

## II-424

## 礫間接触酸化機能を有する捨石堤の水質浄化効果の数値シミュレーション

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

1. <まえがき> 内湾沿岸域の局所的な水質改善策として汚濁物質そのものを微生物の捕食・分解作用を利用して除去しようとする考え方がある。この原形は海水中や干潟などの自然の営みの中に見られるが人工的に実用化したものとして下水処理の有効な手段である生物膜あるいは礫間接触酸化法がある。この方法は、最近河川水の水浄化法としても試験的に採用され始めているが、海水浄化に積極的に利用された例はまだ見当たらない。従来から捨石堤の個々の石の表面には前述の接触酸化機能を有する生物膜が形成されていることがよく知られている。このような浄化機能を有する捨石堤で汚濁流入点を囲み(以後捨石環状堤と呼ぶ)、潮汐作用によって汚濁海水を捨石層に繰り返し出入りさせれば効率的に浄化できる可能性がある。本研究はこの点に着目し、礫間接触酸化機能を有する捨石環状堤の内水域に汚濁負荷を与え、潮流場における汚濁濃度の時間的・空間的变化を数値シミュレーションによって調べ、それによる海水浄化効果がどの程度期待できるかを検討する。

2. <数値シミュレーションの方法> 図-1に示すように周囲の3辺が捨石堤で囲まれた矩形水域(以下、内水域)を設定し、まず潮汐による内水域および周辺水域(以下、外水域)の流況を計算する。潮流の運動方程式は海岸に平行なx軸方向について式(1)で表される。y軸方向についても同様に扱うのでここでは省略する。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\lambda} \left\{ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right\} + g \lambda \frac{\partial \zeta}{\partial x} = A_1 \left\{ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right\} - \frac{K}{D \lambda} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

また、連続方程式は式(2)で表される。

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

上式中、 $\lambda$ :堤体空隙率、 $A_1$ :渦動粘性係数、 $K$ :摩擦損失係数、 $H$ :水深、 $\zeta$ :水位変動量、 $D$ :捨石代表粒径。ここで堤体内では $\lambda=0.4$ とする。また、堤体外では $\lambda=1.0$ とし、運動方程式中の摩擦損失項は無視する。堤体の摩擦損失係数は、Stephen-son<sup>1)</sup>の提案に従って、層流時( $Re < 10^2$ )は $K=800 \lambda \nu / D$ 、過渡期( $10^2 < Re < 10^4$ )は $K=800 \lambda \nu / D$

$\sqrt{u^2 + v^2} + 1.0$ 、乱流時( $Re > 10^4$ )は $K=1.0$ とする。計算領域は  $3.2 \times 6.4$  kmの矩形で、1辺は陸境界であるとし、水深は 陸境界(平均水深 2m)から沖へ 1/100の一樣勾配で変化させる。内水域は図-1に示すように  $100 \times 200$  mの大きさ、堤体の幅は25 m、代表粒径は $D=15$  cmとする。動粘性係数は $\nu=1.2 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/sec、渦動粘性係数は $A_1=1.0$  m<sup>2</sup>/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をもたせる。計算は有限要素法で行い、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<sup>2)</sup>を用いる。以上のようにして得られた流況の計算結果の一例を図-1に示す。図-1は計算領域の左右中央2等分線上の沖側境界で最大流速(約36cm/sec)を示す位相における流況を表しており、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。

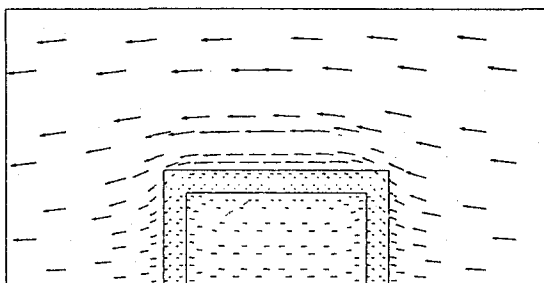


図-1 潮流ベクトル図

濃度計算は、潮流計算の結果を式(3)の拡散方程式に代入することによって行う。

$$H\lambda \frac{\partial C}{\partial t} + uH \frac{\partial C}{\partial x} + vH \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_H \lambda \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_H \lambda \frac{\partial C}{\partial y} \right) - kCH\lambda + H\lambda Q \quad (3)$$

ここに、C:汚濁物質濃度、D:拡散係数、k:堤体の浄化係数、Q:単位時間当りの汚濁負荷濃度。上式中の右辺第3項は堤体による単位時間当りの汚濁物質浄化量を表し、堤体内の計算時においてのみ考慮する。第4項は単位時間当りの汚濁負荷量を表す。計算条件として、拡散係数は内水域では  $1.0 \times 10^4$ 、堤体内部では  $5.0 \times 10^4$ 、外水域では  $1.0 \times 10^5$   $\text{cm}^2/\text{sec}$  とする。また、汚濁負荷物質はCODであるとし、10および100  $\text{g}/\text{sec}$  を左右中央対角線付近の最陸岸寄りの排出要素<sup>3)</sup>で連続的に与える。バックグラウンド濃度は、初期濃度を計算領域全体で 2.0  $\text{mg}/\text{l}$ 、計算領域の外境界で常時 2.0  $\text{mg}/\text{l}$  とする。計算のタイムステップは 600sec、時間積分は陰解法を使用する。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-2に10周期後の満潮時の濃度分布を示す。ここでの平均除去率とは、汚濁負荷量に対して堤体で浄化された絶対量を10周期間の時間平均で表したものである。

3. < 考察 > 図-2(a),(b)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(b)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。本来、(3)式中の浄化項は濃度が高いほど大きくなる。図-2(c)では負荷量は(a),(b)の10倍であるが、堤体付近の濃度は高々2~3倍程度であるため浄化される絶対量はあまり大きくならない。従って除去率は当然小さくなる。除去率を高めることだけを目的としたとき、負荷量がこのように多い場合には堤体を汚濁負荷点に近づけた方が効果的であると考えられる。

汚濁負荷量 10.0 ( $\text{g}/\text{sec}$ )  
浄化係数 1.0 ( $1/\text{hr}$ )  
平均除去率 108.7 (%)

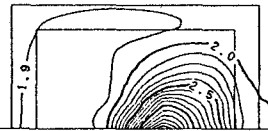


図-2(a) 濃度分布図

汚濁負荷量 10.0 ( $\text{g}/\text{sec}$ )  
浄化係数 0.1 ( $1/\text{hr}$ )  
平均除去率 17.6 (%)



図-2(b) 濃度分布図

汚濁負荷量 100.0 ( $\text{g}/\text{sec}$ )  
浄化係数 0.1 ( $1/\text{hr}$ )  
平均除去率 2.47 (%)

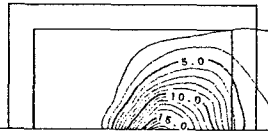


図-2(c) 濃度分布図

4. < 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。対象物質が非保存系であるための問題点や、計算の精度については今後検討する必要がある。また今後、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) 川原睦人他: 第23回海講, PP.498~501, 1976.
- 3) 中辻啓二他: 第24回海講, PP.438~442, 1977.