

VII-117

底泥からの溶解性物質の溶出に及ぼす流れの影響について

神戸大学大学院 学生員 東野 誠
 神戸大学工学部 正 員 神田 徹
 三井共同建設コンサルタント 正 員 住岡 伸治

1. はじめに

流れ場での底泥からの溶解性物質の溶出現象は、乱流境界層の概念を応用することにより次のように考えることができる。水・底泥境界面直上には、分子拡散によって濃度境界層が形成される。底泥からの溶解性物質の溶出量は、この濃度境界層の厚さと、境界層上下間の溶解性物質の濃度差、すなわち境界面の物質濃度と上層水濃度の差に依存する。ところで、濃度境界層厚は上層水の流速により変化し、一方、境界面の物質濃度は底泥の含水比や底泥に含まれる溶解性物質量に関係している。そこで、本研究では一方向流れ場において溶出実験を行い、底泥直上の流速と含水比や溶解性物質含有量などの底泥の物性が溶解性物質の溶出に及ぼす影響について調べるとともに、溶出量の予測式について検討した。

2. 実験装置と方法

実験には図1に示すような長さ650cm、幅20cm、側壁高さ20cmの亚克力樹脂製の水路を用いた。底泥材料としてカオリナイトを、溶解性物質としてメチレンブルーを用いて適当な含水比に調整した底泥を水路の一部に設けられた粘性土床部に敷き通水する。流速を変化させ、各流速ごとに下流部水槽でサンプルを採水しメチレンブルー濃度を測定して次式(1)によって溶出量を求めた。また、各実験において底泥を調整する際のメチレンブルー水溶液濃度あるいは配合するカオリナイトの量を変化させた。

$J = QC/A$ (1) ここに、 J :溶出量($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、 Q :流量(cm^3/s)、 C :各サンプルのメチレンブルー濃度(mg/cm^3)、 A :粘性土床部の面積($=0.1\text{m}^2$)。

3. 溶出量と上層水流速の関係

溶出量 J と断面平均流速 U との関係を図2に示す。図2から、全ての実験において平均流速の増加にともない溶出量が増加していることがわかる。これは、流速の増加にともない濃度境界層の厚さが減少し、底泥面直上のメチレンブルーの濃度勾配が大きくなり溶出量が増加したことによると考えられる。

4. 溶出量と底泥の物性の関係

底泥を調整する際のメチレンブルー水溶液濃度を一定($3000\text{mg}/\text{l}$)とした実験結果は図3に示すようであり、含水比が高い底泥ほど溶出量は大きな値を示している。また、含水比がほぼ同一の底泥を用いた実験結果を図4に示すが、底泥を調整する際のメチレンブルー水溶液濃度が高いほど溶出量は大きい。これらの結果は、底泥粒子(カオリナイト)と溶解性物質(メチレンブルー)との間の吸脱着にともなう間隙水濃度(界面濃度)の変化に起因すると考えられる。

キーワード:底泥, 溶出, 溶解性物質, 濃度境界層

〒657 神戸市灘区六甲台町 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-1050

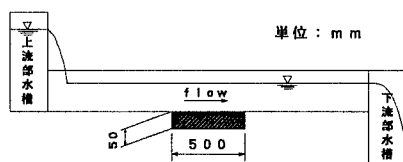


図1 実験水路模式図

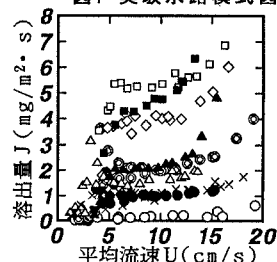


図2 溶出量と平均流速の関係

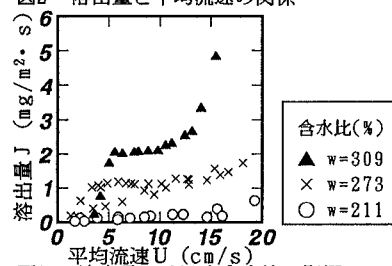


図3 溶出量に及ぼす含水比の影響

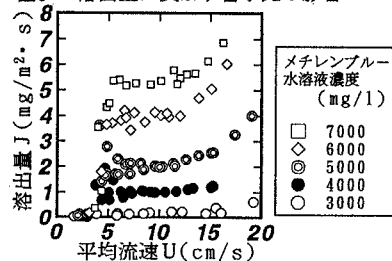


図4 溶出量に及ぼすメチレンブルー含有量の影響

5. 水・底泥境界面での溶解性物質濃度

カオリナイトの配合量，メチレンブルー水溶液の濃度を様々に変化させて，界面濃度，つまり間隙水濃度と底泥を調整する際のメチレンブルー水溶液濃度，含水比との関係について調べた．図5は間隙水濃度 C と次式で与えられる吸着量 q の関係を示したものである．

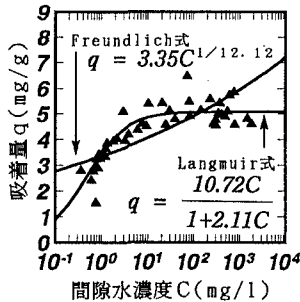


図5 吸着量 q と間隙水濃度 C の関係

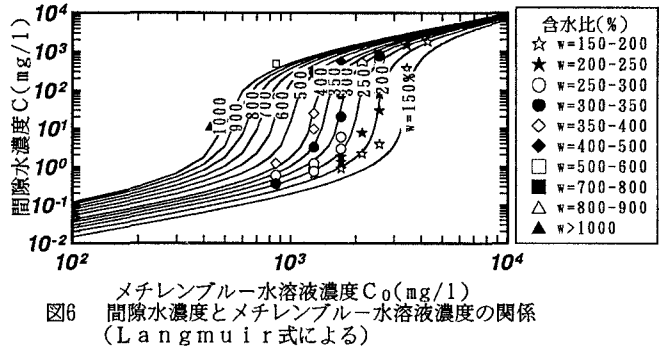


図6 間隙水濃度とメチレンブルー水溶液濃度の関係 (Langmuir式による)

$$C = C_0 - \frac{100}{w} q \gamma_w \quad (2) \quad \text{ここに, } C: \text{間隙水濃度(mg/l), } C_0: \text{底泥を調整する際のメチレンブルー水溶}$$

液濃度(mg/l), q : 底泥粒子単位重量当たりの吸着量(mg/g), γ_w : 水の単位体積重量($=1.0 \times 10^3 \text{ g/l}$), w : 含水比(%). 図5を見ると，間隙水濃度が増加するにつれて吸着量は増加しながらある値に漸近していく傾向を示している．この図にはFreundlichあるいはLangmuir吸着式による推定値も実線で併示しているが，両式と実験値とを比較するとLangmuir式の方が実験値の傾向をよりよく表現しているといえる．そこで，Langmuir式を式(2)に代入すれば底泥を調整する際のメチレンブルー水溶液濃度と含水比から底泥の間隙水濃度，つまり底泥の界面濃度が次式で与えられる．

$$2.11C^2 + (1 + 10.72 \times \frac{10^5}{w} - 2.11C_0)C - C_0 = 0 \quad (3)$$

式(3)より得られる間隙水濃度と実験値を図6に示す．Langmuir式を用いた推定式は実験値をうまく再現しているといえる．

6. 境界層理論による溶出量の予測式

底泥からの溶解性物質の溶出現象に乱流境界層理論を適用すると，溶出フラックスの無次元量シャーウッド数 $Sh(h_D \cdot R/D)$ は次式で与えられる． h_D は物質伝達率であり，物質フラックス J ，界面濃度 C ，上層水中の溶解性物質濃度を C_∞ とすると $h_D = J/(C - C_\infty)$ で与えられる．なお，物質伝達率を計算する際の界面濃度は，式(3)によって得られる間隙水濃度を用いた．また， R は径深， D は拡散係数である．

$$Sh = \frac{3\sqrt{6}}{8\pi} n Sc^{1/3} \sqrt{f} Re \quad (4) \quad \text{ここに, } n=0.1(\text{定数}), Sc: \text{シュミット数}(= \nu/D), Re: \text{レイノルズ}$$

数($=UR/\nu$)．また， f は摩擦損失係数であり，次式で与えられる．

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log_{10}(4Re\sqrt{f}) - 0.8 \quad (5)$$

図7に実験値および式(4)によって計算したシャーウッド数 Sh (実線)を示す．この図より理論値は実験結果を大まかに再現しているが，含水比の高い底泥を用いた実験値が推定式よりも大きな値をとり，含水比が低くなるほど推定式よりも低い値となる傾向が見られる．したがって，このような底泥の含水比の影響をも組み込んだ理論式について検討する必要がある．

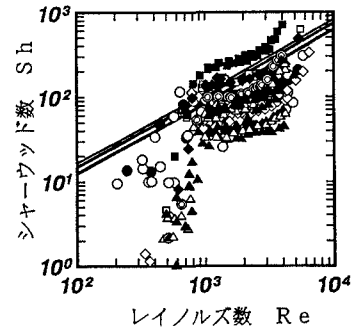


図7 理論式と実験値との比較