

複断面水路の浮遊砂の濃度分布について

京都大学防災研究所

正員 道上 正規

京都大学大学院

学生員 伊丹 正紀

1. まえがき； 複断面水路の流れについては多くの研究があるが，その流れに浮遊砂が含まれる場合については，ほとんど研究されていない。そこで，本実験研究では低水路と高水路との境界部分で形成される渦によ，て，水路横断方向の浮遊砂濃度分布がどの様に影響されるかを，主に実験的に研究した。

2. 実験概要； 全長 20 m，幅 50 cm の水路で，兩岸に高さ 3 cm の高水路を設置した。

表面はモルタル仕上げである。流速及び濃度測定を，同一断面の片側だけについて行な，た。

使用した砂は，Sand A： $d_{50} = 0.019 \text{ mm}$

沈降速度 $w_0 = 0.0219 \text{ cm/sec}$ ，Sand B： $d_{50} = 0.15 \text{ mm}$ ， $w_0 =$

1.34 cm/sec である。CASE 1 及び CASE 2 は固定床

で，また CASE 3 及び 4 は低水路に高さ 1 cm の Sand B

を敷いて移動床として実験を行な，た。概要は表-1 に

示した通りである。

3. 実験結果とその考察； 図-1 に示した様に，複断面

水路の流れの特徴が，低水路と高水路との境界部分での

等流速線のむきにより，て顕著に現われている。横方向

の濃度分布は 図-2，3，4 に示す様に，低水路と高水路

との境界 ($y=0$) を境にして，高水路側が漸次減少して

いるのが特徴的である。なお，平均濃度は鉛直方向に測

った 2 点の濃度の相加平均とした。図-5 には，平均流

速の横方向分布を示した。

4. 濃度分布の理論的考察； x を流れ方向， y を横断

方向， z を鉛直方向にと，て，濃度分布式の時間平均を

とすると， $\frac{\partial}{\partial y}(\bar{u}\bar{C}) + \frac{\partial}{\partial z}(\bar{w}\bar{C}) = \frac{\partial}{\partial y}(\bar{u}\frac{\partial \bar{C}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\bar{u}\frac{\partial \bar{C}}{\partial z}) + w_0 \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} \dots (1)$

となる。ただし，本実験の場合 $\frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = 0$ ， $\frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = 0$ であるの

で，その項は省略している。 $\bar{E}_y$ ， $\bar{E}_z$ は乱流拡散係数であ

る。(1)式を z 方向に平均して次式を得る。

$$D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} - \frac{k}{h} w_0 \bar{C} = 0 \quad (D = D_y + \bar{E}_y) \dots (2)$$

ここに， k は合田によ，て導入されたもので， $z=0$ での

境界条件式 $\bar{E}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} + w_0 \bar{C} = k w_0 \bar{C}$ より得られる。

$k=0$ のとき平衡条件式となる。また， $\bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} = -D_y \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2}$

より決定される D_y は移流分散係数である。以上に用いら

実験 ケース	使用砂	低水路 水深	高水路 水深	流量	底勾配	w_0/u_*
		H (cm)	h (cm)	Q (l/sec)	I ₀	
CASE 1	Sand A	8.16	5.16	14.54	1/600	0.0079
CASE 2	Sand B	8.16	5.16	14.54	1/600	0.484
CASE 3	Sand B	5.55	3.35	13.31	1/200	0.347
CASE 4	Sand B	7.39	5.59	23.45	1/200	0.264

表-1 実験ケース

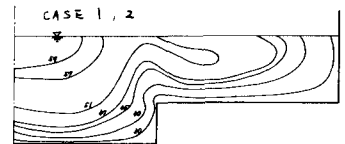


図-1 等流速線図 (CASE 1, 2)

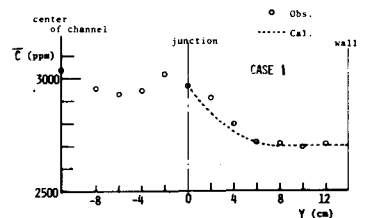


図-2 平均濃度の横方向分布と計算値の比較 (CASE 1)

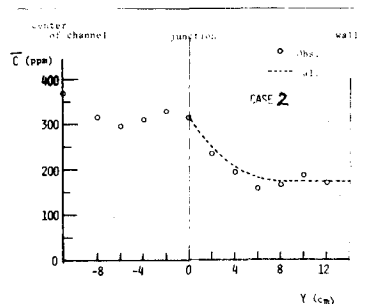


図-3 平均濃度の横方向分布と計算値の比較 (CASE 2)

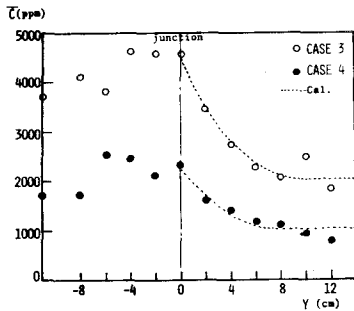


図-4 平均濃度の横方向分布と計算値の比較 (CASE 3, 4)

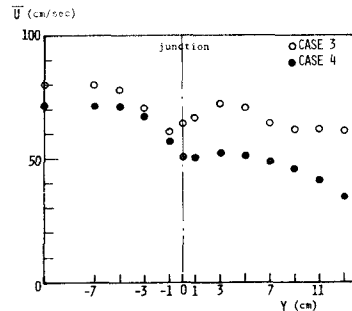


図-5 鉛直方向に平均した流速 $\bar{U}$ の横方向分布 (CASE 3, 4)

れた $\sim$ は Y 方向の平均値を示し、添字 d はこれからの変動分を示す。(2) 式を境界条件: $y=0; \bar{C}=C_a, y=B; D \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}=0$ ($B \leq y \leq 14$ では $\bar{C}=-$ 定とる) で解いて、その後、各 Y に入るように D の値を求めた。その値として Sand A に対して 0.67, Sand B に対して 0.4 を採用し、 D の値を求めると次の様になる。

CASE 1 (Sand A); $D=0.071 u_* h$

CASE 2 (Sand B); $D=0.370 u_* h$

$\Sigma y = 0.067 u_* h$ とすると、 $D=D_y + \Sigma y$ から、沈降速度の小さい Sand A に対しては移流の効果がほとんどみられず、一方 Sand B に対しては鉛直方向に顕著な濃度勾配が形成される結果移流による D_y が無視できなくな、てくる。CASE 3, 4 に対しては、それぞれ $D=0.424 u_* h$ $D=0.117 u_* h$ であつた。つまり、移動床の実験においても同様の傾向がうかがえる。

5. 二次流の効果の算定; 二次流の影響は、 $\bar{v}_d C_d = -D_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}$ で表わされる D_y によ、て特徴づけられる。二次流の大きさを図-6 の様に仮定し、また鉛直方向には平衡状態の指数分布形の濃度分布式を仮定した。その結果、CASE 1; $D_y = 0.368 \beta u_* h$, CASE 2; $D_y = 2.517 \beta u_* h$, CASE 3; $D_y = 3.973 \beta u_* h$, CASE 4; $D_y = 3.213 \beta u_* h$ となつた。 D_y の値は β を一定とすると、Sand B の方が Sand A より 1 オーダ- 大きくなり移流の効果が大きいことがわかる。なお、量的には β の値は 0.1 程度であらう。 $\bar{v}_d C_d / C_0 u_*$ (C_0 は河床での濃度) と w_0 / u_* との関係は、図-7 に示した通りで w_0 / u_* が 0.2 程度るとき、二次流の効果は最大となる様である。

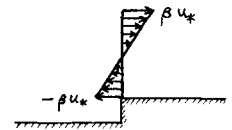


図-6 二次流の仮定

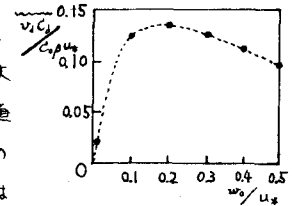


図-7 $\bar{v}_d C_d / C_0 u_*$ と w_0 / u_* の関係

6. 浮遊砂量; 計算値としては、境界部分と河床と同じ粗度を持つ、た壁で置き換えた場合のものを使用した。横断面水路の浮遊砂量は、同一水深の半断面として計算した値よりも大きくなっている。これは特に高水敷上での浮遊砂輸送能力が非常に大きいことによるものである。

(参考文献) 合田, “上水浄化における水理学上の基礎的諸問題” 昭和31年, 学位論文。

浮遊砂量 実験 7-ス	実 験 値			計 算 値			③ ⑥	② ⑤	① ④
	低水路 ($\%/\text{sec}$) ①	高水敷 ($\%/\text{sec}$) ②	全砂量 ($\%/\text{sec}$) ③	低水路 ($\%/\text{sec}$) ④	高水敷 ($\%/\text{sec}$) ⑤	全砂量 ($\%/\text{sec}$) ⑥			
CASE 1	26.0	15.6	41.6	22.4	10.5	32.9	1.27	1.49	1.16
CASE 2	2.8	1.1	3.9	2.5	0.7	3.2	1.22	1.57	1.12
CASE 3	20.2	6.1	26.4	16.1	3.7	19.8	1.33	1.64	1.26
CASE 4	59.7	26.0	85.6	52.8	16.3	69.0	1.24	1.60	1.13

表-2 浮遊砂量