

水理模型実験に基づく 小野川流木捕捉工の施設計画及び構造設計

FACILITY PLANS AND STRUCTURAL DESIGNS OF THE EFFICIENT DRIFTWOOD CAPTURE WORK ON THE ONO RIVER BASED ON HYDRAULIC MODEL EXPERIMENTS

高崎秀一¹・福元秀一郎¹・小路永浩美²・日高暢彦²・渡邊明英³・廣岡篤⁴・
成瀬哲哉⁵・高村聡⁶・大原雅宏⁶・若林善樹⁷
Syuichi TAKASAKI, Syuichiro FUKUMOTO, Hiromi SYOUJINAGA, Nobuhiko HIDAKA,
Akihide WATANABE, Atsushi HIROOKA, Tetsuya NARUSE, Satoshi TAKAMURA,
Masahiro OHHARA and Yoshiki WAKABAYASHI

¹正会員 (株)東京建設コンサルタント 九州支社環境防災部 (〒812-0016 福岡県福岡市博多駅南2-12-3)

²非会員 (株)東京建設コンサルタント 九州支社河川施設部 (同上)

³正会員 博(工) (株)東京建設コンサルタント 環境防災研究所 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

⁴非会員 (株)東京建設コンサルタント 環境防災研究所 かすかべ環境防災研究センター (〒344-0021 埼玉県春日部市大場128-1)

⁵非会員 大分県日田土木事務所 (〒877-0004 大分県日田市城町1-1-10) 〈当時〉

⁶非会員 大分県日田土木事務所 建設課 (同上)

⁷非会員 大分県土木建築部 河川課 (〒870-8501 大分県大分市大手町3-1-1)

On the Ono River, a tributary of the Kagetsu River, through Oita Prefecture, a driftwood capture work was planned in the countermeasure against the driftwood disaster caused by the heavy rain in northern Kyushu in July 2017. Even though there were very few similar cases of branch-type driftwood capture work in Japan, it was required to examine a facility plan with high urgency, efficiency and certainty.

In order to study the optimal facility shape, we have continued to study the relationship between the facility shape and driftwood capture effect by hydraulic model experiments since 2018. Structural design was carried out from the obtained optimum shape in this study, and the construction was started on March 2020 that is scheduled to be completed at March 2021.

In this paper, we show the relationship among the driftwood capture rate, the distribution rate of flow and structural parameters of driftwood capture work. The findings newly obtained from the process of examining the optimum shape of the driftwood capture work are described.

Key Words : *driftwood capture works, hydraulic model experiments, driftwood capture rate, shapes of inflow part, drainage channel in storage pond*

1. はじめに

近年、流木災害が深刻化する中、効果的な流木捕捉施設の計画・設計は、河川技術における今後の重要課題と言えるが、河川区域内を対象とした明確な技術基準、ガイドラインはない。また全国的な類似事例も2~3例と少なく、かつ完成施設の効果検証、モニタリングデータ等が未だ充分とは言えない実情にある。そのような中、

本施設計画は大分県が管理する筑後川水系花月川の支川小野川を対象とした、平成29年7月九州北部豪雨災害関連の緊急性の高い事業であり、効率性・確実性の高い施設計画の検討が急務であったため、水理模型実験により流木捕捉工の形状と流木捕捉機能の関係について検討した。なお平成30~令和元年度に亘った著者らによる本検討のうち、初年度の原案実験・改良検討の詳細については既出論文²⁾を参照されたい。



図-1 小野川流域図²⁾

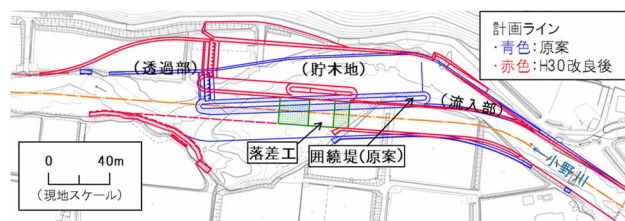


図-2 流木捕捉工施設等説明図²⁾

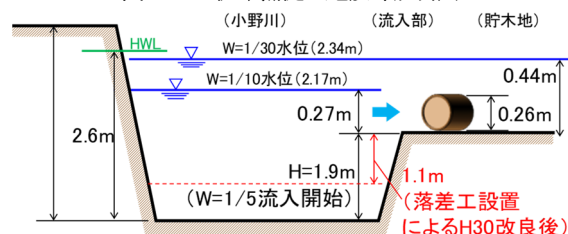


図-3 貯木地の流入イメージ²⁾

2. 河川及び H29.7の被災状況の概要²⁾

(1) 小野川の概要

一級河川筑後川水系花月川の支川小野川は、大分県の北西部（日田市）に位置し、福岡県との県境付近に源を発し、南流して花月川に注ぐ流域面積33.9km²、流路延長約10 kmの県管理河川である（図-1参照）。流域の土地利用は山地・山林が概ね9割を占め、残る1割に家屋・事業所・農地等の資産が集中しており、その資産の多くが花月川合流点付近の下流域に分布している。

(2) 平成29年7月豪雨による被災状況²⁾

災害関連事業区間では、越流した洪水による家屋の浸水被害の他、日田市の経済・雇用を支える製材所等の事業所が被災した。被災要因としては、河道の現況流下能力を大きく上回る洪水が流れた事のほか、事業区間に架かる橋梁（流木捕捉工計画地の下流約400m）において流木が集積して閉塞した事で流れが阻害され、洪水が堰上げられて溢れたことが挙げられている。

3. 実験の条件と方法

(1) 実験対象の区間と施設（水理模型の概要）等²⁾

実験対象は小野川2.6km（事業区間上流端）付近の河道湾曲部とし、外岸側に計画する貯木地へ上流側から流水・流木を分派させ、下流側スリットで流木のみを捕捉する分派型の流木捕捉工である（図-2参照）。

水理模型の縮尺（S）は水の粘性の影響を無視しうる $S=1/30$ とし、実験対象区域での流れの安定のため、上下流に川幅の6倍程度の助走区間を設けた。なお今回の水理模型実験は流木の流下状況を支配する河道内の流れを再現する事を重視し、フルードの相似則に基づいて実施した。

原案実験を行うにあたり、施設形状の初期設定値として、貯木地の流入口の幅（B）については最大流木長19.5m以上の $B=20m$ とし、流入口の高さ（H）については図-3のように、発生確率 $W=1/10$ 規模の洪水での流木流出（類似事例⁶⁾を参照）を想定し、1/5規模で水が流入を開始する高さとして $H=1.9m$ に設定した。貯木地下流側の透過部に設置するスリットの高さは、流木止めスリットによる堰上げ（H29.7被災流量を対象）を考慮した水位に、流木捕捉に必要な高さとして最大流木径0.43mの2倍³⁾を採用して加え、 $H=2.5m$ とした。また、スリットの間隔（b）は「透過部が転石で閉塞しない条件（最大転石径の2倍以上）と流木を捕捉する条件（最大流木長の1/2以下）」³⁾の双方を満足するものとした上で、類似事例⁵⁾での考え方「平均流木長の1/2～1/3」を参照し $b=3m$ とした。

なお、水位・流速の計測方法については次に示すとおりであり、ポイントゲージ、オートレベルを使用し、縦断方向に18測点（現地スケールで約10～50mピッチ）、各横断方向（貯木地内を含む）に3～6地点を対象に水位を計測した。流速は2成分電磁流速計（河道縦断及び横断方向）を使用し、水位計測と同様の地点にて各水深方向3点（水面より水深の2, 6, 8割を基本）を対象に計測した。加えて、PIV解析により流速分布を把握し、流速ベクトル図、流速コンター図を作成した。

(2) 実験方法及び実験条件

a) 対象流量

実験の対象流量は、H29.7被災流量（460m³/s）、1/30計画流量（270m³/s）、1/10流量（240m³/s）とし、定常流及び非定常流（H29.7波形）での条件設定とした。

b) 対象流木及び投入パターン

実験で対象とする流木は、現地近傍のサンプリング結果等より長（16.5m）・短（10.0m）2種類の流木及びそれらの混合とし、想定される発生流木量より設定された計画流木流出量700m³より必要本数（流木長に応じて

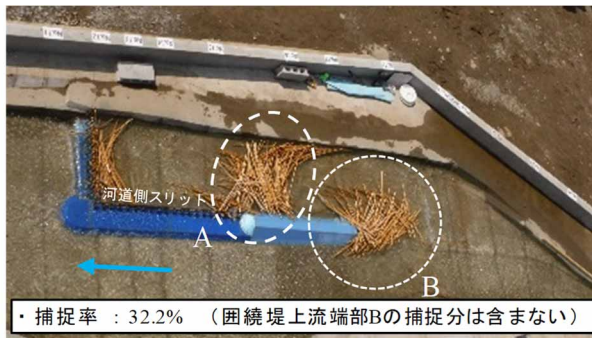


図-4 H30年度時点形状【Case 1】での捕捉状況²⁾
(1/30計画流量, 均等投入)

表-1 実験ケース一覧

検討 時点	実験 ケース等	河道法線等		流入部		透過部等		排水路 設置 (延長)	模型 ケース 【Case】
		平面 形状	落差工 設置	幅 (m)	形状	囲ぎよう境 先端部幅 (m)	下流側 スリット高 H(m)	河道側スリット 有無 (位置・角度)	
関連 論文	原案	原案	無	20	横越流型	8.9	2.5	無	—
	H30 改良実験	改良後	有	70	横越流型	8.9	5.0	有 (貯木地側)	3m・0°
	(1)流入部 改良実験				正面越流型			—	—
					斜め越流型 (階段形状)			—	—
					斜め越流型 (スロープ形状)			—	—
	b)補足実験				斜め越流型 (階段形状)	4.1		—	—
	(2)a) 縦スリット部 改良実験							有 (河道側)	3m・0°
								有 (河道側)	6m・0°
								有 (河道側)	6m・60°
	(2)b) 排水路 効果							有 (L=90m)	—
								有 (L=65m)	—
本 論 文 で 紹 介 (R1 年 度 追 加 改 良 実 験)	補足実験							有 (L=40m)	—
	R1最終形状	改良後	有	70	斜め越流型 (階段形状)	8.9	5.0	有 (河道側)	3m・0°

■ : 最適ケース

800~1,400本程度)を設定した。対象樹種は針葉樹(杉)であり、実験前に水に浸した比重0.8程度の丸棒を用いた。また流木投入パターンは類似実験事例^{6),7)}等を参考に、均等投入する2ケースと河道内集積後の集中流下を想定した1ケースを設定した。

4. H30年度検討時点での課題等²⁾を踏まえた実験

ケースの設定

既出論文²⁾の通り原案実験(捕捉率:約10~20%)に対し、H30改良実験【Case 1】による平面形状の変更、流入部下流側での落差工設置、流入部幅の拡大、下流側スリット等の嵩上げ等によって、捕捉率の向上(約50~70%)や流況の改善は図られた。その一方で図-4中の(A)のように河道側スリット上流部に流木が集積した結果、右岸堤内地への越水等が確認される場合がある等、捕捉率の更なる向上(課題①)や貯木地内の水位上昇抑制(課題②)に加えて、効率良く貯木地に堆積させる工夫(課題③)の必要性も認められていた。

そのため、表-1に示す通りR1年度に追加実験ケース【Case 2~11】を設定し、更なる改良策の検討を実施し

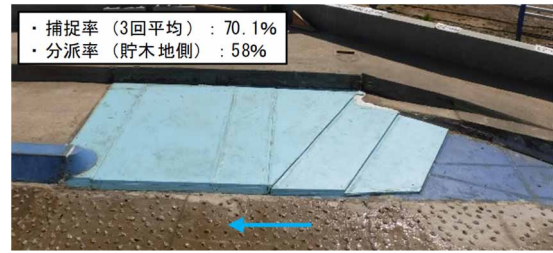


図-5 正面越流型【Case 2】

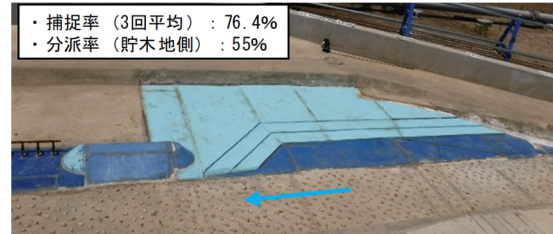


図-6 斜め越流型(階段形状)【Case 3】

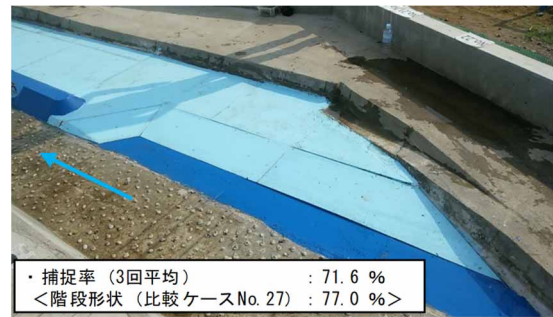


図-7 斜め越流型(スロープ形状)【Case 4】

た結果について次章に示す。(なお、改良部以外の形状等については、前段実験での最適ケースを基本としている。)

5. より安全・確実な流木捕捉に向けた更なる改良策の検討

(1)流入部改良による捕捉率の更なる向上策

a)分派水量の最適化に向けた形状の検討(課題①の対応)

貯木地への分派量と流木捕捉率の相関性が高い²⁾中でも、極力、分派量の抑制を図りつつ捕捉率を向上させるため「越流部の低水路線形」の可能性に今一度着目した。従来Case 1の横越流型に対して図-5, 6のように正面越流型及び斜め越流型による改良を行った結果、河道の主流部分を貯木地側へと一旦導水するような形状が、流木の流入増大を促した。これにより分派率も5%程度増大したものの、Case 3の斜め越流型において流木捕捉率は76.4%を記録し、Case 1(同一流量ケースで61.5%)から約15%もの大幅な捕捉率向上に繋がった。

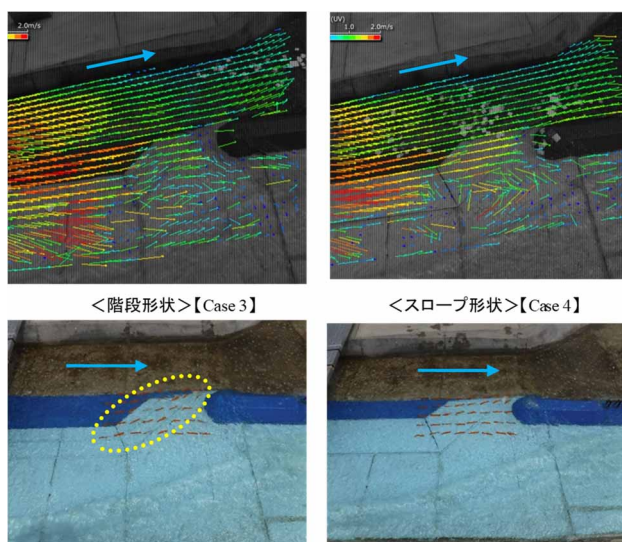


図-8 PIV解析（表面）及び
リボン設置（底面）による確認状況

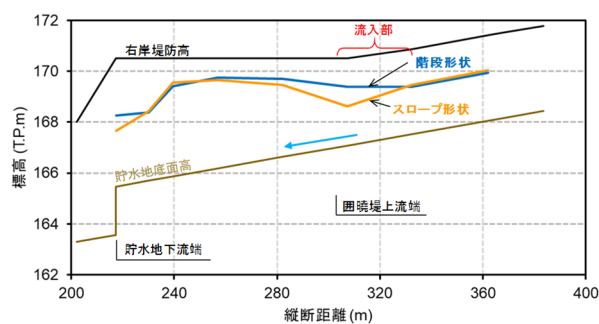


図-9 河道水位の計測結果

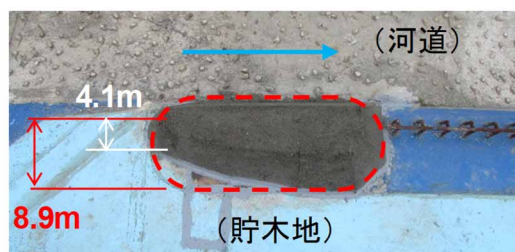


図-10 圍繞堤の形状変更イメージ【Case 5】

なお、同じ斜め越流型でも階段形状に比べて施工性や維持管理（流況の安定化）面で有利と考え、図-7のようなスロープ形状についても改良実験を行ったが、その結果、予想を下回る捕捉率となった。その理由について考察するため、流向及び河道水位等について比較計測したところ、図-8に示すとおり、PIVによる表面流速では僅かな差であるが、特に（流向を示すリボンを設置した）底面付近においてスロープ形状に比べ階段形状の方で河道へ戻る流向が確認された。その効果が図-9に示すように、流入部における河道水位の上昇をもたらし、貯木地への流木流入に寄与しているものと考えられた。

b) 圍繞堤の形状修正（補足実験）

流木が流入区間を流下する際、圍繞堤の上流側先端部に衝突した後、河道側へ戻るケースが見受けられてい

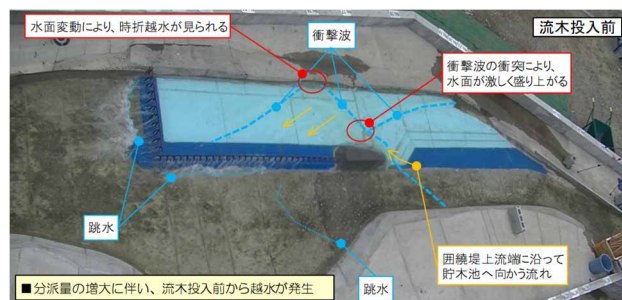


図-11 圍繞堤の形状修正に伴う越水状況【Case 5】

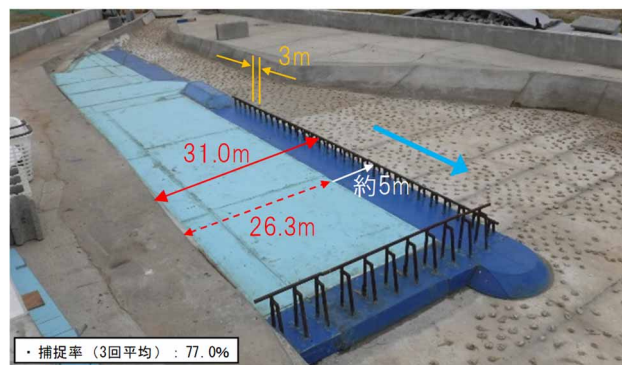


図-12 縦スリット位置の変更【Case 6】



図-13 縦スリット間隔の変更【Case 7】

ため、図-10のように先端部の形状（幅）を微修正する事により、上記現象の回避（より貯木地側への流入）を試みた。

その結果、予想を超える分派量の増大が生じ、図-11に示すように流木流入前から貯木地右岸堤防での越水が発生した。本ケースの劣位性に加え、流入部の僅かな形状の違いが、本施設に及ぼす水理的な悪影響についても確認する事が出来た。

(2) 貯木地の水位上昇対策（課題②、③の対応）

a) 縦スリット部の改良

過年度時点では図-4に示したとおり、河道側の縦スリットへの流木の引っ掛かりが、貯木地全体での効率良い様な集積を妨げていたため、その防止策として、図-12のように圍繞堤下流の縦スリットの位置を河道側へ約5m移動させた。その結果、貯木地途中で集積が生じる等の現象が改善されると共に、貯木地面積の増大も相俟ってH30年度時点の課題であった右岸堤防での越水防止を可能とした。

なお併せて、図-13、14のようにスリットの「間隔」や「横断方向（流向）に対する背後支柱の設置角度」に

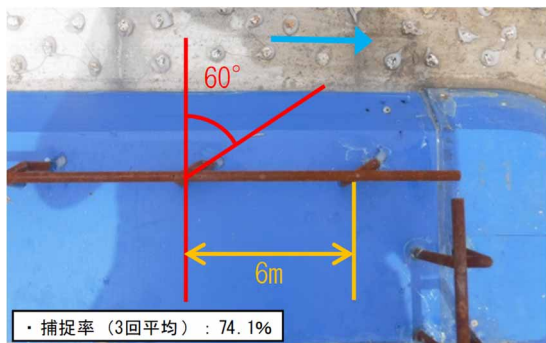


図-14 縦スリット設置間隔及び角度の変更【Case 8】



図-15 流木の集積状況（排水路無）【Case 6】

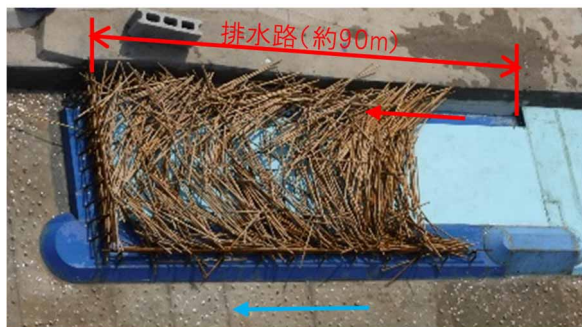


図-16 流木の集積状況（排水路有）【Case 9】

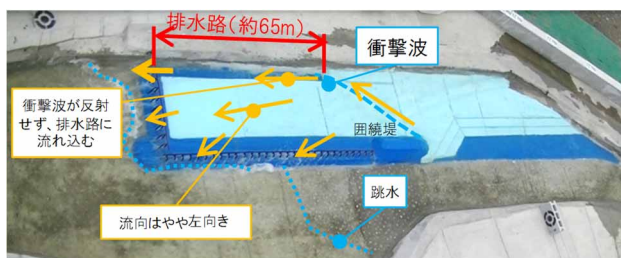


図-17 排水路の最短化（排水路延長65m）【Case 10】

ついても改良効果を調べたが、水理的効果は同等であったため、経済性を考慮し、間隔増に伴う部材の肥大化や特注製造が生じないCase 6 (3m・0°)を採用した。

b)排水路の設置

上記a)により右岸堤防からの越水は防止出来たものの超過洪水発生時等を想定し、可能な限り貯木地の水位上昇を抑制すべくその対策として、図-16のように貯木地内右岸側での排水路 (L=90m, B=5m) の設置を提案した。これにより、貯木地内の流れが左右両方向へ均等に分散する結果、排水路無 (図-15) に比べ流木がより疎らに堆積した。また、その内部を通過する水量が多くなるため、排水路能力分に加え、水位上昇が更に抑制され

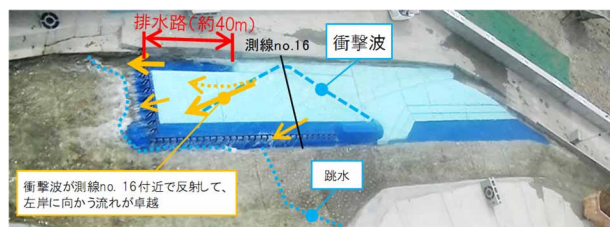


図-18 排水路延長の最適化に向けた確認ケース
(排水路延長40m) 【Case 11】

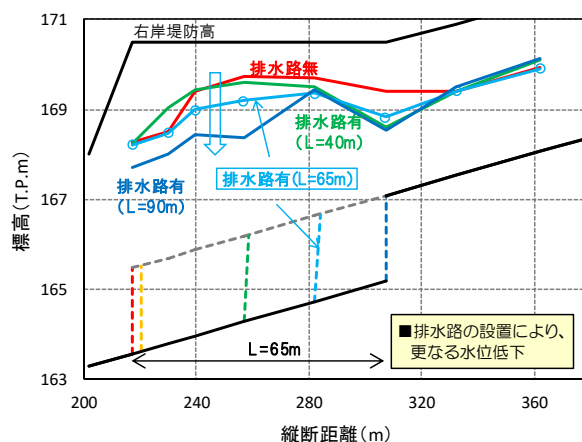


図-19 河道水位の計測結果（排水路の設置効果）

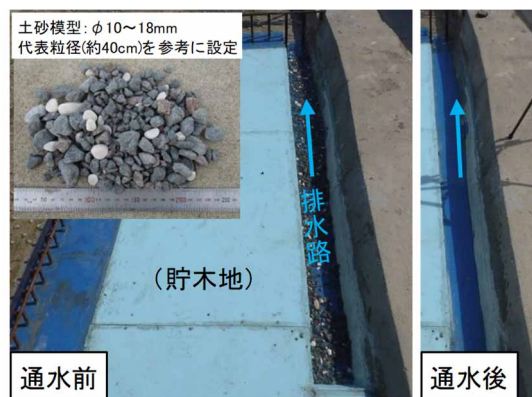


図-20 排水路内堆積土砂流出実験
(対象流量 : 1/10流量) 【Case 10】

る事が確認された（撤去時の作業効率にも寄与する事が期待される）。

一方 で排水路設置に伴う工事費増及び維持管理等での課題も懸念されたため、図-17, 19に示すように水理的効果が発揮される最短の排水路長について検討した。結果、囲繞堤からの衝撃波の反射位置付近を上流端とする排水路延長65m (図-18に示す排水路延長40mでは、衝撃波が排水路に届かず反射するため効果的でない事)を提案した。

なお最短化は図ったものの排水路内の土砂堆積に対する維持管理の頻度や必要性等に関する目安とするため、図-20のように土砂模型を設置し1/10流量での通水実験を行った。その結果、通水後約9分（実時間で約50分相当）での土砂流失が確認されたため、洪水初期段階に堆積土砂が掃流される可能性は高いものと推定された。

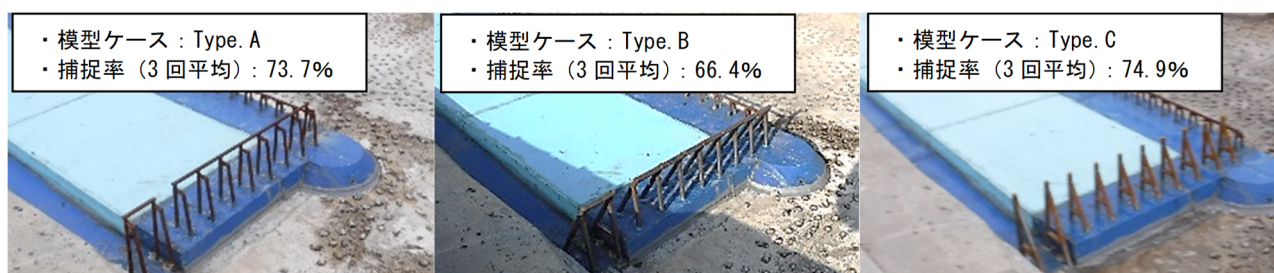


図-21 スリット形状

表-2 模型ケースCase 10による流木捕捉率

流量ケース		流木投入 ケース (混合)	捕捉率 (3回平均) (%)	
ピーク (m^3/s)	波形		H30年度 時点	R元年度 時点
460 (H29被災)	定常流	均等 (1本/2秒)	61.5	76.9
270 (計画1/30)			53.0	78.0
240 (1/10)			45.1	79.5
460	非定常流 ($240\text{m}^3/\text{s} \sim$)	均等 (1本/4秒)	53.5	78.7
		均等 (1本/2秒)	62.0	74.5
		集中 (8本/30秒)	64.6	74.6
460 (H29被災)	定常流	集中 (14本/32秒)	73.3	79.1



図-22 R3.2現地状況 (透過部)



図-23 R3.2現地状況 (流入部)

(3) 構造設計 (スリット形状の詳細検討)

スリットの柱材 (貯木地下流端内側) については、直立させる垂直型と下流 (貯木地外) 側に上部を倒した傾斜型が考えられたため、更なる実験にて捕捉率の違いを詳細確認するものとして図-21に示す3ケースを設定した。実験内容は、流量が $460\text{m}^3/\text{s}$ 、波形は定常流、流木投入は均等 (1本/2秒) で実施した。実験の結果、比重の軽い流木の場合、傾斜型のスリット形状では、捕捉した流木が傾斜に沿って持ち上げられ、スリット下部に生じる隙間から流木が透過する事象が発生したため、垂直型の方が捕捉率が高くなることが確認された。また、スリット上部での横材による連結の有無については、垂直型の場合、スリット上部まで到達する流木が少ないため、流木捕捉に関して影響が無いことも確認された。このため、経済性で有利となるType.Cを採用した。

6. まとめ

令和元年度の更なる改良実験の結果、過年度の原案及び改良案に比べて安全性を確保した上で、流木捕捉率が飛躍的に向上した。流量規模 (非定常を含む) や流木投入の仕方に拘わらず、いずれも8割近くの捕捉を可能とする施設計画の提案に至り (表-2参照)、予定通りR2年度での完成も間近な状況にある (図-22, 23参照)。

中小河川や大河川の上流部等では橋梁部での流木集積による河積阻害が生じ易い。河川事業における流木捕捉工に関するこれまでの限られた知見に加えて本検討成果を用いる事により、今後頻発が想定される大規模洪水に対しても効果的・効率的な整備効果の発揮が期待され、

治水対策の更なる充実も図られると考える。

併せて、本施設完成後も継続して流木捕捉機能が十分発揮されるよう維持管理の実施に努めると共に、出水時の捕捉状況等についても確認を行い、同時期に完成する小本川⁶⁾の事例も含めてモニタリングデータの充実を図っていく事が、今後の更なる展開に向け望ましいと考える。

謝辞: 本検討にあたって、小松利光九州大学名誉教授には、計4回の水理模型実験視察を始め、大変多くの貴重な御意見・御指導を頂いた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 小松利光監修, 山本晃一編集: 流木と災害 発生から処理まで, 技報堂出版株式会社 2009.12.
- 2) 成瀬哲哉他: 流木捕捉工の効率化に関する水理模型実験, 河川技術論文集, 第25巻, pp651-656, 2019.6.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 砂防基本計画策定指針 土石流・流木対策設計技術指針 解説 2016.4.
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 解説 2016.4.
- 5) 黒川河川激甚災害対策特別緊急事業設計 報告書 1991.3. 熊本県土木部河川課 (株)建設技術研究所 他
- 6) 加藤一夫他: 小本川の流木捕捉施設設計に関する水理模型実験による検討, 河川技術論文集, 第24巻, pp137-142, 2018.6.
- 7) 関川7災河川助成委託 (一級河川関川流木捕捉工水理模型実験) 概要書 1997.8. 新潟県 上越土木事務所 (株)建設技術研究所 他

(2021. 4. 2受付)