

## PIV による二箱桁間流れの乱流速度場計測

慶應義塾大学 正会員 小尾 晋之介

## 1. 目的

一様流中に直列におかれた二箱桁間の流れ場、上流側の桁からはく離したせん断層が下流側の桁に衝突するため、非平衡かつ非等方な複雑な乱流構造を有する。この種の流れ場の数値予測では比較対照となる基礎的な乱流統計量の実験データが欠かせない。また、乱流構造と大規模な非定常渦構造の間にある相関関係を理解することが重要である。PIV（粒子画像流速計）はその点、瞬時の速度場の面情報が得られるために、構造と統計量の理解に有効である。本研究では、PIV による乱流等計量の計測において、速度情報に加えて瞬時速度場から圧力場を推測する方法により速度－圧力相関を評価し、大規模構造の関係について調べる。

## 2. 実験方法

測定対象とした二箱桁のモデルを図 1 に示す。Case1 は両端に R を付けた長方形断面、Case2 は 5 角形の断面であり、いずれの場合も速度場計測は 2 つの桁の間に示すグレーの矩形領域で行った。箱桁の幅  $H$  は 0.03m で、主流速度は  $U_0=0.3\text{m/s}$ 、作動流体は常温の水で、 $H$  と  $U_0$  に基づくレイノルズ数は  $Re=9,100$  に固定した。

計測に用いた PIV の光源は出力 30mJ のダブルパルス YAG レーザで、トレーサには平均直径 10mm の酸化チタン粒子を用いた。発光間隔は 2ms とし、撮影には約  $1000 \times 1000$  ピクセルの解像度を有するデジタルカメラを用いた。速度データの取得間隔は約 33ms で、乱流統計量の算出には約 4000 サンプルを平均した。

## 3. 瞬時速度と圧力場の推定

PIV の速度情報を元に、2 次元近似した圧力のポアソン方程式を数値解析することで、瞬時の圧力場を推定した<sup>(1)</sup>。図 2 および図 3 には Case1 の箱桁モデル間で求めた瞬時速度場のベクトル図とそれに対応する瞬時圧力場を示す。図 2 の中央付近に速度ベクトルが渦巻き上のパターンを示していることが観察されるが、その位置に対応して図 3 では圧力の極小となる箇所が現れ、相互の対応関係がつかうことがわかる。

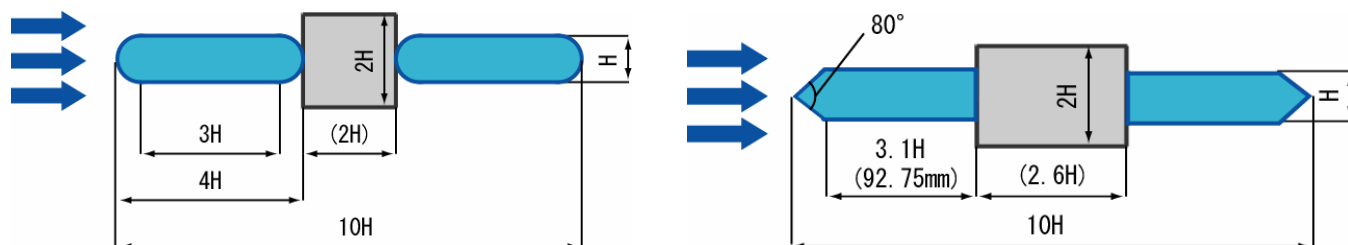


図 1 二箱桁モデルと測定領域、左：半円状端面モデル (Case1)、右：5 角柱状モデル (Case2)

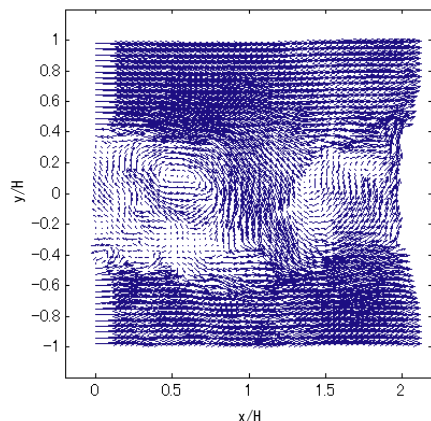


図 2 瞬時速度場 (Case1)

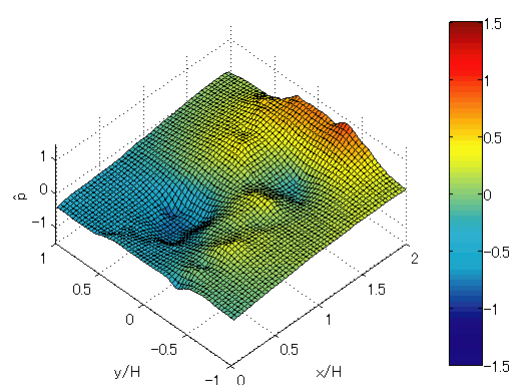


図 3 図 2 に対応する瞬時圧力分布

キーワード：PIV 計測，はく離流れ，乱流場，速度－圧力相関

連絡先：〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1 慶應義塾大学理工学部機械工学科 tel.:045-566-1499

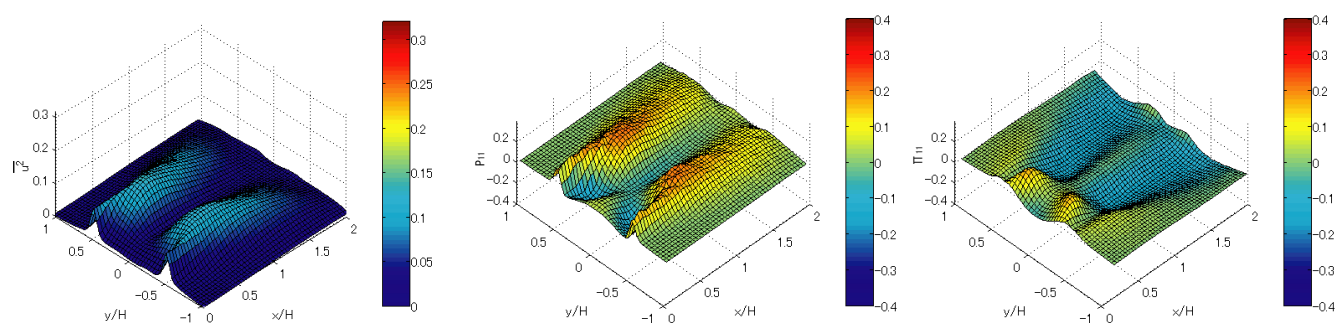


図4 左：レイノルズ応力 $\overline{u^2}$ 、中央：生成項 $P_{11}$ 、右：速度—圧力勾配相関項 $\Pi_{11}$  (Case1)

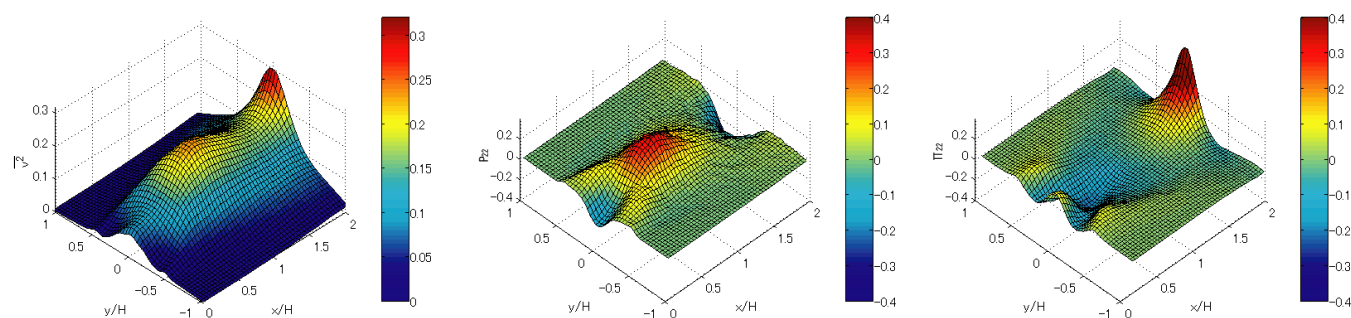


図5 左：レイノルズ応力 $\overline{v^2}$ 、中央：生成項 $P_{22}$ 、右：速度—圧力勾配相関項 $\Pi_{22}$  (Case1)

#### 4. 平均速度場と乱流等計量

Case1、Case2 のいずれの場合も、実験を行ったレイノルズ数では再循環領域は箱桁間のほぼ中央で閉じていた。また、上流側の箱桁からはく離れたせん断層内で乱れの生成が確認された。図4を見ると、流れ方向の垂直応力成分 $\overline{u^2}$  はく離れたせん断層に沿って極大を示すこと、その場所で生成項が乱れの生成を担っていることが確認される。また、速度—圧力勾配項は、通常は再配分と圧力拡散に分離されるものであるが、生成項とほぼ同じ位置で正負が逆転した分布となっていることから、ここでは負の寄与をしていると解釈できる。一方、図5に示す流れに垂直方向のレイノルズ応力成分 $\overline{v^2}$  では下流側箱桁への衝突領域でレイノルズ応力の鋭いピークが観察されるが、これは生成項ではなく速度—圧力勾配項による寄与であることが分布の比較から明らかである。この位置での $\overline{v^2}$  成分の極大は、上流側の箱桁から放出された渦列が左右に分かれて進むことと対応していることが流れ場の観察からわかっており、このことから、大規模渦の衝突が時間平均的には速度—圧力勾配相関の増大を促し、その結果としてレイノルズ応力の生成が起こることが考えられる。

以上の結果は、5 角形断面の Case2 の場合でも定性的には同様であるが、レイノルズ応力の値はいずれの成分も Case1 に比較して約半分であった。これは、上流側箱桁からはく離点が幾何学的に固定されることに起因すると考えられるが、その詳細についてははく離点近傍を拡大した計測をして調査する必要がある。

#### 5. 結論

二箱桁間の乱流構造は、上流側箱桁から放出される大規模渦構造に支配される。レイノルズ応力の垂直成分間の非等方度は強く、とくに下流側箱桁のよどみ点近傍では渦列が交互に流下することから流れに垂直方向の応力成分が卓越する。この状況は統計的には速度—圧力勾配項の寄与に対応することがわかった。

なお、本報は石川島播磨重工業による委託研究結果をまとめたものである。測定を実行した本学大学院生、酒井圭太君と外海憲彦君に謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) K. Sakai, T. Maeda and S. Obi, 5<sup>th</sup> JSME-KSME Fluids Engineering Conference, Nagoya, 2002.