

砂防構造物の下流域における侵食対策に関する水路実験

国土交通省中部地方整備局 天竜川上流河川事務所 蒲原潤一, 菊池五輪彦, 岡本 明, 玉置和基  
 日本工営(株) 長山孝彦, 池島 剛, 西 陽太郎, 日本工営(株)中央研究所 ○ 伊藤隆郭  
 京都大学大学院 水山高久, 立命館大学大学院 里深好文

**1. 結論:** 遠山川は天竜川支川で, 流域面積 342.5 km<sup>2</sup>, 流路延長 39.3 km, 平均河床勾配 1/24 であり, 本川合流部には平岡ダムがある。同流域では, 砂防事業等に対する自然・環境保全に関する要望は, 地域懇談会によって合意形成が図られてきた。ここでは, 溪流環境・景観への配慮に対して, 洪水時の砂防施設による土砂流出制御, 平水時における流水・土砂環境の連続性, 施設下流域の侵食抑制と・施設間の洪水後の埋め戻し等の複数の機能をもつ施設配置の提案を目指して, 直線水路実験と水理模型実験を実施した実験のうち, 清水流・土砂流に対する水路実験の結果を報告する。

**2. 対象流域:** 水路実験の取込範囲における流域諸量を示す。平均河床勾配:1/70, 平均谷幅:50m, 平水時の水みち幅:9.5~19.0m(平均値:13.8 m), 堰堤設置断面での流域面積:166.4 km<sup>2</sup>である。

**3. 堰堤・帯工形状の抽出:** 既往検討<sup>1)</sup>では, 従前の形状に拘らない堰堤形状(交互型, セル群型, 人工狭窄型など)が提案され, 昨年度には, 堰堤の平面配置, ダム軸の平面配置, 流向, 土砂流出制御(洪水ピーク時)と効果的な土砂排出(減水期)に着目した更なる絞り込みにより, 交互階段型の堰堤が抽出された<sup>2)</sup>。堰堤下流域では, 出水前期では侵食が生じ, 出水後期には上流からの流砂量に応じた土砂堆積が発生し, 堰堤と下流施設(帯工など)による堰堤下流域の侵食制御を議論する必要である。

帯工の配置は, 図-1 のように, 帯工の平面配置・配置間隔, 水の流向に着目し, 帯工の基本形状(6 パターン)と施設断面の 2 形状(矩形, 台形断面)が抽出された。中規模の定常流量や減水期を対象とし, 堰堤・帯工による土砂調節機能の高い形状を絞り込む実験を行った。

**4. 水路実験:** 水路は, 直線水路で堰堤堆砂域・下流域の特性が把握できる長さとし, 模型縮尺:1/50, 水路勾配:1/70, 水路幅:1.0m である。実験砂は, 原型と粒径, 比重, 摩擦角を一致させる工夫を行い, 次のような物理特性を持つ。比重:2.68, 内部摩擦角:37.3°, 静止堆積濃度:0.593, 粒径は昨年度のもの<sup>2)</sup>と同じである。

**(1) 堰堤・帯工パターンの絞り込み・水位～流量関係(定常実験):** 堰堤堆砂域に土砂を供給せずに, 当初案(堰堤 A)<sup>2)</sup> に対する帯工群の河床低下効果により帯工群を抽出した。また, 堰堤形状の絞り込みは, 交互階段堰堤の重複幅や詳細形状(隅切等)に着目し, 7 種類に対して, 水位～流量関係のデータを用いて行った。

**a) 帯工パターン:** 表-1 は, 中規模流量(750m<sup>3</sup>/s)の定常実験での帯工群下流端からの流出土砂量, 流出率(=流出土砂量/帯工なしの流出土砂量)の比較である。流出率は約 59~76%であり, 流出率の小さいものが帯工域の河床低下を制御する能力が高い形状となる。帯工形状として, ①等間隔配置 70m(帯工 2), ②不等間隔配置(上流から, 35, 35, 70, 70, 150, 150m・帯工 3), ③等間隔・ハの字型配置 70m(帯工 6)と, 断面形状として, 帯工下流の流れの連続性を確保するための台形断面(下流法 1:2)を用いた, ④等間隔配置 70m・台形断面(帯工 2, 7)の 4 パターンが抽出された。

**b) 堰堤パターン:** 交互階段堰堤の重複幅(5 種類)や詳細形状(隅切等:2 種類)に着目して, 7 種類(なお, パターン 0:堰堤 A<sup>2)</sup>, パターン 3:堰堤 C)の堰堤パターンに対して, 清水・定常流を対象として水位～流量関係をみた。図-2, 3 は, 堰堤湛水域の最大水深での水位～流量関係であり, それぞれ, 隅切の影響, 堰堤の重複幅の影響を見たものである。堰堤のせき上げ水深の急激な変化が堰堤天端付近で生じないものや, 大出水規模程度の流量で水通し天端に到達しない形状を除いて(パターン 5), 大流量時の流出効果が高く, 小流量時の水位せき上げが確保される形状のうち, その能力の最大・最小程度のものを選ぶと, パターン 0(堰堤 A<sup>2)</sup>), パターン 3(堰堤 C)となる。一方, パターン 3(堰堤 C)を対

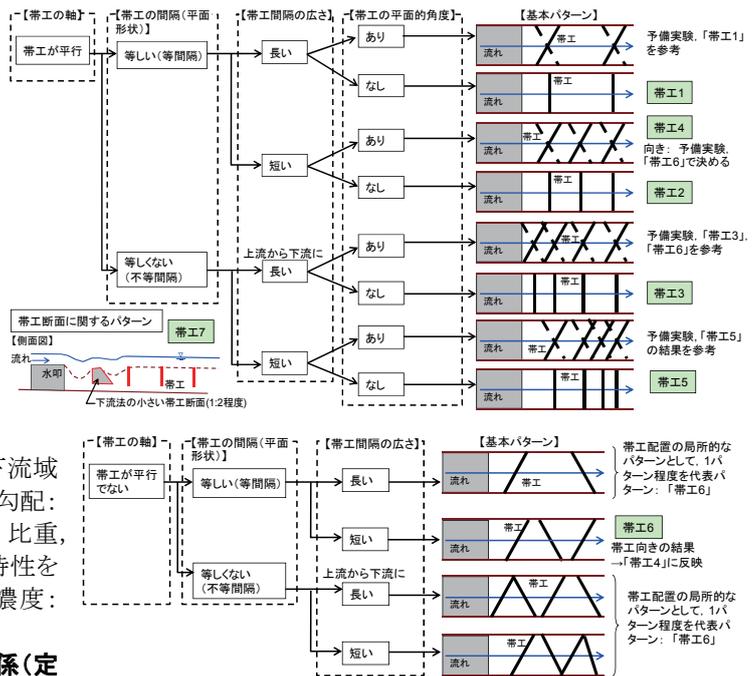


図-1 帯工の平面配置パターン

表-1 中規模・定常流による帯工パターンによる土砂流出率

実験ケース	下流端からの流出土砂量 (みかけ量: m <sup>3</sup> )	無施設時の流出土砂量に 対する各ケースの流出土砂量
帯工無し		100
(予備実験 1) 流量750 m <sup>3</sup> /s	165,375	
帯工無し		-
(予備実験 2) 流量400 m <sup>3</sup> /s	111,750	
帯工1		67.9
(Run 1) 流量750 m <sup>3</sup> /s	112,313	
帯工間隔 150m		62.4
帯工2		62.4
(Run 2) 流量750 m <sup>3</sup> /s	103,125	
帯工間隔 70m		76.3
帯工3		76.3
(Run 3) 流量750 m <sup>3</sup> /s	126,250	
間隔 35, 70, 150, 300m		64.2
帯工3		64.2
(Run 4) 流量750 m <sup>3</sup> /s	106,125	
間隔 35, 35, 70, 70, 150, 150m		71.9
帯工3, 台形断面帯工		71.9
(Run 5) 流量750 m <sup>3</sup> /s	118,938	
間隔 35, 35, 70, 70, 150, 150m		64.1
帯工4*		64.1
(Run 6) 流量750 m <sup>3</sup> /s	105,938	
帯工間隔 70m(斜め)		64.5
帯工5		64.5
(Run 7) 流量750 m <sup>3</sup> /s	106,688	
間隔 300, 150, 70, 35m		58.8
帯工6*		58.8
(Run 8) 流量750 m <sup>3</sup> /s	97,250	
帯工間隔 70m(ハの字)		

象として、堰堤の隅切(円形, 角切・45°)による水位～流量関係を見る. 交互部の片方のみに対して水位～流量関係をみたもの(図-2)では, 透過部の流れの影響が大きく, 隅切による流下能力の

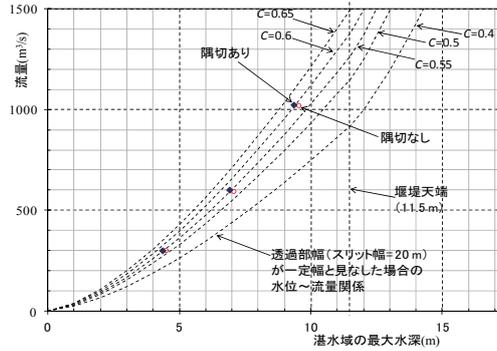


図-2 水位～流量関係(隅切の影響)

化が小さい. 交互階段型の形状における隅切の影響(図-3)をみると, 交互部のせき上げの影響が大きく<sup>3)</sup>, 隅切りの影響は小さい. 今回対象とした堰堤では, 既往検討<sup>4)</sup>と異なり隅切の水位～流量関係に及ぼす影響が小さいことが分かる.

(2) 施設パターン0の絞り込み(減水期想定実験): 減水期を想定(ハイドロ形状: 1h; 750m³/s, 7h; 400m³/s, 18h; 1000m³/s, 19h 以降は 85 m³/s<sup>3)</sup>)し, 堰堤満砂状態の土砂の流出による帯工区間の侵食・堆積についてみる.

a) 水位・河床位と流砂量: 図-4 は, 堰堤・帯工による水位(H)・河床位(z<sub>b</sub>)の時間変化, 図-5 は, 水路下流端での流砂量の時間変化である. 堰堤 C による流出流砂量は多いが, 通水 7 時間以降になると堰堤 A とほぼ等しくなり, 堰堤 A の減水期の土砂流出効果が大きくない. 堰堤 C を用いると, ピーク時～7 時間までの堰堤からの流砂量が帯工区間の河床埋め戻しに寄与し, それ以降の小規模流量で河床が更に埋め戻される. 一方, 帯工配置間隔について, ピーク流量に対する 95% 粒径, 60% 粒径に対する移動限界勾配を求めると, それぞれ, 1/500, 1/140 であり, 静的平衡からみれば, 帯工区間の距離を砂州半波長と川幅比が, 5～6 程度<sup>3)</sup> (250～300m) に広く設定すると, 砂州による流砂移動があるが, 平均的な河床低下を抑制する効果が小さく, 静的勾配を維持する際には, (1)の定常実験の結果(表-1の Run3)も用いると, その 1/3 程度の間隔(80～100m)が最大配置間隔と考えられる.

b) 帯工の機能: 交互階段型の堰堤は, 重複幅の小さい形状(堰堤 C)が堰堤堆砂域の土砂捕捉・流出効果が高く, 中小規模流量では, 交互部のせき上げ水位を保持したまま, 堰堤下流域に土砂を流下させる. 帯工には, 堰堤下流域の領域ごとに, 次の機能があることが分かる. 堰堤直下: 流れ・流砂の流向を変化させる“ハの字配置”の帯工, 帯工区間: 河床低下を抑制する“等間隔配置, 不等間隔配置”の帯工配置, 帯工群の最下流: 流れの連続性を保つ“台形断面の帯工形状”.

5. 結論: 重複幅の小さい交互階段型の堰堤と帯工により, 大出水の土砂移動を制御し, 洪水減水期や小出水時の土砂流出を促進させる機能を有することが分かった. 堰堤下流の河床低下対策施設として, 帯工を用いた場合, 堰堤直下流, 帯工域, 帯工群の下流において, 河床低下機能をもつそれぞれの帯工形状がある. 今後, 堰堤とその下流の施設により, 施設群の下流域における河床変動について, 出水規模・頻度や土砂濃度・粒径の変化に着目した総合的な検討が必要である. また, 堰堤表面の圧力・せん断力, 堰堤材料の摩耗試験のデータも取得したが, 別報で報告予定である.

参考文献: 1)草野ら:平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集(砂防学会概要集), 196-197, 2010, 2)草野ら:平成 23 年度砂防学会概要集, 62-63, 2011, 3)草野ら:平成 23 年度砂防学会概要集, 66-67, 2011, 4)水山ら:砂防学会誌, Vol. 49, No. 6, 34-36, 1997, 5)吉川秀夫:流砂の水理学, 丸善, 1985.

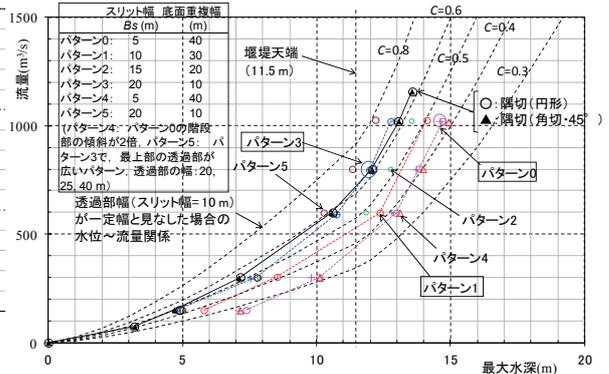
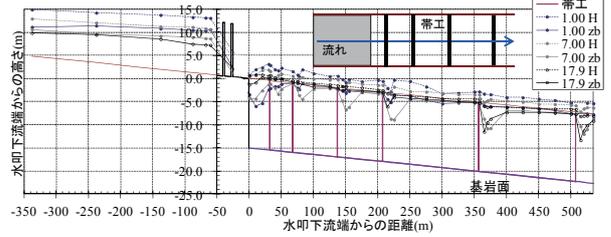
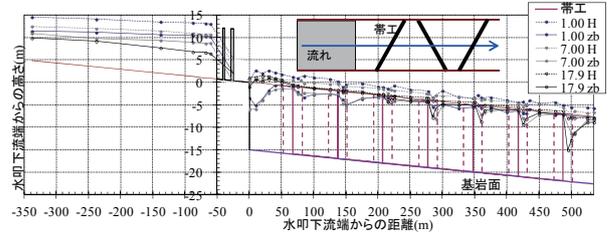


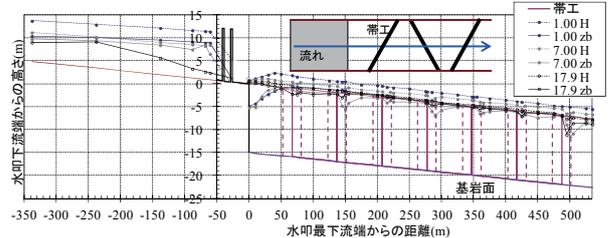
図-3 水位～流量関係(堰堤の重複幅の影響)



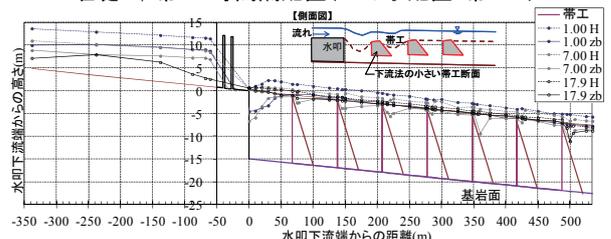
堰堤 A, 帯工・不等間隔配置(帯工 3)



堰堤 A, 帯工・等間隔配置(ハの字配置: 帯工 6)



堰堤 C, 帯工・等間隔配置(ハの字配置: 帯工 6)



堰堤 C, 帯工・等間隔配置(台形断面: 帯工 2.7)

図-4 水位・河床位の縦断分布(減水期想定実験)

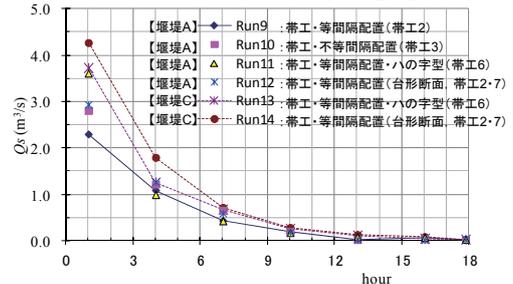


図-5 水路下流端の流出流砂量の時間変化