

蒲生干潟は、七北田川河口部左岸に位置し、直径1 m長さ6 mのヒューム管2本を通して七北田川と接続している。河口部の干潟に伴って干潟内でもわずかに干潟がみられるものの、奥部は極端に止水的であり、底質の微細化が進んでいる。この奥部のヘドロ化に対し、水理学の立場からも何らかの対策を講ずる必要性に迫られている。そこで著者らは、流れの場といった外的条件の変化に対する影響を評価する際に必要となるであろう基礎資料を得るために現地の底泥を用いて移動限界に関する実験を行なった。

実験水路は、全長380^{cm}、幅10.5^{cm} (Fig. 1) の循環式水路を用いた。水路底には、270^{cm} に亘り、厚さ約10^{cm} の試料が敷かれている。試料は蒲生干潟奥部の底質を用いた。粒径加積曲線をFig. 2に示す。日本統一土質分類による粘土、シルト、細砂、粗砂の質量百分率はそれぞれ11.1%、46.3%、31.2%、11.4%であり、2^{mm}以上の礫は含まれていない。ただし粒度試験では除かれるが貝殻、木片を試料は若干含んでいる。74^{μm} フルイを用いてふるい分けを行ない通過分(シルト+粘土)と残留分(細砂+粗砂)について個別に比重試験を行なったところそれぞれ2.44、2.65であった。

Figure 1 is a semi-logarithmic graph showing the relationship between the number of particles per unit area (N) and the particle diameter (d) for a 100% passing rate. The y-axis is logarithmic, ranging from 1 to 100. The x-axis is logarithmic, ranging from 0.001 to 1.0 mm. The curve shows a sharp increase in N as d increases from 0.001 to 0.01 mm, followed by a more gradual increase.

比重調整した油滴(キシレン+四塩化炭素)を約0.4~0.7秒ごと
にモータードライバカメラで撮影し、油滴の位置を読み取るこ
とにより $x = 240 \text{ cm}$ のところでの速度分布を得た。一例を Fig. 3 (R_x
 $= \frac{U_x}{U_{\infty}} = 2.96 \times 10^5$) に示す。流速分布図から $\tau = \rho \mu_{\text{eff}}$ を用いて底面セ
ン断力を求めた。平均流速と底面セン断力の関係を Fig. 4 に示す。
実測値は $\tau_0 = 0.0035 \text{ lb}^{3/2} (\text{dyn/cm})$ という関係にあり、平板層流境界
層におけるブラジウスの厳密解 $\tau_0 = 0.332 \rho U (\nu \frac{U_x}{x})^{1/2} (R_x < 5.0 \times 10^5)$
から得られる $\tau_0 = 0.0023 \text{ lb}^{3/2}$ に比べて若干大きい値であった。

Fig. 3 流速分布図 ($x=240\text{cm}$)
from origin

Fig. 5 に示した。濁度は初期において直線的に立ち上がるが、しだいにその増加率が減少する。そこでこれらの値を用いて $y = A - B \times \exp(-ct)$ 型の曲線に回歸し、その収束値をもって洗掘量の指標(以下洗掘量と呼ぶ)とした。Fig. 6 は平均流速と洗掘量の関係を示したもののだが、大きく分けて3つの領域に分けられる。(I) $U < 10\text{ cm/s}$ 水のせん断力が底質の抵抗力を下まわり洗掘がおこっていない。

(II) $10\text{ cm/s} < U < 25\text{ cm/s}$ Fig. 7 に濁度計の読みと懸濁物質濃度の関係を示した。図中の CASE A, B はそれぞれ平均流速が 18.7 cm/s 、 25.3 cm/s のときのもので同じ濁度計の読み取り値に対して B は A より大きく濁質の構成粒子が異なることがわかる。また、洗掘深さ $\Delta R(\text{cm})$ は水路全体に亘って一様に削られると仮定すると次式で与えられる。

$$\Delta R = SS \times V \times (1 + W G_s / S_r) / (10^6 \times \gamma_w G_s B L)$$

ここで SS: 懸濁物質濃度の収束値(mg/l)、V: 循環水量(cm^3)
W: 含水比、 S_r : 飽和度、 G_s : 土粒子の比重、B: 水路幅(cm)
L: 水路長(cm)を表す。CASE A, B に対して計算を行なうと、それぞれ $25\text{ }\mu\text{m}$ 、 $110\text{ }\mu\text{m}$ となり洗掘深さは非常に小さい。また前述のとおり試料は完全に乱しており、土粒子の構造は、干潟の汽水中で懸濁物質が沈降堆積してつくられたハチの巣綿毛構造からランダム構造に移行しているものと思われる。さらに本実験では淡水(水道水)を流しており細粒分は leaching 効果を受け、各粒子が他に拘束されにくい状態にある。以上4点から次のように考えることができよう。ある水のせん断力に対し移動限界粒径が存在し、それ以下の粒径の粒子が持ちさらられ粗粒分(粘土に対してはシルト、シルトに対しては砂)が残されていく。こうして底泥のごく表面において局部的に粒度構成が粗粒側に移動し、みかけの強度増進がおこり、これにより、洗掘が収束に向かう。(III) $U > 25\text{ cm/s}$ この領域では試料のほとんどの粒径の粒子が動きうる状態にあり、試料自体が自重によって圧密するなどして深さ方向に真に強度が増加する特性を持たないかぎり収束しない。なお、本水路においては平均流速 $U = 25\text{ cm/s}$ 前後においてプラジウス解の適用範囲が限界に達する。これに代わる平板流境界層の理論として Prantle Karman の理論があり、それによると底面せん断応力 τ_0 は平均流速の $1/5$ 乗に比例する。 $(\tau_0 = 0.00576 (U/\nu)^{1/5} \rho U^2 \quad Re > 5.0 \times 10^5)$

5. おわりに
本実験は現地で採取した試料を乱した状態で使用しており、含水比も120前後とかなり loose な状態であるが、それでも顕著な洗掘が確認されるには 25 cm/s 以上の平均流速(底面せん断力で 0.44 dyn/cm^2)を必要とすることがわかった。

5. おわりに

最後に、本実験を行なうにあたり、計測機器の提供や多くの助言を与えてくださった東北大学水道工学研究室および土質工学研究室的の皆様に感謝の意を表します。

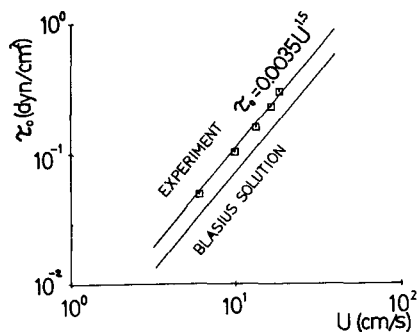


Fig. 4 底面せん断応力

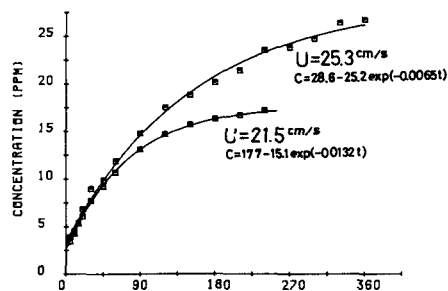


Fig. 5 濁度時間曲線

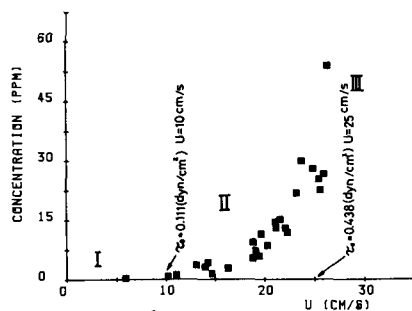


Fig. 6 平均流速と洗掘量

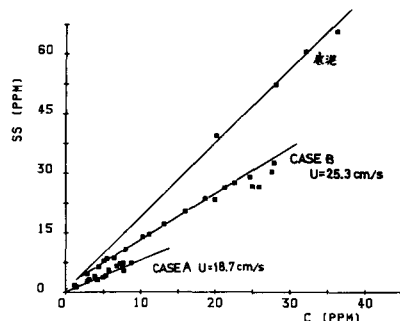


Fig. 7 SS濃度と濁度