

土砂移動形態を考慮したシャッター砂防堰堤に関する水理実験

国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所 有澤俊治^{*} (^{*}現:富士砂防事務所)
日本工営(株) ○長山孝彦, 池島 剛, 西 陽太郎, 松田 悟, 渡部春樹, 伊藤隆郭

1.はじめに: 木曾川水系と川流域の上山沢に横棧型のシャッター砂防堰堤(スリット2m, 1門)が構築された。スリット幅・堰堤水通し幅比は1/12.5, 川幅比は1/18.0のスリット幅の小さいスリット堰堤である。現河床勾配は約3° (=1/18.6~1/21)であり, 計画上の土石流区間に設置されている堰堤でもある。現在, シャッター操作側の基礎資料を得るために, 流水・流砂観測が行われているが, シャッターの効果検証を行う際には, 中小規模から大規模出水時の土砂捕捉機能を把握する必要があり, 特に, 観測では対応が困難である大規模出水時の現象を知る必要がある。一方, 上山沢流域においては, 石礫の多い溪流^りではなく, 石礫のほかに, マサ土が主体であり, 両者の捕捉機能を把握する必要がある。ここでは, スリット幅の小さい横棧型シャッターを対象として, シャッター砂防堰堤の機能や出水規模における土砂捕捉機能を知り, 横棧型シャッターの操作側に繋がる基礎データを得るために, 直線水路実験を行った。

2. 上山沢第一砂防堰堤と対象流域: 冒頭に示したように, スリット幅/川幅比=1/18.0のスリット幅が相対的に小さい堰堤であり, スリット高さは7.0mである。横棧式のシャッターは, 外径508mm, 最大粒径の0.5倍に相当する純間隔692mm(最下部696mm, 最上部292mm)で配置され, 6本の横棧がある。上山沢の流域面積は12.86km²であり, 河床材料は石礫とマサ土が主体であり, 異なる粒径が2つ卓越する(図-2参照)。堰堤の対象流量は100年確率規模で設定され, 日雨量は245mm/dayである。ここで対象とする流量は, クラーベン式から245mm/dayを降雨強度(50.0mm/h)に変換し, 合理式を用いて152m³/s(ピーク流出係数0.85)を得た。流量波形は, 与川における50年確率規模を引き延ばした波形の減水期ハイドログラフを対象とした(図-3)。模型実験においては2種類の土砂を対象とし, 次の2つの模型実験を行った。①マサ土のみを対象とした大縮尺模型(模型縮尺:1/25, Fr相似, 掃流力相似), ②比較的粒径の大きいマサ土~石礫を対象とした小縮尺模型(模型縮尺:1/45, Fr相似) Fr相似における堰堤形状や流量の模型値を表-1に示す。実験では, ①においては, 横棧シャッターの全閉, 全開時を対象として, マサ土想定土砂の流出をみる実験, ②においては, シャッター操作側を想定して, 土砂捕捉・流出特性に対して, 効果的な横棧配置をみる実験を行った。これらのケースの1部を表-2に示す。

3.スリット部の水理特性: 図-4は, シャッター全閉, 全開(スリット堰堤)時の水深・流量(H~Q)関係である。スリット部の満水時の流量は50m³/sであり, 横棧の有無がH~Q関係に及ぼす影響はかなり小さい。H~Q関係には, 幅の小さいスリットが影響を及ぼしている。

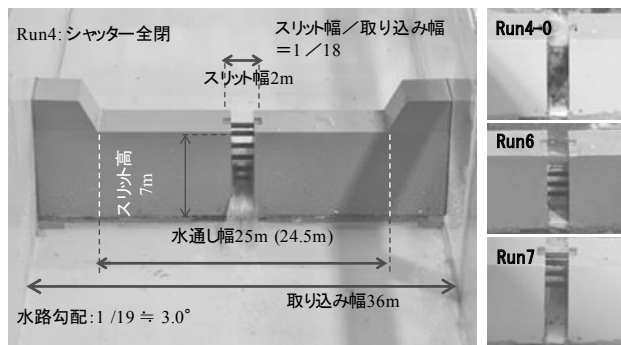


図-1 上山沢第一砂防堰堤の施設諸元とシャッター配置

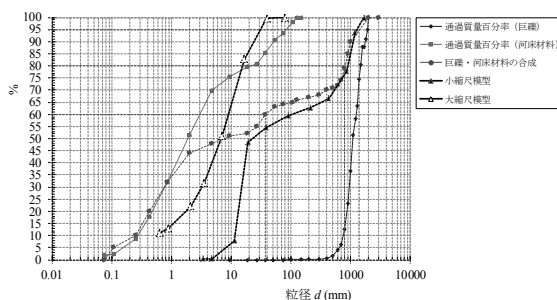


図-2 模型砂の粒度分布

表-1 模型値への変換例

| | スリット幅(m) | スリット高(m) | 流量(m ³ /s) | 時間(s) |
|-----------|----------|----------|-----------------------|-------|
| 原型値 | 2 | 7 | 100 | 3600 |
| 模型値(1/25) | 0.0800 | 0.2800 | 0.0320 | 720 |
| 模型値(1/45) | 0.0444 | 0.1556 | 0.0074 | 537 |

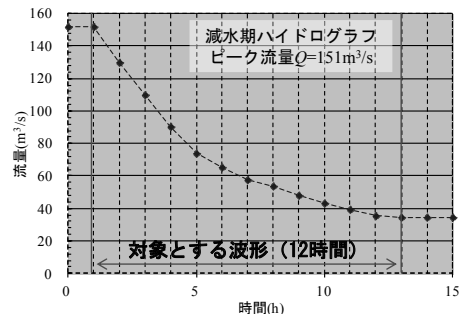


図-3 減水期ハイドログラフ

表-2 実験ケースと流出土砂量

| Run No. | 堰堤堆砂域の初期堆積量(m ³) | 流入土砂量(m ³) | 堰堤からの流出土砂量(m ³) | シャッターの状況 |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Run4-0 | 33,666 | 102,060 | 59,067 | スリット堰堤(スリット幅:2m) |
| Run4 | 33,666 | 102,060 | 57,956 | 全閉 |
| Run5 | 33,666 | 102,060 | 36,450 | 下段部の開放:1本(開き間隔1896mm) |
| Run6 | 33,666 | 102,060 | 38,181 | 上段部の開放:3本(水通し天端から3396mm開き) |
| Run7 | 33,666 | 102,060 | 43,157 | 下段部の開放:2本(開き間隔3096mm) |

4.マサ土を想定したひずみ模型実験: マサ土のモデル化については掃流力相似を用いて粒径に対するひずみ模型を用いた。これより、模型砂の粒径に対しては、縮尺:1/8.33の関係となる。模型砂にはメサライト²⁾(みかけ比重:1.59, $d_{60}=10.9\text{mm}$, $d_{\max}=53\text{mm}$, 内部摩擦角: 37.1° , $c_s=0.524$)を用いた。図-5は、スリットから流出する流砂量を輸送濃度(=流砂量/(流量+流砂量))を用いて示したものである。スリット堰堤およびシャッター全閉時における流砂量の流出傾向に大きな差は見られず、マサ土に対する土砂捕捉機能は共に小さく、横棧型シャッターや幅の小さいスリットにおいても、マサ土は流出しやすいことが分かる。

5.シャッター配置による土砂流出の制御: 洪水減水期における土砂捕捉機能を把握し、効果的な横棧配置を検討するための実験においては、模型縮尺 1/45 の土砂(比重:2.66, $d_{60}=3.73\text{mm}$, $d_{\max}=37.5\text{mm}$, 内部摩擦角: 34.4° , $c_s=0.592$)を用いた。現河床勾配が約 3° であるため、土砂移動形態を満たすようにハイドログラフに合わせて、土砂流が形成されるように平衡給砂³⁾を行った。

また、シャッター配置は、表-2に示しているが、Run4-0:シャッターなし(スリット堰堤), Run4:シャッター全閉, Run6:シャッター上段の開放(3本), Run7:シャッター下段の開放(2本)とした。図-6はシャッター配置毎の流出流砂量である。Run4-0(スリット堰堤)を基本に、シャッター配置の違いについてみる。Run6においては、横棧部が石礫で閉塞し、部分スリットのような形状になった。そのため、減水期の初期の流出流砂量は抑制されているものの、流砂量の時間変化率は小さく、継続的に土砂流出がある。Run4については、図-7に示すように通水初期に横棧に礫が閉塞し、堰堤水通し部から土砂が流出する不透過型堰堤のような状態となる。通水9h以降は、給砂に見合った流砂量が流出し、ほぼ一定値をとる。Run7では、流出土砂量は異なるものの、図-6や図-8に示すように時間経過毎の流出傾向はRun4-0と類似している。下段開放2本の配置では、ある一定の水位以上の場合には水位せき上げ効果が働き、その水位以下の場合にはスリット堰堤の土砂調節機能を持つ。横棧・シャッターの下段2本を開放したケース(Run7)と横棧なしのケース(Run4-0)では、流砂量の時系列は、類似した形状となり、しかも、Run7においては、流出土砂量がスリット堰堤よりも少なくなる結果となった。

6.おわりに: 横棧型のシャッター砂防堰堤の操作側を設定するために、上山沢における河床材料特性(マサ土主体, マサ土~石礫)を考慮して、シャッター堰堤の有する土砂捕捉機能を検証する水路実験を行った。水深・流量関係から見ると、幅の小さいスリットが水位せき上げを生じるものの、マサ土の流出に対しては、横棧型シャッターは、土砂捕捉機能が小さいことが分かった。また、土砂捕捉機能を有する横棧配置を検討したところ、下部2本の開放により、スリット及び横棧の両方の土砂調節機能を有することが確認された。今後は、横棧型のシャッターの間隔に関する適切な配置検討などを行う予定である。

参考文献: 1) 三上幸三ら:砂防学会誌, Vol66, No.5, pp. 42-48, 2013, 2) 伊藤隆郭ら:砂防学会誌, Vol64, No.5, pp. 3-13, 2012, 3) 堀内成郎ら:砂防学会誌, Vol62, No.2, pp. 29-36, 2009

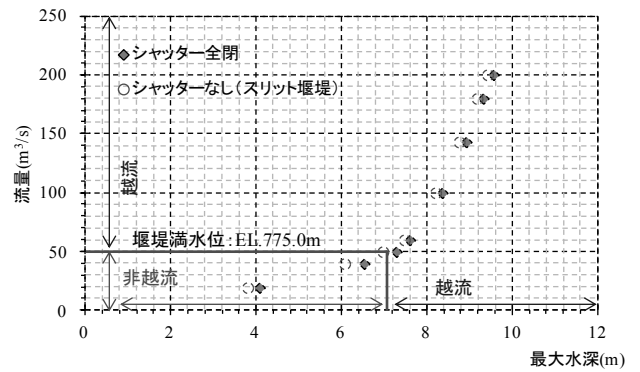


図-4 水位~流量関係 (スリット堰堤・シャッター全閉)

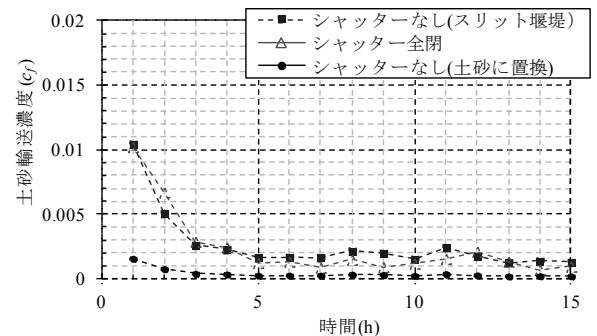


図-5 マサ土の土砂輸送濃度

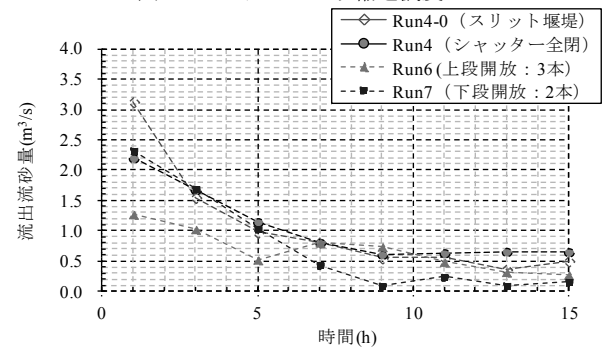


図-6 横棧配置に伴う流出流砂量

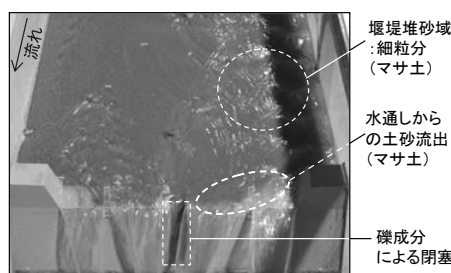


図-7 土砂堆積状況 (Run4:シャッター全閉, 15時間後: $Q=35\text{m}^3/\text{s}$)

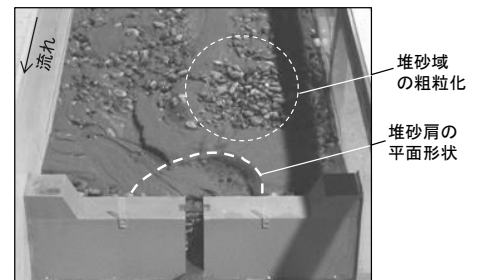


図-8 土砂堆積状況 (Run7: 下段部の開放(2本), 通水後)