

# 周期配列ブロックを有する矩形断面管路 内の乱流数値解析

Calculation of Turbulent Flow in a Rectangular Duct  
with Periodic Array of Blocks

宇都宮大学大学院 工学研究科  
宇都宮大学大学院 工学研究科

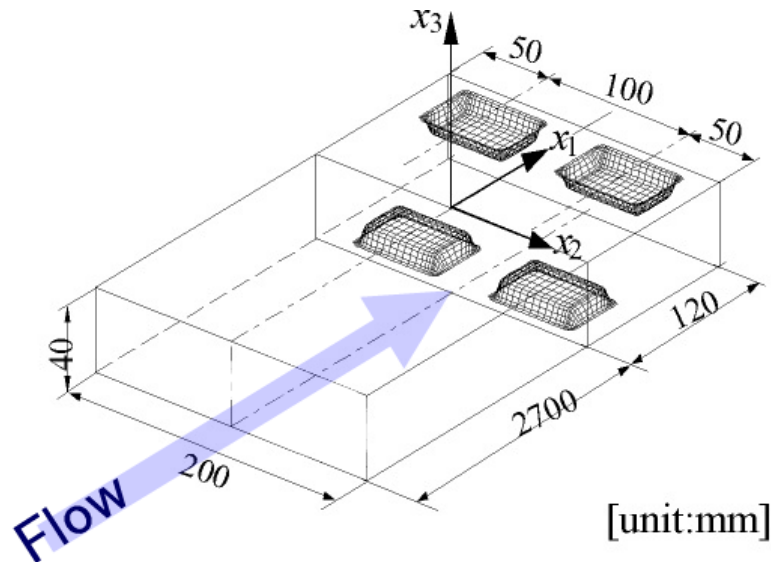
杉山 均  
○竹島 将太

## 緒論

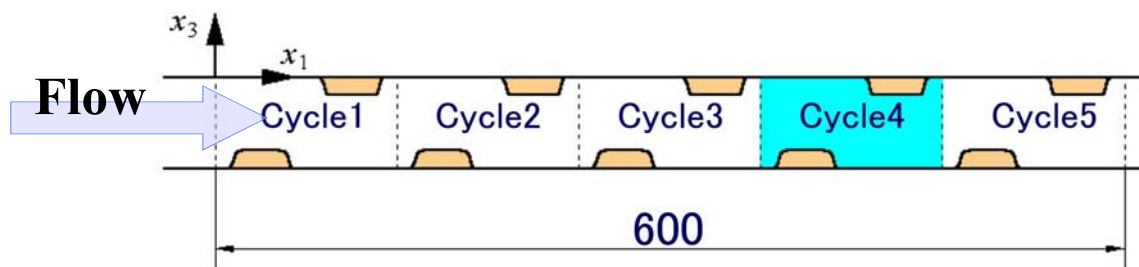
伝熱促進を意図する目的から、管路内に三次元ブロックを設置することは、最も簡便かつ効率的な伝熱促進手法である。しかし、強制対流中に設置された三次元ブロックまわりの流れは、馬蹄形渦生成、はく離再付着、二次流れを伴い流れは複雑である。そこで、本解析では杉山 - 羽田の実験を対象に、代数応力モデルにて数値予測すると共に、乱流エネルギー、乱流散逸の境界条件として壁関数を使用する際に必要となる対数速度分布中の普遍定数の影響についても検討する。

# 解析手法

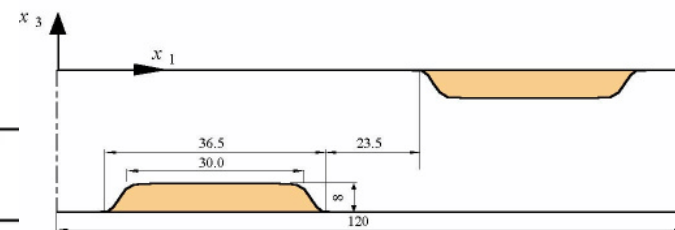
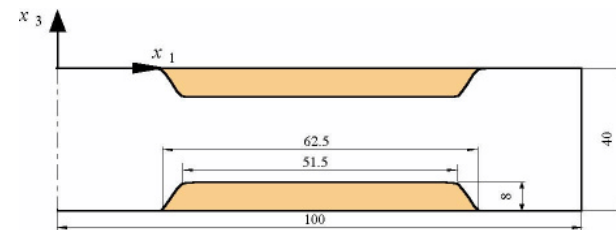
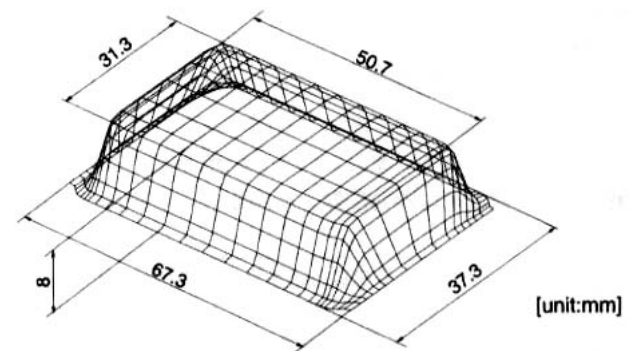
## 計算対象実験



Square duct with staggered blocks and definition of coordinate system

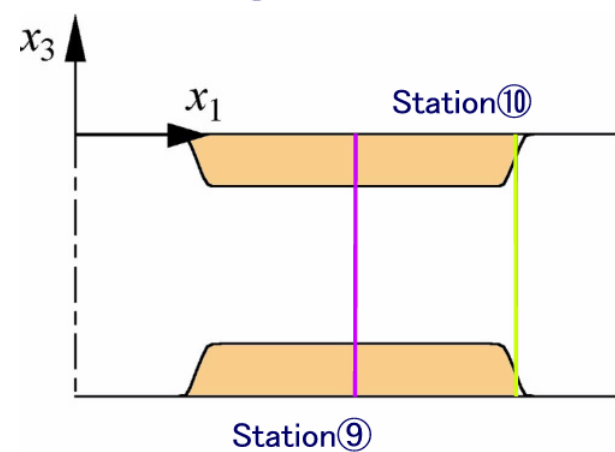
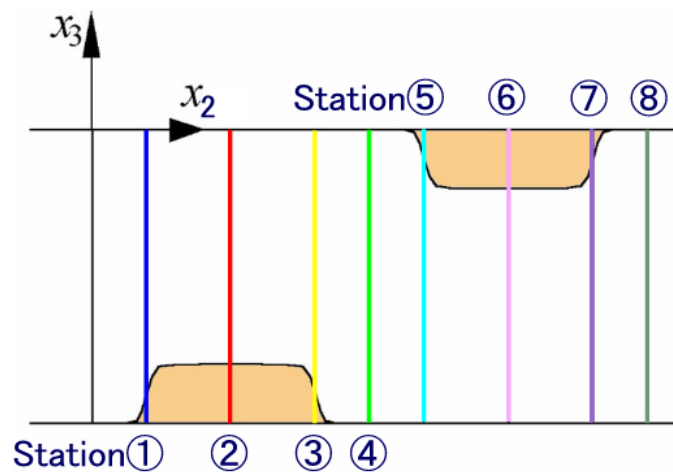
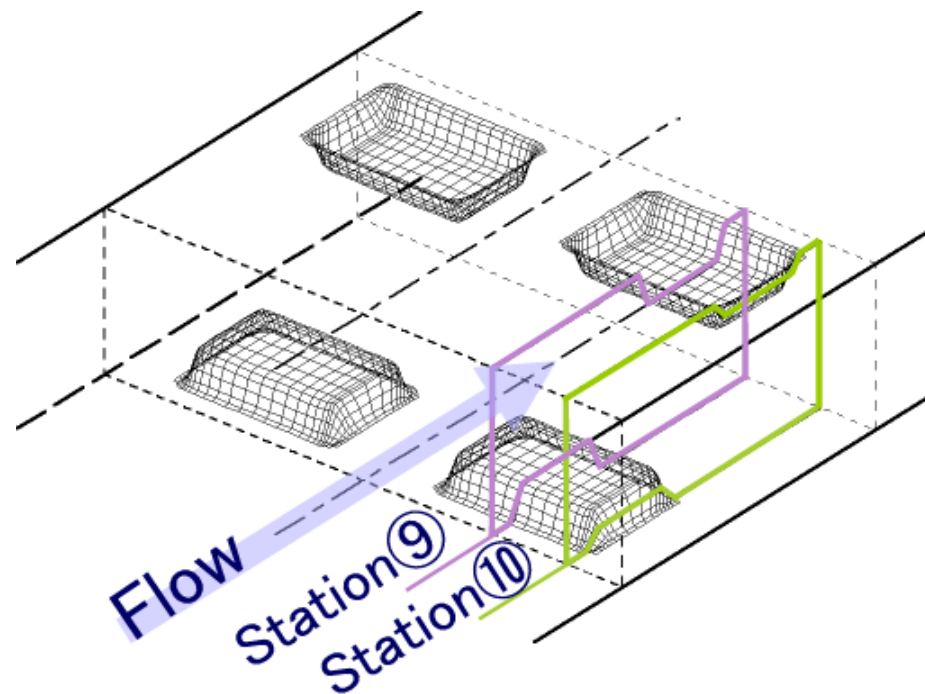
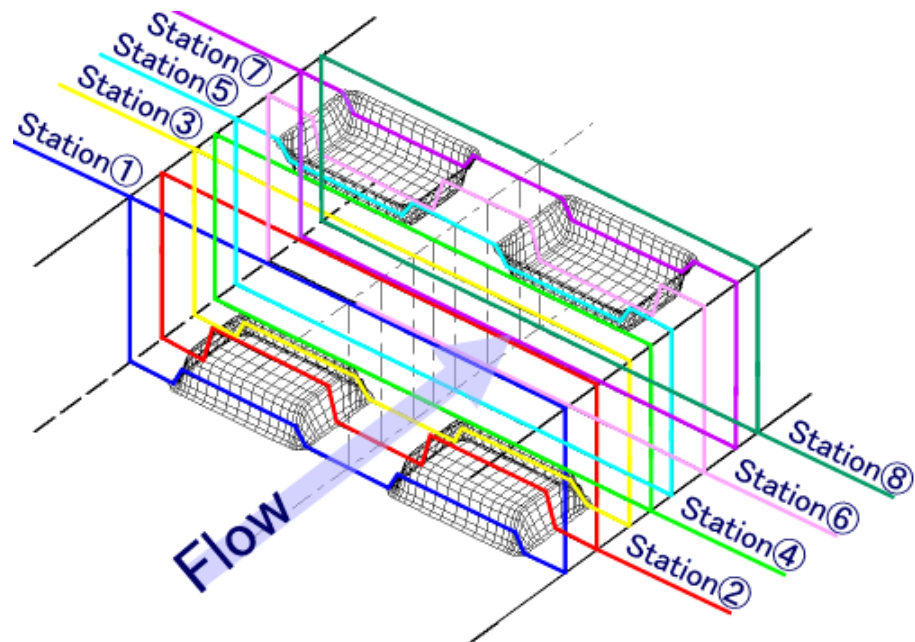


Location of measuring cross section



Configuration of block

# 測定・計算領域



Measuring Location

# 支配方程式

## ・運動量輸送方程式

$$\frac{DU_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] \quad (1)$$

## ・レイノルズ応力輸送方程式

$$\begin{aligned} \frac{D\overline{u_i u_j}}{Dt} = & \underbrace{-\left( \overline{u_i u_k} \frac{\partial U_i}{\partial X_k} + \overline{u_j u_k} \frac{\partial U_j}{\partial X_k} \right)}_{\text{①: 対流項}} + \underbrace{\frac{p}{\rho} \left( \frac{\partial u_i}{\partial X_j} + \frac{\partial u_j}{\partial X_i} \right)}_{\text{②: 生成項}} \\ & - \underbrace{\frac{\partial}{\partial X_k} \left\{ \overline{u_i u_j u_k} - \nu \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial X_k} + \frac{p}{\rho} (\delta_{jk} u_i + \delta_{ik} u_j) \right\}}_{\text{③: 圧力・ひずみ相関項}} \\ & - \underbrace{2\nu \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial X_k} \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial X_k}}_{\text{④: 拡散項}} \\ & \underbrace{- \overline{u_i u_j u_k}}_{\text{⑤: 散逸項}} \end{aligned} \quad (2)$$

①: 対流項

②: 生成項

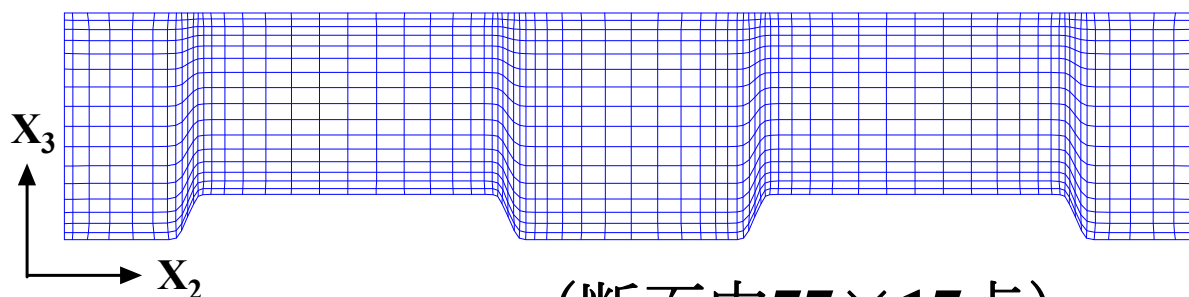
③: 圧力・ひずみ相関項

④: 拡散項

⑤: 散逸項

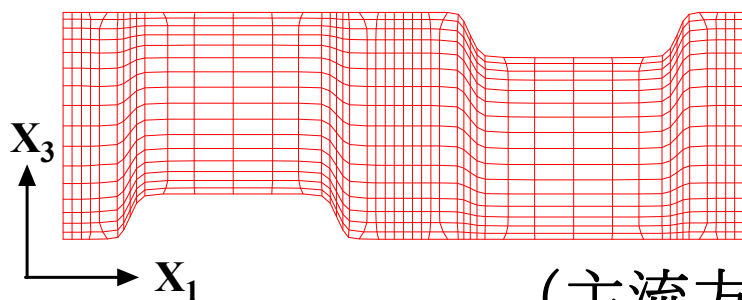
# 計算格子

## ▪ Station②mesh

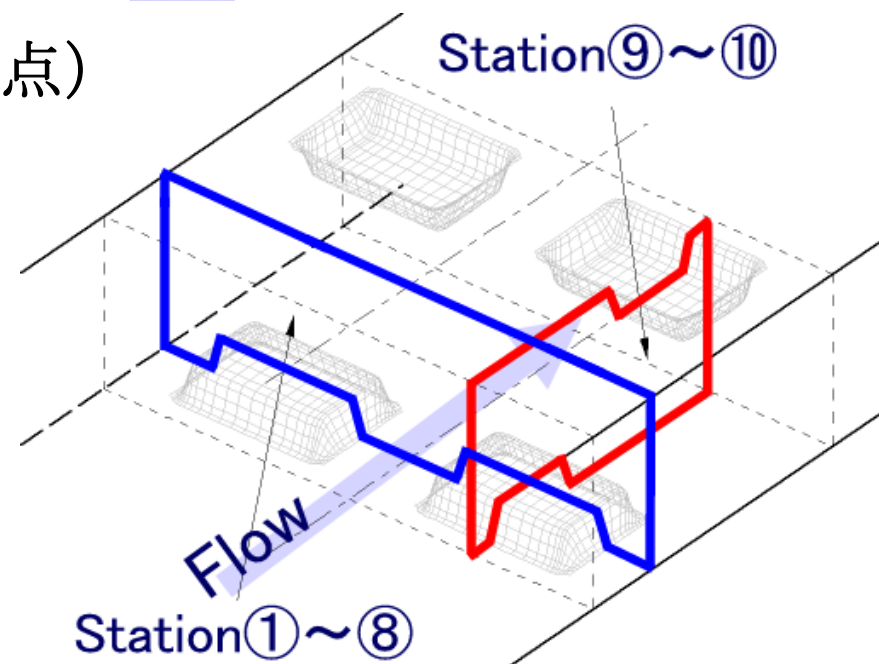


(断面内77×17点)

## ▪ Station⑨mesh

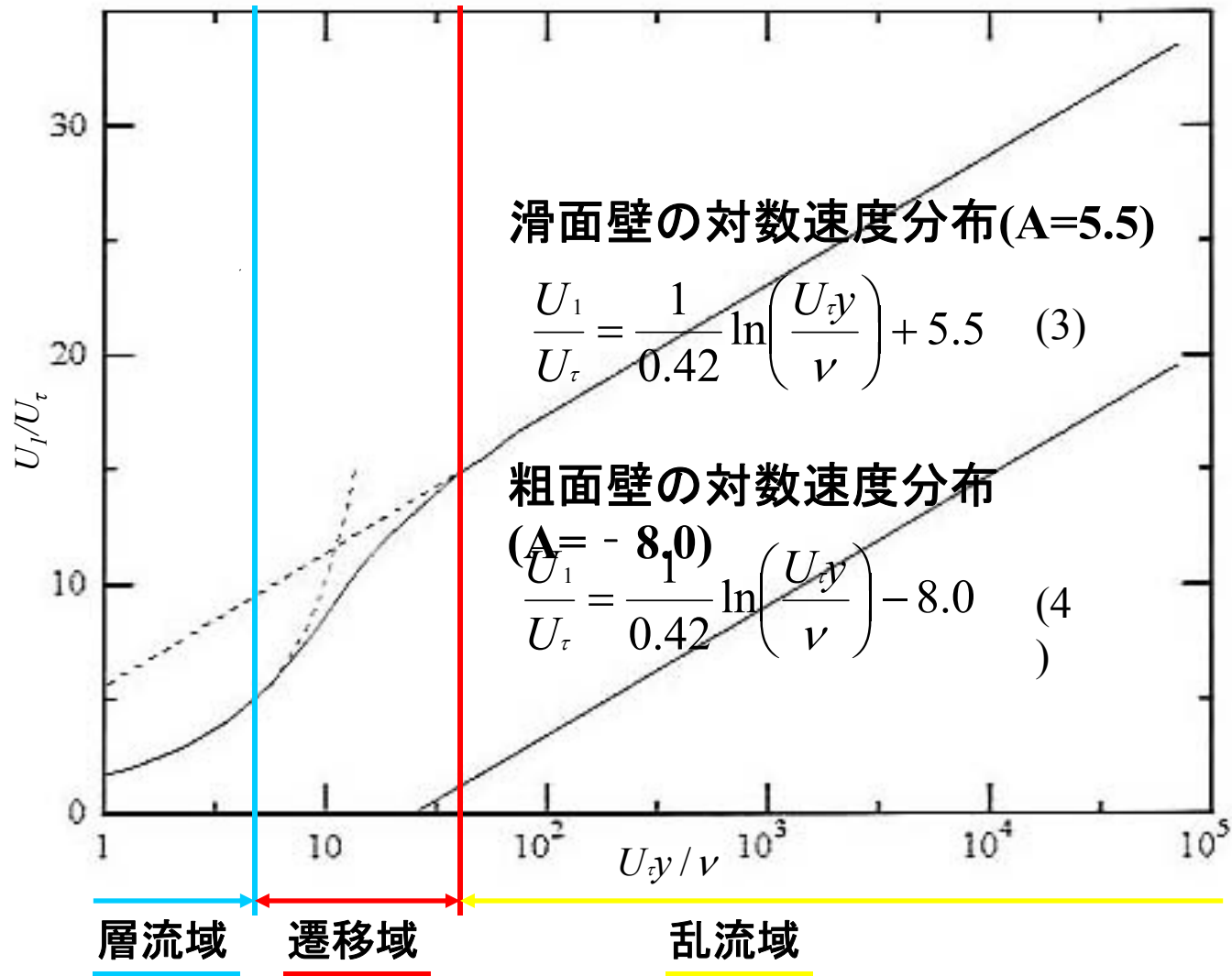


(主流方向50  
点)



Computational mesh layout

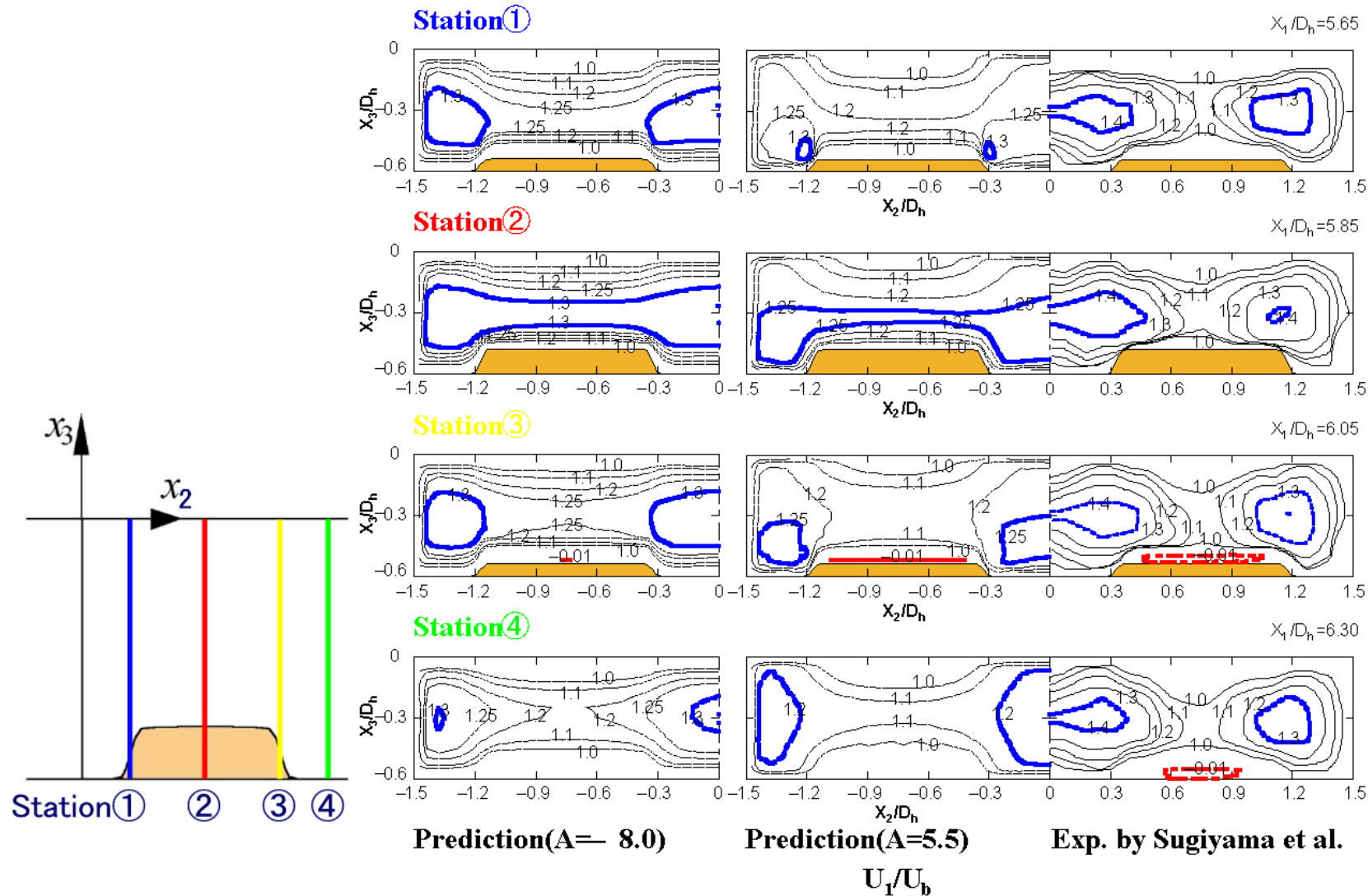
# 対数速度分布普遍定数(A)



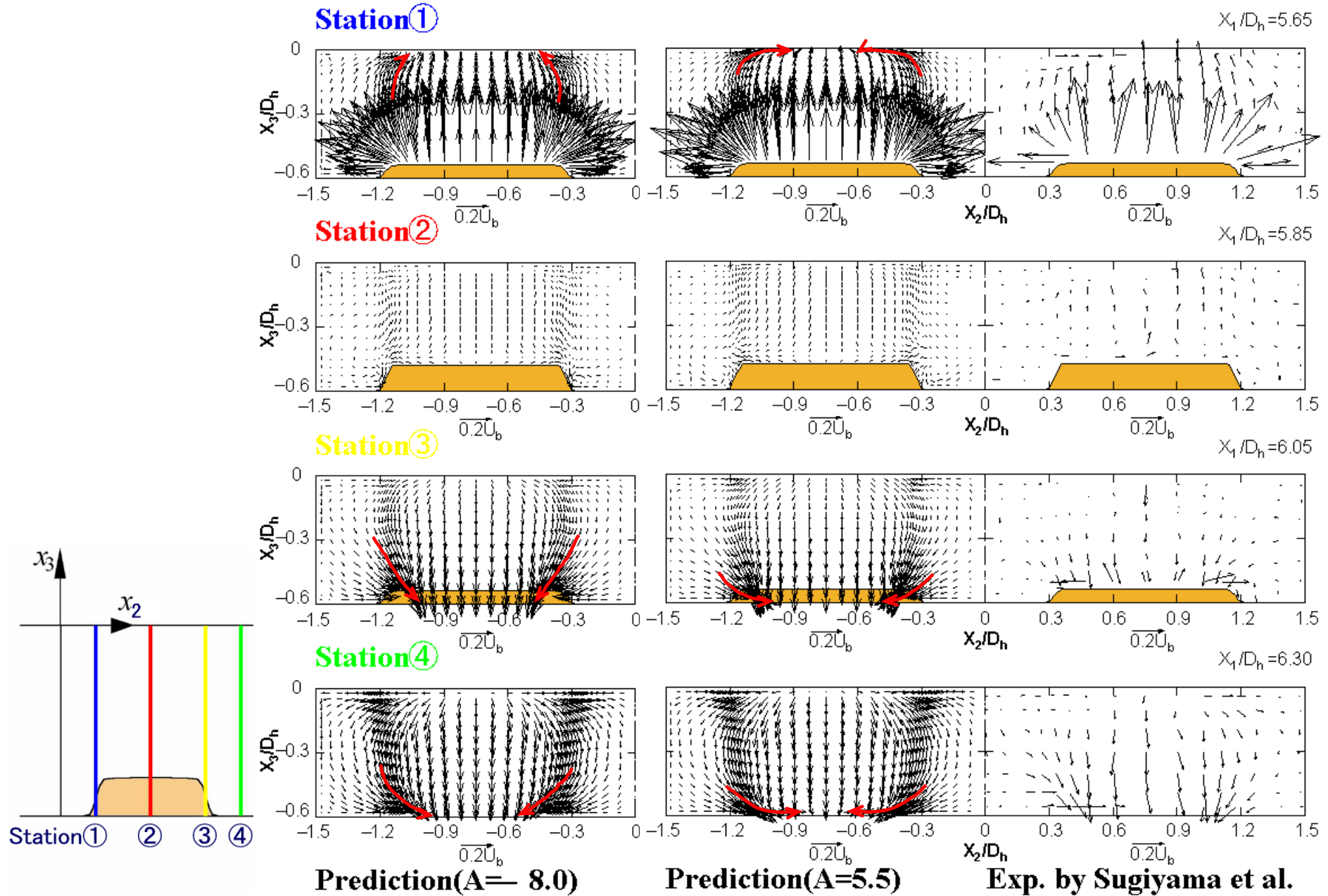
Log-law velocity profile for A=5.5 and A=-8.0

# 結果と考察

## 平均速度場の比較



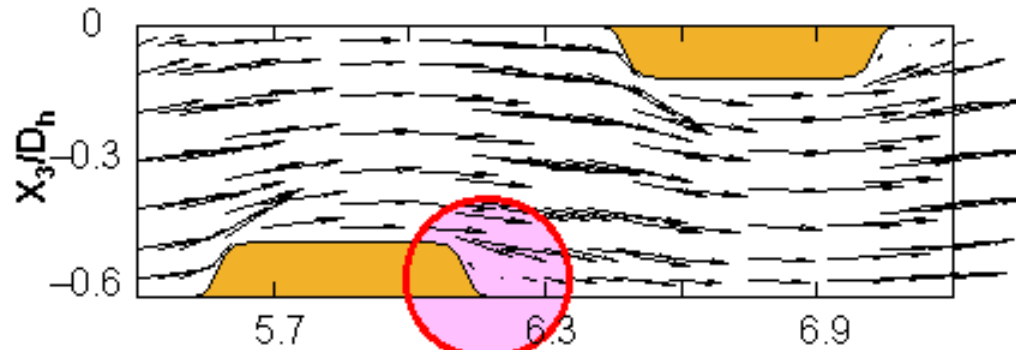
Comparison of mean velocity profile for  
A=5.5(Left) and A=-8.0(Right)



Secondary flow vectors for  
A=5.5(Left) and A=−8.0(Right)

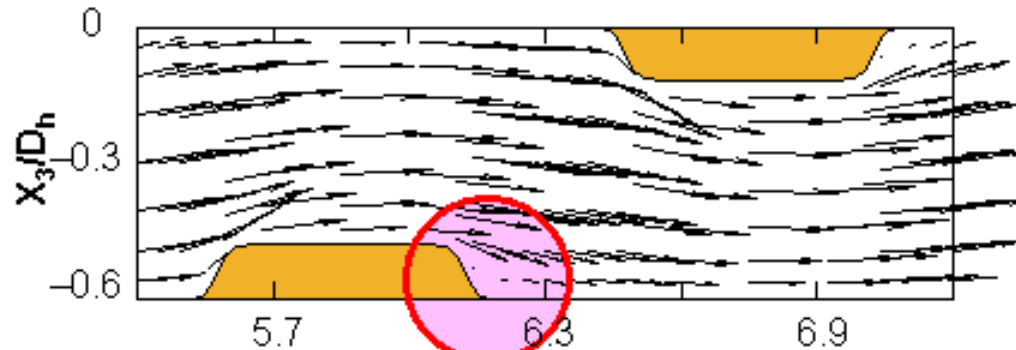
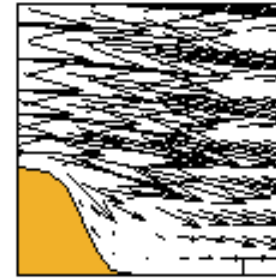
Station⑨

$$X_2/D_h=0.75$$



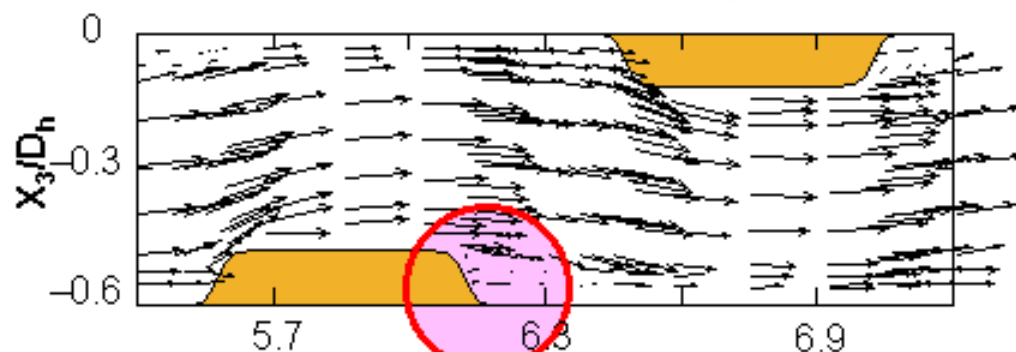
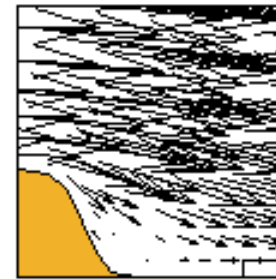
Prediction ( $A=5.5$ )

$$1.0\bar{U}_b \quad X_2/D_h=0.75$$

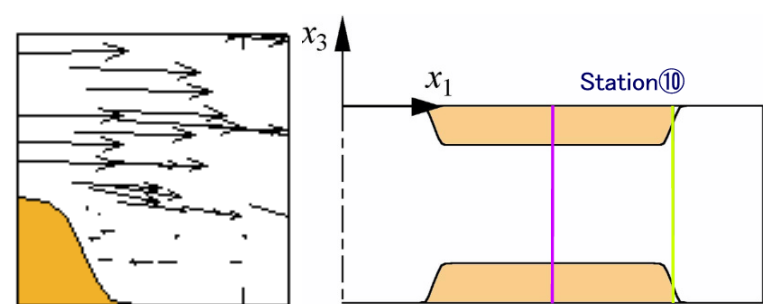


Prediction ( $A=-8.0$ )

$$1.0\bar{U}_b \quad X_2/D_h=0.75$$

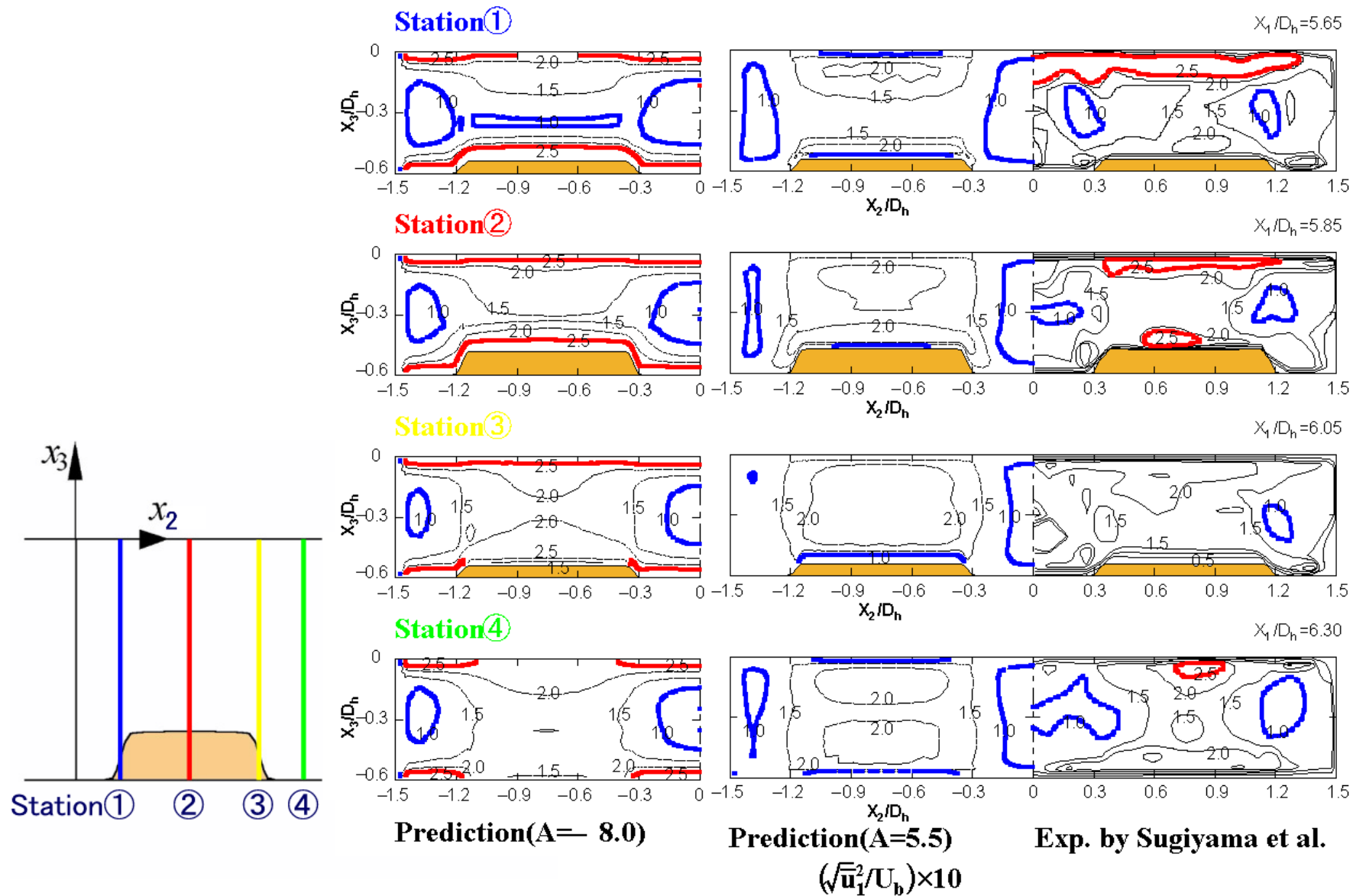


Exp. by Sugiyama et al.

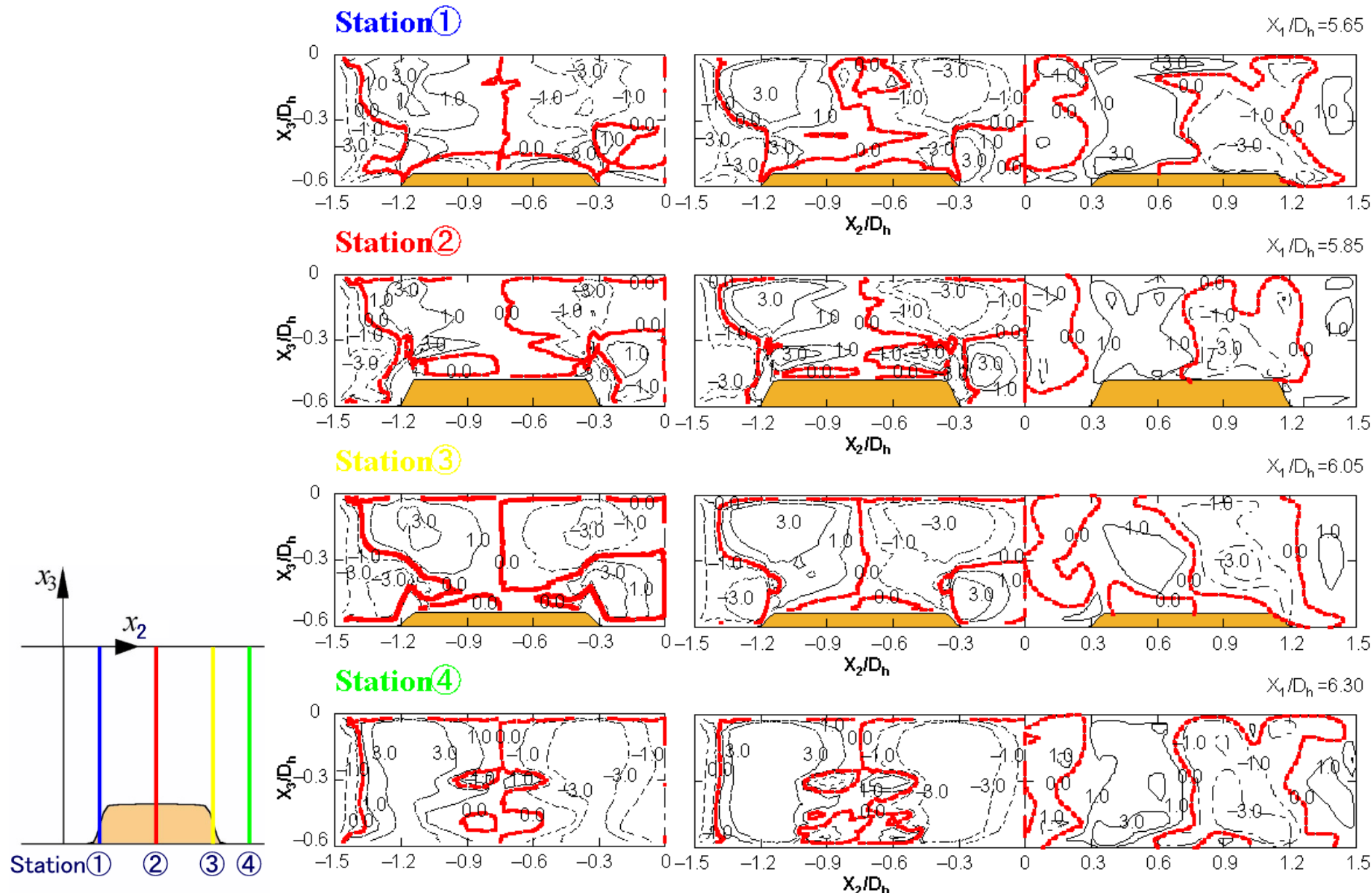


Comparison of streamwise velocity vector for  $A=5.5$ (Left) and  $A=-8.0$ (Right)

# 変動速度場の比較



Comparison of streamwise normal stress for  
 $A = 5.5$  (Left) and  $A = -8.0$  (Right)



## 結論

三次元ブロックを有する矩形断面管路内の乱流場を解析し、実験結果と比較することにより、以下の結論を得た。

- (1)壁関数を使用する際に仮定する対数速度分布の普遍定数に主流方向速度分布は、影響される。対数速度分布の普遍定数を粗面壁と想定した場合と、滑面壁と仮定した普遍定数場合を比較すると、前者の方が、主流方向速度分布を良好に予測した。
- (2)断面内に形成される二次流れも、普遍定数の影響を受け、特に壁面近傍で二次流れに相違が認められる。
- (3)ブロック後流に形成されるはく離領域を、粗面壁を想定した普遍定数と、滑面壁想定した普遍定数とで比較した場合、前者の方が、はく離領域は減少し、むしろ後者の方が実験に近い値を示す。