

千葉工業大学 正員 滝 和夫
 千葉工業大学 学員 宗友良夫
 千葉工業大学 根本周幸

1. まえがき

都市河川等の河口付近での粘性土の堆積物について、多くの報告がなされている。この堆積物は、容易に再浮上し、砂流するために、流水のSSを増加させ、濁度、臭気などの河川水質環境を損ねることになる。そこで本報では、河川の濃度が流水の限界せん断力にどのような変化を与えるのか、また流水の限界せん断力を粘性土のせん断試験に広く用いられているVane値によって評価することを試みた。

2. 解析および考察

河川等の濁質の濃度は、降雨時初期に10万ppmにも達することがあり、清水の場合と異なり流水のせん断力も増大することが予想される。ここで濁水(粘性土を含む場合)の粘性を μ_s として流水のせん断力 τ_s は次式のようになる。

$$\tau_s = \mu_s \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

また一方河床の底泥層では、流水に対する抵抗力 τ_b は土質工学におけるクーロンの式によって表わされる。したがって

$$\tau_b = f(\alpha \tan \varphi_c + c), \quad \alpha; \text{垂直応力}, c; \text{粘着力}, \varphi_c; \text{安息角} \quad (2)$$

底泥が流水によって洗掘される状態では、その巻き上げに要するせん断力 τ_b は流水の作用力 τ_s と抵抗力 τ_b との差 τ_c (3)式で表わすことができる。また、(3)式に、(1)(2)式を代入することにより τ_b は(3')と表わせる。

$$\tau_c = \tau_s - \tau_b \quad (3) \quad \tau_c = \mu_s \frac{\partial u}{\partial y} - f(\alpha \tan \varphi_c + c) \quad (3')$$

作用力が抵抗力と等しい状態を限界せん断状態とし、かつ濁水の粘性 μ_s を濁質の容積濃度 ϕ で表わすと

$$\tau_c \left\{ 1 + 2.5\phi + \left(\frac{c}{\alpha} \right) \frac{\phi}{\left(\frac{1.524}{\phi} \right)^{1/3} - 1} \right\} - f(\tan \varphi_c + \frac{c}{\alpha}) = 0 \quad (4)$$

となる。ここで無次元限界せん断力 τ_c は、都市河川等における底泥部分では、一般に、高含水状態にあり、かつ、粘性を有していることから、安息角 φ は非常に小さな値となる。したがって、粘着力が支配的となることが知られている。よって無次元限界せん断力は(4)式より次式のようになる。

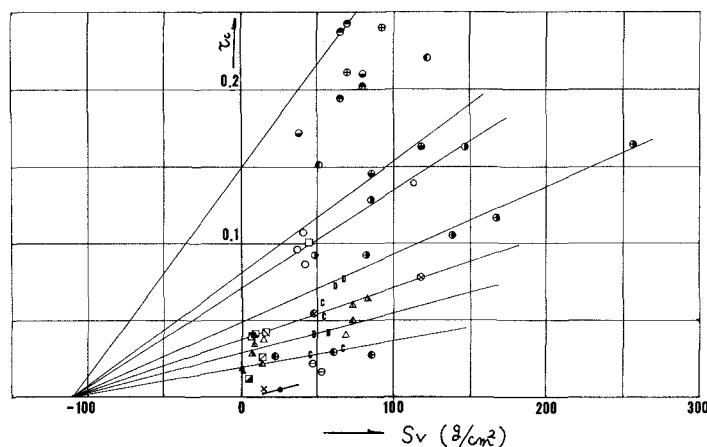


図1. 限界せん断力とVane値の関係

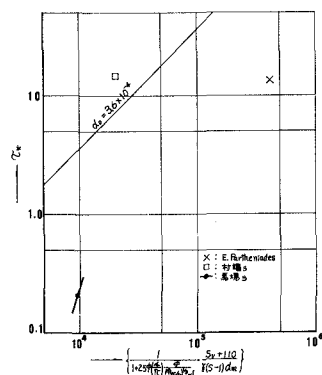


図2. 無次元限界せん断力とVane値

$$\tau_{kc} = f(G_0) / \left\{ 1 + 2.5 \phi + \left(\frac{\phi}{\rho} \right) \left(\frac{0.524}{\phi} \right)^{1/3} - 1 \right\} \quad (5)$$

底泥の粘着力を実験および現地調査から求める方法として、粒子間の力を直接求める方法と、底泥層のせん断応力を直接求める方法に大別される。本研究では底泥層が非常に軟弱であることから、その試料を乱さな状態で求められる Vane せん断力試験の値をも粘着力とする。ここで Vane せん断試験の特徴として、粘着力の両面に $f(G_0) = 2S_v + 9$ (6) の関係で結ばれていると考えられ、また、図1からも認められる。これを(5)式に代入し $\tau_{kc} = 0$ のとき $S_v = -110\%$ および $\phi_0 = 3.6 \times 10^{-4}$ (図2より) として、

$$\tau_{kc} = 3.6 \times 10^{-4} (S_v + 110) / \left\{ 1 + 2.5 \phi + \left(\frac{\phi}{\rho} \right) \left(\frac{0.524}{\phi} \right)^{1/3} - 1 \right\} (S-1) g d \quad (7)$$

ここで無次元せん断力 τ_{kc} および無次元 Vane 値を両軸にとりデータを整理したものが図3である。この図中の実線は等濃度線であり、(7)式より求めた値である。これらのデータから Vane せん断値の低い部分では、限界せん断力も同時に低い値となっているが、流水の濁質濃度は、これに反しベーン値の減少と共に、大きな値となっているのが認められる。したがって都市下水道等における降雨初期の濁水濃度増加時には、底泥層における限界せん断力は減少する傾向をもつものと考えられる。また流水の濁質濃度の時間変化についての実験結果および、その時の無次元限界せん断力 τ_{kc} の関係を表わしたのが図4である。これより毎時毎の濁質濃度の増加と τ_{kc} の関係が求められ、 τ_{kc} もまた減少あるいは増加傾向を示していることが認められる。

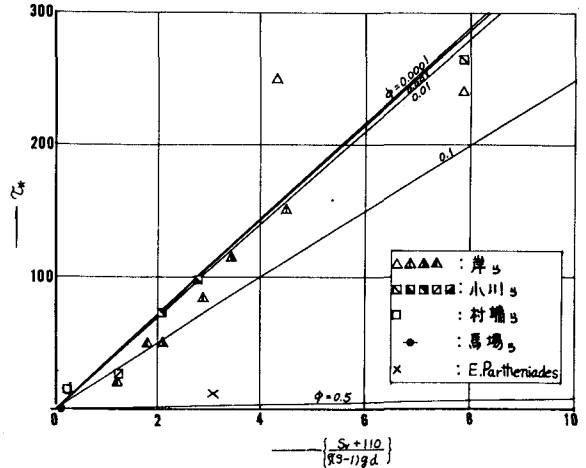


図3. 限界せん断力および Vane 値と濃度の関係

3. 結論

粘性土河床と河川の巻き上がり現象について、流水中の濁質濃度の役割および底泥層における Vane せん断値について、若干の解析を試みた。その結果次のようなことが明らかになった。

(1) 限界せん断力は、底泥層の抗力のみにとどまらず、流水中の濁質濃度との関数として導くことができた。この濁質濃度の増加は限界せん断力を減少させる役割をもつことが明らかになった。

(2) 底泥における Vane 値と、流れの限界せん断力は、(8)式に示されるような1次の関数関係を、持つものと考えられる。

なお本研究にあたって御指導いただいた千葉工業大学、岡正義教授に厚く感謝の意を表します。

- 【参考文献】 1. 朱木栄; 懸濁液の粘度, 工業化学雑誌, vol. 61, no. 12, 1958
2. Durr, I.S.; Transverse Resistance of Channels; Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, vol. 25, No. 46, 1959
3. 岸力也; 流れによる粘性土の流場破壊と水路の限界流速, 土木学会誌, 1967

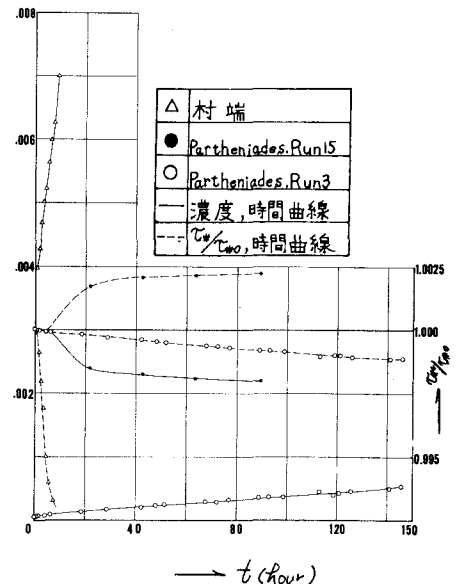


図4. 濁質濃度および限界せん断力の時間変化