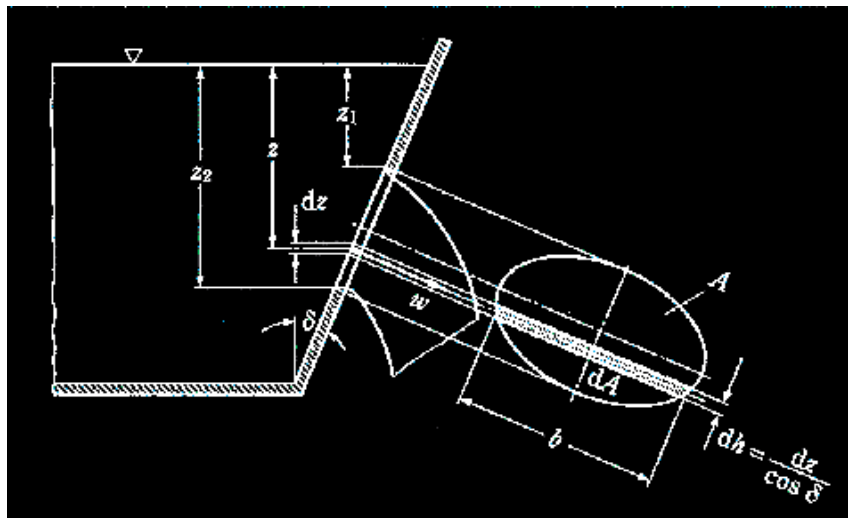


エンジニアのための

流れ学

第2巻

圧縮性流れ



中川 武夫 (流水) 訳
ヴィリー・ボール 著



コロムブス大学出版局

Kingston · Melbourne · Göttingen · Bangkok · Kanazawa · Kaunas

4 非圧縮性流れ

広範にわたる本章は、貫流導管と風洞内および物体まわりの、非圧縮性流れ運動の説明と計算に関する内容となっている。とくに、流動流体内の速度分布と圧力分布、並びに流れと貫流物体または物体との間の相互作用が取り扱われることとなる。

る。

まず最初に、非粘性流れに関する法則が導かれ、続いて最大限に実際の粘性流れに関して実験的に発見された知見に基づいた補正が付け加えられることとなる。

4.1 基礎概念

流れ図の明白な説明のために、まず流速の概念を紹介することとする。

流速は固体力学におけると同様に単位時間当たりの流体粒子の軌跡変化と考えることができる。流速はベクトルであるので、これを明確に定義するためにはその方向、大きさおよび位置(作用点)についての情報が必要である。あらゆるベクトルと同様に、流速も幾何学的に合成あるいは分解される(図4.1)。流速は先ず一つのベクトルとして流れ空間内のある一つの質量要素(微小流体部分)の速度を意味するものである。

流れ領域内の種々の点において速度ベクトルを

記入すれば、一つの流れ場が求められる(図4.2)。

流れ場内部における個々の流体粒子のそれぞれの状態を規定するのに、通常二次元流れの場合には直交座標が、そして円筒管内の流れの場合には円筒座標が用いられる。特別な場合において、球座標を導入するのが適当であることもある。

速度ベクトルの作用点が、これらのベクトルが対象とする曲線の接線になるような、滑らかな曲線によって結び合わされるならば、いわゆる流線が形成される。流線は流れ図の図解に役立つものである。流線は折れ曲がることなく、お互いに交叉することも決してない。

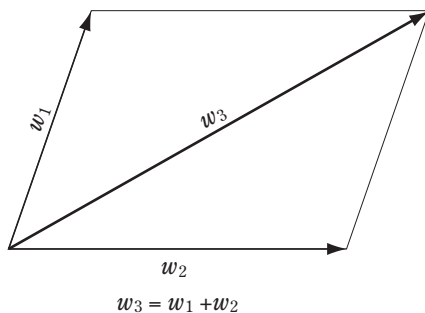


図4.1 流速の合成

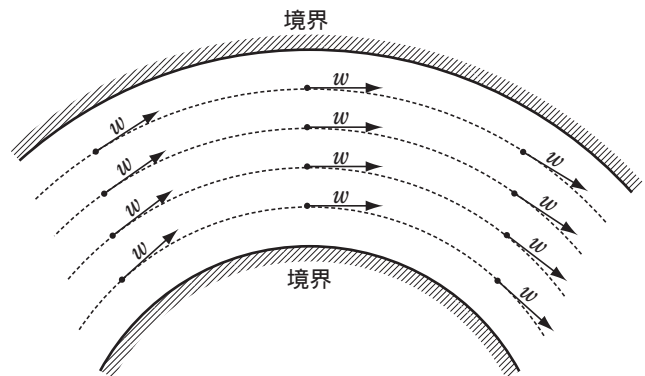


図4.2 流れ場

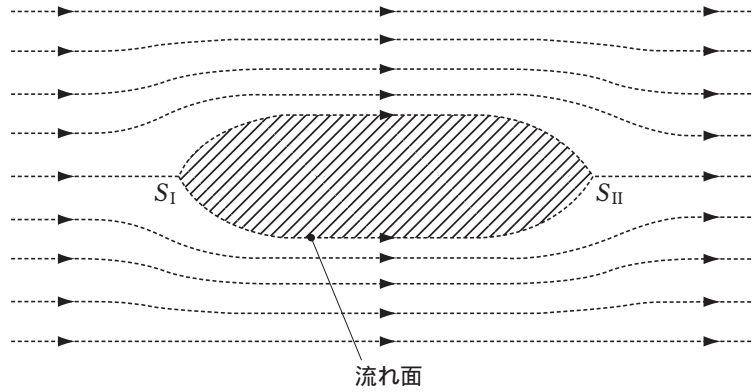


図4.3 物体まわりの流れ

速度ベクトルとスケッチされた流線を有する流れ図は実験的には非常に容易に求めることができる。例えば、動いている流体にアルミニウム粉を振りかけ、短い露出時間内に流れの写真撮影をすればよい。写真上にアルミニウム粒子が露出時間内に進んだ距離が、連結された流線を描く短い筋として示される。

流れの中にある物体を持ち込むと(図4.3) 物体外形線に沿う流線は物体前縁において分岐し、物体外形線に至るところで忠実に沿い、物体後縁において再び合流する。

前方分岐点 S_I は前方よどみ点と呼ばれ、後方合流点 S_{II} は後方よどみ点と呼ばれている。物体の周辺を描く全ての流線の総和は、流れ平面と呼称されている。

流れ場が貫流の場合には、流体粒子が通った行路をたどれば、その流跡を知ることができる(図4.4)。

速度の定義により

$$\vec{w} = \frac{d\vec{s}}{dt}$$

と表わすと、積分 $\int d\vec{s}$ によって流跡線を知ることができる。

アルミニウム粉が振りかけられた流体流れを長い露出時間で写真撮影することにより、流跡をアルミニウム粒子が通った流跡線として可視化することができる。

多くの流線を一つの流線束にまとめると(図4.5) 流管が得られる。流管を通して流れる中身は流線と呼称されている。

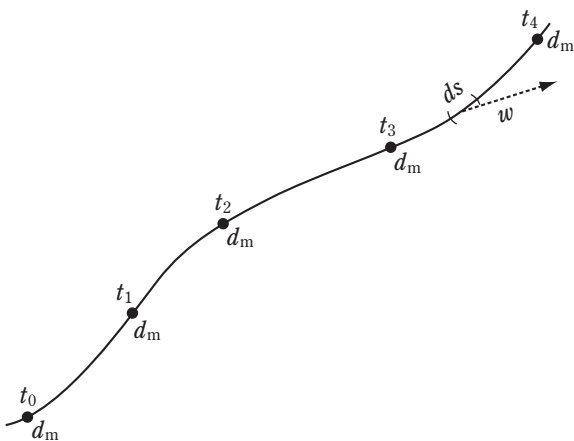


図4.4 流跡線

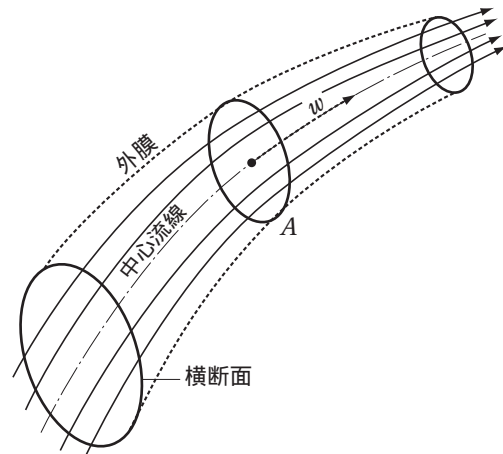


図4.5 流管

平均局所速度は流管を通して流れる体積流量 \dot{V} と横断面積 A より、次のように求めることができる。

(4.1)

$$|\bar{w}| = \frac{\dot{V}}{A}$$

横断面は、中心流線とは互いに垂直に交わる関係にある。

流れ空間を通る運動において、流体粒子がそれらの流跡に沿って主流方向運動(遷移)のみをなす時、この流れは非回転あるいは渦無し流れと呼称されている。流体粒子に対してその固有な軸またはその他の関連する軸まわりに回転運動(回転)が導入されると、流れは回転を伴うこととなる。すなわち、こうした場合の流れは渦を含むこととなる。

流れ過程が時間とは独立に進行する、すなわち不変の流れが常に支配的であるならば、流れは定

常である。これとは反対に絶えず変化する流れは、非定常流れと呼称されている。

例えば、回転ポンプを用いて駆動される噴水の水ジェットを観察すると、そこに現われる水ジェットはある種の定常流れである。容器を空にする際、容器から流出するジェットを観察すれば、その流出速度は流体面高さの減少に伴って徐々に小さくなっていくので、流れは非定常である。非定常流れか定常流れであるかどうかの判断はまた観測点の選択、したがって選択される座標系にも依存する。ある船に乗っている観測者は、例えば、等速で航行している場合には船首において、常に同じ船首波形を観察することになるので、彼にとってはこの流れは定常である。

一方、地上にいる観測者は、同じ船の通過船首波を水の非定常な乱れとして観察することとなる。なお、この水波形は観測者の視野の中に現われて、やがて消えていくものである。

4.2 基礎方程式

4.2.1 連続方程式(貫流方程式)

可変横断面を有する導管を通して流れる流体の体積を考察の対象とすれば、ここでは非圧縮性流れ($\rho = \text{一定}$)を問題としているので、流管を通

て流れる体積流量が一定値を保つことを容易に理解することができる。なぜならば、ここでは円管壁は非透過性であり、流れは空気あるいは気体(気泡)の混入が無く、かつ定常であると仮定されているからである。

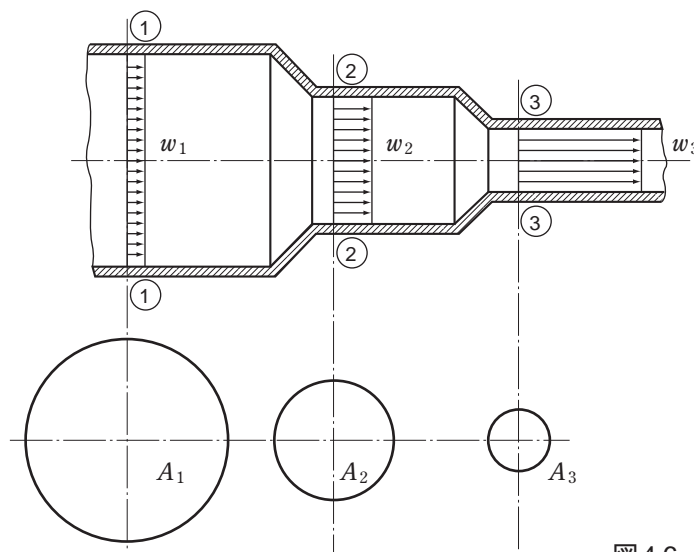


図4.6 連続方程式

この状況は形式的には次のように表現することができる。

(4.2)

$$\begin{aligned} \dot{V} &= A_1 \cdot w_1 = A_2 \cdot w_2 = A_3 \cdot w_3 \\ &= A \cdot w = \text{一定} \end{aligned}$$

\dot{V} = 体積流量(貫流量)

= 体積
= 単位時間

A = 中心流線に対して垂直、したがって速度 w に対して垂直な流れ横断面積

w = 流速

速度に対して m/s、横断面積に対して m^2 の単位を選べば、体積流量の単位として m^3/s を求めることができる。

式(4.2)は、流管に沿う速度は関連する横断面に逆比例するように変化することを意味する。それゆえに、流れ方向に横断面積が減少すると速度は増加することとなり、またその逆も成立する。

式(4.2)は非定常、かつ非圧縮流れに対しても成り立つが、これは非常に微小な時間 dt のみに限定される。なぜならば、この場合には体積流量が時間に依存して変わるからである。

4.2.2 エネルギー方程式

(ベルヌーイ方程式)

4.2.2.1 エネルギー方程式の導出

物理学において知られているエネルギー保存則

は、理想流体流れに対しても適用される。ここで、理想流体流れとは非粘性、非圧縮(密度 $\rho = \text{一定}$)そして定常的に推移する過程である。

流管(図4.7)に沿って流体は状態(圧力 p_1 、速度 w_1 、高さ z_1)より、状態(圧力 p_2 、速度 w_2 、高さ z_2)まで動くものとする。ここで、流管は完全に充填されており、そしてと の間でエネルギーの増減はない。すなわち、この間にポンプもタービンも取り付けられてはいない。

速度 w_1 と w_2 、そして圧力 p_1 と p_2 は完全に断面 A_1 と A_2 にわたって均等に分布している。また、流管の境界面を通して流体の出入はないものとする。

以上のような仮定のもとで、次のようなエネルギーバランスを設定することができる。

	状態	状態
位置エネルギー (ポテンシャルエネルギー)	$m \cdot g \cdot z_1$	$m \cdot g \cdot z_2$
圧力エネルギー	$V \cdot p_1 = \frac{m}{\rho} \cdot p_1$	$V \cdot p_2 = \frac{m}{\rho} \cdot p_2$
運動エネルギー	$m \cdot \frac{w_1^2}{2}$	$m \cdot \frac{w_2^2}{2}$

ところで、蓄積された熱エネルギーとしての内部エネルギーは、温度が変化しないので考慮されてはいない。すなわち、この場合には冷却も加熱もされないものとする。したがって、内部エネルギーは流れに沿って変化することはない。同様に化学エネルギー、電気エネルギー、そして磁気エネルギーのようなこの他のエネルギーも変化しない

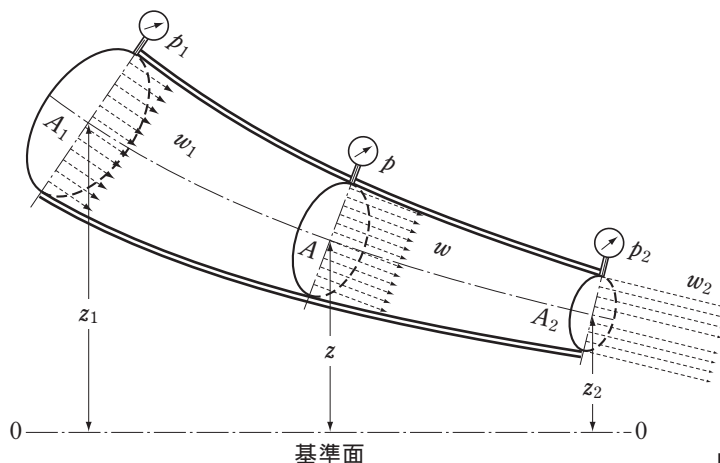


図4.7 エネルギー方程式

続きは
完成版で
お楽しみ下さい。