

札内川を事例とする植生の流路変動への影響

The effects of vegetation on morphodynamics of the Satsunai river during flood

北海道大学工学部	環境社会学科	○学生員	渡邊健人 (Kento Watanabe)
北海道大学大学院	工学研究院	正会員	久加朋子 (Tomoko Kyuka)
寒地土木研究所	寒地河川チーム	正会員	山口里美 (Satomi Yamaguchi)
北海道大学大学院	工学研究院	フェロー	清水康行 (Yasuyuki Shimizu)
北海道大学大学院	工学研究院	フェロー	泉典洋 (Norihito Izumi)
寒地土木研究所	寒地河川チーム	正会員	岩崎理樹 (Toshiki Iwasaki)
(株) 水工技研	技術部	正会員	石田義明 (Yoshiaki Ishida)

1. はじめに

近年、全国の河川に於いて河道内に樹木が侵入し、河積の減少により洪水時の流下能力が低下するなど、河川管理上の洪水リスクの上昇が懸念されている。既往の研究により、本研究で対象とする十勝平野を流れる帯広川の支川である札内川のような網状河川では、河道内の樹林化に伴い河川の流路形態が蛇行流路に変化すること等が報告されている。実際、図-1-a～図-1-cに示すとおり、札内川の航空写真から経年変化を確認すると、古くは網状流路であった河道が近年に近づくにつれ、蛇行流路へと変化し、それと同時に河道内に樹木（ヤナギ類）が侵入する状況が確認できる。

しかしながら、2016年、8月後半～9月1日において台風4個が連続して北海道に到来し、札内川では流路幅の著しい拡幅、大規模な河道内樹木の流出、さらには堤防の一部が侵食する状況まで認められた（図-1-e）。これまで、樹木侵入が網状河川の流路変動に与える影響については多数報告されてきた。しかし、今回の2016年北海道豪雨時のように、河道内樹木の大半が流出するほどの大出水時における樹木分布と流路変動との関係に関する検討は非常に少なく、樹木の密生度や生える場所が、洪水時の流路変動にどの程度の影響を与えるかについては未解明な部分が多い状況にある。そこで本研究では、2016年北海道豪雨災害時における札内川上流域（図-1）を対象とし、樹木の流出を考慮した平面2次元河床変動計算を実施し、河道内樹木の分布が出水時の流路変動に及ぼす影響を検討した。

2. 2011年と2016年出水時における札内川の状態

図-2に、札内川上流域に位置する上札内観測所（KP41.8）における年最大流量の推移を示す。図-2より、近年の比較的大規模な出水として、2011年と2016年があげられる。ただし、2016年出水の規模は非常に大きく、9月1日、上札内観測所では既往最大となる流量 $1287\text{m}^3/\text{s}$ （速報値）を観測した。

図-3に、2016年北海道豪雨後の上札内観測所付近の

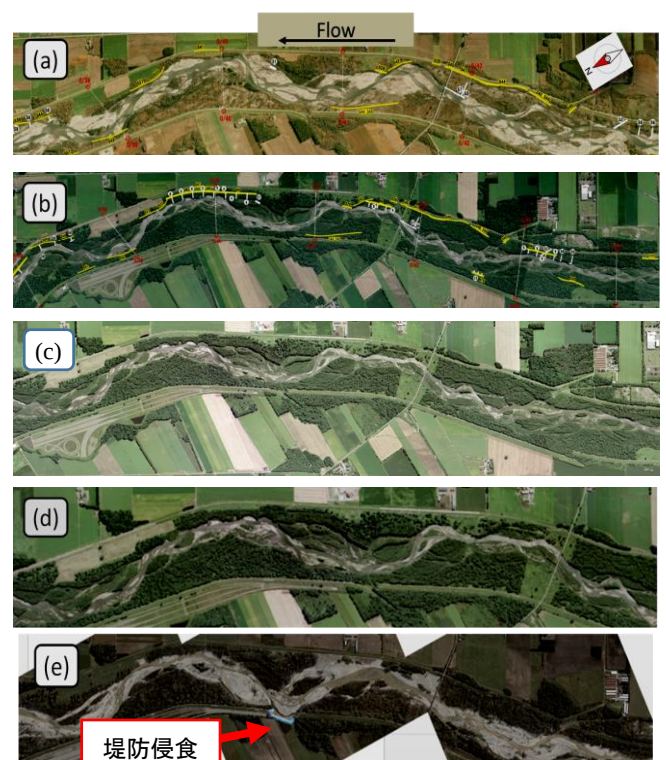


図-1 札内川（KP38-KP44）の樹木侵入状況と流路形態の経年変化
(a)-1991年, (b)-2010年, (c)-2011年9月, (d) 2016年8月増水前, (e)-2016年10月
(北海道開発局帯広開発建設部より提供)

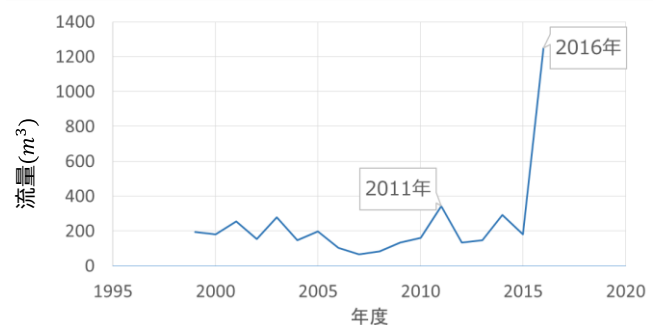


図-2 上札内観測所における最大流量の推移
(2016年は速報値)

表-1 計算条件

	ピーク流量 (m^3/s)	植生の有無	植生の根長 (m)	植生の密生度	河床材料の粒径 (mm)	計算区間
Case1	1250	植生あり	0.2	0.03	34.8	KP38.5-KP42.5
Case2		植生なし				
Case3		植生一部除去				
Case4	350	植生あり				

様子を示す。図より、上述したとおり本地点では河道内樹木の大部分が流出し、流路幅の拡幅や堤防侵食まで生じたことが分かる。さらに、図-3 にて樹木分布状況を確認すると、破堤地点より少し上流に位置する中洲（青枠で囲った領域）にて、今回の出水でも流出しないほどの比較的規模の大きな樹林帯が存在することが分かる。上札内観測所付近では、青枠で示した以外の中洲上の樹木はほぼ流出していることから、これらの比較的規模の大きい中洲上の樹林帯は、出水時の流路変動および破堤にある程度影響を与えたのではないかと推察される。

2. 数値解析

2011 年および 2016 年規模の出水時において、河道内樹木の空間的な分布が流路変動や破堤に与える影響を把握することを目的に、平面 2 次元河床変動解析による検討を行った。計算領域は、札内川 KP40.6 の堤防侵食箇所を含み、下流端を KP38.5、上流端を KP42.5 とする約 4km の区間とした。数値解析には、iRIC に搭載されている数値解析ソルバーである Nays2D²⁾ に河床低下量に応じて樹木が流出するモデルを追加したものを用いた。

表-1 に計算条件を示した。各々の解析ケースの違いは以下のとおりである。Case 1 と Case 2 は、2016 年北海道豪雨時の出水規模を想定した流量条件のもと、樹木の有無による流路変動を比較するものである。Case 3 は、破堤区間上流域の中洲に樹木が存在しない（伐採されていた）場合を想定し、Case 1 と同じ条件のもと、図-3 の青枠で囲んだ箇所の樹木を解析初期条件として設定しなかったものである。除去したエリアは、実スケールに直すと約 $0.02km^2$ である。Case 4 は、2011 年と 2016 年の出水規模に応じた流路変動規模を比較するものであり、2016 年出水規模の流量条件を 2011 年出水規模まで単純に減じたものを用いた。図-4 に Case 1, Case 2, Case 3 における解析初期状態での樹木分布状況を示す。樹木（札内川における河道内樹木の優占種であるヤナギ類）に関する設定条件は以下のとおりである。既往報告³⁾を参考に、密生度を 0.03、樹林高は水没しない高さ、ヤナギ類が流出する河床低下量を 0.2m と設定した（表-1）。追加した流出モデルでは、樹木を設定した計算セルの河床高が初期河床から根長以深まで洗掘されると、樹木が流出したと判断されるようにした。河床材料は一様砂とし、既往文献⁴⁾を参考に代表粒径 $D_{60}=34.8mm$ を与えた。図-5 に解析に用いた流量条件を示す。流量条件（図-5）は解析開始時点にて総時間および最大値以外未定であったため、現時点では仮定のものを利用している。河床変動計算では、計



図-3 2016 年出水後のドローン写真、中洲の樹林帯を青枠で示す（(株)北開発水工コンサルタント）



図-4 河道内樹木の設定状況、赤塗りの箇所が樹木設定所に該当する。青枠で囲んだ領域は、Case 3 にて樹木を設定しなかった領域に該当する。

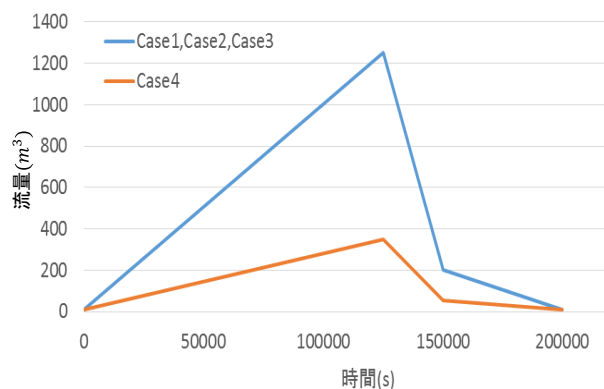


図-5 数値解析に用いたハイドログラフ

算格子間の斜面が 40° に設定した安息角以上に急勾配になった場合、斜面を崩落させるモデルを適用した。

3. 解析結果と考察

(1) 樹木の有無による流路変動

図-6 に、Case 1, Case 2, Case 3 の増水ピーク時の水深コンター図と、図-7 に、計算終了時の水深コンター図を示す。図-6 より、いずれのケースも増水ピーク時の主流路の位置が類似していることが分かる。しかし、図-7 によると、計算終了時の主流路の位置は各ケースで異なることが分かる。Case 1 では、河道の中央から離れるように左右岸に向けて大きく蛇行した。これは、既往研究でも報告されるように、河道内樹木が流路の横方向への

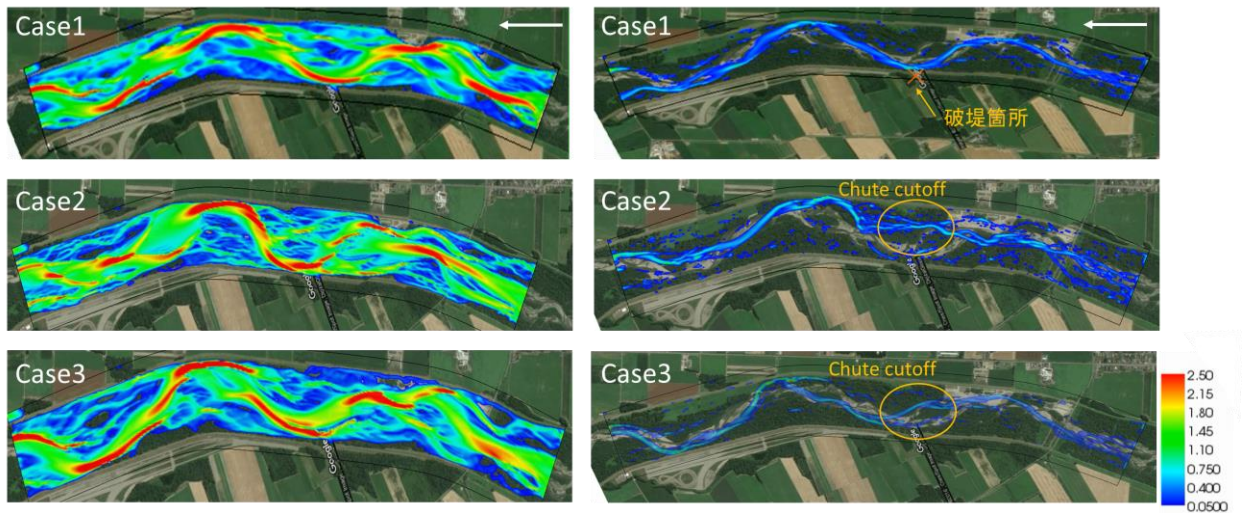


図-6 数値計算による水深コンター図，左) ピーク流量時，右) 計算終了時 (10m³/sec)

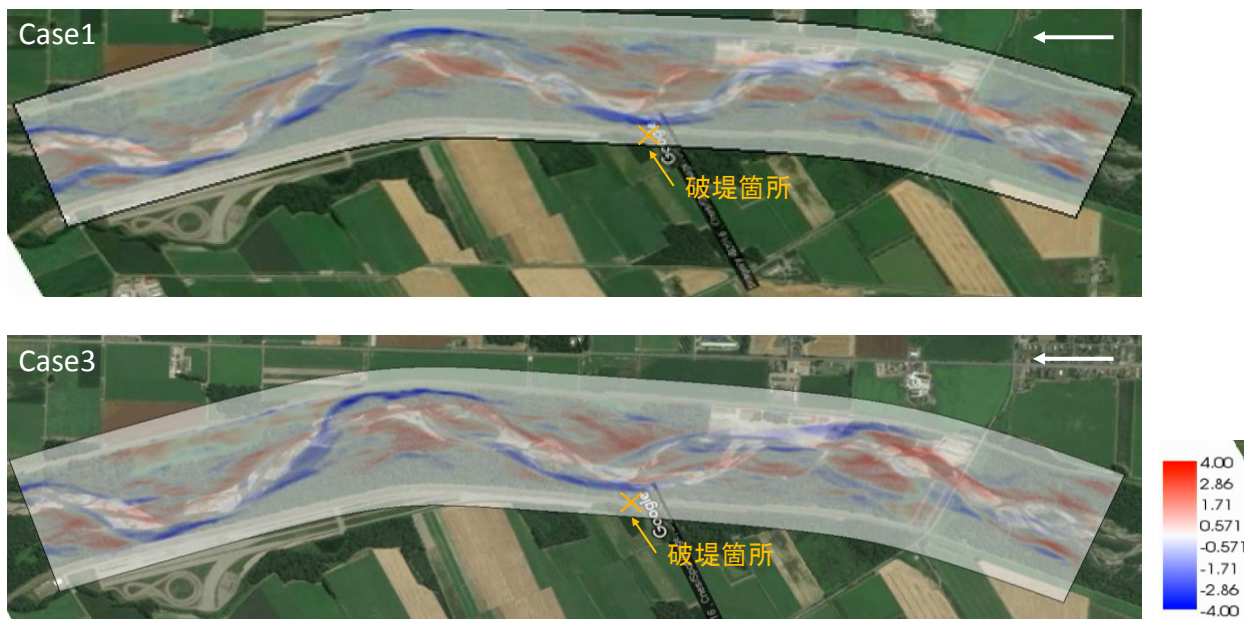


図-7 数値計算による河床変動量コンター図，上) Case 1 (植生あり)，下) Case 3 (植生なし)

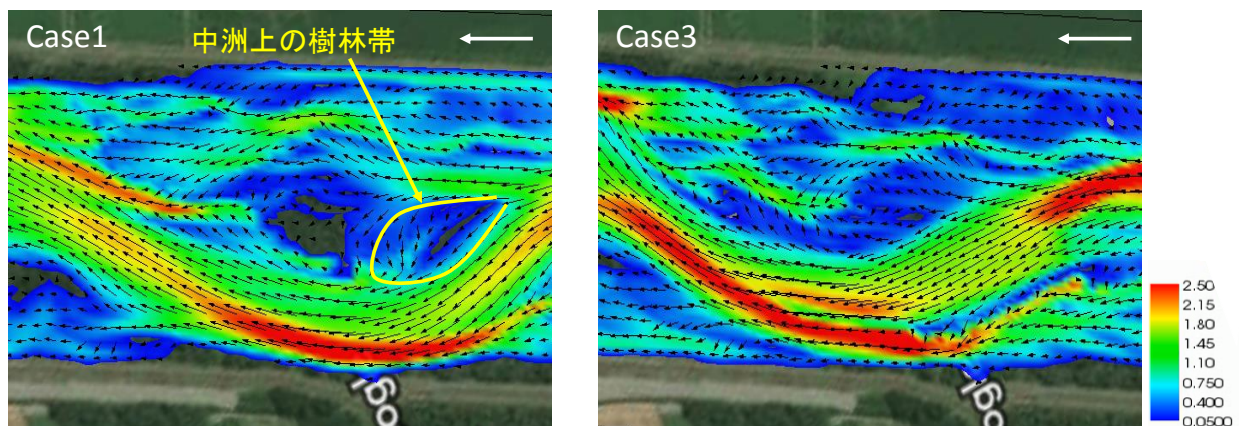


図-8 数値計算による流量ピーク時の流速ベクトルと水深コンター図，

左) Case 1 (中洲上の植生あり)，右) Case 3 (中洲上の植生なし)

移動を励起したためと考えられる。

一方、樹木を考慮しなかった Case 2 および中洲の樹木を除去した Case 3 では、最終的な低水路が河道の中央に

寄る結果となった。これは、流量減水時に Case 2 および Case 3 では Chute cutoff により主流路切り替えが生じたためである (図-6-右図)。このことから、中洲の樹木は、

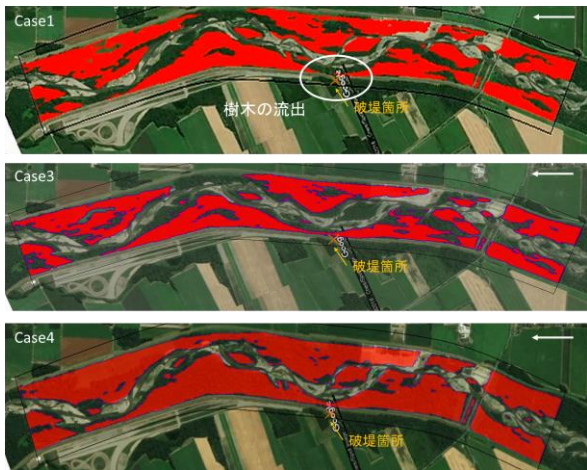


図-9 数値計算による樹木流出量の違い，
上図) Case 1 (中洲上に植生あり，2011 年度出水相当の流量)，
中図) Case 3 (中洲上に植生なし，2011 年度出水相当の流量)，
下図) Case 4 (中洲上に植生あり，2011 年度出水相当の流量)

河岸沿いに生える樹木よりも流路変動に大きな影響を与える可能性が推察される。

(2) 中洲の樹木の有無による河床変動量

図-7 に，Case 1 と Case 3 の破堤部付近の河床変動量を，図-8 にピーク流量時の中洲周辺の水深コンターと平均流速ベクトル図を示す。図-7 より，Case 1 では 2016 年の出水で堤防侵食被害が発生した箇所付近まで河床が侵食されていることが分かる。一方，Case 2 では，破堤部付近まで侵食域が到達しなかったことが分かる。これは，図-8 に示すとおり，中洲周辺の流れの違いによるものである。図-8 より，中洲周辺の流れを比較すると，樹木が存在する Case 1 では，樹木により流れが遮られ，流速ベクトルの方向が変化し，より破堤に近い場所に水衝部が形成されていることが分かる。一方，中洲の樹木を除去した Case 2 では，中洲の上に強い流れが生じ，堤防付近が水衝部になっていないことが分かる。このような流れ場の違いが，Case 1 と Case 2 の流路変動の違いをもたらしたといえる。このことから，中洲上の樹林帯は，河岸沿いの植生よりも流路の移動を促進させる働きが強いものと推察される。

(3) 流量の違いによる樹木流出状況

図-9 に Case 1，Case 3，Case 4 の計算終了時の樹木分布状況を示す。図-9 より 2016 年と 2011 年出水スケールを想定した Case 1 と Case 4 を比較すると，Case 4 では樹木がほとんど流出しなかったことが分かる。Case 4 の結果を図-1-c の現地航空写真と比較すると，計算で認められた樹木流出状況 (図-9-下図) は，現場の状況と類似するものであり，2011 年出水スケールの流量では河道内樹木がほとんど流出しない状況がある程度再現できたと考えられる。

その他，Case 1 と Case 3 を比較すると，堤防侵食被害のあった箇所付近で左岸に沿う形で存在していた樹木が，

Case 1 では完全に流出したのに対し，Case 3 の同じ箇所では残存していることが分かる。これは，上述の通り，中洲上に樹木が存在することで流路が堤防付近まで到達したためである。

4. 結論

本研究では，2011 年および 2016 年に札内川で認められた出水を対象に，数値解析から河道内樹木の分布と流路変動との関係について検討を行った。得られた結論を以下にまとめる。

- 1) 河道内樹木の有無による流路変動を比較すると，樹木が存在しない場合，出水後の低水路が河道の中央に寄る傾向が見受けられた。これは，流量減水時に Chute Cut-off が生じたためである。一方，河道内樹木が存在する場合，流路は堤防付近まで到達した。これは，既往報告でも述べられているとおり，河道内樹木により流路の横方向の移動が励起されたためと考えられる。
- 2) 中洲の樹木は，河岸付近の樹木に比べて流路変動に及ぼす影響が大きい可能性が推察された。数値解析では，実際の札内川の状況と同じく，2016 年規模の出水では大部分の河道内樹木が流出するが，2011 年規模の出水では殆どの樹木が流出しない状況を再現できた。

謝辞

本研究は，2016 年北海道豪雨災害調査団，北海道開発局，寒地土木研究所の協力のもと行われた。研究は，公益財団法人河川財団の助成を受けた。ここに深謝の意を記す。

参考文献

- 1) Jang, C.L., Shimizu, Y.: Vegetation effects on the morphological behavior of alluvial channels, Journal of Hydraulic Research, Vol.45, pp.763-773, 2007
- 2) 清水康行 : Nays2D Solver Manual, iRIC Project.
- 3) 永多朋紀 : 「融雪出水を有する扇状地河川における水理的多様性の定量評価に関する研究」(北見工業大学学位論文), pp.100, 2016
- 4) 泉典洋, 斎藤新一郎, 中村太士, 藤巻裕蔵, 丸山純孝, 柳川久, 渡邊康玄 : 札内川技術検討会報告書 第一回, 2011