

流水中における底質汚泥の水理特性

大阪大学工学部 正員 ○村岡浩爾
住友建設(株) 正員 島生晃

序 底質汚泥の流送挙動の解明は、物理的な面で流送量と河床変動の問題として、衛生工学的な面で河川水の汚濁問題として、市街地河川ではともに大きな社会問題となっている。著者らはこれについて基礎的な研究を続けているが、今回は物理的な面で得たその後の成果について報告する。

1. 汚泥の初期流送特性

流送実験に用いた実験水路と水
理諸量は図-1に示す通りであ

る。汚泥の初期流送特性を知る
上に重要な限界掃流力に関する
実験結果は、前回報告¹⁾後の資

を対象とする。限界掃流の前後で観測される底質の流送特性は以下の通りである。

(1) 表層上面に游離して接触している微細粒子は低流速で

れる。しかしこの掃流量は微量で、汚泥流送という観点からは全く無視してよい。

(2) 表層は低流速では粘着性被膜のため全く掃流されない。

3) 流速がある限界値に達すると表面が斑状に剥れ、連鎖的に短時間でほぼ全面が剥

$u_* / w_g \div 0.8$ において掃流砂近傍で浮遊流が活発に混り、
 $u_* / w_g > 2.0$ において浮遊流砂が急増する。

ここに u_* : 摩擦速度, w_g : 砂粒の沈降速度である。底質汚泥の場合, 表層付近では平均粒径 $d_m \div 0.001 \text{ cm}$, 90% 粒径 $d_{90} \div 0.003 \text{ cm}$ 程度であり, これに対する沈降速度は, 約

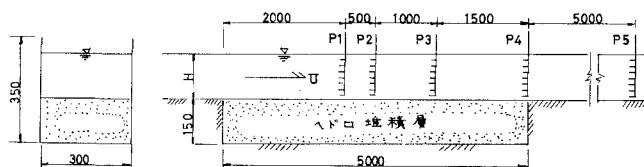


圖-1 実験水路と水理諸量

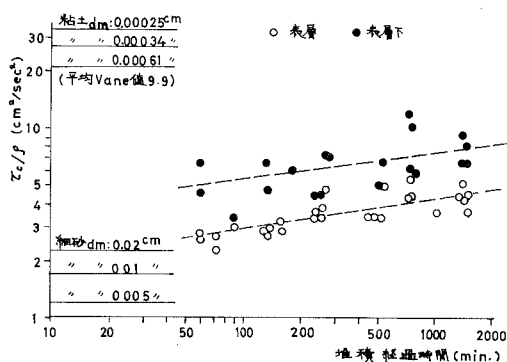


图-2 底質汚泥の限界掃流力

おの、 $w_g = 0.01 \text{ cm/sec}$, $w_g = 0.09 \text{ cm/sec}$ である。一方、実験によって限界掃流時の摩擦速度は $u_{*c} = 1.5 \sim 2.0 \text{ cm/sec}$ であるので、このとき

$$d_m \text{ に対し } u_{*c}/w_g = 150 \sim 200, \quad d_{90} \text{ に対し } u_{*c}/w_g = 17 \sim 22$$

となる。これより、汚泥は砂粒に比べて相対的に流れにくいわけで、有機物質等による粘性効果の影響があることがわかる。そして、図-2 における細砂と粘土の掃流力との比較や、観察によって掃流過程を経ずにいきなり浮遊流が始まることなどからも、汚泥の流送が河川漂砂の延長として考えることはできない。

2. 流水汚泥濃度に関する一次元解析 実際の河道で物質の輸送量や濃度分布の予測計算を可能とするため、底質を発生源とする、および流水中の物質濃度が沈降するような流れの場で、濃度に関する一次元解析手法を確立しておく必要がある。乱流場での輸送式と物質の降存式より、 x 方向流れの二次元場では、水底 $z=0$ 、水面 $z=H$ として

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(cu) - \frac{\partial}{\partial z}(cw_g) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{c'u'}) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{c'w'}) \quad (1)$$

なる基礎式を得る。これを一次元問題に帰するため、水深方向に平均化する。すなわち

$$\bar{c} = \frac{1}{H} \int_0^H c dz, \quad \bar{u} = \frac{1}{H} \int_0^H u dz \quad \text{と定義し、さらに} \quad \frac{1}{H} \int_0^H cu dz = \bar{c} \bar{u}$$

なる近似が可能とする。(1)式左辺の項は河川漂砂の類推から水面において $c=0$ 、水底において代表濃度として $c=\bar{c}$ 、沈降速度も代表的に一定値 w_g とするものとする。右辺の1項は分散係数 ε とする移流分散で表現できる。右辺の2項は底面の洗掘による流水濃度への寄与を考えれば十分である。以上をまとめると(1)式は次のごとくなる。

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\bar{c}\bar{u}) = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}) + \frac{g_B}{\rho H} - \frac{\bar{c}w_g}{H} \quad (2)$$

ここに、 g_B は底面の単位面積から単位時間に洗掘浮遊する物質質量である。長方形断面においては A (流水断面積) = B (河幅) $\times H$ (水深) として(2)式は次のごとくなる。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{c}A) + \frac{\partial}{\partial x}(\bar{c}A\bar{u}) = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon A \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}) + \frac{g_B B}{\rho} - \bar{c}w_g B \quad (3)$$

(2)(3)式の右辺各項は1項から順に、分散による濃度増加量、浮遊による濃度増加量、沈降による濃度減少量を意味する。

3. 流水中の汚泥濃度分布 前節の式中の濃度 c または $\bar{c}$ として実験では流水中の含有汚泥濃度とする。使用した濃度計(東京光電製ANA-14)はJIS K-0101によって白陶土を標準試料とする換量線が付いているが、これは本実験では不適当であるため、採取汚泥の低温乾燥した試料によって新たに換定した換量線を用いる。図-3は図-1に示した採水点P1~P5で深さ方向に2cm

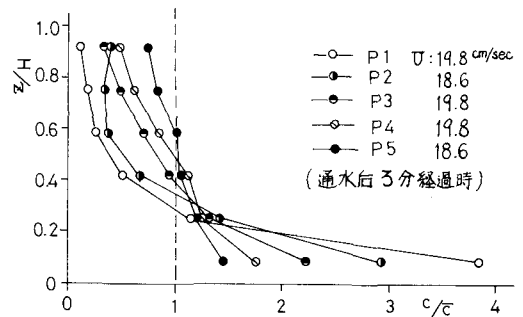


図-3 鉛直方向の濃度分布

間隔の測定と同時に採水した約 10 ml の試料から得た濃度 $\bar{c}$ のこにはする比濃度の分布である。P1~P4 の分布曲線は河川漂砂の浮遊流公式の一つである指数曲線に近似し得るものである。P5 の分布は底質汚泥の供給がなくなった区間の測定で、水澤方向の分布が一様化していることから、ある底面から浮遊した汚泥はかなり短い距離で一採濃度に近づくことが推察される。

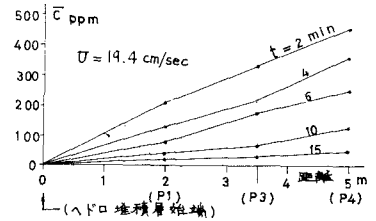


図-4 濃度の分布

(3) 式の妥当性を検討する意味で、その右辺の分散項と沈殿項を無視して得られる定常解は

$$AU \frac{d\bar{c}}{dx} = \frac{g_B B}{\rho} \text{ より } \bar{c} = \frac{g_B}{\rho H U} x + \text{const} \quad (4)$$

となる。図-4 は汚泥堆積層始端から下流側で測定した $\bar{c}$ の分布を示したもので、分布は (4) 式の意味するところと同じく直線とみなせる。各時刻で勾配が異なるため、現象は厳密な定常状態でないが、観測距離が短いので各測定時刻前後では近似的に定常とみなせる。

4. 汚泥流量の算定 (3) 式に含まれる g_B を量的に明らかにするため、次のような実験をする。すなわち、通水時から流速を上げて限界流速 $u_c = u_1$ にしたときの時刻を $t = t_1 (=0)$ とし、以後 30 分間隔の時刻 $t = t_2, t_3, \dots$ で流速を $u = u_2, u_3, \dots$ と階段状に増加させ、その間の濃度の時間変化を測定する。この測定の一例が

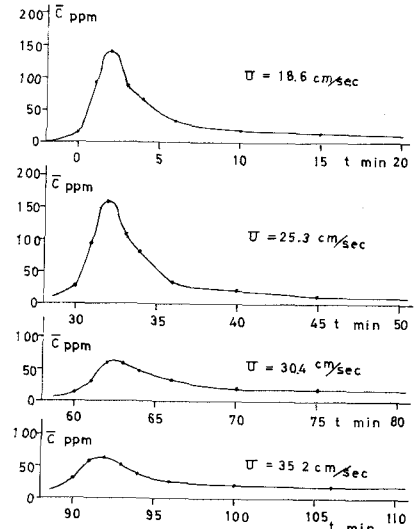


図-5 P5 における濃度の時間変化

図-5 である。 $u = u_i$ に対応する g_B は近似的に

$$g_B = \frac{\rho}{BL(t_{i+1} - t_i)} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \bar{c}(t) dt \quad (5)$$

で与えられ、これを図示したのが図-6 である。

ここに、 L はヘドロ堆積層区間長とする。

5. 結論と今後の問題点

(1) 限界掃流力は図-2 によってその特性が明確

となったが、汚泥浮遊量 g_B は図-6 に見られるように本格的に確定し難く、更に実験資料の積み重ねが必要である。また実際河川(寝屋川放出口付近)の実測と現在検討中である。

(2) 沈降水量は限界掃流力以上の流れで無視できる。低流速時の沈降が今後検討を要する。

(3) 底質汚泥の洗掘浮遊の物理量の明確化に伴ない (3) 式の実用化が可能であるが、一方河水汚染との関連で、汚泥浮上による有機汚染の既研究成果との結合を検討すべきである。

最後に本研究の遂行に多大の尽力と指導を賜った本学室田明教授に謝意を表する。

参考文献 1) 村岡 他: 有機性底質汚泥の流送特性に関する実験的研究, 第 26 回年講, 昭 46.

2) 例とは 水理公式集 (昭和 46 年改訂版), 土木学会編

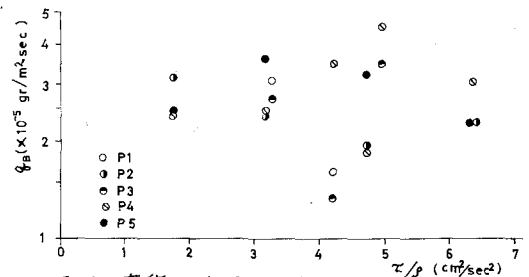


図-6 底質の洗掘汚遊量 g_B