

II-197

静水中における球の沈降特性について

山口大学 学○大里 努

遠藤 明子

正 斎藤 隆

正 羽田野 装義

1 はじめに : 流体中の粒子の挙動は工学上の諸現象に関わる基本的な問題として数多くの研究が行われているが、それらのほとんどは終末沈降速度を主目的とするか、それを基本としての解析であって、沈降中の粒子から放出される渦による粒子の特異な挙動は桑原らによって明らかにされているのみで、沈降粒子の運動特性と沈降粒子から放出される渦との関連についての研究は意外と少なく、渦放出により沈降粒子に作用する流体力の変化についてはほとんど明らかにされていない。本研究は比重ならびに球径が異なる数種の球を用いて、静水中を球が3次元的経路で沈降する状況を2方向からのストロボ撮影によって把握することにより球に作用する流体力の時間的変化を検討したものである。

2 実験装置と実験方法 : 実験に用いた水槽は断面が $30 \times 30 \text{ cm}$ 、深さ 150 cm のアクリル樹脂製で、水槽の下部に設置した鏡により、回転円板方式によるストロボ光発生装置からの光を上方に反射させ、沈降球を照射した。球の落下には、シリンダー方式の落下装置を用い初速および回転を与えないようにした。実験水槽及び実験装置の配置を図-1に示す。沈降軌跡はストロボ光による球映を水槽の直交する2側面から2台の解放状態のカメラで撮影した。沈降球の軌跡の一例が図-1中の写真である。実験に用いた球はポリスチレン、ナイロン、ガラス、鉄の比重 $\rho_s = 1.013 \sim 7.8$ 、球径 $d = 0.32 \sim 1.91 \text{ cm}$ の13種類である。

3 実験結果とその検討 : 図-2は2方向から撮影した球の沈降軌跡より求めたナイロン球の合成軌跡である。左側の図は水槽上方から見た沈降球の軌跡で、球は卓越した鉛直断面内を水平方向に振動しながら落下している。右側の図は卓越面内における沈降球の水平変位の時間的変化で、沈降に伴い振幅が減少しているのが注目される。

図-3は沈降速度がほぼ一定になったとみられる範囲において平均沈降速度から求めた抗力係数をRe数に対して描点したものである。比重が大きい鉄・ガラスの結果は Boillat の実験結果とほぼ一致しているが、比重が $\rho_s = 1.1$ のナイロン球の場合は、Re数の増加により抗力係数が増大する傾向がみられる。これは、より広範な実験を必要とするが、球径が大きくなるほど沈降中における水平方向変位が大きいことに起因すると考えられる。

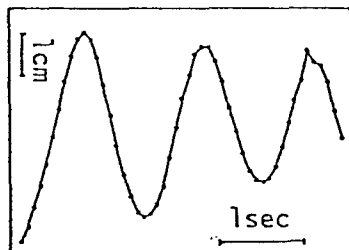


図-2 球の沈降挙動

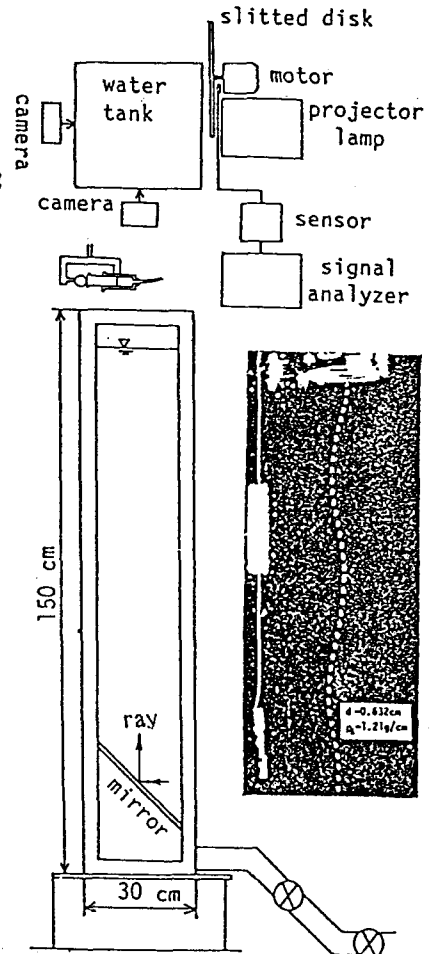


図-1 実験装置と沈降球の軌跡

図-2から明らかなように、球はある卓越面内を水平方向に振動しながら沈降する。従って球は水平方向ならびに鉛直方向に周期的に加速・減速を繰り返す、球に周期的に両方向の力が作用していることがわかる。なお、水平方向の振幅の度合は球の特性ならびに沈降経過時間で異なる。

図-4は、水平振動変位の各サイクルの周期時間とそのサイクル内の平均合成速度から求めたストローハル数を平均合成速度と球径によるRe数に対して描点したものである。固定球の場合、渦放出周期によるストローハル数はPaoらによると $St=0.14 \sim 0.22$ ($Re=0.4 \sim 1.7 \times 10^4$) Elmarらによると $St=0.14 \sim 1.0$ ($Re=0.4 \sim 4 \times 10^3$)で、Re数と共にSt数が増大しているが、両者の同一Re数に対するSt数は約1桁異なっている。本実験の結果では、描点の散乱が非常に大きい、Re数に関わりなく平均的にほぼ $St=0.1$ 程度の値であって、この差異は渦放出が固定球では球背面上を回転する位置で行われているが、沈降球では水平方向変位の卓越面で球を切断した面内に固定されているとみられる。

図-5, 6は、仮想質量係数を $C_m=0.5$ とし、抗力係数を図-3中の式で与え、沈降中の各瞬間における球の速度と加速度を用いて水平および鉛直方向の非平衡力、 f_h 、 f_v を求め、球の水中重量で無次元化して、沈降中の平均Re数に対して描点したものである。ここで、 f_h は絶対値の平均値、 f_v は平均値で与えた。水平方向の無次元非平衡力の実効値はナイロン球だけのものであるが、球の水中重量の1~2割で、瞬間最大値は2~4割程度の大きさである。鉛直方向の無次元非平衡力の実効値は描点の散乱が非常に大きい、 $Re=2 \times 10^3$ 程度で最小値をとる傾向がみられる。

4 まとめ：球径ならびに比重が異なる球の沈降状態を3次的に追跡した結果、球はある鉛直の卓越面内を水平方向に振動しながら沈降し、この卓越面で切断された球の背面と予想される位置からほぼ $St=0.1$ の周期で渦が放出されている。渦放出に伴い球に作用する変動流体力の実効値は、ナイロン球の場合であるが、水平方向に球の水中重量の1~2割程度に及び、鉛直方向の実効値は $Re=2 \times 10^3$ 程度で最小値となる傾向のあることが明かとなった。

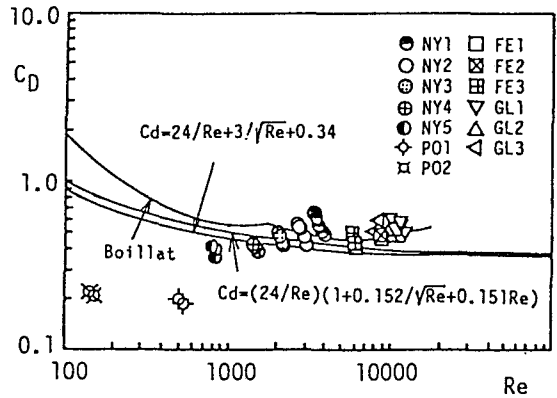


図-3 抗力係数 C_d と Re 数の関係

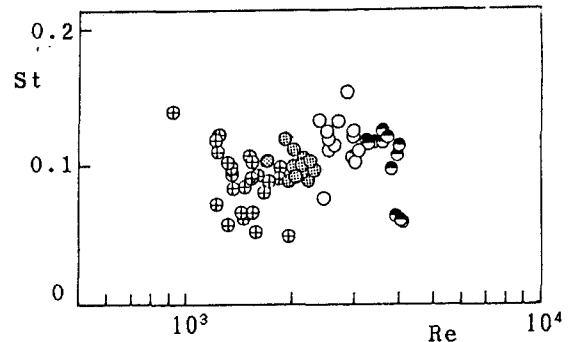


図-4 ストローハル数と Re 数の関係

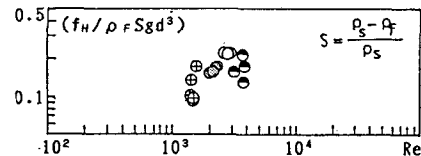


図-5 無次元非平衡水平力と Re 数の関係

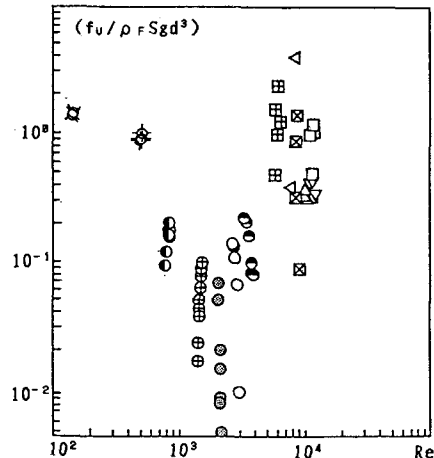


図-6 無次元非平衡鉛直力と Re 数の関係