

II-256

静止流体中を沈降する球粒子の挙動と渦放出

山口大学大学院 学生員 大里 努

山口大学工学部 正会員 斎藤 隆

1. まえがき： 前年度は、比重と球径とを変えて、球粒子の沈降軌跡を直交する2方向からのストロボ撮影によって調べ、球粒子はほぼ一定の鉛直平面内を振動しながら沈降することを明らかにし、その球粒子に作用する流体力の時間的変化を評価した。本研究は、球粒子に作用する周期的に変化する流体力がどのようなメカニズムで発現するのかを明らかにするため、表面に十字線を記入した球を用いて、球粒子の沈降軌跡、球の回転状態、球背後の剝離域とそれからの渦放出のそれぞれの関連を実験的に検討したものである。

2. 実験装置と実験方法： 実験は断面が30cm×30cmで深さ2mの4面アクリル樹脂製の水槽で行なった。実験に用いた球はナイロン(Ny)、ポリスチレン(Ps)、ジルコン(Zi)製で直径0.48cm~2.54cmのものである。球の落下は初速度と初回転を与えないようにシリンダー式落下装置を用いた。球の沈降状態ならびにコンデンスミルクで可視化した球背後の剝離域は、直交する水槽の2面から、同速度で下降する2台のビデオカメラで撮影し、ワイバーを用いて一画面に収録した。

3. 実験結果とその検討： 典型的な可視化のスケッチを図-1(a)、(b)に示す。(a)はRe数が750の場合のもので、hain-pin形の渦いわゆるVortex loopに変化して放出されている。(b)は球の直背後でほぼ対称なVortex tubeが小刻みに放出されている。このスケッチを球の軸線上に配置したものが図-3の左側の図で、Vortex tubeのいくつかが一体となってWaving wakeとして放出されている。両結果は坂本ら¹⁾が行なった固定球からの渦放出を可視化した結果と一致している。

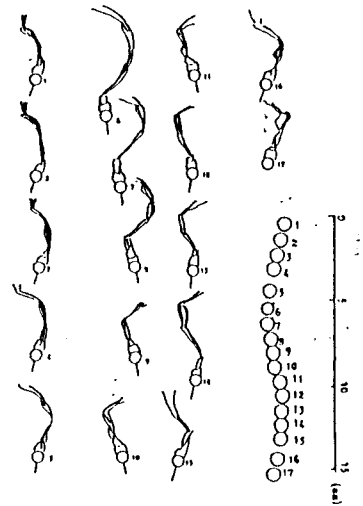


図-1(a) 球背後の渦スケッチ

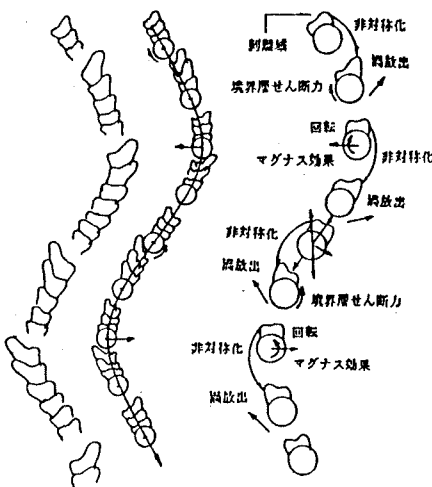


図-2 渦放出と曲がりのモデル

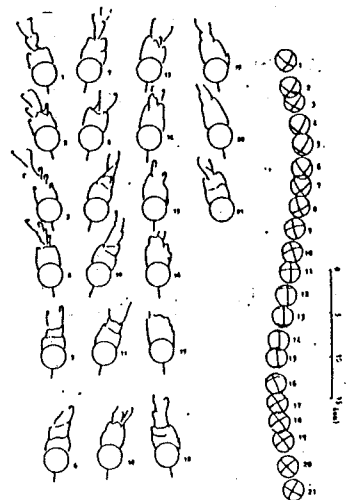


図-1(b) 球背後の渦スケッチ

（b）の右側の図は球の位置と表面に記入した十字線をスケッチしたものである。紙面に垂直な軸まわりの球の回転をみると、水平方向の移動が右方向から左方向へ変わる4～9では時計方向に、水平方向の移動方向が逆転する13～19では反時計方向に回転している。球の回転と球背後のVortex tube の変形との関連をモデル的に示したものが図-2である。

何らかの原因で球背後のVortex tube が非対称になると、球前方の停留点からの境界層の発達が異なる。この結果、境界層せん断力が球に回転力を与え、一つのWaving Wake が生成される間は球の回転が強められていく。球の回転はマグナス効果で球の移動方向に直交し、球の水平方向の移動を反転さす方向に流体力が作用する。Waving wake が放出されると、Vortex tube 非対称性は逆になる。始めのWaving wakeが放出されるまでの間は、境界層せん断力は球の回転を止める方向に作用し、続くWaving wake が放出される間に球に逆方向の回転を生じさせる。以上の過程を繰り返すことによって球は水平方向に振動しながら沈降することになる。

図-3はVortex tube ならびにWaving Wake の放出周期から求めたSt数をRe数に対して描点したものである。図中には従来の実験結果も記入してある。図-4は沈降粒子の軌跡から求めた鉛直方向の時間的変化を求めた結果の一例である。渦の放出に伴い球背後の圧力低下が変化することから、球の沈降速度は渦放出と連動して変化するはずである。この観点から、図-4に示した沈降速度の変動周期から求めたSt数をRe数に対して描点したものが図-5である。実験描点は坂本らの固定球におけるLow Modeの値に較べてわずかに小さめの値となっている。

4. むすび：以上の可視化実験を要約すると次のとおりである。すなわち、1. 沈降球粒子からの渦放出は固定球からのそれと基本的には同じである。2. Vortex tube の非対称化が、境界層せん断力による球の回転を誘起する結果として、球は振動を持続しながら沈降する。3. この振動周期はWaving wake の放出周期と一致している。4. 大雑把な球の沈降挙動はVortex loop ならびにWaving wake の放出によって強く規制されている。

1) 坂本弘志、羽二生博之、中村知巳；日本機械学会論文集（B編）、55巻515号(1987-7)

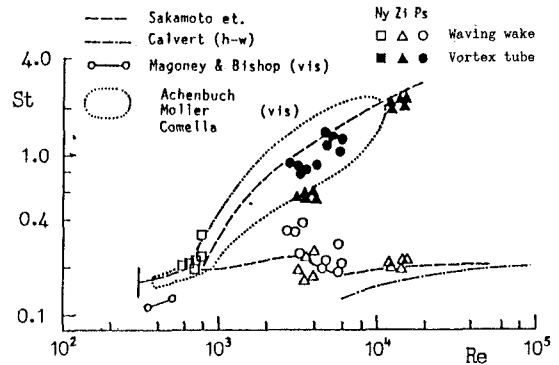


図-3 可視化からのストローハル数

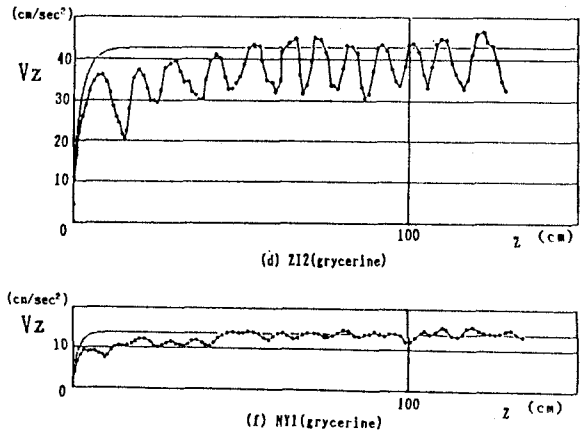


図-4 鉛直沈降速度の時間変化

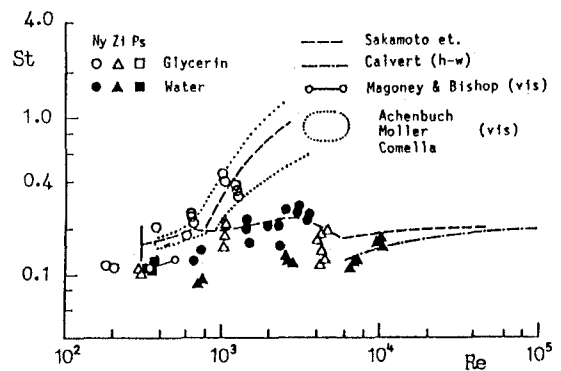


図-5 沈降速度変化からのストローハル数