

II-192

開水路における非ニュートン流体の流れについて

山梨大学大学院 学生員 三浦美香

山梨大学工学部 正 員 荻原能男

1. はじめに

筆者らは、非ニュートン流体の代表的モデルであるビンガム流体について、その開水路での基本的流動特性を解明するため、水とベントナイトの混合流体を用いて実験を行い、理論解析と併せて検討してきた。まず、開水路流れの解明に先立ち、混合流体の物性値を管路実験から算出した。開水路等流流れについては、混合流体の体積濃度によって等流水深が異なること等が明らかになった。これらについては、既に前回までに報告している。^{1) 2)}

そこで、本報では、混合流体の不等流流れについて、開水路にダムを取り付けて行った実験結果を示す。実験では、混合流体の濃度の違いによる流れの様子を調べ、これらの結果をもとに跳水、限界流について考察した。

2. 不等流実験について

不等流実験は、水路幅10 cm、長さ2 mの開水路の水路床勾配を水平にして、図1に示すようなダムを取り付けて、ダム越流前からダム越流後にかけての流れの様子を調べた。なお、実験の概要は図1に示す通りであり、以後の考察には、これらの記号を用いることにする。

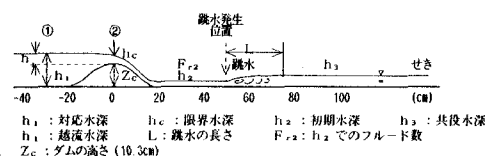


図1 開水路不等流実験概要

3. 不等流実験結果

実験結果の一部を図2に示す。ここに示すものは流量が約1500 cm³/sの同流量のものである。それぞれ、水面形、比エネルギーE、比力F、フルード数Frを示した。

まず、水の場合、ダム越流後射流となり、跳水が発生して常流となった。比エネルギーはダム越流前からダム頂上では等しく、跳水によってエネルギーを損失している。一方、比力は跳水前後でほとんど等しくなっている。

体積濃度C=2%程度までの低濃度では、流れの様子は水の場合とほとんど変化がなかった。C=2.54%になるとダム越流前はそれまでと同じでほとんど変わらないが、跳水が出来難くなり、射流域でエネルギーを損失した。また、跳水発生後、水面の揺れがいつまでも続いていた。

更に、濃度を増していき、C=3%になると、跳水がダム付近で起こるようになった。

本実験で得られた最も高い濃度C=3.86%では、図に示すようにダム頂上付近で既にエネルギー損失がみられ、ダム越流後、射流域は現れず、ダムを越えてその流体が溜まっているような、ニュートン流体とは全く異なる水面形を示した。

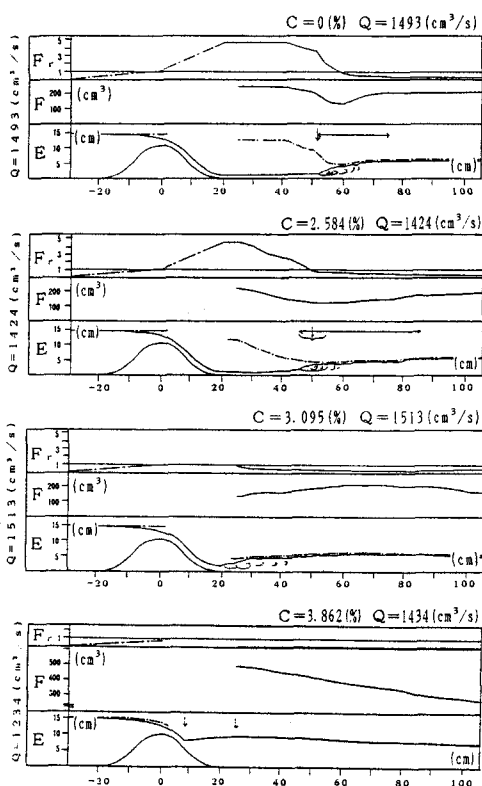


図2 不等流実験結果

4. 跳水について

一般にニュートン流体での跳水は水平な長方形断面水路について次式のような基本的特性がある。

$$h_3/h_2 = 1/2 (\sqrt{1+8F_{r2}^2} - 1) \quad (1)$$

この式(1) についての実験結果を図3に示す。跳水が発生する範囲の濃度では混合流体でも式(1) の特性をほぼ満たしていることが判る。

5. 限界流について

ダム頂上での水深を限界水深 h_c とし流量との関係を図4に示す。限界水深は濃度が低い場合は水とほとんど変わらないが、体積濃度 $C=3\%$ を越えたあたりから急激に増加していることが判る。

これは、やはり混合流体の物性値である粘性と降伏応力の増加に関係していると思われる。そこで降伏応力によるビンガム流体特有の栓流の厚さが限界流にどのように影響しているか、図5に示すようにダム付近の栓流の様子を調べた。これは、実験で得られた水面形からエネルギー勾配を求めて壁面剪断応力 τ_w を計算し、先に求めた降伏応力 τ_0 ²⁾と併せてそれぞれの位置での栓流の厚さ τ_0/τ_w を求めたものである。この図から上流側からダム頂上にかけて、栓流が崩れていく様子が判る。また、ダム頂上の限界水深付近において、栓流は、体積濃度 $C=4\%$ では水深の10%程度を占めているが、 $C=3\%$ では水深の2%にも満たないことが判る。図4に示したように限界水深は $C=3\%$ 程度から急激に増加しており、この栓流の厚さが目立つところから、増加しているといえる。このように限界水深は栓流の厚さと大きく関係していることが判った。

また、図1のダム上流側の①断面から限界水深となる②断面との間のエネルギー損失 ΔE を調べた結果を図6に示す。ニュートン流体の場合、この間のエネルギー損失はほとんどないものと思われる。この図から体積濃度 $C=3\%$ を越えると ΔE は急激に大きくなっていることが判る。このようにエネルギーが失われたのは、粘性の増加により側壁との摩擦が生じたのと、図5で示したように栓流が崩れていくのにエネルギーが使われたためと考えられる。

6. おわりに

本研究により開水路でのビンガム流体の流れは、混合流体の濃度による物性値によって変化することが明らかになった。これらを実際に土石流や泥流の流れに応用することが今後の課題である。

- <参考文献> 1) 三浦、荻原、宮沢：土木学会第42回年構概要集第2部、pp. 334~335、昭和62年9月
2) 奥野、荻原、三浦：土木学会第43回年構概要集第2部、pp. 360~361、昭和63年10月

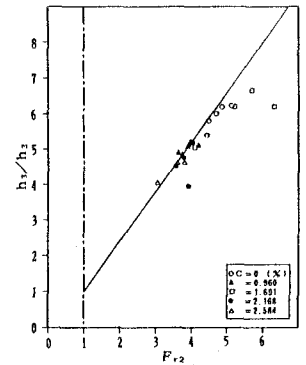


図3 跳水の F_{r2} と h_3/h_2 の関係

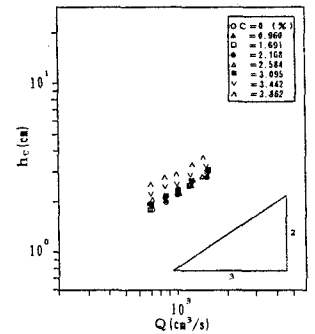


図4 流量と限界水深の関係

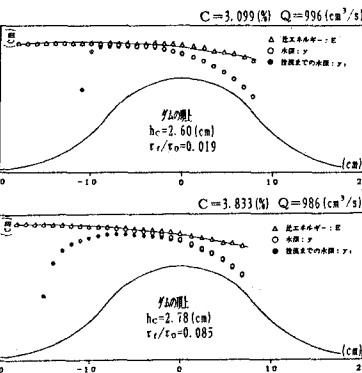


図5 ダム付近の栓流の様子

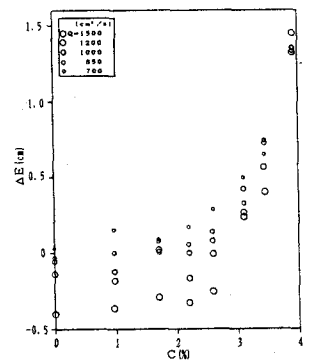


図6 濃度によるエネルギー損失の変化