

# 流木捕捉工設計に関する水理模型実験と 物質追跡モデルによる流木の計算

**SResearch** 株式会社 水工リサーチ

加藤 一夫

# 捕捉施設計画の背景

- 平成28年の台風10号豪雨により、流木を起因とする家屋や橋梁の被害が拡大。
- 被害軽減を図るため河道湾曲部に「流木捕捉施設」を整備する計画が立案。

台風10号による被災状況



岩手県提供

流木捕捉施設設置予定箇所(河口から34km地点)

被害の状況



岩手県提供



捕捉施設設置予定箇所

乙茂地区

岩泉町役場

小本川

基図:地理院地図



岩手県提供



# 【参考】河川に設置した流木捕捉施設の事例

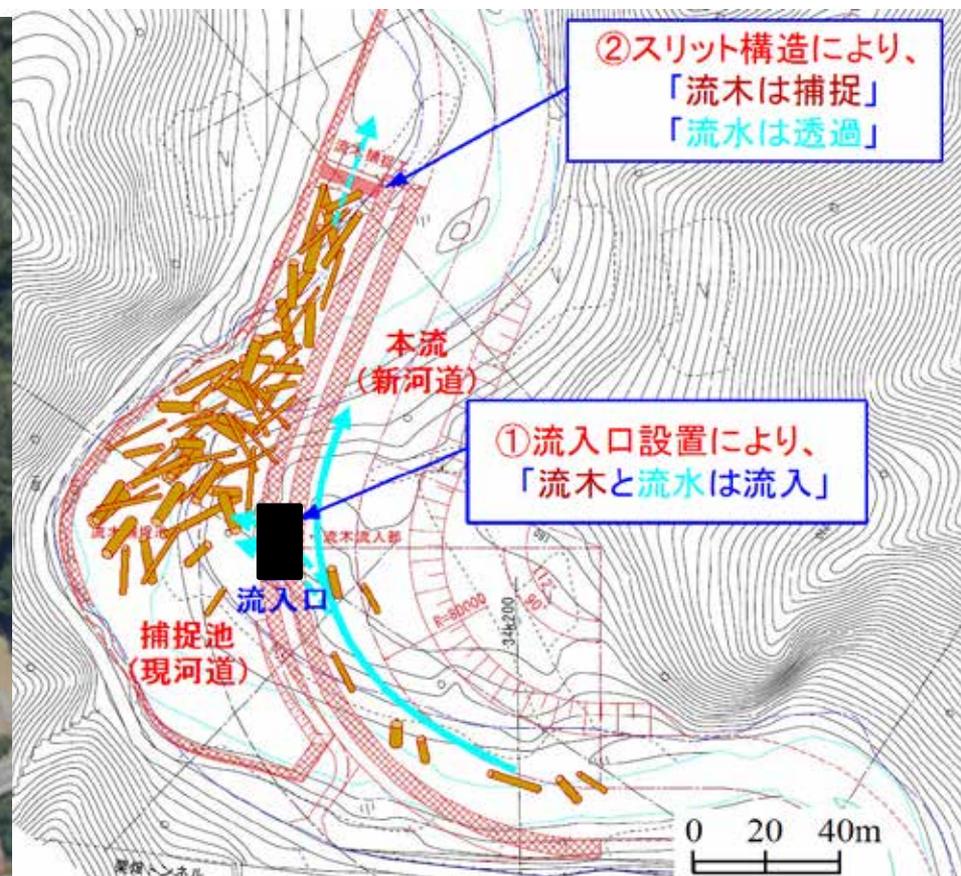
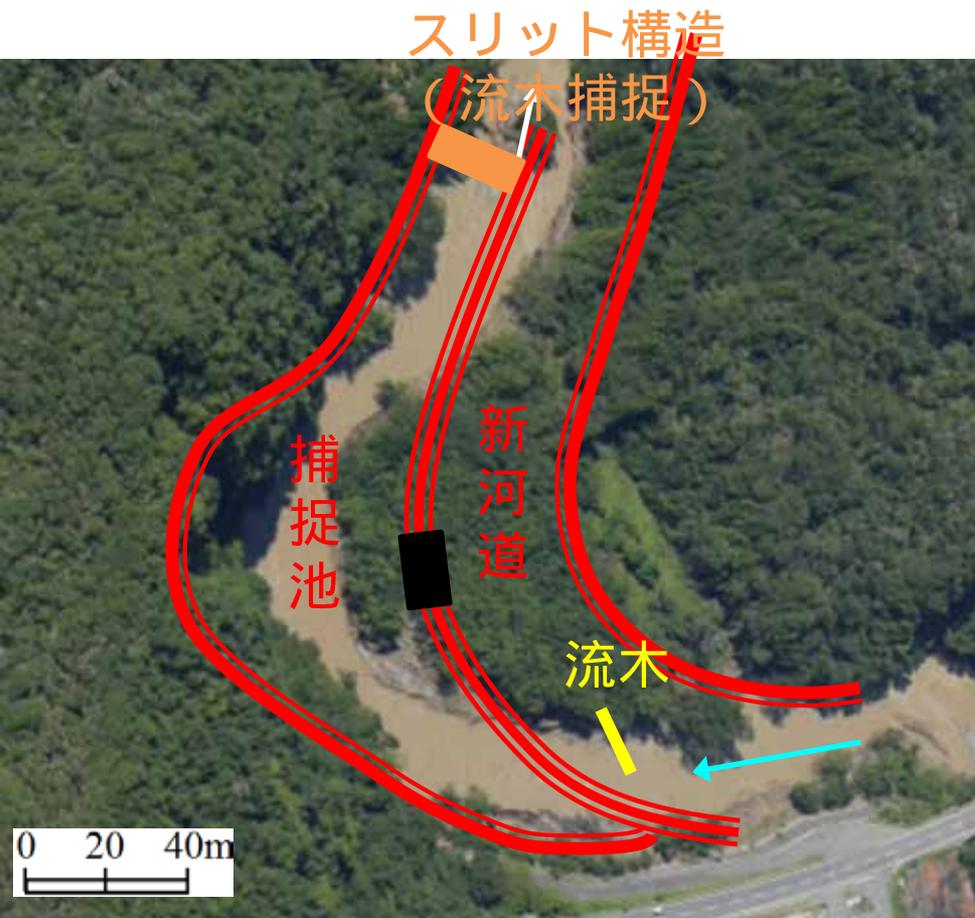
○小本川の流木捕捉施設は新潟県の関川を参考に基本形状(原案)を設定

施設名	関川流木捕捉施設	黒川流木捕捉施設	北上川山田流木捕捉施設	砂鉄川流木捕捉施設
概要図				
場所	新潟県	熊本県阿蘇郡	宮城県石巻市	岩手県
河川名	一級河川関川	一級河川白川水系黒川	一級河川北上川	一級河川北上川水系砂鉄川
担当	新潟県 上越土木事務所	熊本県 一宮土木事務所	国土交通省 北上川下流河川事務所	国土交通省 岩手河川国道事務所
設置時期	1999年	1995年	2000年	2003年
契機	1995年7月流木による橋梁被	1990年の流木被害	1999年の流木被害	2002年7月の流木被害
捕捉概要	2年確率程度の流量までは下流へ流下させ、それ以上の洪水時に流木を捕捉する形状を基本としている。河道法線変更して湾曲外岸部に設置	上流の砂防区域で捕捉できず、流下してきた流木を河川に隣接して設置した貯水地内のスリットにて捕捉する	自然流下してきた流木を高水敷を掘削して設けた貯水水路内の捕捉パイルにて捕捉する。湾曲内岸部に設置	低水路河積の80%の木製パイルスクリンをつくり流木等を捕捉する。湾曲外岸直下流に設置
主な検討方式	移動床模型実験(1/80縮尺)		固定床模型実験(1/60縮尺)	二次元不等流計算
捕捉形式	D型スリット	パイルスクリン	パイルスクリン(コンクリート製)	パイルスクリン(木製)
その他	関川31.5km 勾配:約1/40 川幅:40m 低水路幅:40m 低水路河岸高:約5m 貯水地幅≒川幅 杭:φ40cm 横@2.0m高さ4.0m	黒川26.2km 勾配:約1/120	北上川21.0km 勾配:約1/10000 川幅:600m 低水路幅:250m 低水路河岸高:約6m 捕捉幅:約70m 杭:φ60cm 横@1.3m高さ3.0m	北上川68.4km右支川、北上川合流点から3.1km地点 勾配:約1/1000 川幅:250m 低水路幅:22m 低水路河岸高:約6m 捕捉幅:約16m 杭:φ18cm 横@1.5m高さ3.0m
集積実績	-	-	・2002年7月洪水では水位が捕捉工天端を上回ったため、捕捉効果が低減 ・流木捕捉率向上を目的に杭の高さは変えずに、八型配置に変更予定	・2002年7月洪水では大木で枝付き・根付きはなし、枝、丸太、塵芥が多い

出典:第4回流域圏シンポジウム「出水時における流木の発生」

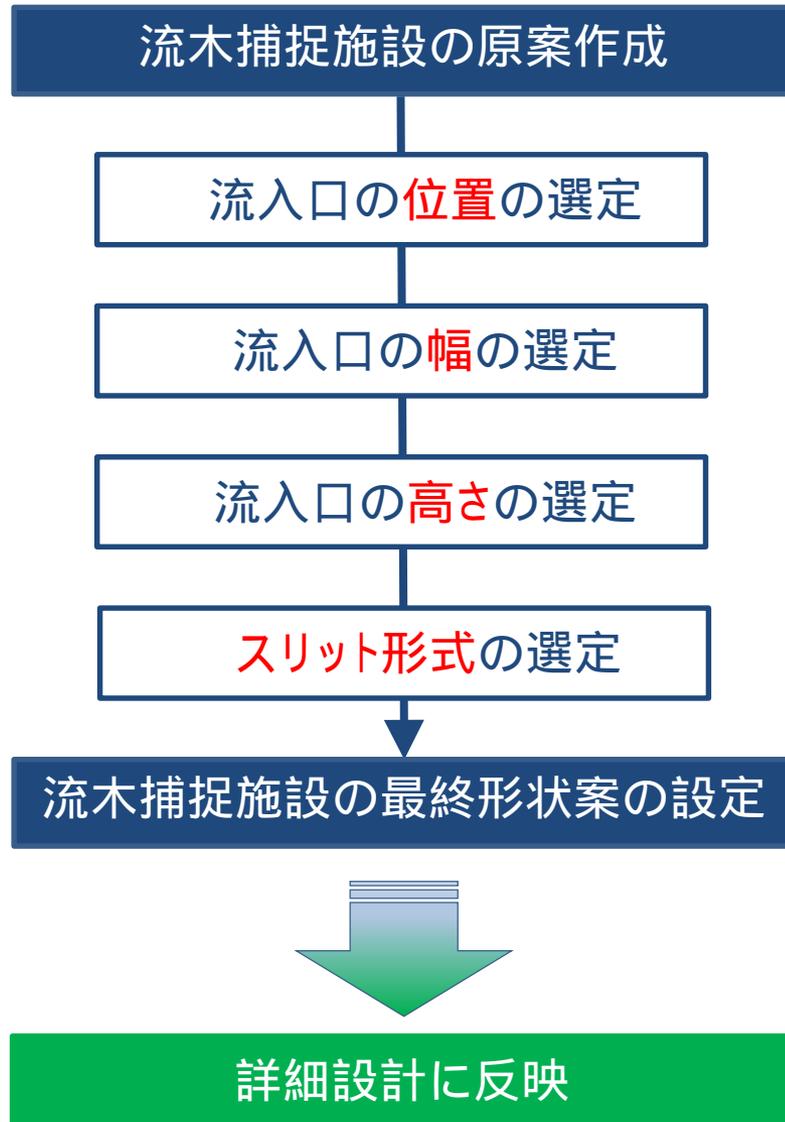
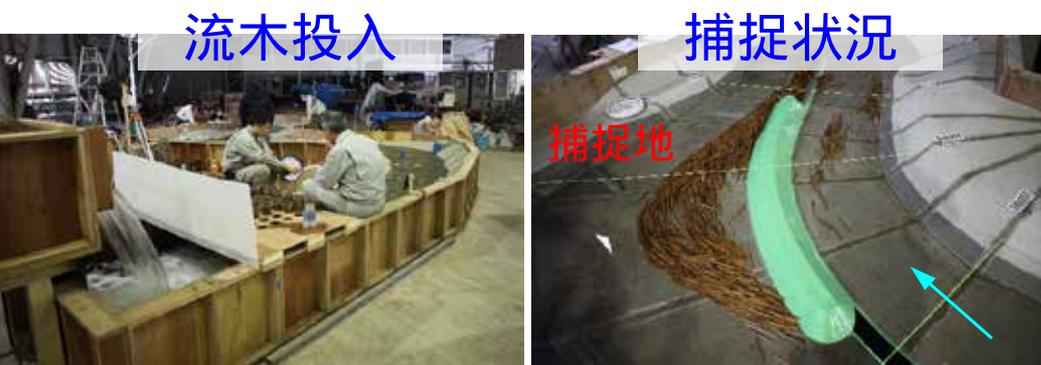
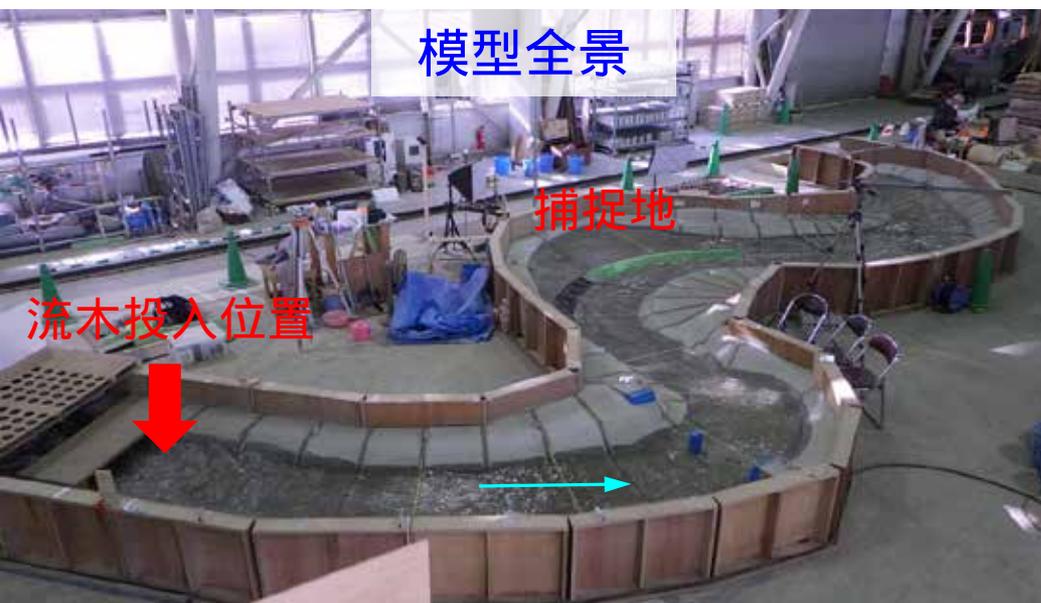
# 小本川の流木捕捉施設の原案

流木捕捉施設の設置予定箇所  
(河口から34km地点)



# 模型実験の概要

- 寒地土木研究所 第4実験棟に設置
- 模型スケール $S=1/50$ で河道は固定床
- 模型上流端から流木模型を人力連続投入
- 通水後に流木捕捉本数を計測



# 実験条件

○流量は計画流量 $680\text{m}^3/\text{s}$ 、10年確率 $470\text{m}^3/\text{s}$ の2ケースで定常流で34分(現地4時間)通水。  
 ○流木サイズは、延長6mと12mの2パターンとし、4ケースの水理実験を実施。

## 流量条件

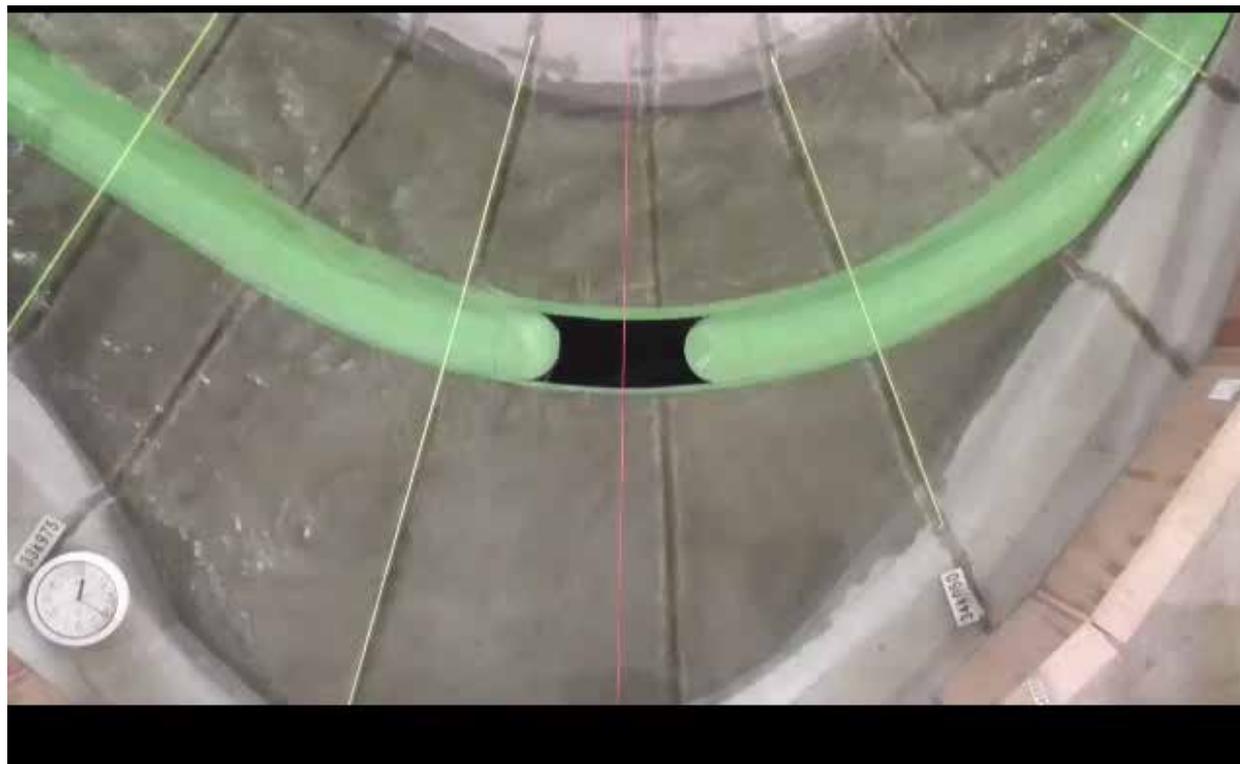
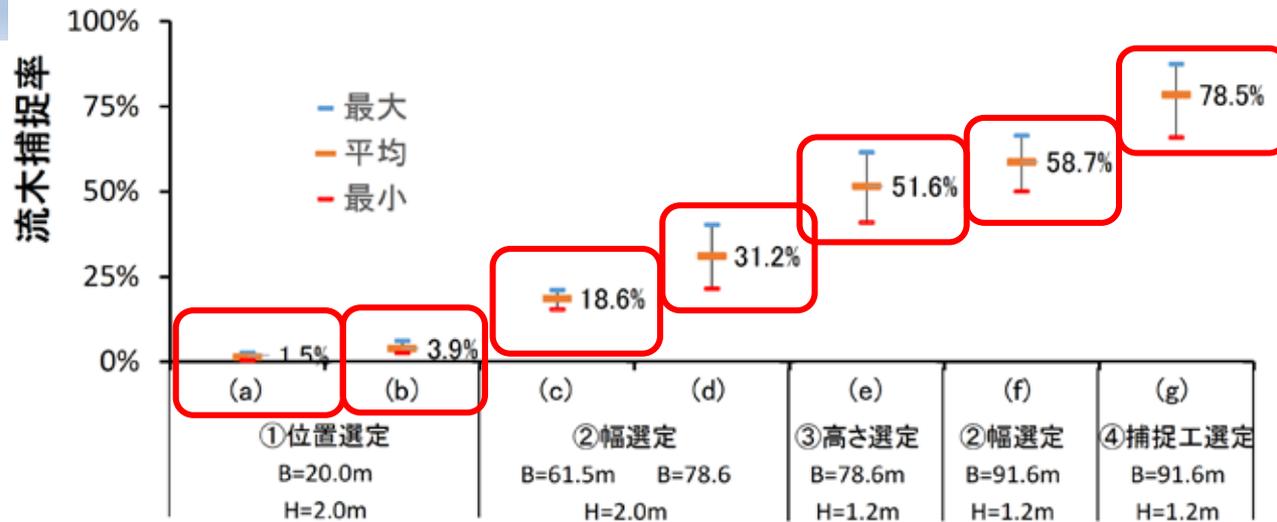
条件項目	実物	模型	備考
流量	$680\text{m}^3/\text{s}$	$38.5\text{l}/\text{s}$	1/30年確率(計画流量)
流量	$470\text{m}^3/\text{s}$	$26.6\text{l}/\text{s}$	1/10年確率流量
実験時間	4時間	34分	洪水継続時間

## 流木投入条件

条件項目		実物	模型	備考
流木	直径	0.3m	0.6cm	
	長さ	6m	12cm	流木の平均長
	投入本数		3,600本	計画流出流木量 $1,500\text{m}^3$
	投入間隔		2本 / 秒	
流木	直径	0.3m	0.6cm	
	長さ	12m	24cm	立木(河畔林)の平均長
	投入本数		1,800本	計画流出流木量 $1,500\text{m}^3$
	投入間隔		1本 / 秒	

流木模型の比重は1.1(現地で多くを占める広葉樹を想定)

# 実験結果：流木捕捉率の変化



# 流木捕捉施設の最終形状(案)

流量=680m<sup>3</sup>/s

流木長=6m

投入本数3,600本

流入口幅=91.6m

流入口敷高=1.2m

スリットA型 (特殊タイプ)

# 準3次元モデル 平面2次元浅水流モデル

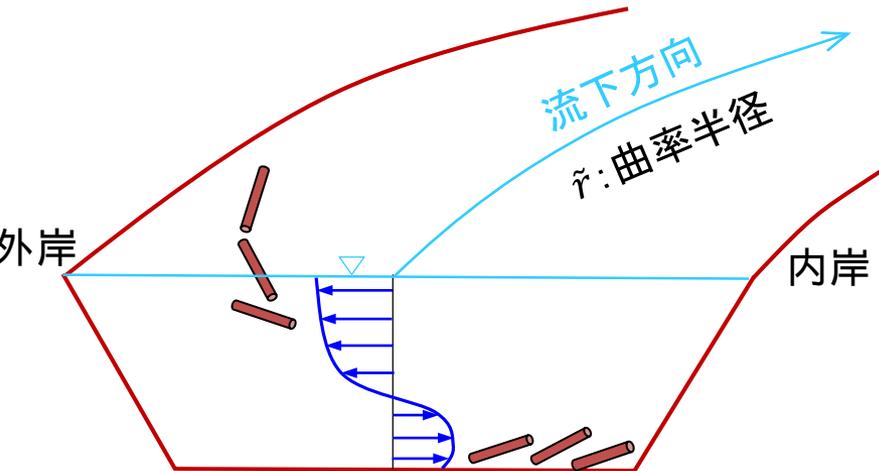
$$\frac{\partial \tilde{h}}{\partial \tilde{t}} + \frac{\partial \tilde{u}\tilde{h}}{\partial \tilde{x}} + \frac{\partial \tilde{v}\tilde{h}}{\partial \tilde{y}} = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{t}} + \tilde{u} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{x}} + \tilde{v} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{y}} = -g \frac{\partial \tilde{h}}{\partial \tilde{x}} - g \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial \tilde{x}} - C_f \frac{\tilde{u}\sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2}}{\tilde{h}}$$

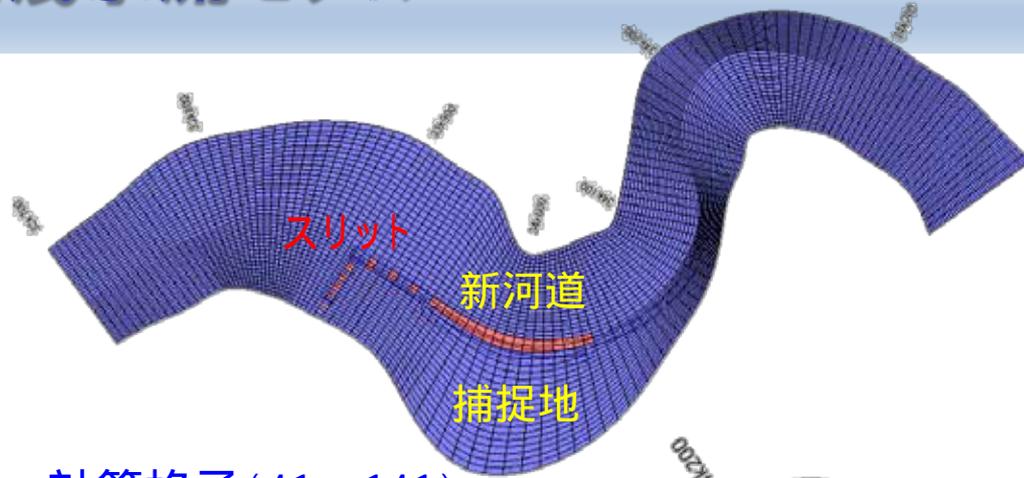
$$\frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{t}} + \tilde{u} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{x}} + \tilde{v} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{y}} = -g \frac{\partial \tilde{h}}{\partial \tilde{y}} - g \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial \tilde{y}} - C_f \frac{\tilde{v}\sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2}}{\tilde{h}}$$

$$\frac{1}{\tilde{r}} = \frac{1}{\tilde{V}^3} \times \left[ \tilde{u} \left( \tilde{u} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{x}} - \tilde{v} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{x}} \right) + \tilde{v} \left( \tilde{u} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{y}} - \tilde{v} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{y}} \right) \right]$$

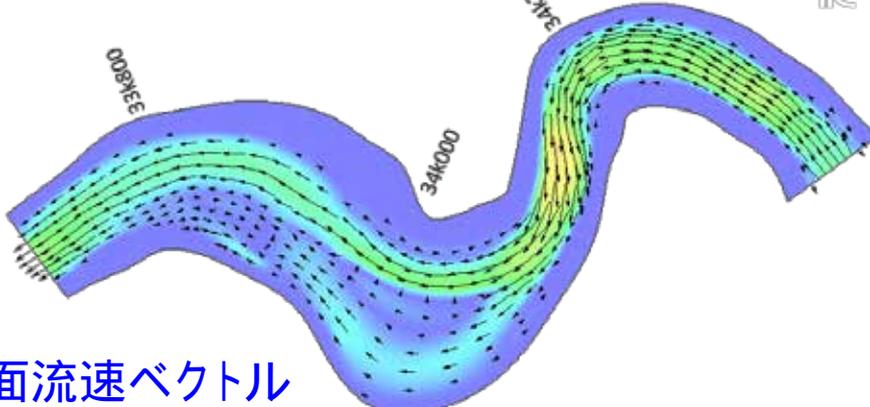
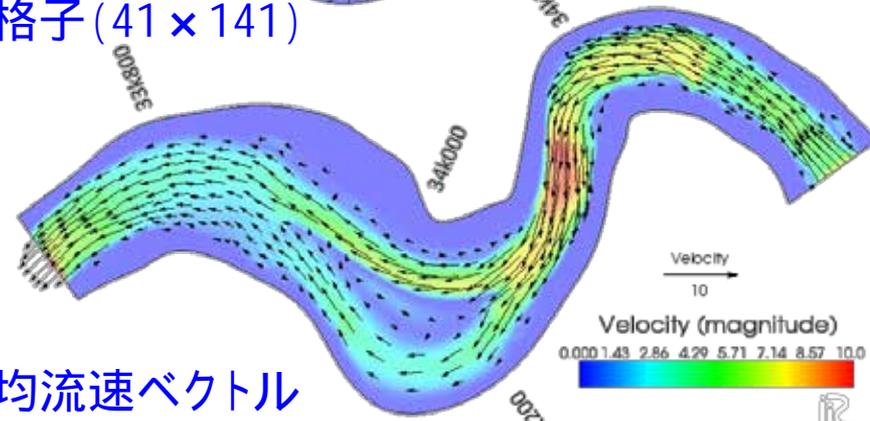
$\tilde{h}$ : 水深,  $\tilde{t}$ : 時間       $\tilde{u}, \tilde{v}$ :  $\tilde{x}, \tilde{y}$ 方向の水深平均流速  
 $\tilde{\eta}$ : 河床高       $g$ : 重力加速度       $C_f$ : 抵抗係数       $\tilde{r}$ : 曲率半径



湾曲部における横断方向流速のイメージ



計算格子 (41 × 141)



# 流木追跡モデル 個別要素法に関する運動の基礎式

$$m'_i \frac{du_{pi}}{dt} = Fx_i + \frac{1}{2} \rho C_D A x_i \sqrt{(u - u_{pi})^2 + (v - v_{pi})^2} (u - u_{pi})$$

$$m'_i \frac{dv_{pi}}{dt} = Fy_i + \frac{1}{2} \rho C_D A y_i \sqrt{(u - u_{pi})^2 + (v - v_{pi})^2} (v - v_{pi})$$

流木条件: 長さ6m, 直径0.3m, 比重1.1 (広葉樹)

$x, y$  : 直交平面座標軸

$t$  : 時間,  $\rho$  : 流体の密度

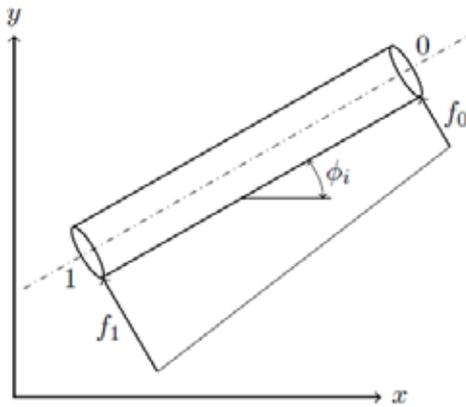
$Fx_i, Fy_i$  : 個別要素に作用する力の総和

$C_D$  : 形状抵抗係数

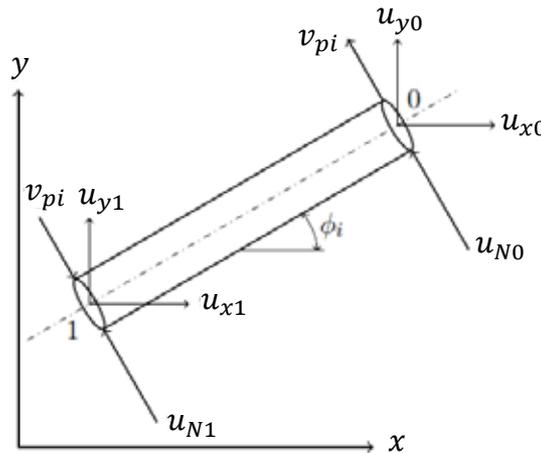
$Ax_i, Ay_i$  : 円柱の投影面積

$u, v$  : 流下方向と横断方向の流速

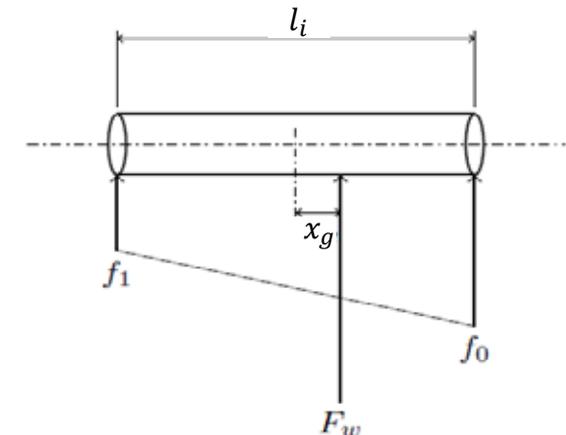
$u_{pi}, v_{pi}$  : 個別要素の流下方向と横断方向の移動速度



$f_0, f_1$  : 円柱両端に働く力  
 $\phi_1$  : 円柱  $x$  軸の交差角度



$u_{N1}, u_{N0}$  : 円柱両端における流速の  
 円柱長軸に直交する方向成分



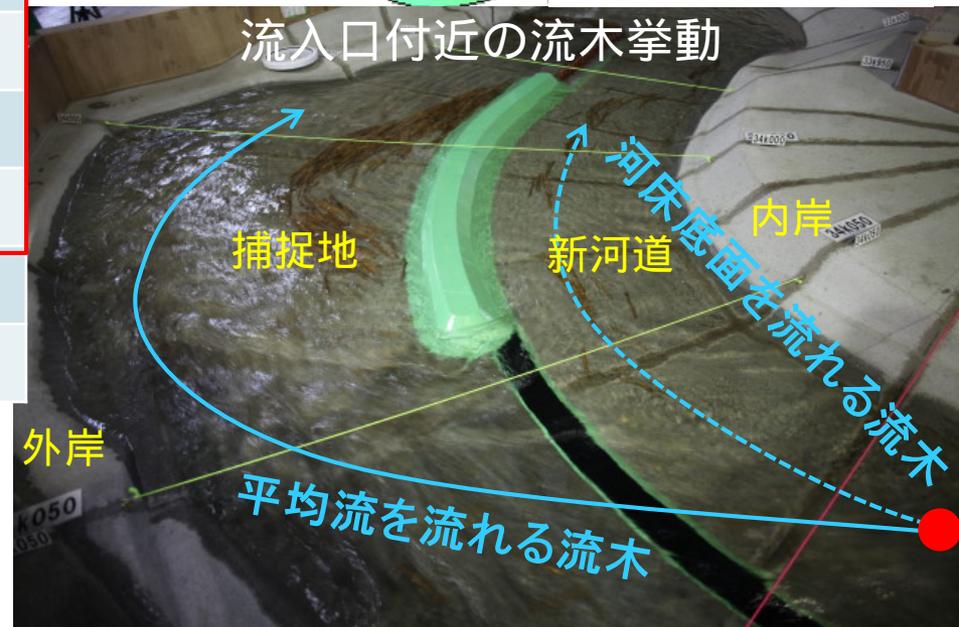
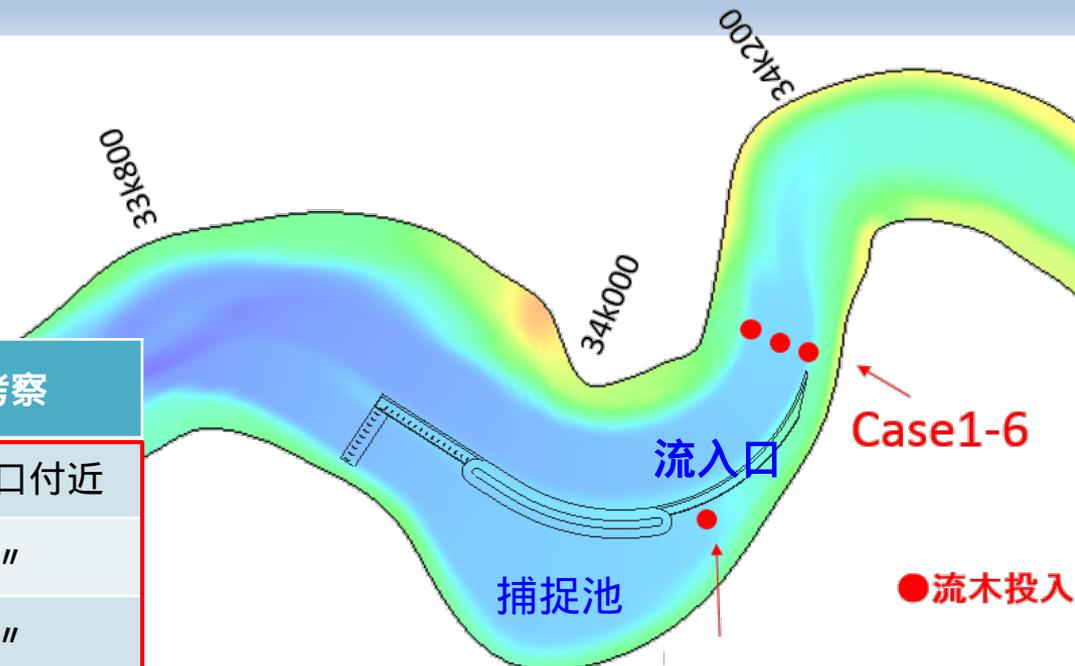
$x_g$  : 円柱の重心位置から中心までの距離  
 $F_w$  : 円柱に直交する方向の力

個別要素の円柱に働く力

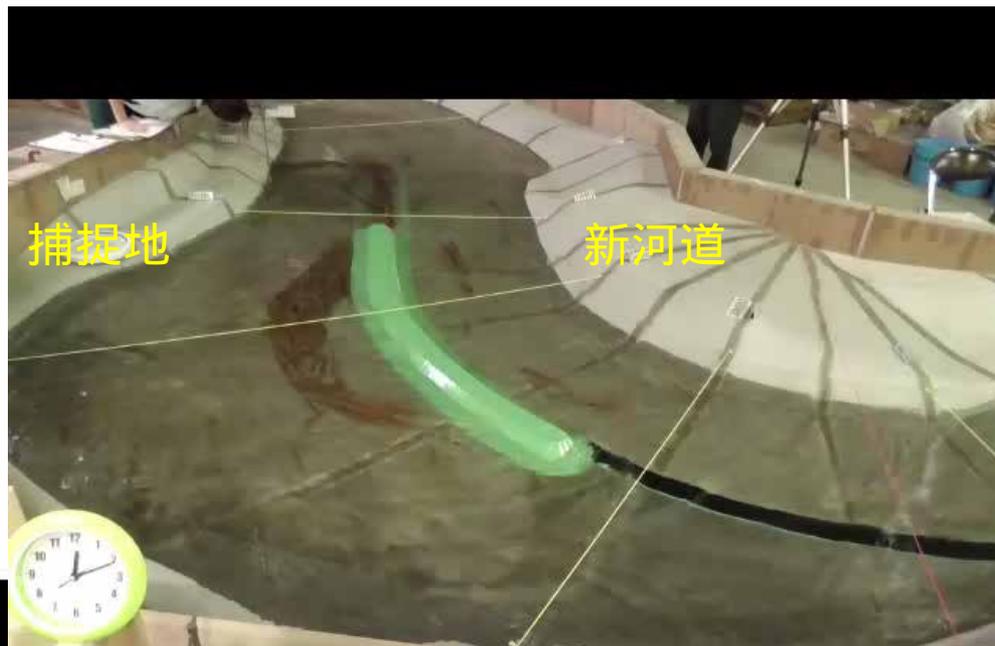
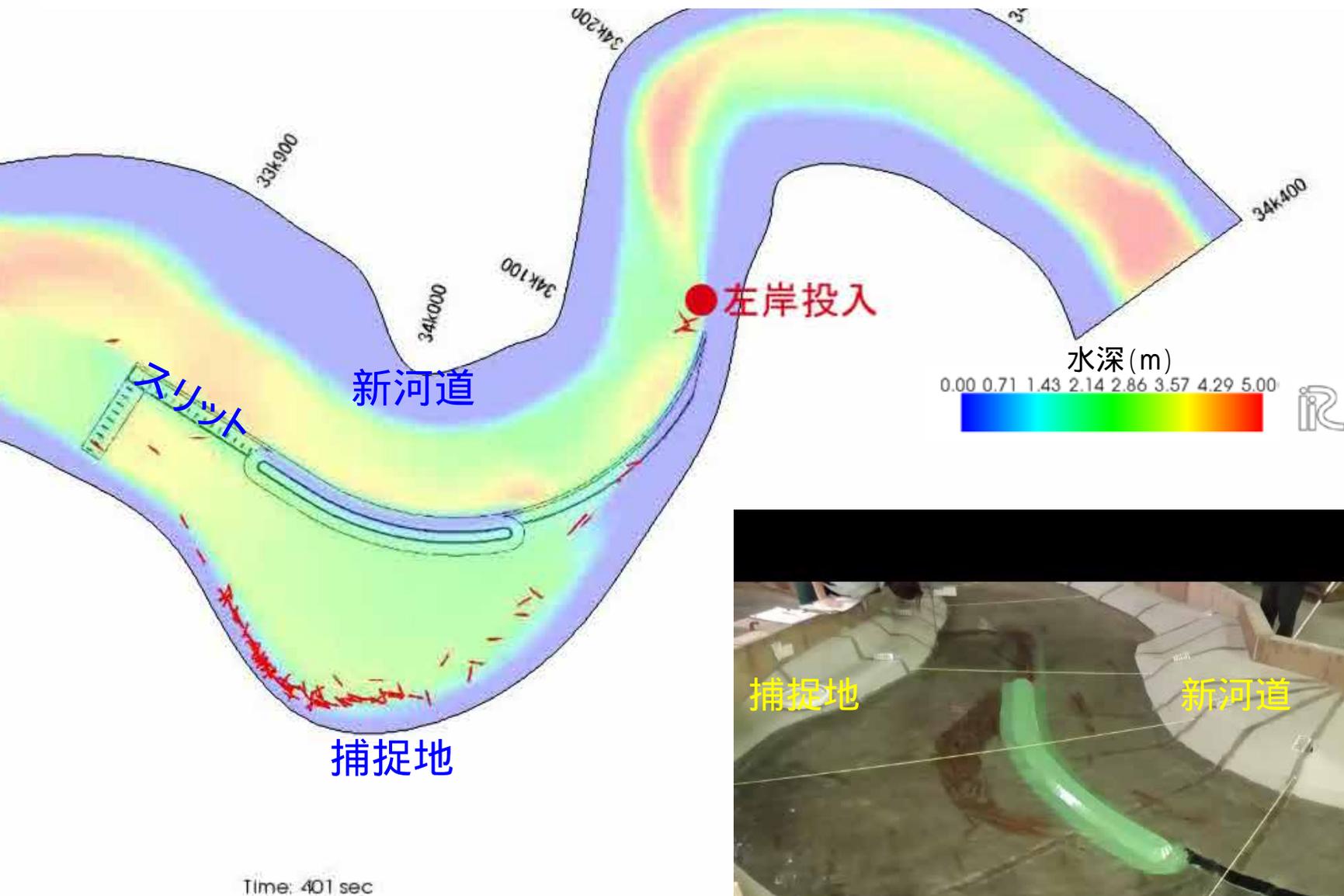
# 考察①: 流入口付近の流木の挙動(case1~case6)

## 数値計算ケース表

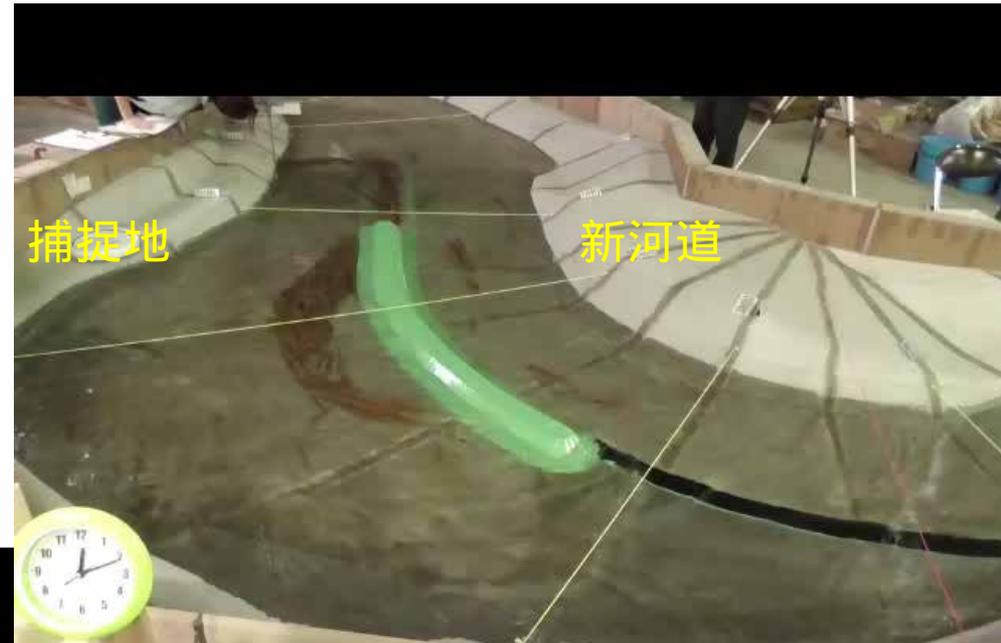
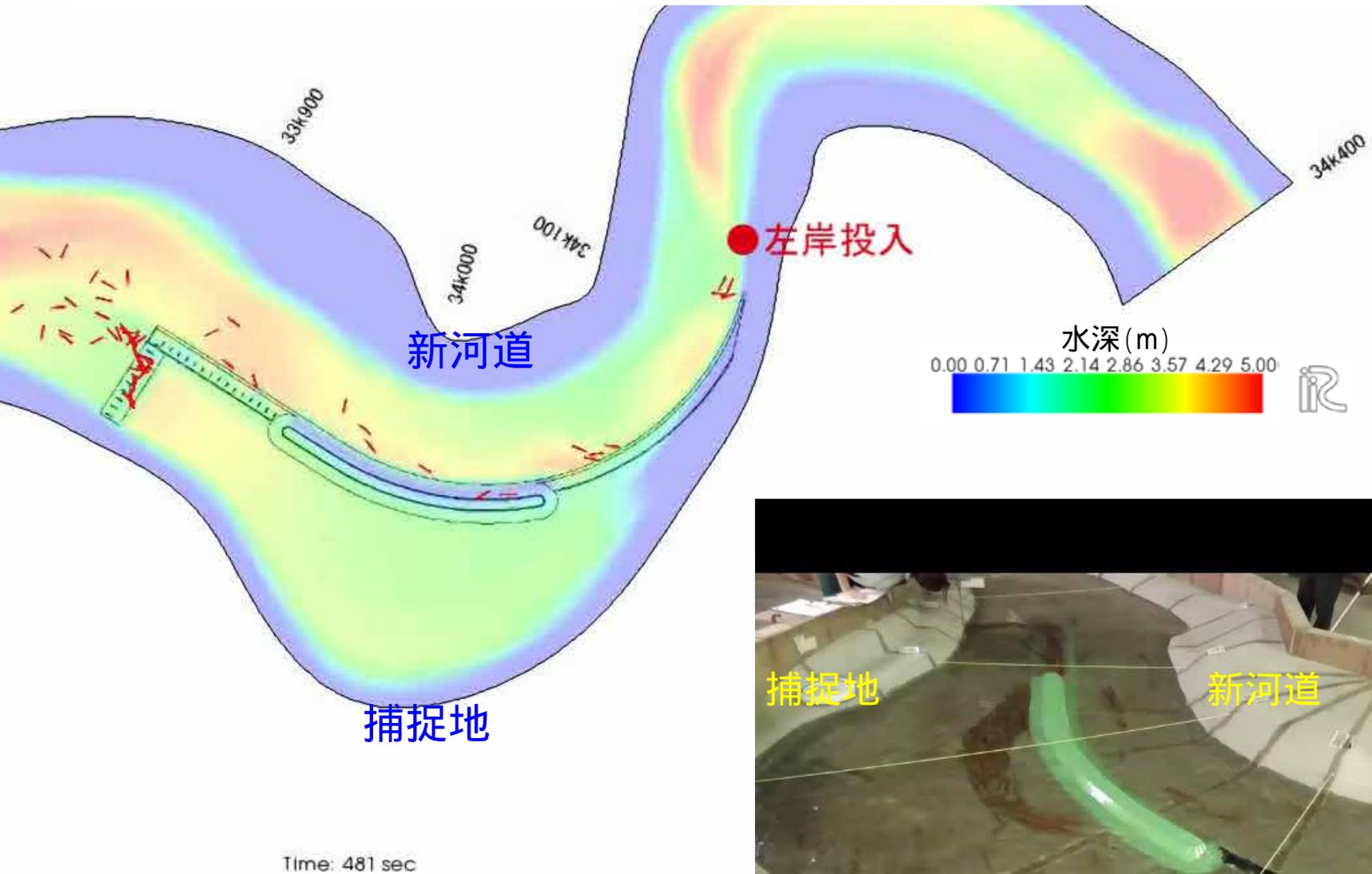
case	流木投入位置	流況	考察
case1	左岸側	平均流速	流入口付近
case2	河道中央	〃	〃
case3	右岸側	〃	〃
case4	左岸側	底面流速	〃
case5	河道中央	〃	〃
case6	右岸側	〃	〃
case7	流入口中央	平均流速	捕捉池内
case8	流入口中央	底面流速	〃



# 流入口付近の流木の挙動(水深平均流速: case1~3)



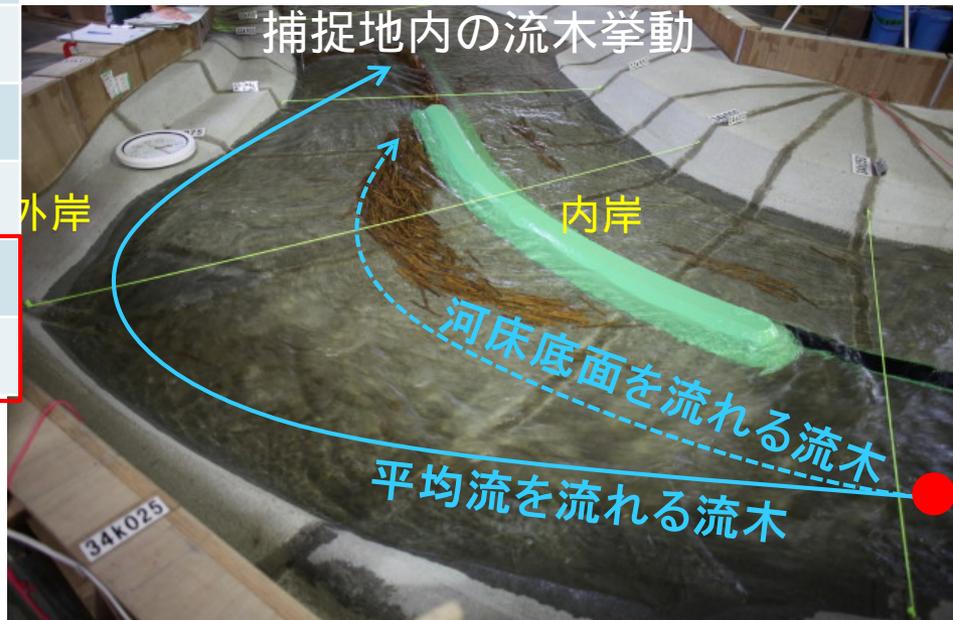
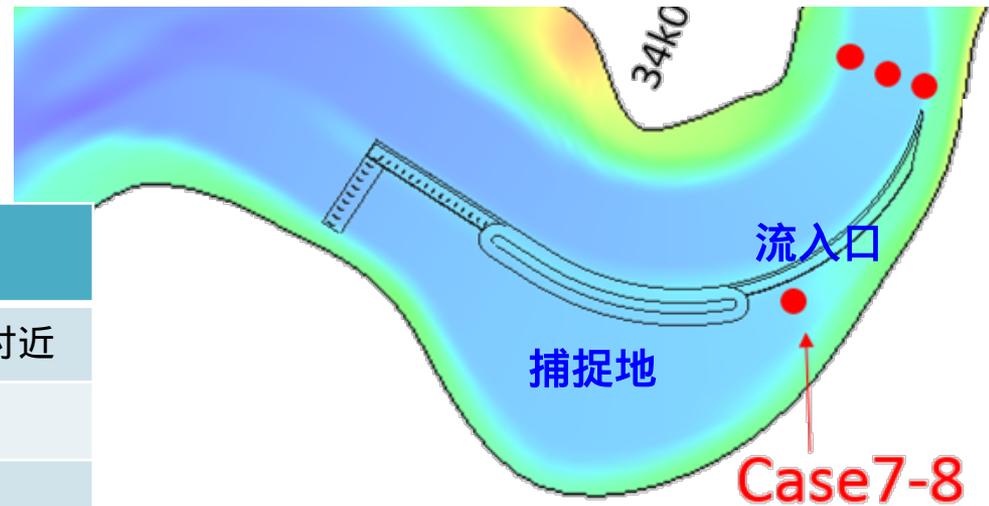
# 流入口付近の流木の挙動(底面流速: case4~5)



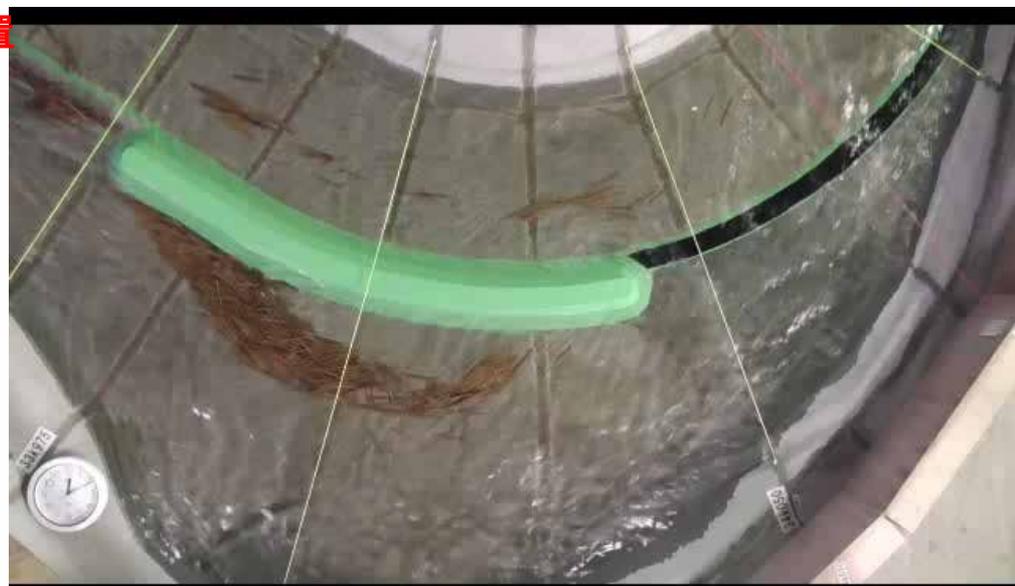
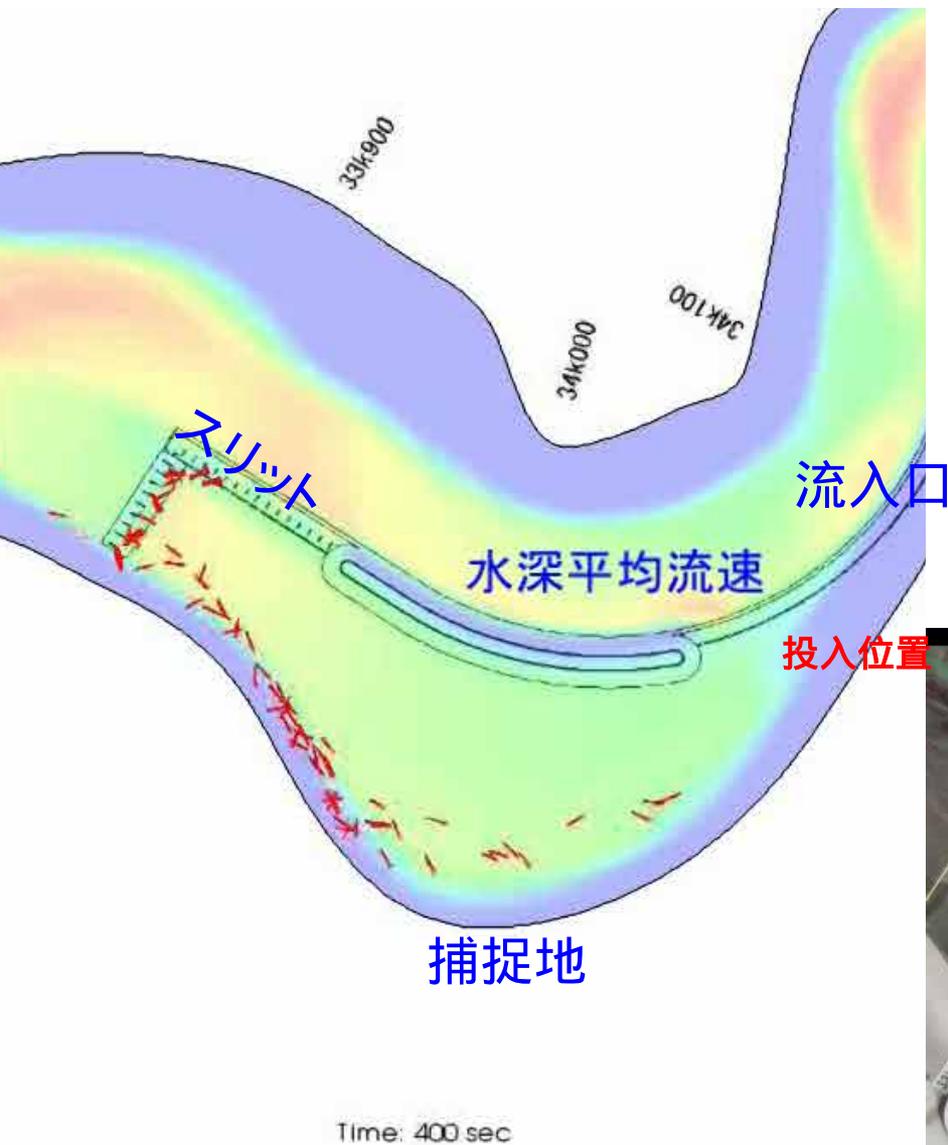
# 考察②: 捕捉地内の流木の挙動(case7, case8)

## 数値計算ケース表

case	流木投入位置	流況	考察
case1	左岸側	平均流速	流入口付近
case2	河道中央	〃	〃
case3	右岸側	〃	〃
case4	左岸側	底面流速	〃
case5	河道中央	〃	〃
case6	右岸側	〃	〃
case7	流入口中央	平均流速	捕捉池内
case8	流入口中央	底面流速	〃



# 捕捉池内の流木の挙動(中央から投入) case7、case8



# まとめ

- 河川の湾曲部を流れる比重1.1の流木は、平均流速の流況下においては外岸部を流下し、底面流速の流況下では内岸側を流下する。
- 水理模型実験で確認した流木の挙動は、流木追跡モデルで再現できることが分かった。
- 河川湾曲部における流木捕捉工等の検討を行う方法として、水理模型実験とともに、数値計算が有効な手段と考えられる。

以上、ありがとうございます！