

S字型湾曲部の流下痕跡から土石流の流速を推定する方法に関する実験的研究

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○水野秀明、寺田秀樹、福嶋彩、原楨利幸

1. はじめに

土石流の流速、流下幅、流量といった水理量の実績値を蓄積することが求められている。土石流捕捉工(砂防えん堤)の設計外力等を設定する際には、土石流の流体力を推定しなければならない。その流体力は流速の関数であり、流速の推定式の精度を向上させるために、流速の実績値が必要となるからである。

流速の実績値は流下痕跡から推定することが多い。桜島等のようにテレビカメラ、流速計、水位計が設置されている溪流では、それらの観測機器の情報から、流速をかなり正確に計測できる。しかし、そのような観測機器が設置されている溪流は少ない。多くの溪流では土石流の流下中の情報がほとんど無いため、侵食あるいは堆積といった流下痕跡から、流速を推定することになる。

流下痕跡から流速を推定する方法には、流下痕跡から推定した水深を Manning 型の流速式(水山・上原, 1984)に代入して求める方法や、流下痕跡から計測した横断方向の表面勾配を偏流高の推定式(芦田ら, 1981、水山・上原, 1981、山野ら, 1984)に代入して求める方法等がある。前者の方法を用いるためには流下痕跡から水深を推定しなければならないが、土石流の発生前の地形が必要なため、その水深の推定は難しい場合が多い。このような背景から、後者の方法を用いることがある(例えば、水野ら, 2003)。

既存の偏流高の推定式は1つの湾曲部で、側岸が鉛直という条件下で開発されたものである。しかし、実際の溪流では、湾曲部が連続して存在したり、溪岸に傾斜がついていたりする。このような条件において、土石流の横断方向の表面勾配がどのように変化するかという点や、既存の偏流高の推定式を適用できるのかという点を検討した事例はほとんどない。

そこで、本研究では流れの横断方向の表面勾配が溪流の法線形および溪岸の勾配から受ける影響を明らかにすることを目的として、水路実験を行った。なお、本研究では土石流だけでなく、比較のため清水と泥流も対象とした。

2. 水路実験

2.1 概要

図-1は実験に用いた水路の平面図等である。水路は底幅0.25m、長さ7.14m、高さ0.50mのコンクリート製で、表面に土砂を貼った。水路は直線部と連続する2つの湾曲部(曲率半径1.00m)からなる。水路勾配は水路床の中心線に沿って上流端から2.50mまでの区間で18°、それより下流の区間で9°とした。側岸の勾配は90°と45°を準備した。また、水路の上流端から水平方向で2.50mの水路床に土砂を設置できるよう窪み(幅0.25m、高さ0.10m)をつけた。水路の下流端に貯水槽を設置し、そこからポンプで混合物(表-1)を水路の上流端に設置した整流槽に供給した。

図-2は実験に用いたベントナイトと軽量骨材(メサライト)の粒度分布である。ベントナイトの比重は2.60、メサライトの比重は1.38である。

表-1は実験条件の一覧と供給量の実績値である。実験は3種類の混合物に対して行った。実験に際して、図-

1に示す5つの断面において、水位と流速を計測した。case-3と6では流れを撮影した映像から水位と流速(断面平均流速)を読み取り、それ以外のケースでは流れが定常状態になった際に流れの水位をポイントゲージで計測し、流量を流下断面積で割って流速を求めた。

2.2 結果

図-3は断面②④での流れの表面形状である。攪乱波は、case-1,2,3,6では明瞭に形成されなかったが、case-4,5では明瞭に形成された。

図-4は兩岸の水位差を表面の流下幅で割った値(表面勾配)を示した。正の値は右岸の水位が左岸より高い場合である。側岸の勾配が同じ条件同士で比べると、断面②での値は断面④での値より case1~3 では大きく、case4~6 では小さかった。また、混合物が同じ条件同士で比べると、case-1と4、case-2と5、case-3と6の全てで、側岸の勾配が緩い程、表面勾配は断面②④ともに緩くなった。

図-5は断面平均流速を示したものである。側岸の勾配が同じ条件同士で比べると、case1~6 のいずれも、断面②での値は断面④での値とほぼ同じであった。また、混合物が同じ条件同士で比べると、側岸の勾配が緩いほど、断面平均流速は断面②④ともに case-1と4の場合でわずかに速く、case-2と5の場合で遅かった。case-3と6の場合では、側岸の勾配が緩い程、断面平均流速は断面②で速く、

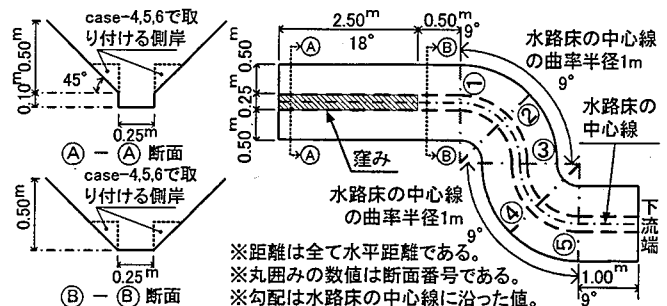


図-1 実験水路(平面図・断面図)

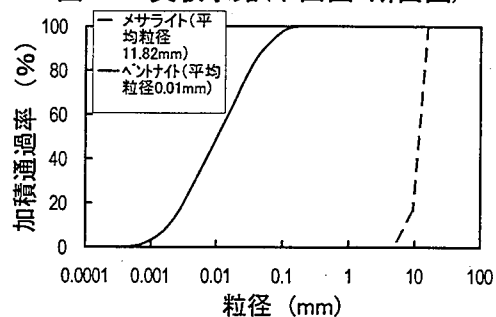


図-2 粒度分布

表-1 実験条件

ケース	想定する流れ	側岸の勾配(°)	供給する混合物		
			窪みへの土砂の設置	種類	供給量(ℓ/秒)
case-1	清水	45	無	水	8.31
case-2	泥流	45	無	水+ベントナイト	7.00
case-3	土石流	45	有	水	8.28
case-4	清水	90	無	水	8.41
case-5	泥流	90	無	水+ベントナイト	7.91
case-6	土石流	90	有	水	8.59

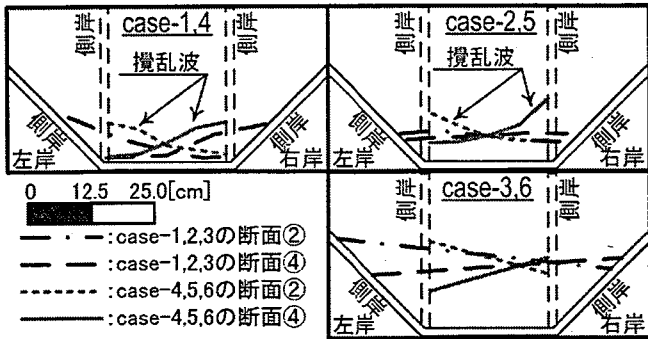


図-3 想定した流れ別の表面形状の違い(断面②④)

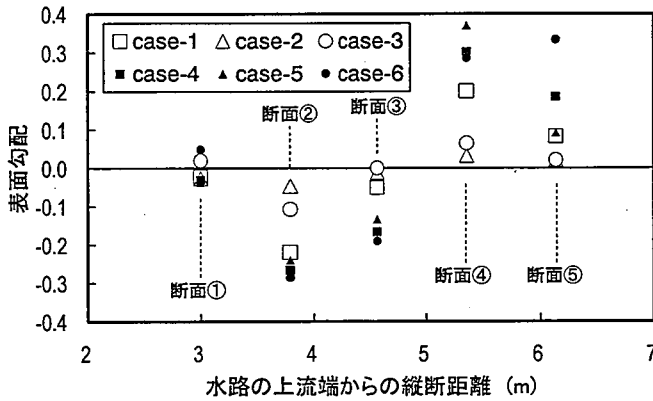


図-4 表面勾配

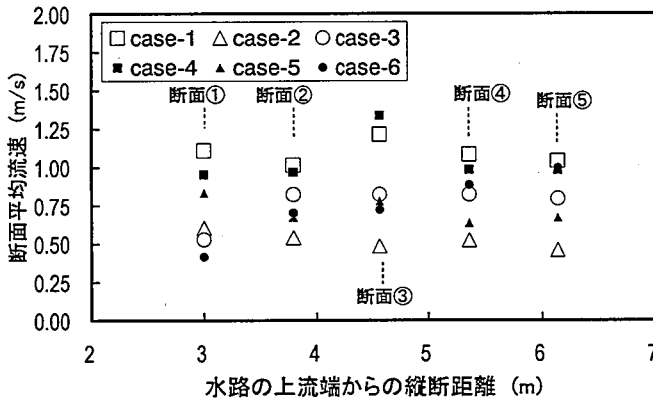


図-5 断面平均流速

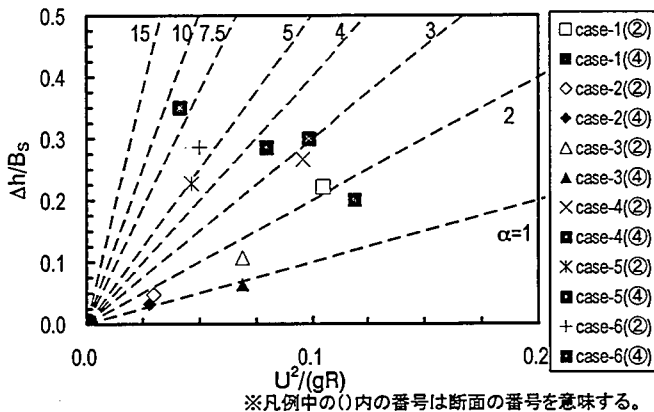


図-6 表面勾配($\Delta h/B_s$)と遠心力($U^2/(gR)$)の関係
断面④で遅くなった。このように傾向がばらついた理由は各ケースで供給量がばらついたためと考えられる。

3. 考察

S字型の湾曲部への、既存の偏流高の推定式の適用性について考察する。流線曲率の定理より、流線の接線方向

に対して垂直な n 方向(曲率中心方向を正とする)への、非粘性流体の定常流における運動量保存則はせん断応力の項を無視すると式(1)のように書ける。

$$\frac{\partial p}{\partial n} = -\rho v^2/r \quad \dots(1)$$

ここで、 p : 圧力、 ρ : 流れの密度、 v : 流線の速度、 r : 流線の曲率半径である。 v と r が一定と仮定し、 p を静水圧で近似すれば、式(1)から式(2)のように、既存の偏流高の推定式と同じ、水面勾配と遠心力との関係が得られる。

$$\frac{\Delta h}{B_s} = \alpha \cdot U^2/(gR_c) \quad \dots(2)$$

ここで、 Δh : 偏流高、 B_s : 流れの表面の流下幅、 α : 係数、 U : 断面平均速度、 g : 重力加速度、 R_c : 曲率半径である。

図-6は断面②④における表面勾配と遠心力の関係を示したものである。図中の点線は式(2)である。case-1,2,3では、 α の値は断面②で1.6~2.1、断面④で0.9~1.7となった。case-4,5,6では、 α の値は断面②で2.8~5.7、断面④で3.1~8.5となった。断面④における α の値は断面②における値に対して、攪乱波が明瞭に形成されなかったcase-1,2,3,6では0.6~0.8倍程度、攪乱波が明瞭に形成されたcase-4,5では1.1~1.7倍程度となった。このように、 α の値が攪乱波の形成に応じて変化したが、それを考慮すれば式(2)をS字型の湾曲部に適用できると考えられる。しかし、 α の値をより合理的に決定するために、今後、流路の法線形、側岸の勾配と攪乱波の形成条件との関係を明らかにしていく必要がある。

4. 結論

本研究の実験結果から次のことが分かった。①法線形は表面勾配に影響を及ぼす。下流側の湾曲部における表面勾配は上流側の湾曲部の値と比べて側岸の勾配が45°であれば緩くなり、側岸の勾配が90°であれば急になる。②側岸の勾配が45°であれば、 α の値は1~2程度になる。③既存の偏流高の推定式(式(2))はS字型の湾曲部に適用できるが、下流側の湾曲部における α の値は上流側のもの比べて、攪乱波が明瞭に形成されなかった場合において0.6~0.8倍程度、攪乱波が明瞭に形成された場合において1.1~1.7倍程度となった。

5. おわりに

α の値をより合理的に決定するために、今後、流路の法線形、側岸の勾配と攪乱波の形成条件との関係を明らかにしていきたい。

参考文献

- 芦田和男、高橋保、新井宗之(1981): 土石流の調節制御に関する研究(2)一流路湾曲部における土石流の流動 -、京都大学防災研究所年報第24号B-2、p.251-263
- 水野秀明、杉浦信男、寺田秀樹、内田太郎、原榎利幸、曾我部匡敏、桜井亘、西本晴男、小山内信智、武澤永純、土井康弘(2003): 2003年7月梅雨前線豪雨によって発生した九州地方の土石流災害(速報)、砂防学会誌、Vol.56, No.3, p.36-43
- 水山高久、上原信司(1981): 湾曲水路における土石流の挙動、土木技術資料23-5、p.15-20
- 水山高久、上原信司(1984): 土石流の水深と流速の観測結果の検討、砂防学会誌 Vol.37, No.4, p.23-26
- 山野邦明、大同淳之、西本直史、三輪浩(1984): 湾曲部を通過する土石流の横断方向の表面形状、第39回年次学術講演会講演概要集第2部、p.365-366