

II - 6 4 越流ぜきの流れの機構に関する研究

日本大学大学院 学生員 ○坂 井 裕 之
日本大学工学部 正 員 長 林 久 夫
日本大学工学部 正 員 木 村 喜代治

1. はじめに

山地河川の河床の低下は山腹砂防や崩落防止工法の推進もあって、現在構造物周辺の深掘れによる根入れ深さの減少や護岸床固め部の洗掘をより助長するなどの傾向にある。そのため構造物周辺の洗掘現象も再び注目されてきている。洪水時の砂防ダム等の堆砂面形状は流れの三次元性と密接に関係しているため二次元的には把握されているが、深掘れの三次元構造の見解が十分ではない。砂防ダムにおける切り欠きからの流砂は非定常性が強く排砂の機構も複雑である。本実験では三次元の洗掘部の形状が設計上においても大きく関係していると考え、そのような洗掘部の流れの構造を検討するための手段としてダム模型水路を製作し、流れの可視化による実験的検討を行った。

2. 実験方法

実験装置として用いた水路は長さ4mの亚克力製長方形開水路の下端中央に幅10cmの切り欠きを有する堰板を設置し、ダム模型水路とした。このような急縮部を持つ水路では堰上流部に深掘れが生じほぼ砂の安息角程度の急勾配で法肩まで達し、さらに上流では等流状態に応じた勾配が形成される。流量及び流砂量は $3.0(\text{m}^3/\text{sec})$, $0.64(\text{cm}^3/\text{sec})$ の時の斜面形状を固定し、比重約1.0のポリスチレンビーズをトレーサーとして流水中に混合させ、任意測定面のビデオ撮影により可視化を行った。この測定面は側壁付近から水路中央までの4断面と、切り欠きを基準とした6断面の計10箇所を観測した。そしてそれぞれのビデオ信号を二値化して2画面ごとに合成し、主流流速 u 、直行流速 v のベクトルおよび渦の周期性と渦構造の検討を行った。

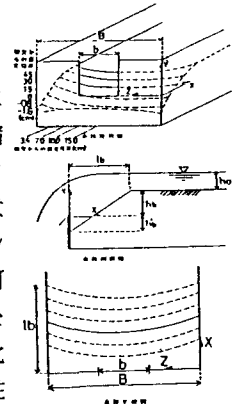


図-1 実験水路概略図

3. 結果および考察

画像処理装置より得られた画像から各断面毎にベクトル流跡線図を作成した。図はそれぞれ水路壁面側($Z=3.4\text{cm}$)と水路中央($Z=15.0\text{cm}$)の断面および自由水面側($Y=4.5\text{cm}$)と切り欠き高さ($Y=0.0\text{cm}$)の平面をを表している。これらは6画像を合成した0.2秒間のトレーサー移動におけるベクトル流跡線である。例えば $Z=3.4\text{cm}$ の断面では法面中央付近と堰下部とでそれぞれ渦構造が確認される。 $Z=15.0\text{cm}$ の断面では法肩付近にのみ渦構造が見られ、他領域では流下方向ベクトルが卓越している。 $Y=4.5\text{cm}$ 断面の平面図では水路中央部に向かう流れが左右の両方向に分離している。それに対して壁面側の流れは、ほぼ直線的である。 $Y=0$ 断面の平面では側壁側に水路上流方向に向かう逆逆向きの流れがみられる。これは $Z=3.4\text{cm}$ 側面のベクトル図に見られた法面付近の逆流速度であることが容易に理解される。

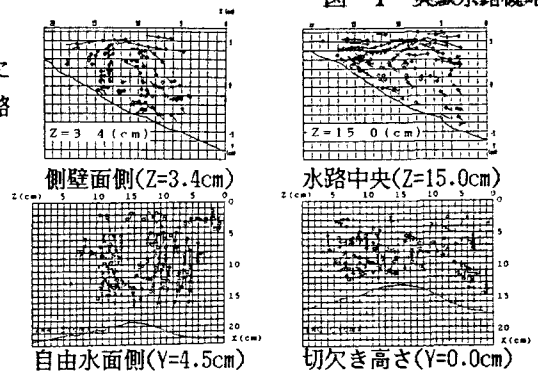


図-2 各断面のベクトル流跡線図

次に、渦構造の発生および消失の周期特性の検討を行った。側面の断面については法肩付近、法面中央付近及び堰付近の3箇所に着目し、平面の断面については、側壁側および中央部分の2箇所主に主に着目してデータを収集し、

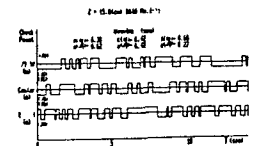


図-3 渦の周期特性

グラフ化を行った。この図は渦が発生している場合を正に、消失している場合を負にして表し、その持続時間が横軸の時間スケールにより描かれている。時間スケールは側面図で約450フレーム、平面図で約600フレームのグラフ化を行った。そしてその渦の発生と消失の平均時間を各グラフの上部に表示し、それらのデータをグラフ化したものが図-4である。これによる渦の周期性は、まず法肩付近では全ての断面において消失の分布が卓越しており、三次元的である。これはそれまで等流であった水の流れが堆砂面の急勾配により変化するためであると考えられる。法面中央付近では $Z=10.0$ cmの断面において消失の分布が極端に大きくなっているが、他の三断面では発生、消失がほぼ等しくなっている。これによりこの断面での切り欠きによる影響が明らかに認められる。そして堰付近では壁面側より切り欠き内部の発生周期が卓越しており、安定した二次元的性の強い渦を有することがわかる。 $Y=4.5$ cm, 3.0 cmの平面では平面渦は見られず直線的に流下する。断面が切り欠きに近づくに連れ、渦の発生時間は増加し、安定した渦構造を有する。この渦構造は側壁近くよりも中央の渦の方が発生時間が長く安定しており、その発生時間はほぼ2秒程度である。

図-5は法肩付近、中央付近、堰付近さらに水路側壁側、水路中央部分にそれぞれ発生した渦の周期による相互相関係数の分布である。これより $Z=7.0$ cmの断面内で周期的な相関特性を持っているものは法肩および堰であり、 $Z=15.0$ cmの断面では流出水が大きく影響を及ぼすためほぼ平行な分布を描いているが、法肩および中央に幾分かの周期性が見られるようである。したがって $Z=7.0$ cmの断面では法面中央での発生が多いため、この強い渦が法肩と堰に規則的な周期を及ぼし、法肩と堰はお互いに相関を持つことになる。そして水路中央断面については、法肩と中央および中央と堰という隣合った渦がお互いに関係のある周期性を持つと言える。平面渦については側面渦のグラフと比較して全般的にその周期性にほとんど変動が見られないが、 $Y=0.0$ cmおよび $Y=-0.8$ cmの相互相関係数にはそのグラフから約1.2(sec)程度の周期差があることが分かる。

4. まとめ

上記の結果、水路側壁側では法面中央付近に渦径の比較的大きな側面渦が多く発生し、切り欠き内部の堰付近では渦径の小さな側面渦が多く発生する。そして切り欠きの両端においては三次元性が非常に強く、渦構造はほとんど認められない。堰近傍の底面付近では掃流力の大きな渦径の小さな平面渦が生じており、 $Y=0.0$ cm前後でその径が最大となる。平面高さがさらに上昇すると再び渦径が小さくなり、それに比例するように発生周期も短くなる。また、この中央平面渦に対し、切り欠き両端の平面渦との位相差はほぼ1.2(sec)程度であり、両端の平面渦から中央の渦を生ずる。側壁近傍の側面渦は螺旋状に水路中央の堰付近直下まで連続し、渦度を増加させる。以上のことから水路側壁側の法面中央の渦から水路中央の堰付近直下における強い吹き出しの渦により放出されるという排砂機構が理解され、図-6における渦モデルが推定される。また、渦構造の周期特性に関しては、側壁側法肩付近と堰付近の側面渦に約0.3秒、水路中央法肩付近と法面中央付近の側面渦に約0.2秒、さらに水路中央法面付近と側壁側法面中央付近の平面渦に約1.2秒の位相差のあることが結論された。

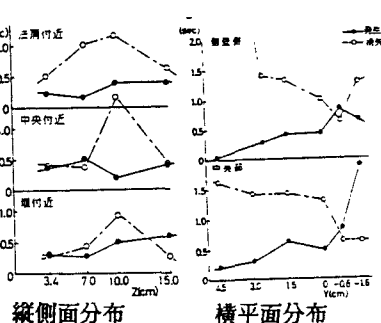


図-4 渦の周期特性平均分布

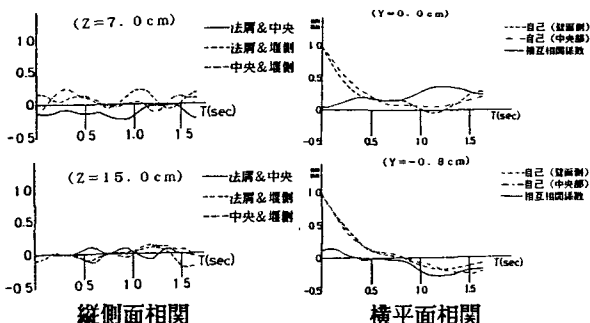


図-5 渦の相関特性

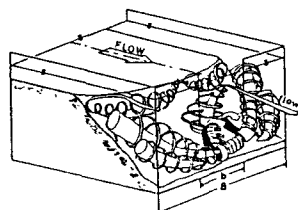


図-6 堰を越える流れの渦構造