

礫間生物膜法による海水浄化効果に及ぼす流速の影響

大阪市立大学 正会員 小田一紀 貫上佳則
 学生員 ○網潔之 西田恭子
 東洋建設 正会員 倉田克彦

1.はじめに 筆者らは、これまで礫間生物膜法の海水浄化過程を一次反応式で表し、その反応速度定数をバッチ実験と連続負荷実験によって求め、それと礫の代表粒径や滞留時間との関係を明らかにしてきた。しかし、筆者らの実験における流速は室内実験の制約を受け、0.12m/hr以下のかかなり小さな値に設定されていたため、筆者らが得た反応速度定数の値は、例えば土木学会第47回年次学術講演会でシーブルーテクノロジー工法研究会(以下S.B.T.研究会と略記する)が発表した7.8~31.8m/hrの大きな流速条件のもとで行なわれた実験結果から推定した値に比べかなり小さくなり、反応速度定数に対する流速の影響がかなり大きいことが示唆された。このため、本論文では流速を変えて行った筆者らの実験の結果から得られた反応速度定数と流速、礫表面積との関係を調べ、反応速度定数とこれらとの量的関係を表す実験式を導く。

2.物質除去過程の一次反応式による表現 礫間生物膜法による物質の除去は、微生物による分解、生物膜表面への吸着および礫空隙での沈殿である。この除去過程はバッチ実験では物質濃度の空間勾配は無視し、次の一次反応式で表される。

$$\frac{dL}{dt} = -k_r(L - L_d) \quad \cdots(1)$$

ここで、L: 濃度, t: 時間, L_d : 基底濃度, k_r : 反応速度定数, である。

初期濃度 L_0 として式(1)を積分すると、濃度と時間の関係式(2)を得る。

$$L = (L_0 - L_d) \exp(-k_r t) + L_d \quad \cdots(2)$$

また、開水路などを用いた連続負荷実験では物質濃度の時間勾配は無視し、流下距離 l および流速 u を用いて、式(3)のように表される。

$$\frac{dL}{dl} = -K(L - L_d) \quad \cdots(3)$$

ここで、 $K = k_r/u$ である。式(1)と同様に、式(3)を積分すると、濃度と流下距離の関係式(4)を得る。

$$L = (L_0 - L_d) \exp(-Kl) + L_d \quad \cdots(4)$$

式(1)~(4)によって、物質の時間的・空間的变化を考える場合、重要となるのが反応速度定数 k_r である。そこで、この k_r についてももう少し詳しくみていくことにする。

3.反応速度定数に影響を及ぼす因子 反応速度定数 k_r は様々な因子の影響を受け、従来の下水を対象とした研究では水温を影響因子の一つと考え、 k_r を水温で表す式が提案されている(柏谷1980)。

筆者らは、 k_r に影響を及ぼす因子として水温以外に見掛けの断面平均流速 u_a と単位体積当たりの礫表面積 a に着目し、長さ3.0m、幅0.5m、高さ0.6mの水槽を用いて得られた筆者らのバッチ実験の結果を式(2)にあてはめ、最小2乗法によってCOD、SSの反応速度定数を求めた。その結果、反応速度定数の値は実験条件の範囲内では流速 u_a が大きいほど、また単位体積当たりの礫表面積 a が大きいほど大きくなることが確認され、図-1および図-2に示すように反応速度定数と、流速と礫表面積の積との間に一定の関係があることが認められた。流速 u_a と単位体積当たりの礫表面積 a の積の関係を図-1および図-2に示すように実験式の形で表した。

流速が大きいと浮遊物の沈殿作用は弱まる。しかし、流速や単位体積当たりの礫表面積が大

きくなると、浮遊物や溶解性有機物が単位時間当たりに礫表面と接触する面積が大きくなり、吸着量や分解量が増加すると考えられる。しかし、流速が大きいと、礫層内での滞留時間は短くなるので、実際の有限長の構造物を考えた場合、このことから除去率も大きくなるとは必ずしも言えない。そこで、今度は流下距離と除去率の関係についてみていくことにする。

4.流下距離と除去率の関係 西原ら(1992)は、礫粒径が同じで流速(滞留時間)の異なるCASEについて除去率を求める実験を行っている。この実験結果をもとに、横軸に流速、縦軸にCODの除去率をとってグラフに表したものが図-3である。この図より、流速の小さいCASEほど除去率が大きくなる傾向が見られる。つまり、流速が小さいと k_r は小さくなるが、流下距離が一定であるため滞留時間は長くなり、結果的に除去率は大きくなるものと考えられる。滞留時間が同じでも流速が異なれば、除去率が変わるかを図-1の実験結果に基づいて調べてみる。この場合、水路長(流下距離)は当然異なる。

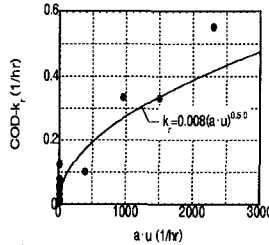


図-1 $COD \cdot k_r - a \cdot u$

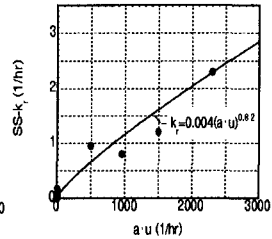


図-2 $SS \cdot k_r - a \cdot u$

表-1 計算条件

流速 $u_A = 2.5, 10, 40$ (m/hr)	
初期濃度 $L_0 = 5.0$ (mg/l)	基底濃度 $L_b = 2.5$ (mg/l)
単位体積当たりの礫表面積 $a = 120$ (m^2/m^3)	
反応速度定数 $k_r = 0.048(a \cdot u_A)^{0.30}$	

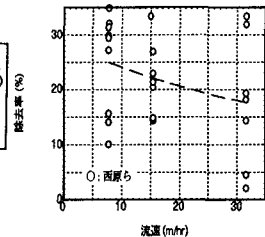


図-3 一定流下距離での流速による除去率の違い

まず、式(4)によって、3種類の流速について滞留時間を一定の2時間とし濃度の空間的変化を計算し比較を行った。なお、計算条件を表-1に示す。図-4はこの計算結果である。この図より、滞留時間が同じであっても、流速の大きなCASEほど除去率が大きくなるのがわかる(グラフ中の数字は除去率を表す)。

表-2 一定滞留時間での流速による除去率の違い

滞留時間 (hr)	0.95	1.9
CASE-1 (流速7.76 m/hr)	—	15.4
CASE-2 (流速15.5 m/hr)	8.44	22.0
CASE-3 (流速31.6 m/hr)	17.6	—

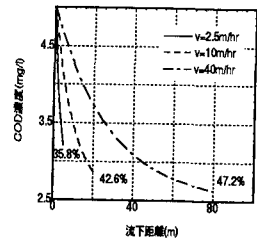


図-4 計算結果

次に、西原らの行った実験結果を表-2に示す。これは、流速の異なるCASEについて、ある滞留時間(0.95 hr, 1.9 hr)でのCODの平均除去率を示したものである。この表からも、先の計算結果と同様の傾向が得られる。

5.結論 (1)反応速度定数 k_r は水温が15～30℃程度の範囲内では、単位体積当たりの礫表面積が大きいほど、また見掛けの断面平均流速が大きいほど大きく、今回の実験データの範囲内ではCODについては $k_r = 0.008(a \cdot u)^{0.50}$ 、SSについては $k_r = 0.004(a \cdot u)^{0.82}$ の実験式が提案される。

(2)しかし、一定流下距離での物質の除去率は、一般に流速が小さいほど大きい。このことは(1)の結論と矛盾するようであるが(1)の結論は単位時間当たりの除去量は流速が速くなるほど大きくなることを意味していると理解される。

(3)流速が大きいほど、一定滞留時間での物質の除去率は大きい。

最後に、本研究はの一部は文部省科学技術費補助金一般研究(B)課題番号03452215(代表者:小田一紀)の補助を受けて行なわれたものである。ここに記して謝意を表する。

<参考文献> 西原ら:土木学会第47回年次学術講演会 pp.902-903.