

HEPAフィルタのピンホールに関する基礎的研究

建設工学専攻

建築環境工学研究

ME19031 韓 たくらい 沢磊

指導教員 西村 直也

1. はじめに

空気清浄度が高い空間を求める際に、エアフィルタが使われている。クリーンルームと呼ばれる薬品や半導体の製造空間では、高い空気清浄度が求められるため、定格風量で粒径が0.3 [μm]の粒子に対して99.97[%]以上の粒子捕集率をもち、かつ初期圧力損失が245[Pa]以下の性能を持つHEPAフィルタを採用される。HEPAフィルタは出荷時には全品検査され、完全性は保証されるものの、実際には輸送、施工時などに小さな傷が出来る事がしばしばある。フィルタが損傷してピンホールができ、そこから粒子が漏れ出すことを「リーク」と呼ぶが、クリーンルームにおいては、このリークが大きな問題となる。そこでピンホール部分の透過率について数多くの研究がなされてきた。リークを扱う際、代表的なモデルとして「STモデル」と「ETFLモデル」の二つが存在する。

Gormley¹⁾に理論によるSimple Tubeモデル（以下STモデル）はピンホールを壁面が平滑なチューブと考え、ピンホールの孔径が0.1[mm]以上では粒子がほぼ100[%]透過するモデルである。しかし、HEPAフィルタは繊維で構成され、ピンホール内の壁面は平滑ではないため、粒子がピンホール部通過する時、粒子は壁面で付着することが予想できる。そこで、Yamada²⁾らはEquivalent Thin Filter Layerモデル（以下ETFLモデル）を提案した。ETFLモデルはピンホール内壁の粒子捕集能力をフィルタの厚さのm倍の薄いフィルタと扱うが、より現実に近いモデルと考えられる。各モデルの概念図をFig.1に示す。Yamadaらは実験の結果から、HEPAフィルタにおいてピンホール直径（以下孔径）0.1~0.2[mm]、面風速0.07~0.7[m/s]の範囲でmは1/12に収束すると結論づけている。

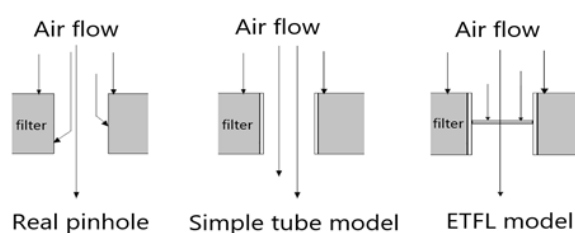


Fig.1 Aerosol penetration model for a fibrous filter

本報告では、STモデルとETFLモデルを念頭に、HEPAフィルタのリーク問題について、より大きな孔が空いた際の現象について理論的、実験的に検討する事を目的とした。特に粒径依存性に注目することで、より現象に対して詳細なアプローチを試みたのでここに報告する。

2. 測定概要

本報告では1回のデータ取得に30分間、合計75時間分の実験データを用いた。測定には走査式モビリティパーティクルサイザー（Scanning Mobility Particle Sizer TSI Model 3936 以下SMPS）を用いた。なお、実験用粒子には室内の大気塵を用いた。ポンプはLow Volume Pump（SHIBATA Model LV-40BR 以下LVポンプ）を使用した。8.0~40.0[L/min]の広範な吸引流量設定が可能な小型携帯型の吸引ポンプである。また併せてデジタル差圧計（カスタム DPG-01U）を使用し、上流側と下流側の圧力差を測定した。

2.1 実験

実験には中央にHEPAフィルタを設置した4つのフランジ付短管をつなぎ、中央にHEPAフィルタを設置し、片側に空気を吸い込むためのLVポンプを設置した。その概要をFig.2に示す。粘土やテープを使用し気密性を確保した上で短管の上流側と下流側にSMPSと差圧計にチューブを接続し、測定を行った。

2.2 理論値の算出

理論値についてETFLモデルの理論値は以下の式にて算出する。

実験、理論値共ににはにはTable1に示す条件で行った。

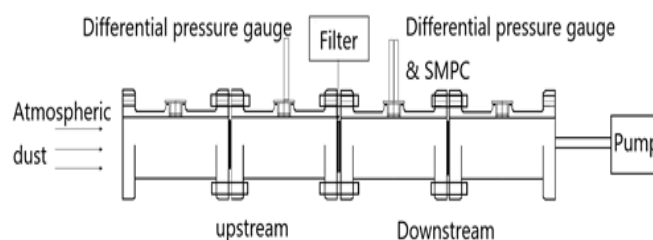


Fig.2 Measuring instrument

$$P_{t,u} = (P_{f,u}/m)^m$$

$$P_f = \exp\left(-\frac{4\alpha E_{\Sigma} t}{\pi d_f}\right)$$

α : 充填率 [-]
 T : フィルタ厚さ [m]
 d_f : 繊維径 [m]

$E_{\Sigma} \approx E_R + E_I + E_D + E_{DR} + E_G$
 E_R : さえぎりによる単一繊維捕集効率
 E_I : 慣性衝突による単一繊維捕集効率
 E_D : 拡散による単一繊維捕集効率
 E_{DR} : 拡散粒子のさえぎりによる捕集量の増加を考慮する捕集効率
 E_G : 重力降下による単一繊維捕集効率

3. 結果と考察

Fig.3は各孔径のSTモデル、ETFLモデルの理論値と実験値を表している。透過率は面速度の増加に伴い高くなることが分かる、この特徴はSTモデルでは表せない。透過率の理論値と実験値を比べてETFLモデルはSTモデルより実際と近いモデルが分かる。ETFLモデルのmの値について、0.2mmの場合m = 1/12、0.4mmの場合m = 1/10にすると実験値と近い理論値が得られるが、0.6mmの場合の値はYamadaらの研究の1/5~1/12にすると、測定値と大きく外れることから、mの値を1/100に修正すると、更に近い理論値が得られる。その為、孔径の拡大に伴いm値を修正する必要があることが分かる。だから、ETFLモデルは前の研究の適用範囲 (0.1~0.2[mm]) より大きい孔径 (0.6[mm]まで) でも適用できるモデルであることが分かる。

Fig.4は孔径0.6[mm]と0.8[mm]のETFLモデルの理論値と実験透過率を表している。孔径0.6[mm]以上の場合、粒径0.3[μm]以下の粒子の実験透過率がETFLモデルによって表せるが、粒径0.3[μm]以上の粒子の透過率はETFLモデルと同様に0に収束する傾向が見られない。孔径0.6[mm]と0.8[mm]の透過率を比べて、孔の孔径の拡大に伴い、粒子の透過率が1に漸近する傾向があるため、孔径が0.6[mm]以上の場合、STモデルの方が実際と近いモデルになる。

4. 研究成果

ETFLモデルの適用範囲が以前の研究 (0.1~0.2[mm]) から0.6[mm]までに拡大された。孔径の拡大に伴いETFLモデルに対応するmの値を実験より算出した。

ETFLモデルとSTモデルの適用可能範囲が実験より判明した。

5. 今後の課題

フィルタの上流側と下流側の圧力差から算出した流量が実際と合わないため、この点についても検討する必要がある。

Table 1 Calculation condition

Diameter of pinhole[mm]	Number of pinholes[N]	Air flow face velocity[m/s]
0.2	300	0.0192
	600	
	300	
0.4	300	0.0384
	600	
	300	
0.6	300	0.0192
	600	
	300	
0.8	300	0.0384
	600	
	300	

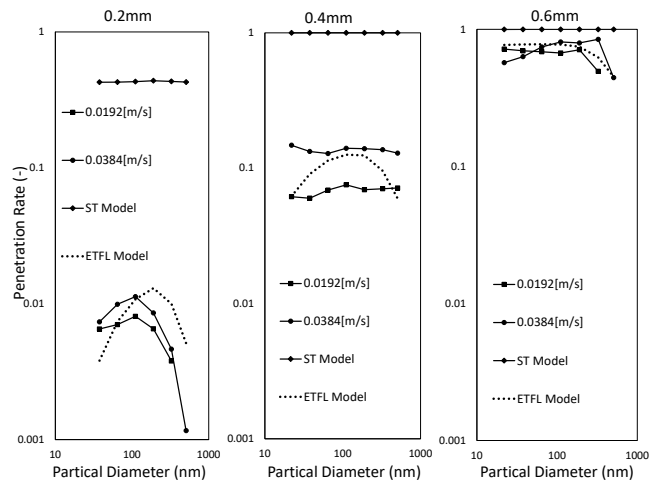


Fig.3 0.2, 0.4, 0.6[mm] Theoretical & Experimental

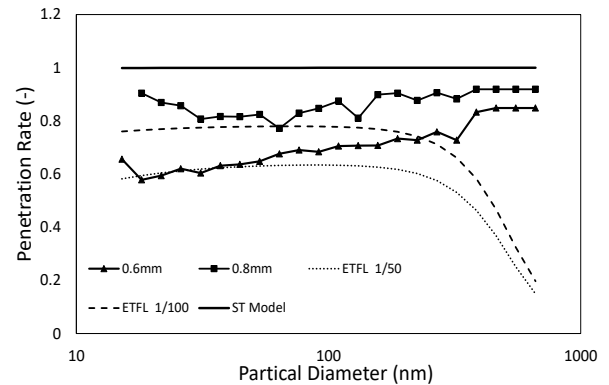


Fig.4 0.6[mm] Penetration tend& Theoretical value

ETFLモデルの各条件のmの値を算出する際、大量のデータを得る必要がある。

参考文献

- Gormley, P.G. and Kennedy, M.: Diffusion from a Stream Flowing through a Cylindrical Tube, Proc. Of Royal Irish Academy, Vol.52A, (1949)
- Yuji YAMADA et.al.: A Model of Aerosol Penetration through Fibrous Filters with Pinholes, エアロゾル研究11(1), p35-43 (1996)
- 西村 直也: 高性能繊維層フィルタにおけるリーク特性, 日本建築学会計画系論文集 第515号, p83-88, (1999)
- 西村 直也: クリーンルーム用エアフィルタのリーク試験法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第516号, p53-59, (1999)
- Hinds, W.C.: エアロゾルテクノロジー, 井上書院, (1985)