

II-64 微細粒子が浮遊砂に及ぼす影響について

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 田中 健二

1. 緒言

洪水時における河川の浮遊形式の流砂量を測定したとき、この流砂量の中で wash load の占める割合は非常に大きい。wash load の量を推定することは現在非常に困難であるが、もしこうした wash load の量を与えられた場合、これが、いわゆる浮遊砂に対して何ら影響を及ぼさないものであろうかという疑問が生じる。著者らはこうした疑問を明らかにするために、河川の wash load になるような粒径の微細粒子を含む流れの特性およびこのような微細粒子を含む流体中の浮遊砂の濃度分布特性などを測定することによって、微細粒子を含む流れが浮遊砂にどのような影響を与えるかを実験的に考察した結果について、ここに報告する。

2. 実験装置と方法

実験水路は幅20cm、長さ20mの循環式水路で、測定はすべて水路中央部でなされた。浮遊砂濃度は $2 \times 30 \text{ mm}$ の長方形断面の開口部のサイフォン式サンアラを用いて測定され、一方流速分布は外径3mmで内径2mmのピット管を差圧計につないで測定された。微細粒子を含む流体の見かけ粘性係数の測定は毛细管粘度計を用いてなされた。

3. 実験結果と考察

(1) 微細粒子を含む流体の粘度 粒子を含む流体では、見かけ粘性係数が増大することは従来実験的にも認められ、また周知のEinsteinの理論によって説明されている。しかしながら粘土やシルトのような土粒子を含む流体では、大同によって指摘されたように、Einsteinの理論ではとうてい説明できない程、粘性が増加する。森・乙竹らの考え方を発展させて、大同は粘土やシルトを含む流体の粘性を次式のように表わした。

$$\frac{\mu_c}{\mu_0} = 1 + \frac{3}{(1/C_s - 1/0.52)} \quad (1)$$

ここに、 μ_c , μ_0 : それぞれ濃度 C (密積濃度) の見かけ粘性係数および水の粘性係数、 C_s : 比例係数である。いま、 $C_s = 2$ と仮定して、(1)式と測定値とを比較した結果が図-2に示されている。 C_s の値を2とするのは sandC に対しては若干大きすぎるようであるが、大戸川流域の山腹からサンプリングした 53μ 以下のシルトに対しては比較的よく一致

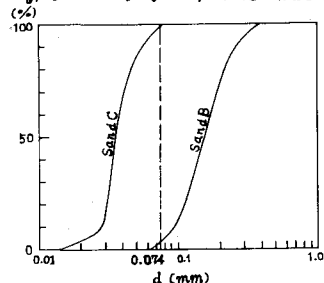


図-1 使用砂の粒度分布

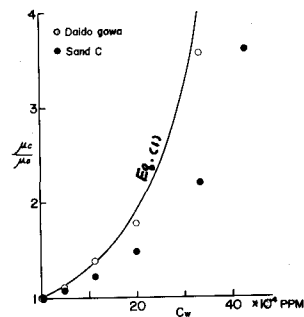


図-2 比粘度と濃度

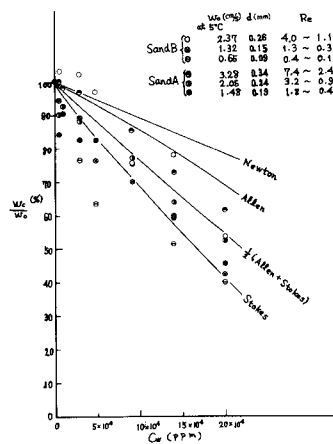


図-3 沈降比と濃度

表 - 1 実験条件ならびに結果の要約

RUN	I	H (cm)	U (cm/s)	C _w (ppm)	C _s (ppm)	K	T °C	SAND	BED
9	0.00256	6.95	55.0	2,100	9,500	0.33	20.0	E	flat
10	"	6.88	56.0	7,300	6,100	0.27	18.0	B,C	
11	"	6.75	59.0	13,000	7,100	0.33	23.0	"	
12	"	6.77	63.0	55,000	5,200	0.27	18.0	"	
13	0.00652	3.58	83.7	1,500	22,000	0.28	22.0	B	smooth rigid
14	"	"	84.4	8,600	20,000	0.28	23.0	B,C	
15	"	"	84.1	17,000	—	0.24	17.0	"	
16	"	"	81.7	56,000	26,000	0.28	19.0	"	
17	"	"	84.6	200,000	37,000	0.26	19.0	"	
18	0.00652	3.58	77.7	0	0	0.40	—	"	"
19	0.00652	3.58	76.4	11,000	0	0.40	20.5	C	"
20	"	"	77.6	64,000	0	0.38	22.0	"	
21	"	"	84.6	230,000	0	0.37	23.0	"	
22	"	"	84.3	435,000	0	0.38	28.0	"	

している。ここでは、 $C_s = 2$ として(1)式に基づいて計算された見かけ粘性係数を用いて沈降速度を計算した結果と sandC の濃度を変えて沈降速度を測定した結果の比較が図-3 に示してある。実験値はかなりばらついているが、平均的にはほぼこのような補正によって沈降速度を計算することができるように思われる。

(2) 微細粒子を含む流体中の浮遊砂の濃度分布 従来浮遊砂の濃度分布式としては、次式が用いられている。

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{h-z}{z} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^Z \quad (2)$$

ここに、 C_a : 基準高さ a の濃度、 $Z = w_0 / K u_m$ 、 w_0 : 静水中の沈降速度である。上式は混合砂に対しては、粒径別に沈降速度を与えることによって成立するとされている。固定床滑面水路で、 u_m をほぼ一定に保って sandB が河床に堆積しない限界状態まで給砂し、かつ sandC を付加した状態の濃度分布の測定結果が数例、図-4 に示されている。またこのような実験の水理量や sandC の濃度については表-1 に要約してある。図-4 において、Run 14 では sandC の濃度は 8,600 ppm、Run 17 では 200,000 ppm であり、sandC の濃度の増加によって、濃度分布形が大きく変化していることがわかる。また粒径別の濃度分布は(2)式の形で表わされることが図から理解されよう。

著者らは、微細粒子を含む流れでは u_m を一定にした場合、微細粒子によって K が減少し、したがって濃度分布形における Z (濃度分布のこう配から決定される) は大きくなるであろうと予想したが、これに反して、図-4 の結果は Z が大幅に sandC の濃度とともに減少していることを示している。一方、底面付近の濃度 C_a は sandC の濃度 C_w の増加によってほとんど変化を示さなかつたので、断面平均

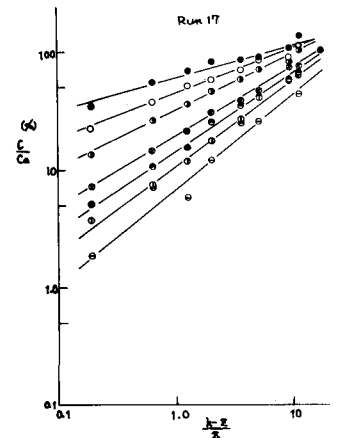
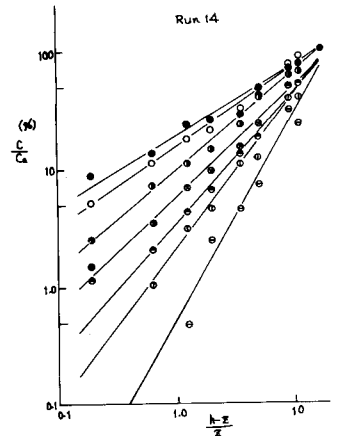


図-4 濃度分布

濃度は増加する傾向がみられた。

(表-1 のCsの欄参照) ここに示した実験例は固定床水路におけるものである。sandBを水路に敷いた移動床水路においても、これと同様の実験を行なったが、sand wavesが発生するので、この影響によって濃度分布の測定結果の誤差が大きく、その分布形を詳細に議論することができなかった。

図-5は各実験ケースの流速分布形を示したものであるが、流速分布はほぼ対数則で表わされ、とくにsandCのみの場合は、かなり

濃度が高いにもかかわらず、対数則の成立していることがわかる。

図-5から求められたカルマン定数を k_1 として、これを用いて計算した Z の値と、濃度分布から得られた Z_1 とを比較したものが、図-6である。この図における補正前とは、従来のように清水中の沈降速度を用いて Z を計算したものであり、一方補正後とは、(1)式に基づいて粘性を補正した沈降速度を用いて計算したものである。これから明らかなように、清水中の沈降速度を用いたのでは、実験値のばらつきは非常に大きいが、sandCによる粘性の変化を考慮に入れた沈降速度を用いれば、 $Z \approx 1.8 Z_1$ となって、ばらつきも小さくなることわかる。

以上のことから、微細粒子を含む流れにおいては、微細粒子の存在が粘性を変化させ、これが浮遊砂の沈降速度に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

(3) 微細粒子を含む流れにおけるカルマン定数の変化 浮遊砂を含む流れの濃度の増加によるカルマン定数の変化は多く研究されており、たとえば志村²⁾によつては次式が導かれている。

$$\frac{1}{k} - \frac{1}{k_0} = \frac{\beta' (p_s - p_w) 8 C w_0 (h - a)}{p_m u_*^3 (\ln \frac{h}{a} - 1)} \quad (3)$$

ここに、 β' : 実験定数で4.8、 p_s , p_w および p_m : それぞれ、砂、水および混相流体の密度、 a : 粘性底層の厚さである。

図-5に示したように、流速分布は対数則で表わされるので、(3)式と実験値からそれぞれ求めた、 k と k_1 とを比較することができると考えられる。それを、沈降速度を補正しない場合と補正した場合

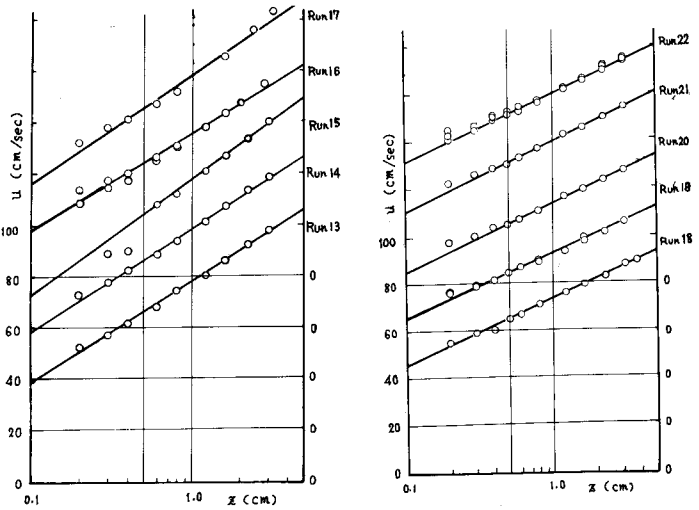


図-5 流速分布

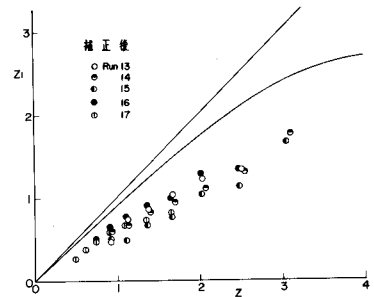
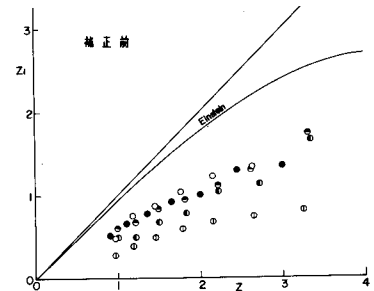


図-6 Z_1 と Z

のそれぞれについて示したのが図-7であり、ここでも微細粒子による粘性の変化を考慮に入れた方がよく一致する。なお、微細粒子のみを浮遊させる流れの流速分布(図-5 Run 18~22)において、微細粒子濃度の増加(435,000ppm²)によって、カルマン定数がほとんど変化していないことは、注目すべき現象であると思われる。

以上、微細粒子を含む流れでは、微細粒子は流体の性質を変化させるのに寄与しており、したがって浮遊砂の沈降速度に大きな影響を与えるので、このことを考慮に入れて(3)式を用いるならば、浮遊砂を含む流れのカルマン定数を推定することができると考えられる。

4. 結論

微細粒子(シルト)を含む流れの中の浮遊砂の特性および流速分布について、定量的に考察してきたが、微細粒子濃度の増加にともなって流体の粘度が増加し、浮遊砂の沈降速度に大きな影響を与えること、および、従来提案されている浮遊砂を含む流れのカルマン定数の変化を表わす式においてもこのような影響を考慮する必要があることが、明らかにされた。また、微細粒子を含む流れの乱流構造については、大きく粘性の変化が現われるので、今後、信頼のおける測定が必要であろう。

浮遊現象は、これによって輸送されている現象であるので、粘性の変化の影響は無視しがたく、wash loadの量および水深の測定は、河川の浮遊砂観測を行なうにあたって、欠くことのできない事項であると考えられる。

最後に、本研究を遂行するにあたって終始御指導をいただいた東大名誉教授矢野勝正先生に感謝するとともに、有益な助言をいただいた芦田和男教授ならびに大同大学助教授に感謝致します。

参考文献

- 1) 大同 淳之; 粘土を微量に含む流体の粘度と降伏値, 第15回水理講演会講演集, 1971.
- 2) 志村 博康; 浮遊砂を有する水流の諸特性について, 土木学会論文集, 第46号, 1957.

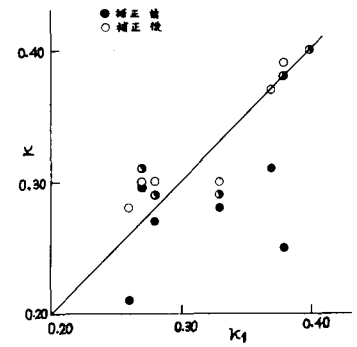


図-7 Kの計算値と実験値