

II-152 開水路における非ニュートン流体の流れについて

山梨大学工学部 学生員 三浦美香

山梨大学工学部 正会員 荻原能男

山梨大学工学部 正会員 宮沢直季

1. はじめに

甚大な被害をもたらす土石流あるいは泥流の流動機構を解明することは、防災上、重要な問題である。これらは、含有する土砂の粒径、種類、比重および濃度等さまざまであるが、いずれも水と土砂の混ざり合った固液混合流体とみなすことができる。本研究は固液混合流体が開水路を流れるとき、等流水深、平均流速などの水理量が土砂が含まれるとどのように変化するかなどの抵抗則を水だけの場合と比べて明らかにするため、水とベントナイトの混合流体を用いてモデル実験を行い検討しようとしたものである。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は図-1に示すものを作製した。

開水路は幅10cm、長さ2mの長方形断面で、塩化ビニール製である。ポンプにより吸い上げられた流体は、高水槽へ上げられ、そこから開水路へ流れ出し、低水槽へ戻り、再びポンプで吸い上げられ循環している。流量の調節は、高水槽の下バルブで行う。また、ポイントゲージは開水路上に固定しており、水路床こう配の調節は滑車で行う。

実験は、混合流体作製後開始した。まず水路床こう配を定め、流量を調節する。流量を測定し、一定になることを確認した後、開水路での水深を測定する。これを水路床こう配、流量を変え、更に、混合流体の体積濃度を变化させて同様に進行。体積濃度測定にあたっては、試料の全重量の測定の後、24時間乾燥重量を得て、別途計測されたベントナイト比重を用い算定する。

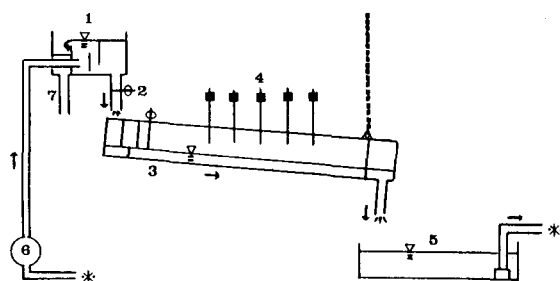
3. 実験結果および考察

3.1 等流水深と流量の関係

実験により得られた等流水深と流量の関係を図-2に示す。図は、それぞれ水路床こう配を $\theta=2.5^\circ$ 、 5.0° 、 7.5° 、 10.0° と变化させたものである。まず水の場合、層流域では等流抵抗則から、等流水深は流量の $1/3$ 乗に比例し、また乱流域ではマンニングの平均流速公式より、等流水深は流量の $3/5$ 乗に比例すると考えられる。実験では、水の場合、実験装置の性質上、乱流域しか測定できなかったが、グラフの傾きは水路床こう配にかかわらず、ほぼ $3/5$ となり、理論と一致した。これより、この実験装置は、実験目的を果たすうえで有効とする。

次に、ベントナイトが混合した場合についてみると、グラフの傾きが変化する点を見いだせる。この点が限界レイノルズ数を与える流量である。水の場合は、乱流域しか測定できなかったが、濃度の増加とともに層流域が多くなっていくことがわかる。

また、等流水深についてみると濃度の増加とともに水深も増していくことがわかる。たとえば、水路床こう配 2.5° のときをみってみる。水の場合と比べて体積濃度3.65%のとき、水深は、流量 $2000\text{cm}^3/\text{s}$ で3.08倍、 $1000\text{cm}^3/\text{s}$ で3.80倍、 $100\text{cm}^3/\text{s}$ で6.49倍になっている。また水路床こう配 10.0° のときは、同様に、流量 $2000\text{cm}^3/\text{s}$ で2.00倍、 $1000\text{cm}^3/\text{s}$ で2.81倍、 $100\text{cm}^3/\text{s}$ で5.08倍になっている。水路床こう配が小さく流量が少な



1-tank(high); 2-valve; 3-model of open channel;
4-point gage; 5-tank(low); 6-pump; 7-over flow;

図-1 実験装置

いとき、水深の増加率も大きいことがわかる。このように、体積濃度の増加とともに水深が増えるのは、混合流体の粘性、降伏強さなどの物性値が、水の場合と比べ、濃度が増すにつれて増加するためと考えられる。

3.2 体積濃度と粗度係数の関係について

実験により得られたレイノルズ数と粗度係数の関係を図-3に示す。層流域と乱流域での限界レイノルズ数を500とすると、実験データは水の場合ほぼ乱流域、濃度の増加とともに層流域が多くなっていくことがわかる。また粗度係数は、マンニングの平均流速公式から $m-s$ 単位で求めたが、乱流域ではほぼ一定である。これは、マンニングの平均流速公式は、乱流域について適用するものであるからである。この乱流域の粗度係数のデータを平均して、体積濃度との関係を示したものが図-4である。水の場合、粗度係数は、0.0086となった。実験で開水路に用いた塩化ビニールは、きわめてなめらかな材質であり、実験結果と適合している。また、濃度の増加とともに粗度係数が上がっていくが、これは、先に述べたように、混合流体の物性値の変化によるものと考えられる。

4. おわりに

本実験により、水とベントナイトの混合流体について、体積濃度の違いによる開水路における流れの変化が確認できた。今後、これらの実験結果をふまえて、さらに、体積濃度と粘性、降伏強さなどの物性値の関係を明らかにし、開水路における固液混合流体の抵抗則の指標化を検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 山岡、藤田、長谷川、星：火山灰、軽石の集合流動（泥流）の発生領域と防災に関する研究—流路工内を流れる泥流の平均流速に関する実験、文部省科学研究費研究成果報告書、p4～19、昭和56年
- 2) 本間仁：標準水理学、丸善

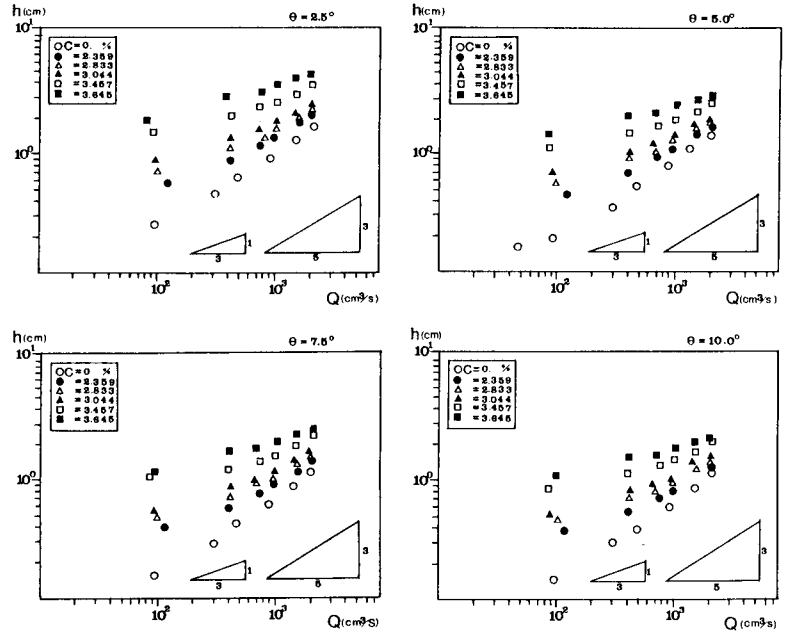


図-2 流量と等流水深の関係

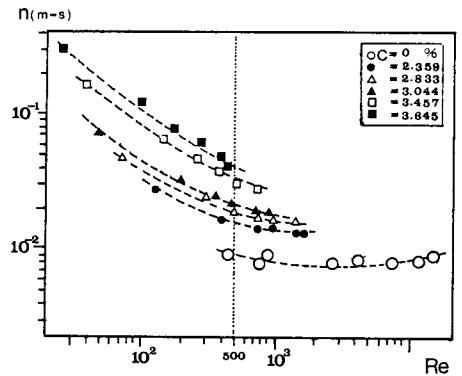


図-3 レイノルズ数と粗度係数の関係

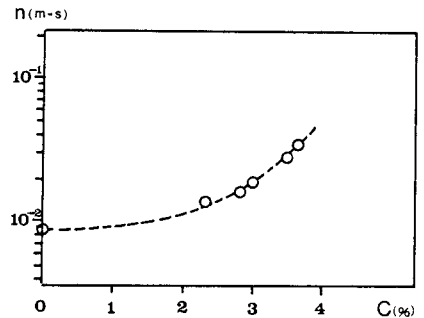


図-4 体積濃度と粗度係数の関係