

# 加圧防排煙における性能確認時の風速測定法に関する実験的研究

岸上 昌史 山口 純一  
村岡 宏

## Experimental Study on Air Velocity Measurement Method to Verify Performance of Pressurization Smoke Control

Masashi Kishiue Jun-ichi Yamaguchi  
Ko Muraoka

### Abstract

In Japan, the notification for pressurization smoke control requires the air velocity to be measured across the smoke-protected opening at normal temperatures to confirm that the system provides a velocity above the specified value. This condition ensures that the pressurization smoke control will provide the prescribed performance in the case of fire. However, an air velocity measurement method has not yet been clearly defined. In this study, the detailed velocity profiles and pressure differences across the smoke-protected opening and air supply rate were measured for an air supply at normal temperature in a real-scale vestibule model. The normal component of the air velocity across the perpendicular plane to the door can be determined from the measured scalar velocity magnitude through multiplication with a constant factor. A practical measurement method to verify the performance of pressurization smoke control was developed. With this method, inspections can be conducted at the time of completion in a building with pressurization smoke control.

### 概要

加圧防排煙告示では火災時に所定の性能を発揮することを確認するために、常温給気下において遮煙開口部風速を実測し、 $[\text{実測値}] \geq [\text{告示規定風速 } V_{\text{告示}}]$ であることを確認する事が要求されている。しかし、その測定方法については適切な方法がない。そこで、本研究では加圧防排煙告示で要求されている遮煙開口部の風速測定方法の構築を目的として、実大規模の附室に常温給気を行い、遮煙開口部の測定面を詳細に分割して無指向性の風速計による風速測定を行った。その実験結果を用いて、垂線面を対象測定面として得られた測定風速に単純な係数を乗じた値を用いた性能確認時の測定方法を提案した。本手法により、加圧防排煙設備を適用した建築物において竣工時の検査を正確に行うことが可能となり、当該設備の品質が一定水準以上に確保される。

## 1. はじめに

特別避難階段附室の煙制御の一つとして、給気により附室圧力を高め、附室と火災室等との間の開口部(以下、遮煙開口部)での圧力制御により附室への煙の侵入を防止(以下、遮煙)する加圧防排煙がある(Fig.1参照)。

平成21年に告示<sup>1)</sup>が改正され、加圧防排煙は特別避難階段附室および非常用EV乗降ロビーに設ける排煙設備の一つとして、使用可能となった。告示では、附室と火災室等との間の開口部での遮煙性能を確認するために、常温給気時において遮煙開口部の扉開放幅を40cmとしたときの通過風速を実測により把握し、 $[\text{実測値}] \geq [\text{基準風速 } V_{\text{告示}}]$ を確認する事が要求された(Fig.2参照)。基準風速 $V_{\text{告示}}$ については告示で規定されているものの、測定方法については明示されておらず、適切な方法がない。そのため、加圧防排煙における常温性能確認時の遮煙開口部の風速測定方法の構築を目的として、実大規模の附室に常温給気を行い、遮煙開口部の測定面を詳細に分割して風速測定を行った。

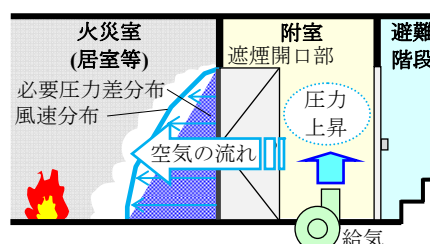


Fig. 1 加圧防排煙の概要  
Schematic of Pressurization Smoke Control

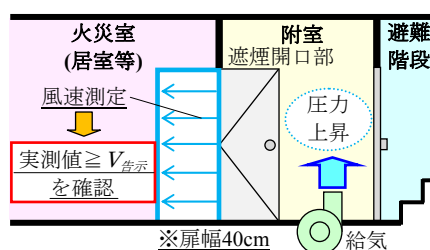


Fig. 2 常温時の性能確認  
Performance Check under Normal Temperature

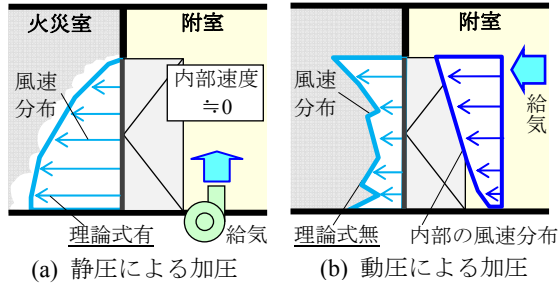


Fig. 3 附室加圧条件の違い

Different Types of Vestibule Pressurization

また、告示を含め通常の加圧防排煙計画では、一般的に動圧がほとんど寄与せず(附室の十分内部の速度が0に近い)、Fig.3(a)に示すような静圧が支配的である状況(以下、静圧場)を想定する。しかし、附室のような小規模空間に給気した場合、現状の給気設備では動圧をすべて静圧に解消することができず、Fig.3(b)に示すような動圧が遮煙開口部風速分布に影響を与える状況(以下、動圧場)が考えられる。

以上のことから、本研究では静圧が支配的な状況を主に対象とするが、動圧が支配的な場合についても検討を行う。

2. 実験概要

2.1 実験模型

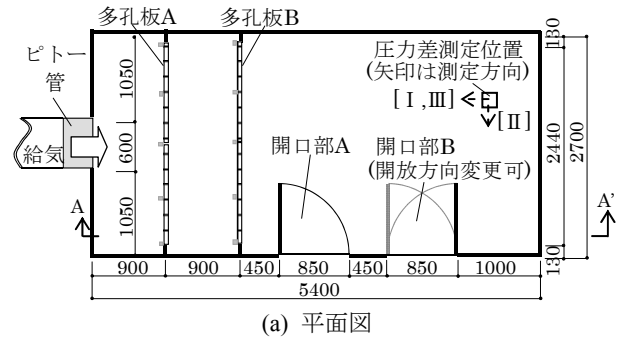
実験に使用した附室をFig.4(a)(b)に示す。

附室(幅2.7 m, 奥行き5.4 m, 高さ3.0 m)の天井は15mmの強化石膏ボード、床はコンクリート、壁は厚さ12.5mmの石膏ボードとした。壁面には給気口に近い側から開口部A, 開口部B(いずれも幅0.85 m, 高さ2 m)2つの開口部を設置した。開口部には厚さ70 mmの扉を設置し、一方が開放状態のとき、他方は閉鎖状態とした。また、開口部Bは扉付け替えにより、開放方向が変更できる仕様とした。以下ではFig.5に示すとおり、流れ方向に背を向けて開く場合を下流側開放、流れ方向に向けて開く場合を上流側開放と定義する。

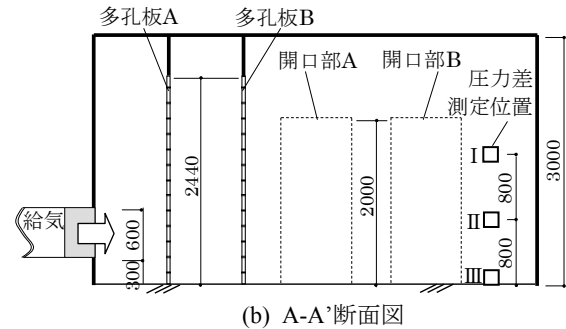
加圧給気系は、流量調整可能なシロッコファンを直径0.6 mの丸型ダクトを用いて多孔式ピトー管を介して附室に接続した。ダクト中心位置は壁端から1.35 m, 床から高さ0.6 mとした。

本研究では、静圧が支配的な状況を再現するためには速度分布を均一化することが必要と考え、既往研究<sup>2)</sup>をもとにFig.6に示す横2.44 m, 縦2.44 m, 厚さ1 mmの多孔板(パンチングメタル)を給気口からそれぞれ0.9 m(多孔板A: 穴径6 mm, ピッチ9 mm, 開孔率40.2% [実質開口面積2.39m<sup>2</sup>]), 1.8 m(多孔板B: 穴径3 mm, ピッチ5 mm, 開孔率32.6% [実質開口面積1.91m<sup>2</sup>])の位置に設置した。多孔板以外の壁は厚さ12.5 mmの石膏ボードとした。

なお、漏気試験を事前に実施したが、附室から外部に向けての流出については開口部以外からの流出はみられ



(a) 平面図



(b) A-A'断面図

Fig. 4 模型概要[単位:mm]  
Outline of Experimental Model

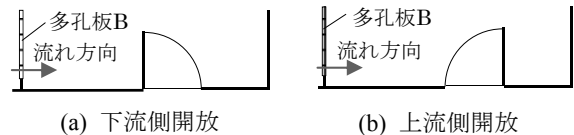


Fig. 5 開放方向の定義  
Definition of Open Direction

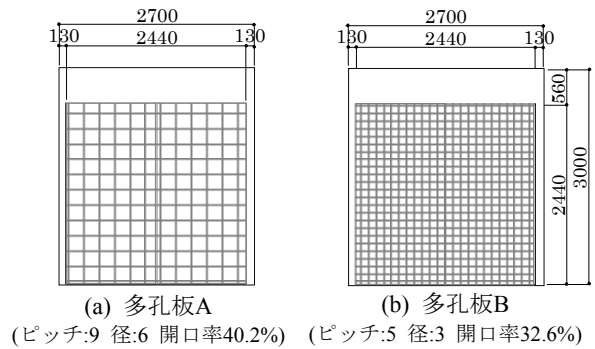


Fig. 6 多孔版詳細[単位:mm]  
Details of the Perforated Plates

なかった。また、多孔板から附室内への流出についても検討したが、多孔板以外からの流出もみられなかった。

2.2 給気条件

前述の静圧場想定給気条件に加えて、動圧が支配的な状況として、以下に示す給気条件についても検討を行った。

Fig.7 に示すとおり、多孔板 B を取り外し、給気口を設け、給気口以外の部分は遮蔽した。給気口寸法は幅1220mm, 高さ610mmであり、給気口下端が床からの高さ1220mmの場合(以下、動圧場-給気口上部)と床に接す

る場合(以下、動圧場-給気口下部)の2条件とした。なお、給気口以外からの空気の流出はなかった。

以下では、多孔板 A, B を2枚とも設置した場合を静圧場、多孔板 B の代わりに給気口付きの壁を設置した場合を動圧場とした。

2.3 測定項目

2.3.1 給気流量 給気流量は多孔式ピトー管により測定した。

2.3.2 附室内外圧力差 附室内外圧力差は実験模型の外側(実験模型を設置した屋内実験ヤード)の圧力を基準点とし、差圧計により測定した。Fig.4に示す測定地点において、高さ1.6 m, 0.8 m, 0 mの3ヶ所(高い方から順に I, II, III)に直径6mmの測定用の管を設置した。測定方向(管の先端の向き)はFig.4に示すとおり I, IIIは多孔板, IIは開口部方向である。

2.3.3 垂線面風速 常温測定時における遮煙開口部は中間的開放状態であり、得られる測定風速は縮流のために測定面のとり方によって異なる。岸上ら<sup>3)</sup>は扉開放角度 $\theta$ と扉開放幅の関係を構築し、扉開放幅を扉開放端から扉板に向かって下ろした垂線ととれば、流量係数を扉角度によらず一定として扱えることを示した。この考えに従い、測定面をFig.8(a)に示すとおり垂線面とし、無指向性の熱線風速計を用いて測定した。サンプリング間隔は1Hzとした。

垂線面の分割方法をFig.8(b)に示す。JIS規定<sup>4)</sup>に準拠して、高さ方向に8分割、水平方向に4分割の計32分割とし、各分割面の中心を代表点として測定した。なお、本実験では、扉中間的開放状態時においてヒンジ部分に形成される隙間は完全に遮蔽した。また、全条件において事前に可視化実験を行い、垂線面において逆流の有無を確認したが、本実験では逆流はみられなかった。

2.4 実験条件

給気条件[静圧場、動圧場-給気口上部、動圧場-給気口下の3条件]、開放角度[60°, 45°, 30°の3条件(Fig.9)]、開口位置[開口部A, Bの2条件(Fig.10)]、開放方向[下流側開放、上流側開放の2条件(Fig.11)]を変化させ、Table1に示す計21条件について測定を行った。

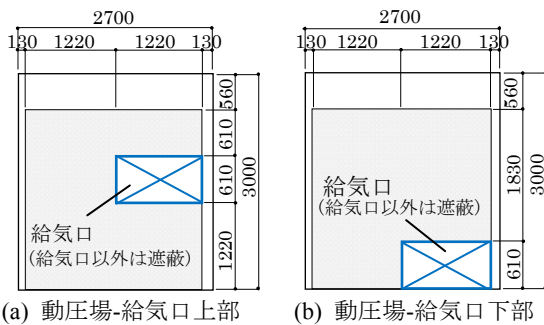


Fig. 7 動圧場の給気条件(多孔板B)[単位:mm] Air Supply Condition by Dynamic Pressure

2.5 測定方法

扉の開放状態を設定し、給気流量を1.60m<sup>3</sup>/s一定として定常になるのを確認した後、60秒間の測定を1回行った。

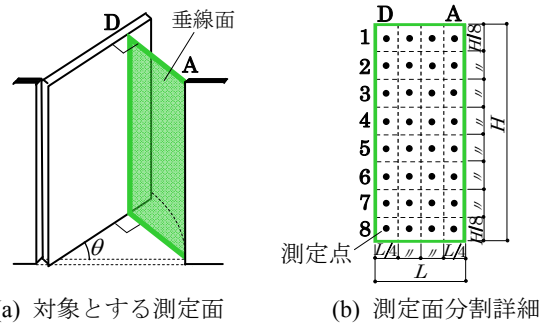


Fig. 8 開口部風速測定面 Area (Perpendicular to the Door) and Grid for Air Velocity Measurement

Table1 実験条件 Experimental Condition

給気条件	開放角度	開口位置	開放方向
静圧場	60°	A	下流側
		B	下流側 上流側
	45°	A	下流側
		B	下流側 上流側
	30°	A	下流側
		B	下流側 上流側
動圧場	45°	給気口上部	A 下流側 B 下流側 上流側
		30°	A 下流側 B 下流側 上流側
	45°		給気口下部
		30°	A 下流側 B 下流側 上流側

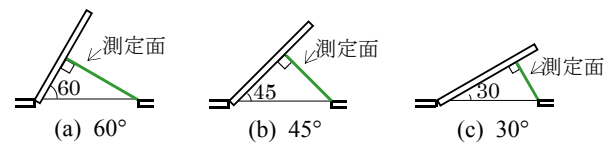


Fig.9 開放角度 Degree of Open Angle

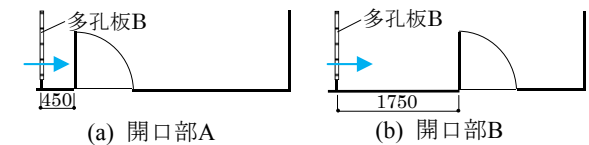


Fig.10 開口位置 Opening Position

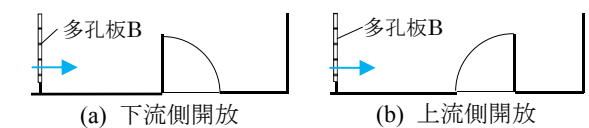


Fig.11 開放方向 Open Direction

### 3. 測定結果

#### 3.1 静圧場再現の確認

Table2に、静圧場での給気流量 $Q_m$ および附室内外圧力差 $\Delta P_m$ の測定値と3点の平均値を示す。開放角度30°-開口位置B-下流側開放は測定できなかった。

Table2より、 $\Delta P_m$  は各条件とも高さ、差圧測定の方法、

Table 2 給気流量と圧力差の測定結果および流量係数  
Measured Results of Air Supply Rate and Differential Pressure and Flow coefficient

給気条件	実験条件		給気流量 $Q_m$ [m³/s]	附室内外圧力差[Pa]				流量係数 $\alpha_\theta$	
	開放角度	開口位置 開口方向		I	II	III	平均	(1)式	(2)式
静圧場	60°	A	1.63	2.16	2.13	2.33	2.21	0.50	0.53
		B	1.54	1.93	1.88	2.00	1.94	0.51	
	45°	A	1.64	2.14	2.00	2.17	2.10	0.52	0.45
		B	1.59	2.76	2.71	2.87	2.78	0.44	
	30°	A	1.52	2.52	2.55	2.59	2.56	0.43	0.33
		B	1.60	2.91	2.86	3.05	2.94	0.42	
			1.54	5.33	5.29	5.47	5.36	0.30	
			1.50	5.72	5.60	5.75	5.69	0.29	

※データなし

扉の開口位置および開放方向による違いはみられず、開放角度ごとにほぼ一定の値を示した。また、測定結果を(1)式に代入して得られる、任意の扉開放角度 $\theta$ での扉面積 $A_g$ (=扉幅 $B$ ×扉高さ $H$ )に対する流量係数 $\alpha_\theta$ は、Table2に示すとおり(2)式で表される広田ら<sup>5)</sup>の実験回帰式とよく一致した。ただし、本実験では開口部以外からの流出はみられなかったため、(1)式では開口部通過流量として給気流量 $Q_m$ 、 $\Delta P_m$  は3点の平均値を用いた。

$$\alpha_\theta = \frac{Q_m}{A_g} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P_m}} \quad (1)$$

$$\alpha_\theta = 0.96 \times (0.023 + 0.0125\theta - 0.000060\theta^2) \quad (2)$$

以上のことから、多孔板設置により静圧が支配的な状況が再現できているものと考えられる。

#### 3.2 32点垂線面平均風速 $\bar{V}_p$

Table3, 4, 5に本実験で得られた垂線面上の各測定点における60秒間の平均風速測定結果、32点垂線面測定平均風速 $\bar{V}_p$ 、垂直風速 $\bar{V}_x$ (詳細は4.1参照)、給気流量 $Q_m$ 、標準偏差 $\sigma$ について示す。静圧場の場合をTable3に、動圧場-給気口上部の場合をTable4に、動圧場-給気口下部の場合

Table 3 垂線面風速測定結果(静圧場)[単位:m/s]  
Measurements of Air Velocity on Perpendicular Plane to Door (by Static Pressure)

開口条件	開口位置A					開口位置B											
	下流側開放					上流側開放											
開口位置A																	
開口位置B																	
開口角度																	
静圧場																	
$\theta = 60^\circ$	D	C	B	A	平均	D	C	B	A	平均	A	B	C	D	平均		
	1	1.58	1.07	1.19	1.77	$\bar{V}_p = 1.50$ [m/s]	1	1.28	0.98	1.15	1.51	$\bar{V}_p = 1.32$ [m/s]	1	1.61	1.26	1.05	1.12
2	1.29	1.19	1.24	1.61	2		1.14	1.10	1.13	1.41	2		1.81	1.37	1.32	1.25	
3	1.21	1.28	1.37	1.60	3		1.16	1.20	1.25	1.46	3		1.88	1.52	1.43	1.40	
4	1.04	1.64	1.60	1.83	4		1.05	1.30	1.35	1.57	4		1.94	1.64	1.53	1.52	
5	0.89	1.73	1.72	1.79	5		0.67	1.38	1.46	1.61	5		1.93	1.65	1.59	1.57	
6	1.17	1.74	1.78	1.68	6		0.87	1.49	1.58	1.68	6		1.93	1.72	1.62	1.53	
7	1.53	1.69	1.71	1.76	7		1.28	1.51	1.55	1.68	7		1.89	1.76	1.59	1.30	
8	1.37	1.45	1.53	1.80	8		1.22	1.33	1.33	1.53	8		1.86	1.62	0.86	0.61	
給気風量 $Q_m = 1.63$ [m³/s]						給気風量 $Q_m = 1.54$ [m³/s]						給気風量 $Q_m = 1.64$ [m³/s]					
垂直風速 $\bar{V}_x = 1.11$ [m/s]						垂直風速 $\bar{V}_x = 1.05$ [m/s]						垂直風速 $\bar{V}_x = 1.11$ [m/s]					
$\theta = 45^\circ$	D	C	B	A	平均	D	C	B	A	平均	A	B	C	D	平均		
	1	1.43	1.31	1.52	1.99	$\bar{V}_p = 1.81$ [m/s]	1	1.24	1.11	1.21	1.43	$\bar{V}_p = 1.53$ [m/s]	1	1.90	1.48	1.34	1.34
2	1.51	1.48	1.59	1.96	2		1.37	1.31	1.34	1.50	2		1.84	1.56	1.57	1.51	
3	1.39	1.70	1.78	2.10	3		1.48	1.49	1.51	1.61	3		2.30	1.88	1.80	1.77	
4	1.04	2.06	1.98	2.16	4		0.92	1.81	1.68	1.72	4		2.29	1.98	1.94	1.89	
5	0.97	2.12	2.13	2.13	5		0.52	1.84	1.86	1.83	5		2.26	1.98	1.97	1.94	
6	1.58	2.15	2.01	1.97	6		0.62	1.67	1.87	1.88	6		2.35	2.20	2.12	1.47	
7	1.83	2.03	1.99	2.15	7		1.28	1.90	1.88	1.93	7		2.30	2.03	1.87	0.90	
8	1.79	1.83	1.87	2.24	8		1.72	1.68	1.73	1.88	8		2.24	2.02	1.38	0.66	
給気風量 $Q_m = 1.59$ [m³/s]						給気風量 $Q_m = 1.52$ [m³/s]						給気風量 $Q_m = 1.60$ [m³/s]					
垂直風速 $\bar{V}_x = 1.32$ [m/s]						垂直風速 $\bar{V}_x = 1.26$ [m/s]						垂直風速 $\bar{V}_x = 1.33$ [m/s]					
$\theta = 30^\circ$	D	C	B	A	平均	D	C	B	A	平均	A	B	C	D	平均		
	1	1.62	1.69	1.92	2.35	$\bar{V}_p = 2.38$ [m/s]	1	1.65	1.6	1.9	2.27	$\bar{V}_p = 2.14$ [m/s]	1	2.75	2.10	1.92	1.81
2	1.86	1.92	2.03	2.22	2		1.93	1.86	1.96	2.21	2		2.89	2.24	2.11	2.08	
3	1.71	2.60	2.41	2.57	3		2.23	2.16	2.17	2.3	3		3.09	2.50	2.39	2.54	
4	1.41	2.84	2.67	2.74	4		1.1	2.54	2.36	2.44	4		3.10	2.66	2.63	2.95	
5	2.02	2.91	2.64	2.51	5		0.74	2.59	2.55	2.56	5		2.95	2.60	2.66	2.96	
6	2.70	2.85	2.54	2.48	6		0.74	2.62	2.58	2.58	6		3.06	2.75	2.66	2.80	
7	2.66	2.61	2.56	2.83	7		1.41	2.65	2.52	2.59	7		3.04	2.71	2.72	2.18	
8	2.47	2.45	2.42	2.84	8		2.45	2.29	2.34	2.59	8		2.97	2.72	2.78	0.80	
給気風量 $Q_m = 1.54$ [m³/s]						給気風量 $Q_m$ : 測定データなし						給気風量 $Q_m = 1.50$ [m³/s]					
垂直風速 $\bar{V}_x = 1.81$ [m/s]						垂直風速 $\bar{V}_x$ : 測定データなし						垂直風速 $\bar{V}_x = 1.77$ [m/s]					

Table 4 垂線面風速測定結果(動圧場-給気口上部)[単位:m/s]  
Measurements of Air Velocity on Perpendicular Plane to Door  
(by Dynamic Pressure from the Upper Air Supply Position)

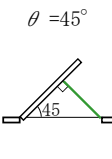
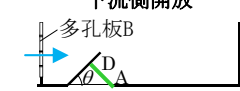
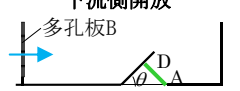


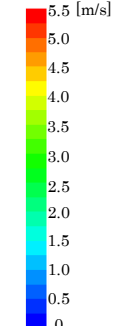
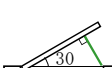
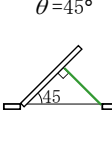
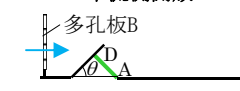
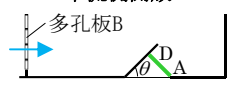
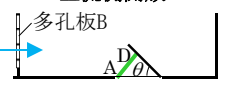

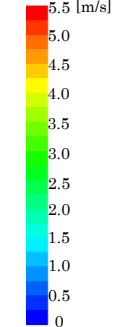
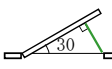
開口条件	開口位置A					開口位置B												
	下流側開放					下流側開放					上流側開放							
開口角度  $\theta = 45^\circ$																		
	 動圧場 給気口上部 (多孔板B)	D	C	B	A	平均	D	C	B	A	平均	A	B	C	D	平均		
	1	1.69	2.54	2.5	2.79	$\bar{V}_p = 2.58$ [m/s]	1	1.89	2.1	1.98	2.62	$\bar{V}_p = 2.28$ [m/s]	1	3.11	2.27	1.77	1.82	$\bar{V}_p = 2.05$ [m/s]
	2	1.44	2.11	2.47	2.72		2	1.55	1.86	2.15	2.94		2	3.11	2.67	2.36	2.21	
	3	1.92	2.33	2.47	2.91		3	1.3	1.59	2.29	3.19		3	2.71	2.39	2.41	2.56	
	4	2.11	2.41	2.76	3.23		4	1.53	1.96	2.59	3.23		4	2.19	2.1	2.25	2.45	
	5	2.51	2.65	2.98	3.39		5	1.79	2.24	2.75	3.21		5	2.08	1.97	2.07	2.31	
	6	2.58	2.25	3.13	3.46		6	1.96	2.09	2.71	3.25		6	1.97	1.82	1.86	1.99	
	7	2.24	2.62	3.2	3.23		7	1.94	1.92	2.57	3.27		7	1.83	1.48	1.48	1.52	
	8	1.94	2.35	2.78	2.98		8	1.68	1.77	2.02	2.9		8	1.54	1.2	1.13	1.07	
	給気風量 $Q_m = 1.54$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.50$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.59$ [m³/s]							
	垂直風速 $\bar{V}_x = 1.28$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.24$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.32$ [m/s]							
$\theta = 30^\circ$	D	C	B	A	平均	D	C	B	A	平均	A	B	C	D	平均			
	1	2.04	2.85	2.89	3.28	$\bar{V}_p = 3.19$ [m/s]	1	2.32	2.92	2.63	3.04	$\bar{V}_p = 3.19$ [m/s]	1	3.59	2.85	2.36	2.21	$\bar{V}_p = 2.70$ [m/s]
	2	1.95	2.75	3.2	3.56		2	1.81	2.56	2.67	3.18		2	3.71	3.16	2.83	2.7	
	3	2.17	2.47	2.84	3.62		3	2.34	2.65	3.16	3.81		3	3.41	3.16	3.13	3.2	
	4	2.58	2.98	3.32	4.04		4	2.71	3.15	3.54	4.21		4	2.95	2.67	2.7	2.92	
	5	3.32	3.11	3.46	4.26		5	3.26	2.96	3.63	4.62		5	2.74	2.6	2.65	2.85	
	6	2.68	2.9	3.92	4.16		6	2.62	2.54	3.51	4.15		6	2.73	2.58	2.6	2.53	
	7	2.57	3.44	3.73	3.82		7	2.43	3.02	3.56	3.92		7	2.63	2.44	2.35	2	
	8	3.4	3.53	3.54	3.81		8	3.65	3.75	3.74	3.93		8	2.49	2.23	2.06	1.52	
	給気風量 $Q_m = 1.54$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.52$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.54$ [m³/s]							
	垂直風速 $\bar{V}_x = 1.81$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.79$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.81$ [m/s]							

Table 5 垂線面風速測定結果(動圧場-給気口下部)[単位:m/s]  
Measurements of Air Velocity on Perpendicular Plane to Door  
(by Static Pressure from the Lower Air Supply Position)

開口条件	開口位置A					開口位置B												
	下流側開放					下流側開放					上流側開放							
開口角度  $\theta = 45^\circ$																		
	 動圧場 給気口下部 (多孔板B)	D	C	B	A	平均	D	C	B	A	平均	A	B	C	D	平均		
	1	2.55	2.38	2.45	2.95	$\bar{V}_p = 2.65$ [m/s]	1	2.26	2.36	2.81	3.54	$\bar{V}_p = 2.74$ [m/s]	1	2.1	1.65	1.43	1.18	$\bar{V}_p = 2.27$ [m/s]
	2	2.44	2.52	2.7	3		2	1.98	2.36	2.77	3.69		2	2.05	1.68	1.46	1.16	
	3	2.01	2.56	3.22	3.46		3	1.6	2.09	2.86	3.81		3	1.92	1.64	1.45	1.34	
	4	1.89	1.91	3.17	3.71		4	1.58	2.11	3.09	4.08		4	1.9	1.59	1.45	1.55	
	5	2.19	1.59	2.62	3.8		5	1.66	2.13	3.32	4.38		5	2.36	1.89	1.48	1.77	
	6	2.22	1.64	2.93	3.33		6	1.68	2.04	3.38	4.48		6	3.66	2.74	1.8	2.19	
	7	2.17	1.93	3.01	2.9		7	1.67	1.97	3.35	4.32		7	4.93	3.51	2.63	3.04	
	8	2.44	2.55	2.93	3.65		8	1.89	1.95	2.75	3.76		8	3.5	4.25	3.81	3.53	
	給気風量 $Q_m = 1.49$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.54$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.63$ [m³/s]							
	垂直風速 $\bar{V}_x = 1.24$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.28$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.36$ [m/s]							
$\theta = 30^\circ$	D	C	B	A	平均	D	C	B	A	平均	A	B	C	D	平均			
	1	3.26	3.19	3.68	4.45	$\bar{V}_p = 3.47$ [m/s]	1	3.37	3.61	3.97	4.6	$\bar{V}_p = 3.68$ [m/s]	1	2.61	2.08	1.87	1.81	$\bar{V}_p = 2.93$ [m/s]
	2	3.04	3.5	3.66	4.02		2	3.89	3.85	3.96	4.63		2	2.65	2.19	2.04	1.68	
	3	2.24	3.83	4.02	4.19		3	2.46	3.04	4.27	4.88		3	2.76	2.35	2.09	1.6	
	4	2.38	4.04	4.51	4.82		4	2.13	2.38	4.05	5.34		4	2.85	2.5	2.34	2.28	
	5	2.16	2.25	4.07	5.1		5	2.09	2.32	3.78	5.42		5	3.38	2.83	2.48	2.28	
	6	2.74	2.33	3.56	4.54		6	2.26	2.32	3.93	5.46		6	4.32	3.28	2.55	2.37	
	7	2.78	2.5	3.73	2.99		7	2.47	2.86	4.76	3.97		7	5.34	4.1	3.33	3.14	
	8	3.25	2.92	3.53	3.74		8	2.67	3.24	4.79	4.94		8	5.35	4.81	4.4	4.08	
	給気風量 $Q_m = 1.59$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.51$ [m³/s]					給気風量 $Q_m = 1.54$ [m³/s]							
	垂直風速 $\bar{V}_x = 1.87$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.78$ [m/s]					垂直風速 $\bar{V}_x = 1.81$ [m/s]							

をTable5に示す。

Table3より、静圧場の場合、A列(開放端側)の速度が大きく、D列(ヒンジ側)にいくにつれて速度が小さくなる傾向を示した。また、鉛直方向の各測定点の風速は概ね一定であった。

Table4, Table5より、動圧場では特に上流側開放の場合に給気口の位置による影響を大きく受け、給気口設置高さ付近の風速が大きくなる。下流側開放の場合は、給気口位置による影響はやや緩和され、A列(開放端側)からD列(ヒンジ側)にいくにつれて速度が小さくなる。

また、32点垂線面測定平均風速 $\bar{V}_p$ は、静圧場に比べて動圧場のほうが大きくなる。

標準偏差 $\sigma$ は、静圧場の場合は0.23から0.52を示すのに対し、動圧場-給気口上部は0.45から0.64、動圧場-給気口上部は0.58から1.04を示した。このことから、測定値のばらつきは静圧場、動圧場-給気口上部、動圧場-給気口下部の順に大きいことが分かる。

また、Fig.12, Fig.13に32点垂線面測定平均風速 $\bar{V}_p$ と32点垂線面最大測定風速 $V_{max}$ 、32点垂線面最小測定風速 $V_{min}$ の関係を示す。

Fig.12より、 $V_{max}$ と $\bar{V}_p$ の比は静圧場の場合、1.2から1.29を示す。一方、動圧場-給気口上部の場合は1.33から1.51、動圧場-給気口下部の場合1.47から2.17を示し、静圧場と動圧場で明確な違いがみられた。これは、動圧場では局所的に風速が強くなる領域があるためと考えられる。

Fig.13より、 $V_{min}$ と $\bar{V}_p$ の比は静圧場の場合は0.31から0.6を示すのに対し、動圧場の場合は0.51から0.62を示し、上限値については明確な違いは見られないが、下限値については静圧場の方が小さい値を示す。

以上のことから、対象流れ場が静圧場であるか動圧場であるかの判別には32点垂線面最大風速と32点垂線面平均風速の関係をみればよい。

#### 4. 32点垂線面平均風速 $\bar{V}_p$ と垂直風速 $\bar{V}_x$

##### 4.1 垂線面での速度ベクトルの直交性

32点垂線面平均風速 $\bar{V}_p$ と給気量の関係から垂線面での風速測定値の方向性を考察する。開口以外からの漏れはないため、 $Q_m$ が垂線面を通過すると考えれば、Fig.14に示すとおり風速ベクトルが垂線面積 $A_p$ に対し必ず垂直をなすとしたときの垂直風速 $\bar{V}_x$ は(3)式で得られる。なお、垂線面積 $A_p$ は扉幅B、扉高さHとすると、(4)式に示すとおり定義する。

$$\bar{V}_x = \frac{Q_m}{A_p} \quad (3)$$

$$A_p = BH \sin \theta \quad (4)$$

Table3, 4, 5に(4)式より得られる垂直風速 $\bar{V}_x$ を併せて示す。全条件において $\bar{V}_p$ は $\bar{V}_x$ より必ず大きい。これは、垂線面の風速ベクトルが、必ずしも垂線面に対し垂直ではないことを意味する。この傾向はPIV(Particle Image Velocity: 粒子画像流速測定法)を用いた縮小模型実験<sup>6)</sup>

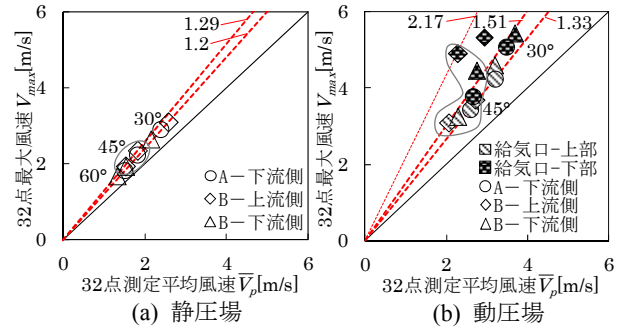


Fig. 12 32点最大風速 $V_{max}$ と32点平均風速 $\bar{V}_p$  Correlation of Average and Maximum Air Velocity

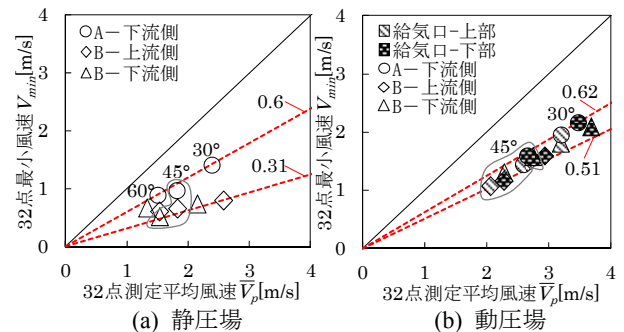


Fig. 13 32点最小風速 $V_{min}$ と32点平均風速 $\bar{V}_p$  Correlation of Average and Minimum Air Velocity

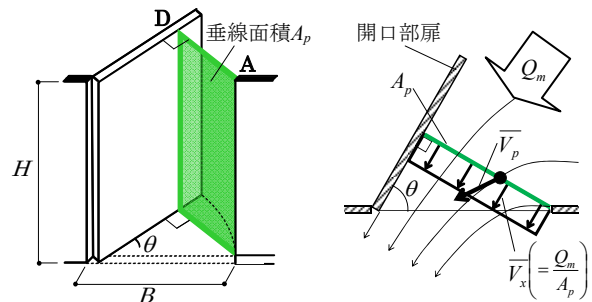


Fig. 14 垂直風速 $\bar{V}_x$ の定義 Definition of Normal Component  $\bar{V}_x$  of Air Flow across the Perpendicular Plane to Door

においても同様に得られた。

##### 4.2 修正係数 $\xi$

以下では、(5)式に示すとおり、32点垂線面平均風速 $\bar{V}_p$ を垂直風速 $\bar{V}_x$ に修正する係数(以下、修正係数 $\xi$ )を算出する。

$$\xi = \frac{\bar{V}_p}{\bar{V}_x} \quad (5)$$

(5)式より得られる修正係数 $\xi$ について、静圧場の場合をFig.15(a)、動圧場の場合をFig.15(b)に示す。 $\bar{V}_p$ 、 $\bar{V}_x$ はTable3, 4, 5に示した値を用いた。

静圧場の場合、Fig.15(a)より $\xi$ は開放角度、開口位置、開放条件によらずおおむね一定の値を示し、平均0.75、最大0.83、最小0.69を示し、1より必ず小さい。したがって、(6)式に示すとおり、 $\bar{V}_p$ に0.69を乗じた値を $\bar{V}_x$ と扱え

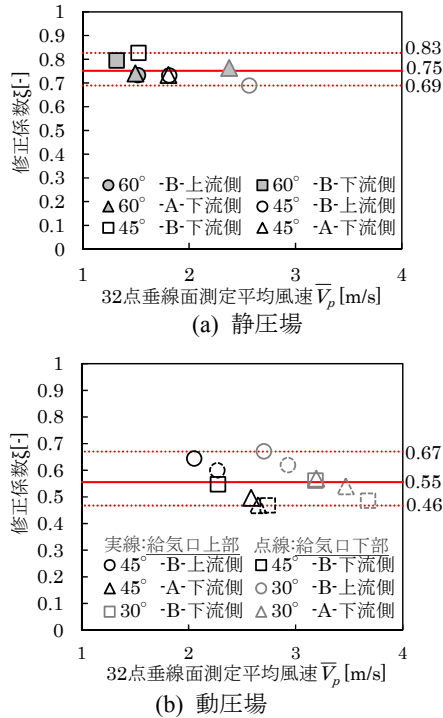


Fig. 15 修正係数ξ  
Correction Coefficient

ば必ず実際の垂直風速より小さい。

$$\bar{V}_x \geq 0.69\bar{V}_p \quad (6)$$

動圧場の場合、Fig.15(b)よりξは給気条件、開放条件、開口位置により大きく異なる。本研究では平均0.55，最大0.67，最小0.46が得られ，必ず静圧場の場合より小さい。これは垂線面風速ベクトルが静圧場より傾いていることを意味する。

### 5. 常温確認時の測定方法の提案

解説書<sup>1)</sup>によると告示は，常温確認時に火災時と同一の流量[以下，遮煙必要流量]が遮煙開口部に流れるように遮煙開口部の扉開放幅を40cmに設定し，その流れ場での実測を要求している。そのため，以下では火災時に告示が想定している流量が遮煙開口部に流れるか否かを確認することを目的とした常温確認時の測定方法を提案する。告示では扉開放幅40cmの取り方について明記されていないが，開放幅を垂線長さにとれば垂線面積に対する流量係数を角度によらず0.7で一定と扱える<sup>3)</sup>ことを勘案して，解説書<sup>1)</sup>においても開放幅を垂線長さで考えることが推奨されている。本研究でもこの考えに従うこととする。

解説書<sup>1)</sup>によれば，告示が想定する火災時の遮煙開口部通過流量(以下，告示流量)  $Q_{告示}$ は，告示規定風速  $V_{告示}$  を用いて(7)式で与えられる。ここで， $\alpha$ は垂線面積に対する流量係数(0.7)， $H$ は遮煙開口部開口高さである。

$$Q_{告示} = \alpha \times 0.4H \times V_{告示} \quad (7)$$

次に，測定風速と通過流量  $Q_m$  の関係を構築する。本研

究で得られた32点垂線面測定平均風速  $\bar{V}_p$  と垂直風速  $\bar{V}_x$  の関係を用いると，通過流量  $Q_m$  と垂線面測定風速  $\bar{V}_p$  の関係は(8)式で与えられる。

$$Q_m = 0.4H \times \bar{V}_x = 0.4H \times \xi \bar{V}_p \quad (8)$$

ここで，告示要求を満足するためには，遮煙開口部の通過流量の実測値  $Q_m$  が告示流量  $Q_{告示}$  より大きければよい ( $Q_m \geq Q_{告示}$ ) から，(7)式および(8)式より  $V_{告示}$  と垂線面測定平均風速  $\bar{V}_p$  の関係として(9)式を得る。

$$\bar{V}_p \geq \frac{\alpha}{\xi} V_{告示} \quad (9)$$

なお，4.2節で示したとおり修正係数  $\xi$  は流れ場の違いによって異なるため，対象とする流れ場が静圧場か動圧場であるかを判別する必要があるが3.2節で示したとおり，32点平均風速  $\bar{V}_p$  と32点垂線面最大測定風速  $V_{max}$  を比較し， $V_{max}/\bar{V}_p \leq 1.29$  ならば静圧場， $V_{max}/\bar{V}_p > 1.29$  ならば動圧場と判断すればよい。

(9)式において， $\alpha$ には0.7， $\xi$ には安全側の判断として4.2節より得られた最小値を用いると，(10)式および(11)式を得る。

$$\bar{V}_p \geq \frac{0.7}{0.69} V_{告示} \cong V_{告示} \text{ [静圧場の場合]} \quad (10)$$

$$\bar{V}_p \geq \frac{0.7}{0.46} V_{告示} \cong 1.52V_{告示} \text{ [動圧場の場合]} \quad (11)$$

以上のことから，性能確認時には遮煙開口部の垂線面風速を測定し，(10)式あるいは(11)式を満足するか否かを検討すればよい。

近年の研究<sup>7)</sup>により，遮煙達成時の遮煙開口部近傍の煙挙動が明らかになりつつある。それによれば，遮煙達成時においても，火災室からの煙は垂線面近傍まで侵入し，上部面(垂線と三方枠の間の三角形の領域)から附室内に侵入しようとする傾向が報告されている。これらのことを鑑みると，遮煙には①垂線面方向と②上部面方向の直交する2方向での遮煙が必要条件になると考えられる。

静圧場では必然的に上記条件を満足するが，動圧場の場合には動圧が遮煙開口部の風速分布に影響を及ぼすため，遮煙必要流量が静圧場とは異なる可能性がある。告示規定風速は静圧場を前提に定められたものであるため，動圧場において静圧場と同等の性能を確保するためには，火災時の遮煙必要流量を増加させる等の措置が必要であり，取扱いには注意が必要である。

### 6. まとめ

加圧防排煙告示で要求されている性能確認時における風速測定方法の構築を目的として，実大の模型を用いた給気実験を行った。実験では，常温下で給気を行い，遮煙開口部に見立てた開口部の扉が中間的開放性状( $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ )の場合の給気量，差圧を測定するとともに，開口

部での垂線面風速を無指向性の風速計を用いて測定した。その結果、以下のことを示した。

- 1) 垂線面の風速ベクトルは必ずしも垂直ではない。
- 2) 32点垂線面平均風速 $\bar{V}_p$ は同一給気量を投入しても静圧場より動圧場の方が大きい。
- 3) 32点垂線面平均風速 $\bar{V}_p$ と32点垂線面最大測定風速 $V_{max}$ の關係に静圧場と動圧場の明確な違いがみられた。
- 4) 32点垂線面測定風速 $\bar{V}_p$ を垂直風速 $\bar{V}_x$ に修正する係数 $\xi$  ( $\bar{V}_x = \xi \bar{V}_p$ )は、静圧場では平均0.75, 最大0.83, 最小0.69を示し、扉開放角度, 開口位置, 開放方向によらずおおむね一定である。
- 5)  $\xi$ は、動圧場では開口位置, 開放方向に影響を受け、本研究では平均0.55, 最大0.67, 最小0.46を示す。

また、上記実験結果を用いて32点垂線面平均風速 $\bar{V}_p$ に単純な係数を乗じて告示の基準風速 $V_{告示}$ と比較する確認手法を構築した。本手法により、加圧防排煙設備を適用した建築物において竣工時の検査を正確に行うことが可能となり、当該設備の品質が一定水準以上に確保される。

## 謝辞

本研究は平成24年度東京理科大学「火災安全科学研究拠点」共同利用・共同研究として実施されたものである。東京理科大学松山賢准教授ならびに神戸大学松下敬幸教

授には多大なる助言を頂きました。また、実験の実施には東京理科大学沖永誠治氏に多大なご協力を頂きました。

## 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術総合研究所・独立行政法人建築研究所：加圧防排煙設計マニュアル，2011.3
- 2) 社団法人日本建築学会，：技術資料 管路・ダクトの流体抵抗，pp.109-113，2008.8
- 3) 岸上昌史，松下敬幸，藤田浩司，高田暁：加圧防排煙における常温換気計算報に基づく給気量算定法及び空気逃し開口部の設置高さの影響，日本建築学会環境系論文集673号，pp.115-120，2012.3
- 4) 日本工業標準調査会：JIS B 8330 送風機の試験及び検査方法，pp.235-237，2000.7
- 5) 広田正之，松山賢，山名俊男，若松孝旺：防排煙時の圧力差予測のための中間的開放扉の基本特性，日本建築学会環境系論文集602号pp.1-8，2006.4
- 6) 岸上昌史，山口純一，沖永誠治，松山賢，松下敬幸：加圧防排煙における遮煙開口部の気流性状に関する実験的研究-PIVによる2D可視化実験-，平成26年度火災学会研究発表会概要集，pp.56-57，2014.5
- 7) 岸上昌史，山口純一，沖永誠治，松山賢，松下敬幸：加圧煙制御における給気条件の差異が遮煙に与える影響に関する実験的研究，日本建築学会学術講演概要集(防火)，pp.283-286，2013.9