

II-348

廃棄物充填層の屈曲係数測定に関する
実験的研究

室蘭工業大学工学部 正 吉田英樹
北海道大学工学部 正 田中信寿
室蘭工業大学工学部 正 穂積 準

1. はじめに

都市廃棄物埋立地におけるガスの発生・移動現象について、多くの研究がなされている。特に廃棄物層のガス移動特性の重要な支配因子として屈曲係数が挙げられる。多孔体の屈曲係数は、内部の間隙構造によって大きく変化し、廃棄物中にプラスチックフィルムや紙などのフィルム状物質が多く含まれると、ガス移動特性を大きく変えることが指摘されている¹⁾。本研究は、屈曲係数をガス拡散実験を用いて測定し、廃棄物の種類、含水状態などによる影響について考察を加えた。

2. 屈曲係数の定義

多孔体内をモデル化する手法のひとつに、毛細管モデルがある。これは、多孔体が無数の細管からなり、しかもそれが屈曲して存在するものとしている。このモデルに基づく2成分ガスの通常拡散領域での拡散方程式は以下になる²⁾。

$$\varepsilon \frac{\partial x_1}{\partial t} = \frac{\varepsilon}{\xi} D_{12} \frac{\partial^2 x_1}{\partial z^2} \quad (1)$$

ε : 空隙率 [-]、 x_1 : 成分1ガスのモル分率 [-]、 t : 時間 [s]
 ξ : 屈曲係数 [-]、 D_{12} : 2成分ガス間の分子拡散係数 [m²/s]、 z : 距離 [m]

ここで、 ξ は多孔体中の間隙構造の迂回度を示すパラメータである。多孔体の長さを L 、多孔体中の屈曲した仮想細管の長さを L_e とすると、 $\xi = (L_e/L)^2$ で定義される³⁾。したがって、 $\sqrt{\xi}$ が物理的なイメージである迂回度を示す。また、 $D_e = (\varepsilon/\xi) D_{12}$ は多孔体中の有効拡散係数として定義されている²⁾。

3. 実験及び解析方法

本研究で用いた実験装置をFig.1に示す。本体は直径19.5cm、長さ100cmの塩ビ製カラムで、充填層内のガス濃度を測定するために、無数の穴のあいたサンプリング管を6ヶ所に設けている。実験は酸素-窒素の2成分拡散により行った。実験手順は以下の通りである。充填カラム内を窒素ガスで充填させ、その後上部蓋を解放して、空気にさらし、充填層内部の酸素濃度の時間変化を測定する。 ξ の解析手順は以下の通りである。式(1)を、初期条件として $x_1=0$ （カラム内の空気の初期濃度ゼロ）、境界条件として $z=0$ で $x_1=0.21$ （カラム上部で大気中の酸素濃度に等しい）、 $z=H$ で $\partial x_1/\partial z=0$ （カラム底部でガスフラックスがゼロ）という条件のもとで解析的に解く。この際、 ε は充填試料の充填状態から計算により求めたものを用い、6ヶ所の測定点での酸素濃度の計算値と実測値が全体的に一致するような ξ を求めた。Fig.2に ξ の算出例を示す。試料は、後述する乾燥状態の人工ごみで、充填が不均一になりやすいものであるが、ほぼ全体的に計算値と実測値が一致する ξ が求められた。他の試料でも、計算値と実測値の一致は良好であった。

4. 実験試料

実験試料として、豊浦砂（Sand）、破碎不燃ごみ（Incombustible refuse, Incom.）、焼却灰（Ash）、人工ごみ（Artificial Refuse, Art.）を用いた。各試料の成分の重量比（乾ベース）をTable 1に示した。ここで、破碎不燃ごみはトロンメル分別後の22mm以下の粒径のものを用い、焼却灰はバッチ炉（20トン/日）から採取したものをを用いた。人工ごみは混合ごみを想定して、材料を3cm四方に切り調整したもので、易分解性の厨芥は含まれていない。また、試料の充填状態は、乾燥状態と湿潤状態の2つに調整した。湿潤状態では、上下方向に含水率が一樣になっていることをあらかじめ確認した。

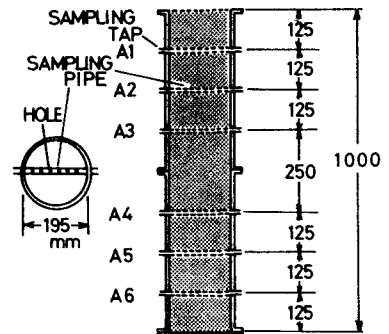


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Composition of sample

	Composition [%] (Dry weight base)			
	Sand	Incom.	Ash	Art.
paper	-	4.1	-	51.3
wood	-	3.1	-	5.0
textile	-	2.5	-	5.7
hard plastic	-	6.6	-	14.9
plastic film	-	2.0	-	1.6
rubber	-	0.8	-	0.5
iron	-	-	14.1	4.8
aluminum	-	4.9	-	3.0
glass	-	76.0	8.9	11.0
ceramic	-	-	0.2	0.6
soil	-	-	1.2	-
sand	-	-	-	1.6
ash	100.0	-	75.6	-

5. 実験結果及び考察

実験試料の充填状態及び ξ の測定結果をTable 2に示す。また、過去の屈曲係数の測定例^{1, 2, 4)}についても併せて示す。豊浦砂の乾燥状態での ξ は1.3となり、土壌についてPhilipら⁶⁾が従来から用いている1.5にほぼ一致しており、測定方法は妥当であると思われる。充填試料に水分が混入すると、 ε の減少がわずかでも（砂では乾燥時より ε が増加している）、 ξ が増加する。水分が空隙保持されることにより、間隙構造が大きく変化することを示している。また、フィルム状物質である紙、プラスチックフィルムを多く含む人工ごみは、 ε が他の試料より大きくても、 ξ が大きくなっている。筆者らが過去に明らかにしたように¹⁾、砂にプラスチックフィルムを混入した場合でも、混入率の増加とともに屈曲係数が急激に増加している。このように、フィルム状物質は廃棄物層内の間隙構造上、迂回度を非常に大きくする性質がある。一方、 ξ と ε の関数関係を表す方法として、 D_e/D_{12} （ $=\varepsilon/\xi$ ；有効拡散係数と分子拡散係数の比）を ε の関数として、 $\varepsilon/\xi = K\varepsilon^n$ という実験式で表すアプローチがいくつか行われている²⁾。本実験結果を ε/ξ の ε に対する変化として表したものをFig.3に示し、いくつか提案されている実験式を合わせて図に示した。土壌については、 $\varepsilon/\xi = \varepsilon^{1.5}$ ³⁾の線上に測定点が分布し、本実験で用いた砂についても同様の性質を示している。また、焼却灰、破碎不燃ごみについては、クロボク土についての実験式 $\varepsilon/\xi = 0.704\varepsilon^{1.84}$ ⁷⁾の線上に分布し、粒子充填層の性質を持っているようである。これに対し、人工ごみやフィルムを混入した砂充填層では、これらとは大きく異なる領域にあることがわかる。

6. まとめ

砂、破碎不燃ごみ、焼却灰、人工ごみの4種の充填層について、2成分ガス拡散実験により、屈曲係数を測定した。その結果、含水率、空隙率、成分の変化とともに屈曲係数が大きく変化すること、また ε に対する ξ の変化傾向が破碎不燃ごみ、焼却灰は粒子充填層とほぼ同様であったが、フィルム状物質を含む人工ごみではこれらとは大きく性質が異なることがわかった。今後は、フィルム状物質を多く含む廃棄物層の屈曲係数について、フィルム混入率、空隙率、含水率などによる影響を実験により検討を加える予定である。

参考文献 1)田中ら：土木学会第41回年次学術講演会第2部、pp.877-878(1986) 2)田中ら：廃棄物学会誌、Vol. 2、No.1、pp.46-58(1991) 3)Currie, J.A.: Monograph Soc. Chem. Ind., No.37, Rothamsted Exp. Stn., Harpenden, England, p.159(1970) 4)田中ら：衛生工学論文集、第22巻、pp.37-47(1983) 5)Sung-Ho et al.: Soil Sci. Soc. Amer. J., Vol.40, pp.3-6(1976) 6)Philip, J.R. et al.: Trans. Amer. Geograph. Union, Vol.38, p.225(1957) 7)川西ら：水質汚濁研究、第13巻、第5号、pp.303-310(1990)

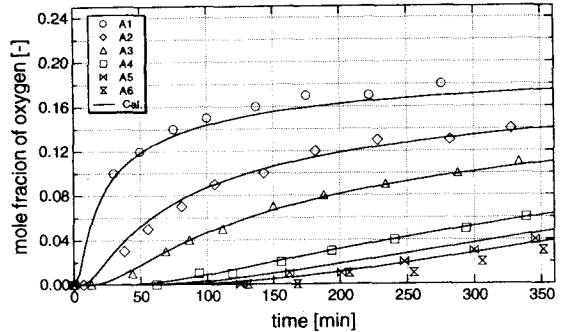


Fig.2 Variation of mole fraction of oxygen with time (dry artificial refuse)

Table 2 Physical properties of packed materials

	Density kg/m ³	Water Content [%](weight base)	Porosity [-]	Tortuosity [-]
Sand (dry)	1570	0.0	0.41	1.3
Sand (wet)	1360	5.8	0.44	1.7
Incom. (dry)	860	0.0	0.58	1.7
Incom. (wet)	990	12.9	0.45	3.5
Ash (dry)	1090	0.0	0.57	1.9
Ash (wet)	1050	16.3	0.48	3.5
Art. (dry)	240	0.0	0.85	1.8
Art. (wet)	530	55.4	0.55	9.0
Sand+Film 0% ^(dry) 1)	1670	0.0	0.37	1.3
Sand+Film 1% (dry) ¹⁾	1600	0.0	0.38	7.6
Sand+Film 5% (dry) ¹⁾	1410	0.0	0.41	34.0
Incom. (dry) ²⁾	730	68.5	0.43	2.7
Ash (wet) ²⁾	1370	17.0	0.21	6.0
Ash (wet) ⁴⁾	1100	16.2	0.30	1.8

*) Percentage of mixed film in packed material (weight base)

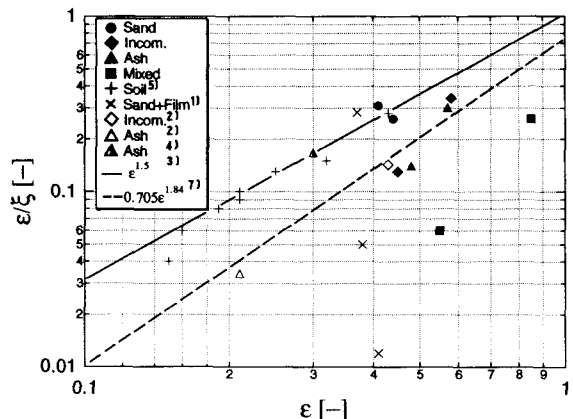


Fig.3 Relationship between ε and ε/ξ