

流木捕捉工の効率化に関する水理模型実験

HYDRAULIC MODEL EXPERIMENTS ON THE EFFICIENCY OF THE DRIFTWOOD CAPTURE WORKS

成瀬哲哉¹・高野剛²・吉崎寛士²・若林善樹³・大和則夫⁴
福元秀一郎⁵・高崎秀一⁶・日高暢彦⁷・立道大伸⁵・渡邊明英⁸・廣岡篤⁹
Tetsuya NARUSE, Tsuyoshi TAKANO, Hiroshi YOSHIZAKI, Yoshiki WAKABAYASHI,
Norio OHWA, Syuichiro FUKUMOTO, Syuichi TAKASAKI, Nobuhiko HIDAKA,
Hironobu TATEMACHI, Akihide WATANABE and Atsushi HIROOKA

¹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)

²非会員 大分県日田土木事務所 建設課 (同上)

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

⁴正会員 (株)東京建設コンサルタント 九州支社 (〒812-0016 福岡県福岡市博多駅南2-12-3)

⁵正会員 (株)東京建設コンサルタント 九州支社環境防災部 (同上)

⁶非会員 (株)東京建設コンサルタント 九州支社環境防災部 (同上)

⁷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)

⁸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)

⁹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)

This facility plan is one of the project at the Ono River, Oita prefecture, tribute of the Kagetsu River in the Chikugo river basin and related with disaster of heavy rain in north Kyushu occurred in July 2017 that caused transport and accumulate of driftwood on bridges etc. In this study, the structure features such as position, shape or height of side overflow weir that can capture driftwood into catchment area efficiently was examined.

It is found that there is a correlation between distributary rate and capture rate, so we aimed to increase distributary of water and driftwood into catchment area and drain water from catchment area efficiently. As a result, we shortened the length of upstream side bank between main stream and catchment area, replaced downstream side one into slit, and raised riverbed of main stream. The result show that the capture rate improved up to 50-70% from 10-20% on original plan.

Key Words : *Driftwood Capture Works, Hydraulic Model Experiments, Torrential flow
Driftwood Capture Rate, Correlations between distributary rate and capture rate*

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、明確な技術基準、ガイドライン、全国的な類似事例が少なく¹⁾、かつ完成施設の効果検証、モニタリングデータ等が不足する実情にある。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、緊急性の高い平成29年7月九州北部豪雨災害関連事業であり、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の捕捉状況の関係について検討した。

2. 河川及びH29.7被災状況の概要

(1) 小野川の概要

小野川は、一級河川筑後川水系花月川の支川であり、大分県の北西部に位置し、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33.9km²、流路延長約10km

の一級河川である。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（図-1参照）。

(2) 平成29年7月豪雨による被災状況

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ことのほか、事業区間内に架かる西河内橋において流木が集積して詰まり洪水の流れが阻害され、洪水が堰上げられたことが挙げられている（図-2参照）。

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）

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施設へ上流側から流水・流木を分流し、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-3参照）。

水理模型の縮尺は $S=1/30$ 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。

また、流木捕捉工の原案実験を行うにあたり、流入部の高さや透過部の高さ・幅等の基本条件を初期値*として設定した。（※水理模型実験にて、その妥当性等の確認、並びに修正・改良を行う）

a) 流入部

貯木地の流入口の幅については、最大流木長（19.5m）以上の $B=20m$ とし、高さについては、 $W=1/10$ 規模での流木流出を想定し、1/5規模で流入開始する高さとして、 $H=1.9m$ に設定した（図-4参照）。

b) 透過部

貯木地下流側（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流木径の2倍¹⁾を採用して加え、 $H=2.5m$ とした。また、スリットの間隔は、「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）」^{2) 3)}の双方を満足するものとした上で、類似事例^{4) 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。

(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（ $460m^3/s$ ）、1/30計画流量（ $270m^3/s$ ）、1/10流量（ $240m^3/s$ ）とし、定常流及び非定常流での条件設定とした。



図-1 小野川流域図

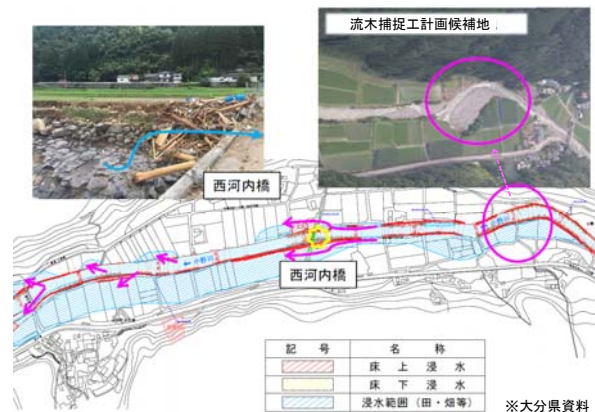


図-2 H29.7豪雨による被災状況等

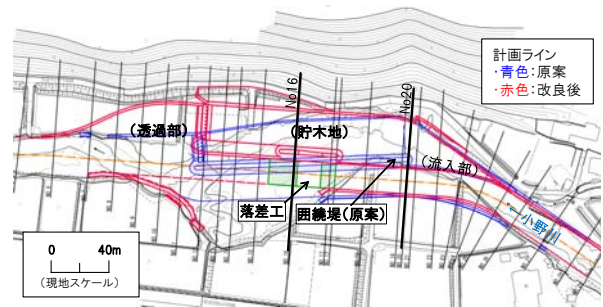


図-3 流木捕捉工施設等説明図

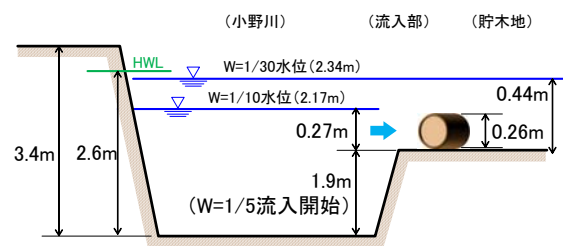


図-4 貯木地の流入イメージ

b) 対象流木及び投入パターン

実験に用いる流木は、近傍のサンプリング結果等より長(16.5m)・短(10.0m)流木の2種類及びそれらの混合とし、計画流木流出量700m³より必要本数を設定した。流木投下パターンは、類似実験事例^{5) 6)}等を参考に「i) 流木流下開始～ピーク流量(220分間)」及び「ii) ピーク流量付近のみ(100分間)」を対象に均等投入する2ケース(図-5参照)と、一時的な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。

(3) 実験ケース

今回紹介する実験ケースは表-1に示すとおりであり、原案形状、最終形状案、並びにこれに至る改良案実験について主な結果を取り纏めるものとする。

4. 原案形状に関する実験

(1) 水位・流速

原案形状(No0)の流況確認のため、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。

図-6, 7より原案形状では、圍繞堤上流端(測点No20付近)に衝突した流れが本川右岸(圍繞堤沿い)を高速流で流下すること等が確認された。

(2) 流木捕捉率

上記流況のため、水衝部となる圍繞堤上流端に流木が衝突すること(①)等が影響し、原案での流木捕捉率は平均で17.1%程度とかなり低めの結果となった。この他にも、流木捕捉に伴う貯木地内の水位上昇による右岸堤内地への越流防止(②)、貯木地の設置により左岸側へ寄った河道法線の影響による水衝部の解消(③)等が、原案の課題として確認された(図-8参照)。

5. 改良案に関する実験

(1) 河道法線等

原案での課題(右岸越流防止、河道法線修正等)に対し、用地買収の可能な範囲で、河道法線形の見直しを図ると共に、越流防止のため、右岸河岸高についても嵩上げを行った。併せて、流入部下流側への落差工の設置と上流部河床高の嵩上げ(H=約0.8m)により、流入開始水深を低く設定(H=1.9m→1.1m)することで、流木を

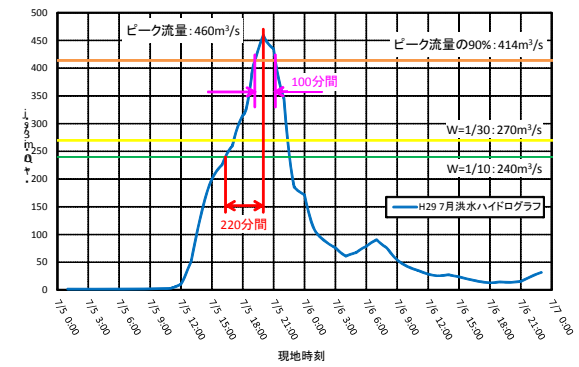


図-5 流木投入の対象時間

表-1 模型ケース説明表

模型ケースNo	河道法線等		流入部		透過部		備考
	平面形状	縦断形状	拡大幅	越流堰	スリット高	河道側スリット	
0	原案	無	0m	無	H=2.5m	無	原案形状
1	原案	有	30m	無	H=2.5m	有(L=50m)	
2	原案	有	50m	無	H=2.5m	有(L=50m)	
3	改良後	有	50m	無	H=5.0m	有(L=50m)	最終形状案
4~6	改良後	有	50m	有	H=5.0m	有(L=50m)	
7	改良後	有	50m	無	H=2.5m	有(L=50m)	

注) 落差工及び上流部河床高嵩上げの有無

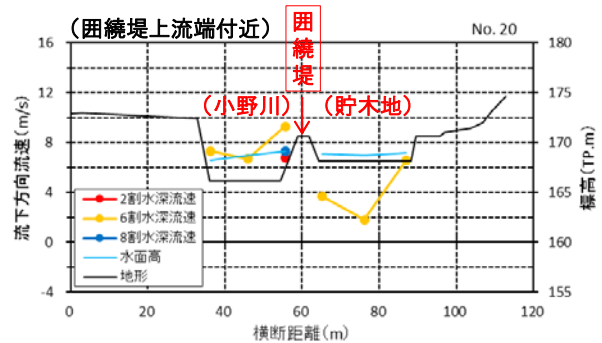


図-6 水位・流速横断図 (H29.7被災流量)

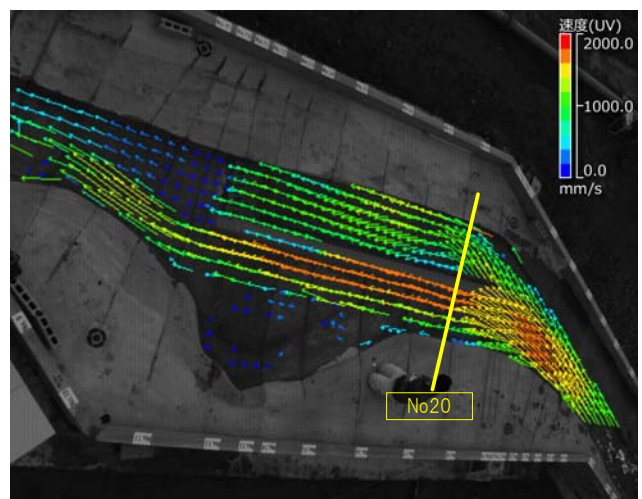


図-7 流速分布測定結果 (H29.7被災流量)



図-8 原案実験での流木捕捉状況 (H29.7被災流量)

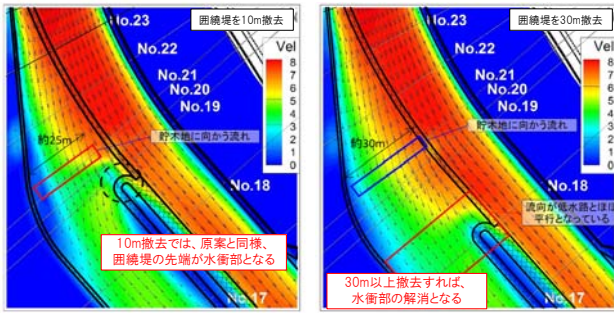


図-9 平面二次元流況解析モデルによる
流向・流速の確認結果例

表-2 流入部の諸元変更による流木捕捉率の比較

No	囲繞堤の短縮幅	実験回数	捕捉率% (右は平均値)	
1	30m	1回目	46.4	45.5
		2回目	40.3	
		3回目	49.8	
2	50m	1回目	62.6	57.4
		2回目	49.7	
		3回目	60.0	

注) 流木投入パターン：混合・均等 i

より流入し易く改良した (図-3参照)。

(2) 流入部

原案では流入部の幅が狭く、囲繞堤の上流端部が水衝部となり、流木の乗り上げ等も確認されたため、改良策としてまずは囲繞堤の短縮 (流入部の拡大) に着目した。囲繞堤の短縮幅については、図-9にて一例を示している平面二次元流況解析結果 (流向ベクトル等) を参照し、効果的な範囲として30m~50mと推測し、模型実験

(No.1, 2) により比較検証した (表-2参照)。

結果として、より高い捕捉率が確認された短縮幅50mを採用したが、流入部の全幅が約130m程度となり、貯木地への分派流量も増大し、貯木地内での水位上昇が助長され、越水による流木の再流出等も確認された (図-10参照)。

そこで、貯木地への流入に対し、流木のみ増やし、流水は減らす工夫が必要と考え、下層の余計な流水を極力河道側へ流下させるよう流れが射流であることを考慮して流入部に越流堤を設け (図-11参照)、その幅・高さを変更させて、分派量と捕捉率の関係を確認しながら、高い捕捉率となる形状の設定を試みた。

結果は、図-12、表-3に示すように、流量分派率と流木捕捉率の相関性は高く、捕捉効果を十分発揮させるためには、分派量の増大が避けられないことが分かった。

また、河道法線等も含めた模型改良による効果について、流速分布の違いについても確認した結果、原案に比べて流速分布が高流速のまま、貯木地内へ向かっており (図-13参照)、囲繞堤上流端付近にあたる測線No20地点の流速値も原案での2~4m/s程度に対し、9~10m/s程



図-10 流入水量増に伴う流木の再流出状況

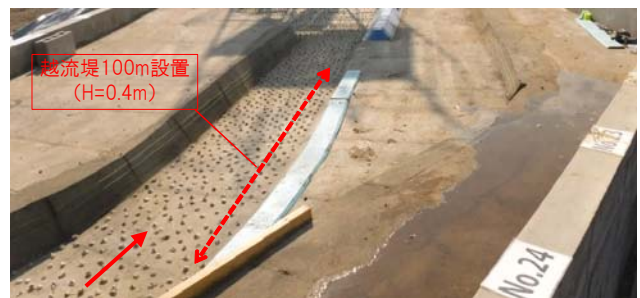


図-11 越流堤の設置状況 (b=100m)

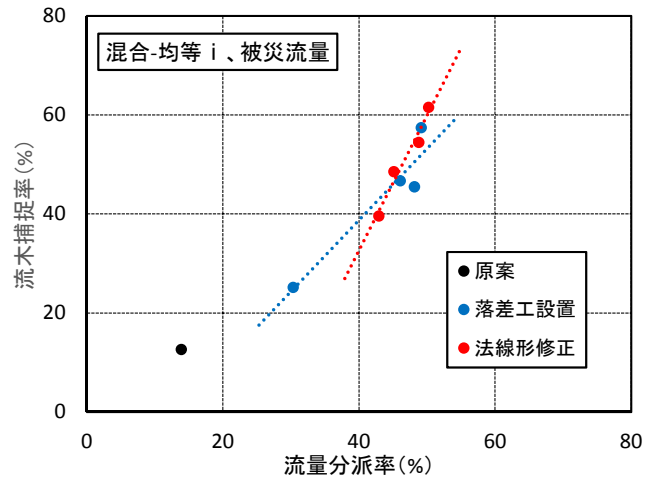


図-12 流量分派率と流木捕捉率の関係

表-3 流量分派率と流木捕捉率の関係

No	越流堤の諸元 (m)		分派率% (貯木地側) ^{注2)}	捕捉率% (3回平均)
	幅b	高さ		
3	0	—	50	61.5
4	50	0.4	49	54.4
5	100	0.4	45	48.6
6	130(全幅)	0.4	43	39.6

注1) 流木投入パターン：混合・均等 i

注2) 分派率は測点No16での水位・流速計測結果より概算度を確認した (図-6, 14参照)。

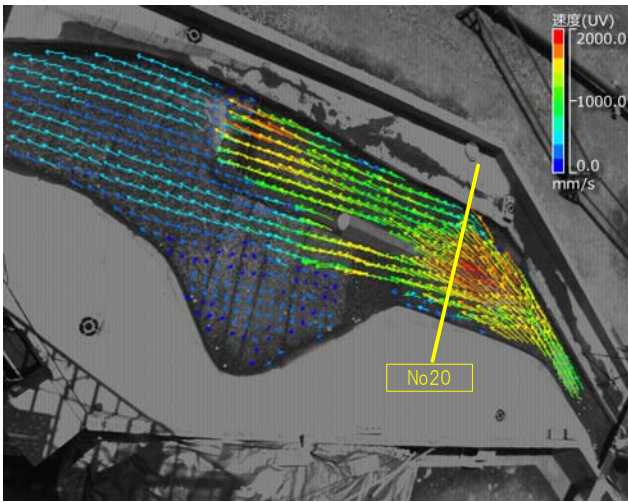


図-13 流速分布の測定結果 (H29.7被災流量, No.3)

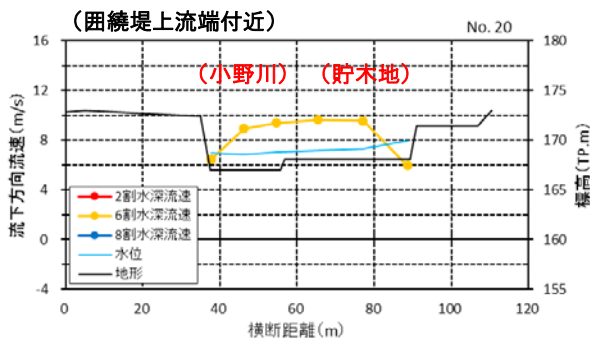


図-14 水位・流速横断面図 (H29.7被災流量、改良後)

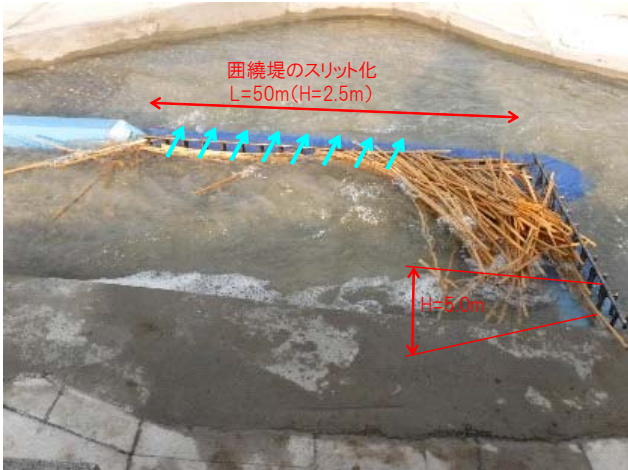


図-15 囲繞堤のスリット化による排水状況

表-4 透過部の諸元変更による流木捕捉率の比較

No	スリット諸元 (m)		分派率 (貯木地側)	捕捉率 (3回平均)
	間隔	高さ		
7	3	2.5	50	49.0
3	3	5.0	50	61.5

注1) 流木投入パターン：混合・均等 i

注2) 流入部拡幅50m (越流堤無)

(3) 透過部 (囲繞堤のスリット化等)

原案実験及び流入部の改良結果からも、捕捉率向上に

表-5 流木捕捉工の諸元 (最終形状No.3)

項目	細目	諸元	備考
流入部	幅	130m	囲繞堤短縮分(50m)含む
	高さ	1.1m	河床との比高差
貯木地	幅	25m	
	長さ	90m	囲繞堤短縮分(50m)を除く
透過部	下流側	間隔	3m
		高さ	5m
	河道側	間隔	3m
		高さ 延長	2.5m 50m

表-6 最終形状 (No.3) 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		
460 (H29被災)	定常流	均等 (1本/2秒)	61.5
270 (計画1/30)			53.0 (60.8) 注)
240 (1/10)			45.1 (68.0) 注)
460	非定常流 ($240m^3/s \sim$)	均等 (1本/4秒)	53.5
		均等 (1本/2秒)	62.0
		集中 (8本/30秒)	64.6
460 (H29被災)	定常流	集中 (14本/32秒)	73.3

注) 囲繞堤上流等, 貯木地以外にて捕捉した流木を含む

向けては流入水量の増加に伴う貯木地内の水位上昇の抑制が不可欠であったため、貯木地内の流水を効率的に排水できるよう囲繞堤の下流側においても、スリット化 (幅50m) を図った (図-15参照)。併せて、スリットをオーバーフローして再流出する流木も確認されていたため、下流側スリットの高さについては、No7 (原案同様、 $H=2.5m$) に対し、右岸側河岸の嵩上げ高と同様となる $H=5.0m$ とした。

結果は、表-4に示すとおり、水位上昇及び流木流出の抑制効果は確認されたものの、流木の堆積状況等によっては、堤防天端付近まで水位が上昇するケースも未だ見られるため、より安全で効率的な排水に向けた更なる工夫が必要と考える。

6. 最終形状案に関する実験

現時点で流木捕捉効果が最も高かった形状 (No.3, 流木の均等投下にて流木捕捉率約62%) を最終形状 (表-5参照) とし、種々の流量条件及び流木投入ケースのもと、流木投入実験を実施した。

流木捕捉率は表-6のとおりであり、1/30計画及び1/10流量 (均等投下) で約53%~約45%、また非定常流実験 ($240m^3/s \sim 460m^3/s$) でも約60%を捕捉する結果が得られた。

なお、流木の流下パターンとして、発生要因 (斜面崩壊や側岸侵食) を踏まえれば、集合体 (集中投入) での



図-17 最終形状での捕捉状況
(H29.7被災流量、集中投入)



図-18 最終形状での捕捉状況
(1/30計画流量、均等投入)

流下が実態に近く、下流の被災も起こりやすいため、想定としても妥当と思われたが、改良実験においては、捕捉し難い均等投入で実施している。最終形状での集中投入によるケースでは、H29.7被災流量（集中投下）で約73%の捕捉率が得られる結果となった（図-17参照）。

一方で、流木が堆積した状態でピーク流量に達するケース（非定常流）や、河道側スリット上流部に堆積したケース（図-18参照）等では、右岸堤内地への越水や数本の流木流出が確認される場合がある等、貯木地内の水位上昇抑制に加えて、効率良く貯木地に堆積させる工夫の必要性も認められた。

7. まとめ

- ・原案では流入部の幅が狭く、流木の捕捉率は10～20%程度であった。射流域であるため、囲繞堤の長さを50m短縮すると共に、落差工の設置と上流部河床高を嵩上げ等した結果、流木の補足率は50～70%程度に向上した。
- ・上記改良により貯木施設への分流量も増大し、貯木施設内での水位上昇が助長され、越水による流木の再流出も確認された。また、貯木施設内の流木は、指針での想定とは異なり、スリット直上流に集中して捕捉され、空隙を持ちながらも何層にも重なる事象が確認された。
- ・貯木施設内での水位上昇を抑制するため、囲繞堤の下流端部もスリット化（最大50m程度）を図ったが、依然、越水による流木流出が確認された。
- ・一方で、流木の流出開始規模が不明確である点等も踏まえ、流入部の縦断形状として越流開始高を数段階に変えて設定する事で、流木の流入増大と流水の分流抑制の双方を満足する最適な形状について検討したが、分流量と捕捉率の相関性が高く、貯木施設への流入量のみを減らせるという工夫には至らなかった。
- ・よって、捕捉率向上に対しては、分派水量の増大と効率的な排水が重要である事が分かった。
- ・今後は、貯木地内への流水をより効率良く排水させると共に、流木の安全な堆積（貯木地全体の有効利用等）に向けた工夫等を水理模型実験で確認しながら、より安全で捕捉率の高い施設計画としたいと考えている。

謝辞：本検討にあたって、小松利光九州大学名誉教授には、実験視察時を始め、大変多くの貴重な御意見・御指導を頂いた。ここに、深謝の意を表する。

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) 大分県砂防技術基準 (案)
- 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・流木対策計画編) 解説2016.4.
- 4) 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
- 5) 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.
- 6) 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

(2019. 4. 2受付)