

# 流れの種類について

河川研究室

[問] 流れの種類としてはどのようなものがありますか。?

[回答] 流体には粘性といわれるものがあります。例えば、私たちの感覚でいって油は水と比較して粘っこい、すなわち粘性の大きい流体です。空気は粘性の小さな流体といえます。ニュートンは、図-1のように水平な2枚の板の間に流体を満たして一方の板をある速度で移動させたときに板の単位面積あたりに動く流体からの抵抗（以後せん断力という）について、せん断力と速度の勾配（ $\frac{U}{h} = \frac{du}{dy}$ ）の関係が(1)式の関係にあり、(1)式中の比例定数 $\mu$ が流体の固有な値であることを発見しました。

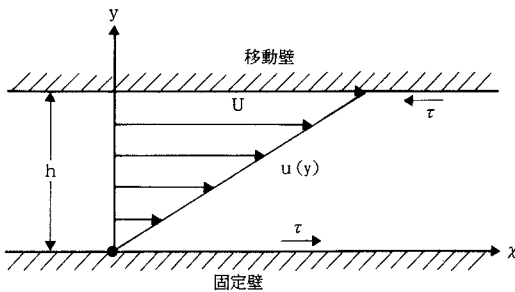


図-1

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots \dots \dots (1)$$

(1)式の関係を、ニュートンの粘性法則といいます。さて、ニュートンのころに知られていたほとんどの流体ではこの法則がなり立っていましたが、高分子化学が発達した現代ではニュートンの法則に従わない流体が発見されるようになりました。図-2にあるように、速度勾配に対応するせん断力が原点をとる直線になるのがニュートンの法則がなり立つニュートン流体といい、すべての気体と水、油などほとんどの液体がこれに属します。今、生クリーム状のものを考えてみますと生クリームは自重では変形しませんが、攪拌すると容易に流動します。すな

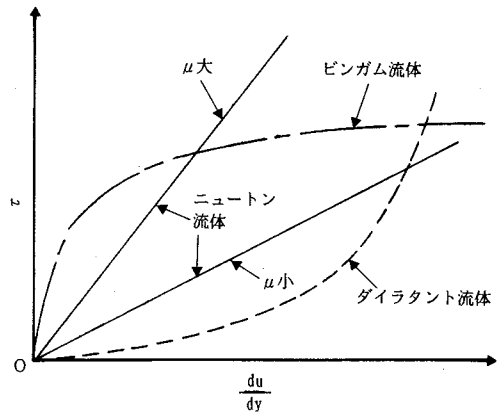


図-2 せん断応力と速度勾配の関係

わち、 $\tau$ が小さいときには変形速度  $\frac{du}{dy}$  は小さく、 $\tau$ が大きくなると  $\frac{du}{dy}$  が急に大きくなり、 $\tau$ と  $\frac{du}{dy}$  が直線の関係にならず1点鎖線の関係になります。これをビンガム流体といいます。流雪溝の雪混じりの水などがこれにあたります。また、これと反対の挙動を示すダイラタント流体（破線）というものもあります。砂と水を特定の割合で混合したものが、この挙動を示します。さて、ここで我々が一般に接する水について考えてみます。水は非圧縮性のニュートン流体と考えられます。図-3に示すように、直径dの円管内に水を流す場合を考えてみます。流量をQとすると、管内の平均流速uは  $u = Q / (\text{断面積})$  となりますが、管壁で0、管の中心で最大流速となる一定の速度分布をもって管内を流れます。非圧縮性の流れは、レイノルズ数  $R = \frac{ud}{\nu}$  ( $\nu$ は粘性係数を密度 $\rho$ で割ったもので動粘性係数といいます) のみに支配されます。レイノルズ数とは流れの状態を示す指標で、ある値よりレイノルズ数が小さい場合は流れは層流といって図-3の(a)のよう

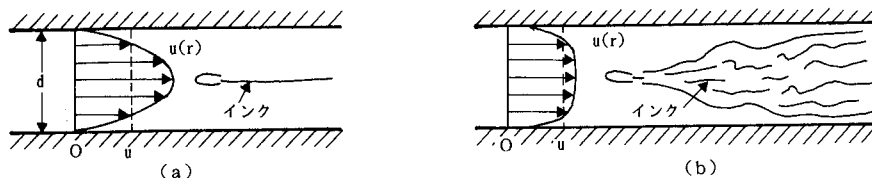


図-3 円管内の流れ

な流れになります。図にあるように、管中央にインクを流し込むとインクは周りの水とあまり混じわらず、そのまま流下していきます。レイノルズ数がある値より大きいときには、乱流といって図-3の(b)のような流れになります。層流と違って、インクはただちに周辺の水と混じり合っていきます。乱流においてある一点で流下方向の流速の時間変化を測定すると図-4のようになり、平均値を一定に保ちながら時間的に小さく変更します。この変動によって生じる拡散作用(図-3(b)でインクが混じっていく現象)は、分子の粘性による拡散作用(図-3(a)でインクがあまり混じらない状態)よりはるかに大きいのです。ここで、この変動によって生じる力を式(2)のように仮定します。

$$-\rho u'v' = \epsilon \frac{du}{dy} \dots \dots \dots (2)$$

$-\rho u'v'$ はレイノルズ応力といいます。 $u'$ と $v'$ は、流下方向流速 $u$ 横断方向流速 $v$ の変動成分です。もちろんレイノルズ応力は3次元的に9種類存在し、 $-\rho u'v'$ はそのうちのひとつの力です。ここで $\epsilon$ は分子の粘性係数 $\mu$ よりはるかに大きく、渦動粘性係数といわれます。物質の性質を表わす分子の粘性係数とは違うもので、乱流状態になっているときに生じる流れに起因する力を分子の粘性係数と同じように表わした見かけの粘性係数です。したがって、渦動粘性係数は一定値ではありません。流れの解析を行うときは渦動粘性係数をいろいろ仮定して行います。

このように、流れには物理的性質の種類として、ニュートン流体、ビンガム流体、ダイラタント流体という種類があり、そしてニュートン流体では流れ方により層流と乱流の2種類があります。

(文責 山下彰司)

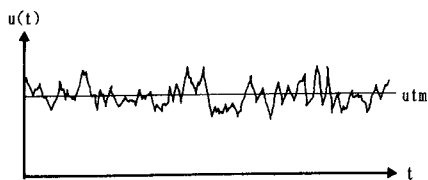


図-4 乱流の速度変動

参 考 文 献

- 1) 大橋秀夫; 流体力学(1), コロナ社, 1969年4月.