

## 側岸凹部流れの水面変動特性に関する実験および数値解析による考察

日東電工株式会社	非会員	松原 隆幸
神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	○門谷 健
名古屋大学大学院工学研究科	正会員	椿 涼太
神戸大学大学院工学研究科	正会員	藤田 一郎

## 1. はじめに

開水路の側岸に凹部を設置すると、その比較的単純な水路形状にも関わらず、水理条件や凹部形状により流れ構造や水面変動特性は複雑に変化する。このうち、速度場においては PIV などの面的かつ定量的な計測によりその解明が進められているが、水面形については面的に計測された例は少ない。そこで本研究ではステレオ画像を用いた水面計測法<sup>1)</sup>を応用し、水面形と表面流速(PIV)を同時計測することにより水面変動と流速変動の関係性、および凹部形状が変動パターンに与える影響について整理を行った。

## 2. 実験概要

水理条件は凹部を閉じた場合の直線水路の状態水深 4.0cm、フルード数 0.6 および 0.8 の等流となるように設定した。凹部形状としては長さを 25, 30, 35cm, 幅を 5, 6, 7, 8, 9, 10cm と変化させた。なお、主流幅は 10cm で固定してある。撮影には 2 台の CCD カメラを用い、658×491pixel のグレースケール画像を 75fps で 2300 枚 (約 30 秒相当) 撮影した。

## 3. 水面変動強度分布

実験より得られた水深の変動強度 (rms 値) を求めると、変動強度分布によって 4 つの水面振動のパターンに分類することができた。図-1 は、各パターンの代表的なケースの水深変動強度分布図であり、凹部形状のわずかな変化でも大きく変動パターンが異なっていることがわかる。各パターンの特徴を以下に挙げる。

- ・せん断層付近、凹部対岸上流部、凹部下流端が強く振動。 (TypeA)
- ・主流部を含めた凹部上流、下流部が強く振動。 (TypeB)
- ・せん断層に複数の極値がみられる振動、変動強度は小さい。 (TypeC)
- ・せん断層付近、凹部対岸、凹部上下流端が強く振動。 (TypeD)

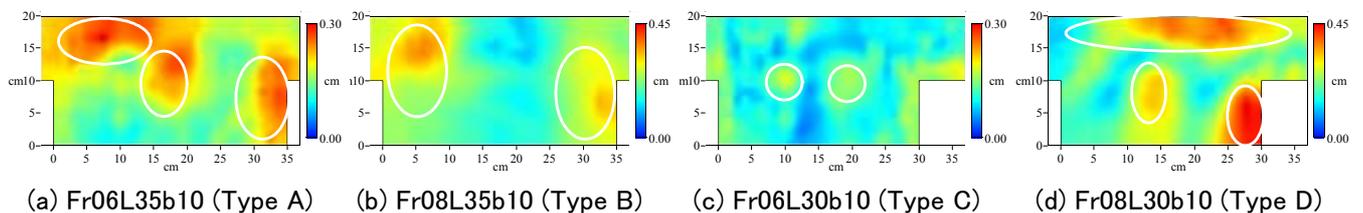


図-1 水面振動パターンの種類

各代表ケースについて POD 解析を行った結果を図-2 に示す。これらの結果より、第 1 モードが占める寄与率は Type B が最も大きく 0.66、Type A と Type B がそれぞれ 0.46, 0.44 とほぼ同程度、Type C が最も小さく 0.35 となっていることがわかる。ここで得られた第 1 モードの各変動強度の分布パターンあるいは変動の極大値の発生箇所を計測値のそれらと比較すると、第 1 モードの分布は各 Type の特徴をうまく捉えていることがわかる。これに対し、第 3 モードの寄与率はどのケースにおいても 10% 程度以下であるため、第 1 モードと第 2 モードの再合成により、オリジナルの変動構造は十分に再現できるものと考えられる。

キーワード 開水路凹部流れ, 水面変動, ステレオ計測, POD, LES

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL/FAX 078-803-6439

#### 4. 平均流速分布

表面流速分布は炭粉末トレーサを用いた表面流の可視化画像を対象として PIV により求めた。今回は撮影地点が十分高い(約 1m 程度)ため、水面を平面と見なし、テンプレート内に十分な量のトレーサが含まれている場合のベクトルのみをピックアップして、平均流速を算出した。解析の結果、どのケースでも凹部内の下流側に 1 つの大きな循環流が生じているが、Type 毎の違いは明確ではなく、水面変動に現れたような明確なモードの違いは、流速分布には現れないことがわかった。

#### 5. 水面変動と流速変動の相関性

ここでは、水面形と表面流速の同時計測によって得られたデータからそれらの相関関係を調べる。図-3 に流速の流下方向成分  $u$  と水深  $h$  の相関および流速の横断方向成分  $v$  と水深  $h$  の相関分布を示す。流下方向成分  $u$  との相関をみていくと Type A, Type B では凹部内において高い相関がみられる。この 2 つの Type は大別すれば流下方向の振動、つまり縦振動であった。これは凹部内の大規模循環渦とセイシュ的な振動の共鳴を示唆している。Type C については凹部内中央付近と凹部上流端の主流からの流入部付近で比較的高い相関がみられる。Type D では他の Type と比較して全体的に相関が低い。このように、Type によって水面変動と流速変動には特徴のある相関関係が各々に存在することがわかった。

#### 6. 数値解析

図-4 に 3 次元 LES<sup>2)</sup>による  $Fr=0.67$ ,  $L=30\text{cm}$ ,  $b=10\text{cm}$  の条件下での計算結果を示す。図-1 および図-2 の (c), (d) の中間的な  $Fr$  数のケースであり、POD 解析の結果も両者の中間的なパターンとなっている。これは、変動パターンの遷移を再現している可能性があるため、実験による確認が必要である。

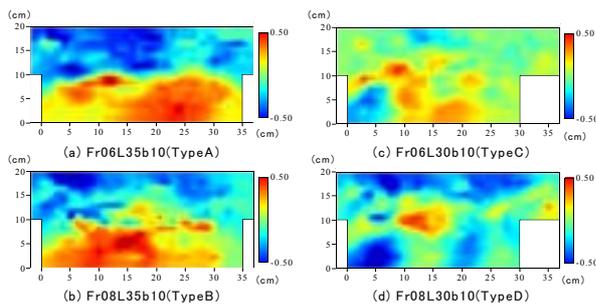


図-3 流速・水面変動の相関特性( $u'h'$ )

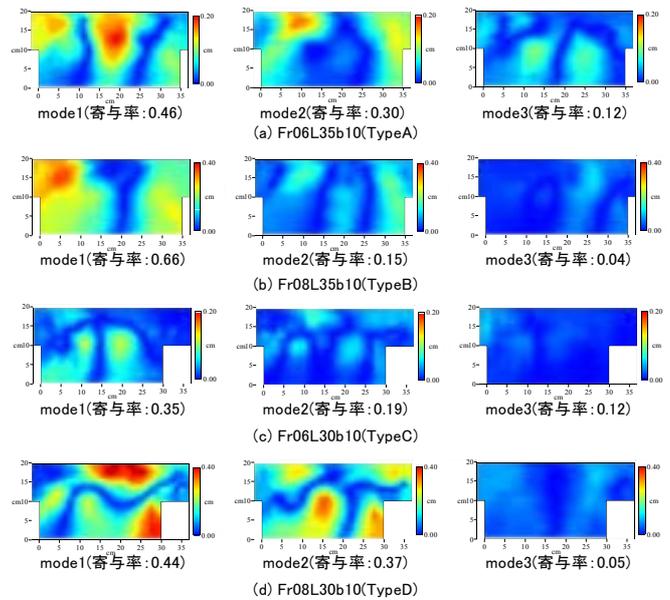


図-2 各モードの水面変動強度

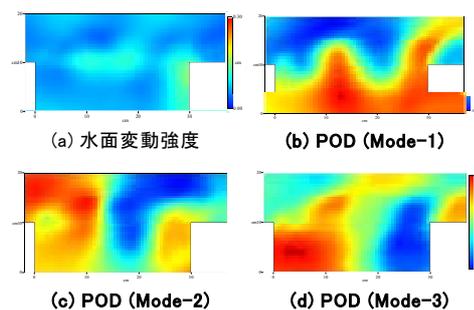


図-4 数値解析の結果

#### 7. おわりに

水理条件一定の下、凹部形状(凹部幅)を変化させ、水面形と表面流速を同時計測したところ、多少の形状変化でも水面変動構造が大きく変化することが確認できた。また、流速変動と相関が高いことも確認できた。

#### 参考文献

- 1) 椿涼太, 藤田一郎: ステレオ画像を利用した自由水面の水位分布計測法の開発, 水工学論文集, 第 48 巻, pp.523-528, 2004.
- 2) 門谷健, 藤田一郎, 椿涼太, 松原隆幸: 水面変動を考慮した LES による側岸凹部を有する開水路流れの解析, 水工学論文集, 第 51 巻, pp.655-660, 2007.