

摂南大学工学部	正会員	○澤井 健二
摂南大学工学部		赤松 大輔
摂南大学工学部		白川 哲司
摂南大学工学部		末瀬 良平
摂南大学工学部		野田 幸義

1. まえがき

本研究は、透過堤を介して外海と接する水域において、潮汐に伴う水の出入りによって、透過堤内で浄化された水が池内に広がり、池全体の水質が浄化されていく機構をモデル化し、現象の支配要因とその影響を明らかにしようとするものである。モデルでは、透過堤を透水係数一定の直方体で近似し、透過水の汚染濃度が透過時間に伴って指数減衰するものと仮定して、潮汐に伴う池内の水質変化を予測した。

2. 透過堤を有する感潮池の水位変動予測モデル

図-1のように水面積Aの水域が厚さL、長さBの石積み堤を介して海に接している状況を考える。堤内の流れがDarcy則に従うものとする。外海の水位を H_o 、内海の水位を H_i で表すと、

$$v = k(H_o - H_i)/L \quad (1)$$

が成り立つ。ここに、 v は外海から内海へ向かうみかけ流速、 k は透水係数である。今、外海の潮差が石積み堤地点の平均水深 h に比べて小さいものとする。外海へ向かう流量 Q は

$$Q = vBh \quad (2)$$

で表されるが、連続の関係より

$$Q = A(dH_i/dt) \quad (3)$$

であるから、(1)、(2)を(3)に順次代入することにより、

$$dH_i/dt = (kBh/AL) \cdot (H_o - H_i) \quad (4)$$

が得られる。ここで、

$$H_o = H_m + a_o \sin(2\pi t/T + \phi) \quad (5)$$

$$H_i = H_m + a_i \sin(2\pi t/T) \quad (6)$$

と表されるものとする。 (5)、(6)を(4)に代入することにより、

$$a_i/a_o = \cos \phi \quad (7)$$

$$\phi = \tan^{-1}(2\pi AL/kBhT) \quad (8)$$

が得られる。

さて、内海の振幅 a_i が求まれば、上げ潮期の流入量 V は

$$V = 2a_i A = 2a_o A \quad (9)$$

平均みかけ流速 v_m は

$$v_m = V/(Bh)/(T/2) = (4a_o A/BhT) \cos \phi \quad (10)$$

となり、みかけ流速が実流速の λ 倍であるとする。石積み堤内での平均滞留時間 t_m は

$$t_m = L/(v_m/\lambda) = \lambda LBhT/(4a_o A \cos \phi) \quad (11)$$

で表されることになる。ここに、 λ は石材の空隙率である。

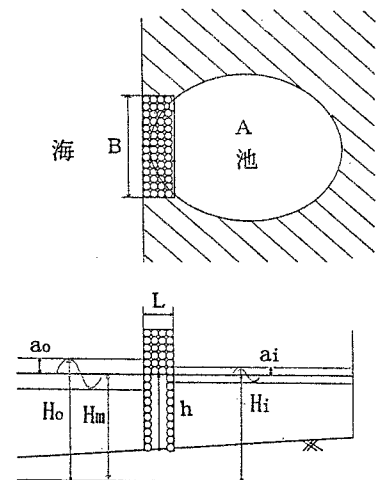


図-1 透過堤の平面図と縦断図

3. 石積み堤における水質浄化と池内の濃度変化予測モデル

今、石積み堤内で負荷濃度 C が時間とともに指数関数的に低減するものとするれば、石積みを通ずる直前の負荷濃度が C_0 であった水は通過直後には負荷濃度が

$$C_m = C_0 \exp(-K t_m) \quad (12)$$

になっていることが期待される。したがって池の中には時間 $T/2$ の間で濃度 C_m の水が V だけ流入することになる。一方、下げ潮期には体積 V の水が流出するだけで内海の負荷濃度は変わらないものとするれば、結局内海の水は時間 T 内に体積 V ずつ濃度 C_m の水で置き換えられることになる。すなわち内海の水の体積を V_i とすれば、その濃度 C_i は時間 T 内に

$$\Delta C = (C_m - C_i) V / V_i \quad (13)$$

だけ変化することになる。ここで

$$dC_i / dt = \Delta C / T = (C_m - C_i) V / (V_i T) \quad (14)$$

と近似すれば、それを積分することにより、

$$R_c = (C_i - C_m) / (C_{i0} - C_m) = \exp(-V t / V_i T) \quad (15)$$

が得られる。ここに、 C_{i0} は $t=0$ における C_i の値である。

ただし、 C_i 以外の諸量は C_m も含めて時間的に変化しないものとしている。

また、負荷濃度の変動要因には、石積みによるものだけを考え、池内での負荷の生成や消滅は省いている。ところで、式(12)中の分解速度係数 K が石材の比表面積 S に比例し、さらに S が石材の代表径 d_s に反比例するものとするれば、

$$K = K_s S = K_d d_s^{-1} \quad (16)$$

と表すことができ、結局石積みによる池内の水質浄化過程に影響を及ぼすおもな因子は、池の水面積 A 、体積 V 、石積み堤の厚さ L 、長さ B 、高さ h 、代表径 d_s 、空隙率 λ 、透水係数 k 、潮汐の振幅 a_0 、周期 T 、外海の負荷濃度 C_0 、分解速度係数 K_d ということになる。これらの変数は時間的に一定でないもの、互いに従属しているもの、さらに詳細な検討が必要なものもあるが、ここではそれらが独立に定数として与えられるものとして議論を進める。

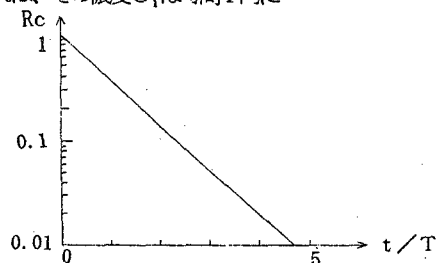


図-2 時間経過に伴う水質の変化

4. 計算例

我々は以前から泉佐野市りんくう公園内の修景池において石積み堤による水質浄化効果に関する調査を行っているが、その諸元に近い数値を上記のモデルに当てはめると、次のようになる。

$$A=10000 \text{ m}^2, L=20 \text{ m}, B=100 \text{ m}, h=4 \text{ m}, a_0=1 \text{ m},$$

$$T=12 \text{ hr}, \lambda=0.4, V_i=20000 \text{ m}^3, k=50 \text{ cm/s}, K=10^{-4} / \text{s}.$$

この場合、式(7)(8)より $a_i/a_0=0.99$ となり、内海の水位はほとんど外海の水位に等しいことがわかる。その結果、 $v_m=2.3 \text{ mm/s}$ 、 $t_m=3500 \text{ s}$ となり、 $C_m/C_0=0.7$ が得られる。これらの値を用いて内海の濃度変化を図示すると、図-2のようになる。

5. あとがき

このモデルでは、透過堤による水質浄化過程をわかりやすくするため、透過堤やその他の条件に関しては簡略化して考えた。今後は、季節変化による水質への影響や内部生産についても考えていくことが必要である。

謝辞 本研究を行うにあたり、水処理・水環境木原研究室木原敏先生には種々のご指導を賜った。また、大阪府りんくう公園事務所には現地調査において種々の御協力を戴いた。記して謝意を表す。