

現況水理特性の把握

目次

4.1 水理模型実験(移動床) 床固有無の比較	1
4.2 渡場床固の効果分析(平面的な影響検討)	5

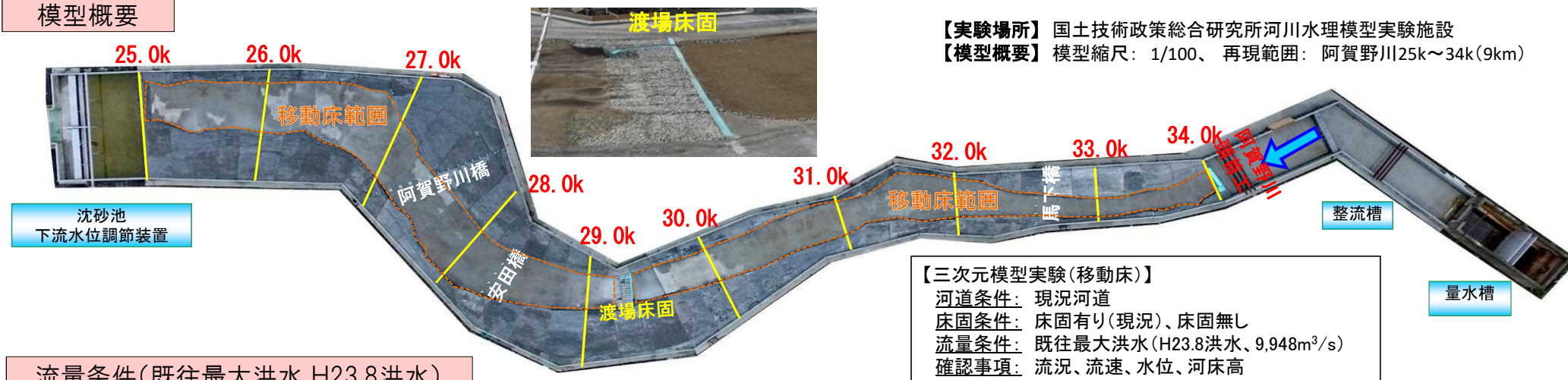
令和4年8月
北陸地方整備局 阿賀野川河川事務所

4.1 水理模型実験(移動床) 床固有無の比較

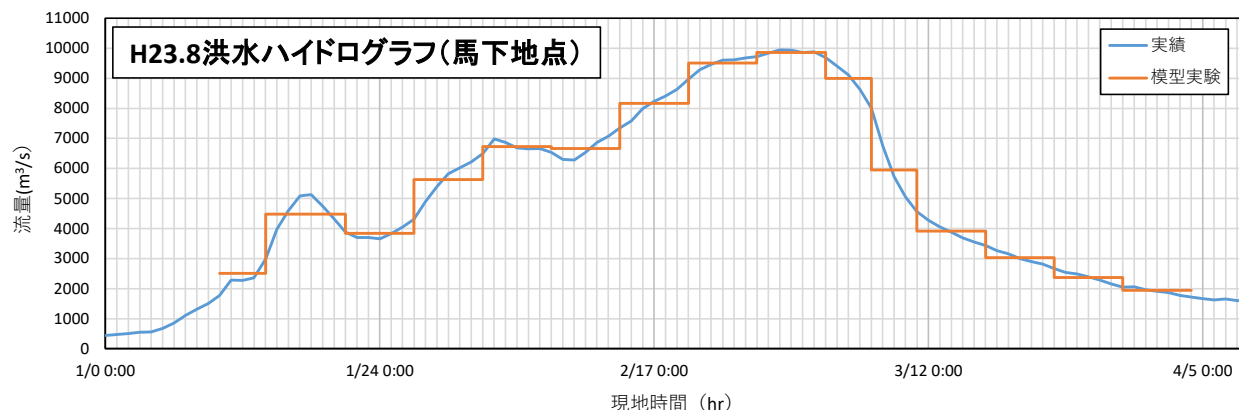
4.1 水理模型実験(移動床) 概要

- 模型概要：縮尺1/100、再現範囲34.0k(阿賀野川頭首工)～25.0kとし、河床変動が顕著となる低水路を移動床、高水敷を固定床で製作
 - 流量条件：支配流量(2,000m³/s)の定常通水により平衡河床を形成した後、H23.8洪水のハイドログラフを階段状の波形で通水
 - 土砂条件：現地平均粒径の細粒分(模型のシルト分)をカットした粒度分布を概ね再現できる土砂($D_{60}=0.54\text{mm}$)を使用
- 模型上流端では、阿賀野川頭首工の直下流の河床高が概ね維持されるように、床固有無で同量の土砂を給砂

模型概要



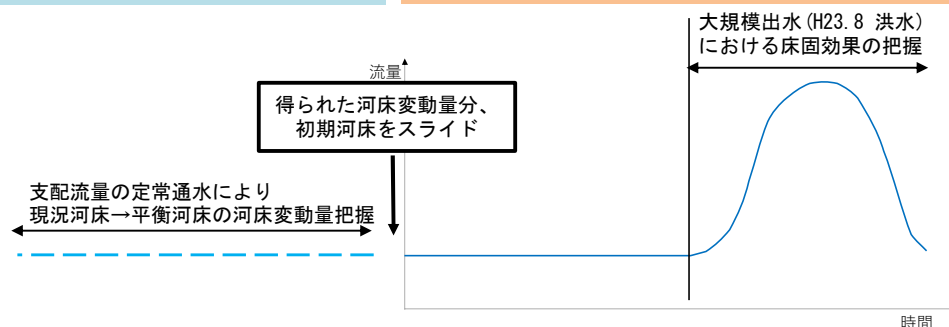
流量条件(既往最大洪水_H23.8洪水)



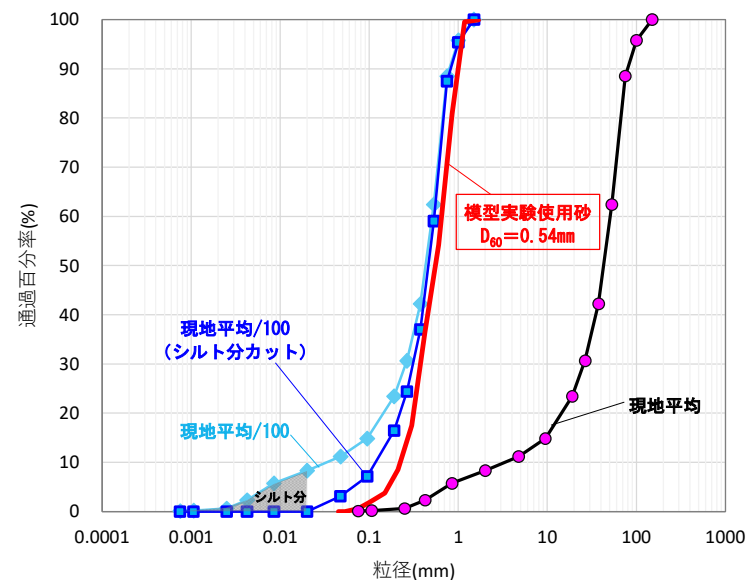
通水方法

一次元河床変動解析(※床固なしの場合)

移動床実験(床固あり、床固なし)



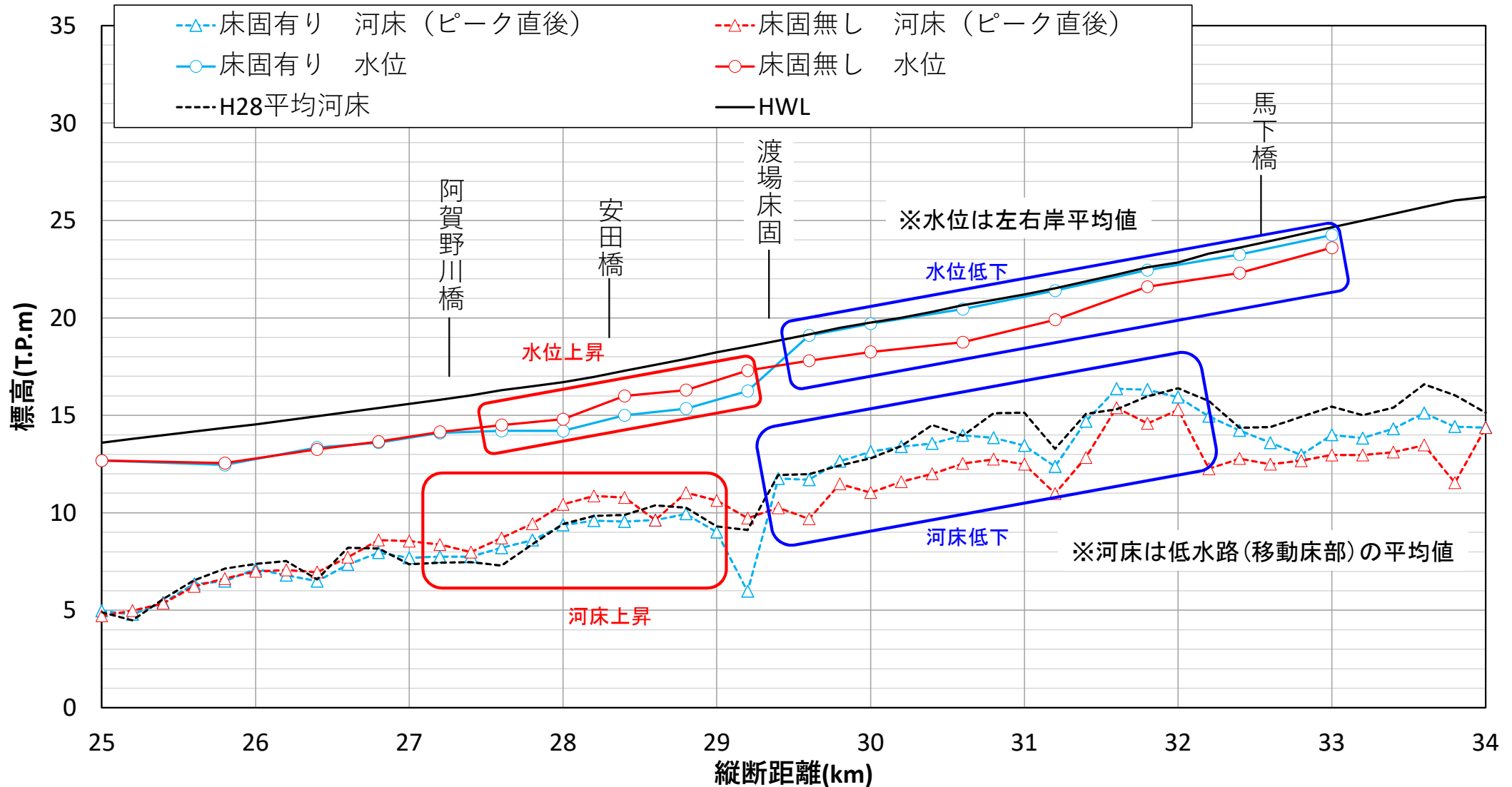
土砂条件(実験砂粒度分布)



4.1 水理模型実験(移動床) 床固有无の比較①

- 床固上流水位：床固有りの場合、HWLに達する箇所が確認された。床固無しの場合、床固上流の河床低下に伴って水位低下する。
- 床固下流水位：床固無しの場合、床固下流では河床上昇が生じることに伴い、水位上昇が生じる。
- 床固を撤去した場合の床固上流での水位低下、床固下流での水位低下は、水理解析と同様な傾向となっている。

床固有无による水位・河床縦断分布の比較

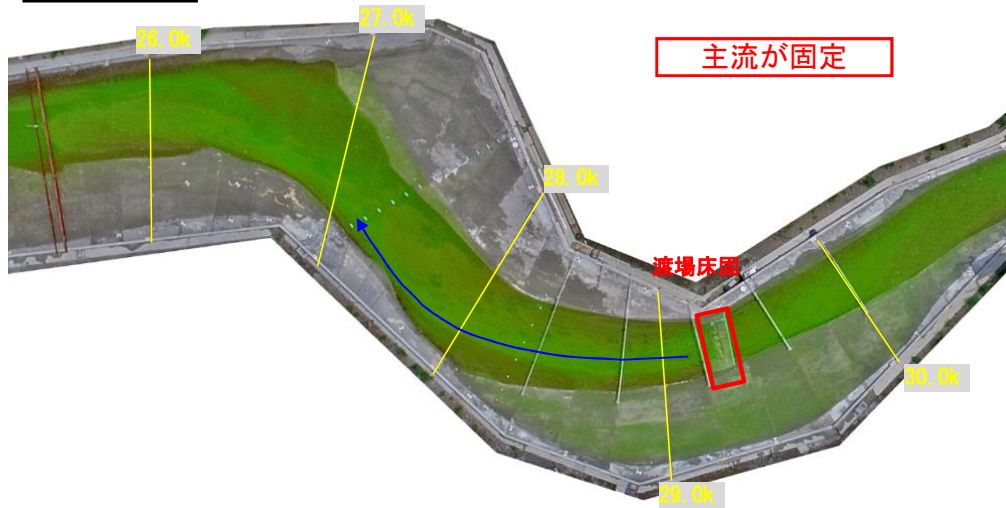


4.1 水理模型実験(移動床) 床固有無の比較②

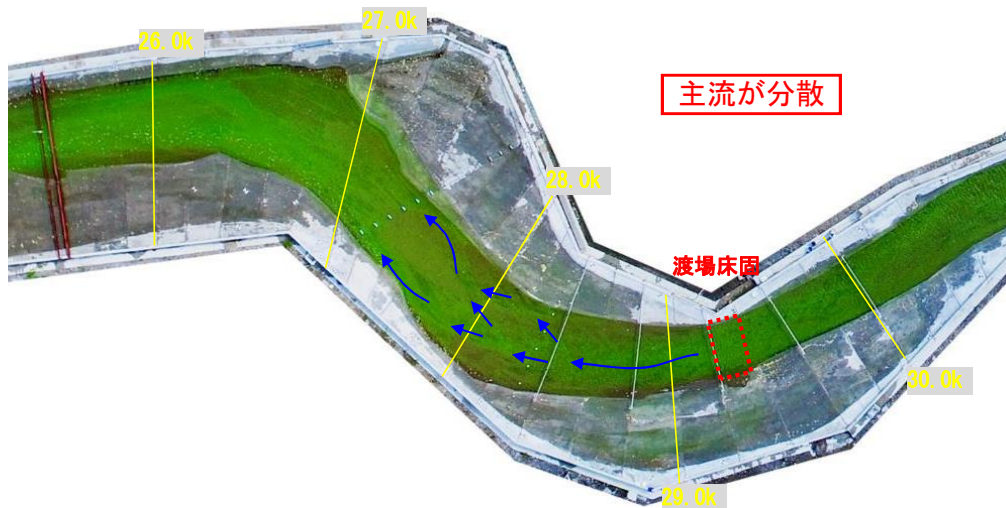
- 流況特性：床固有りの場合、河床は安定しており主流位置は固定されていた。床固無しの場合、床固近傍から交互砂州～複列・多列砂州が形成され、28k付近において主流が左右岸に分散されるようになる。
- 河床変動特性：床固有りの場合、床固直下流において局所洗掘が顕著となるほかは全体的に見て河床は安定している。床固無しの場合、土砂移動が活発となり砂州の形成・移動が顕著となり、洗掘位置の変動が見られるようになる。

床固有無による流況の比較

床固有り

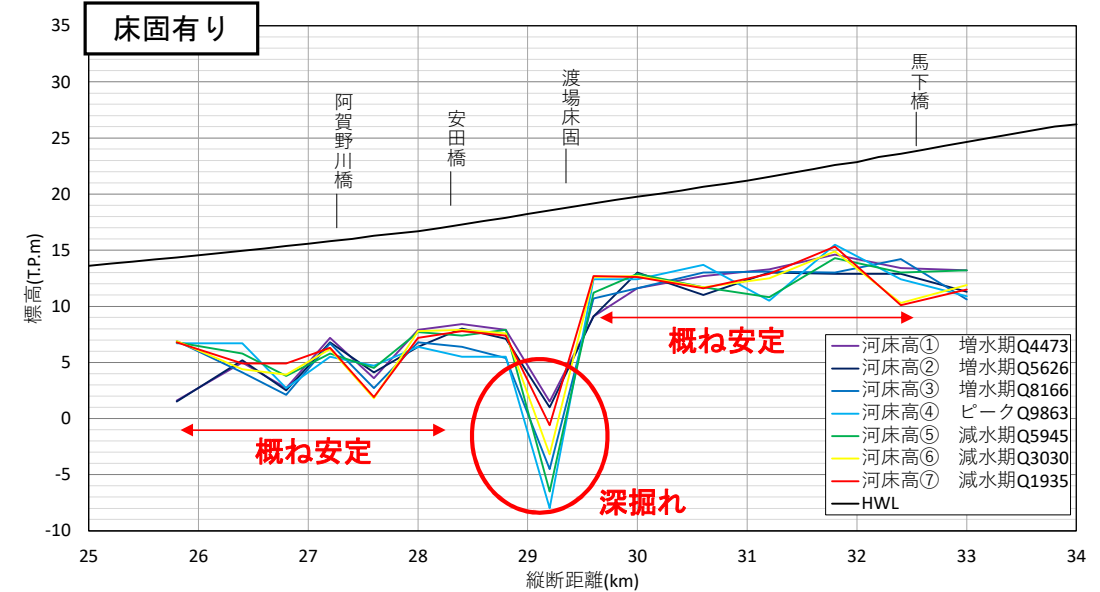


床固無し

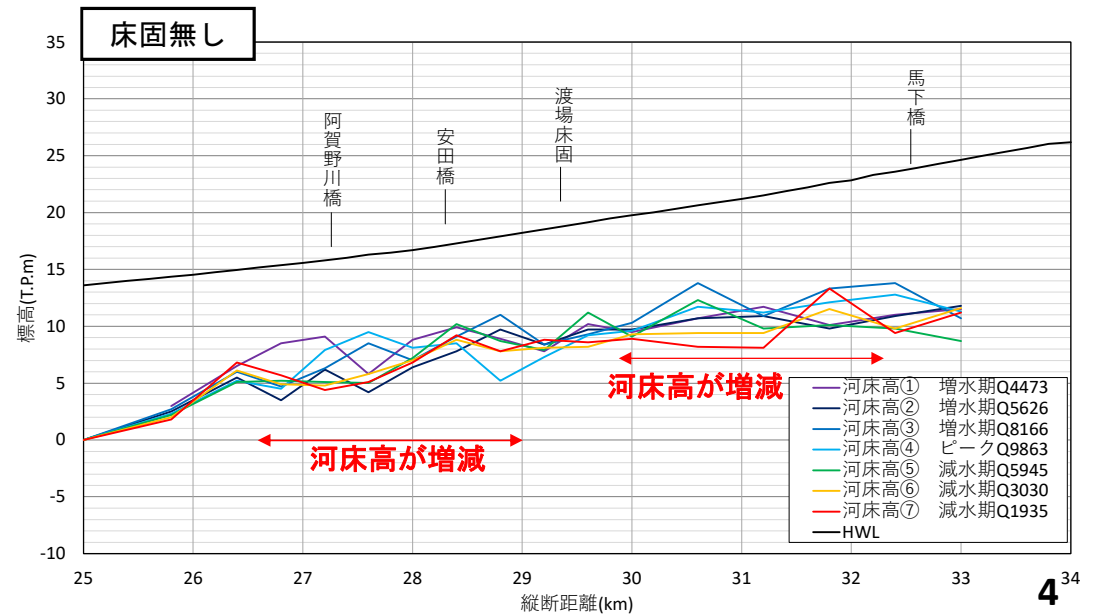


最深河床高の時系列変化

床固有り



床固無し



4.2 渡場床固の効果分析(平面的な影響検討)

4.2 数値解析モデル(GBVC法)の妥当性確認 解析手法の概要と検証条件

- 渡場床固近傍の三次元的な洪水流況や土砂移動特性を明らかにするため、非静水圧準三次元解析モデル(GBVC法)＋平面二次元河床変動解析モデルを構築した。
- 水理模型実験を対象とした検証計算を実施し、GBVC法＋平面二次元河床変動解析モデルで表現可能な水理特性・土砂動態や解析モデルとしてのメリット・デメリット(表現できること・できないこと)を確認した。

GBVC法(非静水圧準三次元解析モデル)の概要

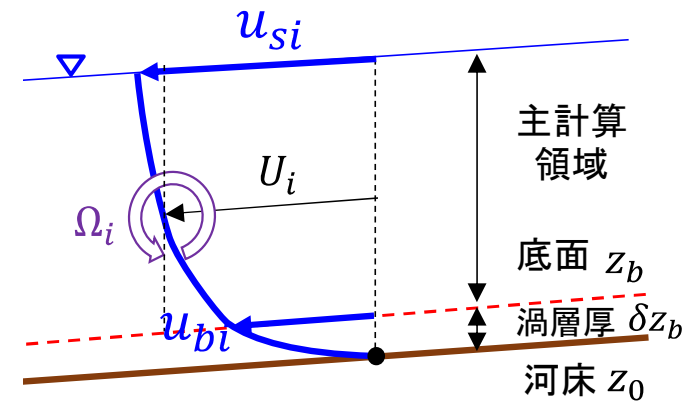
基礎式

※()は未知数

浅水流方程式(平面二次元)に、③水深積分渦度方程式、④水表面の運動方程式、⑤二重水深積分した連続式、⑥水深積分鉛直方向運動方程式を導入することで、水深積分準三次元解析の枠組みで、**水平方向流速の鉛直分布等の流れの三次元性を考慮**することが可能

- ① 水深積分連続式(h)
- ② 水深積分運動方程式(U_i)
- ③ 水深積分渦度方程式(Ω_i)
- ④ 水面の運動方程式(u_{si})
- ⑤ 鉛直方向流速の方程式(Wh)
- ⑥ 水深積分鉛直方向運動方程式(dp_b)
- ⑦ 底面流速の方程式(u_{bi})

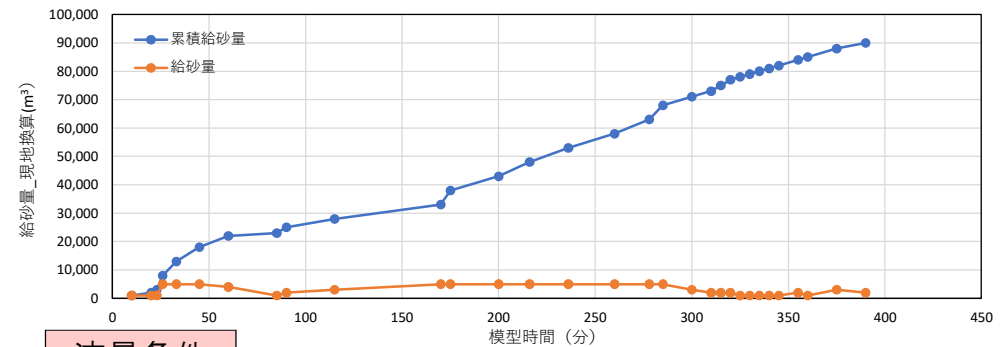
流れの三次元性



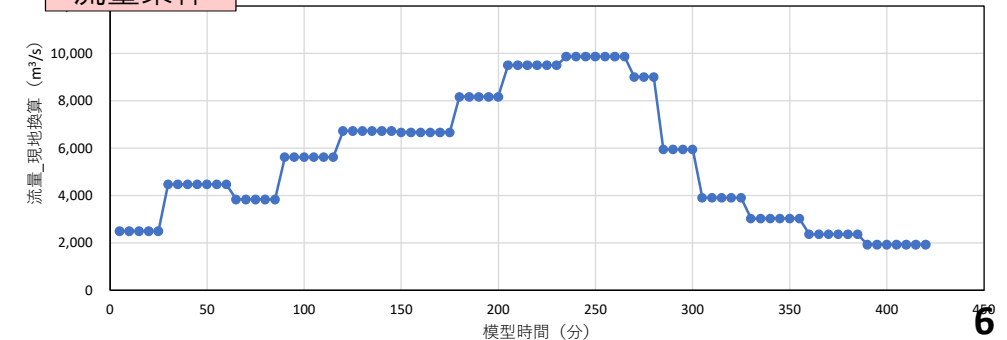
検証計算条件

	検証計算条件
解析手法	GBVC法＋平面二次元河床変動解析モデル
対象区間	水理模型実験対象範囲 (24.8k～34.2k)
対象洪水	実績洪水 (H23出水)
河道条件	初期河床：通水前河床 (平衡河床作成後) 検証河床：通水後河床
粗度係数	痕跡水位を再現する逆算粗度係数 (0.035を設定)
河床材料	H23年度調査結果
流砂量	【掃流砂】 芦田・道上式 【浮遊砂】 沈降速度：Rubeyの式、基準面濃度：Lane-Kalinske
流入土砂量	水理模型実験の給砂条件

給砂条件



流量条件

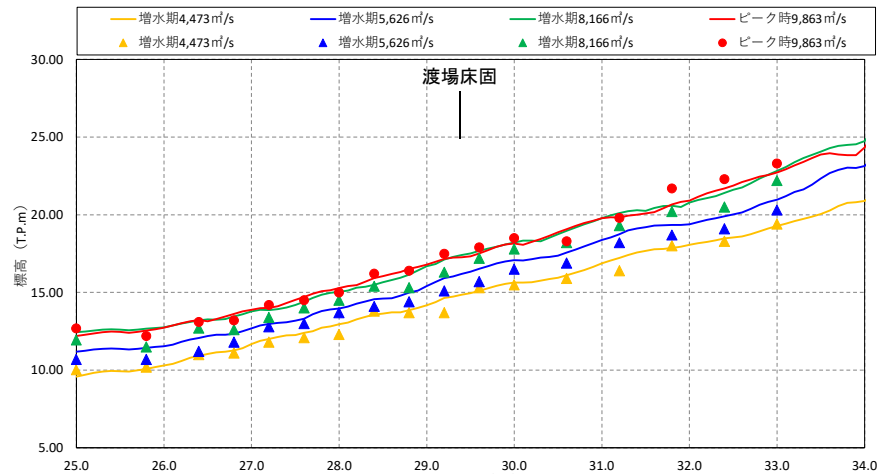


4.2 数値解析モデル(GBVC法)の妥当性確認 検証計算結果

- 模型実験計測水位と計算水位を比較すると、床固有り条件、無し条件ともに、計算水位は計測水位を概ね再現できている。
- 床固有り条件は、床固直下の土砂動態に差異がみられ、計算水位の方が深掘れ箇所における土砂堆積が大きい。
- 床固無し条件は、32.0kより上流で洗掘傾向に差が見られるものの、その他の区間では河床変動傾向を再現できている。

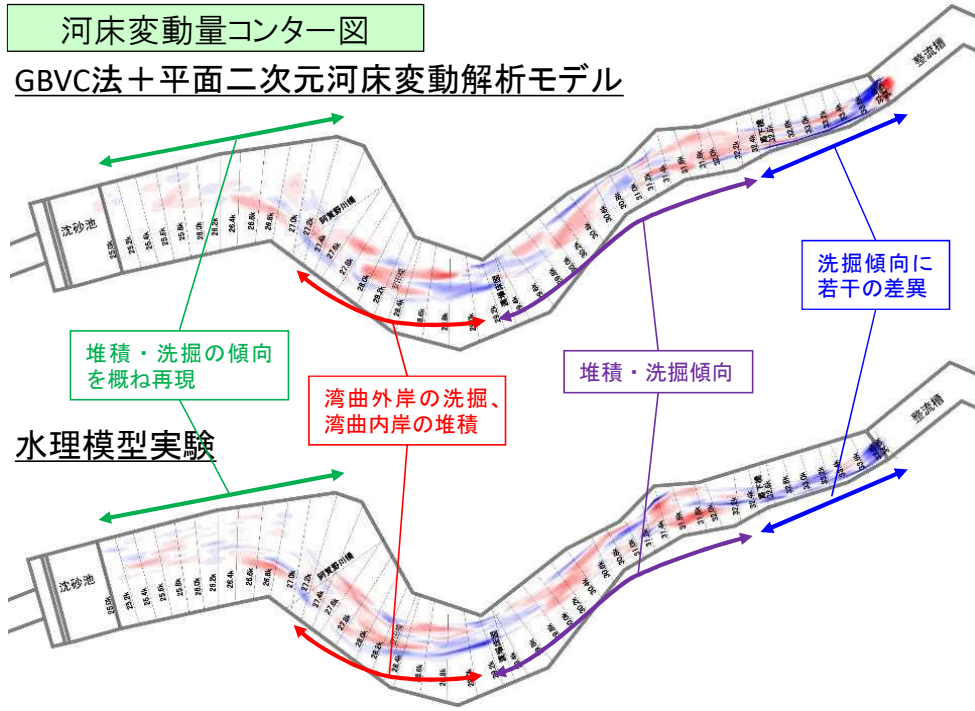
床固無し条件

模型実験計測水位と計算水位の比較(水位上昇期 左岸)



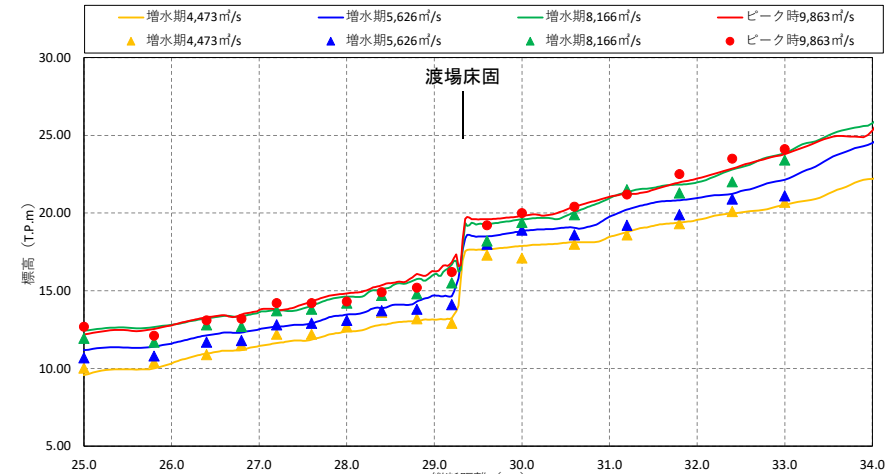
河床変動量コンター図

GBVC法+平面二次元河床変動解析モデル



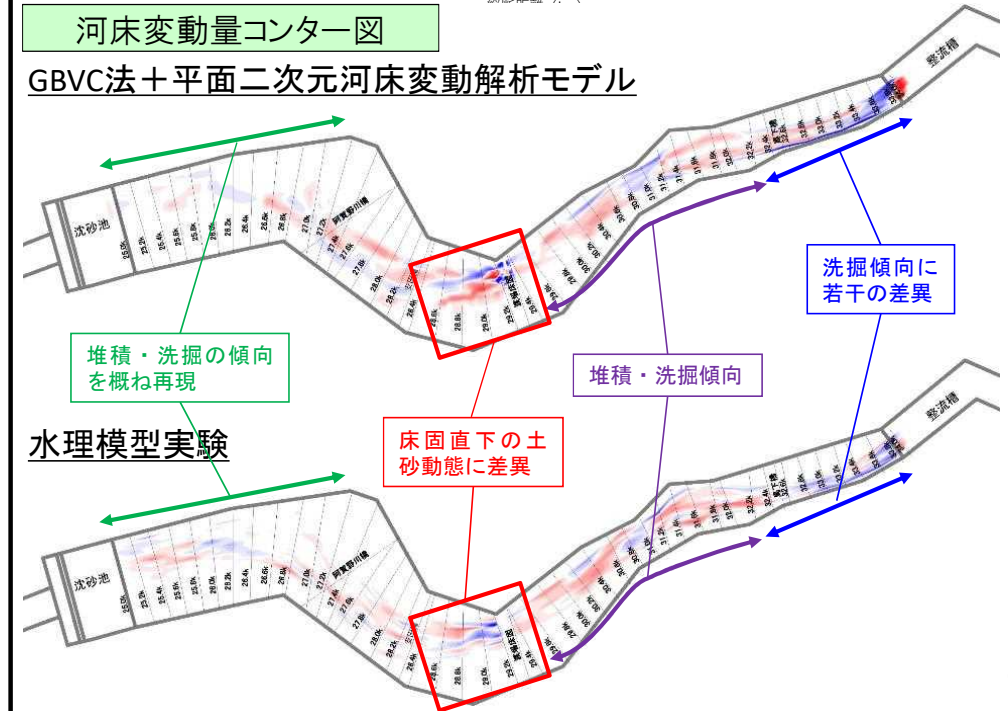
床固有り条件

模型実験計測水位と計算水位の比較(水位上昇期 左岸)



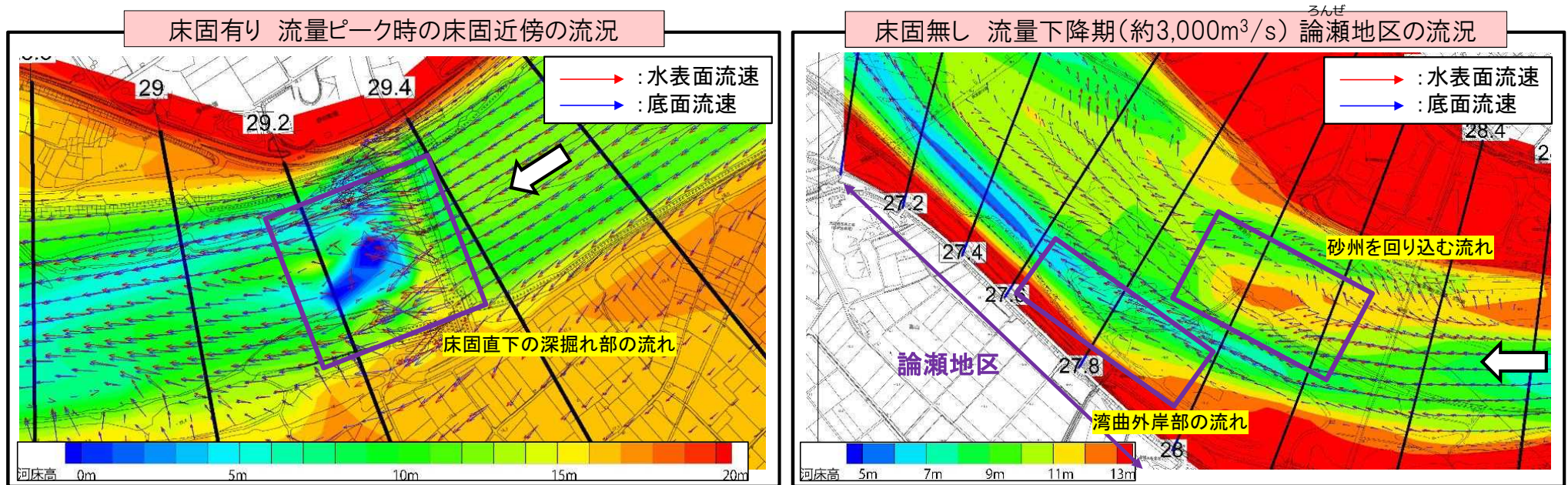
河床変動量コンター図

GBVC法+平面二次元河床変動解析モデル



4.2 数値解析モデル(GBVC法)の妥当性確認 検証計算結果

- 特徴的な流況として床固直下（床固有り条件）、湾曲外岸（床固無し条件）、床固下流の砂州（床固無し条件）の流況を整理した。
- 床固有り条件では、床固直下において三次元流れが発生し、底面流速は深掘れ部に向かって生じている。
- 床固無し条件では、湾曲外岸の鉛直方向の流速分布の変化、砂州を回り込む際に発生する三次元的な流れがみられる。
- GBVC法のメリットは三次元流れを評価できる点であり、水衝部や砂州等においては河床の再現性が高い結果となる。一方で、水深積分モデルであることから、水深が大きい地点（床固直下）の再現性は低い傾向がみられる。



GBVC法のメリット・デメリット

水理現象	メリット	デメリット
床固直下の流況、河床変動特性	床固直下の深掘れ部における流れの三次元性を考慮できる	- GBVCモデルは水深積分モデルであり、三次関数で鉛直方向の流速分布を仮定している。このため、床固直下の水深が大きい領域では、流れの三次元性が小さく計算される傾向にある - 床固直下の三次元性が強い領域において、河床変動特性(堆積・洗掘)の再現性が低い傾向がみられる
湾曲部の流況・河床変動特性	- 湾曲部外岸で生じる二次流、鉛直方向の流速分布を考慮できる - 湾曲外岸の鉛直方向の流速分布を考慮することにより、湾曲外岸の局所洗掘、湾曲内岸砂州の再現性が高い	特になし
河道の微地形や砂州近傍の流況・河床変動特性	- 河道部の微地形や砂州を周り込む際に発生する三次元的な洪水流を考慮できる - 床固無しケースの、床固地点から下流で形成される交互砂州～複列・多列砂州の再現性が高い	特になし

4.2 渡場床固の有無による平面的な影響検討

- 床固有り条件、床固無し条件を対象に、GBVC法＋平面二次元河床変動解析モデルを用いて河床変動解析を実施し、平面的な河床変化・流況変化、周辺施設への影響について整理した。
- 床固無し条件の河床高は床固前後断面の河床勾配が擦りつくことから、妥当な河床形状を設定の上で検討する必要がある。本検討では、以下に示す設定方法により一次設定、二次設定することで動的平衡河床を設定した。

検討条件一覧

	検討条件
解析手法	GBVC法＋平面二次元河床変動解析モデル
対象区間	阿賀野川23.2k～35.88k区間（34～35.88kは県区間）
対象洪水	実績洪水（H23出水）
河道条件	①床固有り河道②床固無し河道
粗度係数	検証計算による逆算粗度係数
樹木群	検証計算による樹木群透過係数
河床材料	H23年度調査結果
流砂量	【掃流砂】 芦田・道上式 【浮遊砂】 沈降速度：Rubeyの式、基準面濃度：Lane-Kalinske
流入土砂量	平衡土砂条件

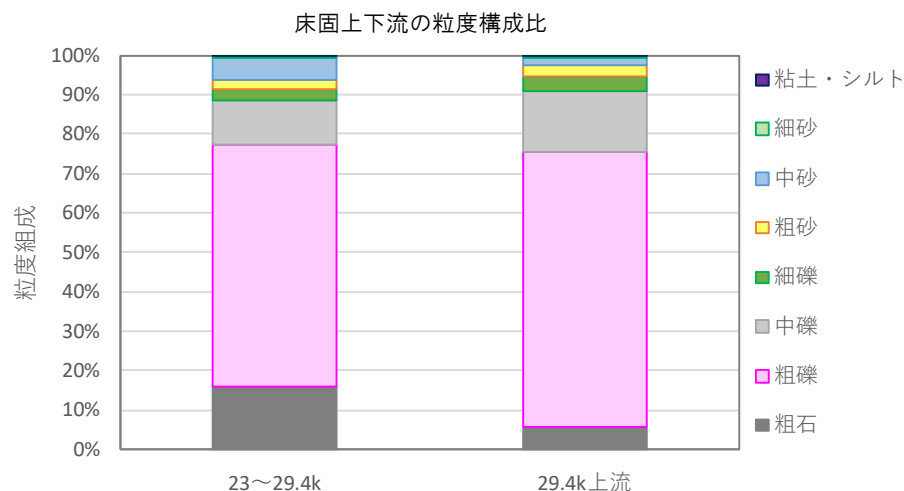
床固無し条件の河床高の設定方法

① 一次設定

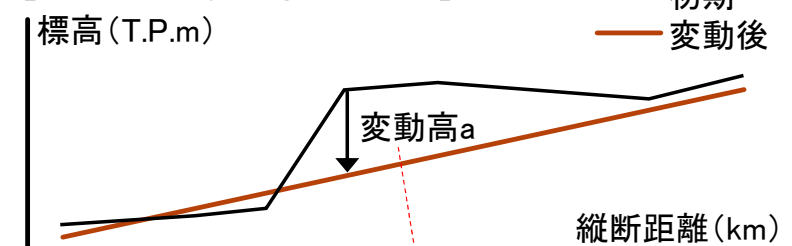
一次元河床変動計算結果より得られた支配流量(2,000m³/s)流下時の河床変動高(平衡河道－現況河道)を基に、現況横断の低水路河床高をスライドさせて床固がない場合の横断形状を一次設定する。

② 二次設定

一次設定河道を対象に、支配流量を流量条件とした河床変動計算(非静水圧準三次元解析モデル＋平面二次元河床変動解析モデル)を実施し、河床が動的平衡状態となる河道を算定する。この平衡河道を床固無し河道として設定する。

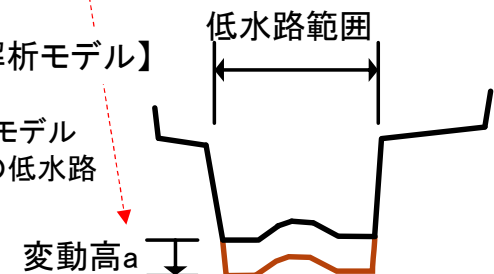


【一次元河床変動解析モデル】



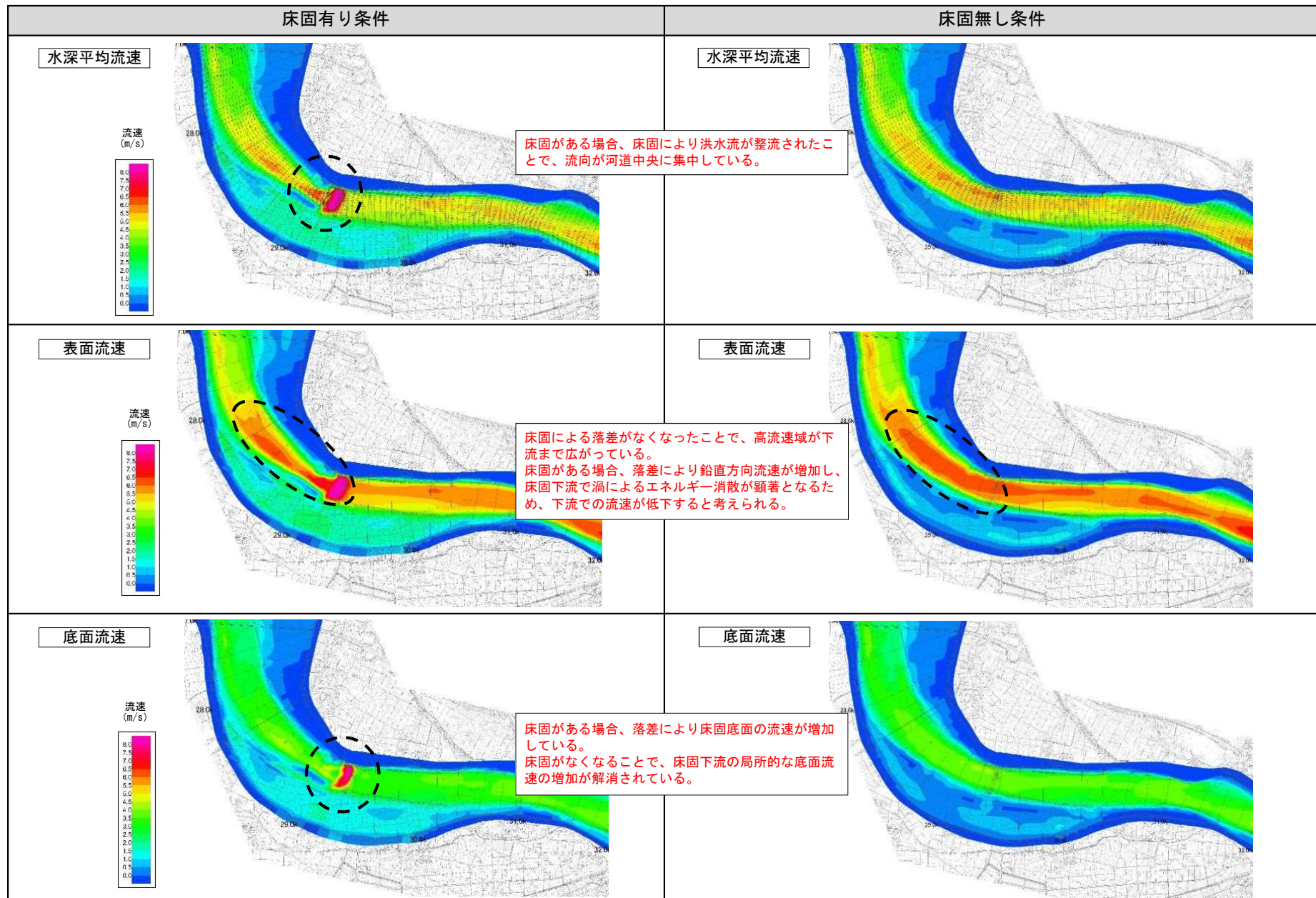
【非静水圧準三次元解析モデル】

※一次元河床変動解析モデルの変動量を、現況横断の低水路範囲に反映



4.2 検討結果 流速の比較

- 床固無し条件では、床固上下流で河床高が滑らかに変化するため、上下流の流速は増加する。特に床固下流では、床固による落差がなくなったことで、高流速域が下流まで広がっている。
- 床固有り条件では、床固が有する落差により鉛直方向流速が増加し、床固下流で渦によるエネルギー消散が顕著となるため、下流での流速が低下するものと考えられる。



4.2 検討結果 河床高の比較

- 床固無し条件では、上下流の流速増加に伴い湾曲部の外側では河床洗掘深が増大する。対岸では土砂堆積量が増加することで、河道の二極化が進行する。
- 床固有り条件では、床固により洪水流が整流されたことで、流向が河道中央に集中し、河道中央で河床洗掘が生じる。一方、床固無し条件では、局所的な落差がなくするため河床洗掘量は低下するが、床固による整流機能がなくなるため、湾曲外側の左岸際で河床洗掘が生じる。

