河道内樹林化に伴う流路変動特性の変化

久加朋子[1)]
山口里実[2)]，岡部和憲[3)]，渡邊健人[4)]，清水康行[5)]
1) 富山県立大学工学部
2) 国立研究開発法人 寒地土木研究所
3) 一般財団法人 北海道河川財団
4) 北海道大学大学院工学研究院（現：日本工営（株））
5) 北海道大学大学院工学研究院

植生による札内川の流路形態の変化

（提供：帯広開発建設部）

Topics

適切な河道内樹木の管理には，流路変動と樹木の動態との相互関係を解明し，
数値計算にて将来予測可能とすることが有用である．

動的な河道内樹木の消長と流路変動との対応関係

※ 植生侵入 ⇒ 成長 ⇒ 群落形成 ⇒ 流路変動特性
⇒ 河積阻害 ・ 流路蛇行化に伴う護岸・堤防被災リスクの増大

Topics

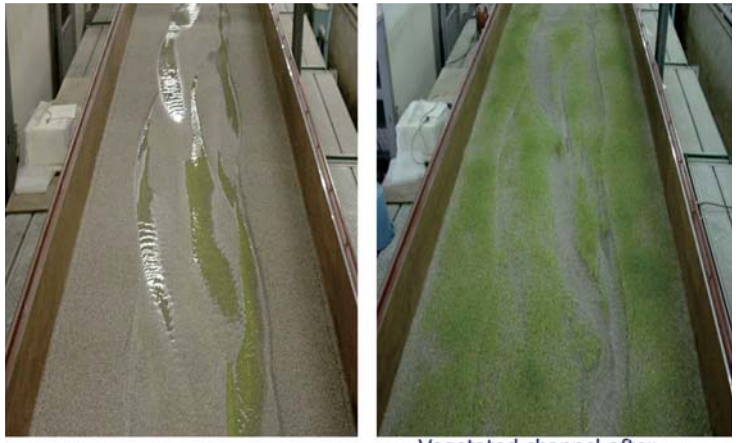
急勾配河川に着目し，

（1）植生の新規侵入特性

（2）出水中の樹木流失が流路変動特性に与える影響

Jang and Shimizu 2007:

Considered dynamic vegetation effects on riverbed morphodynamics

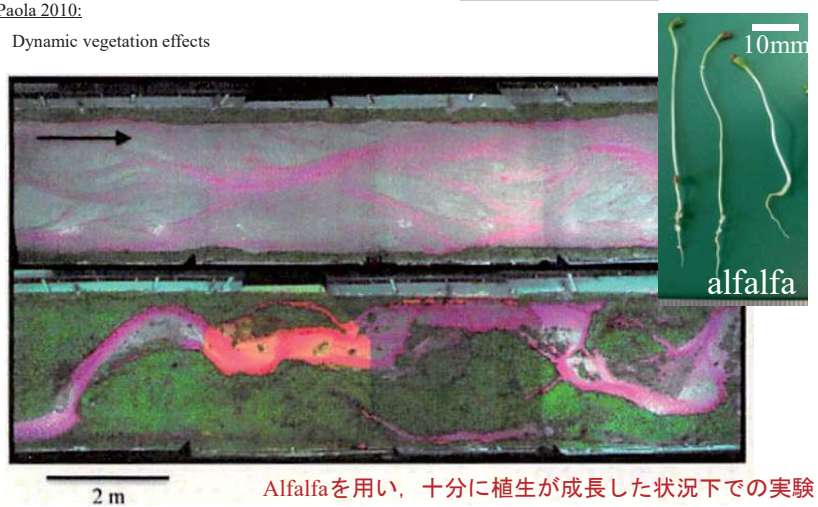


After 64min.for Runs-2 & 3　　Vegetated channel after 10days of seeding in the bed

流路の蛇行化を促し，流路本数を減らす

Tal and Paola 2010:

Dynamic vegetation effects

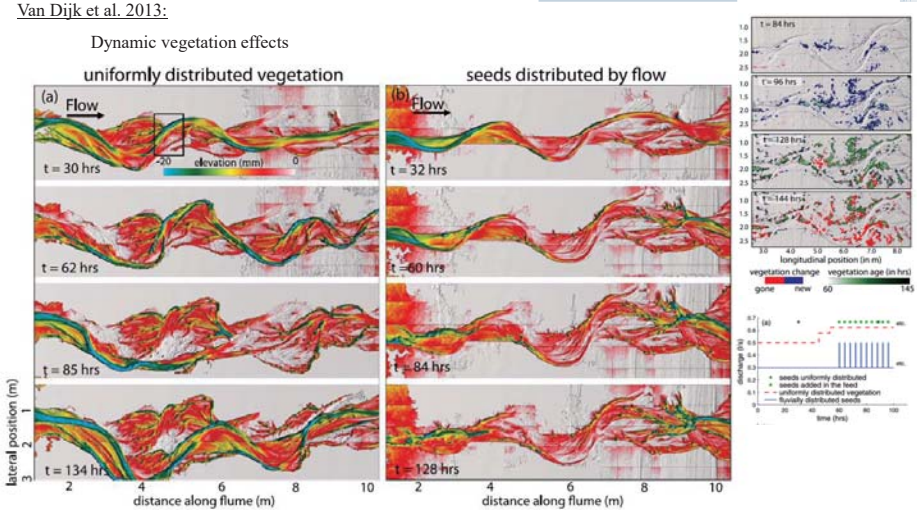


Alfalfaを用い，十分に植生が成長した状況下での実験

- 大規模実験水路にて，植生侵入によって網状流路が蛇行流路へ変化することを確認
- 植生は河岸を強くし，河岸侵食量を減少させ，流れを集中させる
- 死んだ植生も古い流路を塞ぐように働き，流路本数の減少を促す
- 流路は次第に蛇行化する（時々，流路短絡が生じる）

Van Dijk et al. 2013:

Dynamic vegetation effects



植生が流路形態を変化させる変曲点の存在

- 植生密度を変化させ，流路変動特性を比較
- 植生密度が一様に高い場合，流路の蛇行化が生じる
- 植生が局在する場合（流水散布），明瞭な蛇行化は生じない

～ 出水時の植生種子の定着特性の把握 ～

① 直線水路に形成された交互砂州

② 網状流路-1（流水散布）

③ 網状流路-2（流水散布）

④ 数値計算による再現計算

Figure: Experimental flume-1
(Hokkaido University)

Table: Experimental flume (initial conditions)

Flume length (m)	Flume width (m)	Bed Slope
10.0	0.2	1/200

Table: Hydraulic conditions

Discharge Q (m^3/sec)	0.0002
Mean diameter (mm)	0.78
Polystyrene beads 1 (mm)	0.50
Polystyrene beads-2 (mm)	0.70
Polystyrene beads 3 (mm)	1.20
Specific density of Polystyrene beads	1.0

サイズの違いを考慮

流路形態によって結果が異なる可能性がある…

- 直線水路に形成された交互砂州への粒子定着実験
- 中性粒子は，砂州の前縁にのみ集中して定着
- 定着するタイミングは減衰期
- サイズによる違いは殆ど認められない

Figure: Experimental flume-2
(Hokkaido University)

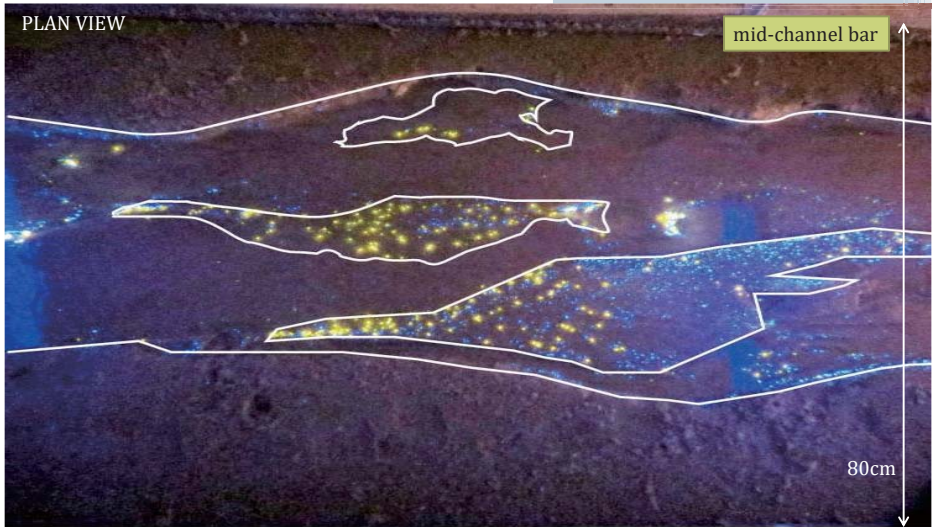
Table: Experimental flume (initial conditions)

Flume length (m)	Flume width (m)	Bed Slope
12	0.865	1/300

Table: Hydraulic conditions

Discharge Q (m^3/sec)	0.00204
Mean diameter (mm)	0.70
Initial channel width(m)	0.15
Specific density of Alfalfa	1.1
Specific density of Cresson	1.0

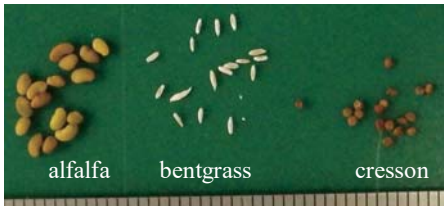
サイズ+比重の違いを考慮



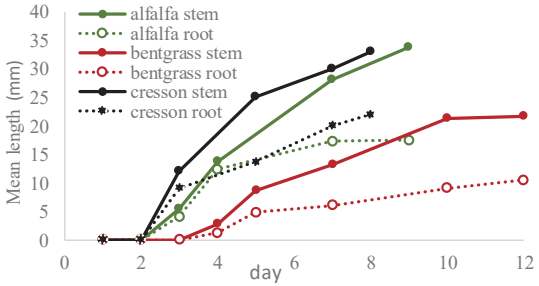
比重1.0以上の種子は水路実験に向かない…

- alfalfaとCressonで定着場所が異なる.
- 種子の比重は，サイズに比べて定着場所に影響する
- ただし，alfalfaは掃流形態で輸送されるが，ヤナギ等の種子は浮遊状態で輸送される…

散布する種子の検討：



	比重
Alfalfa	約1.1
Cresson	約1.0
Bentgrass	約1.0



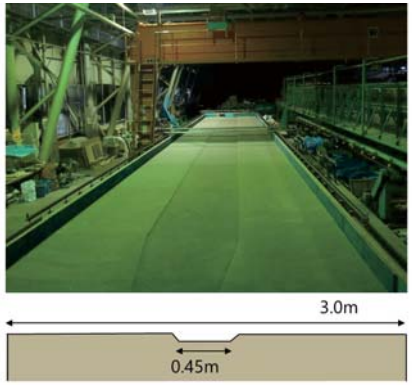


Figure: Experimental flume-3 (CERI)

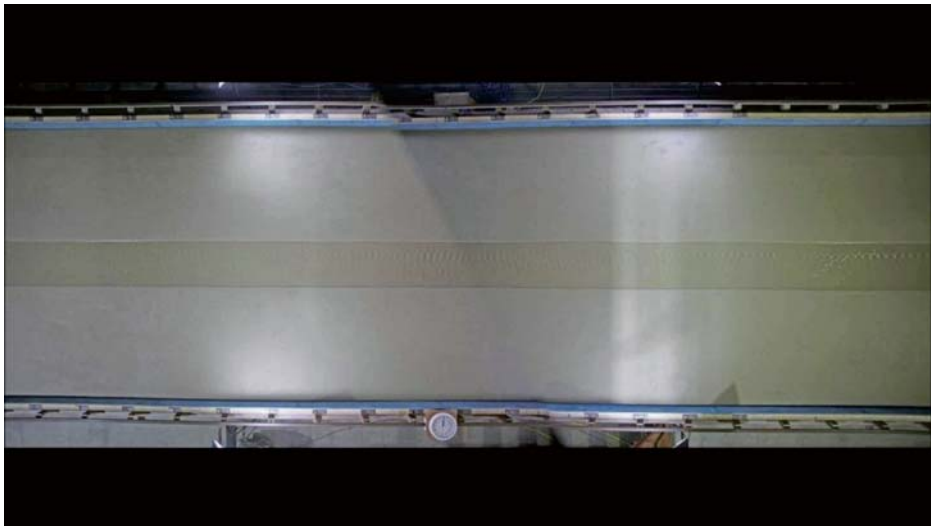
Table: Experimental flume (initial conditions)

Flume length (m)	Flume width (m)	Bed Slope
26.0	3.0	1/200

Table: Hydraulic conditions

Discharge Q (m^3/sec)	0.00276
Mean diameter (mm)	0.78
Initial Low channel width (m)	0.45
Specific density of bentgrass seeds	1.0
Total time	8.5

・網状流路形成：
　4時間後から給砂材料に混ぜて種子供給
・砂と種子（非着色・着色）の配合率：
　80 ：1：1
・90分毎に着色変化：青⇒ピンク⇒黄



網状流路の形成（4.0時間経過後から種子を供給）

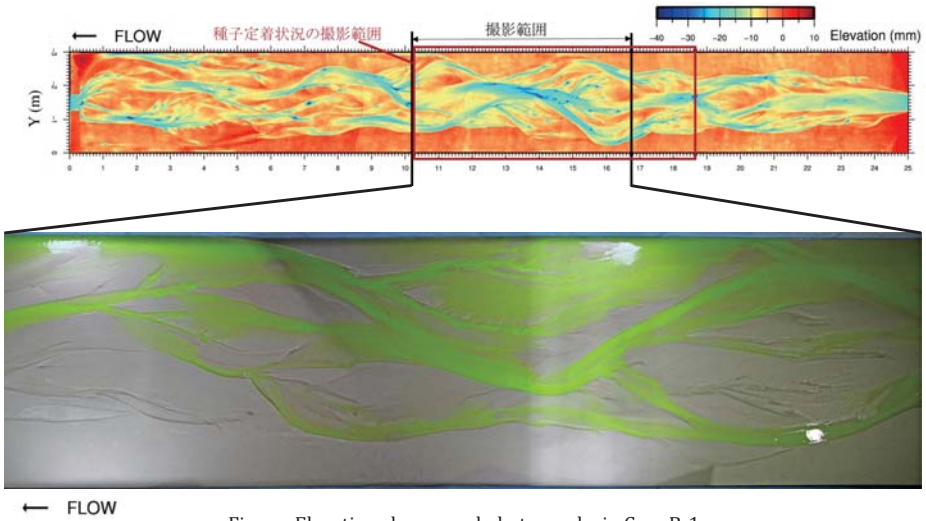
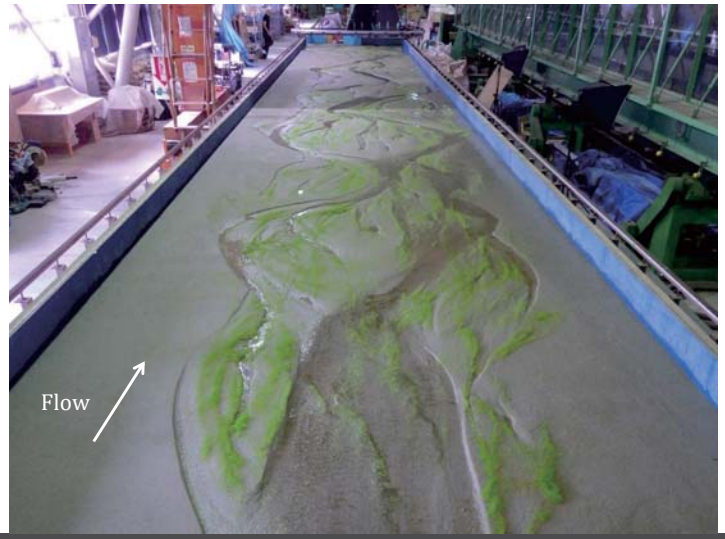


Figure: Elevation change and photographs in Case B-1,
Green color indicates the flow paths in Case B-1 (after 8.5 hours)



・植生が局所的に縦断的なパッチを形成
・網状河川では流路ごとの流量が非定常になるため，流路消滅時あるいは減水時に，種子は砂州上の水際線に集中して定着

数値計算での再現計算

iRIC Nays2Dに流れに追随する粒子モデルを追加

流れの基礎方程式

一般座標系における非定常平面二次元浅水流モデル(簡単のため，デカルト座標で以下資料記述)

[連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=0$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t}+\frac{\partial (hu^2)}{\partial x}+\frac{\partial (huv)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_x}{\rho}+D^x-\frac{F_x}{\rho}$$

$$\frac{\partial (vh)}{\partial t}+\frac{\partial (huv)}{\partial x}+\frac{\partial (hv^2)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{\tau_y}{\rho}+D^y-\frac{F_y}{\rho}$$

[河床近傍流速(Jang and Shimizu2005)]

$$N_*=7.0$$

$$r=\frac{1}{\left(u^2+v^2\right)^{3/2}}\left\{u\left(u\frac{\partial v}{\partial x}-v\frac{\partial u}{\partial x}\right)+v\left(u\frac{\partial v}{\partial y}-v\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right\}$$

$$u_{bs}=8.5\ u_*$$

$$v_{bs}=-N_*\frac{h}{r}u_{bs}$$

$$u_b=u_{bs}\cos\alpha_s-v_{bs}\sin\alpha_s$$

$$v_b=u_{bs}\sin\alpha_s+v_{bs}\cos\alpha_s$$

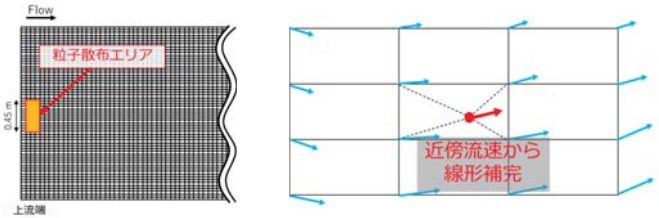
[全掃流砂量 (芦田・道上式)]

$$q_b = 17\sqrt{sgd^3}\tau_*^{3/2}\left(1-K_c\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)\left(1-\sqrt{K_c\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right)$$

[流砂の連続式]（均一粒径）

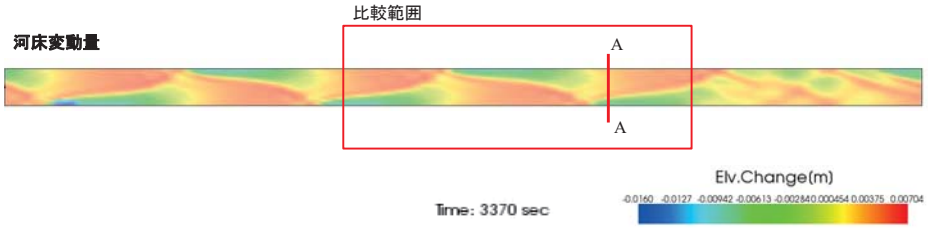
$$(1-\lambda)\frac{\partial z_b}{\partial t}+\sum\left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x}+\frac{\partial q_{by}}{\partial y}\right)=0$$

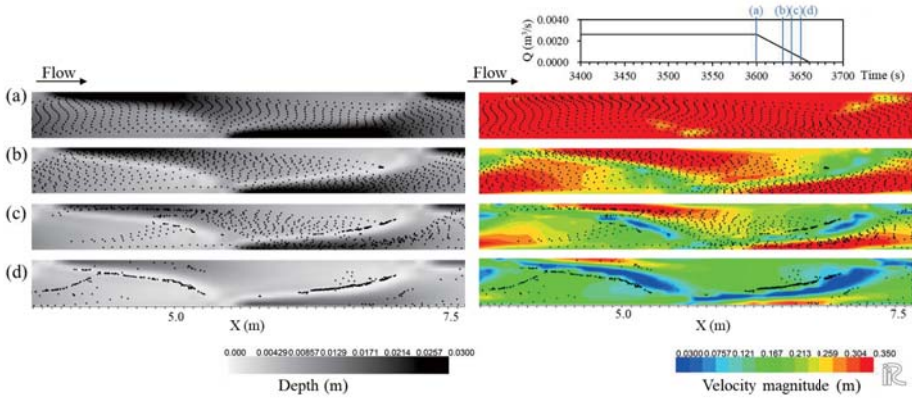
粒子散布モデル



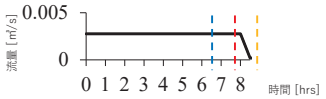
- 粒子の定着判定
  水深: 0.001[m]
- One-wayモデル

交互砂州への種子堆積



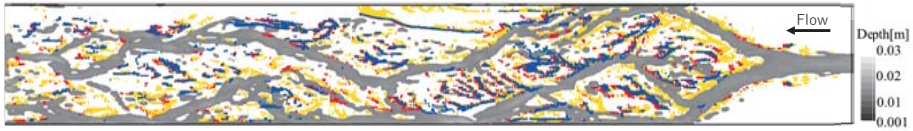


種子の定着状況（各時間）

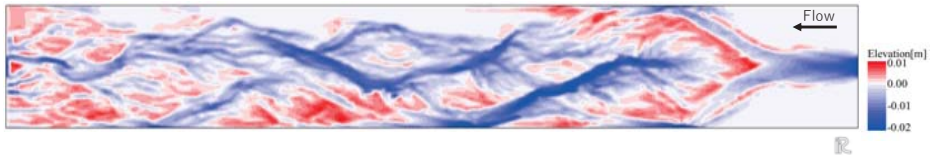


青点：T=6.5[hrs]時点の定着粒子
赤点：T=7.5[hrs]時点の定着粒子
黄点：T=8.5[hrs]時点の定着粒子

水深と定着した種子（終了時）



河床変動量（終了時）

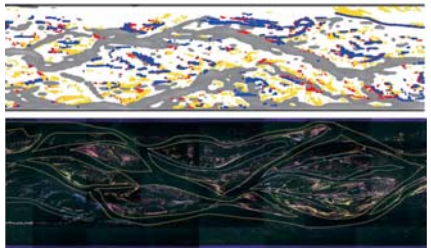


結論（1）

・流水で輸送される種子は，流路内の流量が減衰するタイミングで砂州前縁に定着した．

・砂州形態による種子定着特性に違いは無い．流路の生成・消滅が活発なほど定着範囲は広域になる．

・数値解析より種子が縦断方向に群落をつくるように侵入する様子を再現できた．



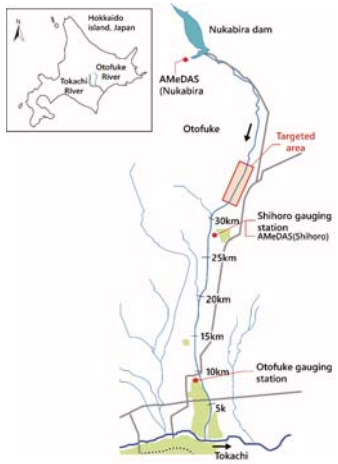
Topics

急勾配河川に着目し，

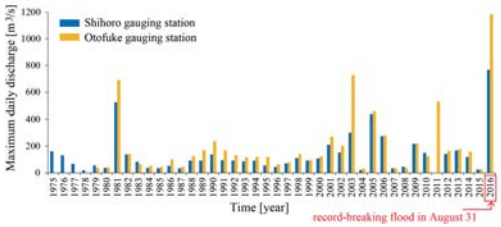
（1）植生の新規侵入特性

（2）出水中の樹木流失が流路変動特性に与える影響

2016年北海道豪雨災害



既往最大流量を観測した出水.
大規模な流路の蛇行化とそれに伴う
左右岸連続7箇所の堤防決壊.

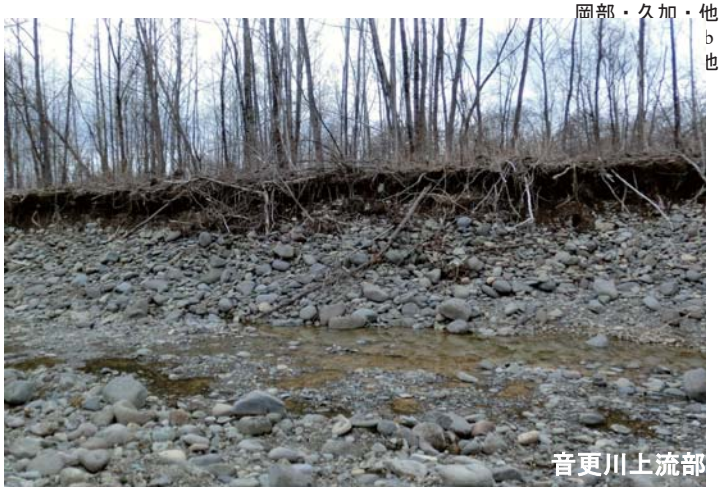


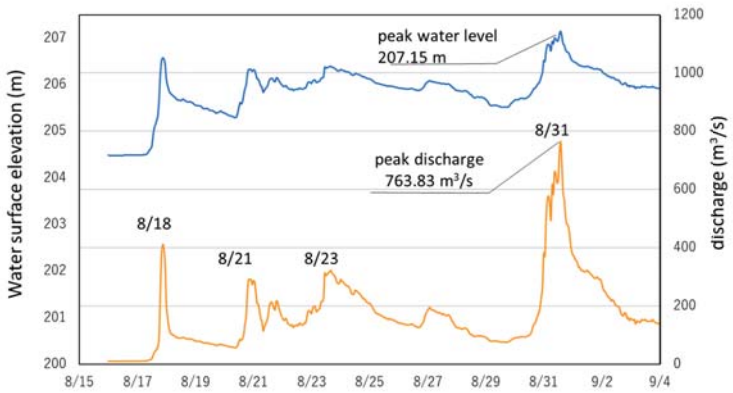
音更川士幌観測所上流
（平成28年8月）

既往最大流量を観測した出水.
大規模な流路の蛇行化とそれに伴う
左右岸連続7箇所の堤防決壊.

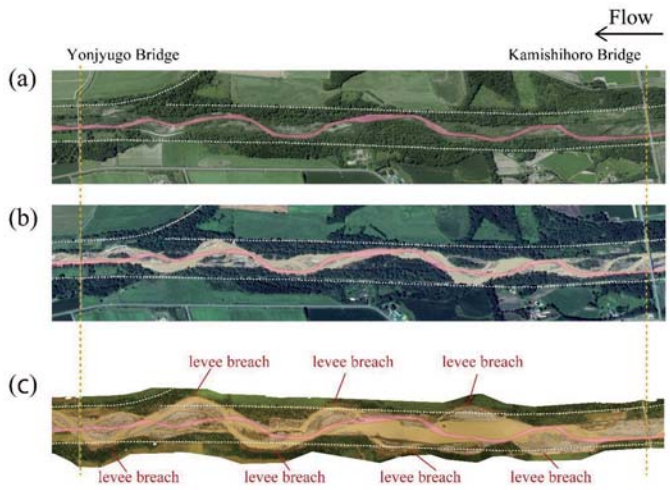
- 流域面積：約500km²
- 河床勾配：1/120
- 河床材料：平均粒径55mm
  (砂交じり礫)
- 流路の平均水路幅：2.54倍
- 流路の最大振幅： 1.96倍.
- 堤間：約200m→最大298 m

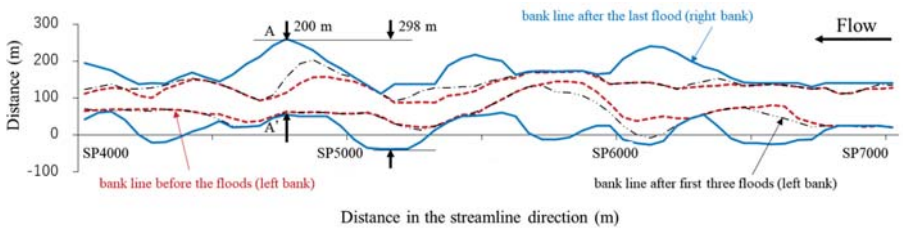
岡部・久加・他 2018a
久加・山口 2018
岡部・久加・他 2018b
b
他 2019

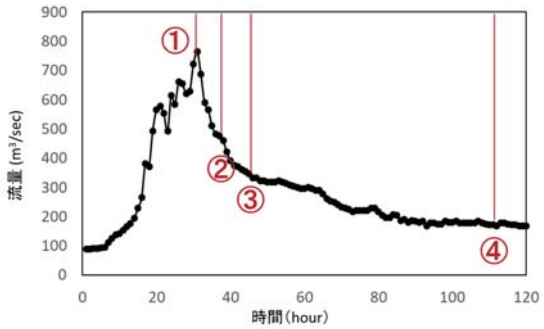


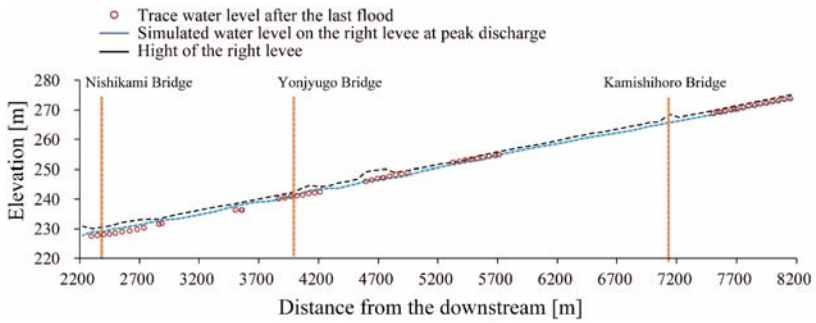


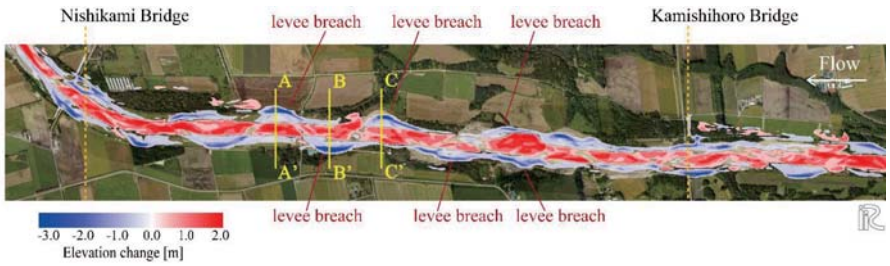
土幌観測所 (540 km²) ：北海道開発局

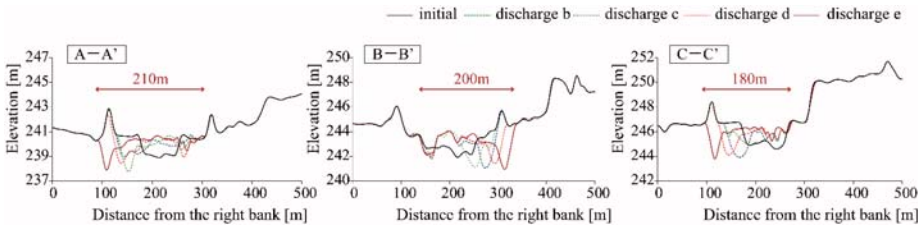


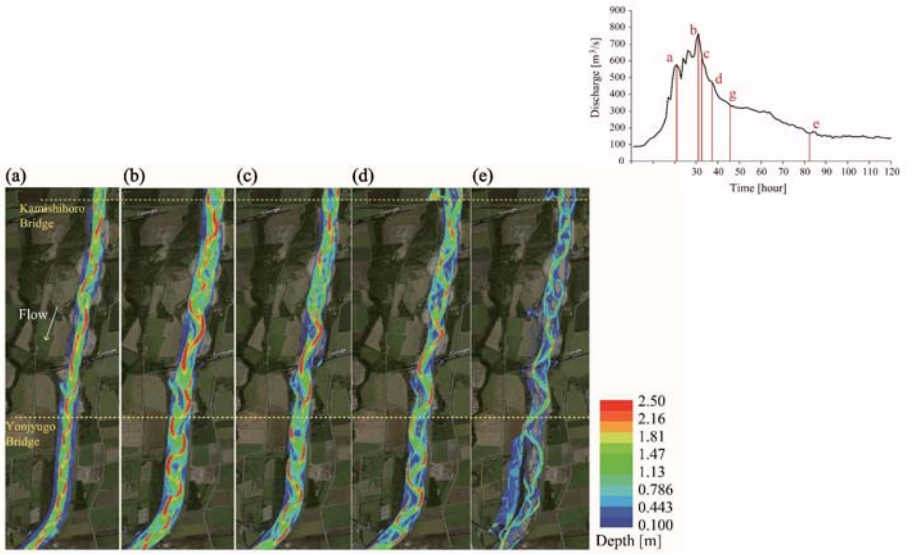


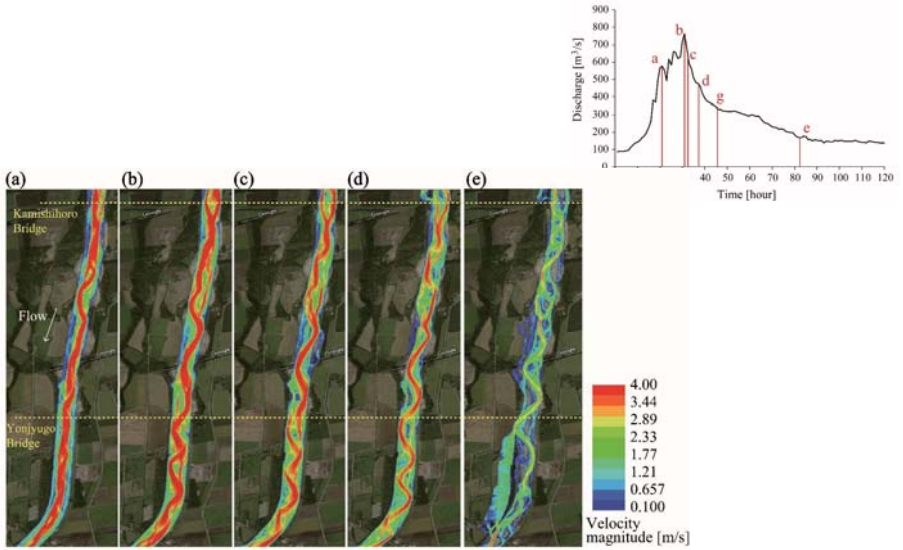

流量 (m³/sec)
時間(hour)
①
②
③
④

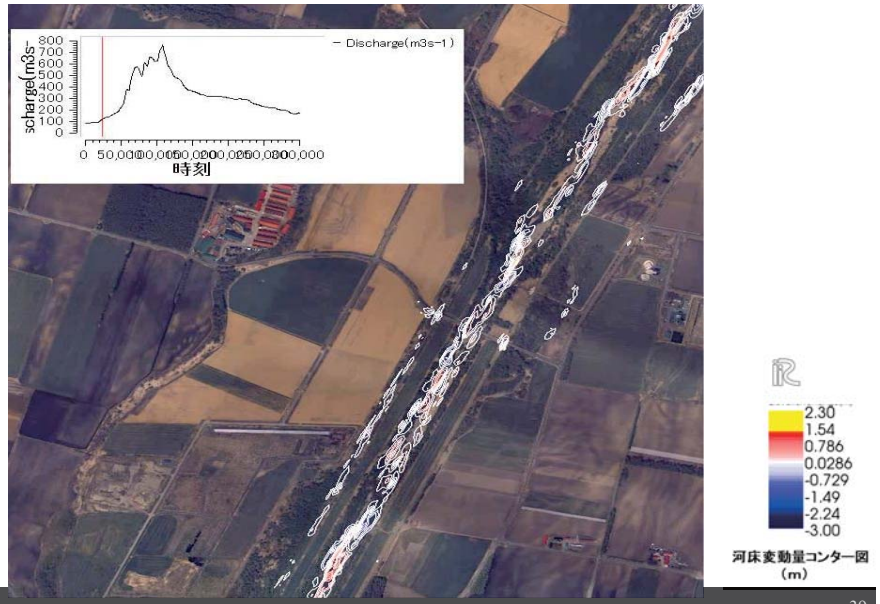

Trace water level after the last flood
Simulated water level on the right levee at peak discharge
Hight of the right levee
Nishikami Bridge
Yonjyugo Bridge
Kamishihoro Bridge
Elevation [m]
Distance from the downstream [m]

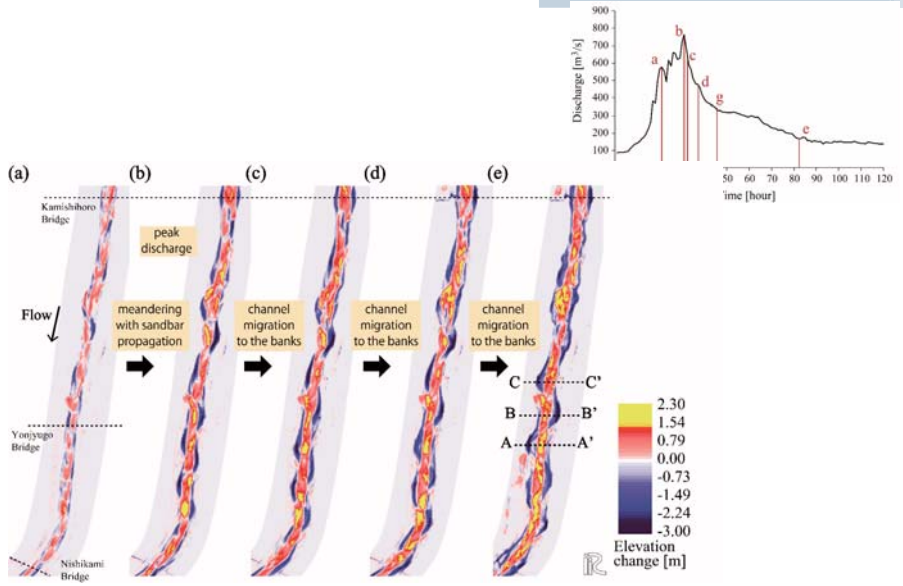

Nishikami Bridge
levee breach
levee breach
levee breach
Kamishihoro Bridge
Flow
A
B
C
A'
B'
C'
levee breach
levee breach
levee breach
-3.0 -2.0 -1.0 0.0 1.0 2.0
Elevation change [m]

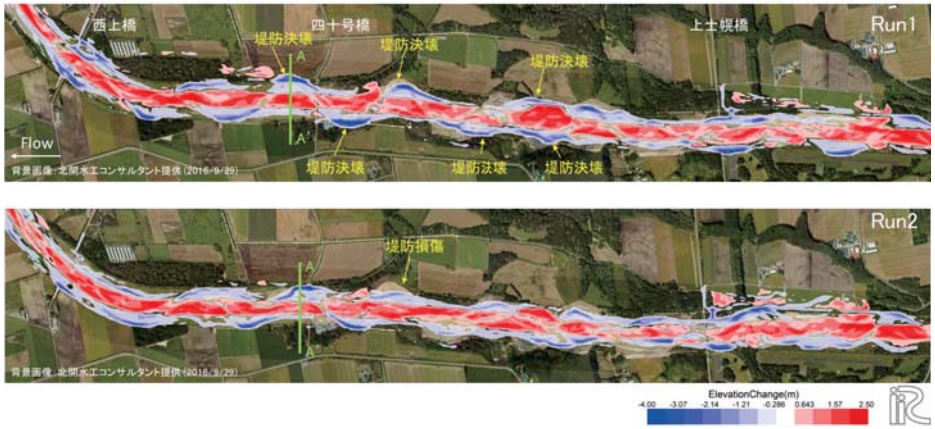

initial
discharge b
discharge c
discharge d
discharge e
A−A'
210m
B−B'
200m
C−C'
180m
Elevation [m]
Distance from the right bank [m]

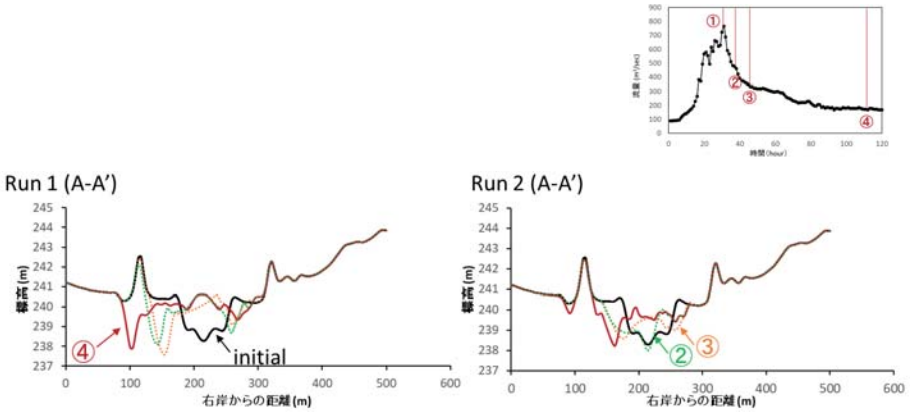

Discharge [m³/s]
Time [hour]
a
b
c
d
e
g
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
Kamishihoro Bridge
Flow
Yonjyugo Bridge
2.50
2.16
1.81
1.47
1.13
0.786
0.443
0.100
Depth [m]

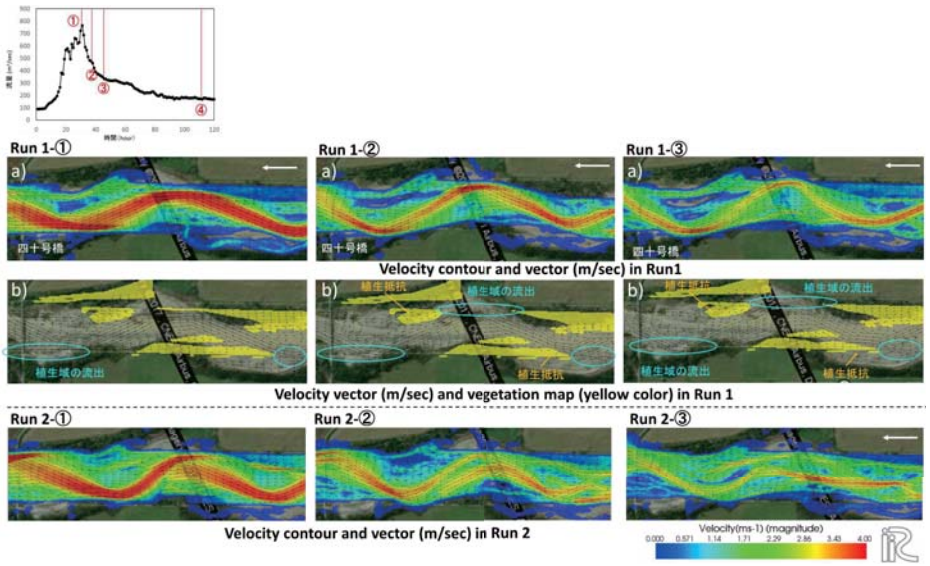

Discharge [m³/s]
Time [hour]
a
b
c
d
e
g
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
Kamishihoro Bridge
Flow
Yonjyugo Bridge
4.00
3.44
2.89
2.33
1.77
1.21
0.657
0.100
Velocity magnitude [m/s]


Discharge(m3s-1)
時刻
2.30
1.54
0.786
0.0286
-0.729
-1.49
-2.24
-3.00
河床変動量コンター図
(m)

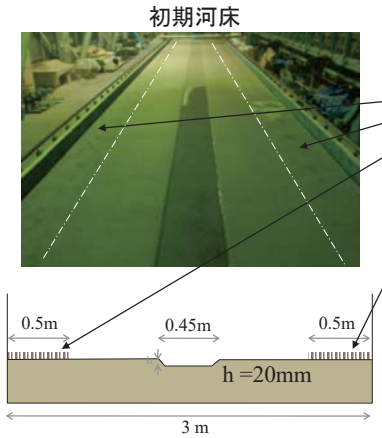

Discharge [m³/s]
Time [hour]
a
b
c
d
e
g
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
Kamishihoro Bridge
peak discharge
Flow
meandering with sandbar propagation
channel migration to the banks
channel migration to the banks
channel migration to the banks
C
C'
B
B'
A
A'
Yonjyugo Bridge
Nishikami Bridge
2.30
1.54
0.79
0.00
-0.73
-1.49
-2.24
-3.00
Elevation change [m]







移動床実験



水路の側岸に植生配置

初期に植生を養生

Case1　アルファルファ

✓ 根長　約 23 mm

（河岸高より長い）

Case2　芝

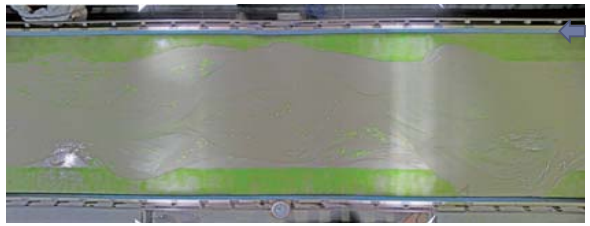
✓ 根長　約 9 mm

（河岸高より短い）

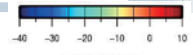
通水10時間後（上空からの写真）

Case1
アルファルファ

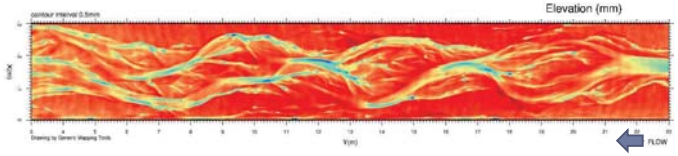
Case2
芝



通水10時間後（河床形状）

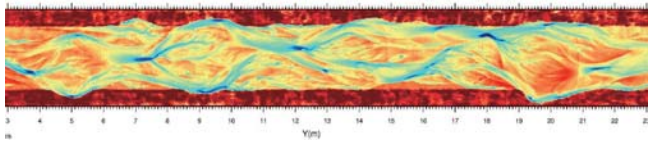


【参考】植生なし
（山口・渡邊, 2017）



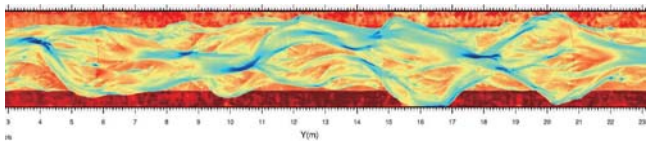
側岸侵食の抑制効果あり

Case1
アルファルファ



局所的に側岸侵食が拡大

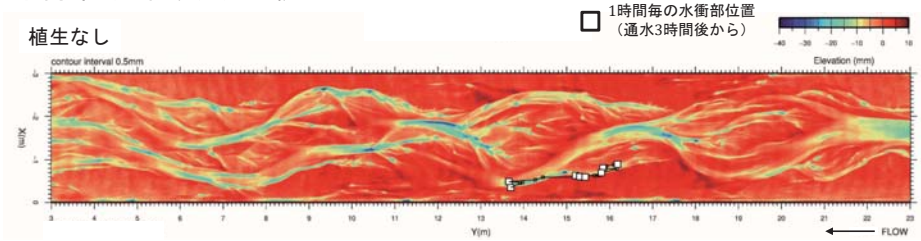
Case2
芝



水衝部（蛇行頂点）の軌跡

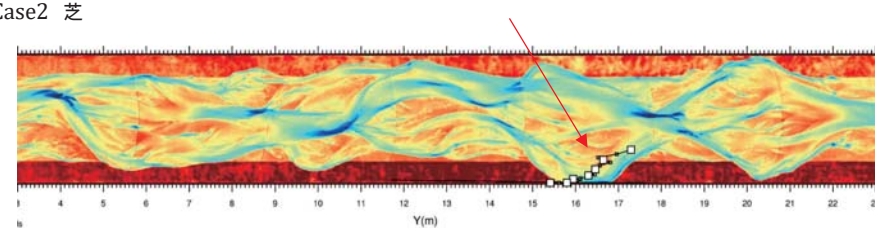
植生なし

□ 1時間毎の水衝部位置
（通水3時間後から）



・水衝部位置が流下しにくい（水衝位置が固定化）
・砂州の発達

Case2　芝



結論（２）

・側岸に繁茂する植生が時空間的に異なるタイミングで流失することで，局所的に側方侵食量が大規模化した

・植生によって水衝部の流下移動が妨げられる

・水衝部の位置が固定されることで，砂州が発達する（直線区間においても）

・砂州の発達に伴い，局所的な側方侵食量が大規模化した.

側岸に繁茂する樹木の管理への課題を確認