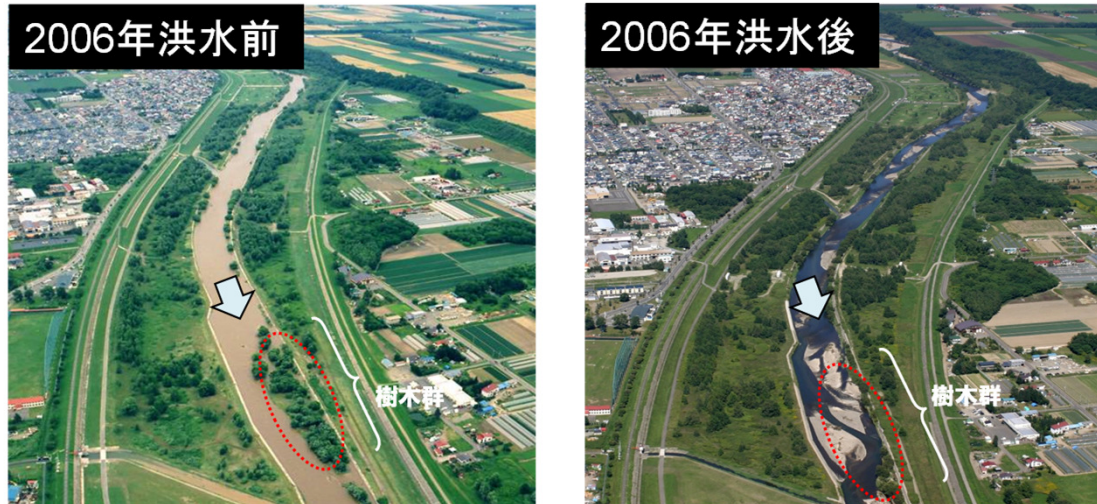


洪水時における砂州の挙動が 砂州上に繁茂する樹木群流失に与える影響

INFLUENCE OF BAR MIGRATION DURING FLOODS
TO THE FLUSH OF VEGETATION ON BARS

○(株)北開水エコンサルタント 油川曜佑
北見工業大学社会環境系 渡邊康玄

はじめに



近年、大規模洪水発生時に、河畔林の流木化が被害を助長する事例が数多く報告

⇒ しかし、低水路平面形の大きな変動を伴う大規模出水時ではなく

①発生頻度の高い

②洪水流により樹木が直接倒伏・流失するような流体力が作用しない

低水路満水程度の中規模洪水でも、交互砂州上に存在する樹木群の流失が起こることを音更川で確認

この現象に着目・・・

これまで、平面2次元河床変動計算を行い、交互砂州上に存在する樹木群の流失は、移動性の砂州の影響が大きいと推察

油川曜佑, 渡邊康玄: 交互砂州上に存在する樹木群の中規模洪水時における流出と砂州に与える影響, 土木学会北海道支部論文報告集, 第77号, B-03, 2022.

⇒ 砂州移動と樹木群流失との関係について、更なる検証が必要

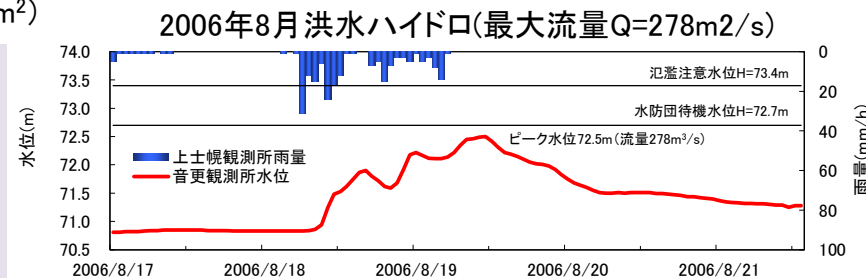
本研究では、交互砂州上に繁茂する樹木群が大規模に流失した**2006年8月音更川洪水**に着目

- 樹木群流失時における水理現象について把握
- 交互砂州上に存在する**樹木群の上流側に位置する砂州の有無**と樹木群流失との関係について検証
- 洪水時における砂州への**冠水時間や流量規模が異なるハイドロを与えた場合の数値実験**を行い、それらの違いが樹木群流失へ与える影響について把握

樹木流失状況

音更川は河床勾配1/130~1/200、セグメント1に分類される急流河川
 検討対象箇所は音更川下流(KP 1.8~2.2km)の左岸に位置
 2005年~2006年当時、交互砂州上に樹木群が存在(平均樹径6.9cm、樹高4.9m、樹木密度0.53本/m²)

- 2006年8月洪水は、**3回のピーク**を伴う最大流量280m³/s程度となる**低水路満水程度の洪水**
- 洪水前後の流路を比較すると概ね**逆位相**となっており、**砂州上に存在する樹木群の上流側に位置する砂州が半波長程度下流側へシフトしている**
- 樹木群は78%程度流失(樹木群面積:5,068m²→1,100m²)しているが、**下流部に残存している樹木群の位置は洪水前後で変化していないことから、上流側の砂州が下流側へシフトする際に交互砂州上の樹木群が削られ流失したと推察**



• 樹木群内で
流速観測



• 測線上で
水位観測
• 洪水前後で
横断測量 → KP1.78 KP1.87 KP1.955 KP2.09 KP2.12 KP2.29 KP2.45 KP2.48 KP2.58

洪水時の樹木群内水理現象

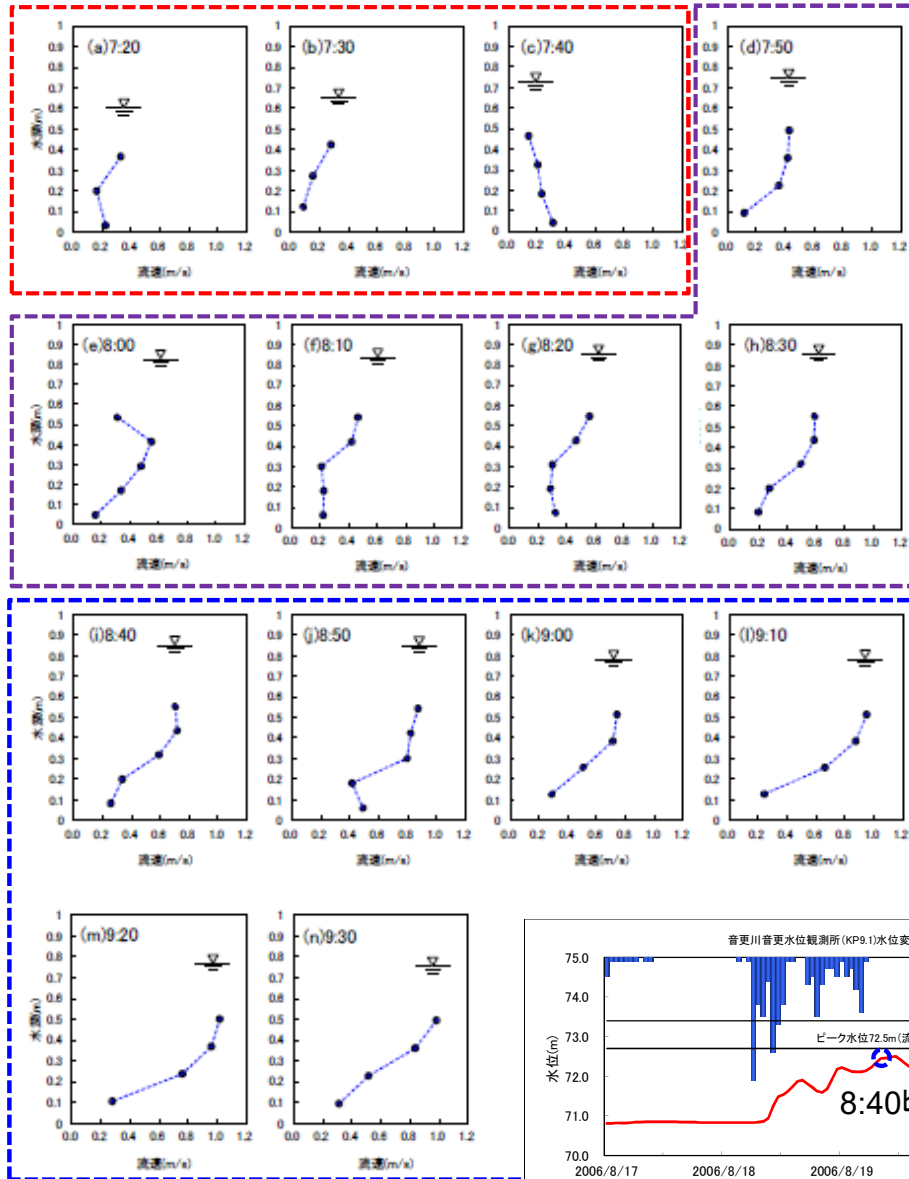
樹木内流速分布

鉛直方向に概ね一様形状から対数型に変化

時間の経過とともに、樹木群が流失して抵抗要因が減少した

樹木群の流失は、対数型分布に変化する概ね8:40頃に生じたものと推察

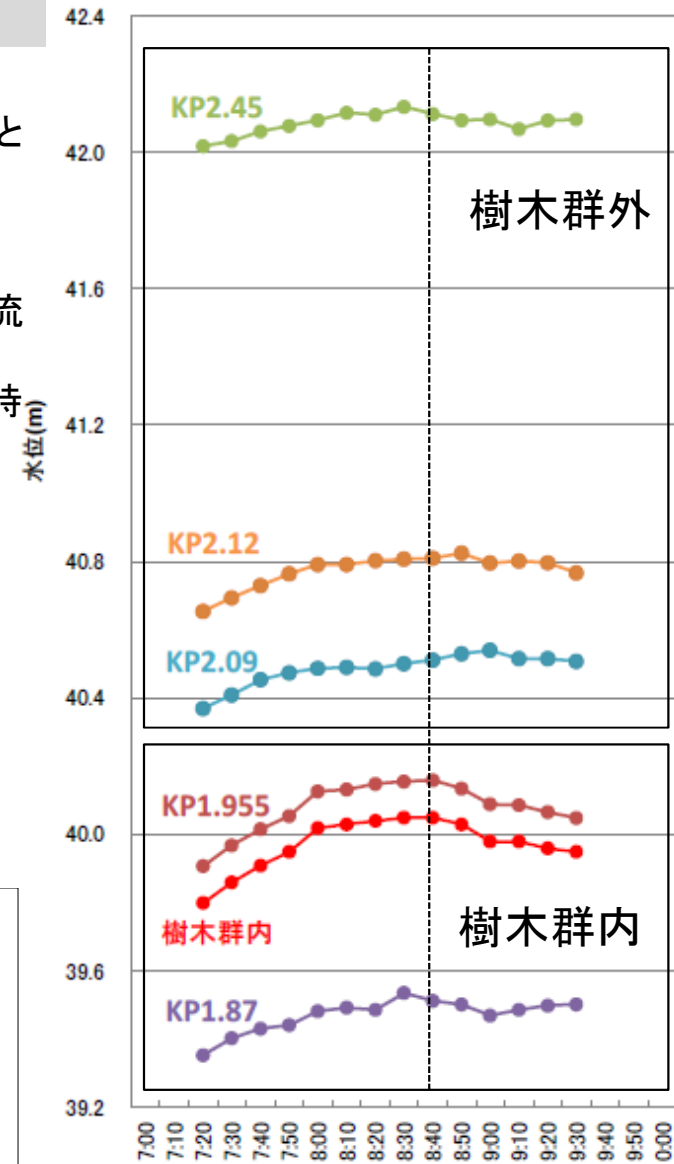
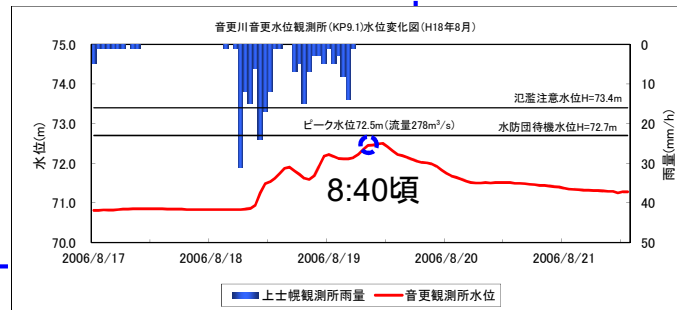
平均流速は概ね0.2m/s~0.8m/sで推移



水位

樹木群内の水位は樹木群外と比較し、8:40頃に急激に低下

この時間帯は流速分布が対数則に変化する時間帯に概ね一致



樹木流失時には樹木群内の流速分布は対数則を示し、水位は急激に低下する。

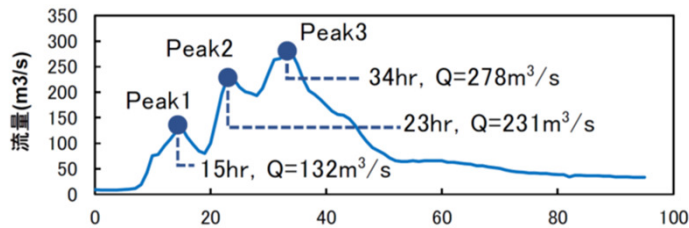
砂州移動による樹木流出特性の把握①

樹木群の流失は砂州移動による影響が大きいと推察

⇒ 現象をより詳細に把握するため、平面2次元河床変動解析により、上流側の砂州有無による樹木群流失の過程の違いについて検証

計算条件

- 計算モデル:iRIC Nays2D
(局所洗堀に伴い植生が流失する条件を考慮)
岡部和憲, 久加朋子, 清水康行, 長谷川和義, 新庄興ら: 流量低下時における河道変動の応答特性~十勝川水系音更川を事例として~, 水工学論文集, 第62巻, pp1501-1506, 2018.
- 砂州が存在する場合(ケース1)の計算格子: 洪水発生前の横断測量データから作成
- 上流側の砂州が存在しない場合(ケース2)の計算格子: 洪水発生前の横断測線データから砂州の部分が平坦河床になるよう、灰色箇所をカットした横断面を用いて作成→平水流量時の流況計算ではケース1と比較し、掘削による流路幅の広がりを確認
- 計算ハイドロ: 2006年8月洪水実績ハイドロ

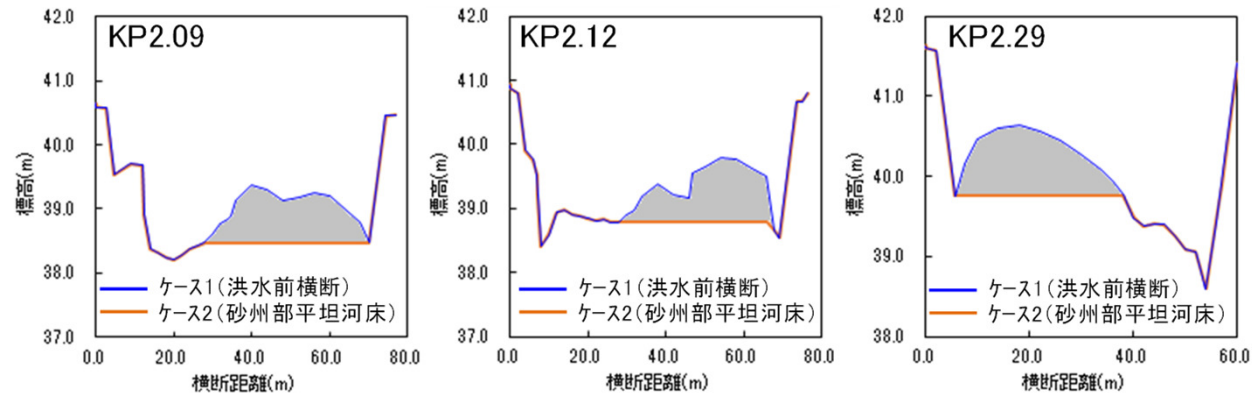
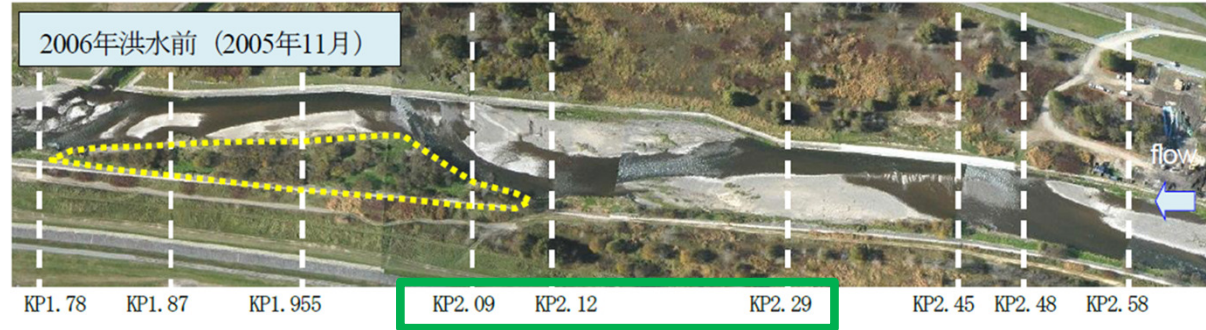


- 格子幅: 5m × 5m、均一粒径: 40mm(代表粒径d60)
- 樹木の抵抗: 樹木の抵抗係数 ($C_d = 1.2$)と植生の密度 ($a_s = 0.038$)

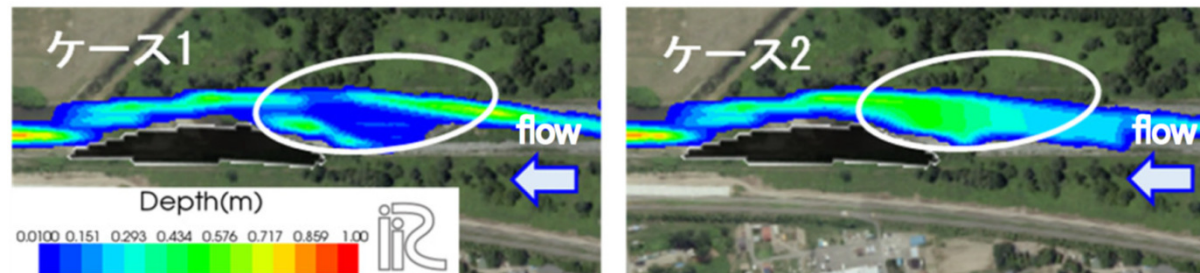
$$a_s = \frac{n_s D_s}{S_s^2} \quad n_s: \text{植生本数}, D_s: \text{植生の平均幹径}, S_s: \text{サンプリングの格子幅}$$

- 根長さ: 0.05m(樹木流失の再現性の検討の結果)

洪水時には樹木への流体力が少なからず作用するため実際の根の長さまで洗掘しなくても樹木流失が発生する可能性



平水流量時における流況計算



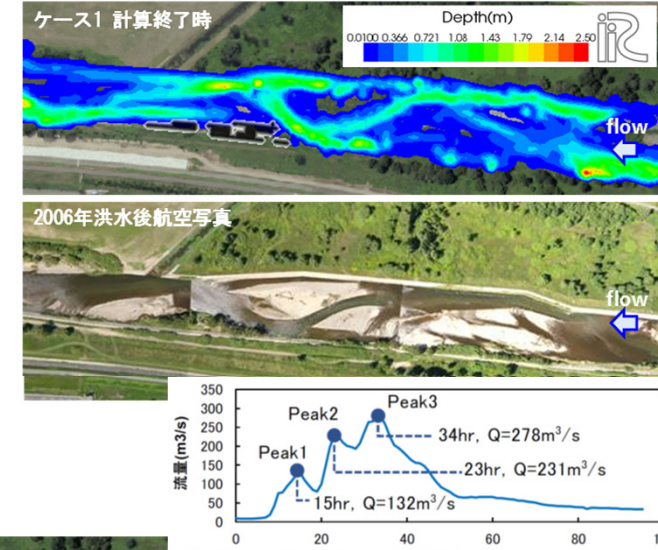
砂州移動による樹木流出特性の把握②

ケース1(砂州あり)

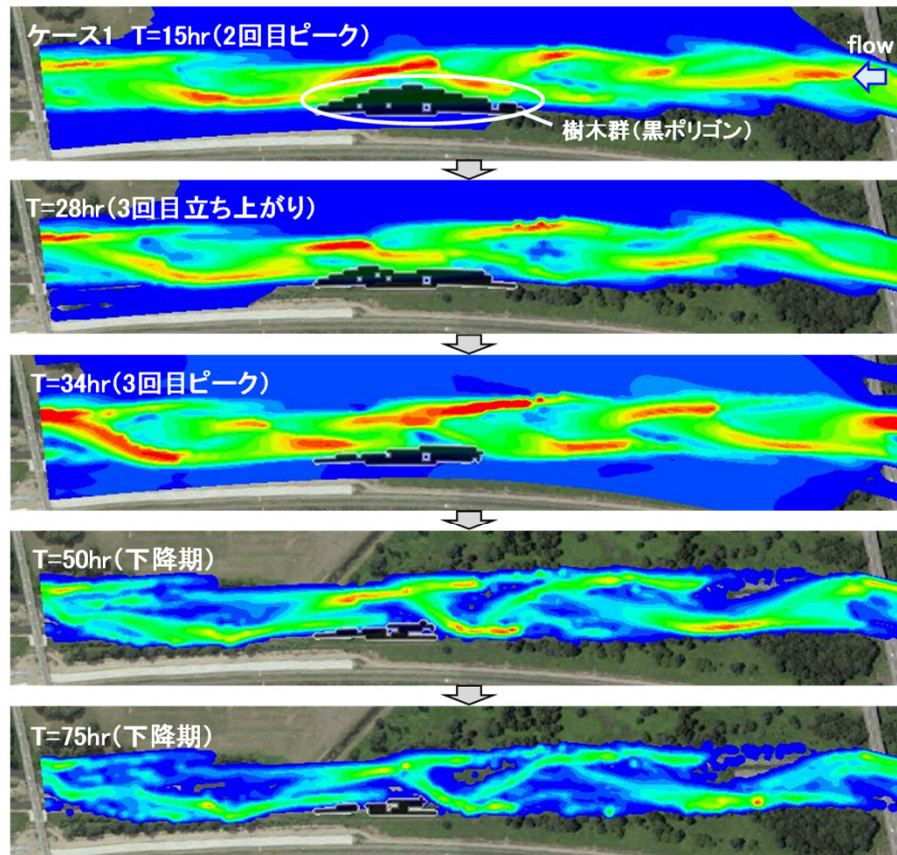
- 2回目のピークから3回目のピークを迎える時間帯に顕著な流失
- 3回目のピークから水位下降期には樹木群流失が更に促進。大部分が流失し、流水の蛇行の振幅が増大
- 計算終了時と航空写真を比較すると流路・樹木群残存箇所、樹木流失率(実績:78% 計算:78%)等が概ね一致。計算モデルの妥当性が確認

ケース2(砂州なし)

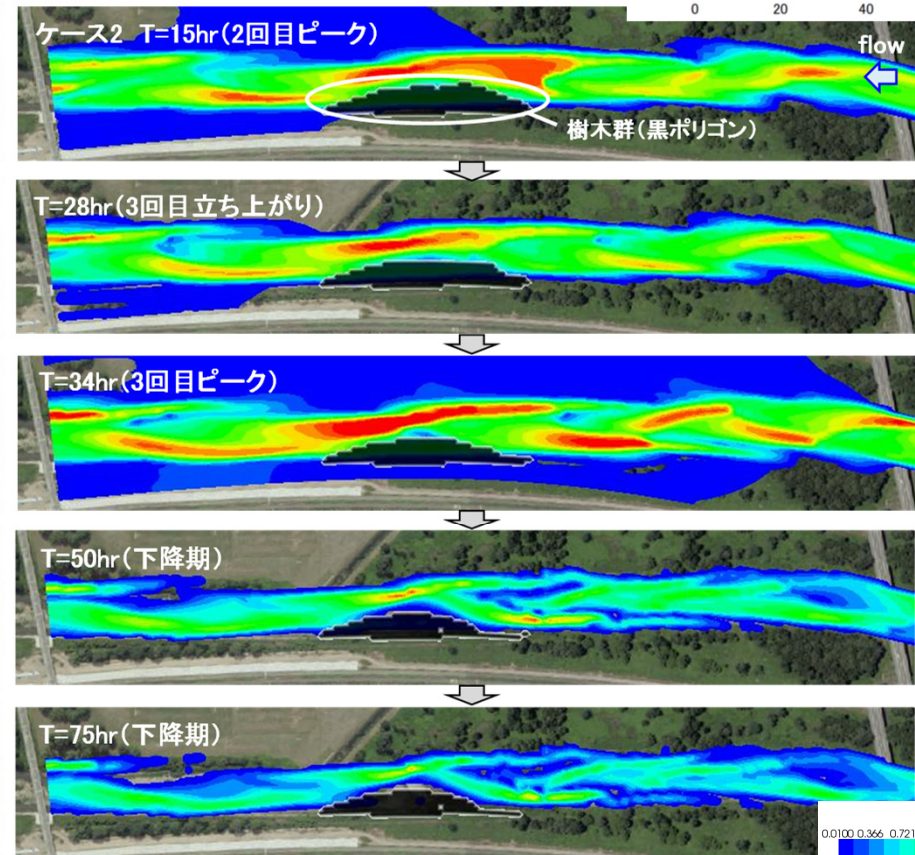
- ケース1とは異なり2回目のピークから3回目のピークを迎える時間帯でも、大規模な樹木群流失は見られず、上流一部の流失に留まる
- 3回目のピークから水位下降期には上流側で平坦河床とした部分において砂州が発達することで流失は促進したが、ケース1よりも流失規模は小さくなる傾向



【ケース1】



【ケース2】

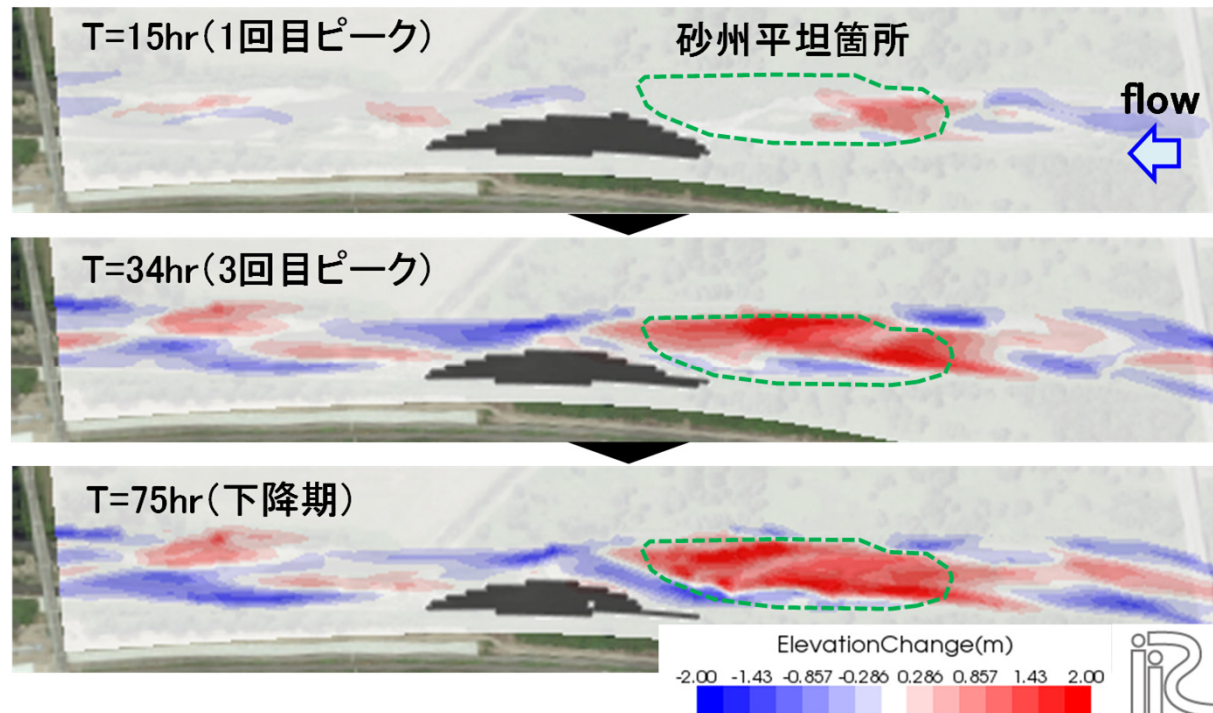


砂州移動による樹木流出特性の把握③

考察

- 音更川のような急流河川において低水路満水規模の洪水が発生した場合、交互砂州上に存在する樹木群流失は上流側の移動性の砂州が大きく影響し、砂州が下流側へ移動することにより生じる可能性が、より強く示唆
- 河積の確保のために河道掘削を行う場合、河床に形成されている中規模河床波を崩す形にすると、掘削箇所は洪水時に再度堆積し発達しながら下流側に移動するが、洪水継続時間によっては、樹林帯の流失が抑制され、その直下流の砂州の安定化ひいては樹林化を招き、区間の流下能力が減少してしまう可能性も考えられる。そのため、河道掘削を実施する場合には、区間全体における砂州の挙動への影響等も十分に押さえておく必要がある
- また、河道掘削する際に砂州上の樹木の生長等を考慮せずに上流側から掘削すると下流側の樹木の生長をより促進してしまう可能性があるため、例えば下流側から掘削を実施する等の配慮も必要になると考えられる

ケース2
河床変動量変化



冠水時間と流量規模が異なる場合の樹木群流失傾向把握① 7

樹木群流失は砂州移動による影響が大きく、また、砂州移動を促す流量の継続時間に支配されると考えられる

- ➡
- ①冠水時間と流量規模が異なる場合の樹木群流失傾向
 - ②上昇期と下降期の冠水時間が異なる場合の樹木群流失傾向
- について数値実験により検証

計算ハイドロ

樹木群の一部流失が認められた2005年9月洪水時において、音更観測所で観測された流量ハイドロを基本に設定

- ・単一ピーク
- ・最大流量は $Q=450\text{m}^3/\text{s}$ 程度
- ・砂州への冠水時間は16時間程度

(a) ピーク流量(Q_p)

実績による $450\text{m}^3/\text{s}$ および既往最大流量 $1,200\text{m}^3/\text{s}$

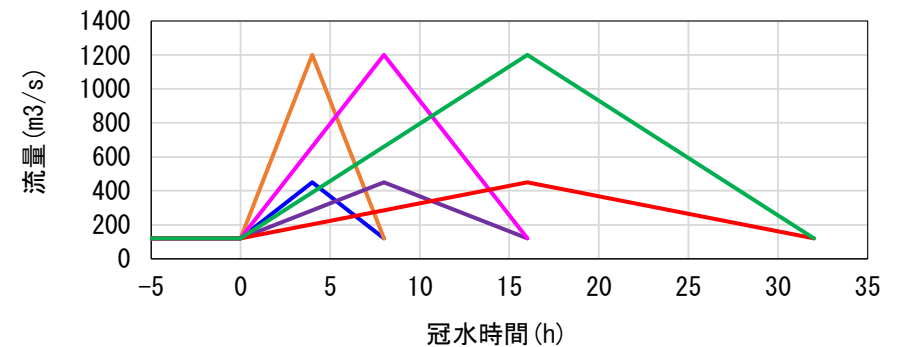
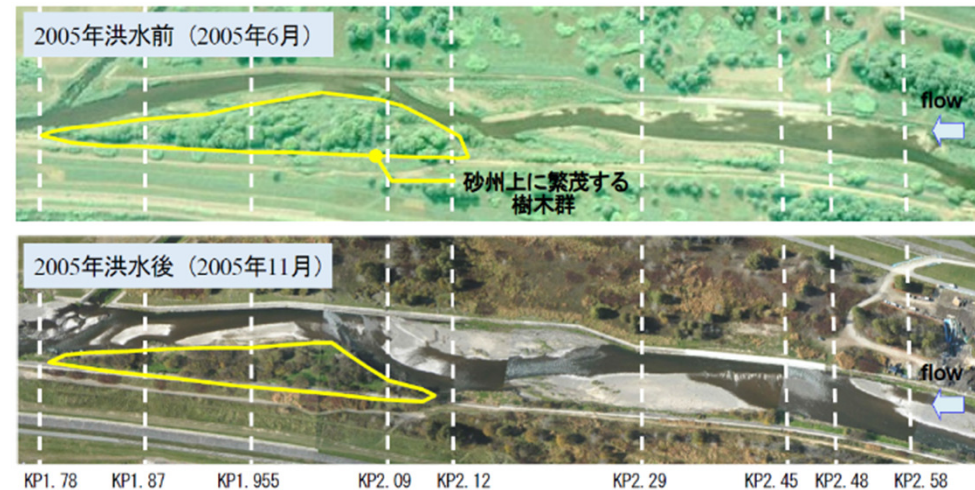
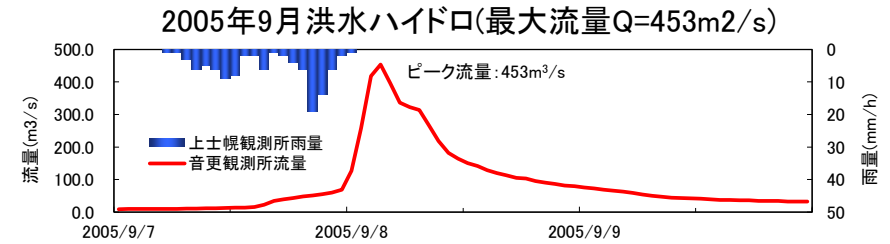
(b) 冠水時間

実績の半分となる8時間、実績による16時間、実績の倍となる32時間

(a)と(b)を組み合わせ単一ピークとなるハイドログラフを6パターン設定

パターン	流量規模(m^3/s)	冠水時間(h)
パターン1	450	8
パターン2	1200	8
パターン3	450	16
パターン4	1200	16
パターン5	450	32
パターン6	1200	32

* 他の計算条件は「砂州移動による樹木流出特性の把握」と同じ

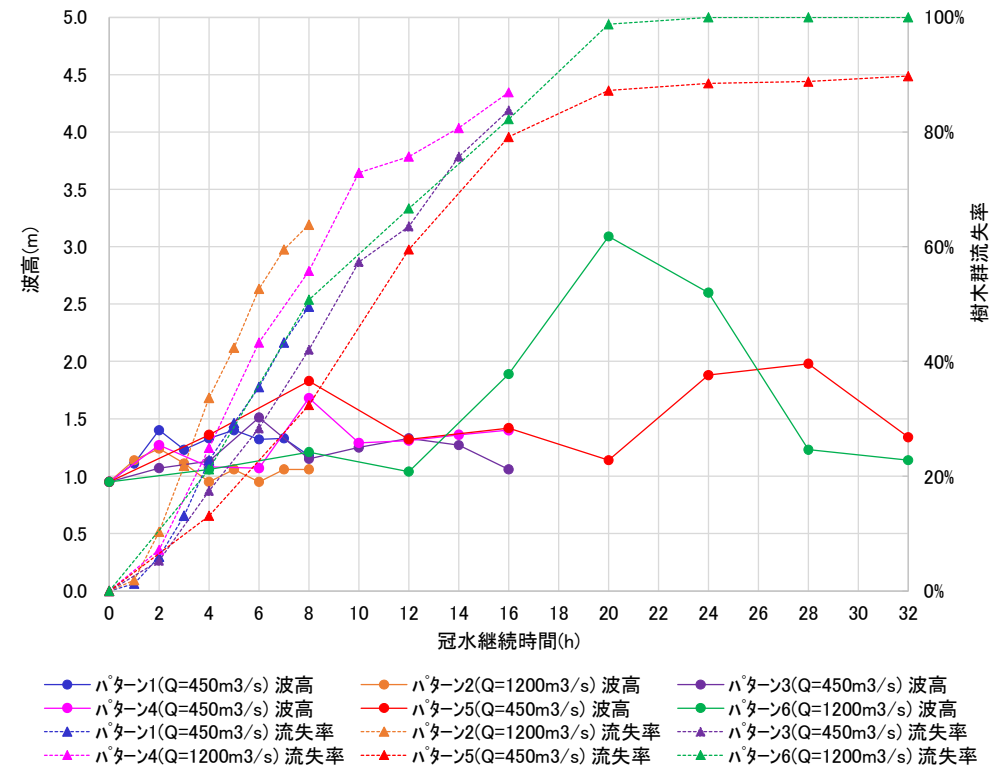
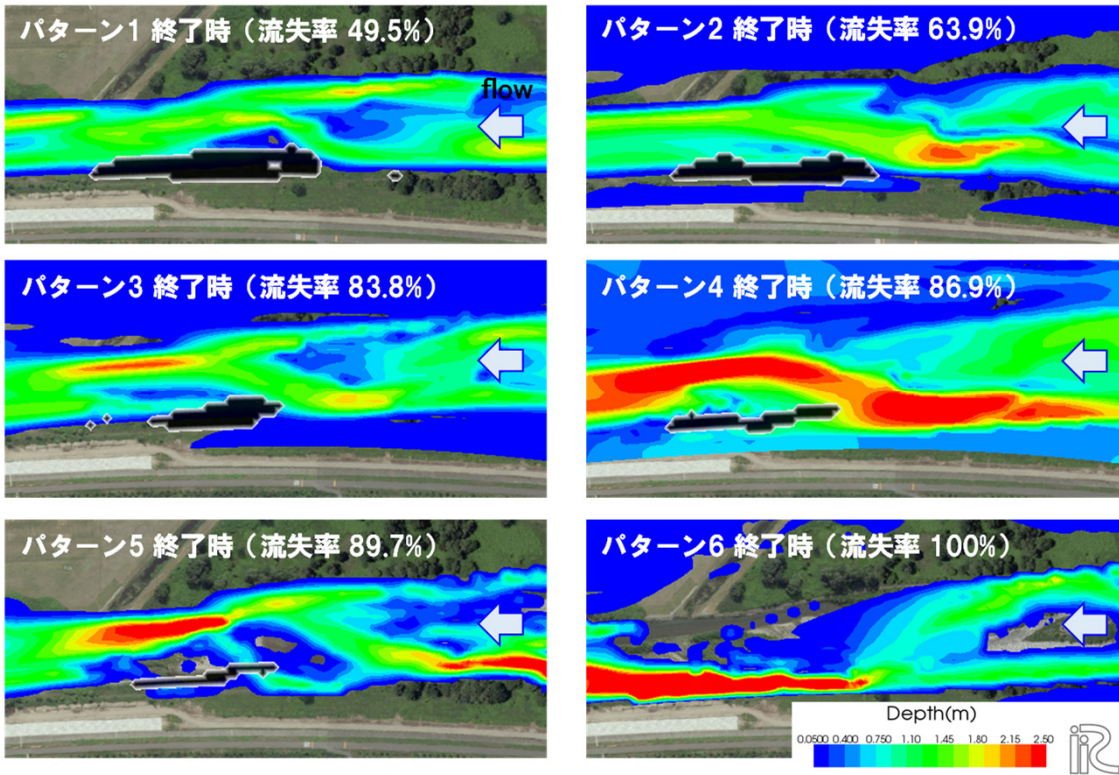


- パターン1 ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$, $T=8\text{h}$)
- パターン2 ($Q=1200\text{m}^3/\text{s}$, $T=8\text{h}$)
- パターン3 ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$, $T=16\text{h}$)
- パターン4 ($Q=1200\text{m}^3/\text{s}$, $T=16\text{h}$)
- パターン5 ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$, $T=32\text{h}$)
- パターン6 ($Q=1200\text{m}^3/\text{s}$, $T=32\text{h}$)

* $Q=120\text{m}^3/\text{s}$ を5時間通水後にハイドロを設定

冠水時間と流量規模が異なる場合の樹木群流失傾向把握② 8

結果と考察



- 冠水時間が8時間と短いパターン1 ($Q_p=450\text{m}^3/\text{s}$)とパターン2 ($Q_p=1,200\text{m}^3/\text{s}$)における流失率はそれぞれ50%、60%程度となり後者の方が若干大きいものの、両者とも樹木群は残存
- 冠水時間が16時間のパターン3 ($Q_p=450\text{m}^3/\text{s}$)とパターン4 ($Q_p=1,200\text{m}^3/\text{s}$)では両者の流失率は85%程度を示しパターン1・2よりも流失率は増大
- 冠水時間が32時間と長いパターン5 ($Q_p=450\text{m}^3/\text{s}$)とパターン6 ($Q_p=1,200\text{m}^3/\text{s}$)ではそれぞれ90%、100%程度となり後者の方が若干大きいものの、大部分の樹木が流失

冠水時間が同一であれば流量規模による流失率に顕著な差は生じず、冠水時間が長くなるほど流失率は増大する傾向

⇒ 樹木群の流失は流量規模よりも砂州への冠水時間による影響の方が強いものと推察

- なお、波高と流失率の関係では、冠水時間が短い8時間の場合は流量規模によらず波高はあまり変動していないが、冠水時間16時間・32時間と長くなるにつれ波高の変動が大きくなり、かつ流量規模の小さい $Q_p=450\text{m}^3/\text{s}$ よりも流量規模の大きい $Q_p=1200\text{m}^3/\text{s}$ の方が、変動幅は大きくなる傾向

上昇期および下降期の冠水時間の違いによる樹木群流失傾向把握

計算ハイドロ

冠水時間の総時間を16時間

ピーク流量を $Q_p=450\text{m}^3/\text{s}$

としたパターン3を基本に、上昇期と下降期の冠水時間が4時間ずつ異なる4パターンを設定

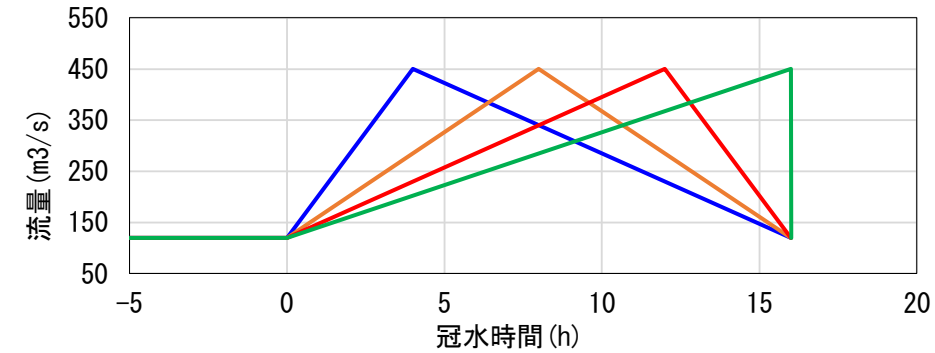
冠水時間	パターン3-1	パターン3	パターン3-2	パターン3-3
上昇期(h)	4	8	12	16
下降期(h)	12	8	4	0

* 他の計算条件は「砂州移動による樹木流出特性の把握」と同じ

結果と考察

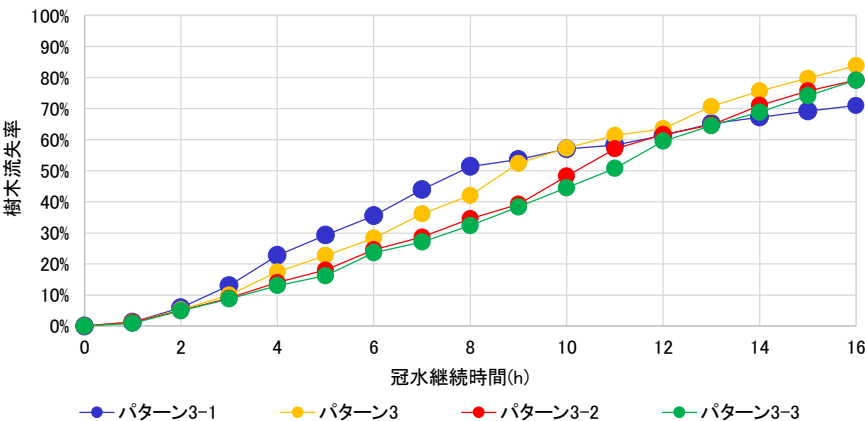
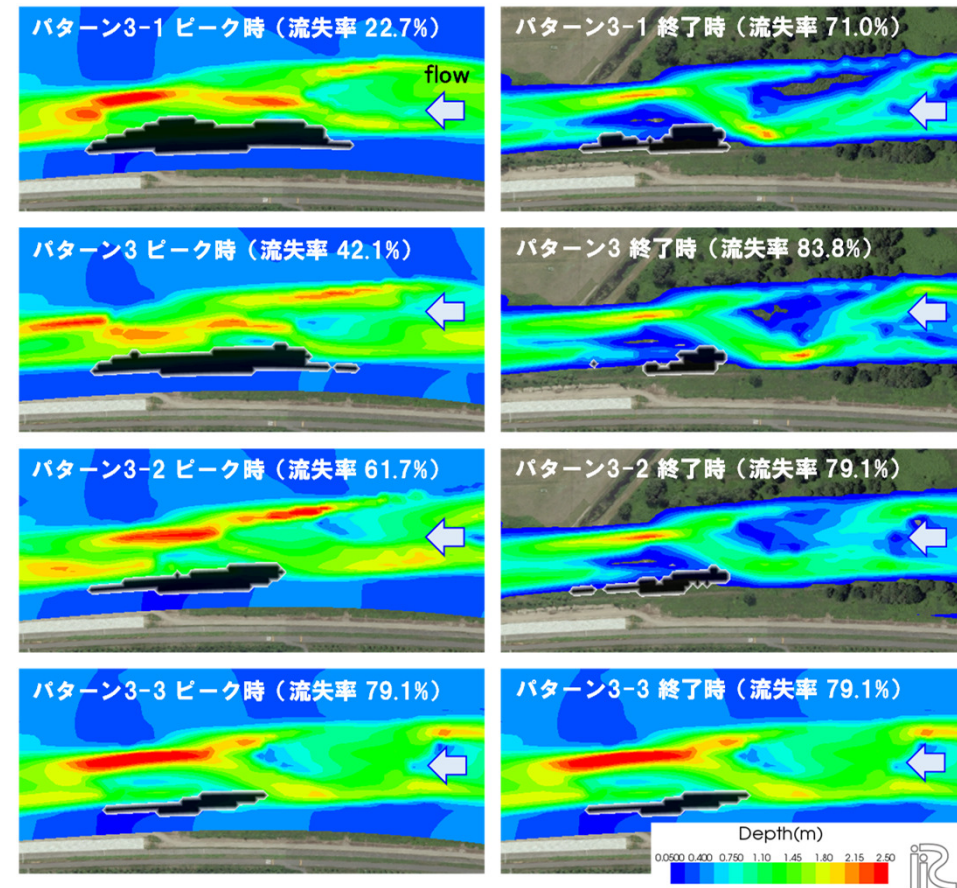
- **上昇期**は、各パターンとも冠水時間の継続に応じて流失率は増大。ピーク時では、冠水時間が4時間のパターン3-1は20%程度、16時間のパターン3-3は80%程度となる。パターンごとに流失率は異なり、冠水時間4時間ごとに概ね20%程度流失率が増加
- **下降期**においても各パターンとも流失率は増大しているが、下降期終了時ではパターン3-1は70%程度と若干低いものの、いずれのパターンも流失率は概ね80%程度

➡ 洪水時において**上昇期・下降期の冠水時間が異なっても、冠水時間の総時間が変わらなければ、最終的には樹木群の流失率に顕著な差は生じない可能性**



— パターン3-1 (上昇期4h, 下降期12h) — パターン3 (上昇期8h, 下降期8h)
 — パターン3-2 (上昇期12h, 下降期4h) — パターン3-3 (上昇期16h, 下降期0h)

* $Q=120\text{m}^3/\text{s}$ を5時間通水後にハイドロを設定



パターン	上昇期ピーク時	
	冠水時間	流失率
3-1	4h	22.74%
3	8h	42.06%
3-2	12h	61.68%
3-3	16h	79.13%

パターン	下降期終了時	
	冠水時間	流失率
3-1	16h	71.03%
3	16h	83.80%
3-2	16h	79.13%
3-3	16h	79.13%

まとめ

- 音更川のような急流河川では、低水路満水程度の洪水時における交互砂州上に存在する樹木群流失は上流側の砂州が下流側へ移動することにより生じることが示された
- 数値実験により砂州への冠水時間や流量規模が異なるハイドロを与えた場合の樹木群の流失傾向を検証結果、冠水時間が同一であれば流量規模による流失率に顕著な差は生じず、冠水時間が長くなるほど流失率は増大する傾向が見られたことから、樹木群の流失は流量規模よりも砂州への冠水時間による影響の方が強いものと考えられた
- また、冠水時間が一定であれば、上昇期・下降期の冠水時間が異なっても、樹木群の流失率に顕著な差は生じない可能性を見出した

洪水時の砂州移動により樹木流失を促進するには冠水時間の確保が重要



- 冠水時間確保にはダム放流時に冠水時間を継続させる等の運用を効率的に行っていくこと等が考えられる
- 冠水により砂州移動を促す砂州形状や線形等について検証し、それらを踏まえて今後の河道管理や樹木管理計画を策定していくことが必要と考えられる

今後の課題

- 移動性砂州が上流側に存在しなくても、H28.8洪水（音更川既往最大洪水）では樹木群の流失が確認されている

⇒ 洪水継続時間（冠水時間）、流量規模、樹木群の配置位置など、異なる条件下における、実際の流失現象の違いについて検証

