

数値シミュレーションによる潮汐変動に伴う 捨石堤生物膜の水質浄化過程の試算

大阪市立大学工学部 正会員 小田 一紀
大阪市立大学大学院 学生員 ○岡本 良治
東亜建設工業 早川 毅

1. <研究の目的> 既に下水の2次処理あるいは3次処理の有効な方法として生物膜接触酸化法が一般によく用いられている。これはろ床材や回転円盤の表面に成長した生物膜中の微細動物の捕食作用によって汚水を浄化しようとするものである。この方法を沿岸の海水浄化に応用しようとする構想が提案されているが、内海沿岸域の汚濁濃度は高くともCODで3~4mg/l程度であり、接触酸化法でなくても、一般にこの程度の低濃度の汚水を浄化することは甚だ非常識的で実用的でない。この方法の実用性については様々な観点から検討を加える必要がある。ここでは前述のような浄化機構を有することを前提としてそのような機能を有する堤体によって囲まれた水域の浄化過程を有限要素法による数値シミュレーションによって検討したのでここに報告する。

2. <方針> 周囲の3辺が多孔質堤体で囲まれた矩形水域（以下、内水域）を設定し、潮汐による内水域および周辺水域（以下、外水域）の流況を解明する。次に、多孔質堤体中の生物膜接触酸化により浄化された海水が、外水域にどのように拡散し希釈されるかを空間的・時間的に調べる。

3. <潮流の基礎方程式>

■運動方程式（y方向についても同様であるのでx方向のみ示す）

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\lambda} \left\{ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right\} + g \lambda \frac{\partial \zeta}{\partial x} = A_t \left\{ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right\} - \frac{K_x}{D \lambda} u |u| \quad (1)$$

■連続の方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial H u}{\partial x} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial H v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

多孔質堤体内外で流れを連続的に取り扱うため、一般的な潮流の運動方程式に、堤体内のみ空隙率 λ と堤体通過による摩擦損失項を考慮する。空隙率は堤体内では $\lambda=0.4$ 、その他の領域では $\lambda=1.0$ とする。 D は礫の代表粒径である。 K_x は摩擦損失係数で、層流時($Re < 10^2$)は $K_x = 800 \lambda \nu / uD$ 、過渡期($10^2 < Re < 10^4$)は $K_x = 800 \lambda \nu / uD + 1.0$ 、乱流時($Re > 10^4$)は $K_x = 1.0$ で定数とした¹⁾。計算領域は3200×6400(m)の矩形で、1辺のみ陸境界であるとし、水深は陸境界（平均水深2m）から沖へ1/100の1様勾配。多孔質堤体は図-1に示すように堤体背面が100×200(m)の大きさで内水域を囲んでおり、堤体幅は25(m)である。また、内部は粒径が $D=15$ (cm)の1様な材料で構成されているとする。海水の動粘性係数は $\nu=1.2 \times 10^{-6}$ (m²/sec)、渦動粘性係数は $A_t=1.0$ (m²/sec)、境界条件は強制振幅 $\zeta=0.5 \cos(2\pi t/T)$ (m)とし、計算領域の左右の境界で位相差 $\varepsilon=482$ (sec)をもたせた。節点数は291、要素数は532、タイムステップは2(sec)、時間積分は2段階陽的ラックス・ウエンドロフ法²⁾を用いた。

図-1は最大流速時で、沖側境界付近で約36(cm/sec)となっている。堤体付近では流れが迂回しており、内水域では流速が小さく、かなり静穏になっていることがわかる。

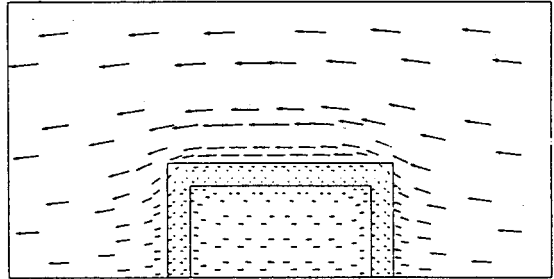


図-1 潮流ベクトル図

4. < 拡散の基礎方程式 >

$$\frac{\partial C \cdot H}{\partial t} + uH \frac{\partial C}{\partial x} + vH \frac{\partial C}{\partial y} = DH \left\{ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right\} - k \cdot C \cdot H + H \cdot Q \quad (3)$$

C:汚濁物質濃度、D:乱流拡散係数、k:汚濁物質浄化係数 Q:単位時間当りの汚濁負荷量
 右辺第2項は生物膜による浄化を意味し、堤体内部での計算時のみ考慮する。計算条件として、拡散係数は内水域では 1.0×10^4 、堤体内部では 5.0×10^4 、外水域では 10.0×10^5 (cm^2/sec)とした。また、汚濁負荷物質はCODであるとし、10 (gCOD/sec)を陸側中心付近の排出要素³⁾で連続的に与えた。沖側境界濃度は $2.0(\text{mg}/\text{l})$ 、初期濃度分布も全域 $2.0(\text{mg}/\text{l})$ とした。計算のタイムステップは $600(\text{sec})$ 、時間積分は陰解法を使用した。濃度分布は計算開始後2周期目からほぼ定常的になった。図-3～図-4に10周期後の満潮時の濃度分布図を示す。いずれの図も右向きの流れによってやや流されていることがわかる。ここでの平均除去率とは汚濁負荷量(gCOD/sec)に対する堤体での浄化量(gCOD/sec)を10周期の算術平均で表したものである。

5. < 考察 >

図-2(a),(b),(c)より、堤体における浄化係数が大きいほど汚濁物質の拡散が抑制されていることがわかる。とくに、図-2(a)では汚濁負荷物質の平均除去率が100(%)を超えている。これは堤体付近において初期濃度の $2(\text{mg}/\text{l})$ を下回っていることからわかるように、負荷する汚濁物質の浄化のみならず堤体外水域のバックグラウンドの浄化効果もあることを示している。逆に図-2(c)では浄化係数が小さいために、汚濁物質はあまり浄化されずに堤体外へ流出し、希釈されながら流されていくことがわかる。図-3は汚濁負荷点を堤体で二重に囲んだ場合である。図-2(b)と比べ、堤体の体積は水深も考慮すると一重の場合に比べて約1.27倍になるが、その平均除去率を比べると約1.36倍となり、堤体の体積と単純には比例していない。堤体内部での浄化効果はそこでの濃度が高いほど大きいので、汚濁負荷物質の浄化のみを目的とした場合、堤体を汚濁負荷点に近づけた方が、その効果は増大すると考えられる。

6. < まとめ > 潮流計算においては透過堤周辺の流況の再現を試み、拡散計算においては水域内外の浄化・拡散現象の把握を試みた。今後、多孔質堤体における浄化係数を実験によって求め、実海域を対象とした計算を行い、その適用性について検討していく方針である。 <参考文献> (1) David. Stephenson: "ROCKFILL IN HYDRAULIC ENGINEERING", ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING, (2)川原陸人他:第23回海講, PP.498~501, 1976., (3)中辻啓二他:第24回海講, PP.438~442, 1977.

平均除去率 108.7 (%)



図-2(a) 濃度分布図 ($k=1.0$ (1/hr))

平均除去率 17.6 (%)

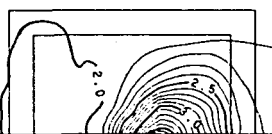


図-2(b) 濃度分布図 ($k=0.1$ (1/hr))

平均除去率 1.8 (%)

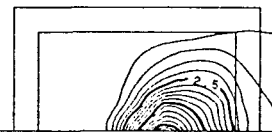


図-2(c) 濃度分布図 ($k=0.01$ (1/hr))

平均除去率 24.0 (%)

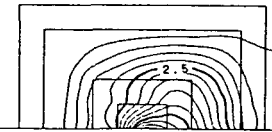


図-3 濃度分布図 ($k=0.1$ (1/hr))