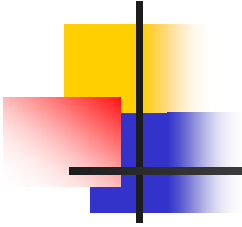


三次元屈曲管路内のはく離 乱流数値解析

Numerical Analysis of Turbulent Flow Separation
in a Rectangular Duct with Sharp 180-Degree Turn

宇都宮大学大学院工学研究科 杉山 均

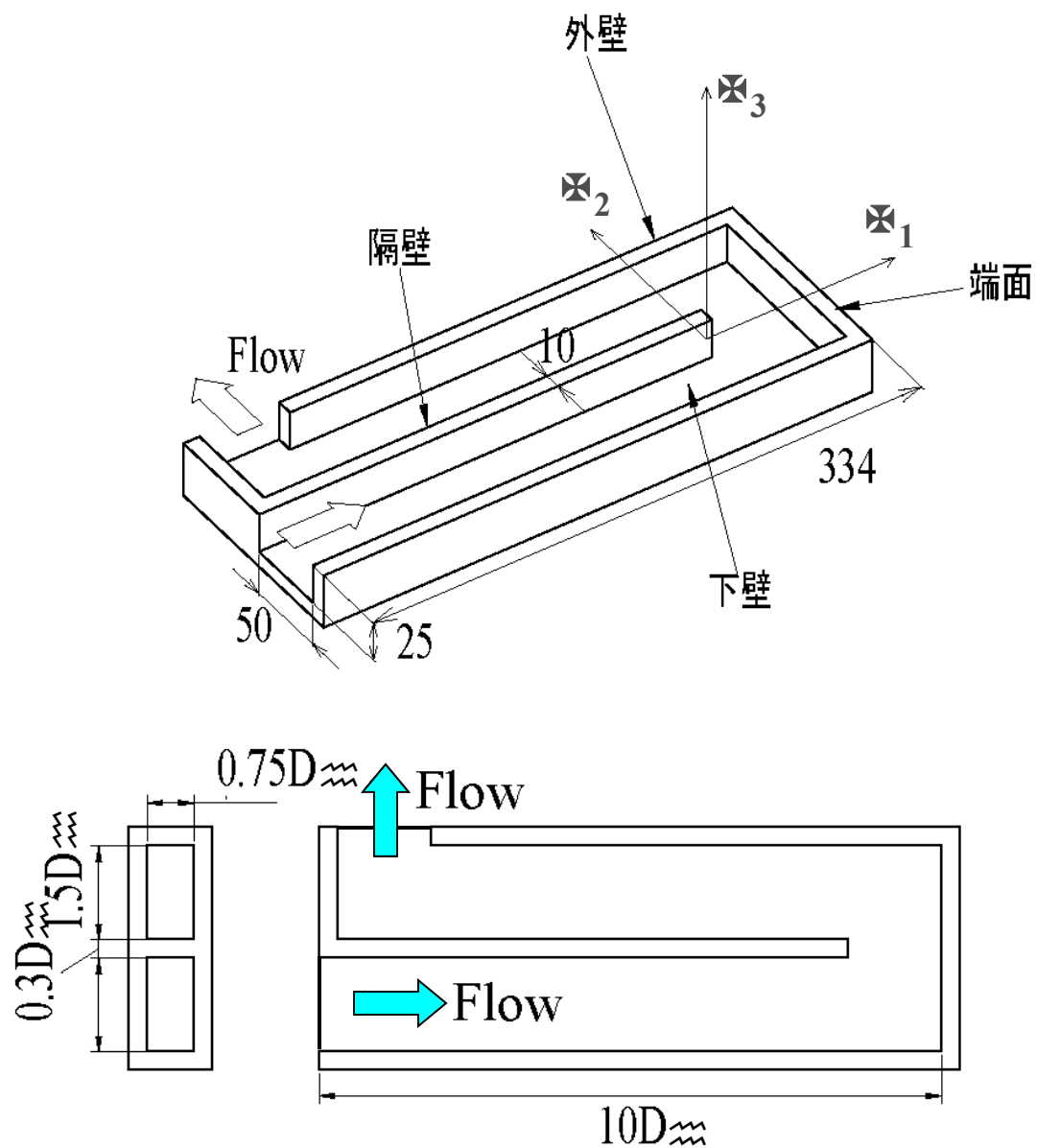
宇都宮大学大学院工学研究科 ○向井 秀明



目的

本研究では、最近報告された 中山らの実験を対象に、代数応力モデルを用い数値解析を行う。特に、はく離領域の数値予測に関して新たな手法を試みる。そして、解析結果を実験結果と比較することでその適用限界を明らかにすると共に、矩形断面を有する屈曲曲がり管路内の三次元流動挙動について新たな知見を得ることを目的とする。

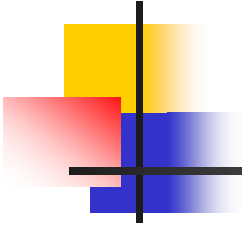
実験装置概略図及び座標系



Unit : mm

$D_h = 33.3\text{mm}$

$Re = 35000$



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

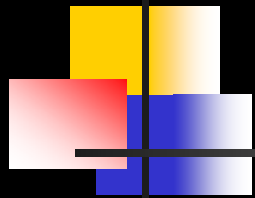
$$\frac{Dk}{Dt} = -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu \delta_{jk} + c_k \frac{k}{\varepsilon} \overline{u_k u_j} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right\} - \varepsilon$$

▶乱流散逸方程式

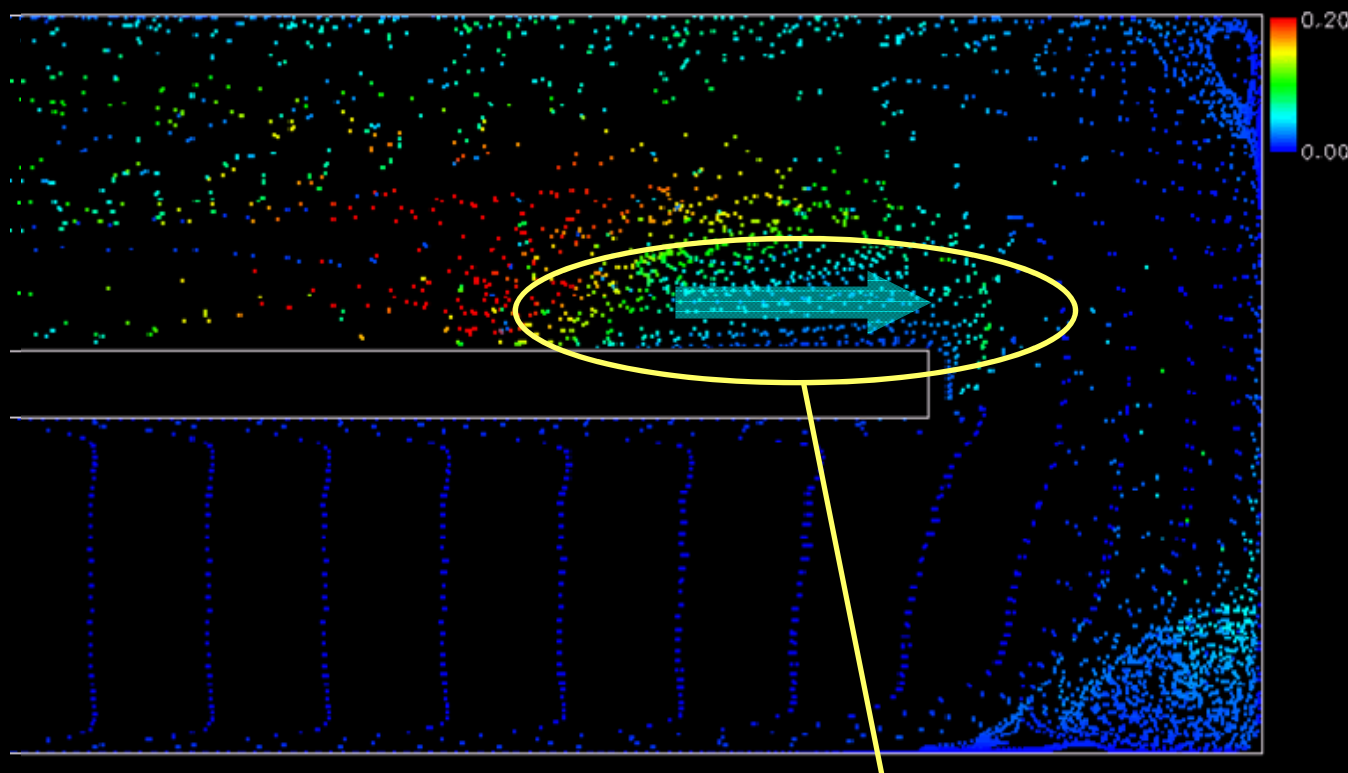
$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = -C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu \delta_{jk} + c_\varepsilon \frac{k}{\varepsilon} \overline{u_k u_j} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right\} -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

▶モデル化したレイノルズ応力輸送方程式

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



はく離領域に対する対数速度分布定数の選定



対数速度分布の基本式

$$\frac{U_1}{U_\tau} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{U_\tau y}{\nu} \right) + C$$

滑面壁に対する対数速度分布

$$\frac{U_1}{U_\tau} = \frac{1}{0.42} \ln \left(\frac{U_\tau y}{\nu} \right) \underline{+ 5.5}$$

粗面壁に対する対数速度分布

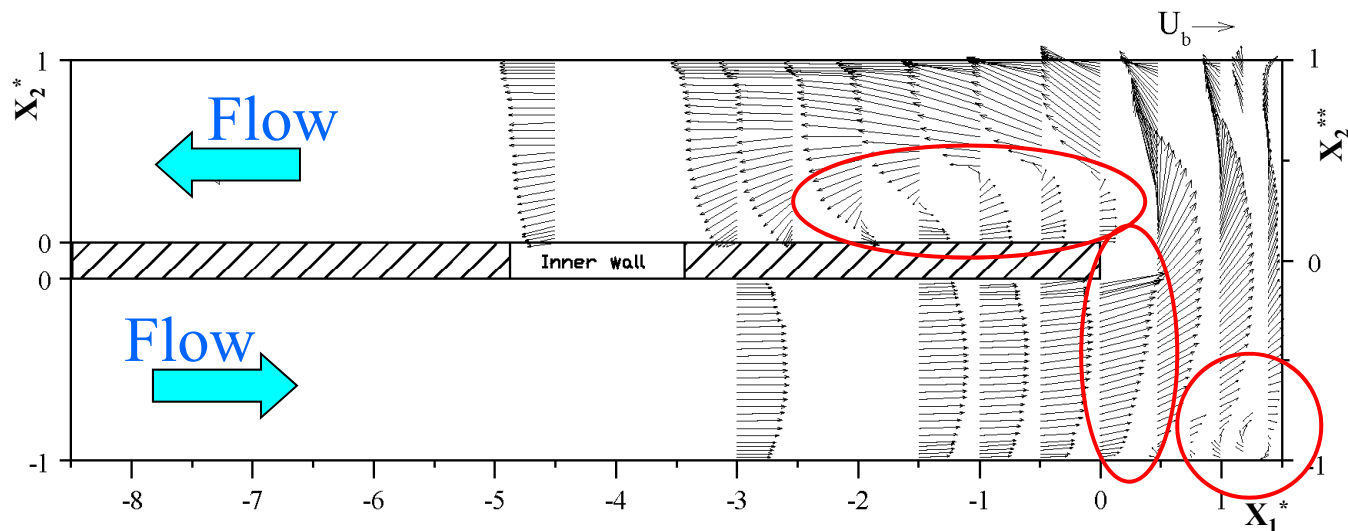
藤田氏によって求められた対数速度分布

$$\frac{U_1}{U_\tau} = \frac{1}{0.42} \ln \left(\frac{U_\tau y}{\nu} \right) + 5.5 - \Delta u / u_\tau$$

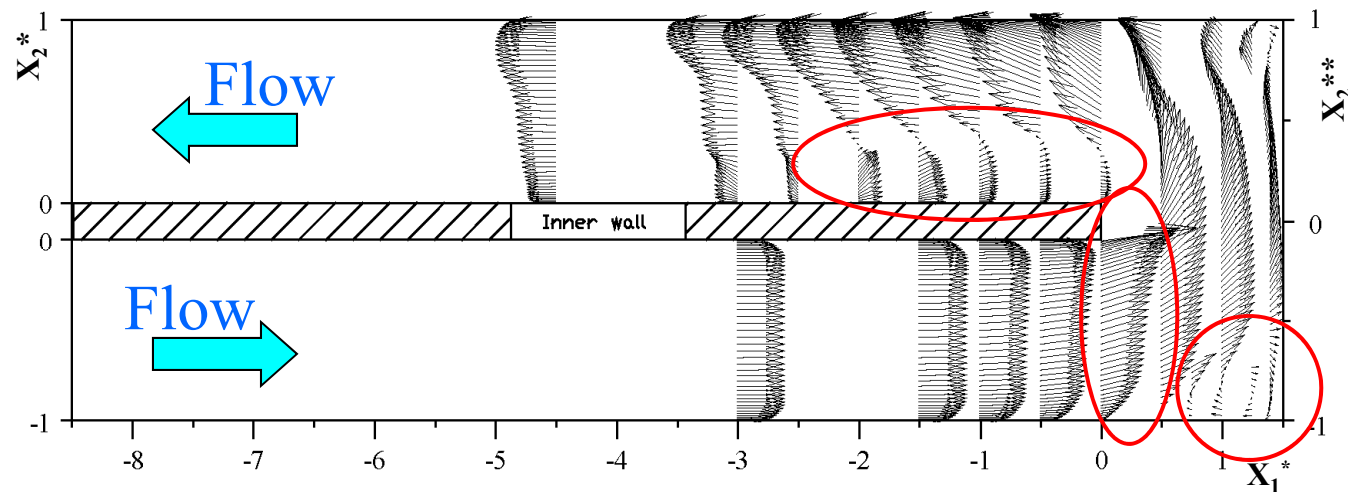
$\Delta u / u_\tau$ は粗さを表す項で, 14.0~14.5の値を占める.

$$\therefore \frac{U_1}{U_\tau} = \frac{1}{0.42} \ln \left(\frac{U_\tau y}{\nu} \right) \underline{- 8.62}$$

速度ベクトル線図 (C=5.5)

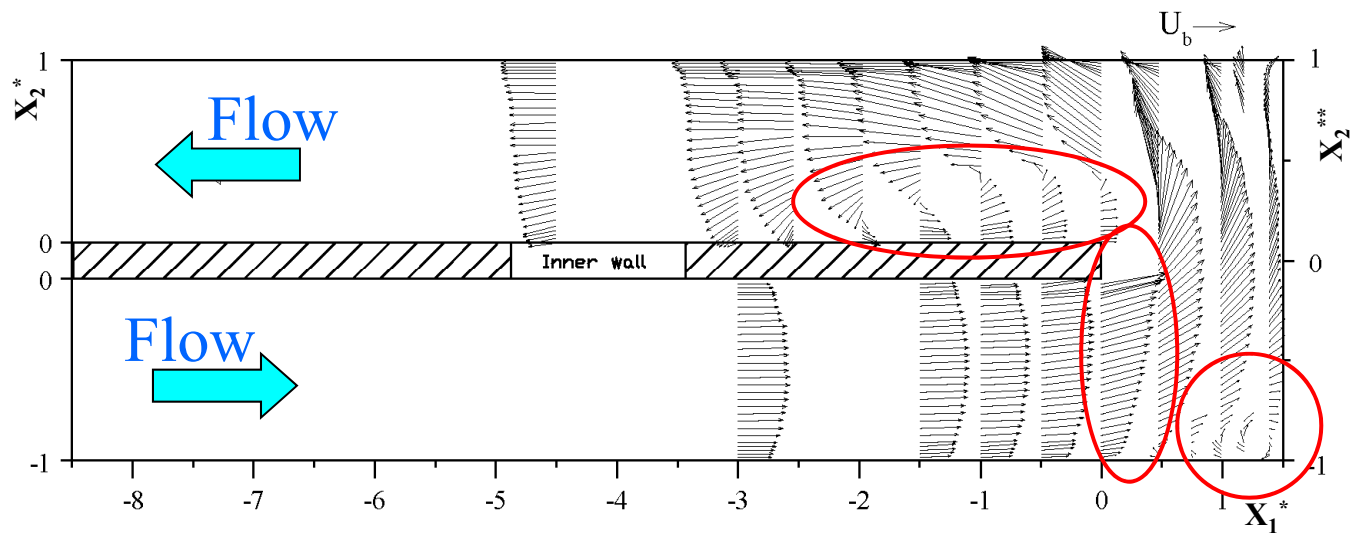


実験結果

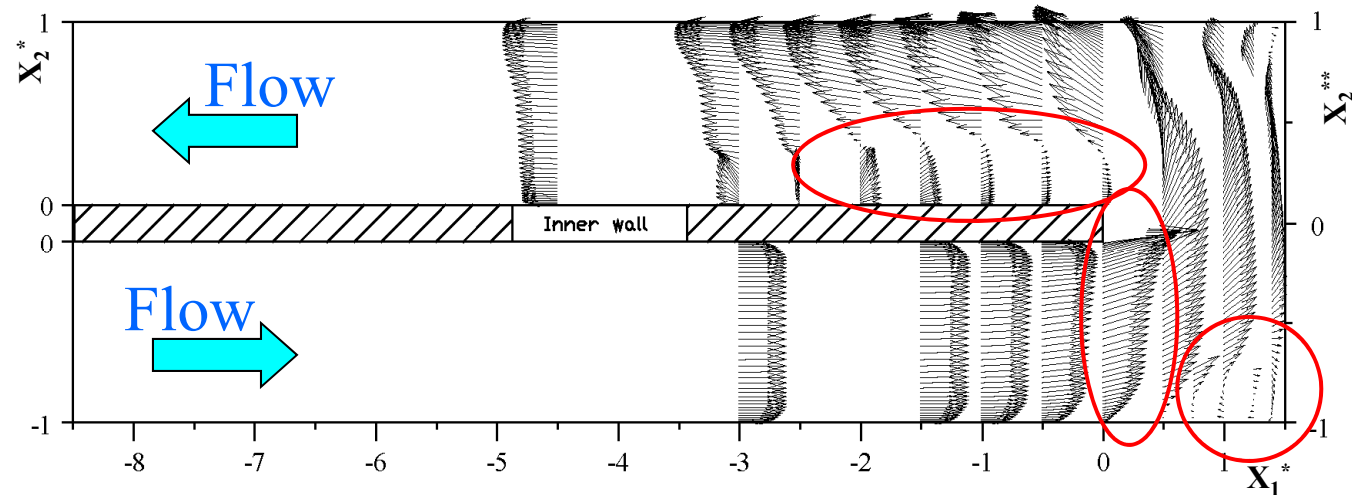


計算結果 (C=5.5)

速度ベクトル線図 (C=-8.62)

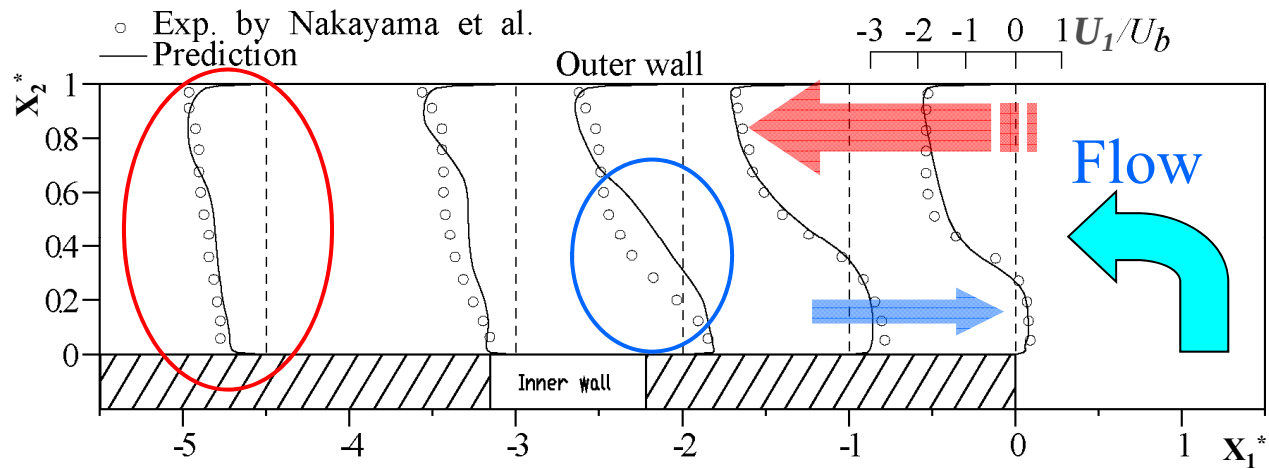


実験結果

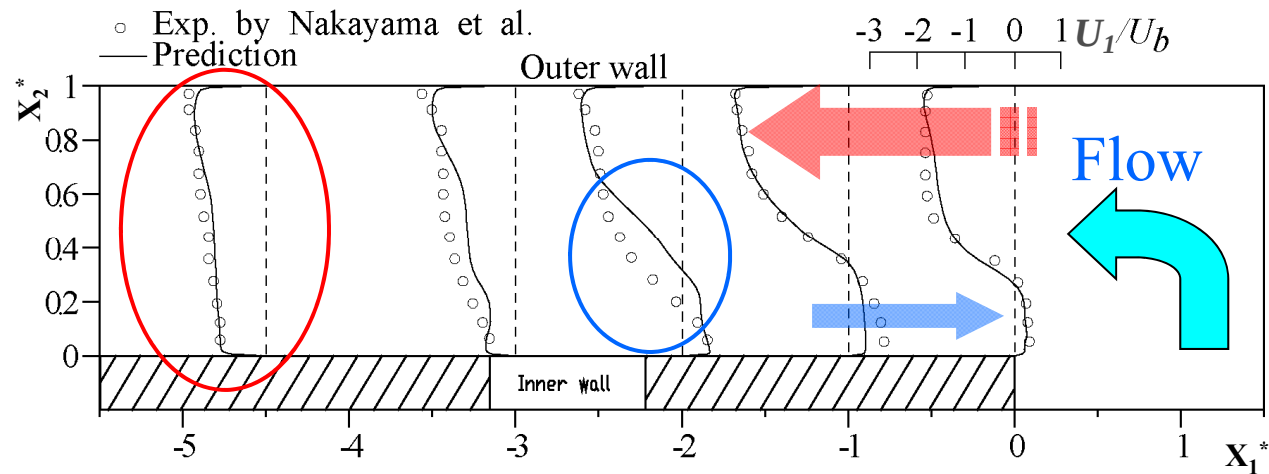


計算結果 (C=-8.62)

主流方向速度分布

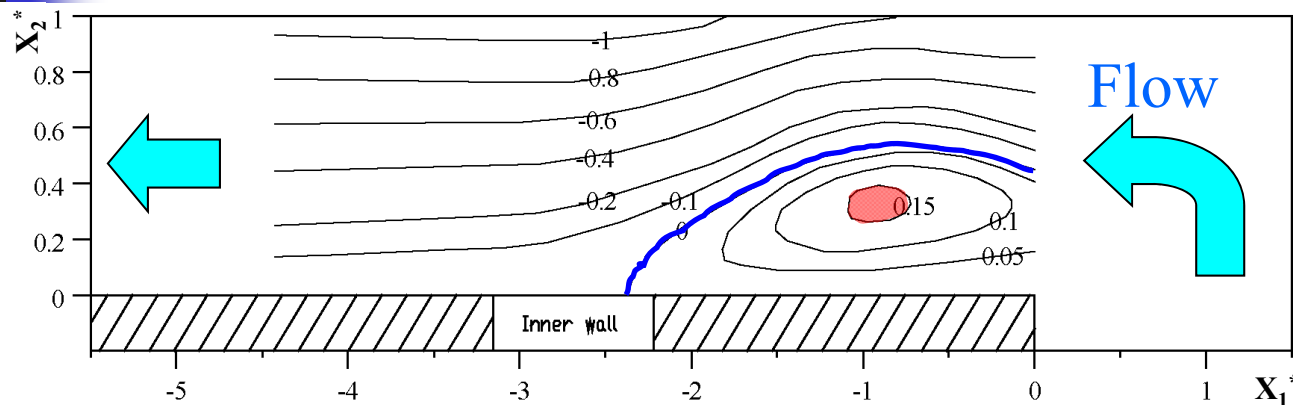


$C=5.5$

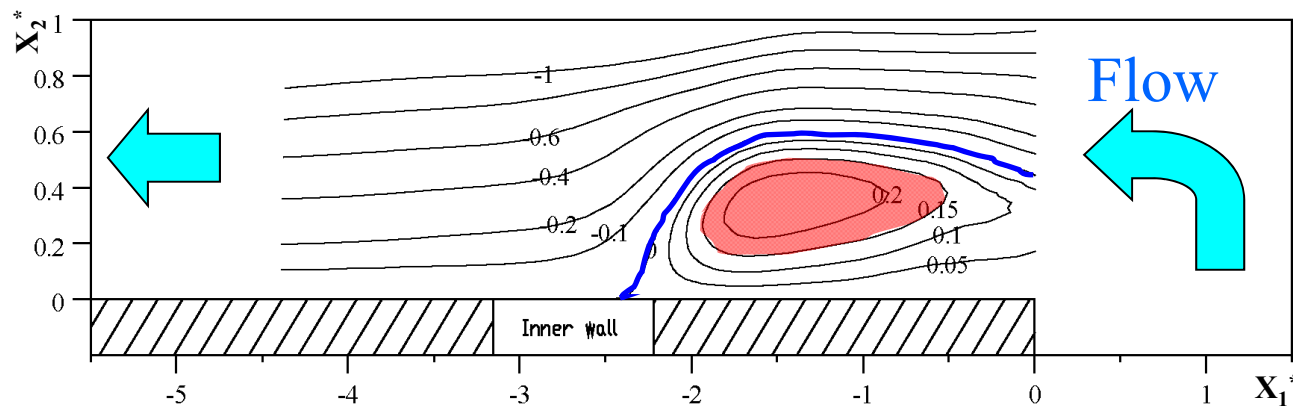


$C=-8.62$

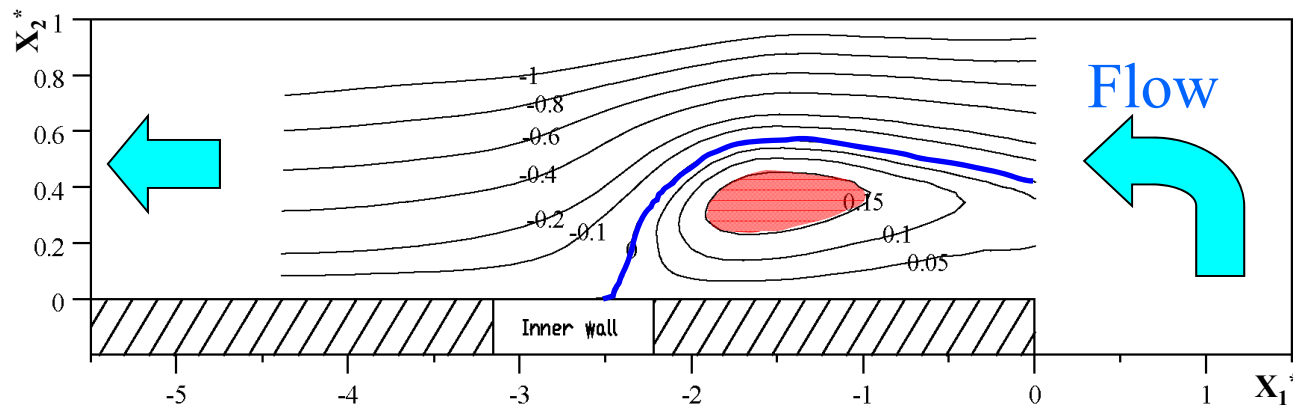
流れ関数等値線図



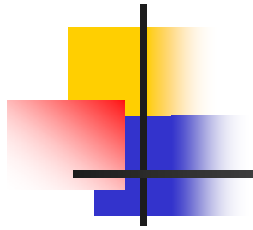
実験結果



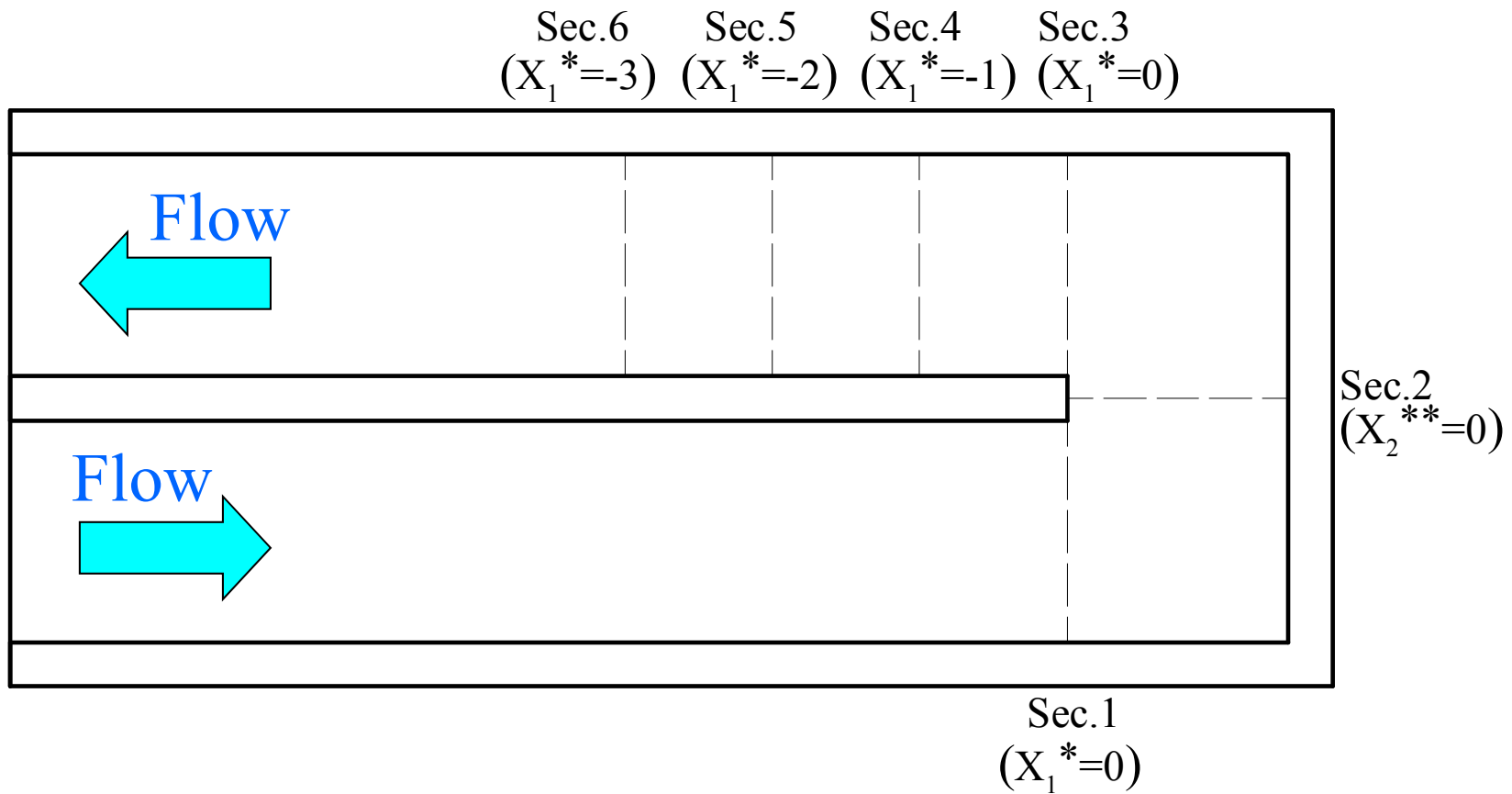
$C=5.5$



$C=-8.62$

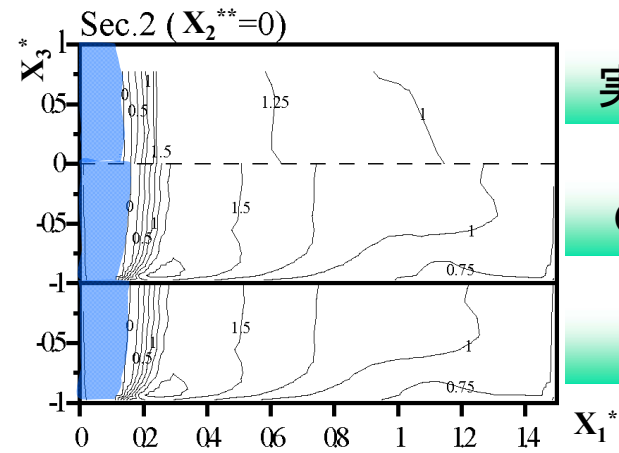
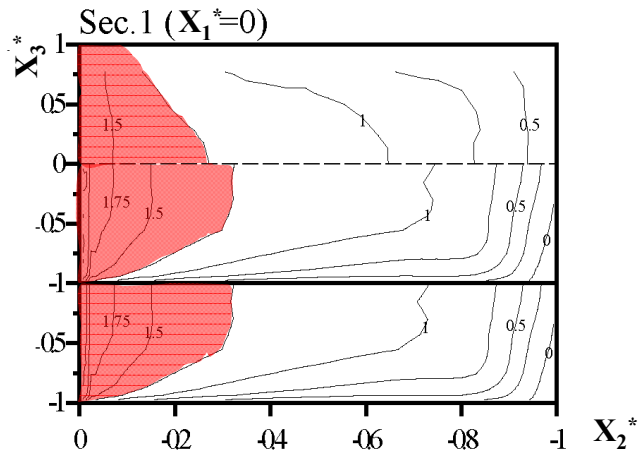


比較断面位置



断面内の速度場(Sec.1,Sec.2)

主流方向速度等値線図

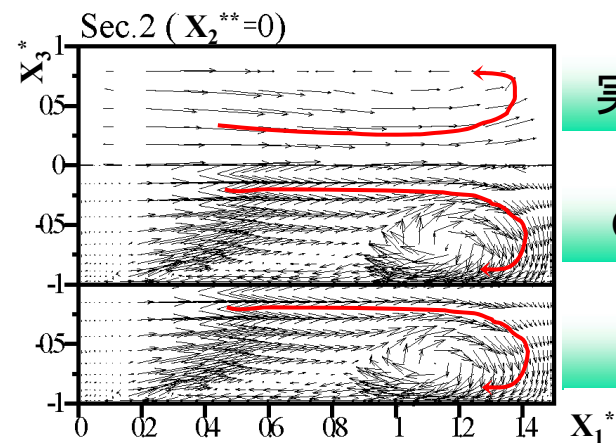
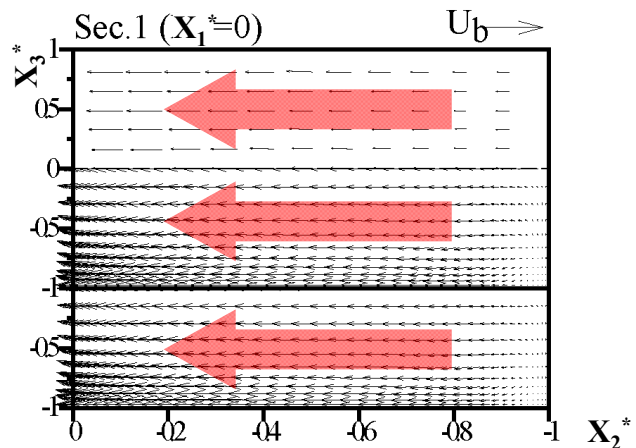


実験結果

$C=-8.62$

$C=5.5$

二次流れベクトル線図



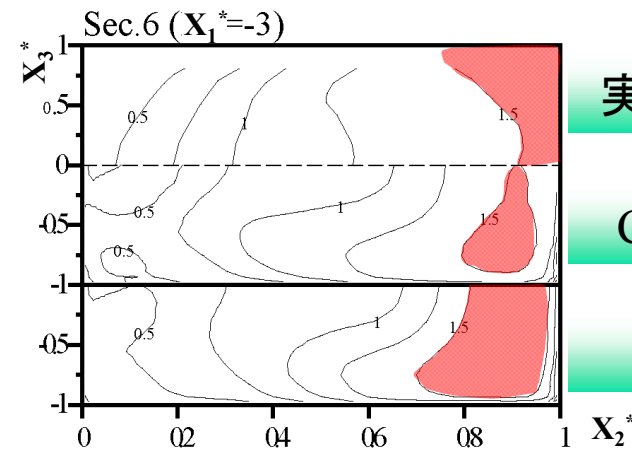
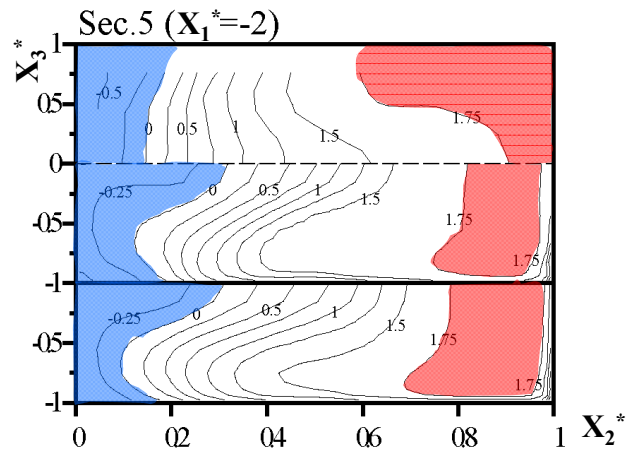
実験結果

$C=-8.62$

$C=5.5$

断面内の速度場(Sec.5,Sec.6)

主流方向速度等値線図

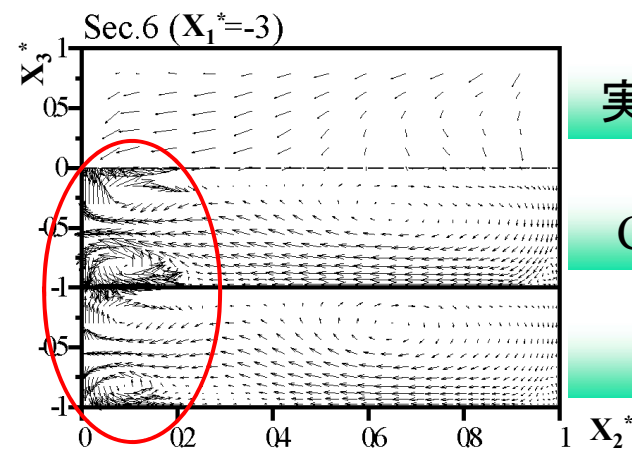
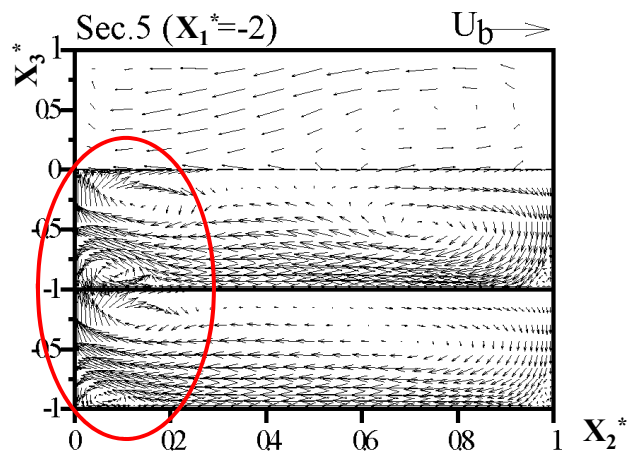


実験結果

$C=-8.62$

$C=5.5$

二次流れベクトル線図



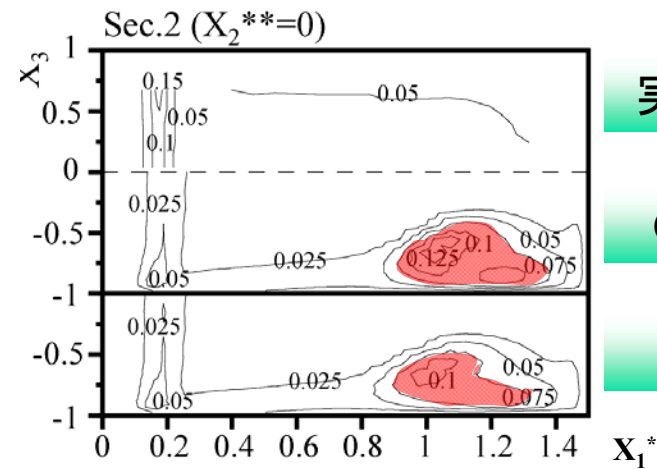
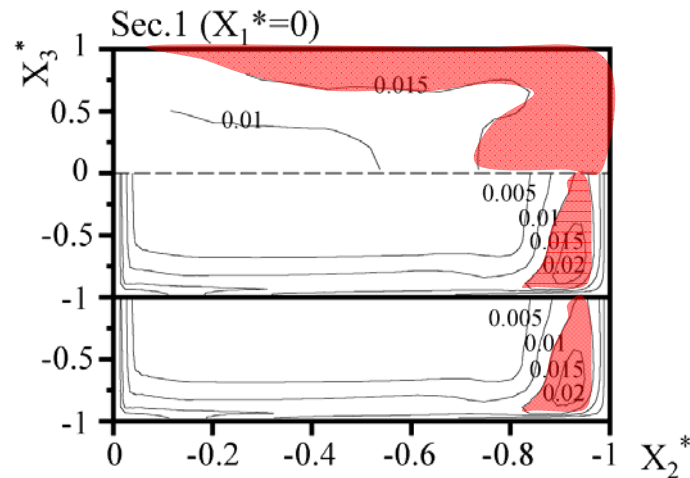
実験結果

$C=-8.62$

$C=5.5$

レイノルズ応力(Sec.1,Sec.2)

乱流エネルギー等値線図

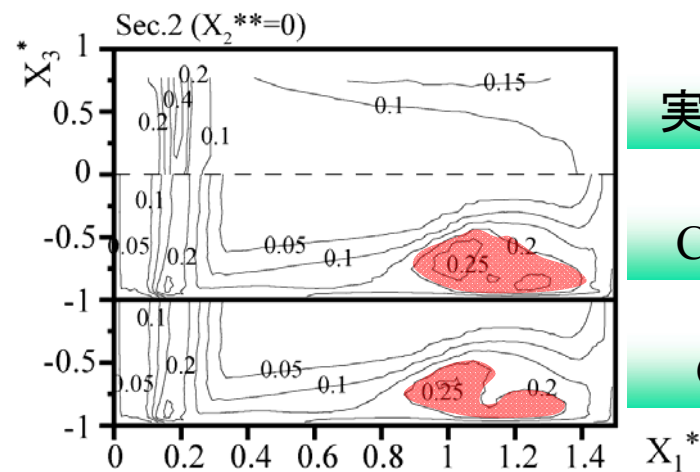
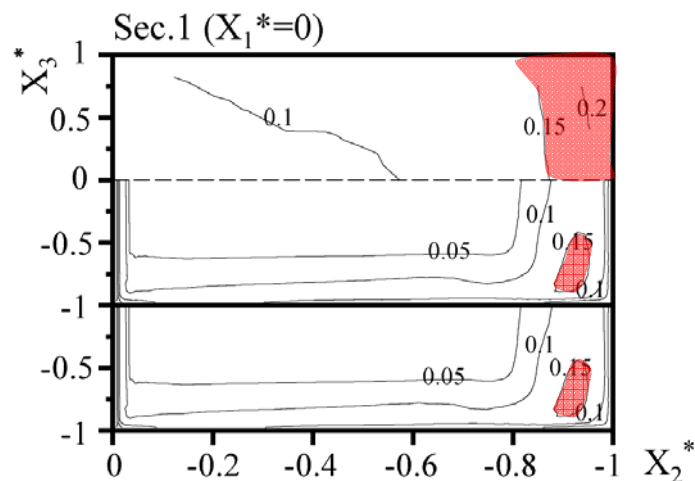


実験結果

$C=-8.62$

$C=5.5$

主流方向変動速度強度等値線図



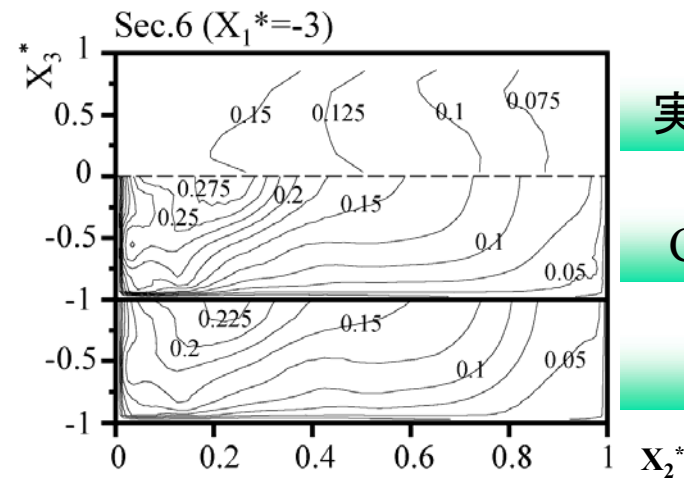
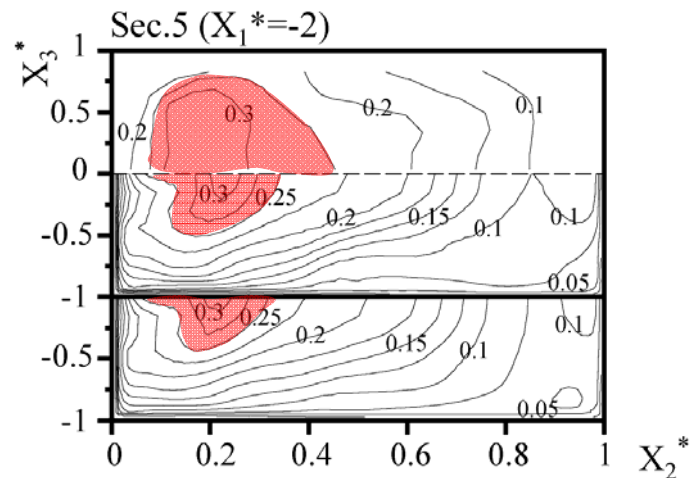
実験結果

$C=-8.62$

$C=5.5$

レイノルズ応力(Sec.5,Sec.6)

乱流エネルギー等値線図

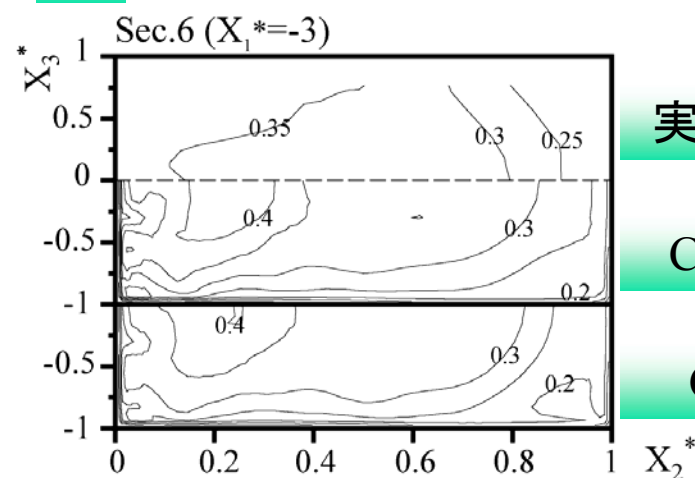
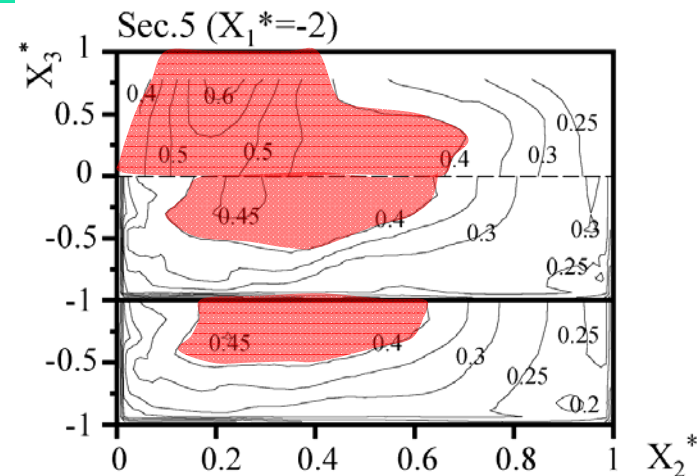


実験結果

$C = -8.62$

$C = 5.5$

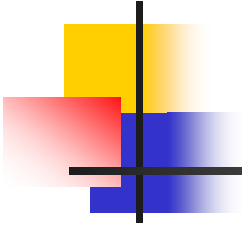
主流方向変動速度強度等値線図



実験結果

$C = -8.62$

$C = 5.5$



結論

- ・はく離後の流れ場に大きく影響する再付着点位置を、本解析結果は良好に予測した。
- ・逆流領域に対し粗面壁に対する対数速度分布を与えた場合、特に流れ関数の等値線に改善が見られ、また管路外壁側の流れ場などいくつかの点で改善することが確認できた。
- ・二次流れ分布に関し、両計算結果ともはく離・再付着点近傍、その下流の隔壁側において実験では認められない渦を予測した。
- ・実験値と異なる点もあるが、矩形断面を有する屈曲管路内の複雑乱流を代数応力モデルにて予測可能であることを示した。