

京都大学 工学部 学生員 細井由彦
 京都大学 工学部 学生員 白谷 章
 京都大学 工学部 正公員 住友 恒

1.はじめに 自然水中に堆積した汚泥の再浮上は水質汚濁の大なる一因となる。汚泥のまきあげに関する研究は多くなされてきたが、いまだ明確な定量化は行なわれていない。これは汚泥が種々の粒径からなる微粒子であり、また有機物を含んでいたり、堆積状態が異なり、たりするため、統一的な考察が困難である事に起因すると考えられる。本研究は、汚泥の性状をできるだけ明確にしつつ、底泥のまき上げに関する実験を行ない、若干の考察を加えたものである。

2.実験方法 実験は図-1に示すような円形の回転水槽を用いて行なった。本水槽では泥を底一面にしきつめたため、開水路におけるような泥床底部先端における影響を除くことができる。底に約1cmの厚さに泥を沈め、水面をおおっている木製のドーナツ状のshear ringを回転させる事により流速を与えた。泥の位置堆積時間は2~4時間である。一定時間ごとに鉛直方向7点のサンプル管から採水し、光速遮式の濁度計により濃度を測定した。流速は比重を1に調整した浮遊粒子を写真撮影する事により求めた。実験に用いた底層は炭酸カルシウム(比重2.58)琵琶湖で採取した泥(A-比重1.88, B-比重2.47)である。それらの物質について光速遮式粒度分布測定器により得られた粒度分布を図-2に示す。また含水率による粘度の変化をビスコテスターによって測定した結果は図-3のようになつた。

3.実験結果および考察

(1)流速分布 回転方向の流速はshear ringと底の近傍を除いてはほぼ一様であり(図-4)、定常状態においては角速度はshear ringの0.6倍であった。角速度の伝達する様子を図-5に示す。回転水槽であるため、半径方向の二次流が起こる事が考えられる。筆者らが行なった範囲の速度では底面附近における流向の接線方向に対する角度は、外壁で20~23°、中央で12~15°であった。

Shear ringの及ぼすせん断力を τ_s 、内壁で τ_1 、外壁で τ_2 、底において τ_3 として

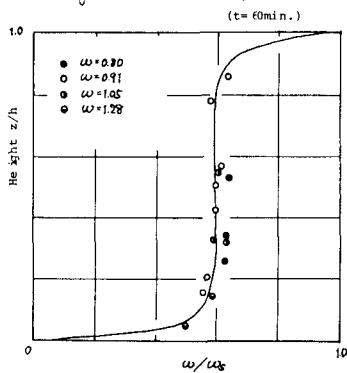


図-4 鉛直方向流速分布

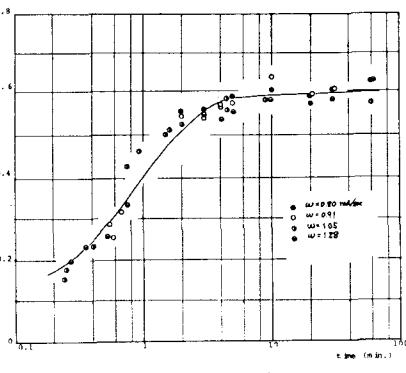


図-5 平均流速の時間的変化

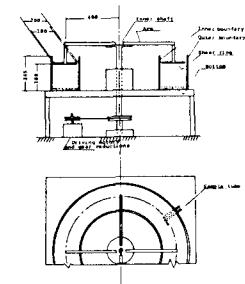


図-1 実験水槽

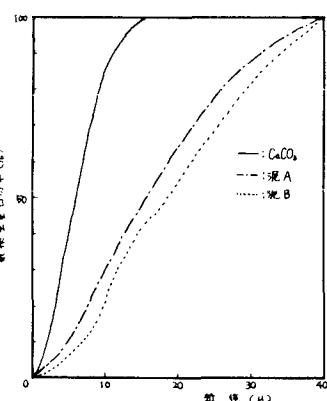


図-2 底泥物質の粒度分布

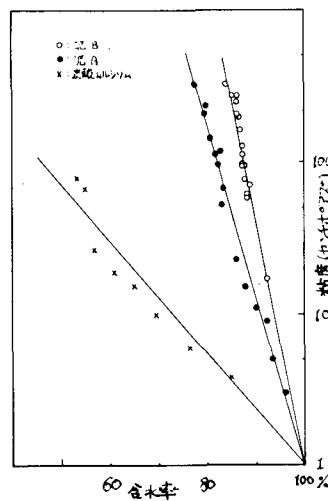


図-3 含水率と粘度との関係

平均流速を \bar{U} とすると式のようになる。

$$\bar{U} \{ C_2 (C_2 - C_1) - \ln (C_2 + C_1) \} = 98 R \frac{d\bar{U}^2}{dx} \quad (1)$$

ただし R は水路幅、 L は水深。ここで各せん断力は流速差の平方に係数を乗じて表わされるとして図-5の結果に適合するよう(図中の実線)係数を決めると、底面の平均摩擦速度は次式で推算される。

$$U_{fr} = 0.04 \bar{U} \quad \bar{U}: \text{shearing ring の平均速度} (r=40 \text{ cm/sec}) \quad (2)$$

しかし実際には二次流の影響もあり U_{fr} は若干大きくなると考えられる。

(2) 浮遊物濃度 shearing 作用後の浮遊物濃度の変化の一例を図-6に示す。どの実験についても、開始後 3~5 分程度で鉛直方向に一様な最大濃度となり、その後は減衰をはじめる傾向がみられた。

(3) 放置堆積時間の影響および限界掃流力について 同一の回転速度に対して放置堆積時間を変化させた場合の浮遊物質量の変化を図-7に示す。2.5 時間放置の場合は 20 時間および 46 時間放置の場合に比べてはるかに大きなまき上げを示しており、底泥の浮上に関して堆積時間が重要な影響を与える事がわかる。これらのことから、泥のまき上げに関しては掃流力に対するようなアプローチでは不十分であり、密度流的な混合をも考えることが必要となる。その場合の泥の流体的な存在状態は放置堆積時間によって大きく変化すると考えられる。

表-1 にまき上げのおこる限界の U_{fr} を各場合について示す。密度流として扱うならば、堆積時間による U_{fr} の差は泥層圧密状態の差によるみかけ密度の違いや粘度の差など、泥固有の性質によるものと推察できる。泥 A よりも泥 B の方が比重が大きくかつ、粘度が大きいことが、泥 B の方が U_{fr} が大きいといつ結果をまねいといふと考えられる。主流が泥層によよぼす力で、泥層のみかけ密度 ρ' と粘性 η' にうちかてまき上げがおこると仮定すると、つぎのような無次元パラメータ F がまき上げを支配すると言えられる。

$$F = \frac{(U_{fr})^2 \rho'}{\eta'} \quad (3) \quad \text{ただし } \rho' \text{ は重力加速度}$$

F の値は図-3 と堆積泥の含水率、泥粒子の密度を知る事により計算されるが、本研究では堆積泥の含水率は測定できなかった。

(4) 泥層からの混入速度について 限界掃流力をえた場合について 泥層から主流部への泥の混入速度 U_e について 密度流における Knealeyan の表示、式にならし、主流の平均流速 \bar{U} と U_e の関係を示したのが図-8である。

図-8によると U_e の小さいものは放物線をなしていないが、 U_e が大きくなるにつれ U_e と \bar{U} の間にほぼ直線関係があるといふ Knealeyan の運行速度とよく似た傾向を示していることがわかる。

4.まとめ 本研究は複雑な組成をもつ泥のまき上げに関して、泥の堆積状態の性状を明確にする事により、再現性を高めることを目的とし、限界掃流力を支配するパラメータを提示し、同時にまきあげ量は密度流の運行速度で表すことを示した。御检测いたしました岩井重久教授に感謝いたします。

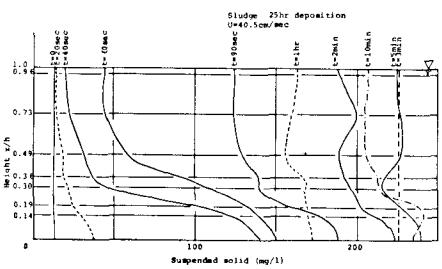


図-6 浮遊物濃度の変化

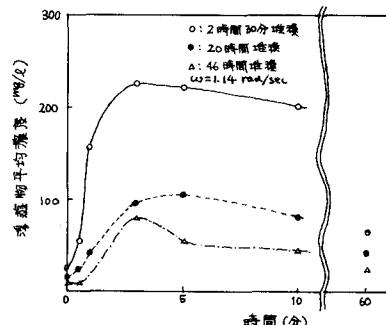


図-7 浮遊物平均濃度の時間的変化

泥 A	2~4 時間堆積	$U_{fr} = 0.90 \text{ cm/sec}$
泥 A	18~25 時間堆積	$U_{fr} = 1.09$
泥 B	2~3.5 時間堆積	$U_{fr} = 1.51$
泥 B	15.5~25 時間堆積	$U_{fr} = 1.67$
炭酸カルシウム	2 時間堆積	$U_{fr} = 2.33$

表-1 限界掃流摩擦速度

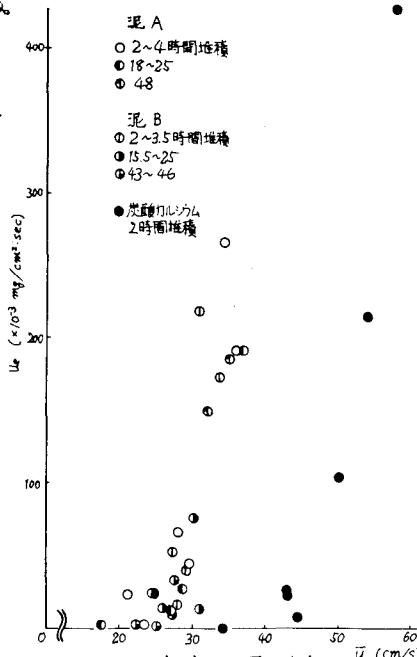


図-8 主流速度と混入速度

参考文献 E. Parthenaides Investigation of the depositional behavior of fine cohesive sediment in an annular rotating channel. 日本水工学会誌第3号(1978.3)日本水工学会誌