

九州大学工学部 学生員 荒尾 慎司
九州大学工学部 正 員 栗谷 陽一
九州大学工学部 正 員 楠田 哲也

1. はじめに 自然河川や港湾の底部において粘土-シルト系の懸濁物質が沈積し底泥を形成するような場合、底泥上の流れが滑面床(アクリル樹脂板等)の流れに較べて抵抗係数が減少するとすれば、その水理学的特性を明らかにすることは重要なことである。一般に境界面上の抵抗減少の原因として、境界層の膨張、層流境界層から乱流境界層への遷移の遅れ等が考えられている。それを達成するための手段として数種類のものが考えられているが、ここでは底泥上の流れを対象としているため、底泥の巻き上げに伴う浮遊粒子の影響、底泥自体の流れに及ぼす影響を調べる必要がある。底泥の巻き上げに伴う粒子混相流においては円管路を用いて摩擦損失係数 f の算定を行なったところ、清水と粒子混相流とでは顕著な差は見い出せなかった。したがって今回は巻き上げをほとんど伴わない状態で底泥上の流れの特性について基礎的知見を得るために、粘土床を底泥の代わりとして用いることにより実験的検討を行なった。

2. 実験装置及び方法 実験装置は図-1に示すような循環式可変勾配水路を使って行なった。開水路は、全長11.5m、幅30cm、深さ18cmの絶アクリル樹脂製の直線水路である。水路中央部の10mの区間には約4cmの厚さの粘土床を敷くこともできるし、滑面を剛床として取りつけることもできるようになっている。粘土床にはカオリン(ASP600)を用いており表-1にその物性値を示す。滑面床には長さ2m、厚さ10mmのアクリル樹脂板を5枚用いている。滑面床及び粘土床の流体との境界面の高さは等しくできるようになっている。滑面床上及び粘土床の上の流れの測定に際しては十分乱流境界層が発達し等流状態となっている領域を測定区間としている。今回用いた流速計は直径3mmの小型フロベラ流速計及びD.I.S.A社製の熱膜流速計の2種類である。フロベラ流速計は対数分布則の成り立つ領域において1測定点当り4分程度の計測を行なうことによって流速分布を測定した。熱膜流速計は1chの楔型フローブ及び2chのV型フローブを用いた。熱膜流速計での1測定点当りの通算計測時間は1回の計測時間を約30秒程度とし、これを数回繰り返すことによって2分30秒程度とした。摩擦速度は $u_* = \sqrt{gRI}$ (R :径深)

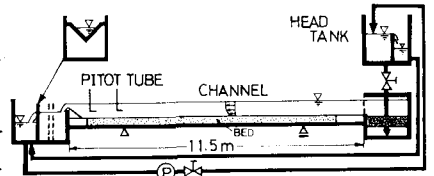


図-1 実験装置

	S.G.	Mean Diam. μm	L.L. %	P.L. %
Kaolin	2.66	0.64	65	36

表-1 物性値

により求めた。水面勾配 I の計測には静圧管及び水とトルエンを二液マノメータとしたチャトックゲージを用いており、水深の計測に対しては読み取り精度が0.05mmのポイントゲージを使用している。また、実験中水温は自動調節により設定温度の±0.7℃以内となるようにした。

3. 実験結果及び考察 本実験では粘土床自体が粘土床の上の流れに与える影響を調べることを目的としているので、粘土粒子の巻き上げを伴わない、しかも水面勾配 I ができるだけ大きくなるように実験条件を設定した。水深は実験全体を通して5.00cm～5.01cmに固定しており、レイノルズ数($\frac{UR}{\nu}$)は8000と12000の2種類とした。図-2及び図

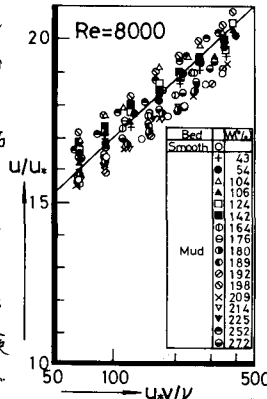


図-2 流速分布

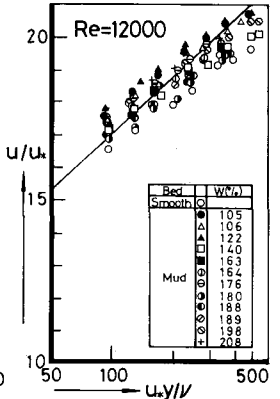


図-3 流速分布

-3はアロハラ流速計による流速分布の測定結果である。 $u^+ = 5.75 \log y^+ + A$ (1)

とあき、図-2及び図-3の全データについて(1)式のAの値を求めるとそれぞれ図-4、図-5のようになる。但し、ここで $u^+ = u/u_*$ 、 $y^+ = u_* y/\nu$ とした。図-4及び図-5中の実線は $A=5.5$ に相当するものである。レイノルズ数8000では含水比が20%前後で極小となっており、他の含水比ではこれよりAの値が大きくなっている。レイノルズ数12000では含水比18%前後でAの値が小さくなっているものの他の含水比ではやはり滑面床上に較べて大きくなっている。レイノルズ数8000と12000でのAの値が極小となる含水比が異なっているようであるが明らかではない。以上のようにアロハラ流速計での測定結果から抵抗の減少が確認されている。図-6は熱膜流速計を用いた場合の実験結果である。粘性底層の外縁付近から遷移領域にかけては粘土床の方が滑面床のものより u^+ がやや大きくなっているが、乱流層内では特に差は見られない。図-4 AとWの関係 図-5 AとWの関係

この結果はアロハラ流速計での測定値と少し傾向が異なっている。(図-7参照) 図-8は乱れ強度の測定結果である。 $\sqrt{u'}/u_*$ に関しては滑面床及び含水比が124%~166%のものについて $\sqrt{u'}/u_*$ のピークの位置が $y^+ = 19 \sim 21$ のところにあるのに対して、含水比が192%を越え $y^+ = 16 \sim 18$ のところに位置している。 $\sqrt{v'}/u_*$ に関しては $y^+ = 60 \sim 100$ 程度で粘土床の方がやや大きいようであるが y^+ の増加に伴ってほとんど変化をなくなっている。図-9はレイノルズ応力の実測値である。 y/h が0.7~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床や他の含水比のものと較べてレイノルズ応力がやや大きくなっているように思われる。粘土床上の流れの抵抗減少の理由として、①粘土床の表層付近が流下方向へ流動する、②粘土床が可撓性として作用する、③粘土床の表層における粘土粒子が粘土床上的流れと相互作用を起こす等が考えられる。①については粘土床の表層にマーカーを置いて観察したが、いずれの含水比においても粘土床の流動は見られなかった。②については粘土床が可撓性として働くと仮定すれば含水比の高いところで抵抗減少が起こると予想される。しかし、今回の実験では含水比のかなり低いところでも抵抗が減少しており、この可能性も薄いと思われる。③に関しては今後検討を行なっていく予定である。

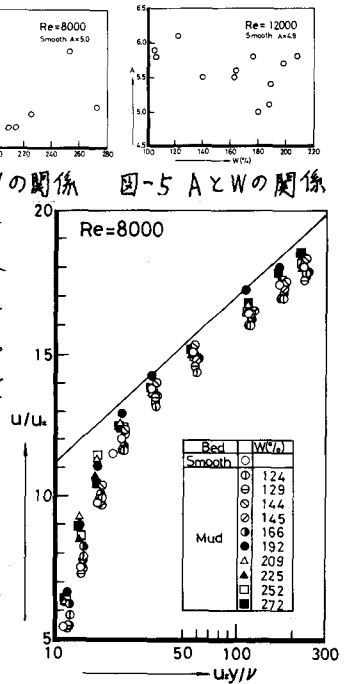


図-6 流速分布

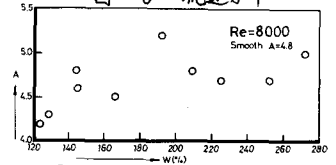


図-7 AとWの関係

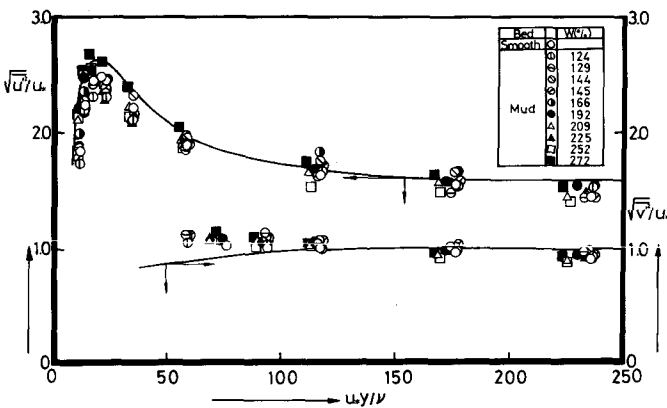


図-8 乱れ強度分布

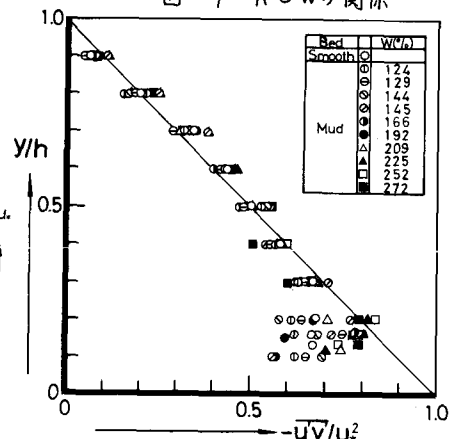


図-9 レイノルズ応力分布