

開水路浮遊砂流の抵抗特性に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正員 今本博健
 京都大学大学院 学生員 浅野富夫
 京都大学大学院 学生員 ○大年邦雄

1. はじめに

開水路混相流の研究はVanoni¹⁾によって始められ、浮遊砂濃度が大きいほど抵抗係数およびカルマン定数は減少するという実験結果を得ている。このような特性について室田²⁾、椿³⁾、志村⁴⁾らは運動方程式から説明づけを行っている。一方、中立浮遊粒子流では、逆に濃度の増加によって抵抗係数は大きくなることをElata およびIppen⁵⁾が実験的に見出している。そこで日野⁶⁾は、見かけの密度勾配の形成という点以外に固体としての粒子の存在を十分に考慮した粒子浮遊流のエネルギー方程式を新たに導き、これを乱れの加速度平衡方程式よりこれらの実験結果(粗面・浮遊砂流および滑面・中立浮遊粒子流)を統一的に説明し、定性的にも定量的にもある程度解明されたとされていた。しかしながら、滑面・浮遊砂流あるいは粗面・中立浮遊粒子流については未だに実験的にも確認されているとはいえず、また日野の説明は円管路におけるDurand⁷⁾の実験結果と矛盾しているようであり、固液混相流の水利特性について再検討が必要なようである。

このような状況に鑑み、本研究ではまず従来より実験的検討が遅れていた滑面・浮遊砂流を取り上げ、その抵抗特性に及ぼす粒子濃度の効果を実験的に明らかにしようとしたものである。

2. 実験装置および方法

従来の実験は、主として、循環式水路で実施されていたが、本実験では、1)流量制御を正確に、2)給砂を確実に、3)濃度を正確に、4)水温を一定に、という観点から、図-1のような非循環式水路を使用した。すなわち、循環式水路を用いて給砂開始とともに水路下流端で排水する非循環式とし、流量一定のもとで抵抗係数(水深)が濃度によってどのように変化するかについて検討している。なお、流量は各計測ごとに水路下流端において流量ますで測定されており、また低水槽の水位変動に伴う流量の変化は高水槽に設けられた台形せきの越流水深の監視より無視されるほど小さいことが確認されている。また、水深計測においては、多数のポイントゲージを水路に固定し、各点における計測を同時にそれぞれ数回繰り返すことにより計測精度の向上に努めている。

さらに、低濃度の浮遊砂流を得るためには微量の砂を水路幅全体にわたり長時間安定して供給されるよう努力されている。また、浮遊砂の平均重量濃度は水路下流端においてますで受けた流水より算定し、濃度分布は水深計測区間の中央においてサイフォン式採水器(採水口 $2 \times 20\text{mm}^2$)を用いて計測されたが、濃度分布はRouseの式と比較的よい一致を示している。なお、本実験では $d_m = 0.0152\text{cm}$ 、 $d_{84}/d_{16} = 1.38$ の圭砂7

表

	Vanoni	著者
水路	循環式	非循環式
水温	上昇	一定
流量計測	ベンチュリー管	せき、流量ます
水深計測	ポイントゲージ	ポイントゲージ
濃度計測	採水	採水
路床	粗面	滑面
実験条件	水深一定	流量一定

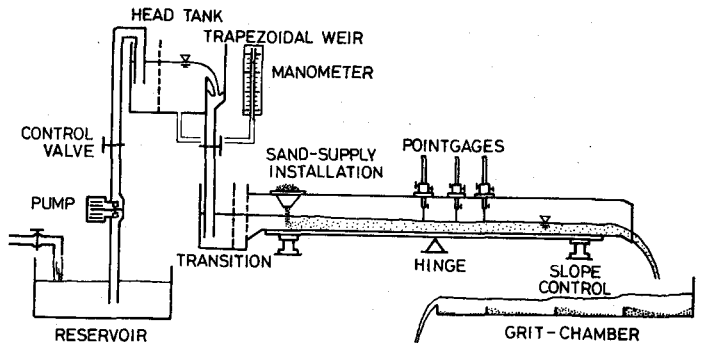


図-1

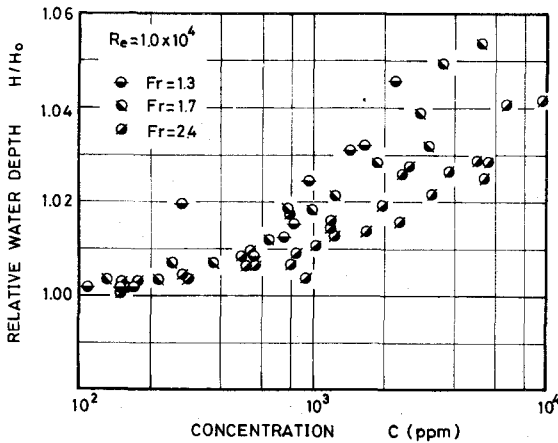


図-2

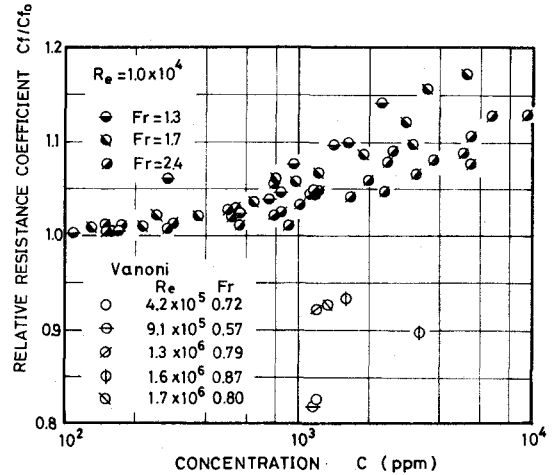


図-3

号が用いられている。

以上のような実験装置および方法をVanoniのものと比較してまとめると表のようであって、いずれについても計測精度はかなり向上されているものと考えられる。

3. 実験結果

図-2は一定流量のもとで計測された水深 H と平均重量濃度 C_m との関係を示したものであって、 H は清水流における水深 H_0 で基準化して表示されている。なお、図に示された3種のフルード数 Fr における摩擦速度 $U_f = \sqrt{gH_0 I_b}$ (I_b は路床勾配)はそれぞれ $U = 5.06, 3.96$ および 3.12 cm/sec であって、いずれも実験に用いた砂の沈降速度 w_0 よりも十分に大きく、対象とした流れが浮遊砂流であることが確認されている。図において H/H_0 は C_m の増加とともにほぼ一様に増加しているが、この割合は給砂による流量増加の割合よりも著しく大きく、浮遊砂流の特性そのものであると考えられる。また、 H/H_0 と Fr との関係に着目すると、 Fr が小さいものほど H/H_0 の値は若干大きくなっている。これは一定流量のもとでは Fr が小さいものほど w_0/U_f が大きくなり、粒子が流れに及ぼす影響が大きいことによるものと考えられる。なお、本実験においては滑面上の流れを対象としているため、アクリル製の路床面上に粒子の堆積が認められるような高濃度の実験については行われていない。

一方、図-3は図-2の結果を抵抗係数 $C_f = 2 / (U_m / U_f)^2$ (U_m は断面平均速度)で表示しなおしたものであって、 C_f も C_m の増加とともに明らかに増加している。なお、図に示された実験ケースにおいて水深の増加量は最大1mm程度であるが、少なくとも定性的には C_m の増加とともに H も増加しており、滑面上の流れにおいては C_f も C_m とともに増加するとみなすことができる。また、図-3には粗面上の流れを対象としたVanoniの実験結果についても併示されているが、本実験結果はこれとまったく逆の傾向を示しており、日野の統一的説明とも相反するものである。なお、このように C_m の増加に伴って C_f も増加するという傾向は、円管路における計測結果とも一致しており、浮遊砂流そのものの特性とも考えられる。

以上のように、開水路浮遊砂流の抵抗特性として従来のものとまったく異なる興味ある結果が得られたが、今後は粗面上の流れをも対象とし、また粒子の粒径、形状、比重、沈降速度、粒度分布の状態、濃度勾配などの効果についても検討を加え、開水路浮遊砂流の水理特性を再検討していく予定である。

参考文献

- 1) Vanoni: Proc. ASCE, 70, 1944.
- 2) 室田: 土木学会誌, 38-11, 1953.
- 3) 椿: 土木学会誌, 40-9, 1955.
- 4) 志村: 土木学会論文集, 46, 1957.
- 5) Elata and Ippen: Technical Report, 45, MIT, 1961.
- 6) 日野: 土木学会論文集, 92, 1963.
- 7) Durand: Proc. IAHR, 1953.