

斜め棧粗度による二次流の生成と浮遊ゴミ捕捉法に関する研究

名古屋工業大学 学生会員 ○吉広健太

名古屋工業大学 フェロー会員 富永晃宏

1. はじめに

近年、海洋プラスチック問題が大きく注目されている。その約八割が陸域で発生し河川を經由して海洋に流出しているとされ、2050 年には海洋中に存在するプラスチックの重量が魚の重量を上回るという予測まで立てられている。そこで、河川内でプラスチックごみを捕捉し適切な処理をすることにより海洋プラスチック問題の解決に寄与できると考える。先行研究では、水制を用いて流れ構造を変化させ河岸凹部に浮遊ゴミを捕捉する手法が検討されている¹⁾。今回は側岸に斜め棧粗度を設置することで強制的に二次流を生成し、その表面流に与える影響を用いて河岸凹部に浮遊ゴミを誘導し捕捉する手法の検討を行った。

2. 側岸斜め棧粗度を用いた場合の水面流れ構造

(1) 実験概要

実験水路は長さ 7.5m、幅 0.30m、水路勾配 $I=1/1000$ の長方形断面可変勾配開水路を用い、図-1 に示すように実験 1~4 は長方形断面、実験 5 は河岸凹部を設けた水路とし、表-1 に示す水理条件で実験を行った。

(2) PIV 計測

原点は図-1 に示す通りで、実験 1,3,4 は鉛直方向に 0.5cm 間隔で $z=0.5\sim 4.5\text{cm}$ の 9 断面、実験 2 は $z=0.5\sim 2.0\text{cm}$ の 4 断面、実験 4 は 2.0cm 間隔で $z=1.0\sim 9.0\text{cm}$ の 5 断面を計測した。実験 1~4 では基本的な流れ構造を知るため、斜め棧粗度の設置角度、間隔、距離、粗度高さ、アスペクト比を変化させた。代表的な設置条件を表-2 に示す。実験 5 では実験 1 の結果より、斜め棧粗度の設置条件を caseL1_1 のみとし、誘導壁の設置条件を加えた実験条件を表-3 に示す。流れの可視化には、直径 100 μm 、比重 1.02 のナイロン樹脂粒子を用い、厚さ約 3mm のシート状にしたグリーンレーザー光を開水路水平断面に照射しビデオ撮影した。この可視化画像は高速度カメラ (Ditect HAS-U1) を用いて 1024 $\times$ 1024 (pixel) の画像を 1/200s で撮影し、画像計測には FlowExpert (カトウ光研) を用いて流速ベクトル計測を行った。相互相関法により画像を 24 $\times$ 24 (pixel) の検査領域で解析して、3200 個 16 秒間平均値の平面流速ベクトルデータを得た。

(3) スーパーボールを用いた捕捉率測定実験

表-1 実験水理条件

	流量 $Q(\text{L/s})$	平均流速 $U_m(\text{cm/s})$	水深(測定位置) $h(\text{cm})$	水路幅 $B(\text{cm})$	アスペクト 比	フルード数 Fr	水路勾配 I
実験1	3.0	20.0	5.0	30.0	6.0	0.29	1/1000
実験2	4.5	15.0	10.0		3.0	0.15	
実験3	1.3	17.0	5.0	15.0	3.0	0.24	
実験4	0.75	20.0	2.5		6.0	0.40	
実験5	1.5	20.0	5.0	15.0	3.0	0.29	

表-2 棧粗度設置条件

Case	$\alpha(^{\circ})$	$k(\text{cm})$	$\lambda(\text{cm})$	設置距離(m)
M1_1_2.0	45.0	1.0	10.0	2.0
L1_1_1.2	30.0	1.0	10.0	1.2
L1_1_1.6	30.0	1.0	10.0	1.6
L1_1_2.0	30.0	1.0	10.0	2.0
L1_2_2.0	30.0	1.0	20.0	2.0
L1_4_2.0	30.0	1.0	40.0	2.0
L2_2_2.0	30.0	2.0	20.0	2.0
SL1_1_2.0	60.0	1.0	10.0	2.0

表-3 棧粗度と誘導壁設置条件

Case	設置距離(m)	誘導壁	$\alpha(^{\circ})$	k(cm)	λ (cm)
N_1.6	1.6	無し	30.0	1.0	10.0
N_1.2	1.2				
N_0.8	0.8				
N_0.4	0.4				
L_1.6	1.6	1:1			
L_1.2	1.2				
L_0.8	0.8				
L_0.4	0.4				
L_2.6	1.6	1:3			
L_2.2	1.2				
L_2.0	0.8				
L_2.4	0.4				

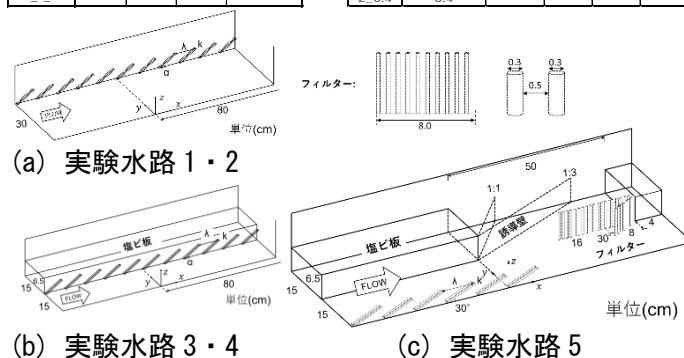


図-1 実験水路概略図

実験 5 のみで行った。水理条件は表-1、実験水路は図-1 (c) に示す通りである。フィルターの設置条件は (16cm, 0°), (8cm, 0°), (8cm, 30°) の 3 ケースとした。浮遊物モデルとしてスーパーボール(直径 13mm、比重 0.91)を約 2.0m 上流の右岸から 1.0, 7.5, 14.0 (cm) の位置でそれぞれ 10 (個) $\times$ 5 (回) の 50 個、合計 150 個放流し、下流端に設置したフィルターと河岸凹部内に捕捉された数を計測し捕捉率を算出した。

3. 実験結果

(1) PIV 計測

斜め棧粗度を設置した場合の基本的な流れ構造を知るために、実験 1~4 の結果から整理する。斜め棧粗度の最適な配置条件は、実験 1 の横断流速の横断方向分布と縦断方向分布で比較した結果、粗度高さ 1.0cm、設置間隔 10cm、設置角度 30° 、設置距離 2.0m であった。caseL1_1_2.0 の平均主流速で無次元化した横断流速コンター図を図-2 に示す。横断流速が底面では正(右岸 $\rightarrow$ 左岸)、表面では負(左岸 $\rightarrow$ 右岸)と異符号であることより強制的な二次流が生成されたといえる。その大きさについて表面での平均主流速に対する横断

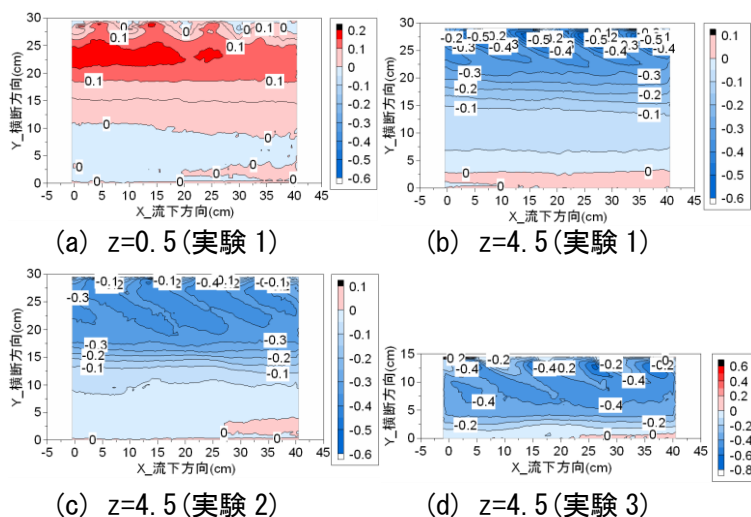


図-2 Case L1_1_2.0 の無次元化横断流速コンター図

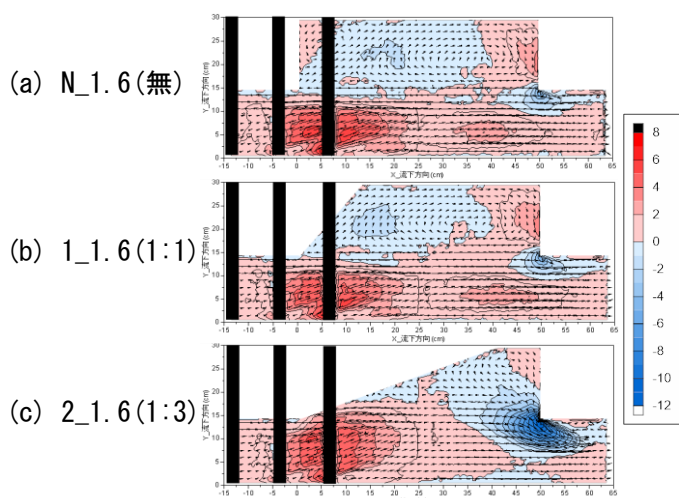
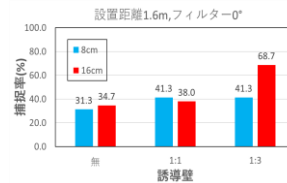
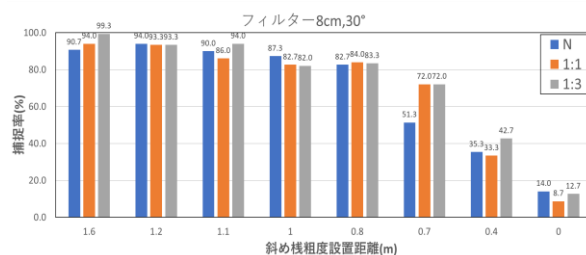


図-3 実験 5 (z=4.5) のベクトルと横断流速コンター図

流速の割合に着目し、水路幅とアスペクト比による比較を行う。実験 1 では等高線の間隔が広くなだらかに減少し水路幅の 1/2 で 10% となる。実験 2 では水路幅の 2/5 程度まで 30% 以上の大きさを維持するが、その後急激に減少し水路幅の 1/2 を少し超えた辺りで 10% 以下となる。実験 3 では水路幅の 2/3 程度までの広範囲に 30% 以上の大きさを維持し、その後急激に減少する。実験 4 の横断流速は他よりも著しく小さく全体的に 10% 程度であった。これよりアスペクト比を小さくすることによる二次流セルの拡大は認められるが、側岸に斜め栈粗度を設置する場合二次流セルの大きさに限界があると考えられる。また、実験 4 は水深が浅く二次流が十分に発達出来なかったと考えられる。実験 5 の表面でのベクトルと横断流速コンター図を図-3 に示す。誘導壁無しと 1:1 誘導壁では二次流の影響が $y=11\text{cm}$ 程度までしか達さず河岸凹部に流入しないが 1:3 誘導壁の場合河岸凹部に流入する。

(2) スーパーボールを用いた捕捉率測定実験

フィルターを設置角 0° 、長さ 8cm、16cm で設置し

図-4 フィルター設置角 0° の場合の捕捉率図-5 フィルター設置角 30° の場合の捕捉率

た場合の捕捉率を図-4 に示す。16cm で 1:3 誘導壁を導入すると高い捕捉率が得られる。フィルターを設置角 30° 、長さ 8cm で設置し主流側に 4cm 張り出した場合の結果を図-5 に示す。誘導壁の設置条件にあまり影響されず、90% 以上の捕捉率が得られた。斜め栈粗度の設置距離について、1.1m まで 90% 以上の捕捉率が得られたことから、実験 5 での斜め栈粗度の最適な設置条件は粗度高さ 1.0cm、設置角度 30° 、設置間隔 10cm、設置距離 1.1m 以上であるといえる。また、スーパーボールの横断方向の投入位置による捕捉率の変化について、斜め栈粗度設置距離が 1.1m 以上のとき最大でも 10% の差しかなかったため浮遊物の位置によらず安定して捕捉できるといえる。フィルターの設置角度による差は PIV 計測で分かった以下の 2 点から説明できる。(1) $y=11\text{cm}$ まで強い横断流速が得られることから、フィルターを 4cm 張り出すことで左岸に寄ったスーパーボールを捕捉できた。(2) 河岸凹部に流入するケースが 1:3 誘導壁のみであることから、フィルターを 16cm、 0° で設置する場合 1:3 誘導壁により河岸凹部に流入したスーパーボールは一部捕捉されるが 1:1 誘導壁と誘導壁無しでは捕捉されにくく、8cm だと水面の乱れによりフィルターの手前で逸れて捕捉されにくいといえる。

4. おわりに

斜め栈粗度を側岸に設置する場合、その大きさに限界があることが示唆された。今後は、浮遊物モデルの形状による捕捉率の変化と、河岸凹部内の平面渦を考慮したフィルターの設置を行い、経過時間によらず浮遊物を捕捉し続ける手法の検討を行いたい。

5. 参考文献

1) Tominaga, A., Tang, Z. and Zhou T., Capture method of floating garbage by using riverside concavity zone, River Flow 2020, 2154-2162, ISBN 978-0-367-62773-7, 2020.