

河床波上の流れにおける浮遊砂濃度に関する一考察

徳島大学 正員 杉尾 捨三郎
同 〇岡部 健士
学生員 石川 元一

1. まえがき: 平坦路床上の浮遊砂濃度分布は Lane-Kalinske あるいは Rouse の理論式により表現することが可能であるが、河床波上の流れにおける分布特性に対して両式を適用するにはかなり問題がある。その理由として、近年、河床波上の流れにおける粒子輸送は単に乱れによるのではなく、ハク離渦の bursting や路床形状の三次元性に帰因する強い上昇流の効果が大きいことが指摘され、このような大規模擾乱と浮遊砂との関連に着目した研究が行われている。^{2),3)} 本報告は、現象考察の基礎資料とするために著者らが実施した実験の成果を示すとともに、若干の考察を行うものである。

2. 実験概要: 実験には、長さ 17m、幅 0.3m、深さ 0.25m の木製・片側透明アクリル張り矩形水路を用いた。試験砂は、シリカサンド 7 号を 0.149mm ~ 0.177mm の間で篩分けした一様砂であり、その平均沈降速度は 2cm/s である。水路には、まず砂レンの着しい発達を抑制するために荒目の人工芝（アストターフ、芝高 20mm）を敷き、この上に砂面が芝高を数 mm 隠すよう平坦に試験砂を敷き詰め、つづいて一定流量を通水し、路床状態が安定するのを待ってから、平衡領域と思われる区間において採水した。採水には 20mm × 2mm の開口部を有するサイフォンを、4mm の間隔（中心間隔）で上下に 10 本連絡したものをを用い、鉛直断面内の多点で同時に採水した。

ところで砂レン上の浮遊砂濃度は流れの方向にもかなり大きく変化することが知られている。図-1 は、砂レンの crest よりわずかに高い一定点に固定した光学式濃度計とビトー管によって、砂レンの通過に伴う濃度と流速の変化を記録したものの一例であるが、流速だけでなく濃度もかなり大きく変化することがわかる。したがって、いかなるものをもって流れの代表断面内濃度とするかによって相違した結論に到達する恐れがある。

著者らはサイフォンを 1 ~ 2 波長間において連続的に等速で動かしながら採水した。したがって、以下において紹介する濃度分布は、図-1 のように変化する濃度の平均値の高さによる変化である。なお、実験は 4 case について行ったが、それぞれの基本的な水理量は表-1 のとおりである。

3. 実験結果ならびに考察: 流れを詳細に観察していると、平坦路床と砂レン路床の相違がよくわかる。すなわち、後者では砂粒の舞上りは re-attachment point および離れた流れが砂レンの背面または側面に衝突する部分でとくに顕著であり、このような箇所では洗掘された多量の砂粒子は、衝突による上昇流に乗って一挙に水面まで運ばれる。このあと、ほとんどの粒子は 1 ~ 2 波長間で急速に沈降するので、流れを側方

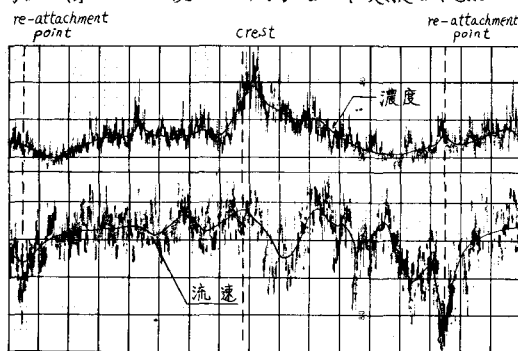


図-1 砂レンの通過による濃度と流速の変化例

表-1
実験諸元

Run No.	流量 (l/s)	平均水深 (cm)	水面勾配	摩擦速度 (cm/s)	砂レン高さ (cm)	砂レン長さ (cm)	基準濃度 (p.p.m)	沈降速度 (cm/s)
1	2.00	3.01	0.00357	2.94	1.11	11.36	62.3	2.0
2	3.00	3.68	0.00358	3.31	1.05	12.25	168.6	2.0
3	4.05	4.26	0.00390	3.72	1.34	13.80	209.5	2.0
4	5.12	4.88	0.00344	3.76	1.53	11.36	418.0	2.0

から見ると浮遊砂が橋模様を呈しているように思われる。図-2は、相対高さ $z/\bar{h}$ ($\bar{h}$ = 平均水深, z = 平均路床からの高さ) と相対濃度 C/C_Δ (C = z の位置の濃度, C_Δ = 砂レンの crest の高さの濃度) の関係を片対数紙上に描いたものである。Run 4 は、図上で直線的な分布形を呈しているが、他の 3 case はわずかに上に凸である。

さて、平衡状態にある浮遊砂の濃度の基礎式は次式のように表わされる。

$$\varepsilon \frac{\partial C}{\partial z} + w_0 C = 0 \quad (1)$$

ここに、 ε = 砂粒の拡散係数, w_0 = 沈降速度。平坦路床においては、 ε は運動量の拡散係数 ε_t に比例するとみなして

$$\varepsilon = \beta \varepsilon_t = \beta \kappa u_* z (1 - z/\bar{h}) \quad (2)$$

のように表示される。ここに、 β = 比例定数, κ = Kármán 定数であり、 $\beta \approx 1.2$ としたときに実験結果をかなり良好に説明することができる¹⁾。

図-3は、(1)式に基づいて実測資料より ε を決定し、(2)式に従って β を算定した結果をとりまとめたものである。図中の破線は $\beta = 1.2$ を表すが、描点群はこれよりかなり右方に分布し平均的には $\beta = 2 \sim 2.2$ 程度になっている。したがって、(2)式で $\beta = 1.2$ として算定される ε によって決定される濃度分布は、図-2のものより2倍程度大きい濃度勾配を呈することになる。

β の値が大きくなる原因は、先に述べたような上昇流による粒子の移流にあると考える。今後の課題はこのような移流の効果もいかにして浮遊砂濃度の解析に取り入れるかであるが、上昇流の生起が間欠的で、しかもその運動機構が極めて複雑な点、また

上昇流の存在によって流れの全体としての乱れ特性も大きく変化させられることなどを考えると、解析理論の進展は実に多難であろうと推察される。したがって、工学的立場からはかなり単純化した取扱いをせねばなるまい。たとえば、乱流拡散と上昇流による移流とが互いに独立した現象であるとすれば、移流により流れの中の路床に平行な単位面積の面要素を通して、平均的にはある濃度 $\bar{C}$ とある速度 $\bar{v}$ で決定される flux が付加されるのであるから、(1)式の代りに $\varepsilon \frac{\partial C}{\partial z} + w_0 C - \bar{v} \bar{C} = 0 \quad (3)$ のような基礎式を採用することにし、 ε は(2)式と $\beta \approx 1.2$ をそのまま用いて算定する——といった方針が考えられる。これがどれほどの有用性をもつかについては不明であるが、今後多くの信頼できる実験資料を集積すれば、 $\bar{v}$ と $\bar{C}$ をいくつかの基本的な水理量で表示することも可能になるのではないかと思われる。

4. あとがき： 以上砂レン路床上の浮遊砂の濃度分布について、著者らの実験資料に基づいた2、3の考察を行った。最後に述べた(3)式の妥当性については、現在検討中であるので、講演時に報告するつもりである。

【参考文献】 1) 例えば 池田；砂レン上の浮遊砂の濃度分布について、第34回年講、II-79, 1979。

2) Jackson; Sedimentological and Fluid-dynamic Implications of the Turbulent Bursting Phenomena in Geophysical Flows, J.F.M., Vol. 77, 1976。

3) 板倉・岸；河床波上の Bursting と浮遊砂に関する研究、第34回年講、II-149, 1979。

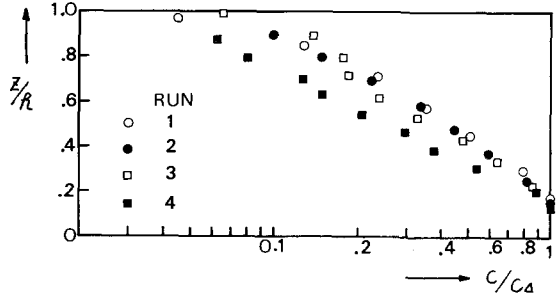


図-2 濃度分布の無次元表示

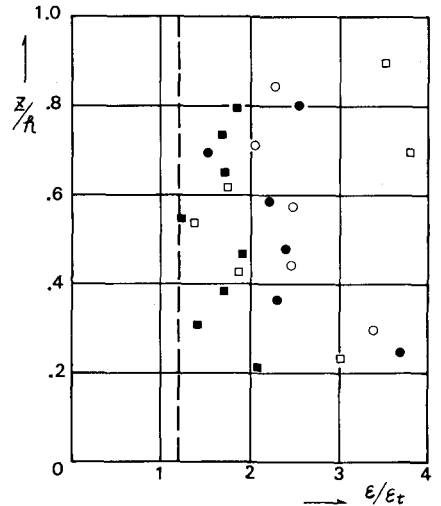


図-3 実験値としての $\varepsilon/\varepsilon_t$