

スリット砂防堰堤を対象とした土砂捕捉・流出に関する水路実験

日本工営(株) ○木佐洋志, 渡部春樹, 保谷智之, グェンタンビン, 牧野孝久, 池島剛, 長山孝彦, 伊藤隆郭

1. はじめに

スリット砂防堰堤は、洪水中は効果的に土砂を捕捉し、洪水減水期に急激な土砂流出を生じさせないことが望まれる。また、洪水中に、スリット砂防堰堤による捕捉土砂量の時間変化および下流への流出流砂量の波形を予測することは、土砂災害発生の抑制、対象流域での土砂管理を行ううえで重要である。しかし、洪水流量および堰堤への流入土砂量の波形やスリット幅等の施設形状の違いが、土砂捕捉量の時系列変化や、流出流砂量の波形に及ぼす影響に関する知見は少なく^{1),2),3)}十分ではない。

本研究では、スリット砂防堰堤への水および土砂の流入波形から、捕捉土砂量の時系列変化や流出流砂量の波形を予測する計算手法の確立を目的とし、まずは、定常流を対象に水路実験を行った。長時間の洪水時(定常流)の流出流砂量の時間変化とスリット幅の関係に関する基礎的な情報を得たので報告する。

2. 実験条件

水路実験の諸量は、フルード相似則に従って設定した。模型縮尺は1/50である。水路勾配1/57(1°)で掃流区間であり、計画河床勾配は1/115である。直線水路は固定床で、原型で水路長は350m、水路幅(水通しの取込み幅 B)は5mである。実験では、水路下流端から8m地点にスリット砂防堰堤を配置し、ダム軸(0m地点)から上流340mにて給水、310mにて水路勾配1/57(1°)に対する平衡給砂量を給砂した。平衡輸送濃度は0.004である。

模型砂の物理特性は、比重 σ/ρ :2.63, 内部摩擦角 ϕ_s :36.9°, 静止堆積濃度 c^* :0.547, 粒径 d_{max} :238mm, d_{95} :105mm, d_{60} :74mm(いずれも原型値)である。

実験ケースは4ケースとし、3種類の堰堤を対象とした。いずれも、スリット高さ H_s :7mである。スリットは、水通しの取込み範囲内で1門とし、水通しの取込み幅に対するスリット幅の比(以降、スリット幅・幅比と記載する) B_s/B を表1のとおり設定した。このスリット幅・幅比(1/7, 1/5, 1/3)は、実在する3基の砂防堰堤(水通し幅 B_d が54~110m, スリット幅 B_s が8.5m~32m)の B_s/B_d を想定したものである。流量は、水通し全幅 B_d (=110m)で約2,000m³/sを想定しており、水通しを越流する大流量(Case1,2,3)と、スリット部断面で流下可能な小流量(Case4)の2つである。後者(Case4)は、大流量の出水(Case2)後の減水期を想定して簡易的に小流量・定常流で模擬したものである。

実験では、流況の撮影、流況写真(側面)を基にした水位・河床位の縦断分布の計測、堰堤下流の流出流砂量と総流出土砂量を計測した。通水時間は、堰堤下流の流出流砂量の変動が落ち着いてから8時間経過した時点で終了とした。Case4では、流量変化時点(Case2終了時)での堰堤上流の堆砂形状を維持したまま通水を一時停止し、その後、小流量(Case4)を与えた。

表1 実験条件一覧

番号	スリット幅・幅比 B_s/B	単位幅清水流量(定常) Q_w	通水時間
Case1	1/7	18.4m ³ /s/m	約16時間
Case2	1/5	18.4m ³ /s/m	約16時間
Case3	1/3	18.4m ³ /s/m	約16時間
Case4	1/5	6.1m ³ /s/m	Case2後、約18時間

3. 実験結果

水通しを越流する流量条件であるCase1~3の流出流砂量の計測結果を図1に示す。水位・河床位縦断図を図2に示す。なお、図が煩雑になることを避ける理由から、河床位縦断は、堆砂肩が堰堤に到達するまでの時系列変化を示す6時間後までと、通水終了付近の16時間後のみを表示させた。同じ理由で、水位の縦断はCase1~3は16時間後のみを、Case4は0時間後(通水開始直後)のみを表示させた。計測時間は、洪水(定常流)の開始時刻を0とした値である。各実験の総給砂量と総流出土砂量から、堰堤の捕捉土砂量(空隙込み)を求めたところ、Case1, Case2, Case3でそれぞれ、13,077m³, 12,773m³, 8,068m³であった。Case4の流出流砂量の時系列変化を図1に、水位および河床位縦断図を図2に示す。Case2終了時の捕捉土

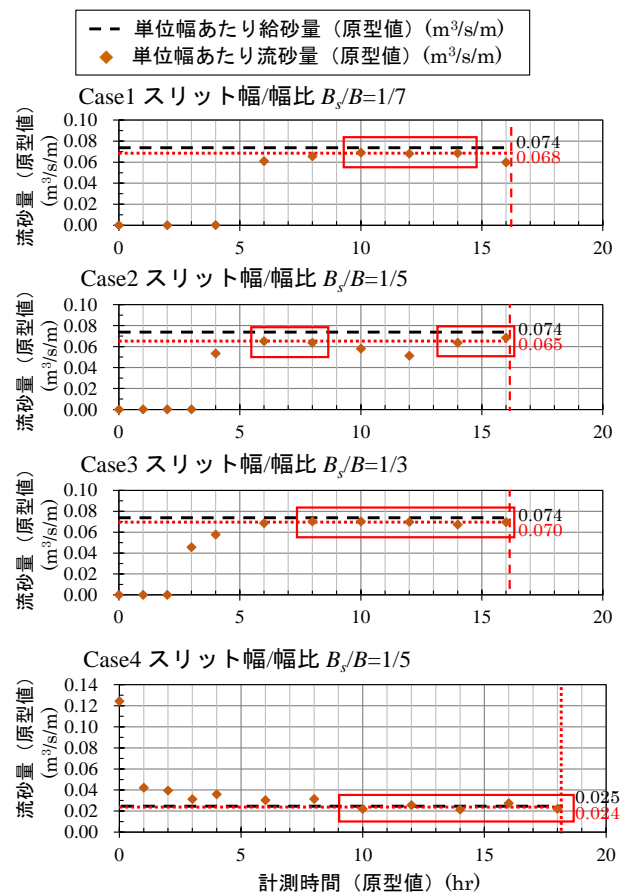


図1 流出流砂量の時系列変化

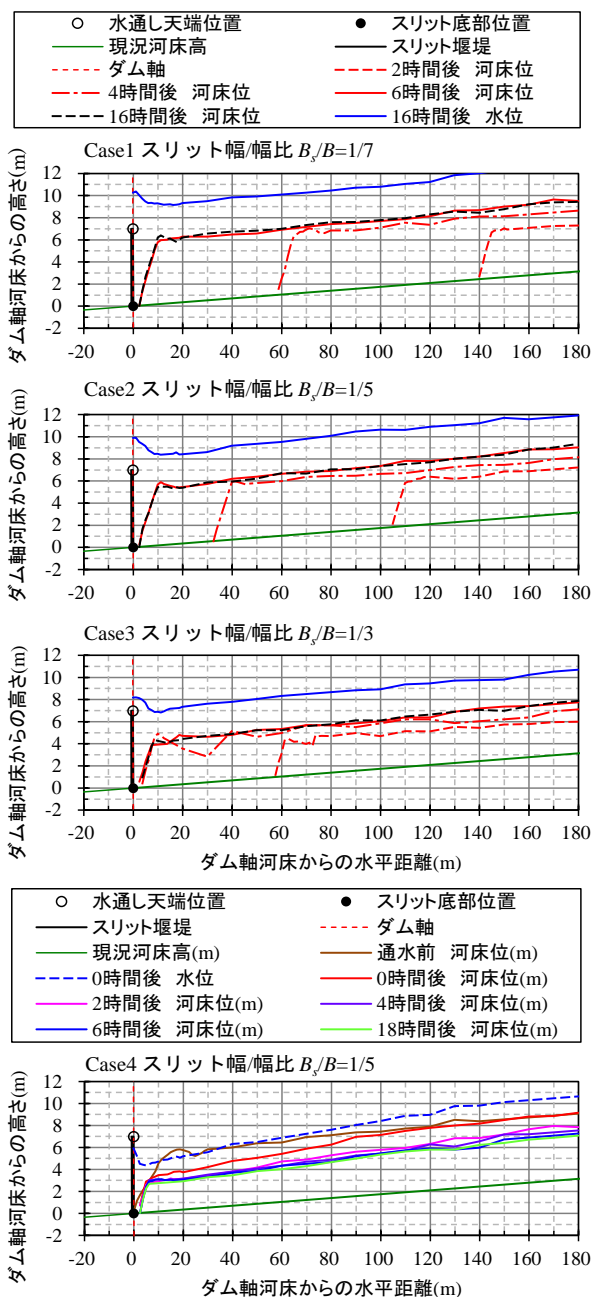


図2 ダム軸上流の水位・河床位縦断面図

砂量と、Case4の総給砂量、総流出土砂量から求めたCase4終了時の堰堤の捕捉土砂量は10,219 m^3 であり、Case2終了時から2,584 m^3 減少した。

4. 考察

4.1 長時間の大流量(定常)でのスリット幅の影響

Case1~3ともにスリット砂防堰堤による堰上げ域の上流側から下流側へ堆砂肩が進行し、堰堤付近に到達すると下流への顕著な土砂流出が生じ、流出流砂量が増大した。スリット幅・幅比 B_s/B が大きい条件ほど堆砂肩の下流への進行速度が大きく、通水開始から土砂流出が増大するまでの時間が短い。すなわち、流出流砂量の増加するタイミングには、スリット幅・幅比の違いの影響がある。

長時間、定常で通水し、流出流砂量が落ち着いた時間帯の単位幅あたり流出流砂量(図1中赤枠の平均値)は、0.065~0.070 $m^3/s/m$ でいずれの条件も平衡給

砂量(0.074 $m^3/s/m$)に近く、殆ど違いはみられない。すなわち、長時間の洪水(定常流)では、流出流砂量に対してスリット幅・幅比の違いの影響が殆ど無い。

砂防堰堤による捕捉土砂量は、スリット幅・幅比 B_s/B が大きい条件ほど小さい。堆砂肩の位置は、スリット幅・幅比が小さいほど高い。堆砂肩上流の平均堆砂勾配(ここでは、ダム軸からの距離20m~180m区間の平均堆砂勾配より算出した)は、Case1, Case2, Case3でそれぞれ1/50, 1/41, 1/47と目立った差はなく(スリット幅・幅比の違いの影響が殆ど無い)、河床勾配(1/57)に近い(図2参照)。これは、長時間の定常流かつ平衡給砂量の条件であるためと考えられる。

4.2 洪水減水期を想定した小流量時の流出流砂量

Case2後に、スリット部断面で流下可能な小流量を与え、洪水減水期を想定した条件(Case4)では、小流量の通水直後(0時間後)に0.124 $m^3/s/m$ と大きな流出流砂量が生じた。堆砂形状は、図2のように2時間で大幅に侵食された。既存の報告りと同様に、流量が小さくなることで、堰堤上流の堰上げ水位の急激な低下が生じ、堆砂肩下流の堆砂面で流砂量が大きくなり、下流へ流出した。小流量(定常)で長時間通水した場合の流出流砂量は、0.024 $m^3/s/m$ で落ち着き、平衡給砂量(0.025 $m^3/s/m$)とほぼ同じとなった。

5. まとめ

スリット砂防堰堤の土砂捕捉・流出に関する水路実験を行って得られた要点を以下にまとめる。

- (1) スリット砂防堰堤の水通し部を越流する流量を長い時間、定常で与えると、スリット幅・幅比 B_s/B の影響を受けず、流出流砂量は河床勾配(ここでは、堆砂勾配と目立った差は無い)における平衡流砂量に等しくなる。流出流砂量が平衡流砂量と等しくなるまでの時間は、スリット幅の影響を受け、スリット幅・幅比 B_s/B が大きいほど早い。
- (2) 洪水減水期を想定した小流量(定常)の実験では、満砂後に急激な流量減少が生じるとスリット砂防堰堤から多量の土砂流出が生じる。今回の実験では、水通しを越流する大流量時の平衡流砂量の2倍程度の結果となった。

スリット砂防堰堤による土砂捕捉量および堰堤からの流出流砂量の時間変化の予測手法を検討するうえでの基礎的な情報、まとめの(1)を得た。また、スリット砂防堰堤下流での異常堆砂に起因する河道断面の不足等の発生の可能性を考慮すると、(2)のように、流出流砂量が極端に大きくなる水・土砂の流入流量波形の条件を把握することも今後、重要となる。

スリット砂防堰堤からの流出流砂量の予測手法の確立のため、今後は、非定常の流量、流砂量を与える追加実験を行う。

参考文献 1)水山ら(1989):スリット砂防ダムの流量係数と堆砂形状, 新砂防 Vol.42, No.4, pp.28-30, 2)水山ら(1997), 掃流区域におけるスリット砂防ダム配置上の留意点, 砂防学会誌 Vol.49 No.5 pp.49-52, 3)赤沼ら(2019):効果的な土砂調節が可能なスリット幅の決定に関する実験的研究, H31年度砂防学会研究発表会概要集, p.131-132