

矩形ブロック周辺に作用する瞬間圧力および瞬間水深の同時計測

九州工業大学大学院 学生員 ○造士快竹
九州工業大学工学部 学生員 森大輔
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

水生生物が激減してしまった都市河川を、少しでも水生生物が生息しやすい川に再生するためにブロックが設置されることがある¹⁾。ところが、ブロックは局所的な粗度の増加をもたらすため、洪水時の局所的な水位上昇等に配慮する必要がある。また、ブロックが洪水時に流出しない耐力を持たせる必要もある。

開水路底面に設置された矩形ブロックに作用する時間平均圧力に関しては多くの研究があるものの、瞬間圧力の計測はほとんどなされていない。本研究は、開水路底面に設置された矩形ブロックおよびその周辺の底面に複数の圧力穴を設けてフレキシブルチューブを接続し、可視化手法を用いて瞬間圧力値を計測すると共に、超音波波高計を用いて水面変動を同時計測したものである。

2. 実験条件および実験装置

図-1 に示す長さ 4.2m、幅 B 0.4m、高さ 0.27m の水路上流端から 3.8m 下流の水路中央底面に 3 辺の長さ k が全て 0.03m の矩形ブロックを設置した。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。図-1 中の赤い矢印で示す場所に直径 6mm の孔を開け、その内部に硬質なビニールチューブを壁面に直角に埋め込んだ。各ビニールチューブの末端は水路右岸壁面に鉛直に固定した。そのため、チューブ内の瞬間水位は孔に作用する瞬間圧力と孔に直角に接近する瞬間流速によって決定される。

表-1 に示すように、ブロックよりも 2m 上流(以後、基準断面と呼称する)の水深 H_0 を一定にして、フルード数 $Fr_0 \equiv U_m / \sqrt{gH_0}$ を系統的に変化させた。

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、画素数 1440×1080、シャッター速度 1/500s で各ビニールチューブの水位を 1/30s ごとに 75s 間ビデオ撮影した。このとき、超音波波高計を用いて各孔の真上の水位を 1/30s ごとに 75s 間同時計測した。なお、ビニールチューブ内の水位は各孔におけ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」と呼称する。

3. 実験結果および考察

(1) 水深と圧力の変動周期

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。

$$R_{ij}(\tau) \equiv \overline{w_i(t) \cdot w_j(t+\tau)} / (\overline{w_i^2} \cdot \overline{w_j^2}) \quad (1)$$

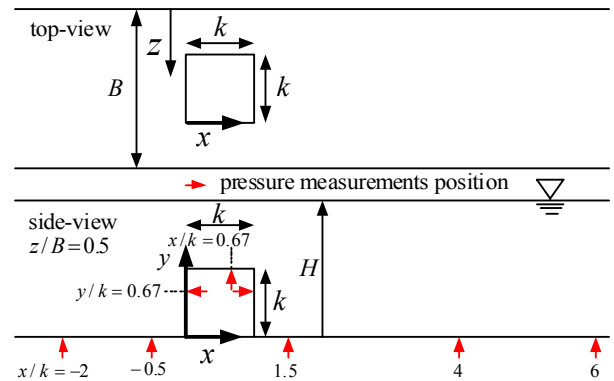


図-1 実験装置

表-1 実験条件

CASE	B/k	H_0/k	Re_0	Fr_0
F01	13.3	2.0	4600	0.1
F03	13.3	2.0	13800	0.3
F05	13.3	2.0	23000	0.5
F07	13.3	2.0	32200	0.7

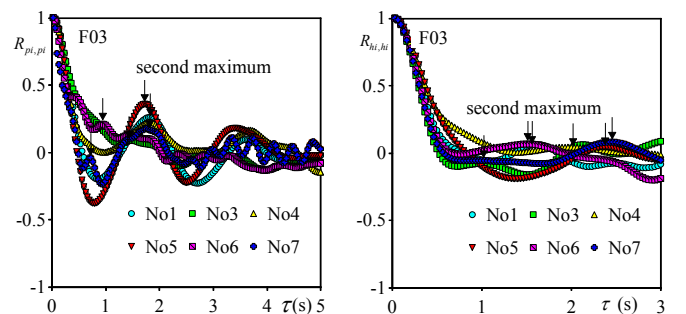


図-2 (a) 圧力の自己相関係数

図-2 (b) 水深の自己相関係数

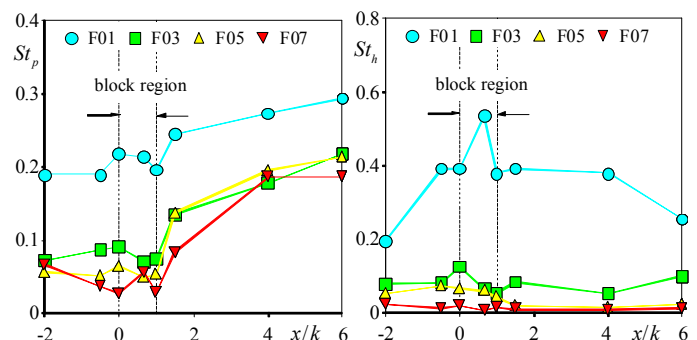


図-3 (a) 圧力の St 数

図-3 (b) 水深の St 数

ここに、 τ は遅れ時間である．式(1)において、 $w=p$ 、 $j=i$ として求めた圧力の自己相関係数 $R_{pi,pi}(\tau)$ の一例(F03)を図-2(a)に示す．

$R_{pi,pi}(\tau)$ は 1 から減少した後に極大値、極小値を示している．そこで、 $R_{pi,pi}(\tau)$ が始めに有する極大値をセカンドマキシマムと命名し、図中に下向きの矢印で示した．また、変動周期を発生遅れ時間と定義する．なお、セカンドマキシマム以後にも増減が見られるが、それぞれの極大値が周期とほぼ等しいと考えられる．

式(1)において、 $w=h$ 、 $j=i$ として求めた水深の自己相関係数 $R_{hi,hi}(\tau)$ の一例(F03)を図-2(b)に示す． $R_{pi,pi}(\tau)$ と同様にセカンドマキシマムが観察されるが、両者の発生遅れ時間が異なることが注目される．両者に違いがあることは他のケースでも観察された．

また、物体背後に発生する渦の周期はストローハル数 St によってしばしば整理される．

$$St \equiv k/(\tau \cdot U_m) \quad (2)$$

式(2)の τ に $\tau_{p\max}$ 、 $\tau_{h\max}$ をそれぞれ代入して求めたストローハル数 St_p 、 St_h の流下方向変化を図-3に示した．F01 以外ではブロック上流域で St_p は余り一致していないが、ブロック下流では一定の値を有しておりほぼ一致している．

F01 ではブロック背後で顕著な剥離渦が発生しておらず、底面の圧力変動に及ぼす渦の影響が微小であったと考えられる．一方、 St_h については、ブロックの上流だけでなく下流においても全てのケースで一致しない．これは、ブロック背後に発生する渦によって水面変動周期が影響を受けていないことを示唆する．

(2) 水深変動と圧力変動の相互相関

水面と圧力の相互相関係数 $R_{hi,pi}(\tau)$ の例を図-4に示す．F01 の場合は、 $R_{hi,pi}(\tau)$ がほぼ 0 付近を変動しており、水面変動と圧力変動との間に相互関係がほとんどないことを示している．低フルード数の F01 ではブロック背後で発生する渦の影響を余り受けなため、上流域と下流域の流れに大きな差異は生じていない．一方、フルード数の高い F07 では、 $R_{hi,pi}(\tau)$ は $\tau=0(s)$ においてブロック上流ではほぼゼロなのに対し、ブロック下流側では高い値を示している．これは、フルード数の増加に伴いブロック下流側では水面変動と圧力変動の関連が高くなることを意味している．圧力の相互相関係数 $R_{pi,pj}(\tau)$ を図-5に示す．F01 の場合は遅れ時間 τ の大小に関わらずゼロに近い値を示している．一方、F07 の $R_{pi,pj}(\tau)$ は遅れ時間 $\tau=0$ の時に 0.2~0.4 程度の値を有し、その値が遅れ時間 τ が増加してもほぼ変化しない．これは、ブロック直下流の圧力変動が下流にそのまま移流して影響を与えているのではなく、同位相で変動していることを示唆する．これは、ブロック背後に発生する渦によって水面変動周期が影響を受けていないことを考慮すると、ブロック下流域での水面変動の影響が底面圧力を 20~40%程度を支配していると推測される．

4. おわりに

本研究は、開水路底面に設置された矩形ブロックおよびその周辺の底面に作用する瞬間圧力を可視化手法を用いて計測すると共に、超音波高計を用いて水面変動を計測したものである．以下に結論を示す．

- (1) 水面変動周期はブロック背後に発生する渦によって影響を受けていない．
- (2) フルード数の増加に伴いブロック下流の大規模な領域で水面が変動し、その影響が底面の圧力を 20~40%程度決定していると推測される．

参考文献

- 1) 樋口明彦, 川からのまちづくり研究会: 川づくりをまちづくりに, 学芸出版社, p.135-145, 2003.

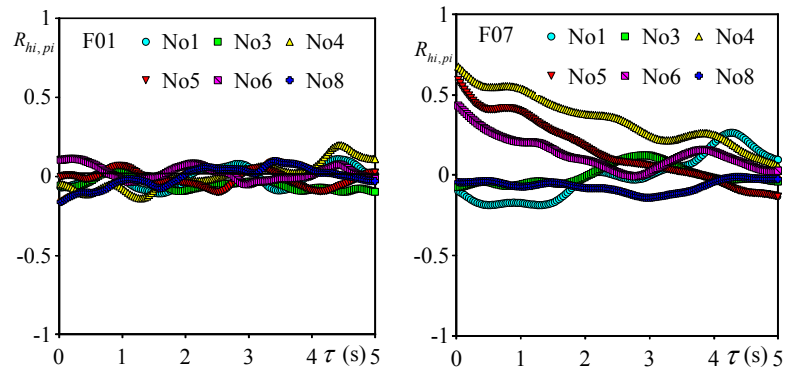


図-4 水深と圧力の相互相関係数

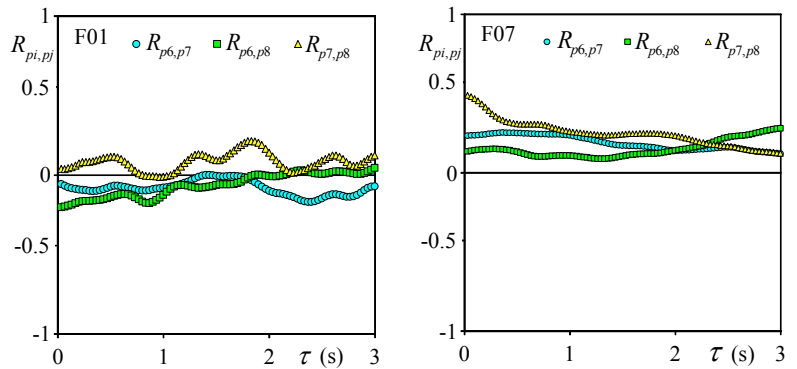


図-5 No. 6, No. 7 および No. 8 の圧力の相互相関係数