

II-150

開水路粗度急変部の浮遊砂の濃度変化

明石工業高等専門学校 正員 ○ 神田 佳一 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

1. はじめに：護床工周辺部等の開水路底面粗度急変部における流砂機構を解明する基礎研究として、底面粗度が滑面から粗面、あるいは粗面から滑面へと急変する流れ場において浮遊砂濃度の変化過程を詳細に測定し、乱れ特性との関連性を実験的に考察するとともに、 $k \sim \varepsilon$ 乱流モデルと拡散方程式を用いた数値計算法の適合性を検討した。実験及び計算法は既報¹⁾と同様であり、実験条件を表-1に示す。

2. 浮遊砂の濃度分布：図-

表-1 実験条件

1 (a)~(e)は、光学濃度計で測定した浮遊砂濃度 c の鉛直分布の流下方向変化を両対数紙上にプロットしたものである。ここで、 h は水深、 x は粗度変化点からの流下

実験番号	粗度条件	河床勾配 I	流量 Q (l/s)	下流部 等流水深 h_2 (cm)	下流部等流 摩擦速度 U_{*2} (cm/s)	平均浮遊砂 濃度 C (ppm)	流れの 遷移形態
SR-1c	滑→粗	1/500	4.00	3.98	2.55	340	常流→常流
SR-2c	"	1/100	4.26	2.52	4.95	680	射流→常流
SR-3c	"	1/50	5.44	2.34	6.41	1020	射流→射流
RS-1c	粗→滑	1/500	3.75	2.54	2.08	380	常流→常流
RS-2c	"	1/100	5.07	1.93	4.15	580	常流→射流

距離、 z は粗度基面からの鉛直距離、 c_0 は $z=a$ ($a=3\text{mm}$) における基準濃度である。底面粗度が滑面(木製ペンキ仕上げ、粗度係数 $n=0.01$)から粗面(半球粗度、 $n=0.02$)へ変化する(a)~(c)では、浮遊粒子(沈降速度 $w_s=7\text{mm/s}$)が粗面上の強い乱れによって上方に拡散されるので、粗度変化点より流下するに従って濃度分布は一様分布に近づく。一方、粗面から滑面の場合((d)及び(e))には、乱れ強度の減衰に伴って粒子は下方へ移動し、濃度勾配が大きくなる。濃度分布がほぼ平衡状態に達する $x=100\text{cm}$ の断面では、全各実験ケースともにカルマン定数 $\kappa=0.4$ 、渦動拡散係数と渦動粘性係数の比 $\beta=2$ としたときのラウス式(図中の破線)とほぼ一致している。Run SR-1C、RS-1Cの濃度分布の変化について、 $k \sim \varepsilon$ 乱流モデルと拡散方程式による数値計算結果($\beta=2$)を実験結果と比較したものが図-2 (a)、(b)である。計算結果は、水面近傍でやや値が小さいものの実験結果とよく適合しており、粗度急変部における浮遊砂濃度分布の非平衡特性をある程度予測できることがわかる。

3. 浮遊砂濃度の変動特性：図-3 (a)~(e)は、 c 及び鉛直方向流速 w の変動成分の相関量の平均値 $c'w'$ の流下方向変化を示したものである。 $c'w'$ は、前報²⁾で述べた鉛直方向の乱れ強度の分布とほぼ同じ特性を示している。即ち、 $c'w'$ の値は、粗度変化点直後に底面近傍で急増(滑→粗)、

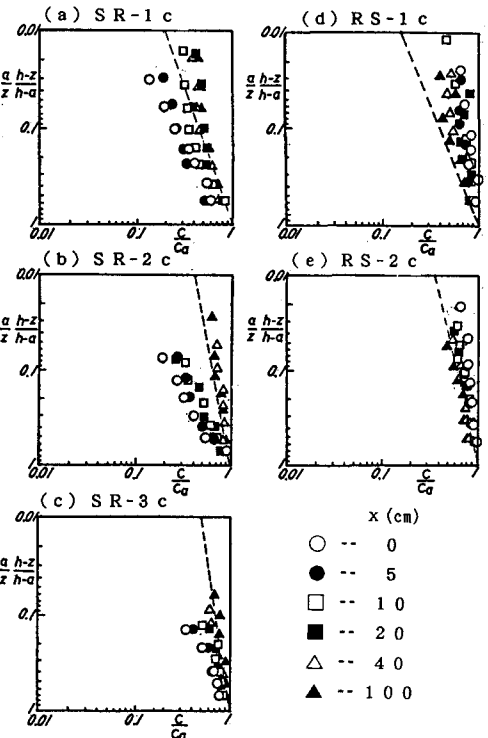


図-1 浮遊砂濃度の鉛直分布

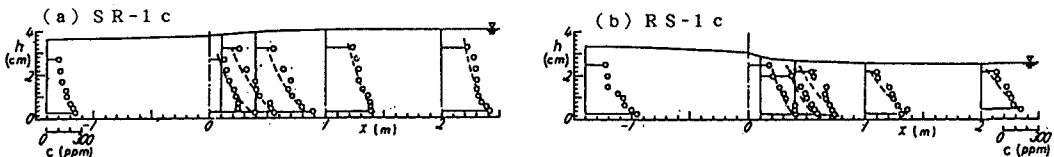


図-2 浮遊砂濃度分布の実験値(O)と計算値(---)の比較

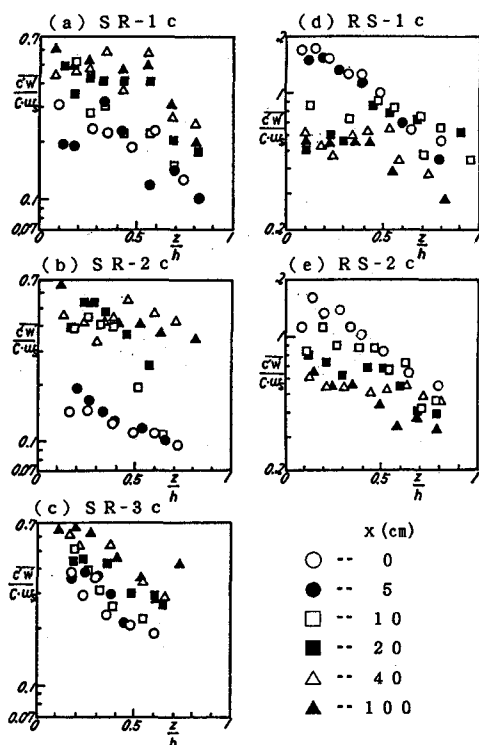


図-3 $c'w'$ の鉛直分布

または急減(粗→滑)し、流下するに従ってそれが上方へ伝播している。この底面から発達する遷移領域は、粗度変化後の内部境界層の発達²⁾とほぼ対応しており、浮遊粒子の挙動が流れの乱れ構造と密接に関係していることが明らかである。

4. 渦動拡散係数: 図-4 (a)～(e)に濃度分布より算定した渦動拡散係数 ν_d の鉛直分布の変化を示す。また、 ν_d と流速分布の実験値より求めた

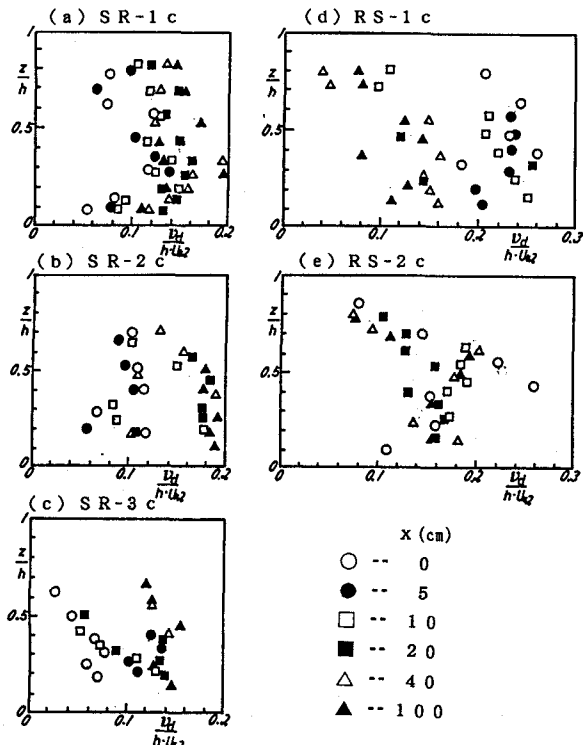


図-4 渦動拡散係数の鉛直分布

渦動粘性係数 ν_t との比 β の分布を示せば図-5 (a), (b)のようである。両図より、以下のことがうかがえる。
①各実験ケースとも粗度変化点及び平衡状態となる $x=100\text{cm}$ の位置での渦動拡散係数は、それぞれ上流粗度及び下流粗度上の乱れ強さに対応した放物線に近い分布形をなしているが、その間の遷移はかなり不規則であって、実験ケースによっても異なっており、今後データの蓄積及び濃度測定精度の向上を踏まえたより詳細な検討が必要である。
② β は、鉛直方向にかなりばらついているが、流下方向に系統的な変化は見られず、その平均値は約2である。この値は、下流粗度上の平衡浮遊砂分布からラウス式を適用して得られた値と一致しており、非平衡乱流場においてもほぼレイノルズの仮説が成り立つものと思われる。

5. おわりに: 本報では、底面粗度急変部における浮遊粒子の乱流鉛直拡散過程に着目して、濃度分布及び拡散係数の遷移特性について検討した。今後さらに側壁の効果による3次元特性及び掃流砂も含めた粗度急変部近傍の流砂の堆積、洗掘機構について検討していきたい。最後に、実験とその整理に尽力頂いた京都大学学生（現在、大阪府職員）矢田哲郎君に謝意を表します。

【参考文献】 1) 神田・村本・藤田：第33回水理講演会論文集、1989、pp. 499-504

2) 神田・村本・藤田：第43回年次講演会概要集、1988、pp. 402-403