

1. まえがき

前報⁽¹⁾において、準好気性埋立地の理論的検討を行なった。今回はそのうちで埋立廃棄物中における空気移動について理論的検討を行ない、これに基づいてガス flux の数値計算を行った。又実験で求めた空気流入量と計算で求めた入口付近のガス flux とを比較検討した。これにより埋立構造により流入空気量が異なる事、実験と理論とがかなり良く合致する事などにより、合理的な埋立構造の決定へ一歩前進した。

2. 理論的考察

準好気性埋立構造において、ゴミ層内部への空気の流入が見受けられるという結果が得られている⁽²⁾。この空気の流入は、好気性埋立の場合の様に外部から送風が行われているわけではなく、埋立地自身にそのメカニズムがあるはずである。これは前報⁽¹⁾でも述べた様に、埋立ゴミ中の有機物が生物分解を受ける過程で、醗酵熱を発生させ、この醗酵熱によりゴミ層内部のガスが温められ外部の空気との間に温度差を生ずることによると考えられる。すなわち、この温度差によって生ずる内外の気体の密度差が内部のガスに対して浮力として働くため、この力によって内部のガスに下から上への流動が生ずると考えられる。

このガスの流動は、醗酵熱、ゴミ層内の透気性などに依存すると考えられるが、これらを一度に解くのはかなり困難である。しかしゴミ層内部の温度分布が得られれば容易に解く事ができる。ここでは実験により得られた温度分布に基づき、ゴミ層内部のガス flux を求めた。

実際の埋立地は3次元的な構造を有しているが、山間埋立などの場合は、谷線にそってかなり細長い構造が多いこと、3次元を解くには要素数が多くなることなどを考え、ここではゴミ層は無限に長い2次元構造を有しているとして以下の解析を行なった。

2次元 xz -空間 (z : 鉛直方向) において、ガス flux $J = (J_x, J_z)$ は次のように表わされる。

$$J_x = -K_x \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad J_z = -K_z \left(\frac{\partial p}{\partial z} + \rho \right), \quad \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_z}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

ここで p : 圧力, ρ : 密度, K_x, K_z : x, z 方向の透気係数 である。

密度 ρ は 0°C , 1気圧のときの密度を ρ_0 とし、圧力変動に対する密度変化が無視できるとすると、次の様に表わされる。

$$\rho = \rho_0 (T_0/T) \quad (2)$$

ここで T_0 : 0°C の時の絶対温度 である。さらに $p = p_0 + P$ (p_0 : ゴミ層上面の圧力) とする。

ガス flux の計算 ガス flux の計算に当って、透気係数は実験より得られた $K_z = 0.95 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ を用いた。又簡単のためゴミ層内は等方性とし $K_x = K_z$ とした。層内温度分布はいくつかの点の測定値を基に、定常熱伝導方程式 $(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) = 0$ T : 温度 を断熱境界条件の下に有限要素法で解いて得たものを用いた。(ガス flux は非常に小さいとして熱移動について対流項は無視した。)

境界条件としては $T_1: P = P_0$, $T_2: \frac{\partial P}{\partial n} = 0$ (n は境界の法線ベクトル), $T_3: J_x m_x + J_z m_z = J_B$ の3種類を想定した。

変分原理に基づいて式(1)を変形すると

$$\int_{\Omega} (K_x \frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial \delta P}{\partial x} + K_z \frac{\partial P}{\partial z} \frac{\partial \delta P}{\partial z}) d\Omega = \int_{T_2} K_z \rho m_z \delta P d\Gamma - \int_{T_3} J_B \delta P d\Gamma - \int_{\Omega} K_z P \frac{\partial \delta P}{\partial z} d\Omega \quad (3)$$

ここで $d\Omega$: 面積素片, $d\Gamma$: 線素片, δP : 変分量 である

全領域 Ω を三角形要素 $\{e\}$ に分割すると、各要素 e について未知関数 $P = P(x, z)$ は3つの節点の $\{P_i\}$ によって $P = \sum N_i(x, z) P_i$ という形に直線内挿される。そして δP は $\delta P = \sum N_i \delta P_i$ と定義される。今境界条件を考

慮すると式(3)は次の様になる。

$$[K]\{P\} = \{F(T)\}$$

(4)

これより $\{P\}$ を求めガス flux を計算した。実際に計算するに当たっての入力データ及び境界条件は次の通りである。まずゴミ層上F間の外気の圧力差 ΔP は 0°C 1 気圧の空気の密度が $\rho_0 = 1.293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ であるので、 ΔP は、 $\Delta P = \rho_0 \times T_0 / (t + T_0) \times H$ ここで $T_0 = 273^\circ\text{K}$, $H = 85 \text{ cm}$, 外気温 $t = 30^\circ\text{C}$ とすると、 $\Delta P = 0.0999 \text{ g/cm}^2$ とする。

今回は図(1) 及び図(2)に示す2つのモデルについて計算を行った。

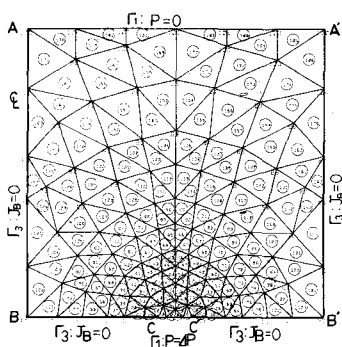
第1槽: 図(1)に示した領域 $ABCC'B'AA$ ($84.5 \text{ cm} \times 87.8 \text{ cm}$) を 186 の三角形要素に分割した。又同図に各境界条件を示した。これを基に有限要素法によりガス flux を計算した。この結果を図(3)に示した。この時の入口 $C-C'$ における空気流入量^{最大}は $3.3 \times 10^{-6} \text{ (g/cm}^2 \text{ sec)}$ であった。

第2槽: 図(2)に示した領域 $ABCDEA$ ($85.2 \text{ cm} \times 87.8 \text{ cm}$) を 102 の三角形要素に分割した。又同図に各境界条件を示した。これを基に有限要素法によりガス flux を計算した。この結果を図(4)に示した。この時入口 $B-C$ における空気流入量^{最大}は $5.3 \times 10^{-6} \text{ (g/cm}^2 \text{ sec)}$ で第1槽の場合より 1.8 倍大きな値を示した。

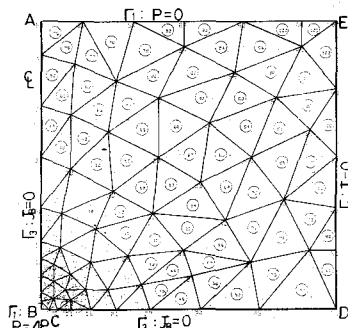
3 考察

実験ではゴミ槽内各点のガス flux を得ることはできない。そこで計算と比較し得る実験で得られた唯一のデータである入口の空気流入量と計算で得られた値と比較すると表(1)の様になる。表-1) 実験と計算との比較
計算で得られた値は入口ではなく、入口に隣接する要素の flux の平均値より求めたものである。この表から分る様に、1槽と2槽で 1.6 倍程度流量が異なる。この事によって構造の異なる埋立地におけるガスの流入量が異なる事、いいては内部の好気性状態が異なると考えられる事などを示し得た。そこでさらに実際の埋立地に近いモデルについて計算を行うことによって合理的な埋立地の構造及び設計法が確立されよう。

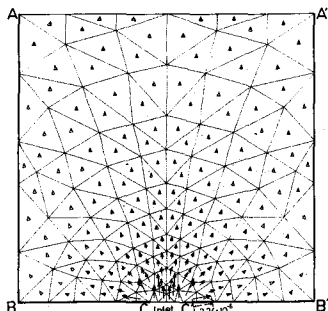
	1槽	2槽
実験	2.53×10^{-6}	2.60×10^{-6}
計算	2.28×10^{-6}	3.71×10^{-6}



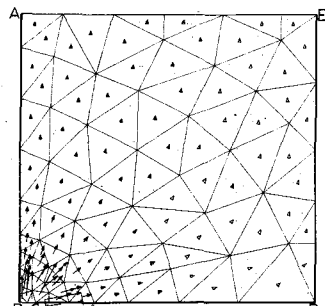
図(1) 第1槽の境界条件と三角形要素分割 $C-C'$ が入口



図(2) 第2槽の境界条件と三角形要素分割 $B-C$ が入口



図(3) 第1槽のガス flux, 矢印が各要素のガス flux のベクトルを表わしている。図内の数値は flux の大きさを単位は $\text{g/cm}^2 \text{ sec}$



図(4) 第2槽のガス flux 矢印が各要素のガス flux のベクトルを表わす。図内の数値は flux の大きさを単位は $\text{g/cm}^2 \text{ sec}$