

II-88

回転円盤型掃流抵抗測定装置の有効性の検討

福島高専○正会員 橋本孝一

福島高専 正会員 江尻勝紀

福島高専 学 生 渡辺喜徳

1. はじめに

都市河川などの河床には、多くの場合粒径の細かい泥が堆積しており、これらの底泥の挙動は、河川水質を考える上で無視できない。しかし、このような底泥の挙動は、泥の物理化学的性質や圧密の程度、有機物を含む場合は微生物活動等による粘性の変化など、多くの因子が関与してくるため、底泥の挙動の解析を困難にしている。これまで、各種の現地調査や室内実験が試みられてきているが、未だ底泥の浮遊・掃流量を定量化することに成功したとは云い難い状況である。定量化に際して、制御された条件下での室内実験は、底泥の挙動の解析に欠かすことができない有力な手段である。これまでの室内実験装置としては、直線型の水路や円形ドーナツ型水路など比較的規模の大きい測定装置が用いられてきている。これらは、上層水の流体力学条件の安定性に配慮したものである。しかし、より容易に測定ができ、経済的な装置が開発されれば、底泥の挙動の解析に大きく寄与できるものと期待される。このような観点から、筆者らは、小型の回転円盤型の円筒を用いた底泥の掃流抵抗測定装置の有効性について検討してきた。本論では、これまでの各種の測定結果を紹介する。

2. 測定装置の概要

装置の概要を図-1に示した。アクリル樹脂製の円筒に下部からゴム栓をし、試料を入れる。その上に上層水を満たす。回転用のアクリル樹脂製の円盤は可変モーターに接続されている。

3. 底泥表面に働くせん断力

底泥表面と回転円盤との距離(=S)を一定程度に保った場合、円盤回転時(角速度 ω')の定常状態での槽内の水流は、図-2のようであると考えられる。槽内の流れとしては、大きく2つの流れが生じる。第一は、2次流と呼ばれる回転円盤の下面に沿って薄層流が生じ、この流れは側壁を流下し、試料表面を中心に向かって流れ、中央部で上昇流を生じる。第二は、このような2次流に囲まれた領域に存在する回転流(角速度 ω)である。この回転流が試料表面に働くせん断力を支配する。基礎式として、極座標表示のNavier-Stokesの式および連続式を用い、軸対称である点を考慮すると最終的には、せん断力は、次式で求めることができる。⁽¹⁾

$$\tau_r = \rho \nu^{1/2} a_1 \omega'^{3/2} r, \quad \tau_\theta = \rho \nu^{1/2} b_1 \omega'^{3/2} r, \quad \tau_z = 0 \dots \dots \dots (1)$$

但し、 τ_r 、 τ_θ 、 τ_z は各々半径方向、円周方向、鉛直方向のせん断力

$$a_1 = -0.942, \quad b_1 = 0.773$$

$$\text{従って、} \quad \tau = 1.29 \tau_r \dots \dots \dots (2)$$

以上の式を用いて、円盤の角速度 ω' と回転流の角速度 ω の関係を知れば

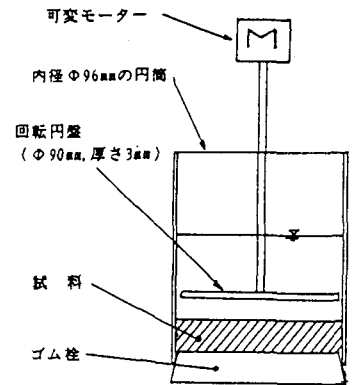


図-1 装置の概要

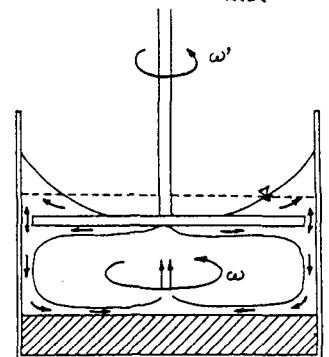


図-2 円筒内の水流

試料表面に働くせん断力 τ を求めることができる。

4. 実験的検討

4-1. 実験方法

円盤下面と試料表面との距離 $S = 2\text{ cm}$ に、静止時の水深を 6 cm に設定した。回転流の角速度は、距離 S の中間の高さの注入口から注射針にてインクを注入し、ビデオ撮影により測定した。円盤の角速度 ω' と回転流の角速度 ω の関係を図-3に示した。試料としては、カオリン、ベントナイト、および河川底泥の3種類を用いた。試料の巻き上げ量は、回転円盤と円筒の隙間にピペットを挿入し、円盤の回転数を変化させる度に 10 ml 採取し、そのSSを測定した。なお目視による観測もおこなった。

4-2. 実験結果

カオリンについては、含水比75, 100, 120, 160, 200, 250, 300, 400%の8段階での掃流量を測定した。図-4に含水比120%の場合を例示したが、流送限界 τ_{c1} および破壊限界 τ_{c2} と思われる点が比較的是っきりと認められる。目視によっても流送限界から破壊限界までの間は、試料表面を粒子が転動しながら一部舞い上がっていくのが確認された。破壊限界以降は試料表面が激しく掘削された。各含水比での結果から τ_{c1} および τ_{c2} の結果を示したのが図-5である。おおよその傾向として、含水比が高くなるにつれて τ_{c1} と τ_{c2} の境界が不明瞭になっている。大坪の行った実験結果⁽²⁾との比較した結果では、本実験によって得られた結果は、やや大きめに出現しているもののそれほど大きな差は認められなかった。

ベントナイトについては、図-6に例示したが、含水比400%までは、円盤回転数 $1,000\text{ rpm}$ を越えても破壊点に至らなかった。

現地河川の底泥（夏井川水系新川）については、 $2\text{ mm} \times 75\mu$ のフルイを通過したものと $74\mu\text{ m}$ 以下の粒径の2種類について測定した。図-7には、 2 mm 以下の粒径の場合を示した。この場合も流送限界、破壊限界とも比較的明瞭に読み取れる。

5. おわりに

粘性土の掃流抵抗を測定するため、小型の回転円盤装置を用いて、その有効性を検討した。その結果、流送限界・破壊限界と思われる限界点を特定でき、この方法によれば比較的個人誤差を少なくすることが可能である。今後検討すべき課題としては、円筒内の流れの特性をさらに検証することが必要であろう。

<参考文献>1) Y. Liou, "Hydraulic Erodibility of Two Pure Clay System (1970), 2) 大坪国順、国立公害研究所報告第42号

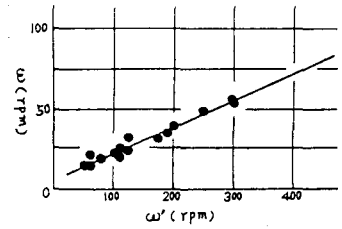


図-3 ω' と ω の関係

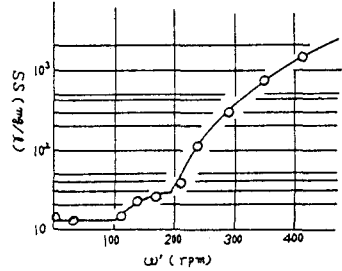


図-4 カオリンの流送

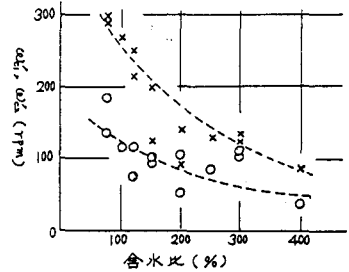


図-5 τ_{c1} , τ_{c2} と含水比

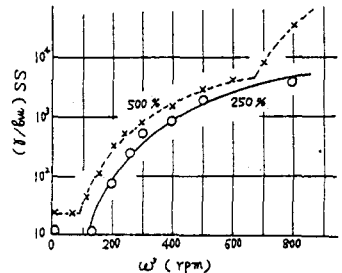


図-6 ベントナイトの流送

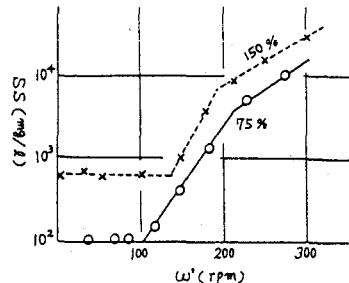


図-7 河川底泥の流送