

14 透過型砂防堰堤を通過する泥流のハイドログラフ推定に関する研究

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○水野 秀明
 サレルノ大学工学部土木工学科 Vittorio BOVOIN
 独立行政法人土木研究所 仲野 公章

1. はじめに

1998年5月にイタリア共和国カンパーニャ州サルノ市で多数の泥流が発生し、住宅地域に流れ込んだ結果、161名もの犠牲者がでた(水野ら、2001)。また、2001年4月5日以降、北海道有珠山において泥流が発生し、下流の住宅地域が被災した(杉浦ら、2000)。このように泥流による災害は世界中で発生しており、その対策に関する研究が求められている。

透過型砂防堰堤は泥流に対してピーク流量を減少させる効果を持つ(水山ら、1988、水野ら、2001)と報告されたが、スリット幅や泥流の土砂濃度などがその効果に与える影響を系統的に検討した事例はない。そこで、本研究はそれらの影響を明らかにすると共に、それらの影響を考慮したハイドログラフの推定手法の開発を目的とする。

2. 実験

2.1 実験の概要

実験は定常状態の泥流を対象として行った。図-1に実験装置を示す。水路は 10° 、 15° の2種類に設定し、ポンプの回転数は勾配の変化に関係なく一定とした。図-2にダム模型を示す。細粒成分としてベントナイト、粗粒成分として砂を混ぜた土砂を実験に用いた。沈殿限界と分断限界(Coussot(1997))の計測結果(図-3)から、材料1(C=40%, $\phi=9.5\%$ 、平均粒径0.20mm、95%粒径0.86mm)と材料2(C=20%, $\phi=27.5\%$ 、平均粒径0.17mm、95%粒径0.70mm)の2種類を準備した。なお、Cは土砂容積濃度、 ϕ は細粒成分が土砂全体に占める割合である。実験の手順は次の通りである。ポンプと攪拌機を始動させて、混合物を水路内に供給する。水路内の流れの波高が定常な状態になることを確認した後、ビデオ撮影と土砂採取箱による泥流の採取を開始する。一箱目の採取の後、ダム模型を吊り下げていたひもをはずす。約10秒程度の間、流出物を採取し、その体積を計測し、流量に換算する。

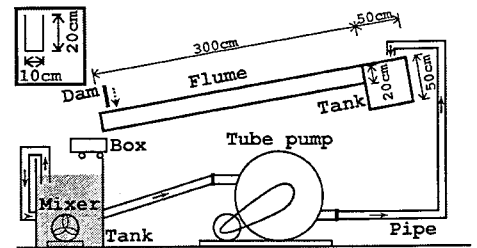


図-1 実験装置

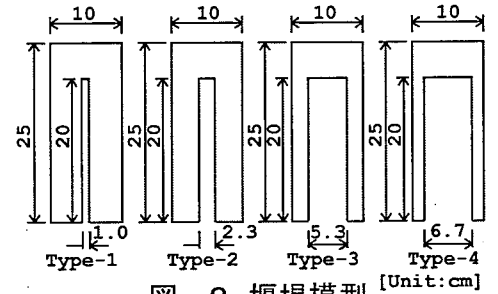


図-2 堰堤模型 [Unit: cm]

2.2 実験の結果

図-4は流量の時間変化で、材料1(M1)と材料2(M2)の 10° の場合である。流量はダム模型を投下した直後に急激に減少し、その後徐々に増加した。L/B(L:スリット幅、B:流路幅)が小さい程、流量がより長い間低く抑えられた。材料1の流量は材料2に比べて少なかった。図-5は流量の減少割合を示したもので、X軸にL/B、Y軸に流量の最小値(Q_{min})と定常状態(1箱目)での値(Q_{in})の比(Q_{min}/Q_{in})をプロットした。 Q_{min}/Q_{in} はL/Bが小さくなるにつれて小さくなった。特に、L/B=0.1の場合、材料1の結果は材料2に比べて低い値であった。これは、スリットを通過する際に損失するエネルギーについて、材料1は材料2に比べて大きかったためである。図-6に波高の事例(Type-1で勾配 10° の場合)を示す。

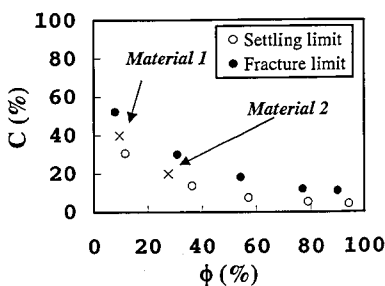


図-3 沈殿限界と分断限界

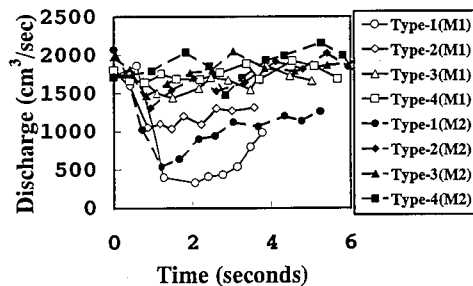


図-4 流量の時間変化

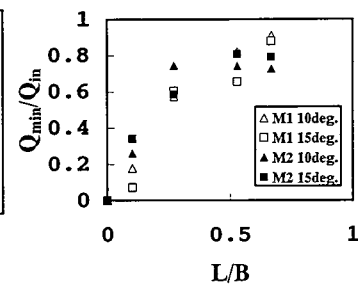


図-5 流量の減少割合

3. 数値計算

3.1 基礎方程式

基礎式は連続式(式(1))と運動量方程式(式(2))で、Aguirre-pe et al(1995)のモデルを用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = 0 \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = gh \sin \theta - gh \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - 3\nu \frac{u}{h} \quad \dots(2)$$

ここで、h:水深、u:速度、 θ :水路勾配、 ν :動粘性係数である。流れの密度は一定と仮定した。また、圧力は静水圧分布であると仮定し、動粘性係数は流れが計算の初期条件で定常になるように与えた。なお、Aguirre-pe et al(1995)のモデル中の運動量補正係数と粘性項の補正係数は共に1とした。

3.2 透過型砂防堰堤に関する境界条件

境界条件は水野ら(2001)の方法を用いた。つまり、スリットからの流出量は流れ込む流れの有するエネルギーで流れうる最大量であると仮定する。なお、段波が生じる条件は式(3)のように書ける。式(3)が満たされる場合は、境界条件としての流量を式(4)で与え、また、水深は境界条件を与える地点から1つ上流側の計算点における値と同じとした。また、式(3)を満たさない場合の境界条件は式(4)で $q=q_B$ とし、水深と流速ともに境界条件を与える地点から1つ上流側の計算点における値と同じとした。

$$r \leq \sqrt{\frac{27}{8} F_r} \left(1 + \frac{F_r}{2}\right)^{-1.5} (1 + \alpha)^{1.5} \quad \dots (3) \quad q_B = \sqrt{\frac{27}{8} F_r} \left(1 + \frac{F_r}{2}\right)^{1.5} (1 + \alpha)^{-1.5} \cdot q \quad \dots (4)$$

ここで、 F_r : 境界条件を与える地点から1つ上流側の計算点における流れのフルード数、 r : 流路縮小率 ($=L/B$)、 α : 係数、 q_B : スリットから流出する単位幅当たりの流量、 q : 境界条件を与える地点から1つ上流側の計算点における流量である。

3.3 数値計算の結果と実験結果との比較

計算は MacCormack 法(TVD 法) (瀬田ら、1992)を用いた。離散化などは引用文献に詳細に記載されているので、ここでは省略する。係数 α は各材料で Type-1 に着目して、流量(最小値)の計算結果が実験結果に合うように調整し、その値は材料1の場合 1.00、材料2の場合 0.00とした。上流の境界条件は流路の上流端(水路下流端から300cm上流の地点)に与えた。波形の時間変化、単位幅流量の時間変化(Type-1)の事例と、流量の減少割合の計算値と実験値の比較をそれぞれ図-6、7、8に示す。なお、単位幅流量は採取箱を交換する時間までの流量の平均値とした。

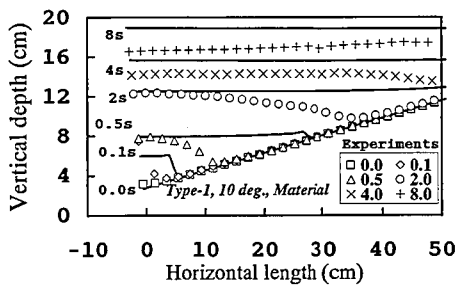


図-6 波高の比較

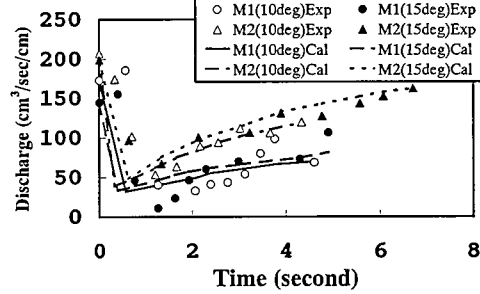


図-7 流量の比較

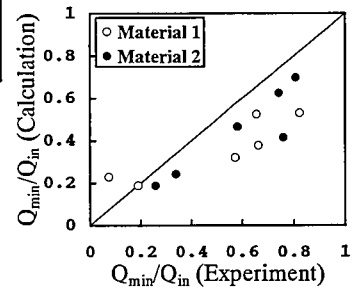


図-8 流量の減少割合

3.4 考察

波形の計算結果(図-6中の実線)は、実験結果と比べると堰堤模型付近では良く合ったが、上流になるにつれて高くなった。これは、計算上の段波が実験のものよりも速く遡上したためである。流量の計算結果はピークが現れる頃の傾向をあまりよく再現できなかったが、それ以降の傾向を良く再現できた。流量の減少割合に関する計算結果は実験結果と比べると、 Q_{min}/Q_{in} の値が高くなるほど、つまり図-5から L/B が大きくなるほど低くなった。これは α の値を一定にしたためと考えられる。なぜなら、流れが流路の急縮部を流れる際には、堰堤の壁面との摩擦に伴うエネルギー損失やスリット内での渦によるエネルギー損失などが生じるので、 α の値はスリット幅によって変化するためである。

4. 結論

実験の結果から、流量の減少割合はスリット幅が狭いほど低く、また、土砂容積濃度が高いほど低くなることがわかった。ハイドログラフはスリット幅が狭いほど低く抑えられることもわかった。また、泥流の運動モデルに透過型砂防堰堤の境界条件(式(3)、式(4))を組み合わせて、スリットでのエネルギー損失係数の値(α)を適切に選ぶことによって、堰堤を通過する泥流のハイドログラフを推定できることがわかった。 α の値は流入する泥流の土砂容積濃度やスリット幅から影響を受けることがわかった。今後、 α の値と土砂容積濃度、スリット幅との関係を明らかにする必要がある。また、段波の遡上過程を精度良く再現できなかったことから、今後泥流の運動モデルについても改良する必要がある。さらに、本研究では泥流に含まれる土砂が沈殿しない条件で行ったので、本モデルを沈殿する条件へ適用することを今後の課題としたい。

引用文献

- Aguirre-pe J., Quisca S., and Plachco F. P. (1995): Tests and numerical one-dimensional modeling of a high-viscosity fluid dam-break wave, Journal of Hydraulic Research, vol 33, No.1, p. 17-26
- Coussot P. (1997): Mudflow Rheology and Dynamics, IAHR MONOGRAPH, p.121-124
- 水野秀明、ビットリオ・ボボリン、南哲行(2001):透過型砂防ダムによる泥流型土石流のピーク流量減少効果に関する研究、砂防学会誌 Vol.53, No.6, p.45-54
- 水山高久、石川芳治、福本晃久(1988):火山噴火に伴う泥流災害の予測と対策に関する研究、土木研究所資料第 2601 号、p.109-111
- 瀬田智道、河村三郎(1992):一次元保存系差分法による数値解析の際に生ずる数値振動の除去法について、水工学論文集 Vol.36, p.349-354
- 杉浦信男、仲野公章、小林幹男、葛西勝栄、安養寺信夫(2000):有珠山の噴火と土砂流出(速報)、砂防学会誌 Vol.53, No.1, p.47-51