

II-152 固液混相水平噴流に関する研究

徳山工業高等専門学校
長岡技術科学大学
東洋設計(株)

正会員 ○渡辺勝利
正会員 福嶋佑介
広岡俊和

1. 序論

本研究は、固液混相水平噴流の流動特性を室内実験と理論解析により明らかにすることを、目的とした。実験では二種類の混相流体を用いた。一つは、砂と水との混合流体である。これは土砂を含む河川水が貯水池に流入する過程をモデル化したものである。二つめは軽量粒子と水との混合流体である。これは近年構想が進められている貯雪ダムの貯雪制御のための基礎資料を提供することを目的としている。軽量粒子の混相流体の研究は過去にその事例が殆ど無い。さらに、新たに開発した数値計算法により固液混相水平噴流の解析を行い、実験結果と比較した。

2. 実験

実験装置は、図-1に示した長さ180cm、水深100cm、幅30cm、の水槽内に幅10cmの内部水路を設け、上流端に幅10cm、出口厚さ0.9cmの噴流ノズルを取り付けたものを使用した。測定項目は、噴流の軌跡、流速分布、濃度分布、砂、及び軽粒子の堆積量の分布である。流速測定にはプロペラ流速計を濃度測定にはサイフォン採水を使用した。堆積量の分布は混相流体を一定時間放出させた後、堆積した粒子を10cm毎に分割して粒子を採取し乾燥重量より堆積量を測定した。実験に使用した粒子の特性および実験条件は、それぞれ表-1および表-2にまとめている。

3. 理論

従来の研究において固液混相水平噴流の数値解析は、その大半が流速分布と濃度分布のどちらかを仮定する巨視的な手法を用いたものである。この手法では流速分布と濃度分布を同時には求められない。本研究では、流速分布、濃度分布を未知数とする新しい計算法により固液混相水平噴流の数値解析を行った。図-2に固液混相水平噴流の模式図を示す。図中の記号Sは流軸を示しており、本研究では、最大流速の軌跡をそれと定義した。Nは法線方向を示している。解析で対象としたのは、二次元の定常な流れである。解析に当たって用いられた仮定は、(1) 圧力は静水圧分布とする、(2) 粒子の沈降による二次的な流れは無視できる、(3) 噴流の曲率半径は十分大きい、の三点である。このとき、基礎方程式は次の四式のように表される。(使用した記号の意味は、表-3に示した。)

$$\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial n} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} = f g s \sin \theta + \frac{\partial}{\partial n} (v_t \frac{\partial u}{\partial n}) \quad (2)$$

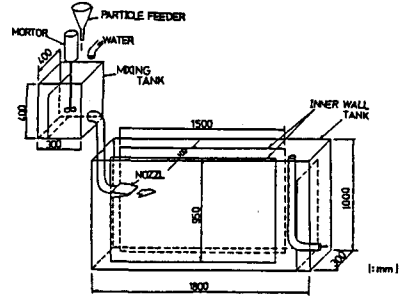


図-1 実験装置概要

粒径	砂	軽粒子	軽量粒子
名称	標準砂	4μm径の粒子	
粒径(mm)	0.16	1.08	
密度(g/cm ³)	2.645	0.83	
沈降(浮上)速度(cm/s)	2.5	2.5	

表-1 粒子性状

Run No	初期流速 (cm/s)	初期濃度 (%)	内部7μm ³ 数 F ₇₀	4μm径 ³ 数 F ₄₀	名称	4μm径 ³ 数
1	41.1	0	0	0	二次元定常噴流	
2	41.1	0.033	47.0		固液混相 水平噴流	3700
3	41.1	0.117	31.5	4.0		
4	41.1	0.225	22.7			
5	41.1	0.110	101.2	27.0		
6	41.1	0.170	81.4			

表-2 実験条件

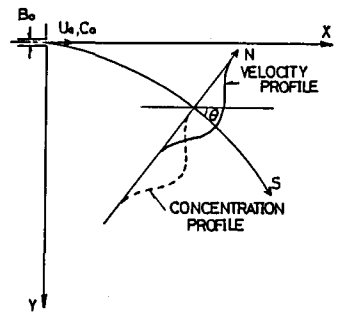


図-2 固液混相水平噴流模式図

- u: S方向の流速成分
- v: N方向の流速成分
- c: 濃度
- θ: S軸とX軸の成す角度
- v_t: 粒子の沈降(上昇)速度
- f: 相対密度差 (= (ρ_s - ρ_w) / ρ_w)
- ρ_s: 固液混合流体の密度
- ρ_w: 水の密度
- g: 重力加速度
- ν_t: 渦動粘性係数
- σ_t: 乱流シュミット数

表-3 表記記号

$$u^2 \frac{\partial \theta}{\partial s} = f g c \cos \theta \quad (3)$$

$$(u + v_s \sin \theta) \frac{\partial c}{\partial s} + (v - v_s \cos \theta) \frac{\partial c}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial c}{\partial n} \right) \quad (4)$$

(1)式は連続式、(2)、(3)式はそれぞれSおよびN方向運動方程式である。(4)式は固体粒子の拡散方程式である。

差分幅の流下方向変化を考慮して数値解を求める著者らの方法を式(1)から式(4)に適用して、噴流幅の変化と流速分布、濃度分布を求めた。この方法は差分化された微分方程式と全領域の積分方程式を同時に解く方法であり、密度差のない二次元噴流、壁面噴流に対しては良好な結果が得られている(福嶋、渡辺、1986)。

4. 解析結果と実験値の比較、検討

図-3は、軽量粒子を含んだ混相噴流RUN6と理論値の比較を行ったものである。理論値は上流域に於ては最大流速、最大濃度、及びそれらの分布形を的確に再現している。下流域では、濃度分布に於て若干の差異が認められる。これは主流の運動量の減衰により粒子の離脱が、活発になり噴流幅が広がるためだと思われる。図-4は軽量粒子の堆積量の分布と理論値を、重ね合わせたものである。RUN6に於ては、理論値はやや大きめに堆積量を予測しているが、RUN5では実験値と理論値の対応は、非常に良好であった。

5. 結論

(1) 固液混相水平噴流を実験的に検討し、流速分布、濃度分布の非対称性を明らかにした。また、内部フルード数の変化に伴う最大流速、最大濃度の軌跡の分離状況を明らかにした。

(2) 流下方向に流れの領域が変化する流れの数値解析法を、固液混相水平噴流に適用した。内部フルード数の大きい慣性力が卓越し、噴流の曲がりか緩やかな場合には、この解析手法はかなり有効であることが確認できた。しかし、二次的な流れが卓越しかつ噴流の曲がりか大きい場合には、濃度分布の境界条件を再考する必要がある。

参考文献

- 1) 福岡捷二、加納敏行、守屋洋一；二次元液-液および固-液混相水平噴流に関する基礎的研究、土木学会論文報告集第310号1981年6月
- 2) N. Rajaratnam; Turbulent jet, 野村安正訳、森北出版
- 3) S. V. Patankar and D. B. Spalding; Heat and Mass Transfer in Boundary Layer, 2nd ed., Inter Text, London, 1970
- 4) 松下祐輔、篠崎壽夫；工学のための応用数値計算法入門(下)、コロナ社

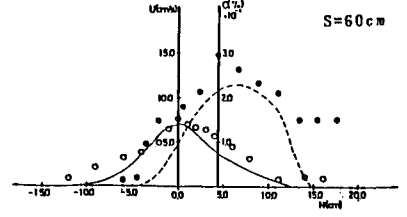
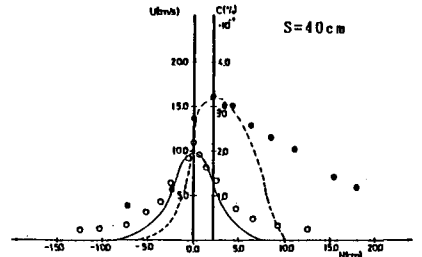
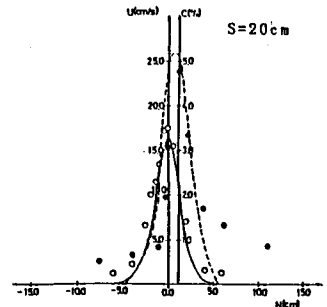
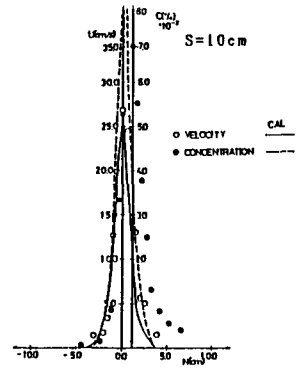


図-3 実験値と理論値の比較(流速、濃度分布)

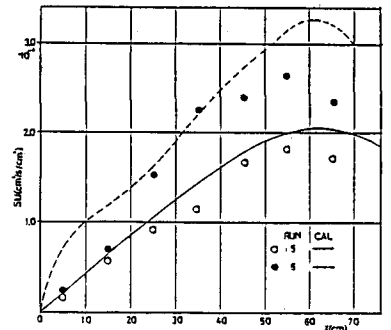


図-4 実験値と理論値の比較(堆積分布)