

# 静水中を沈降する球の挙動について

山口大学 正 斎藤 隆 正 羽多野袈裟義  
学○大里 努 遠藤 明子

1. まえがき : 流水中の粒子の挙動は工学における諸問題に関わる基本的な問題として多くの研究が行われているが、沈降中の球からの渦放出による球の特異な挙動は桑原らによって報告されているのみで、沈降中の粒子の挙動と放出渦の関連についての研究は意外と少ない。本研究は静水中を沈降する球の軌跡を3次的に追跡することで球に作用している流体力の時間的变化を実験的に検討したものである。

2. 実験装置と実験方法 : 実験に用いた水槽は断面30×30cm、深さ150cmの3面アクリル樹脂製のものである。水槽下部にはストロボ光を上方に反射するための鏡が設置されている。実験にはポリスチレン、ナイロン、ガラス、鉄の比重 $\rho_s=1.013\sim 7.8$ 、球径 $d=0.32\sim 1.91$ cmの球を用いた。球の落下には初速ならびに回転を与えないようにマグネットならびにシリンダー方式の落下装置を用いた。球の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。撮影した沈降球の軌跡の一例が図-1中の写真で、矩形白映が基準尺である。発光間隔はストロボ、回転版周期の測定から求めた。

3. 実験結果とその検討 : 球位置の読取誤差をまるめるため、連続した5つの位置を最少2乗法で2次関数で近似し、その中央位置における速度を求めて描点したものが図-1の右側の図である。左側の図は沈降球の仮想質量係数を $C_m=0.5$ 、効力係数を $C_D=24/Re+3/\sqrt{Re}+0.34$ で与え、次式

$$(\rho_s - C_m \rho) \frac{\pi}{6} d^3 \frac{dv_s}{dt} - \frac{1}{2} \rho C_D \frac{\pi}{4} d^2 v_s^2 - (\rho_s - \rho) \frac{\pi}{6} d^3 g = 0 \quad (1)$$

から Runge-Kutta法で沈降速度を計算した結果である。実験描点は加速・減速を周期的に繰り返しながら沈降速度を増していき、ほぼ一定の速度を中心にして周期的に速度が変化している。この一定速度の大きさは、 $Re$ 数が小さいポリスチレン球と $d=0.631$ cmのナイロン球を除くと、計算による終末沈降速度より小さい。

球が落下する瞬間の時刻を正確に決定することができなかったが、両図の落下直後の速度変化を比べると、落下直後の加速は計算値よりも

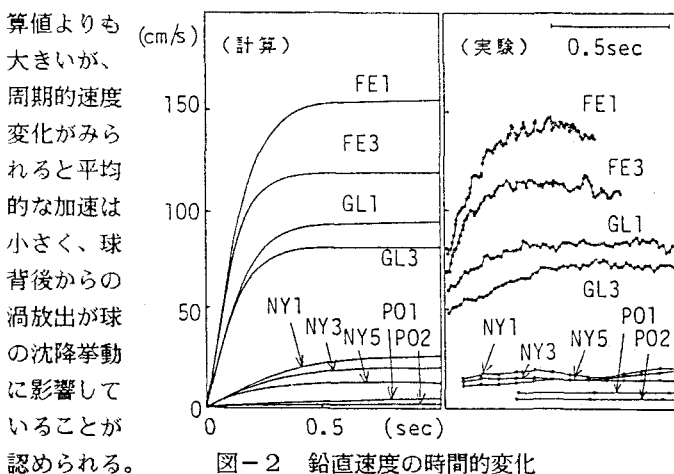


図-2 鉛直速度の時間的变化

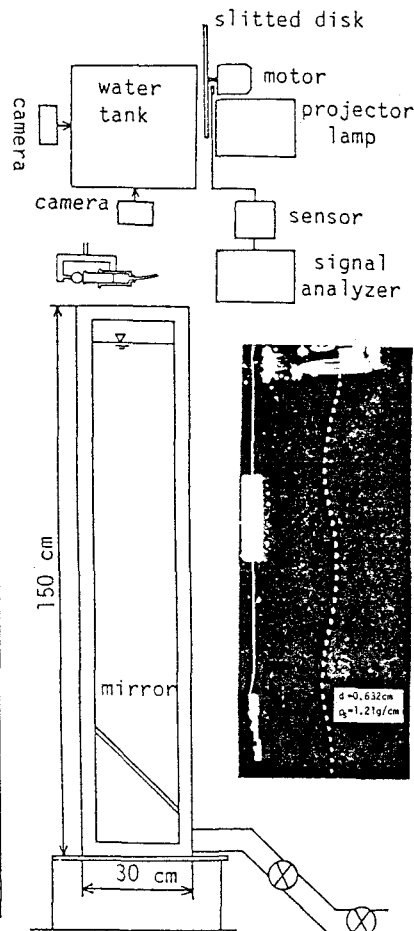


図-1 実験装置と球の沈降状況

図-3は直交する2方向から撮影した球の軌跡を合成して球の3次元的な挙動を総括的に示したものである。球は一平面を水平方向に振動しながら、その振幅を序々に減じながら沈降して、鉛直方向の速度変化の周期は水平方向の速度変位（速度変化）の周期の2倍である。

図-4は式（1）に実測した鉛直方向の速度と加速度を代入して逆算した抗力係数を粒子沈降Re数に対して描点したものである。図中の曲線は固定球による結果ならびに Boillatの実験結果である。同一描点が沈降中における鉛直速度の変化によCdとRe数の関係である。

図-5は式（1）に実測した鉛直方向の速度と加速度を代入して得られた余剰鉛直力と水平加速度から求めた水平力をベクトル合成した力をRe数に対して描点したものである。Re数が $4 \times 10^3$ 以上では球に作用している付加流体力は急激に増大している。

図-6は図-5に示した力を重力項に相当する力で無次元化して、Re数に対して描点したものである。ポリスチレン球の実験結果を除くと、この沈降中の球に作用している無次元付加流体力は、大雑束にみて、ほぼRe数の1/3乗に比例して大きくなっている。

4 むすび：固定球からの渦の放出は球の背面上を回転する位置で行われているが静水中を沈降している球からの渦放出は、ある平面を水平方向に正弦的に振動しながら沈降して行くことから、最初に放出される渦の中心と球の中心を含む平面で切断された球の両側背面から交互に行われ、球の位置と球に作用している水平力と鉛直力の関係から、可視化などの手法で確認することが必要ではあるが、沈降中の球からの渦の放出は水平振動が卓越している面内の球の振動中心線上で行われているものと考えられる。

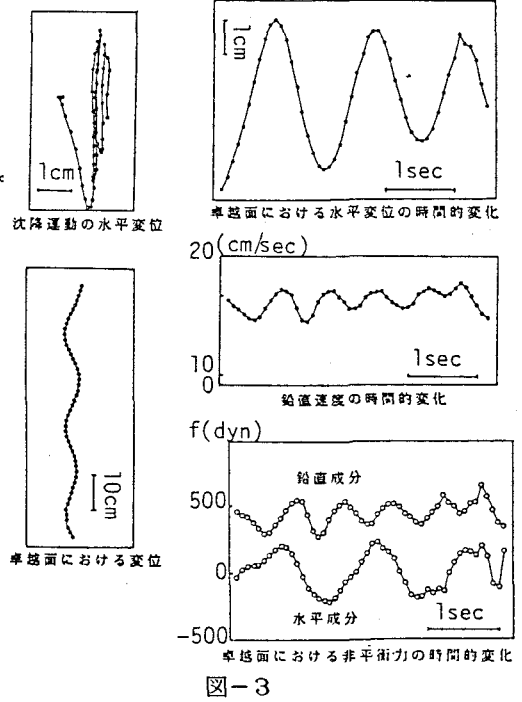


図-3

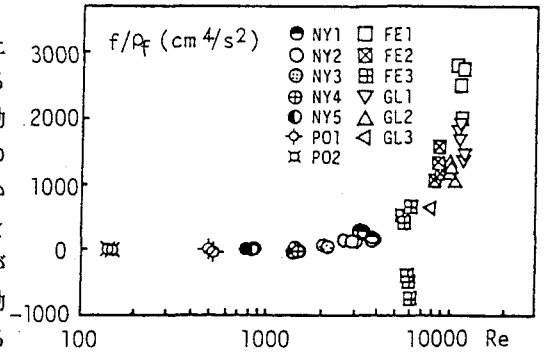


図-5 非平衡力とRe数の関係

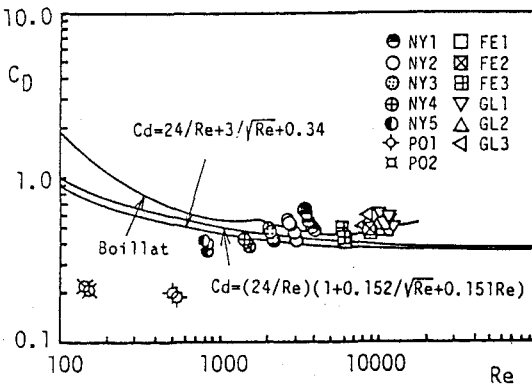


図-4 抗力係数とReの関係

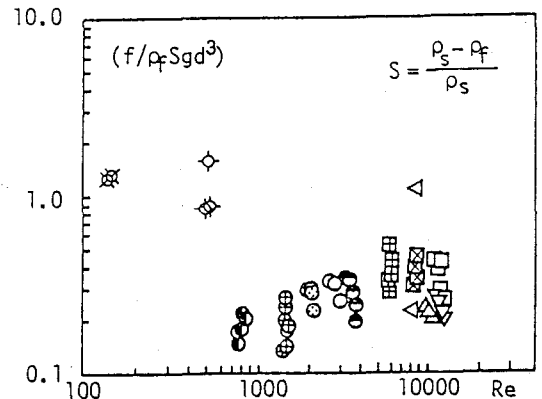


図-6 無次元非平衡力とRe数の関係