

横棧型シャッターと大暗渠堰堤の組み合わせによる遊砂地の土砂調節と流木捕捉

九州地方整備局 筑後川河川事務所 川合康之^{*1}, 梅本武史^{*2}, 北本 楽^{*3}

^{*1} 現立山砂防事務所, ^{*2} 現九州地方整備局, ^{*3} 現紀伊山系砂防事務所

日本工営(株) ○渡部春樹, 田方 智, 湯澤 樹, 伊藤隆郭

1. はじめに

赤谷川流域の支川乙石川では、平成29年7月の九州北部豪雨災害により、河床や溪流に大量の土砂や流木が堆積した。赤谷川への土砂および流木流出抑制策の一つとして、横棧型シャッター付きの大暗渠堰堤を含む遊砂地工が計画されている。大暗渠堰堤では、出水後半の急激な土砂流出の事例も報告¹されており、その他にも暗渠部からの流木流出が懸念されるため、横棧型シャッターを暗渠部に設置した。横棧型シャッターは、最下段クリアランスでは減水期の土砂流出、その他の純間隔では土砂および流木捕捉を期待するものである。

本研究では、遊砂地の効果的な土砂調節および流木捕捉を行うことを目的とし、大暗渠堰堤に設置する横棧型シャッターの鉛直純間隔および最下段のクリアランスの設定に関し、直線水路を用いた実験的検討を行った。また、地形模型実験を実施し、遊砂地に対して、地形効果および水路実験で検討した横棧型シャッターの効果を確認した。

2. 実験条件

実験ケースを表-1、実験条件を表-2に示す。

- (1) 実験ケース：Run1は直線水路実験による横棧型シャッターの配置検討、Run2は設定した横棧型シャッターの配置に対する土砂の捕捉効果を地形模型実験で確認するケースである。
- (2) 粒径： $d_{95} = 366.5 \text{ mm}$, $d_{60} = 30.1 \text{ mm}$ を持つ粒径加積曲線(R1, R2の河床材料調査結果)を基に設定した。(図-1)
- (3) ハイドログラフ：Run1では、横棧部への流木の閉塞状況を見ることから、清水時に堰堤水通しを越流しない流量をピーク流量に持つ減水型のハイドログラフを設定した。Run2では対象地域の100年確率流量のハイドログラフを設定した。(図-2)
- (4) 流木諸元：流木長は折損等により立木長の1/2~1/3になるとの報告²を基に、流木捕捉に対し、危険側となり得る1/3倍として設定した。流木長の頻度分布の内、95%、50%の2種類の流木長を設定した。直径は平均胸高直径(50%)とした。(表-3) 樹種は、現地調査結果より針葉樹を対象とした。針葉樹は比重が1.0よりも小さくなる³ため、模型では比重0.98のポリエチレン製の丸棒を用いた。
- (5) 横棧型シャッターの配置：横棧型シャッターの配置は表-4に示すように、合計4パターンとした。(Run1)

3. 実験結果

3.1 横棧型シャッターの配置検討(直線水路実験)

いずれのシャッター配置において、次に示す傾向が確認できた。給木初期の段階で暗渠部は流木により閉塞するため、せきあげ効果により土砂も捕捉するが、その後、透過部通水断面の減少に伴う越流が生じ、流木は水通しから流出する。通水後には給木初期に捕捉した流木が暗渠部で閉塞した状態となる。また、暗渠部は流木で閉塞するが、横棧最下段は、大小はあるもののクリアランスになっており、減水期に土砂流出が行われる。(図-4)

図-5に透過部面積比と土砂・流木流出率の関係を示す。透過部面積比は、暗渠部の面積に対する透過部の総面積の比として定義した。(図-3) 土砂流出率は透過部面積比0.604、流木流出率は透過部面積比0.663で最も小さくなり、最下段純間隔はいずれも1.0mの時に、土砂または流木に対して効果がある。透過部面積比が小さい場合、通水初期の段階で、流木が暗渠部で閉塞するが、通水断面の減少に伴う越流のタイミングも早くなるため、後続の流木が流出しやすくなる。透過部面積比が大きい場合は、単純に暗渠部からの土砂や流木が流出しやすくなる。

横棧型シャッターの配置は、土砂または流木流出量の小さくなる配置②および③での設定が望ましい。本検討では、通水初期から通水後までの、土砂・流木捕捉および土砂流出に対しての一連の効果を期待できる透過部断面比0.663(純間隔：500mm、最下段：1,000mm)を横棧型シャッターの配置(配置②)とした。

3.2 遊砂地の土砂捕捉効果(地形模型実験)

横棧型シャッターの配置(配置②)を反映した地形模型実験を行った。

図-6に流況写真を示す。4時間後(ピーク流量時)は、流入角度により流れが遊砂地左岸側へ向くため、堰堤正面左岸側に流れが衝突する。そのため、遊砂地内で時計周り(右回り)の流れが形成され、主として流路沿いの左岸側に土砂が堆積する。減水期の5時間後には、左岸側の堆積土砂を避け、河床位の低い右岸側に流路が

表-1 実験ケース

	模型	内容
Run1	直線水路	横棧型シャッターの配置を検討(土砂・流木を対象)
Run2	地形模型	Run1で設定した配置に対し、ハイドログラフおよび地形による効果を確認(土砂を対象)

表-2 実験条件

項目	実験条件
相似則	フルード相似
模型縮尺	1/50
模型範囲	350m 500m
ハイドログラフ	ピーク流量：100m ³ /s 継続時間：1.6時間 ピーク流量：140m ³ /s 継続時間：10時間
供給土砂量	830m ³ 44,700m ³
給砂	平衡給砂(輸送濃度 $c_f = 0.010$: 河床勾配 1/30 の丸め)
粒径加積曲線	$d_{95} = 366.5 \text{ mm}$, $d_{60} = 30.1 \text{ mm}$ を持つ曲線 (R1, R2の河床材料調査結果)
流木	胸高直径：26.1cm 流木長： $L_{95} = 8.3 \text{ m}$, $L_{50} = 5.9 \text{ m}$ 幹材積： $\rho_{95} = 0.244 \text{ m}^3/\text{本}$, $\rho_{50} = 0.192 \text{ m}^3/\text{本}$ 樹種：針葉樹
給木量	1,000本 (給木速度 300本/h)
河床勾配	1/30 (=1.91°)
水路幅	36m(水通しと袖部を取り込める幅)

※網かけ部は直線水路実験の条件、
※原型値での記載

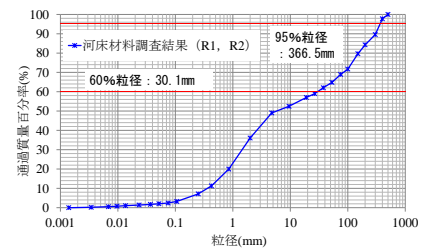


図-1 河床材料調査結果

遷移し始める。流路の変遷とともに、遊砂地左岸側から右岸側に徐々に土砂が堆積し、最終的には遊砂地全体に堆積する。

図-7に流出土砂量の時系列を示す。流出流砂量のピーク

カット(給砂量 $5.73\text{m}^3/\text{s}$ に対して流出流砂量は $0.34\text{m}^3/\text{s}$ であり94%程度の低減)が行われた。減水期での流出流砂量のピーク値は、5時間後の $0.66\text{m}^3/\text{s}$ であり、流出流砂量のピークのタイミングを遅らせる。また、横棧型シャッターがない場合の流出流砂量のピーク値は $1.6\text{m}^3/\text{s}$ 程度で⁴⁾、暗渠部に横棧を設置することにより、流出流砂量が低減される。

4. おわりに

得られた知見を以下に示す。

直線水路実験

①土砂・流木捕捉に対し、効果のある透過部面積比は異なる。(土砂：面積比0.604，流木：面積比0.663) 通水初期から通水後までの土砂・流木捕捉および土砂流出効果を踏まえ、透過部断面面積比0.663を横棧型シャッターの配置とした。

②暗渠部では、給木初期に暗渠が流木で閉塞、せきあげにより後続の土砂を捕捉する。流木による暗渠閉塞後も横棧最下段ではクリアランスが確保され、減水期には土砂が流出する。最下段のクリアランスは減水期の土砂流出、その他の純間隔は土砂・流木の捕捉に対する機能を持つ。

地形模型実験

①ピーク流量時には遊砂地内への流入角度により、堆砂域で時計周りの流れを形成しながら主として左岸側で土砂が堆積する。減水期は左岸側の土砂堆積を避けるように、右岸側に流路を形成、土砂を堆積しつつ、堰堤下流に一部の土砂が流出する。

共通事項

①横棧型シャッターは、流出土砂量のピークカット，減水期の急激な土砂流出，土砂・流木捕捉に対して効果がある。

②調節型の堰堤に対し，横棧型シャッターを計画する場合は，最下段のクリアランスは最大粒径～移動層厚程度に設定することで減水期の土砂流出を行い，その他の純間隔は胸高直径や最大粒径で設定することで出水時の土砂・流木の捕捉を行うことが可能であると考えられる。今後は，流木を含む流れを対象とした地形模型実験を行い，遊砂地での効果的な流木対策を検討するために，流木量(時系列含む)や流木の挙動と堆積傾向に関するデータ取得を行う予定である。

参考文献：1)水山高久ら：砂防学会誌,43巻2号,pp.29-34,1990, 2)水山高久ら：土木研究所報告,第183号-3,pp.71-156,1991, 3)矢澤亀吉：日本林學會誌,23(8),457-459,1941, 4)梅本武史ら：九州国土交通研究会論文,I部門,No.3,2020

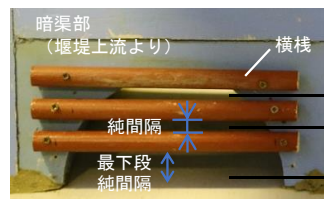
表 - 3 樹木諸元 (立木, 流木)

累積相対度数 (%)	立木諸元			流木諸元		
	立木長さ (m)	胸高直径 (cm)	材積 (m ³ /本)	流木長さ (m)	胸高直径 (cm)	材積 (m ³ /本)
50	17.6	26.1	0.444	5.9	26.1	0.192
95	25	26.1	0.605	8.3	26.1	0.244

表 - 4 横棧型シャッターの配置

配置	鉛直純間隔 (m)	最下段純間隔 (m)	透過部面積比
①	0.5	0.5	0.567
②	0.5	1.0	0.663
③	0.5	1.5	0.790
④	0.25	1.0	0.604

※透過部面積比：透過部総面積 / 暗渠部面積



①暗渠部の面積：A
②透過部の総面積：A1+A2+A3
透過部面積比：②÷①

図 - 3 横棧型シャッター配置の模式図

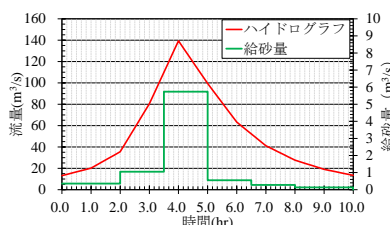
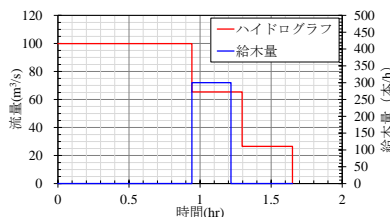


図 - 2 ハイドログラフ (上：Run1, 下：Run2)

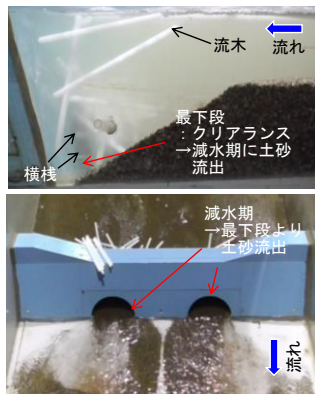
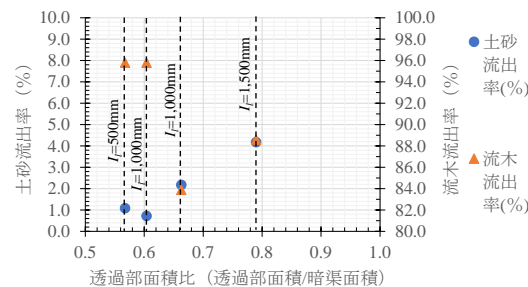


図 - 4 流況写真 (Run1, 配置②, 暗渠閉塞時, 上：横から, 下：下流から)



I_1 ：最下段純間隔
▶ 土砂流出率：給砂量に対する流出土砂量の割合
▶ 流木流出率：給水量に対する流出流木量の割合

図 - 5 透過部面積比と土砂・流木流出率の関係 (Run1)

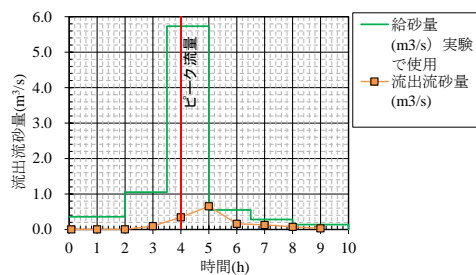


図 - 7 流出流砂量の時系列 (Run2)

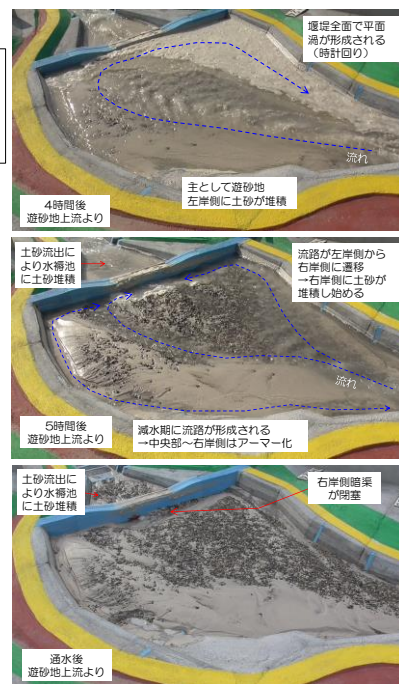


図 - 6 流況写真 (Run2)