

神戸大学工学部 正 員 神田 徹

神戸大学大学院 学生員 東野 誠

三井共同建設コンサルタント(株) 正 員○住岡 伸治

1. はじめに

河床や湖沼に堆積した底泥からの溶解性有機物や栄養塩類の溶出は水質を悪化させる原因となるので、その溶出機構を解明することは水環境を考えるにあたり重要なことである。流れ場における水・底泥境界面での物質輸送に関しては、乱流境界層の概念を応用することにより説明できる。つまり、分子拡散が支配的となる濃度境界層が界面直上に形成され、その境界層の厚さは流速によって変化するので、それに伴い物質輸送フラックスは変化することになる。このことに加えて、水・底泥境界面での溶解性物質の濃度は底泥の含水比や底泥に含まれる溶解性物質質量によって変化する。したがって、底泥からの溶解性物質の溶出現象は、界面での濃度が急変する層の厚さと、そこでの溶解性物質の濃度差、つまり上層水と界面での濃度差に規定されると考えられるが、このような機構に着目した溶出現象に関する研究例はない。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含有物質質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水を通水する。流速を様々に変化させて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 $C(\text{mg}/\text{cm}^3)$ を測定して次式(1)によって溶出量 $J(\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{s})$ を求めた。また各実験毎に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。

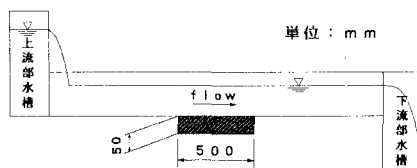


図1 実験水路模式図

$$J = QC/A \quad \text{ここに、} Q: \text{流量}(\text{cm}^3/\text{s}), A: \text{粘性土床部の面積}(=1000\text{cm}^2) \quad (1)$$

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、それにしただい底泥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とことによるものと考えられる。そこで溶出量と濃度境界層厚さの関係について図3に示す。濃度境界層厚さ δ_D は次式より算定した。

$$\delta_D = \frac{10\nu}{U_*} \frac{1}{Sc^{1/3}} \quad \text{ここに、} Sc \text{ はシュミット数}(=\nu/D), \nu \text{ は動粘性係数, } D \text{ は分子拡散係数}, U_*$$

は摩擦速度である。図3から、濃度境界層厚さが減少するにしたがい溶出量が増加することが確認できる。

Tohru KANDA, Makoto HIGASHINO, Shinji SUMIOKA

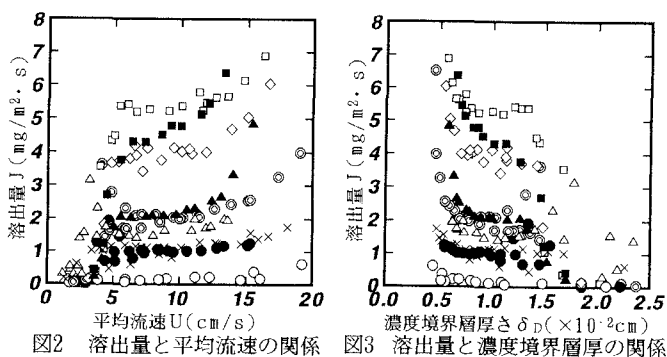


図2 溶出量と平均流速の関係 図3 溶出量と濃度境界層厚さの関係

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(3000mg/l)とした実験について図4に示す。図4からわかるように含水比の高い底泥を用いた実験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5

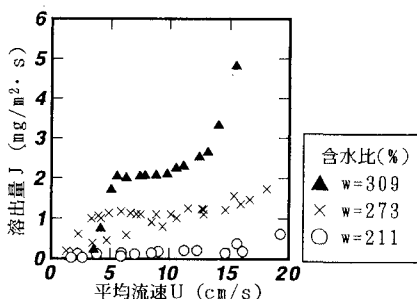


図4 溶出量に及ぼす含水比の影響

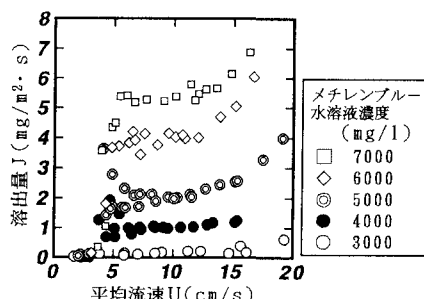


図5 溶出量に及ぼすメチレンブルー水溶液濃度の影響

に示す。図5より底泥を調整する際のメチレンブルー水溶液濃度が高い実験ほど溶出量が大きな値を示している。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。

5. 水・底泥境界面での溶解性物質濃度

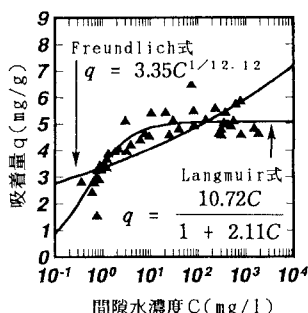


図6 吸着量qと間隙水濃度Cの関係

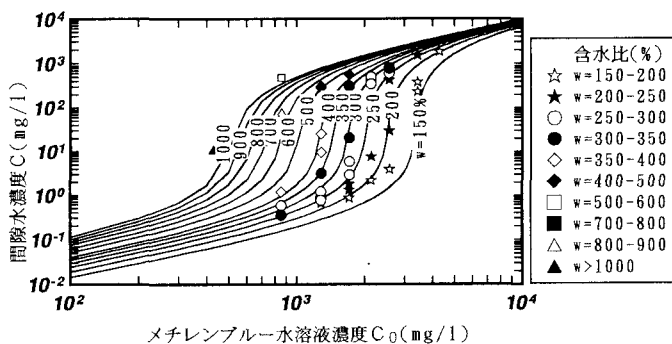


図7 間隙水濃度とメチレンブルー水溶液濃度の関係

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6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。

$$C = C_0 - \frac{100}{w} q \gamma_w \quad (2) \quad \text{ここに、} C: \text{間隙水濃度}(\text{mg/l}), C_0: \text{底泥を調整する際のメチレンブルー水溶液濃度}(\text{mg/l}), q: \text{底泥粒子単位重量当たりの吸着量}(\text{mg/g}), \gamma_w: \text{水の単位体積重量}(=1.0 \times 10^3 \text{g/l}), w: \text{含水比}(\%)$$

また、それらの実験値を説明する式としてFreundlichあるいはLangmuirによる吸着式を用いた。実験値をみ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もある値に漸近していく傾向を示している。両式と実験値とを比較するとLangmuir式のほうがそ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7に示す。図7からわかるように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。