

巨岩・巨石が点在する山地河川に対する 平面二次元解析法の課題と新しい解析法の提案

中央大学研究開発機構 竹村吉晴，国土交通省中国地方整備局(前太田川河川事務所) 児子真也
中央大学大学院 大野純暉，中央大学研究開発機構 福岡捷二

滝山川（広島県）
勾配：約1/50
川幅：約40m



- 水深に対して
大きい岩・石
- 常射流混在

—目的—

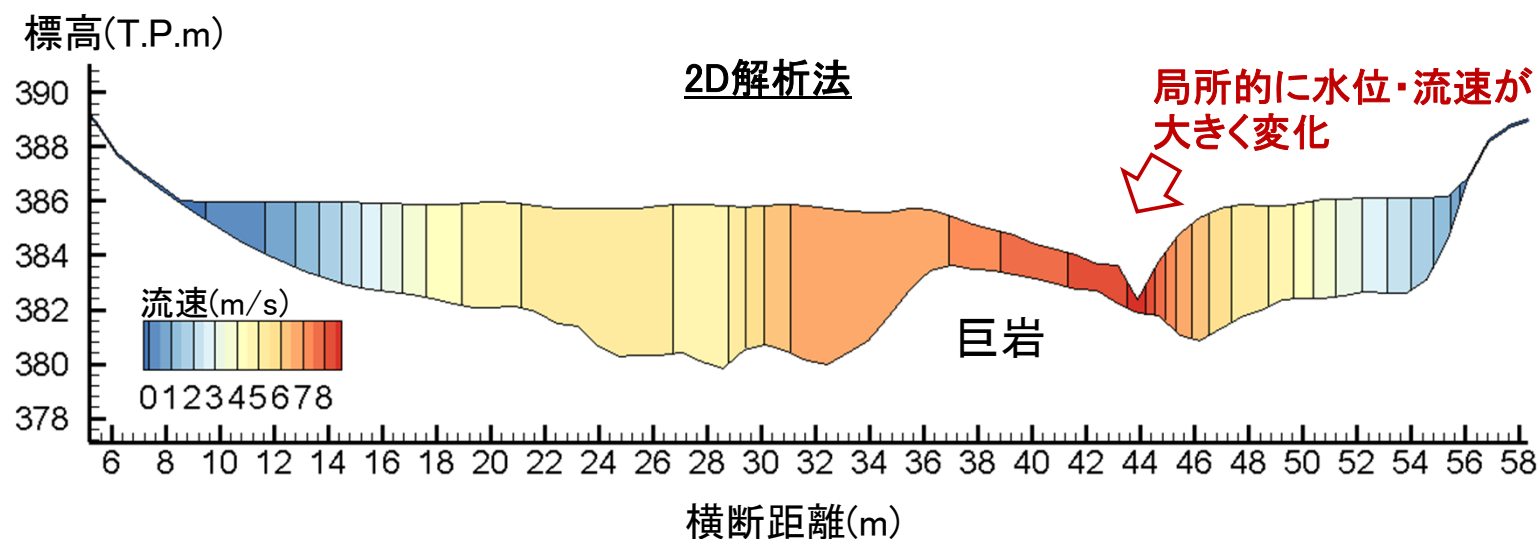
山地河川における洪水流量ハイドログラフの算定や水位・流速の縦・横断分布等の流れ構造を解析するための洪水流解析法の確立

- 適切なダム操作や山地河川の河道改修
- 砂防領域から下流河道への洪水, 土砂の伝わり方
- 流出解析モデルの検証材料
- 生物の生息場の検討 など

中下流域の緩流河川では, 定期横断測量から計算格子を作成し観測水面形を用いて平面二次元解析を実施することで説明可能

—平面二次元解析の課題—

- 定期横断測量に基づく解析では, 巨岩・巨石を含む山地河川の詳細な地形とそれらの抵抗等を考慮できないため粗度係数の値が時間・空間的に大きく変化
- 巨岩・巨石周辺の三次元流れ・非静水圧分布を考慮できないため, 如何に詳細な地形を与えても山地河川の流れ構造の解析には不十分

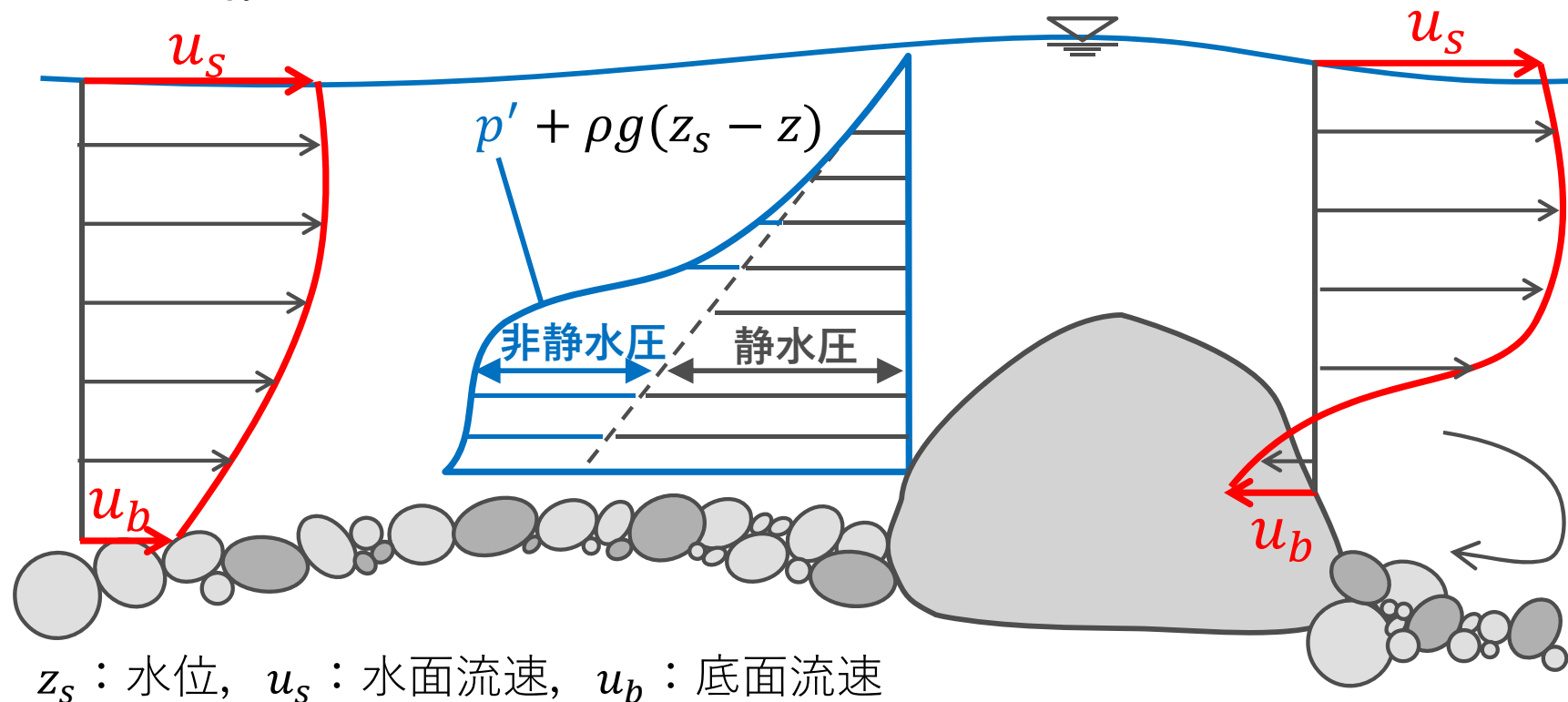


モデルの特徴

- 流速鉛直分布を仮定し，水深積分の連続式・運動方程式と水面・底面上の運動方程式を解く
- 水深積分モデルの枠組みで巨岩・巨石周辺の三次元流れや圧力分布を効率的に解析（同計算条件なら平面二次元解析の2～3倍の計算時間）する。

$$u_i = \Delta u_i(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) + \delta u_i(-4\eta^3 + 3\eta^2) + U_i$$

$$\eta = \frac{z_s - z}{h}, \Delta u_i = u_{si} - U_i, \delta u_i = u_{si} - u_{bi}$$



Q3D-FEBSの基礎方程式

水深積分の連続式・運動方程式

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

非静水圧項は単純化した鉛直方向の運動方程式から評価

$$\frac{\partial U_i h}{\partial t} + \frac{\partial U_j U_i h}{\partial x_j} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial h \bar{p}'}{\partial x_i} - \frac{p'_b}{\rho} \frac{\partial z_b}{\partial x_i} - \frac{\partial h \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \bar{v}_t h \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \hat{S} \frac{\hat{\tau}_{bi}}{\rho}$$

水面・底面上の運動方程式

$$\frac{\partial u_{si}}{\partial t} + u_{sj} \frac{\partial u_{si}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} \bigg|_s \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + \frac{\nu_{ts}}{\rho} \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \bigg|_s$$

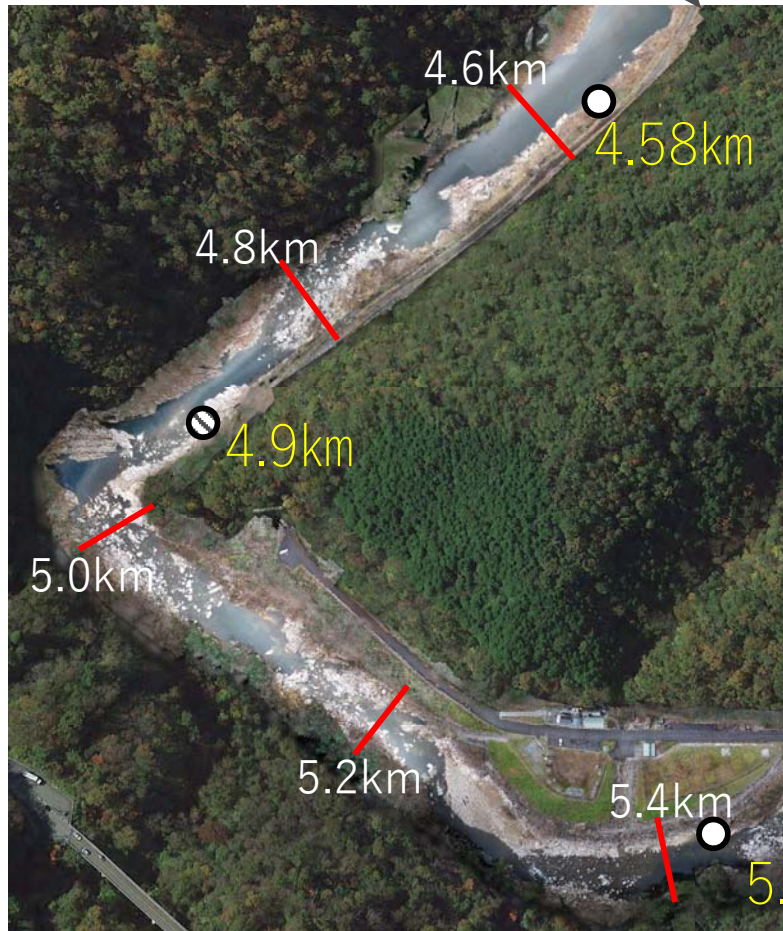
$$\frac{\partial u_{bi}}{\partial t} + u_{bj} \frac{\partial u_{bi}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'_b}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} \bigg|_b \frac{\partial z_b}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \nu_{tb} \left(\frac{\partial u_{bi}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_{bj}}{\partial x_i} \right) + \frac{\hat{S}}{\rho} \frac{\hat{\tau}_{bi} - \hat{\tau}_{oi}}{\delta z_b}$$

非静水圧による巨岩・巨石の形状抵抗を考慮

ρ : 水の密度, g : 重力加速度, u'_i : x_i 方向流速の水深平均値からの偏差成分,
 p' : 圧力の非静水圧成分, ν_t : 渦動粘性係数, $\hat{\tau}_{bi}$: x_i 方向の底面せん断応力,
 $\hat{S} = \sqrt{1 + (\partial z_b / \partial x_i)^2}$, $\hat{\tau}_{oi}$: x_i 方向の河床面せん断応力, δz_b : 底面と河床面の距離
 $c_{zb} h (c_{zb} = 0.03)$

滝山川の温井ダム上流山地河川における観測体制

温井ダム貯水池の上流端



5.8km地点の水位計設置状況

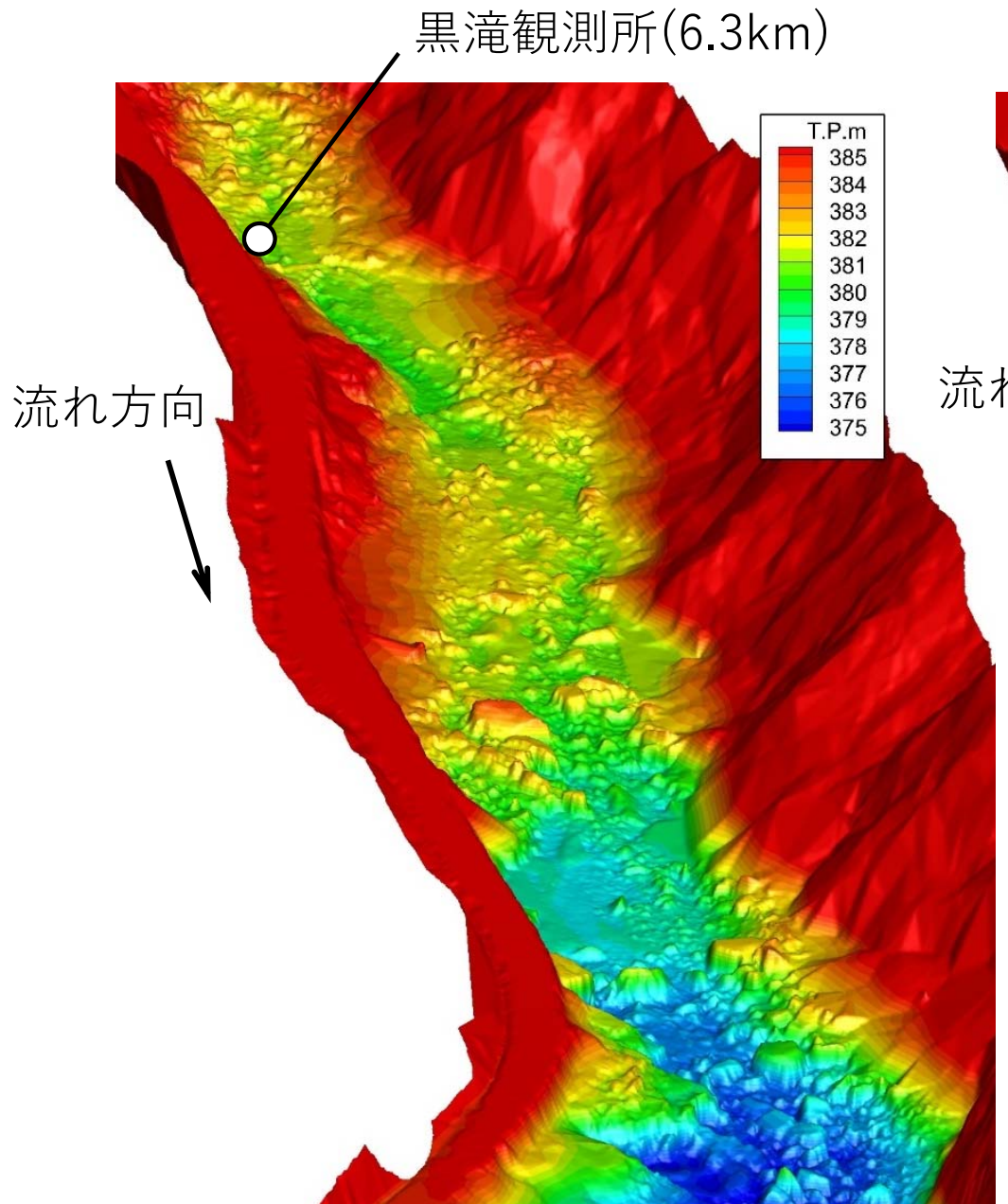


5.46km地点の水位計設置状況

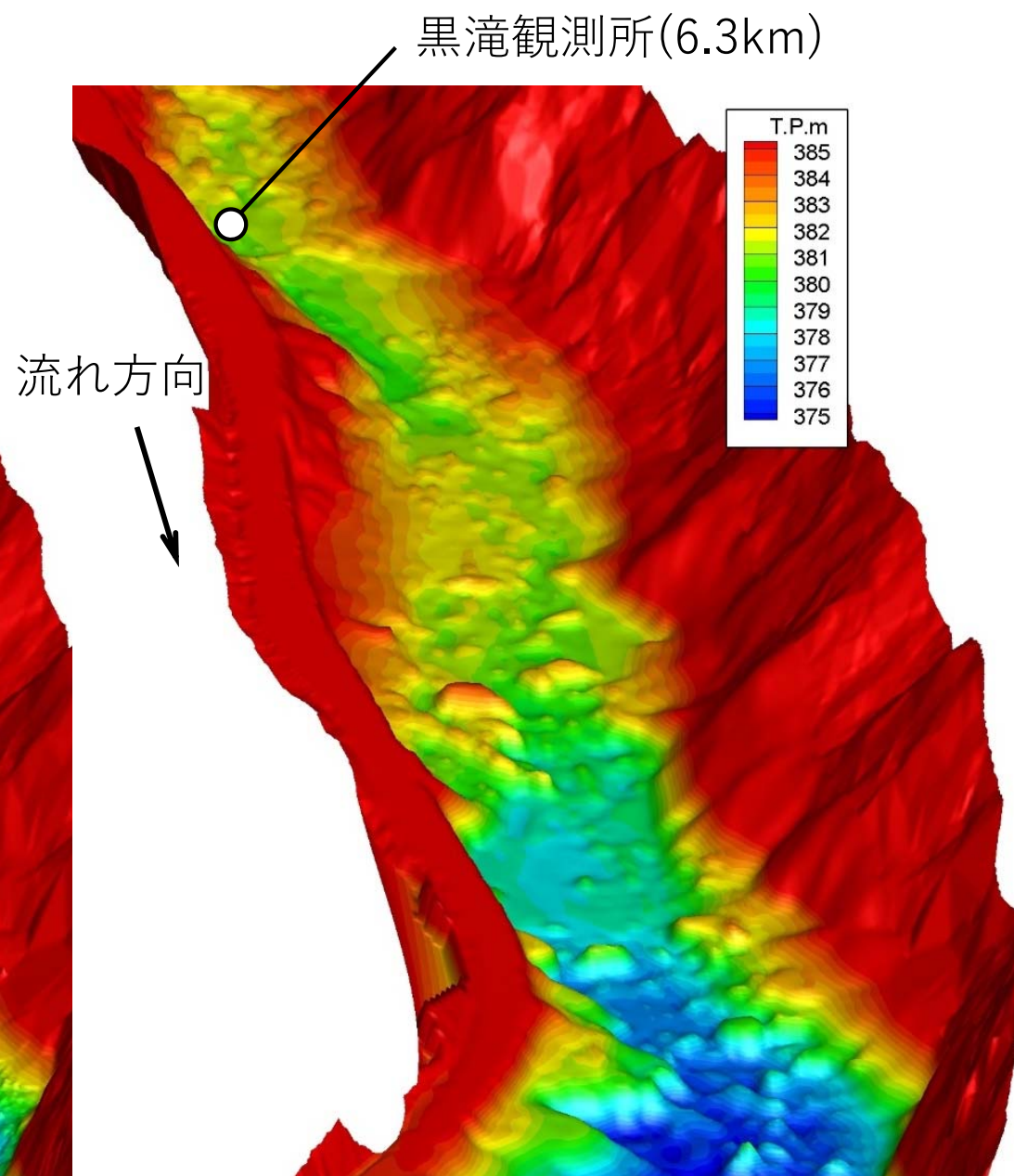


黒滝観測所
(6.3 km)

写真測量と計算格子による黒滝観測所周辺の三次元地盤コンター図

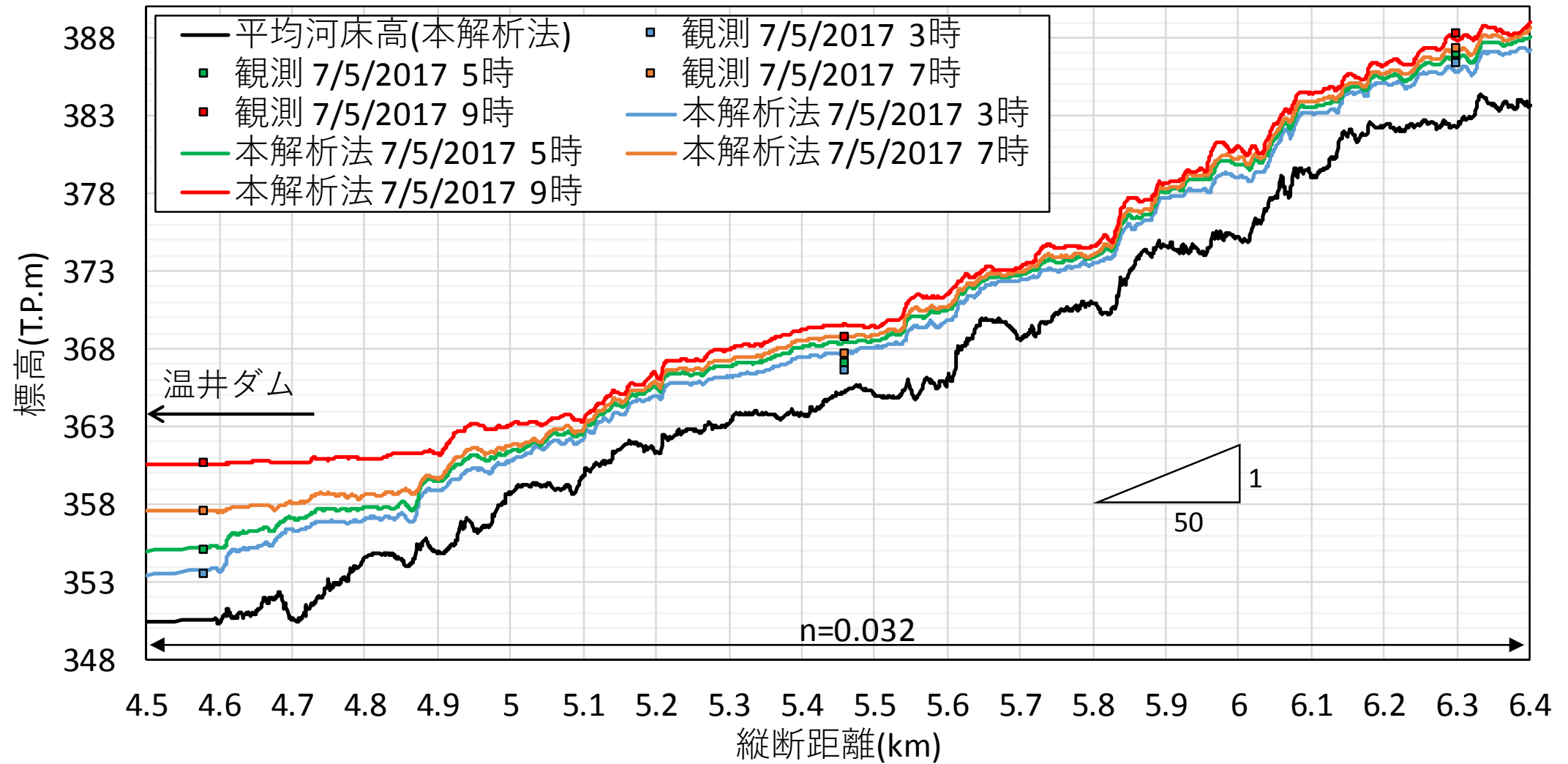


写真測量の地盤高(30cm間隔)

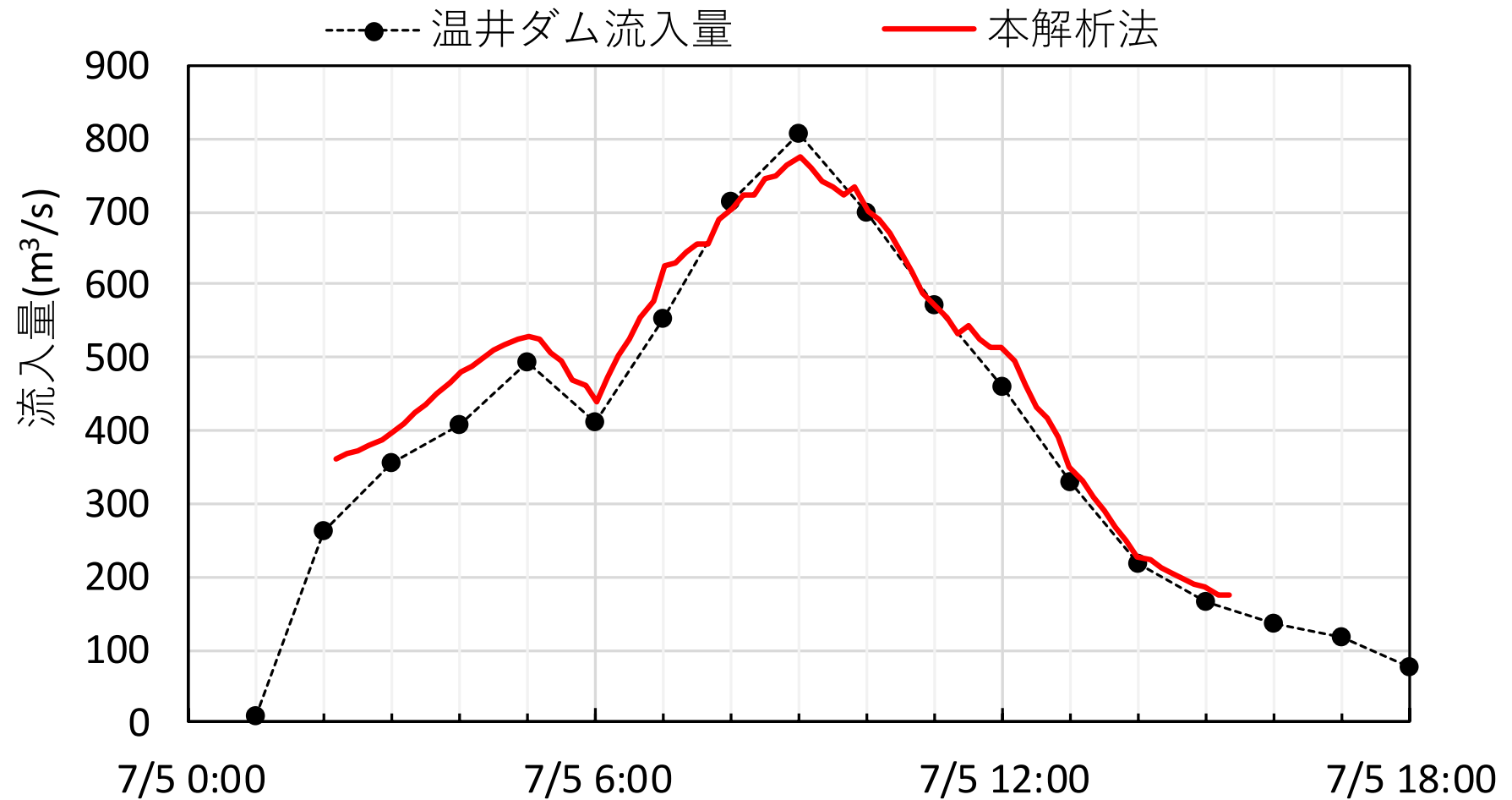


計算格子の地盤高(1m間隔)

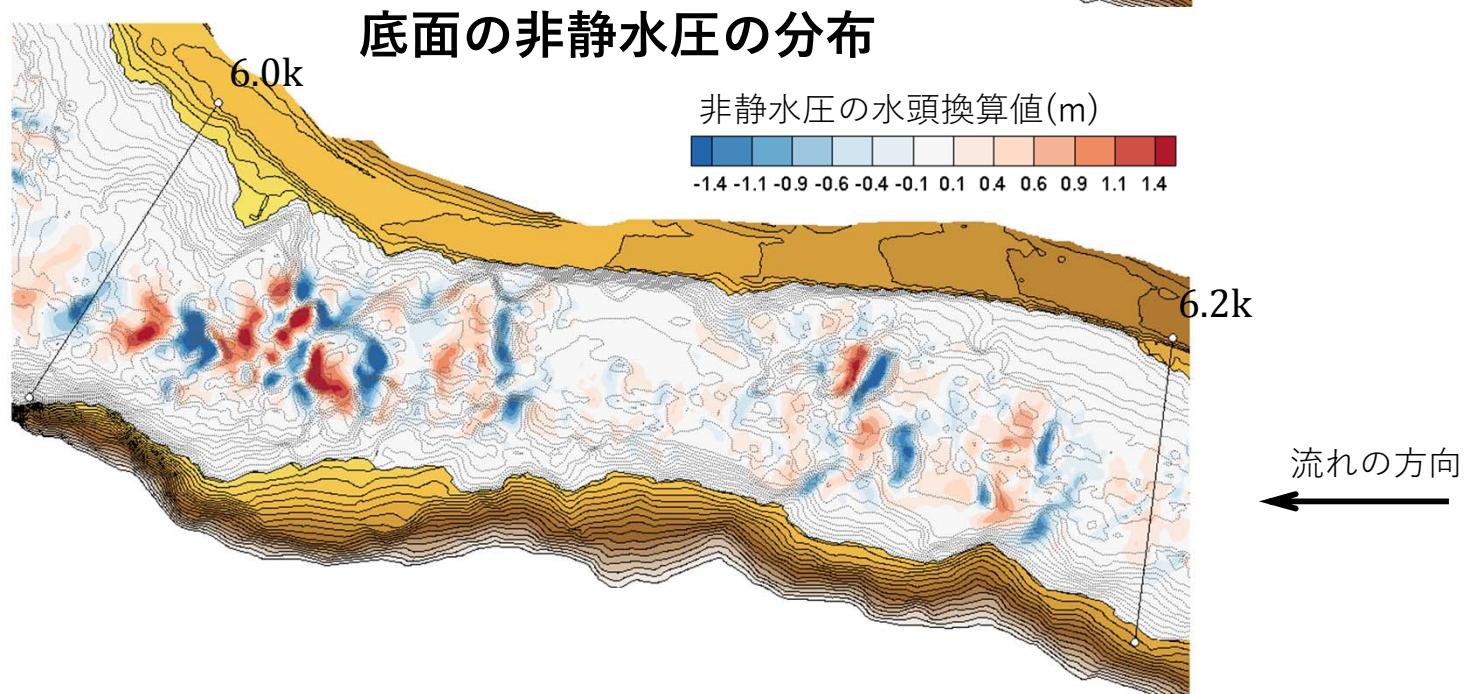
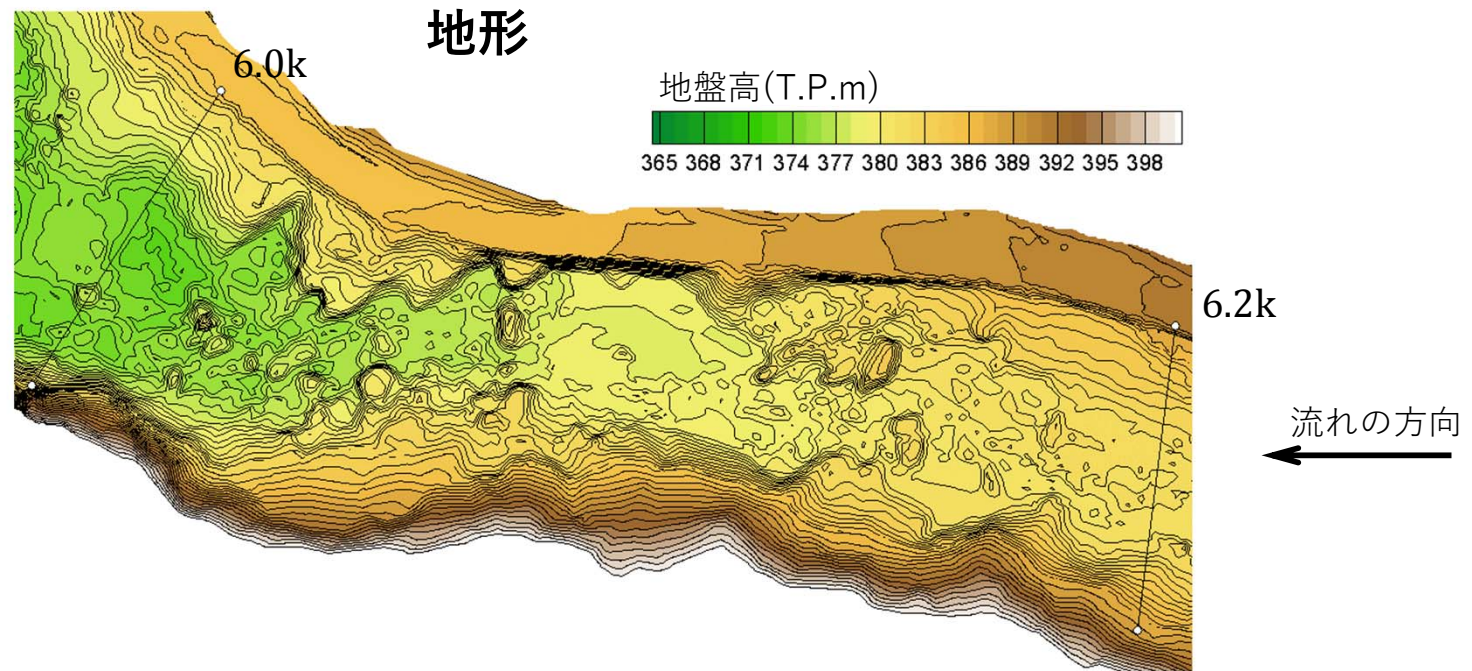
観測水面形と解析水面形の比較（増水期）



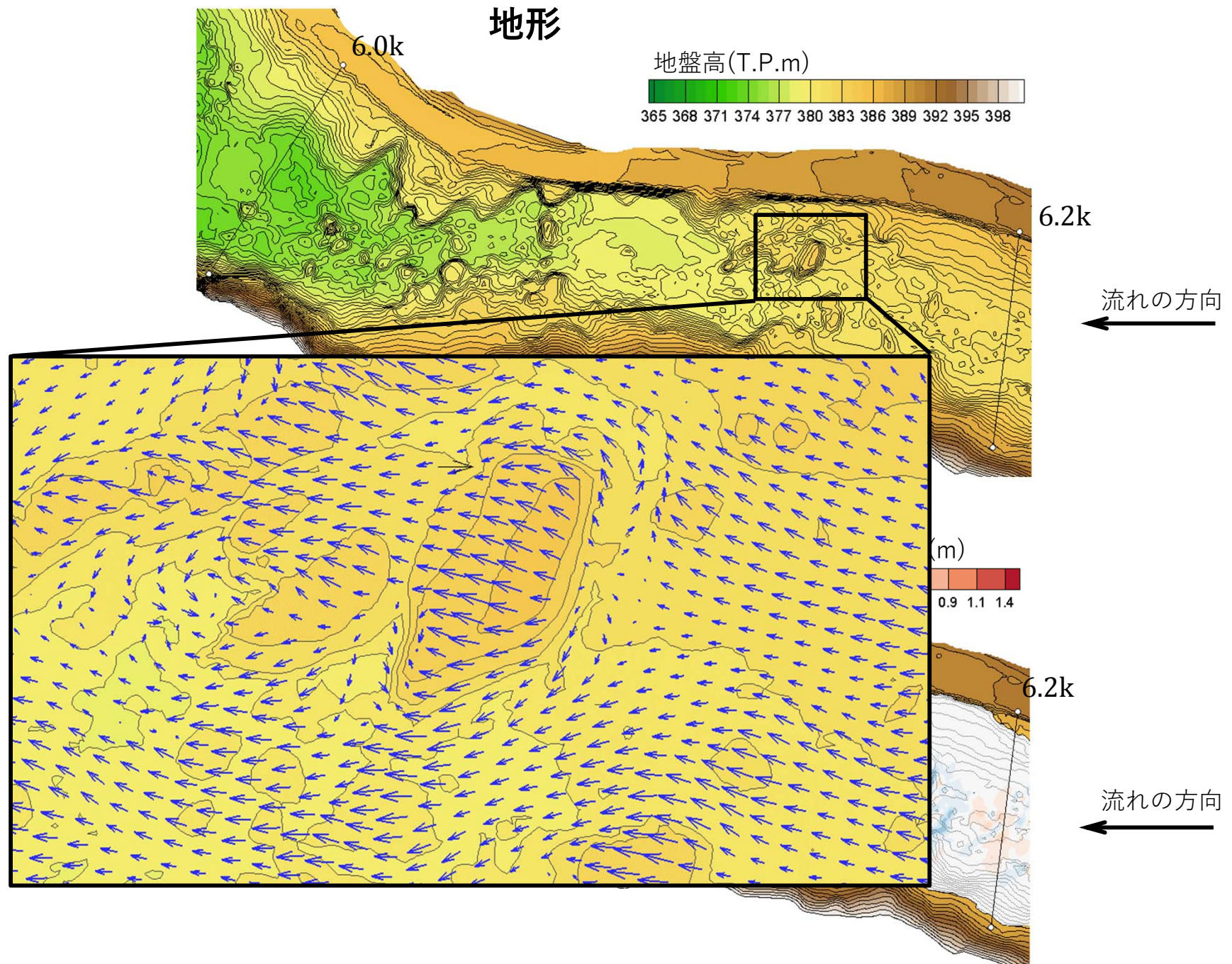
解析流量ハイドログラフと温井ダム流入量ハイドログラフの比較



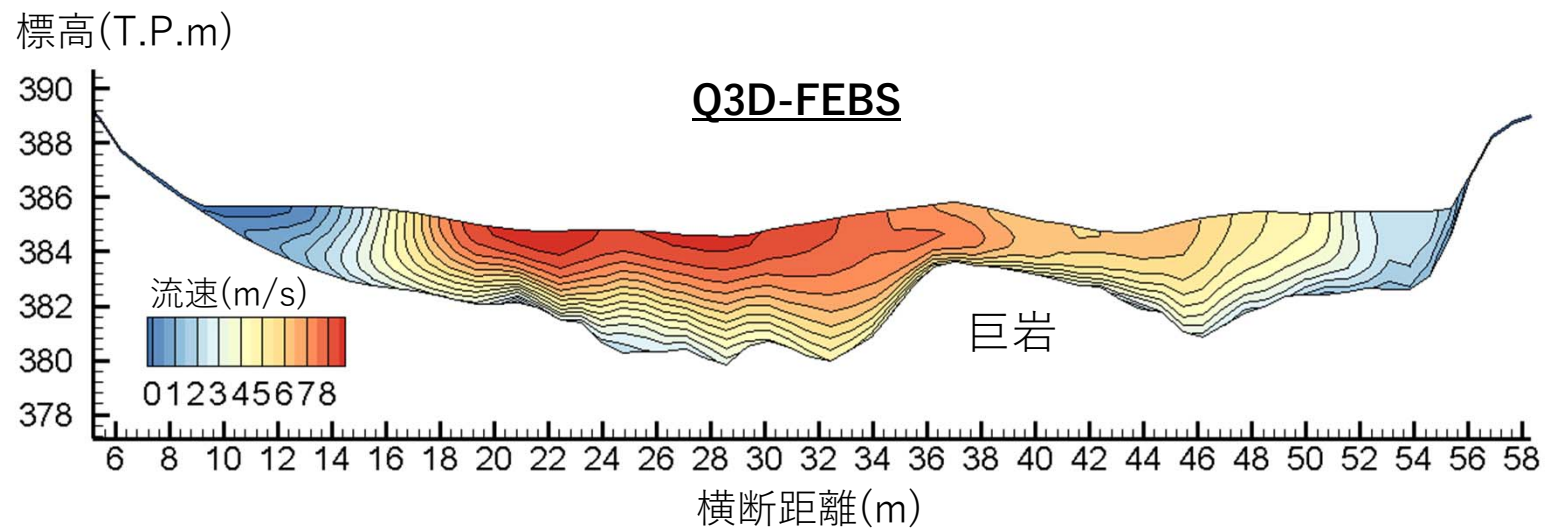
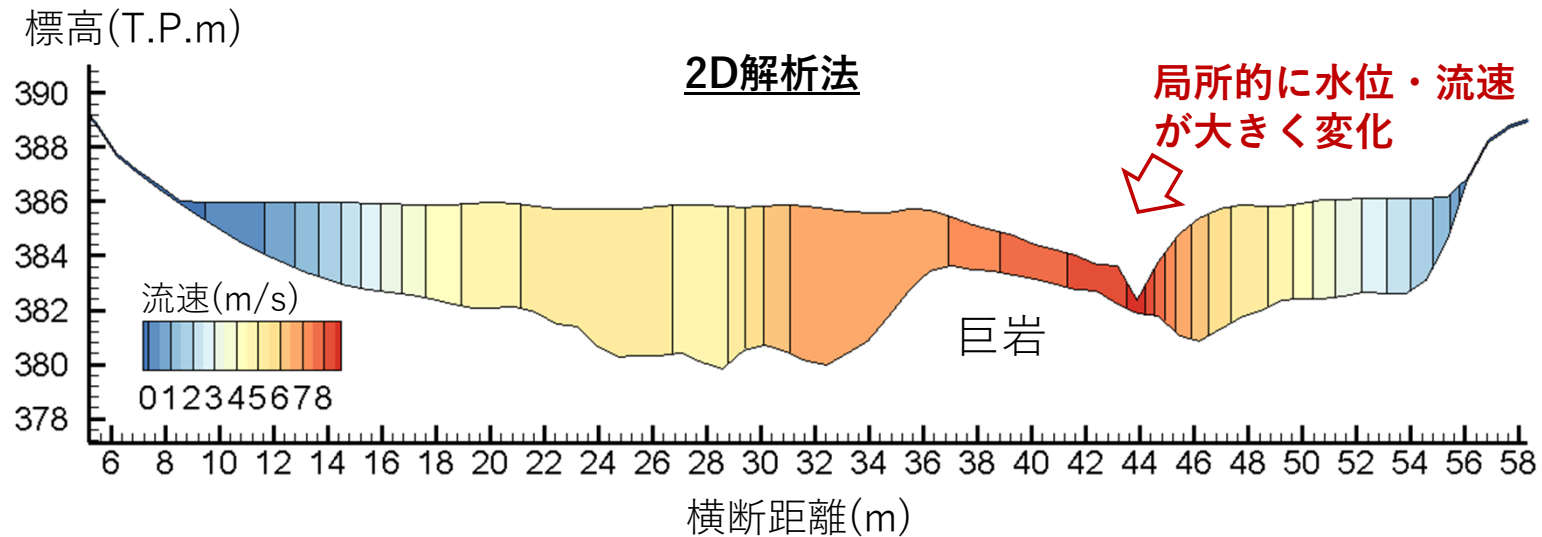
6.2km～6.0km区間の解析結果



6.2km～6.0km区間の解析結果



詳細な地形を与えた平面二次元解析とQ3D-FEBSの比較



まとめ

巨岩・巨石の点在する山地河川において，観測水面形を用いて洪水解析を実施することで算定できる水理量と解析法の整理

水理量	平面二次元解析 + 定期横断測量	平面二次元解析 + 詳細地形データ	Q3D-FEBS + 詳細地形データ
洪水流量ハイド ログラフ	○	○	○
水位・流速等の 断面平均値	×	△	○
水位・流速等の 縦・横断分布	×	×	○
粗度係数	0.04～0.072	0.04	0.032