

1. はじめに

土砂災害対策、特に水系を対象とする砂防計画では、短期のみならず複数の出水を含んだ長期の土砂移動を考慮して計画される。この際、河道条件や出水規模の違いによる流出土砂量を評価する必要がある。山地での土砂生産の初期過程では、支川土砂流出や河岸斜面崩壊などの横流入土砂が発生源となる。本検討では、この横流入土砂に着目した(宮崎ら, 2007)。横流入土砂の河道内における輸送は、しばしば Sediment pulse (例えば Lisle et al., 2001) として扱われる。この Sediment pulse が河床勾配や出水規模の違いによりどのように伝播するかについて検証を行った。さらにスリット砂防ダムが存在した場合、横流入土砂の流出にどのような影響を及ぼすか検証を行った。

2. 実験と解析の方法

検討方法は数値シミュレーションが考えられるが、横流入土砂の評価やスリット砂防ダム境界の取り扱いが困難なため水理実験によるものとした。水理実験は、長さ 4.0m の勾配可変式アクリル製水路で行った(図-1)。水路の断面は幅 0.2m、河床部は実験用砂礫を一面に接着し粗度付けした。実験は崩壊地幅 30m、供給土砂量 4,000m³ の斜面崩壊が発生し、土砂が直接河道内に流出して河幅いっばいに堆積した状況を再現した。この際の Sediment pulse とスリット砂防ダムの影響を把握することを想定した。通常、土砂調節を目的としたスリット砂防ダムは、土石流が到達しない河床勾配 3° 未満の区間に設置されることが多い。そうした区間での河道条件として、ピーク流量 36~100m³/s、河床勾配が 1.0~2.0°、河幅が 15m、平均粒径が 11cm 程度の河川を想定した。その結果、実験のスケールを 1/75 とし、実験に使用するパラメータはフルードの相似則により設定した。

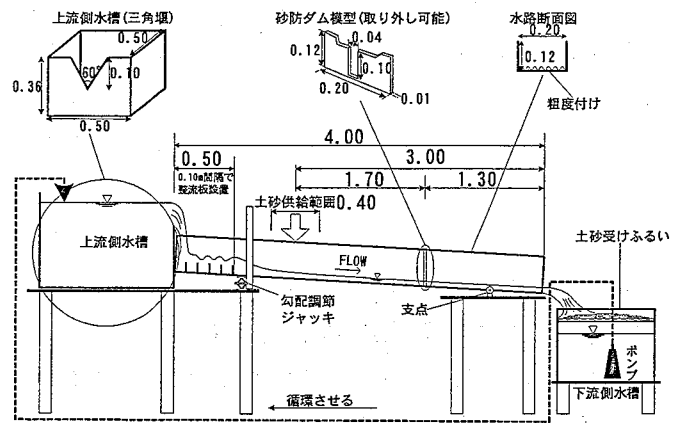


図-1 実験水路概要 (単位 m)

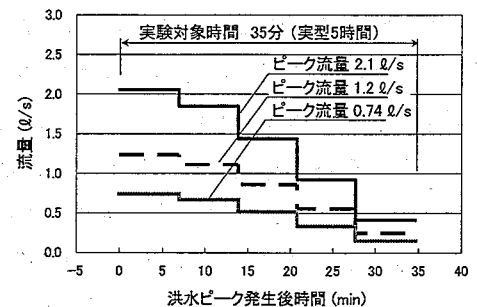


図-2 実験で再現させたハイドログラフ

以下、実験条件を簡単に述べる。河道幅は 20cm、河床勾配は 1.0°、1.5°、2.0° の 3 段階に可変させた。逆算したマンニングの粗度係数は 0.013~0.016 (実型で 0.027~0.033) であった。実験用砂礫は、粒径 1.5mm の一様砂礫を使用した。土質試験による砂礫の密度は 2.6g/cm³、空隙率は 0.39 であった。実験に用いたスリット砂防ダムの模型は、スリット幅 4cm (実型で 3.0m)、スリット高 10cm (実型で 7.5m) とした。実験結果から大オリフィス式により逆算した流量係数は 0.64~0.74 であった。今回の実験では、河岸斜面崩壊の発生時刻をピーク流量発生時と想定し、ハイドログラフの減水過程を 35 分 (実型で 5 時間) として再現した。ハイドログラフの波形は、想定する流域規模が等しい河川について、過去の既往最大災害の実績ハイドログラフを再現し、そのピーク流量発生後の波形を基に作成した(図-2)。ピーク流量は、①既往最大規模 2.1L/s (実型で 100m³/s)、②60%規模 1.2L/s (実型で 60m³/s)、③36%規模 0.74L/s (実型で 36m³/s) の 3 種類作成した。

実験結果は、35 分 (実型で 5 時間) のハイドログラフ通水後の堆積土砂量、実験水路末端からの流出土砂量を測定した。堆積土砂量分布は 20cm ピッチの測線を設定し、各測線について左岸、流心、右岸の 3 点河床高から堆積断面積を計測し、平均断面法により算出した。また、土砂収支計算により、土砂供給地点から下流に向かって 20cm おきの流出土砂量を算出した。実験結果を解析するために、出水規模もしくは土砂輸送能力を表現するパラメータとして、積算ストリームパワーを用いた。ストリームパワー Ω (J/ms) は、一般的に、単位長さ (縦断距離)、単位時間あたりの位置エネルギー消費量として(1)式のとおり定義される (Knighton, 1998)。

$$\Omega = \rho g \cdot Q_w \cdot I \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ρ : 水の密度(kg/m³)、 g : 重力加速度(m/s²)、 Q_w : 流量(m³/s)、 I : 対象地点河床勾配。ただし、ここでは、瞬間値ではなく通水時間中の累積ストリームパワーを表現するため、 Ω を時間 t (s) について積分し、水の単位体積重量 ρg で除した値として、「積算ストリームパワー-Sps (m³)」を次式のとおり定義した。

$$Sps = \frac{1}{\rho g} \int \Omega dt = \int Q_w Idt \dots\dots\dots (2)$$

3. 実験結果および考察

実験結果をもとに、無施設時の積算ストリームパワーと流出土砂量を流下距離別に比較する(図-3)。流下距離20cm(実型で15m、土砂供給範囲下流端)、流下距離170cm(実型で127.5m、砂防ダム設置予定地点)、流下距離300cm(実型で225m、実験水路末端)について比較すると、どの流下距離の流出土砂量も積算ストリームパワーに比例し、供給土砂量 $9,500\text{cm}^3$ (実型で $4,000\text{m}^3$)に漸近する曲線形となっている。また、流下距離別の流出土砂量は、土砂供給の条件が一定のとき、土砂供給量及び積算ストリームパワーが判明すれば推定が可能になることが期待できる。また、流下距離が長くなればなるほど、同じストリームパワーに対して流出土砂量が減少し、土砂供給源から対象地点までの間に土砂が滞留することを意味している。

スリット砂防ダム設置時のダム地点での積算ストリームパワーと流出土砂量を比較する(図-4)。流下距離170cmでは、流出土砂量は無施設時と比較して小さな値となっている。これは、スリット砂防ダムの設置により、Sediment pulseの伝播が抑制された影響を示す。全体として、積算ストリームパワーが増加すれば、流出土砂量も増加する傾向にあるが、同じ出水規模に対して河床勾配が緩くなるほど流出土砂量が減少している。これは、河床勾配が緩くなることにより、背水影響区間の長さが増え、ダム上流に一時貯留される土砂量が多くなるためと考えられる。これに反して、同じ河床勾配で出水規模が異なった場合の影響は、河床勾配の違いによる影響ほど大きくないことがわかる。これは、出水規模が大きくなることにより積算ストリームパワーが増加するが、その分、スリット部越流水深が高くなり背水影響区間が長くなるためと考えられる。

次に、横軸に積算ストリームパワー、縦軸に砂防ダム調節土砂量(建設省砂防部砂防課,2001)をとり、各実験ケースの座標をプロット(無施設時は調節量 0cm^3 としてプロット)する。さらに、それぞれの点における流出土砂量を高さとして表現し、等流出土砂量線を描いた(図-5)。図中右下の網掛けは、供給土砂量が $9,500\text{cm}^3$ としているため、積算ストリームパワーが増加しても、これ以上流出土砂量が増加しない領域を示す。この図は、限られた実験ケースから作成された図面ではあるが、調節土砂量が増加すればするほど、積算ストリームパワーの増加に対する流出土砂量増加率が減少することを示している。また、仮に、調節土砂量が同じスリット砂防ダムが積算ストリームパワーの異なる場所にあるときは、Sediment pulseの伝播を抑制する効果に違いがあることを示すと思われる。

最後に、北海道大学大学院農学研究科 山田孝助教授には、本検討を進めるに当たりの確かな助言をいただきました。また、検討結果について、貴重なご意見をいただきました。ここに、感謝いたします。

参考文献

建設省砂防部砂防課(2001): 透過型砂防堰堤技術指針(案), pp.13~14.
 Knighton D. (1998): Fluvial forms and processes, Arnold, pp.106.
 Lisle T.E., Cui Y., Parker G., Pizzuto J.E., Dodd A.M. (2001): The dominance of dispersion in the evolution of bed material waves in gravel-bed rivers, Earth Surface Processes and Landforms, 26, p.1409~1420.
 宮崎知与・樽林基弘・山田 孝・丸谷知己(2007): Sediment pulseに起因する山地流域非平衡土砂流出の実態, 砂防学会誌, Vol.59, No.5, p.3-14.

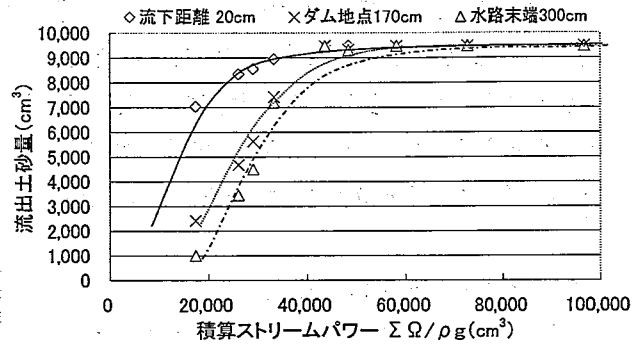


図-3 無施設時の流下距離別流出土砂量

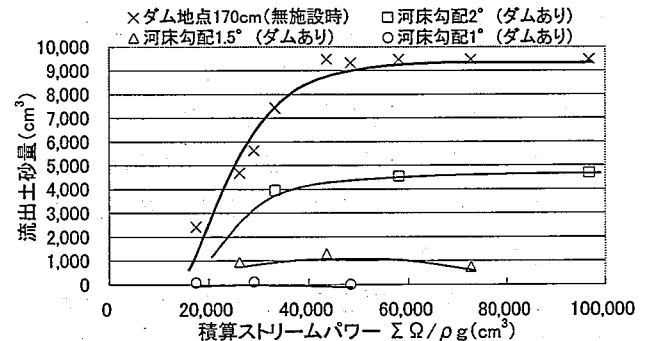


図-4 スリット砂防ダム設置時の流出土砂

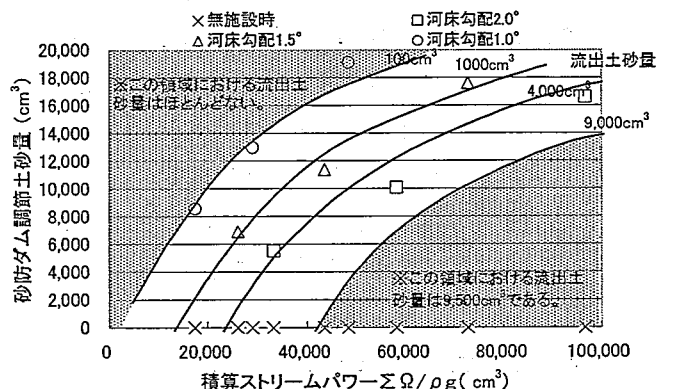


図-5 スリット砂防ダム地点における流出土砂量特性図