

II-72

粘土床上の流れの抵抗減少

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。底泥上の流れの特性を明らかにする上で次の2つのことが問題になると思われる。第一点、流れの摩擦力が限界掃流力を越えると堆積物を巻き上げ粒子混相流となることから、浮遊粒子の及ぼす影響を考慮しなければならない。第二点、底泥自体の存在によるものである。底泥はある程度含水比が増すと可撓性境界として動く可能性もあり、本報告では後者について基礎的知見を得るために実験的検討を加えたものである。

2. 実験装置及び方法 実験装置の概略を図-1に示す。実験装置は高水槽、整流部を含む上流部、開水路本体、低水槽、循環用の電動ポンプ等から構成されている循環式可変勾配水路である。上流部の整流用水槽内部には粒径2~3mmの小石を厚さ20cm程度敷き詰め、水槽から水路へ水が流れ込む時に横断方向の偏流を防ぐようにしている。開水路は長さ11.5m、幅30cm、深さ18cmの純アクリル樹脂製の直線水路である。乱流境界層の発達を促すために水路上流端から1mに渡って粒径2~3mmの砂粒子を敷き詰めた助走区間を設けている。水路の中央部の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。

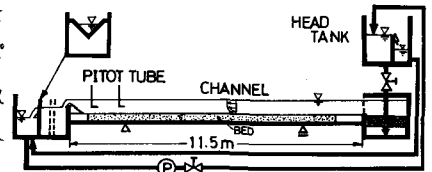


図-1 実験装置

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

表-1 物性値

粘土床としてはカオリン(ASP600)を、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。カオリンの物性値は表-1に示すとおりである。滑面床として敷くアクリル樹脂板の流体との境界面の高さは粘土床の場合と等しくできるようになっている。水深の調節は水路下流端の水位調節可動堰により、流量は低水槽中の直角三角堰によって測定した。滑面床上及び粘土床上的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種類がある。どちらの流速計も校正は実験開始前と終了後の2回行なった。フロベラ流速計は対数分布則の成り立つ領域において流速分布を測定した。フロベラ流速計の1測定点での計測時間は4分程度である。熱膜流速計は1cmの楔型フローアと2cmのV型フローアを用いた。熱膜流速計の1測定点当りの通算の計測時間は2分30秒程度であるが、含水比が高くなるに従って粘土床から粒子が巻き上がり、フローアへの粒子の付着と同時に気泡の付着等も考慮に入れ、1回の測定時間を約30秒とし1測定点で数回計測を繰り返し、その平均値でもって流速分布、乱流強度、レイノルズ数を算定した。また、実験中水温は自動調節により設定温度の±1℃以内となるようにしている。摩擦速度は、 $u_* = \sqrt{gRI}$ (R:径深)により求めた。水面勾配工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キャットバ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。

3. 実験結果及び考察 本実験では粘土床(カオリン)を開水路に敷くことにより、行なっているが、粘土粒子の巻き上げもほとんど伴わない、しかもできるだけ水面勾配工が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。

フルード数は0.309~0.520の範囲内であり、水深の計測誤差はできるだけ小さくした。図-2及び図-3はフロベラ流速計による流速分布の測定結果である。

$$u^+ = 5.75 \log y^+ + A \quad (1)$$

とき、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-2及び図-3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。図-2 流速分布

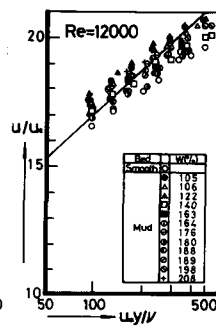
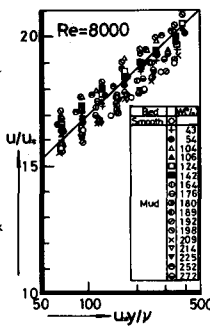
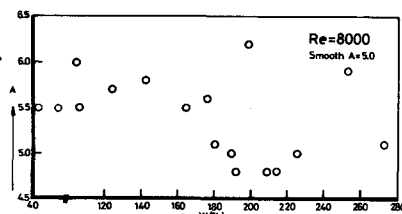


図-3 流速分布

レイノルズ数12000では含水比180%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。図-6は熱膜流速計を用いた場合の実験結果である。レイノルズ数は8000とした。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-7参照) この結果はフロベラ流速計での測定値と少し傾向が異なっている。図-8は乱れ強度の測定結果である。図中の実線は滑面床上の流れにおいてLaufferにより与えられた曲線である。今回実測したデータはこれにほぼ一致している。 $\sqrt{u'^2}/u_*$ に関しては滑面床上及び含水比が124%~166%のものについて $\sqrt{u'^2}/u_*$ のピークの位置が $u_* y/\nu = 19 \sim 21$ のところにあり、含水比が192%を越えると $u_* y/\nu = 16 \sim 18$ のところに位置している。 $u_* y/\nu$ が20を越えて増加するに従って含水比による系統的な差は見い出せないようである。 $\sqrt{u'^2}/u_*$ に関しては $u_* y/\nu = 60 \sim 100$ 程度で粘土床上的の方がやや大きいようであるが $u_* y/\nu$ の増加に伴ってほとんど変わらなくなっている。図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-4 AとWの関係



レイノルズ数は8000とした。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-7参照) この結果はフロベラ流速計での測定値と少し傾向が異なっている。図-8は乱れ強度の測定結果である。図中の実線は滑面床上の流れにおいてLaufferにより与えられた曲線である。今回実測したデータはこれにほぼ一致している。 $\sqrt{u'^2}/u_*$ に関しては滑面床上及び含水比が124%~166%のものについて $\sqrt{u'^2}/u_*$ のピークの位置が $u_* y/\nu = 19 \sim 21$ のところにあり、含水比が192%を越えると $u_* y/\nu = 16 \sim 18$ のところに位置している。 $u_* y/\nu$ が20を越えて増加するに従って含水比による系統的な差は見い出せないようである。 $\sqrt{u'^2}/u_*$ に関しては $u_* y/\nu = 60 \sim 100$ 程度で粘土床上的の方がやや大きいようであるが $u_* y/\nu$ の増加に伴ってほとんど変わらなくなっている。図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

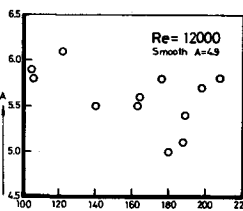


図-5 AとWの関係

図-8は乱れ強度の測定結果である。図中の実線は滑面床上の流れにおいてLaufferにより与えられた曲線である。今回実測したデータはこれにほぼ一致している。 $\sqrt{u'^2}/u_*$ に関しては滑面床上及び含水比が124%~166%のものについて $\sqrt{u'^2}/u_*$ のピークの位置が $u_* y/\nu = 19 \sim 21$ のところにあり、含水比が192%を越えると $u_* y/\nu = 16 \sim 18$ のところに位置している。 $u_* y/\nu$ が20を越えて増加するに従って含水比による系統的な差は見い出せないようである。 $\sqrt{u'^2}/u_*$ に関しては $u_* y/\nu = 60 \sim 100$ 程度で粘土床上的の方がやや大きいようであるが $u_* y/\nu$ の増加に伴ってほとんど変わらなくなっている。図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

図-9はレイノルズ数8000の実測値である。 y/R が0.3~0.9のところでは滑面床上と粘土床上とで顕著な差は見られないが、 y/R が0.1~0.2にかけては粘土床の含水比が200%を越えると滑面床上や他の含水比のものに較べてレイノルズ数がやや大きくなっているように思われる。

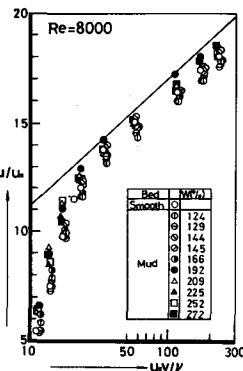


図-6 流速分布

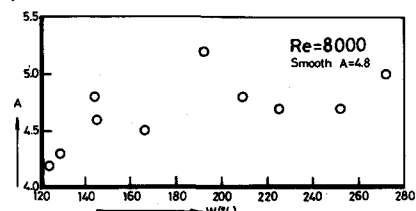


図-7 AとWの関係

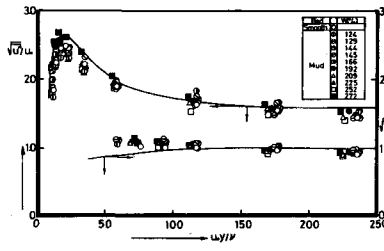


図-8 乱れ強度分布

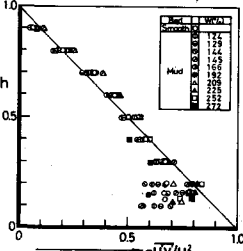


図-9 レイノルズ数分布