

水理模型実験を用いた急流河川における水制工群の効率的配置に関する検討

胆振総合振興局 室蘭建設管理部 ○藤川拓司 功刀英範 武藤亮太
(株)北海道技術コンサルタント 伊豆田岳志 大谷健一 松屋勇一郎

1. はじめに

北海道沙流郡日高町を流れる沙流川では平成28年8月豪雨で破堤を伴う氾濫被害や落橋等の道路被害が発生した(写真-1)。災害復旧に当たっては、護岸工に加え、水制工による堤防前面の流速低減により再度災害の防止を図る計画が立案された。

河川砂防技術基準(案)同解説における流速低減を目的とした水制工の設置基準は、高さ：計画水深の0.2～0.3倍程度、長さ：川幅の10%以下、間隔：長さの2～4倍又は高さの10～30倍程度にすることが多いとの記載があるが¹⁾、当該計画地点のような急流河川における設置例は少ない。そのため本研究では水理模型実験により、急流河川における効率的な水制工の配置・形状について検討を行った。



写真-1 被災状況（沙流川）

2. 実験手法

2.1 実験条件・手法

基本的な実験条件を表-1に示す。実験では災害復旧工事後の河道状況を1/50の規模で地形再現した実験水路に、高さ・長さ・間隔の3つのパラメータを様々に変化させた水制工の模型を設置し、計画洪水流量時における水制工間の流速を測定した。

(以降の流速等の数値は実スケールに換算した値である)

2.2 実験パターン

実験パターンについて表-2にまとめる。河川砂防技術基準(案)の記述に従い実験パターンを検討した。実験では水制高は0.5mピッチ、水制長2.0mピッチ、水制間隔は10mピッチで様々に変化させた。また、高さのみ記述の範囲外(H=1.5～3.5m)のパターンも対象とし、合計34パターンの実験を行った。

2.3 目標流速の設定

本研究では水制工による堤防前面の流速低減効果について、水制工間の流速が目標流速以下となれば効果有りと判定する。目標流速は「護岸・水制の計画・設計」²⁾の記述を参考にして設計流速の6割とし、災害復旧工事の設計流速は7.0m/sであるため、実験の目標流速はその6割：4.2m/sとした。

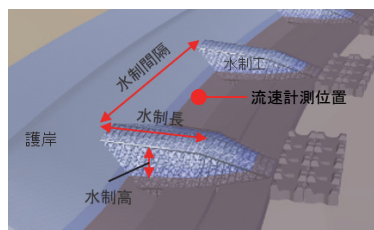


図-1 水制工模式図



写真-2 実験風景

表-1 基本的な実験条件

勾配	川幅	曲率半径	計画流量	計画水深
1/95	100m	300m	1200m ³ /s	3.5m

表-2 実験パターンまとめ

	水制高	水制長	水制間隔
基準記載	計画水位の0.2～0.3倍程度	川幅の10%以下	長さの2～4倍又は高さの10～30倍程度
基準値	3.5m	100m	長さ：10m以下 高さ：0.7m～1.0m
基準範囲	0.7m～1.0m	10m以下	7m～105m
実験範囲	1.0m～3.5m	4m～10m	10m～80m※
検討ピッチ	0.5mピッチ	2mピッチ	10mピッチ
最大パターン数	6パターン	4パターン	8パターン

(※基準が変わらないため80mまでとする)

3 結果と考察

3.1 水制工総体積と流速の関係性

図-2に各パターンの最大流速と水制工の総体積の関係を示す。体積と流速は弱い負の相関しか得られず、総体積が大きいほど設置費用は高くなるが、流速低減効果がダイレクトに高まるわけではないことが伺える。

3.2 急流河川における最適な水制工

配置・形状と流速にどのような関係があるかデータを整理する。各パターンにおける最大流速と判定を高さ毎に整理したものを表-3に示す。パターンで「○」としたものは流速低減効果がある（もしくははあると判断できる）、「×」としたものは効果なし、「-」は河川砂防技術基準の範囲外にあるため検討外のパターンである。

() は実験での最大流速を示す。

河川砂防技術基準の記述に従うと、水制高は1.0m(計画水深の0.3倍)が上限となるが、この高さで目標流速以下となるパターンは最も体積の大きい間隔10m・長さ10mのパターンであった。

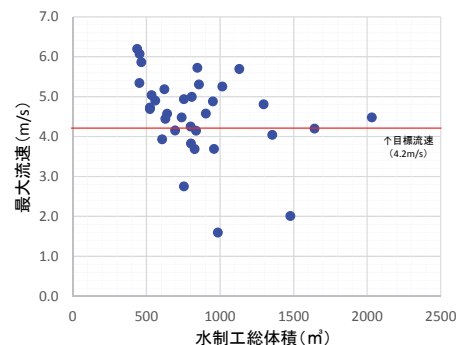


図-2 最大流速と総体積の関係性

記述の範囲外であるが、水制高が 1.5m, 2.0m のパターンでは 1.0m よりも総体積の小さな配置・形状で、目標流速以下にできることが分かった。また、水制高が 2.5m では落下流の影響が大きく、十分な流速低減効果は得られなかったものの、3.0m, 3.5m では水はね水制としての効果も確認されたことに加えて、流速低減効果が確認された。最も効率が良いパターンは、表-4 に示す水制高 2.0m, 水制長 6.0m, 水制間隔 30m, 総体積 606 m³ のパターンであった。

この結果から、急流河川において流速低減を目的として水制工を設置する場合、高さは計画水深の半分程度を目安に設定することが良いと考えられる。また、河岸から流水を遠ざける水はね水制として設計する場合は計画水深の 0.9 倍程度以上を目安にすると良いであろう。その中間の高さでは、落下流の影響により十分な流速低減効果が得られない可能性が高く、長さ、間隔については目標流速に応じてその都度検証が必要である。

3.3 経済的な水制工の配置・形状

次に流速低減効果を左右している 3 つのパラメータ(高さ、長さ、間隔)に関し、最も支配的なパラメータについて検討した。

検証は高さ、長さ、間隔の 3 つのパラメータの中で、ひとつだけが異なるパターンを比較整理した。それぞれのパラメータについて、パラメータの変化量と最大流速をプロットすると図-3 となる。変化量と最大流速の間には各パラメータで似たような傾き(効果)となっており、これは他のパラメータにかかわらず、効果がほぼ一定であることを示している。

さらに、各パラメータの効果を比較するため、総体積の変化量(ΔV)と流速の変化量(Δv)に基づき $\Delta v / \Delta V$ を算出する。 $\Delta v / \Delta V$ は単位体積あたりの流速低減効果量を示し、この値が大きいほど効率的に流速低減が可能であることを意味する。パターン毎に計算した $\Delta v / \Delta V$ の平均値を図-4 に示す。効率的に流速を抑制するためには、高さを上げることが最も良く、次いで間隔、長さの順になることが分かった。

4. まとめ

本研究の結果、以下のことが判明した。

- ①急流河川における水制工の高さは、河川砂防技術基準の記述である計画水深の 0.2~0.3 倍程度ではなく、0.5 倍程度にすることで、より効率的(経済的)となる。
- ②長さ・間隔は、河川砂防技術基準の記載値内で目標流速が達成可能であるが、より安価な組み合わせでは、機能が不十分となるケースが多いため、目標流速に応じ、その都度検証が必要である。
- ③急流河川において、水制工を用いて流速を低減するためには、高さを上げることが最も効率的で、次いで間隔、長さの順になることが分かった。

5. 今後の課題

本研究は沙流川の河道状況を再現して実験を行ったが、川幅、河床勾配、曲率半径、河床材料といった河道状況の異なる別の急流河川においても設計の目安になるような指標を得るためには、異なる河道条件による研究を蓄積していくことが必要である。

参考文献

- 1) 建設省監修日本河川協会編(1997)「改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編[I]」, 山海堂
- 2) 山本晃一(2003)「護岸・水制の計画・設計 一歩先そして一歩手前」, 山海堂

表-3 各パターンの最大流速と判定結果(高さ毎)

水制高1.0m 判定(流速)	水制長(m)				水制高1.5m 判定(流速)	水制長(m)			
	4.0m	6.0m	8.0m	10.0m		4.0m	6.0m	8.0m	10.0m
水制間隔 (m)	10m	×	×(4.9)	×(4.8)	○(4.2)	10m	○(4.1)	-	-
	20m	×	×	×	×(5.3)	20m	×(6.2)	○(4.2)	○
	30m	×	×	×	×	30m	×	×(5.9)	×
	40m	-	-	-	×	40m	×	×	×
	50m	-	-	-	-	50m	-	-	-
	60m	-	-	-	-	60m	-	-	-
水制高2.0m 判定(流速)	水制長(m)				水制高2.5m 判定(流速)	水制長(m)			
	4.0m	6.0m	8.0m	10.0m		4.0m	6.0m	8.0m	10.0m
水制間隔 (m)	10m	○	-	-	-	10m	-	-	-
	20m	×(4.9)	○	○	○	20m	×(5.7)	×	×
	30m	×	○(3.9)	○	○	30m	-	×(4.9)	×
	40m	×	×(6.1)	×(4.4)	○(3.8)	40m	-	×	×
	50m	×	×	×(4.7)	×(4.3)	50m	-	×	×
	60m	×	×	×	×(5.0)	60m	-	×	×
水制高3.0m 判定(流速)	水制長(m)				水制高3.5m 判定(流速)	水制長(m)			
	4.0m	6.0m	8.0m	10.0m		4.0m	6.0m	8.0m	10.0m
水制間隔 (m)	10m	-	-	-	-	10m	-	-	-
	20m	-	○(4.0)	○	○	20m	-	-	○
	30m	-	×(4.6)	○	○	30m	-	-	○
	40m	-	×	○(3.7)	○	40m	-	-	○
	50m	-	×	×(4.24)	○	50m	-	-	○
	60m	-	×	×(4.6)	○(3.7)	60m	-	-	○
	80m	-	×	×	×(5.2)	80m	-	-	×

表-4 最適な水制工形状(高さ毎)

水制高 m	水制長 m	水制間隔 m	総体積 m ³
1.0	10.0	10	1,642
1.5	6.0	20	695
2.0	6.0	30	606
2.5	-	-	-
3.0	10.0	60	828
3.5	8.0	60	755

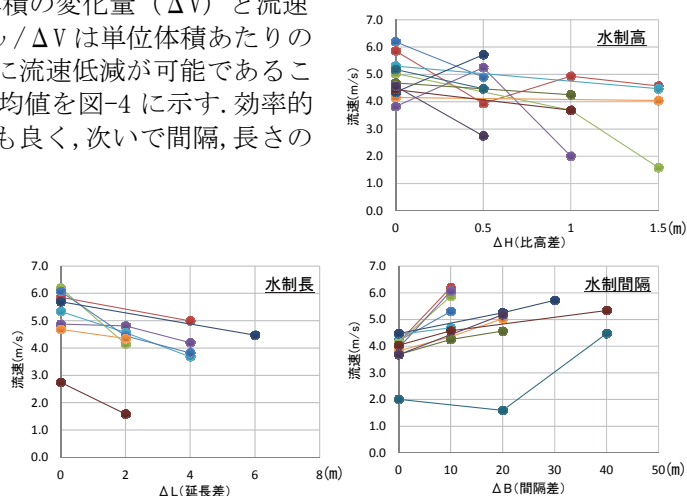


図-3 変化量と最大流速

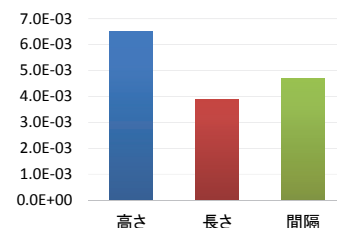


図-4 単位体積あたりの流速低減効果