

水制と側岸凹部を利用した浮遊ゴミ捕捉法に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○TANG ZIJIAN
 名古屋工業大学 フェロー会員 富永 晃宏

1. はじめに 近年、海洋におけるプラスチックゴミの問題が注目されており、その排出源の八割が陸域とされ、河川経由で海洋に流入する。名古屋市の堀川では、浮遊しているゴミが潮汐によって行き来している状況が見られ、右の図-1 に示すように堀川の上流端に凹部を有している構造では浮遊ゴミが蓄積していることが観察された。ただし、河岸凹部の存在は河道の急拡をもたらし、流速の低下や循環渦の発生によって土砂の堆積が顕著になったり、死水域の形成により水質の悪化を招いたりする恐れがある。以上の背景より、主流域を凹部内との水交換を考慮し、凹部の対岸に水制を設けて浮遊ゴミを凹部内へ誘導し、凹部の上流側誘導壁の角度の効果と相まって浮遊のゴミ捕捉率の向上に関して PIV 計測と数値計算により検討を行った。

2. 実験方法 実験水路は長さ 7.5m、幅 0.3m、水路勾配 $I=1/1000$ の可変勾配開水路を用いた。水理条件については表-1 に示し、実験水路は図-2 に示すように、水路左岸に幅 15cm、高さ 6.5cm の塩ビ版と長さ 50cm、幅 15cm の凹部を設置し、主水路幅を 15cm とした。水制と凹部の境界条件を表-2 に示した通り、誘導壁勾配を 4 種類、水制位置を 6 種類とし、合計 24 ケースの実験を行った。

また、水制の形状を変えることで誘導性の向上を図るために追加実験を行った。実験条件は前述の実験と同様であり、水制の形状などは表-3 にまとめた。

3. 実験結果 浮遊ゴミを捕捉する判断基準にあたり、PIV 法による計測した結果を利用し、流速ベクトル図と、主流域と凹部との境界での横断流速の二点をお用いてゴミの捕捉率を評価した。

実験ケースの結果の一部を抜粋し、水面付近の流速ベクトル図を図-3～図-4 に示す。誘導壁なし水制位置 3(図-3)の場合、凹部の上流側は下流側の流入域より幅広く流出することが確認された。水制付近では上向きのベクトルが増加し、主流域の水がやや凹部内まで誘導されるが、凹部の循環渦と相殺し凹部内への流入は期待できない。

上述のケースと比べ、誘導壁勾配 1:3、水制位置 3 の場合(図-4)では、上流側の水がほとんど凹部に誘導されている様子が見られる。凹部内の淀み域は完全に消え、循環渦の規模も誘導壁なしのケースより約 8 割縮小した。また、横断流速 V の分布図は図-5 の通り、赤色は凹部へ、水色は右岸への流速強さを示し



図-1 堀川上流端の一部（松重閘門付近）

表-1 PIV 実験水理条件

流量 $Q(L/s)$	下流端水深 $h(cm)$	主流域流速 $U_m(cm/s)$	レイノルズ数 $Re(U_m h/\nu)$	フルード数 Fr	河床勾配 I
1.51	6.0	16.8	10258	0.22	1/1000

表-2 水制と凹部誘導壁の境界条件

誘導壁勾配	なし	1 : 1	1 : 2	1 : 3		
水制が凹部上流壁の対岸までの距離(cm)	なし	-20	-10	0	10	20
水制番号	なし	①	②	③	④	⑤

表-3 追加水制の形状条件

	断面形状	長さ (cm)	幅 (cm)	高さ (cm)
直角勾配 1:1三角形		5.0		
直角勾配 1:2三角形		10.0		
直角勾配 1:3三角形		15.0	5.0	10.0
特殊型 直角三角形		5.0		
四分の一円弧		5.0		

図-2 PIV 実験水路条件

ている。水制直前から $x=30cm$ までの水路では横断流速が正となると凹部に流れ込み、それ以後は負の値となり凹部から出ていく傾向を示す。このことより、 $x=30cm$ より下流の凹部境界に網を設置することで浮遊ゴミの捕捉が可能となる。誘導壁勾配 1:3、水制位置 4 の場合も水制位置 3 のケースと類似な流れ構造を示した。以上の実験結果より、表面の水を凹部内に誘導し捕捉率を向上するために、誘導壁勾配を緩やかにし、水制位置を凹部上流壁の対岸の直前かやや下流にする必要があることが示された。

追加実験の結果について、水制断面形状が直角勾配 1:1 三角形、直角勾配 1:2 三角形と直角勾配 1:3 三角形の異なる直角勾配をもつ場合における水面付近横断流速のうち、 $x=15cm \sim 45cm$ 、 $y=15.5cm$ での横断流速を抽出し、図-6 に示している。各曲線に線形近似曲線を出し、傾きと相関係数 R^2 を求め、各ケースにおける横断流速が正から負になるときの x 座標と横断流速の最小値を表-4 にまとめた。

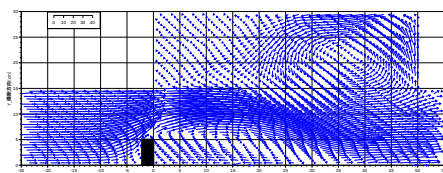


図-3 誘導壁なし水制位置 3

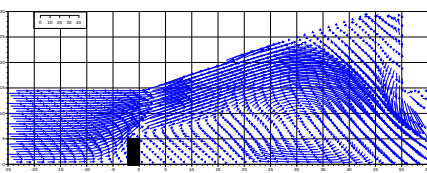


図-4 勾配 1:3 水制位置 3

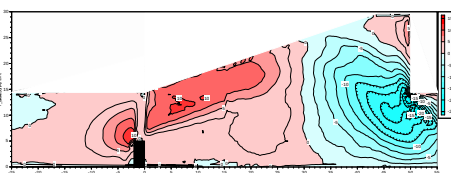


図-5 図-4 の横断流速分布

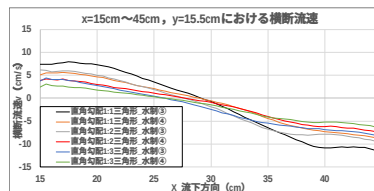


図-6 横断流速(勾配)

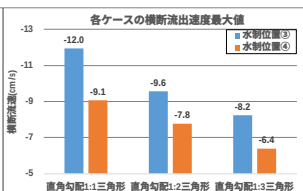


図-7 横断流出速度最大値

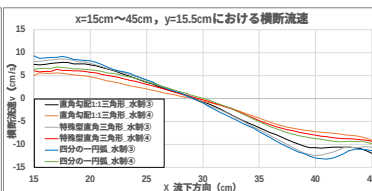


図-8 横断流速(曲率)

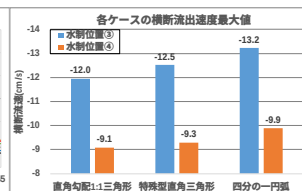


図-9 横断流出速度最大値

表-4 近似曲線の傾き及び横断流速の特徴(勾配)

	直角勾配1:1三角形 水制③	直角勾配1:1三角形 水制④	直角勾配1:2三角形 水制③	直角勾配1:2三角形 水制④	直角勾配1:3三角形 水制③	直角勾配1:3三角形 水制④
近似曲線の傾き	-0.792	-0.552	-0.616	-0.435	-0.465	-0.342
相関係数 R^2	0.972	0.985	0.969	0.988	0.983	0.985
横断流速が0になるx座標	29.5	29.0	28.0	28.0	26.0	26.0
横断流出速度最大値	-12.0	-9.1	-9.6	-7.8	-8.2	-6.4

表-5 近似曲線の傾き及び横断流速の特徴(勾配)

	直角勾配1:1三角形 水制③	直角勾配1:1三角形 水制④	特殊型直角三角形 水制③	特殊型直角三角形 水制④	四分の一円弧 水制③	四分の一円弧 水制④
近似曲線の傾き	-0.792	-0.552	-0.842	-0.623	-0.893	-0.679
相関係数 R^2	0.972	0.985	0.958	0.975	0.963	0.968
横断流速が0になるx座標	29.5	29.0	29.0	30.0	29.5	30.5
横断流出速度最大値	-12.0	-9.1	-12.5	-9.3	-13.2	-9.9

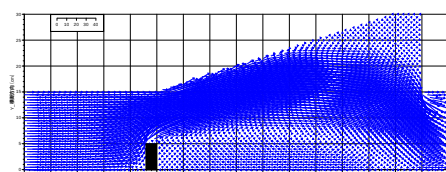


図-10 勾配 1:3 水制位置 3(計算)

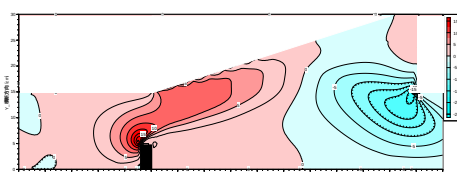


図-11 図-10 の横断流速分布(計算)

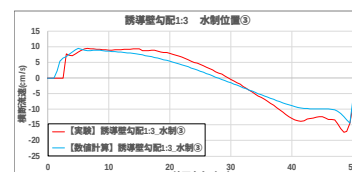


図-12 横断流出速度最大値(計算)

各横断流速分布の近似曲線には相関係数 R^2 が全て0.95以上であると非常に相関性が高いため、近似曲線の傾きは境界における横断流速の変動の強さを示す指標ともいえる。図-7に示す横断流出速度最大値を比較すると、異なる直角勾配を有する水制に対しても水制位置3の値が常に水制位置4より小さく、水制位置3の凹部への流入出速度を水制位置4の場合より大きいことが分かった。また、水制間に比較し、横断流出速度の大きい順で並べると、直角勾配1:1>1:2>1:3との結果になった。

また、異なる斜面曲率を有する水制について比較すると、図-8、9及び表-5に示すように、近似曲線の傾きと横断流出速度最大値との相関性、水制位置が与える影響に関する結論が前述の実験と同様な結果を得た。横断流出速度最大値の大きい順で並べると、四分の一円弧>特殊型直角三角形>直角勾配1:1三角形との結果になった。

4. PIV 実験を再現する数値計算 PIV 実験の計測値と比較し、再現性の検討を行うため数値計算を行った。計算には河川シミュレーションソフト iRIC の平面二次元計算モデルである Nays2DH を用い、乱流モデルには二次元非線形モデル $k-\varepsilon$ モデルを用いた。実験条件、ケースは PIV 実験の際と同様である。

図-10に図-4と同条件の誘導壁勾配 1:3、水制位置3の水面付近流速ベクトル図と横断流速分布図を示す。流速ベクトルの方向について、両者ともほぼ同

様な流れ構造をしており、上流端の水がほとんど凹部まで誘導され、凹部の下流壁奥部に循環渦の形成が見られ、これは横断流速分布図(図-11)でも確認された。また、本研究の着目点である境目での横断流速は図-12に示している通り、数値計算の結果が実験結果と若干ずれているが、傾向としてはほぼ同じであるため、再現性が良いと考えられる。

5. おわりに 本研究では水制と河岸凹部内の誘導壁の勾配に着目して実験を行った結果、適切な水制位置と誘導壁の勾配を設置することにより、水表面の流れ構造を変え、浮遊ゴミを凹部の下流端で効率よく捕捉できる可能性が示された。本研究で得られた知見から、以下のようなゴミの捕捉に効率向上の方策が推測される。

- (1) 凹部内の誘導壁の勾配を緩やかにし、凹部上流壁の対岸の直前かやや下流に非越流水制を設置する。
- (2) 水制断面の曲率は横断流速が0となる座標に影響がないことが分かったが、凹部への流入速度には影響を及ぼすため、流木など比重の大きい浮遊ゴミも収集したいときは、水制断面をなるべく円滑に設置するべきである。
- (3) 水制断面が三角形の場合、流れ方向となす角度をある程度大きく設定する必要がある。

今後、実際に浮遊物を流した捕捉実験を行い確認する予定である。