

早稲田大学大学院 学生員 井田泰蔵
建設省 正員 高松 諭
建設省 正員 仲村 学
早稲田大学 正員 関根正人
河川環境管理財団 正員 吉川秀夫

1. はじめに 護岸は根元付近から破壊することが多く、特に河川の湾曲部外縁においては、二次流による洗掘現象が生じるため危険である。従って、洗掘の原因となる二次流を制御することは河川管理上重要であることを示し、これを湾曲部外縁に設置することにより上記の洗掘を抑えることを提案した。そこで、本研究では斜め棧粗度による二次流の生成過程を調べ、また、生成される二次流と棧粗度の高さ及び間隔の関係について調べた。

2. 実験概要 実験には図1に示すような全長15m、幅93cmの長方形断面水路と、全長9m、底面幅40cm、斜面の傾き角度を45°とした台形断面水路を用い、表1に示す実験条件の下で測定を行った。長方形断面水路の片側の壁には水路上流端より7mの付近から、また台形断面水路の斜面には全面に、それぞれ表1に示す正方形断面をもつ棧粗度が等間隔（棧前面の間隔）に、流れに対して30°になるように設置されている。流速は熱膜流速計を用いて測定した。次に、塩化ビニル管を直壁の水面部及び底面に設置し、ポンプによって底面部の管より水を吸引し、水面部の管より水を噴出させることにより、湾曲部における二次流を模擬した二次流を発生させ、棧粗度の効果を確認するための実験も行った。横断方向の測定は棧に平行な断面で行った。

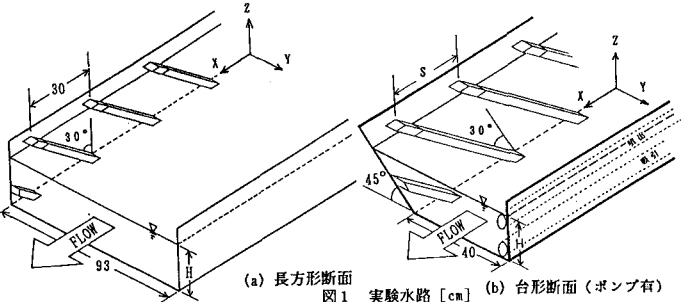


表1 実験条件
(a) Case R1～E2

Case	流量 $Q \text{ l/s}$	水深 $H \text{ cm}$	平均流速 $U \text{ cm/s}$	棧の高さ $k \text{ cm}$	間隔 $s \text{ cm}$	断面形
R1	78	26.6	31.5	3.0	30	長方形
C1	18	22.0	16.5	3.0	30	台形
C2	30	22.0	26.7	3.0	30	台形
C3	38	22.0	33.9	3.0	30	台形
C4	50	22.0	44.6	3.0	30	台形
C5	37	25.4	27.4	3.0	30	台形
D1	27	19.1	27.1	1.4	30	台形
D2	36	19.0	38.0	1.4	30	台形
D3	48	17.5	55.7	1.4	30	台形
E1	34	19.0	36.5	1.4	15	台形
E2	42	18.5	46.3	1.4	15	台形

3. 実験結果とその考察

3.1 斜め棧粗度による二次流の生成過程

図2は、Case R1において、最初の棧の15cm上流側から、30cmおきにY軸回りの循環 Γ_y とX軸回りの循環の Γ_x を求め、循環 Γ_y の変化量 $|\Delta\Gamma_y|$ と循環 Γ_x の変化量 $|\Delta\Gamma_x|$ の関係を示したものである。主流速の鉛直方向分布は一本目の棧までに十分発達しており、これに伴う比較的大きな $|\Gamma_y|$ が、棧粗度間を通るにつれて小さくなるとともに $|\Gamma_x|$ が大きくなり、それに伴って二次流が発達していくことがわかる。 $|\Delta\Gamma_y|$ と $|\Delta\Gamma_x|$ が近い値をとっていることから、斜め棧粗度によって Γ_y が Γ_x へと変換されていったものと思われる。

3.2 生成される二次流と斜め棧粗度の高さ及び間隔の関係 Case C2, D1, E1の二次流ベクトル図を図3に、平均主流速分布図を図4にそれぞれ示す。図3より、時計回りの二次流が生じているのがわかる。次に、図4より斜面上の水面付近で等値線が直壁の方向に入り込み、また斜面と底面のコーナー付近には値の

(b) Case J1～J3

Case	水深 $H \text{ cm}$	ポンプ流量 $q \text{ l/s}$	水路流量 $Q \text{ l/s}$	棧の有無 ($k=3\text{cm}$)
J1	25	20	37	無
J2	25	0	37	有
J3	25	20	37	有

大きい等値線が入り込んでおり、これは栈粗度によって生じた二次流によるものと考えられる。図5(a)には栈粗度の間隔 s が30 cmの場合の流量 Q と循環 $|\Gamma_x|$ の関係を示しているが、これより栈の高さ k が1.4 cmから3 cmに変化しても $|\Gamma_x|$ の増加量が緩やかであることがわかる。図5(b)には栈の高さ k が1.4 cmのときの流量 Q と循環 $|\Gamma_x|$ の関係を示すが、間隔 s を15 cmから30 cmに変化させた場合の Γ_x の増加量は、 k を2.1倍したときに比べて大きくなっている。

3.3 jetによる二次流における実験 図6には斜面を湾曲部外縁とみなし、jetにより湾曲部における二次流を模擬した流れを生じさせた場合の実験結果を示す。Case J 1ではjetによって湾曲部における二次流と同じ向きの二次流が生成されているのが確認でき（図6(a)）、また、Case J 2では栈粗度のみによる、湾曲部における二次流と逆向きの二次流が生成されることがわかる（図6(b)）。Case J 3はjetによる二次流が生じているところに栈を設置し、栈により生じる二次流が及ぼす効果をみたものであり、図6(c)より斜面側で栈による二次流が生じ、jetによる二次流が直壁側に寄り、渦の中心が二箇所できているのがわかる。従って、側岸に栈粗度を設置し、これにより生じる二次流を用いて、湾曲部において生じている二次流を制御し、最も洗掘を受ける位置を流路中央部へ移動させることが可能であると考えられる。

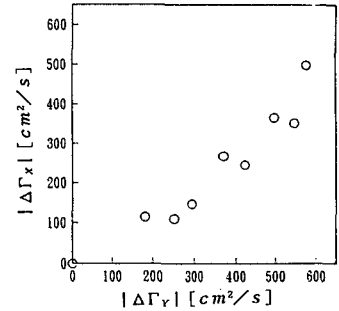


図2 $|\Delta\Gamma_y|$ と $|\Delta\Gamma_x|$ の関係



図3 二次流ベクトル図

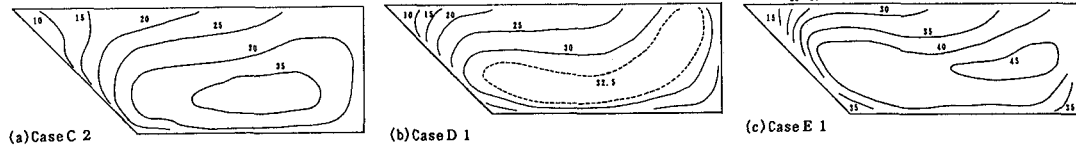


図4 二次流ベクトル図

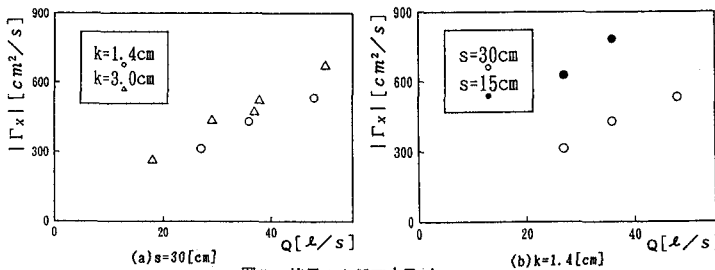


図5 流量 Q と循環 $|\Gamma_x|$ の関係

4. おわりに 斜め栈粗度による二次流の生成過程を調べるとともに、斜め栈粗度の高さと間隔を変えて生成される二次流の様子をみてきたが、今後は測定ケースを増やすとともに、湾曲水路における実際の斜め栈粗度の効果を調べていく予定である。

参考文献 1) 仲村・高松・福井・吉川：河川護岸の設計に関する基礎的研究、水工学論文集、第37巻、pp. 569～574、1993。

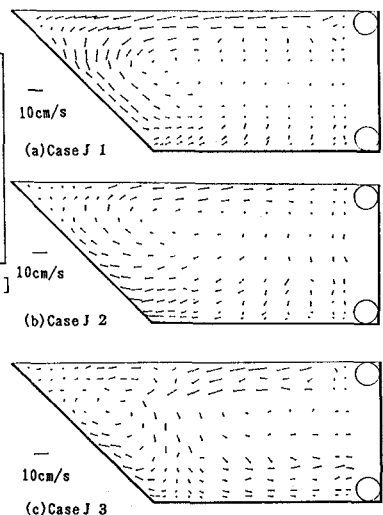


図6 二次流ベクトル図（jetによる実験）