

II-69

saltation 粒子の衝突・反発過程の可視化実験

京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志
 同 上 正会員 酒井哲郎
 建設省 正会員 谷川知実

1. はじめに

漂砂・流砂の確率過程型の数値シミュレーションは、砂粒子の運動をLagrange的に追跡するため、種々の要因による砂粒子運動の不規則性を表現するのに有利な手法であるが、特に掃流砂のsaltationに関しては、砂層表面との不規則な衝突・反発を考慮した数値シミュレーションが良く用いられる。この種のシミュレーションでは、砂層表面での衝突・反発の不規則性を如何に表現するかが鍵であるが、通常、仮想反発面傾斜角を確率変数とし、反発過程における砂層のエネルギー吸収機構に関しては反発係数を経験定数として用いる方法が一般的である。しかし、現実の移動床では、砂層を構成する粒子のづれ動きによるエネルギー吸収が生じ、これが複雑に影響して反発特性が決定されており、この過程を支配する物理機構の解明がsaltationのシミュレーションの精度向上には不可欠である。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、衝突・反発時の粒子の追跡から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。

2. 実験及び解析の概要

本研究では、鉛直2次元場における衝突反発過程のビデオ画像解析を試みた。実験対象粒子は、直径 $d=3.79\text{cm}$ 、厚さ $\delta=0.340\text{cm}$ 、重量 $w=3.26\text{g}$ 、密度 $\sigma=1.07\text{g/cm}^3$ のシリンダー（ボーカーチップ）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。実験に用いた装置は、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。実験装置の概要を図-1に示す。装置の一端には、底質シリンダー層の固定壁と衝突するシリンダーを加速するための傾斜路が設けられており、固定壁・傾斜路ともに可動式で、底質シリンダーの配置やシリンダーの衝突位置の微調整が可能である。ビデオ画像の撮影は、サンプリング時間間隔1/240秒の高速ビデオカメラを用いて行い、シリンダーの運動を連続して追跡するための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する作業を実施した。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。

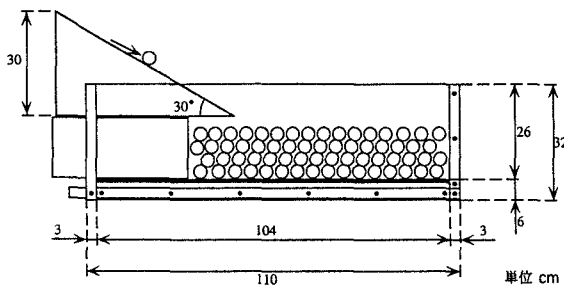


図-1 実験装置

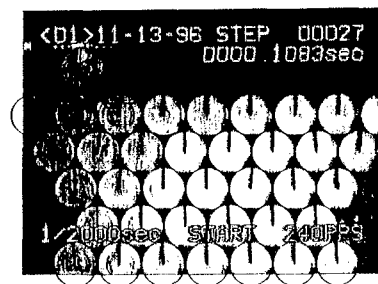


図-2 画像データの一例

キーワード：saltation, 衝突過程, 反発係数, 可視化実験

連絡先：〒606 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5098 FAX 075-761-0646

3. 実験結果

実験結果の例を図-3に示す。これらは先の方法で得られた瞬間像を一連の衝突過程について重ね合わせたものである。なお、シリンダーの移動の有無が分かり易いように初期配列（静止時）を破線で表示し、

有意な運動が見られたシリンダーについてののみ実線で表示している。ここで示す2つのケースは、初期配列、衝突するシリンダーの入射角および入射速度は同一であり、衝突位置（すなわち仮想反発面傾斜角）のみが異なっている。仮想反発面傾斜角が大きい $\alpha=35.9^\circ$ の場合は深い層にまで衝突の影響が及び、4層目のシリンダーにも有為な運動が見られるが、仮想反発面傾斜角の小さい $\alpha=3.1^\circ$ の場合はシリンダー群への影響はそれほど顕著ではない。また衝突の影響域の広がりには必ずしも同心円上ではなく卓越方向を有している。この種の画像情報から、各瞬間におけるシリンダーの移動速度および回転速度が計算できる。さらに速度に関する情報が得られれば、衝突するシリンダーの衝突前後の並進・回転の運動エネルギーが求められ、移動床との衝突におけるエネルギー収支が検討できる。衝突するシリンダーが失ったエネルギーの一部が衝突されたシリンダー群の移動に消費され、残りがシリンダー間接触の摩擦によるエネルギー損失となるはずである。ここでは、シリンダー群の移動に消費されるエネルギーは、シリンダー群を構成する粒子の最大変位に基づく位置エネルギーで与えられるとして算定した。図-3のケース以外にも、同様の解析を衝突位置（すなわち仮想反発面傾斜角）を変化させて繰り返し、エネルギー収支の計算を行ったのが図-4である。仮想反発面傾斜角が増大するにつれて衝突後のsaltationシリンダーの運動エネルギーが減少し、衝突によるエネルギー損失が大きくなる傾向が明瞭に示されている。また、図-3のシリンダー運動の結果からも分かるように底質シリンダー群のずれ動きに消費されるエネルギーも仮想反発面傾斜角とともに増加するが、解析の精度ではとらえることのできないほどの僅かなシリンダー群の運動による摩擦損失の増加傾向はさらに顕著である。

4. おわりに

今後は底質シリンダーの配列や衝突速度、入射角などの条件を変化させて解析を継続し、移動床におけるsaltation粒子の衝突・反発事象のメカニズムの解明に役立てたい。

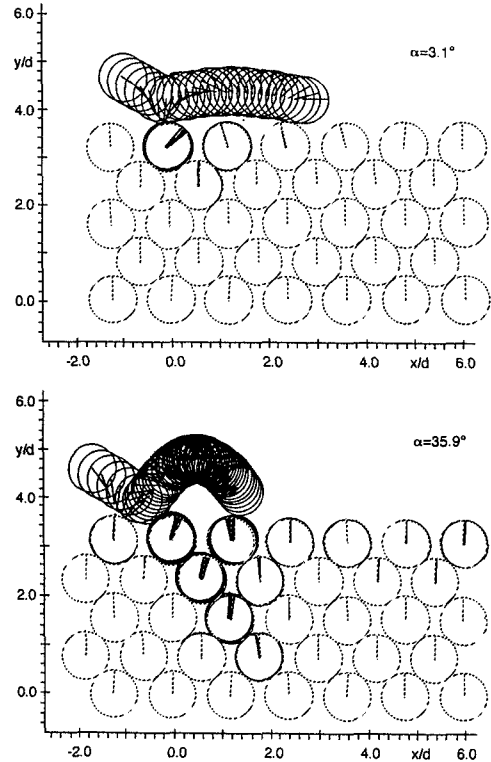


図-3 シリンダーの衝突過程

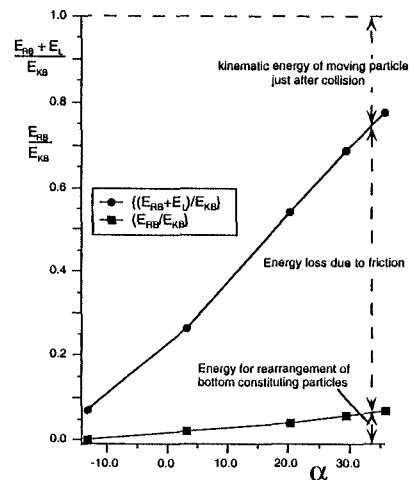


図-4 衝突過程のエネルギー収支