

段落ち流れにおける瞬間流速および瞬間底面圧力の同時計測

九州工業大学工学部 学生員 ○森大輔
九州工業大学大学院 学生員 造士快竹
九州工業大学大学院 正会員 鬼束幸樹
九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山壽一郎

1. はじめに

堰直下流に設置される護床工は瞬間的な圧力低下等により破壊されることがある¹⁾。

これまで段落ち流れの流体力に関する研究、段落ち流れの組織構造に関する研究、段落ち流れを数値解析した研究は数多く存在するものの、瞬間流速と瞬間底面圧力を同時計測した例はほとんど存在しない。そのため、段落ち部において乱流構造が底面に及ぼす瞬間的な影響は解明されていない。本研究は開水路段落ち流れの底面に作用する瞬間圧力と瞬間流速を可視化手法により同時計測し、両者の関係を解明したものである。

2. 実験条件および実験装置

図-1 に示す長さが 1.9m、水路幅 B が 0.15m、水路始端から 1.3m 流下した位置に高さ H_s が 0.03m の段落ち部がある水路を実験に用いた。水路中央の 8 カ所(No.1～8)に硬質なビニールチューブを壁面に直角に設置した。各ビニールチューブ末端を鉛直に固定した。段落ち部から流下方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸、横断方向に z 軸をとる。実験条件を表-1 に示す。ここに、 h は水深、 U_m は断面平均流速、 $Re \equiv hU_m/\nu$ はレイノルズ数、 $Fr \equiv U_m/\sqrt{gh}$ はフルード数、 g は重力加速度、 ν は動粘性係数である。実験前に水路内にトレーサ粒子を投入し、レーザー光線を厚さ 2mm のレーザーライトシートに変化させ水路中央の x - y 断面に照射させた。この状態で水路右岸側に設置されたビデオカメラによって段落ち部周辺を 1/60s ごとに 70s 撮影した。また、ビニールチューブ末端にハロゲンライトを照射させてチューブ内の水面を光らせ、8 つのビニールチューブ内の水面をビデオカメラで 1/30s ごとに 70s 撮影した。なお、ビニールチューブ内の水位は壁面に作用する圧力だけでなく壁面に直角方向の乱流成分にも影響を受けるが、両者を分離することは困難なので、本研究では両者による作用を「圧力」と定義する。

3. 実験結果および考察

図-2 に無次元流れ関数 $\Psi/(U_{max}h_u)$ のコンター図を示す。ここに、流れ関数は次式で求められる。

$$\Psi \equiv \int_0^y U dy \quad (1)$$

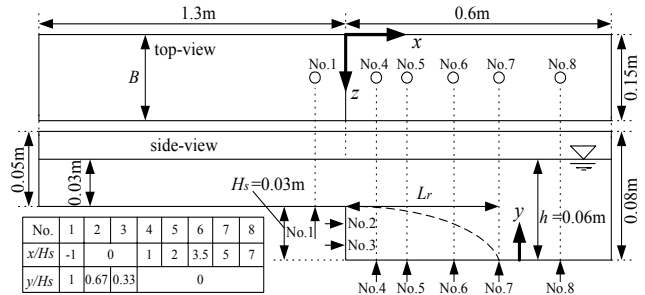


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件

	h (m)	U_m (m/s)	Re (-)	Fr (-)
$x/H_s = 0$	0.02	0.35	6998	0.79
$x/H_s = 10$	0.05	0.14		0.20

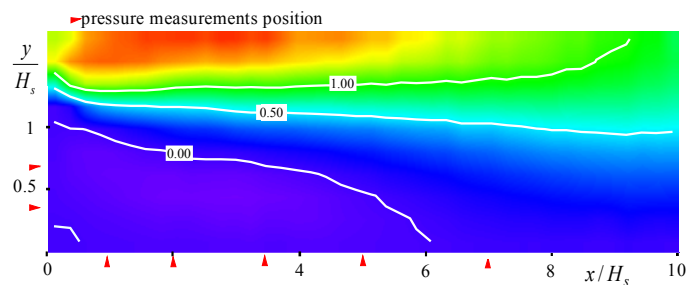


図-2 流れ関数

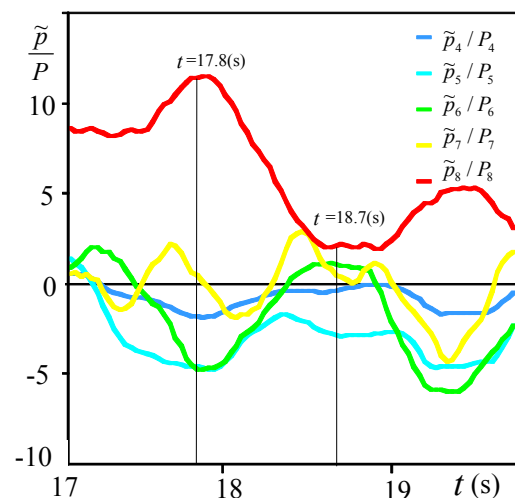


図-3 瞬間底面圧力の時系列

図-2 において $\Psi/(U_{\max} h_u)$ のゼロのラインが底面と接続する位置が再付着点を意味する. 同図より, 無次元再付着点距離は $x/H_s=6.0$ 付近と判断される. この値は Nezu & Nakagawa²⁾ の結果 ($5 < L_r/H_s < 6$) と類似している.

図-3 に No.4~8 における時間平均圧力 P で無次元化された瞬間圧力 $\tilde{p}$ の時系列を示す. いずれも無次元瞬間底面圧力 $\tilde{p}/P$ は増減しているが, No.8 は特に振幅が大きいことが観察される.

図-4 (a), (b) に図-3 における No.8 の圧力変動が極大をとる $t=17.8(s)$ および極小をとる $t=18.7(s)$ における瞬間流速ベクトル図を示す. No.8 付近の流況は $t=17.8(s)$ では下降流が, $t=18.7(s)$ では上昇流が見られる.

図-5 に圧力の変動成分の RMS 値 p' を時間平均圧力 P で無次元化した値の流下方向変化を示す. 無次元圧力変動 RMS 値 p'/P は流下方向に増加し, No.8 で最大値をとっている. これは, 図-4 (a), (b) から判断されるように, No.8 が上昇流および下降流の影響を最も受けていることを意味している. 以上より, No.8 は上昇流および下降流の発生が見られ, 底面圧力変動に大きな増減があることから再付着点付近の鉛直流速成分の影響を最も受けていることがわかる.

i 点の変動成分 w_i と j 点の変動成分 w_j との相互相関係数 $R_{ij}(\tau)$ は次式で求められる.

$$R_{ij}(\tau) = \overline{w_i(t) \cdot w_j(t+\tau)} / (\overline{w_i^2} \cdot \overline{w_j^2}) \quad (2)$$

ここに τ は遅れ時間である.

図-6 に式(2)において, $w_i = p_i$, $w_j = v_i$ として求めた底面圧力と圧力計測点鉛直方向の流速との遅れ時間 $\tau=0$ における相互相関係数 $R_{pi,vi}(\tau)$ を示す.

No.4~No.7 では鉛直流速変動と瞬間底面圧力の相関が一樣に低いものの, No.8 では No.4~No.7 に比べて相対的に高い相関があることがわかる. また, No.8 では鉛直流速成分が底面圧力の 10%程度支配していることがわかる.

4. おわりに

本研究は開水路段落ち流れの底面に作用する瞬間圧力と瞬間流速を同時計測し, 両者の関係を解明したものである. その結果, 鉛直流速成分の底面圧力への影響は段落ち部から再付着点間では一樣に小さいものの, 再付着点付近におけるそれは段落ち部から再付着点間に比べ相対的に大きいこと, また, 再付着点付近において鉛直流速成分が底面の圧力を 10%程度決定していることを解明した.

参考文献

- 1) 中川博次, 辻本哲郎, 清水義彦, 村上正吾: 第31回水理講演会論文集, pp.359-364, 1987
- 2) Nezu, I. and Nakagawa, H.: Turbulent structure of backward-facing step flow and coherent vortex shedding from reattachment in open-channel flows, *Turbulent Shear Flows* 6, pp.313-337, 1989.

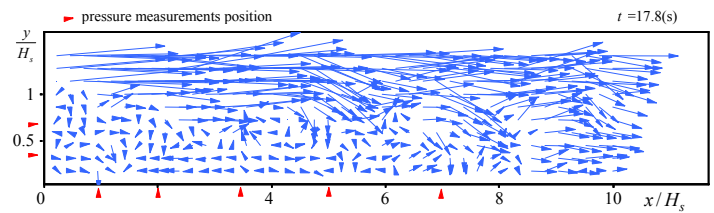


図-4 (a) $t=17.8(s)$ における瞬間流速ベクトル

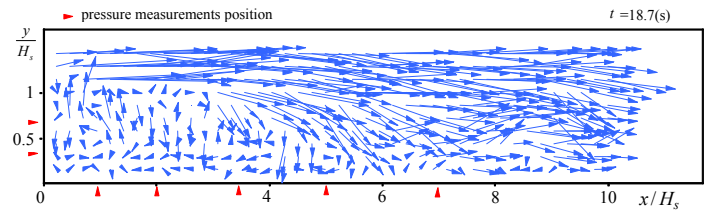


図-4 (b) $t=18.7(s)$ における瞬間流速ベクトル

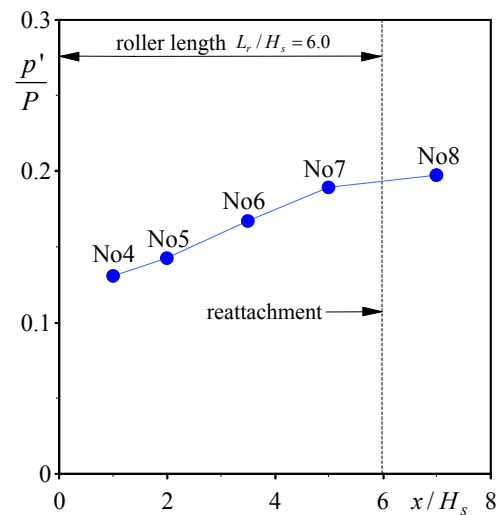


図-5 底面圧力変動の RMS 値の流下方向変化

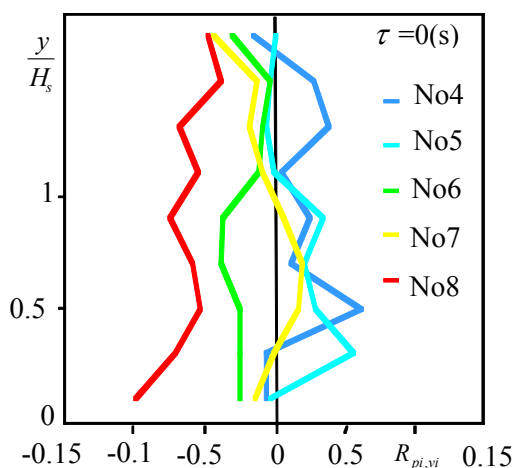


図-6 圧力と鉛直流速変動との相互相関