

京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志

京都大学工学研究科 正会員 酒井哲郎

京都大学工学部 学生員○谷川知実

1.はじめに 流砂量式・漂砂量式の普遍的記述には、ミクロスケールにおける流砂・漂砂機構についての研究を通じて、現象の力学特性を解明することが重要である。掃流砂に関しては、河床と頻繁に衝突しつつ運動するため、衝突・反発特性の把握が必要不可欠であり、更に、移動床においては衝突の瞬間に粒子床の配列が変化するため、固定床での衝突・反発とは異なった複雑な衝突・反発機構となるものと推測される。従来のsaltationの数値シミュレーションにおいて反発係数はモデル定数として経験的に済まされてきた。反発係数の合理的推定の基礎的情報を得るため、本研究では移動床における砂粒子の衝突・反発過程の物理実験を実施した。衝突・反発時の粒子の追跡により、衝突前後におけるエネルギー収支や粒子床の運動特性及び反発係数を算定し、衝突・反発事象の力学的考察を試みた。なお、ここで対象とするのは鉛直2次元の衝突・反発事象であるが、特に開水路における流砂の場合には、主流方向の流速が卓越するため、粒子運動量の3次元性はそれほど顕著ではないものと考えられる。

2.実験方法及び解析方法 本研究では、シリンダーを使った鉛直2次元場での衝突過程をビデオ画像解析によって分析する。測定にはハイスピードカメラを用い、1/240s間隔で画像を記録した。実験には図-1に示す実験装置を使用し、底面に置かれた粒子群への移動中の衝突についての実験を行った。装置は、5mm厚の透明アクリル板（アクリル樹脂キャスト）2枚を、シリンダー（ボーカーチップ）

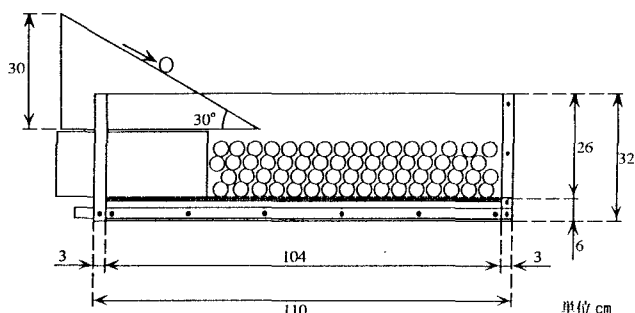


図-1 実験装置概略図

が鉛直2次元場で自由に運動できるように、シリンダーの厚さより僅かに広い間隔を隔てて直立させたものである。表面のアクリル板は取り外し可能な構造とし、これにより任意の配列が可能となる。衝突する粒子を加速するためのスロープは架台上を自由に移動できるようになっており、底質粒子の任意の位置に衝突させることが可能である。使用したシリンダーは、直径が3.79cm、厚さ0.340cm、重量3.26g、比重1.07g/cm³であり、シリンダー相互の物性値としての反発係数は0.910である。また、

シリンダーの、回転を計測するためシリンダーに線を引

いた。解析ではシリンダーの運動を連続して追跡するため、画像の重ね合わせが可能となるようにシリンダーの輪郭部だけを抽出した。すなわち、ビデオに撮影した画像をビデオインターフェイス内蔵のApple Power Macintoshに取り込み、グラフィックスソフトCanvasの線描コマンドで、ビデオ画像上にシリンダーの輪郭部だけを貼り付ける作業（図-2参照）を繰り返し、全てのシリンダーについて作業が終われば、ビデオ画像を消去して輪郭部だけのデータを保存した。これら一連の作業を繰り返した。

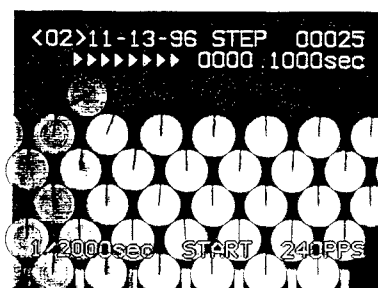


図-2 ビデオ画像と輪郭図

Hitoshi GOTOH, Tetsuo SAKAI & Tomomi TANIKAWA

3.実験結果及び解析結果 実験結果の一部を図-3, 4に示す。これは先の方法で得た各コマの輪郭部だけの画像を一連の衝突過程の間、重ね合わせたものである。ここでは、シリンダーの移動する様子が分かり易いように、初期配列（静止時）を破線で表示している。有意な運動を行ったシリンダーについては、実線で表示したので破線のみ表示部分は運動しなかったことになる。2つのケースの初期配列はともに同じであり、全ての隙間が均一になるように最下層のシリンダー間に木製の角棒を差し込み固定して強制的に隙間を設けることとした。シリンダー間隙は0.83cmである。実験において入射角は 30° とし、入射速度も一定にし

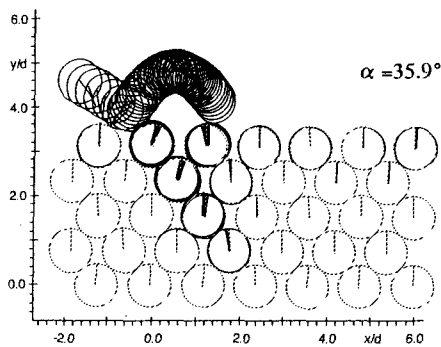


図-3 実験結果 Case1

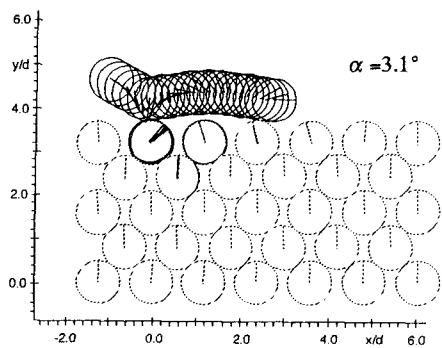


図-4 実験結果 Case2

た。図中の α は仮想反発面傾斜角である。図-5に示したとおり、 α とは、衝突する粒子間の接平面を仮想反発面と定義した場合のその傾き角である。これは衝突する粒子間の位置関係より一意的に決定されるので、衝突位置も反発面傾斜角に依存する。また、粒子の複雑な動きを解析する手段としては、仮想反発面傾斜角、仮想反発面上における反発係数、エネルギー効率を考える。 e は仮想反発面上での面に平行な成分、 f は面に垂直な成分の反発係数を示すとする。エネルギー効率に関しては、入射粒子の速度及び角速度から計算された粒子のエネルギーを用いて、衝突後のその粒子のエネルギー E_1 、粒子床の移動に費やされたエネルギー E_2 、摩擦エネルギー E_F 、の3者を規格化して表示した。なお、粒子床の移動に費やされたエネルギー E_2 は、各粒子の最大変位から求めた位置エネルギーより計算した。以上の結果を表-1に示す。

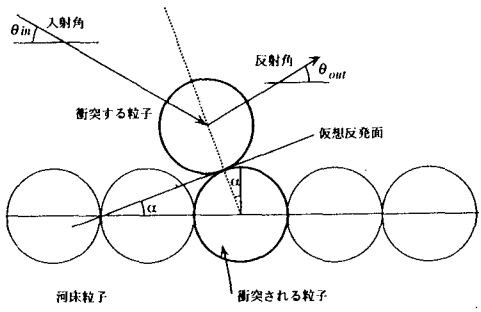


図-5 仮想反発面傾斜角の説明

表-1 解析結果

	α	e	f	E_1	E_2	E_F
Case1	35.9°	1.01	0.14	0.22	0.07	0.71
Case2	3.1°	0.94	0.21	0.74	0.02	0.24

4.考察 以上の結果から考えられる点は以下の通りである。衝突の際の粒子の移動幅については、必ずしも衝突位置から同心円上に広がるのではなく衝突位置から遠い隣の粒子の方がよく動くということもあり、複雑な動きをすることがわかった。また、反発係数 e 、 f は移動床において、衝突する位置すなわち仮想反発面傾斜角 α に依存していることがわかる。固定床ならば反発係数 e と f は一定のはずであるので、移動床における衝突・反発特性が固定床と比べて複雑なものであることが理解される。エネルギー効率も、やはり、仮想反発面傾斜角 α に影響されるものと考えられる。すなわち、仮想反発面傾斜角 α が小さい場合にはエネルギー E_1 （衝突後の粒子のエネルギーの残留率）が大きく、衝突による粒子床の移動に費やされたエネルギー E_2 （粒子床のエネルギー吸収率）が小さくなった。今後は更に実験を重ねて、反発特性の支配パラメータを明らかにしたい。