

Ⅱ－11

斜面流路における粒状体流動の実験

東北大学工学部 学生員 ○能登谷 武範
東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹
東北大学大学院 佐藤 栄司

1. はじめに

多くの山岳地帯、火山帯を有するわが国では土石流や火砕流などによる災害が絶えない。これらは砂礫群の流動現象であり、その流動のメカニズムの解明は防災対策を講じる上で必要不可欠である。砂礫群の流動現象に関する理解を深めるためには、粒状体の流動に関する知見が必要である。

そこで本研究では粒状体の流動に関する理解を深めるために、流路勾配、粒子の材質、流量を変化させその流動を観察した。そしてその観察結果から流速分布、濃度の相対分布を求めた。

2. 実験装置・実験方法

実験装置：実験装置を図-1 に示す。実験に用いる流路は幅 10cm、高さ 25cm、長さ 400cm の長方形矩形断面の可変勾配流路で、 $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の範囲で勾配を変化させることができる。側面は粒子流の様子を観察できるようにアクリル板でできている。流路の上流端には給砂を行うための装置が取り付けられている。この装置はモーターの回転数を変えることにより、給砂量を一定かつ自在に設定することができるような構造となっている。また底面における粒子の滑りを除外し、安定した粒子流を形成させるために、粗面を敷いた。粗面は、実験に用いる粒子と同様の粒子をベニヤ板に様に貼り付けたものを使用した。

実験方法：実験は、流路に勾配を与え、流路上端に設置した給砂装置から一定の給砂を行うことにより粒子流を発生させた。実験に用いた粒子は砂とガラスビーズとした。実験では、発生した定常な粒子流を下流端付近で高速度ビデオカメラを用いて、流動深、粒子移動速度、粒子の存在位置を測定した。高速度ビデオカメラの撮影時間間隔は $1/240\text{s}$ 、シャッタースピードは $1/4000\text{s}$ とした。また、定常状態は目視と下流端で流砂量を複数回測定することにより確認した。実験条件を表-1 に示す。

撮影された画像をコマ送りして、粒子を連続的に追跡しその座標を読み取ることにより、粒子の流下方向の移動速度 u 、流路鉛直方向の移動速度 v を算出した。粒子流は壁面の摩擦によって減速されているが、流路中央の流速分布は直接測定できない。そこで本研究では、李(1993)¹⁾の考案した方法により、流路中央の流速分布を推算した。李によれば、流路上方から観測される粒子速度分布が、流路中央の各高さにおいても生じているものと仮定し、測点における側面流速分布と表面流速分布を用いて、中央断面の粒子の速度を推算できる。また濃度分布については、得られた画像の数コマについて粒子の存在位置を読み取り、移動層の最下層に対する濃度の相対的な垂直分布を算出した。

表-1 実験条件

粒子	砂	ガラスビーズ
比重 (g/cm^3)	2.68	2.85
粒径 d_{10} (cm)	1.08	1.19
流路勾配 (度)	35.6	25.4
	37.3	27.0
	34.1	30.4
流砂量 (cm^3)	195	110
	257	146
		183

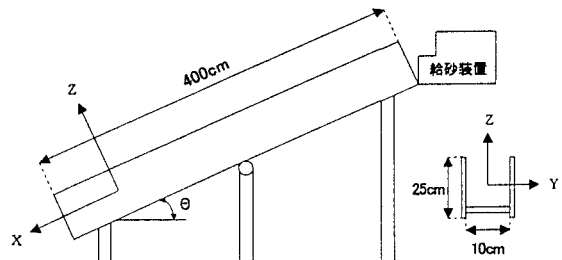


図-1 実験装置概略図

3. 実験結果および考察

多くの実験結果から粒状体の流動には、流路の勾配、流れの流量、粗度の影響を受け、なかでも勾配 θ の影響が大きいことが実験からわかった。勾配が粒子の安息角よりも小さいときには、流れは上流側からどんどん堆積し、定常な流れを形成することはできない。また勾配が大きすぎると移動層の表面付近の粒子が衝突などによりかなり分散されて、粒子濃度はそれによりかなり低くなってしまい、表面が非常に不安定になり安定した流れを形成できなくなる。また同じ勾配でも流量が増加すると、粒子濃度が大きくなり安定した流れを形成することができる。

図-2 は流速分布形の勾配による変化を示したものである。勾配が安息角付近において、流速分布形は移動層の上方向に向かうにつれて、急激にその速度の高さ方向の勾配が増加し、従って上に凸の分布形を描くことがわかる。しかし勾配を増加させていくと、速度の高さ方向の勾配は全層にわたって一様となるような流速分布形となることがわかる。

図-3 は流砂量を変化した場合の流速分布形を示したものである。図からわかるように、流量を変化させてもその分布形には変化がないが、流量が大きい場合、濃度が増加したぶん表面付近での急激な速度勾配の増加が多少は押さえられる形になることがわかる。

図-4 は濃度の移動層最下層に対する相対的な垂直分布を示したものである。この図から移動層での濃度変化は表面付近以外ではあまり変化せず、表層付近で急激に減少することが見受けられる。また勾配の変化による分布形の変化は、勾配が小さいほど表面付近における安定した流れから分散した流れへの変化に対応して、表層における濃度勾配が顕著になっていることがわかる。

図-5 は流路鉛直方向の乱れ強度の一例である。移動層下層ではそれほど乱れ強度は大きくないが上層に向かうにつれ増加していく傾向が伺える。また乱れ強度の増加の傾向は変化しないが、勾配が増加すると、乱れの強度は増加する傾向にある。つまり斜面勾配の増加にともない移動層における粒子濃度が低下し、衝突による運動量交換が激しくなって、濃度の低下に伴う接触による摩擦力の低下を衝突によるせん断力が補っていると考えられる。

4. 結論

本研究により得られた結論としては、斜面での流れの安定性に対して、流量、粗度、そして特に勾配 θ が重要なパラメーターであることがわかった。また流れの流動形態においても勾配の変化がもたらす影響が大きいことがわかった。

参考文献

1) 李 立亜・沢本 正樹・佐藤 忠浩(1993)：粒子間の衝突についての研究, 水工学論文集 第37巻 pp. 599-604.

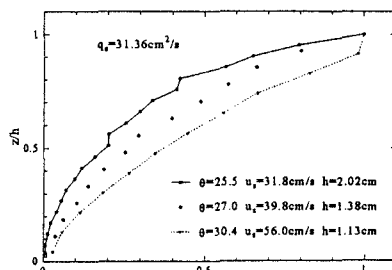


図-2 勾配変化による流速分布形の変化

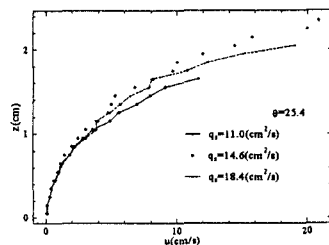


図-3 流量変化による流速分布形の変化

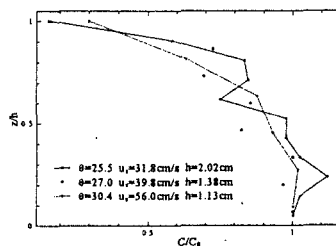


図-4 濃度の相対分布

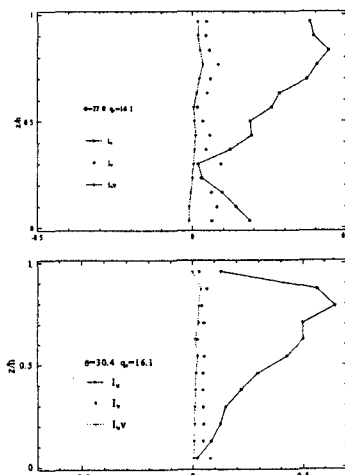


図-5 鉛直方向の乱れ強度