

VII-32

底泥から流水への溶質の移動に及ぼす底面形状の影響について

大分高専 正 員 東野 誠
神戸大学工学部 正 員 神田 徹

1. はじめに

水・底泥間の DO や栄養塩等の溶解性物質(溶質)の移動フラックスを把握することは、河川・貯水池等の水質管理上重要な課題である。筆者らは、水・底泥間での溶質の移動現象に着目し、一方向流れ場において溶出実験を行うとともに、溶出フラックス推定のためのモデルについて検討した¹⁾。このモデルでは、底泥表面が滑面の場合を対象としたが、実水域では底面が平坦で滑面の場合は稀であり、種々の凹凸が存在する等、複雑な形状を呈していることが多い。そこで、本研究ではこのような底面形状が底泥から流水への溶質の移動に及ぼす影響を考察した。

2. 底面形状と溶出形態

底面形状が溶出現象に及ぼす影響について、底泥表面が滑面の場合および底泥表面が栈粗度とした場合について以下に考察する。まず、底泥表面が滑面の場合、図-1 のように底泥直上に濃度境界層が形成され、ここでの分子拡散による物質移動が溶出フラックスを決める。上層水流速が大きくなれば濃度境界層厚さは薄くなり、濃度勾配が大きくなるので勾配に比例するフラックスは増加する。一方、底泥表面が栈粗度の場合、水・底泥境界面近傍に各粗度要素の後流および渦によって主流とは性質の異なる流れの領域が形成される(図-2)。溶出フラックスは、この界面近傍の領域において底泥面と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。上層水流速が大きいくほど、また栈の配置間隔が狭いほど、栈間での混合交換の頻度が増すために溶出フラックスは増加すると考えられる。このような溶出過程に関して実験的検討を行った。実験では底泥材料としてカオリナイトを、溶質としてメチレンブルーを用いた。

図-3 は、栈間隔 s と栈高 $k(k=0.5\text{cm})$ の比を変化させた 3 ケースおよび滑面での実験結果を示したものである。ここに、 Sh は溶出フラックス J の無次元量で、次式で与えられる

$$Sh = \frac{J}{C_{\infty} - C_0} \cdot \frac{R}{D} \quad (1), \quad Re = \frac{UR}{\nu} \quad (2)$$

上式において、 C_{∞} : 主流中のメチレンブルー濃度、 R : 径深、 U : 断面平均流速、 D : メチレンブルーの分子拡散係数、 ν : 動粘性係数である。また、 C_0 は底泥間隙水中のメチレンブルー濃度であり、メチレンブルー濃度(調整時) C_0 および底泥含水比 w の関数として次式で与えられる¹⁾。

$$C_0 = \frac{-g(C_0, w) + \sqrt{\{g(C_0, w)\}^2 + 4.22C_0}}{4.22} \quad (3)$$

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

図-3 に示すように、滑面の場合が溶出フラックス(無次元量)が最も小さく、栈粗度のある底泥表面では栈間隔が狭い($s/k=8$) ケースが溶出フラックスが大きくなる。この栈間隔による溶出フラックスの差異は、底泥直上の流れと溶出の関係から予測しうる結果であるが、定量的検討は今後の課題である。

キーワード: 底泥, 溶出, 水・底泥境界面, トレンチ

〒870-0152 大分市大字牧 1666 番地 TEL 097-552-7942 FAX 097-552-7949

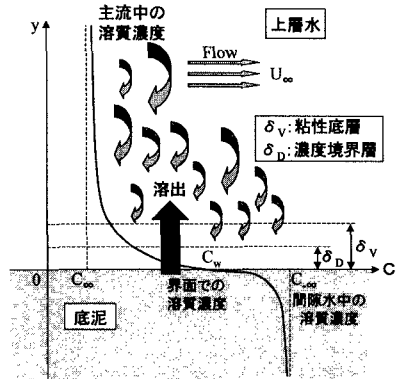


図-1 滑面における溶出現象

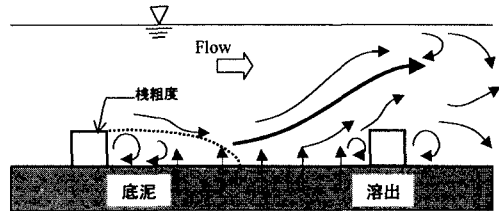


図-2 栈粗面における溶出現象

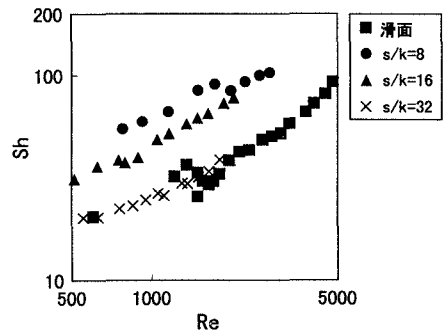


図-3 $Re \sim Sh$ 関係

3. トレンチ流れにおける溶出特性

上述のような底面の粗さに加えて、実水域には凹部（トレンチ）が存在する。そこで、上層水流速およびトレンチ高さ等の水理条件を変化させてトレンチ流れにおける水・底泥境界面での物質移動について調べた。

(1) 実験装置と方法

実験は、図-4に示すような長さ700cm、幅20cm、側壁高さ20cmの亚克力樹脂製の水路で行った。この水路の上流端から約5mの位置に長さ20cm、深さ10cmのトレンチを設置し、ここに底泥材料としてカオリナイトを、溶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4~10cmの厚さ（トレンチ高さ、すなわち水路床から底泥表面までの深さ： $d=0\sim6\text{cm}$ ）に敷き通した。水路下流端に設置した濁度計により流水の吸光度（波長630nm）のモニタリングを行い、メチレンブルー濃度を算定した。各流速ごとに、濃度変化が定常状態に達したときの値を記録し、これより次式によって溶出フラックスを求めた。

$$J = QC / A \quad (4)$$

ここに、 J ：溶出フラックス、 Q ：流量、 C ：メチレンブルー濃度、 A ：底泥床部の面積。

溶出実験において、流速は徐々に大きくしてゆき、底泥粒子の巻き上げが生じない範囲で変化させた。また、溶出フラックスに及ぼすトレンチ形状寸法の影響を調べるために、各実験ごとにトレンチ高さを変化させて（ $d=0, 1, 2, \dots, 6\text{cm}$ ）数回溶出実験を行った。

(2) トレンチ流れにおける溶質の溶出特性

溶出フラックス J と断面平均流速 U との関係を図-5に示す。どのトレンチ高さにおいても断面平均流速とともに溶出フラックスは増加する。また、トレンチ高さが大きくなるとともにプロットは上方へとシフトする。このトレンチ高さによる溶出特性の差異は、トレンチ内の流れの形態の違いに起因するものである。すなわち、トレンチ高さが小さい場合には図-6のような再付着を伴う流れであるのに対して、トレンチ高さが大きくなれば再付着が生じず、かわりに大規模な大循環を伴うキャビティ的な流れ（図-7）となり、これに対応して溶出特性も異なることによると考えられる。

4. まとめ

底泥から流水への溶質の溶出現象に及ぼす底面形状の影響に着目して、本研究では底泥表面が滑面の場合、粗面とした場合、およびトレンチについて考察した。それぞれの底面形状によって流れの形態も異なり、それに応じて溶出形態も異なったものになる。各底面形状による溶出フラックスの差異に関して定性的に把握することができたが、粗面およびトレンチ流れにおける溶出フラックスの定式化に際しては、さらに検討を行う必要がある。

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.

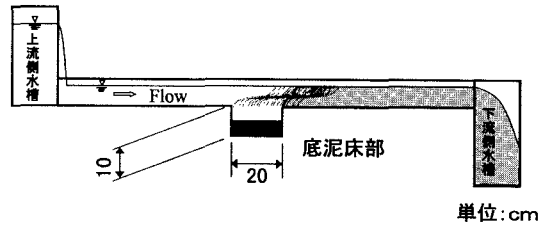


図-4 実験水路

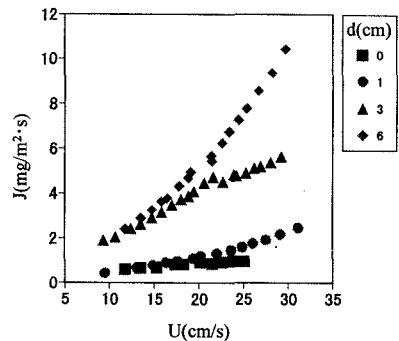


図-5 $U \sim J$ 関係

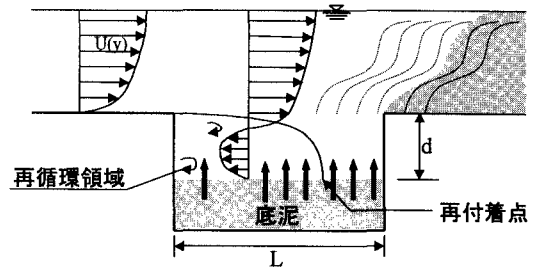


図-6 トレンチ流れにおける溶出現象（再付着有り）

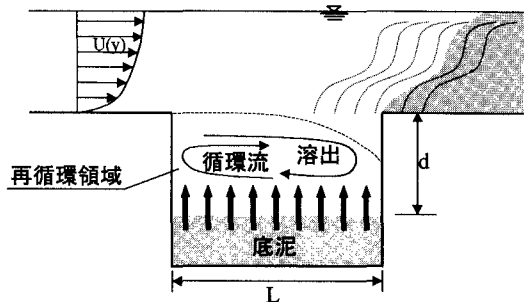


図-7 トレンチ流れにおける溶出現象（再付着無し）