

はじめに

これまで、土石流の発生した溪流の現地踏査において、弯曲部の左右岸の痕跡の高さに大きな差があることが報告されている。また、扇状地における土石流の災害調査より氾濫の直接原因として、しばしば水路が弯曲していた事があげられており、土石流が弯曲部を通過する際にどのような挙動をするかを解明することは、防災計画や対策工を検討する場合に重要な点であるが、現在まで十分には解明されていない。直線部における土石流の運動機構は、かなり明らかになって来ており、ここでは、それらの知識を基礎として、固定床弯曲部における土石流の挙動を実験的に調べた。

1. 実験施設及び実験概要

実験に用いた弯曲水路は、幅20cmの両面アクリルの木製水路で、曲率半径 $R=100\text{cm}$, 200cm , 中心角 $\theta=30^\circ$, 60° の計4種類で、上流の水路に7cm厚、長さ3mで、図-1に示すような2種類の土砂を敷き、上流端より給水して土石流を発生させた。河床勾配は、 4° , 8° , 16° と変化させて土砂を含まない水だけの流れと比較しながら、流れの様子を観察した。

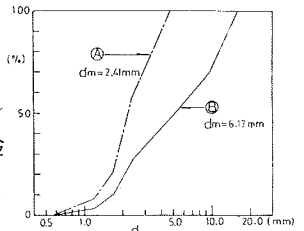


図-1 実験に使用した粒径加積曲線

2. 実験結果と考察

2.1 清水の弯曲部における流れ 土砂を含んだ流れと比較するため、まず土砂を含まない清水の弯曲部における流れの状況について調べた。図-2は勾配が 16° の時の弯曲部における清水の水面形状を示し、流速が速いほど、また曲率半径が小さいほど外弯と内弯の水位差 Δh が大きくなる事がわかる。最大の水位差が生じる地点は、全実験を通してほぼ弯曲部の中心角が 30° 付近で、その地点を通過するとまた徐々に水位差が小さくなる。遠心力と横断方向の水面勾配の釣合による左右岸の水位差と射流における側壁のかく乱を合せた射流の清水に対する左右岸水位差は、 $\Delta h = \frac{2bv^2}{kg}$ ----- (1) で表わされる。ここで Δh ; 左右岸の最大水位差、 b ; 流路幅、 v ; 平均流速、 k ; 流路中心の曲率半径、 g ; 重力の加速度である。実験された最大水深と上流での等流水深との差 $\Delta h'$ と(1)式の $\frac{1}{2}$ とを比較すると図-3のようになり、両者はほぼ一致する。

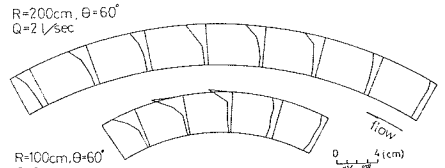


図-2 弯曲部における清水の水面形状

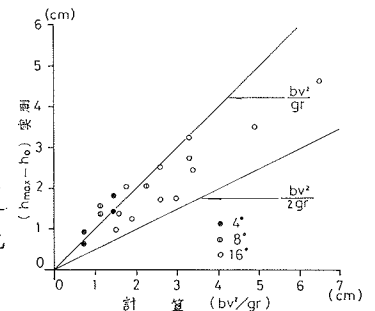


図-3 清水の最高水位

2.2 土砂を含み流れ

(1) 弯曲部における堆積の有無 弯曲部で土砂が堆積するかどうかに関係する量は、曲率半径 k 、弯曲部の角度 θ 、河床勾配 i 、粒径 d 、流路幅 B および流量 Q である。今回の実験の $Q=2\text{l/sec}$ について、 k/b と θ の平面上に堆積の有無を示すと図-4のようになる。本実験領域では、内外弯の水位差が最大になる辺りでの内弯ではほとんど水深がゼロとなり、土砂の堆積が初まるようである。最高

水位の位置は、 $\theta = \tan^{-1} \frac{2}{(2r_c/b+1)} \tan \{ \sin^{-1} (1/F_r) \}$ ----- (2) %
 で与えられる¹⁾。ここで F_r はフルード数である。今回の実験では、 $V/u_* \approx 9.5$
 であり、フルード数と河床勾配の間には $\cos \theta \approx 1$ として、

$F_r = V/u_* \sqrt{i}$ ----- (3) のような関係がある。(2)式を図-4上に示
 すと弯曲水路内の堆積の有無と類似した変化傾向を示すことがわかる。

(2) 外弯側の水位上昇 土石流及び土砂を含む流れの外弯側の最高水
 位と弯曲部入口での水深 h_0 との差をとり、(1)式で求められる計算値と比較

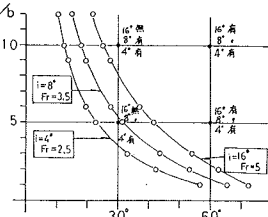
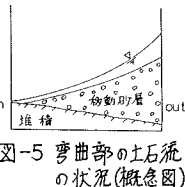


図-4 弯曲水路内の堆積の有無と最高水位の出現する位置の比較

を行なったが、実験値の方がはるかに大きくな
 った。この原因として、図-5に示すよう
 に内弯側に土砂が堆積して横断方向の流速分
 布が変化している事が考えられる。そこで彎
 曲部末端の水脈の経路距離から横断方向の流速
 分布を求め平均流速に対する比で表わすと、今回の実験では、



$V/\bar{v} = 2.4 (r/r_B)^2 + 0.3$ ----- (4) を得る。ここで v ; 曲
 率の中心から地点の流速、 $\bar{v}$; 平均流速、 r ; 内弯の曲率半
 径である。(4)式を $\Delta h = \int_r^r \frac{v^2}{g r} dr$ ----- (5) に代入して流
 速分布を考慮した、遠心力と横断方向の水面勾配の釣合による
 左右岸の水位差を求めると、本実験条件下では、
 $\Delta h = 1.65 \frac{b V^2}{g r}$ ----- (6) となる。(6)式と実験値の比較を行
 なったのが図-6である。勾配が4°の掃流では、比較的(1)式に
 近い値を示しており、勾配が急になると実験値の方が大きい値
 を示し、今回の実験では、土石流(勾配16°)の場合

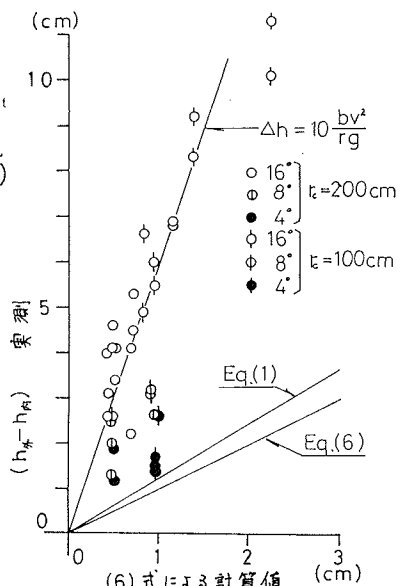


図-6 内外弯の水位差の実験値と計算値の比較

$\Delta h = \alpha \frac{b V^2}{g r}$ ----- (7) で表わすと、 $\alpha \approx 10$ となる。

2.3 流れの抵抗則 図-7は、土石流の抵抗則を示
 したものである。図中に、対数則と高橋による土石流の抵抗
 則²⁾を示した。清水の場合及び掃流では対数則に、土石流の
 場合は高橋による土石流の抵抗則に従っている。

おわりに

以上、弯曲部の土石流の状況を実験によって示した。土
 石流の氾濫につながる弯曲部の水位上昇は、抵抗則と(7)式
 によって推定できるが、清水の場合に比べてかなり大きな
 値となるので、土石流が通過するおそれのある流路の法線形は、出来るだけ直線とする必要がある。

<参考文献>

- 1) Knapp, R.T. ; Design of Channel Curves for Supercritical Flow, Trans. ASCE, vol 116, pp296~301, 1951
- 2) 高橋保 ; 土石流の発生と流動の機構, 土と基礎, vol.26, No6, pp45~50, 1978.6

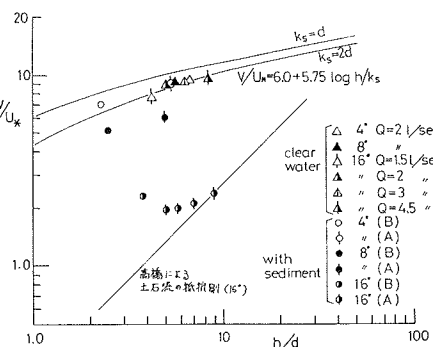


図-7 土石流の抵抗則