

52 段波による土砂輸送

京都大学農学部 ○福原隆一・小橋澄治・水山高久

1 はじめに

砂礫と水が一体となって集合状に流送される典型的な土石流は溪床勾配 15° 以上の区間で発生し、 3° 以下の勾配では砂礫が個々に運搬される掃流砂となる。また、この間の領域では等流条件下で掃流状集合運動と呼ばれる中間的な流砂形態となる。しかし、天然ダム の崩壊といった一時に急激な出水があるような場合を想定すると、いわゆる掃流状集合運動とはならず典型的な土石流と似た形状の流砂形態の発生が考えられ、このことは水理実験によって確認されている¹⁾。このタイプの流砂形態は、災害後ではその痕跡を判別が困難なため、実際溪流で発生しても土石流として扱われていると考えられる。以下、この段波による土砂流送の機構を水理実験によって観察した結果を報告する。

2 実験の概要

幅 7.5cm、深さ 20cm、長さ 2m で、勾配を連続的に変えられる両側面アクリル張りの水路で実験を行った。水路には予め厚さ 3cm に実験用砂を敷きならして置き、上流端から一定流量の給水を行い、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、適時モータードライブの 35mm カメラでの写真撮影を行った。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。今回使用した実験材料は一様粒径の砂礫で、その諸元は $d=0.55\text{cm}$ 、 $\sigma=2.5$ 、 $\phi=43$ である。実験条件は、勾配は掃流から土石流の下限値程度 (3° から 12.5°) まで変化させ、また流量は 30l/min から 60l/min まで段階的に変化させた。

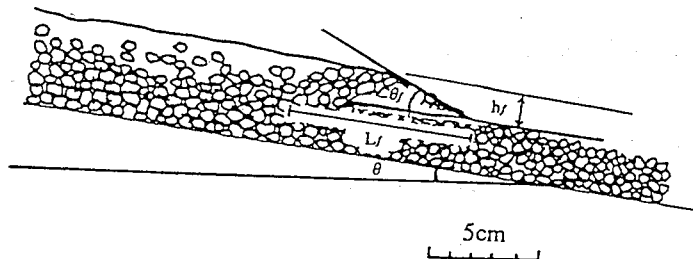


Fig. 1: Flashflood の模式図

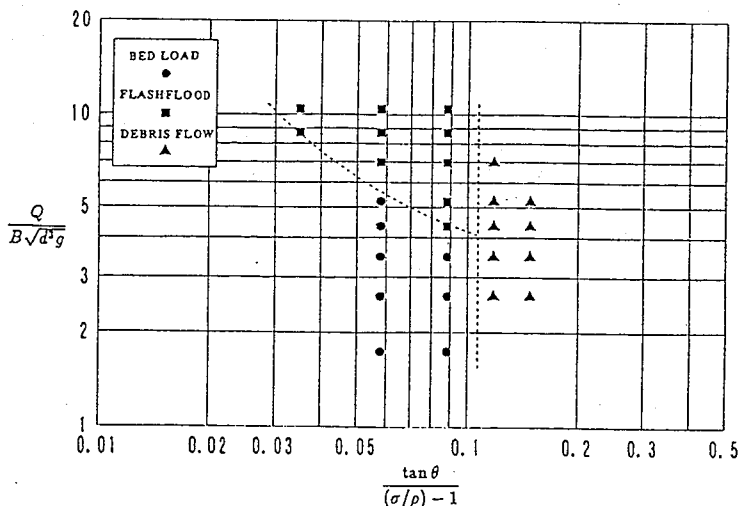


Fig. 2: 各流砂形態の発生領域

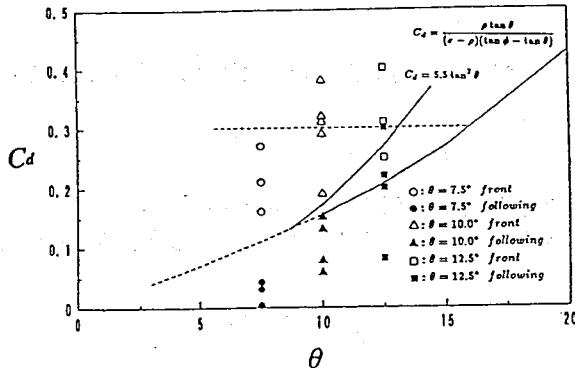


Fig. 3: Flashflood の土砂濃度

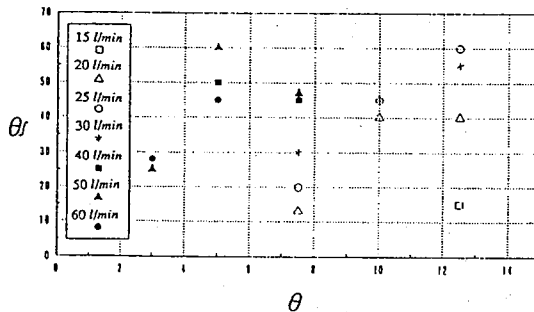


Fig. 4: 水路勾配と先端勾配の相関

3 実験結果

3.1 流砂形態

土石流, flashflood, そして掃流が異なる流砂形態として観察された。flashflood は流れの先端部だけが土石流と似た形状を持つ段波であると定義することができる。Fig. 1 に形状特性を表す主要なパラメータとともに flashflood の模式図を示す。また, Fig. 2 は各流砂形態の発生領域を示している。ここで, flashflood の発生領域は掃流状集合運動のそれとほぼ一致している。

3.2 土砂濃度

Fig. 3 は段波先端部と後続等流部に分けて土砂濃度を示したものである。後続等流部の土砂濃度は土石流の濃度に関する高橋の式²⁾,

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (1)$$

あるいは掃流状集合運動に関する水山の実験式³⁾

$$C_d = 5.5 \tan^2 \theta \quad (2)$$

にはほぼ一致しているが, 段波先端部の濃度は式を大きく上回っている。また, 土砂濃度の増加は水路勾配の増加と対応している。

3.3 段波先端部の形状

段波先端部の形状の解析はビデオにより行った。段波の先端勾配 (θ_f) はかなりばらつきがある (Fig. 4)。しかし, 流量・水路勾配が小さいとき, 先端勾配も小さくなる傾向があり, 大部分はほぼ 45° 程度である。これは砂礫の内部摩擦角に相当する。

Fig. 5 に先端部分の長さを示す。流量・水路勾配の増加に連れて, 先端部分が長くなる傾向がある。限られた実験条件下にも関わらず, 水深と長さの比は 5 から 10 の程度である。

4 既往の研究との比較

flashflood の先端流速を Fig. 6 に示す。水路勾配の増加に従い速度は増大している。勾配が 3° 程度の時は、対数則

$$\frac{V}{U_*} = 6.0 + 5.75 \log \frac{h}{d} \quad (3)$$

にほぼ一致するが、流れの抵抗は全体として掃流よりもかなり大きい。

また、先端部と後続等流部の各流砂量を掃流状集合運動に関する高橋の流砂量式⁴⁾、掃流砂量の無次元表示を

$$\Phi = \frac{q_B}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}} \quad (4)$$

として、

$$\Phi = \frac{8}{3} \frac{\tau_*^2}{\cos^2 \theta (\tan \phi - \tan \theta)^2} \quad (5)$$

あるいは掃流砂に対する芦田・高橋・水山式⁵⁾

$$\Phi = 12 \times \tau_* \left(1 - 0.85 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - 0.92 \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \quad (6)$$

と比較してみたのが Fig. 7 である。後続部の流砂量はこれらの式と良好な一致を見せているが、先端部の流砂量は後続部のそれを大きく上回っている。しかし、段波の先端勾配は水路勾配を大きく上回っており、段波先端部は水路勾配による掃流力 τ_* よりも大きい、先端勾配から計算される τ_{*f} を持っていると仮定して、先端部の流砂量と式(5)を比較してみたのが Fig. 8 である。実測値はほぼ計算値と一致しており、先端部の流砂量が後続部を上回ることの一応の説明はできる。

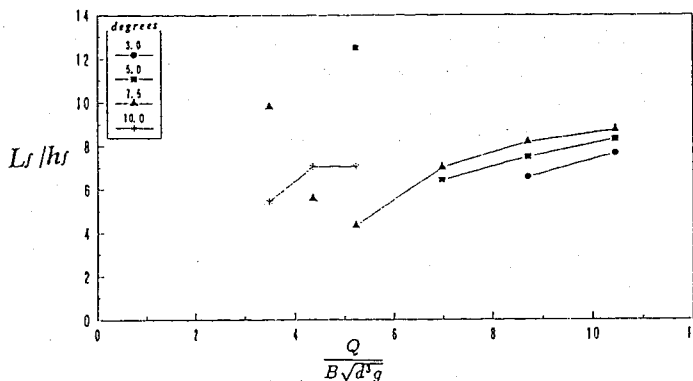


Fig. 5: 段波先端部における先端長と水深の比

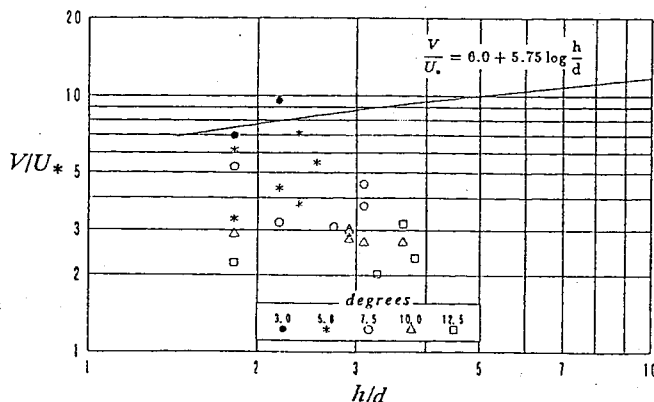


Fig. 6: Flashflood の抵抗係数

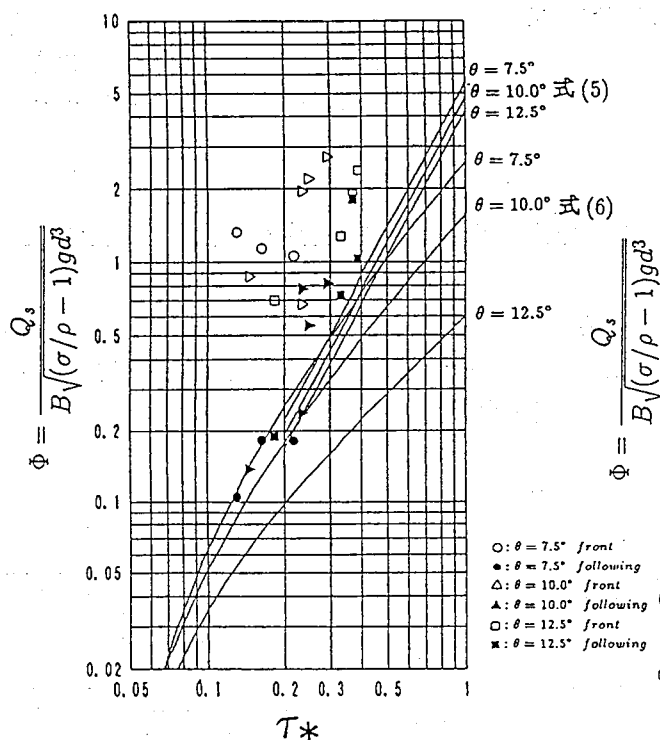


Fig. 7: 式 (5), (6) と実測値の比較

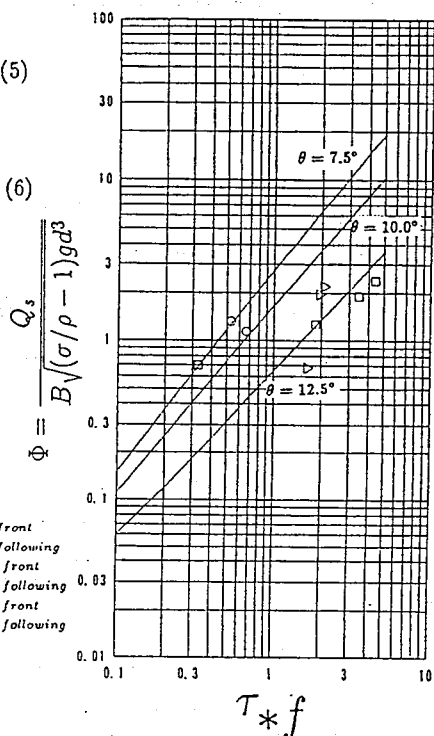


Fig. 8: $\tau_* f$ に対応する実測値と式 (6) の比較

5 結論

水路実験によって、flashflood が掃流状集合運動の発生領域に発生した時、段波先端部分は典型的な土石流とよく似た流砂形態になることがわかった。すなわち、建設省の土石流対策技術指針⁶⁾では、溪床勾配が 15° 以上の区間を持ち、その上流域で 5ha 以上の集水域を持つことが土石流危険渓流指定の条件の一つとなっているが、指定外の渓流でも土石流による災害と類似した土砂災害が発生する可能性があるといえる。従って、危険渓流の指定基準を flashflood 災害にも対応させて修正していく必要がある。

参考文献

- 1) 水山高久・Untung Budi SANTOSA・福原隆一 (1992): 砂防流砂実験水路による流砂形態と砂防ダムの機能に関する実習, 新砂防, Vol. 183, pp.30-32
- 2) 高橋保 (1977): 土石流の発生と流動に関する研究, 京大防災研究所年報, 第 20 号, B-2, pp.405-435
- 3) 水山高久 (1980): 土石流から掃流に変化する勾配での流砂量, 新砂防, Vol. 116, pp.1-6
- 4) 高橋保 (1982): 土石流の停止, 堆積機構に関する研究 (3) —土石流扇状地の二次侵食—, 京都大学防災研究所年報, 第 25 号, B-2, pp.327-348
- 5) 芦田和男・高橋保・水山高久 (1978): 山地河川の掃流砂量に関する研究, 新砂防, Vol. 107, pp.9-17
- 6) 建設省河川局砂防部砂防課 (1989): 土石流対策技術指針 (案)