

神戸大学工学部 正 員 神田 徹
 大分高専 正 員 ○東野 誠
 神戸大学大学院 学生員 橋本拓弥

1. はじめに

筆者らは、底泥から流水への溶解性物質の溶出現象について検討を行い、溶出フラックスを上層水流速と底泥の物性(含水比・溶解性物質含有量)の関数としてモデル化した¹⁾。このモデルは底泥表面が滑面の場合を対象としているが、底泥表面に起伏や砂、砂礫等の底質材料の不均一に伴う凹凸がある場合には、溶出現象も当然このような底面の粗さの影響を受けると考えられる。そこで、本研究では粗度要素として棧型粗度を設置した開水路において、一方向流れの条件で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溶出実験を行い、棧の配置間隔を変化させて底面粗度が溶出に及ぼす影響を調べた。

2. 実験装置と方法

溶出実験は、図-1 に示すような長さ 650cm、幅 20cm、側壁高さ 20cm および勾配 1/650 のアクリル樹脂製の水路で行った。水路には粗度要素として 5mm 角のステンレス製の角材を一定の間隔で設置した。この水路の上流端から約 4m の位置に設けた長さ 50cm、深さ 5cm の粘性土床部に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敷き通水する。各流速ごとに水路下流端で採水して、光電分光光度計によって吸光度(波長 670nm)を測定し、予め求めておいた濃度と吸光度の関係式よりメチレンブルー濃度を算定した。得られたメチレンブルー濃度より次式によって溶出フラックス J を求めた。

$$J = QC/A \quad (1)$$

ここに、 J : 溶出フラックス、 Q : 流量、 C : 採水したサンプル中のメチレンブルー濃度、 A : 粘性土床部の面積。

溶出に及ぼす底面粗度の影響について調べるために、棧の配置間隔を変化させた。すなわち、case1 では棧高 $k=0.5\text{cm}$ 、棧間隔 $s=4\text{cm}(s/k=8)$ 、case2 では棧間隔 $s=8\text{cm}(s/k=16)$ 、case3 では $s=16\text{cm}(s/k=32)$ とし、各ケースごとに、メチレンブルー水溶液濃度(調整時)と配合するカオリナイトの量を変化させて数回溶出実験を行った。また、各実験において流速を様々に変化させることで、底泥の物性(含水比・溶解性物質含有量)および上層水流速が溶出フラックスに及ぼす影響を調べた。

3. 溶出フラックスと上層水流速との関係

溶出実験の各ケースについて、溶出フラックス J と断面平均流速 U の関係を図-2(a)~(c)に示す。これらの図より滑面の場合¹⁾と同様、全ての実験において断面平均流

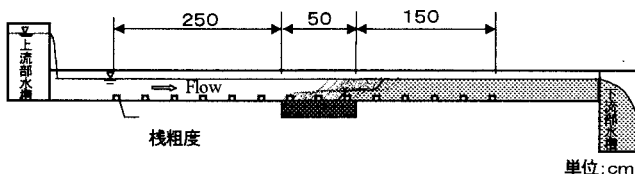


図-1 実験水路

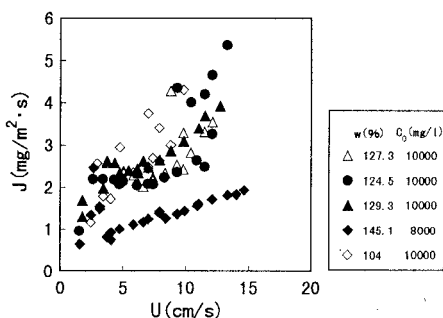


図-2(a) $J \sim U$ 関係($s/k=8$)

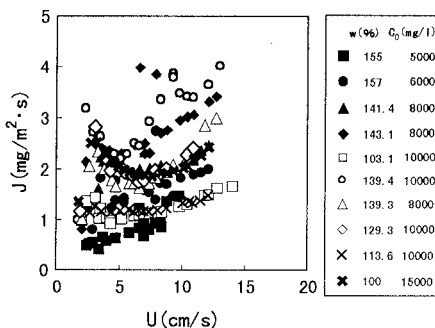


図-2(b) $J \sim U$ 関係($s/k=16$)

速の増加とともに溶出フラックスは増加するのがわかる。粗面流においては、分子拡散が支配的となる濃度境界層は存在せず、棧の後流および渦によって界面近傍に形成される領域がこれに換わる。底泥から流水への溶解性物質の溶出フラックスは、この領域において、底泥表面に接している水塊が乱れによって上層水と混合交換を行う頻度に規定されるが、図-2(a)~(c)より流速の増加に伴い、界面近傍における水塊の混合交換の頻度が増すために、溶出フラックスが増加すると考えられる。

4. 溶出フラックスに及ぼす棧の配置間隔の影響

棧間隔を変化させた3ケースおよび滑面での実験結果を、横軸にレイノルズ数 Re 、縦軸にシャーウッド数 Sh をとって図-3に示す。なお、 Re 数および Sh 数は以下のような無次元量である。

$$Re = \frac{UR}{\nu} \quad (2), \quad Sh = \frac{h_D \cdot R}{D} = \frac{J}{C_w - C_\infty} \cdot \frac{R}{D} \quad (3)$$

ここに、 U : 断面平均流速、 R : 径深、 h_D : 物質伝達率、 D : 拡散係数、 C_w : 界面濃度、 C_∞ : 主流中の溶解性物質濃度である。上式中の界面濃度 C_w は実験時の底泥の物性(含水比・メチレンブルー濃度(調整時))から次の筆者らによる界面濃度の推定式¹⁾によって求めた。

$$C_w = \frac{-g(w, C_0) + \sqrt{\{g(w, C_0)\}^2 + 4.22C_0}}{4.22} \quad (4)$$

ここに、 $g(w, C_0) = 1 + \frac{1.072 \times 10^6}{w} - 2.11C_0$ 。

滑面での議論¹⁾より、溶出フラックスは底泥含水比の影響を受ける。そこで、ここでは滑面および粗面の各ケースについて含水比がほぼ一定(140%前後)の実験値を選んだ。図-3より、棧を密に配置するほど溶出フラックスは増加するといえる。これは、棧間隔が狭くなるほど、棧間において、水塊が上層水と混合交換を行う頻度が増加するためであると考えられる。

5. 溶出フラックスに及ぼす底泥含水比の影響

図-4(a), (b)はそれぞれ case2 および case3 における Re 数と Sh 数との関係をプロットしたものである。この図によれば、両ケースともに低含水比の底泥を用いた実験値がグラフの下側にプロットされ、含水比が高くなるに伴いプロットは上方にシフトするのがわかる。このような含水比による溶出フラックスの差異は、滑面の場合と同様、界面での溶解性物質の底泥粒子への吸着に伴う物質移動の抑制効果に起因するものと考えられる。

参考文献

1) 東野 誠, 神田 徹: 底泥から流水への溶解性物質の溶出過程, 水工学論文集, 第42巻, pp.745-750, 1998.

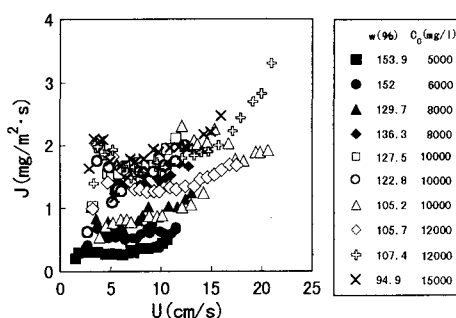


図-2(c) $J \sim U$ 関係($s/k=32$)

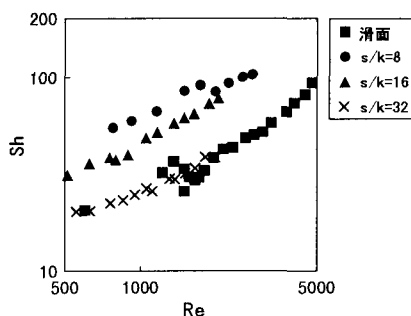


図-3 $Sh \sim Re$ 関係

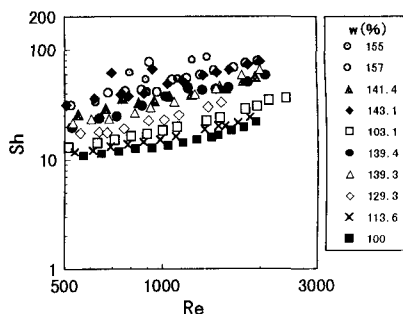


図-4(a) $Sh \sim Re$ 関係($s/k=16$)

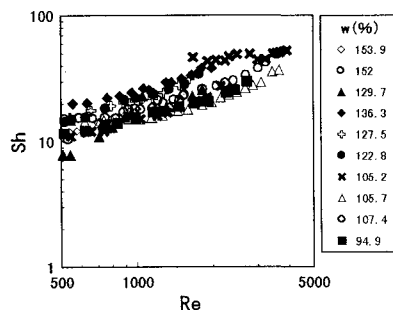


図-4(b) $Sh \sim Re$ 関係($s/k=32$)