

階段加圧防煙システムの研究

- システムの概要と性能検証実験 -

中濱 慎司・笠原 勲*1・森川 泰成・坂本 敏一*2

Keywords : stairwell pressurization smoke control system, performance test, coefficient of resistance, stack effect

階段加圧, 性能検証, 抵抗係数, 煙突効果

1. はじめに

階段室は火災発生時、在館者が移動する重要な避難経路の一つであるだけでなく、他階への煙伝播経路になる可能性がある。よって、階段室の遮煙性を高める階段加圧防煙システムは、建物の避難安全性を高める有効な対策の一つと考えられる。

しかし階段加圧防煙システムは、扉開閉に伴う階段内の圧力変化や加圧空間が竪穴である等、性能を確保する上で様々な課題がある。今後これらの課題を解決し、階段加圧防煙システムを普及させるためには、システムを設計する上で必要となる各種データを測定等で把握し、その特性を整理することが求められる。

今回、階段加圧防煙システムを導入した建物を測定する機会を得たので、ここにシステムの概要と測定結果を報告する。

2. 適用建物及びシステムの概要

2.1 適用建物の概要

本システムの概要を表-1と表-2に示す。適用建物の階数は地下1階～地上13階、構造はS造・SRC造である。

表-1 建物概要
Outline of the building

階数	地下1階～地上13階、塔屋1階
軒高	SGL+約5.6m
構造	S造、SRC造
外壁構造	PC板
建築面積	約3,600m ²
基準階面積	約2,000m ²
延床面積	約34,000m ²
主用途	低層部(地下1階～地上4階): 集会所 基準階(地上5階～地上13階): 事務所

基準階平面図を図-1、階段平面図を図-2に示す。基準階はセンターコアタイプであり、さらに外壁は主にPC板で構成されている。また、階段室・事務室扉は特定防火設備で常時閉鎖式である。階段加圧防煙システムを導入した階段室の各階の階高は4050(mm)、踏面300(mm)、蹴上185(mm)である。壁はALC板等で構成され、シール材やパテで階段室内の隙間を埋める処置が行われている。

表-2 階段加圧防煙システムの概要
Outline of the smoke control system

階	場所	項目	概要
地下1階	機械室	給気ファン	25,000m ² /h
		給気ダクト	0.7m×0.8m
3階、5～13階	男・女便所	避圧口	0.5m ² ×2ヶ所
塔屋階	壁面	圧力調整ダンパー	1.08m ² ×2カ所

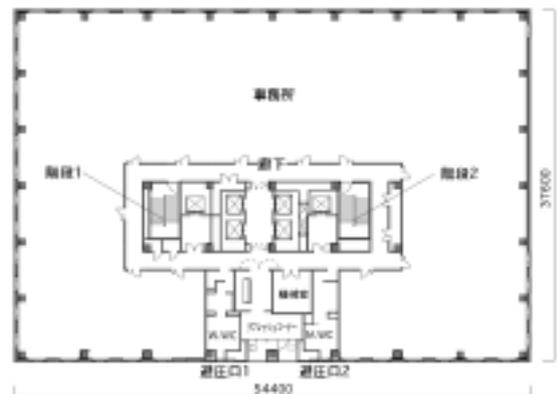


図-1 基準階平面図
Standard floor plan

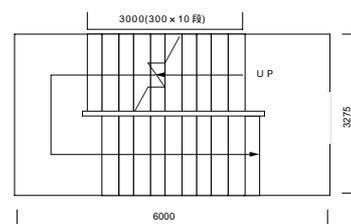


図-2 階段平面図
Stairwell floor plan

*1 (株)音・環境研究所

*2 札幌支店設計部

2.2 階段加圧防煙システムの概要

階段加圧防煙システム概念図を図-3に示す。今回適用した階段加圧防煙システムでは、地下1階部分から階段室内に空気を供給している。なお加圧時の扉開閉障害を防止するために、階段室の頂部に圧力調整ダンパー（有効開口面積 $1.08(m^2) \times 2$ ヶ所）を設置した。また階段室扉の開放に伴い、廊下へ流入する空気は、男・女便所に設置された避圧口（有効開口面積 $0.5(m^2) \times 2$ ヶ所）を通じて外気へ流出させるようにした。

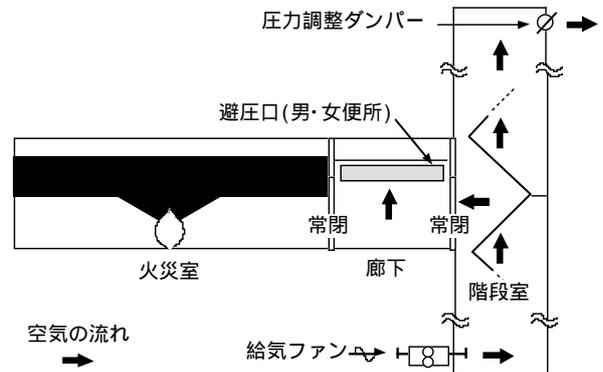


図-3 システムの概念図
Figure of the system

3. 測定による性能検証

3.1 測定項目及び測定機器

今回使用した測定機器類を表-3に示す。なお各測定データは、給気ファン安定後、約2分間の定常測定で記録計に保存した。測定点図を図-4に示す。各測定点は、差圧において階段室 - 廊下間5点、階段室内の差圧1点、温度6点、風速3点、風向風速1点とした。

表-3 測定機器

Device of the measurement

測定項目	機器	形式
温度	熱電対	T型熱電対
差圧	微差圧計	横河 DC-10A 他
風速	風速計	日本カノマックス MODEL 6542
風向風速 (屋上)	風向風速計	小笠原計器 C-W450
扉開放力	プッシュプルスケール	IMADA PSM-30

3.2 測定ケース及び条件設定

測定ケース及び条件設定を表-4に示す。測定ケースは測定内容、及び扉開口条件に応じて6ケース実施した。

(1) 扉開放力測定 (測定No.1)

扉開放力は、階段室扉を全閉状態にし、プッシュプルスケールを用いて測定した。

(2) 差圧性能確認 (測定No.2、No.3)

階段室 - 廊下間の差圧を、扉開口部の平均面風速を用いて算出し、扉開放時 $0.7Pa$ の設定差圧を検証した。

(3) 扉開放の影響 (測定No.4、No.5)

扉開放に伴う階段室 - 廊下間の差圧変化を測定した。扉開放は、1階と13階、1階と6階の2ケースを実施した。

(4) 階段内抵抗 (測定No.6)

6階 - 12階間の圧力損失をもとに、階段室1階層に対する抵抗係数を算出した。

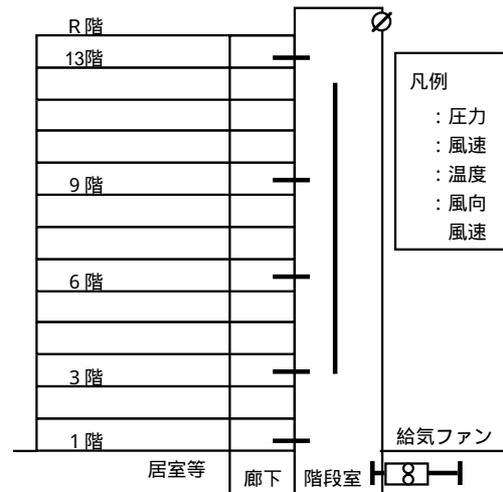


図-4 測定点図
Measurement points

表-4 測定ケース及び条件設定

Case of measurements and setting of the conditions

実験ケース	測定目的	対象階段	開口条件			温度測定		圧力測定		給気ファンタクト風速	階段扉通気風速	外気風向風速
			階段扉開放	圧力調整ダンパー開放	避圧口開放	階段室	外気	階段室内	階段室廊下			
No.1	・扉開放力測定	・階段1 ・階段2	×		×	×	×	×	×		×	×
No.2	・差圧性能確認	・階段1	(1階, 13階)	×	(13階)	(1, 3, 6, 9, 13階)		×	×		(1階, 13階)	
No.3		・階段2	(1階, 13階)	×	(13階)	(1, 3, 6, 9, 13階)		×	×		(1階, 13階)	
No.4	・扉開放の影響	・階段2	(1階, 13階)	×	(13階)	(1, 3, 6, 9, 13階)		×	(1, 3, 6, 9, 13階)		×	
No.5		・階段2	(1階, 6階)	×	(13階)	(1, 3, 6, 9, 13階)		×	(1, 3, 6, 9, 13階)		×	
No.6	・階段内抵抗	・階段2	(1階, 13階)	×	(13階)	(1, 3, 6, 9, 13階)		(6階-12階間)	×		(1階, 13階)	

4. 測定結果

(1)測定時の外気状況

測定時の天候は雪時々曇り、外気温-1.2、風向風速は北風平均1.5(m/s)であった。

(2)扉開放力測定(測定No.1)

扉開放力は、階段室内の扉を全閉にし、給気ファン起動後にファンが安定した状況下で、プッシュプルスケールを用いて測定した。

その結果、階段室1の扉開放力は120(N)、階段室2の扉開放力は130(N)となり、両階段室ともに開閉障害は見られなかった。

(3)差圧性能確認(測定No.2、3)

扉開放時の差圧計算結果を表-5に示す。なお差圧は、測定結果で得られた扉開口部の平均面風速を式(1)に代入して算出した。その結果、各ケースともに設定差圧である0.7(Pa)以上の差圧を得ることが分かった。

$$p = \rho_a / 2 * (v / C_d)^2 \quad (1)$$

ここに、 p : 差圧 (Pa) ρ_a : 空気密度 (kg/m³)

v : 扉開口部の平均面風速 (m/s)、

C_d : 流量係数 ($=0.7$) である。

(4)扉開閉の影響(測定No.4、5)

扉開閉による階段室内の圧力への影響を示す前に、初期条件となる階段室内の温度性状を調べた。階段室-2の温度経時変化を図-5と図-6に、階段室-2の測定階における平均温度分布を図-7に示す。また階段室-廊下間の差圧分布を図-8に示す。

図-5と図-6の測定結果より、測定中、測定階の階段室内の温度は、ほとんど変化していないことが分かる。

また図-7の測定結果より、階段室内の温度は、1階から6階へ階が上がるに従って、約10()の温度差が生じていることが分かる。ただし6階以上の階では、ほとんど温度差は無かった。

階段加圧を継続運転した場合、階段室内の温度は給気された空気温度に近づき、最終的に階段室内の温度は、均一になると考えられる。しかし今回の測定において、給気ファン起動初期では階段内の温度が一定時間維持されていることが分かった。

また図-7の階段室-廊下間の差圧分布より、扉を開放している階を除き(測定No.4は1階扉と13階扉を開放、測定No.5では1階扉と6階扉を開放)、上階に上がる程、階段室-廊下間の差圧が大きくなる傾向が見られた。

このような性状が見られた原因の一つとして、階段室内の煙突効果による影響が考えられる。そこで測定した階段室内温度をもとに、階段室内1階と最上階(13階)の煙突効果による差圧を式(2)から算出し、その値がどの程度の値を取るかを調べた。

表-5 扉開放時の差圧結果

Result of the pressure in door opening

測定点	扉	平均風速 (m/s)	差圧 (Pa)
階段室1	1階扉	0.9	1.1
	13階扉	1.2	1.8
階段室2	1階扉	1.1	1.7
	13階扉	1.0	1.4

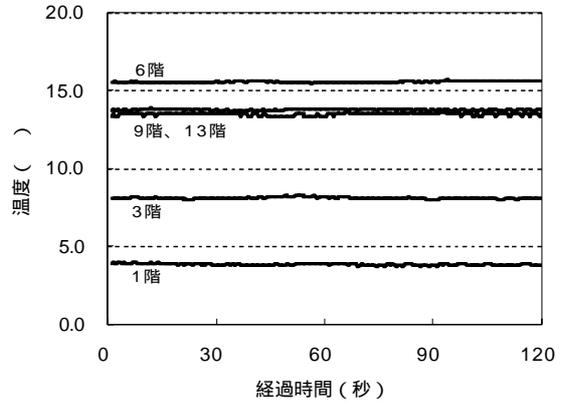


図-5 温度変化(測定No.4)
Change of temperature(No.4)

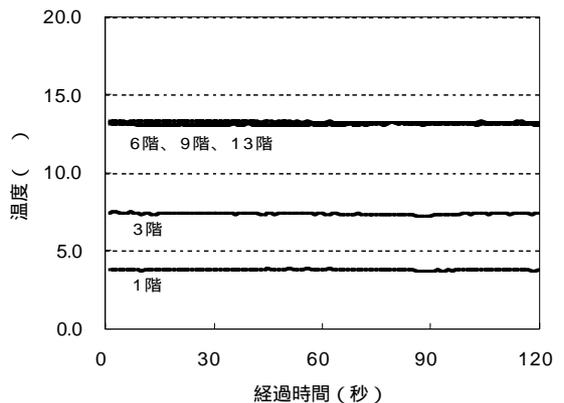


図-6 温度変化(測定No.5)
Change of temperature(No.5)

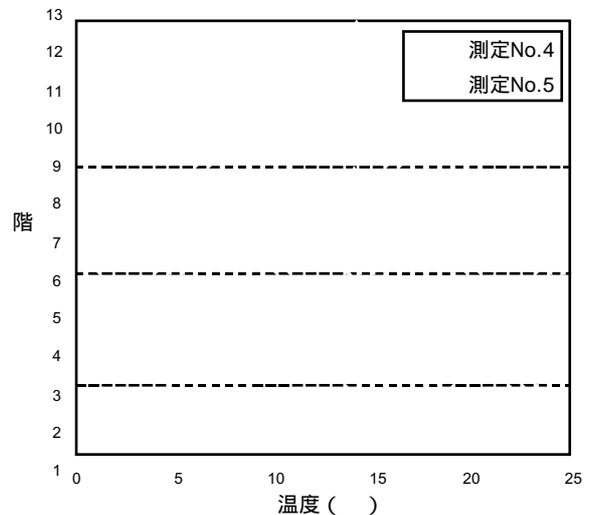


図-7 階段室-2内における平均温度分布
Distribution of temperature in stairwell-2

$$p = (H_{ij} * (\rho_a - \rho_i) * g) \quad (2)$$

ここに、 p : 差圧 (Pa)
 H_{ij} : i 階と j 階との階高差 (m)
 ρ_a : 空気密度 (kg/m³)
 ρ_i : i 階の空気密度 (kg/m³) である。

$$= 2 \rho / (\rho_a * v^2) \quad (3)$$

ここに、 ρ : 抵抗係数、 p : 圧力損失 (Pa)
 ρ_a : 給気空気の密度 (kg/m³)
 v : 断面風速 (m/s) である。

1階と13階の階高差は56(m)あり、外気温を - 1.2()、階段内温度は測定No.5の結果を用いた。ただし温度測定がされていない階の温度は、対象階の上下にある各測定値の差と階高との関係から、リニアに温度が変化するものと設定した。

これにより煙突効果による差圧を計算した結果、その差圧は27.4(Pa)となり、加圧による階段内の圧力損失よりも非常に大きくなった。

以上の結果から、階段室がセンターコアにあるため、システム起動前では外気の影響よりも、建物内の温度に影響を受けやすく、階段室内が蓄熱されていたと考えられる。さらに廊下側の圧力は層間区画があり、特に基準階部分では外気との開口部も非常に少ないため、煙突効果による影響が小さく、図-8に示すような結果になったと推定される。

(5)階段内抵抗 (測定No.6)

階段内の抵抗係数を式(3)から算出した。圧力損失は測定から得た6階 - 12階間の圧力損失2.4(Pa)を用い、給気空気密度も6階 - 13階の均一温度13.0()を用いた。

なお、階段室内の断面風速は、13階扉の平均面風速から6階 - 13階を通過する給気量を算出し、階段室の平面投影面積 (19.7(m²)) により0.13(m/s)と設定した。

これより階段内の抵抗係数を算出すると階段室1階層に対して31.6となった。

5. まとめ

階段加圧防煙システムを適用した建物の性能検証測定を実施した。その結果、以下のことが確認された。

- (1)階段扉の開閉障害は見られなかった。
- (2)火災階と避難階の階段室扉2枚を開放した時、設定値以上の差圧を得た。
- (3)システム起動初期時、階段内温度分布の変動が緩慢であり、初期の温度分布が一定時間維持されていた。
- (4)煙突効果により、扉を開放している階を除いて、全体的に上階へ行くに従い、階段室 - 廊下間の差圧が高くなる傾向が見られた。
- (5)階段室内の抵抗係数は、階段室1階層に対して31.6となった。

なお今回の測定結果は、煙突効果による上昇気流が、大きく影響した。また階段内温度変動が比較的少なく、このような煙突効果による支配的な状況が、一定時間継続することが想定される。

今回は、所定の性能が維持されていることが確認出来たが、高層建物に階段加圧防煙システムを適用する際、建設地域の外気温を充分考慮して、システムを設計する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 松下他：階段室加圧時の気流性状の実測、日本建築学会大会梗概、1985
- 2) 石野他：煙突効果の主要要因と外気侵入特性、日本建築学会計画系論文集、No.483、1996
- 3) 長岡他：階段加圧防煙システムの研究 その2 躯体漏気量・隙間面積と階段室の加圧特性、日本火災学会梗概集、2002
- 4) 森山他：階段加圧防煙システムの性能検証実例 その3 高層建物における実例2、日本建築学会大会梗概、2002

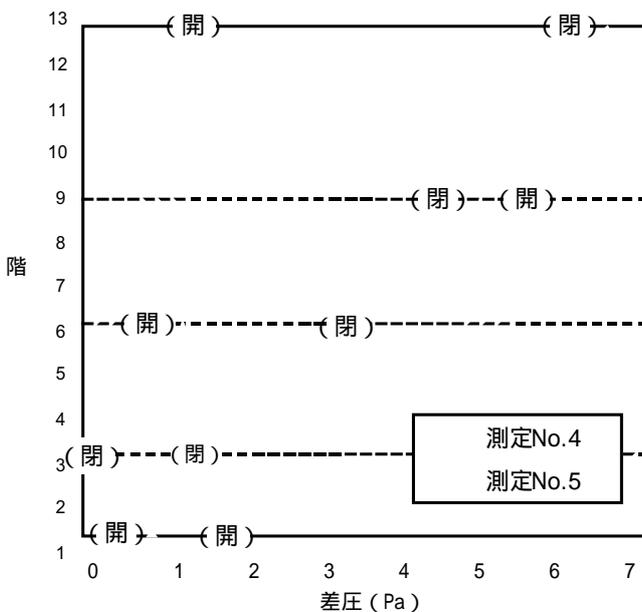


図-8 階段室 - 廊下間の差圧分布
 Distribution of pressure difference
 between stairwell and corridor