

九州大学工学部 学生員 荒尾 慎司
 同 上 正員 栗谷 陽一
 同 上 正員 楠田 哲也

1. はじめに

軟弱な底泥上で巻き上げによる浮遊粒子を含む流れにおいて、浮遊粒子や底泥の可撓性のために流体自体の構造が変化するとすれば、その水理学的挙動を把握することは極めて重要なことである。河川河口部や港湾の底部には汚泥が堆積しており、汚泥が流体に及ぼす水理学的特性について解明する必要がある。粒子や高分子物質を含んだ流体の流れの摩擦損失に関する研究はかなり行なわれている。中立浮遊粒子が存在すると、主流のカルマン定数が減少し、水路としての抵抗係数が減少するとして日野の研究や、浮流砂を混えた流れは安定な密度勾配を形成するため、乱流構造が変化し、浮流砂濃度の増加とともに、やはりカルマン定数が減少するとして橋の研究等がある。他に、水道管内で粘土懸濁液を流せば、その時の摩擦損失係数が清水のものに比べて大幅に減少するとしてZandiの研究もある。可撓性境界上の流れにおいても、抵抗係数の減少が観察されている。

2. 円管を用いた懸濁液の流れ

水平長22m、内径25mmの硬質塩化ビニール管を用いて行なった摩擦損失係数 f の測定結果の一例を、図-1、2に示す。図-1は懸濁物質としてカオリン(ASP600)を、図-2は粘性土を用いたものである。これらの試料の粒度分布は図-3に示す。濃度を0mg/lから11000mg/lまで変化させたが、いずれも濃度によらず摩擦損失係数はレイノルズ数の関数として、一意的に表現できるようなものである。Moody線図により与えられている摩擦損失係数とレイノルズ数の関係よりもやや大きめに与えているのは、装置特性と思われる。この実験においては、Zandiの示すような摩擦損失係数の減少は観察されなかった。

3. 開水路を用いた懸濁液の流れ

実験に用いた水路の概略を図-4に示す。水路はアクリル製の可変勾配循環水路で、長さ11.5m、巾0.30m、上流部にはアクリル製の整流板、それに粒径2-3mmの砂粒子を敷き詰めた助走区間、中央部には10mの汚泥を敷く区間、下流端には水深調節用の可動せきを設けた。水面勾配の測定には、静圧管及びチャックゲージを用いた。この時の静圧管は水路下流端から1.4m及び3.6mの位置に設けた。流量は下流タンク内部の三角せきにより測定した。摩擦速度は $u_* = \sqrt{gRI}$ (g :重力加速度、 R :径深、 I :水面勾配)により求めた。但し、懸濁液を含んだ流れの実験に関しては、ハッドタンク内部における粒子の沈降を防ぐ意味で、ハッドタンクは用いずに、直接循環パイプと上流タンクを接続している。図-5に

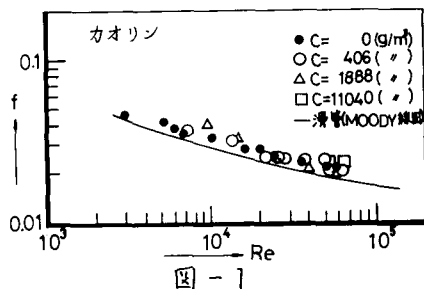


図-1

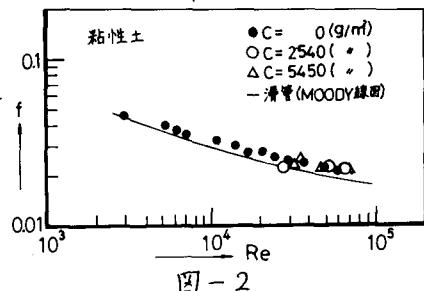


図-2

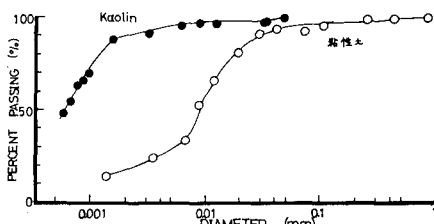


図-3

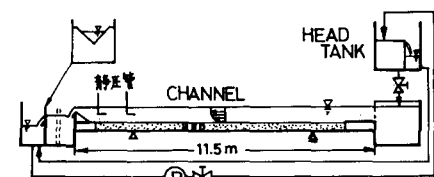


図-4

レイノルズ数(代表長さは径深) / 1000の結果を示す。濃度は0 mg/l から 5500 mg/l まで変化させたが、濃度が高くなるほど U_{*c} が増加する傾向にあり、レイノルズ数 3000 の場合も同様の結果が得られている。この実験の場合、鉛直方向の濃度分布は一様であった。このため Rouse の式に基づいて濃度分布を求めたところ、底面上 0.01 μ m から表面近くまで 0.1% 以上の濃度変化は生じなかった。ただ高濃度 (5500 mg/l) の場合には、底面上に粘土の堆積がやや見受けられた。 U_{*c} の増加がこの粘土の堆積に起因するかもしれないが明らかではない。

4. 粘土床の上の流れ

実験は、図-4 に示す装置により行なった。その実験条件について表-7 に示す。剛床上及び含水比の異なる5種類の粘土床上的のものについての流速分布を比較したのが図-6 である。 $U^* = U/U_{*c}$ 、 $y^* = yU_{*c}/\nu$ 、 $K = 0.4$ とした。図-6 中の実線は、

$$U^* = 5.75 \log y^* + 5.5 \quad (1)$$

である。粘土の巻き上げは、レイノルズ数 8000 のときはほとんどなく、レイノルズ数 12000 のときもさほど大きくはなかつた。図-6 から、含水比 14.9% の場合、剛床上のときとほとんど変わらないが、含水比 16.3% ~ 20.7% にあつては、含水比間の差異はほとんど認められないが、剛床上のものに較べて U^* が一様に大きくなっていることがわかる。すなわち剛床上よりも粘土床の方が抵抗係数が減少しているということである。他のレイノルズ数についても同様の結果が得られている。表-7 の全データについて得られた流速分布をそのまま y^* の小さい方へ外挿し、式(1)の右辺第2項に相当する定数項 A を決めると図-7 のようになる。レイノルズ数によつてかなりデータのばらつきはあるが、含水比 14.9% では A の値は滑面とほぼ変わらず約 5.5、含水比 17.0% 前後までは含水比に比例して A の値も増加している。それ以後は、大体横ばいとなつており A の値も平均して約 6.3、滑面よりも 0.8 程度大きいことがわかる。含水比が 20.7% を越えるものについては、粘土床を滑面に数くことが難しく、なおかつ巻き上げを生じやすくなるので懸濁粒子を含んだ流れとなり、粘土床自体の影響を調べるのが困難であつた。以上のように、粘土床の上の流れにおいては A の値が大きくなっていることから、含水比がある程度増すと粘土床が可撓性として作用し、剛床上とは異なる影響を及ぼしていると思われる。

5. まとめ

巻き上げを生じない粘土床の上の流れにおいては、対数分布則の定数項 A が大きくなっている。この原因は、粘土床が可撓性をもつたものと考へられる。

(参考文献) (1) 楠田・海田・栗谷: “底泥上の乱れた流れの抵抗係数の減少”、九大工学集報、第53巻6号、1980他

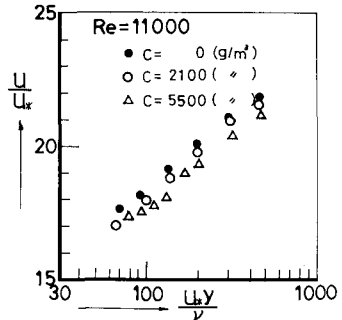


図-5
表-1

	W %	y cm	U_{*c} cm/sec	U cm/sec	H cm	Re
剛床 (テフロン板)		0.0118	1.36	25.0	5.02	0.80
		0.0116	1.69	31.8	5.02	1.03
		0.0118	1.94	37.6	5.01	1.20
	14.9	0.0119	1.38	24.5	5.01	0.77
		0.0119	1.65	31.2	5.01	0.99
		0.0118	1.95	37.3	4.98	1.18
		0.0117	1.36	24.5	5.02	0.79
	15.9	0.0116	1.63	30.6	5.02	0.99
		0.0117	1.91	36.8	5.00	1.18
		0.0120	1.32	24.2	5.01	0.76
粘土床 (セオロン)	16.3	0.0119	1.64	31.3	5.03	0.99
		0.0119	1.67	36.1	5.01	1.14
		0.0121	1.28	24.8	4.99	0.77
	17.1	0.0121	1.61	32.2	4.98	1.00
		0.0122	1.87	37.0	5.00	1.14
		0.0121	1.26	24.5	5.02	0.76
	17.6	0.0120	1.60	32.0	5.04	1.00
		0.0121	1.89	37.1	5.01	1.16
		0.0122	1.34	24.7	5.00	0.76
	18.3	0.0122	1.64	33.3	5.01	1.03
		0.0122	1.93	38.9	5.01	1.23
		0.0120	1.31	25.5	5.02	0.80
	19.0	0.0121	1.62	31.8	5.02	0.99
		0.0121	2.00	38.6	4.98	1.23
		0.0120	1.28	25.2	5.02	0.79
	20.3	0.0121	1.62	32.1	5.01	1.00
		0.0121	1.91	37.4	5.02	1.16
		0.0120	1.34	25.6	5.02	0.80
	20.7	0.0121	1.64	31.7	5.03	0.99
		0.0121	1.95	38.1	5.01	1.18

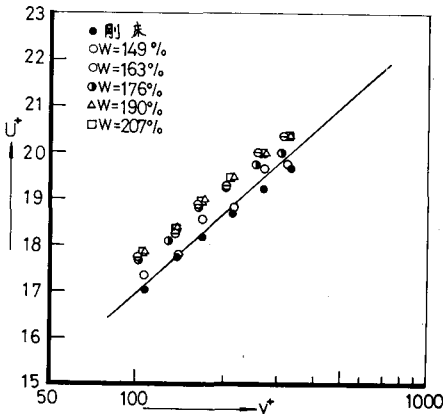


図-6

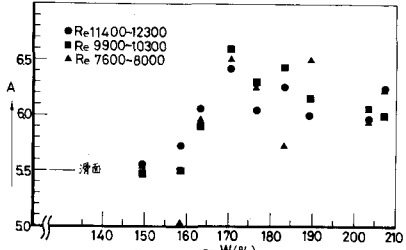


図-7