

2023年度河川技術に関するシンポジウム

# 九州北部豪雨対応で行った 沖積砂礫河川の川づくりとその検証

---

株式会社西日本科学技術研究所

○福留康智・宮崎慈子

# 研究の背景と目的

## ●既往研究と課題

### ◇山地石礫河川の河床環境対策

【分散型落差工（福留、2011）】

- ・山地石礫河川の礫列構造から考案
- ・自然石の空積みによる横断構造物

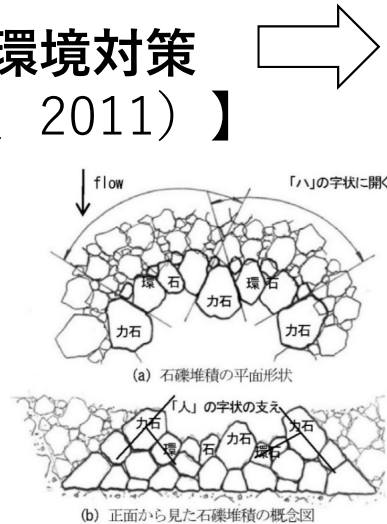
⇒河床低下対策かつ

河床（瀬・淵）環境の改善に有効  
交互砂州形態の中小河川にても活用

※中下流域の河道幅の広い（瀬・淵が面的（広域）に交互に現れる）大河川では不適

## ●本研究の目的

豪雨被害を受けた沖積砂礫河川における治水と環境の両立を目指した川づくりのモニタリング調査による評価検証



### ◇沖積砂礫河川の河床環境対策

○面的（広域）の瀬づくり対策

【置石工（福留ら、2021）仁淀川中流域】

- ・大河川での瀬づくり対策工  
→置石を面的に配置
  - ・仁淀川中流域で長期にわたって安定
- 瀬淵環境の創出と維持



【水制工、置石工（福留ら、2022）役勝川】

- ・水制工  
洗掘対策と淵の安定
- ・置石工  
河床低下対策とリュウキュウアユの産卵場の創出



- ・河床形態、河床環境が長期に渡って安定

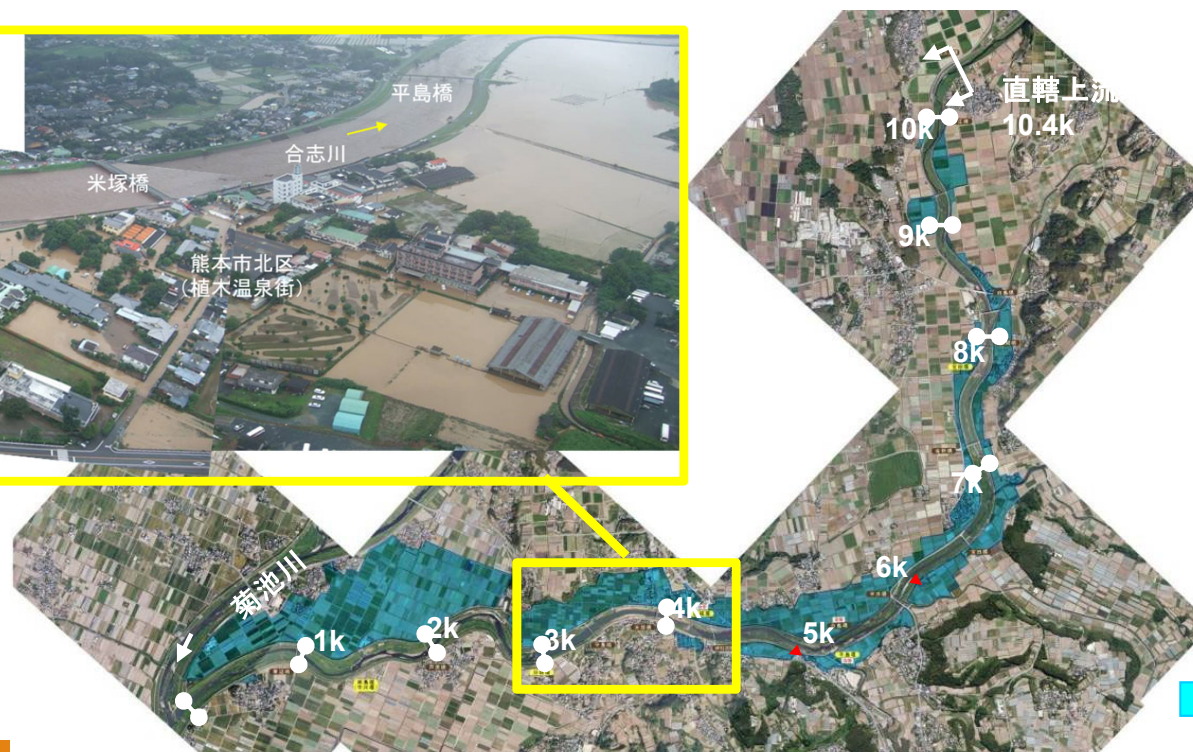
# 区間の概要

## ◇合志川

- ・ 一級河川菊池川の一次支川
- ・ 本来、交互砂州形態（Bb型）となるところが、整備された護岸へのみお筋の擦り付き，河道中央での直進化など水路形態が固定化した状態となっていた
- ・ 九州北部豪雨（平成24年7月11日～14日）により、はん濫危険水位以上の水位が長時間続き，舟島橋から高江橋区間で溢水が生じ，甚大な被害が発生  
佐野橋水位流量観測所 流量：750m<sup>3</sup>/s超，  
水位：計画高水位T.P3.30mを超過，観測史上最高水位T.P4.92mを記録

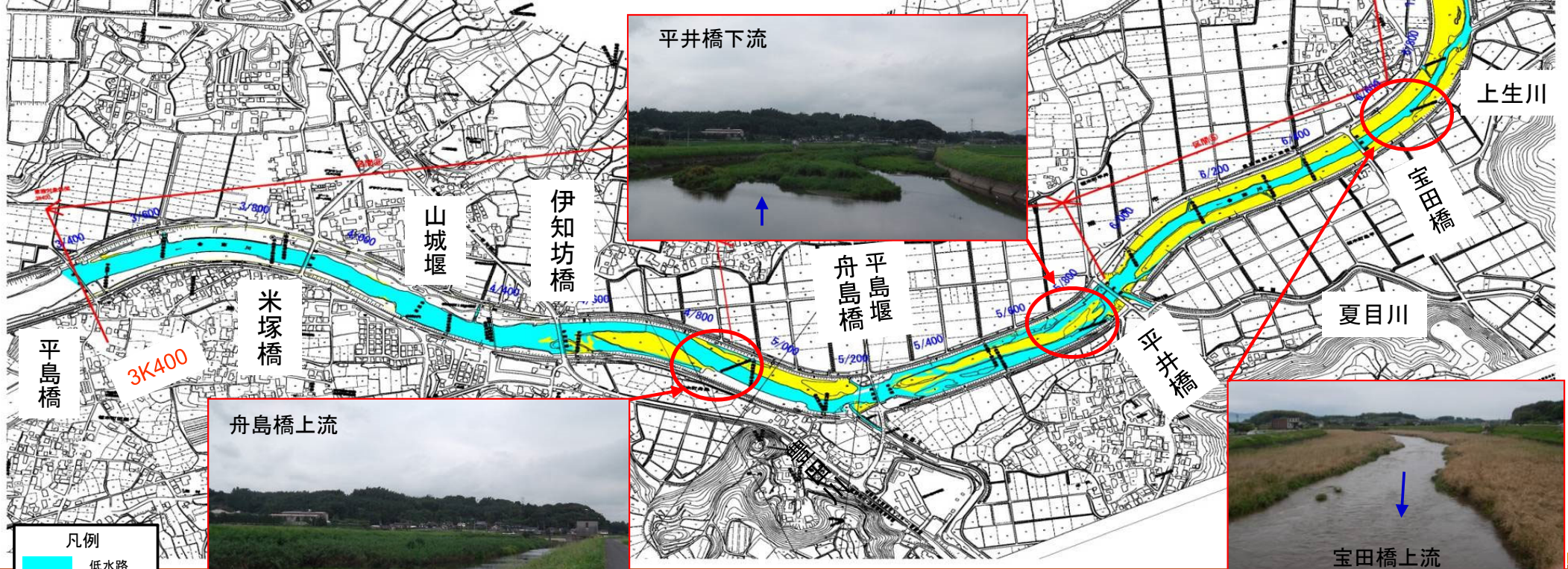


流程：約27.7km，流域面積：214km<sup>2</sup>



■ : 浸水区域（内水含む）

# 区間の概要 (川づくり実施前：水路形態の固定化状況)



凡例

<span style="background-color: cyan; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	低水路
<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	堆積箇所

# 区間の概要 (川づくり実施前：水路形態の固定化状況)



# 区間の概要

- ・ 緊急的応急対策工事による対応のほか，合志川における再度災害防止に向けて，災害対策等緊急事業にて河床掘削等を実施

(コンセプト) 合志川のもつ様々な課題を同時に解消することを考えて対策を行う

## 合志川の課題

平成24年7月洪水と同規模の洪水から外水氾濫を防止する  
= 課題1「流下能力の確保」の上で，  
合志川の課題2～4の解消を目指した河床形状とその対策を検討

### 課題2「河床の二極化の抑制」

みお筋の護岸擦り付き，直進化による深掘れと砂州の土砂堆積の発達

### 課題3「河床環境（瀬・淵）の再生・保全」

単調になった水路

### 課題4「スレーキング現象の解消」

確認された軟岩露出部の，さらなる地盤の不安定化とそれによる河床低下の進行

課題2・3



課題4



# 設計手法（治水と環境が安定する河床形状の設定）

## ●河床形状

自然の営力を最大限に有効活用して、流水が最も自然に流れる形状を想定した水路形態を設定

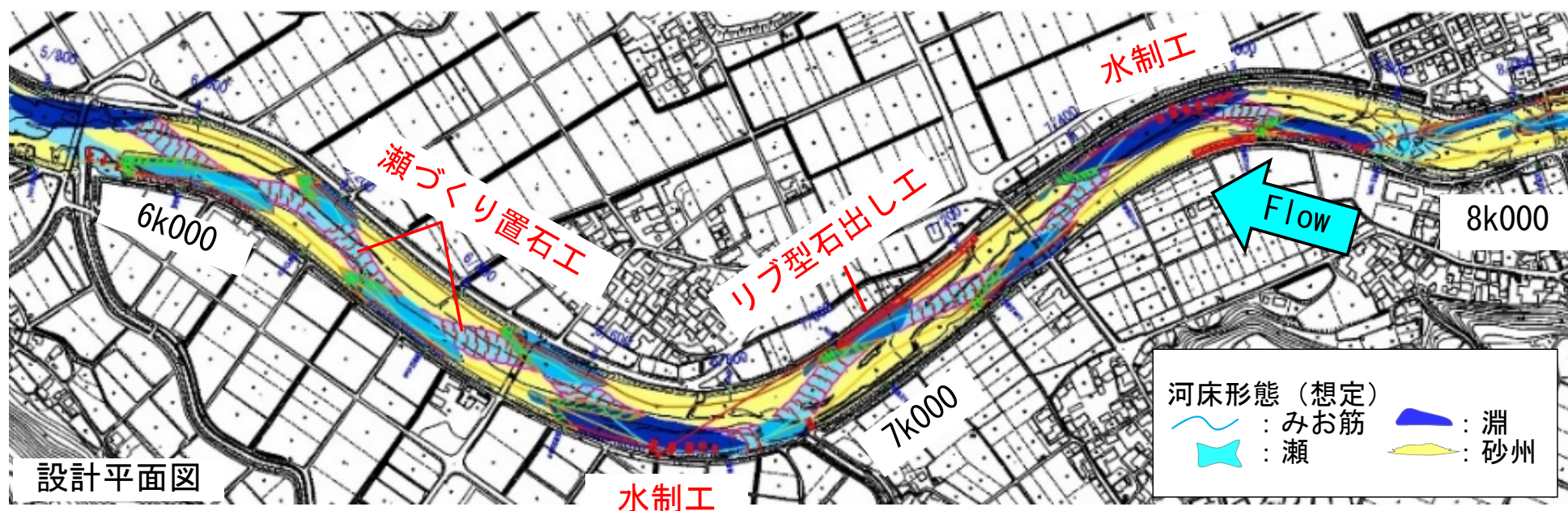
◇平面形状：福留（2011）の示した自然河床に近い形状の考え方を適用

- ・水路の蛇行形態

設計区間の河道形態に着目

蛇行河道が連続する区間：M型淵の概ねの箇所を特定し、淵と瀬を設定

直線河道を挟む区間：水路蛇行波長より淵を設定，砂州波長理論により確認  
河床に変化を及ぼす要因（支川や構造物等）を反映，設定



# 設計手法（治水と環境が安定する河床形状の設定）

## ●河床形状

### ◇縦断，横断形状

#### ・縦断形状

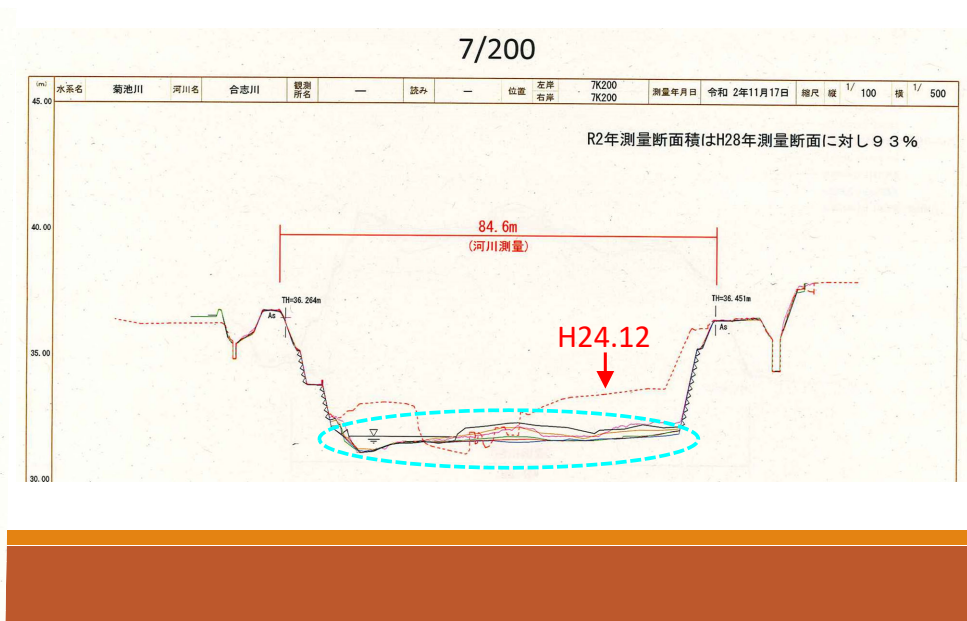
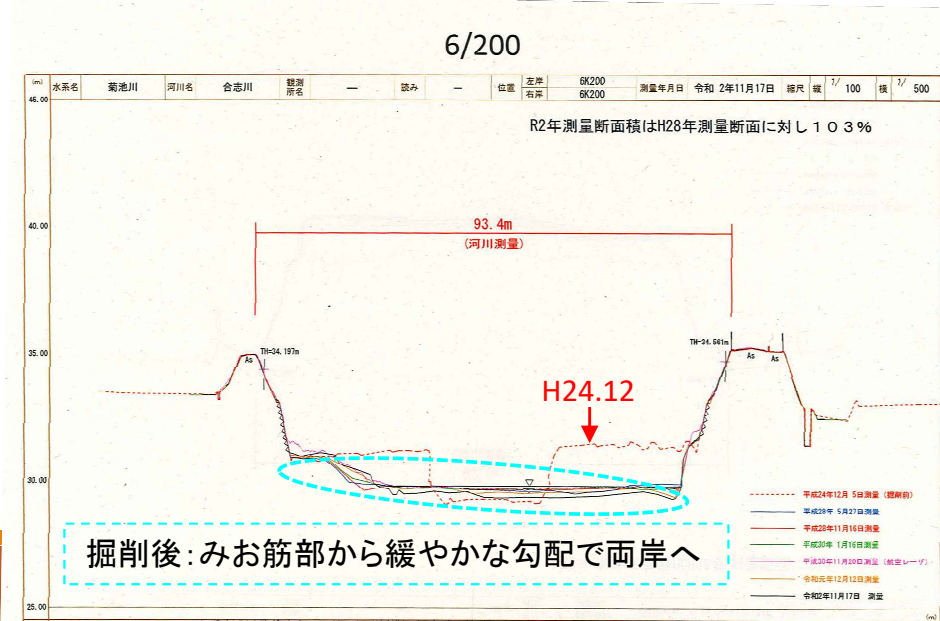
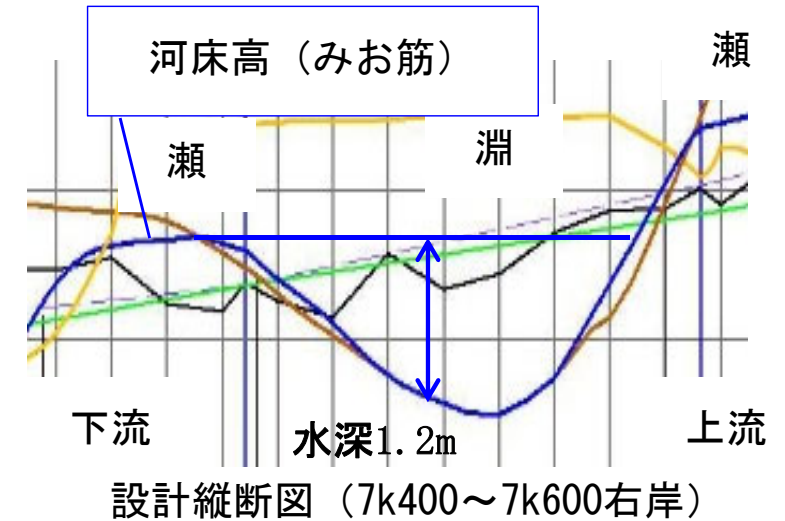
瀬の標高：設計河床高（掘削量より設定）

淵の最深部：計画河床高-1.2m  
（近傍湾曲部の最大水深値）

としてスムーズに接続

#### ・横断形状

想定した自然形状の維持を目的とし、出水時にも掃流力（流速）が急変する状況を作らないよう、みお筋部の河床高 = 最深河床高として、砂州部も含めた船底型河道形状（浅野ら,2010）を設定





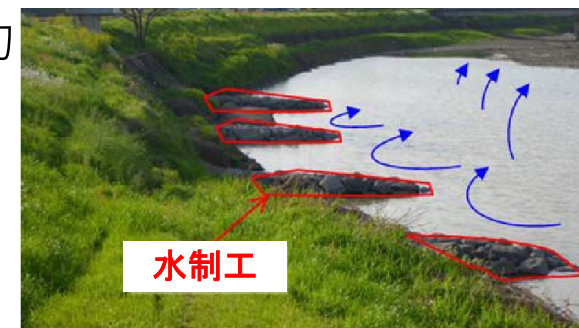
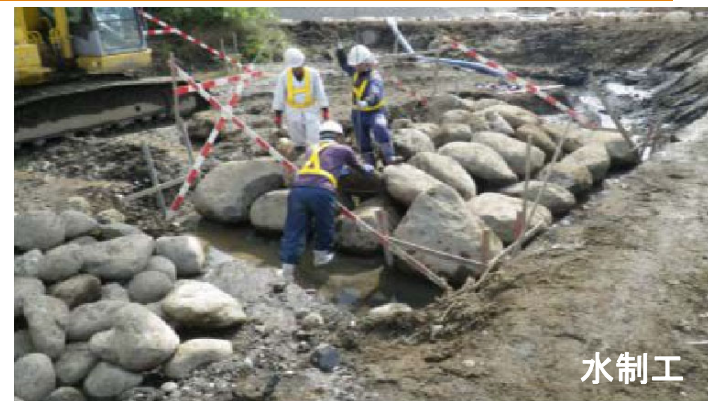
# 設計手法（設定した河床を創出・維持できる対策工）

## ●対策工の設置

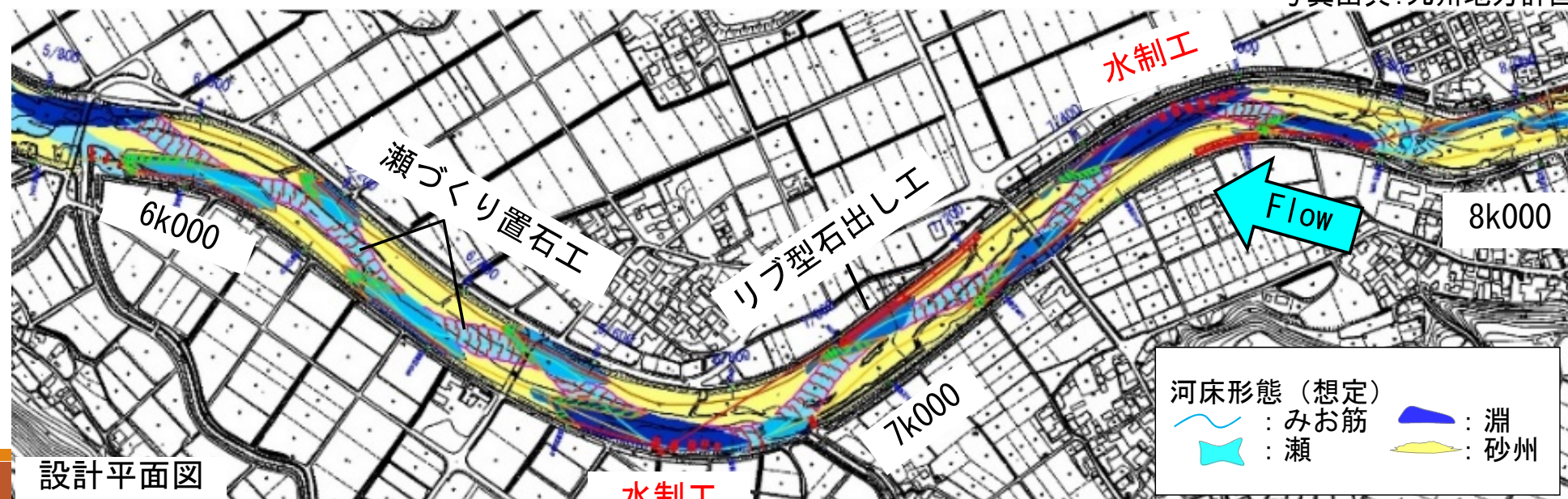
治水機能を有し、河床変動に対して再創出や維持ができるような対策工の設置を検討

### 【水制工】

- ・蛇行河道が連続する区間（湾曲部，M型淵）に設置
- ・連続する偏倚流で創出した水壁に高速流があたり，せん断力が減勢・流下＝自然な深さの淵が護岸から離れて創出
- ・水制間を狭める，上流からの流れに対して上向きに設置＝確実に河心側へ流れを刎ね，岸へ到達する流れを遮断



写真出典：九州地方計画協会



# 設計手法（設定した河床を創出・維持できる対策工）

## ●対策工の設置

治水機能を有し，河床変動に対して再創出や維持ができるような対策工の設置を検討

### 【リブ型石出し工】

- ・直線河道を挟む区間（水路外岸側の淵）に設置
- ・突起状に石材を配置＝岸から流れを離し，水路蛇行特性に応じて、下流の瀬へ至る流向，安定した河床を形成

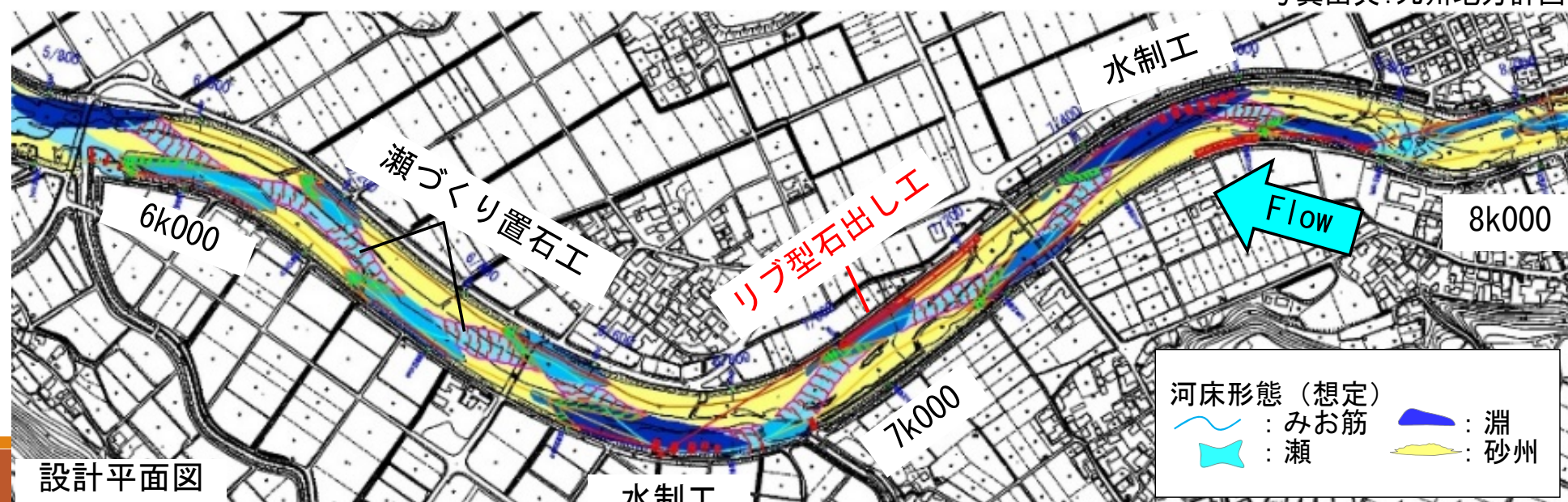


リブ型石出し工



リブ型石出し工

写真出典：九州地方計画協会



設計平面図

水制工

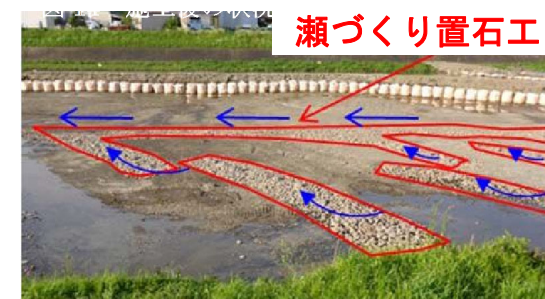
# 設計手法（設定した河床を創出・維持できる対策工）

## ●対策工の設置

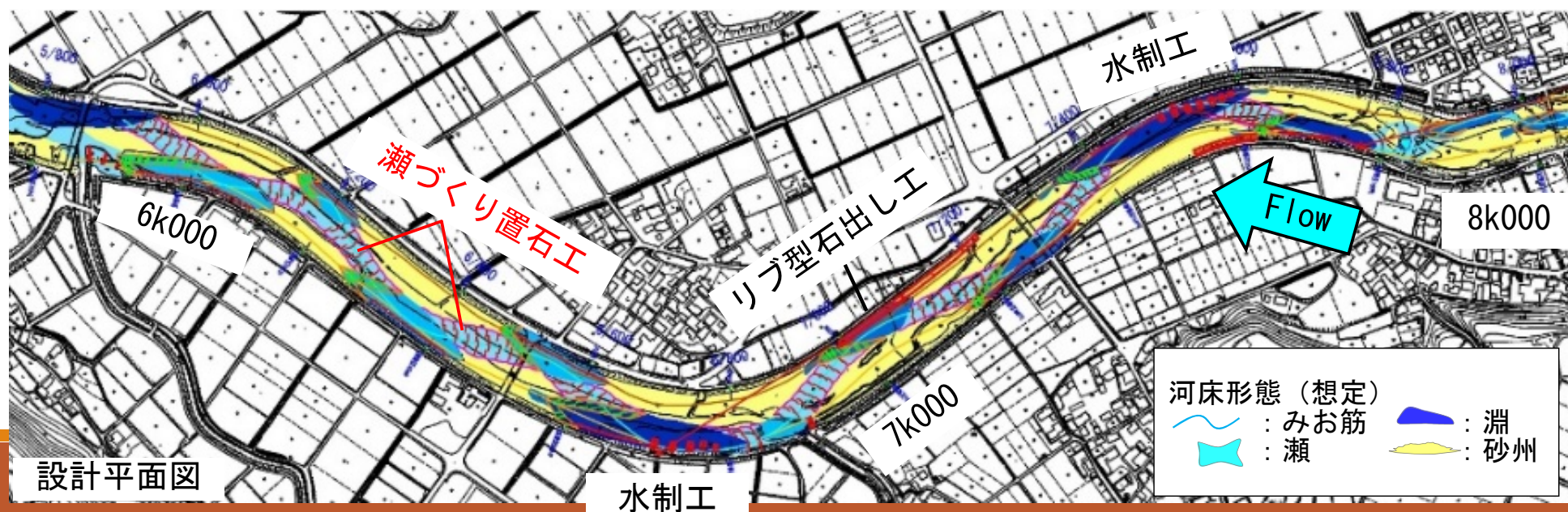
治水機能を有し、河床変動に対して再創出や維持ができるような対策工の設置を検討

### 【瀬づくり置石工】

- ・礫による軟岩層の被覆 = 露出による河床低下の防止
- ・石材の安定計算による大きさの考え方（福留,2011）と石礫河川の河床変動における巨礫の重要性の指摘（福岡ら,2008）を適用
- ・力石（直径0.5m）単体ではなく、数石をまとめた設置範囲を広域に床掘し、周囲に馴染むように礫の粒径を徐々に小さくしながら埋め戻し



出典：九州地方計画協会



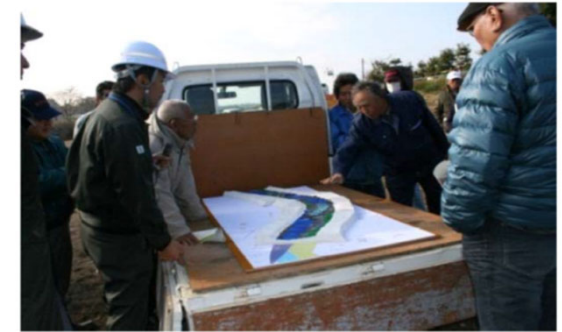
# 地域との合意形成

- ◇ 災害対応である上に、水制工など伝統工法を用いて各課題の解消を図る画期的な工事  
 = 地域の合意形成を得ることは非常に重要  
 ⇒ 河川工事の内容、施工後に情報共有と意見交換を行うための勉強会を設置・開催
  - ・ 地元住民代表者， 漁業協同組合， 堰管理者， 関係自治体， 川づくり専門家， 施工業者の 関係者参加
  - ・ 紙面だけでなく 模型を使用した説明， 施工中も広報紙の作成・回覧による現場の見える化を図るなど， イメージの共有を工夫

- ◇ 自然素材のみで対策工を構築し、効果的に各課題の解消を図ることを目指すが、材料が一様でなく難解かつ工事が長区間・長期間に渡る  
 = 地元施工業者が設計の意図を理解して工事に反映できること、河川内での安定した空石積み技術を身に付けることが重要  
 ⇒ 工事着手前に三者協議も開催
  - ・ 発注者， 設計コンサルタント， 施工会社が参加
  - ・ 工法が地域に根差すよう工夫

勉強会（工事着手前）

出典：九州地方計画協会

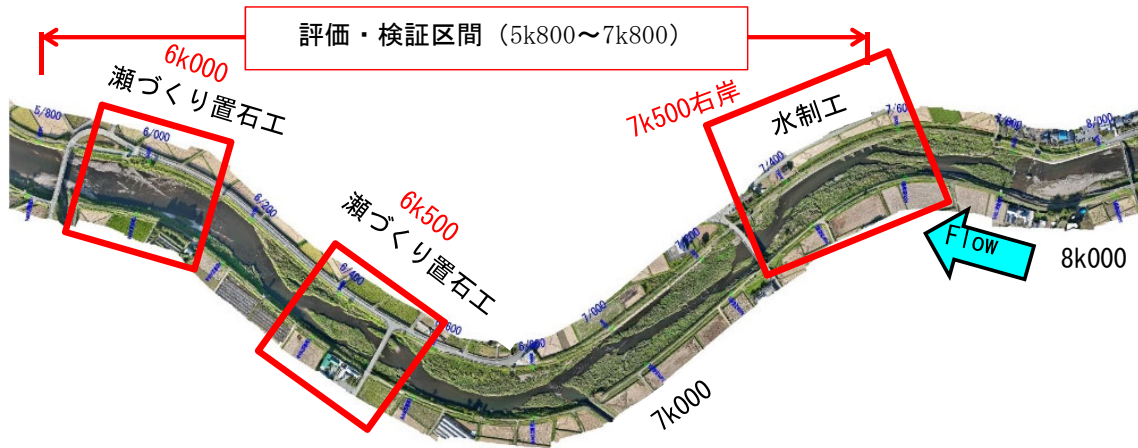


広報紙（出典：菊池川河川事務所）

勉強会（工事着手時）



# 現状の評価・検証



経年変化：6k000  
瀬づくり置石工設置箇所



工事前 2013. 4

完成7年6か月後2022. 10

経年変化：6k500 瀬づくり置石工設置箇所



工事前 2013. 4

完成直後 2015. 3

完成8ヶ月後 2015. 11

完成3年7ヶ月後 2018. 10

完成7年4ヶ月後 2022. 7

経年変化：7k500 水制工設置箇所



工事前 2013. 4

完成直後 2014. 4

完成1年8ヶ月後 2015. 11

完成4年6ヶ月後 2018. 10

完成8年4ヶ月後 2022. 7

# 現状の評価・検証

## ◇出水履歴

- ・ 施工後、規模の大きな出水は経験なし（流量最大318m<sup>3</sup>/s, R2.7豪雨）
  - ・ 時間雨量30mmを越えるいわゆる激しい雨や近年の傾向である継続時間の長い出水は経験
- 合志雨量観測所：最大1時間雨量59mm（H29.7豪雨），24時間雨量245mm（R3.7）

## ◇物理環境面からの評価・検証

### ● 平面的評価・検証（無人航空機撮影より以下を確認）

- ・ 湾曲部2箇所（6k700左岸側，7k500右岸側）  
他箇所にも大きく安定した淵が創出，水路の蛇行形態も設計図に近い経路を辿っている
- ・ 6k200から下流  
平島堰湛水区間のため，川幅全体に水路が広がり河床形態が維持されていないと検証

⇒ 概ね平面的に見た河床形態は創出・維持ができていると判断

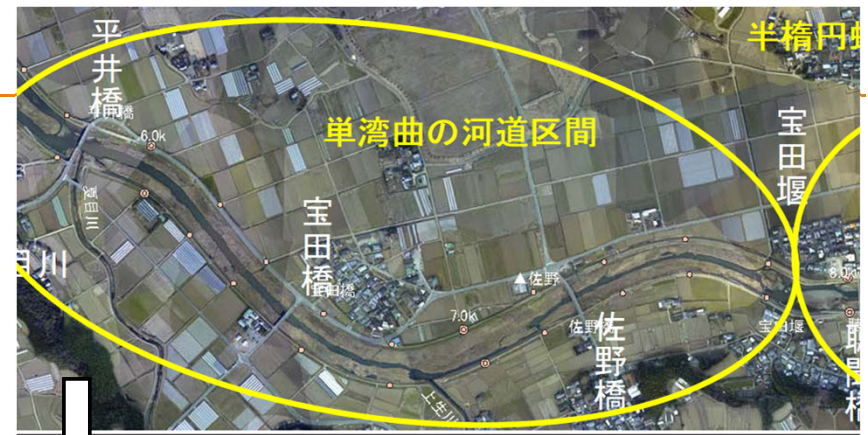


# 現状の評価・検証

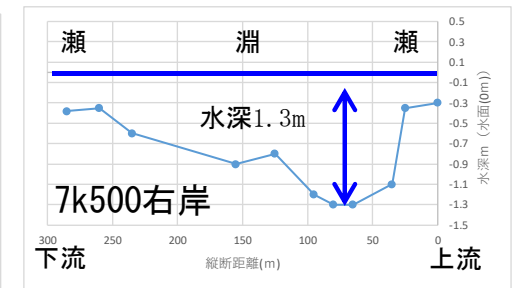
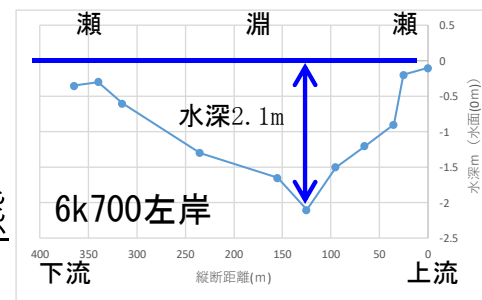
## ◇物理環境面からの評価・検証

### ●縦横断的评价・検証

- ・施工前：直線的で単調な水路
- 施工後：蛇行しながら静かな水面と波立つ水面が繰り返される水路へと変化

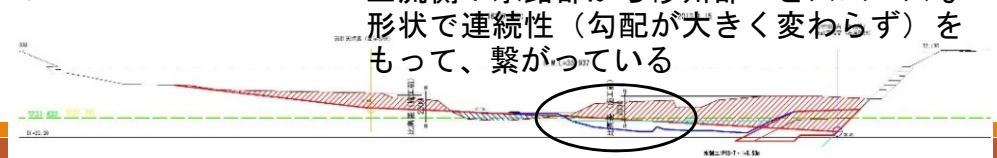


縦断面図



- ・縦断面図（簡易測量結果）にて、明確な淵（6k700左岸側，7k500右岸側），その上下流に瀨が維持されていることを確認
- ・淵の深さに生じた差は、河道形状により想定との差異が生じるためと検証  
 7k500右岸側：湾曲部の水衝部  
 6k700左岸側：直線河道で水路蛇行から続く水衝部
- ⇒ 上流からの流れが岸側に届くことなく、治水面での効果は果たしたうえでの差異であることから、縦断的に見た河床形態は創出・維持ができていると判断

横断面図（7k500右岸）



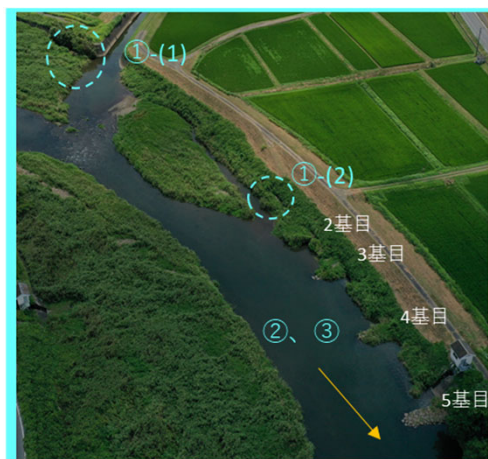
- ・7k500地点の横断面図より、深みと水路部から砂州への連続性が維持されていると判断

# 現状の評価・検証

## ◇従来の課題に対する評価・検証

### a) 流下能力の確保（課題1）

- ・河床掘削形状：維持
  - ・対策工：概ね維持
- = 今後の維持も期待できる



**宝田橋上流**

①**構造物の状態**  
 (1)支川合流点上流の水制埋没、  
 (2)水制5基のうち、上流から1基目埋没

②**河川環境の状態**  
 淵は創出されているものの、自然形状の状態（M型）ではなく、瀬の状態

③**河床形状**  
 植生は繁茂しているが、船底型河道の掘削形状は維持されている



根部の状況

**支川上流**

①**構造物の状態**  
 (1)支川合流点上流の水制埋没

②**河川環境の状態**  
 想定に近い瀬・淵環境が創出

③**設置目的に対して**  
 水制設置ラインに想定よりも堆積が生じているが、支川の流路安定対策として機能



瀬づくりの置石工も安定し瀬を形成・維持



瀬の状況

②**河川環境の状態**  
 良好な淵（M型）が出来ており、瀬も良好な形である



**佐野橋上流**

①**構造物の状態**  
 7基設置後、上流から1, 2基目埋没



UAV写真撮影日：2022年8月

H24		H24課題に対する検証		
課題	対策	基準	機能・効果（H24想定）に対する評価	評価
1 流下能力の確保	・河床掘削（河積確保）	河積の確認	平成28年度～令和4年度にかけて変化少（93～103%）、河積確保	◎
		河床形状の確認	対策工の状態に破損、変化あるが、期待する機能は維持	◎



# 現状の評価・検証

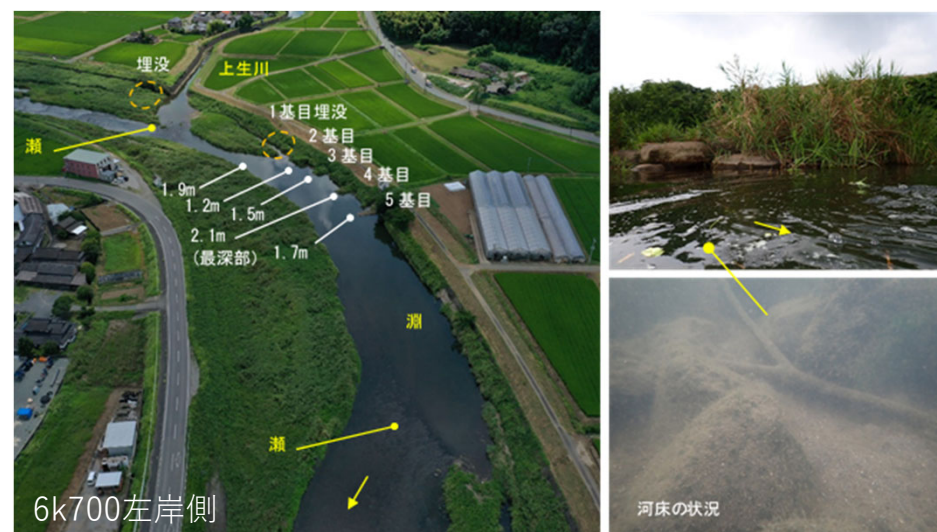
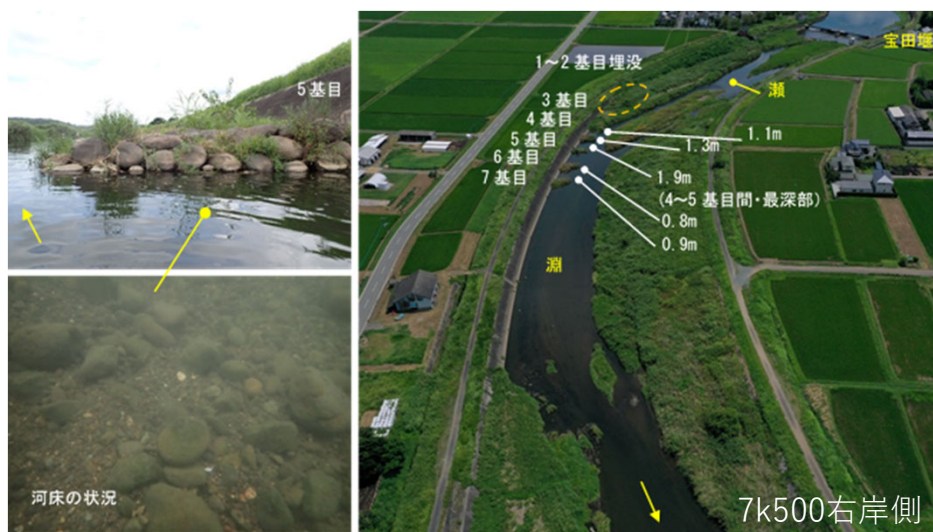
◇従来の課題に対する評価・検証

b) 河床の二極化の抑制（課題2）

- ・船底型河道：維持  
= 地形として，二極化が抑制できている
- ・植生調査結果：ツルヨシ繁茂はしているが樹林化には至っていない  
⇒ 出水時のフラッシュを期待  
樹木化が確認されており，固定化前に維持管理対策は必要



確認された樹木



H24		H24課題に対する検証		
課題	対策	基準	機能・効果(H24想定)に対する評価	評価
2 河川環境(瀬と淵)の再生・保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水路の瀬淵形状の掘削</li> <li>・対策工による創出、維持</li> </ul>	物理環境状態	(湛水区間外) 想定に近い形状で蛇行形態、瀬・淵の河床形態が維持 (湛水区間) 蛇行形態、深浅は維持も、想定と異なる箇所あり	◎ △
		生物環境状態	魚介類の生息密度が上昇	◎

# 現状の評価・検証

## ◇従来の課題に対する評価・検証

### c) 河床環境（瀬・淵）の再生・保全（課題3）

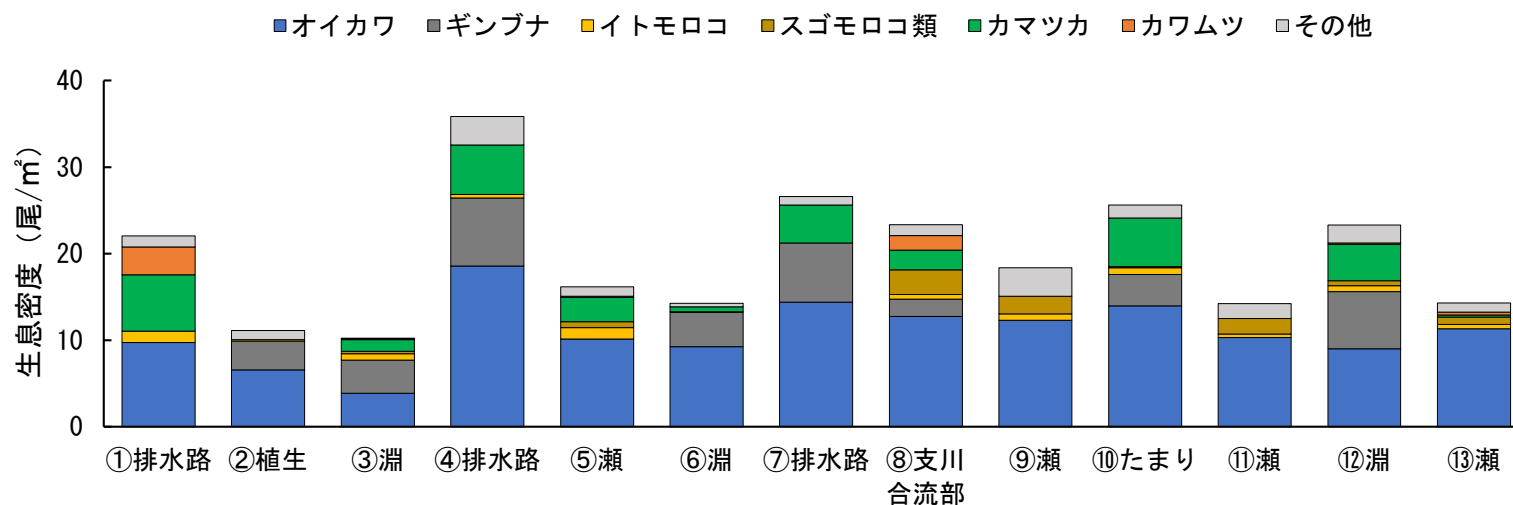
河床環境として機能しているか評価することが重要

- ・ 魚類調査結果：施工前よりも種数が増加，  
生息適地（瀬・淵）での生息増加

⇒ 河床環境としても良好

	整備前 H25	整備後 H28	本調査 R4
魚類	夏8	夏17	秋21
底生動物	夏26 冬25	夏50 冬48	秋86

魚種は整備前（H25）：8種 → R4：21種へと増加



地点別の魚類生息密度

H24		H24課題に対する検証		
課題	対策	基準	機能・効果(H24想定)に対する評価	評価
3 河床の二極化対策 (砂州の堆積防止、 植生繁茂の防止)	・船底型河道形 式による河床掘 削 ・瀬の創出・維持	船底型河道形状の状態	形状は維持されている (出水が大きくなっても、陸部へは掃流力をもち ながら水位上昇する形状)	◎
		瀬の状態	瀬とそれを安定させる置石工の状態が維持	◎
		植生の状態	ツルヨシの繁茂はみられるが、樹林は少ない	○

# 現状の評価・検証

◇従来の課題に対する評価・検証

d) スレーキング現象の解消（課題4）

- ・ 軟岩露出部（瀬づくり置石工設置箇所）を踏査：概ね砂礫が被覆した状態
- ・ 魚類調査結果：造成した瀬に砂礫を好む魚種（オイカワ等）が増加  
⇒ 軟岩露出の残存箇所の把握，局所洗掘に至らないよう経過観察が重要



2013. 6



2022. 8



河床材料



オイカワ

瀬と置き石工の状態確認（6k900付近）

H24		H24課題に対する検証		
課題	対策	基準	機能・効果(H24想定)に対する評価	評価
4 スレーキング現象の解消	・対策工による瀬の維持と礫床化	瀬と置き石工の状態	置石工は安定、瀬も礫床状	◎
		生物環境状態	礫床に適した魚介類を多く確認	◎

## 概要

災害対応で河床掘削を行う沖積砂礫河川で、近年指摘の多い課題の解消を目指した対策を併せて実施、その後の状態から検証・評価

## 対策手法

自然に近い河床形態を設定し、自然の営力で創出、維持できる対策工を設置

## 課題

### ・自然に近い河床形態の設定

河床状態が安定している箇所(湾曲部・水衝部)を十分見極めるために、地形の知識と現場を見る技術力が必要

### ・水制工

水衝部に発生する流況を操作できる水制工の技術を習得することが必要

⇒確立出来れば、川づくりの中で安定したフィックスポイントを定めることが可能＝汎用性への一歩となる

## 本事例の特筆すべきこと

- ・ 環境面をはじめとする課題を災害対応と同時に解決を図ったこと  
浸水被害も発生している中、地元住民との合意形成は非常に大きな位置を占めており、様々なやり方でイメージの共有、現場の見える化を図りこの工事の意図をご理解いただいた
  - ・ 伝統工法の一つである水制の活用  
河床への影響の不明点の多さや設計の困難さに対して、汎用性をあげるには現場での実績を増やすことが必要  
＝本事例のように、治水と環境の両面を期待される川づくりの中で対策工として使用できることは重要
- ⇒水制の効用を的確に説明した関係者、合意した地元住民の方々の意思を受け取り、事後調査を今後の沖積砂礫河川の川づくりに反映していくことが重要