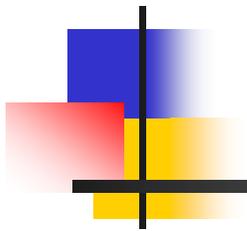


栃木県黒川における 氾濫要因の数値解析



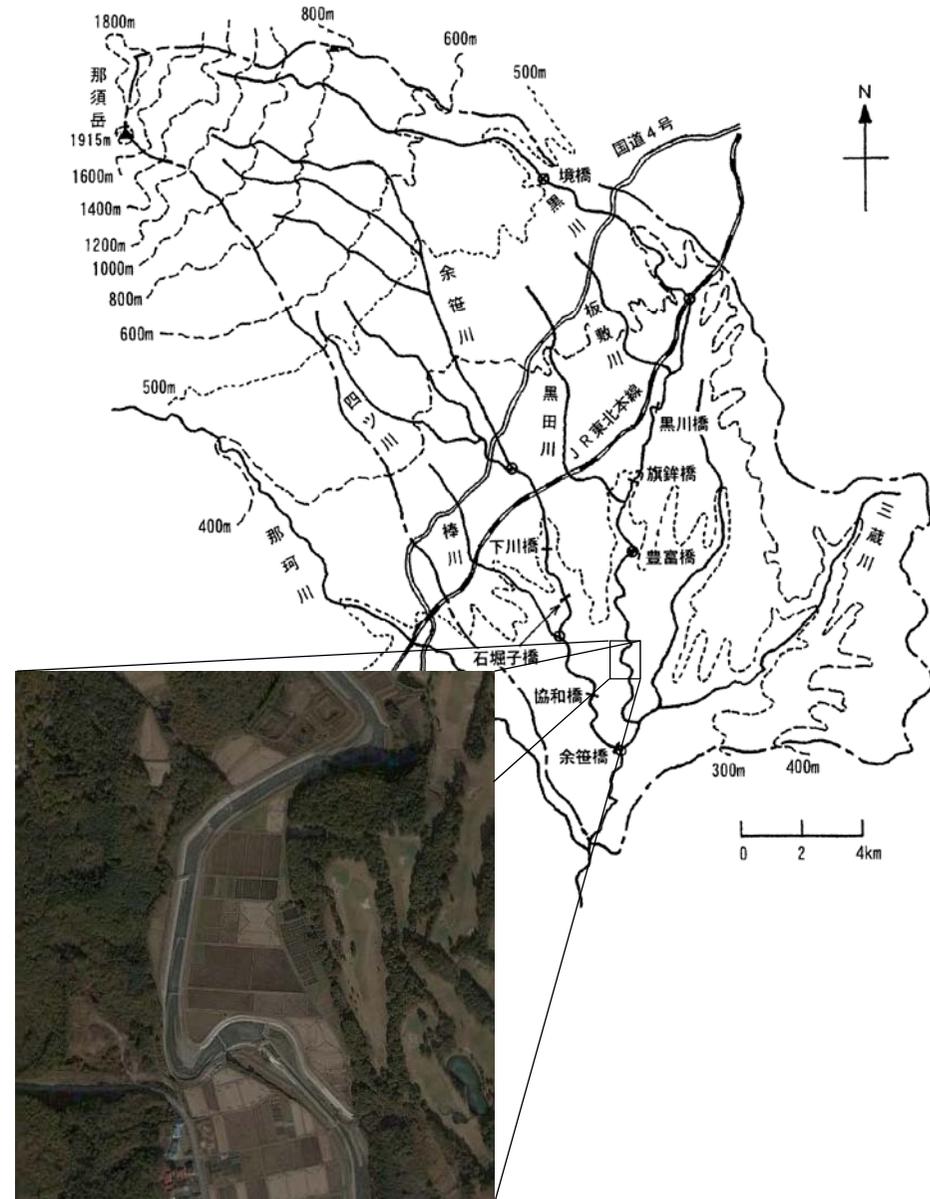
Numerical Simulation of Turbulent Flow in a
Flooded Kurokawa River in Tochigi Prefecture

宇都宮大学大学院 ○赤木 英之
杉山 均
加藤 直人

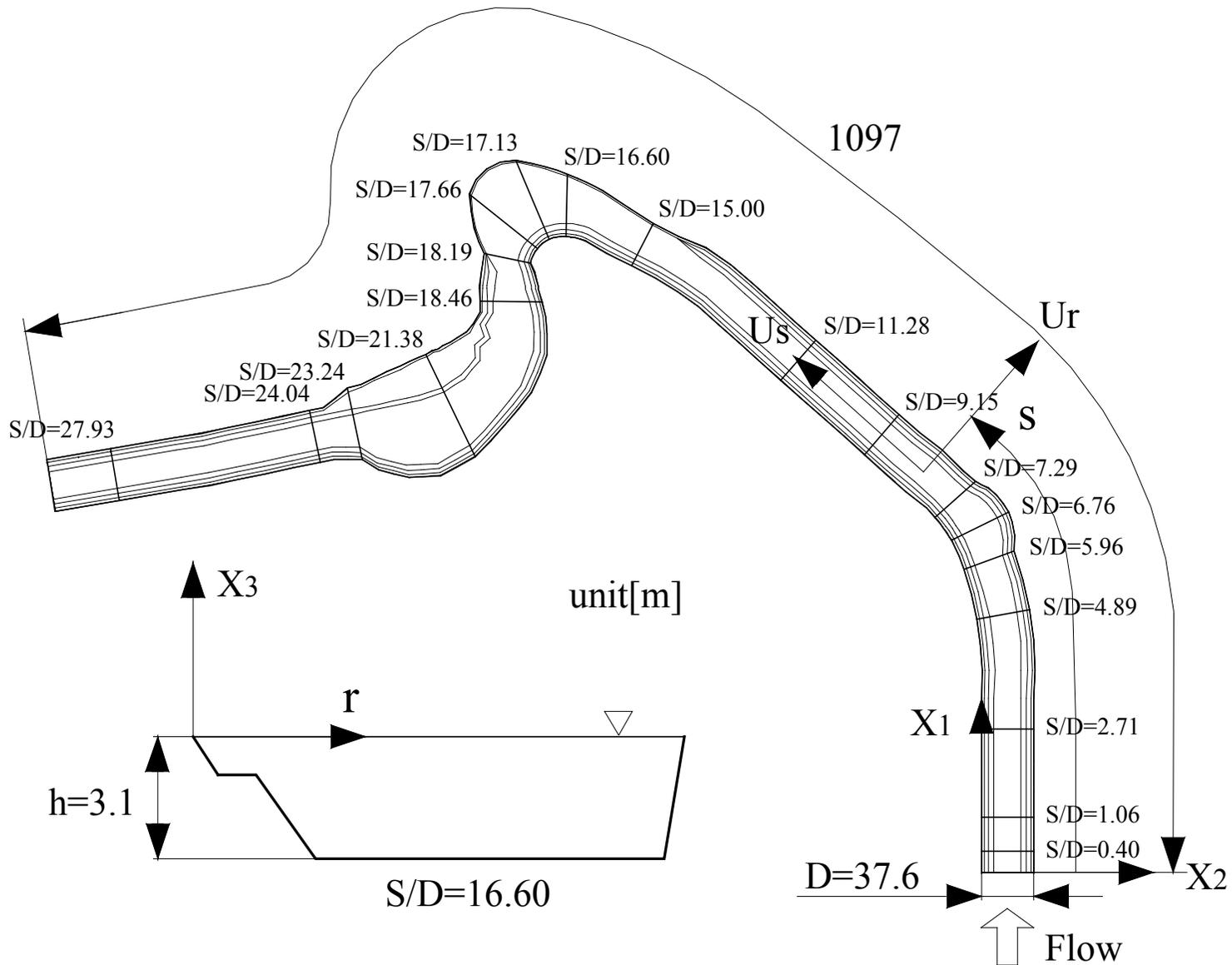
緒言

黒川水系は、平成10年8月、台風4号による局所的な豪雨により氾濫し、甚大な被害を残した。その後、河道は改修され現在に至っている。

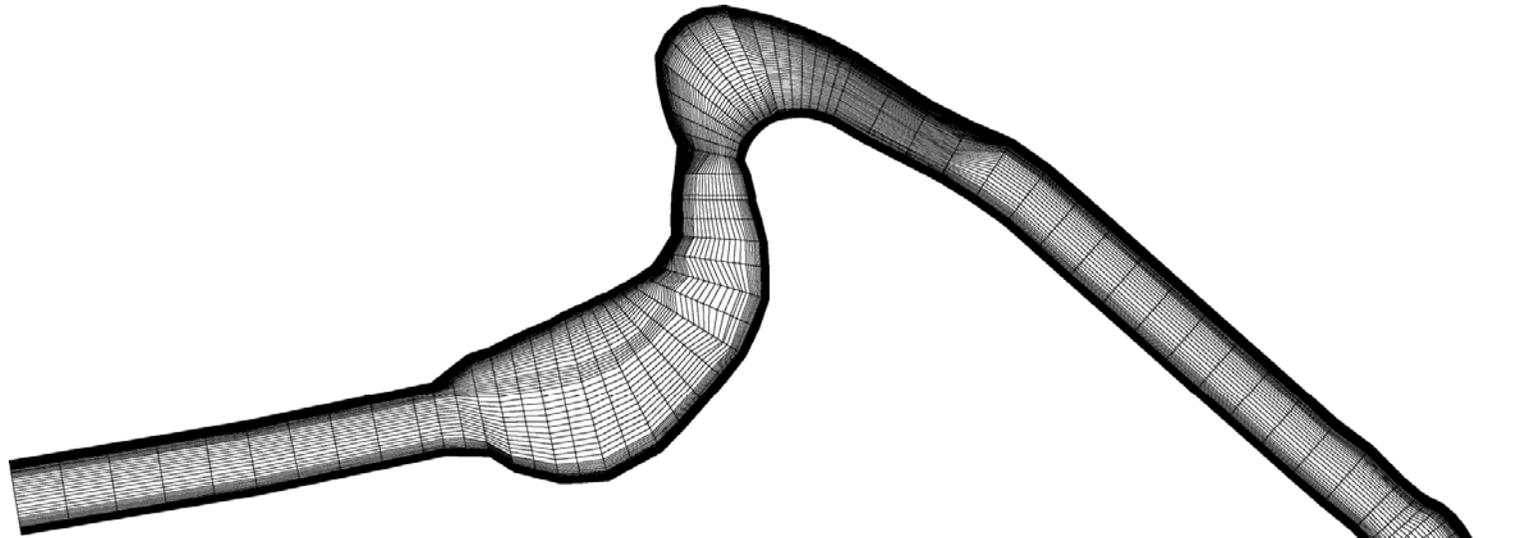
自然災害予測の観点から改修後の黒川を対象に、氾濫した場合の水理特性を解析することを目的とする。その氾濫要因についても考察を加えた。特に、平成10年の豪雨時に氾濫した河川流域を対象に解析を行った。



計算対象河川



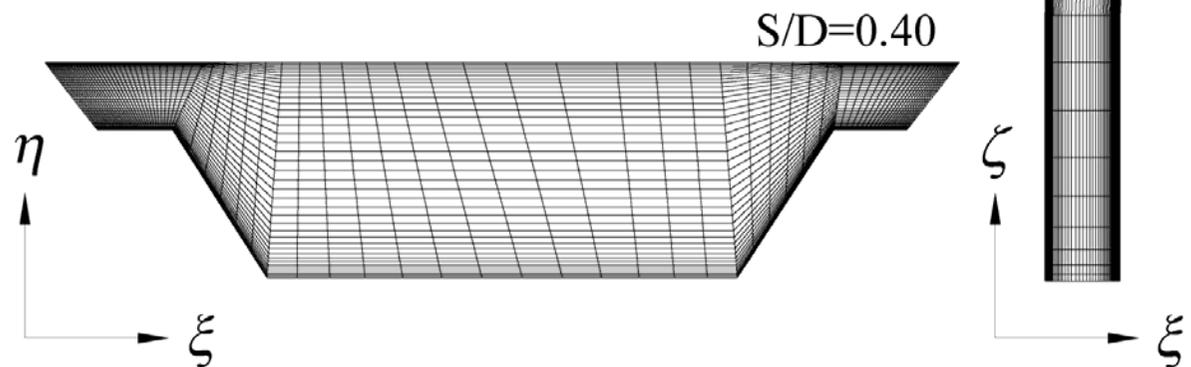
計算格子



▶ 計算格子点数 : $81 \times 41 \times 88$ (幅 \times 深さ \times 流れ)

▶ 総格子点数 : 292248点

▶ レイノルズ数 $Re=10^7$



基礎方程式

▶ 連続の式

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

▶ 運動方程式

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} U_i U_j = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right)$$

▶ 乱流エネルギー方程式

$$\frac{Dk}{Dt} = -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu \delta_{jk} + c_k \frac{k}{\varepsilon} \overline{u_k u_j} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right\} - \varepsilon$$

▶ 乱流散逸方程式

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = -C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu \delta_{jk} + c_\varepsilon \frac{k}{\varepsilon} \overline{u_k u_j} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right\} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

代数応力モデル

▶ モデル化したレイノルズ応力輸送方程式

$$\overline{\frac{u_i u_j}{k}} (P_k - \varepsilon) = P_{ij} + [\pi_{ij} + \pi_{ji}]_1 + [\pi_{ij} + \pi_{ji}]_2 - \frac{2}{3} \delta_{ij} \varepsilon$$

▶ モデル化された圧力・歪相関項及び定数系

$$[\pi_{ij} + \pi_{ji}]_1 = -C_1 \frac{\varepsilon}{k} \left(\overline{u_i u_j} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \right) \quad [\pi_{ij} + \pi_{ji}]_2 = -\frac{C_2 + 8}{11} \left(P_{ij} - \frac{2}{3} P_k \delta_{ij} \right) + \zeta k \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{8C_2 - 2}{11} \left(D_{ij} - \frac{2}{3} P_k \delta_{ij} \right)$$

$$C_1 = C_1^* + C_1' f \left(\frac{L}{X_w} \right) \quad C_2 = C_2^* + C_2' f \left(\frac{L}{X_w} \right) \quad \zeta = \zeta^* + \zeta' f \left(\frac{L}{X_w} \right)$$

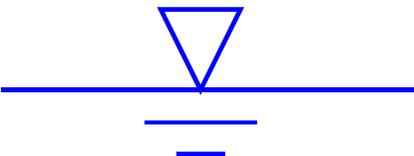
$$P_{ij} = -\overline{u_i u_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} - \overline{u_j u_k} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} \quad D_{ij} = -\overline{u_i u_k} \frac{\partial U_k}{\partial x_j} - \overline{u_j u_k} \frac{\partial U_k}{\partial x_i} \quad P_k = -\overline{u_k u_l} \frac{\partial U_k}{\partial x_l} \quad f \left(\frac{L}{X_w} \right) = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k^{\frac{3}{2}}}{\kappa \varepsilon X_w}$$

C_1^*	C_2^*	ζ^*	C_1'	C_2'	ζ'	C_μ	κ
1.4	0.44	-0.16	-0.35	0.12	-0.1	0.09	0.42

自由水面境界条件

Naot-Rodi(1982)

$$\varepsilon_s = \frac{C_\mu^{3/4} k_s^{3/2}}{\kappa} \left(\frac{1}{y'} + \frac{1}{y^*} \right)$$


$$(y' = 0.07h)$$

Nakagawa-Nezu(1987)

$$k_s = Dk_d$$

$$(D = 0.8)$$

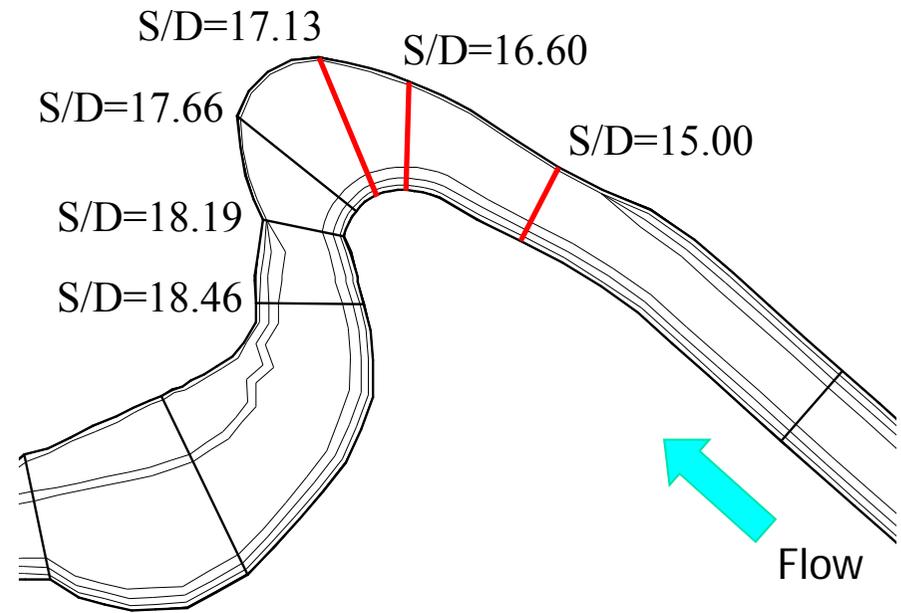
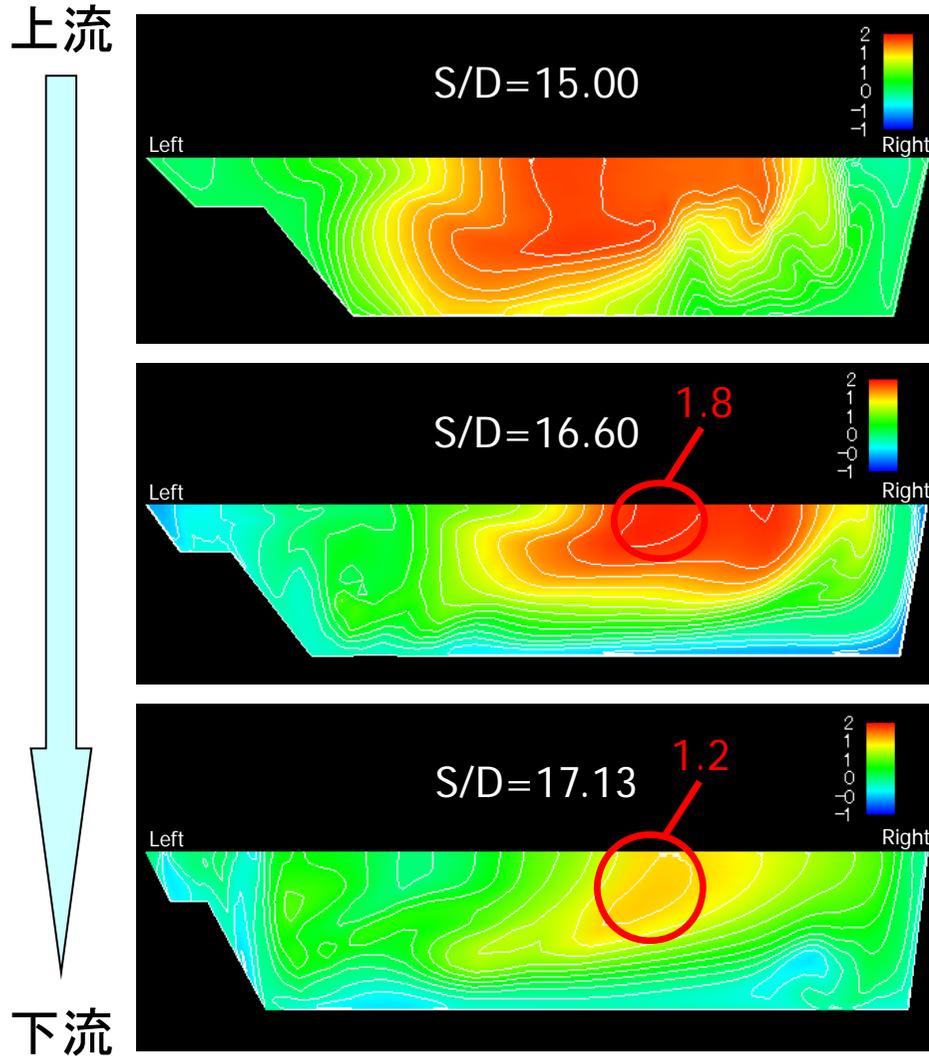
本解析

$$\varepsilon_s = \frac{C_\mu^{3/4} k_s^{3/2}}{\kappa y}$$

$$\overline{u_3^2} = 0.0$$

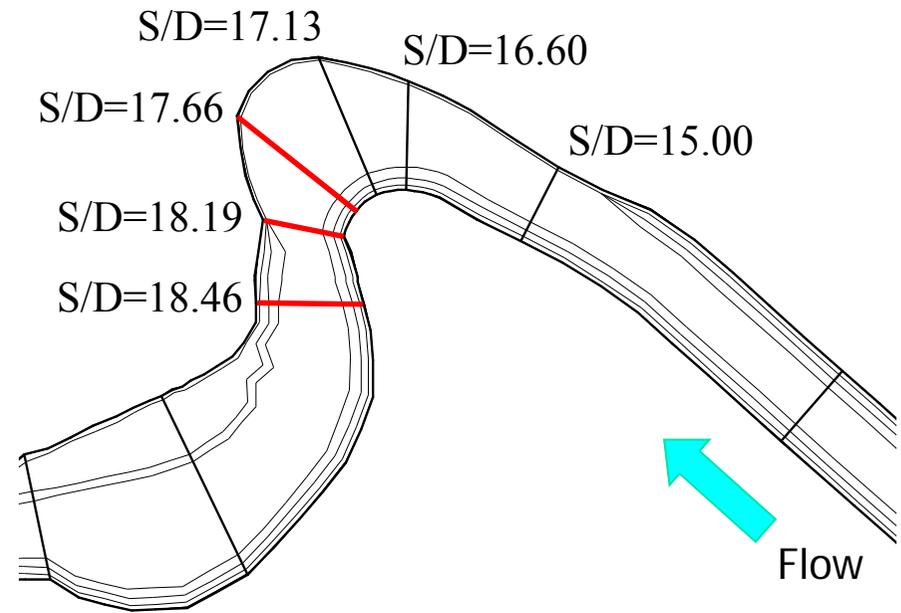
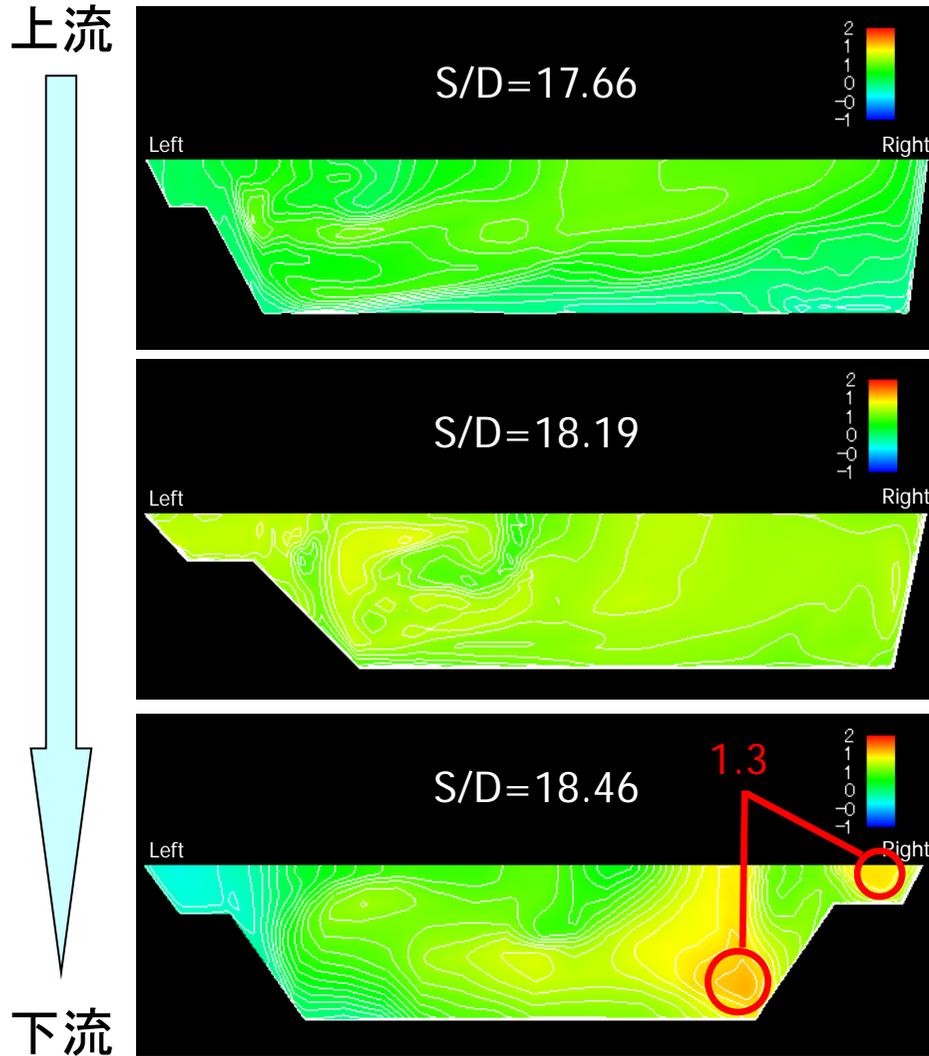
流動挙動(S/D=15.00~17.13)

主流方向速度分布

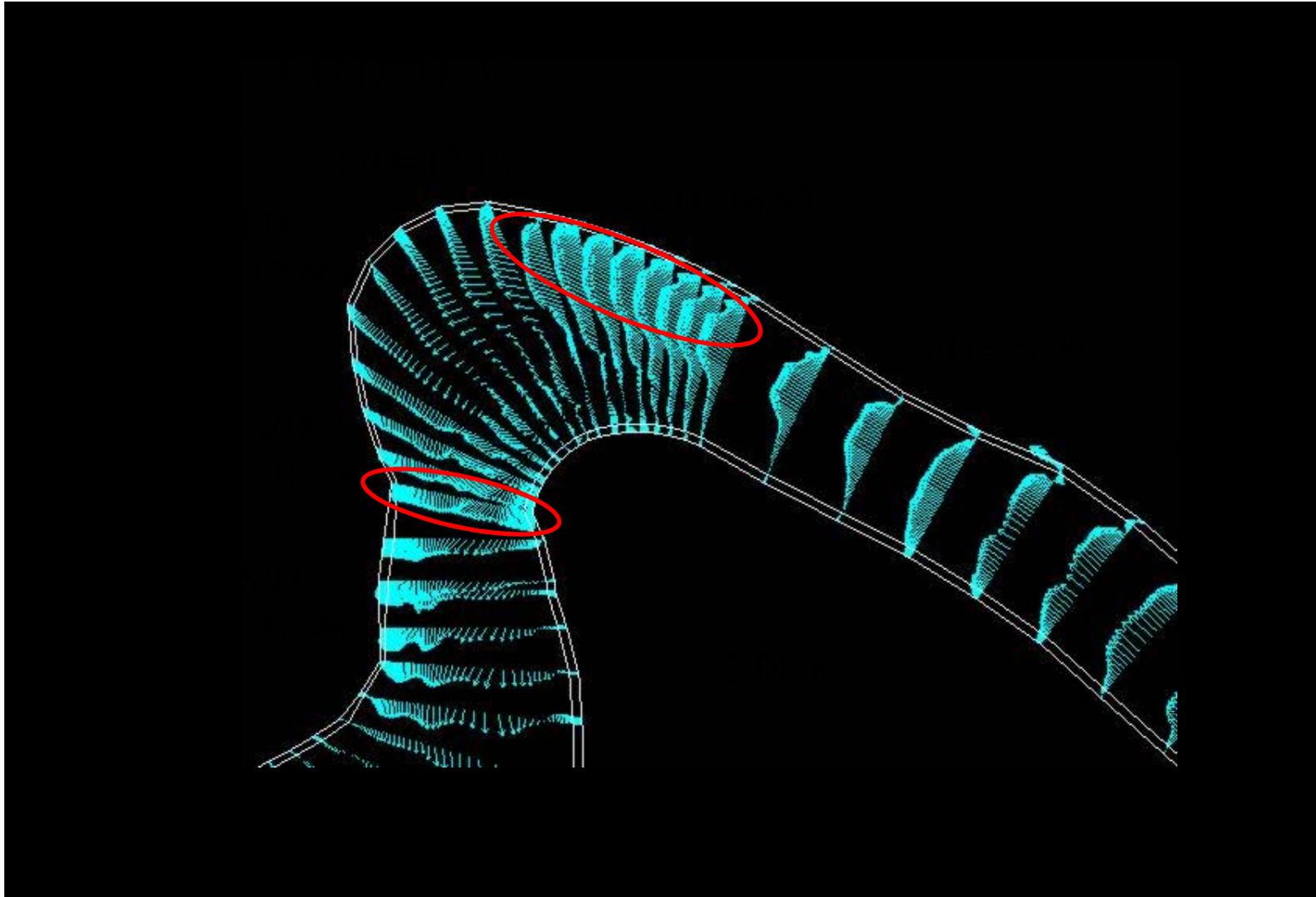


流動挙動(S/D=17.66~18.46)

主流方向速度分布

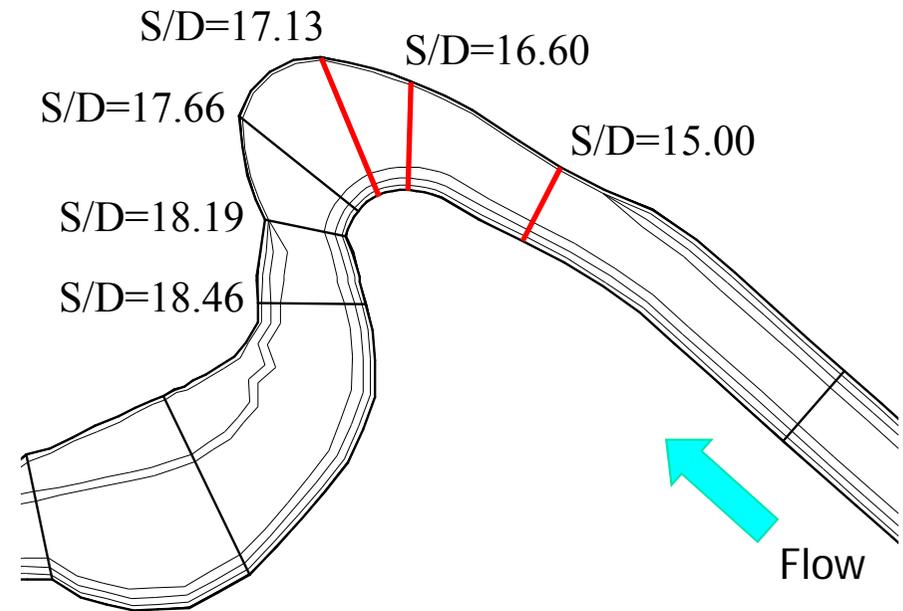
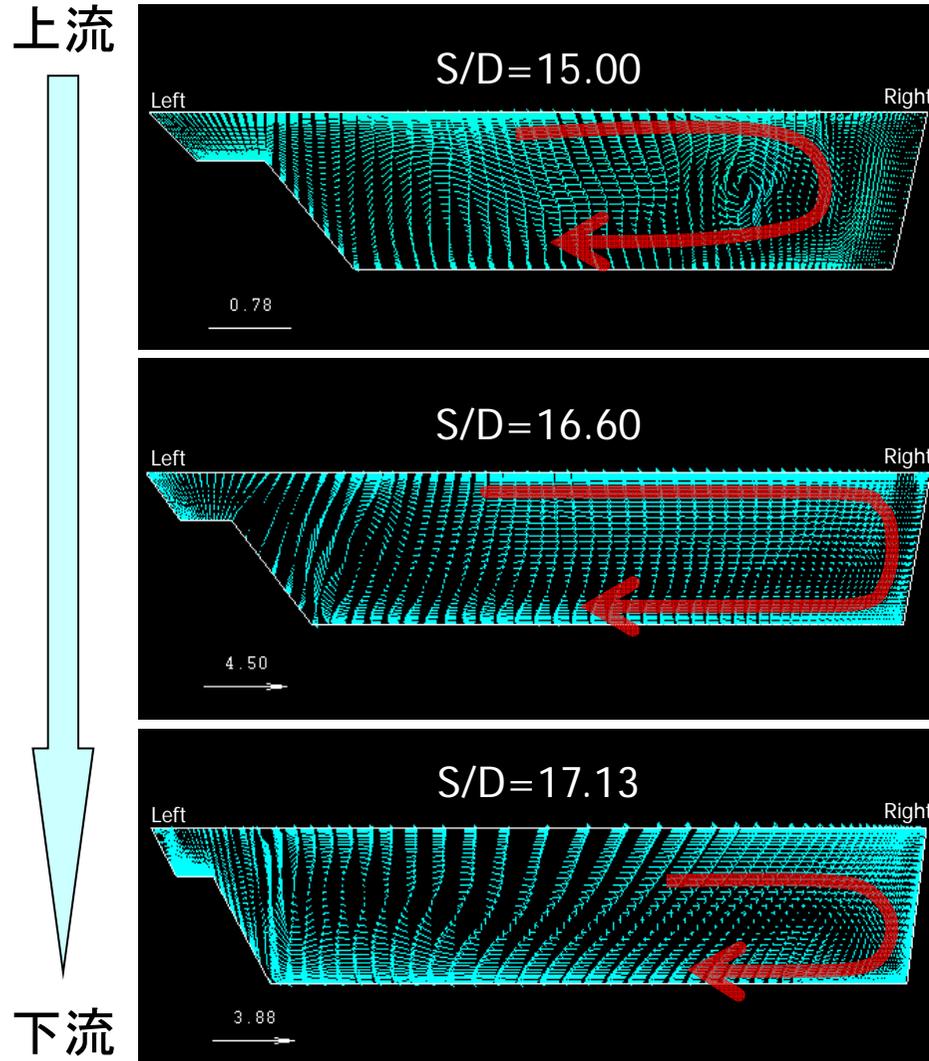


自由水面の速度分布



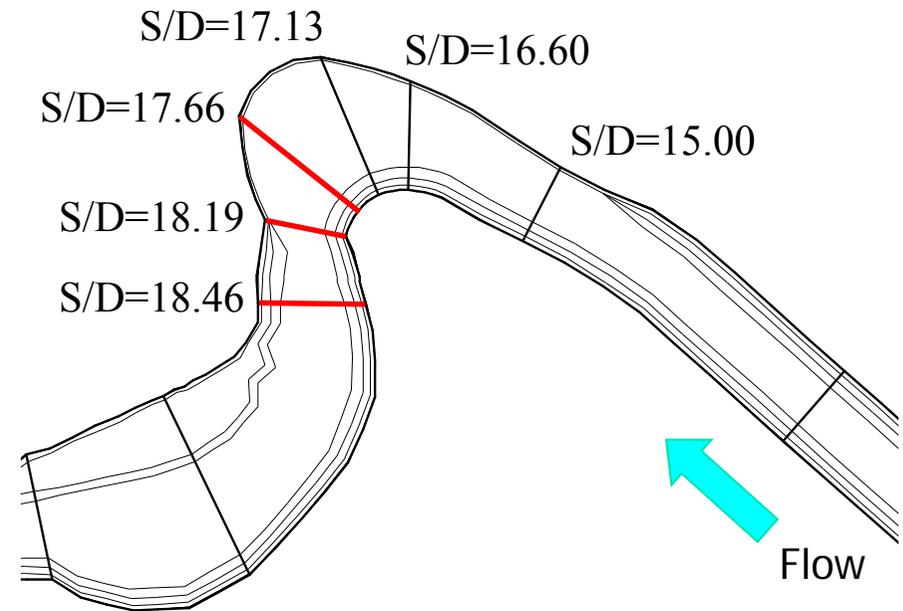
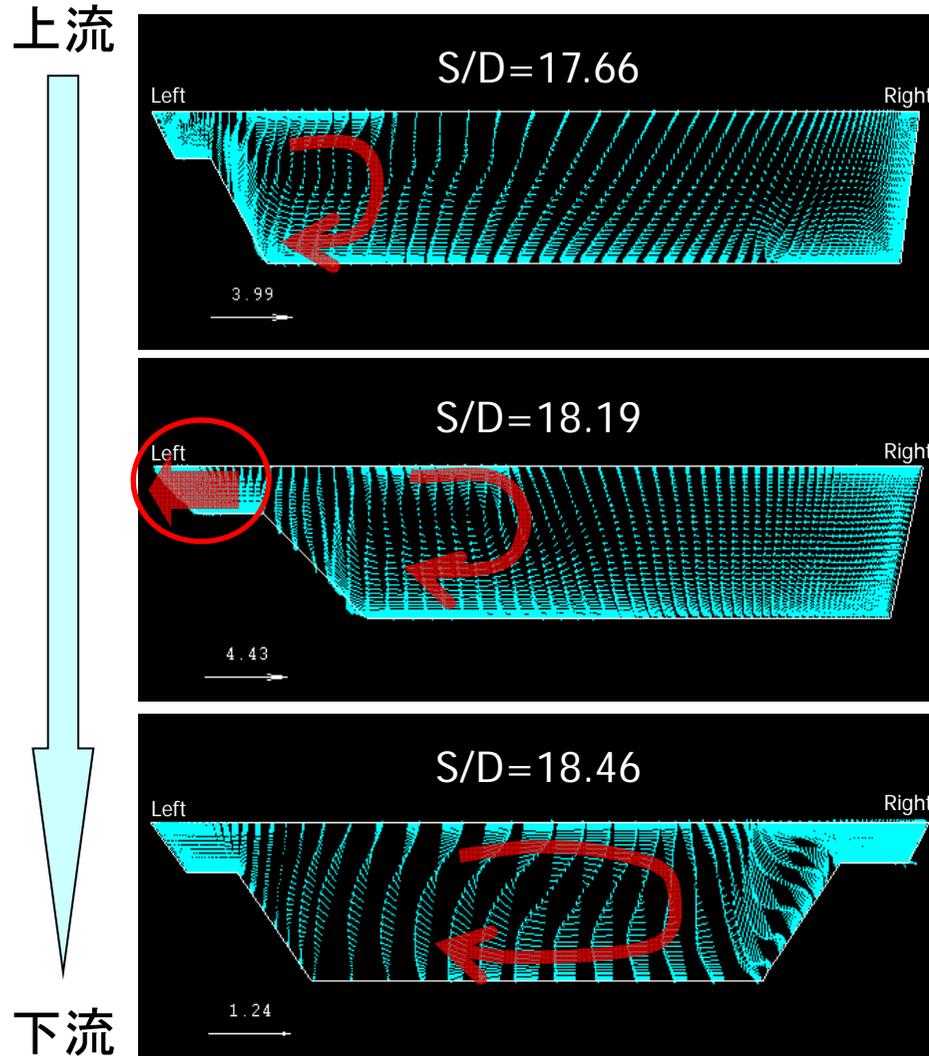
流動挙動(S/D=15.00~17.13)

二次流れベクトル分布

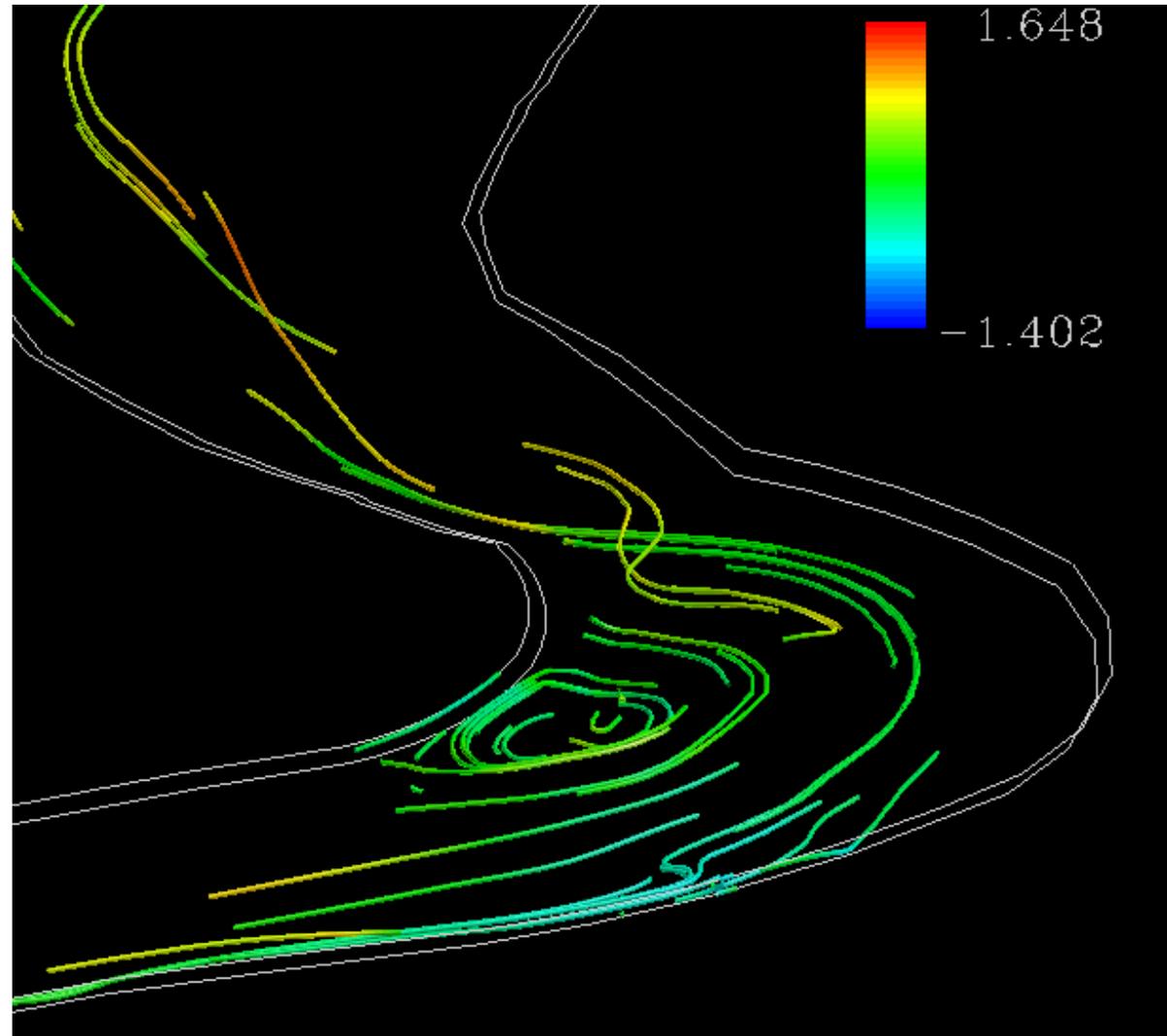


流動挙動(S/D=17.66~18.46)

二次流れベクトル分布

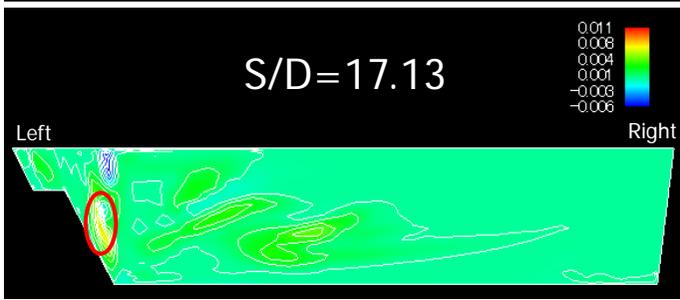
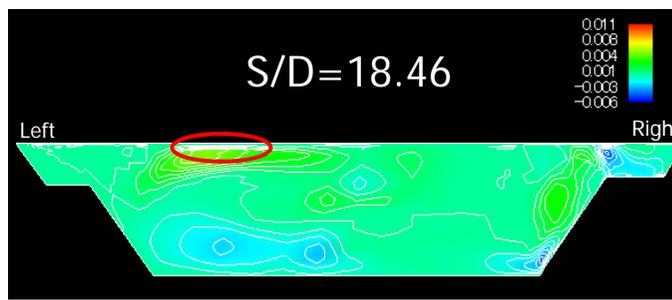
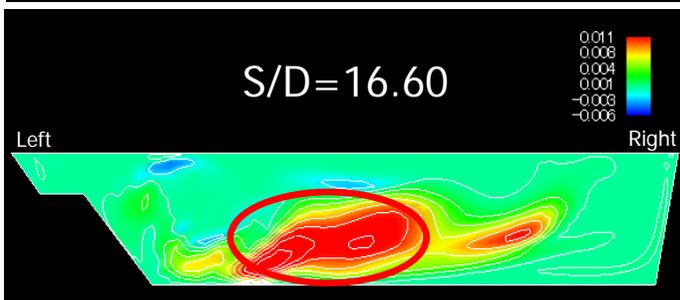
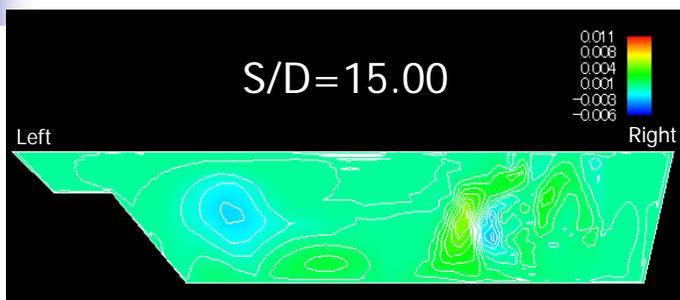


河床近傍の流跡線

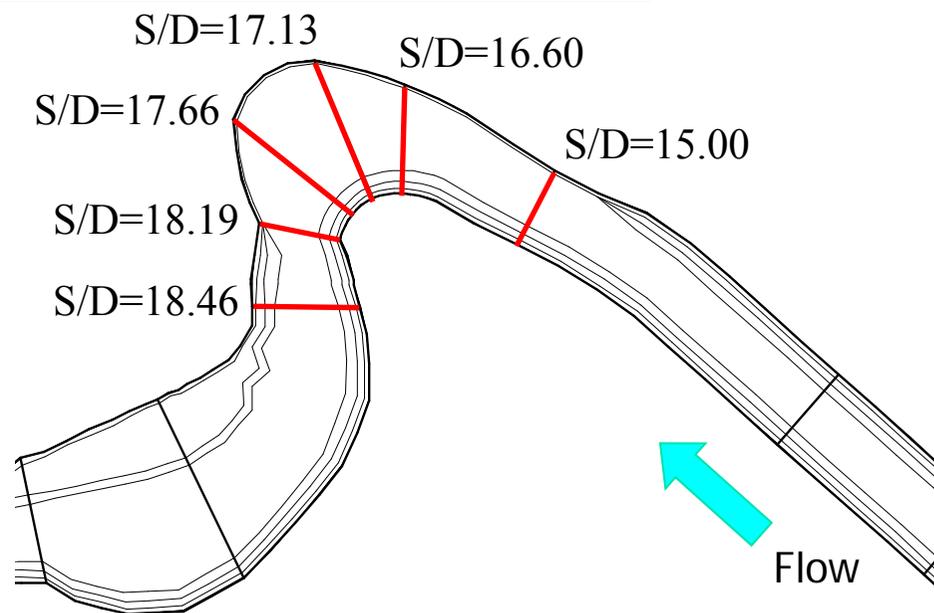


レイノルズ応力分布 ($\overline{u_s u_3}$)

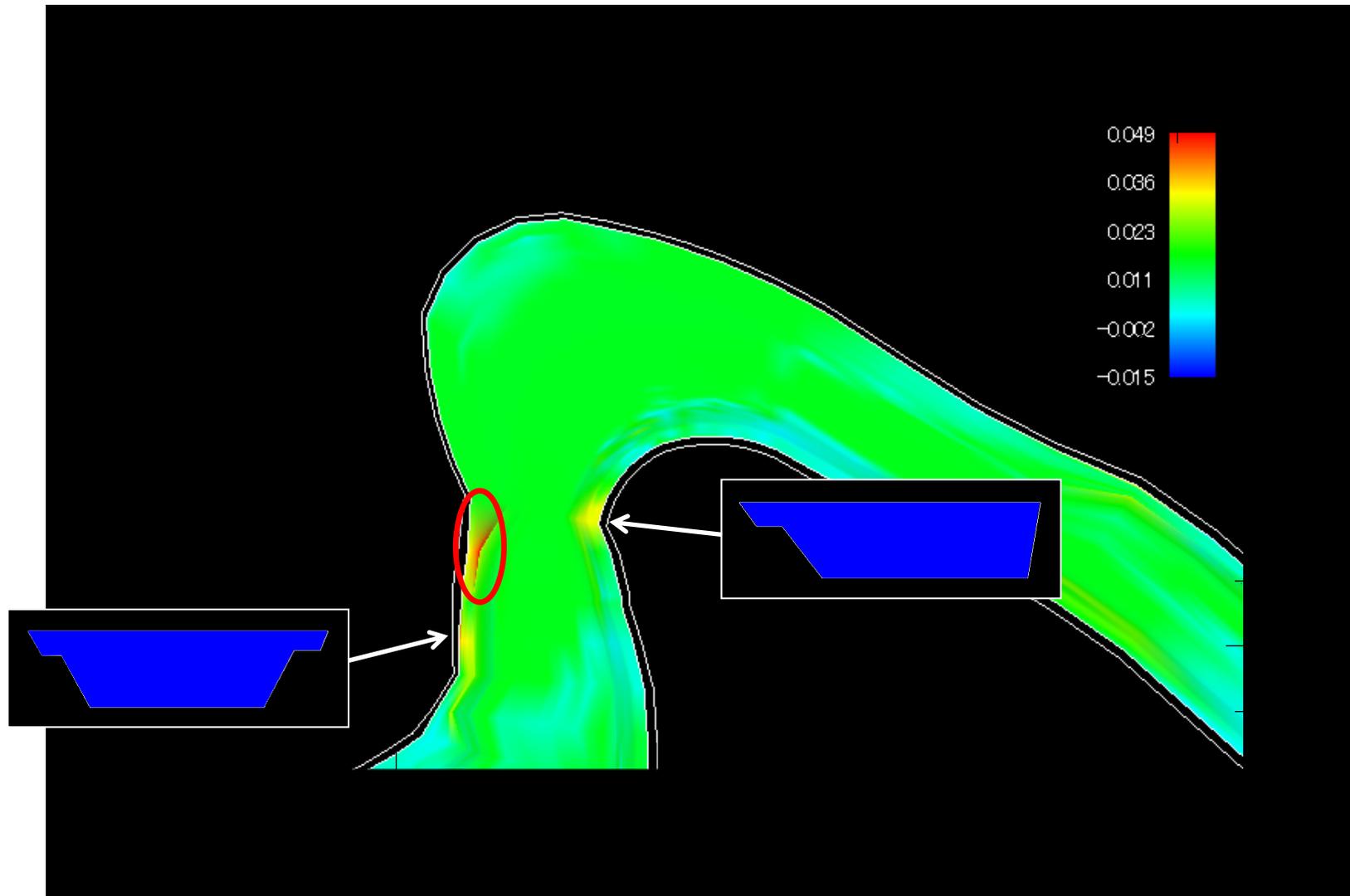
上流

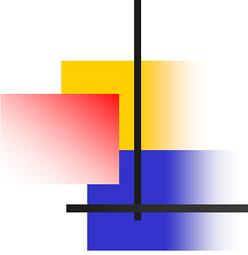


下流



摩擦速度分布





結論

- ▶ 氾濫要因は、急激な曲がりによって河床近傍に発生するはく離流れが、主流方向速度を加速させることに起因することを定量的に明らかにした。
- ▶ 二次流れにより、高水敷河床、および側壁の侵食作用が大きくなることを予測した。
- ▶ せん断応力 $\overline{u_s u_3}$ 分布を示し、最大絶対値は、急激な曲がり河道にて生成され、深さ方向への運動量交換が活発であることを示した。

境界条件

初期境界条件

	U_1	U_2	U_3	P	k	ε
Inlet	$U_1 = 1.0$	$U_2 = 0.0$	$U_3 = 0.0$	$\frac{\partial P}{\partial \zeta} = Const.$	$k = U_b^2 \times 10^{-5}$	$\varepsilon = k^{\frac{3}{2}}/4R$
Outlet	$\frac{\partial U_1}{\partial \zeta} = 0$	$\frac{\partial U_2}{\partial \zeta} = 0$	$\frac{\partial U_3}{\partial \zeta} = 0$	$P = 0.0$	$\frac{\partial k}{\partial \zeta} = 0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \zeta} = 0$
Wall (ξ_{min})	$U_1 = 0.0$	$U_2 = 0.0$	$U_3 = 0.0$	$\frac{\partial P}{\partial \xi} = Const.$	wall function	wall function
Wall (η_{min})	$U_1 = 0.0$	$U_2 = 0.0$	$U_3 = 0.0$	$\frac{\partial P}{\partial \eta} = Const.$	wall function	wall function
Wall (ξ_{max})	$U_1 = 0.0$	$U_2 = 0.0$	$U_3 = 0.0$	$\frac{\partial P}{\partial \xi} = Const.$	wall function	wall function
Free surface (η_{max})	$\frac{\partial U_1}{\partial \eta} = 0$	$\frac{\partial U_2}{\partial \eta} = 0$	$U_3 = 0.0$	$\frac{\partial P}{\partial \eta} = Const.$	$\frac{\partial k}{\partial \eta} = 0$	$\varepsilon_s = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k_s^{\frac{3}{2}}}{\kappa y}$

周期境界条件

	U_1	U_2	U_3	P	k	ε
$n \geq 2$	$U_{1IN}^{(n)} = U_{1OUT}^{(n-1)}$	$U_{2IN}^{(n)} = U_{2OUT}^{(n-1)}$	$U_{3IN}^{(n)} = U_{3OUT}^{(n-1)}$	$\frac{\partial P_{(n)}}{\partial \zeta_{IN}} = \frac{\partial P_{(n-1)}}{\partial \zeta_{OUT}}$	$k_{IN}^{(n)} = k_{OUT}^{(n-1)}$	$\varepsilon_{IN}^{(n)} = \varepsilon_{OUT}^{(n-1)}$