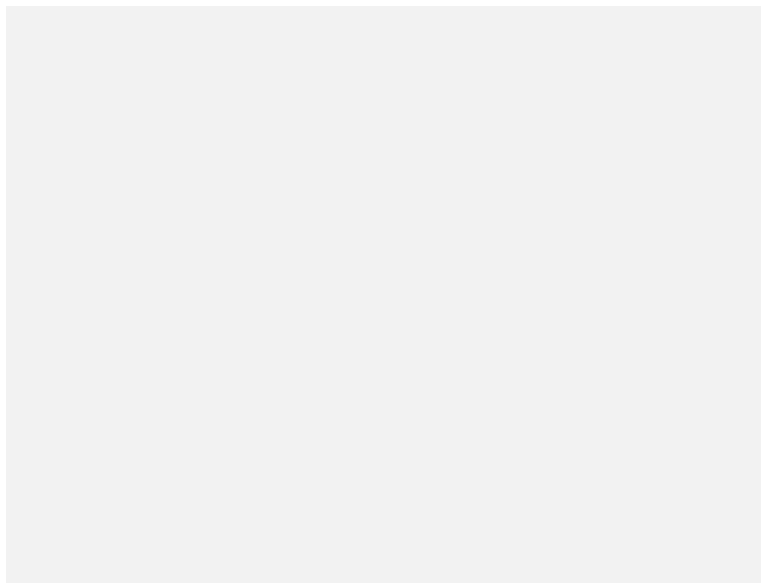


# 1. 水理学の利用



1. 水理学について二人で説明します。  
1. In this class, the two of us will teach you about hydraulics.
2. まずは、水理学が何に利用されるか見ていきたいとおもいます。  
2. First, let us consider the fields of engineering and the applications for which hydraulics is useful.
3. 水理学とは水の流れの力学を研究する学問です。  
3. Hydraulics is the study of the dynamics of water flow.
4. 一方で、土木工学の中で水に関連する分野は、河川や、海岸、港湾、上下水道などがありますが、これら水に関する分野での土木工学は水工学と呼ばれています。  
4. There are many areas of civil engineering that are related to water, for example, rivers, coasts, harbors, water supplies, and sewerage systems. This field of engineering is called hydraulic engineering.
5. 水理学は、これらの分野において、水の流れの性質を理解し、制御することを目的としています。  
5. Hydraulics is used to understand the properties of water flow, and thereby control it.
6. ここでの、水の流れの性質とは、流速や圧力などのことで、水理学ではこれらを算定することができます。  
6. Properties of water flow include flow velocity and pressure; we can calculate values for these properties by applying hydraulics.
7. 土木分野では多くの場合、構造物をとともうため、構造物の設計における力学的な検証において、水理学が利用されます。  
7. In civil engineering, accompanying structures are analyzed in most situations, and thus hydraulics is useful for

8. 具体的には、まず河川分野においては、水深・流速などの物理量を算定することができます。
9. これを用いて、構造物にかかる力やダムからの放流量などを知ることができ、ダムや堰、発電所などの構造物を設計することができます。
10. 海岸分野では、圧力や波力、波高、波速などの物理量を算定することができます。
11. これを用いて、防波堤に必要な強度や高さなどを知ることができ、海岸構造物や港湾を設計することができます。
12. 上下水道では、水道管へかかる圧力や水道網の各地点における圧力や流速などの物理量を算定することができます。
13. これを用いて、水道管の設計や水道網の計画を行うことができます。
14. また、土木工学以外でも、機械工学や航空工学においても水理学のような液体や気体の流れを扱う学問があり、水理学の内容はそれとも関連しています。
15. 水理学では流れの性質を理解することができるので、流れにともなう土砂や物質の移動についての解析にも、水理学が利用されます。
16. これにより、河川域や海域での土砂や物質の移動について知ることができます。
17. これらは環境と密接に繋がっており、環境を考える上でも、水理学が利用されます。
- mechanical inspection.
8. Concretely, in river engineering, we can calculate physical values such as water depth and flow velocity.
9. Through such calculations, we can determine the forces acting on a structure; find the discharge volume from a dam; and design dams, weirs, hydraulic power plants, and so on.
10. In coastal engineering, we can calculate pressure, wave force, wave height, and wave velocity.
11. From such calculations, we can determine the necessary strength and height of seawalls, for example, and design coastal structures, ports, and harbors.
12. For water supplies and sewerage systems, hydraulics can be used to calculate physical values such as the pressure in a water pipe, as well as the pressure and flow velocity at any point in the water system network.
13. Thus, water pipes can be suitably designed and water system networks can be planned.
14. In fields other than civil engineering, such as mechanical engineering and aeronautical engineering, fluid dynamics is important, and hydraulics is closely related to such engineering.
15. By applying hydraulics, we can understand flow properties, and analyze the transport of soil and substances.
16. In this way, we can understand river zones and sea areas.
17. This is closely related to understanding the environment, a purpose for which hydraulics is useful.

## キーワード(Keywords)

・水理学　・土木工学　・水工学

## 関連用語(Related terminology)

・流体力学(りゅうたいりきがく): fluid dynamics

## 日本語解説

### 文3 「流れ」

「流れる」というのは、“to flow”という動詞(verb)です。「流」という読みかたもあります。

例: 流体力学 “hydromechanics”

### 文4 「河川」

「河」も「川」もどちらも「かわ」と読みます。「河」は大きなかわ。中国には、「黄河」という大きなかわがあります。

### 文5 「制御する」

“to control”という意味ですが、「御」は、例えば、「御者」ということばでは、「荷馬車(carriage)」をコントロールする人のことです。

### 文6 「流速」

「速」は、「速い(fast)」ですから、「流速」は、流れる速さということです。

### 文6 「算定する」

「算」は「計算すること(calculating)」、「定」は「定める(to fix)」ということです。

### 文7 「検証する」

「調査する(to investigate)」そして「証明する(to prove)」ということです。

### 文8 「水深」

「深」は「深い」という読み方がありますが、ここでは、“deep”です。

例: 深夜 (the middle of the night)

### 文10 「波力」

「波」は「波 “wave”」とも読みます。

例：高波 “a mountain of a wave”

ぶん 文11 「防波堤」

「防」は「防ぐ “to protect”」です。

例：防水 “waterproof”、防虫 “mothproofing”

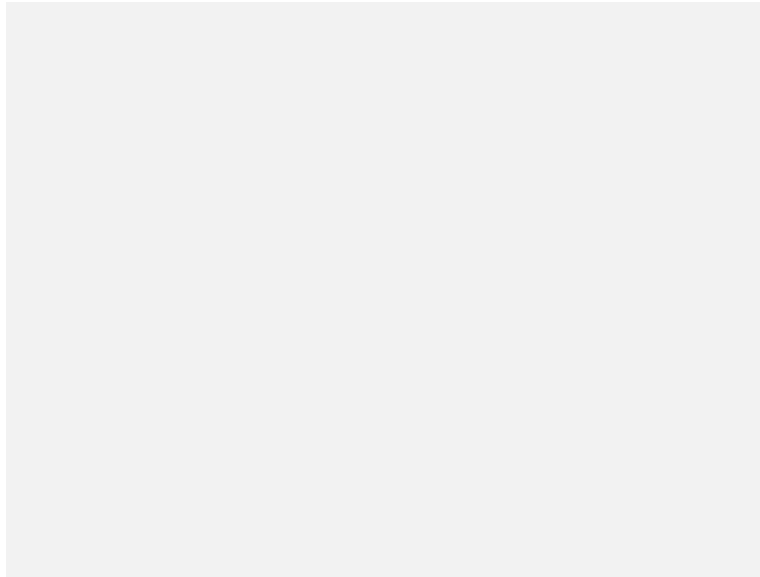
ぶん 文12 「水道網」

「網」は、「網 (net)」という読み方もあります。網は、魚や虫 (insect) をとるときに使います。「情報網 (information network)」ということばがあります。

ぶん 文14 「気体」

物質の三つの状態の一つです。あとは (the rest)、「液体」と「固体」です。「固体」の「固」は、「固い (solid)」という読み方もあります。

## 2. 流体とは



1. ここでは流体<sup>りゅうたい</sup>について勉強<sup>べんきょう</sup>します。
  2. 流体<sup>りゅうたい</sup>とは、形<sup>かたち</sup>を容易<sup>ようい</sup>に変形<sup>へんけい</sup>できる物質<sup>ぶつしつ</sup>ですが、一般的<sup>いっぱんてき</sup>に物質<sup>ぶつしつ</sup>のうち液体<sup>えきたい</sup>と気体<sup>きたい</sup>のことをいいます。
  3. ただし、固体<sup>こたい</sup>においても氷河<sup>ひょうが</sup>などは、長い<sup>なが</sup>時間の尺度<sup>じかん</sup>で見れば、流体<sup>りゅうたい</sup>として扱<sup>あつか</sup>われます。
  4. 流体<sup>りゅうたい</sup>は密度<sup>みつど</sup>、圧縮性<sup>あつしゆくせい</sup>、粘性<sup>ねんせい</sup>という物理的<sup>ぶつりてき</sup>性質<sup>せいしつ</sup>を持ちます。
  5. 密度<sup>みつど</sup>とは、単位体積<sup>たんゐたいせき</sup>当たりの質量<sup>しつりょう</sup>のことです。
  6. この密度<sup>みつど</sup>は、圧力<sup>あつりよく</sup>や温度<sup>おんど</sup>、塩分<sup>えんぶん</sup>などによって変化<sup>へんか</sup>します。
  7. このなかで、圧力<sup>あつりよく</sup>による流体<sup>りゅうたい</sup>の変形性<sup>へんけいせい</sup>のことを圧縮性<sup>あつしゆくせい</sup>といいます。
  8. 水<sup>みず</sup>については圧力<sup>あつりよく</sup>による変形<sup>へんけい</sup>が小さく、圧力<sup>あつりよく</sup>によって密度<sup>みつど</sup>が変化<sup>へんか</sup>しないと仮定<sup>かてい</sup>できます。
  9. このような流体<sup>りゅうたい</sup>を非圧縮性<sup>ひあつしゆくせい</sup>流体<sup>りゅうたい</sup>といいます。
1. Here, we will study fluids.
  2. A fluid is a material, usually a liquid or gas, that easily changes shape.
  3. However, solids, such as a glacier, can be treated as fluids when considering a sufficiently long time period.
  4. Fluids have the physical properties of density, compressibility, and viscosity.
  5. Density is volume per unit mass.
  6. Density changes depending on factors such as pressure, temperature, and salinity.
  7. Compressibility is the deformation characteristics of a fluid under pressure.
  8. Typically, the shape of liquid water does not change under pressure, and thus we can assume that the density of water does not change with pressure.
  9. Such a fluid is referred to as an

- す.
10. 粘性とは、接している物体に速度差がある場合に、せん断応力を生じる性質のことをいいます。
11. 例えば、ある流れと静止した壁面の間には粘性によりせん断応力が発生します。
12. このとき、壁面に対して、流れと同じ方向のせん断応力が発生します。
13. また、流速が一様でない場合は、流速の異なる流体間で粘性によるせん断応力が発生します。
14. このとき、流速の遅い流体には流れと同じ方向の、流速の速い流体には流れと反対方向のせん断応力が発生します。
15. 粘性については、一般的に無視することができません。
16. そこで、例えば、せん断応力が速度勾配に比例するという仮定が用いられます。
17. 式示すと、 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$  [タウ イコール ミュー ディーユー ディーワイ]となり、この係数  $\mu$  が粘性係数とよべれます。
18. このような流体を Newton 流体といい、これは、多くの流体に用いられる仮定です。
19. 粘性係数  $\mu$  が一定とならない流体も存在しますが、水は粘性係数  $\mu$  が一定である Newton 流体として扱うことができます。
20. 他の仮定として、非圧縮性、非粘性、つまり、圧力によって密度が変化せず、粘性によるせん断応力が生じないとするものがあり
- incompressible fluid.
10. Viscosity is the property that shear stress is generated when there is a velocity differential between bodies contacting each other.
11. For example, on the surface of a stationary wall that is exposed to a certain flow, shear stress is generated by viscosity.
12. In this example, the shear stress on the surface of the wall is in the direction of the flow.
13. If the flow distribution is not uniform, shear stress is generated between the fluids.
14. For such an uneven flow, the shear stress on the slower fluid is in the direction of the flow, while the shear stress on the faster fluid is in the opposite direction.
15. Viscosity usually cannot be ignored.
16. Thus, the assumption that the shear stress is directly proportional to the velocity gradient is used.
17. This expression is
- $$\tau = \mu \frac{du}{dy}.$$
- The coefficient  $\mu$  is the viscosity coefficient.
18. A fluid for which this relation holds true is called a Newtonian fluid.
19. For some fluids, the viscosity coefficient is unstable, but water can be assumed to be a Newtonian fluid.
20. We also assume incompressibility and non-viscosity, that is, that density does not change with pressure and that shear

ます。

21. このような理想的な流体を完全流体とい  
い、このとき密度は一定となります。

stress does not change with viscosity.

21. Such an ideal fluid is called a perfect  
fluid, and the density of the fluid is  
constant under this assumption.

## キーワード(Keywords)

・流体 ・密度 ・圧縮性 ・粘性 ・粘性係数 ・Newton 流体 ・完全流体

## 関連用語(Related terminology)

- ・連続体(れんぞくたい): continuum
- ・弾性体, 塑性体(だんせいたい, そせいたい): elastic / plastic body
- ・動粘性係数(どうねんせいけいすう): coefficient of kinematic viscosity

## 日本語解説

### 文3 「尺度」

物の長さを測る道具や、長さの基準をいいます。

### 文4 「密度」

単位体積の物質の質量を「密度」といいます。一般的には、ある範囲内に分布している割合のことです。

### 文4 「圧縮」

「圧」は、おさえつけるという意味、「縮」はちぢめるという意味で、「圧縮」は、おさえつけて小さくするという意味です。

例：気体を圧縮すると温度が上昇する。

### 文4 「粘性」

「粘」は、「粘る」と読みます。粘るものは、例えば、日本には食べ物では納豆(sticky beans)があります。「粘土(clay)」は、こどもがよく使って遊びます。ここでは、「性」がありますか、粘る性質(property)ということです。

### 文5 「単位体積当たり」

「当たり」は、「この肉は100グラム当たり200円です。」のように、「ある単位では、ある単位については」という意味で用いられます。ここでは、「ある決まった体積での」ということです。

ぶん 文5 「質量」

ぶつたいが持つ物質の量の事です。

ぶん 文8 「仮定」

かんがえ等を説明していく上で仮にそうだと決めて進めることです。

ぶん 文10 「接している」

「接する」というのは、「近づいて、つく」ということです。また、数学では、2本の直線や曲線が1点で交わる、またはぶつかることをいいます。

ぶん 文10 「生じる」

「～を／が生じる」とは、「起きる／起こす、うむ／うまれる」ということです。

例：物体が平面上を移動するとき、摩擦を生じる。摩擦によって熱が生じる。

ぶん 文11 「壁面」

「壁」は家の四方を囲い、部屋を仕切るものの事です。「壁面」は壁の面を表します。

ぶん 文13 「一様」

「一様」とは、「すべてが同じ状態、様子であること」です。

ぶん 文15 「無視する」

「視」は「見る」ことで、「無視」は見ないということから目の前にあるものの存在や価値を認めないことです。

例：AさんはBさんの意見を無視した。

ぶん 文16 「勾配」

「勾配」とは一般には、坂のような「斜面、傾斜」の事です。

ぶん 文17 「式示」

「式示」というのは、「式を使って示すこと」です。

ぶん 文19 「一定」

「一つに決まって変わらない」「順序や方法が決まっている」という意味です。

例：それぞれのコップには、水と、一定の食塩が入っています。

例：今回の実験は、一定の手順（やり方）にそって正確に行う必要がある。



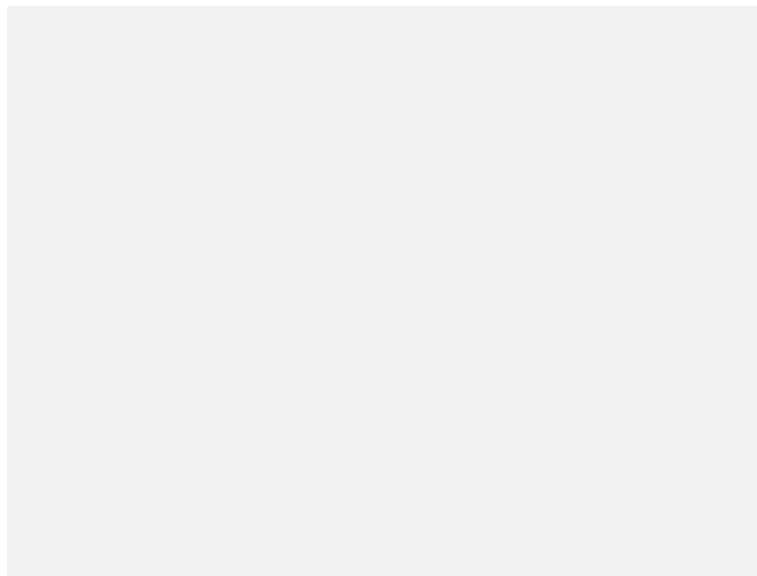
ぶん 文21 「理想的」

ひと かんが さいこう じょうたい のぞ ひと のぞ もの  
人が考える最高の状態、また、人がそうありたいと望んでいることや物のことです。 ⇔ げんじつ  
現実  
りそうてき りゅうたい ひと かんが りゅうたい いみ  
「理想的な流体」とは、「そうであってほしいと人が考える流体」という意味です。

ぶん 文21 「完全」

かんぜん ひつよう じょうけん ぜんぶ ぜんぜん た けってん  
「完全」は必要な条件が全部備わっていて、足りないところがないこと、欠点がないことです。

### 3. 静水圧



1. ここでは静水圧について勉強します。 1. Here, we will study hydrostatic pressure.
2. はじめに圧力について説明します。 2. Let us first discuss pressure.
3. 圧力とは流体内に存在する物体が受ける力のうち、面に直交する方向の単位面積当たりの力のことをいいます。 3. Pressure is one of the forces that act on a body in a fluid; specifically, pressure is the force per unit area in the direction perpendicular to the object's surface.
4. 流れがない静水状態においては、圧力は流体の重力によって生じます。 4. A "hydrostatic" situation refers to the case where there is no flow and the pressure is caused by the weight of the fluid.
5. このときの圧力を静水圧とといいます。 5. Such pressure is referred to as hydrostatic pressure.
6. ある水深  $z$  における静水圧は、その地点より上側の水柱の重量と等しく、  
$$p = \rho g z$$
  
[ピー イコール ロー ジー ゼット] で表されます。 6. The hydrostatic pressure at a certain depth  $z$  is equal to the weight of the column of water above that position, which is expressed as follows:  $p = \rho g z$ .
7. ここで  $p$  は圧力を、 $\rho$  は密度を、 $g$  は重力加速度を、 $z$  は水深を表します。 7. Here,  $p$  is pressure,  $\rho$  is density,  $g$  is the acceleration due to gravity, and  $z$  is depth.
8. このことから、静水圧分布は三角形分布となります。 8. Thus, the distribution of pressure is a triangular distribution.
9. ここでの圧力は大気圧でゼロとしたゲージ圧と呼ばれるもので、水理学における圧力 9. Hydrostatic pressure is the gage pressure excluding atmospheric pressure; in

とは一般的にこのゲージ圧です。

hydraulics, this gage pressure is typically used.

10. これに対し、大気圧を加えたものは絶対圧と呼ばれます。 10. The pressure including the atmospheric pressure is called the absolute pressure.
11. また、圧力は面に直交して作用するので、ある微小体を考えた場合、すべての面に対して等しい大きさの圧力が作用します。 11. Pressure acts in the direction perpendicular to the surface; thus, equal pressure acts on every surface of a miniature body.
12. このことを等方的といいます。 12. This equal distribution of pressure is referred to as “isotropic”.
13. 流体中に存在する物体は、静水圧により浮力と呼ばれる力を受けます。 13. A body in a fluid gains buoyancy due to hydrostatic pressure.
14. この力は、静水圧が水深に比例して大きくなることから、物体の上と下で圧力が異なることに起因します。 14. Buoyancy results from the difference of pressure between the upper and lower surfaces, since hydrostatic pressure increases in proportion to depth.
15. 静水圧は水深が深くなると大きくなるため、浮力は鉛直上向きの力となります。 15. As depth increases, the hydrostatic pressure increases; thus, buoyancy is a force in the vertical direction.
16. また、その大きさは物体の体積と等しい流体の重量であることが知られています。 16. Furthermore, that magnitude of buoyancy is equal to the weight of the fluid that would occupy the volume of the body in the fluid.
17. これは、アルキメデスの原理とよばれます。 17. This is Archimedes’ principle.
18. このとき浮力は、 $F_B = \rho g V$  [エフ ビー イコール ロー ジー ブイ]と表されます。 18. Buoyancy is expressed as follows:  
$$F_B = \rho g V.$$
19. ここからは次の担当に替わります。 19. From here, my colleague will be in charge of the class.

### キーワード(Keywords)

・圧力 ・静水圧 ・ゲージ圧 ・絶対圧 ・等方的 ・浮力

### 関連用語(Related terminology)

・動圧, 静圧(どうあつ, せいあつ): dynamical pressure / static pressure

## 日本語解説

### ぶん1 「静水圧」、ぶん2 「圧力」

「圧力」は、物体が他の物体を押しえつける力です。「水圧」は水の圧力です。「静」は「静か」で、この場合流れがないことです。

### ぶん3 「存在する」

この世界にある／いることです。「流体内に存在する物体」というのは「流体内にある物体」ということです。

### ぶん3 「直交」

「直交」とは直角(90度)に交わること、接することです。

### ぶん3 「方向」

漢字「方」は、ここでは「方角」です。「向」は、ある方に顔や体を向けること、その方に進むことで、「方向」は、向いて行こうとする方角のことです。

### ぶん4 「状態」

「状態」とは「そのとき、そうなっている様子」のことです。

### ぶん4 「において」、ぶん6 「における」

「静水状態においては」は、「静水状態では」と同じですが、かたい言い方です。後ろに名詞がくる時、「水深zにおける静水圧」のように「において」が「における」になります。☞「講義に役立つ日本語」

### ぶん4 「重力」

「重力」は gravity, weight です。

### ぶん6 「等しく」

「等」という漢字は「同じ。同じように、そろっている。」という意味や「～など」という意味があります。「AとBの重さは等しい。」というのは、AとBの重さが同じであるということです。「＝」のことを「等号」と言います。その他、「～など」の意味でも、「理系学部とは、理学部、工学部等のことです。」のように、日常よく使われます。

### ぶん7 「加速度」

「加速度」は単位時間に速度が増加する割合のことです。

### ぶん8 「分布」

「分布」とは、分かれ広がっていることです。

例：この植物は東南アジア全域にわたって分布している。

### ぶん10 「加えた」

「～を加える」は、たすことです。自動詞は「～が加わる」です。

ぶん 文11 「微小体」

「微小」とは、非常に小さいことです。「微小体」は、非常に小さい物体のことです。

ぶん 文13 「浮力」

「浮力」とは、流体内で物をまわりから押し上げる流体の圧力のことです。一般には物が水中で自然に浮かぶ力のことです。

ぶん 文14 「比例」

2つの数量の比が他の2つの数量の比と等しいことです。「1:2=3:6」のようなものです。

例：ここで、水の抵抗は、速度の2乗に比例する。

ぶん 文14 「異なります」

「異なる」はあるものごとが、他のものごとと「違う」ということです。「異なる」は「違う」と似ていますが、「間違える」という意味はありません。

例：Aさんの答えはBさんの答えと異なっています。

例：Aさんの答えは違っています。(答えは正しくないという意味)

ぶん 文14 「起因」

それが原因になって何かが起きることです。

例：昨年はスピード違反に起因した交通事故が多発した。

ぶん 文15 「鉛直上向き」

「鉛直」(vertical)とは、糸などで重りをつり下げたときに糸が示す方向、重力の方向のことです。

「鉛直上向き」とは、重力と反対の方向です。

ぶん 文16 「体積」

立体の大きさを「体積」といいます。ある面の広さを「面積」といいます。

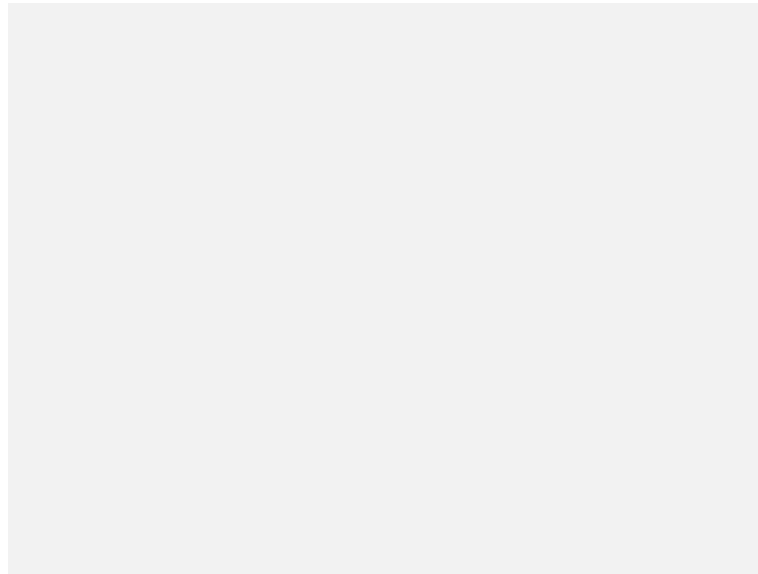
ぶん 文17 「原理」

「原理」とは物事、事象が起きることを、それによって説明できると考えられる基本的な法則のことです。

ぶん 文19 「担当に替わります」

ここで「担当」は「担当者」のことで、この講義を次に受け持つ人のことです。「替わる」はここでは、人が入れかわることです。

## 4. Bernoulli の定理



1. それでは、ここから私が授業を担当します。  
1. Now, I will take charge of the class.
2. ここでは、Bernoulli の定理について学習をします。  
2. In this lesson, we will study Bernoulli's principle.
3. ここで紹介する Bernoulli の定理は、粘性のない完全流体の時間的な流速変化がない定常流に適用されます。  
3. Bernoulli's principle can be applied to the steady flow of a perfect fluid without viscosity, when the fluid velocity does not change over time.
4. この定理は、 $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = const$  [ゼット プラス ローヂィ分ノピー プラス ニ分ノブイニ乗 イコール コンスト]と書きます。  
4. This theorem is defined as follows:  
$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = const.$$
5. それぞれの記号の意味は、 $v$  は流速、 $p$  は圧力、 $\rho$  は水の密度、 $g$  は重力加速度、 $z$  は基準高からの高さです。  
5. Here,  $v$  is fluid velocity,  $p$  is pressure,  $\rho$  is the density of the fluid,  $g$  the acceleration due to gravity, and  $z$  is the height from a reference plane.
6. また、それぞれの項の意味は、第1項  $z$  は位置水頭、第2項  $\frac{p}{\rho g}$  は圧力水頭、第3項  $\frac{v^2}{2g}$  は  
6. The first term,  $z$ , is the elevation head, the second term,  $\frac{p}{\rho g}$ , is the pressure

速度水頭を意味しています。

7. これら全ての項の単位は長さの単位です。従って、m, cmなどで表します。 7. The units of these terms are length. They are expressed in meters or centimeters.
8. そもそも、Bernoulliの定理は、流体の全エネルギーを表しています。固体では、この全エネルギーを運動エネルギーと位置エネルギーの和で記述します。 8. Bernoulli's principle gives the total energy of a fluid. In the case of a solid, the total energy consists of kinetic energy and potential energy.
9. 物理で学習すると思いますが、運動エネルギーは、 $E = \frac{1}{2}mv^2$  [イー イコール 二分ノエムブイニ乗]、位置エネルギーは、 $E = mgz$  [イー イコール エムジゼット]です。 9. As you may know, kinetic energy is given by  $E = \frac{1}{2}mv^2$ , and potential energy is given by  $E = mgz$ .
10. 流体では、この運動エネルギーと位置エネルギーのほかに、圧力の形でもエネルギーを蓄えることができます。 10. Fluids, however, have not only kinetic energy and potential energy, but also pressure energy.
11. 圧力の式  $p = \rho gh$  [ピー イコール ロー ジイエイチ]を  $h = \frac{p}{\rho g}$  [エイチ イコール ロー ジイ分ノピー]に変形し、水圧を高さに置き換えます。その時、流体のエネルギーは、 $E = \frac{1}{2}mv^2 + mgz + mg \frac{p}{\rho g}$  [イー イコール 二分ノエムブイニ乗 プラス エムジゼット プラス エムジイ カケル ロー ジイ分ノピー]となります。 11. Changing  $p = \rho gh$  to  $h = \frac{p}{\rho g}$ , the fluid energy can be expressed as follows:  
$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mgz + mg \frac{p}{\rho g}.$$
12. 全体を  $mg$  で割ることで、Bernoulliの定理を導くことができます。 12. By dividing this equation by  $mg$ , Bernoulli's principle is obtained.
13. 次に、右の図に注目してください。この図に示されているのは管路です。水が管路の中を左から右へと流れており、どの断面でも流量は一定とします。 13. Now, please look at the figure on the right. This figure shows a pipe. Water flows in the pipe from left to right; let us assume the discharge is constant at any section.
14. 断面1と断面2に注目してください。 14. Please look at sections 1 and 2.
15. 断面1は、断面2と比べ低い位置にあるので、位置水頭は小さくなります。 15. The potential head of section 1 is lower than that of section 2, because section 1 is lower than section 2.

16. しかし、断面 1 は断面 2 と比べ、断面積が小さいので速度水頭は大きくなっています。
17. これら位置水頭、速度水頭に圧力水頭を加えた全エネルギーは、エネルギー保存則より常に等しくなります。
18. つまり、図に描かれた管路の Bernoulli 式は、  

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$
 [ゼットイチ プラス ロージイ分ノピイイチ プラス ニジイ分ノブイイチニ乗 イコール ゼットニ プラス ロージイ分ノピイニ プラス ニジイ分ノブイニニ乗]となります。
19. ここでは、断面 1 と断面 2 に注目してお話ししましたが、全ての断面で全エネルギーは等しくなります。
16. However, section 1 has a higher velocity head, because it has a smaller cross-sectional area.
17. The total energy, which consists of the potential, velocity, and pressure heads, is constant according to the law of the conservation of energy.
18. Therefore, for the pipe shown in the figure, we obtain the following relation by applying Bernoulli's principle:  

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}.$$
19. In the preceding example, although I focused on sections 1 and 2, the total energy is assumed to be constant for any section of the pipe.

## キーワード(Keywords)

・Bernoulli の定理    ・定常流    ・圧力水頭    ・速度水頭    ・位置水頭

## 関連用語(Related terminology)

- ・圧縮性流体(あつしゆくせいりゅうたい) : compressible fluid
- ・非圧縮性流体(ひあつしゆくせいりゅうたい) : incompressible fluid
- ・粘性流体(ねんせいりゅうたい) : viscous fluid
- ・非粘性流体(ひねんせいりゅうたい) : inviscous fluid
- ・開水路(かいすいろ) : open channel
- ・非定常流(ひていじょうりゅう) : unsteady flow
- ・連続式(れんぞくしき) : continuity equation

## 日本語解説

### 文 2 「Bernoulli」

これは「ベルヌーイ」と読みます。



ぶん 文7 「m、cm」

それぞれ、メートル、センチメートルです。

ぶん 文8 「そもそも」

「本来は、もともとは」と同じ意味です。“originally”ということです。

ぶん 文8 「和」

足し算(addition)の結果のことで、引き算(subtraction)の結果は「差」といいます。

ぶん 文9 「二乗」

「2乗」は「にじょう」とか「じじょう」と読みます。

ぶん 文10 「蓄える」

“save, store”という意味です。例：お金を蓄える、知識(knowledge)を蓄える  
「蓄」とも読みます。例：蓄電池(a storage battery)

ぶん 文12 「～で割る」

「割る」というのは、“divide”ですから、割り算(division)をすることです。除するとも言います。掛け算(multiplication)もあります。

例：30を5で割ると6になる。

一般に「割る」は、「力を加えて、いくつかの部分に分かれるようにすること」を意味します。たとえば「ガラスを割る」や「卵を割る」などから、「食事の費用は5人で割ろう」などのように広く使われます。

ぶん 文13 「管路」

「管」は、「くだ」とも言います。“pipe”のことです。「路」は、「道路」のように「道(road)」です。

ぶん 文13 「流れており」

「流れております」は、「流れています」の丁寧な(polite)言い方です。

ぶん 文14 「断面」

「断」は、続いているもの(something continuous)を切り離す(to separate)ことを表します。

切り離れた面(surface)が、「断面」です。「断」は、「断る」とも読みます。

例：申し出を断ります(reject an offer)。

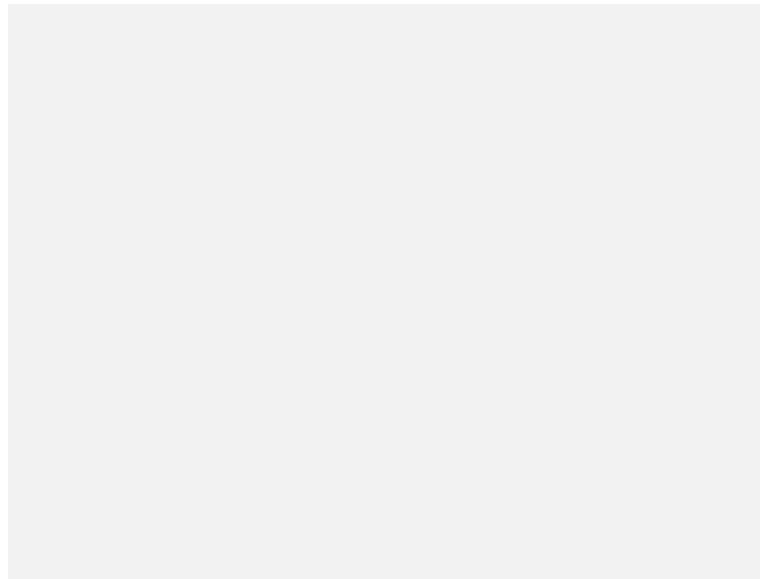
例：どうしても断れなかった(I just couldn't refuse.)。

ぶん 文19 「等しい」

“equal”という意味ですが、「等」とも読みます。

例：A=Bは、等式(equality) 例：A>Bは、不等式(inequality)

## 5. 一次元エネルギー式



1. 先ほど説明をした Bernoulli の定理では、速度水頭、圧力水頭、位置水頭の和がどの断面でも常に一定であるという定理でした。  
1. As we discussed previously, Bernoulli's principle states that the velocity head, pressure head, and potential head are constant at any section.
2. しかし、実際の流体にはエネルギーの損失があります。そのため、Bernoulli和は、流下するにしたがって減少します。  
2. However, real fluids have energy loss; consequently, the total energy decreases as the fluid moves downstream.
3. 従って、エネルギー損失  $\Delta e$  を考慮する必要があります。  
3. Therefore, the energy loss  $\Delta e$  should be considered.
4. エネルギー損失を考慮して Bernoulli の式を書き直すと、 $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \Delta e = const$  [ゼット プラス ロージイ分ノピー プラス ニジイ分ノブイニ乗 プラス デルタイーイコール コンスト]となります。  
4. To take energy loss into account, Bernoulli's principle can be rewritten as follows:  $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \Delta e = const$ .
5. また、Bernoulli和は流線ごとに異なります。そのため、実際の流れを取り扱う場合、断面平均流速  $U$  で書き表すと便利な場合が多くあります。  
5. Moreover, each stream line has its own total energy. Therefore, when an actual flow is considered, it is convenient to describe the average velocity of each section.
6. 従ってここでは、流管の断面に沿って積分された Bernoulli式を考えます。  
6. Let us consider the integrated Bernoulli equation along each section of the stream tube.

7. 流管断面を通過するエネルギーは、

$$\int_A \left( z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \Delta e \right) v dA = const \text{ [インテ}$$

ィグラル エー カッコ ゼット プラス  
ロージィ分ノピー プラス ニジィ分ノブ  
イニ乗 プラス デルタイー カッコ閉ジ  
ル ブイディーエイ イコール コンスト]  
となります。

8. この式は、エネルギーと流量の積であるエ  
ネルギーフラックスが一定であることを  
意味しています。

9. ここで、断面平均流速  $U$  と、断面積  $A$  で、  
両辺を割ります。

10. その結果として、一次元エネルギー式

$$z + \frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{U^2}{2g} + h_L = const \text{ [ゼット プラ}$$

ス ロージィ分ノピー プラス ニジィ分  
ノユウニ乗 エイチエル イコール コン  
スト]を得ることができます。

11.  $\alpha$  はエネルギー係数、 $h_L$  は損失水頭を表し  
ています。通常  $\alpha$  は、約 1.1 の値をとしま  
すが、問題などで特に指定がない場合は、  
1.0 として解答することがほとんどです。

12. 次に、いま求めた一次元エネルギー式を用い  
て右の図のエネルギーを考えます。

13. ここには、中央部で漸縮および漸拡をする  
管路が描かれています。流量は各断面で  
一定とし、図の左から右方向へ流れてい  
るとします。

14. 断面 1 における、ピエゾ水頭と、速度水頭の  
和である全エネルギーを基準として考えま  
す。

7. The energy of the fluid traveling through  
the stream tube is given by the following  
equation:

$$\int_A \left( z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \Delta e \right) v dA = const .$$

8. This equation states that energy flux,  
which is the product of energy and  
discharge, is constant.

9. Then, we divide the equation by  $U$   
(average section velocity) and  $A$  (section  
area).

10. As a result, a one-dimensional energy  
equation is obtained as follows:

$$z + \frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{U^2}{2g} + h_L = const .$$

11. Here,  $\alpha$  is the energy coefficient and  $h_L$   
is head loss.  $\alpha$  is usually equal to about  
1.1; however,  $\alpha$  can be taken as 1.0 for  
ease of calculation.

12. Next, let us apply the one-dimensional  
energy equation to the stream tube shown  
in the figure.

13. There are diverging and converging pipes  
at the center of the system. Let us assume  
that discharge is constant at any section,  
as well as that the flow direction is from  
left to right.

14. Furthermore, let us take the total energy,  
which is the sum of the piezometric head  
and the velocity head, to be the basis.

15. ここで、ピエゾ水頭とは、位置水頭と圧力水頭の和と定義されています。
16. 断面2では、断面1と比べて、管路の断面積が小さいので、流速が大きくなり、速度水頭は大きくなります。
17. これらは、先ほど説明した Bernoulli の定理と同じです。しかし、大きく違う点は、損失水頭  $h_L$  が加わっていることです。
18. この損失には、管路を水が動くことによって生じる摩擦損失、管路の形状が変化することによって生じる形状損失があります。
19. 最後に、図に示す管路の2つの断面について一次元エネルギー式を求めると、  

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha \frac{U_2^2}{2g} + h_L$$
 [ゼットイチ プラス ローヂイ分ノピーイチ プラス ニジイ分ノユウイチニ乗 イコール ゼットニ プラス ローヂイ分ノピーニ プラス ニジイ分ノユウニニ乗 プラス エイチエル]となります。
15. The piezometric head is defined as the sum of the potential head and the pressure head.
16. The velocity in section 2 is faster than that in section 1, because the cross-sectional area of section 2 is smaller than that of section 1. . Therefore, the velocity head of section 1 is also higher than that of section 1.
17. The one-dimensional energy equation is very similar to Bernoulli's principle. However, in the one-dimensional energy equation, there is head loss  $h_L$ .
18. Head loss  $h_L$  consists of friction loss, which occurs when the fluid flows in the pipe, and form loss, which is caused by the changing shape of the pipe.
19. Finally, the one-dimensional energy equation for the two sections shown in the figure is obtained as follows:  

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha \frac{U_2^2}{2g} + h_L$$

### キーワード(Keywords)

- ・一次元エネルギー式    ・エネルギー線    ・エネルギー損失    ・ピエゾ水頭    ・損失水頭
- ・摩擦損失    ・形状損失

### 関連用語(Related terminology)

- ・動水勾配線(どうすいこうばいせん) : hydraulic gradient line
- ・サイフォン(さいふおん) : siphon

## 日本語解説

### 文1 「一次元」

空間の次元が1つあること。1つの次元がある空間を1次元空間と呼びます。

例：ベクトルは1次元に並べたスカラーで表される。

### 文1 「先ほど」

「少し前に」、「さっき」の意味です。

例：先生には、先ほどお会いしました。

例：先ほどは失礼しました。

### 文2 「損失」

そこない失うこと。財産や利益を失うこと。装置やシステム内で、有効な仕事を行わずに消費されるエネルギーのことで、損、ロスとも言います。

例：熱エネルギーの損失が大きい。

### 文2 「和」

二つ以上の数や式などを加えて得た値のことです。数であれば、加法の演算結果を和と呼びます。加法は「足す」「合計する」とも言います。

例：この2つの変数の和を求める。

### 文6 「従って」

前のことから当然後ろのような結果になること、話し言葉表現の「だから」や書き言葉表現でも使う「それゆえ」「その結果」と同様の意味になります。

例：私の会社に過失はない。従って、賠償などするつもりはない。

☞ 「講義に役立つ日本語」

### 文11 「通常」

普通であること。

例：連休中も通常通り営業します。

### 文11 「約」

大体の数量であること。「およそ」、「ほぼ」と同じ意味で使われます。

例：この仕事を終えるのに約1週間かかります。

### 文11 「ほとんど」

「すべてと違っていいくらい」、「だいたい」、「おおよそ」と同じ意味です。

例：クラスのほとんどの人が賛成だ。

### 文13 「～とします」

仮定を表す表現です。ここでは図の中の管を流れる流量を一定だと仮定し、また、左から右へと流れていると考えてくださいと指示しています。☞「講義に役立つ日本語」

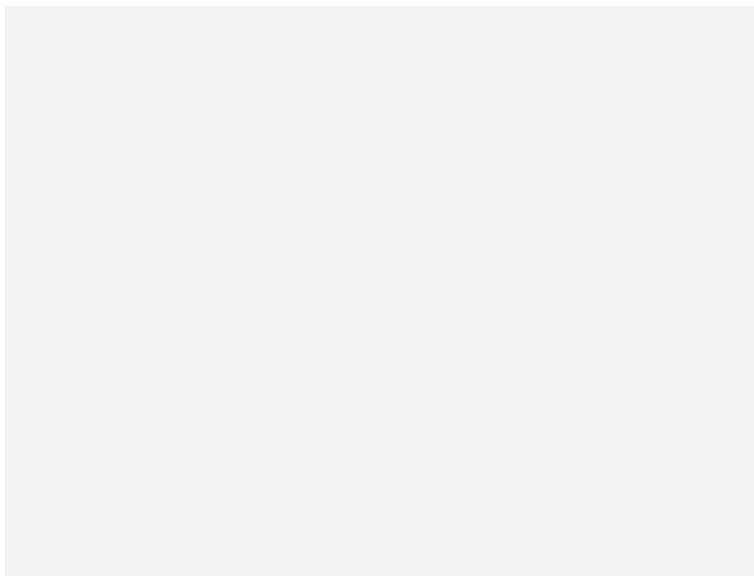
### ぶん 文17 「～が加わる」

あるものがさらに増えること、足されることを意味します。

例：物体の重量にさらに圧力が加わる。

例：料金にサービス料が1割加わるため、さらに高くなります。

## 6. 運動量保存則



1. 最後に、運動量保存則について学習します。 1. Lastly, we will study the law of the conservation of momentum.
2. これまでに、学習したエネルギー式は、スカラー量なので、大きさのみを表します。しかし、運動量はベクトル量なので、大きさと方向を求めることとなります。 2. The two equations that you have learned thus far are scalar; therefore, they represent only magnitude. On the other hand, momentum is a vector, and therefore has both magnitude and direction.
3. そもそも、保存則とはフラックス  $\phi$  と、流量  $Q$  の積が一定という法則のことです。 3. According to the law of conservation, the product of flux  $\phi$  and discharge  $Q$  is constant.
4. 運動量保存則を考える場合、このフラックスは運動量フラックス  $M$  をあてはめます。 4. For the law of the conservation of momentum,  $\phi$  corresponds to the momentum flux  $M$ .
5. ちなみに運動量フラックス  $M$  は、水の密度と、流速の積  $\rho V$  で表わします。 5.  $M$  is the product of fluid density and velocity.
6. 図に示すようなコントロールボリュームについて、運動量フラックスを考えます。 6. Let us consider the momentum flux for the control volume shown in the figure.
7. また、左から右方向へ流体が流れており、流线方向を  $s$  軸とします。 7. Let us assume that the fluid flows from left to right, as well as that the stream line is the  $s$ -axis.

8. コントロールボリュームの左側を *in*, 右側を *out* とすると, 運動量フラックスは, それぞれ  $M_{in}$ ,  $M_{out}$  と書き表すことができます.
9. 先ほど説明したように, 運動量はベクトル量であるので, 方向に注意しながら式をたてると,  $M_{xout} - M_{xin} = F_x$  [エムエックスアウト マイナス エムエックスイン イコール エフエックス],  $M_{yout} - M_{yin} = F_y$  [エムワイアウト マイナス エムワイイン イコール エフワイ]となります.
10. つまり, 運動量フラックスの差から, コントロールボリュームに作用する力を求めることができます.
11. それでは, 図に示すコントロールボリュームについて運動量保存則を考えてみましょう.
12. 運動量方程式をたてやすくするために, 流線方向の *s* 軸方向ではなく *x* 軸, *y* 軸方向の座標を考えます.
13. そのため, コントロールボリュームに直角に働く圧力  $P_1A_1$ ,  $P_2A_2$  をそれぞれ, *x* 方向, *y* 方向に分解します.
14. ここで, 流体を押す方向の圧力をプラスとすることに注意します.
15. その結果として圧力  $P_1A_1$  は,  $(P_1A_1)_x$ ,  $(P_1A_1)_y$  に,  $P_2A_2$  は  $(P_2A_2)_x$ ,  $(P_2A_2)_y$  に分解されます.
16. また, 図に示される力  $F$  についても, それぞれ, *x* 方向, *y* 方向に分解すると  $F_x$ ,  $F_y$  となります.
17. これらをもとに, *x* 方向, *y* 方向を正として, それぞれの座標について, 運動量方程式をたてます.
8. Taking the left side of the control volume to be IN and the right side to be OUT, we denote the momentum flux of each side as  $M_{in}$  and  $M_{out}$ , respectively.
9. As mentioned previously, momentum is a vector; please pay careful attention to direction when constructing the equation. Then, we obtain the following relations:
- $$M_{xout} - M_{xin} = F_x \quad \text{and} \quad M_{yout} - M_{yin} = F_y.$$
10. According to these relations, we can find the force acting on the control volume from the difference in the momentum flux.
11. Let us consider the conservation of momentum for the control volume shown in the figure.
12. For convenience, let us take coordinates along the *x*-axis and *y*-axis, rather than the *s*-axis (stream direction).
13. Then, we resolve  $P_1A_1$  and  $P_2A_2$ , which are perpendicular to the control volume, into components along the *x*-axis and *y*-axis.
14. Note here that the direction of the compressive force is assumed to be positive.
15.  $P_1A_1$  is resolved into  $(P_1A_1)_x$  and  $(P_1A_1)_y$ , and  $P_2A_2$  is resolved into  $(P_2A_2)_x$  and  $(P_2A_2)_y$ .
16. In addition,  $F$  can be resolved into  $F_x$  and  $F_y$ .
17. Using these component vectors and taking the direction of the *x*-axis and *y*-axis to be positive, the momentum equation can be expressed as follows, in terms of its respective *x*- and *y*-components:



18.  $x$  方向は,  
 $\{M_{xout} - M_{xin}\}Q = \{(P_1A_1)_x - (P_2A_2)_x\} - F_x$  [  
 カッコ エムエックスアウト マイナス  
 エムエックスイン カッコ閉ジル カケル  
 キュウ イコール カッコ ピイイチエイ  
 イチエックス マイナス ピイニエイニエ  
 ックス カッコ閉ジル マイナス エフエ  
 ックス]となります。

19. また,  $y$  方向は  
 $\{M_{yout} - M_{yin}\}Q = \{(P_1A_1)_y - (P_2A_2)_y\} + F_y$   
 [カッコ エムワイアウト マイナス エム  
 ワイイン カッコ閉ジル カケル キュウ  
 イコール カッコ ピイイチエイイチワイ  
 マイナス ピイニエイニワイ カッコ閉ジ  
 ル マイナス エフワイ]となります。

20. 一般的には, 流量, 断面積, 圧力はわかっている  
 ので, この運動量保存則は  $F_x$  と  $F_y$  を求める  
 時に役立ちます。

18.  $\{M_{xout} - M_{xin}\}Q = \{(P_1A_1)_x - (P_2A_2)_x\} - F_x$

19.  $\{M_{yout} - M_{yin}\}Q = \{(P_1A_1)_y - (P_2A_2)_y\} + F_y$

20. Generally, discharge, cross-sectional area, and pressure are known; therefore, the law of the conservation of momentum is useful for finding  $F_x$  and  $F_y$ .

## キーワード(Keywords)

・運動量保存則 ・運動量方程式 ・コントロールボリューム

## 関連用語(Related terminology)

・スルースゲート(するすげと):sluice gate  
 ・堰(せき):tumbling bay

## 日本語解説

### 文1 「保存」

そのままの状態を保って失わないこと。空間的、時間的に移動しても、総量が変化しないということです。状態が変化しても、ある物理量の値が一定に保たれるとき、その物理量に対して保存則が成り立つといい、その物理量を保存量といいます。

例: 塩を使って食料を保存する。

### 文1 「則」

「きまり」「(手本として)従う」の意味があり、ここでは「法則」のこと。「法則」はいつでも、どこ

でも、一定の条件のもとに成立する普遍的な関係、またはそれを表したものです。  
例：自然の法則に反する。

ぶん 文3 「そもそも」

何かを言い始める時、文の初めに使う言葉で、「いったい」「だいたい」「元来」と同じような意味で使います。

例：そもそも彼が言い出したことだ。

例：そもそも予備調査が不十分だったことが、失敗の原因だ。

ぶん 文4 「あてはめる」

ちょうどよく合うようにする、適合させるという意味です。

例：自分の体験にあてはめて考える。

ぶん 文5 「ちなみに」

それに関連して、ついでに言えばという意味です。

例：報告は以上ですが、ちなみにこれに対する顧客の反応は非常によいとのことです。

ぶん 文7 「流体」

気体と液体を指し、流動体ともいいます。

例：流体と機械の間でエネルギーの受け渡しをする機械には、ポンプや送風機がある。

ぶん 文7 「流線」

流れの中に引いた曲線で、その上の各点での接線がその点での速度に一致するように引いたものを指します。

例：流線型電車がまた多くなってきました。

ぶん 文20 「流量」

水や電気など流体の流れる量のことで、単位時間にある断面を通過する体積で表します。

例：流量計は液体や気体の流量を測定するために使われる。

ぶん 文20 「断面積」

物を一つの平面で切った時にできる断面の切り口の面積を言います。

例：円錐の頂点から垂直に切ると、断面積が二等辺三角形になる。