A205

曲水の宴の流れの可視化画像計測

藤田一郎、椿涼太[○] (神戸大学)

中山泰喜, 青木克巳, 沖 真(東海大学)

PIV Measurement of Meandering Channel Flow for Kyokusui-no-En

Ichiro Fujita, Ryota Tsubaki

Yasuki Nakayama, Katsumi Aoki and Makoto Oki

ABSTRACT

A ceremony that a few poets sitting alternately on the both banks of a meandering channel are expected to make poems during the limited time when drink-filled cups flow down and finishing poem making, poets pick up cups to drink is called Kyokusui-no-En. This sort of ceremonious game has its origin in ancient China and was introduced to Japan where it prospered in 8th through 11th centuries.

In this paper, the channel flow of Kyokusui-no-En is observed from the view point of fluid mechanics. The actual flow was studied using PIV measurement and numerical simulation. According to these results, it was made clear that the meandering channel creates the separate flow, reverse flow and vortices to make the wine cups movement elegant.

Keywords: Kyokusui-no-En, PIV, Numerical simulation, Meandering channel flow

1. はじめに

曲がりくねった水路の上流から酒の盛られた杯を浮かべて流し、ある所で止まったら、その杯から一番近い人はすぐに詩を1首読む、という雅やかな宴会は、中国で始まり、韓国を経て、485年にわが国に伝わった。以来曲水の宴と名付けられて全国各地で行われた。現在全国8ヶ所にその遺構をみることができ、そのうち5ヶ所で昔ながらの様式で曲水の宴が催されている。王朝風で行われている京都伏見城南宮の情景を示すと、Fig.1 のようである¹⁾。

本論文は、この水路の流れを流体力学的な観点から観察しようとするもので、この水路全体の流れをPIV可視化画像計測法により求め、数値計算結果と比較し、昔の造園技術者がどのようにして淀みを作り、渦を発生させ、逆流を作り、杯の動きを優雅なものにしたかを考察した。

2. 曲水路の概要

城南宮の曲水路は、幅が最大1.05m、最小0.250mで、延長32m、上下流端の落差は約6cmである。水路勾配は地盤沈下の影響などのために場所的に変化している。この水路は、美しい曲線を描き、所々に岩や窪みを配し、見えないけれども、渦や、淀みや、逆流を作り、浮かべられた杯が、いとも優雅にそれぞれの歌人の前を停滞しつつ流れるようになっている。

Fig. 1 Kyokusui-no-En

3. PIVによる画像計測

水路の流れの特徴を調べるために、表面流の可視化観察およびPIVによる画像計測を行った。まず、デジタルカメラを用いた簡便な方法、すなわち数十枚の鉛直撮影画像を合成する方法で対象となる水路の平面形状を求めた。水路床の高さは特徴的な点(十数点)をレベル測量から求めた。トレーサには、直径1mm程度で比重を約0.8に調整した発泡スチロール粒子を用いた。画像撮

Fig.2 Original image with a panel

Fig.3 Transformed image

Fig. 4 Velocity distribution (PIV)

Fig. 5 Velocity distribution (Calculation)

影には同時に6台のデジタルビデオカメラを用い、互いの観測空間が補完しあえるように撮影アングルを設定した。その結果、延べ13の斜め撮影アングルで水路の全体をカバーできた。斜め画像の幾何補正のために磁石を載せた水平平板を撮影アングル内に映しこむ工夫をした結果、長さ32m程度の曲水路の複雑な流れの流況を良好にPIV可視化画像計測することができた。

実際の河川を対象とした斜め撮影画像のPIV解析（藤

田ら^{2,3)}はLSPIVと名付けている）では、河岸に設置した標定パネル等を座標値の既知情報として利用するが、今回のケースでは既知サイズ(15x30cm)の木製平板に磁石を貼り付けたものを水面に水平に浮かべた。その様子の一例をFig.2に示す。この場合、平板の長辺が東西方向に一致するように向きを調整した。斜め画像の幾何補正には、平板の四隅の座標を局所的な既知情報として利用した。Fig.2の画像を幾何補正した結果をFig.3に示

Fig.6 Velocity distribution at transversals (PIV)

す。平板の形状がうまく補正されていることがわかる。各々の幾何補正画像の合成は、水際線が互いに滑らかにつながるようにマニュアル操作で行った。

4. 数値シミュレーション

可視化実験と比較するために、汎用流体解析ソフトウェア Fluent により数値シミュレーションを行った。全領域を解析対象とし、乱流モデルとして RNG $k-\epsilon$ モデルを使用した二次元定常解析を行った。境界条件として、上流部入口で実測流速値を与えた。

5. 結果および考察

PIV 可視化画像計測法と数値シミュレーションにより求めた流速分布図をそれぞれ Fig.4 と Fig.5 に示す。また、Fig.6 と Fig.7 に主要な横断線上 13 ケ所の表面速度ベクトル図の比較を示す。表面流と二次元流れの比較なので厳密な比較はできないが、概ね良好な一致が見られる。ただし、この曲水路は水路の途中（中央付近）で水路床が高くなっているため、PIV による結果には堰上げ

Fig. 7 Velocity distribution at transversals
(Calculation)

効果によって上流側の流速が全体的に低下している様子が示されている。二次元計算ではこの点は再現できていない。

流れのさらに微細な状況を把握するために、約 3 分間の PIV の結果を用いて、仮想的なトレーサ粒子の軌跡を描いたのが Fig.8 である。Fig.8 では、3 つのアンクルに対する表面流跡線を示しているが、水路の曲率が大きいために、湾曲部の内岸側で複雑な剥離流れが生じていることがわかる。このような多種多様な剥離流れが曲水の宴の流れの多様性の要因となっている。

6. むすび

- (1) PIV による画像計測により全体の流れを詳細に観察する事が出来た。
- (2) 可視化結果と数値解析結果は概ね一致し、長い曲水路の流れに対しても数値解析の有効性が実証できた。
- (3) PIV 計測と数値シミュレーションにより、曲水の宴の水路形状は随所に渦、逆流、淀みを生じ、杯の流れを優雅なものにする見事な工夫がなされている

Fig.8 Surface pathlines at several locations

ことがわかった。

- (4) 特に、各歌人のまえでは杯は渦によって舞い、歌人に作歌のスタート信号を与える工夫もなされていることが分かった。

参考文献

- 1) Y. Nakayama, K. Aoki, M. Oki, T. Kobayashi, T. Saga :
Drifting Cups on a Meandering Stream in Japan, 6th

Asian Symposium on Visualization, (2001), pp.47-49

- 2) I. Fujita, M. Muste and A. Kruger: Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, *Journal of Hydraulic Research*, (1998), Vol.36, No.3, pp.397-414
3) 藤田・中島: LSPIV による実河川大規模循環流の可視化画像解析, 可視化情報, (1999), Vol.19 Suppl.No.1, pp.335-338