

粘性土の洗掘に関する実験 —洗掘量の測定と算定—

東北大学工学部 学生員 ○遠藤 吉宣
東北大学大学院 学生員 青木 美樹
東北大学工学部 正会員 首藤 伸夫

1. はじめに

河川や貯水池に流入し堆積した粘性土の洗掘量を知ることは、底面変動や水質汚濁を論じる上で重要なことである。洗掘量算定のためには、土の種類、堆積条件、掃流条件によって定まる諸係数を決定することが必要である。そこで本研究においては、1種類の土について洗掘フラックスを測定し、土の剪断強度分布、含水比分布から得られる実験定数を用いた計算値との比較検討を行った。

2. 実験方法

実験に用いた水路は長さ3m、幅10cm、高さ50cmの両面ガラス張りの長方形断面開水路で、水路上流端の流入調節バルブおよび下流端の回転ゲートにより掃流力を変化させることができる。図-1に示すように、この水路の中央部1mに、含水量を調節し昼夜自然沈降させた試料を置き、その上・下流に光電管式濁度計を各1台設置して等流状態で試料を洗掘し、その濃度変化を測定した。試料はカオリン(比重2.71, 平均径 $3.1\mu\text{m}$)を使用した。

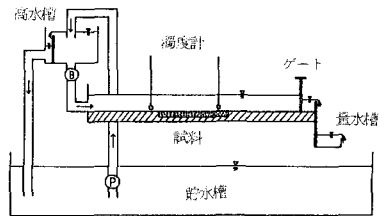


図-1

また、試料の鉛直方向の含水比分布を知るために、別に径20cmのモールドに水路と同じ試料をつくり、水路の試料と同様に昼夜自然沈降させた後に、含水比の鉛直分布を求めた。

作用剪断力は予め行った検定実験の値を基に、動水勾配より算定される平均剪断力でも底面に働く平均剪断力 τ_0 に換算した。

3. 結果と考察

測定した濁度を、(1)式によって洗掘フラックスに換算し、その結果を図-2・3に示す。

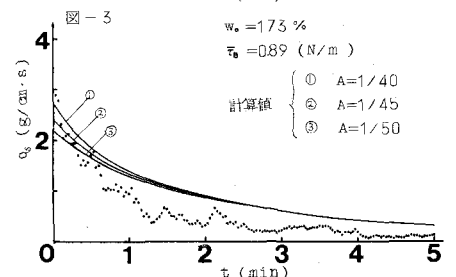
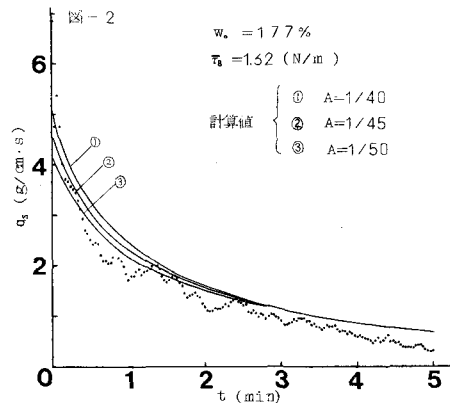
$$q_s = \frac{Q}{L \cdot B} (C_2 - C_1) \quad (1)$$

ここで q_s : 洗掘フラックス($\text{g}/\text{cm}^2/\text{t}$)、 Q : 流量(cm^3/t)、 L : 区間長(cm)、 B : 水路幅(cm)、 C : 濁度(g/cm^3)、添字1・2は上流・下流を表す。 q_s は指数関数的に急激に減少しており、時間 t が3分以上では q_s は極めて小さくなり、洗掘はほとんど進行していないことがわかる。これは、洗掘がある深さまで進行すると、鉛直方向の土の剪断強度の増加によって、その深さでの掃流力が限界値に達するためと考えられる。剪断強度は含水量と関連があるので、含水比および剪断強度の鉛直分布を求めた。

含水比の鉛直分布を図-4に示す。 w は深さ方向に指数関数的に減少している。従って、

$$w(z_s) = a e^{-b z_s} \quad (2)$$

と近似できる。



また、土の剪断強度分布を求めるために、流量を小刻みに段階的に上げて洗掘実験を行なった。ある掃流力 $\bar{\tau}_0$ で深さ Z_0 まで洗掘されたとすると、 Z_0 での限界掃流力 $\bar{\tau}_0$ は $\bar{\tau}_0$ とすることができ、同様に $\bar{\tau}_1, \bar{\tau}_2, \dots$ と掃流力を増加させ、これとそれによって洗掘が進行した深さ $Z_1, Z_2, \dots$ との関係を示したのが図-5である。

4. 洗掘フラックス q_s の洗掘

q_s は掃流力 τ と剪断強度 τ_c との差 $(\tau - \tau_c)$ に比例し、 τ_c に逆比例すると考えられるので

$$q_s = q_c \cdot \frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} = q_c \left[\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right] \quad (3)$$

と表される。²⁾ q_c は単位時間、単位面積当りの洗掘量の基準値である。そこで q_c を以下のようにして求めることにする。今 t_e を、代表径 d なる粒子塊(空隙を含む)の洗掘に要する時間に比例する値とすると、 t_e は粒子塊の表面積に比例し、掃流力に逆比例することが予想される。掃流力を流体の動粘性係数 ν で評価するならば、 $t_e = A_1 d^2 / \nu$ (A_1 : 定数)と書ける。また、単位面積当りの洗掘量は $\bar{r}_d \cdot d$ ($\bar{r}_d$: 乾燥密度)に比例するであろうから、 $q_c = A_2 \bar{r}_d d / t_e = A_2 \bar{r}_d \nu / d$ ($A = A_2 / A_1$, A_2 : 定数)となる。これを(3)式に代入して

$$q_s = \frac{A \bar{r}_d \nu}{d} \left[\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right] \quad (4)$$

(4)式における $\bar{r}_d$ および d は $\bar{r}_d = G_s \bar{r}_w / (G_s w(z_s) + 1)$ — (5), $\tau_c = C_1 / d^2 (d - C_2)$ — (6)より求めることができる。ここで、 G_s : 土の比重, w : 含水比(%), z_s : 堆積層表面からの深さ(cm), $\bar{r}_w$: 水の単位体積重量(g/cm^3), C_1, C_2 : 定数。

さて、この q_s で時間 Δt の間に厚さ Δz_s の層が削られたとすると、 $\bar{r}_d \cdot \Delta z_s = q_s \cdot \Delta t$ なる関係より洗掘量 Q_s は

$$Q_s = \int_0^t q_s dt = \int_0^{z_s} \bar{r}_d dz_s \quad \text{となり、(2), (5)式より}$$

$$Q_s = G_s \bar{r}_w \left\{ z_s + \frac{1}{b} \ln \frac{1 + G_s a e^{-b z_s}}{1 + G_s a} \right\} \quad (7)$$

次に、 q_s の時間変化を算定する。 τ_c は実験結果より深さ方向にはほぼ直線的に増加することがわかったが、 τ_c の増加が土の圧密によって生じるものとすれば、深さ z_s での土が受ける有効応力 σ' は、

$$\sigma' = \int_0^{z_s} \bar{r}' dz_s \quad (\bar{r}': \text{単位体積当りの土の水中重量}, \bar{r}' = \bar{r}_w (G_s - 1) / (G_s w(z_s) + 1))$$

で表される。 τ_c は σ' に関係するものと考えられ、図-5に示したように $\tau_c = K \sigma' + C$ と表せる。ここで K は定数、 C は $z_s = 0$ での粘着力に基づく剪断強度である。(4), (5), (6), (7), (8)式により、 q_s の時間変化を計算することができ(図-2, 3)。

尚、 τ_c の深さ方向の分布を直線と近似し、(8)式のかわりに $\tau_c = K' z_s + C$ として q_s の時間変化を計算しても上の結果とほとんど変わらなかった。

5. まとめ

この実験で定めた定数 A, K を使って、(4)式により洗掘フラックスを近似的に計算できることがわかった。この定数は掃流条件によっては変わらないが、土の種類、堆積条件によって変化するものと考えられる。今後、土の種類、堆積条件を変えて実験を行ない、この定数を検討することが必要である。

6. 参考文献

- 1) 青木・首藤：第36回年次学術講演会論文集
- 2) 東北大学工学部土木工学科 水理学研究室：四・四田ダム貯水池の流入濁度物質の堆積及び浮上に関する調査研究 昭和52年度報告書
- 3) 青木・首藤：第26回水理講演会論文集

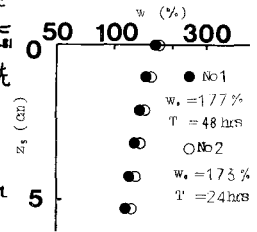


図-4

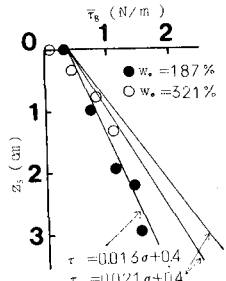


図-5