

Flashfloodの流動特性

京都大学大学院 ○福原隆一

京都大学農学部 小橋澄治・水山高久

1. はじめに

天然ダムの崩壊といった一時的に急激な出水がある場合を想定すると、いわゆる掃流状集合運動の領域に流れの先端部だけが土石流とよく似た形状を持つ段波が起る。このことは著者らの水理実験によって確認されており、この流砂形態をFlashflood(鉄砲水)と定義した¹⁾。実際には昨年9月に鹿児島県川辺町で起こった土砂災害は廃線の軌道跡が天然ダムのように水を貯め、それが決壊して集落を直撃したために9名の犠牲者が出たが、流下した区間は5°程度の緩勾配であった。この川辺町のケースが典型的なFlashflood災害と考えられる。今回はFlashfloodを特徴づける段波の先端部に着目して、その特性を水理実験によって観察した結果を報告する。

2. 実験方法

実験に用いた水路は長さ2m、幅7.5cm、深さ20cmの可変勾配の水路である。実験材料は一様粒径の砂礫で、その諸元は直径:d=0.55cm、比重:σ=2.5、内部摩擦角:φ=43°である。実験用砂は水路にあらかじめ3cmの厚さで敷きならして置き、上流端から一気に一定流量の給水を行い段波を発生させた。実験条件は勾配と給水流量を組み合わせる形で設定しており、勾配に関しては従来いわれている掃流砂の上限程度から土石流の下限値(3°~12°)まで、流量は30l/min~60l/minまで段階的に変化させている。発生した流砂形態は主としてハイスピードビデオ(最大200コマ/秒)で撮影して解析を行った。また水路下流端では流下してくる水と砂礫を採取して、濃度・流砂量の計測を行った。

3. 発生領域

図1に勾配と流量の無次元量をパラメータにFlashfloodの発生領域を示す。先端部には砂礫が集中し、後続部では全断面に分散しないFlashfloodは、従来の掃流状集合運動の発生領域とほぼ一致している。

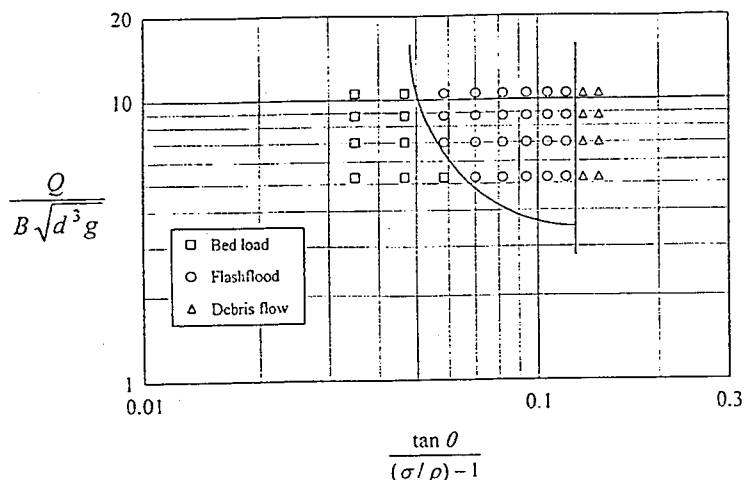


図1 流砂形態の発生領域

4. 土砂濃度

砂礫が集中している先端部と後続部の濃度をそれぞれ計測した結果を、高橋の掃流状集合運動の式²⁾

$$C = 6.7C_d^2 \quad (1)$$

と合わせて図2に示す。ここに、

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (2)$$

である。後続部の濃度は高橋式と良好な対応を見せている。しかし先端部に関しては勾配に対して増加していく傾向は後続部と同様であるが、後続部濃度を大きく上回る高い濃度をもっていることがわかる。

5. 段波先端の移動速度・抵抗係数

ビデオ画像から段波の平均移動速度 v_h 、段波先端から30cm～40cm後方の表面流速 v_{f1} 、段波先端が水路から落ちた後の表面流速 v_{f2} を計測した。 v_h と水路勾配の相関を図3に示す。水路勾配に対する段波の移動速度は 4° を超えてから下に凸の曲線を描き、 10° を超えて、また減少する波のような変化をしている。これは、先端部に砂礫が集中して段波が形成されることに対応していると考えられる。

抵抗係数は、 v_h と表面流速 v_{f1} に0.6を乗じた値を平均断面流速として用いて計算している。図4に抵抗係数の実測値を示している。抵抗係数は相対水深の増加に伴い増加している。これは土石流の抵抗則の傾向と一致している。

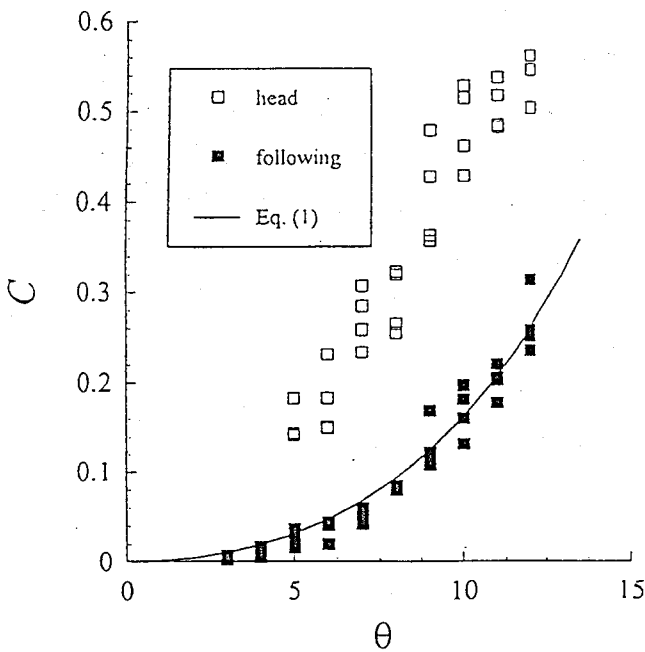


図2 土砂濃度

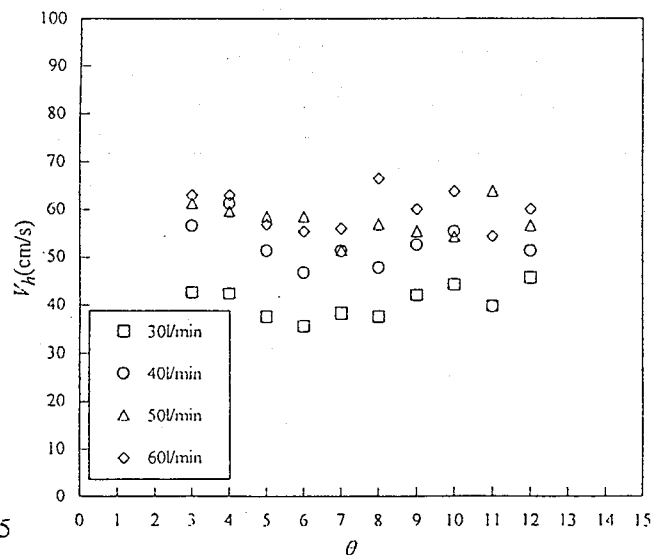


図3 段波の移動速度

次に v_{f1} と v_{f2} を比べてみる。図5に示すように砂礫の集中する先端部が形成される以下の勾配ではほぼ v_{f1} と v_{f2} の値は同じ程度だが、勾配が増加して十分に先端部が形成されるに連れて v_{f1} と v_{f2} の差が大きくなっている。これは高濃度の段波先端部が水路床から落下した後、つかえがとれたような形で流速が上がると思われる。さらに、抵抗係数についても比較してみると、段波が水路床から落ちた後に抵抗が減少していることが図6からわかる。

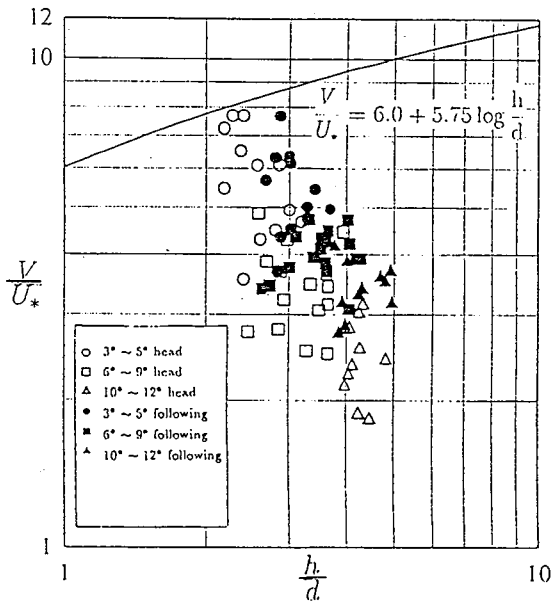


図4 抵抗係数

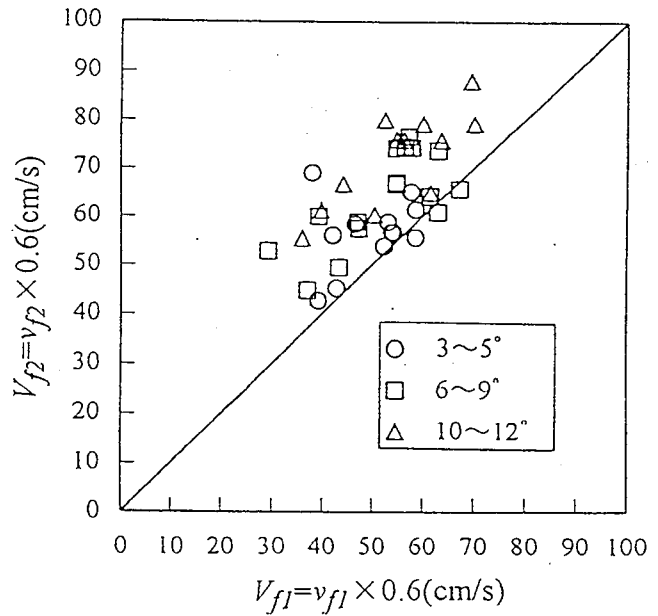


図5 V_{f1} と V_{f2} の相関

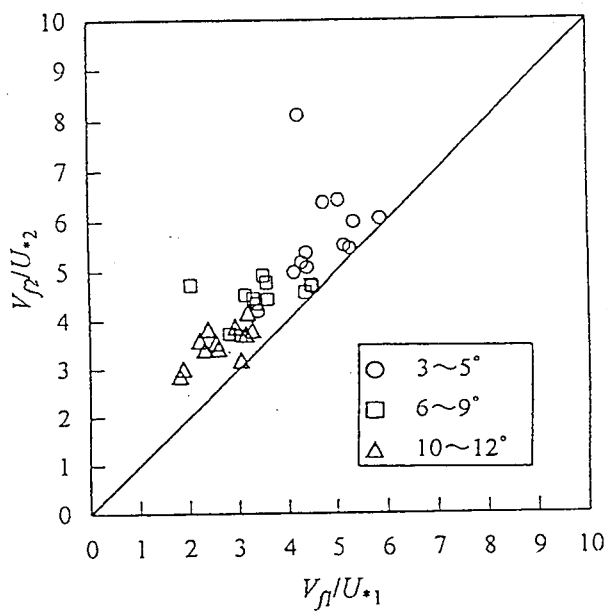


図6 抵抗係数の差

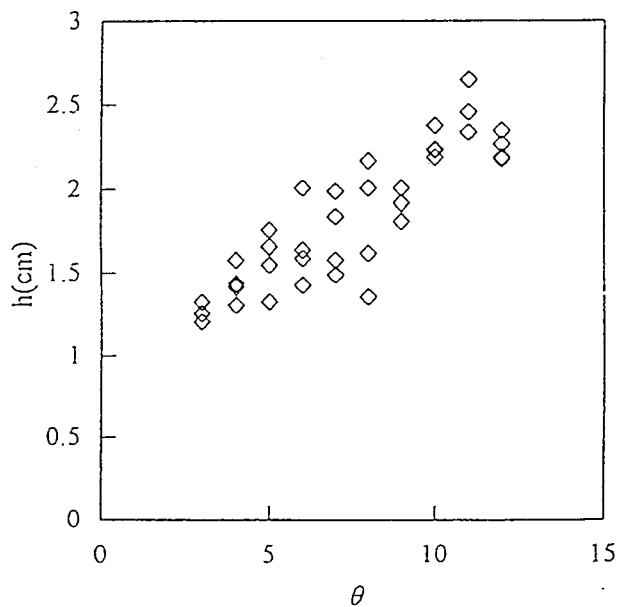


図7 先端波高と勾配の相関

6. 先端部の波形

先端部は巨視的には一定の波形を維持しながら流下している。勾配と先端波高の関係は図7に示すように勾配の増加につれて波高は増加している。

0.02秒間隔で波形の変化を見てみると、土石流と見なせる流砂形態では図8のように微視的にもほぼ一定波形、一定のスピードで流下している。一方、Flashfloodでは図9のように、段波が崩れたり、盛り上がりたりしながら流下している。また崩れたときは速度が上がり、盛り上がる時には低下している。前節での v_{1f} と v_{2f} の流速、抵抗係数の差を考慮すると、段波先端を後続部が押すような形態になっているためこのような現象が起こっていると考えられ、さらに図4から後続部の流れの抵抗は先端部によって規定されていることになる。ビデオデッキの性能上、今回これ以上短いインターバルで解析はできなかったが、 v_{1f} と v_{2f} の関係が土石流、Flashfloodに共通していることから、土石流領域でもFlashfloodと同じ現象がさらに短いインターバルで起こっている可能性がある。

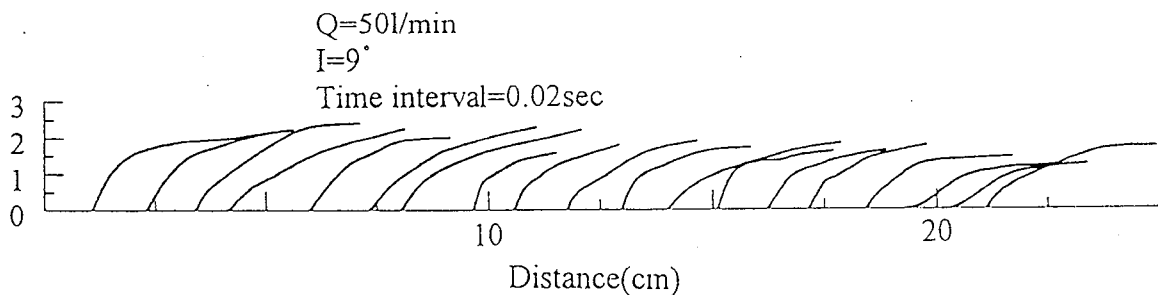


図8 土石流の波形の変化

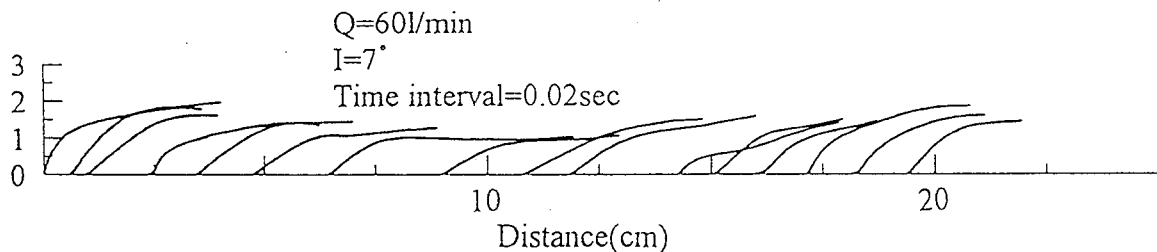


図9 Flashfloodの波形の変化

7. おわりに

Flashfloodの先端部は土石流と同様な形状を持つ高濃度の流れになっており、抵抗係数も掃流より土石流の変化傾向に近いことがわかった。また、水路上に先端部の有無によって後続部での抵抗に変化が現れており、先端部が十分に発達した定常状態では先端部が流れ全体の抵抗を支配していることが考えられ、これは微視的な先端波形の変化からも予想することができる。

本研究は、(社)砂防学会より若手研究助成(平成5年度)を受けて行った。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 福原隆一・小橋澄治・水山高久(1993):段波による土砂輸送,平成5年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 163-166
- 2) 高橋保・(1982):土石流の停止,堆積に関する研究(3) —土石流扇状地の二次侵食—,京大防災研年報,第25号, pp. 327-348