

II-467 準好気性埋立構造廃棄物処分場のBOD浄化機能に関する理論的研究

北海道大学工学部（正） 田中信寿（正）松藤敏彦
（正） 柴田 清（正）神山桂一

1. はじめに 準好気性埋立構造においては浸出水集排水管・ガス抜き管・空気供給管（以下では、管路とのみいい、その設置位置に対応して底部管路、堅型管路、法面管路ということにする）が兼用された管路網（図1）を埋立地内に配置することにより、埋立地の機能を効果的に発揮させようとする。この管路、特に底部管路の管径や配置はどのような設計思想により計画されるのだろうか。本発表では底部管路の近傍に形成される好気性ゾーンへの酸素供給能を理論的に評価することによって、準好気性埋立構造のもつ浸出水中BOD浄化能を評価する。さらにこれにより底部管路設計に言及する。

2. 酸素侵入量の計算理論¹⁾とその前提 基本的な前提として①管路内のガス流動抵抗はごみ層内のそれに比べてはるかに小さい。したがってごみ層への酸素供給は管路からごみ層への酸素の濃度拡散侵入機構のみによる。

②管路への空気流入速度は大きいのですべての管路内の空気は大気組成に等しい（松藤の報告参照）。したがって管路からごみ層内に向かう一次元的酸素侵入問題として取り扱える（図2）。次に定式化のための前提として③ごみ埋立地内の状況は長期的に緩やかに変化するので擬似的定常を仮定する。④酸素の拡散は濃度勾配に基づく通常拡散である。⑤ごみ層内の間隙構造は毛細管モデルで表現できる。⑥酸素濃度は高々21%なので酸素とその他のガスの2成分問題とする。⑦ごみ層内部でのガス発生によって生じた嫌気性ガスの流動（ごみ層内から管路へのバルク流れ）は圧力勾配のみによって流れる。⑧好気性ゾーンにおける酸素消費速度は式(3)のようなモノ式で表現できる（柴田の報告参照；酸素濃度のみの関数と考えているが、BODの関数にもなるようならBODの場所的変化を扱う式が必要である）。⑨好気性ゾーン内では酸素消費量と炭酸ガス発生量は等しい（呼吸商は1）。⑩好気性ゾーンは管路径に比べて小さいので平板モデルとして取り扱える（図3）。

$$\frac{1}{R'T} \cdot \frac{dp_1}{dz} = \frac{N_1^d x_2 - N_2^d x_1}{D_{12}} \cdot \frac{\xi}{\varepsilon} \quad (1) \quad \begin{array}{l} z: \text{管路壁からの距離、} \\ R: \text{ガス生成速度(減少; } R < 0 \text{)、} \end{array}$$

$$F = - \frac{p_t}{R'T} \cdot \frac{r^2}{8\mu} \cdot \frac{\varepsilon}{\xi} \cdot \frac{dp_1}{dz} \quad (2) \quad \begin{array}{l} N: \text{フラックス}(z > 0 \text{の向きに正)、} \\ K_{O_2}: O_2 \text{の飽和定数、} M: \text{分子量、} \end{array}$$

$$\frac{dN_1^t}{dz} = R_1 \equiv -R_1^{\max} \cdot \frac{p_1}{K_{O_2} + p_1} \quad (3) \quad \begin{array}{l} D_{12}: 2 \text{成分拡散係数、} \\ \xi: \text{屈曲係数、} \varepsilon: \text{空隙率、} r: \text{間隙半径、} \end{array}$$

$$\frac{dN_2^t}{dz} = -R_1 \quad (4) \quad \begin{array}{l} p_t: \text{全圧、} \mu: \text{ガスの粘度、} \\ p: \text{分圧、} x: \text{モル分率、} \end{array}$$

$$x_1 + x_2 = 1 \quad (5) \quad R': \text{ガス定数、} T: \text{温度、}$$

$$\sqrt{M_1} N_1^d + \sqrt{M_2} N_2^d = 0 \quad (6) \quad F_0: \text{嫌気性ガス発生フラックス、}$$

$$N_1^t = N_1^d + x_1 F \quad (7) \quad F: \text{バルクフローフラックス}$$

$$N_2^t = N_2^d + x_2 F \quad (8) \quad p_0: \text{大気圧、} \Lambda: \text{酸素濃度0までの距離}$$

$$p_1 = x_1 p_t \quad (9) \quad \begin{array}{l} \text{下付; } 1: \text{酸素、} 2: \text{その他ガス} \\ \text{上付; } t: \text{全フラックス、} d: \text{拡散フラックス、} \end{array}$$

$$\text{境界条件: } z=0 \text{で } x_1 = p_1/p_0 = 0.21, \quad p_t = p_0 \quad (10)$$

$$z=\Lambda \text{で } x_1 = 0, \quad N_1^t = 0, \quad F = F_0 \quad (11)$$

さらに、これらの式を具体的に解き、酸素全フラックス N_1^t を計算するために、この発表では⑪好気性ゾーン内では温度 T は一定であり、特性値 D_{12} 、 μ 、 K_{O_2} 、 M_2 も一定とみなせる。⑫毛細管モデルの特性値 ξ 、 ε 、 r も一定であるとする。

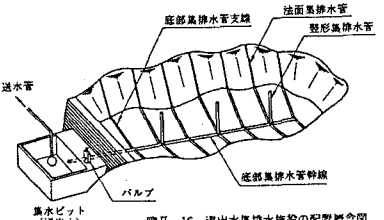


図1-16 浸出水集排水施設の配置概念図

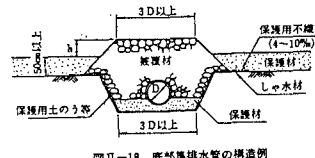


図1-18 底部集排水管の構造例

図1 埋立地内管路の構造（構造指針から）

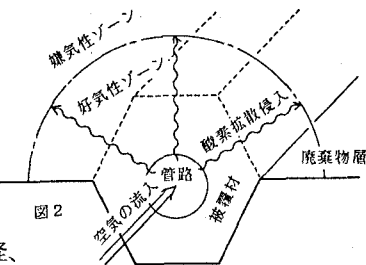


図2

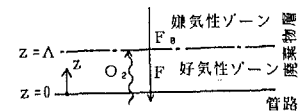


図3（どこも大気組成）

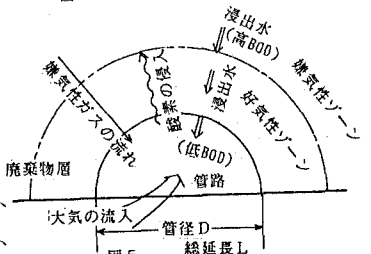


図5

3. 計算結果

3.1 計算条件

a)好気性ゾーン内のガス組成は O_2 、 CO_2 各10.5%、 N_2 79%とした。これにより粘度 μ 、平均分子量 M_2 を求めた。
b)分子拡散係数 D_{12} は空気中の酸素の拡散係数(30°C、1atm) $2.14 \times 10^{-5} m^2/s$ を用い、各温度に補正した。c)空隙率は各模擬カラム(柴田の実験参照)の実測値を用い、 ξ 及び r はカラムでの拡散実験と透気実験により概略値を測定した。d)ごみ層の酸素消費速度式(3)はカラムでの実験から求めた。e)各ごみ層の温度を設定した。f) $p_0 = 1 \text{ atm}$ とした。以上の計算条件を表1に示した。

3.2 浸入フラックスの計算結果 ごみ層内部からのガスフラックス F_0 がない時の計算結果(2点境界値問題なので繰り返し計算によった)を図4に示す。管路からごみ層への酸素侵入全フラックス $N_1^i(z=0)$ を $F_0 = -1.0 \text{ mol}/(m^2 \cdot h)$ の時の計算結果と共に表2に示した。

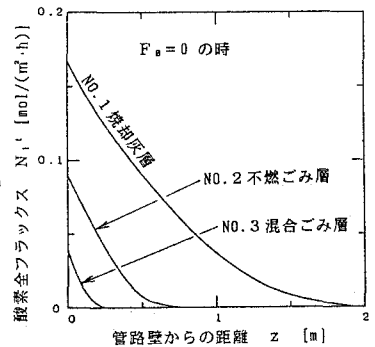


図4 酸素全フラックス N_1^i の場所的分布

4. 考察

4.1 浄化能の評価

⑬好気性ゾーンにおけるBOD除去能力は、好気性ゾーンへの酸素供給速度によって律速されていると考え、⑭供給された酸素が浸出水中のBOD除去にのみ使われる、⑮管路の被覆材の役割が明確でないので無視し(むしろ管路の一部と見なしている)、底部管路を半円形で近似表現する(図5)と仮定すれば、好気性ゾーン前後でのBOD減少(浄化能) ΔBOD は、管路からの酸素侵入速度とBOD浄化による酸素消費速度が等しいとおいた次式により計算できる。また、管路の集水面積 a は⑮の仮定により $\pi L D/2$ で表現できる。

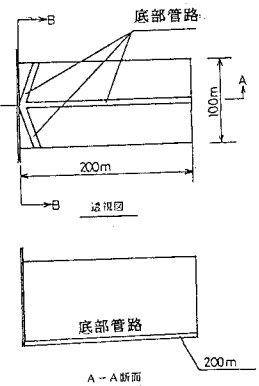


図6 計算例に用いた埋立地形状

$$a [m^2] \cdot N_1^i [mol/(m^2 \cdot h)] \cdot 24 [h/d] \cdot 32000 [mg/mol] = \Delta BOD [mg/l] \cdot C \cdot W \cdot 10^{-3} [m/d] \cdot A [m^2] \cdot 1000 [l/m^3] \quad (12)$$

いま、例題としてg)埋立地集水面積 $A = 100m \times 200m$ 、浸出係数 $C = 0.5$ 、日平均降雨速度 $W = 4mm/d$ とすると、式(12)は次式となる。

$$\Delta BOD [mg/l] = 19.2 \cdot N_1^i [mol/(m^2 \cdot h)] \cdot a [m^2] = 30.2 \cdot N_1^i [mol/(m^2 \cdot h)] \cdot L [m] \cdot D [m] \quad (13)$$

さらに、図6のように埋立地を考え、管路長 $L = 3004m$ 、管路径 $D = 2m$ とすると表2に示すような ΔBOD 値が計算される。これから見ると焼却灰層、不燃ごみ層では数千 mg/l のBOD減少が期待できるのに対して、混合ごみ層では酸素侵入フラックスの小さい(ξ が大きい)こととごみ層内部からの嫌気性ガス発生に原因して、 ΔBOD が小さいことが特徴である。

4.2 管路の設計(試論)

一方、埋立地の浸出水量 $A \cdot C \cdot W$ と設計目標としての ΔBOD が与えられたときには、式(12)を満足するような管路集水面積 a を確保すればよい。したがって経済的な考察や管路の物理的な配置可能性から L と D の一方が決まるか、またはトレードオフ関係が記述できれば、BOD浄化能力から考えた管路設計が可能である。いま、 $\Delta BOD = 1000mg/l$ と与えられ、管路長さ $L = 300m$ の敷設が可能であるとすれば、式(13)により管路径 D は表2のように求まる。この場合、混合ごみ層では L をもっと長くしないと物理的に可能な D とならない。このことは混合ごみ層では埋立終了後でなければ(内部の嫌気性ガス発生がなくならないと)、集水管近傍の好気性ゾーンの効果が発揮できないとの解釈も可能である。

5. おわりに 更に検討しなければならない点が多いが、好気性ゾーンのBOD浄化能と空気供給機能からみた底部管路の設計について述べた。

表2 計算結果とそれによる設計計算値

	焼却灰層		不燃ごみ層		混合ごみ層	
$F_0 [mol/(m^2 \cdot h)]$	0	-1.0	0	-1.0	0	-1.0
$N_1^i(z=0) [mol/(m^2 \cdot h)]$	0.0904	0.0442	0.187	0.108	0.0405	0.0095
浄化能 ^{a)} : $\Delta BOD [mg/l]$	1640	800	3030	1960	730	170
管径設計値 ^{b)} : $D [m]$	1.2	2.5	0.7	1.0	2.7	11.6

1): $D = 2 \text{ m}$ に対して 2): $\Delta BOD = 1000 \text{ mg/l}$ に対して

表1 計算条件

	焼却灰層	不燃ごみ層	混合ごみ層
$T [K]$	303	313	323
$D_{12} [m^2/h] \times 10^9$	7.70	8.14	8.60
$\mu [Pa \cdot h] \times 10^9$	4.93	5.06	5.19
$\epsilon [-]$	0.297	0.432	0.280
$\xi [-]$	6.0	2.7	55
$r [mm]$	0.148	0.432	0.328
$R_1^{max} [mol/(m^2 \cdot h)]$	0.232	0.160	0.432
$K_{O_2}/p_0 [-]$	0.017	0.022	0.069

$M_2 = 29.8 \text{ g/mol}$, $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $x_1^0 = 0.21$
 ϵ , ξ , r , R_1^{max} , K_{O_2}/p_0 は柴田のカラム実験から。

引用文献 1)田中、高畑、神山、衛生工学研究論文集、第22巻、37/47(1986)