

流木の堆積, 捕捉調査と河道流況特性について

ANALYSIS OF DRIFTWOOD BEHAVIOR AND ACCUMULATIONS ON SANDBAR CONSIDERING FLOOD FLOW AND DISCHARGE

矢部浩規¹ ・ 渡邊康玄¹
Hiroki YABE, Yasuharu WATANABE

¹正会員 博(工) 独立行政法人 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

Field surveys, experiments and numerical calculations were conducted to examine driftwood accumulation in a river channel, with respect to the existence of sandbars. We investigated the areas where driftwood accumulated and captured from river channel is observed in two rivers. It seemed that factors such as the existence of riparian woods, sandbar configurations, and sandbar locations relative to the river flow determined the points of driftwood accumulation. Based on the field survey results, hydraulic model experiments investigated the flow path of driftwood in model river with alternate sandbars. The analysis related to flood flow indicates that when the flow velocity and the water depth of the main current differ greatly from the flow velocity and the water depth of the flow that is away from the main current, the force of the main current acting on driftwood pushes the driftwood outward. And we clarified the relationship between discharge and the locations of driftwood capture, traps were built at different points on a sandbar.

Key Words : *driftwood, accumulation, capture, flood flow*

1. はじめに

砂州や高水敷等河道内での樹林化が進んでいることが全国の河川において報告されており, 寒冷地域にある北海道の河川でもヤナギが優占し樹林化の比率が高いことが報告¹⁾されている. 近年, 流木の流出と滞留による被害が発生しており, 洪水時の流れへの影響のほか河畔林の流木化による災害の増大が懸念されている. その一方で, 現地調査結果¹⁾から, 流木が河畔林によって捕捉されたり砂州や高水敷上に堆積する事例がみうけられた. また, 流木が河川環境や生態系に対する効果も指摘されており, 流木の適切な管理が望まれている.

本研究は河道における流木の管理について考える. 発生した流木は河道を流れるため, 適切な河道管理, 計画を行うことによって流木による被害軽減と河川環境の保全を同時に満足できる機能を発揮する可能性があるためである. これらの方法を確立するために本研究は, 流木の堆積, 捕捉現象の解明を目指す基礎的な調査, 実験を行った. 流木の河道内における堆積, 河畔林による捕捉調査結果を踏まえて, 流木の流下挙動と河道形状との関

係の把握, 河畔林等構造物による適切な捕捉位置に関する水理実験を行い, 流木の堆積, 捕捉と流下軌跡等挙動を把握する. 以上の知見を実際の洪水によって流木が流下した現地河川にあらためて適用し, その堆積, 捕捉位置について考察, 検証した. どのような河道形状, 箇所で流木が捕捉される可能性が高いかを把握することは, 今後の河道管理を考える上で重要な視点となると考えられる.

2. 現地河川における流木の堆積, 捕捉

2-1. 沙流川における流木の堆積と捕捉

北海道の日高山脈に源を発し南西に流下して太平洋に注ぐ沙流川流域では流木の発生による被害が度々生じている. 特に2003年8月に発生した洪水による流木の被害は多大であり流木の挙動が調査, 報告されている¹⁾. その際の調査結果データから, 河口から21.4kmに位置する二風谷ダムまでの河道区間での流木堆積量が 3420m^3 , 河畔林が流木化した流出量は 280m^3 と算定され, 堆積, 捕捉量は流出量に比べかなり大きいことがわかった. ま

た、堆積、捕捉された流木の多くが山地性樹種であり上流域の河道にある河畔林が流木化したものではないことが推察された。さらに、2006年8月にも停滞前線により、2003年洪水と同規模の300mmを超える大雨が発生した。洪水後の流木の堆積調査からは、2003年に比べ河畔性樹種及び新規に発生した流木の比率が高くなっており、洪水履歴による影響が考えられた。なお、当該地域の河道内樹林に多く見られるヤナギ類、ドロノキ、ケヤマハンノキ、オニグルミなどを河畔性樹種、河畔性樹種以外で周辺地域において山地林として多く生育している樹木のイタヤカエデ、ハルニレ等の広葉樹とエゾマツ、トドマツ等全ての針葉樹を山地性樹種として便宜上区分している。

両年の流木堆積調査結果からその堆積の状況を述べると、全般に流木は河道沿いに多く見られ、河道から離れるにつれて少なくなっている。湾曲部の砂州上において、50～100cmの流木が散在しており、密に堆積した箇所は確認できない。湾曲部の高水敷では、倒木している河畔林上に多数の流木が堆積し、流木は広い範囲で確認でき、堤防付近まで密に体積している。その一方、対岸等倒木・流木とも全く確認できない箇所がある。高水敷上に散在し、局所的に密な堆積も確認できた。堆積の特徴を分類すると以下ようになる。

- ① 倒伏林上：倒伏した河畔林上に0.5～1.5m程度の厚さでまとまって堆積するパターンで、最も堆積量が多い。流水の直角方向に堆積するのが特徴である。
- ② 河畔林内：河畔林内にまとまってあるいは単木で堆積する。
- ③ 地形変化点：河川敷地内の地形変化点に堆積するパターンで、高水敷の法面肩、水路、湾曲部等に分布する。
- ④ 樹幹周り：単木～複数本で生育している樹幹の周りに堆積する。
- ⑤ 構造物周り：橋脚、樋門等に堆積する。
- ⑥ 散在、単木：高水敷や河道側の砂州、砂礫地などに単木で残存している。

流木の堆積、捕捉は様々なケースがみられ、その機構解明についてさらに詳細な調査研究が必要であると考えられる。

2-2. 渚滑川における流木の堆積と捕捉

1) 2006年洪水の状況

北海道のオホーツク地方では2006年10月6～9日にかけて、発達した低気圧による影響で記録的な豪雨に見舞われ各河川で出水が発生した。渚滑川は、その源を天塩岳に発し紋別市においてオホーツク海に注ぐ、幹川流路延長84km、流域面積1,240km²の一級河川である。渚滑川においても基準地点である上渚滑地点で総雨量196mmを観測し、上渚滑、ウツ橋、渚滑橋の各観測所で計画高水位を上回った。図-1に渚滑川の位置図を示す。

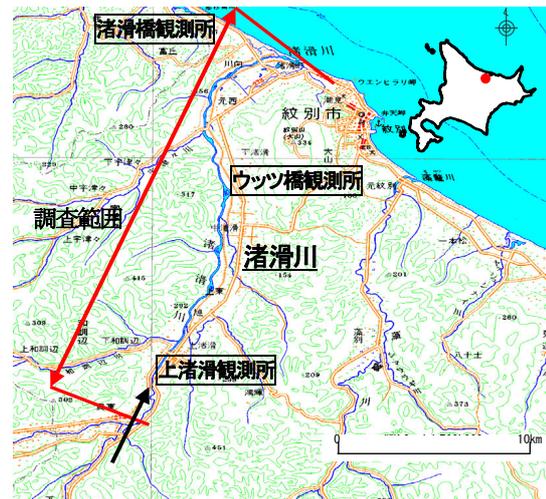


図-1 渚滑川位置図

2) 洪水後の航空写真による解析

この時の豪雨により、河道内に流木が堆積、捕捉されている状況がみられた。そこで、河口からkp24.4kmの範囲を洪水直後に撮影した航空写真データを用いて、縦断方向に河道を100m間隔で分割し、河道内の流木の堆積捕捉面積、河畔林面積、砂州面積を算出した。図-2は200m区間ごとに集計したものである。渚滑川は交互砂州が発達した河川であり、平常時は堤防間に挟まれた部分に蛇行流路が形成されている。k.p12～18km（以下、km省略）にかけて河畔林と砂州の面積変動に弱い相関がみられ（相関係数0.45, p値0.01以下）、k.p15～17は相関が強い。流木の堆積捕捉面積については、下流のk.p2～5にかけて多く、k.p7～11にかけても断続的に多い。k.p11.8～12.8, k.p15～16, k.p22.4～23付近も多い。その他の区間はほとんど堆積捕捉されていない。

また、流木の堆積捕捉位置と河畔林、砂州との位置関係について、流木が多く堆積、捕捉されている箇所（図-3, 4等）を対象にその特徴をまとめる。下流のk.p2～5付近では、高水敷中央部から下流部にかけて河畔林内で堆積、捕捉されている。河岸付近、河畔林の上流端や周縁部付近でも流木が確認されており、河畔林によって捕捉されたと考えられる。高水敷上流部は河畔林が存在せず砂州となっている割合が高く流木の堆積はほとんどみられない。k.p5～7区間は河畔林が存在する河岸付近でわずかに堆積している。k.p7～11では、下流部の堆積の特徴に加え、河畔林が存在しない砂州上に流木が堆積している現象がみうけられるようになる。砂州の中央部（前縁部河岸から離れた箇所）に多く、上流部、下流部の河岸付近でもみられた。k.p11.8～13では砂州の中央部よりやや下流、河岸から離れた上流部で堆積していた。k.p15～16では高水敷上に多く堆積しており、砂州上や河畔林によっても堆積、捕捉されていた。一方、k.p13～14.6, k.p16～17付近ではほとんど堆積していなかった。k.p17.4～18.6では河畔林が存在しない砂州上に量は少ないが流木が堆積している。その上流では

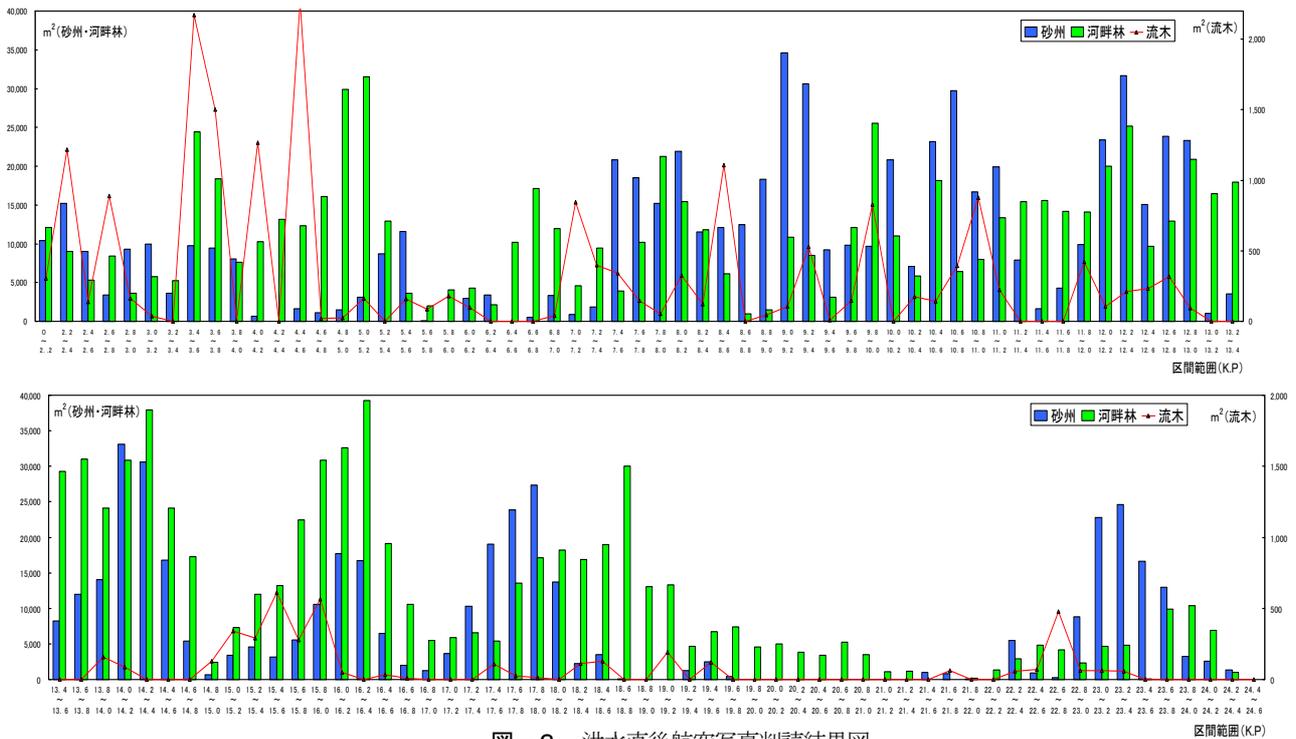


図-2 洪水直後航空写真判読結果図



図-3 流木の堆積・捕捉 (渚滑川kp3.6~5km)



図-4 流木の堆積・捕捉 (渚滑川kp22.6~23.6km)

k. p22. 2付近まで河岸の河畔林や橋梁による捕捉を除いてほとんど堆積していない。k. p22. 4~23. 6では高水敷、砂州の中央部（前縁部河岸から離れた箇所）のほか、河岸河畔林にも堆積していた。

流木の堆積、捕捉は河畔林が捕捉するケースが量的に多い。低水路河岸部分や砂州、高水敷上に存在する河畔林が捕捉機能を有していると考えられ、このようなケースが下流区間で多くみられた。一方、河畔林が存在しない砂州、高水敷上に流木が堆積している現象も中上流部を中心に生じている。また、2007年1月に渚滑川の現地調査を行っている。冬季間であり洪水直後の調査ではないが、次のような点が明らかとなった。渚滑川の調査対象区間における河畔林からの流木発生量は約150m³に対し、流木堆積量は2,800m³と算定された。流木の新旧別区分では新規流木が約40%である。流木の堆積箇所に関しては、護岸整備等により河道が直線的で、かつ高水敷の比高が高い箇所、また河岸部が急な山地斜面の箇所は、流木の流送区間となっており流木の堆積は少ない。一方、

河川の蛇行が顕著で砂州の発達した箇所では、流木の堆積量が多い。これは、蛇行区間での洪水時の流れの複雑さ、砂州の微地形変化、高水敷、砂州上にある河畔林での捕捉等によると考えられる。

3. 流木流下水理模型実験

3-1. 流木流下水理模型実験

1) 実験の考え方

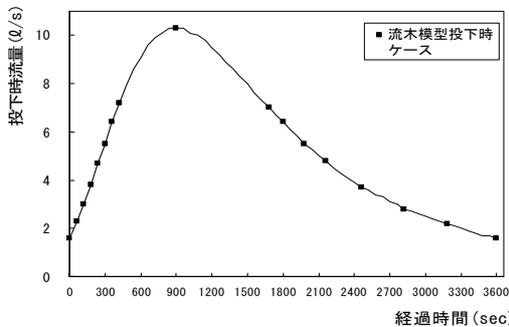
既存研究では流木と主に河川構造物を対象に、流木群の挙動や集積過程²⁾・³⁾について模型実験や数値解析を行って明らかにしている。橋梁を対象にした研究事例からは、流木のせき止め率（捕捉率）が流速や橋梁径間長、水深等と関係があることが指摘されている。しかし、砂州形状と流木堆積との関係についての既存研究はみあたらない。本実験では、はじめに砂州との基本的な関係を得るために河畔林等を考慮せずその堆積、捕捉特性を明

らかにすることを目的に実施した。集団で流下する場合の影響を考えずに単木で非定常、定常流条件下で流下する実験を繰り返し行うこととした。さらに、効果的に流木を捕捉するために、河畔林や水制等構造物の設置位置に関する実験も行うこととした。

2) 実験方法, 結果

2003年出水時の沙流川で調査された流木長は10~15 m, 直径0.1~0.5 mであり, 調査区間の河川幅300 mを参考に水路幅 (90 cm) との比率によって実験条件を設定した。流木模型は, $\phi=1\text{mm}$, $L=40\text{mm}$ のひのき角材を使用した。実験に使用した流木模型投下位置でのハイドログラフと投下させた時の経過時間, 流量を示す17ケースを図-5に示す。各ケースにおいて流木模型を単木で15本ずつ (右岸側の位置が異なる3箇所各箇所5本) 投入し, その軌跡及び堆積位置を計測している。河床は図-6に示すように単列交互砂州を形成させ固定床で行っている。なお, 砂州河床は4号硅砂 (粒径 $d_{50}=0.764\text{mm}$) と7号硅砂 ($d_{50}=0.154\text{mm}$) の配合比6:1の河床材料を使用し, 河床勾配1/80, 流量5.43 (l/s) で90分間通水し形成させた。

以上の実験結果のうち, 上昇時と下降時の流木の挙動が比較できる代表ケース (経過時間0, 180, 360, 1800, 2460, 3600秒) について図-7にまとめた。流木投下位置での流量が約6.4 l/sと大きい場合, 水位の上昇・下降時とも砂州の形状に沿って流木は流れるが, 左岸まで流れず中心より右岸側の範囲で流れる傾向にある。約3.8 l/sの中程度の流量の場合, 下降時で砂州の形状に沿って左岸まで流れず中心より右岸側の範囲で流木は流れる傾向にあったが, 上昇時で流木を投入した場合, 砂州の形状に沿って流れる傾向にあった。約1.6 l/sの流量が小さい場合は, 砂州の形状に沿って流木は流れるが途中で止まる傾向にある。上昇時の場合にその傾向が強い。また, 投入位置によって流木の軌跡も上昇時と下降時の場合で異なる傾向があった。



ケース番号	1	2	3	4	5	6	7	8
経過時間 (s)	0	60	120	180	240	300	360	420
流量 (l/s)	1.6	2.3	3.0	3.8	4.7	5.5	6.4	7.2
9	10	11	12	13	14	15	16	17
経過時間 (s)	1680	1800	1980	2160	2460	2820	3180	3600
流量 (l/s)	10.3	7.0	6.4	5.5	4.8	3.8	2.8	2.2

図-5 実験用ハイドログラフと流木模型投下ケース

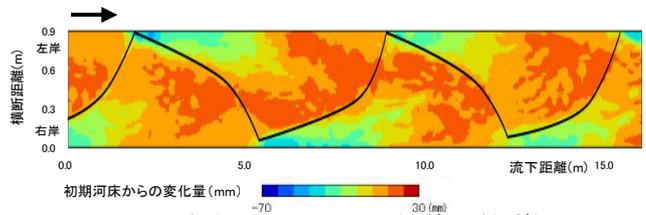


図-6 実験河床コンター図 (黒線: 前縁線)

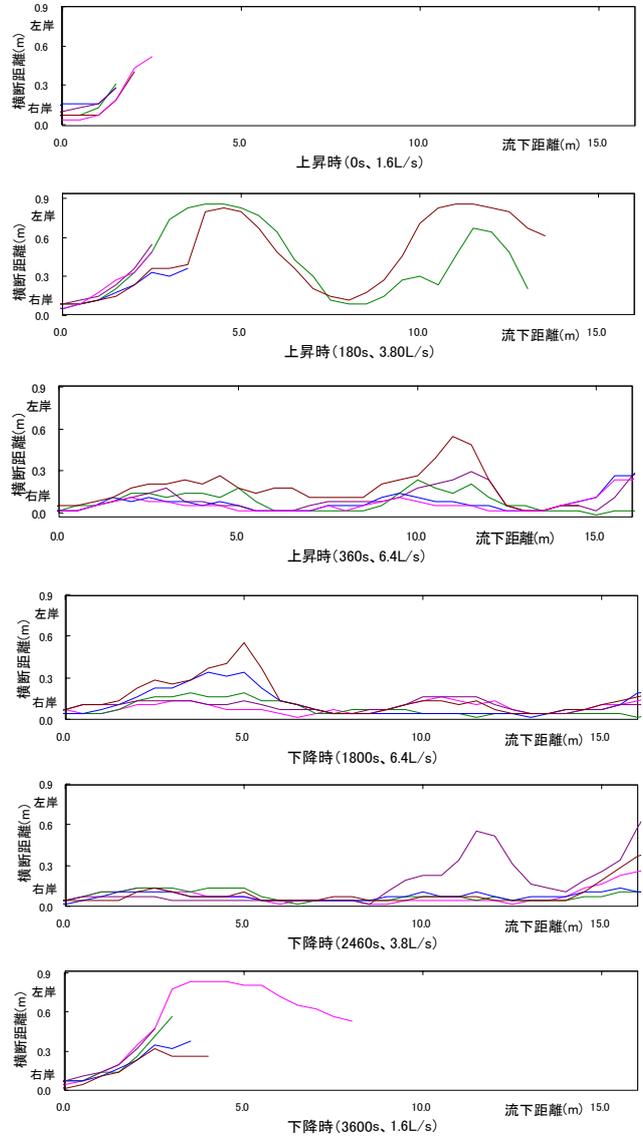


図-7 非定常上昇, 下降時の流木流下軌跡

3-2. 流木捕捉水理模型実験

1) 実験方法

3-1と同様の条件で形成させた単列交互砂州において, 定常流量3ケース (1.9, 3.4, 5.2 (l/s)) での流木の捕捉率を計測した。図-8に流木の流下軌跡を示すが, 流量が増加すると砂洲形状を無視して流下方向に直線的に変化した。そこで, 流木を捕捉する杭打ち水制を用いて, 異なる設置位置及び流量と, 流下する流木の捕捉程度との関係を把握している。杭打ち水制の設置位置は砂州上流部A, 中流部B, 下流部Cの3箇所を設定した。

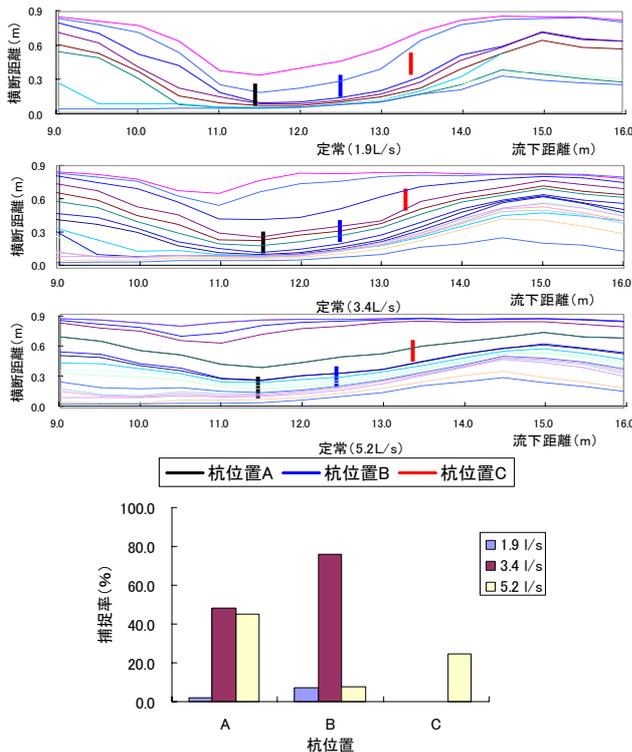


図-8 定常時の流木流下軌跡と杭による流木捕捉率

杭打ち水制間隔は4cmの流木長に対して間隔3cmの場合と1.5cmの場合について流量2ケースで比較した結果、捕捉率が高かった杭間隔1.5cmを採用している。杭の長さは15cmとした。異なる杭打ち水制の設置位置と定常流量3ケースに対応した捕捉率の比較結果を図-8に示す。1ケースあたり120本流下させたときの捕捉本数の比率を示している。3.41/s流量規模では砂州上流と中流部設置、5.21/s流量規模では上流と下流部設置の場合に捕捉率が高い。1.91/s流量規模ではいずれも捕捉率が低い。砂州上を流れる流況が変化することで捕捉機能が異なり、流況の変化が設置位置によって捕捉率を変化させる要因であると考えられた。

3-3. 平面2次元計算の河道流況の把握

1) 流れの数値解析⁴⁾

平面2次元計算を用いて詳細な流況を把握する。流況計算の算出にあたって、基礎式及び計算プログラムは水理公式例題集⁴⁾を用いている。概要を記すが、流れの基礎式は平面2次元流れの連続式と運動方程式であり、3次元非圧縮性流体の連続式、Navier-Stokesの運動方程式を水深方向に積分して得られる。それらをデカルト座標系で表示すると以下になる。また、せん断応力、Manning則による底面せん断応力は次式で算出する。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_{xx} h}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{yx} h}{\rho} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_{xy} h}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{yy} h}{\rho} \right) \quad (3)$$

$$\tau_{xx} = 2\rho D_h \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} k, \quad \tau_{yy} = 2\rho D_h \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} k,$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \rho D_h \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad D_h = \alpha h u_* \quad (4)$$

$$k = 2.07 u_*^2 \quad (5)$$

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{3/2}}, \quad \tau_{by} = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{3/2}} \quad (6)$$

ここに、 t : 時間、 (x, y) : 空間座標、 (u, v) : x, y 方向の水深平均流速、 (M, N) : x, y 方向の流量フラックス、 g : 重力加速度、 h : 水深、 ρ : 水の密度、 Z_s : 基準面からの水位、 (τ_{bx}, τ_{by}) : $x-y$ 座標系の x, y 方向の底面せん断応力、 $(\tau_{xx}, \tau_{yx}, \tau_{xy}, \tau_{yy})$: $x-y$ 座標系のせん断応力、 D_h : 渦動粘性係数、 k : 水深平均乱れエネルギー、 α : 定数、 u_* : 摩擦速度 ($u_*^2 = \tau / \rho$)、 n : Manningの粗度係数である。以上について一般座標系 (ξ, η) に変形し、数値解析を行っている。

2) 計算結果

河床形状は砂面計を使用して、縦断方向15.75mの区間を106断面、横断方向0.9mの区間を177側点計測した。流速、水深が計算され、図-9に流速ベクトルの計算結果を時間的な変化にしたがって示す。

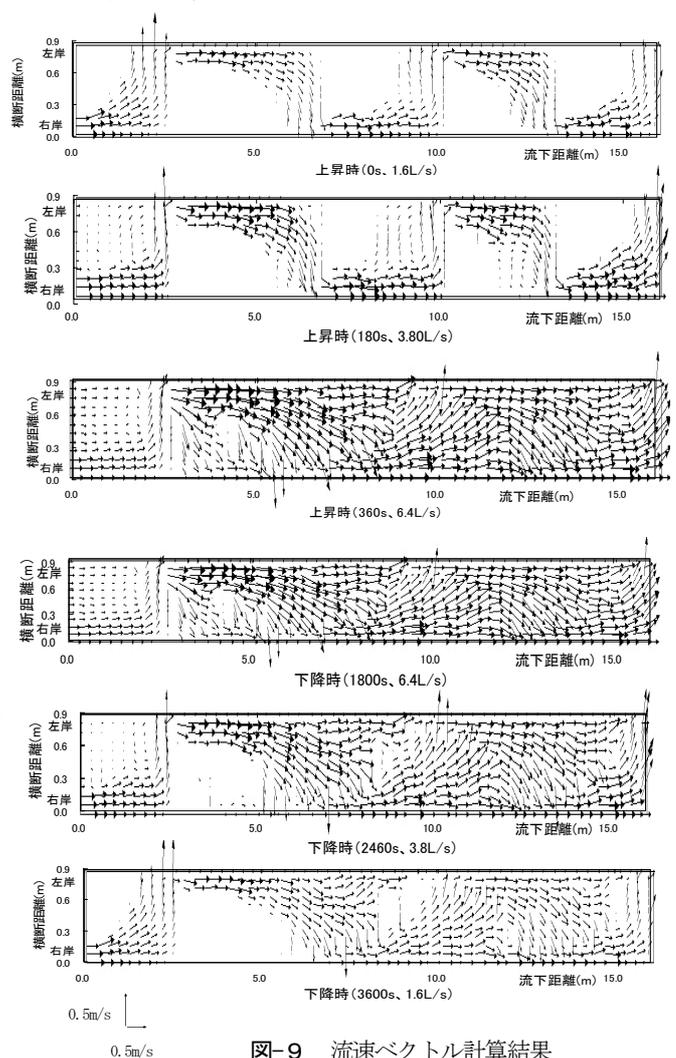


図-9 流速ベクトル計算結果

単列交互砂州における流木堆積，捕捉箇所について，前述した流木の軌跡とこれらの結果を比較して流木の洪水時の挙動特性について分析した．水位が上昇しはじめ流量が小さいときには主に砂州形状に沿った主流線の流れが生じる．そして，流速，水深が減少する箇所では流木が堆積する傾向にあった．一方，下降時には流木が途中で堆積するケースが小流量を除いてほとんどみられなかった．水位の上昇時は下降時に比べ，主流線流れ付近の流速，水深とその周辺流れの流速，水深との差が大きく，その空間的分布の区別が明瞭であることが要因であると考えられる．また，上昇時では同一時刻における下流の上流に対する流量，水位の差が下降時のそれに比べ大きいことも流木の軌跡に影響している可能性がある．流木に対して主流流れから周辺流れへの力が働き，主流流れから外れ，堆積しやすくなる現象機構の解明について詳細な検討が必要である．

4. 現地河川を対象とした流木堆積

前述した渚滑川の2006年洪水を対象に洪水時の流れを同様の方法で数値計算を行った．下流端K. P2. 0から上流端K. P24. 4までの区間を100m間隔横断データ，低水路10断面，左右岸高水敷各10断面，粗度係数は低水路0.035，高水敷0.05，流量は上渚滑橋観測所（K. P19. 3，ピーク流量 $1500\text{m}^3/\text{s}$ ）を用いている．図-3，4などを含む高水敷や砂州に流木が堆積，捕捉されている箇所においては，いずれも流量の増加に伴って高水敷や砂州上の流れが生じていることが計算結果からも確認された．図-10は河畔林が少なく河床勾配が $1/300$ 程度の図-4の箇所を対象とした流速ベクトルの結果である．主流流れと周辺流れの流速差が洪水期間中大きくなっている箇所（図中の→）が明瞭に現れており，実際の現地調査でも砂州，高水敷箇所で流木が堆積している区間である．流

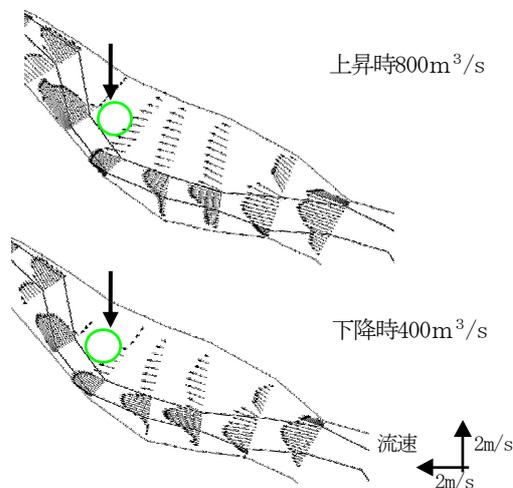


図-10 渚滑川kp23～23.6km流速ベクトル図

木が堆積する他の河道下流区間と比べて流速差の違いが区別しやすい区間であった．今回の計算結果は河畔林等の存在を考慮しておらず詳細な流れは再現できていないが，このような考え方をを用いることで洪水時の流れによる流木の堆積，捕捉に関する情報が得られると思われる．

5. おわりに

本研究は，流木の堆積，捕捉現象の解明を目指す基礎的な調査，実験を行った．流木の河道内の砂州や形状による堆積や河畔林による捕捉に関する現地調査結果を踏まえて，交互砂州河床における流木の流下軌跡，河畔林等構造物による効果的な流木の捕捉位置に関する水理模型実験を行っている．以上の知見と数値計算によって求められた洪水時の流れ特性を，模型実験および流木が発生した現地河川に適用し，その堆積，捕捉位置について考察した．砂州や高水敷上の洪水時の流れ，時間的な変化が流木の流下軌跡，堆積等挙動に関係しており，低水路と砂州，高水敷の関係を含む河道形状等の特性や流況がどのように影響を及ぼすか詳細に分析することで，流木の流下，堆積挙動について明らかになると考えられる．主流流れの分散，安定性と周辺流れとの関係が流木に及ぼす力学的特性の把握を，単木の他，集団で流下する場合を対象にした現象の解明も重要である．また，砂州の移動特性を考慮した砂州上の流れ特性についても検討を進める必要がある．流木が捕捉されやすい捕捉工設置位置や河畔林の捕捉機能については，捕捉工等の存在による流れの変化が捕捉機能に及ぼす影響分析，構造物や河畔林自体の存在による洪水時の水位上昇や，流失，流下条件との兼ね合いについての検討が重要である．

謝辞：本研究は国土交通省北海道開発局からの受託業務，河川環境管理財団調査研究事業による補助を受けた．また，現地調査データ等について北海道開発局網走開発建設部，室蘭開発建設部より支援，協力頂いております．ここに記して，謝意を表します．

参考文献

- 1) 鈴木優一，渡邊康玄：沙流川での台風10号における流木の挙動，水工学論文集，第48巻，pp.1633-1638，2004.
- 2) 中川一，井上和也，池口正晃，坪野考樹：流木群の流動に関する研究(2) - 流木群の堰止め - ，京大防災研年報，第36号B-2，pp1-12，1993.
- 3) 清水義彦，長田健吾，高梨智子：個別要素法を用いた流木群の流動と集積に関する平面2次元数値解析，水工学論文集，第50巻，pp.787-792，2006.
- 4) 長田信寿：水理公式集例題プログラム集（平成13年版），土木学会，pp18，2001.

(2007.9.30受付)