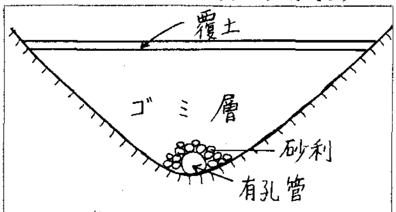
II-68　　廃棄物と準好気性埋立構造 (2)　—固液気相間における物質移動—

福岡大学　正員○山崎惟義，花嶋正孝，松藤康司

1　はじめに

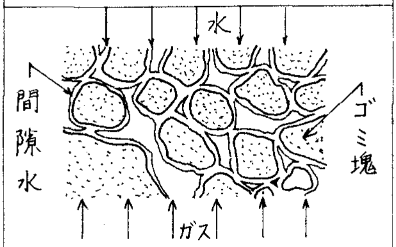
準好気性埋立構造は図1に示す様なものである。この埋立方法の特徴として、①浸出水の水質が良好であること。②有害ガスの発生が少ないこと。③安定化の速度が速いこと　④建設費及び維持管理費が低廉であることなどが上げられる。これらの特徴はこの埋立構造において、温度密度流による有孔管からゴミ層への酸素の供給によるということが定性的にはほぼ明らかになっている。本報告では上記の特性を定量化する上での考え方について検討を行った。



図(1)　準好気性埋立構造

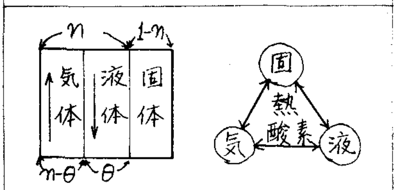
2　固液気相間における熱，物質収支の理論的考察

ゴミ層内部は種々雑多な物質が存在しており、非常に複雑であるが、模式的には図2の様であると考えられる。即ち、ゴミ塊が固体として充填されており、その空隙を水とガスが流れている。準好気性を特徴づけるものはゴミ層内への酸素の供給であるから、これの物質収支を十分に定量化しなければならない。酸素は層内においてガス中及び溶存酸素として水中に存在する。そして好気性分解によって固体表面で消費される。水中の溶存酸素は降雨とともにゴミ層表面から供給される。一方、ガス中の酸素はガスの流れによって供給されるが、このガスの流れはゴミ分解反応の反応熱によってゴミ層内のガスが温められ、外気との温度差に起因する温度密度流によると考えられる。これらを考慮すると酸素の収支を解明するには、水とガスの運動及びそれらによる酸素と熱の輸送，反応による酸素の消費と熱の発生を検討しなければならない。



図(2)　ゴミ層内部の模式図

これらの物質，熱の収支は図3の様であると考えられる。この図からわかるように、気液固各相互で物質と熱のやりとりを考えなければならない。(b) 又、このとき気体と液体が空隙中を流れていることも考慮しなければならない。(a)



図(3)　気液の流れ及び気液固間における熱酸素の交換

3、物質収支

(1)ガス，水の流れ----ガスの流れは充填物中における温度密度流と考えられるから、次式の様に表わされる。

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{u_g}{k_g} = 0 \quad \text{-------} (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} - \rho_g g + \frac{v_g}{k_g} = 0 \quad \text{-----} (2)$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial y} = 0 \quad \text{------} (3)$$

$$\rho_g = \rho_{g0} + \alpha \Theta$$

x, y；水平，鉛直方向の座標（yは下向き）
p　；ガスの圧力
k_g；透気係数
ρ_g　；ガスの密度（温度Θの関数）
u_g, v_g；x, y方向の ガス流速（空筒速度）
g；重力の加速度　　ρ_{g0}，α；定数

水の流れは鉛直方向のみの不飽和浸透流によると考えられるから、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y}\left[D(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial y} - k(\theta)\right] \quad \text{-----} (4)$$

$$v_e = -D(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial y} + k(\theta) \quad \text{------} (5)$$

θ；体積含水率
$D(\theta)$；水分拡散係数
$k(\theta)$；不飽和透水係数
v_e；y方向の水の流速（空筒速度）

(2)熱の収支------気液固間に温度差がないとすると、熱の収支は次式で表わされる。

$$\rho_p C_p \frac{\partial \Theta}{\partial t} = -u_g \rho_g C_g \frac{\partial \Theta}{\partial x} - (v_g \rho_g C_g + v_e \rho_e C_e)\frac{\partial \Theta}{\partial y} + (K_g + K_e + K_s)\nabla^2 \Theta + q + e \text{ ----- } (6)$$

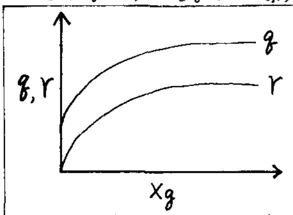
ρ_e；水の密度　　K_s；固体の熱伝導度（充填物としての）　　K_g；ガスの熱伝導度
C_e；水の比熱　　q；単位体積あたりの熱発生量　　Θ；層内温度
K_e；熱伝導度　　e；蒸発熱　　ρ_p；ゴミの密度
C_p；ゴミの比熱

(3)酸素の収支----- 気液間で酸素の平衡がとれているとすると酸素の収支は

$$(n - \theta + \theta k_d)\frac{\partial X_g}{\partial t} = -u_g \frac{\partial X_g}{\partial x} - (v_g + v_e k_d)\frac{\partial X_g}{\partial y} + (D_g + D_e)\nabla^2 X_g - r \text{ ------- } (7)$$

k_d；気，液における酸素の平衡係数　　D_g, D_e；ガス中，水中における酸素の分散係数
r；酸素の消費速度　　n；空隙率　　X_g；ガス中における酸素濃度

(4)各係数など----- 各分散係数は分子拡散係数と浸透拡散係数が畳重されたものであると考えられる。熱伝導度についても同様。又，熱発生量，酸素消費速度と酸素濃度との関係は図4の様になると考えられる。熱発生量，ガス流速などの時間的な変化は非常に遅いと，考えられる。そこで定常状態であるとすると(1)～(7)式は次の様になる。



図(4)　熱発生量，酸素消費速度と酸素濃度との関係

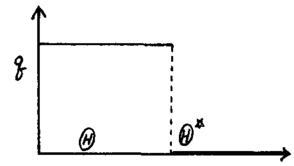
① $\nabla^2 p - g\frac{\partial \rho_g}{\partial y} = 0$　$\left(u_g = -k\frac{\partial p}{\partial x},\ v_g = -k\frac{\partial p}{\partial y} + k\rho_g g\right)$

② $\frac{\partial}{\partial y}\left[D(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial y} - k(\theta)\right] = 0$　$\left(v_e = -D(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial y} + k(\theta)\right)$

③ $-u_g \rho_g C_g \frac{\partial \Theta}{\partial x} - (v_g \rho_g C_g + v_e \rho_e C_e)\frac{\partial \Theta}{\partial y} + (K_g + K_e + K_s)\nabla^2 \Theta + q - e = 0$

④ $-u_g \frac{\partial X_g}{\partial x} - (v_g + v_e k_d)\frac{\partial X_g}{\partial y} + (D_g + D_e)\nabla^2 X_g - r = 0$

各式とも相当に複雑であり容易に連立して解くことは困難である。そこで準好気性埋立で最も重要である温度密度浸透流と熱収支（①と③）とを連立させて解く事を考える。それにはqをX_gの関数とおく事はできないので，次の様な形であると仮定する。即ちqはある温度Θまでは一定であり，それより温度が高くなると0になるとする。(図(5))。この様に考えると次式を解けばよいことになる。



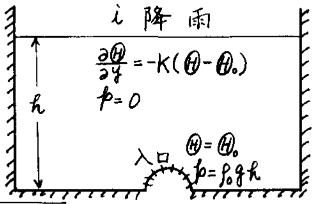
図(5)　Θとqとの関係

(イ) $\nabla^2 p - g\frac{\partial \rho_g}{\partial y} = 0$

(ロ) $-u_g \rho_g C_g \frac{\partial \Theta}{\partial x} - (v_g \rho_g C_g + v_e \rho_e C_e)\frac{\partial \Theta}{\partial y} + K_p \nabla^2 \Theta + q - e = 0$

(ハ) $\frac{\partial}{\partial y}\left[D(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial y} - k(\theta)\right] = 0$

図(6)　境界条件



（ρ_0；外気の密度）

(5)境界条件及びその他の条件

①壁面において------ 壁面では壁に垂直な方向の熱の伝導及び流速は0である。
すなわち，$\frac{\partial p}{\partial n} = 0$，　$\frac{\partial \Theta}{\partial n} = 0$　　n；法線ベクトル

②入口において------ 圧力は外の圧力$p_0(\rho_0 g h)$に等しく温度は外気の温度Θ_0に等しいとする。$p = \rho_0 g h$，$\Theta = \Theta_0$

③表面において------ 表面においては圧力は外圧$p = 0$に等しいとする。一方，熱については表面付近では放冷状態にあると考え，温度勾配が外気との温度差に比例すると考える。　$p = 0$，$\frac{\partial \Theta}{\partial y} = -K(\Theta - \Theta_0)$　K；放冷係数

④降雨について------ 不飽和浸透の式(ハ)においては表面における条件などを設定してやらなければならないが，定常状態を考えるという事は，流速が表面における単位体積当りの流入量と等しくなる。

$v_e = i$；単位面積当りの流入量　　従って(ハ)は事実上は解く必要はない。

4. まとめ

(5)で述べた様な仮定を採用すれば準好気性埋立を支配する方程式は(イ)，(ロ)であり①～②の境界条件の下にこれらの式を解く事によって透気量，温度を決定する事ができる。現在数値計算及び人工ゴミを用いた実験を行っている。最後に粟谷陽一九大教授に色々お教えいただいたことに深謝致します。