

静水中を沈降する球からの渦放出

○山口大学 大里 努 宇部市 田中 祐治  
山口大学 斎藤 隆

1. まえがき： 前年度、比重と球径との数種類用いて、球粒子の沈降挙動をストロボ撮影によって調べ、球粒子はある鉛直平面内を水平方向に振動しながら沈降することを明らかにし、その球粒子の軌跡から球に作用している流体力の時間的変化を評価した。本研究は、球粒子がある鉛直平面内で振動しながら沈降する機構、すなわち、球粒子に作用する周期的に変化する水平力はどうのようなメカニズムによるものかを明らかにするため、表面に十字線を記入した球の沈降状態と、球背後からの渦放出をコンデンスミルク法を可視化して、球の沈降軌跡、球の回転状態、球背後の渦放出を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 200cm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、ポリスチレン、ジルコンの直径0.48cm~2.54cmの12種類である。沈降Re数を調節するため重量濃度25%のグリセリン溶液を用いた。球に初速ならびに初回転を与えないように図-1の上部に示してあるシリンダー式落下装置を用いた。球の沈降状態は、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、ビデオワイヤーを用いて一画面内に直交する2画面を収録した。

3. 実験結果とその検討： 沈降中の球粒子の軌跡の一例(NY1：ナイロン球、Z12：ジルコン球)が図-1である。図中の左側方眼中の曲線は上方からみた球の軌跡で、前年度報告したようにほぼ鉛直平面上を振動しながら沈降し、水平方向の振幅が徐々に減衰している。

図-3はコンデンスミルク法で可視化した球背後からの渦放出の状態をスケッチしたものである。左側の図がRe数が小さい場合で、右側の図がRe数が大きい場合のものである。両図をみると、坂本らが一様流中に置かれた固定球から放出される渦を可視化した結果と同様に、 $Re=300\sim800$ の範囲ではhair-pin形の渦いわゆる Vortex loop が放出され、 $Re>800$ では球表面から剝離したVortex sheetによって形成される筒状の渦のいくつかが一体となって Vortex tube となって放出され、渦形成領域内から交互に流出する大規模な渦と複雑にからみあった状態(Waving Wake)で後方へ置きさらられていく。同図の右側には、一定時間間隔での球の位置と表面に記入した十字線をスケッチしたものを示してある。十字線の交点位置から、紙面に垂直な軸をもつ球の回転をみると、水平方向の移動が右方向から左方向に変わる4~9では球は時計方向に、水平方向の移動が左から右に変わる13~19では反時計方向に球が回転している。

図-3の球背後の渦のスケッチを球の軌跡上に配列しなおしたものが図-4の右側の図である。図から筒状のVortex tube の数個が連続して

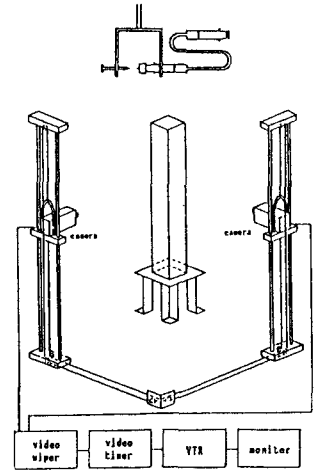


図-1 実験装置の概要

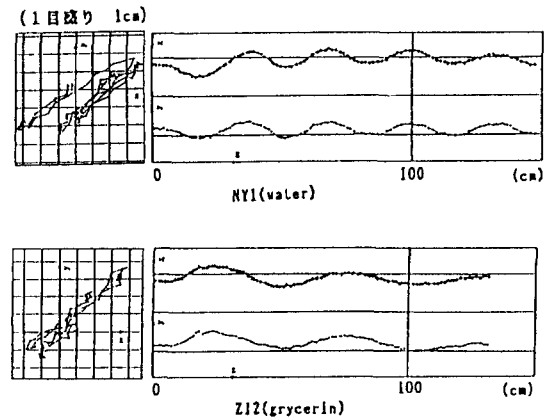


図-2 沈降粒子の軌跡

Waving wake を形成している。中央の図には球の回転方向とWaving wake の放出状態を示している。Waving wake の放出は球の片側から2回づつ連続して放出され、2回目に放出されるWaving wave の先端位置で球の水平方向の移動が変わり、その位置での球の回転方向が変わっている。この状態をモデル的に表示したものが右側の図である。

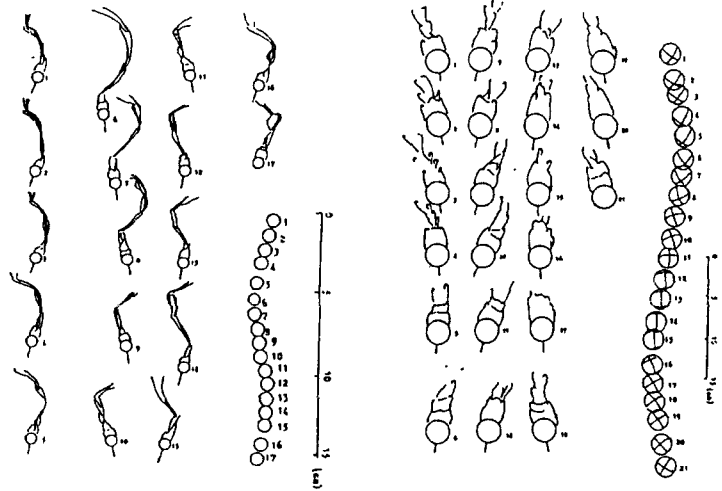


図-3 球背後における渦放出の状態

何らかの原因で球背後の筒状のVortex tube が非対称になると、球前方における停留点からの境界層の発達が異なるため、球の移動方向に対する境界層せん断力が非対称によって球に回転力を与え、一つのWaving Wake が生成、放出する間にこの回転力で球の回転が強められていく。球の回転運動はマグナス効果で球の移動方向に直交する方向に流体力が作用し、この流体力は球の水平方向の移動方向を反転さす方向の力である。Waving wake が放出されると、筒状の渦であるVortex tube の非対称性は逆となり、初めのWaving wake が放出される間は、境界層せん断力は球の回転を止める方向に作用し、2つ目のWaving wake によって反対方向の回転を起こす流体力が球に作用する。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。球背後の剝離領域の圧力低下による流体力は球の水平方向の移動を止める方向に作用するので、球の振動は減衰していくことになる。図-5はVortex tube とWaving Wave の放出周期から求めたSt数で固定球の場合と一致している。

4. むすび：以上の可視化実験から、沈降中の球からの渦放出は一樣流中の固定球からの渦放出と基本的には同じであるが、沈降中の球は回転が生じるため、渦放出の位置が制約されることから鉛直平面内を振動しながら沈降する。

#### 参考文献

坂本弘志、他2名；日本機械学会論文集、55巻515号(1987-7)1889-1895

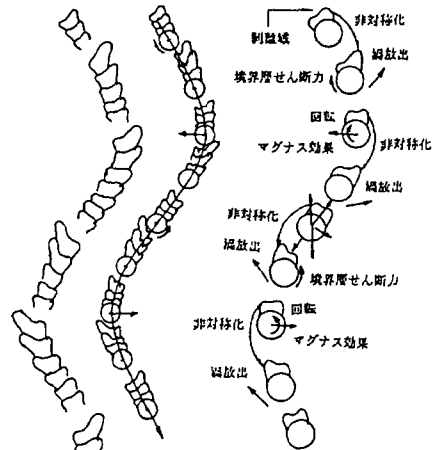


図-4 渦放出と曲がりのモデル

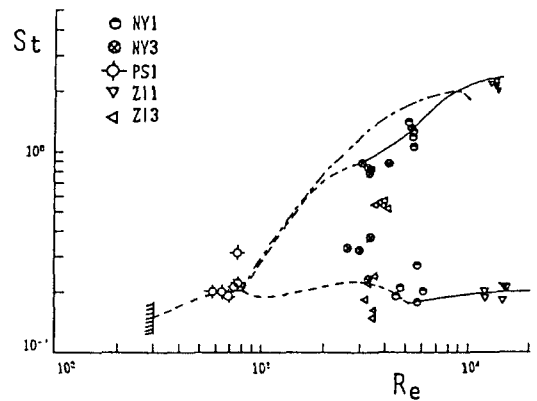


図-5 ストローハル数