

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。前報¹⁾では、透過堤を透水係数一定の直方体で近似し、透過堤内での汚染濃度が滞留時間に伴って指数減衰するものと仮定して、石積み堤内の平均透過時間における除去率を求め、上げ潮時に石積み堤を透過する水がその除去率で浄化されて瞬時に池の水と混合するものとして、池内の水質変化を予測した。

しかし、実際には、石積み堤内での流速は時々刻々変化しており、それに伴って石積み堤の透過時間も刻々変化する。そこで、本報では、石積み堤内での水の軌跡と透過時間（滞留時間）を詳細に検討し、モデルの向上を図った。

2. 石積み堤内における水の軌跡と透過時間

石積み堤内における水の透過軌跡を模式的に表現すると、図-1 のようになる。すなわち、フェーズ1では外海の水が石積み堤を通過して内海に流入する。フェーズ2では、外海の水が一旦石積み堤に流入するが、内海に達するまでに途中で向きを変えて外海に逆戻りする。フェーズ3では内海の水が石積み堤を通過して外海に流出する。フェーズ4では内海の水が一旦石積み堤に流入するが、外海に達するまでに途中で向きを変えて内海に逆戻りする。次に、各フェーズ毎に石積み堤内での滞留時間を求めるが、内海の水位は常に外海の水位に等しく、次式で表されるものと近似する。

$$H_i = H_o = H_m + a \sin(2\pi t/T) \quad (1)$$

いま、石積み堤の深さ方向には現象が変化しない、すなわち石積み堤のどの高さにおいても水は同じ速さで動くものとすれば、石積み堤内の流速は

$$v = (dH/dt) A / (L \cdot h \cdot \lambda) \quad (2)$$

と表される。ここに、Aは内海の水面積、Lは石積み堤の長さ、hは平均水深、λは空隙率である。これに基づいて、石積み堤内の流れの軌跡を追跡し、各フェーズごとの滞留時間を求めれば、次のようになる。

$$\text{フェーズ1} \quad \tau_1 = t_{12} - t_{11} = \sin^{-1}((a \sin(2\pi t_{12}/T) - \Delta H) / a) T / 2\pi \quad (3)$$

$$\text{フェーズ2} \quad \tau_2 = t_{22} - t_{21} = 2(t_{22} - T/4) \quad (4)$$

$$\text{フェーズ3} \quad \tau_3 = t_{32} - t_{31} = t_{32} - \sin^{-1}((a \sin(2\pi t_{22}/T) + \Delta H) / a) T / 2\pi \quad (5)$$

$$\text{フェーズ4} \quad \tau_4 = t_{42} - t_{41} = 2(t_{42} - 3T/4) \quad (6)$$

そこで各フェーズにおける滞留時間の変化を図示すると図-2 のようになる。

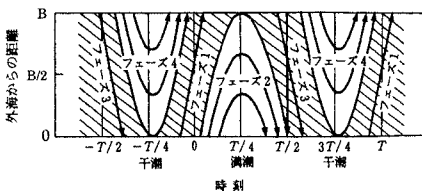


図-1 石積み堤内の透過軌跡の概念図
(B: 石積み堤の厚さ)

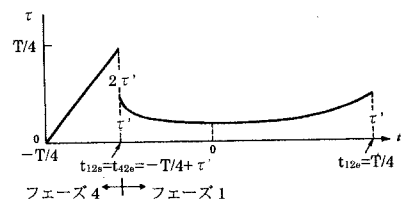


図-2 各フェーズにおける滞留時間の変化

3. ラグーン内の水質の時間変化

石積み堤内における水質の時間変化は、先に述べたように、指数低減するものと近似される。そこで、各フェーズにおいて石積み堤に流入するときの負荷濃度と滞留時間がわかれば、石積み堤から流出するときの負荷濃度が算出できることになる。石積み堤からラグーン内に流出した負荷がラグーン内に広がるのにはある程度の時間を要するため、ラグーン内での負荷濃度は場所によって異なるが、ここでは簡単のため、その空間的な平均濃度について考えることにする。

いま、ラグーン内での負荷の生成・消滅が省略でき、負荷の増減は石積み堤を介してのみ生じるものとすれば、石積み堤からラグーン内への負荷が流入するフェーズ1の全期間とフェーズ4の後半部にはのみラグーン内の濃度が変化し、ラグーン内から石積み堤へ負荷が流出するフェーズ3の全期間およびフェーズ4の前半においては、ラグーン内の濃度変化は生じない。

そこで、時刻 t におけるラグーン内の水の体積を V_i 、負荷量を S_i 、濃度を C_i 、微小時間 Δt 内にラグーンに流入する水の体積を ΔV 、濃度を C 、流入負荷量を ΔS とすれば、

$$S_i = V_i C_i \quad (7)$$

$$\Delta S = \Delta V \cdot C \quad (8)$$

であるから、 Δt 間の濃度変化は

$$\begin{aligned} \Delta C &= (S_i + \Delta S) / (V_i + \Delta V) - C_i \\ &= C_i \cdot \Delta V / V_i (C / C_i - 1) \end{aligned} \quad (9)$$

したがって濃度の変化速度は

$$dC/dt = (C_i Q / V_i) \cdot (C / C_i - 1) \quad (10)$$

となる。ここに、 Q は流入流量で、ラグーンの水面積を A 、ラグーンの水位を H_i とすれば、

$$Q = A dH_i / dt \quad (11)$$

である。また、流入負荷濃度 C は指数低減の仮定より、

$$C = C_{inf} + (C_o - C_{inf}) \exp(-p\tau) \quad (12)$$

となる。ここに、 C_{inf} は最終残留濃度、 C_o は石積み堤への流入時の負荷濃度、 τ は滞留時間である。

τ は前項で求めたように、フェーズ1とフェーズ4について、それぞれ式(3)と式(6)で与えられる。

C_o はフェーズ1においては外海の負荷濃度で与えられ、

$$C_o = C_{out} \quad (13)$$

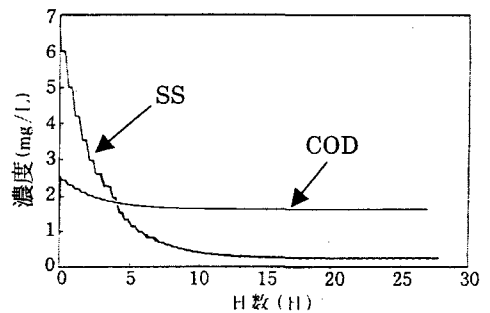
フェーズ4においてはフェーズ1の終点 ($t = T/4$) における内海の負荷濃度に等しく、

$$C_o = C_{in} \quad (\text{at } t = T/4) \quad (14)$$

で与えられる。そこで、式(10)を時間に関して積分すれば、ラグーン内の濃度の時間変化が求められることになる。上記のモデルに基づく感潮ラグーンの水質変化の計算例として、前報に述べたりんくう公園修景池をイメージした次のような条件を設定してみよう。

$A = 10000 \text{ m}^2$, $a = 0.75 \text{ m}$, $B = 20 \text{ m}$, $L = 100 \text{ m}$, $T = 12 \text{ 時間 } 25 \text{ 分}$, $\lambda = 0.3$, $h = 3 \text{ m}$, $p = 1.7 \times 10^{-3} / \text{s}$, $C_{ssout} = 7.0 \text{ mg/l}$, $C_{ssinf} = 0.4 \text{ mg/l}$, $C_{codout} = 2.5 \text{ mg/l}$, $C_{codinf} = 1.7 \text{ mg/l}$

この場合のSSとCODのシミュレーション結果を示すと、図・3 のようである。



図・3 シミュレーションの結果

4. あとがき

本モデルでは、透過堤を通過して内海に流入した水はただちに内海の水全体と混合するものとしたが、実際には石積み近傍から徐々に内海内部へ拡散していくものである。また、りんくう公園での現地調査によれば、内海における負荷の生成がかなり見られるようであり、今後さらなるモデルの改良が必要である。

【参考文献】 1) 澤井・赤松・白川・末瀬・野田：土木学会関西支部年講概要、1999。