実験課題に取り組んだ感想を書いてください。

今回テーマとした管摩擦係数は、同一素材でも変化することに驚きました。今後は、発見した課題を元に、より正確に測定できる装置づくりに挑戦したいです。

参加申込み、および実験レポート送付の際には、下のラベルを切り取り封筒に貼って宛名として利用することもできます。

参加申込書送付用ラベル

実験課題レポート提出用ラベル

〒192-0081
東京都八王子市横山町10-2 八王子SIAビル 2F
(株)教育ソフトウェア内
科学オリンピック共通事務局 物理チャレンジ係 行
(参加申込書在中)

〒162-8601
東京都新宿区神楽坂1-3 東京理科大学内
特定非営利活動法人
物理オリンピック日本委員会 行
(実験レポート在中)

目次

1. 実験の目的
 - 1 実験の目的
 - 2 予備実験

2. 実験手法
 - 1 管摩擦係数 λ を求める
 - 2 実験装置
 - 3 実験 1
 - 4 実験 2
 - 5 実験 3

3. 実験結果
 - 1 実験 1
 - 2 実験 2
 - 3 実験 3

4. 考察
 - 1 管の長さを変えた場合の変化
 - 2 内径を変えた場合の変化
 - 3 素材を変えた場合の変化
 - 4 総合的な考察

5. 結論
 - 1 結論と課題
 - 2 展望

6. 参考資料

1. 実験の目的

1-1 実験の目的

地面に足をつけて生活していると、その当たり前さから存在に気づかないものが摩擦である。歩くときには地面から足に、地面と平行に加えられた力と同じ大きさで逆向きの力が後ろ向きに生じ、これを静止摩擦力という。また、自転車をこぐとき我々はペダルを踏み続けなければならない。これは、地面と自転車のタイヤの間や車軸間などにはたらき、自転車の運動を妨げる向きの力が生じているからである。これを動摩擦力という(三浦ら 2015)。しかし、教科書に記されたこれら 2 つの力が摩擦の全てではない。

私は小学生のとき、理科の授業で行った川の流れるによる浸食の再現実験をよく覚えている。運動場に大きな砂の山を作り、頂上から枝分かれする溝を掘った。実験は、頂上から溝を通るように水を流した。そのとき私は、カーブした溝の端や底の砂が流れに持っていかれ、削られていく様子に興味を覚えた。流れによって削られていくが、なぜ削られていくかという本質を教わることはなく、疑問が残ったままになっていた。その後私は、水と砂の間に摩擦が起こり、流れと逆方向に力が働いたために水の流れに負け、流されてしまうためではないかと考えた。

物理チャレンジで摩擦係数を測ってみようというテーマが出されたとき、この疑問について研究したいと思い、水との接地面積の大きい管を用いて、管内を流れる水と壁面の間に起こる摩擦の摩擦係数を調べ、特徴を探ることにした。水と壁面の間の垂直抗力は絶えず変化するため、表すことができない。このような摩擦力は、教科書にあるような垂直抗力と摩擦係数の積では求められない。参考資料①によると、水と水に接する壁面に生じる摩擦は壁面摩擦といい、特に水道管のような管内を流れる水の流れと管の内側との摩擦の係数のことを管摩擦係数という。今回私は管内摩擦を測定する実験を行い、管摩擦係数を求めることで動摩擦係数との違いを見出すことを本研究の目的とした。今回の実験では同じ条件下で、管摩擦係数が何の条件に大きく依存しているかを調べることを目的に行った。

まず予備実験で実験装置を試作、検討し本実験の計画を立てた。本実験では実験を 3 つ行なった。実験 1 では管の長さを変え、実験 2 では内径を変え、実験 3 では管の種類を変え、それぞれの管摩擦係数を調べた。最後にこれら 3 つの実験の結果を比較し、管の壁面と水との摩擦について考察した。

1-2 予備実験

実験装置を決定することを目的とし予備実験を行った。予備実験では図 1 のように垂直に配置した内径 13.0mm 長さ 1.0m の硬塩化ビニル管と内径 11.4mm 長さ 1.0m のステンレス管を用いてそれぞれの管摩擦係数を求めた。係数の求め方は「2.実験手法」で述べる通りの方法で行った。係数を求めるためには管内を一定時間に流れた水の体積を調べる必要があるため、ストップウォッチで 2.0 秒間計測し、その間に流れた水量を測った。このとき、管の先端は水に浸した状態から実験を始め、管内に空気が入らないようにした。

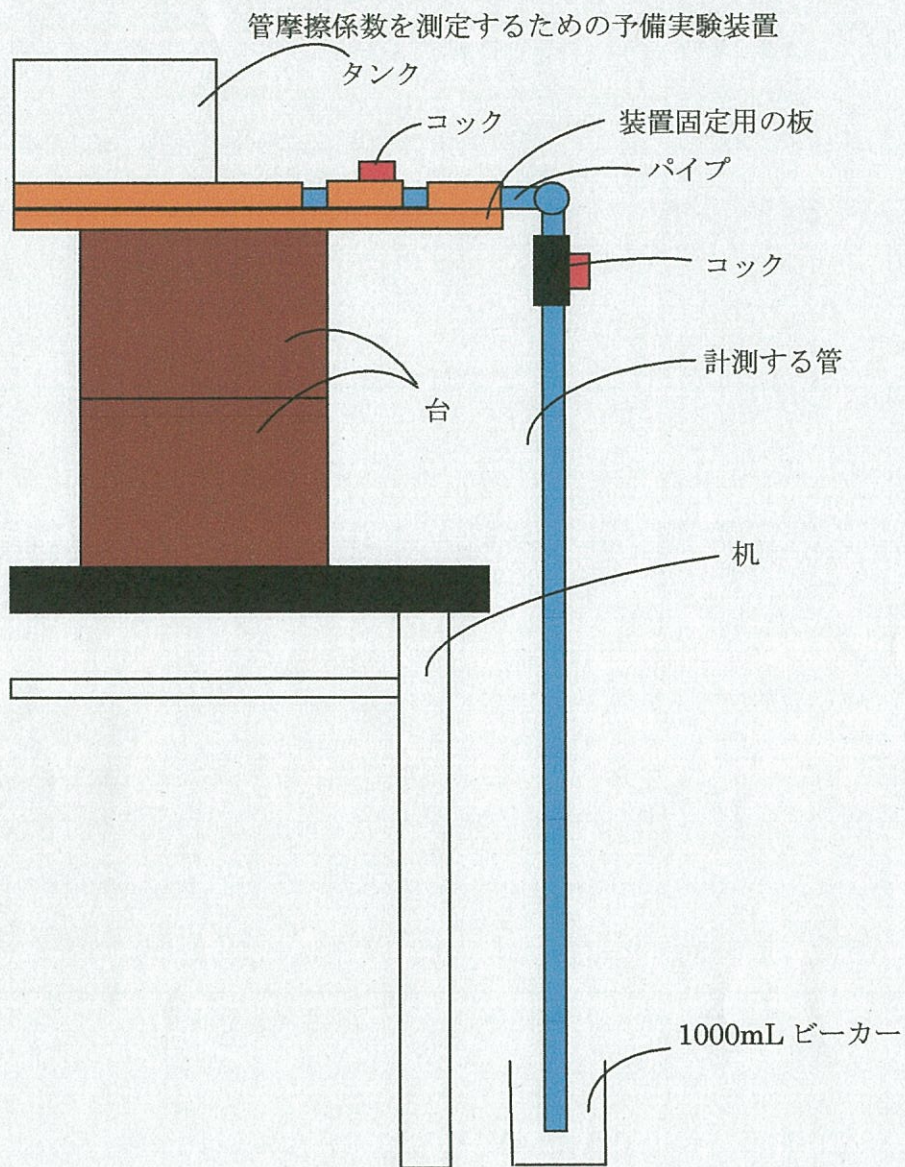


図 1 机上のタンク内に水を満たしてあり、コック②を回すと任意の流量で垂直に設置した「計測用管」に水を流せる。計測管下側の開口部は、1000mL ビーカーにあらかじめ入れている水に浸しており、計測管内部およびコック内は、全て水で満たされている。

予備実験装置は図2のようになった。

正面から見た装置



横から見た装置



図2 両方の管への水圧が等しくなるようにタンクからパイプ（硬塩化ビニル管）で水路を2つに分け、同時に管へ水を送り込むことにした。しかし、逆流やコックをひねるタイミングのずれなどから生じる誤差を軽減するために片方ずつ実験をした。

結果

予備実験装置で 2.0 秒間に硬塩化ビニル管を通過した水量の結果は、 634.4 ± 17.22367 (N=10)mL、ステンレス管の結果は 500.0 ± 11.58543 (N=10)mL であった。計算により、硬塩化ビニル管の管摩擦係数は約 0.0443、ステンレス管は約 0.0437 となった。ムーディー線図で表示される係数の範囲を照らし合わせ、この実験装置で係数の測定が可能であることがわかった。タンクからパイプを経由し、管までの経路は一度に1つの管のみ実験を行えるだけのため、本実験では一本で繋ぐことにした。また、経路が複雑になるほど乱れた流れが管内に流入し、最終的な結果に影響が出てしまうため、パイプの長さを長くし、複雑な流れをパイプ内で起こさないようにした。

異なる条件において係数の差を出すためにはレイノルズ数の値に差をつける必要がある。管摩擦係数に関係する、またはしない条件を見出すためにも、レイノルズ数に変化が出る実験を行う必要があるとわかった。係数を求める式には断面積や長さが含まれているため、理論上では管の長さ、特に内径に大きく依存している。また異なる内径であるが、2つの係数はほぼ同じ値であった。すなわち、もしも同じ内径で実験を行うと違う係数となるのではないかと考えられる。逆に内径に係数が依存しなければ、硬塩化ビニル管とステンレス管の管摩擦係数はほぼ同じであるといえる。したがって、本実験では理論上最も係数の変化に関わっている内径の変化、長さの変化、そして素材の変化による係数の変化を見ていった。また、管摩擦係数が、実験の誤差に埋もれてしまわないように、管の内径を細く、長さを長くした。

2. 実験手法

2-1 管摩擦係数 λ を求める

今回行う実験の水の流れは乱流, もしくは層流である. 管摩擦係数 λ はレイノルズ数 Re を用いて流れが層流の場合

$$\lambda = 64/Re \quad (Re < 2.0 \times 10^3) \quad \dots(1)$$

と表される(). また, 流れが遷移流または乱流の場合も実験で用いられる管内は滑らかであるため, ムーディー線図をもちいらず係数を求めることが可能である. 同じくレイノルズ数 Re を用いて管摩擦係数 λ は

$$\lambda = 0.3164/Re^{0.25} \quad (2.0 \times 10^3 < Re < 10^5) \quad \dots(2)$$

と表される(). このとき用いられたレイノルズ数 Re とは水が動く慣性力と水の粘性力の比のことであり, 主に流れに関する工学的な課題(航空機, 船舶, 水力発電など)を設計するために用いられる無次元数である. レイノルズ数 Re の値は動粘度 μ [mm^2/s](*), 水の密度 ρ [kg/m^3](*), 流速 U [m/s], 管の長さ d [m]を用いて

$$Re = \frac{\text{慣性力 } \rho U \cdot U}{\text{粘性力 } \rho U/d} \frac{\rho U d}{\mu} \quad \dots(3)$$

となる(). このとき用いられた流速 U [m/s]は, 流量 Q [m^3/s], 管の断面積 A [m^2](**)を用いて

$$U = \frac{Q}{A} \quad \dots(4)$$

となり流量 Q [m^3/s]は一定時間に一定の長さを流れた水の体積 V [m^3]と一定時間 s (秒)を用いて

$$Q = \frac{V}{s} \dots(5)$$

となるため、実験において管を流れた水の体積すなわち水量を計測することによって管摩擦係数を求めることが可能となる。チューブを水が流れる際、空気抵抗による誤差をなくすため、予備実験同様、実験をする前にチューブの先端を水に浸しておき実験後の水量からもともとビーカーに入っていた水量を引いて一定時間に増加した水量を測定した。

* 今回の実験では粘性力は水道水の粘性とし、動粘度 ν [mm²/s] と水の密度 ρ [kg/m³] は、今回の実験の場合は水温が約 25°C であったため、動粘度を 0.8928 [mm²/s]、密度を 997.045 [kg/m³] とした。

** 円周率は全ての場合において 3.14 で計算した。

2-2 実験装置

実験装置は予備実験で使用したものを改良し,次の図 3,4 を基本として管の長さや内径によってコックや土台を変えて実験を行った.写真は長さ 1.0m の管の実験の様子である.

横から見た実験装置



図 3 パイプを曲げるポイントでは,直角になるよう調整した.

コック



図 4 水を止めるのに医療用のコックを用いて,ひねる際にチューブが揺れないように気をつけた.

管に流れる水圧を一定し,条件をそろえるため水槽内の水は赤いテープを目印に一定に保った(図 5).



図 5 水面が赤いテープの下にくるようにし,テープの位置は穴の高さの 2 倍として実験に著しく水量が少なくならないようにした.

2-3 実験 1

実験 1 では内径を 3.0mm に固定し、長さを 1.0m, 2.0m, 3.0m, 4.0m, 5.0m に変えて実験を行った(図 6)。樹脂である軟塩化ビニルホース(以下透明チューブとする)を使用し、長さの変化によるレイノルズ数及び管摩擦係数の変化について調べた。理論上、レイノルズ数は長さに比例するため管の長さによって 2 倍、3 倍... となり、多少ながら係数にも変化が出ると推測できる。



図 6 実験は教室内で行えないため、階段を使用して行った。この写真はチューブの長さが 5.0m のときで、チューブは約 1.5 階下まで続く。

チューブの長さが長くなるため、チューブの傾きやたるみに注意し実験を行った。コックをひねる時間を計測する役割と、水量を測る役割をつくり、誤差をできる限り小さくすることに努めた。また、実験は 5 回行い水量の平均からそれぞれの値を求めた。

2-2 実験 2

実験 2 では実験 1 で使用した透明チューブの内径を前回の 2 倍である 6.0mm にし、長さ 1.0m のときの管摩擦係数を測定した。そして、このときの値を実験 1 で測定した値と比較した。

流速 U [m³/s] は(4)式のように求めることが可能であるため、断面積すなわちチューブの半径にその後の値が大きく関係するということとなる。したがって、チューブの内径を 2 倍、3 倍... とすればレイノルズ数は 4 倍、9 倍... となる仮説が立てられる。実験により内径とレイノルズ数、管摩擦係数の関係性を調べた。実験は、測定値の差が大きかったため 10 回ずつ行った。

2-3 実験 3

実験 2 では内径 3.0mm と 6.0mm で長さ 1.0m のシリコンホース(以下シリコンチューブ)を用いて実験を行った。静止摩擦係数や動摩擦係数は素材の表面の凹凸により摩擦係数が異なると習った。水と壁面においても、壁面の素材の凹凸や粘性が変化すると係数に変化がでると考えられる。予備実験から、同じ内径であった場合、素材が変わると係数が異なる可能性が高い。

よってシリコンチューブと実験 1, 2 で測定した透明チューブの値を比較して素材の違いと管摩擦係数との関係性を調べた。実験は内径 3.0mm のチューブは 5 回、内径 6.0mm のチューブは測定値の差が大きかったため、10 回ずつ行った。

3. 実験結果

3-1 実験1

透明チューブの長さが 1.0m, 2.0m, 3.0m, 4.0m, 5.0m の結果を, それぞれ次の表 3 から表 7 に表した.

表 3 内径 3.0mm×長さ 1.0m 透明チューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	97	30
2	98	31
3	97	30
4	93	26
5	93	26
平均	95.6	28.6

表 4 内径 3.0mm×長さ 2.0m 透明チューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	90	26
2	92	28
3	92	28
4	92	28
5	88	24
平均	90.8	26.8

表5 内径 3.0mm×長さ 3.0m 透明チューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	112	34
2	116	38
3	114	36
4	122	44
5	122	44
平均	117.2	39.2

表6 内径 3.0mm×長さ 4.0m 透明チューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	134	30
2	130	26
3	130	26
4	122	18
5	126	22
平均	128.4	24.4

表7 内径 3.0mm×長さ 5.0m 透明チューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	126	28
2	123	25
3	115	17
4	118	20
5	120	22
平均	120.4	22.4

結果から、流速、レイノルズ数、管摩擦係数の各値を次の表8から表12に示した。

表 8 内径 3.0mm×長さ 1.0m 透明チューブ

流量[m ³ /L]	0.0000143
流速[m/s]	2.0240623
レイノルズ数 Re	2260.3956
管摩擦係数 λ	0.045887

表 9 内径 3.0mm×長さ 2.0m 透明チューブ

流量[m ³ /L]	0.0000134
流速[m/s]	1.8966737
レイノルズ数 Re	4236.2657
管摩擦係数 λ	0.0392184

表 10 内径 3.0mm×長さ 3.0m 透明チューブ

流量[m ³ /L]	0.0000196
流速[m/s]	2.7742392
レイノルズ数 Re	9294.4937
管摩擦係数 λ	0.032224

表 11 内径 3.0mm×長さ 4.0m 透明チューブ

流量[m ³ /L]	0.0000122
流速[m/s]	1.7268224
レイノルズ数 Re	7713.7977
管摩擦係数 λ	0.0337613

内径 3.0mm×長さ 5.0m 透明チューブ

流量[m ³ /L]	0.0000114
流速[m/s]	1.613588
レイノルズ数 Re	9009.9678
管摩擦係数 λ	0.324758

3-2 実験 2

内径 6.0mm,長さ 1.0m の透明チューブの結果を表 13,14 に表した.

表 13 内径 6.0mm×長さ 1.0m 透明チューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	236	148
2	200	110
3	238	148
4	222	132
5	230	140
6	238	148
7	226	136
8	216	126
9	222	132
10	218	128
平均	224.6	134.8

表 14 内径 6.0mm×長さ 1.0m 透明チューブ

流量[m ³ /L]	0.0000674
流速[m/s]	2.3900709
レイノルズ数 Re	2669.1401
管摩擦係数 λ	0.0440193

3-3 実験3

内径 3.0mm,長さ 1.0m のシリコンチューブの結果を表 15,16 に表した.

表 15 内径 3.0mm×長さ 1.0m シリコンチューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	106	20
2	100	14
3	108	22
4	102	16
5	102	16
平均	103.6	17.6

表 16 内径 3.0mm×長さ 1.0m シリコンチューブ

流量[m ³ /L]	0.0000088
流速[m/s]	1.2455768
レイノルズ数 Re	1391.0127
管摩擦係数 λ	0.0460096

また,内径 6.0mm で長さ 1.0m のシリコンチューブの結果を表 17,18 に表した.

表 17 内径 6.0mm×長さ 1.0m シリコンチューブ

回数	全体[m/L]	水量[m/L]
1	146	52
2	166	72
3	144	50
4	163	69
5	157	63
6	157	63
7	157	63
8	147	53
9	148	54
10	156	62
平均	154.1	60.1

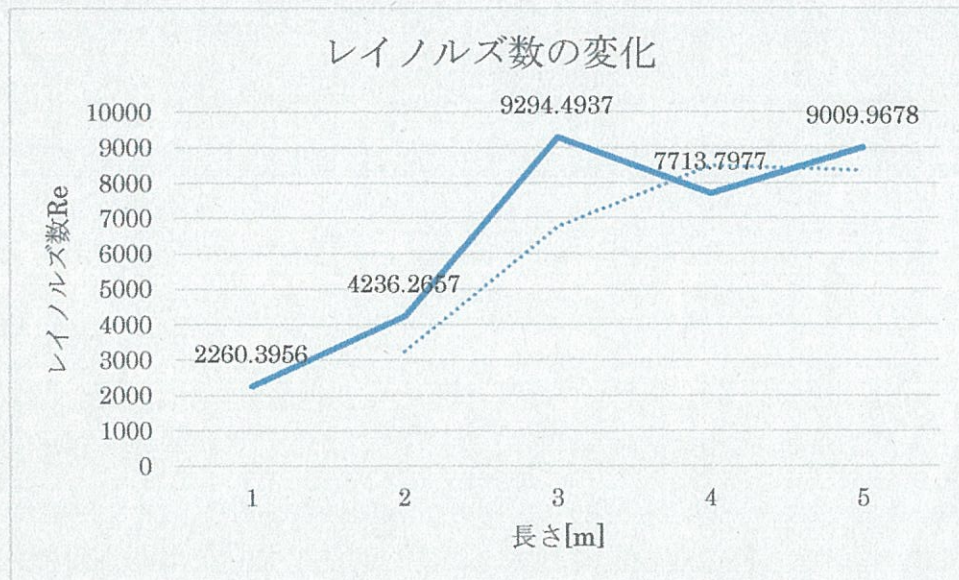
表 18 内径 6.0mm×長さ 1.0m シリコンチューブ

流量[m ³ /L]	0.00003005
流速[m/s]	1.0656028
レイノルズ数 Re	1190.0246
管摩擦係数 λ	0.0537804

4. 考察

4-1 実験1

「3.結果」の表から各長さにおいて、チューブの長さでレイノルズ数の変化をグラフで表した(グラフ1).

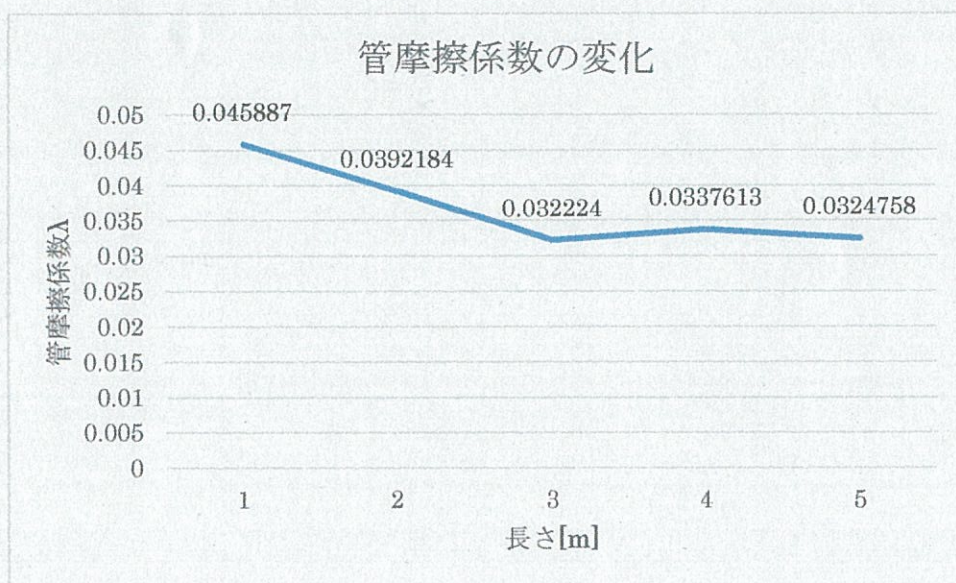


グラフ1 点線は前後の値の差を近似した曲線である

グラフからレイノルズ数は長さ3mのときに最大値9294.5をとっている。最大値までは傾きが大きく最大値を超えるとレイノルズ数は近似曲線により、ほぼ一定となった。ここから壁面摩擦により乱れた水の流れは3mの時点で限界に達し、流れが安定することがわかった。また、各実験において水槽からの水圧は一定のため、レイノルズ数の差は摩擦によるものである。よってレイノルズ数の差が安定するということは、摩擦による流れへの影響も安定する長さがあることがわかった。したがって4.0mのレイノルズ数が外れ値であった。

1.0m時点ではレイノルズ数が最も小さな値となっていることから、チューブに流入するまでの流れは比較的複雑ではないことがわかる。

この最大値をとった3.0mを基準として、次にチューブの長さで管摩擦係数 λ の関係をグラフに表す(グラフ2)。



グラフ 2

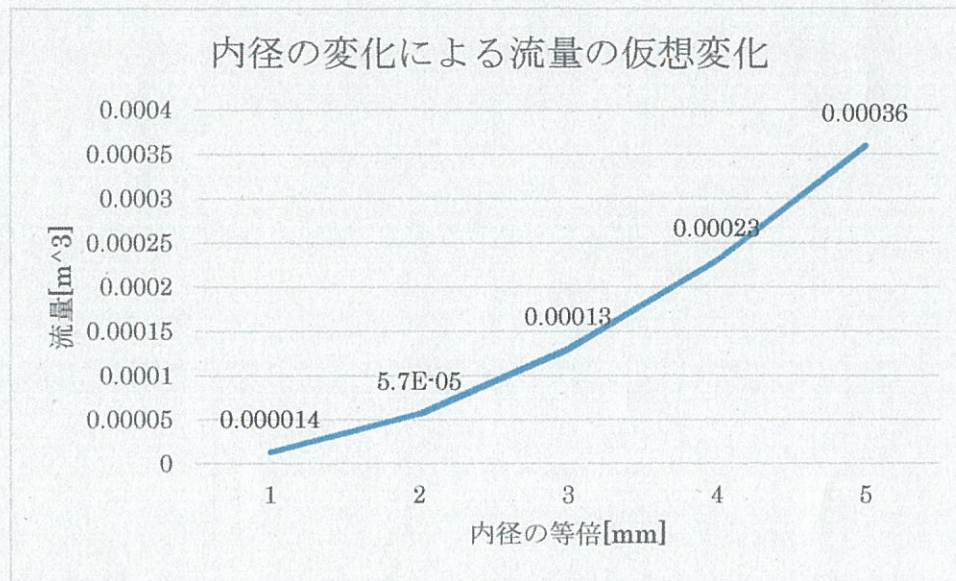
基準とした長さ3.0mからグラフの形が大きく変化している。3.0mまでは減少、そして以後は前後の変化が少ない。したがって、レイノルズ数と管摩擦係数には反比例の関係があることがわかった。また、実験1の管内の流れは1.0mまでは遷移流、その後は乱流であった。遷移流であったとき最も係数が大きかったことから、層流、遷移流または乱流で係数の変化が異なるのではないかと考えた。この仮説については実験3の考察で言及した。

そして、1.0mの地点で遷移流であり、管を1.0m長くするとレイノルズ数が1000以上変化することからチューブへの流入時は層流であった可能性が高い。パイプからチューブでは内径が10.0mm異なる。しかし、流れは乱流になることなく穏やかにチューブに流れてくる。よって、管の内径が小さくなると一時的に流れが層流に落ち着くのではないかと考えられる。一方、この実験ではコックをひねった瞬間を0秒とし時間の計測を行ったため、レイノルズ数が一定ではなかった。水の流れが十分安定(規則正しい流れ方)になってから時間を測定する実験方法の方がより正確な係数を求められる。よって実験方法の改善が課題となった。

管摩擦係数は管の長さに依存し、レイノルズ数と反比例の関係をもつ。加えて、管内の流れ方は規則的に変化し、管の長さレイノルズ数は大きくかかわっていることがわかった。

4-2 実験 2

実験 1 の結果から内径が 2 倍、3 倍...となる流量の仮想変化をグラフ 3 に表した。



グラフ 3 内径のみを変えていった場合を対象実験として理論的に求めた

グラフより、仮想流量は滑らかな二次関数の形を示し、増加している。よって内径が 2 倍になると仮想流量は約 4.1 倍になる。しかし実験の結果は内径が 2 倍になったとき、4.8 倍となった。これは水の初速を 0 としているためであり、レイノルズ数の変化による流速の変化を考慮していなかったためである。よって安定した乱流になってからの流量はある程度予測可能であることがわかった。したがって本来は乱流のみの状態で表されるのが理想的であり、グラフの傾きは、遷移流よりも乱流の方が流速が速くなるため大きくなると考えられる。

そして、内径の変化によって管摩擦係数も変化した。しかし、この変化は理論値の変化よりも小さい変化であった。これは、今回の実験が条件の比較を目的としていたため圧力によるエネルギー損失を考慮していなかった。よって、理論値と実験値の差には圧力損失でも含まれているのではないだろうか。したがって、エネルギーの圧力損失も測定できる実験装置で実験を行うことでより信用性の高い係数を求めることができるはずだ。

また、レイノルズ数は遷移流のままであった。よって、1.0m の場合は内径を 3.0mm から 6.0mm にしても水の流れ方はほぼ同じだと言え、1.0m では乱流になりきれないことがわかった。しかし、実験 1 から管の長さレイノルズ数に関係があったように内径とも関係がある可能性は高い。理論上では内径が 2 乗ずつ変化していくが、実験 1,2 の結果から長さの変化の方が著しい。したがって、レイノルズ数の変化には内径よりも長さが大きく関与しており、微小ながら管摩擦係数にも影響を及ぼすことがわかった。

4-3 実験3

長さ 1.0m の透明チューブとシリコンチューブの各値を比較する (表 19,20) .

表 19 内径 3.0mm の場合の比較

	透明チューブ	シリコンチューブ
流量[m ³ /L]	0.0000143	0.0000088
流速[m/s]	2.0240623	1.2455768
レイノルズ数 Re	2260.3956	1391.0127
管摩擦係数 λ	0.045887	0.0440193

表 20 内径 6.0mm の場合の比較

	透明チューブ	シリコンチューブ
流量[m ³ /L]	0.0000674	0.00003005
流速[m/s]	2.3900709	1.0656028
レイノルズ数 Re	2669.1401	1190.0246
管摩擦係数 λ	0.0440193	0.0537804

実験 1,2 で使用した透明チューブとシリコンチューブの大きな違いはレイノルズ数であった。透明チューブが遷移流であるのに対し、シリコンチューブは層流であった。これはシリコン製ホースの特徴であるといえる。シリコン製ホースは主に、食品移送用ホースや耐熱用保護カバーなど耐熱、耐寒、耐薬、電気絶縁性という性能を活かした使われ方をしている。よって乱流により速く流体を運ぶのではなく、安全かつ静かに運ぶことが要求される。一方、軟塩化ビニルホースは水を流すことに適した素材であり、庭のホースに多く用いられるため、水以外の流体を流すことは基本的にできない。こうした性能の違いを実験にて証明することができた。

次に、遷移流(乱流)と層流のときの管摩擦係数の変化についてだ。遷移流のときよりも層流の方が係数の変化が大きい。したがって、層流時と遷移流、または乱流時の係数では係数が異なることがわかった。シリコンチューブの長さを延長し、乱流の状態で計測すると、層流時と乱流時の係数の変化を示すことが可能となる。

4-4 総合的な考察

管摩擦係数は管の長さや内径によって変化していたことから、水と壁面との摩擦力と動摩擦力、静止摩擦力とは全く異なる性質があると考えられた。一般的に係数は、長さや面積が変化したとしても同じ値であると考えられるが、管摩擦係数の場合はそうではない。本研究において、管の内径、長さによって係数が微小ながら変化することを実験的に求めることができた。特に、内径よりも長さの影響が大きいことがわかった。また、素材による係数の違いは、動摩擦係数同様素材によって変化した。同一素材での係数の範囲は、流れによって求め方が異なってくるからだと考えられる。

今回の実験装置で管摩擦係数を測定する場合、管の内径を変化させて係数を導くよりも、長さを変化させる方が効率的であることがわかった。よって、長さとお内径の関係を見いだせば、管摩擦係数を測定する実験装置の開発につながると考えられる。

予備実験において、管の内径によらず、係数にほとんど変化が見られなかった。このことについては、次の2つの要因が考えられる。1つ目の要因は、素材の違い(管内の凹凸の違い)が少なかったからだと考えられる。係数は金属や硬樹脂素材では違いに大きな差はなく、軟樹脂素材では違いが表れると考えられる。実験1,2により、内径の違いと素材に関係あることがわかった。このことから、金属のチューブや低摩擦チューブなど様々な素材で実験を行い、素材と係数の特徴を調べる必要があると考えた。2つ目の要因は、内径があまりに違うため、比較の対象になっていないからだ。内径とレイノルズ数及び係数の関係わかれば、内径の変化による測定も可能ではないかと考えられる。

チューブ内の水の流れ方には、水槽からチューブまでの過程も大きく影響すると考えられる。管摩擦係数の測定精度をより高めるためには、水槽下部から出るパイプをすぐに直角に曲げ、鉛直下向きのパイプの長さを長くする必要がある(図8)。そうすることによって、管内にパイプからの余分な乱れた流れを受け継ぐことなく、係数が安定するまでの長さが短くなる。また、より正確に係数を測定するためには、圧力損失を考慮しなければならないため、コック手前の水圧、チューブの先端部分の水圧を測定する必要があるだろう。チューブの先端部分を基準としたとき、水槽の位置エネルギーから圧力エネルギー、水の運動エネルギーの和を引いたエネルギーこそが摩擦が水にした仕事であり、ここから摩擦力を求めることができる。今回の方法で求められる摩擦力とエネルギーの差から求められる摩擦力を比較することで、精度の高い実験装置になると考えられる。

実験装置の課題点

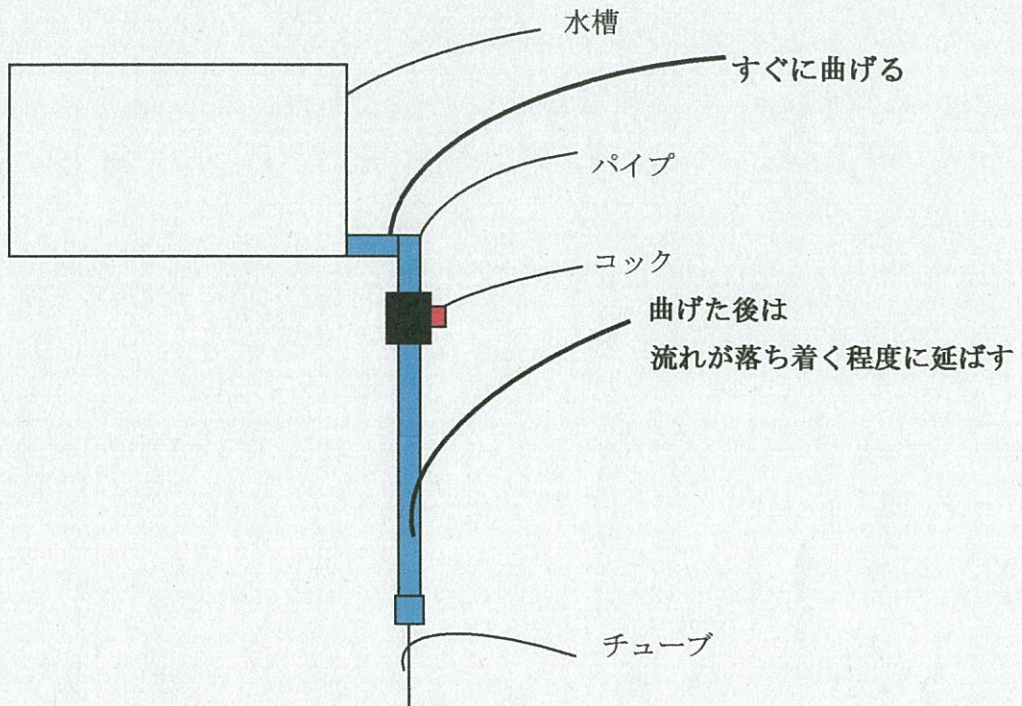


図8 改良された実験装置案.測定する管内にはレイノルズ数の小さい層流で水が流入されるように工夫をすることが必要である.

5. 結論

5-1 結論と課題

本研究では,層流,遷移流,乱流が見られ,理論的にも実験的にも,乱流に比べて層流の方が管摩擦係数の変化が大きいことがわかった.また,乱流ではほぼ一定の値を示した.よって管摩擦係数は長さ,内径により変化するレイノルズ数によって変化することがわかった.

今回の実験でわかった透明チューブの管摩擦係数を表 21 に表した.これは,管の長さで係数の関係を調べた実験で用いたのが透明チューブであったためであり,他の素材でも係数を求めることは可能だ.実験装置や実験方法の改善が行われた後,他の素材でも実験を行いたい.

管摩擦係数	
素材	管摩擦係数 λ
透明チューブ	0.0328203

表 21 今回は実験 2 の結果から係数が安定した 3.0~5.0m の係数の値を平均した

5-2 展望

5-1 で述べた課題を考慮し,実験装置を改良すると,より正確な管摩擦係数を求めることができるだろう.すると,従来の管摩擦係数の測定実験の形である地面と平行な実験装置ではなく,地面と垂直で重力による流れの抵抗が結果に関与することなく係数を測定できることが可能となる.

今回の実験では時間の都合上実験装置の改良を一度しかできなかった.今後は,精度が高い実験装置の製作に努め,より正確なレイノルズ数を見いだせるようにしていきたい.そして,一度の実験のみで係数を求めることが可能な方法の開発を目指し,研究を続けていきたいと思う.

6. 参考資料

※ () 内は引用した場所を示している。

三浦登ら 2015 東京書籍「物理基礎」p58,59 (1-1 実験の目的)

久保田狼之介 2007 日刊工業新聞社「トコトンやさしい流体力学の本」 (2-1 管摩擦係数 λ を求める)

管摩擦係数の測定 2014 神奈川工科大学創造工学部自動車システム開発工学科実験
テキスト3-1～3-5
zgkw3.sd.kanagawa-it.ac.jp/jikken/jkn/kan.pdf