

開水路粗度急変流の三次元的特性と浮遊砂の流送機構

京都大学防災研究所 正員 村本 嘉雄 京都大学防災研究所 正員 藤田 裕一郎
明石工業高等専門学校 正員 神田 佳一 阪 急 電 鉄 (株) 正員 〇大坪 高

1. はじめに：河川構造物周辺における流れの遷移や土砂の流送特性については、従来、その現象が非常に複雑なために内部機構の把握や的確な解析はあまり行われていない。本報では、護床工区間のモデルとして半球粗度路床の上流あるいは下流部に滑面を接続した非平衡乱流場において実験を行い、流れ特性と浮遊砂濃度分布の遷移機構および三次元性状について詳細に検討する。

2. 実験概要：幅40cm、深さ30cm、長さ15mの木製長方形断面水路の底面に、平均直径2.45cmのガラス玉を密に並べ、その下半分を石膏で充填した半球粗度（粗度係数 $n_R=0.02$ ）および表面ペイント仕上げの合板（ $n_S=0.01$ ）を置いて、水路の中央で粗度を変化させた。基面は半球の頂点とし、滑面の高さを一致させた。実験は表-1に示す2ケースで水面形を詳細に測定したのち、清水状態での流れ特性を3mm径の超小型プロペラ流速計を用いて測定した。つぎに、同様の条件のもとで、平均粒径0.1mm、比重2.74、平均沈降速度1.05cm/sの珪砂を水路の上流端からほぼ限界浮遊状態となるように全幅にわたって供給し、プロペラ流速計と光学濃度計を用いて流速と浮遊砂濃度の同時計測を行った。なお、水路内の座標系として、粗度変化点から流下方向にx軸、水路中心線から右岸方向にy軸、底面から鉛直上方にz軸をとった。

3. 水面形の遷移形態：図-1(a), (b)は粗度急変部周辺における水面形の測定結果を示したものである。(a)では粗度変化点から約20cmの区間で水深が急激に減少してほぼ限界水深となり、その後、 $x=50$ cmから波長約30cm、波高約0.75cmの定常波が発生している。この定常波は水路側壁から段波状に発達する三次元波であった。一方、(b)では滑面での堰上げ背水から粗面の等流水深へと滑らかに遷移しており、水面形は粗度急変に伴う局所的な影響をほとんど受けていないようである。

4. 流速分布：図-2(a), (b)は流速の鉛直分布の流下方向変化を示したものである。(a)では水面形と同様に流速分布の遷移もかなり複雑である。すなわち、 $x=0\sim 20$ cmの水深が急激に減少する区間では、上流部での流速勾配を保ちながら流速値は徐々に大きくなっている。

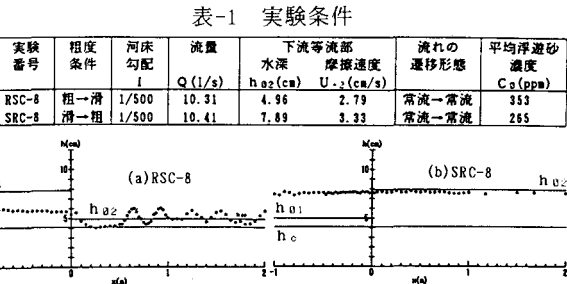


図-1 水面形の測定結果

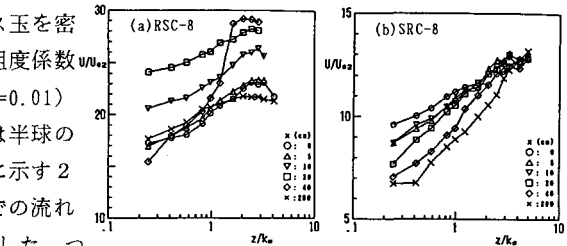


図-2 流速分布

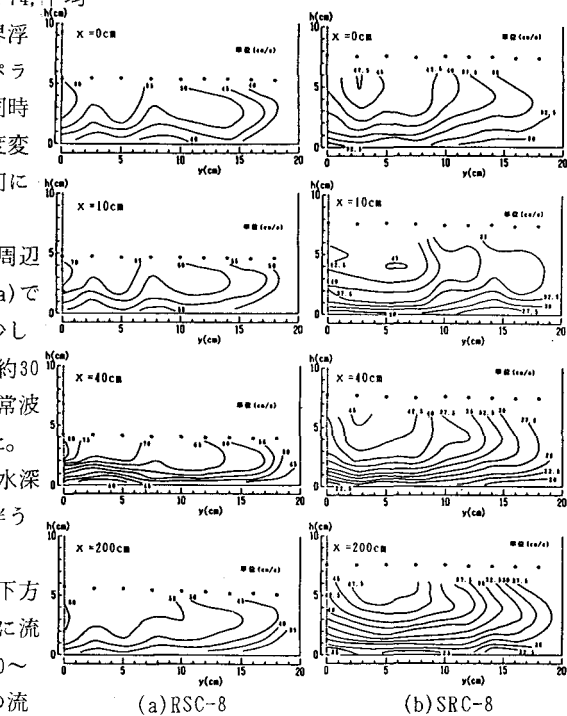


図-3 等流速線図

Yoshio MURAMOTO, Yuichiro FUJITA, Keiichi KANDA, Takashi OHTSUBO

そして、水深が最も小さくなる $x=40\text{cm}$ では流速勾配が非常に大きくなり、その後、定常波が現われると流速勾配が小さくなっていて、底面からの新たな境界層の発達には認められない。一方、(b)では流速分布は粗度の急変後、底面近傍から徐々に下流部滑面上での分布へと近づいており、底面から内部境界層の発達していく様子がうかがえる。つぎに、流速の三次元性状を検討するために、等流速線図を流下方向に並べて示したものが図-3(a), (b)である。(a)では $x=0\text{cm}$ と 10cm の断面の水路中央部で等流速線に大きなひずみが見られ、強い二次流が発生していると推定される。このひずみは滑面上を流下するに従って徐々に小さくなっており、従来言われているように滑面上よりも粗面上において顕著である二次流が、粗度変化後の遷移過程において徐々に弱くなっているものと考えられる。一方、(b)では側壁近くの領域を除けば流速の幅方向変化はあまり顕著でなく、水路中央部では二次流はほとんど発生していないようである。

5. 浮遊砂濃度分布: 図-4(a), (b)は浮遊砂濃度の鉛直分布の遷移特性を示したものであり、図中の点線は $z=0.3\text{cm}$ における実測値を基準濃度とし、 $\beta=2$ と仮定したときのラウス分布を表している。図から、乱れ特性と浮遊砂濃度の遷移特性が密接な関連性を持っていることがうかがえる。すなわち、(a)では乱れの減少とともに約 2m の遅れをもって水面付近の濃度が減少して滑面のラウス分布に近づき、逆に(b)では乱れが増加して浮遊砂が拡散され、(a)に比して同一深さでの濃度が大きい分布へと遷移している。

6. 浮遊砂量の幅方向変化: 図-5(a), (b)は浮遊砂の幅方向変化を各断面について示したものである。

(a)では粗面上で2本の縦筋があって、粗度急変後 $x=40\text{cm}$ からは側壁に沿って砂れんが発生し、この部分での浮遊砂量が大きくなっている。一方、(b)では滑面上ではほぼ全体を薄く砂れんが覆い、粗面上では水路中央部と両側壁から 6cm の位置に縦筋が発達して、浮遊砂量はこの縦筋上で大きくなっている。これらの砂れんや縦筋上では底面付近約 0.5cm の範囲で浮遊砂濃度が高くなるため、(a)では側壁に向かって浮遊砂量が増加する特異な分布を示し、(b)では縦筋上で局所的に浮遊砂量が大きくなるが、側壁に近づくにつれて減少する通常の分布を示している。

7. 全断面浮遊砂量: 図-6は全断面の浮遊砂量の流下方向変化を示したものである。RSC-8(粗→滑)では粗度急変後浮遊砂量が急激に減少し、約 1.5m で一定になるのに対して、SRC-8(滑→粗)では上・下流部ではほぼ同じ値となっている。前者の場合、粗度の急減に伴う乱れの減衰により浮遊砂の一部が沈降した結果であり、一方、後者の場合は増大する乱れによって上流部の給砂量が保持されているものと考えられ、ここでも浮遊砂の流送機構が乱れ挙動と密接に関連していることがうかがえる。しかしながら、浮遊砂の拡散係数の検討結果に明確な特徴を見いだすには至っていない。

8. おわりに: 以上、粗度の急変に伴う流れ特性と浮遊砂の遷移機構および三次元特性について検討し、これらの特徴ならびに両者の間の依存性を明らかにした。今後は、より実河川に即した移動床における洗掘・堆砂現象について検討してゆくつもりである。

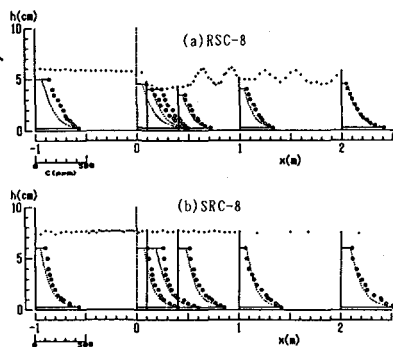


図-4 浮遊砂濃度の流下方向変化

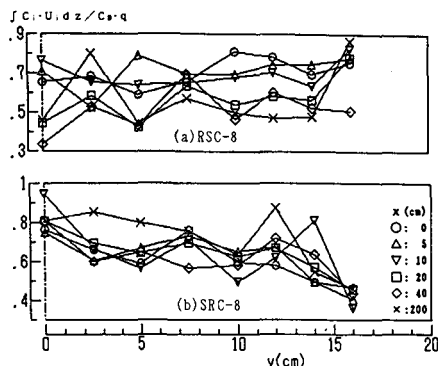


図-5 浮遊砂量の幅方向変化

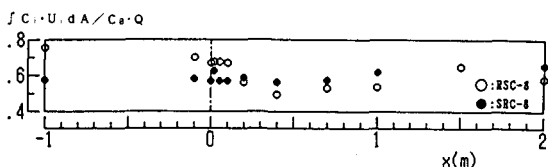


図-6 全断面浮遊砂量の流下方向変化