

1. はじめに 水中で砂粒子同士が衝突・反発する現象は、詳細まで明らかにされているわけではない。しかし実河川においては、それがエネルギー散逸を生み出す原因となるなど、流れに及ぼす影響は大きい。ここで砂粒子に関するパラメータの例として反発係数を取り上げてみる。Schmeeckle の研究¹⁾や昨年の研究からわかるように反発係数は常に異なるが、流砂力学に関する研究²⁾においては一定の値が用いられている。さらに、用いられている反発係数は0.5~0.9程度と研究によって値が異なっている。そこで、砂粒子の反発に焦点をあて、現象を明らかにすることが重要であるといえる。水中での砂粒子同士の反発は、体積や密度などのパラメータだけでなく表面の形状や重心のずれ、さらに水の粘性などが現象をきわめて複雑にする。従来の研究¹⁴⁾においても、粒子は回転しない、塑性変形が起こらない状態で、それらを理論的に最も単純化した粒子-壁面間の反発として進められてきた。本研究はそれらの結果を受け、より適した実験器具を用いて発展を目指す。また、Schmeeckle の研究結果や昨年までの研究結果では反発係数にかなりのばらつきがみられる。この原因は、衝突する物体同士が表面に持っている粗さ(凹凸)の影響であると推測し、従来の研究よりさらに拡大して壁面の表面に粒径に対し1/100~1/100000程度のオーダーの粗さを与えるとともに、粒子の粒径の大きさも数種類用意して反発への影響を調べる。

2. 水中での粒子-壁面の衝突時の現象 粒子が水中を沈降すると、やがて終端沈降速度($v_0=\text{const}$)に達する。壁面に衝突する直前では、潤滑理論によって示される水の粘性による抵抗が発生し、粒子の速度が低下する。潤滑理論の概略図を図-1に示す。そして、粒子は壁面に接触した後弾性変形し反発する。潤滑理論で表せる抵抗は、現在ではまだ明確でないため、これについても本研究で検討する。

3. 実験条件 図-2に実験装置を示す。水槽(縦52cm×横142cm×高さ29cm 壁の厚さ1cm)に深さ25cmまで水をいれ、水中20cmの高さからガラスビーズ(粒径 $d=10\text{mm}$ 密度 $\rho=2.2\text{g/cm}^3$ 粒径 $d=6.1\text{mm}$ 密度 $\rho=2.2\text{g/cm}^3$ 粒径 $d=4.2\text{mm}$ 密度 $\rho=2.1\text{g/cm}^3$ 粒径 $d=2.1\text{mm}$ 密度 $\rho=2.5\text{g/cm}^3$)を落下させ水槽底面に置いたステンレス板(縦10cm×横10cm×厚さ1cm)に衝突させる。そして粒子の運動を、ストロボスコープで光を与えながら CCD カメラ(KODAK ES1.0, 1008×1016pix)で連続的に撮影する。画像は、より短い時間間隔での粒子の軌跡を得るために1枚の画像に粒子像が2回写るように撮影する。撮影の手順は、

CCD カメラを連続モード(露光時間を約32msとし、毎秒30枚の画像をとる)に設定し、それをオシロスコープにつなぎ、ストロボを約60Hz (CCD カメラの周波数の2倍)にする。これにより、1秒間に30枚の画像と合計60個の粒子像が得られる。CCD カメラにより得られた画像データはフレームグラバーを通してPCのメモリに直接保存される。実験では、粒子がステンレス板に衝突する直前・直後の状態と、衝突までの速度の変化を見ることが目的であるため、カメラの視野を4cm(H)×4cm(W)にした。また衝突させるステンレス板については、表面の滑らかなもの(最大高さ $R_{\text{max}}=0.2764\mu\text{m}$)と表面にサンドブラストで粗さを与えたもの($R_{\text{max}}=16.10\mu\text{m}$)表面にシェーパー加工で粗さを与えたもの($R_{\text{max}}=104.65\mu\text{m}$)の3種類で実験を行い、それぞれ5回のデータをサンプルとして取り上げた。

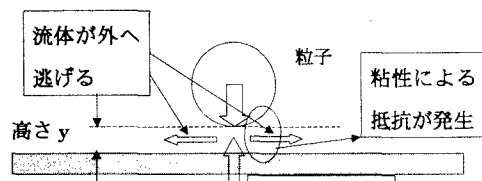


図-1 潤滑理論の概略図

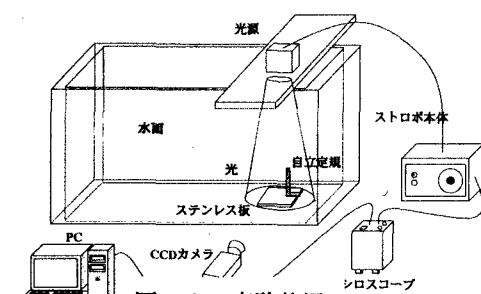
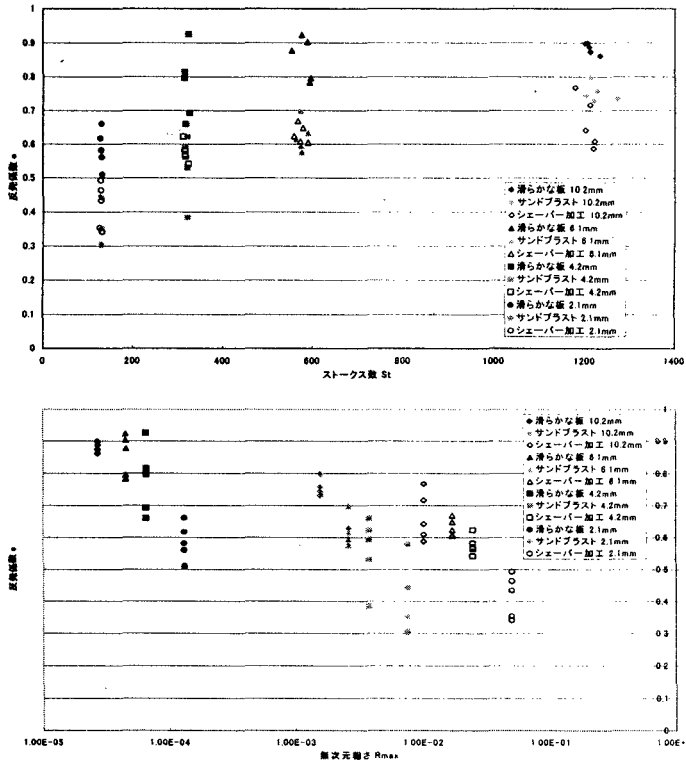


図-2 実験装置

4. 潤滑理論に示される抵抗の検討 以下にそれぞれの粒径、板における反発係数の標本平均と標準偏差、縦軸に反発係数、横軸に無次元粗さを取ったグラフ、縦軸に反発係数、横軸にストークス数を取ったグラフを示す。反発係数の標準偏差を観てみると、粗い板での反発は、滑らかな板の場合の反発に比べて、反発係数にかなりのばらつきが見られる。またばらつき具合は粒径が小さいものほどより大きくなっている。さらに同じ板での反発を比較してみると、粒径が小さくなるにつれて反発係数のばらつき具合は大きくなっている。

板の種類	粒径	標本平均	標準偏差
滑らかな板	10.2	0.884	0.016
	6.1	0.857	0.013
	4.2	0.778	0.036
粗い板(NO.1)	2.1	0.586	0.057
	10.2	0.753	0.027
	6.1	0.624	0.047
	4.2	0.557	0.108
	2.1	0.396	0.116
粗い板(NO.2)	10.2	0.664	0.076
	6.1	0.631	0.027
	4.2	0.576	0.03
	2.1	0.417	0.067



5. おわりに 本研究では、水中での粒子の反発に対する表面粗さと粒径の影響と、潤滑理論によって表される抵抗の検討を行った。前者について、粗さが大きい場合は粗さの小さい場合に比べ、反発係数にばらつきを与える。さらに粗さの影響は粒径の小さい物ほどより影響を受けている。また潤滑理論によって示される抵抗の効果については、 $St=1000\sim1200$ 程度ではほとんど影響がないといえる。しかし、 $St=100$ 付近では潤滑理論による抵抗の及ぼす影響は大きいと考えられる。しかし、本研究で問題点である CCD カメラの時間間隔の長さによって、衝突の直前・直後の状態をとらえにくかったため、今後の実験ではより周波数の高い（1秒あたりの撮影枚数の多い）CCD カメラを用いることを検討している。

参考文献 1)M.W.Schmeeckle THE MECHANICS OF BEDLOAD SEDIMENT Ph.D thesis, Univ. Colorado 1998
2)P.L.Wiberg・J.D.Smith A Theoretical Model for Saltating Grains in Water J.Geophys.Res.v.90 1985
3)G.Barnocky・R.H.Davis Elastohydrodynamic collision and rebound of spheres : Experimental verification Phys. Fluids v.31 1988