

II-439

廃棄物埋立層の間隙構造と透気係数に関する研究

— フィルム状物質を含む粒子充填層について —

北海道大学工学部

正会員 田中 信寿, 吉田 英樹

正会員 神山 桂一

1.はじめに 廃棄物埋立層内のガス流動特性, すなわち透気係数やガスの拡散移動に関係する間隙の構造(間隙の大きさや屈曲度)を知ることは重要である。演者らは廃棄物層内への酸素の浸入量に対する間隙構造の影響を問題とし, 前報<sup>1)</sup>では焼却灰層の透気係数や間隙構造を実測し, 混合ごみを模した人工ごみの屈曲係数はプラスチックフィルムの存在により大きな値を示すのではないかと述べた。本報告では廃棄物層の1つのモデルとしてフィルム状物質と粒子状物質の混合充填層を考え, 以下に述べる透気実験及び拡散実験を行うことにより間隙構造や透気係数に対するフィルム状物質の影響を考察する。

2.測定方法 フィルム状物質として低密度ポリエチレン(ごみ袋, 密度 $0.96 \text{ g/cm}^3$ , 厚み $27.3 \mu\text{m}$ )を $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ に切り用いた。粒子は $1 \sim 2 \text{ mm}$ の砂(密度 $2.65 \text{ g/cm}^3$ )を用いた。実験装置の概要を図1に示す。充填部分は直径 $8 \text{ cm} \times$ 長さ $110 \text{ cm}$ であり, 両端は $1 \text{ mm}$ メッシュの金網を押えて, 棒で突くことにより可能な限り密に充填した。

2.1透気係数の測定 透気係数 $K_g$ は

$$v = K_g (\Delta P / L) \quad (1)$$

で定義される。測定は次の手順で行う。一定の空塔速度 $v$ (ガス流量を層全断面で除す)で $\text{N}_2$ ガスを層に流し, 各圧力測定口間の静圧差を傾斜マンメータで測定し, 長さ $L$ での圧損 $\Delta P$ を求める。 $v$ を数段階に変えて測定を繰返す。

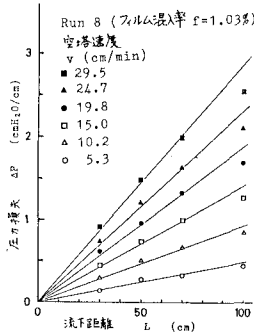


図2 流下距離と圧損の関係

長さ毎に圧損を測定するのは充填が均一に行っているかを判定するためである。その一例を図2に示す。この結果から $L$ と $\Delta P$ の関係が $v$ の設定段階数だけ求まる。これを図3に示すように $v$ と $\Delta P/L$ で整理し, 式(1)により $K_g$ が求まる。

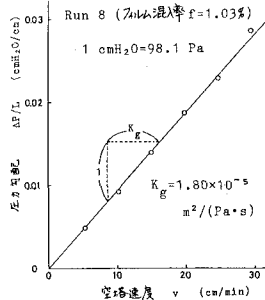


図3 空塔速度と圧力勾配の関係

2.2 拡散実験

前報<sup>1)</sup>では屈曲係数 $\xi$ の決定のための等圧2成分拡散実験の方法について述べた。しかし,

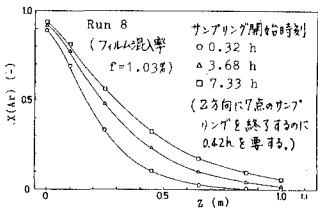


図4 Ar濃度の変化

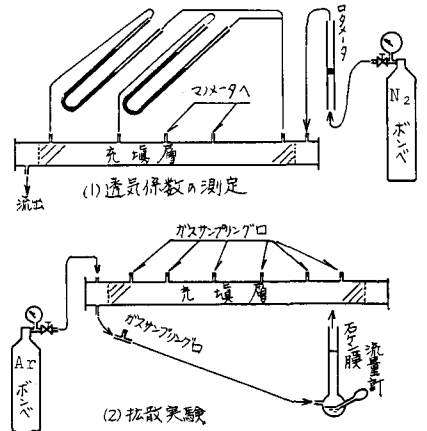


図1 実験装置概要図

表1 実験条件と実験結果

実験番号	フィルム混入率 [%]	充填密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	含水率 [%]	空隙率 ε [%]	透気係数 $K_g$ [m <sup>2</sup> /s]	間隙半径 $r$ [m]	屈曲係数 ξ [-]
1-1	0	1.67	0	36.9	$8.59 \times 10^{-5}$		
-2			3.44	30.9	$5.92 \times 10^{-5}$		
-3			3.95	30.0	$6.05 \times 10^{-5}$		
2-1	1.50	1.54	0.98	38.6	$1.75 \times 10^{-5}$		
-2			2.62	36.0	$9.82 \times 10^{-6}$		
3-1	9.05	1.27	2.69	40.9	$9.08 \times 10^{-7}$	$1.15 \times 10^{-4}$	42
-2			8.52	32.6	$2.11 \times 10^{-7}$		
-3			7.12	34.7	$3.31 \times 10^{-7}$		
4-1	5.41	1.36	0.65	43.0	$3.52 \times 10^{-6}$		
-2			4.48	37.6	$2.15 \times 10^{-6}$		
-3			4.82	37.1	$2.86 \times 10^{-6}$		
5-1	3.57	1.37	0.86	43.9	$5.79 \times 10^{-6}$	$1.91 \times 10^{-4}$	20
-2			5.07	37.7	$3.83 \times 10^{-6}$		
6	7.44	1.33	1.73	40.7	$1.33 \times 10^{-6}$	$1.26 \times 10^{-4}$	35
7	0	1.67	0	36.9	$8.34 \times 10^{-5}$	$2.24 \times 10^{-4}$	1.3
8	1.03	1.59	0.49	38.0	$1.80 \times 10^{-5}$	$2.26 \times 10^{-4}$	7.7
9-1	5.46	1.40	0.77	41.0	$1.72 \times 10^{-6}$	$1.45 \times 10^{-4}$	36
-2			6.63	32.1	$6.97 \times 10^{-7}$	$2.01 \times 10^{-4}$	135

本報告の充填層では圧力抵抗が小さく、長時間等圧を保つことが難しい。そこで本報では充填層内をN<sub>2</sub>ガスで充満した後に、一端にArガスを流し、層内へArを拡散浸入させる。解析式は次のように求まる。前報<sup>1)</sup>の基礎式から通常拡散域では、[物理的考察からN<sub>1</sub><sup>d</sup>+N<sub>2</sub><sup>d</sup>=0, x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>=1]

拡散の式  $-(P/RT) \frac{\partial x_1}{\partial z} = \{ (N_1^d x_2 - N_2^d x_1) / D_{12} \} (\delta/\varepsilon)$  (2) x<sub>1</sub>: Arのモル分率

連続の式  $(\varepsilon P/RT) \frac{\partial x_1}{\partial t} = -\partial N_1^d / \partial z$  (3) x<sub>2</sub>: N<sub>2</sub>のモル分率

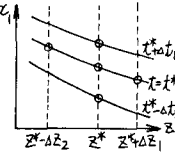
P: 全圧, T: 温度, N<sup>d</sup>: 拡散フラックス, ε: 空隙率, z: 距離, t: 時間, D<sub>12</sub>: 相互拡散係数=2.0×10<sup>-5</sup>m<sup>2</sup>/s, R: ガス定数=8.314J/mol·K

これらの式から  $\frac{\partial^2 x_1}{\partial z^2} = (\delta/D_{12}) \frac{\partial x_1}{\partial t}$  (4)

式(4)を差分化して

$$\delta = D_{12} \times \frac{2 \times \left\{ \frac{x_1(z^* \Delta z_1, t^*) - x_1(z^* \Delta z_1, t^*)}{\Delta z_1} - \frac{x_1(z^* \Delta z_2, t^*) - x_1(z^* \Delta z_2, t^*)}{\Delta z_2} \right\} / (4z_1 + \Delta z_2)}{\left\{ \frac{x_1(z^* \Delta z_1, t^*) - x_1(z^* \Delta z_1, t^*)}{\Delta t_1} + \frac{x_1(z^* \Delta z_2, t^*) - x_1(z^* \Delta z_2, t^*)}{\Delta t_2} \right\} \times \frac{1}{2}}$$
 (5)

によりδが求まる。図4に示したように、x<sub>1</sub>を測定する。幾つかのz\*とt\*の組合せでδを式(5)により求め、それらの平均値を求めるδとする。



また、通常拡散域では  $K_g = \varepsilon r^2 / (8\mu \delta)$  (6)

の関係があるから、この式により間隙半径rが求まる。

3. 実験結果

実験結果を実験条件と共に表1に示す。フィルムと粒子を各種の割合で混合充填して実験を行ったが、その際、フィルムの静電付着を防止するために、少量の水を加えた。さらに、層に通水後、放置脱水してから同様の実験を行っている。フィルム混入率f(=フィルム重量/(フィルム重量+粒子重量))と透気係数の関係を図5に、また、間隙半径rと屈曲係数δとfの関係を図6に示す。さらに、

水分の影響を、水分の増加による空隙率εの減少によって評価するために、低含水率時のε<sup>0</sup>とK<sub>g</sub><sup>0</sup>を基準として任意のεとK<sub>g</sub>に対してK<sub>g</sub>/K<sub>g</sub><sup>0</sup>とε/ε<sup>0</sup>を求め、両対数紙にプロットした(図7)。図中のnは次式の指数に対応する。  $K_g \propto \varepsilon^n$  (7)

以上の結果から、①透気係数はフィルム混入率の増加と共に急激に小さくなり、f=10%で粒子のみの場合のK<sub>g</sub>の1/10に行る。②間隙構造は間隙半径がf=0~10%で1/2程度しか低下しないのに屈曲係数は1.3から50程度まで増加する。フィルムの混入は屈曲係数の増加の形で現われる。③少量の水分の増加で透気係数が低下し、フィルム混入率が大きい程、水分の増加による透気係数の減少度が大きい。④フィルムと粒子の表面積と空隙率から1/2=濡辺長=空隙容積/表面積で間隙半径rを推定する方法はフィルムの重なりを考え合せる有効な方法となる(表2参照)。

引用文献

- 1) 田中, 高畑, 神山: 衛生工学研究論文集, 才22巻 p.37, (1986)

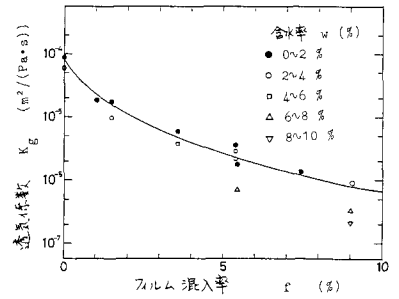


図5 フィルム混入率と透気係数の関係

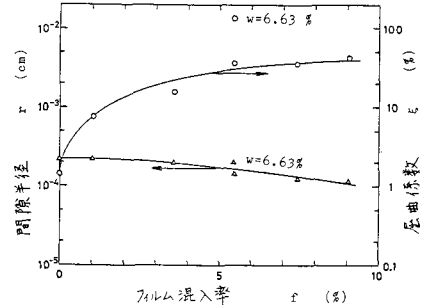


図6 フィルム混入率と間隙半径、屈曲係数の関係

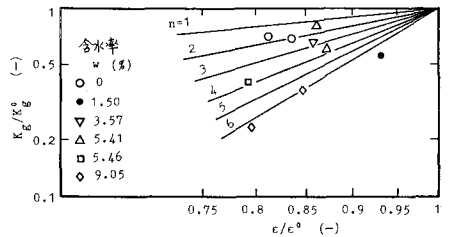


図7 透気係数に対する水分の影響

表2 濡辺長による間隙半径rの推定

フィルム混入率[%]	粒子数 [個]	フィルム枚数 [枚]	(粒子数/フィルム枚数)	フィルムの濡辺長による重なり	実験によるr[m]
0	1.98×10 <sup>6</sup>	0	—	—	2.24×10 <sup>-4</sup>
1.03	1.86×10 <sup>6</sup>	1.22×10 <sup>4</sup>	152	—	2.10×10 <sup>-4</sup>
				2枚	2.53×10 <sup>-4</sup>
				3枚	2.72×10 <sup>-4</sup>
3.57	1.56×10 <sup>6</sup>	2.60×10 <sup>4</sup>	60	—	1.53×10 <sup>-4</sup>
				2枚	2.27×10 <sup>-4</sup>
				3枚	2.70×10 <sup>-4</sup>
5.46	1.56×10 <sup>6</sup>	4.04×10 <sup>4</sup>	39	—	1.05×10 <sup>-4</sup>
				2枚	1.67×10 <sup>-4</sup>
				3枚	2.08×10 <sup>-4</sup>
7.44	1.46×10 <sup>6</sup>	5.24×10 <sup>4</sup>	28	—	0.86×10 <sup>-4</sup>
				2枚	1.44×10 <sup>-4</sup>
				3枚	1.85×10 <sup>-4</sup>

粒子の表面積=π(0.15)<sup>2</sup>cm<sup>2</sup>, フィルムの表面積=(2×2)×2cm<sup>2</sup>