

浅い凹部をもつ開水路における流れの解析

神戸大学工学部 正会員 ○宮本 仁志 神戸大学工学部 フェロー 神田 徹
神戸大学大学院 学生員 兵頭 伸幸 ニチメン(株) 正会員 三浦 光博

1. はじめに

筆者らは、水路床に設けた凹部が開水路流れの構造に及ぼす影響について検討している．前報¹⁾においては、比較的深い凹部での開水路流れを対象として、PIV と POD を用いた流れの解析を行っている．本研究では、流入部で剥離した流れが凹部底面に再付着する浅い凹部を対象に、PIV を用いることにより、平均流速、乱流諸量などの流れの構造を調べる．また、得られた流速ベクトルに POD を適用し、乱れの主要な変動成分について考察を行う．

2. PIVによる実験の概要

対象とする流れ場の概要および実験条件を図-1、表-1 にそれぞれ示す．実験は、凹部形状比を一定($L/D = 10.0$)にし、実験 A ではレイノルズ数を $Re = U_0 H_0 / \nu = 3100 \sim 12100$ で、実験 B ではフルード数を $Fr = U_0 / (g H_0)^{1/2} = 0.22 \sim 0.63$ で変化させて行う．流速計測には PIV を用いる．PIV 計測におけるサンプリング周波数は 120Hz であり、1 画素の実長は約 0.32 ~ 0.80mm である．

3. 実験結果および考察

実験 A(Case1)での瞬時流速ベクトルの例を図-2 に示す．主流 - 凹部境界での流速せん断により、流下方向に流れは激しく上下変動している．形状比が大きく浅い凹部であるため、その変動の影響は主流部の水面近傍まで及んでいる．一方、凹部内においては、主流は $x/H_0 = 6.0$ 付近から下流側で凹部底面まで潜り込み、それより上流側では、凹部深さ D 程度の渦が存在する．図-3 に、実験 A(Case1)での平均流速ベクトルを示す．流入部で剥離した流れは凹部のほぼ中央で底面に再付着し、その上流側では循環流が形成される．凹部下流側では段上がりのために流れが急縮している．これら平均流速ベクトルの空間分布の特徴は、再付着点距離に若干の差異はあるものの、すべての実験ケースにおいてほぼ同じであった．

図-4、5 に Re 数および Fr 数の変化に伴うレイノルズ応力分布をそれぞれ示す．図-4(a)($Re = 3100$)では、流れが再付着する凹部中央と流水断面が急縮する下流側段上がり部付近において、レイノルズ応力は極大値をとる． Re 数が大きくなるに伴い、レイノルズ応力極大値は下流側に移行し、図-4(c)($Re = 12100$)では凹部下流端付近でのみ大きな値をとる．また、 Re 数の増加に伴い、レイノルズ応力の値は小

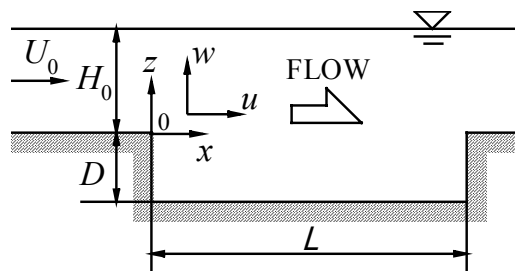


図-1 開水路凹部の模式図

表-1 実験条件

実験	Case	D (cm)	H_0 (cm)	L (cm)	Q (cm^3/sec)	U_0 (cm/sec)	Re	Fr
A	1	2.0	2.0	20.0	620	15.5	3100	0.35
	2	3.0	3.0	30.0	1120	18.7	5600	0.34
	3	4.0	4.0	40.0	1760	22.0	8800	0.35
	4	5.0	5.0	50.0	2420	24.2	12100	0.35
B	1	5.0	5.0	50.0	1560	15.6	7800	0.22
	2	3.5	3.5	35.0	1560	22.3	7800	0.38
	3	3.0	3.0	30.0	1560	26.0	7800	0.48
	4	2.5	2.5	25.0	1560	31.2	7800	0.63

D : 凹部深さ H_0 : 凹部流入水深 L : 凹部長さ Q : 流量
 U_0 : 断面平均流速 Re : レイノルズ数($=U_0 H_0 / \nu$)
 Fr : フルード数($=U_0 / (g H_0)^{1/2}$) L/D : 凹部形状比($= 10.0$)

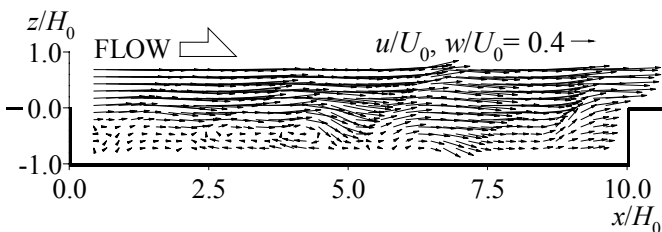


図-2 瞬間流速ベクトルの一例
(実験 A: Case1, $Re = 3100$)

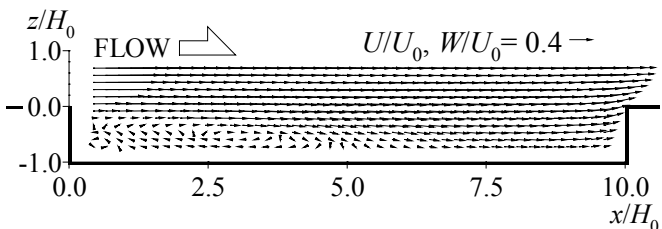


図-3 平均流速ベクトル
(実験 A: Case1, $Re = 3100$)

キーワード：開水路、浅い凹部、乱流、組織運動、PIV、POD

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-6069

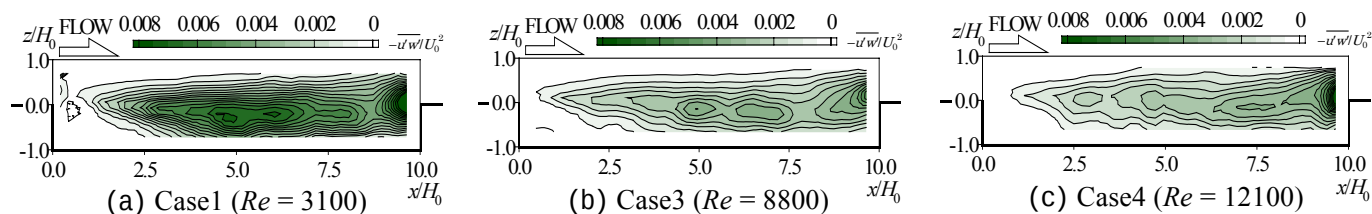


図-4 レイノルズ応力の空間分布(実験 A: レイノルズ数変化)

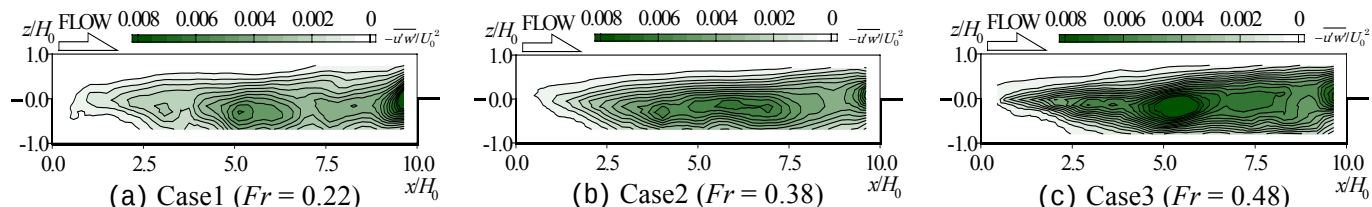


図-5 レイノルズ応力の空間分布(実験 B: フルード数変化)

さくなっている。一方、図-5(a) ($Fr = 0.22$) では図-4(a) と同様に凹部中央と段上がり部付近で極大値をとるが、 Fr 数が大きくなるに伴い下流側段上がり部でのレイノルズ応力極大値は小さくなっていく。また、 Re 数変化と反対に、 Fr 数の増加に伴ってレイノルズ応力の値は大きくなる。

4. PODによる乱れの解析

図-2 に示したような時々刻々の流速ベクトルに対して POD 解析を行い、凹部流れにおける主要な乱れ成分について考察を行った。

各モード m の固有ベクトル絶対値 $|\phi_m|$ の空間分布を図-6 に示す(実験 A(Case1))。図-6(a) の 1 次モードでは、 $|\phi_1|$ は下流端段上がり部付近で極大値を取り、その空間スケールは他のモードに比べて最大となる。このモードは段上

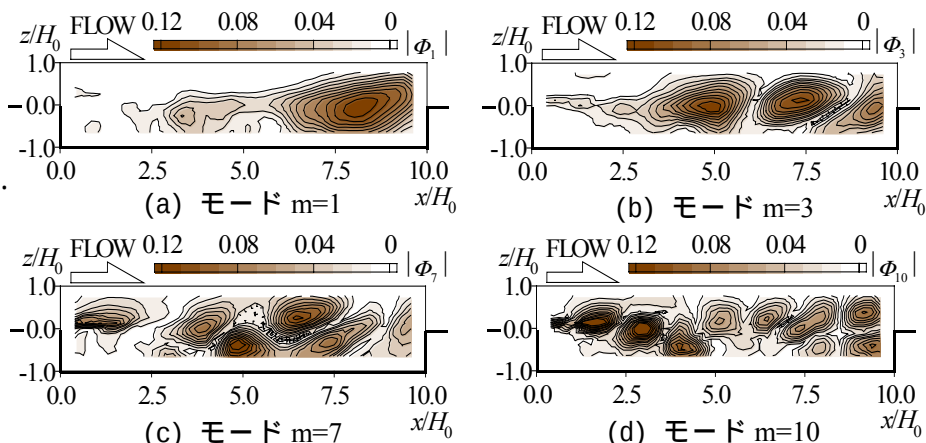


図-6 各モードの POD 固有ベクトルの絶対値 (実験 A Case1)

がり部での断面急縮による流速変動に関連する成分を表していると考えられる。モードの次数が増加するに伴い、主流 - 凹部境界で $|\phi_m|$ の極大値が連なるようになり、その空間スケールは小さくなっていく。これらのモードは主流 - 凹部の組織運動に関連する成分を表していると推察できる。また、形状比が大きく浅い凹部であるため、前報¹⁾のような凹部内の循環渦に関連するモードはあまり明確には現れていない。

図-7 は各モード m での流速変動成分のパワースペクトルである(各モード間での周波数特性を議論するため、図の縦軸をずらして重ね合わせている)。各モードの卓越周波数はモード次数 m が上がるに伴い高周波数となっている。これより、モード次数 m が上がる(変動エネルギーが小さくなる)に伴って、各モードの変動成分の時空間スケールは小さくなり、高次モードの変動成分は次第に凹部各部に生じる小さな変動を表すようになる。

参考文献 1) 宮本仁志, 神田 徹, 兵頭伸幸: 開水路凹部流れにおける乱れの主成分分析, 水工学論文集, 第45巻, pp. 505-510. 2001.

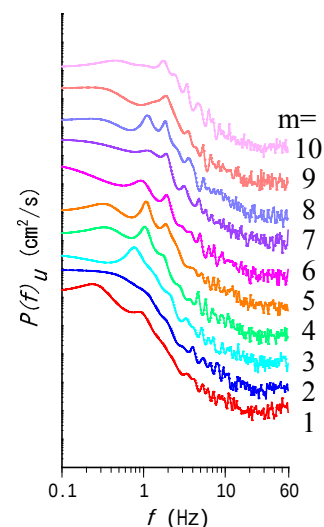


図-7 POD 変動流速のパワースペクトル (実験 A Case1)