

棧粗度間隔の変化による開水路棧粗度に加わる流体力と流れ構造への影響

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	松本健太郎
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

人工粗度は水路における直接的な流水抵抗の手段の一つとして用いられている。その中で最も単純かつ一般的である棧型粗度においては数多くの研究がなされているが、棧粗度間隔の変化による粗度周辺の乱れ発生メカニズムは不明である。

開水路底面に設置された棧粗度流れに影響を与えるパラメータは、棧粗度高さを k 、棧粗度間隔を λ 、水深を H 、水路幅を B とした時、次元解析の考察より、無次元粗度間隔 λ/k 、相対水深 H/k 、アスペクト比 B/H 、フルード数 Fr およびレイノルズ数 Re と推定される。その中でも、Moody 線図および富永¹⁾の研究により、開水路棧粗度流れにおける支配パラメータは、無次元粗度間隔 λ/k およびフルード数 Fr と考えられる。無次元粗度間隔 λ/k やフルード数 Fr を変化させた実験は多く存在するが、双方の変化による棧粗度からのはく離渦の挙動や水面変動、流速変動、棧粗度に加わる流体力などについての検討は行っていない。本研究は底面に棧粗度を有する開水路流において、その棧粗度間隔を変化させ瞬間水深、瞬間流速、棧粗度に加わる瞬間抗力および瞬間揚力をそれぞれ同時計測し、棧粗度間隔が流体力と流れの構造との関係に及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験条件および実験装置

図-1 に示す長さ 4.2m、幅 0.1m、高さ 0.12m の水路底面に、高さ $k=0.04\text{m}$ の正方形棧粗度を設置した。流下方向に x 軸、 x 軸に直角上向き y 軸をとる。実験条件は表-1 に示すように、無次元粗度間隔 λ/k およびフルード数 Fr を変化させた。上流から 3m 下流の底面下部に 3 分力計を設置して棧粗度と接合した。3 成分電磁流速計を用いて x 、 y 軸方向の瞬間流速 $\tilde{u}$ 、 $\tilde{v}$ を 100Hz で 40.96s 間計測した。計測点は 3 分力計が設置された棧粗度と 1 つ下流の棧粗度との間の領域において、 $\lambda/k=8, 16$ それぞれ 101 点、131 点である。流速測定時に瞬間抗力 $\tilde{f}_x$ 、瞬間揚力 $\tilde{f}_y$ を 3 分力計を用いて、棧粗度上部の瞬間水深 $\tilde{h}$ を超音波波高計を用いて 100Hz で 40.96s 間の同時計測を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 水面変動が棧粗度抗力および揚力に及ぼす影響

図-2 に粗度頂部で得られた水面変動の標準偏差 h' を時間平均水深 H で無次元化した値とフルード数 Fr との関係を示す。 $\lambda/k=8, 16$ 共にフルード数の増加に伴う水面変動の増加が確認される。なお、すべてのフルード数において粗度間隔の増加に伴い水面変動も増加していることが確認できる。これは、粗度間隔の増加に伴い粗度上流側における上昇流の発生が顕著となることを示唆する。

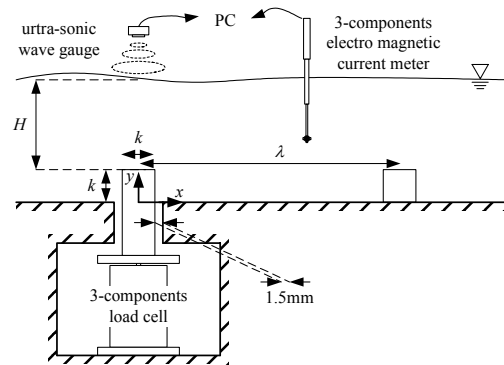


図-1 実験装置

表-1 実験条件

case	L/k	Fr	B/H	H/k	Re
L08F01	8	0.1	0.83	4	13000
L08F03		0.3			39000
L08F05		0.5			65000
L08F07		0.7			91000
L16F01	16	0.1			13000
L16F03		0.3			39000
L16F05		0.5			65000
L16F07		0.7			91000

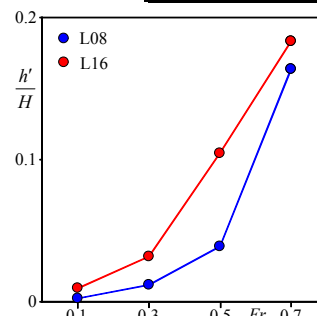


図-2 h' と Fr の関係

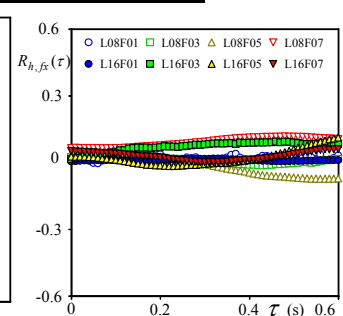


図-3 h と f_x の相互相関係数

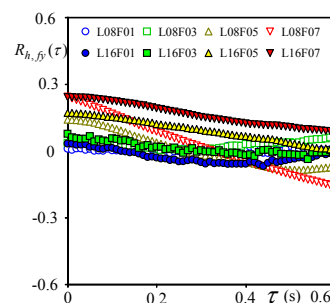
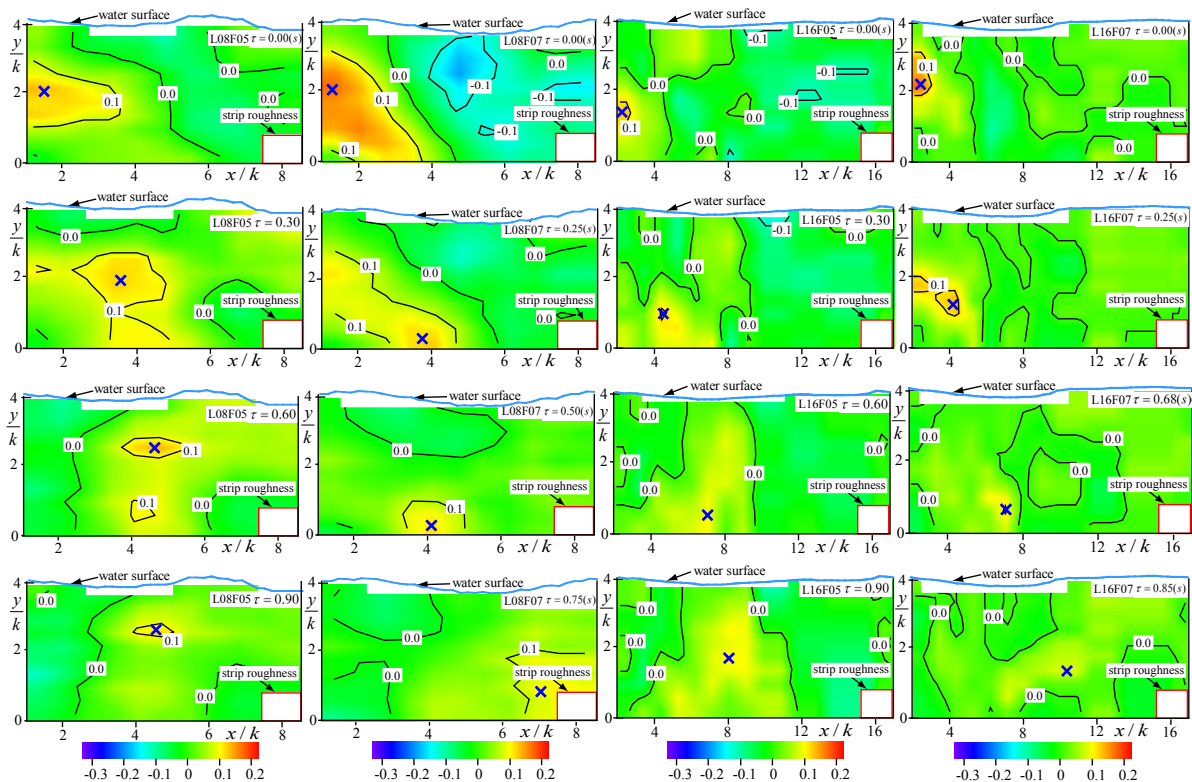


図-4 h と f_y の相互相関係数

図-5 鉛直流速成分 v と揚力変動 f_y の相互相関係数

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。

$$R_{ij}(\tau) \equiv \overline{w_i(t) \cdot w_j(t + \tau)} / (w_i' \cdot w_j') \quad (1)$$

ここに、 τ は遅れ時間、 w_i' 、 w_j' は w_i 、 w_j の標準偏差である。式(1)において、 $w_i = h$ 、 $w_j = f_x$ として求めた水面変動と抗力変動との相互相関係数 $R_{h,f_x}(\tau)$ を図-3 に、 $w_i = h$ 、 $w_j = f_y$ として求めた水面変動と揚力変動との相互相関係数 $R_{h,f_y}(\tau)$ を図-4 に示す。図-3 に着目すると、 $\tau = 0s$ において $R_{h,f_x}(\tau)$ の値は全ケースで 0.06 以下であり、棧粗度間隔および水面変動が抗力変動に及ぼす影響はほとんど無いと判断される。一方、図-4 に着目すると、 $\tau = 0s$ において $R_{h,f_y}(\tau)$ は各フルード数で最大値を示している。これは、水面の上下に伴い同時刻に揚力も上下していること意味する。また、その値が $\lambda/k = 8, 16$ 共にフルード数の増加に伴い増加しており、L08F05 では約 0.14、L08F07 では約 0.25 である。L16F05 では約 0.17、L16F07 では約 0.25 であるが、 $\lambda/k = 8$ に比べ $\lambda/k = 16$ では F07 以外全てのケースにおいて増加していることが確認される。これは図-2 から確認できるように、水面変動標準偏差の増加に伴うと考えられる。またこれらは、水面変動が揚力変動を L08F05 で 14%程度、L16F05 で 17%程度、L16F07、L08F07 で 25%程度決定していることを意味する。

(2) 棧粗度揚力が乱流構造に及ぼす影響

図-5 に $w_i = v$ 、 $w_j = f_y$ として求めた鉛直流速成分と揚力変動の相互相関係数のコンター図を示すと共に、ピーク位置を各図中に×印で示した。 $\lambda/k = 8, 16$ 共に $\tau = 0s$ において棧粗度上部の半水深付近で高い相関値を示している。これは、棧粗度に加わる揚力が正となる時に上昇流、負となる時に下降流が発生していることを意味する。また、 $\lambda/k = 8, 16$ 共に遅れ時間に伴いピークが下流に移流することが確認できるが、 $\lambda/k = 16$ よりも $\lambda/k = 8$ の方が、ピークが広い範囲で高い相関を維持しながら移流していることが確認できる。これは、 $\lambda/k = 16$ では $\lambda/k = 8$ に比べ、棧背後で発生する後流のスケールが大きいため、相関が移流する過程で拡散され易いことが示唆される。

4. おわりに

本研究は底面に棧粗度を有する開水路流において、その棧粗度間隔を変化させ瞬間水深、瞬間流速、棧粗度に加わる瞬間抗力および瞬間揚力をそれぞれ同時計測し、棧粗度間隔の変化が流体力と流れの構造との関係に及ぼす影響を検討したものである。以下に結論を示す。

(1) 棧粗度間隔の増加に伴い水面変動は増加する。水面変動は抗力変動にはほとんど影響を与えないが、揚力変動には影響を与える。揚力変動は水面変動により L08F05 で 14%程度、L16F05 で 17%程度、L16F07 および L08F07 では 25%程度が決定されている。

(2) 無次元棧間隔の増加に伴い棧背後で発生する後流のスケールは増大する。

参考文献

- 1) 富永晃宏：棧粗度の相対棧間隔が開水路の乱流構造に及ぼす影響，水工学論文集，第 36 巻，pp.163-168，1992。