

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

EXPERIMENTAL STUDY ON DESIGN OF DRIFTWOOD CAPTURING FACILITY IN OMOTO RIVER

加藤 一夫¹・小笠原 敏記²・松林 由里子²・渡辺 一也³・三浦 忠昭⁴

菅野 貴詳⁵・山口 里実⁶・渡邊 康玄⁷・赤堀 良介⁸・千葉 喜一⁹

Kazuo KATO, Toshinori OGASAWARA, Yuriko MATSUBAYASHI, Kazuya WATANABE,
Tadaaki MIURA, Takamitsu KANNO, Satomi YAMAGUCHI, Yasuharu WATANABE,
Ryosuke AKAHORI and Kiichi CHIBA

¹正会員 株式会社 水工リサーチ 業務部 (〒062-0933 北海道札幌市豊平区平岸3条3丁目2-7)

²正会員 博(工) 国立大学法人 岩手大学 理工学部 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4丁目3-5)

³正会員 博(工) 国立大学法人 秋田大学 大学院理工学研究科 (〒010-8052 秋田県秋田市手形学園町1-1)

⁴非会員 岩手県県土整備部河川課 (〒020-8570 岩手県盛岡市内丸10-1)

⁵非会員 岩手県沿岸広域振興局土木部 (〒027-0501 岩手県下閉伊郡岩泉町岩泉字松橋24-3)

⁶正会員 博(工) 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

⁷正会員 博(工) 国立大学法人 北見工業大学 社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

⁸正会員 博(工) 愛知工業大学 工学部 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247)

⁹非会員 サンエスコンサルタント 株式会社 技術部 (〒028-3621 岩手県紫波郡矢巾町広宮沢11-506-2)

In August, 2016, Typhoon Lionrock brought heavy rainfall and caused serious disaster by a large amount of driftwood in Omoto River, Iwate prefecture. Driftwood deposited at piers collapsed bridges and induced the flood damages by rising the water level. Moreover, driftwood was transported to the city area and destroyed the houses. Therefore, the development plan of the driftwood capturing facility was set up for mitigating of driftwood damages. The facility is structured to capture only driftwood using a river bend, the floating driftwood is directed into a catchment area of outer river bank by side-weir. In this study we conducted flume experiments to examine the structure features such as a position and shape of the side overflow weir that can efficiently capture driftwood into the catchment area. The results show that the capturing facility performed effectively the capture more than 65% of input driftwood.

Key Words : driftwood and flood damage, countermeasure of driftwood, steel slit dam,
driftwood capturing facility, hydraulic flume experiment

1. はじめに

近年異常豪雨に伴う河川災害が多発し、山地崩壊とともに流出した流木や溪岸侵食から流出した流木が、橋梁部において捕捉され、それがきっかけで洪水氾濫が拡大し、被害を増大させている事例が多い¹⁾²⁾など。

平成28年8月29日から30日にかけて東北地方の東部を襲った台風第10号による豪雨により、岩手県小本川では甚大な流木被害が発生した³⁾⁴⁾⁵⁾。橋梁部へ堆積した流木により橋梁被災や水位堰上げによる氾濫被害が拡大し、市街地へ流出した流木は建物の損傷被害などの拡大を招

いた。河川を流下する流木を捕捉する施設を設置すれば、下流まで流下する流木量が減じ下流の流木被害を軽減できる。そこで、下流の流木被害の軽減を図るため、流木捕捉施設を整備する計画が立てられた。当施設は、山間地の河道湾曲部を利用して、横越流で外岸側に設置する捕捉池エリアに洪水流と流木を導流して流木のみ捕捉し、洪水流を排水する構造となる。河川内で流木捕捉施設を最初に設置したのは、熊本県黒川の一の宮多目的貯木池である⁶⁾。その後、新潟県関川などでも河川内に流木捕捉施設を設置しているものの事例数は少なく、また施設設計に関する技術基準は策定されていない⁶⁾。

本報は、小本川に計画された流木捕捉施設に流木を効率的に取り込めるような流入口の位置、形状などの構造諸元を水理模型実験によって検討した結果を報告するものである。

2. 台風第10号による流木被害

(1) 小本川流域の概要

小本川は、その源を岩手県岩泉町国境峠付近に発し、南東方向に流れながら岩泉町落合付近で右支川大川を合わせた後に東方向に流れを変え、左支川清水川、右支川鼠入川、右支川猿沢川を合流し、小本付近で太平洋に注ぐ流域面積約731km²、幹川流路延長65kmの二級河川である。小本川流域の地形は、穴目岳（1,168m）や三巢子岳（1,180m）などに代表される1,000m級の山地が主である。中流域および下流域の一部にある平坦地には、それぞれ岩泉、小本の市街地が広がっている⁷⁾。

(2) 被害の概要

平成28年8月30日に岩手県大船渡市付近に上陸した台風第10号に伴って、岩手県沿岸では大雨となり、全国で死者22名、行方不明者5名、家屋被害約8,600棟という甚大な被害が発生した。特に、岩手県下閉伊郡岩泉町を流れる小本川沿いの高齢者福祉施設では、1階相当が浸水し、9名の方が犠牲となる被害を受けた⁵⁾。

今回の出水被害における特徴として、洪水による侵食の発生により河岸等から流出した流木により、①橋梁部への堆積阻害に伴い、橋梁の流出、橋梁取付け部の決壊のほか、水位の堰上げによる氾濫拡大により、さらなる被害の拡大をもたらした（図-1(a)）。また、②氾濫流とともに流木と土砂が家屋へ流出、さらに橋梁高欄施設へ流木が貫入するなど被害を拡大させたほか、流木の撤去に相当の労力を要するなど、早期応急復旧に対し多大な支障を及ぼした（図-1(b)）。

そのため今回の被災状況を鑑み、山間地の河道湾曲部に流木捕捉施設を設置して、そこで流木を捕捉し、下流部における流木堆積阻害を原因とした被害の軽減を図ることとした⁵⁾。

3. 流木捕捉施設の原案

流木捕捉施設は、山間地の河道湾曲部（図-2）を利用して、流木の流入口から横越流で洪水流と共に流木を捕捉池エリアに導流し、捕捉池下流端に設置するスリット形式の捕捉工で流木のみを捕捉する計画である。

河川における流木捕捉施設の事例が少ないことや設計基準が定まっていないことから捕捉施設の構造諸元の原案作成にあたり、新潟県の関川を参考に検討した^{6),8)}。



(a) 橋梁の流木被害状況



(b) 橋梁に隣接する家屋の被害状況

図-1 台風第10号による小本川の被害状況（2016年9月）⁵⁾



図-2 流木捕捉施設設置予定箇所の航空写真（2016年9月）

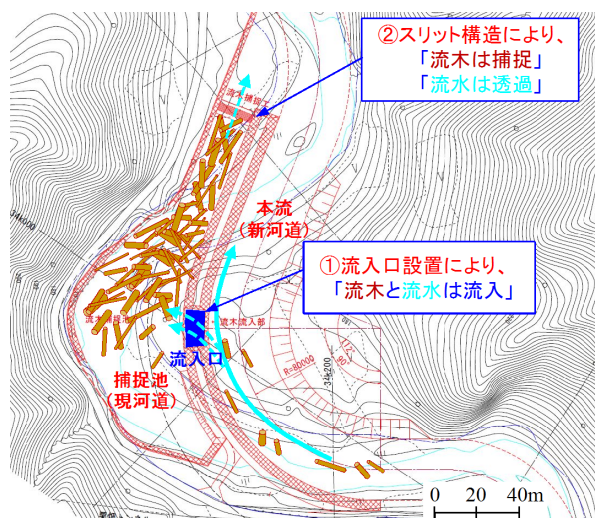


図-3 流木捕捉施設の原案イメージ（文献⁵⁾を一部変更）

(1) 流木捕捉施設の基本形状

流木捕捉施設は、河口から33.9km～34.075km区間（河床勾配1/100）に設置するもので、山間地の湾曲部外岸にあたる現河道を流木捕捉池として利用し内岸側に新河道を設ける計画である（図-3、図-4(a)）。捕捉池と新河道を仕切るために越流部（流木流入口）を設けた囲繞堤を設置し、平常時は新河道を主流とし、洪水時にのみ流木と洪水流を流入口から捕捉池エリアに導流し、施設の下流端に設ける捕捉工で流木のみを捕捉する構造である。

流木捕捉工は、砂防施設の掃流区間⁹⁾で一般に用いられ土砂と共に流木を捕捉する機能を有する鋼製スリット形式¹⁰⁾を採用し、捕捉池下流端（33.9km地点）の河道横断方向に設置する（図-4(b)）。

(2) 流木流入口の位置と幅

流木の取り込みに適した流入口の位置 θ' は、関川の水利模型実験の結果から、河道湾曲部上流のEC点（EndCurve：円曲線終点）を基準とした交角 θ との関係により次式で求められる⁸⁾。

根固め護岸を設置した場合： $\theta' / \theta \approx 0.8$ (1)

根固め護岸を設置しない場合： $\theta' / \theta \approx 0.7$ (2)

捕捉池周辺の河道湾曲部の交角 θ は 112° である。根固め護岸を設置するため(1)式より、流入口の位置は $\theta' \approx 90^\circ$ に設定した（表-1）。また流入口の幅は、最大流木長（ $L \approx 17\text{m}^4$ ）以上の20mに設定した。

(3) 流入口の越流高

流水を常に捕捉池へ流入させると煩雑な捕捉池の管理が必要となる⁶⁾。そのため、1/2年超過確率程度以下の洪水は新河道のみ流下させることを基本とし、まずは1/10年超過確率規模程度の流量（ $Q=469.7\text{m}^3/\text{s}$ ）で流入する越流高 $H=2\text{m}$ （新河道の河床高を基準）に設定した。

(4) 流木捕捉工

流木捕捉工のスリット間隔は、流木を確実に捕捉するように設定する。スリット間隔は、流下が予測される平均流木長 6m^4 の1/2～1/3（2m～3m）の範囲とするという考え⁶⁾に基づき、流木が流出しにくいと考えられる2mに設定した。

流木捕捉工の高さは、捕捉池の計画水深2.7mに一部転石で塞がれた場合のせき上げ高0.4m、これに余裕高0.6m（流木径の2倍程度）を加え、メートル単位で切り上げ4mに設定した。

(5) 流木捕捉池

流木捕捉池エリアの面積 A_w は、捕捉池延長 L を150m、平均河床幅 W を35mとすると $A_w = L \times W = 5,250\text{m}^2$ となる。捕捉池に堆積する流木立積 V_{wc} は、流木の平均直径 R_{wa} を0.3mとすると $V_{wc} = A_w \times R_{wa} = 1,575\text{m}^3$ となる。すなわち捕捉池には1,575 m^3 の流木を捕捉可能な容量がある。



(a) 現河道と新河道掘削予定地



(b) 流木捕捉池と捕捉工設置予定地

図-4 捕捉施設設置予定地の状況（2017年4月）

表-1 小本川流木捕捉施設の流入口の基本位置

河道曲率半径	湾曲部交角	基本位置
$R=80\text{m}$	$\theta=112^\circ$	$\theta'=90^\circ$



図-5 実験水路全体

ここで求めた流木立積は、捕捉池内に流木が一層に置かれた状態で空隙を含まない流木のみの実体積である。

4. 実験方法

(1) 実験水路

実験水路は、寒地土木研究所 第4実験棟（河川）に設けた、模型縮尺1/50の固定床模型である（図-5）。模型の区間は33.6km～34.5kmで河道延長18m、平均川幅1.5m、河床勾配は1/100である。河道部分は現地が岩盤床であ

るためモルタル水路（固定床）とし、流木流入口や捕捉工は容易に改造が行えるよう木材で製作した。

(2) 流木投入条件

本災害時の発生流木量は、流木捕捉施設の計画地点で $1,500\text{m}^3$ （実体積）である¹⁰⁾。この発生量は平均長 6m 、直径 0.3m の流木で約 $3,600$ 本、発生源となる立木の平均長 12m 、直径 0.3m では約 $1,800$ 本となる。使用する模擬流木は、実物の $1/50$ の縮尺で直径が 6mm 、長さが 12cm と 24cm の円柱形の木材とする。流木の比重は樹種により異なり、針葉樹よりも広葉樹の比重が大きく 1.0 を超える¹¹⁾。本検討では現地調査結果より流木の多くを占めていた広葉樹の比重 1.1 （関川の模型実験でも模擬流木の比重を 1.1 に設定⁶⁾）とし、発生流木量に相当する模擬流木を上流側から一定間隔で投入する（表-2）。

(3) 実験ケース

流木の流下時間は、大規模な流木発生が 10 年に 1 回起こると仮定し、 $1/10$ 年超過確率流量（現地スケール流量 $Q=469.7\text{m}^3/\text{s}$ ）以上が流下する時間とする⁶⁾。図-6は落合橋地点の $1/30$ 年超過確率規模の流量ハイドログラフである。これより流量 $469.7\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水継続時間は 4 時間である。この実時間を縮尺 $1/50$ のフルードの相似則で模型値に換算した 34 分を実験時間とする（表-3）。実験流量は $1/30$ 年超過確率流量 $680\text{m}^3/\text{s}$ （模型 $38.5\text{l}/\text{s}$ ）と $1/10$ 年超過確率流量 $469.7\text{m}^3/\text{s}$ （模型 $26.6\text{l}/\text{s}$ ）の 2 種、流木長は 6m （模型 12cm ）と 12m （模型 24cm ）の 2 種を組み合わせた 4 ケースについて、定常流で流木捕捉実験を行った。

(4) 計測方法

通水中の計測は、流木捕捉による水位上昇を監視するために土研式ポイントゲージを用いて図-7の地点で 1 分間隔に水位計測を行い、流木の挙動をデジタルビデオカメラで観察し、通水後に流木捕捉本数を計測した。

5. 結果と考察

水理模型実験で検討した主な選定項目を以下に示す。

①流入口位置の選定、②流入口幅の選定、③流入口越流高の選定、さらに、捕捉施設の下流部に設置する④流木捕捉工（スリット構造）の選定、である。図-7に示す流入口の位置と幅及び捕捉工形状を変えて、それぞれ 4 パターン（流量 2 種類×流木 2 種類）の実験を行った。以下に各項目の実験結果と考察を示す。

(1) 流入口位置と幅の選定

当初は、湾曲部の第一種二次流により、表層の外岸側（捕捉施設流入口側）に向かう流れが流木を捕捉池エリアへ導流することが期待された。しかし、比重 1.1 の模

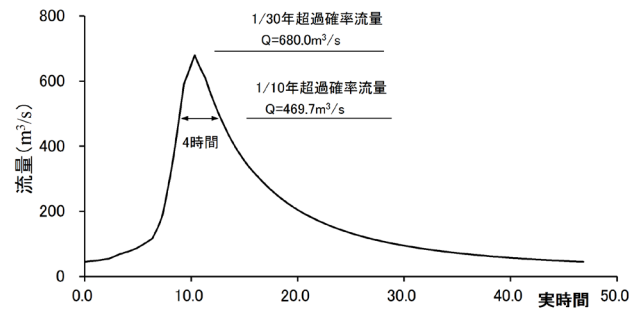


図-6 落合橋地点の計画流量ハイドログラフ(1/30年超過確率)

表-2 流木諸元

条件項目		実物	模型
流木①	直径	0.3m	6mm
	長さ	6m	12cm
	投入本数	—	3,600本
	投入要領	—	2本/秒
流木②	直径	0.3m	6mm
	長さ	12m	24cm
	投入本数	—	1,800本
	投入要領	—	1本/秒

※流木模型の比重は 1.1 に調整

表-3 流量条件

条件項目	実物	模型
流量①	$680.0\text{m}^3/\text{s}$	$38.5\text{l}/\text{s}$
流量②	$469.7\text{m}^3/\text{s}$	$26.6\text{l}/\text{s}$
実験時間	4時間	34分

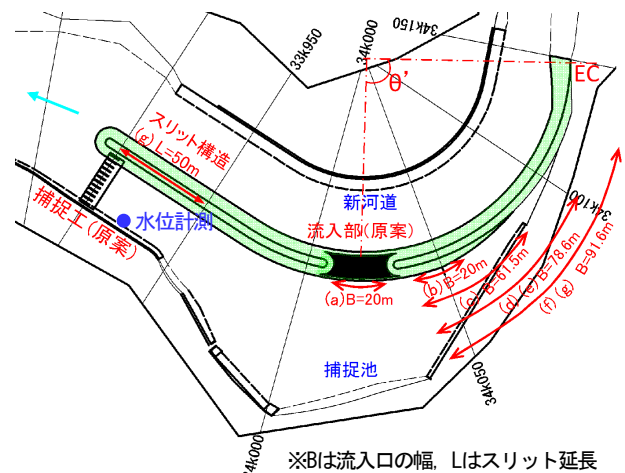


図-7 各項目における流入口の位置と幅及び捕捉工形状

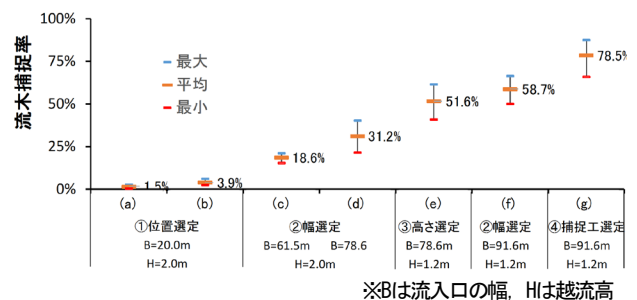


図-8 捕捉施設の構造諸元改良に伴う流木捕捉率
(アルファベット(a)～(g)は図-7の(a)～(g)と一致する)

擬流木を実験に用いたところ、下層に潜り込んで内岸側（流入口の反対側）へ移動する流木が多く確認され、捕捉率は10%未満であった（図-8の(a),(b)及び図-9）。このため、流入口の開口部は二次流の影響が及びにくい湾曲上流部に設置し、流入口の幅を $B=61.5\text{m}$ と 78.6m に拡幅して実験を行った。その結果、 $B=61.5\text{m}$ で18.6%、 $B=78.6\text{m}$ で31.2%と開口部を広げるほど捕捉率が向上した（図-8の(c),(d)）。なお原案の位置（図-7の(a)）で流入口の幅を拡幅して予備的な実験を行ったが捕捉率は上がらなかった。

(2) 流入口の越流高の選定

ここまでの実験結果を見ると流量 $469.7\text{m}^3/\text{s}$ 流下時の捕捉率は、 $680\text{m}^3/\text{s}$ 流下時の6割程度であった。そこでより捕捉率を上げるように、流入口の越流高を原案よりも 0.8m 下げて $H=1.2\text{m}$ （現地スケール）とした。この越流高は1/2年超過確率流量（ $Q=132.7\text{m}^3/\text{s}$ ）で越流する高さである。実験の結果、流木捕捉率は平均で51.6%、さらに、流入口の幅を $B=91.6\text{m}$ まで拡幅すると捕捉率は58.7%まで向上した（図-8の(e),(f)）。しかし、捕捉池エリアの流入量増加に伴い相対的に川幅の狭い捕捉工周辺では、現地スケールで 8m/s 以上の高流速が発生し、さらに流木捕捉に伴う水面の堰き上げが相俟って、捕捉池エリアに流入した流木量の10%以上がスリット天端をオーバーフローして流出した。

(3) 流木捕捉工の選定

a) 流出抑制対策

オーバーフローによる流出抑制対策として、圍繞堤下流部の一部をスリット構造（以後、縦スリットと呼ぶ）に改良（図-10）することで流れを分散し、水位上昇を抑制できると考えた。縦スリットの延長は、河道横断方向に設置する捕捉工幅と合わせて流入口と同程度の流下幅とし、現地スケールで 50m に設定して実験を行った。その結果、捕捉工天端をオーバーフローする流木越流量を6.8%に抑制できた（図-11のA型）。

b) 捕捉工タイプ選定

設計便覧¹²⁾によると捕捉工タイプは、A型スリット形式の独立型、縦軸と横軸を結合したD型・h型・ Δ 型の二つに大別される。本検討ではA型とD型（h型と Δ 型の捕捉機能はD型と同じと考えた）、さらにA型の上流側に流出抑制のための突起（流木径の約2倍）を有する特殊タイプ¹³⁾を加え、3種の形状で選定実験を行った。その結果、捕捉工天端を越える越流率が1.9%であったA型（特殊タイプ）が最も流出抑制効果があった。

c) 捕捉工間隔

捕捉工の間隔は、 2m （平均流木長 6m の $1/3$ ）と 3m （平均流木長 6m の $1/2$ ）に設定して実験を行った。その結果、捕捉機能に明確な差異がなかったため、コスト面を考慮し 3m に設定した。

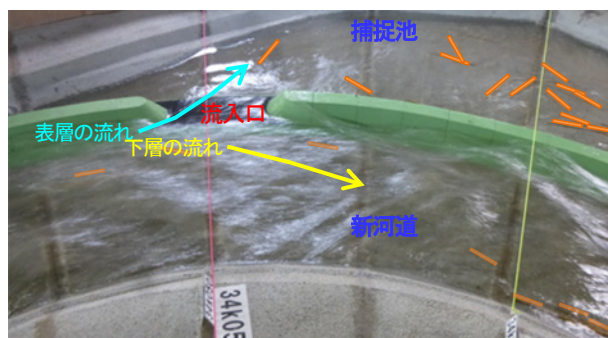


図-9 第一種二次流により表層は外岸(捕捉池側)に向かって流れ、下層は内岸に向かって流れる($Q=680\text{m}^3/\text{s}$, 流木長 $L=6\text{m}$)

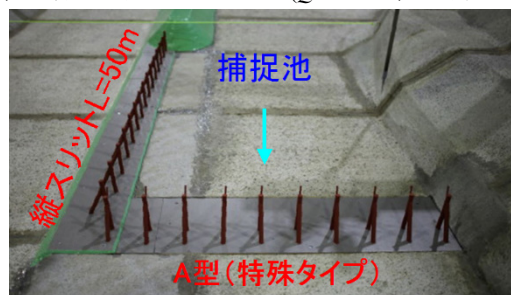


図-10 流木捕捉工の選定実験結果による改良点

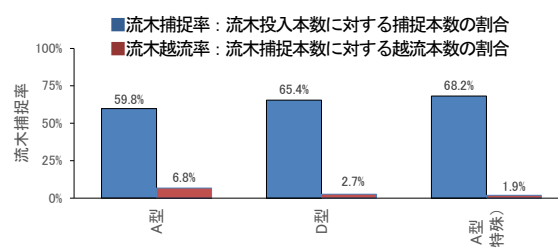


図-11 スリットタイプ別の流木捕捉率と流木越流率

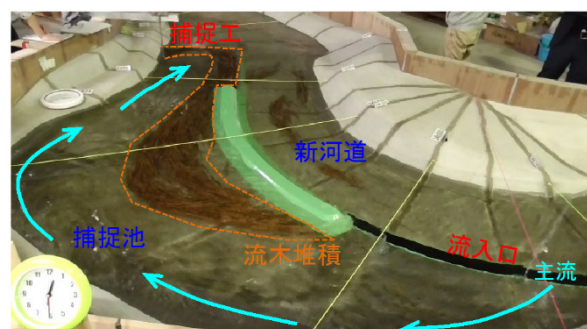


図-12 実験開始から30分後の流木捕捉状況
(流量 $Q=680\text{m}^3/\text{s}$, 流木長 $L=6\text{m}$)



図-13 実験終了時の流木捕捉工周辺の流木堆積状況

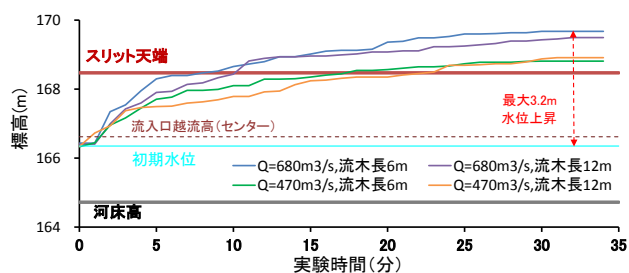


図-14 捕捉工周辺の水位上昇

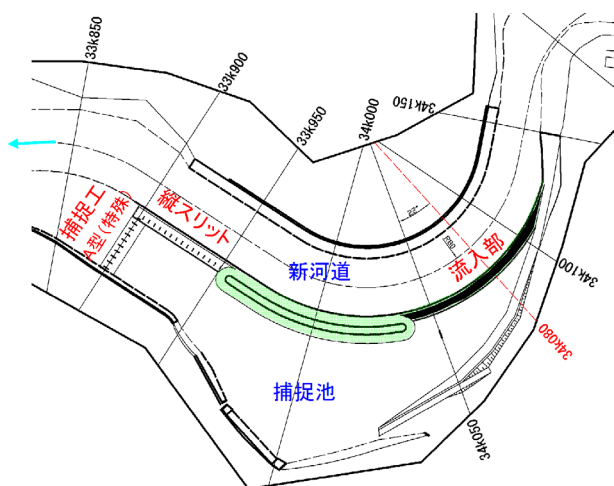


図-15 流木捕捉施設の最終形状 (案)

(4) 流木捕捉施設の最終形状 (案) の流木捕捉機能

捕捉施設における流木の運動、堆積形態は捕捉池内と捕捉工周辺に大別される。流木は流れの主流に沿って流下し、流入口より捕捉池エリアに進入する。捕捉池エリアは、主流が外岸に寄ることによって内岸側に止水水域が生じ、そこに流木が堆積する(図-12)。また主流に沿って捕捉工周辺まで流下する流木は、重なって堆積しスリット天端に到達した(図-13)。捕捉工直上流の水位は、流木捕捉量が多いほど高く、最大で3.24m上昇(図-14)するものの捕捉率を低下させることはなかった。

図-15に示す最終形状(案)での流木捕捉率は、最大で87.5%($Q=680\text{m}^3/\text{s}$, 流木長 $L=6\text{m}$)、最小で65.8%($Q=469.7\text{m}^3/\text{s}$, 流木長 $L=12\text{m}$)、4ケースの平均捕捉率は78.5%であった(図-8の(g))。また土砂堆積状況を実験で確認した結果、新河道側は堆積傾向であるが閉塞せず、捕捉池エリアへの流入土砂量は微少であった。

6. まとめ

本検討では、流木を効率的に捕捉池エリアに取り込める流入口の位置や形状等構造諸元を水理模型実験により設定した。以下に本検討で得られた知見を列記する。

- ・ 他河川の流木捕捉施設を参考に流入口の位置を設定し、当初は、湾曲部の第一種二次流により、表層の外岸側(捕捉施設流入口側)に向かう流れが流木を捕捉地エリアへ導流することが期待されたが、現地

で調査された流木の多数を占める比重1.1の模擬流木を実験に用いたところ、下層に潜り込んで内岸側(流入口の反対側)へ移動する流木が多く確認された。このため、流入口の開口部は二次流の影響が及びにくい湾曲上流部に設置することで捕捉率が向上した。

- ・ 捕捉池エリアに多く流木が流入すると捕捉工(スリット構造)が閉塞し捕捉池の水位上昇を招くため捕捉効率が悪化した。この水位上昇は、スリット部の延長を延ばし流木を分散して集積することで抑制できることが分かった。
- ・ 本検討により、投入流木量の65%以上を捕捉できる効率的な流木捕捉施設の構造諸元が設定できた。

謝辞：本研究にあたって、土木研究所原田大輔専門研究員には実験を視察して頂き貴重なご意見を頂いた。また水工リサーチの佐々木寿史氏には水理模型実験全般、サムナー圭希氏には実験データ処理でご協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会水工学委員会：2017年九州北部豪雨調査合同調査報告，2017.7.12.
- 2) 土木学会水工学委員会 2016年8月北海道豪雨災害調査団：2016年8月北海道豪雨災害調査団緊急報告会資料，2016.
- 3) 自然災害研究協議会・土木学会水工学委員会：平成28年度河川災害に関するシンポジウム「2016年8月東北豪雨による岩手県内の河川災害」，2017.3.15.
- 4) 平成28年台風第10号水害 土木学会・地盤工学会合同調査団：平成28年台風第10号による岩手県災害調査報告書，2017.7.
- 5) 岩手県土木整備部河川課沿岸区域振興局岩泉土木センター：第1回小本川河川整備連絡協議会「小本川河川整備計画(素案)資料4」，2017.4.27.
- 6) 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，pp.203-225，2009.
- 7) 岩手県：小本川水系河川整備基本方針，2011.1.
- 8) 長井斎，松原智生，村上正人，西口幸希：砂防・水理模型実験の特徴と活用について，砂防学会誌，Vol.67，No.6，pp.49-55，2015.
- 9) 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 322，2016.
- 10) サンエスコンサルタント株式会社：平成29年度二級河川小本川筋河川災害復旧助成事業測量調査設計業務委託 流木調査報告書，2018.3.
- 11) 長谷川祐治，中谷加奈，竹林洋史，里塚好文，藤田正治：流木の流下と橋梁への集積に関する実験，京都大学防災研究年報，No.58B，pp.350-357，2015.
- 12) 財団法人 砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧，鋼製砂防構造物委員会編集 平成21年版，pp.117-162，2009.
- 13) 日鐵住金建材株式会社：鋼製スリットダムA型，リーフレット.

(2018. 4. 3受付)