

PIV 流速計測データによる圧力の空間分布の算定

大阪産業大学大学院 学生会員 ○辰己 諒多
 大阪産業大学 正会員 水谷 夏樹
 大阪産業大学 正会員 宮島 昌弘

1. 研究の背景と目的

流体と物体との相互作用に関する問題は土木工学分野において数多く存在し、作用応力や振動に関する問題について研究が進められている。コンピュータの性能が飛躍的に向上している昨今では、数値解析技術の進歩も著しく、大規模かつ詳細な解析が流体計算だけでなく、固体や気液混相流体に対しても実施することが可能になっている。一方、実験で検証しなければならない現象もまだ多く、様々な計測技術が開発されている。その中で PIV（粒子画像流速計測法）は、画像によって流体の速度分布を空間的に計測する技術であるが、計測アルゴリズムが確立しており、多くの市販パッケージソフトが存在するなど、画像計測のノウハウがあれば定量的な評価が可能な一般的な計測手法になっている。

本研究では、PIV 計測から得られる流速場の空間分布から、数値的に圧力のポアソン方程式を解くことで圧力の空間分布を得る方法について議論する。計測対象を二次元正方キャビティ流れとし、水路実験による PIV の計測を行って流速場のデータを得た。これを用いて圧力場の空間分布を計算し、数値解析のみの結果と比較することで流体内の圧力場を実験的に得る方法と精度について検討を行った。

2. PIV 流速データから圧力場を求める方法

PIV の流速データから圧力場を得る方法については、PIV の解析結果において各格子中心で流速データが与えられることから、これをスタッガード格子上に再配置させ、一般的な MAC 法の手順に従って、以下に示す二次元の圧力のポアソン方程式を SOR 法によって数値的に解いた。

$$\nabla^2 p = \frac{1}{Re} \nabla^2 D + \frac{D^n}{\Delta t} - \nabla((\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v}) \quad (1)$$

$$D = \nabla \cdot \mathbf{v} \quad (2)$$

ここで p は各点の圧力、 Re はレイノルズ数、 $\mathbf{v}$ は二次元の流速成分である。(1)式の右辺第三項は移流項の発散となっている。本研究では、この解法を一次風上差分と三次風上差分を用いて比較を行った。

また、以上の方法で求めた圧力分布は、数値計算のみの圧力分布と比較を行った。数値計算は、一般的な MAC 法を用い、時間項を一次陽解法、移流項を一次風上差分と三次の風上差分をそれぞれ用い、Ghia ら(1982)と比較検証を行った。なお、本研究では低レイノルズ数を対象とし、乱流モデルは用いず DNS とした。

3. PIV 計測の概要と実験条件

水理実験は三面アクリル製の開水路($L:500\text{cm}$, $H:10\text{cm}$, $W:20\text{cm}$)を用い、塩化ビニール樹脂製の板($L:100.3\text{cm}$, $H:5\text{cm}$, $W:2\text{cm}$)を2枚用いて図-1に示すように水路側壁に $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ の正方キャビティを設置した。水路をほぼ水平に設定し、流量を調整するとともに下流端で堰上げを行って、キャビティ幅(2cm)で規定される $Re = 399, 569, 1321$ の流れを設定した。実験中の水温は 12.7°C 、定常流の代表流速はそれぞれ 2.4cm/s , 3.5cm/s , 8.0cm/s であり、水深は $3 \sim 4\text{cm}$ 程度である。

PIV 計測は図-1のようにレーザー光を水路底面に平行に照射し、底面よりカメラで画像を撮影した。PIV の解析結果より 156×156 の流速ベクトルを得た。

4. 解析結果

図-2と図-3は、 $Re=569$ の場合の PIV 計測で得られた流速分布と一次風上差分によって求められた圧力分布である。圧力分布は流速分布に対応した分布となっている。しかしながら、流速分布から判断される渦中心

キーワード PIV 計測, 圧力分布, 正方キャビティ流れ

連絡先 〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1 大阪産業大学工学部都市創造工学科

(図中の赤点線)と圧力場の低圧中心が一致していない．これに対し，図-4の三次風上差分による圧力分布では渦中心の位置が改善されている．キャビティ上端の左右の角に生じる無次元圧力の最小値と最大値は，一次風上；0.35～2.22，三次風上；0.41～2.14と大差なく，数値解析結果と比較しても良好であると言える．図-5と図-6は $Re=569$ で計算した一次風上差分の流速分布と圧力分布であり，図-7は三次風上差分による圧力分布の結果である．同じ Re 数であるが，数値解析のみの結果では渦中心がキャビティの中心に近づいており， Re 数がより大きな場合に見られる結果となった．この原因は水理実験における流れの3次元性や，主流流速の差による Re 数の違いに起因する可能性があるため，今後検証が必要である．

5. まとめ

開水路において正方キャビティ流れのPIV実験を実施し，計測データに基づいて圧力の空間分布の算定を行った．ポアソン方程式を解く場合に三次風上差分を採用することで，分布形に改善が見られ，絶対値を含めて概ね適正な圧力分布を算定することができた．

参考文献

Ghia *et al.*(1982): J. Comp. Physics, 48, pp.387-411.

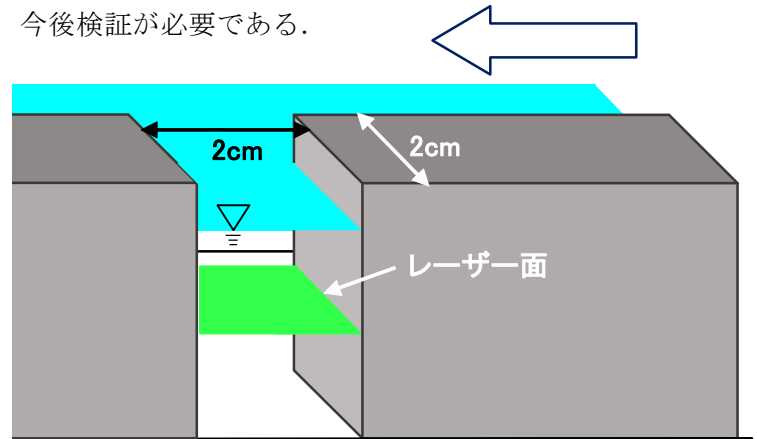


図-1 PIV計測における正方キャビティの設定状況

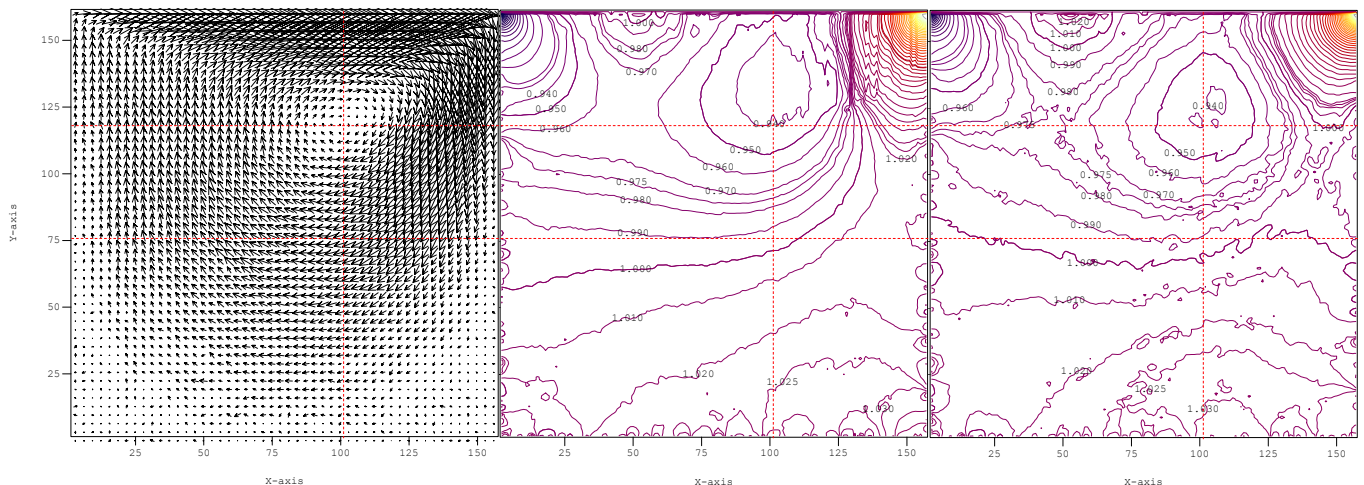


図-2 PIV計測による流速ベクトル分布

図-3 PIVデータに基づく圧力分布(一次風上)

図-4 PIVデータに基づく圧力分布(三次風上)

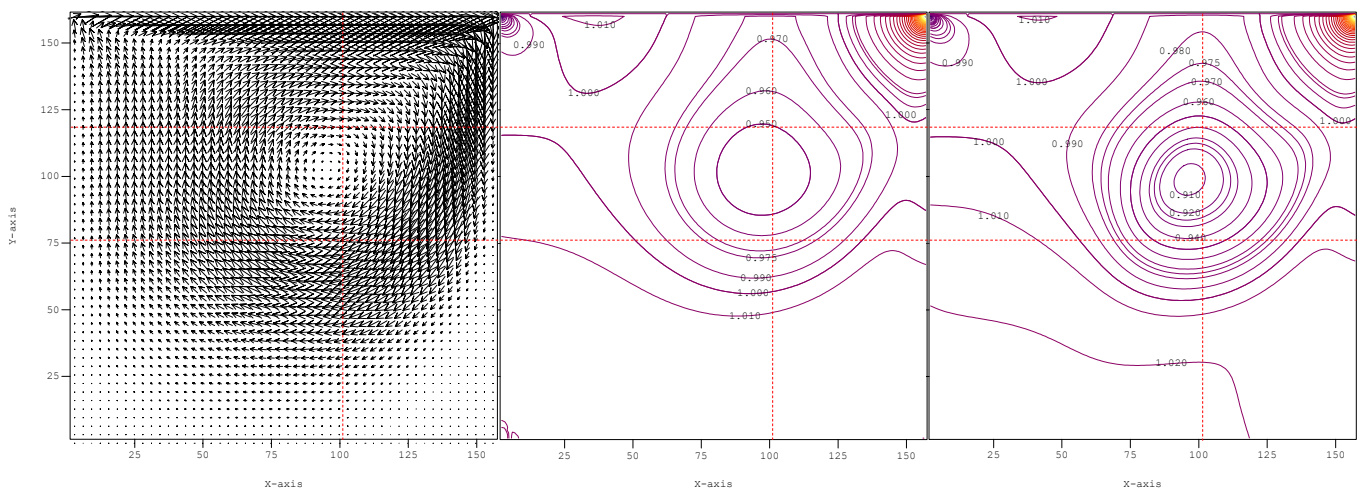


図-5 数値解析による流速ベクトル分布(一次風上)

図-6 数値解析による圧力分布(一次風上)

図-7 数値解析による圧力分布(三次風上)