

# 1. 研究背景

## 愛知県木曾川の事例

洪水直後（2011年）



洪水発生から4年後（2015年）

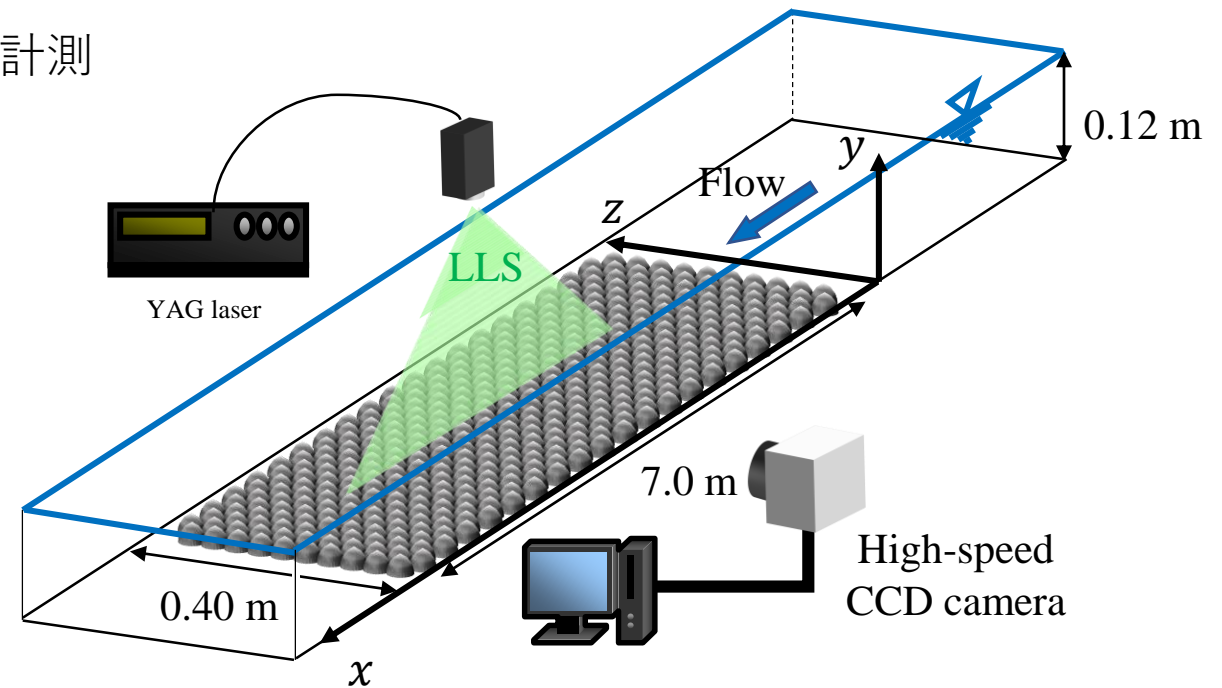
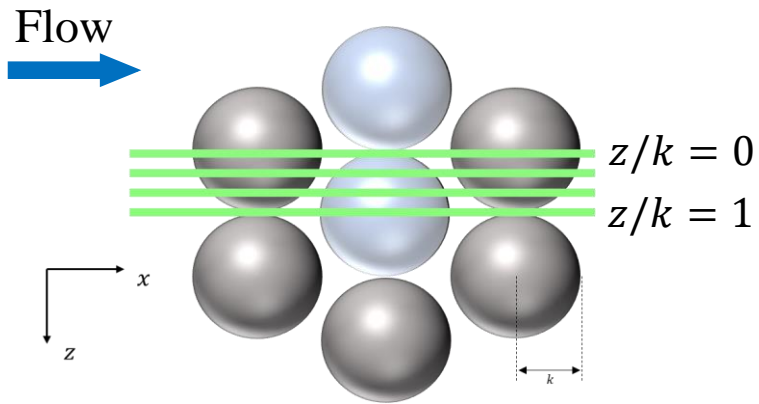


大石哲也「洪水に伴う砂礫内への種子供給と土砂移動特性との関係性の解明」(2016)より引用

- ◆ 過度な河道内の樹林化は河川管理上のさまざまな問題を引き起こす
  - ・ 治水上のリスク（流下能力の低下・二極化），河川環境への影響（水生生物の生態系）
  - ・ 樹林化の進行メカニズムを理解し，適切な対策を講じることが河川管理上重要
- ◆ 樹林化過程のうち，土砂や植物種子の礫河床内部への輸送に着目し，礫床河川における流れ場（平均流・乱流）と浮遊粒子輸送の関連について詳細に検討する。

## 2. 実験概要: PIV計測実験装置

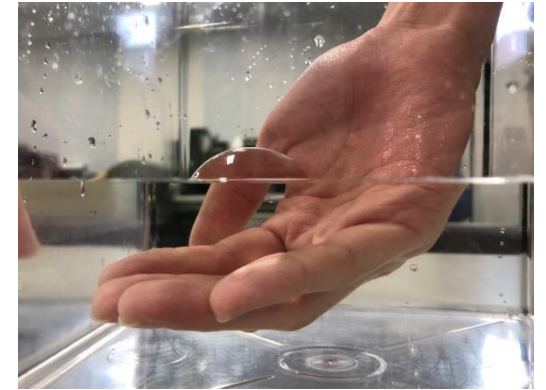
- ◆ 水路床から水面までを含む領域を高速CCDカメラで撮影
- ◆ 各鉛直断面における瞬間流速ベクトル  $(\tilde{u}, \tilde{v})$  を算出
- ◆ 粗度近傍：非一様な流れ場が想定
  - 粗度頂部・谷部を含む4断面について計測



## 2. 実験概要：粗度層内部の流れの可視化手法

### ◆ 屈折率整合法 (Refractive Index Matching, RIM)

- 透明な障害物と流体の屈折率を等しくすることで、障害物背後あるいは内部の流れ場を計測する手法（高野ら(2002)）
- 透明材質と高屈折率流体を用いる方法が一般的（Kimら(2018)）
  - 費用の観点から比較的小規模な水路実験での利用に限られる
- 本研究では粗度模型として水と屈折率が等しい高吸水性ポリマーを使用



### ◆ 河床粗度模型（粗度高さ $k = 1.8 \text{ cm}$ ）

- 半球状粗度（スーパーボール，直径  $D = 3.6 \text{ cm}$ ）を千鳥格子状に配置
- 計測部手前の一列のみ高吸水性ポリマーの透明粗度を使用

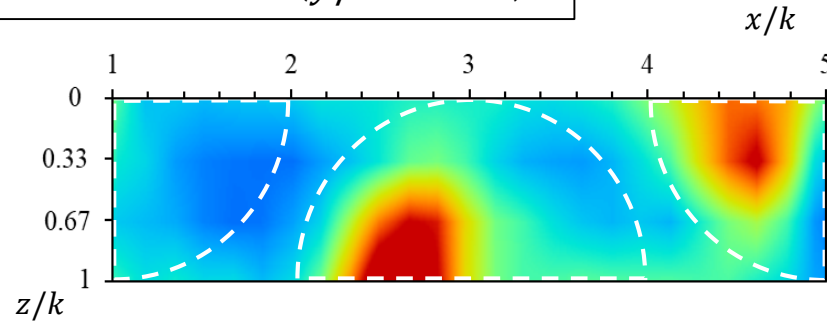


粗度層（礫河床）内部の流れ場の可視化

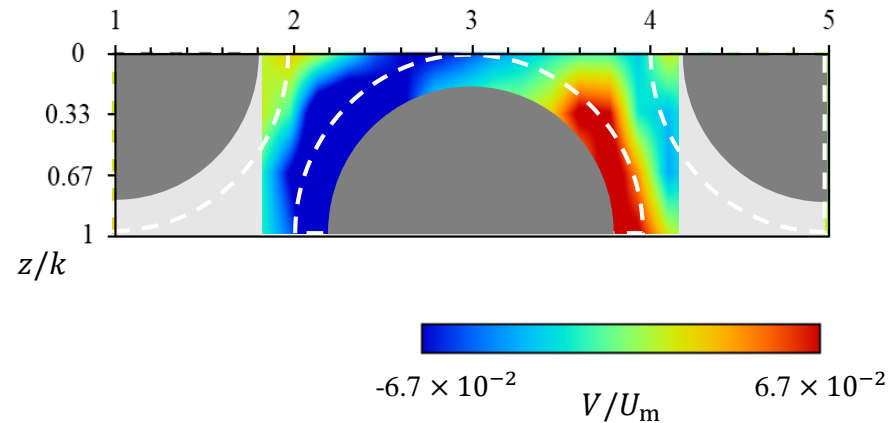
### 3. 実験結果: 粗度層内部における平均流構造

Case30 ( $U_m = 30 \text{ cm/s}$ )

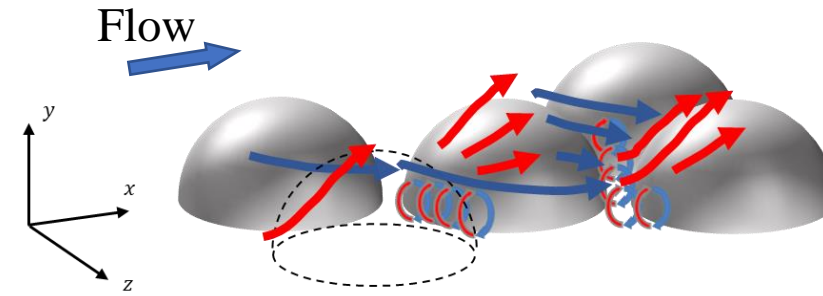
粗度高さ付近 ( $y/k = 1.09$ )



粗度層内部 ( $y/k = 0.59$ )

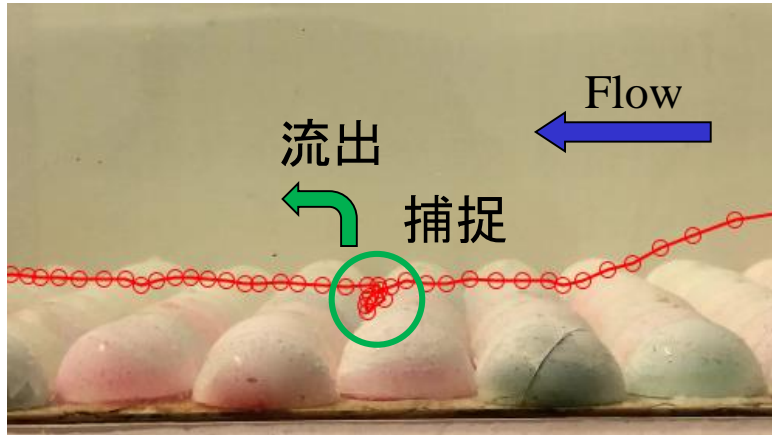


- ◆ 粗度配置に伴う規則的な平均流構造
  - ◆ 粗度層内部では粗度要素の上流側側面に沿って下降流が形成されている。
    - 各粗度要素前面において馬蹄渦が形成されている
- ➡ 粗度上流側側面付近において  
種子が捕捉されると予測される。

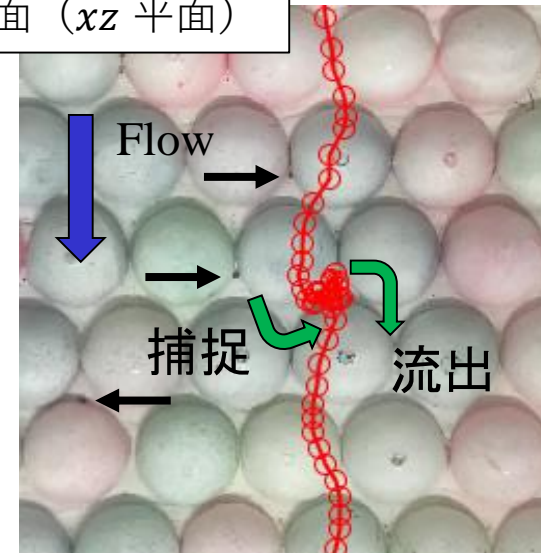


### 3. 実験結果：粗度層近傍における種子挙動

鉛直面 ( $xy$  平面)



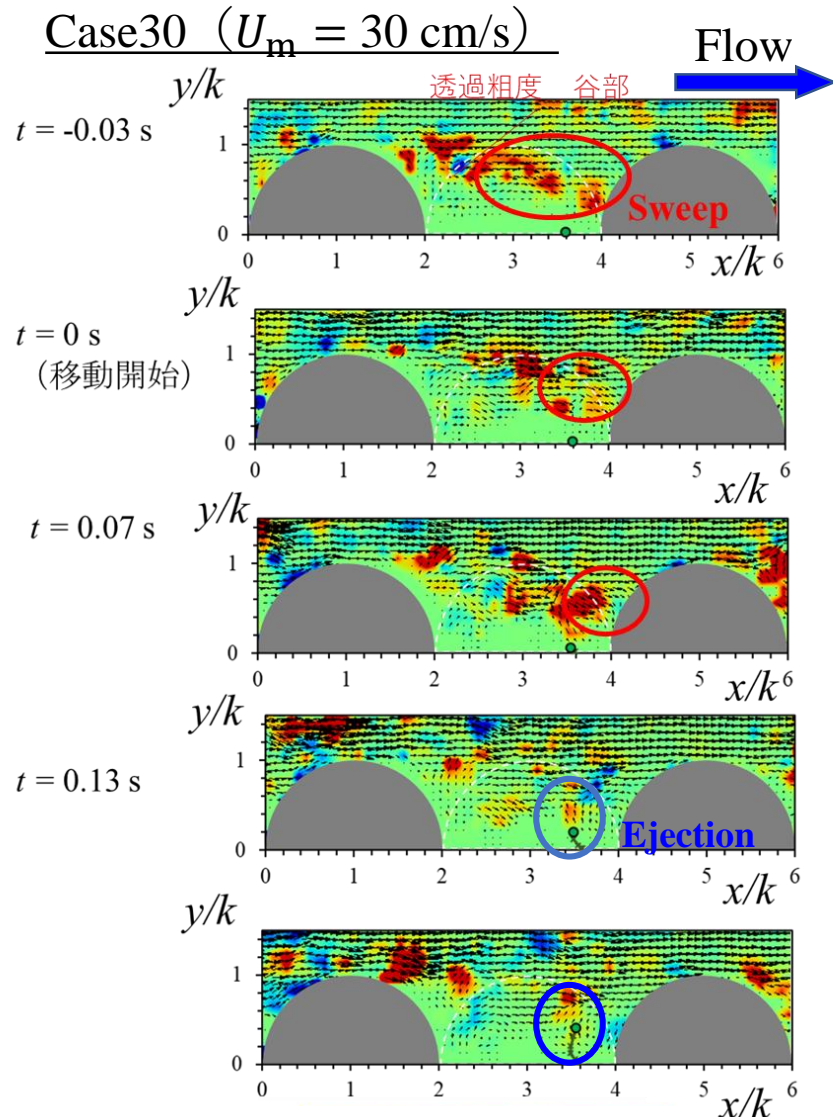
水平面 ( $xz$  平面)



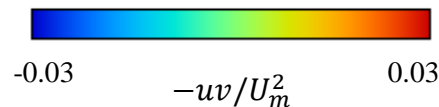
- ◆ 種子が粗度高さ付近を流下した後、粗度上流側に衝突して捕捉
  - 粗度上流側における平均的な下降流（≡馬蹄渦）が種子の捕捉に影響する
- ◆ 一度捕捉された後、一定時間経過後に再び下流へ流出する種子だけでなく、長時間にわたって粗度内部に留まり続ける種子（右写真 黒矢印）が観察された。
  - 粗度層内部における乱流現象が種子の挙動を決定づけると推測される



### 3. 実験結果：礫間からの種子流出と組織乱流の相互作用



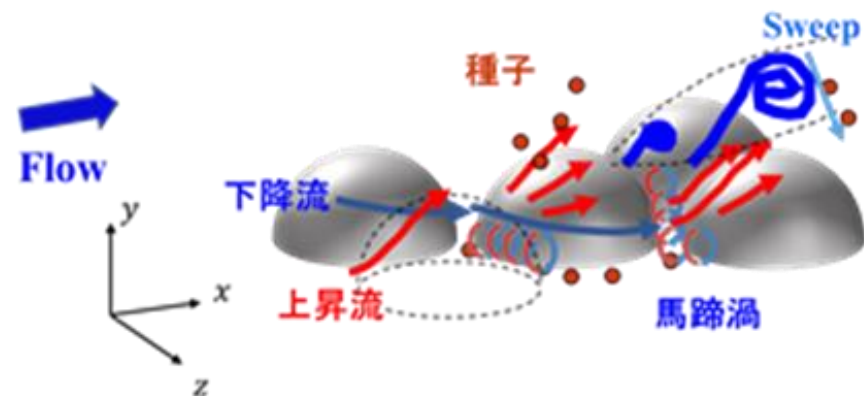
- ◆ 瞬間レイノルズ応力  $-uv$  が正  
= 渦 (sweep あるいは ejection) が発生
  - ◆ 粗度層内部に sweep ( $u > 0, v < 0$ ) が入り込み、  
河床近傍で瞬間的な上昇流が発生  
→ 河床からの粒子の浮上 (particle entrainment)
  - ◆ その後、巻き上げられた種子が ejection ( $u < 0, v > 0$ )  
によって粗度層外部へと輸送される。
- ➡ 粗度近傍における組織乱流が種子の流出を引き起こす。



## 4. 結論

1. 粗度要素模型に高吸水性ポリマーを用いたRIM-PIV計測実験により、粗度層内部の流れ場を計測に成功した。

- 粗度層内部では粗度の上流側で粗度の周りを囲むように馬蹄渦（下降流）が生じる。
- 粗度要素背後で発達する組織乱流が河床近傍にまで達する。



2. 粗度層内部の乱流構造が種子の挙動に与える影響について検討した。

- 種子の軌跡の観察結果から、河床における種子の定着・再流出には河床内部の平均流だけでなく乱流が影響することが確認された。
- 粗度層内部で発生する組織乱流が河床粒子の浮上を引き起こすことが示唆された。

# 参考文献

1. Matsumoto, K., Okamoto, T., and Sanjou, M.:  
PIV measurement of turbulent flow and particle motion over a rough wall,  
*Proc. of 12th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP12)*,  
Osaka (online), paper 327 (6 pages), 2022.
2. 岡本隆明, 松本知将, 大石哲也, 山上路生, 岡崎拓海:  
半球粗度まわりの乱流構造が種子捕捉過程に与える影響に関する実験的研究,  
土木学会論文集B1(水工学, 通常号), Vol.76(1), pp.118-128, 2020.