

掃流砂と浮遊砂の一体解析(Q3D-INEBS)による洪水 水中の河床波の移動・変形過程の解析的研究 -網状砂州と砂堆の重畳する斐伊川を対象に-

後藤岳久¹・福岡捷二²・児子真也³

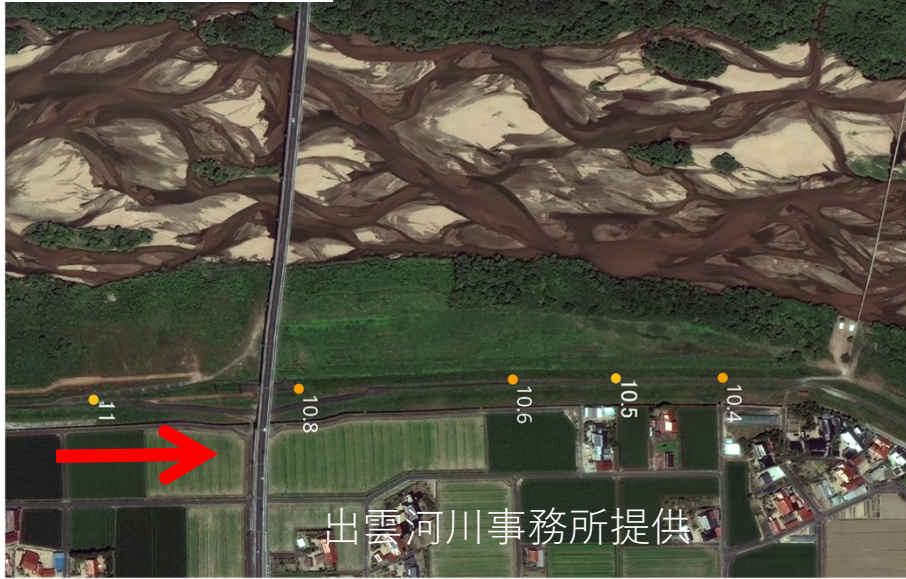
1:中央大学研究開発機構

2:中央大学研究開発機構 機構教授

3:国土交通省 水管理・国土保全局 治水課 企画専門官
(前 出雲河川事務所 所長)

斐伊川下流部の河床形状の特徴

洪水後(R3.8)



- ・斐伊川下流部は砂州と砂堆が重畳して構成された網状砂州河道である。
- ・砂堆は砂州上や滞筋付近に形成され，洪水ピークから減水期に発達していると言われている。
→洪水時の水衝部位置の変化，抵抗変化を把握する必要がある。
- ・平水時でも滞筋部で土砂が移動しており，平水時の流れは滞筋部での洗掘，比高差の拡大をもたらす。一方，洪水時の流れは全体的に土砂を移動させるため，比高差を緩和させ，元の比高差のような網状砂州に回復する特徴を有する。

斐伊川の網状砂州+砂堆 北神立橋から撮影(H30.8)



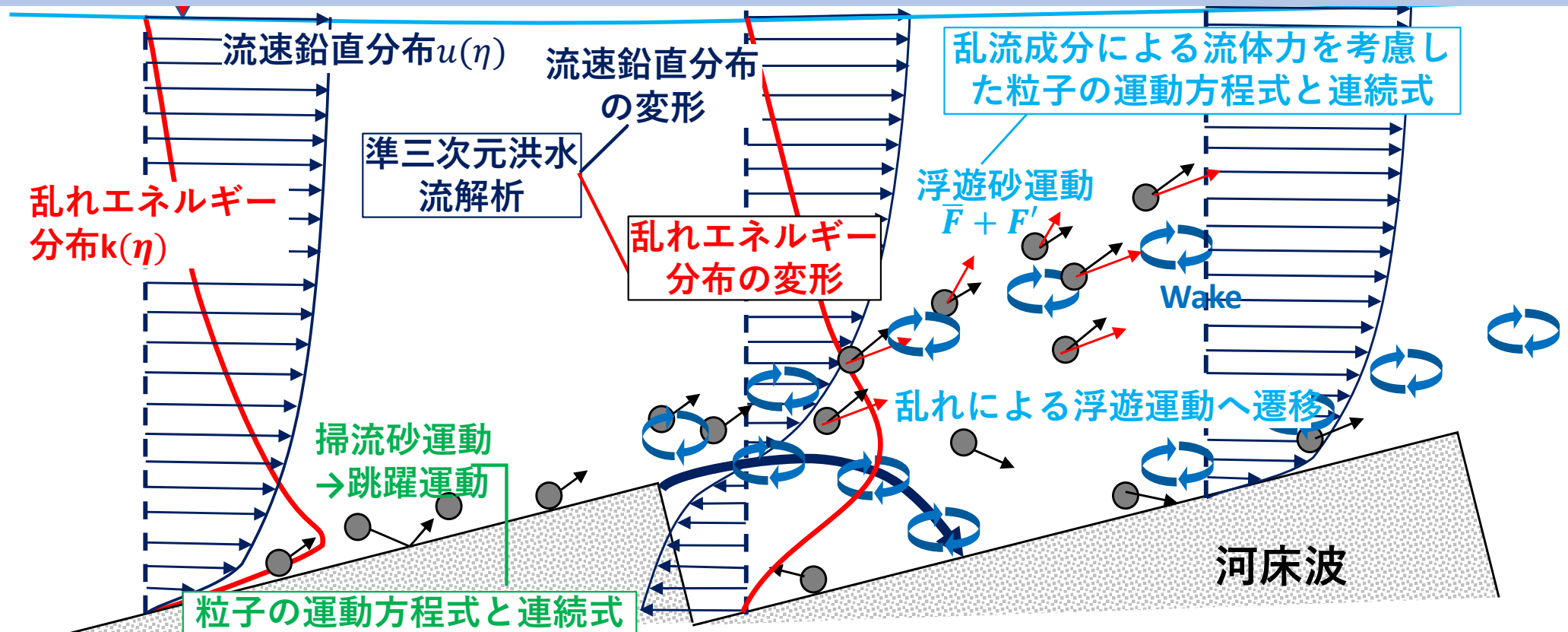
引用：Photolibrary

斐伊川の網状砂州

H23撮影(11~10km)



掃流砂と浮遊砂の一体解析法の必要性



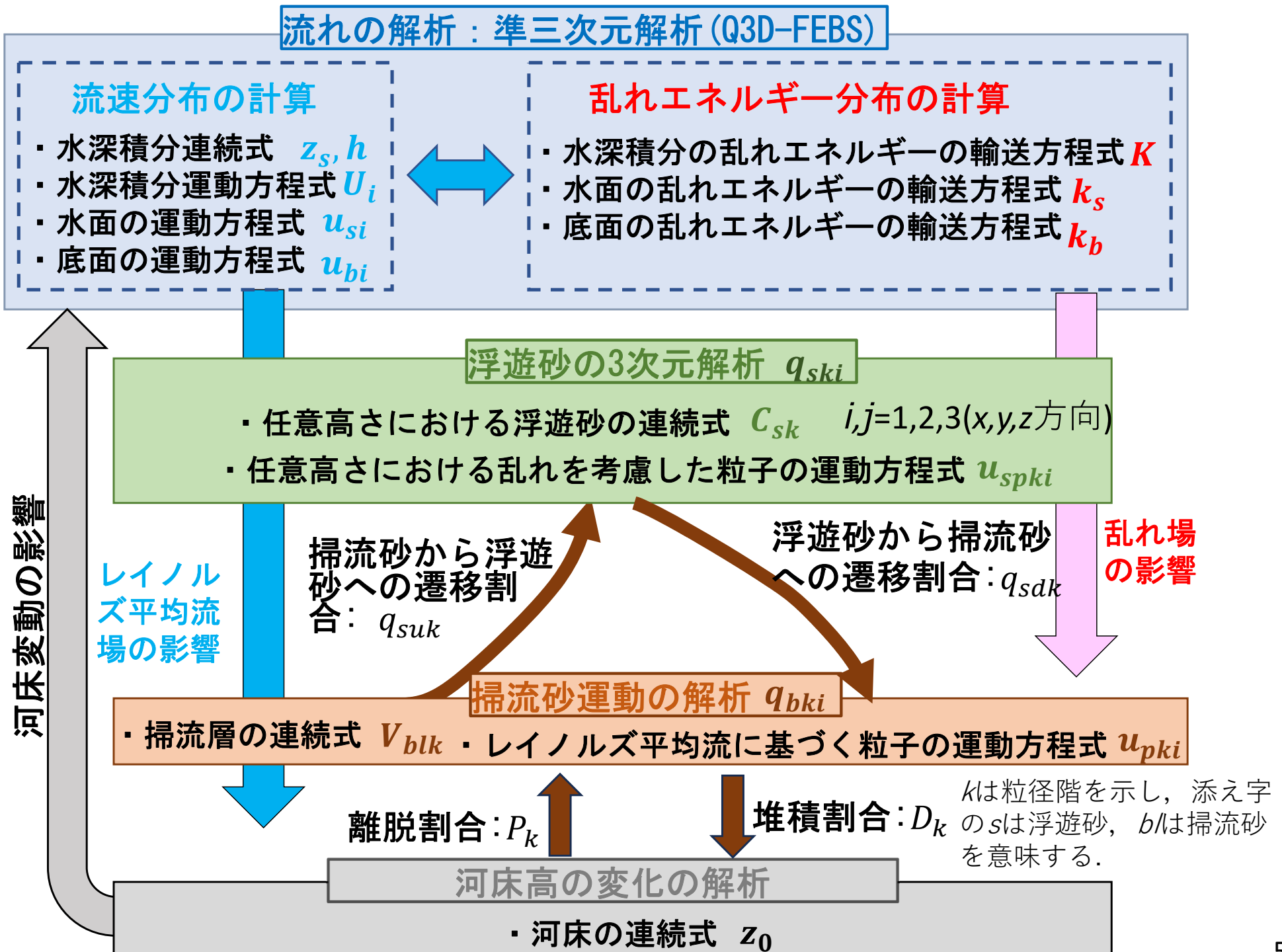
砂粒子が掃流状態で運動している時、流れの乱れの作用によって標高の高い高流速域まで輸送されると、結果的に粒子の跳躍距離が長くなり、浮遊運動として振る舞い、河床変動に及ぼす影響が大きくなる。このため、準三次元解析法による三次元流れと平均的な乱れの時空間変化を外力条件とし、粒子の運動方程式と流砂の連続式を一体的に計算することで、流れ場の変化に応じて掃流砂と浮遊砂が影響し合うことを取り込んだ河床変動解析法が必要となる。

長谷部・福岡ら(水工, 2022) は、準三次元解析(Q3D-FEBS, 竹村・福岡, 2019)による流れ場を外力条件とし、掃流砂と浮遊砂のそれぞれの運動方程式と連続式を解くことで、掃流砂と浮遊砂を一体的に扱う新しい準三次元洪水流・河床変動解析法(Q3D-INEBS: Quasi-3D flow and bed variation analysis by Integrated Non-Equilibrium Bedload and Suspended sediment transport)を構築した。さらに、浮遊砂から掃流砂への遷移を組み込み浮遊砂の再浮上を表現することで、多摩川の令和元年大洪水時の砂州の大規模変形を説明したが、浮遊砂の卓越する砂河川で十分検証出来ていない。

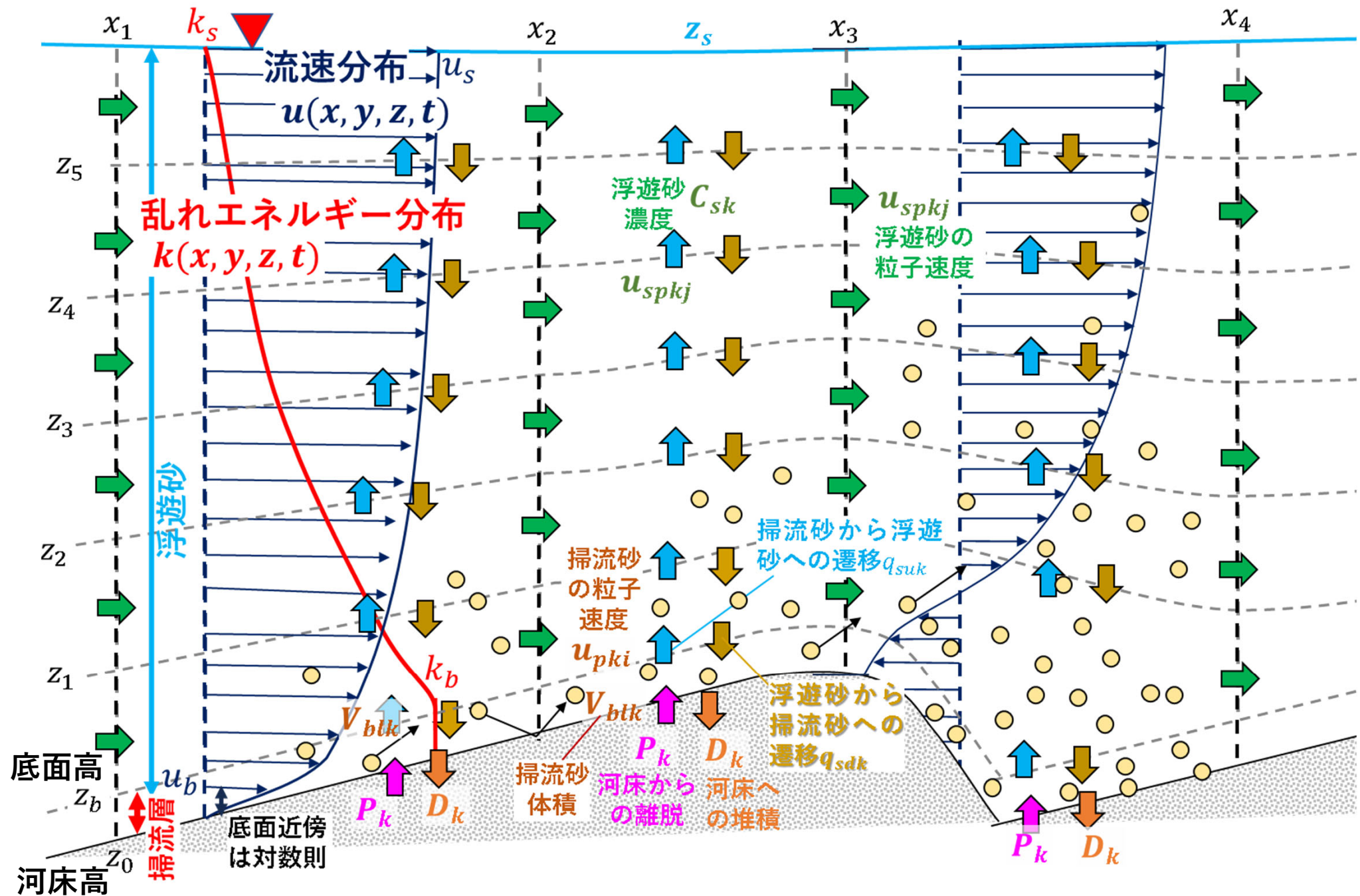
このため、河床材料がほぼ一様砂で網状砂州と砂堆が重畳し、浮遊砂の卓越する斐伊川に本解析法を適用し、洪水時の河床波の移動・変形過程を説明する。

1. 本解析方法の説明

掃流砂と浮遊砂の一体解析(Q3D-INEBS)の枠組み



掃流砂と浮遊砂の一体解析(Q3D-INEBS)の各主要変数の定義



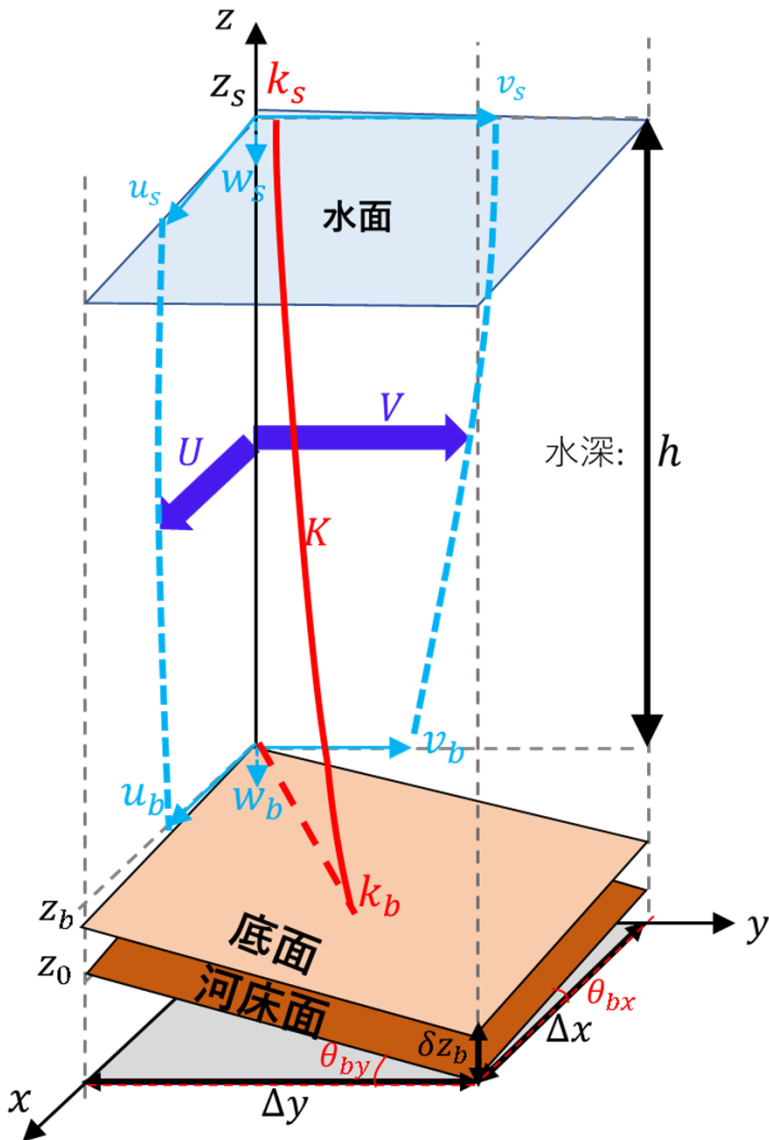
非定常準三次元解析法:Q3D-FEBS (竹村, 福岡, 2019)

流速鉛直分布

$$u_i(\eta) = U_i + (u_{si} - U_i)(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) - (u_{si} - u_{bi})(4\eta^3 - 3\eta^2)u_{si} - u_{bi}$$

乱れエネルギー鉛直分布

$$k(\eta) = K + (k_s - K)(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) + (k_s - k_b)(-4\eta^3 + 3\eta^2) \quad \eta = \frac{z_s - z}{h}$$



水深積分の連続式 h

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial U_i h}{\partial x_j} = 0$$

底面せん断力項

$$\frac{\tau_{bi}}{\rho} = - \frac{\nu_{tb}}{h} \frac{\partial u_i}{\partial \eta} \Big|_b$$

水深積分の運動方程式 U_i 非静水圧項

$$\frac{\partial U_i h}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j h}{\partial x_j} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial h p_d}{\partial x_i} - \frac{p_{db}}{\rho} \frac{\partial z_b}{\partial x_i} - \frac{\tau_{bi}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial h T_{ij}}{\partial x_j}$$

オーバーバー「-」: 水深平均を表す.

$$T_{ij} = -\rho \overline{\Delta u_i \Delta u_j} - \rho \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad \Delta u_i = u_i - U_i$$

$$\nu_t = l_d \sqrt{K}, l_d = 0.07h$$

流速鉛直分布による運動量輸送項

U_i : 水深平均の*i*方向流速
 u_i : 各高さの*i*方向流速
 l_d : 乱れスケール
 K : 水深平均乱れエネルギー
 $i, j=1, 2$ (*x, y*方向)

p_d : 非静水圧圧力
 p_{db} : 底面の非静水圧圧力
 ν_t : 水深平均の渦動粘性係数
 ν_{tb} : 底面の渦動粘性係数

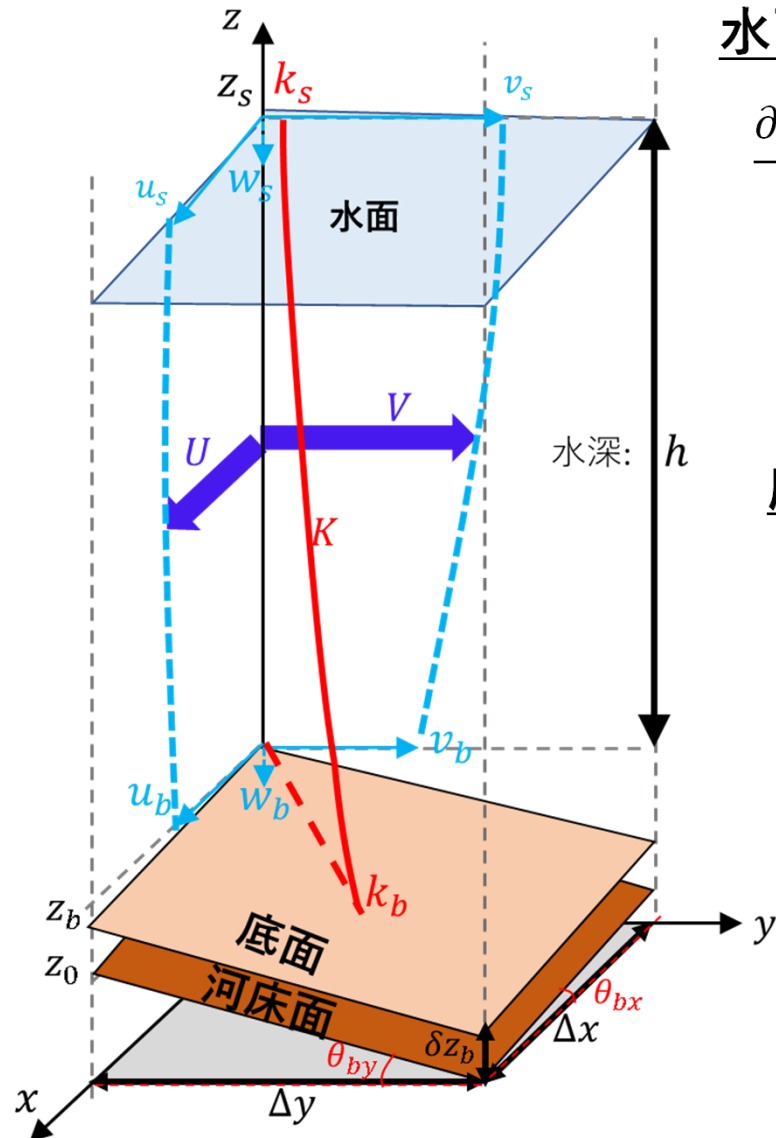
非定常準三次元解析法:Q3D-FEBS (竹村, 福岡, 2019)

流速鉛直分布

$$u_i(\eta) = U_i + (u_{si} - U_i)(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) - (u_{si} - u_{bi})(4\eta^3 - 3\eta^2)u_{si} - u_{bi}$$

乱れエネルギー鉛直分布

$$k(\eta) = K + (k_s - K)(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) + (k_s - k_b)(-4\eta^3 + 3\eta^2) \quad \eta = \frac{z_s - z}{h}$$



水面の運動方程式 u_{si}

$$\frac{\partial u_{si}}{\partial t} + u_{sj} \frac{\partial u_{si}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_d}{\partial z} \bigg|_s \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + v_{ts} \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \bigg|_s$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_d}{\partial z} \bigg|_s = -u_{si} \frac{\partial w_s}{\partial x_i}$$

非静水圧項

底面の運動方程式 u_{bi}

$$\frac{\partial u_{bi}}{\partial t} + u_{bj} \frac{\partial u_{bi}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_d}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_d}{\partial z} \bigg|_b \frac{\partial z_b}{\partial x_i} + \frac{(\tau_{bi} - \tau_{oi})}{\rho \delta z_b}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_d}{\partial z} \bigg|_b = -u_{bi} \frac{\partial w_b}{\partial x_i}$$

非静水圧項 底面せん断力項

河床面に作用するせん断応力

$$\tau_{oi} = \rho c_b^2 u_{bi} |u_b|$$

$$c_b = \frac{c_0}{1 - 2c_0/\kappa} \sqrt{1 + c_{zb}}, \quad c_0 = \sqrt{\frac{gn^2}{h^{1/3}}}$$

n : マニングの粗度係数
 $\kappa=0.4$
 $c_{zb}=0.03$

非定常準三次元解析法:Q3D-FEBS (竹村, 福岡, 2019)

流速鉛直分布

$$u_i(\eta) = U_i + (u_{si} - U_i)(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) - (u_{si} - u_{bi})(4\eta^3 - 3\eta^2)u_{si} - u_{bi}$$

乱れエネルギー鉛直分布

$$k(\eta) = K + (k_s - K)(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) + (k_s - k_b)(-4\eta^3 + 3\eta^2) \quad \eta = \frac{z_s - z}{h}$$

水深積分の乱れエネルギーの輸送方程式 K

$$\frac{\partial K}{\partial t} + U_j \frac{\partial K}{\partial x_j} = P_k - C_d \frac{K^{3/2}}{l_d} + \frac{v_t}{h\sigma_k} \frac{\partial^2 K}{\partial x_j^2} + \frac{1}{h^2} \frac{v_{tb}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial \eta} \Big|_b$$

$C_d = 0.08, \sigma_k = 1.0$

乱れの散逸項
流速分布による乱れの生産項
拡散項

水面の乱れエネルギーの輸送方程式 k_s

$$\frac{\partial k_s}{\partial t} + u_{sj} \frac{\partial k_s}{\partial x_j} = -C_{ds} \frac{k_s^{3/2}}{l_{ds}} + \frac{v_{ts}}{\sigma_k} \frac{\partial^2 k_s}{\partial x_j^2} + \frac{1}{h^2} \frac{v_{ts}}{\sigma_k} \frac{\partial^2 k}{\partial \eta^2} \Big|_s$$

$C_{ds} = 0.1, v_{ts} = l_d \sqrt{k_s}, l_{ds} = 0.07h$

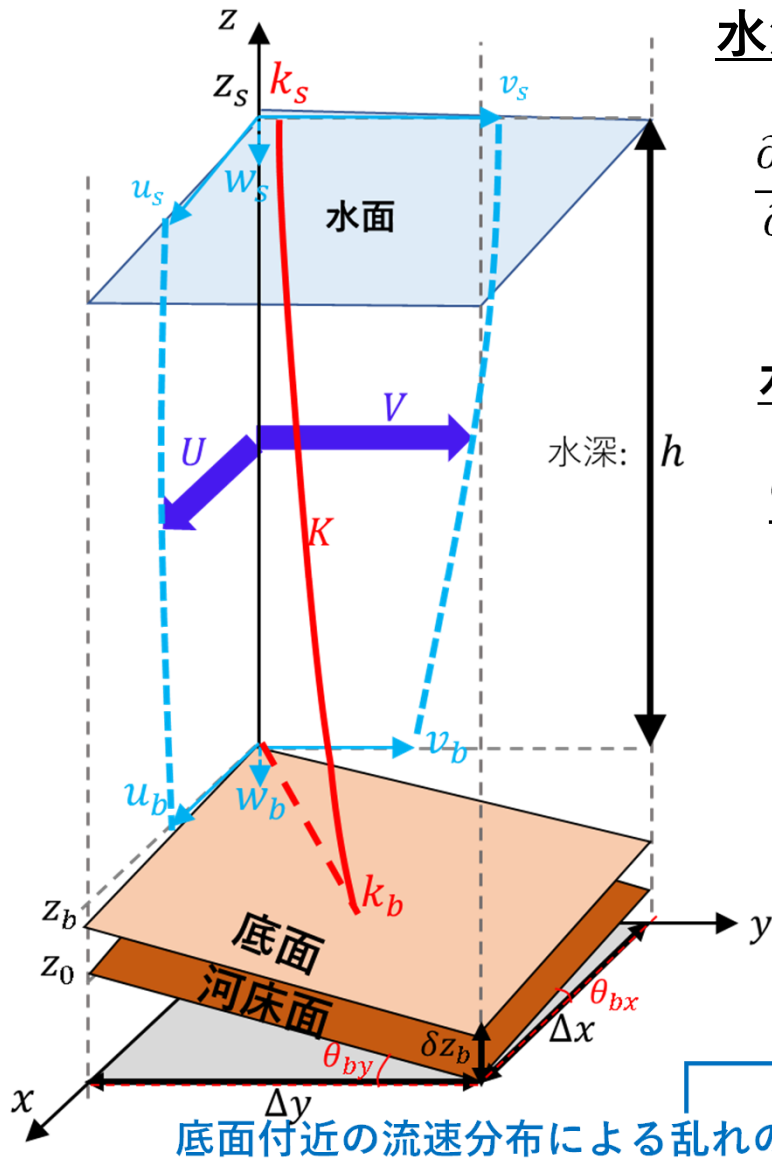
乱れの散逸項

底面の乱れエネルギーの輸送方程式 k_b

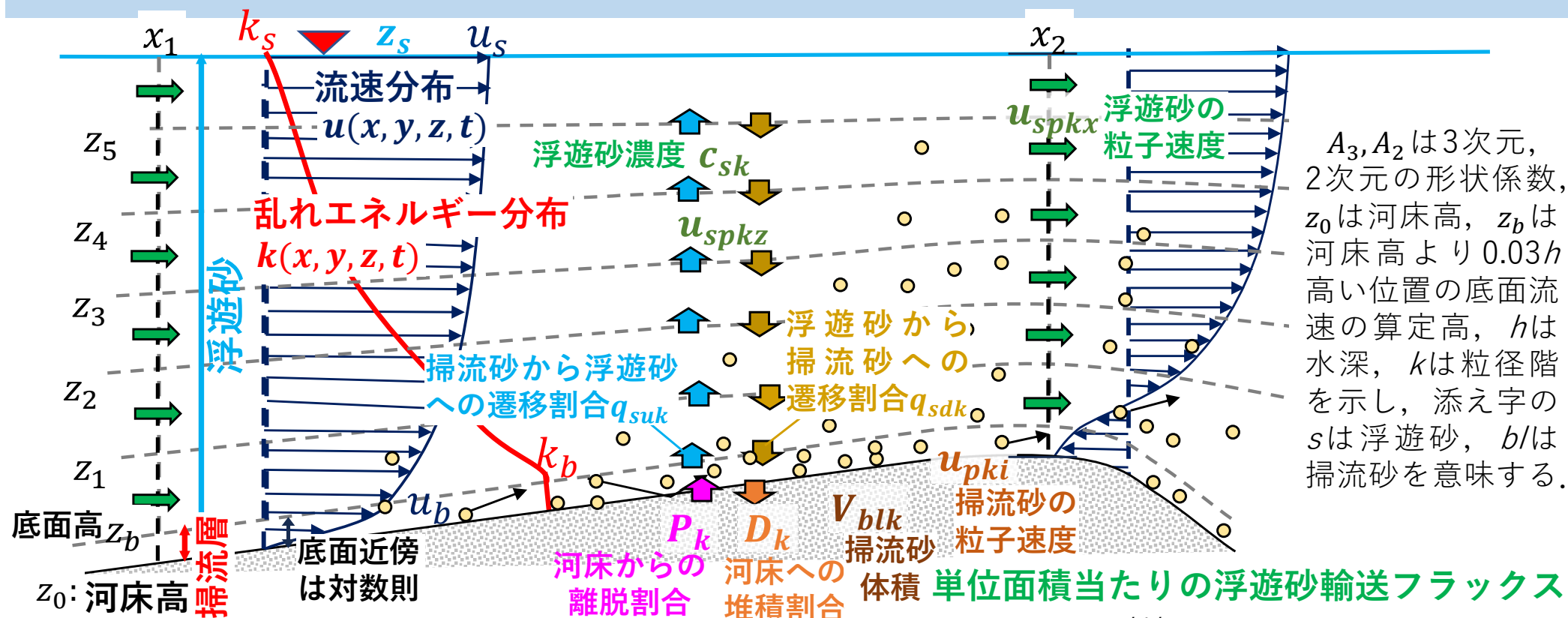
$$\frac{\partial k_b}{\partial t} + u_{bj} \frac{\partial k_b}{\partial x_j} = P_{kb} - C_{db} \frac{k_b^{3/2}}{l_{db}} + \frac{v_{tb}}{\sigma_k} \frac{\partial^2 k_b}{\partial x_j^2} + \frac{1}{h^2} \frac{v_{tb}}{\sigma_k} \frac{\partial k / \partial \eta \Big|_b - \partial k / \partial \eta \Big|_0}{\delta z_b}, \quad C_{db} = 0.06,$$

水面での拡散項
乱れの散逸項
底面での拡散項

$P_{kb} \approx \frac{\tau_{0i}}{\rho} \frac{h}{h + \delta z_b} \frac{\partial u_i}{\partial z} \Big|_b, v_{tb} = l_{db} \sqrt{k_b}, l_{db} = 0.032h$



河床変動解析法：非平衡流砂運動に基づく掃流砂と浮遊砂の一体解析法



浮遊砂の連続式 C_{sk} : 浮遊砂濃度

$$S = \Delta x \Delta y: \text{格子面積} \quad q_{ski} = \frac{1}{t_{mean}} \int_t^{t+t_{mean}} u_{spki} C_{sk} dt$$

$$\frac{\partial C_{sk} \Delta x \Delta y \Delta z}{\partial t} + \frac{\partial q_{skx} \Delta y \Delta z}{\partial x} + \frac{\partial q_{sly} \Delta x \Delta z}{\partial y} + \frac{\partial q_{skz} \Delta x \Delta y}{\partial z} = 0$$

$t_{mean} = l_d / k^{0.5}$: 乱れスケールの時間

底面での浮遊砂の鉛直方向の輸送フラックス: $q_{skzb} = q_{suk} - q_{sdk}$

掃流砂体積の連続式 V_{blk} : 掃流砂体積

$$S \frac{\partial V_{blk}}{\partial t} + \frac{\partial q_{blkx} \Delta y}{\partial x} + \frac{\partial q_{bly} \Delta x}{\partial y} = S(P_k - D_k - q_{suk} + q_{sdk})$$

掃流砂から浮遊砂への遷移割合 q_{suk}

浮遊砂から掃流砂への遷移割合 q_{sdk}

単位幅当たりの掃流砂輸送フラックス

$q_{blki} = V_{blk} \bar{u}_{pki}$, $\bar{u}_{pki}$: i 方向の掃流粒子の平均移動速度

河床の連続式 z_0

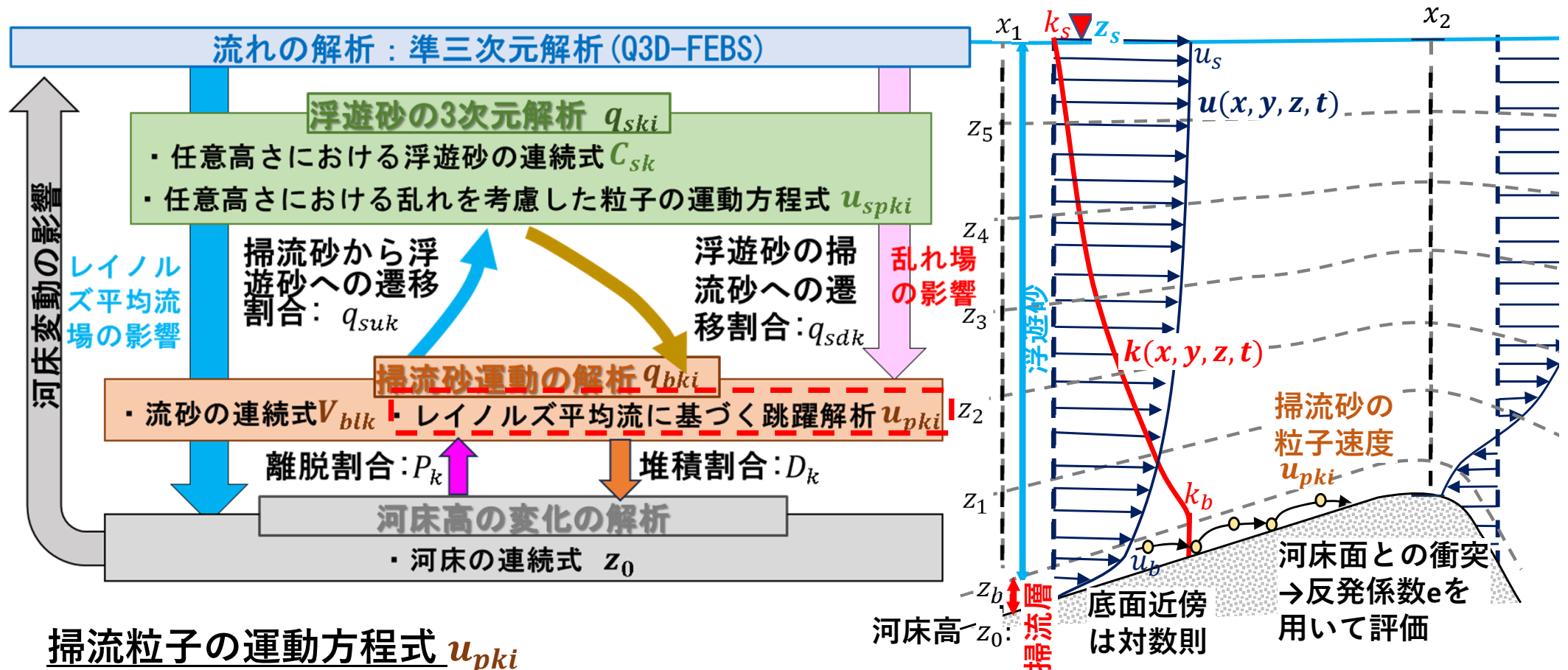
$$S \frac{\partial z_0}{\partial t} = S \frac{A_2}{A_3} \sum_{k_{max}} (-P_k + D_k)$$

河床からの離脱割合 P_k

河床への堆積割合 D_k

$$\bar{u}_{pki} = \frac{1}{T_{sal}} \int_0^{T_{sal}} u_{pki} dt, T_{sal} = 10.0(s)$$

掃流粒子の移動速度 u_{pki} の計算



掃流粒子の運動方程式 u_{pki}

● 粒径 d_k の掃流粒子の移動速度の瞬間値

$$A_3(\rho_s + \rho C_M)d_k^3 \frac{\partial u_{pki}}{\partial t} = \underbrace{0.5\rho C_D A_2 d_k^2 (\bar{u}_i - u_{pki}) |\bar{\mathbf{u}}_b - \mathbf{u}_{pk}|}_{\text{流体力}} - \underbrace{A_3(\rho_s - \rho) g_i d_k^3}_{\text{重力項}}$$

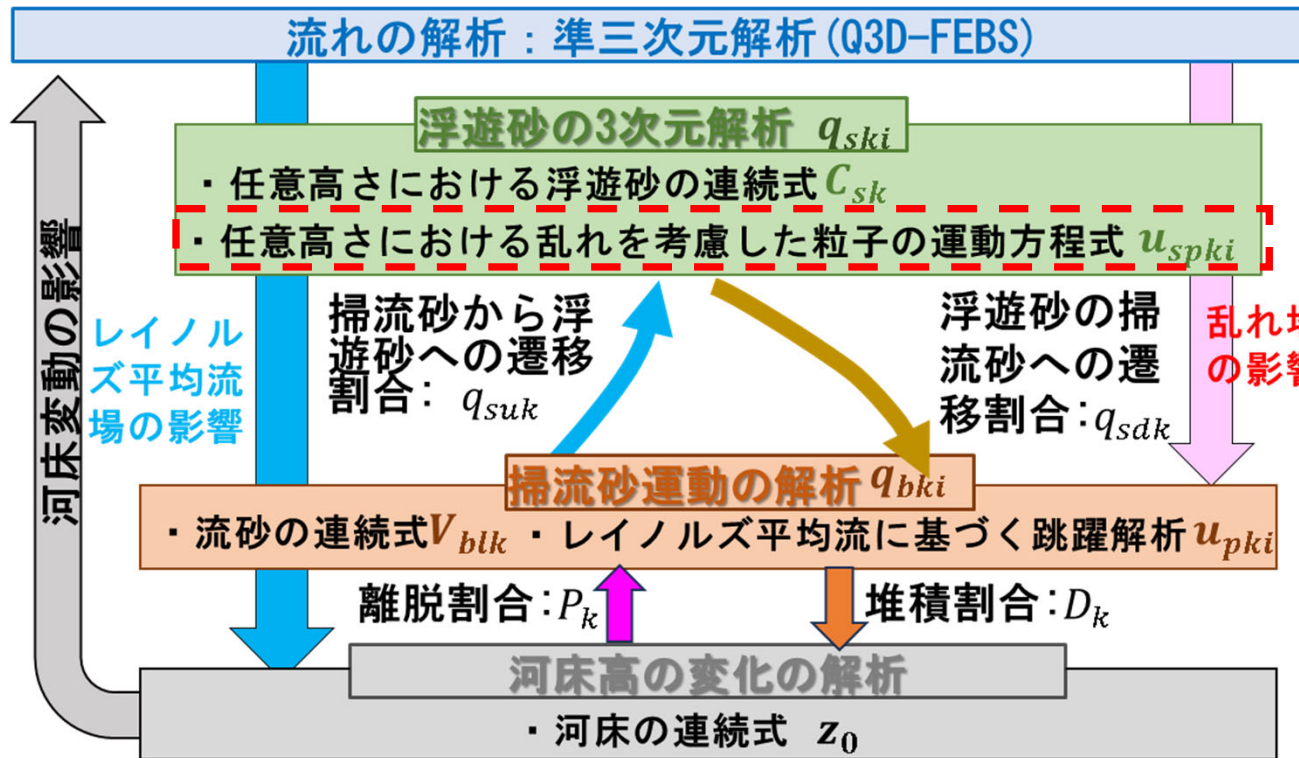
※掃流運動中の移動粒子と河床面との衝突の影響については、反発係数($e=0.7$)を用いて評価

ρ は水の密度, g_i : 重力加速度, ρ_s は砂粒子の密度, $C_M(=0.5)$ は付加質量係数, d_k は粒径, u_{pki} は各格子における掃流運動中の粒子の i 方向移動速度の瞬間値, $C_D(=0.4)$ は抗力係数, $\bar{u}_i$ はレイノルズ平均流速, $i=1,2,3(x,y,z$ 方向)

長田, 福岡, 土木学会論文集B1, 2012.

竹村, 久保, 岡田, 福岡, 河川技術論文集, 2020.

浮遊粒子の移動速度 u_{spki} の計算



本解析法における流速の乱れ成分

$$u'_i = f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{(X - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

本解析では流速の乱れ成分は、平均値 $\bar{u}_i$ 、分散 $\overline{u'_i u'_i}$ (乱れ強度) の標準正規分布に従うものと仮定する。x,y,z方向の乱れ強度については、LESモデル(数値移動床実験)の結果に基づき、以下のように配分する。

$$\overline{u' u'} \approx 1.1k(\eta)$$

$$\overline{v' v'} \approx 0.34k(\eta)$$

$$\overline{w' w'} \approx 0.56k(\eta)$$

浮遊粒子の運動方程式

(乱れ成分を考慮して流体力を評価)

$$A_3(\rho_s + \rho C_M) d_k^3 \frac{\partial u_{spki}}{\partial t}$$

● 粒径 d_k の浮遊粒子の移動速度の瞬間値

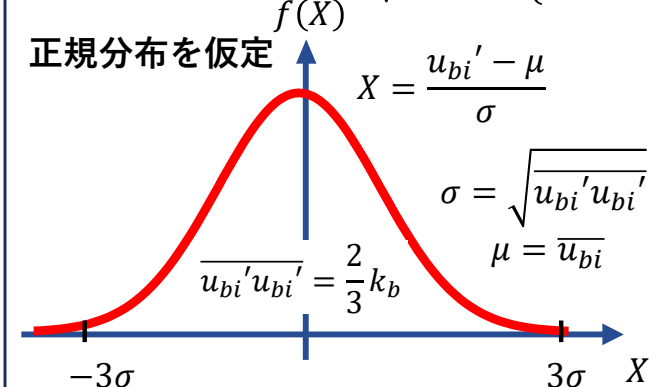
$$= \frac{0.5\rho C_D A_2 d_k^2 (\bar{u}_i + u'_i - u_{spki}) |\bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}' - \mathbf{u}_{pk}|}{-A_3(\rho_s - \rho) g_i d_k^3}$$

流れの乱流成分: 正規乱数で与える

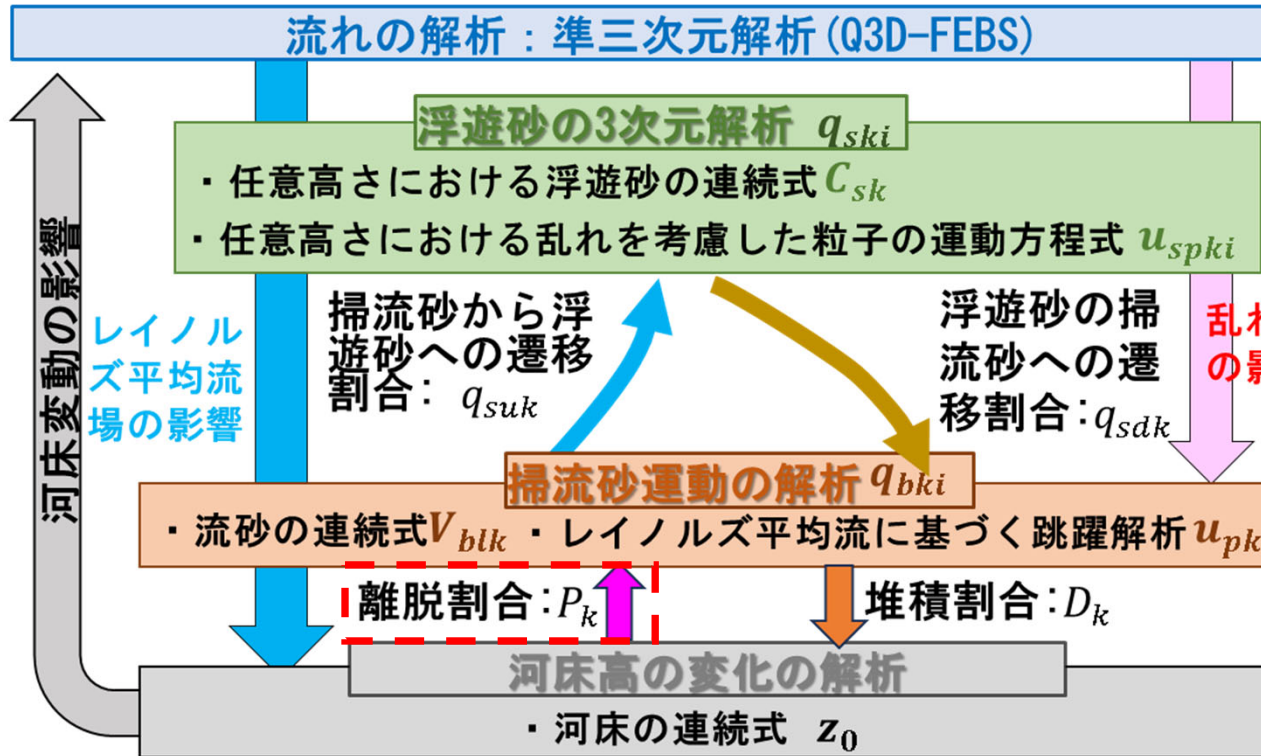
流れの乱れ成分を考慮した流体力項

乱流による瞬間流速の与え方

$$u_{bi}' = f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{(X - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$



単位面積・単位時間当たりの河床からの粒子の離脱割合 P_k の計算



単位面積・単位時間当たりの河床からの粒子の離脱割合 P_k

$$P_k = \alpha_3 d^3 \times \frac{\varepsilon_p}{\alpha_2 d^2} \times \frac{1}{T_{pk}}$$

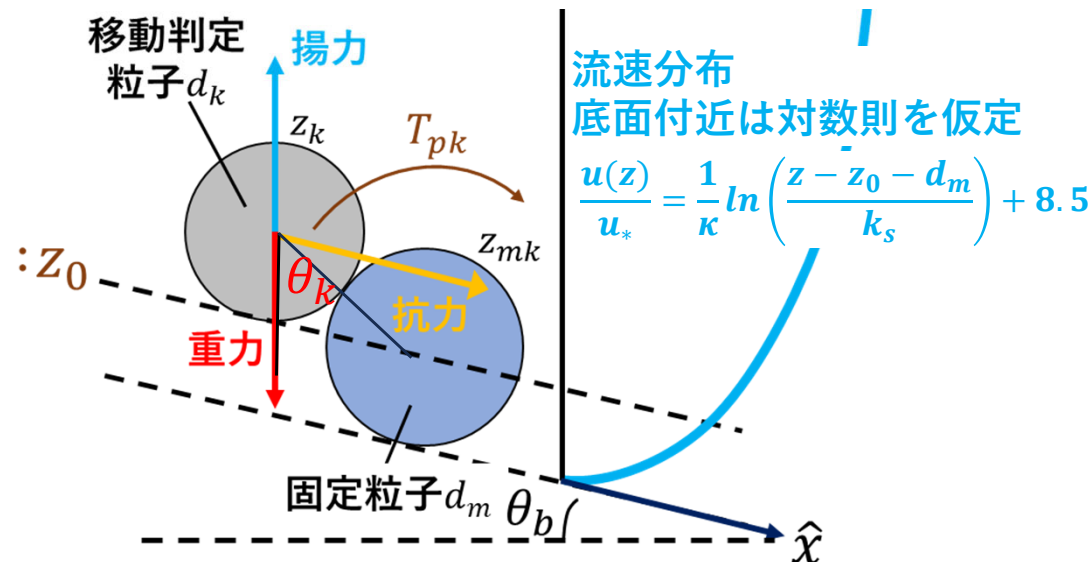
粒子の平均離脱時間

$\frac{1}{\alpha_2 d^2}$: 単位面積当たりの粒子数

$\frac{\varepsilon_p}{\alpha_2 d^2}$: 単位幅当たりの離脱可能な粒子の数

長田, 福岡, 土木学会論文集B1, 2012.
竹村, 久保, 岡田, 福岡, 河川技術論文集, 2020.

粒子の平均離脱時間は粒子の回転の方程式から粒子が離脱するまでの時間を求めることで評価する



粒子に作用する抗力 $F_s = \rho \frac{1}{2} \alpha_2 d_k^2 C_D u_i |u_i|$

粒子に作用する揚力 $F_z = \rho \frac{1}{2} \alpha_2 d_k^2 C_L u_i |u_i|$

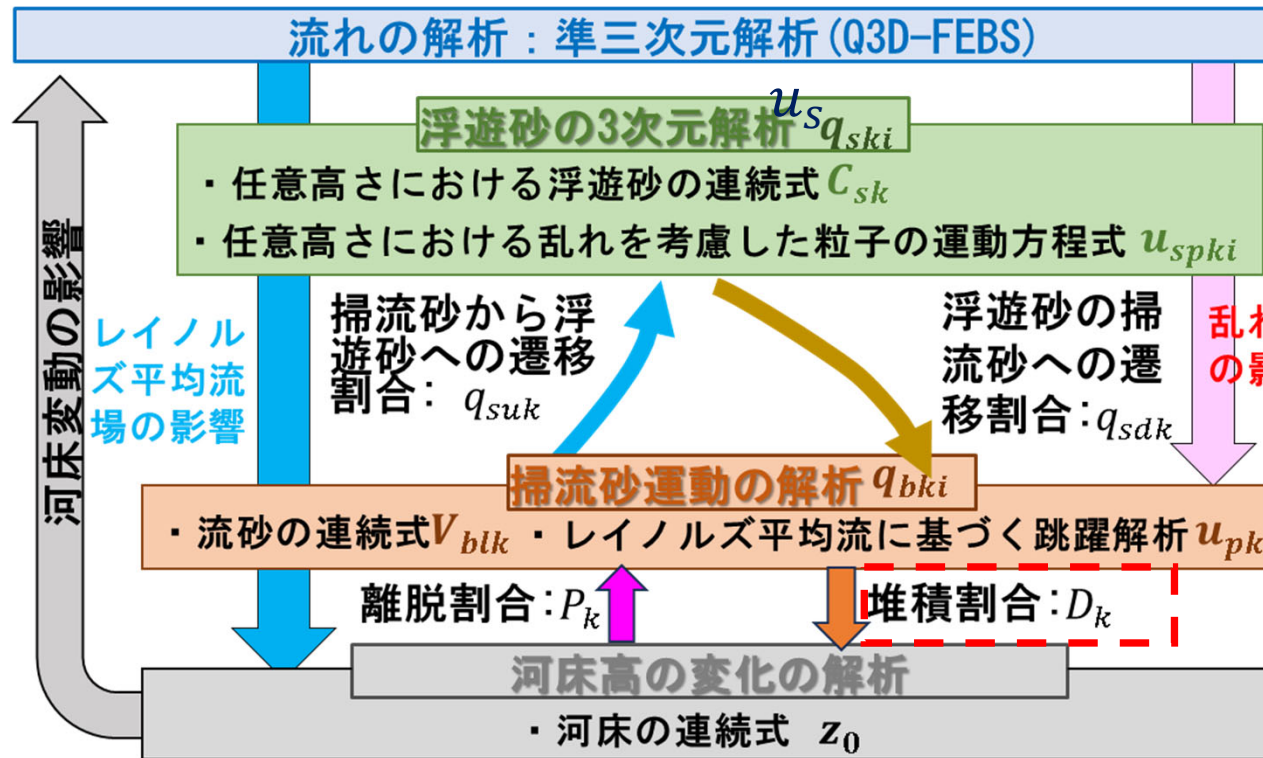
粒子に作用する重力 $W' = (\rho_s - \rho) \alpha_3 d_k^3 g \cos \theta$

粒子の回転の方程式

$$\frac{d^2 \theta_k}{dt^2} = - \frac{W' \sin \theta_k + F_z \sin \theta_k + F_s \cos \theta_k}{\frac{7}{10} (d_k + d_m) M}$$

離脱条件 $F_z \sin \theta_k + F_s \cos \theta_k > W' \sin \theta_k$

単位面積・単位時間当たりの河床への粒子の堆積割合 D_k の計算



単位面積・単位時間当たりの河床への粒子の堆積割合 D_k

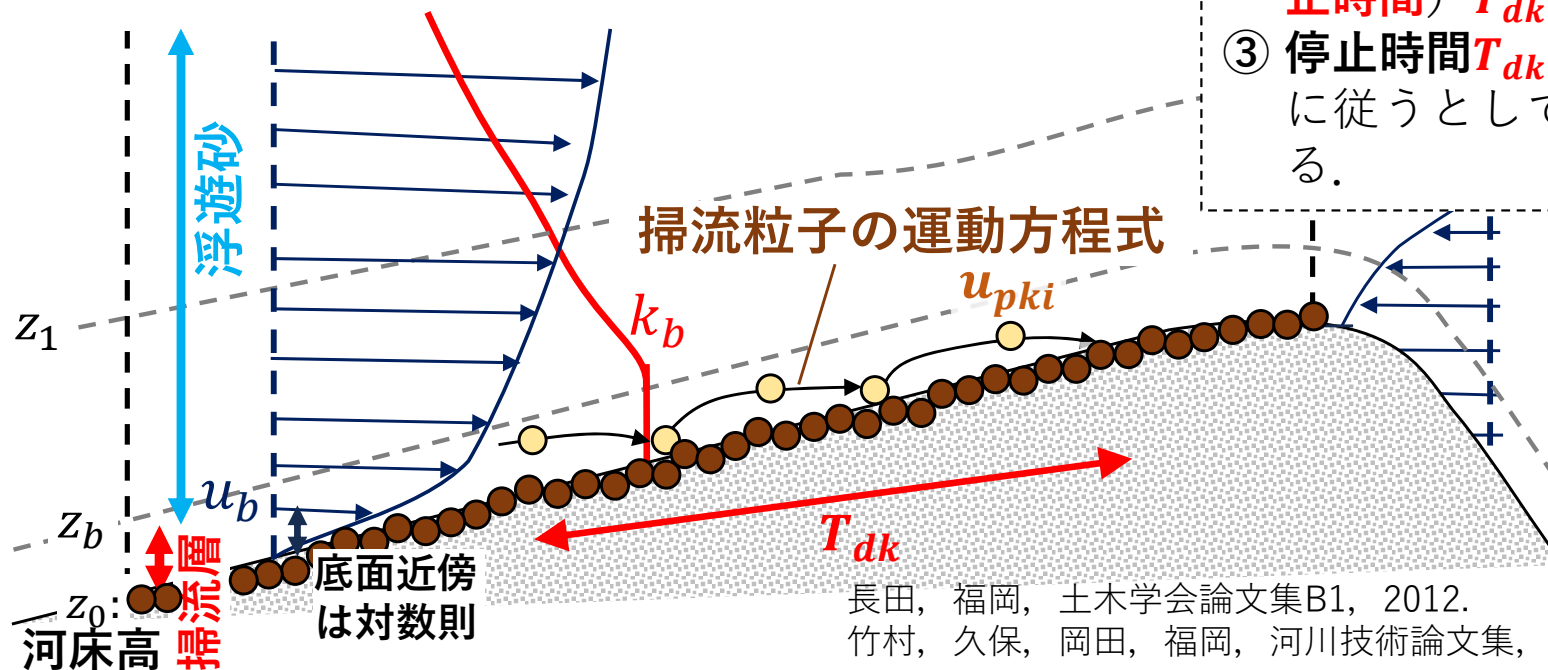
$$D_k = V_{blk} \int_0^1 \frac{1}{T_{dk}} \exp\left(-\frac{t}{T_{dk}}\right) dt$$

※単位時間・単位面積あたりの値

V_{blk} : 各粒径の掃流砂体積

T_{dk} : 各粒径の平均移動時間

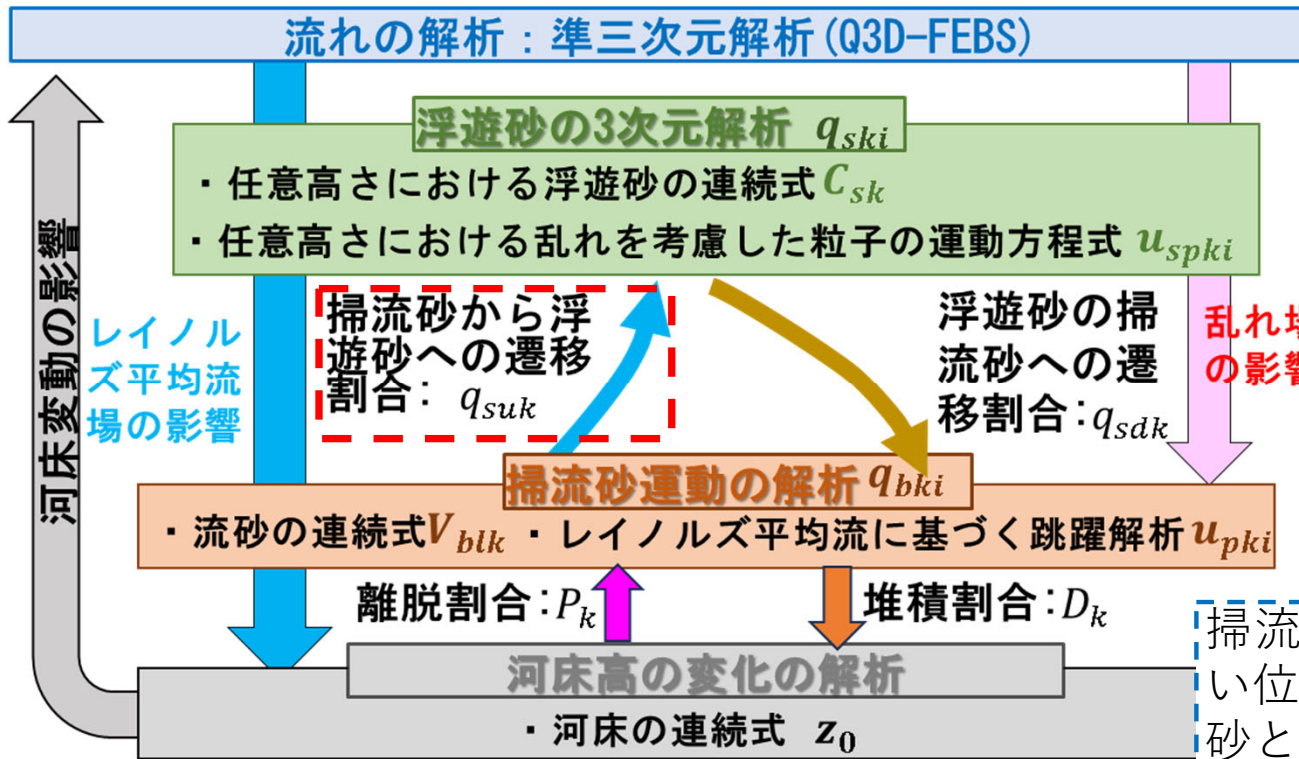
- ① 河床の凹凸を考慮した模擬河床を作成。
- ② 掃流粒子の運動方程式により粒子が停止するまでの時間(平均停止時間) T_{dk} を計算。
- ③ 停止時間 T_{dk} の分布が指数分布に従うとして、堆積割合を求める。



長田, 福岡, 土木学会論文集B1, 2012.

竹村, 久保, 岡田, 福岡, 河川技術論文集, 2020.

単位面積・単位時間当たりの掃流砂から浮遊砂への遷移割合 q_{suk} の計算



単位面積・単位時間当たりの掃流砂から浮遊砂への遷移割合

q_{suk}

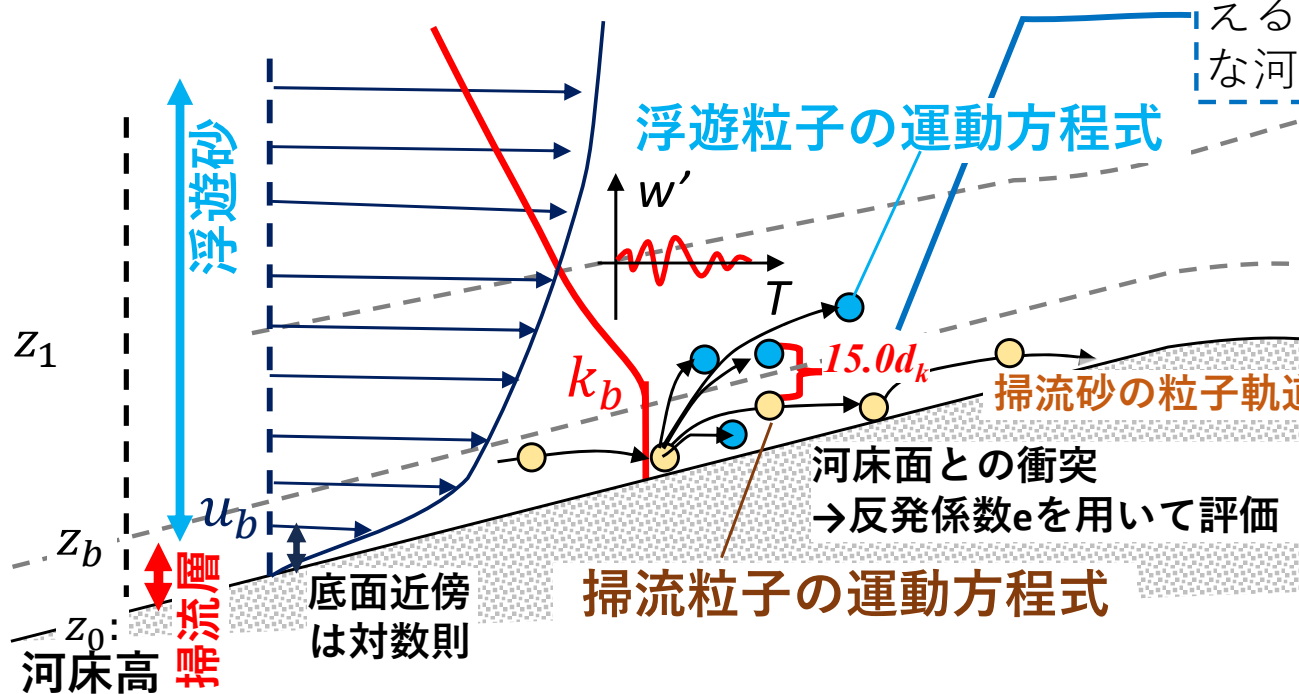
$$q_{suk} = \frac{N_{su}}{N_{max}T_{su}} V_{blk}$$

$N_{max} = 100$: 試行回数

N_{su} : 浮遊砂に遷移した個数

T_{su} : 粒子が浮上するまでに要する時間

掃流砂の跳躍高さより $15.0d_k$ 高い位置まで浮上した粒子を浮遊砂と見なし、その個数割合を数える。判定基準は実測の平均的な河床変動に合うように設定。



乱流による瞬間流速の与え方

$$u_{bi}' = f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(X - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

正規分布を仮定

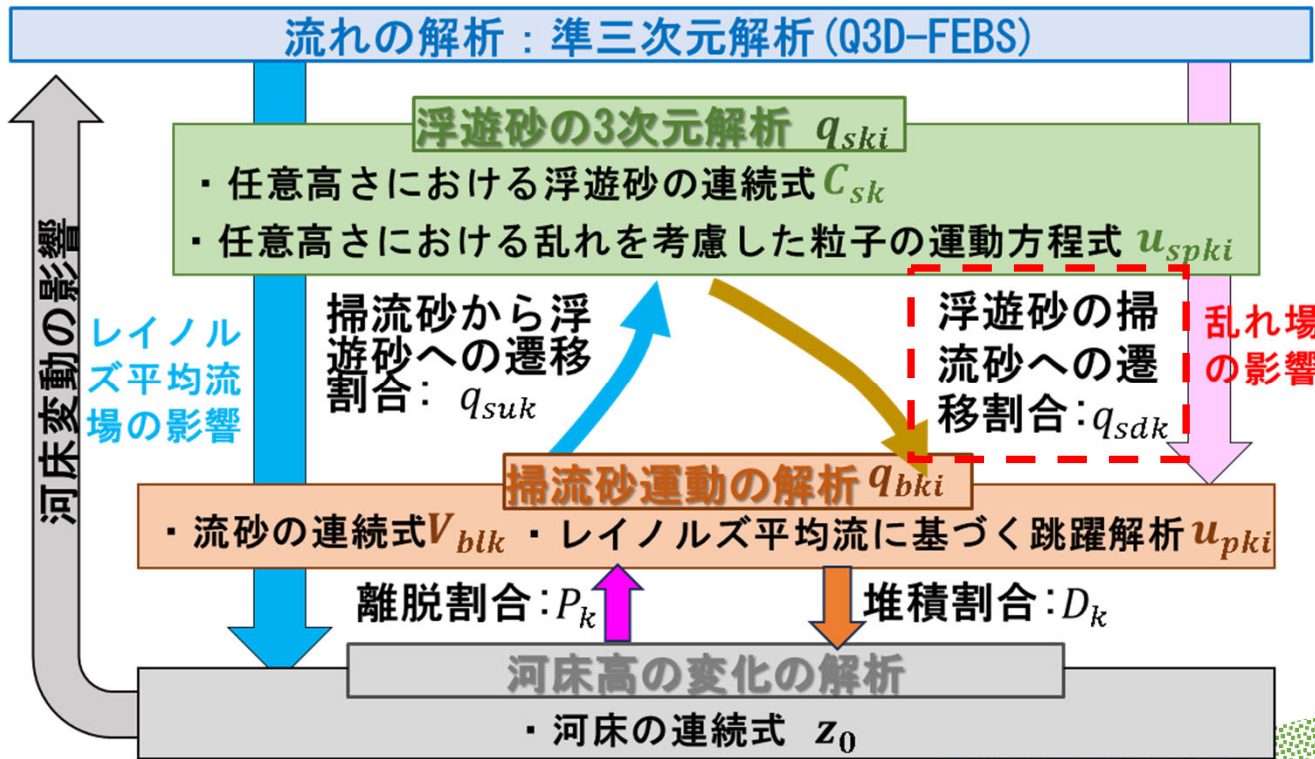
$$X = \frac{u_{bi}' - \mu}{\sigma}$$

$$\sigma = \sqrt{u_{bi}'u_{bi}'}$$

$$\mu = \overline{u_{bi}'}$$

$$\overline{u_{bi}'u_{bi}'} = \frac{2}{3}k_b$$

単位面積・単位時間当たりの浮遊砂から掃流砂への遷移割合 q_{sdk} の計算

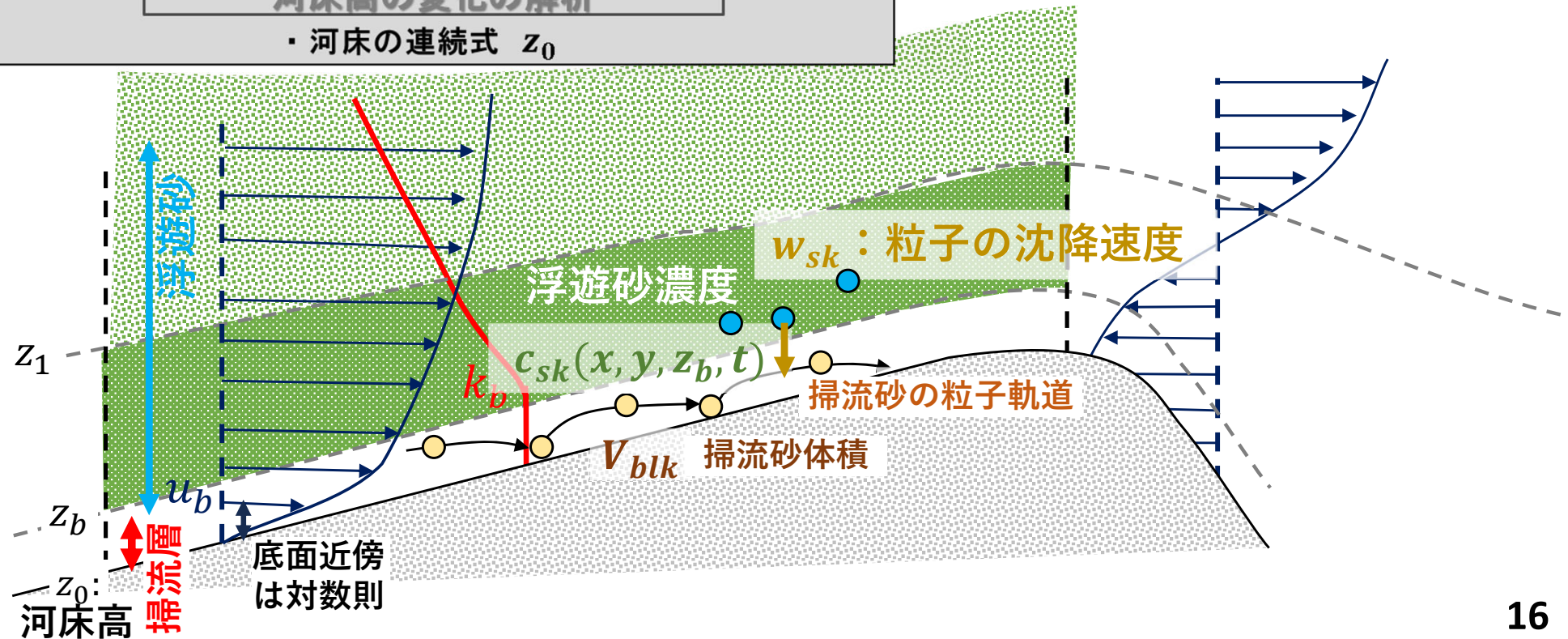


単位面積・単位時間当たりの浮遊砂から掃流砂への遷移割合

q_{sdk}

$$q_{sdk} = w_{sk} c_{sk}(x, y, z_b, t)$$

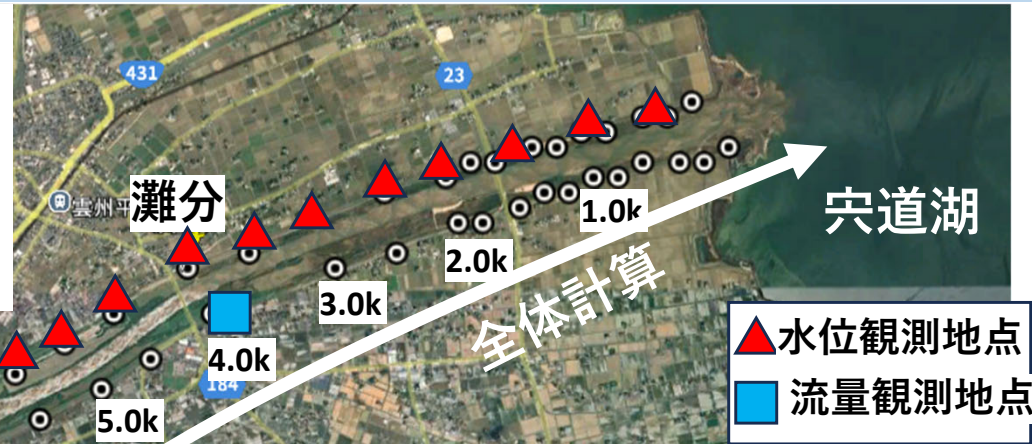
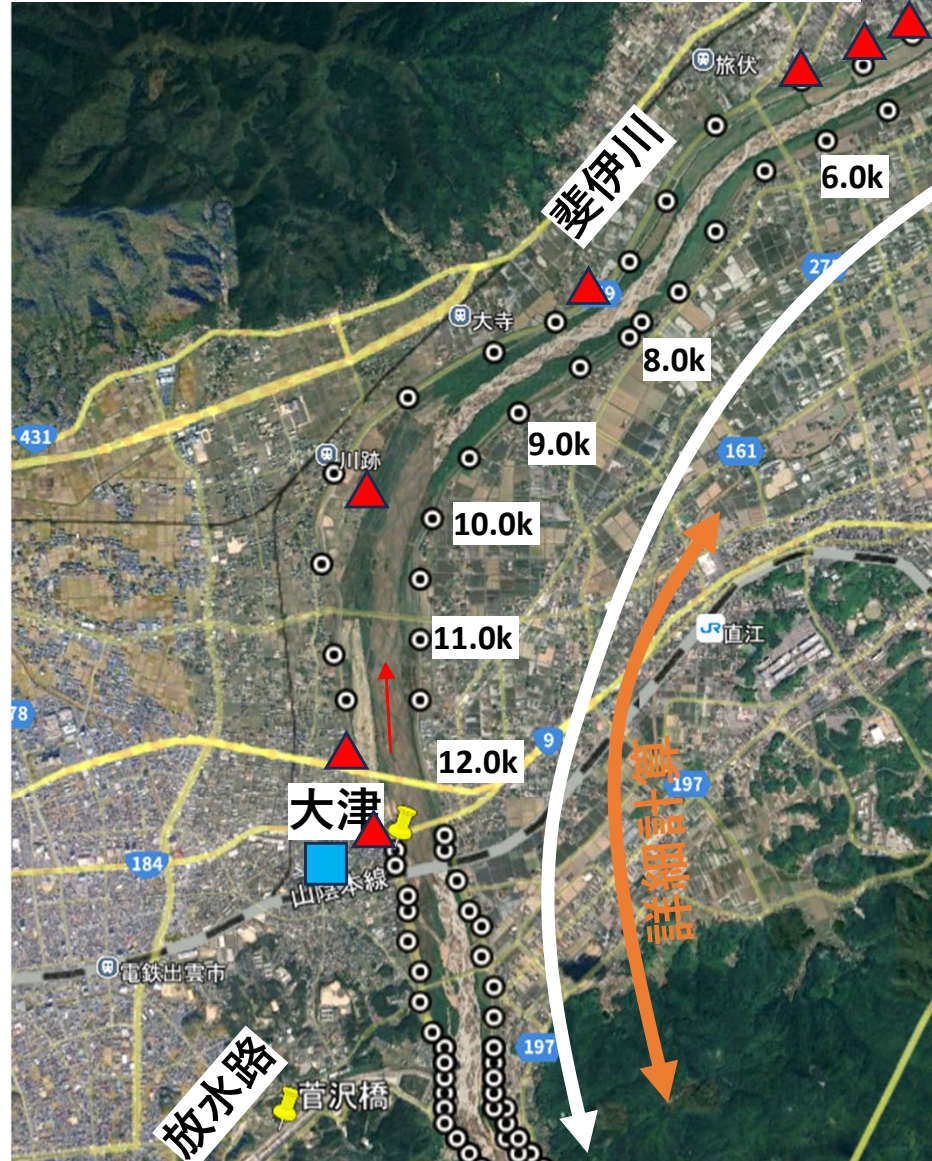
w_{sk} : 粒子の沈降速度



2. 砂河川斐伊川への適用と洪水中の流れと砂州、 砂堆の挙動

斐伊川下流部(14km~河口部)における洪水観測体制, ALB測量について

国土交通省出雲河川事務所より, 多点水位観測データ, 洪水前後ALB測量データ等の詳細な観測データをご提供頂き, これらのデータを用いて構築した解析法を適用した.



洪水とALB測量の関係

ALB測量年月

R2年5月

R2年10月

R3年6月

R3年8月3日

R4年4月20日

R4年7月(洪水後)

R5年6月

R5年12月

洪水発生年月日

R2年6月(約660m³/s)

R2年7月(約1,200m³/s)

R3年7月(約2,100m³/s)

R3年8月13日～15日
(約1490m³/s)

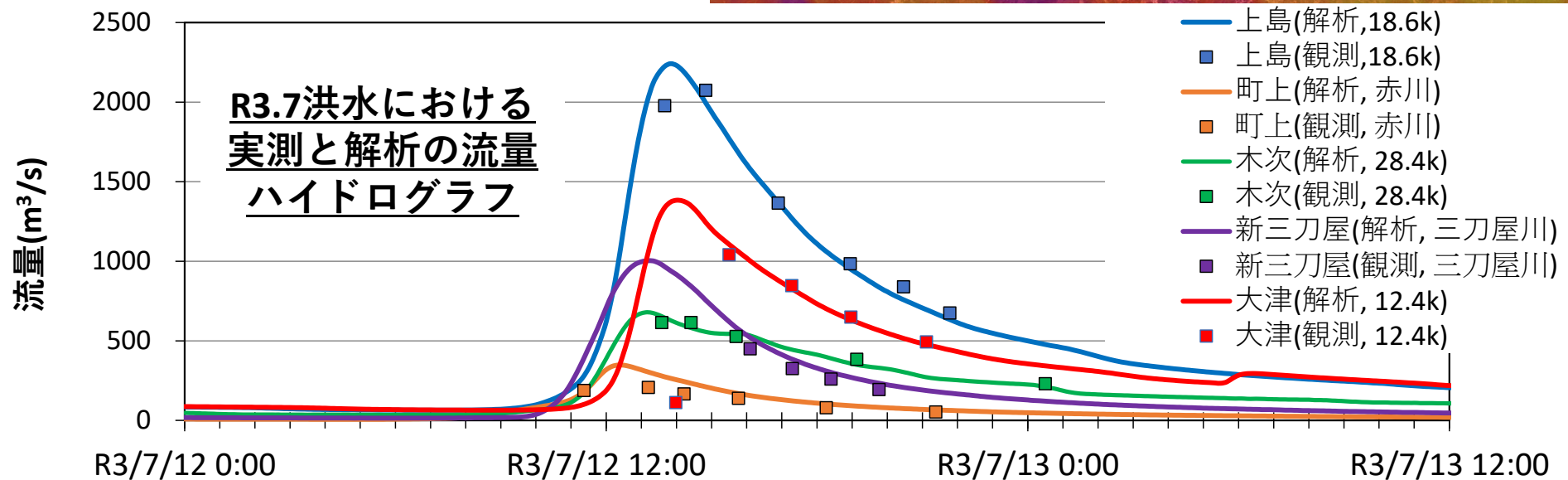
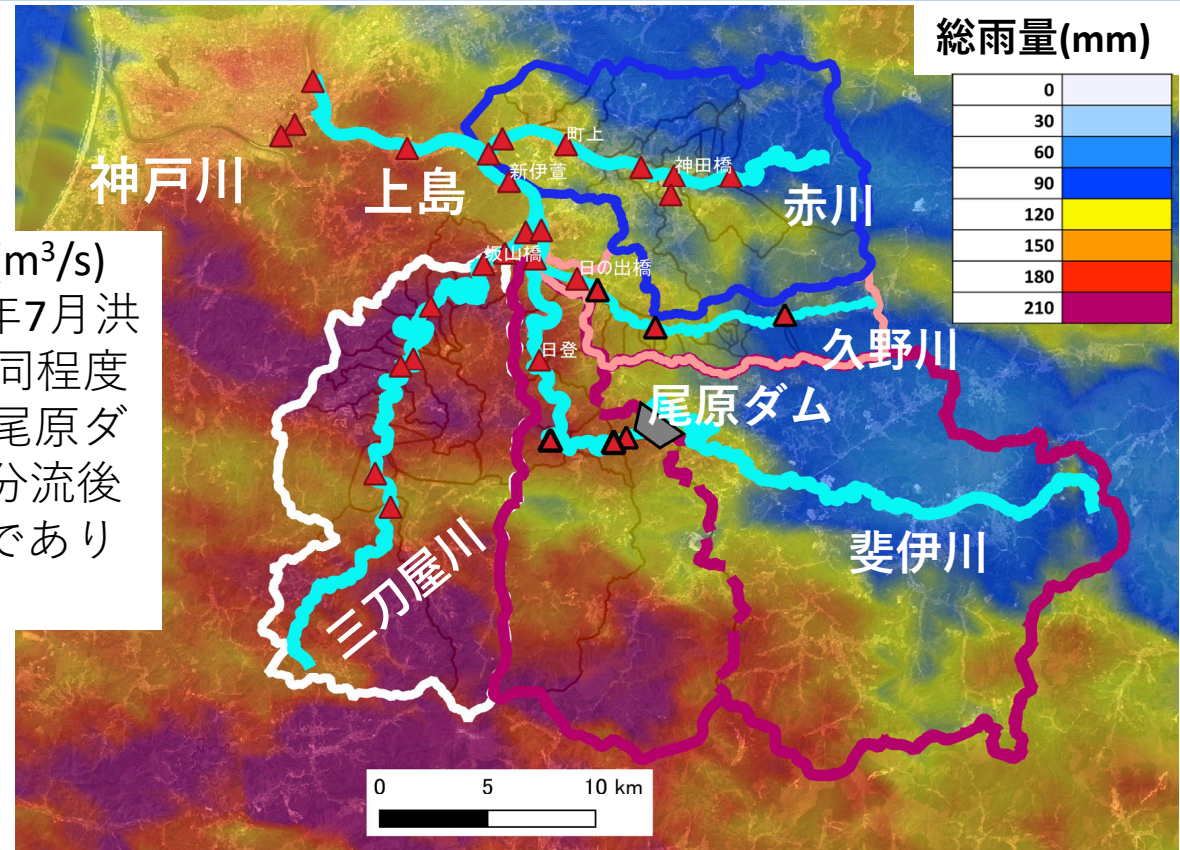
R4年7月19日(790m³/s)

(湧水調整8月12日～)

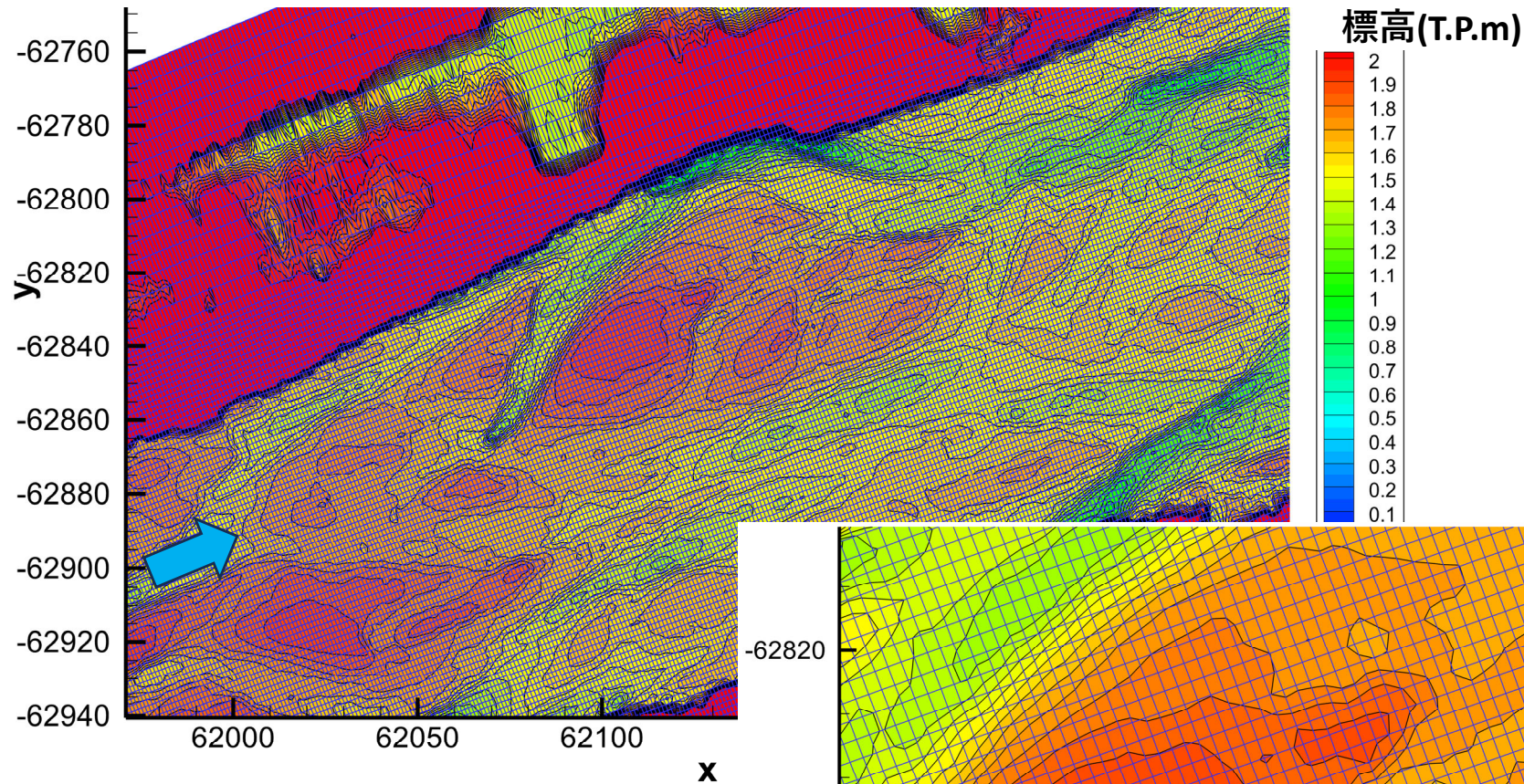
対象洪水(令和3年7月洪水)の概要

令和3年7月洪水における斐伊川 上流域の総雨量コンター

- ・ 上島地点におけるピーク流量：約2,100(m^3/s)
- ・ 下流域で浸水被害をもたらした平成18年7月洪水(ピーク流量：約2,100(m^3/s), 上島)と同程度
- ・ 本洪水では、斐伊川放水路(H25竣工), 尾原ダム(H24竣工)が整備されたことにより、分流後の大津地点ではピーク流量約1,200 m^3/s であり被害が軽減されている。



全体計算の初期河床波形状

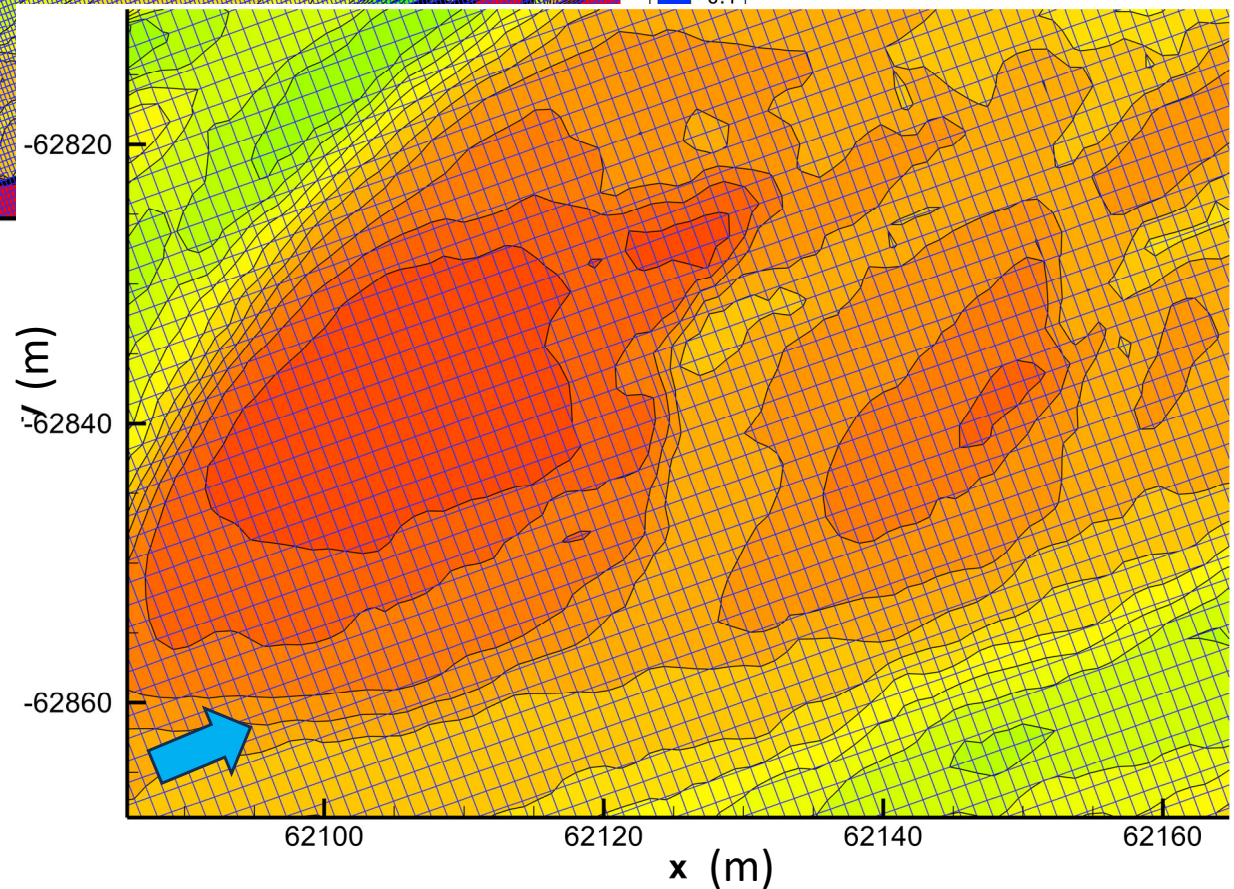


解析格子

解析格子は縦横の歪が出来るだけ生じないように作成. 格子サイズは1~2m.

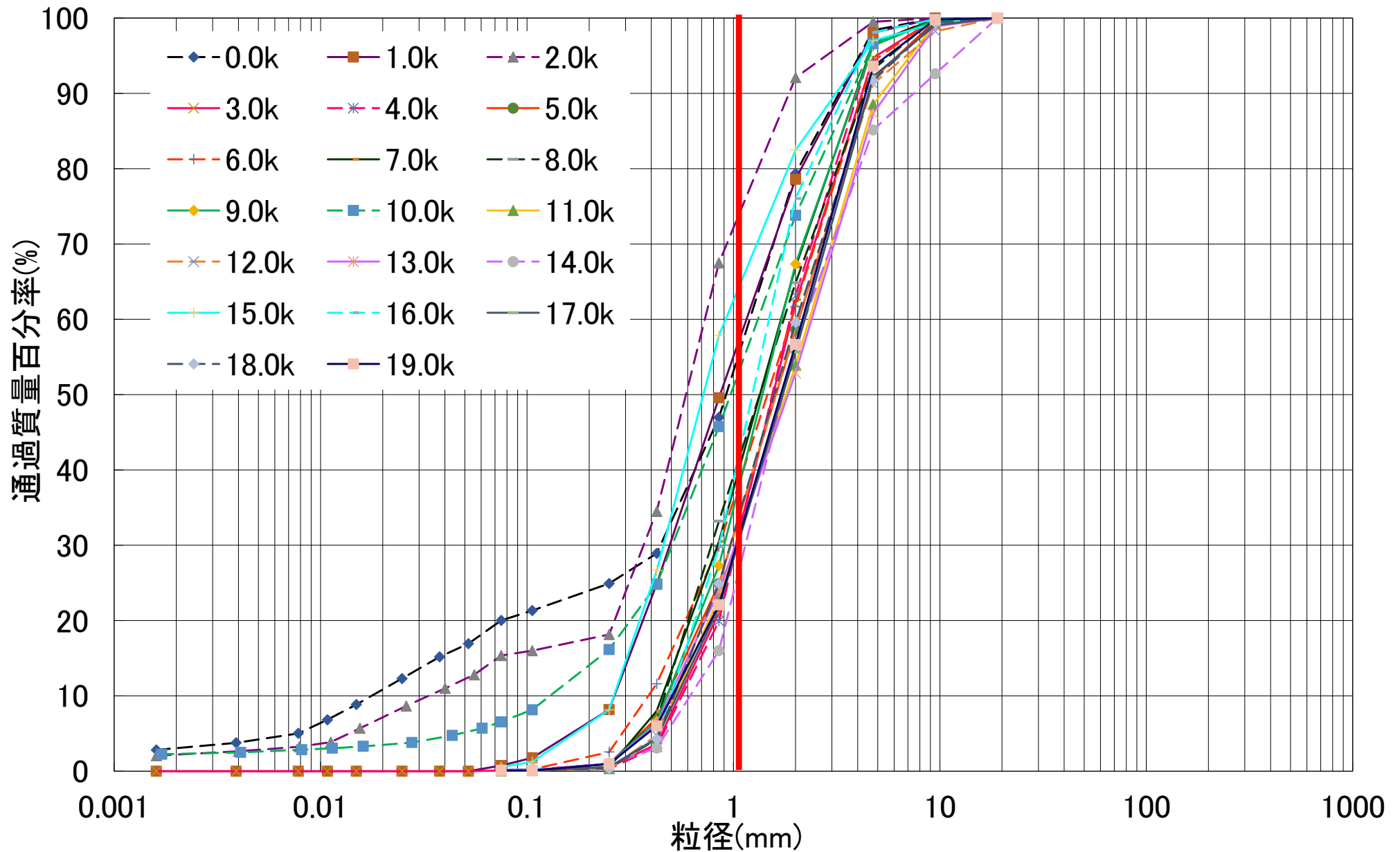
格子数：縦断方向15000

横断方向130

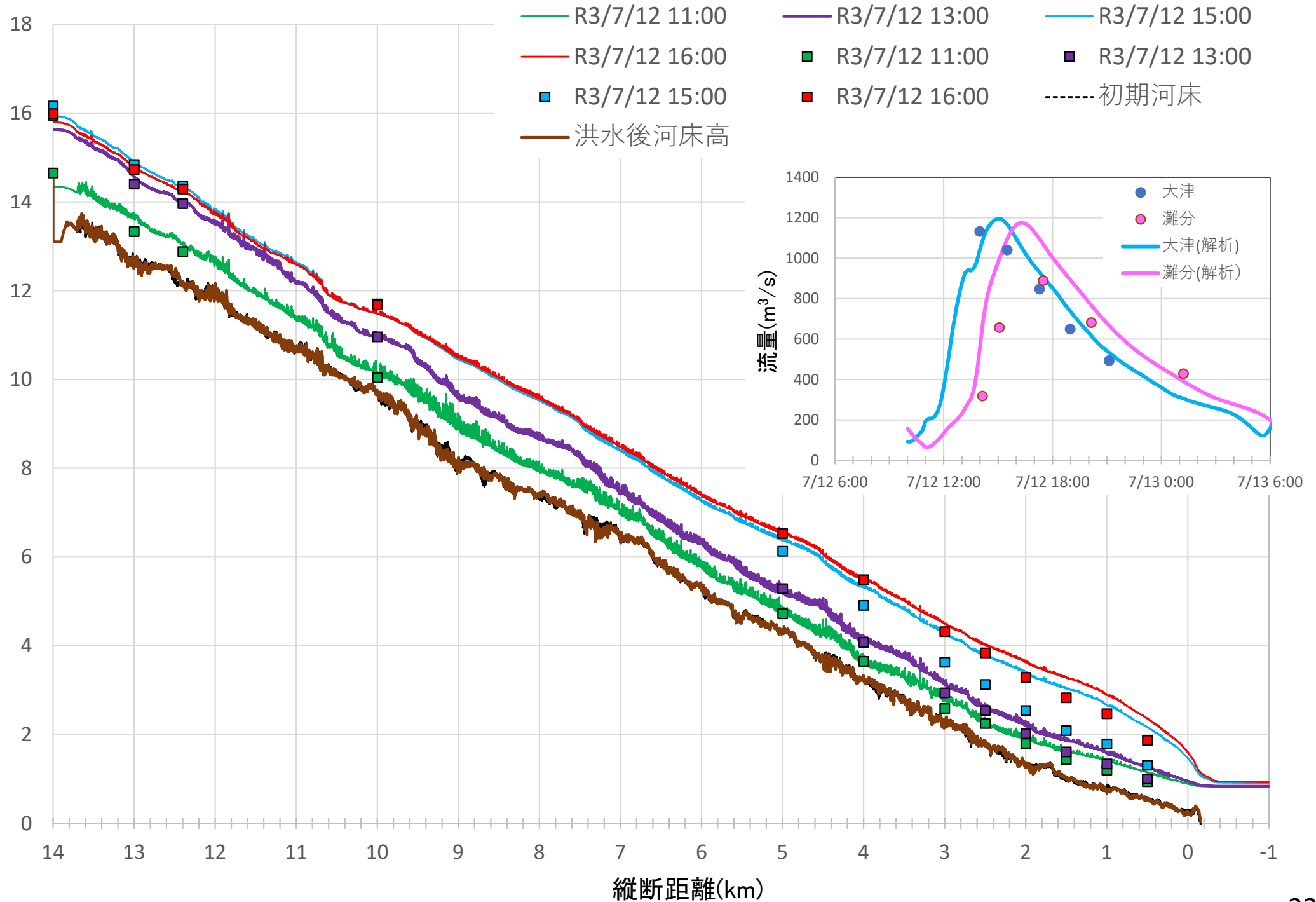


実測と解析における河床材料粒度分布

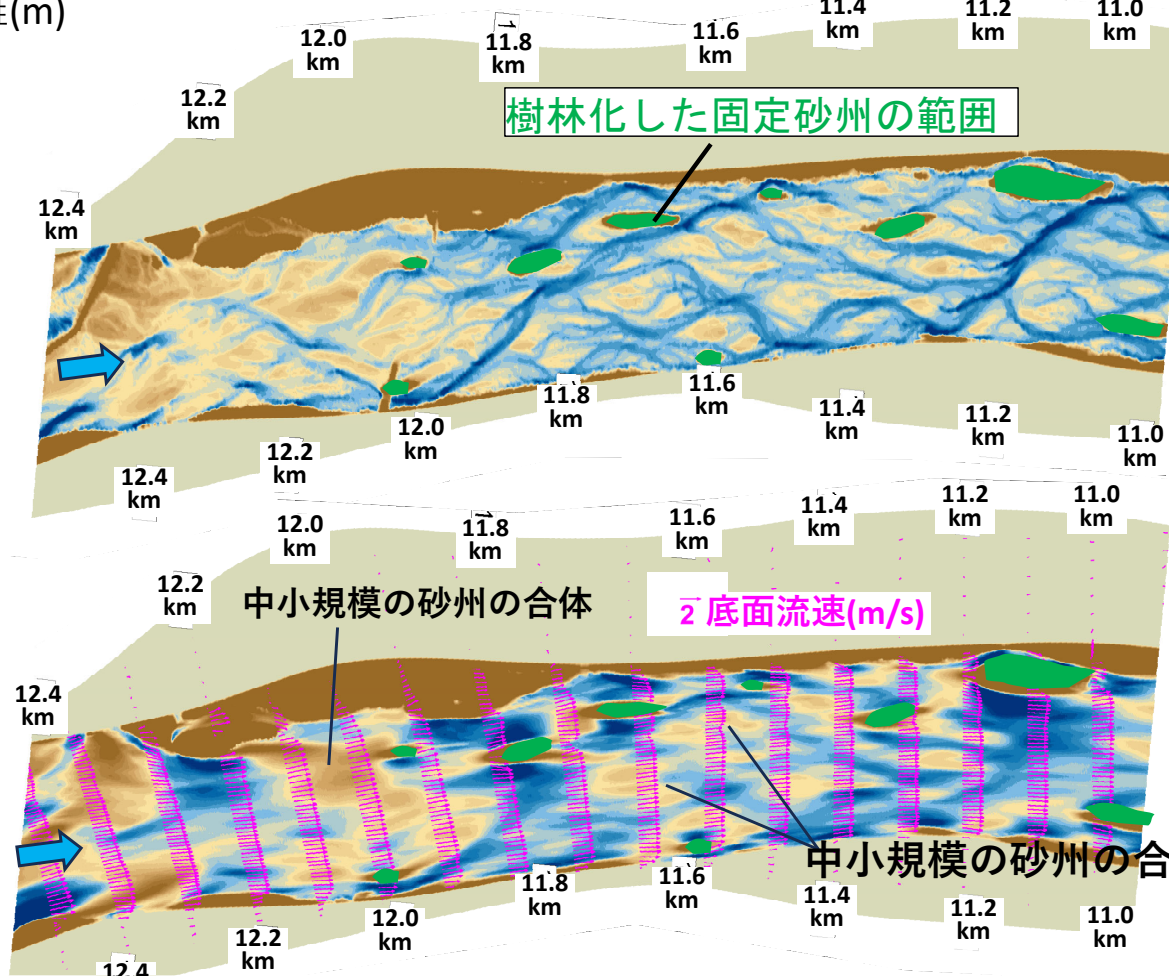
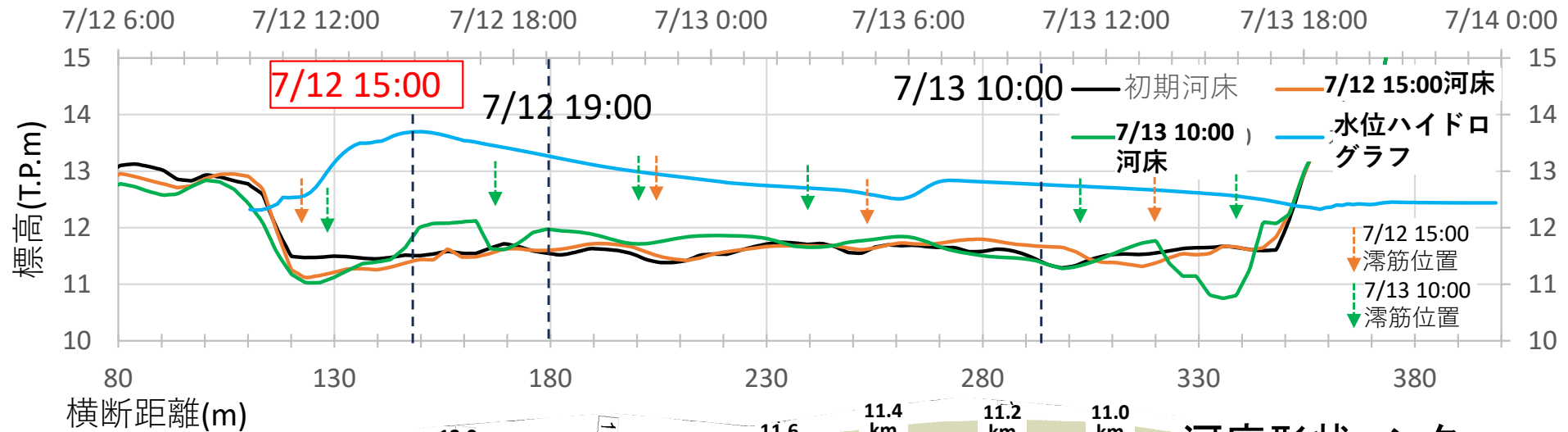
1mm粒径の一様粒径を与えた



実測と解析の水面形時系列・流量ハイドログラフの比較



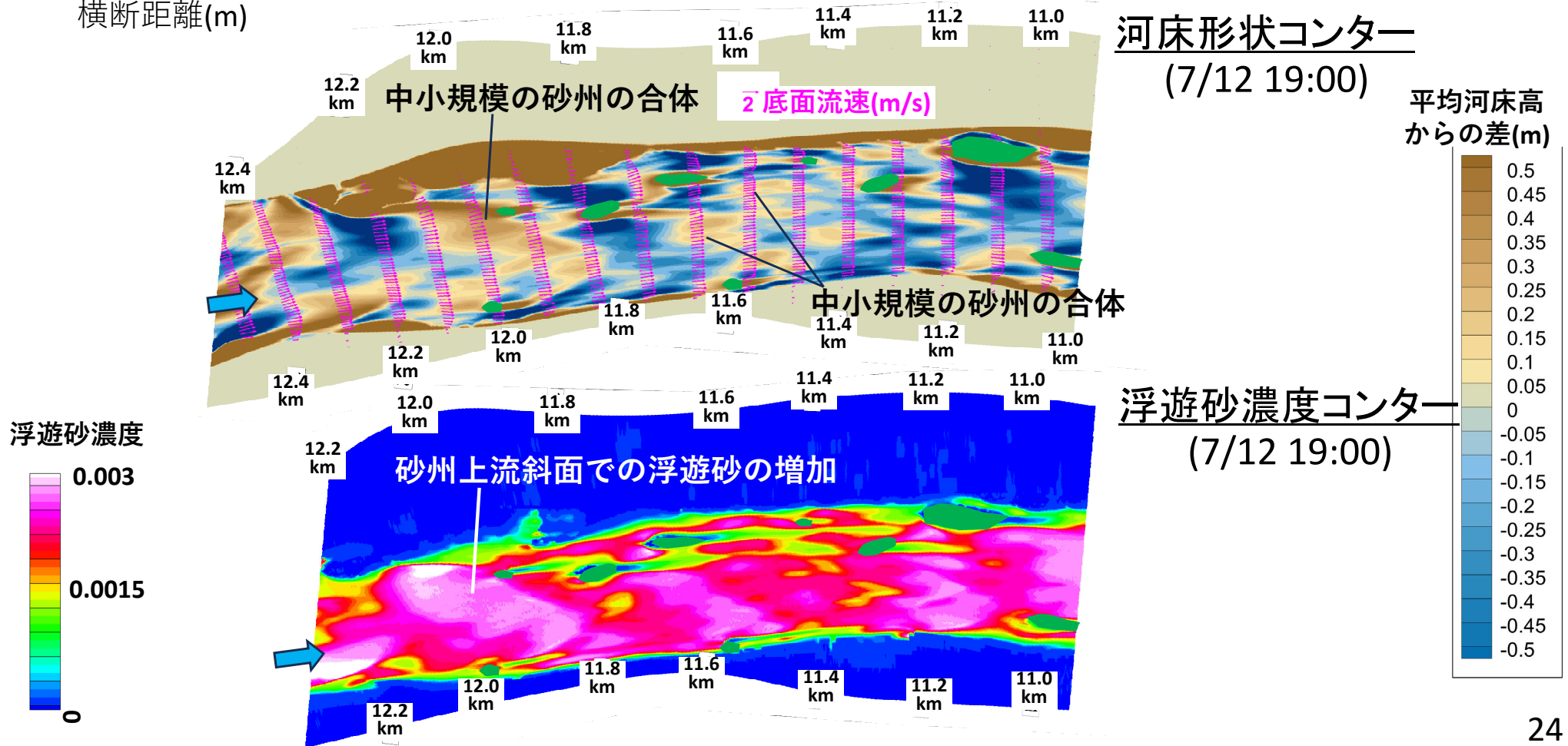
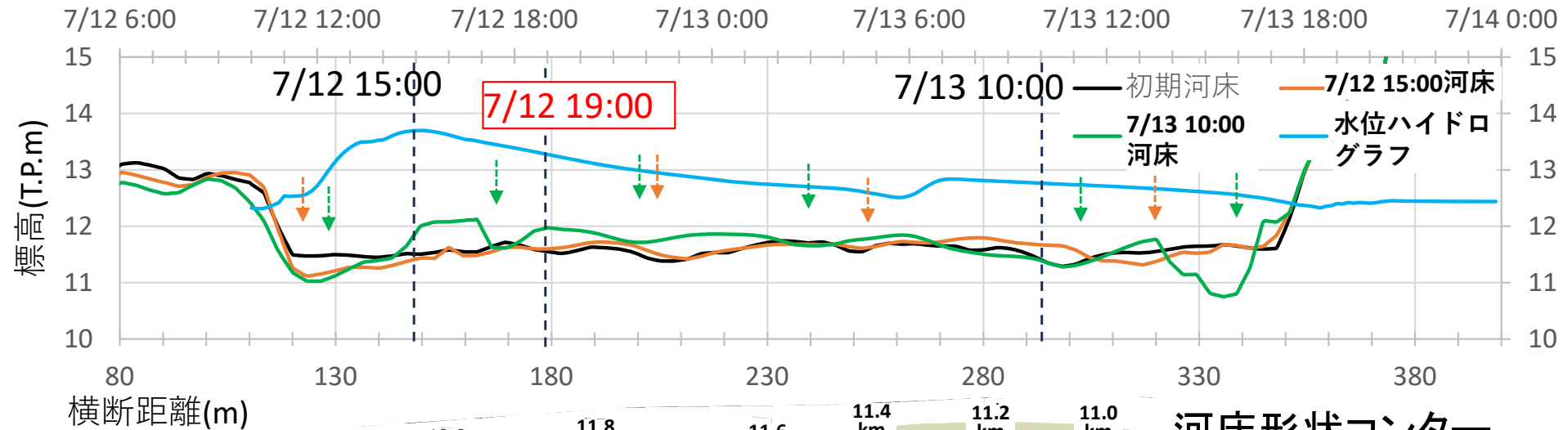
解析における網状砂州形状の時間変化(12km~11km)



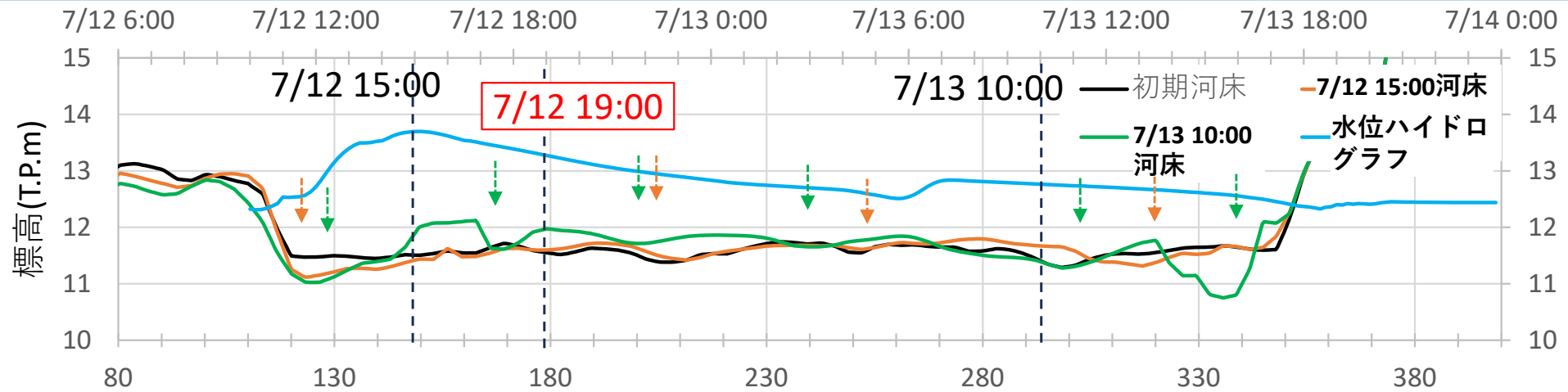
河床形状コンター
(初期)

河床形状コンター
(7/12 15:00)

解析における網状砂州形状の時間変化(12km~11km)



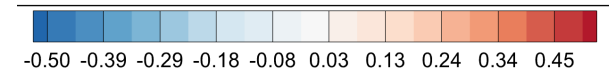
解析における網状砂州形状の時間変化(12km~11km)



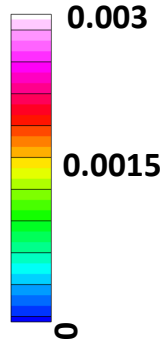
浮遊砂濃度コンター
(7/12 19:00)

河床変動コンター
(7/12 19:00)

初期河床高からの変動高(m)



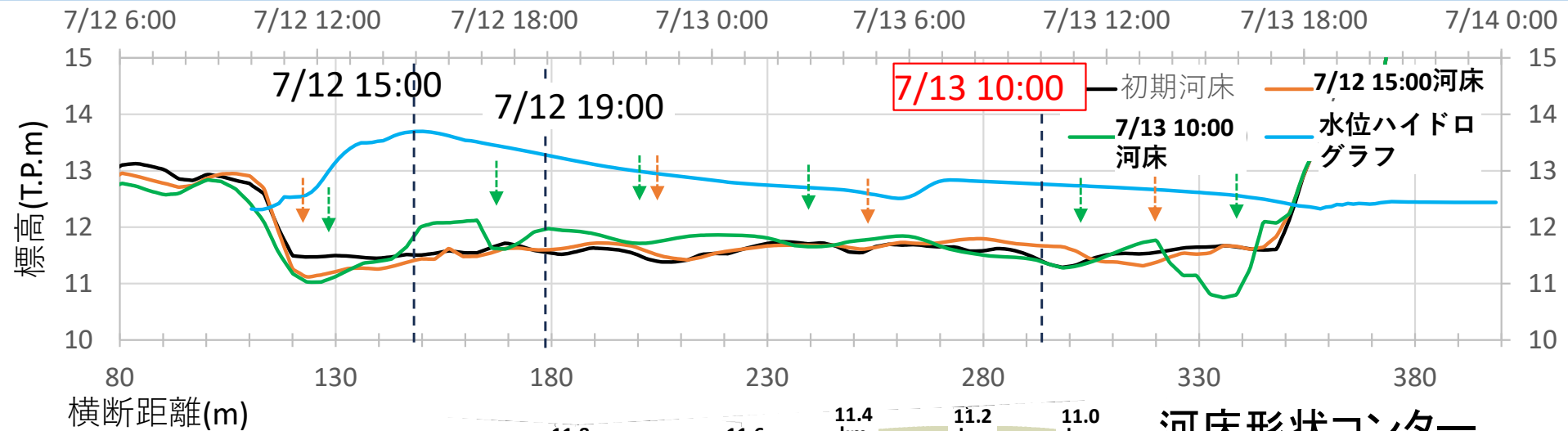
浮遊砂濃度



砂州上流斜面での浮遊砂の増加

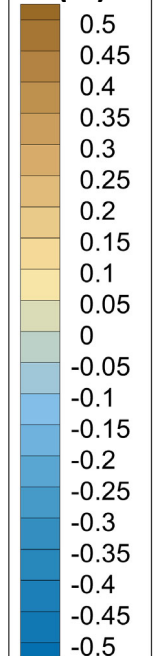
砂州全面での浮遊砂の堆積

解析における網状砂州形状の時間変化(12km~11km)

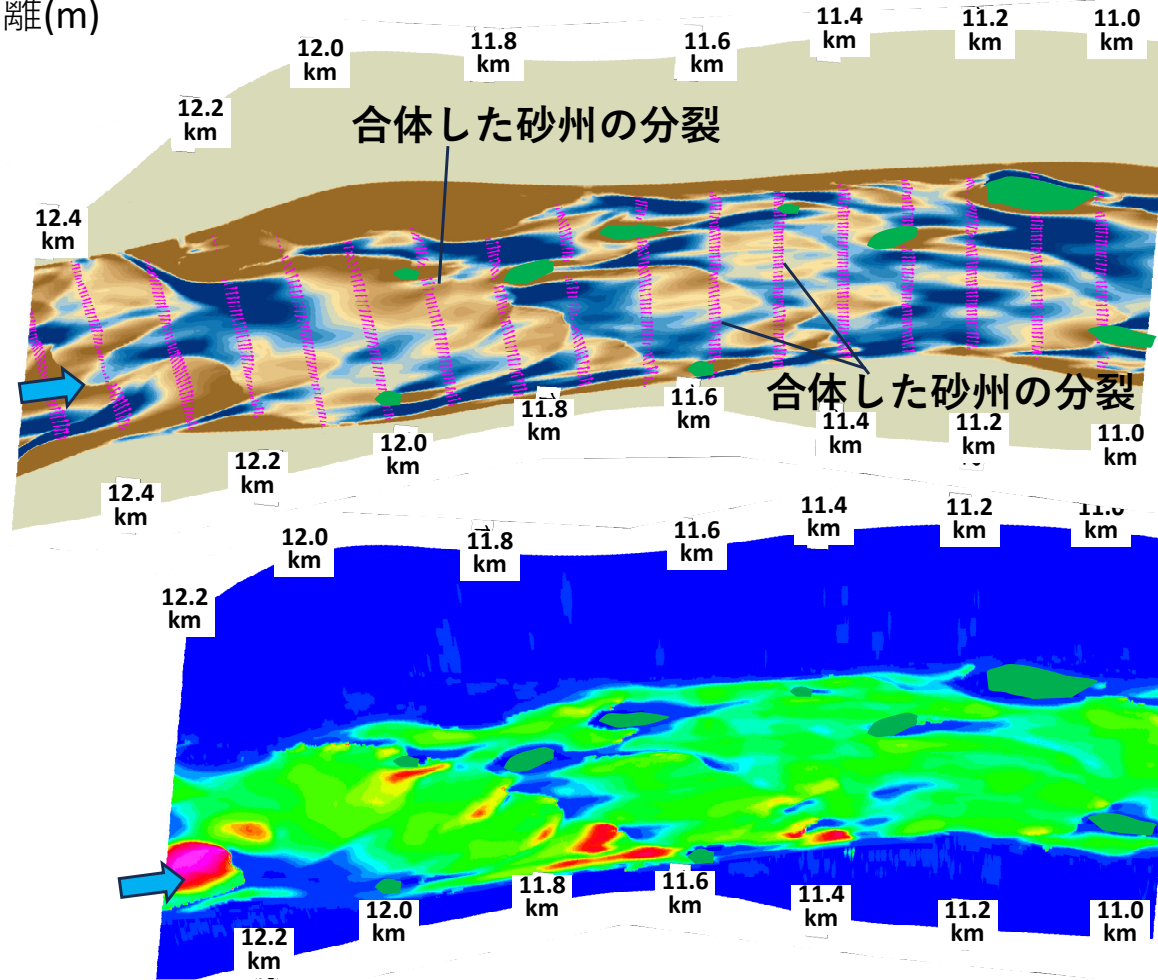
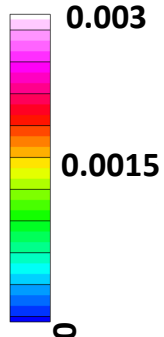


河床形状コンター
(7/13 10:00)

平均河床高
からの差(m)

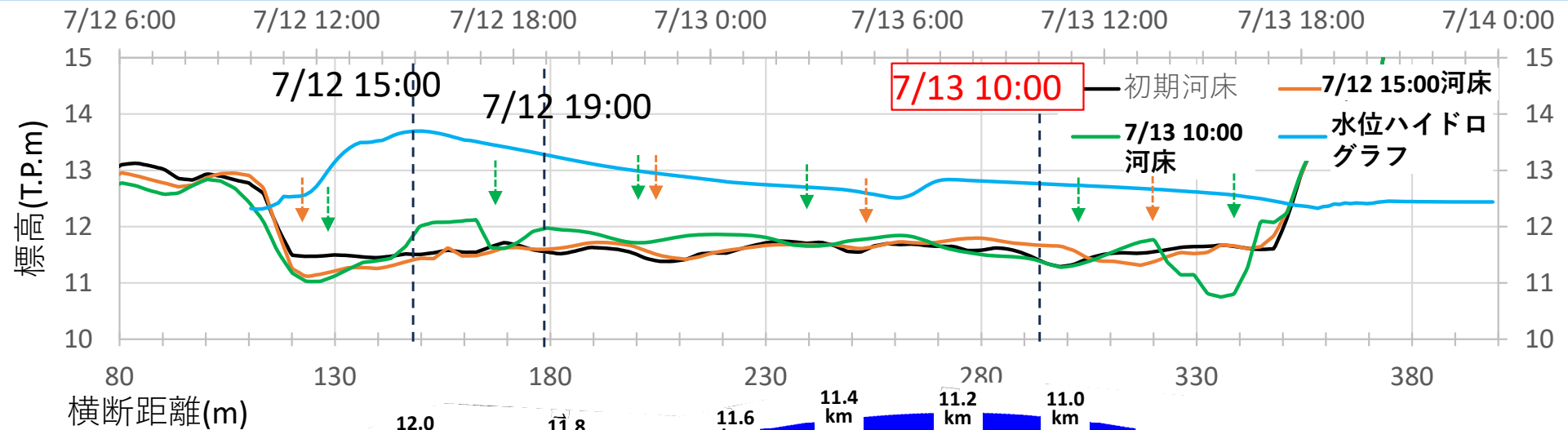


浮遊砂濃度

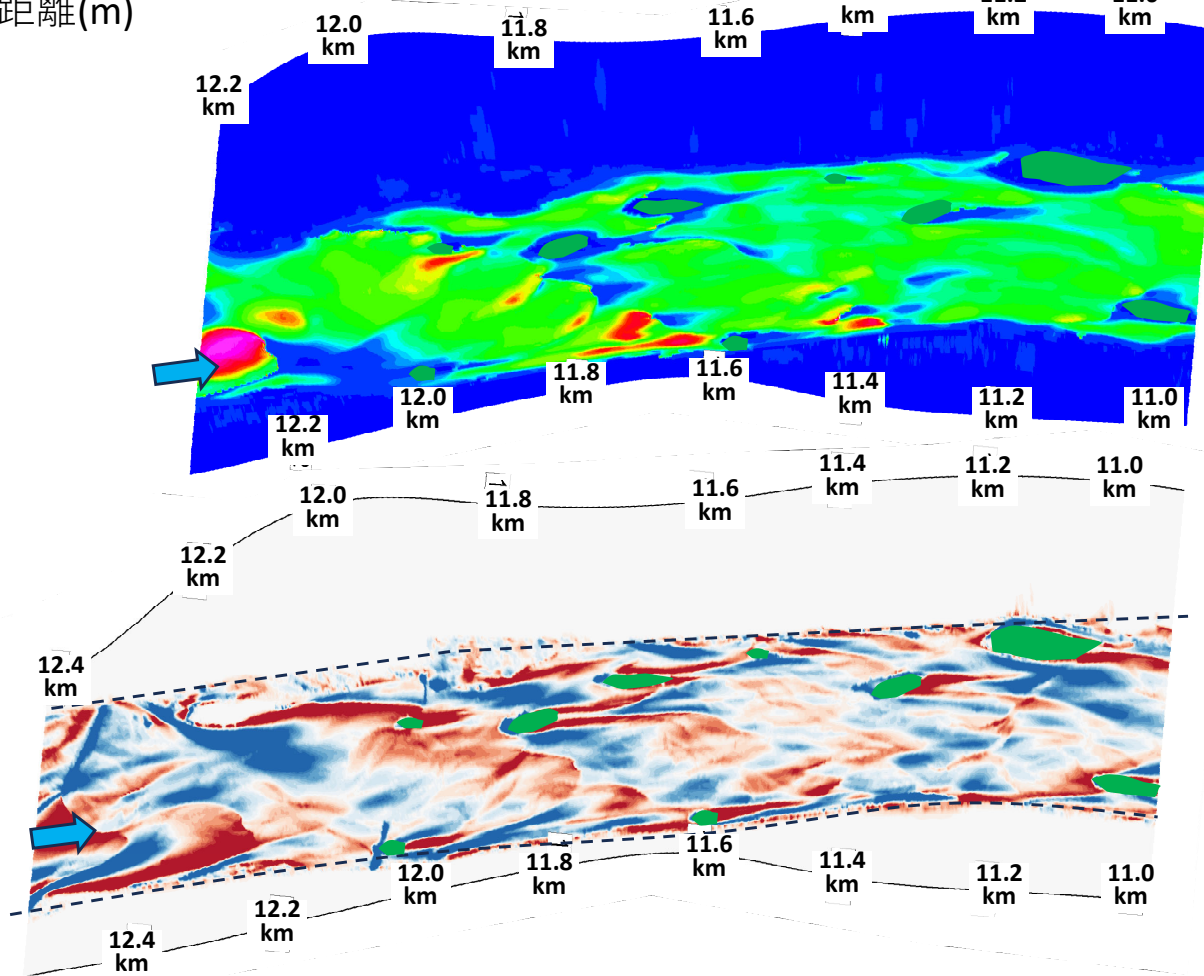
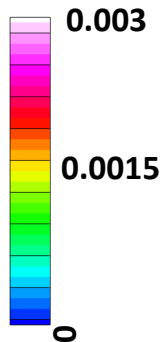


浮遊砂濃度コンター
(7/13 10:00)

解析における網状砂州形状の時間変化(12km~11km)



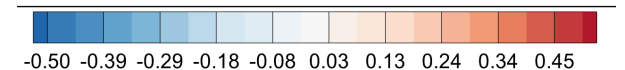
浮遊砂濃度



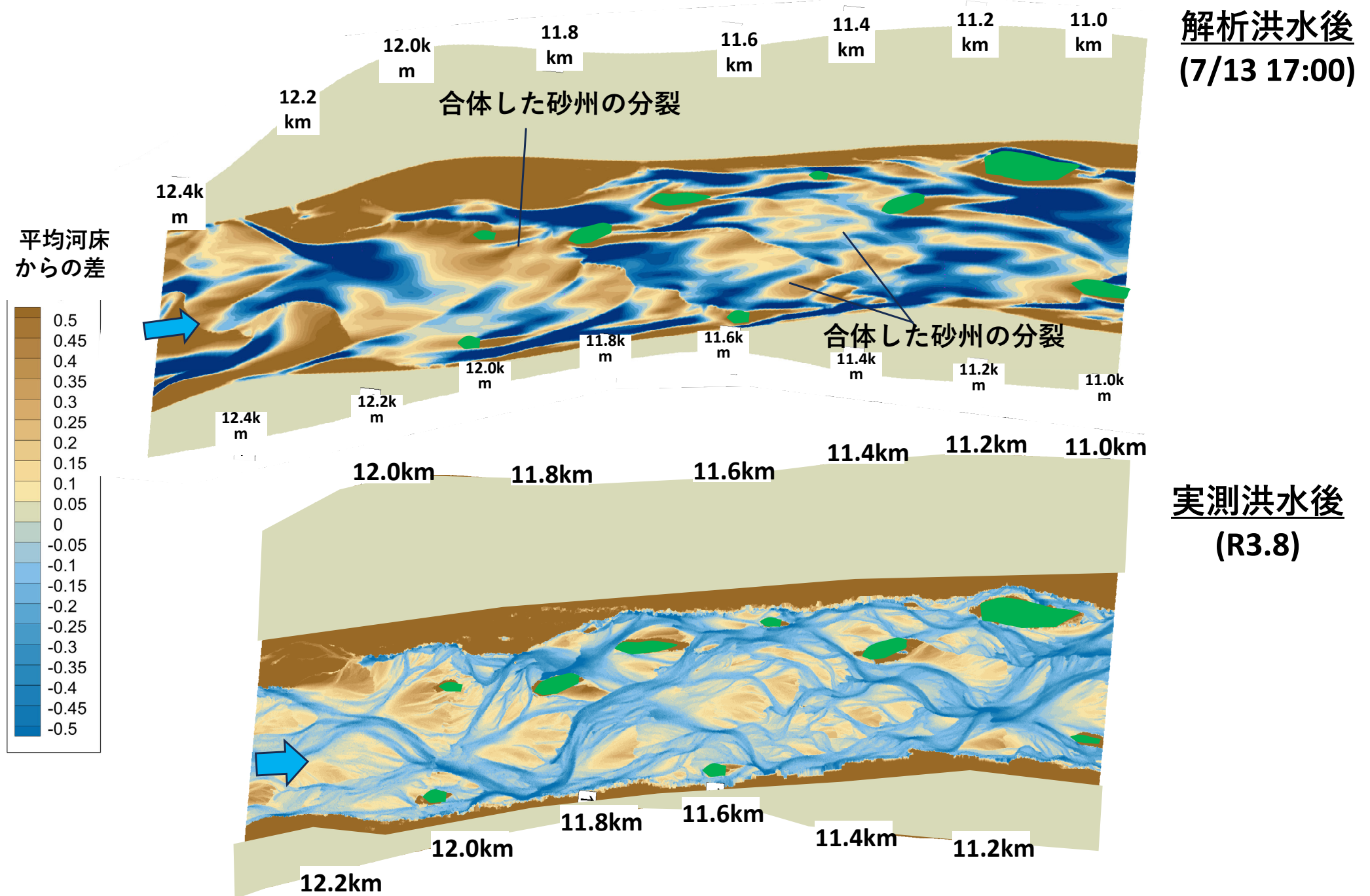
浮遊砂濃度コンター
(7/13 10:00)

河床変動コンター
(7/12 19:00)

初期河床高からの変動高(m)

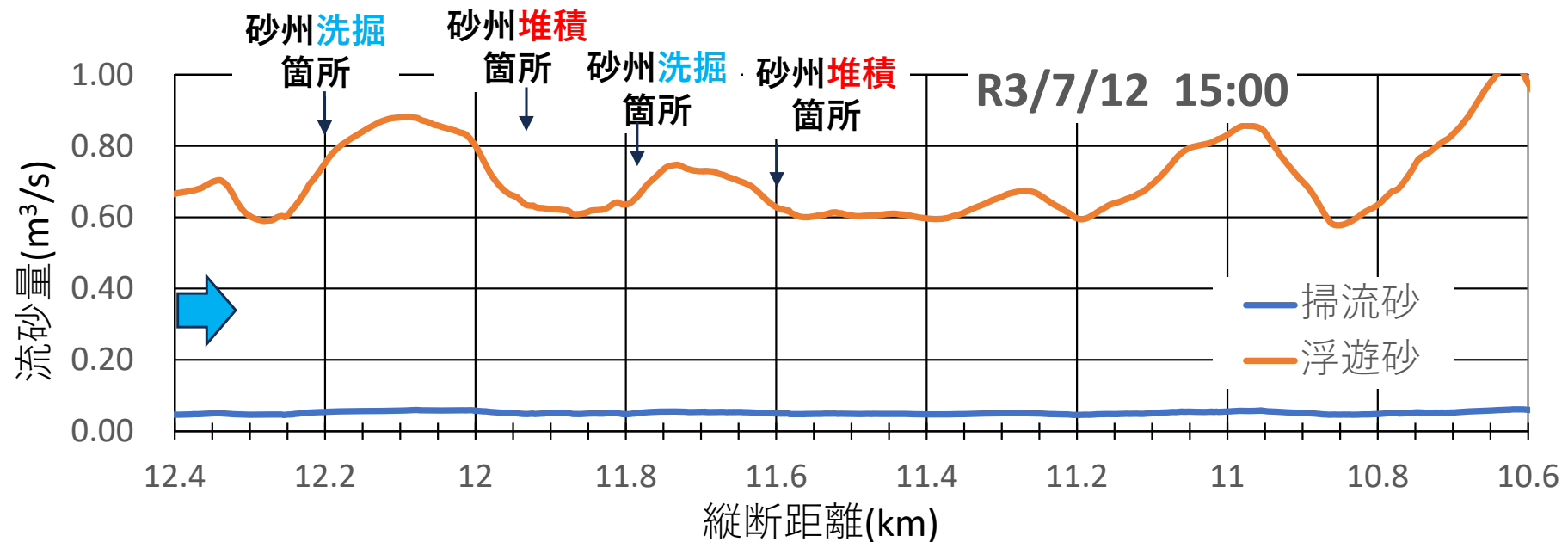


洪水後における実測と本解析の網状砂州形状の比較(12km~11km)

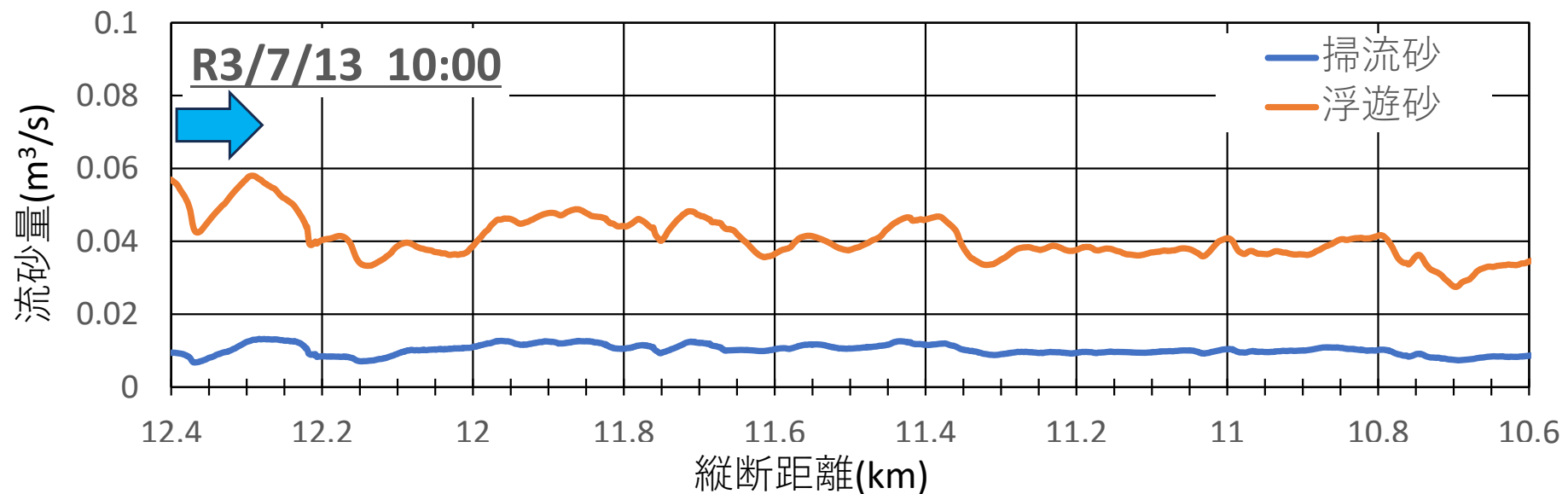


7/12 15時(洪水ピーク時)と減水期における掃流砂量・浮遊砂量縦断分布

砂州の合体が生じる7/12 15時(洪水ピーク時)



砂州の分裂が生じる7/13 10時(洪水減水期)

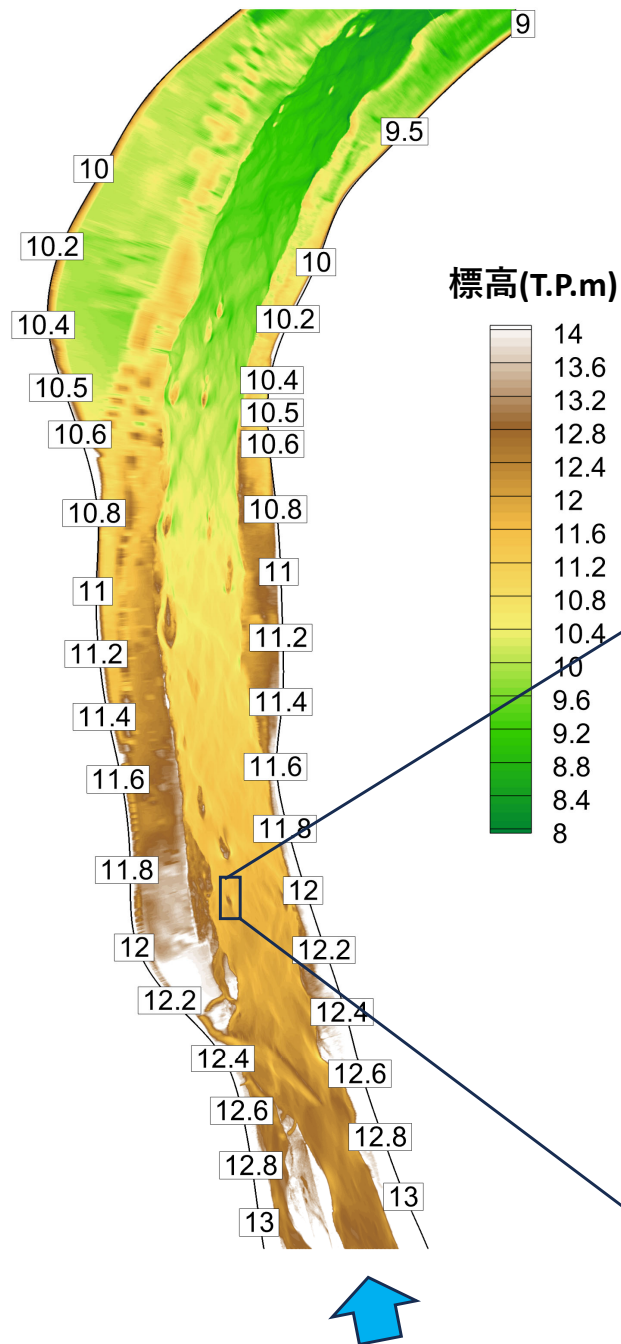


広域解析結果を用いた詳細解析(0.5m×0.5m格子)の条件

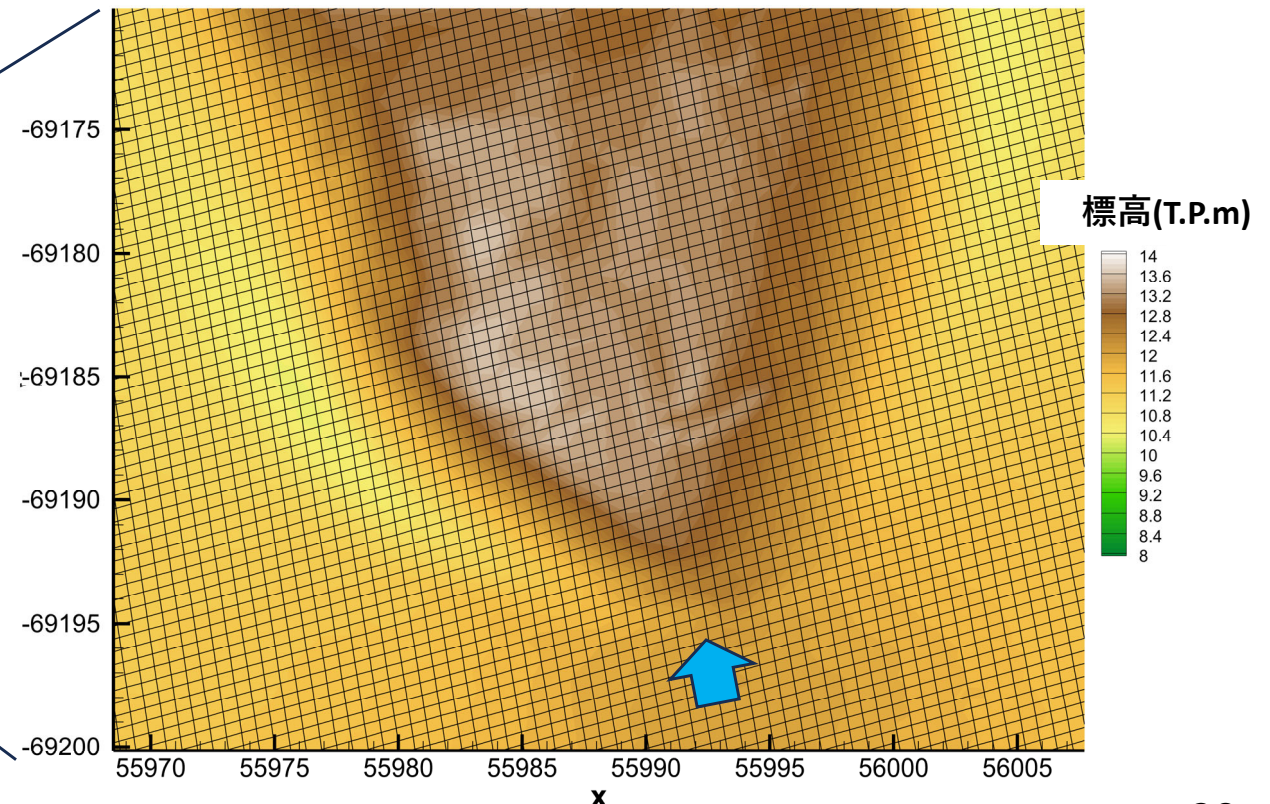
解析範囲：14km~9.0km

格子サイズ：0.5m×0.5m

上流端・下流端境界条件：広域計算から計算された水位・流速・河床高

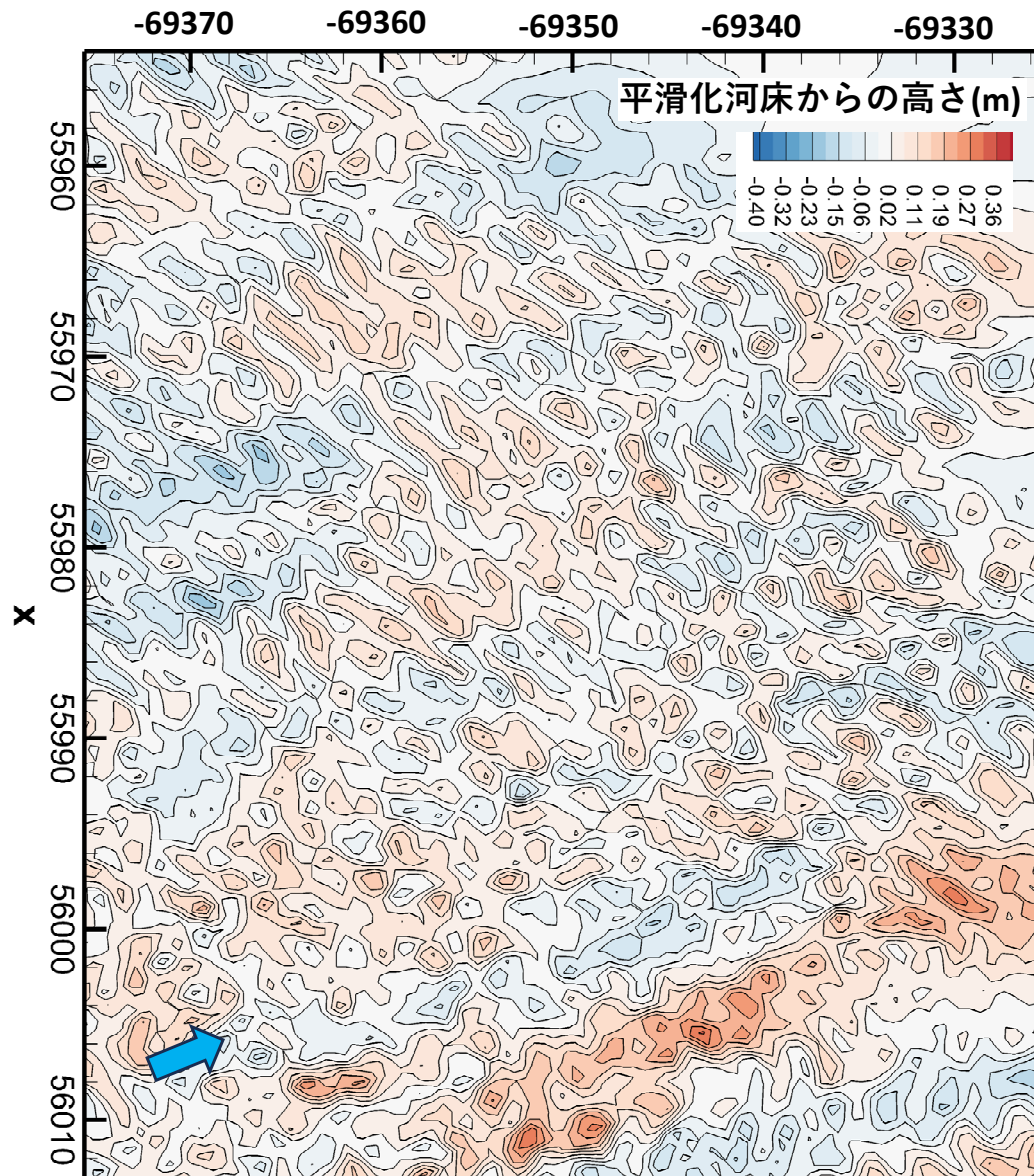


0.5m×0.5m格子

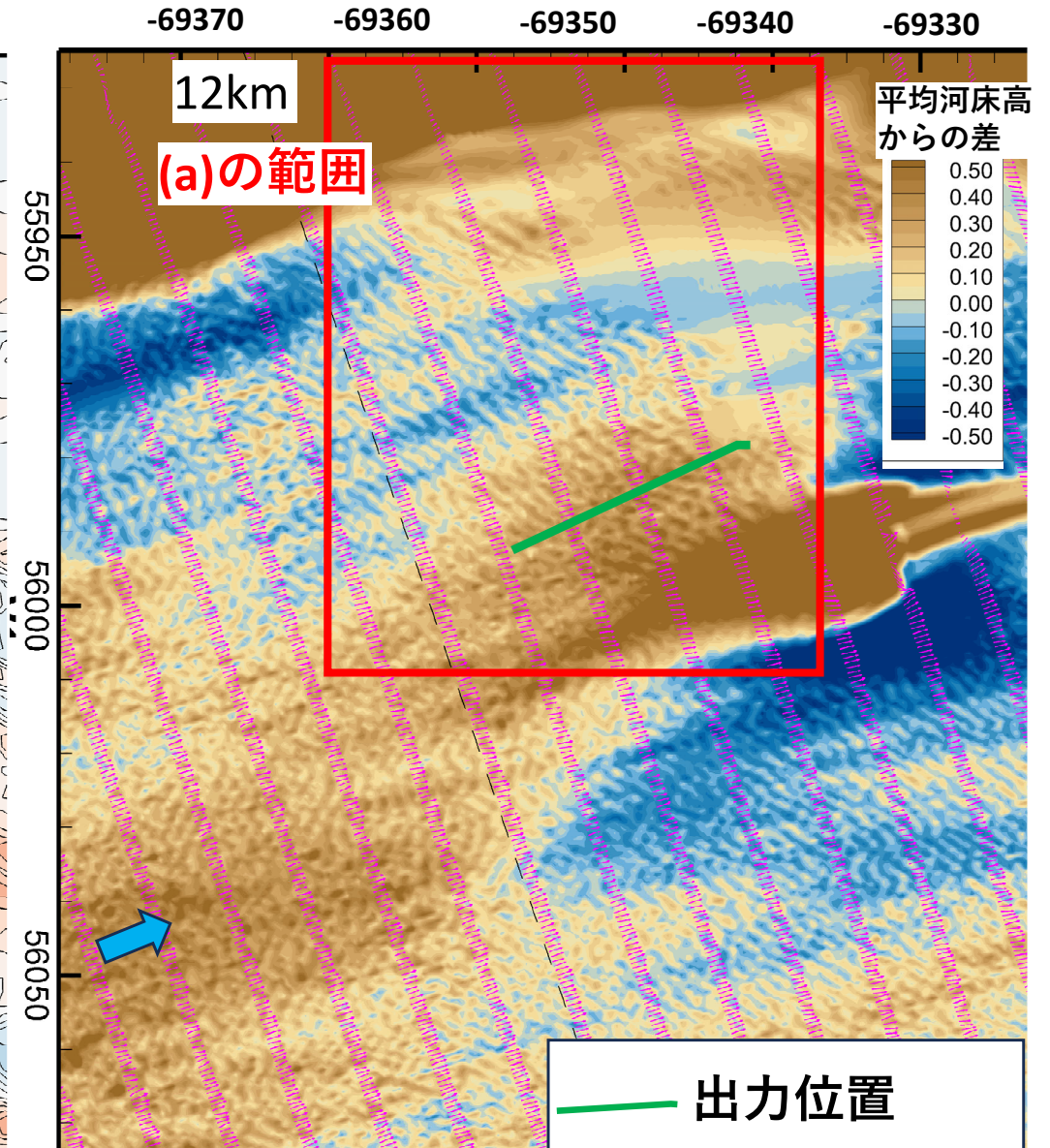


洪水ピーク時の砂堆形状の解析結果

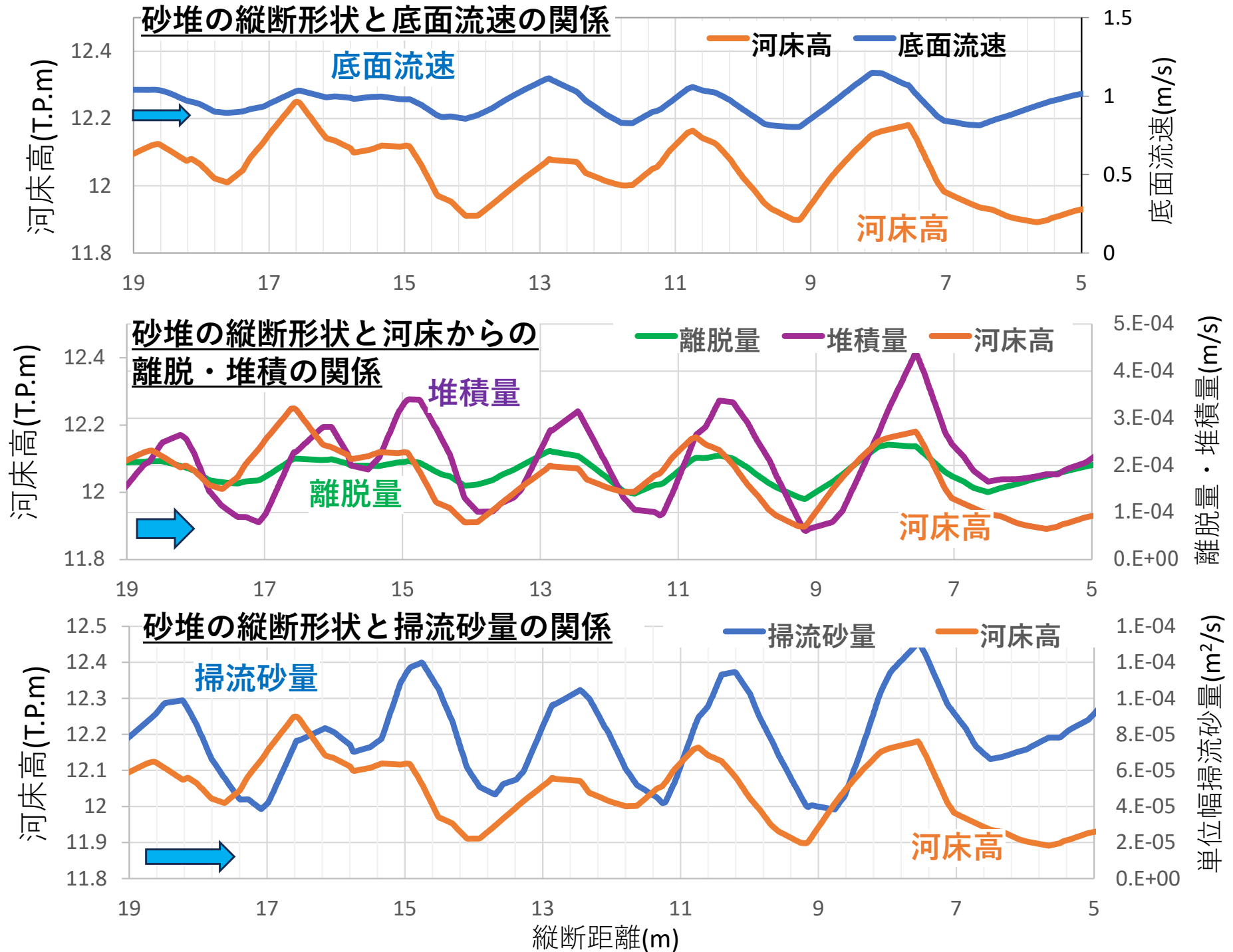
平滑化(4m×4m)河床高形状
(赤枠の範囲の拡大)



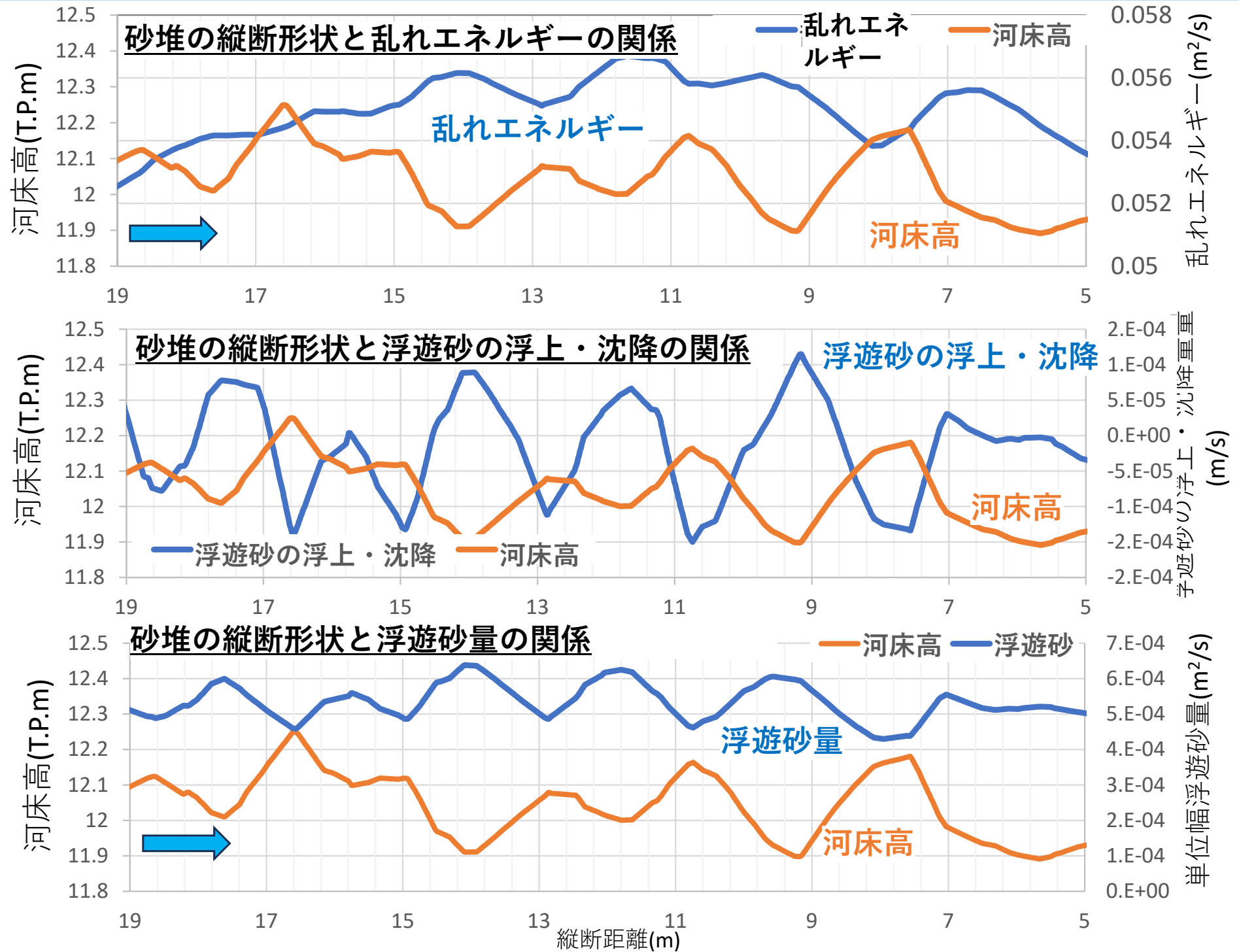
実河床形状



砂堆の縦断形状と掃流砂の関係(洪水ピーク時)



砂堆の縦断形状と浮遊砂の関係(洪水ピーク時)



3.平衡流砂モデルに基づく従来法の斐伊川への適用と本解析法との比較

洪水後における本解析法と従来法の解析の網状砂州形状の比較

従来法は流れの解析にQ3D-FEBSを用いているため、本解析法の結果と比較的近い結果となっている。しかし、従来法による浮遊砂量は本解析法による浮遊砂量よりも少なく計算されているため、実測の洪水後の河床形状や本解析結果の河床形状と比べて砂州の変形・移動距離が小さく計算されている。

従来法

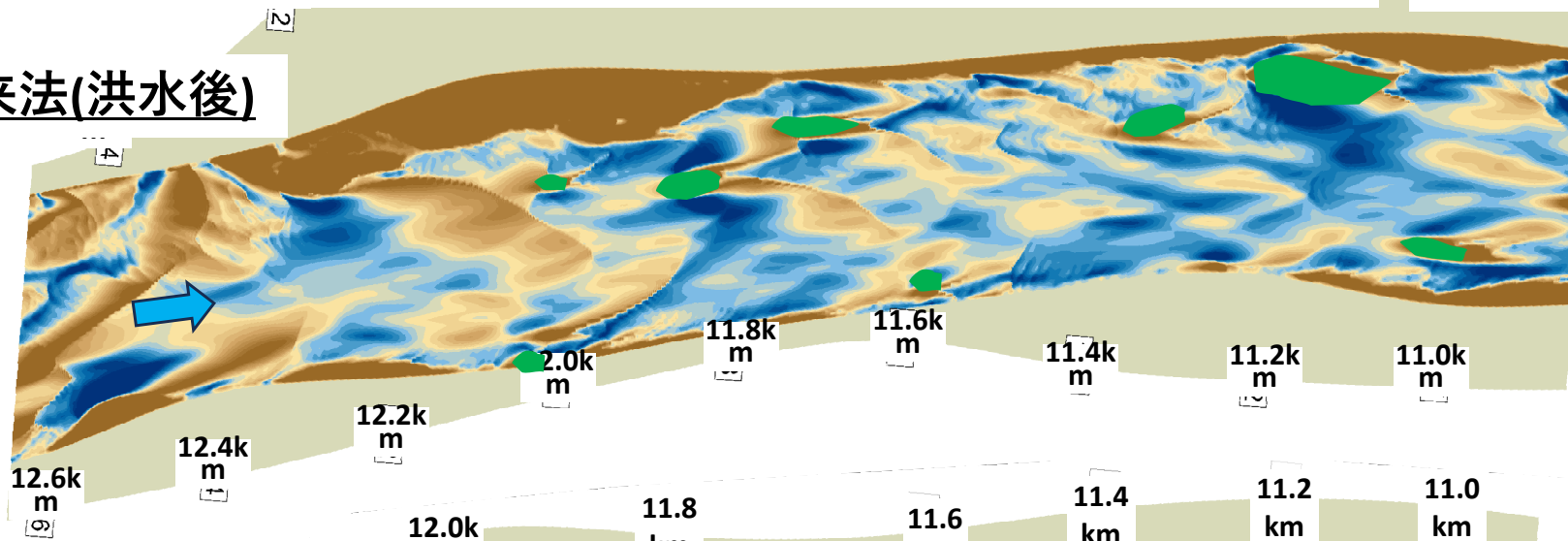
掃流砂

1 芦田・道上式

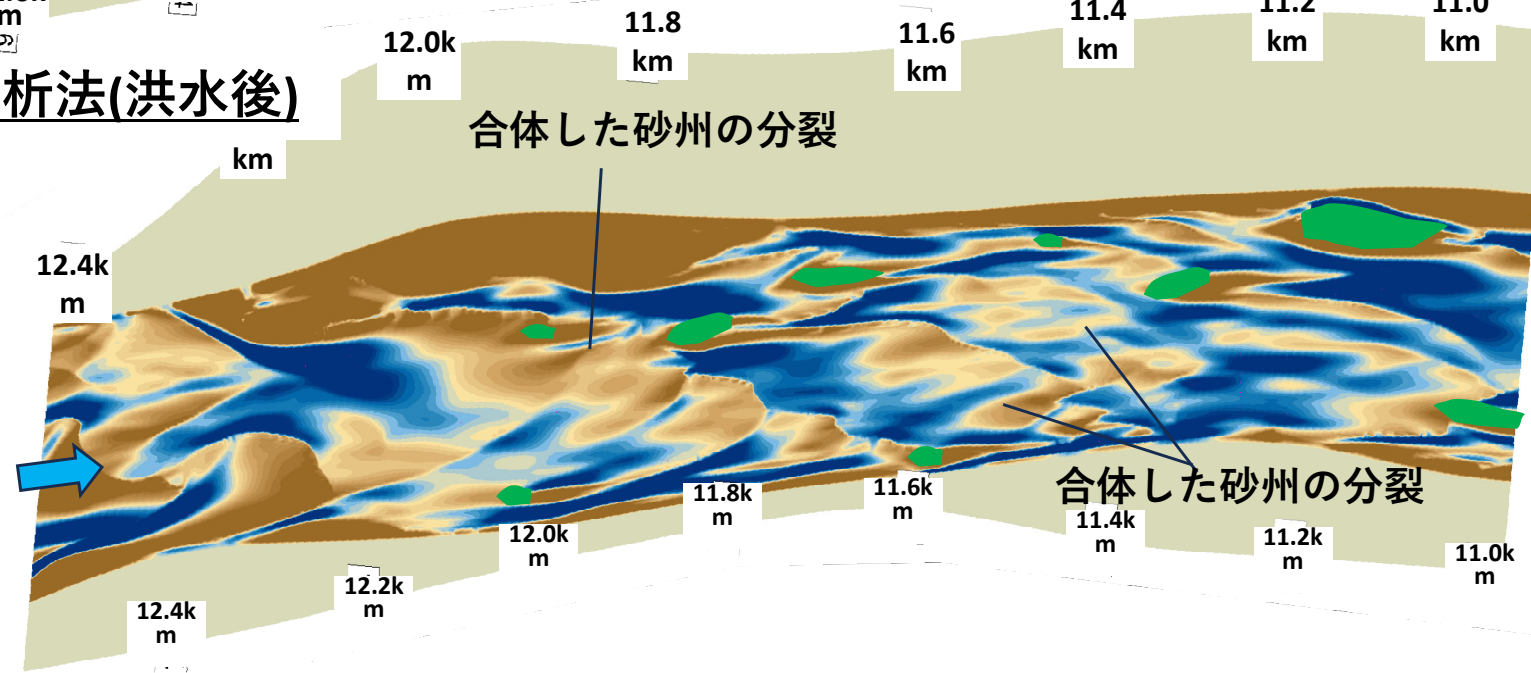
浮遊砂

3次元移流拡散方程式

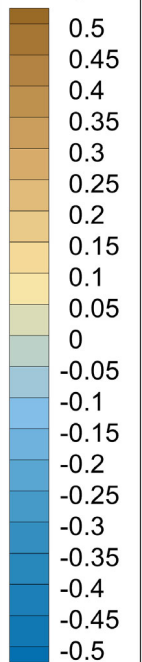
従来法(洪水後)



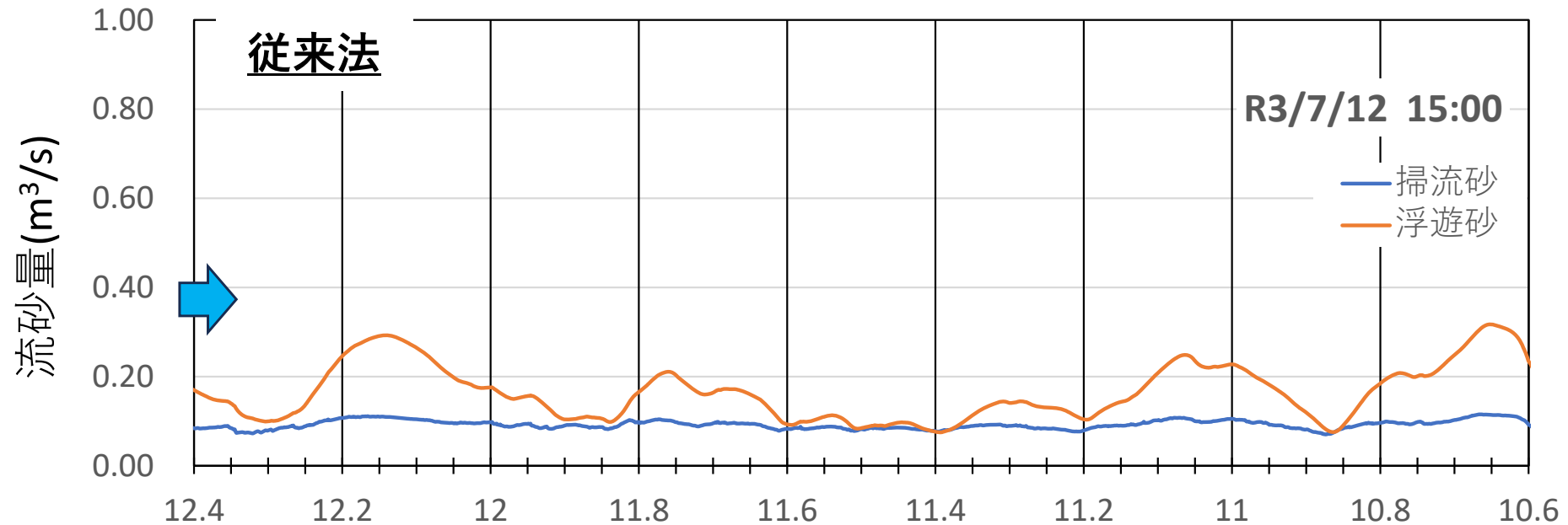
本解析法(洪水後)



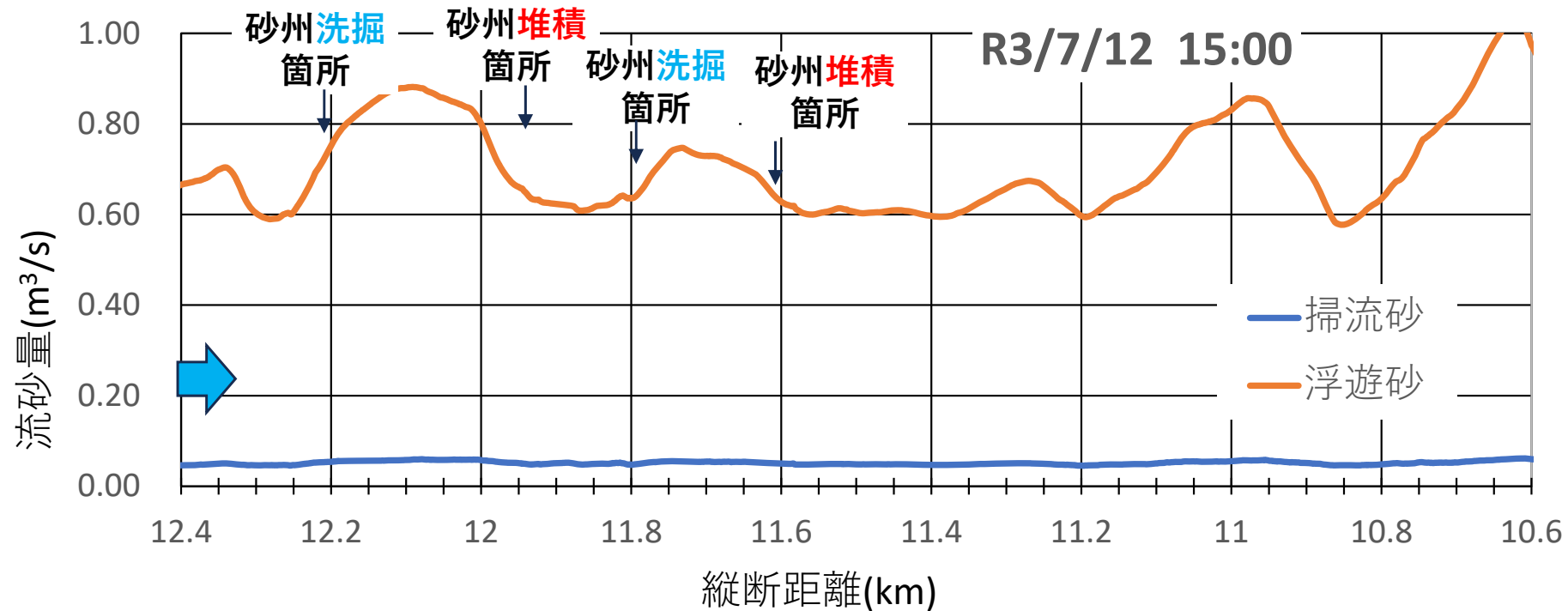
平均河床高
からの差(m)



7/12 15時(洪水ピーク時)における本解析法と従来法の掃流砂量・浮遊砂量縦断分布の比較



本解析法



本研究では、掃流砂と浮遊砂を一体的に解析する準三次元洪水流・河床変動解析(Q3D-INEBS)を、斐伊川下流部に適用し、以下の結論を得た。

- ・ 解析結果より、洪水中的水位の高い時間帯には、浮遊砂の移動距離が長くなることで、中小規模の砂州を合体させながら大規模な砂州が形成された。

一方、洪水減水期において、水深1m程度を下回ると浮遊砂の移動距離が短くなり、比高の高い砂州に浮遊砂が堆積することで結果的に砂州が分裂した。これにより、斐伊川で平常時に見られる中小規模の砂州が形成されることを示した。

このように、斐伊川の網状砂州の挙動には、浮遊砂の運動が支配的であることを示した。

- ・ 砂堆の発達変形には、流れと河床形状、それに伴う掃流砂と浮遊砂の運動が相互に影響していることが分かった。今後、洪水中的砂州と砂堆の挙動の計測し、解析法の検証を行う。