

可視化手法を用いた堰を超える流れの渦構造

日本大学大学院
日本大学工学部
日本大学工学部

学生員 ○坂 井 裕 之
正 員 長 林 久 夫
正 員 木 村 喜代治

1. はじめに

近年河川における掃流砂量の減少により橋脚や構造物周辺での局所洗掘現象が再び注目されてきた。局所先掘現象はこれまでも多くの検討がなされてきている。しかしダムや堰などにおいて流量と流砂量が一定の動的安定勾配にある水路においても排砂の機構は、流水の三次元性に密接に関係しており、その機構の複雑さゆえ、検討が困難であるのが現状である。本研究では洗掘による排砂の機構を検討してゆくための基礎として流れの可視化による渦構造の実験的検討から図-1のようなダム模型水路を用いて排砂機構の検討を行うことを目的としている。

2. 実験方法

実験装置として用いた水路は幅30cm、深さ20cm、長さ4mの亚克力製長方形開水路の下端中央に幅10cmの切欠きを有する堰板を設置しダム模型とした(図-1)。このような急縮部をも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 $3.0(1/s)$ 、 $0.64(cm^3/s)$ のとき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、スライドプロジェクターにより任意測定面を可視化し、側壁付近から水路中央まで4断面を観察した。解析はビデオ信号を画像処理装置にて粒子の挙動を二値化して、2画面ごとに合成し u, v の流速ベクトルを求めた。

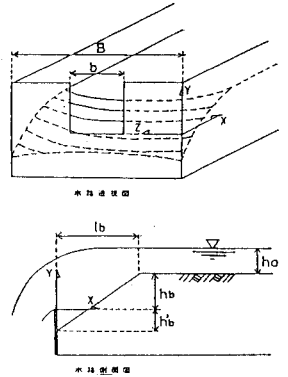


図-1 実験水路概略図

3. 結果と考察

(1) 流速ベクトルの検討

図-2、3は水路急縮部における流れの可視化の一例を示したものであり画面左側が上流・右側が下流方向を示す。図中を約半分に斜断するような長い一本の斜線は、堰付近の固定床堆砂面すなわち法面を表すものである。図はX軸を切欠きから上流に向かって正Y軸は切欠き上端を零、上方を正、下方を負とした。

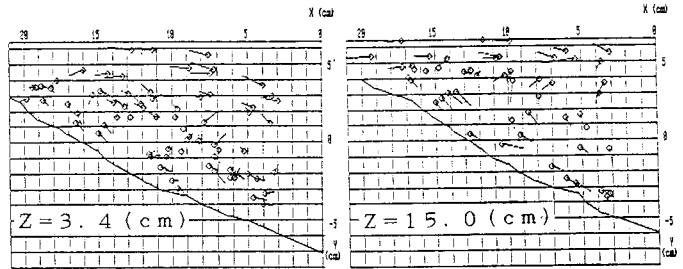


図-2 (1/30(sec)間のベクトル図

図-2は水路側面より水路横断方向(Z軸方向)に軸をもつ渦(縦渦)の1/30(sec)間の各トレーサーの移動をベクトル表示したものである。次に図-3は1/30(SEC)間のトレーサーのベクトル図を6枚連続的にとらえた流跡線であり、それぞれのトレーサーの動きを追跡することにより、どのような渦構造ができるのかを明確に知ることができる。図はそれぞれ $Z=3.4cm$ および水路中央($Z=15.0cm$)のもの

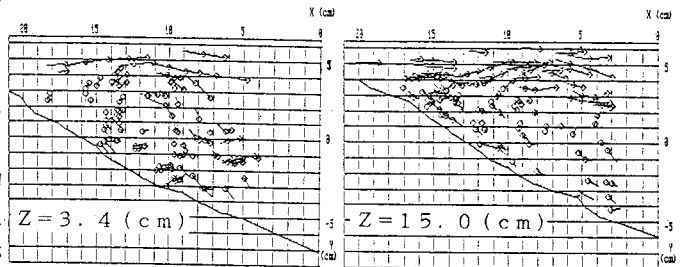


図-3 ベクトル流跡線図

のを記載しており、ベクトルの先の○印はその方向に進行することを示す。

図-2において、まず $Z=3.4\text{cm}$ の断面では貯水池内の水面と法面付近のベクトル方向が明らかに正反対であり、貯水池内上下の流況の変化をよく表している。次にその内部構造には幾つかの渦構造が確認され、また流れ方向の変化する位置もかなりの確に捕えることができるといえる。法肩付近には渦の形跡はあまり見られない。このことは後述する渦の周期特性においても認められている。また堰付近および法面中央については2ヶ所で渦構造が顕著に見られる。しかし断面が側壁面近くから水路中央に向かうにしたがい中央部の渦が広がって堰付近の渦を含み、 $Z=15.0\text{cm}$ に至っては流出水の効果が強く、渦構造はほとんど認められなくなる。またこの断面では法面中央から法肩にかけての法面近くは逆流速が大きくなる。その結果として法肩付近に小さな渦が出来、画面には表れていないが堰側の水路底面付近においても同様な渦が生じる。そしてこの渦による洗掘強度が大で、かなりの掃流砂量が巻上げられると推測される。

以上の内容を踏まえて図-3を観察すると各断面毎の流況は図-2と同様な傾向を示しているということが容易に理解される。すなわち壁面側($Z=3.4\text{cm}$)では法面中央と堰付近でそれぞれ渦が確認され、中央部($Z=15.0\text{cm}$)では法肩付近に存在する。他は流出水による支配領域が大きく占めている。また $Z=3.4\text{cm}$ のベクトル図と流跡線図とを比較すると堰付近における流れ方向が多少異なる部分が見られるがこれは側壁面近くの渦は中央に集ろうとする性質が強く、従って三次元性の強い流れが生じており、長時間観測では確認されない。これに対し、中央部では法肩付近のベクトル図はそのまま連なって流跡線図を描いており、二次元的となる。しかし法面中央から堰付近では流跡線が存在せず、三次元性が強い流れとなっている。

(2) 渦の周期特性とその相関関係

図-4は $Z=3.4\text{cm}$ の断面で発生する渦の周期特性を示しているものであり、縦軸に渦が現われている場合を+ (正)、渦が消えている場合を- (負)で表し、横軸には $1/30(\text{sec})$ 毎の渦の発生と消失の周期時間を表示しており、それぞれ法肩・法面中央・堰付近を示す。またこれより平均発生時間の最も長い部分が中央であり、それに次いで堰・法肩となっていることがわかる。これは $Z=7.0\text{cm}$ の断面でも同様である。 $Z=10.0\text{cm}$ の断面では堰・法肩・中央の順となり、その発生周期が極端に少ないという現象が見られた。そして $Z=15.0\text{cm}$ の断面では各地点ともにほぼ均等に発生していたがやはり堰付近における割合が他と比較して多くなっていた。これらのことより法肩から法面中央では切欠きの両端を境界面として側壁側では三次元性が強く、切欠きより内側では二次元性が強い流れである。この範囲では発生した渦が消失することなく顕著に現れる。そして三次元性が最も強く現れる部分が境界面であり、渦はほとんど見られない。

さらに図-4における平均の発生時間および消失時間をグラフ化したものが図-5である。3ヶ所における周期特性を見ると、法肩付近では全ての断面において消失時間の分布が卓越している。中央付近では $Z=10.0\text{cm}$ の断面以外はほぼ等しいが、僅かに $Z=7.0\text{cm}$ の断面で発生周期が上回っている。堰付近では壁面側より切欠き内部の発生周期が卓越している。

以上の事柄を総括すると水路壁面側($Z=3.4\text{cm} \sim 7.0\text{cm}$)では中央付近に発生する渦が多く、切欠き内部の断面($Z=10.0\text{cm} \sim 15.0\text{cm}$)では堰付近に発生する渦が多いという結論が得られる。したがって壁面付近($Z=3.4\text{cm}$)の法面中央の渦から水路中央($Z=15.0\text{cm}$)の堰付近直下における強い吹き出しの渦により多くの掃流砂が運ばれ、上流側における巻上げの渦により放出されるという洗掘現象が想像される。

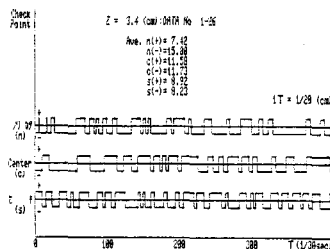


図-4 渦の周期特性

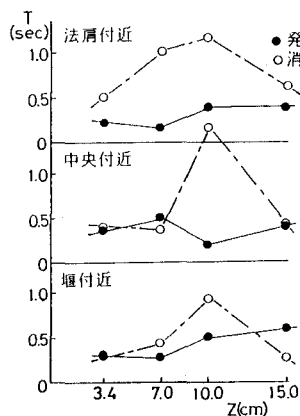


図-5 発生・消失の周期分布