

# 能登半島豪雨における塚田川の洪水氾濫に 土砂・流木が及ぼした影響の分析



※鮮明化処理済み

[https://youtu.be/ujm6H7TQmcA?si=3DXQRZF\\_7WjwdB-w](https://youtu.be/ujm6H7TQmcA?si=3DXQRZF_7WjwdB-w)  
地震後の河道堆積を含む「水・土砂・流木」の連成解析

原田大輔1・正延大樹2・窪田利久3・釜坂結奈3・柏田仁4・二瓶泰雄5

2026/6/18： 河川技術シンポジウム OS発表

# 1. 背景と目的

能登半島豪雨：2024/9/21

塚田川：流域面積約7.0km<sup>2</sup>

- ・元日の地震で土砂・倒木が河道に堆積
- ・9月豪雨で新たな斜面崩壊が発生
- ・豪雨によって、地震＋豪雨起源の土砂と流木が下流平野へ流出

→下流の平野部で土砂・流木を大量に含む洪水氾濫が発生



# 1. 背景と目的



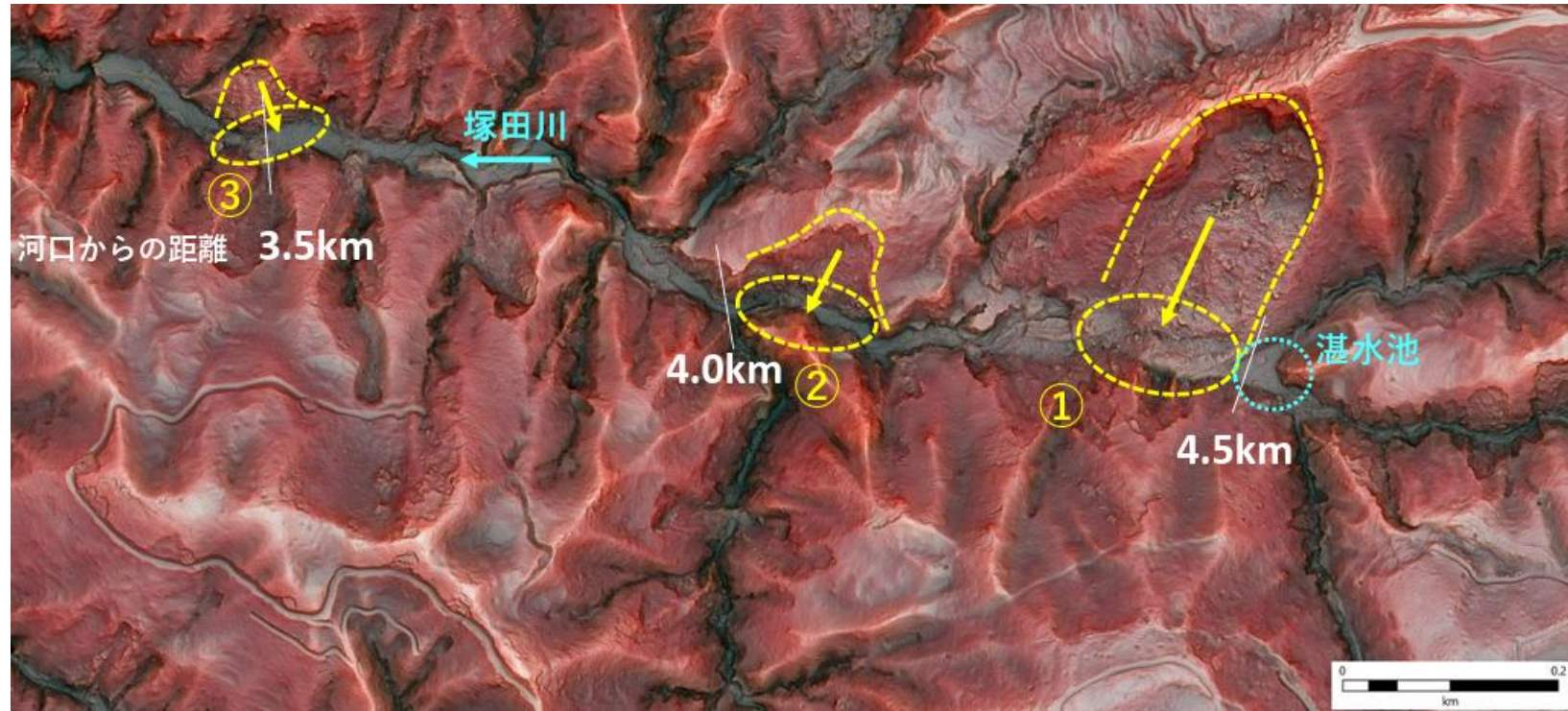
[https://youtu.be/ujm6H7TQmcA?si=3DXQRZF\\_7WjwdB-w](https://youtu.be/ujm6H7TQmcA?si=3DXQRZF_7WjwdB-w)

目的：

- ・土砂・流木を含む洪水氾濫現象を解析し、その特徴を明らかにする。
- ・LP差分や痕跡水位と比較して、計算の精度は？
- ・地震により供給された土砂・流木がどの程度洪水流に影響したか？

## 2. 土砂・流木生産と洪水氾濫の特徴

### (1)地震による土砂生産：主要な崩壊地からの土砂供給



「能登半島での地震・大雨を踏まえた水害・土砂災害対策のあり方について」 提言 資料を抜粋

①約14.4万( $\text{m}^3$ )

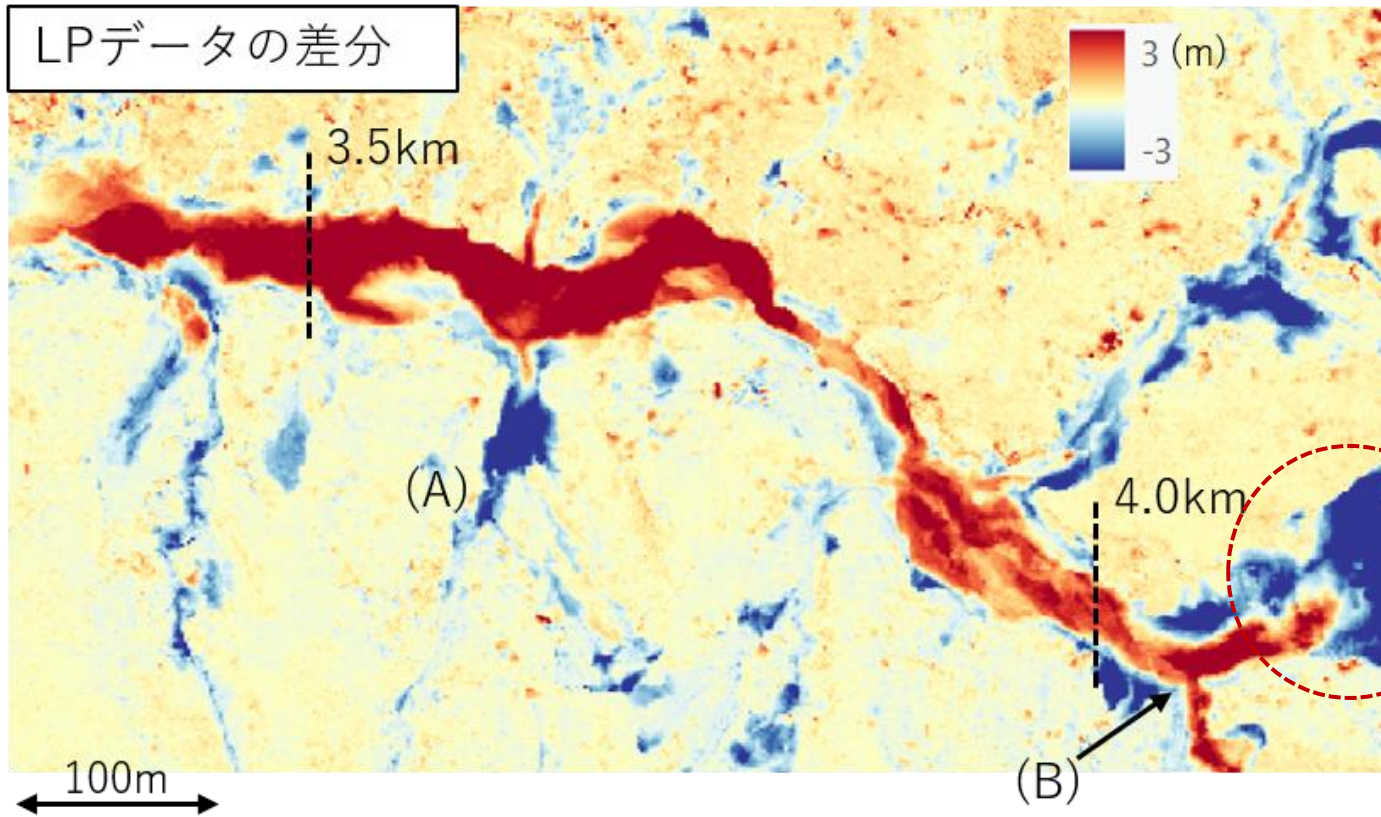
②約2.0万( $\text{m}^3$ )

③約2.1万( $\text{m}^3$ )

- ・ 豪雨前に少なくとも約18.5万 $\text{m}^3$ の土砂が河道に堆積
- ・ ①は湛水池を形成し、豪雨後に大半が流出

## 2. 土砂・流木生産と洪水氾濫の特徴

(2) 豪雨による土砂供給： 豪雨前後のLP差分

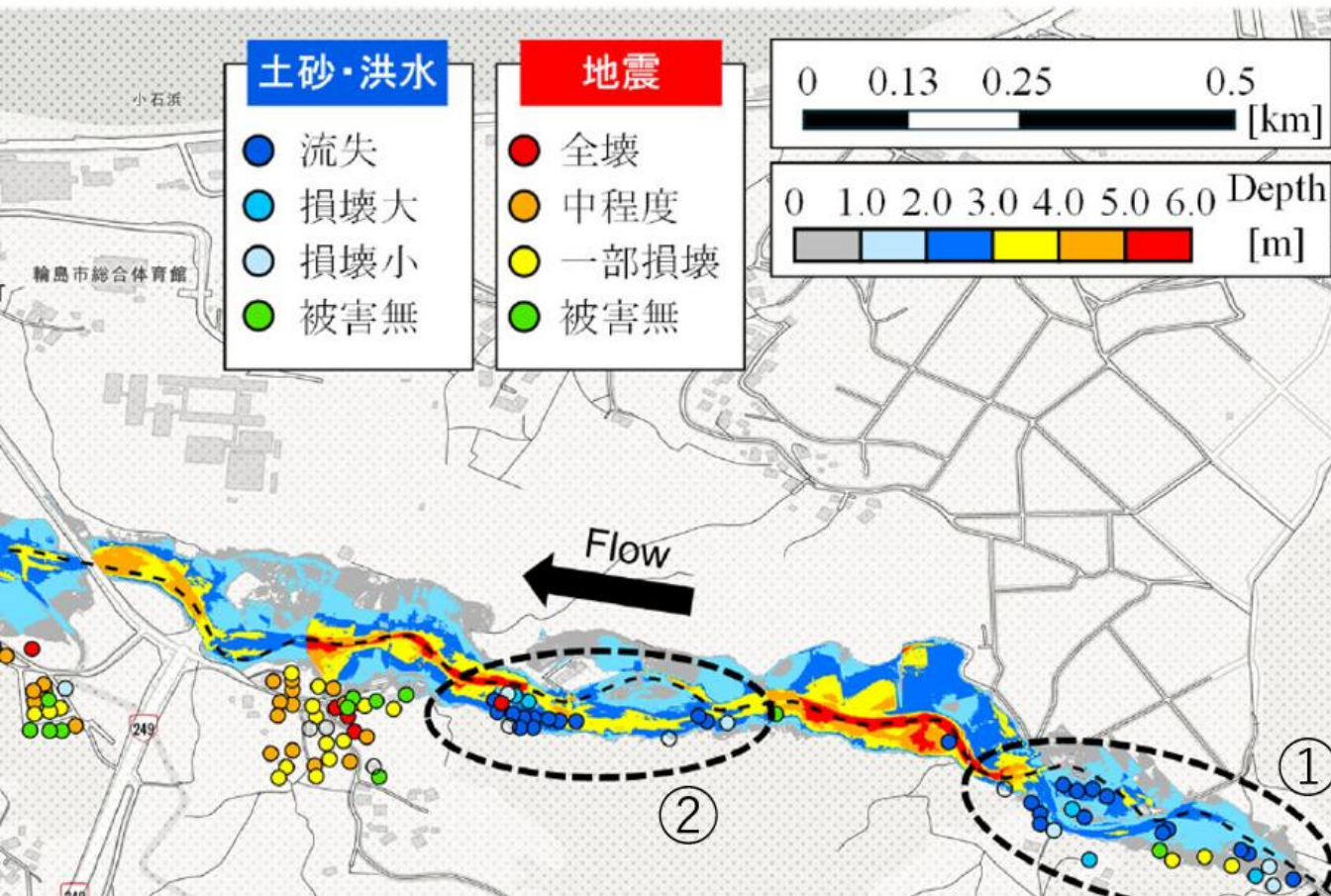


豪雨後、  
地震による堆積土砂  
はほぼ流出

- ・ 山間部には多数の崩壊・土石流の痕跡：
- ・ 山腹斜面からの豪雨による土砂供給は約 $22\text{万m}^3$ （河道侵食分を除く）。
- ・ 流木：谷出口上流の発生量は $9,860\text{m}^3$ 、約 $2,500\text{m}^3/\text{km}^2$ と非常に多い。

## 2. 土砂・流木生産と洪水氾濫の特徴

(3) 平野部の洪水氾濫：橋の流木集積により、迂回流によって多数の家屋が流失・損壊



河道の流下能力は $40(\text{m}^3/\text{s})$ 程度  
出水のピーク流量 $60\sim 86(\text{m}^3/\text{s})$   
程度と推定される。

## 2. 土砂・流木生産と洪水氾濫の特徴

\*元の河道深さは3～5m程度

(4) 平野部の土砂堆積：橋上流200～300 mに2～3 m程度の堆積（LP差分）

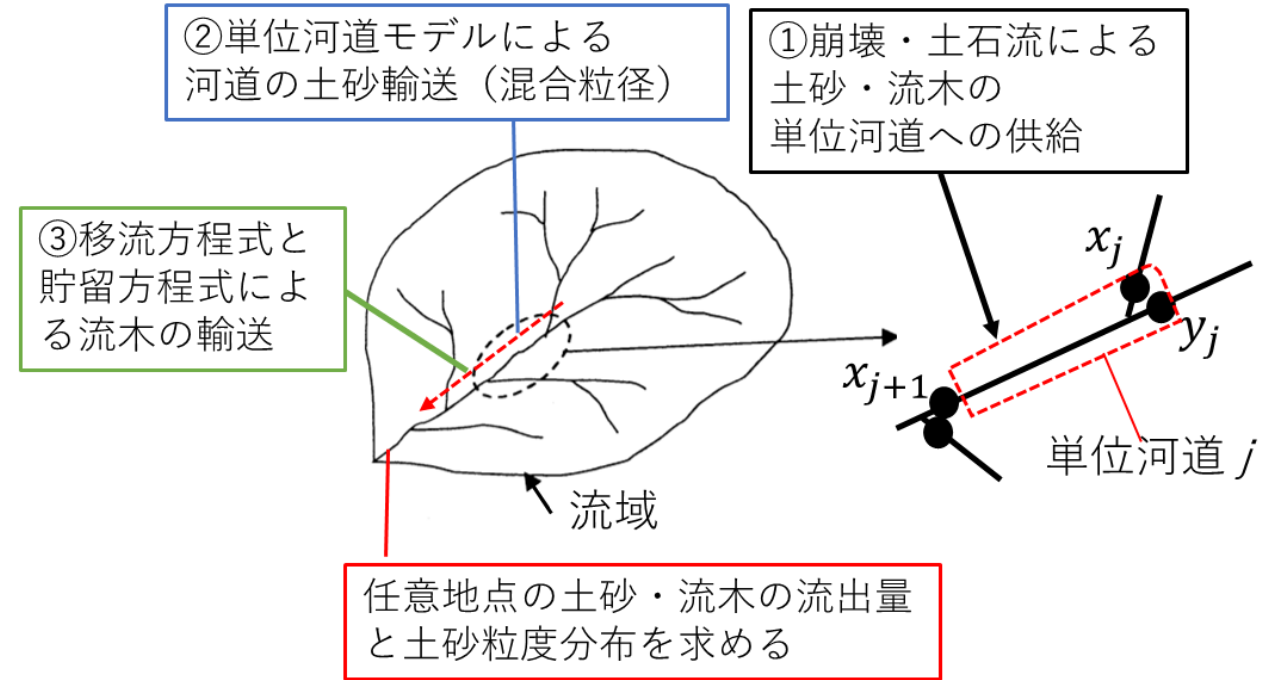


### 3. 計算条件：流域からの土砂・流木の流出

- ・流域内全ての斜面セルで斜面安定・不安定解析を行い、崩壊の発生、及び崩壊土砂・流木の移動を求める。

- ・崩土が移動して河道に到達すれば、土砂・流木は図のように合流点間を1単位とする河道（単位河道）に流入する。

- ・河道の掃流力は降雨流出（RRI）モデルにより評価する。単位河道を流域全体に配置し、流域の任意地点で土砂・流木の流出を得る。



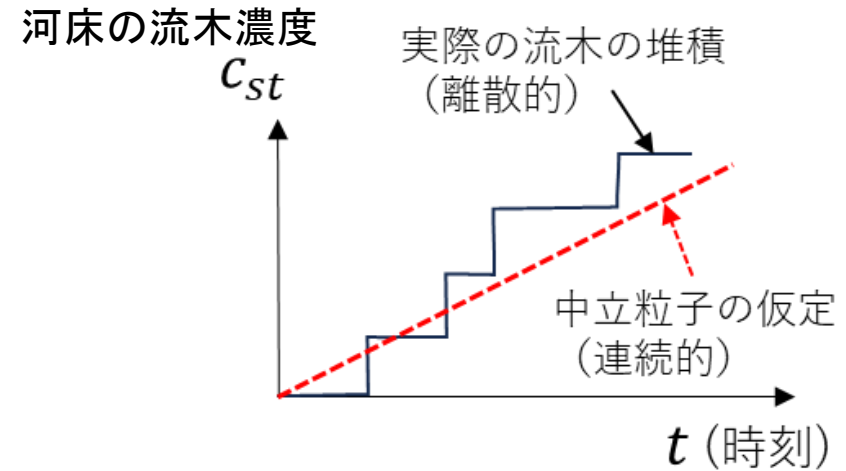
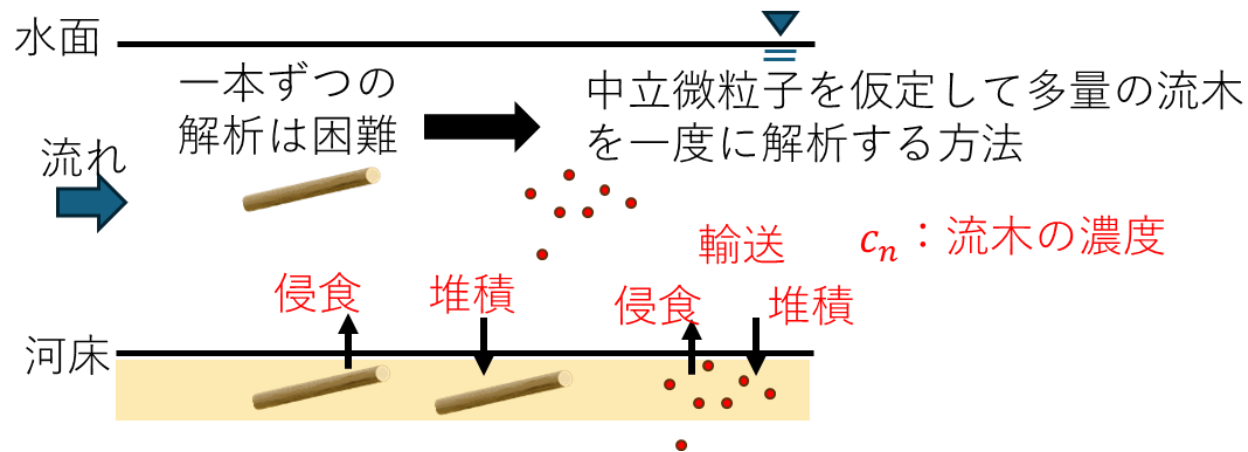
単位河道の河床位の変化：

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = \sum_i \frac{1}{(1-\lambda)B_jL_j} \{Q_{bi}(x_j) + Q_{bi}(y_j) - Q_{bi}(x_{j+1}) + Q_{si}(x_j) + Q_{si}(y_j) - Q_{si}(x_{j+1}) + \underline{p_{vi}[Q_{deb}]}\}$$

崩土の移動による土砂の流入

→ 一連の計算法はiRICに搭載され、容易に利用可能（RRI on iRIC -RSRモデル）

### 3. 計算条件：流域からの土砂・流木の流出



移流方程式

$$\boxed{\frac{\partial c_n h}{\partial t}} + \boxed{\frac{\partial c_n u h}{\partial x}} = \boxed{k_e \frac{c_{st}}{c_*} E} - \boxed{k_d \frac{c_n}{c_*} D} - \boxed{v_n c_n p_b \delta(x - x_i, y - y_i)}$$

時間変化      移流      侵食      堆積      橋への引っ掛かり

橋に流木が引っ掛かかれば、その分流水断面積が減少するものとする。

貯留方程式

$$\boxed{\frac{\partial c_{st} \Delta}{\partial t}} = -k_e \frac{c_{st}}{c_*} E + k_d \frac{c_n}{c_*} D + v_n c_n p_b \delta(x - x_i, y - y_i)$$

$c_n$  : 単位体積の流れに含まれる流木（中立）粒子の濃度,  
 $h$  : 水深,  
 $u$  : 水深平均流速,  
 $c_*$  : 静止堆積層の土砂濃度,  
 $\Delta$  : 河床に流木が貯留されている深さ,  
 $c_{st}$  :  $\Delta$ 内の河床の流木あるいは中立粒子の濃度,  
 $k_e, k_d$  : 中立粒子の場合には  $k_e = 1, k_d = 1$

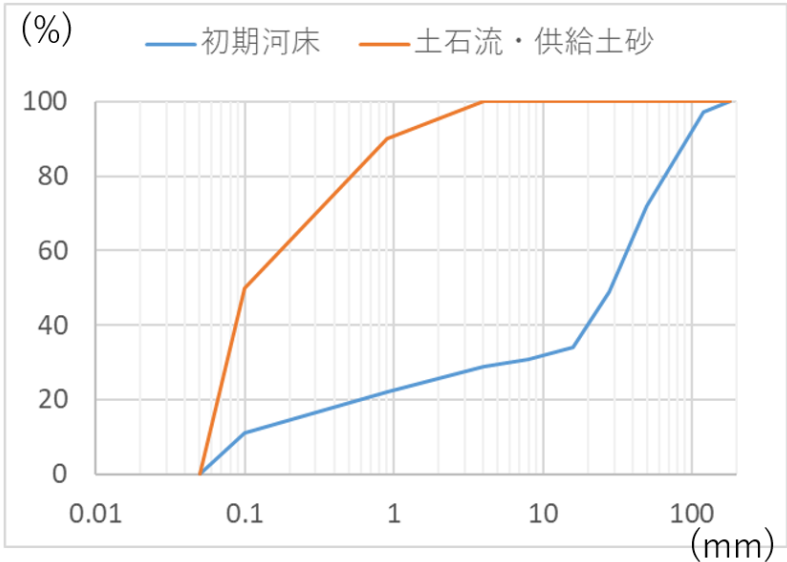
### 3. 計算条件：流域からの土砂・流木の流出

| 項目                                      | 値         |
|-----------------------------------------|-----------|
| メッシュサイズ (m)<br>(国土地理院基盤地図情報を利用)         | 10×10     |
| 土層厚 (m)                                 | 1.0       |
| N: 等価粗度係数/ n: 河道の粗度係数                   | 0.3 /0.03 |
| $\lambda$ : 空隙率                         | 0.471     |
| $\varphi$ : 内部摩擦角 (度)                   | 35        |
| 崩土の移動幅(m)                               | 10        |
| $p_f$ : 微細土砂含有率                         | 0.35      |
| c : 粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )            | 1.0       |
| $\sigma$ : 土粒子質量密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 2650      |
| 立木の密度(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )  | 0.18      |

- ・ 解析期間：2024/9/20-22(3日間)
- ・ 気象庁解析雨量データを使用
- ・ 国土地理院DEM(10mメッシュ)を使用

- ・ 崩壊・土石流の総量が約22万(m<sup>3</sup>) となるよう粘着力と内部摩擦角を調整
- ・ 勾配10° 以下を河道と定義。
- ・ 地震で生産された土砂は予め河道に設置。

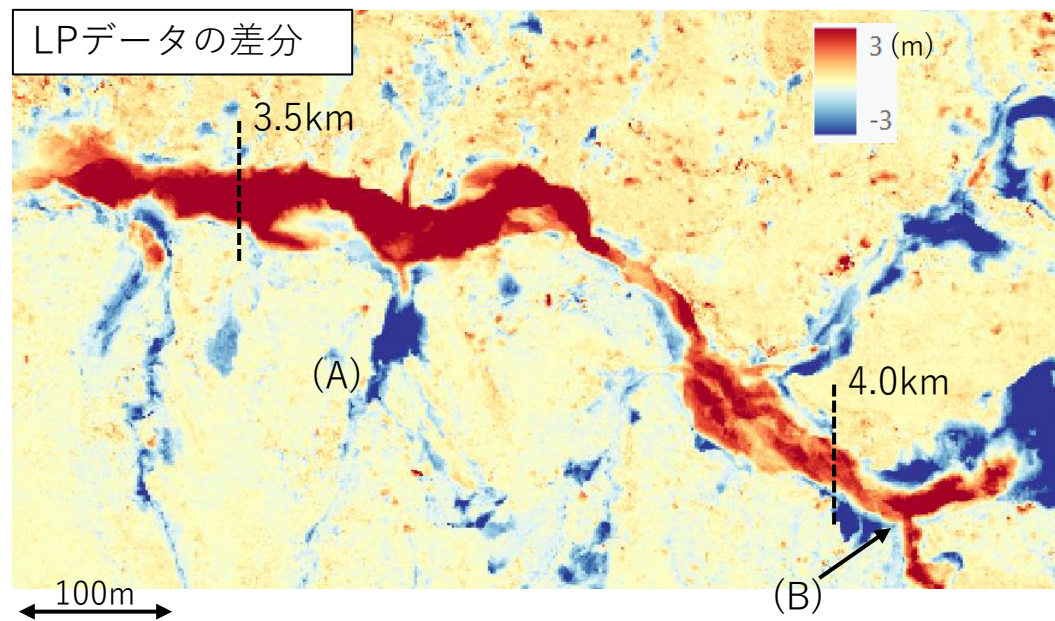
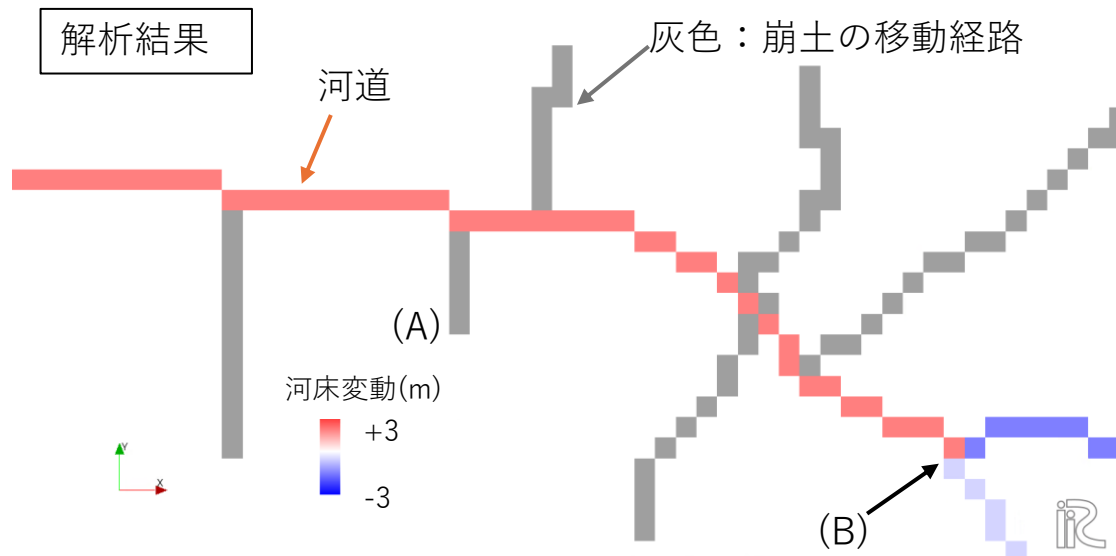
粒度分布



流木発生量：地震で約4,200m<sup>3</sup>、豪雨で約5,660m<sup>3</sup>

|       | 土砂・流木の考慮 | 地震による河道への供給 |
|-------|----------|-------------|
| Case1 | ×        | ×           |
| Case2 | ○        | ×           |
| Case3 | ○        | ○           |

## 4. 計算結果：流域からの土砂・流木の流出



### 【山地域：解析と実測(LP差分)との比較】

- ・ 崩土の移動経路(解析)と、実測の侵食位置は概ね一致
  - ・ (A) 実際の崩壊は、解析より上流側で発生
  - ・ 土層厚を1 mとしたが、実際の谷の侵食は2~3 mと深い。
  - ・ (B) 合流点より下流の河道堆積は概ね対応
- 移動経路は再現できているが、崩壊位置・侵食深の推定に課題

# 4. 計算結果：流域からの土砂・流木の流出

● 水位（塚田小橋） ● アメダス（輪島）

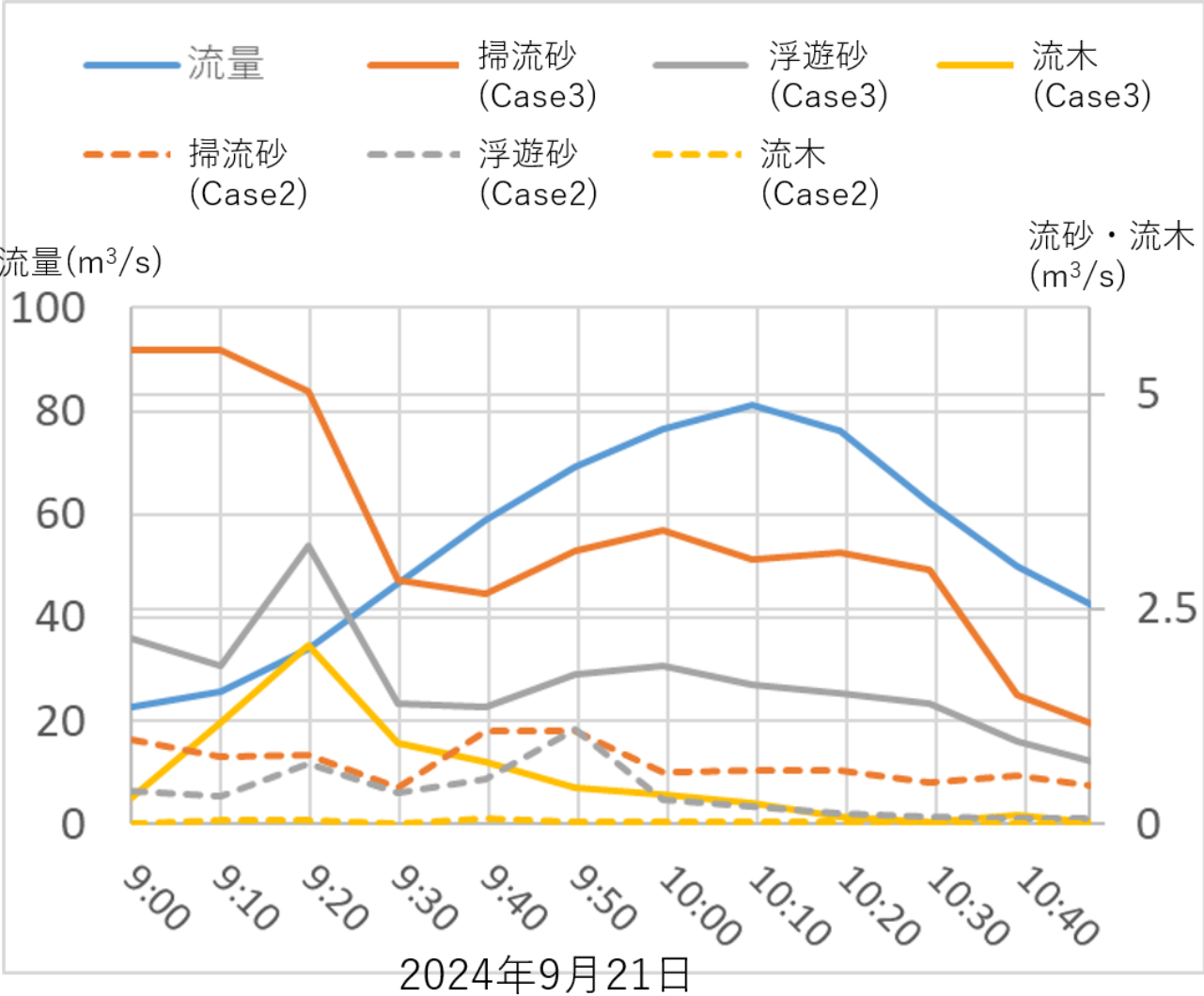


|       | 土砂・流木の考慮 | 地震による河道への供給 |
|-------|----------|-------------|
| Case1 | ×        | ×           |
| Case2 | ○        | ×           |
| Case3 | ○        | ○           |

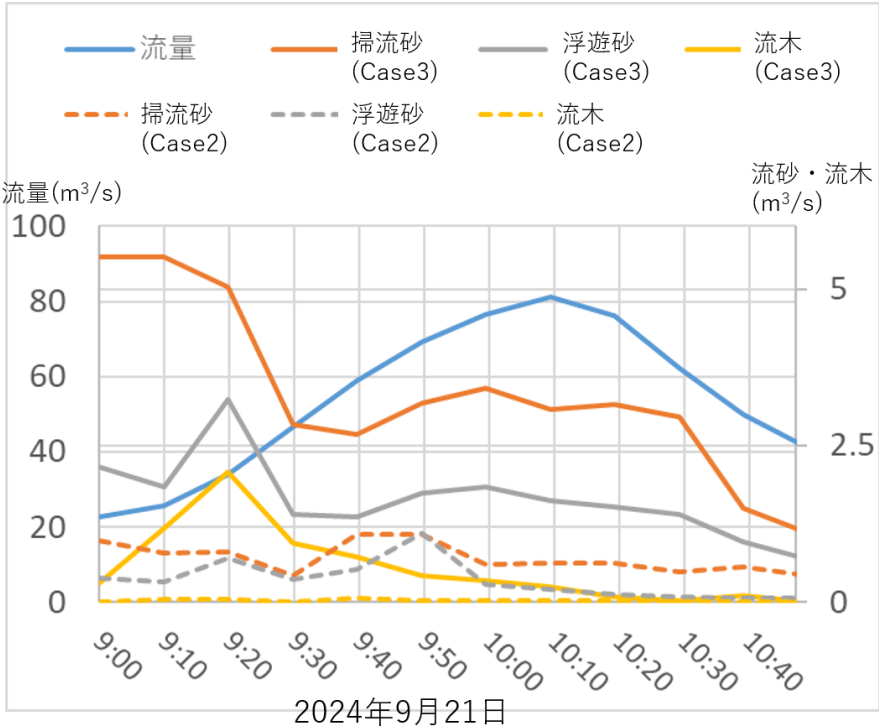
【谷出口での総流出量】  
Case2：土砂 4.8万m<sup>3</sup>  
流木 800m<sup>3</sup>  
Case3：土砂 12万m<sup>3</sup>  
流木 5,700m<sup>3</sup>  
※土砂・流木は流量ピークより先行

9/21 9:25 床下浸水程度  
9/21 9:28 流木大量流下・閉塞  
9/21 9:34 最初の建物流失  
9/21 9:56 最後の通話記録

## 解析結果（谷の出口の地点）



# 5. 計算条件：平面二次元解析

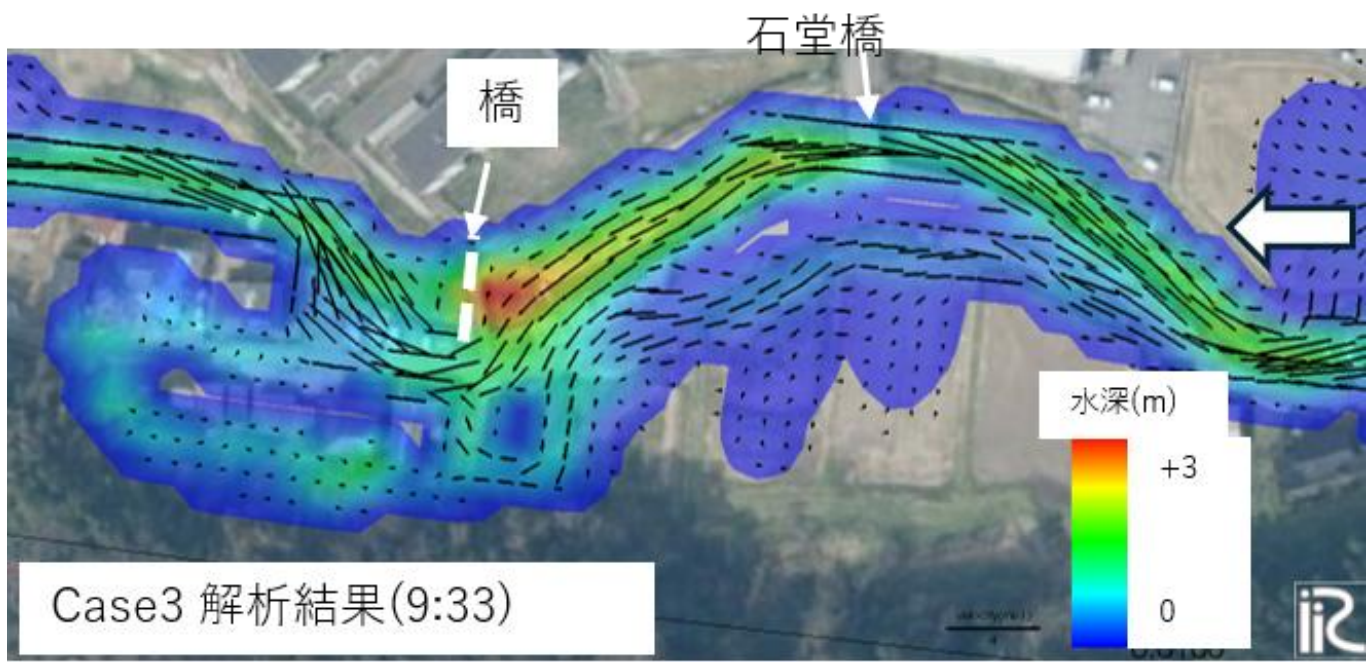


- ・ 流域モデルの水・土砂（粒度分布、浮遊砂濃度）・流木の流出の時系列を上流端の境界条件として設定。
- ・ 区間内に7つの橋を設定。橋の高さに達した場合、流木の全量を捕捉させる。
- ・ 計算格子：4m
- ・ 被災前に存在した建物は不透過な障害物として設定。

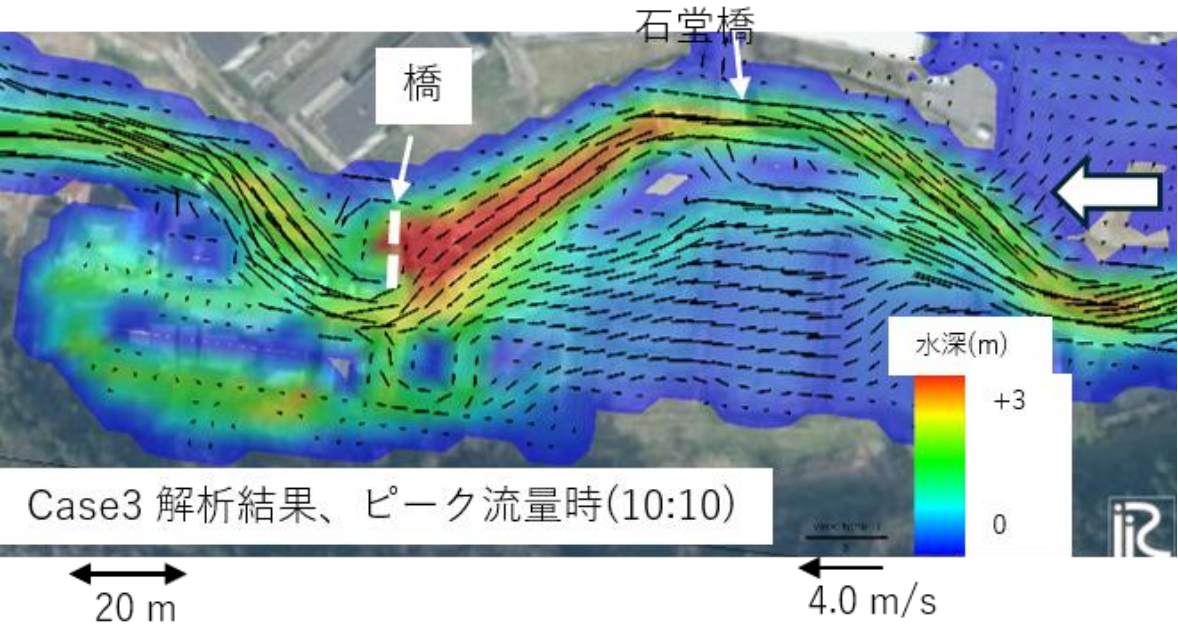
|       | 土砂・流木の考慮 | 地震による河道への供給 |
|-------|----------|-------------|
| Case1 | ×        | ×           |
| Case2 | ○        | ×           |
| Case3 | ○        | ○           |



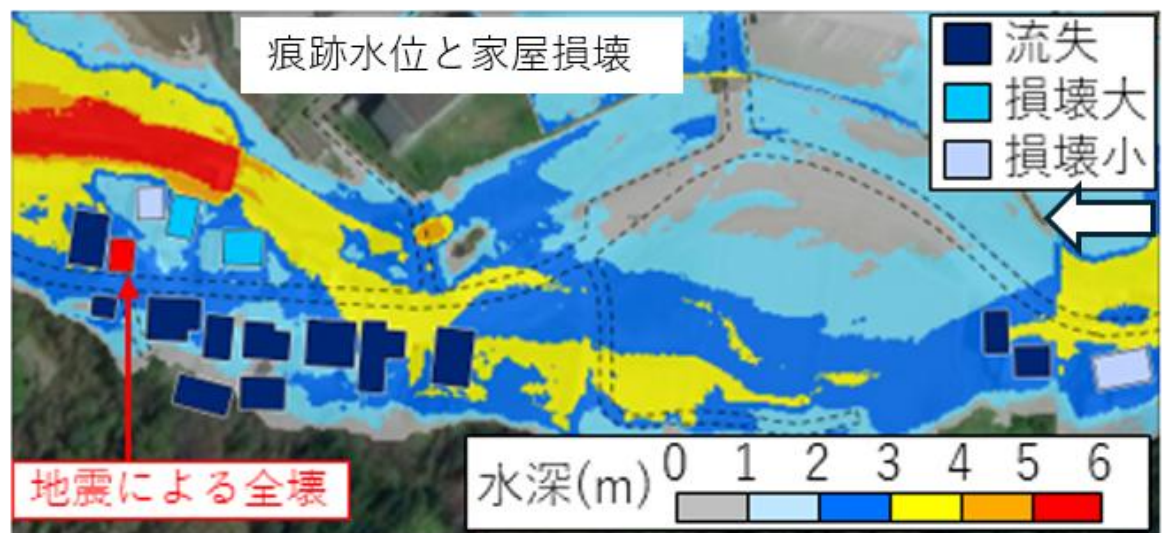
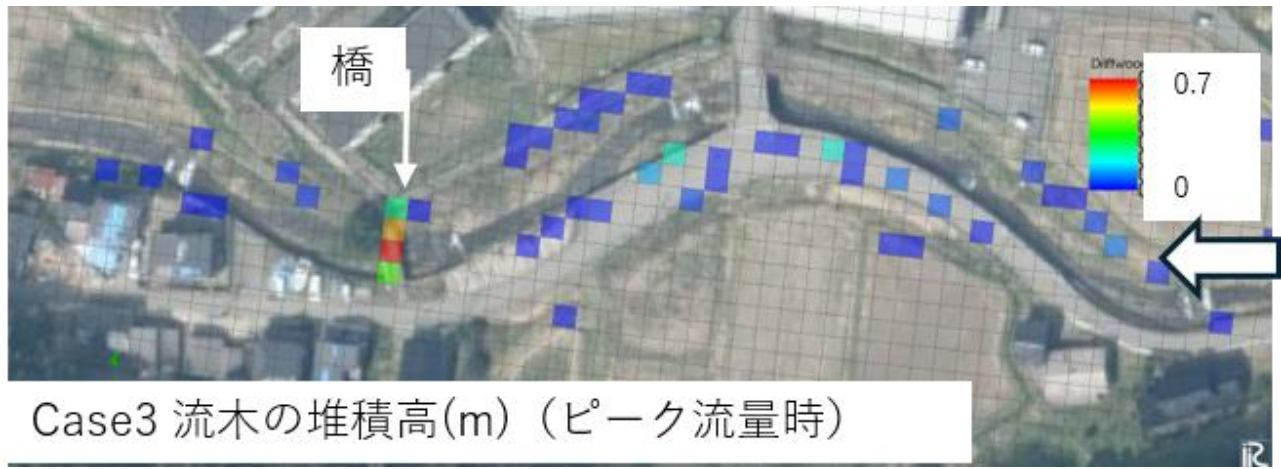
# 6. 計算結果：平面二次元解析：橋梁の閉塞と氾濫の開始時



# 6. 計算結果：平面二次元解析

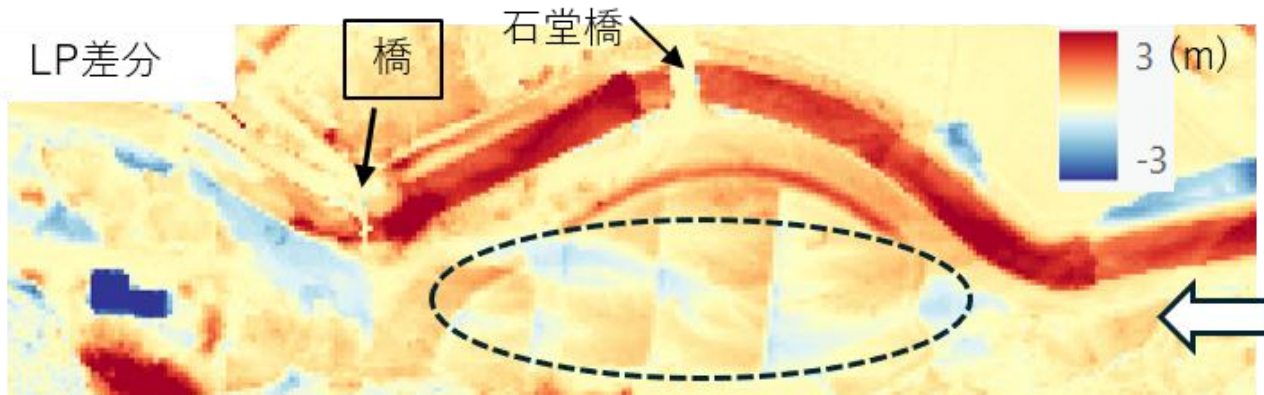


Case3 流木の堆積高(m) (ピーク流量時)

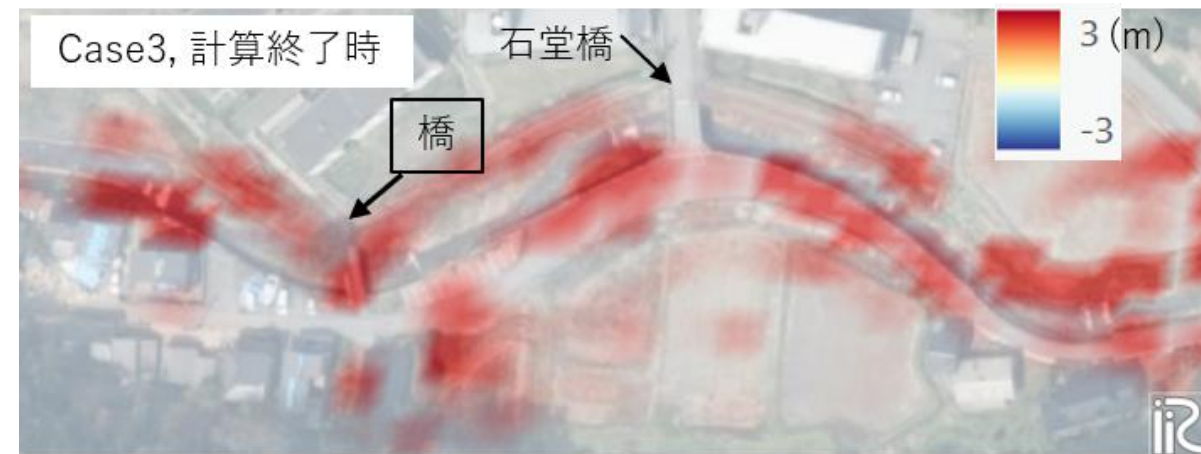
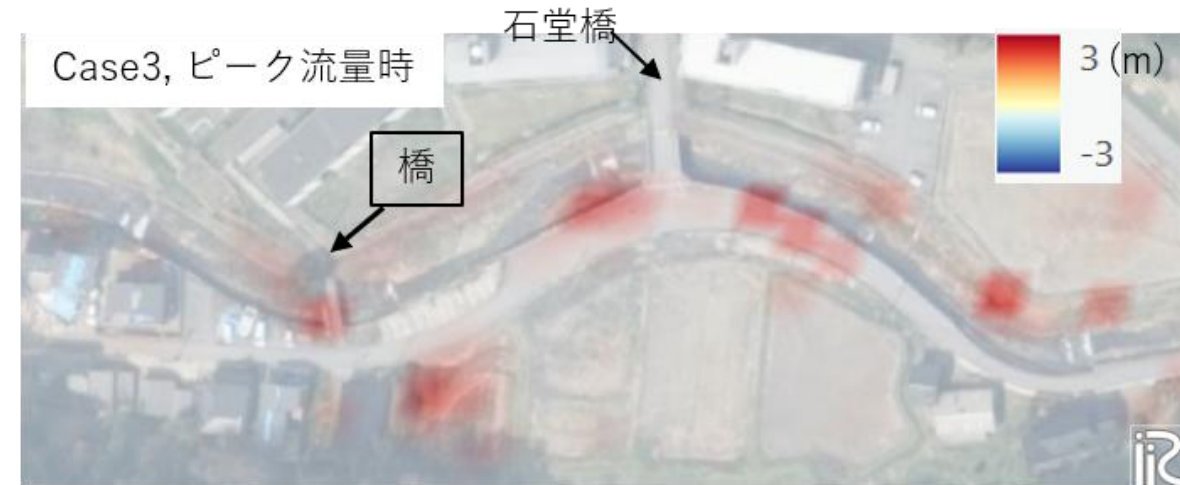


## 6. 計算結果：平面二次元解析

：ピーク流量時



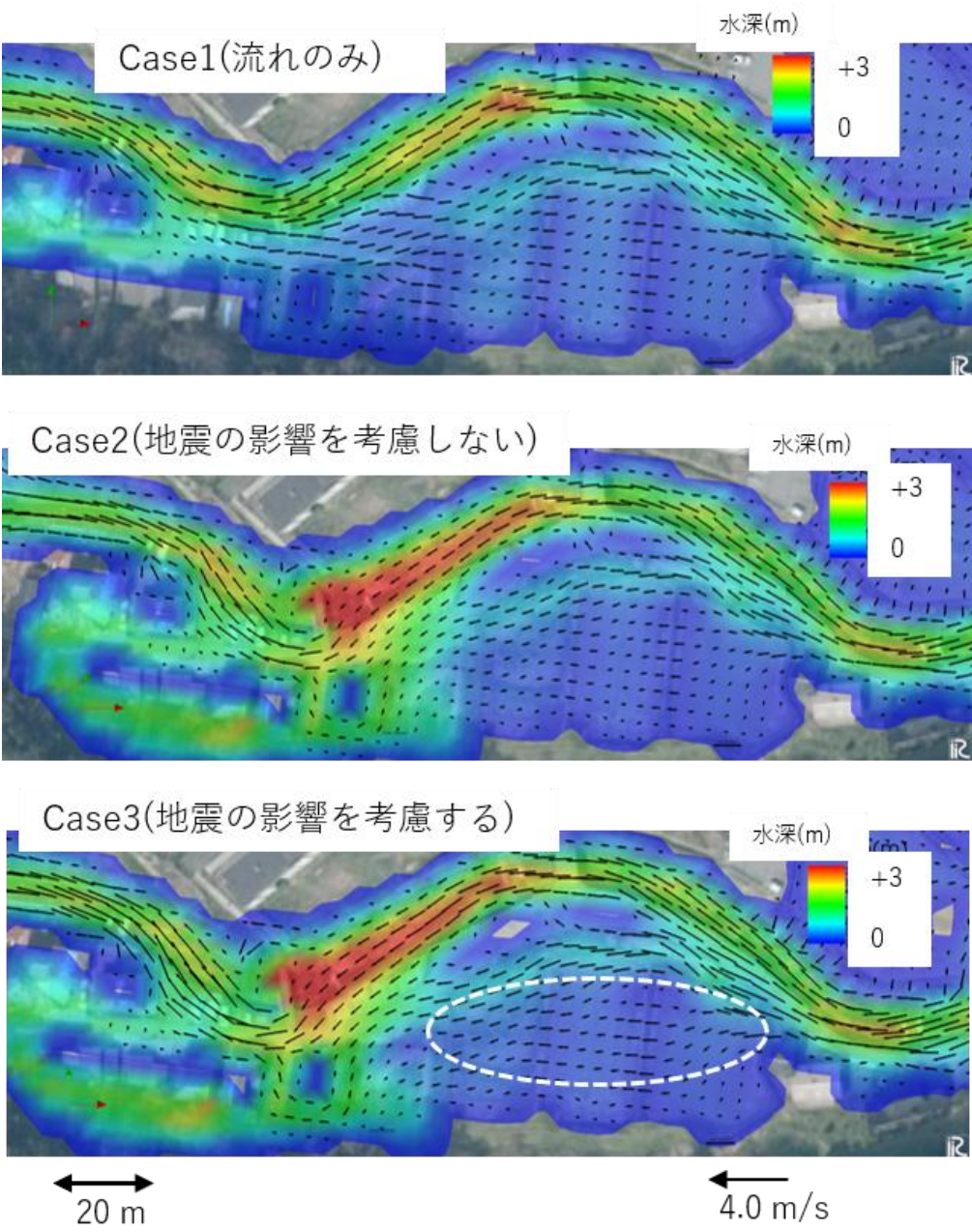
- ・ 計算は主流の位置の変化を評価できていない。
- ・ ピーク流量後に徐々に土砂が堆積した。→もしくは計算が河道の土砂堆積を評価できていない。



20 m

# 6. 計算結果：平面二次元解析

：各ケースの違い



# 7. 結論

## 流域からの水・土砂・流木の流出 (RRI-RSR model)

- ・水・土砂・流木のハイドログラフを得る過程で、土砂の総量が合うように、粘着力・内部摩擦角、粒度分布を設定している。結果、少なくとも氾濫の発生時刻等は、概ね実現象と対応している。
- ・山地の崩壊による土砂生産について、発生位置や侵食深の設定に課題がある。

## 多量の土砂・流木を含む洪水氾濫

- ・橋梁に流木が捕捉されて閉塞し、これを迂回する流れと、氾濫原を直進した氾濫流とが合流することで、早い流れが生じる現象は評価できている。
- ・一方で、河道から氾濫原に主流の位置が変化する過程の評価は不十分である。また、計算結果が河道の土砂・流木堆積を過小評価している可能性もある。