

交互階段型堰堤の直下・下流域における流れと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(現:国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター 砂防研究室長), 菊池 五輪彦, 岡本 明(現:中部地方整備局河川部), 小松貴洋
日本工営(株) 長山孝彦, 池島 剛, 西 陽太郎, 渡部春樹, ○ 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: 遠山川は天竜川右支川であり, 流域面積 342.5 km^2 , 流路延長 39.3 km , 平均河床勾配 $1/24$ の急流河川で, 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・景観への配慮のために, 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, 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・土砂流の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: 50 m , 平水時の水みち幅: $9.5 \sim 19.0 \text{ m}$ (平均値: 13.8 m), 堰堤設置断面での流域面積: 166.4 km^2 である.

3. 堰堤・帯工形状の抽出: 既往検討¹⁾では, 従前の施設形状に拘らない堰堤形状(交互型, セル群型など)が提案され, 一昨年度^{2), 3)}と昨年度⁴⁾の検討により, 交互階段型の堰堤が抽出された. また, 堰堤直下の高速流の低減と河床低下の制御の機能をもつ“ハの字”配置の帯工と等間隔配置(70 m)の帯工が抽出された. そこで, 帯工のパターンは2パターンに絞られているため, 帯工パターンは検討しない. 一方, 堰堤形状は, 下流正面から見た階段形状(透過部幅: 河床から $20, 25, 35 \text{ m}$)については, 交互堰堤の重複幅には変化がなく, 堰堤隅角部の処理を検討する. これは, 昨年度の検討⁴⁾で, 小さい隅切を試験的に行ったが, その影響が交互堰堤の水位せき上げ効果よりも小さく, 定量的な評価が行えなかったためである.

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: 1.0 m である. 実験砂は, 原型と物理特性を一致させて, 次のように設定した. 比重: 2.65 , 内部摩擦角: 37.1° , 静止堆積濃度: 0.523 , 粒径は一昨年度のもの²⁾と同じである.

(1) 堰堤パターンの絞り込み・水位～流量関係(定常実験): 交互階段堰堤の重複幅の等しい4パターン(図-1 参照)に対して, 水位～流量関係のデータを得た. 堰堤形状について, 上流側堰堤は上流法 0.75 ・下流法 0.2 , 下流側堰堤は, 上流法 0.2 ・下流法 0.65 の断面形状である. Run 1 は交互階段型堰堤であり, Run 2 は, 堰堤上流側への角隅切(河床から $1 \cdot 2$ 段目: $5 \times 5 \text{ m}$, 3 段目: $3 \times 3 \text{ m}$), Run 3 は, 堰堤上流側への円弧隅切(河床から $1 \cdot 2$ 段目: 半径 5 m , 3 段目: 半径 3 m), Run 4 は, 堰堤正面からみた円弧堰堤である. 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を選択すると, 交互階段型(原案⁴⁾)と交互階段型・角隅切の堰堤と思われるが, 4パターンの形状における顕著な違いは見られない. ただし, 昨年度の検討⁴⁾とは異なり, 大きい隅切の影響が現れている.

(2) 新型前庭保護工・水叩長: 堰堤直下は, 右岸側からの噴流の影響が大きい. 昨年度の検討⁴⁾において, 堰堤直下の流れ・流砂の流向を変化させる“ハの字配置”の帯工が効果的であった. しかしながら, 図-3 に示すように, 堰堤右岸側からの噴流の影響を十分に消散させる必要がある. そこで, 図-3 のようなプール形状(深さ D , 長さ L_d)の前庭保護工を“新型前庭保護工”と称して, その流れ特性を検討した. $L_d=20, 35, 40, 60, 70, 80 \text{ m}$, $D=2, 3 \text{ m}$ の組み合わせにおいて, 大規模ピーク流量 $1022 \text{ m}^3/\text{s}$ に対して流況を比較し, $(D, L_d)=(2 \text{ m}, 70 \text{ m})$, $(3 \text{ m}, 45 \text{ m})$ のパターンが抽出された. これらに対し, 中規模流量 $750 \text{ m}^3/\text{s}$ に対して, 新型前庭保護工下流での流速を計測し,

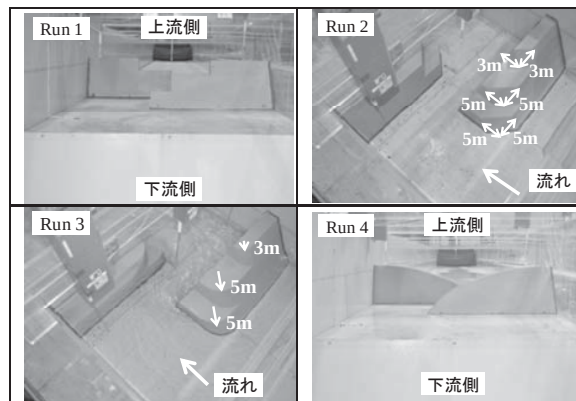


図-1 交互堰堤の重複幅の等しい堰堤形状パターン

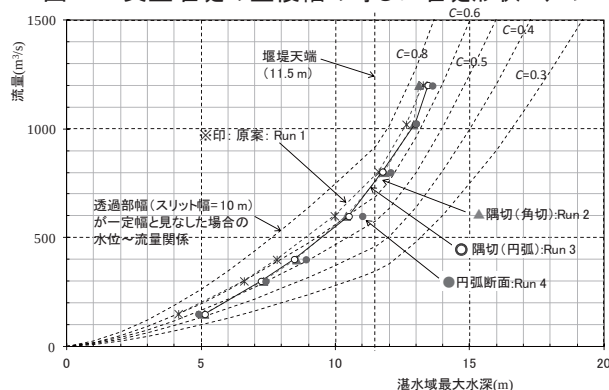


図-2 水位～流量関係(堰堤重複幅の影響)

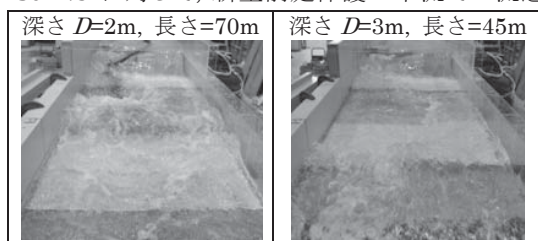


図-3 新型前庭保護工の流況(清水流量: $1022 \text{ m}^3/\text{s}$)

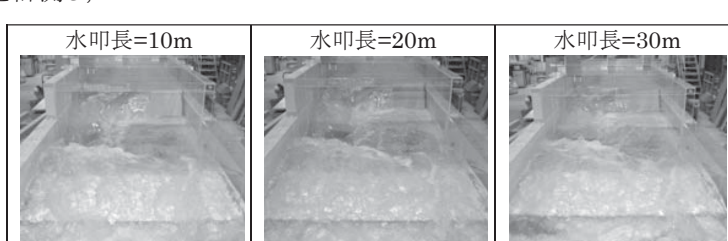


図-4 新型前庭保護工の流況(清水流量: $1022 \text{ m}^3/\text{s}$)

無施設の等流流速と比較したところ、新型前庭保護工下流での流速は、等流流速と同程度、もしくは、小さくなった。そこで、施工長も想定し、長さの短い(D , L_d)=(3m, 45m)の形状を抽出した。次いで、堰堤直下および新型前庭保護工の水叩長についても検討した。堰堤の設計においては、種々の経験則を適用するが、不透過型堰堤を基本としたものであるため、本検討のような透過型堰堤にはなじまない。そこで、大規模流量を対象とし、水叩長を 0, 10, 15, 20, 30m と変化させて、水叩の効果のある最小長さを求め、更に、中規模流量 $750\text{m}^3/\text{s}$ に対して、流況を確認したところ、水叩長の最小値は、20m となった。

(3) 施設パターンの絞り込み(減水期想定実験)： 減水期を想定(ハイトロ形状: 1h; $750\text{m}^3/\text{s}$, 7h; $400\text{m}^3/\text{s}$, 18h; $100\text{m}^3/\text{s}$, 19h 以降は $85\text{m}^3/\text{s}$ ³⁾)し、堰堤満砂状態を初期条件とし、土砂流出に及ぼす堰堤形状の影響、帯工区間の侵食と流出流砂量をみる。

a) 堰堤形状： 図-5 は、堰堤パターンによる堰堤下流からの流出流砂量の違いである。施設形状(Run 1～Run 4)による流出流砂量には殆ど違いがない。さらに、表-1 において、堰堤形状が流出土砂量(総量)に及ぼす影響をみても、大きい違いは見られない。そこで、水位～流量関係の結果を用いて、交互階段型(原案 ⁴⁾)と交互階段型・角隅切の堰堤を抽出した。

b) 帯工・新型前庭保護工の機能(水位・河床位と流砂量)： 堰堤形状が交互階段型(原案 ⁴⁾)と交互階段型・角隅切の堰堤が抽出され、既往検討 ⁴⁾ により、“ハの字”配置と等間隔配置(70m)の帯工が抽出された。交互階段型・角隅切、新型前庭保護工を中心に、表-1 に示すように 3 パターンの形状に対して、減水期における堰堤下流の侵食および流出流砂量に関する実験を行った。図-6 は、Run 6, Run 7 に水路中心での水位(H)・河床位(z_b)の時間変化、図-7 は、水路下流端での流砂量の時間変化である。

堰堤・新型前庭保護工と帯工の組み合わせについて、例えば、Run 6, Run 7(表-1 参照)の流出流砂量や水位・河床位の時間変化を見ると、両者には顕著な違いは見られない。両者のケースで共通することは、新型前庭保護工下流での侵食が発生しないこと、および前庭保護工の完全な埋め戻しである。すなわち、堰堤パターンは交互階段型・角隅切の堰堤の 2 パターンが抽出され、堰堤直下の侵食対策として、新型前庭保護工が選択される。さらに、その堰堤下流域の侵食抑制工として、ハの字配置および等間隔配置(70m)の 2 パターンの帯工が選ばれることになる。一方、帯工間隔について、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、帯工間距離を砂州半波長と川幅比が、5～6 程度 ⁵⁾ (250～300m) とすると、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い。静的勾配を維持する際には、最大値 300m の 1/3～1/2 程度の間隔(100～150m)が最大間隔であろう。

5. 結論： 重複幅の小さい交互階段型・角隅切の堰堤と等間隔配置の帯工(ハの字配置も含)により、大出水の土砂移動を制御し、減水期や小出水時の土砂流出が促進させる機能を有する。更に、堰堤直下の高流速・河床侵食制御と中小規模出水の流砂分散機能を有する新型前庭保護工の機能が大きく、その下流では、等間隔配置の帯工で良い。

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) 蒲原ら，：平成 24 年度砂防学会概要集，86-87, 2012, 5) 吉川秀夫：流砂の水理学，丸善，1985。

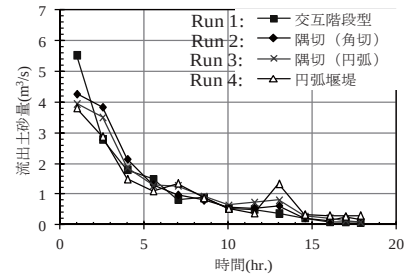
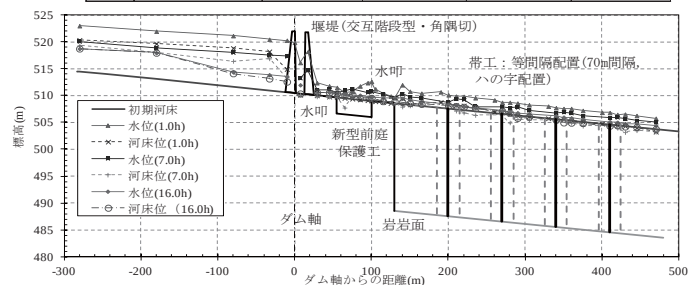


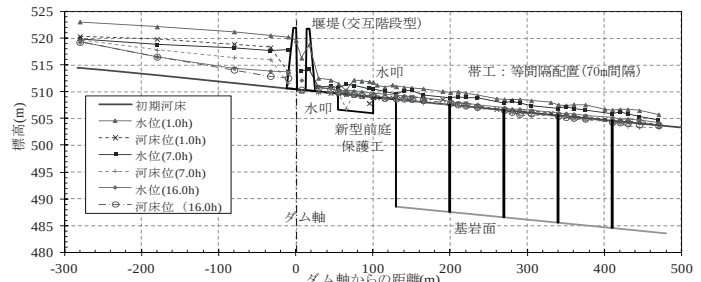
図-5 堰堤からの流出流砂量(減水期)

表-1 中規模・減水期実験による土砂流出

Run No.	堰堤・施設形状	(a) 中小出水時の流出土砂量	(b) 大出水時の流出土砂量	(c)=(a)+(b) 流出土砂の総量	備考(堰堤堆砂域の土砂量 m^3)
		堰堤下流直下の堆積量 (m^3)	堰堤直下以遠の堆積量 (m^3)	堰堤からの流出流砂量 (m^3)	
1	原案(交互階段型)	—	147,388	147,388	235,635
2	隅切(角切)	23,250	131,125	154,375	235,635
3	隅切(円弧)	27,825	126,488	154,313	235,635
4	円弧断面	31,800	113,375	145,175	235,635
5	堰堤: 交互階段型(隅切・角切), 新型前庭保護工, 等間隔帯工	—	136,613	同左	235,635
6	堰堤: 交互階段型(隅切・角切), 新型前庭保護工, 等間隔帯工・ハの字配置	—	138,325	同左	235,635
7	堰堤: 交互階段型(昨年度形状), 新型前庭保護工, 等間隔帯工	—	142,238	同左	235,635



交互階段型・角隅切の堰堤, 新型前庭保護工, ハの字配置・帯工(Run 6)



交互階段型堰堤, 新型前庭保護工, 等間隔配置・帯工(Run 7)

図-6 水位・河床位の縦断分布(減水期実験)

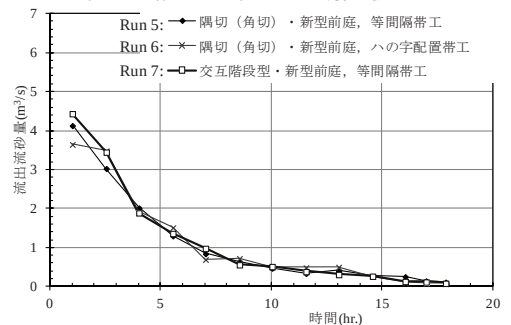


図-7 水路下流端の流出流砂量の時間変化