

高層建築物の送気排煙効果について (第2報)

今 津 博*
小 島 正 臣**
島 井 四 郎**

1. はじめに

最近多くの人命を失なう高層建築物の火災が世界各地で発生し、濃煙と熱気の充満する建築物の上層階等から避難することの困難さが強く認識されており、消防行動上からも濃煙、熱気に対する対策の究明が急務とされている。

そこで、これらの問題を解明するため、建築物の地上階の開口部を種々に開閉するとともに、階段室に1階から強制送気することにより生ずる煙や熱気流の流動変化の状態を観測し、あわせて送風量等を理論的に解析することによって高層建築物火災における避難および防ぎと対策の資料とすることを目的とした火災実験を実施した。

2. 訓練塔実験の概要と送風量の解析

訓練塔で行なった送気排煙実験については、消防科学研究所第10号(1973年7月)に詳報を掲載したので概要にとどめ、ここでは、主として送風量の解析について述べることにしたい。

(1) 実験概要

ア. 実験日時

昭和47年11月13日～16日午前9時から午後4時まで

イ. 実験場所および建築物の規模

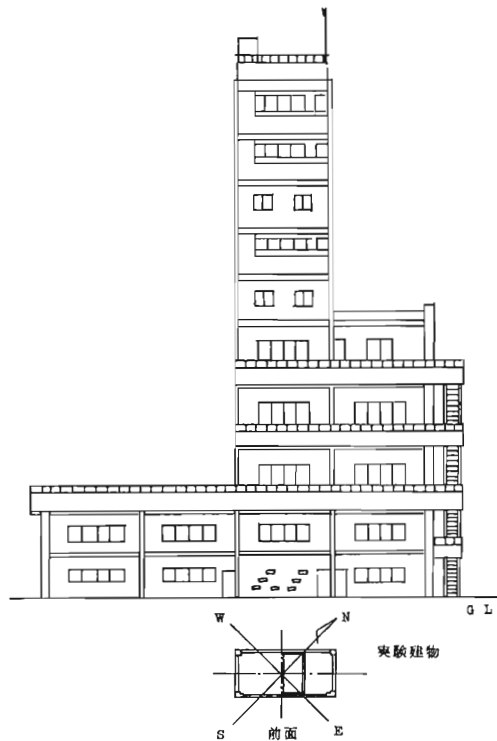
東京都渋谷区幡ヶ谷一丁目13番20号 消防訓練塔
耐火造地下1階地上11階、建築面積288.75²
建築延面積1,454²(第1図参照)

ウ. 実験方法

4階を火災室とし、第1実験では1階扉、4階・11階窓を開閉して自然風時の気体の流動状況及び1階から1,000³/minの風を送った場合の変化の状況を測定した。第2実験では4階火災室において発煙筒(3分用)6本に点火して発煙し、同時にバットに入れたアルコールを燃焼して煙に浮力を与え、第一実験と同様の方法で実施した。アルコールは1.5³のバットに20³を、3.5³のバットには35³を入れ

て燃焼し、火災室の温度を80℃、150℃の通りとした。

第1図



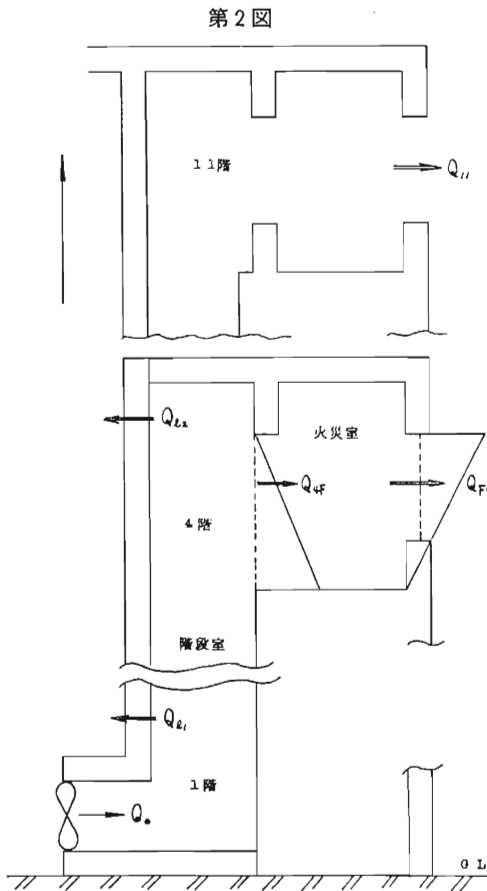
エ. 実験結果(送気した場合)

- (ア) 火災室の窓が閉じているときは、1階階段部から約1,000³/minの送風をしても火災室からの熱気流や煙を完全に押えることはできなかった。
- (イ) 火災室の窓を開いて送風すると、火災室から階段部への熱気流や煙の流出を押えることができるだけでなく、火災室内の燃焼皿付近まで進入できるほどの送気効果があり、下層階への煙の降下は全くなかった。
- (ウ) 送気する位置である1階の扉を開くと、送風量は同じであっても、上層階への送風効果は約²/₃程度に減少してしまう。

* 現在予防部長 ** 第1研究室

(2) 送風量に関する一般解析

火災室から階段部に噴出する煙を送気によって火災室内に押込むために必要な遮煙限界送風量 (Q_0) は次式で示される。



$$Q_0 = Q_{11} + Q_{4F} + Q_{12} + Q_{11} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{4F} = Q_{F0} \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_{4F} = \frac{2}{3} \alpha B_4 H_4^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g\tau_0(\tau_0 - \tau_F)}$$

$$Q_{F0} = \frac{2}{3} \alpha B_W \left\{ Y - (Y - H_W) \right\}^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{2g\tau_F(\tau_0 - \tau_F)}$$

$$Q_{11} = (\Delta P_4 / R)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{11} = \alpha A_1 \sqrt{2g\tau_0 \Delta P_0}$$

$$Q_{12} = \alpha A_2 \sqrt{2g\tau_0 \Delta P_4}$$

この場合、

ア. 送風時の各階段室の温度は外気に等しい。

イ. 火災室窓からの空気流は噴出のみとする。

ウ. 加圧時の1F～4F間および4F～11F間の空気の洩れ (Q_{11} , Q_{12}) をそれぞれ1Fおよび4Fに集中させる。

ものと仮定する。

- B_4 火災室入口(扉)の幅
- H_4 " " 高さ
- B_W 火災室窓の幅 (A, Bの2種類)
- H_W 火災室窓の高さ
- Y 中性帯の高さ
- A_1 1F～4F間の窓, 扉のすき間
- A_2 4F～11F間の " "
- α 流量係数
- τ_0 外気の密度
- τ_F 火災室の空気の密度
- ΔP_4 4F, 外気間の圧力差
- ΔP_0 1F, " "
- R 4F～11F間の階段および11F入口, 11F窓の合成抵抗

次に実験数値の一例を示す。

(火災室の窓はA1.32㎡開いた場合と, B3.3㎡開いた場合の2通り行なった。)

- B_4 0.82m
- H_4 2.0m
- B_W A: 1.2m B: 3.0m
- H_W AおよびBのいずれも1.1m
- R 8.2×10^{-3}
- ΔP_4 80℃: 0.24mmAq 150℃: 0.324mmAq
- ΔP_0 80℃: 1.4mmAq 150℃: 1.7mmAq
- α 0.65
- τ_F 80℃: 100kg/㎡, 150℃: 0.83kg/㎡
- τ_0 20℃: 1.2kg/㎡

この実験建物における限界送風量は次表のとおりである。

温度	窓	Q_{4F}	Q_{11}	Q_{12}	Q_{11}	送風量	送風圧
		㎡/min	㎡/min	㎡/min	㎡/min	㎡/min	Aq
80℃	A	130	77	52	33	292	1.3
	B	130	45	32	24	231 (340)	0.7 (1.4)
150℃	A	170	110	75	46	401 (370)	2.6 (1.7)
	B	170	67	45	33	315	1.3
500℃	A	250	200	140	79	669	7.7
	B	250	100	71	50	471	3.0
800℃	A	270	250	170	97	787	11.6
	B	270	120	83	56	529	3.9

温度80℃, 窓Bおよび温度150℃, 窓Aの場合の()書きの数字は実験時における実送風量を示している。即ち, 温度80℃, 窓Bの場合, 必要送風量231㎡/minに対し, 340㎡/minを送風したので完全に遮煙できた。

また、温度 150°C、窓Aの場合は、必要送風量 401 m³/min に対し、実際に送風した量は 370 m³/min であるため、火災室から階段への若干の漏煙が認められた。

3. 旧米軍王子キャンプ実験の概要と送風量の解析

取りこわす予定の旧米軍王子キャンプ内建物を利用して各種の火災実験を実施したが、その第6実験として送気排煙効果の観測および測定を実施した。

(1) 実験概要

ア. 実験日時 昭和48年11月6日午後2時から2時30分まで

イ. 実験場所および建築物の規模

東京都北区十条台二丁目 旧米軍王子キャンプ内
耐火造地・1階、地上5階、ペントハウス付
建築面積926.82m²
地下1階～地上3階 各926.82m²
4階 413.82m²、5階 157.32m²
ペントハウス 33.6m²、延面積4312.02m²

ウ. 実験方法

実験建物の2階の一室(25m²)を火災室とし、火災階(2階)以外は階段室から廊下に通じる扉を閉鎖して階段区画を形成し、送風量を点火30秒前に670m³/minに安定させてから可燃物(24kg/m²、総量600kg)に点火した。火災室窓の開口面積は1.5m²である。また、実験途中において送風量を替えたり4階の扉を開放する等、条件を変化させて視認観測と計器測定を行った。

エ. 実験状況

点火3分後に送風量を670m³/minから800m³/minに増加したが、火災室廊下から階段室への煙の流入は全くなく、完全に煙をそ止できた。

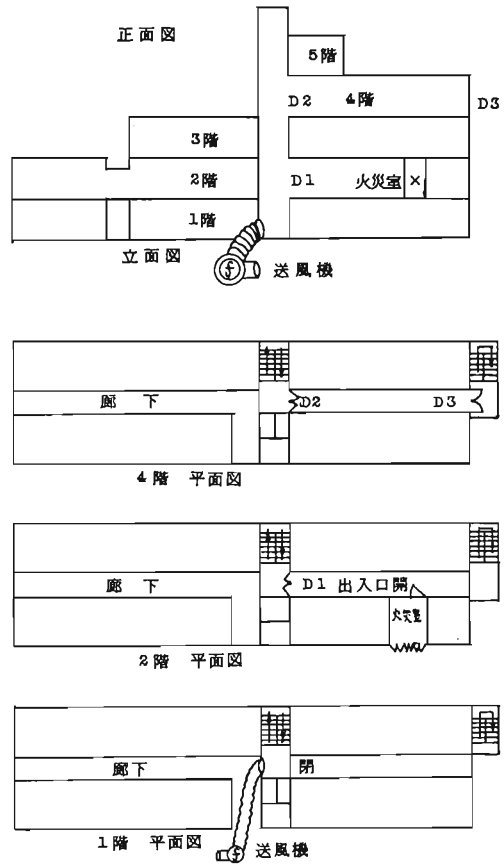
実験途中において4階の扉を開放したが、送風量を950m³/minに増加することによって煙を制ぎょできた。また、4階扉を閉鎖した状態で送風量を400m³/min以下にすると煙は建物内全体に流動拡散をはじめた。

(2) 送風量に関する解析

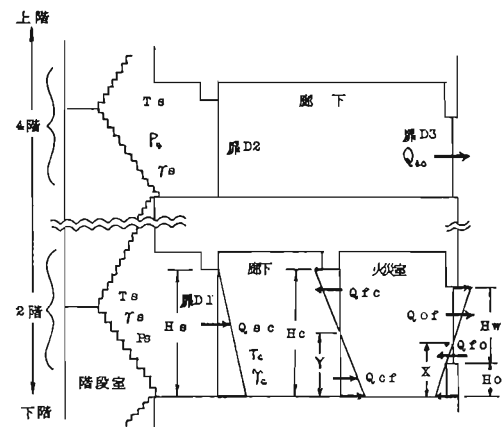
火災室から階段室に噴出する煙を送気によって火災室内に押し込むために必要な遮煙限界送風量(Q₀)を理論的に解析すると次のとおりである。

実験建物の平面図等は第3図に示すとおりであるが、この場合、階段室の扉D₁(2階)で遮煙するためには、扉D₁における圧力分布が第4図のようになる必要がある。また、この実験における扉の開閉順序は前項エ.に述べたとおりであるが、解析を容易にする

第3図



第4図



ため、最初に2階火災室窓および4階の外気に通じる扉を開放し(開口条件1)、その後4階扉を閉鎖(開口条件2)したもとして実験順序とは逆に解析した。したがって、開口条件は第1表に示すとおりであり、実験に基づく遮煙効果は、前項および第2表に示すとおりである。

第1表

開口条件	2F扉 (D ₁)	4F扉(D ₂ D ₄)
1	開	開
2	開	閉

第2表

送風量	遮煙効果	
	条件 1	条件 2
950 m ³ /min	○ (可)	○ (可)
800 m ³ /min	× (不可)	○ (可)
400 m ³ /min	× (不可)	△ (ほぼ可)

これらの条件から2階の各開口部を流入する空気量が第4図のとおりとすれば、これらの間には次式が成立する。

$$Q_{CF} = Q_{SC} + Q_{FC} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{F0} = Q_{CF} + Q_{0F} - Q_{FC} \dots\dots\dots(2)$$

ここで

$$Q_{CF} = \frac{2}{3} \alpha Y^{\frac{3}{2}} B_c \sqrt{2gT_c(\tau_c - \tau_F)}$$

$$Q_{SC} = \frac{2}{3} \alpha H_s^{\frac{3}{2}} B_s \sqrt{2gT_s(\tau_s - \tau_c)}$$

$$Q_{FC} = \frac{2}{3} \alpha (H_c - Y)^{\frac{3}{2}} B_c \sqrt{2gT_F(\tau_c - \tau_F)}$$

$$Q_{F0} = \frac{2}{3} \alpha (H_w + H_0 - X)^{\frac{3}{2}} B_w \sqrt{2gT_F(\tau_0 - \tau_F)}$$

$$Q_{0F} = \frac{2}{3} \alpha (X - H_0)^{\frac{3}{2}} B_w \sqrt{2gT_0(\tau_0 - \tau_F)}$$

α	0.65採用	流量係数
H_s	1.8m	階段室と廊下の間の扉の高さ
H_c	1.8m	廊下と火災室 "
H_w	0.43m	火災室窓の高さ
H_0	0.7m	火災室窓の腰の高さ
B_s	0.9m	階段室と廊下の間の扉の幅
B_c	0.9m	廊下と火災室 "
B_w	3.48m	火災室窓の幅
T_s	16°C	階段室の平均温度
T_c	120°C	廊下の " "
T_F	700°C	火災室の " "
τ_s	1.2kg/m ³	階段室の空気密度
τ_c	0.9 "	廊下の " "
τ_F	0.36 "	火災室の " "
τ_0	1.23 "	外気の " "

(1)式および(2)式が成立するための中性帯の位置は、計算から、 $X=0.5m$ 、 $Y=1.63m$ となり、 Q_{SC} は2.46 kg/sec である。

$$\begin{aligned} &2階階段室の床面の圧力は、 \\ P_s &= (\tau_s - \tau_c)H_s + (\tau_c - \tau_F)Y - (\tau_0 - \tau_F)X + P_0 \\ &= 0.54 + 0.88 - 0.43 + P_0 \\ &= 0.99 + P_0 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

また、2階床面から4階扉までの高さは13m (これ

を H_{24} とする。) があるので、4階階段室の圧力 P_4 は、

$$P_4 = P_s - \tau_s H_{24}$$

であるから、階段室と外気の圧力差 P_{40} は、

$$P_{40} = P_4 - (P_0 - \tau_0 H_{24}) = 1.38 \text{ kg/m}^2$$

である。

今回の実験建物は階段室の容積が大きいため、階段の流路抵抗を無視できるので、4階扉からの空気流出量 Q_{40} は、 D_2 扉の開口面積 $4.6m^2(A_{41})$ 、 D_3 扉の開口面積 $1.8m^2(A_{42})$ 、 $\alpha A_4 = 1 / \sqrt{(\frac{1}{\alpha A_{41}})^2 + (\frac{1}{\alpha A_{42}})^2}$ から、

$$Q_{40} = \alpha A_4 \sqrt{2g\tau_s P_{40}} = 8.78 \text{ kg/sec}$$

2階~5階間の階段室の窓および扉のすき間の総開口面積(A_{25})は、 $1.75m^2$ あり、この開口部が2階~5階の間にあると仮定すれば、洩れる空気量 Q_{25} は、

$$Q_{25} = \alpha A_{25} \sqrt{2g\tau_s (P_{S0} + P_{S0})/2} = 6.02 \text{ kg/sec}$$

となる。ここで P_{S0} は、2階々段室と外気間の圧力差($P_{S0} = P_s - P_0$)である。

1階階段室の温度は、実験結果からほぼ外気に等しいため、1階階段室と外気の圧力差(P_{10})と P_{S0} もほぼ等しい。また、1階の開口面積(A_{12})は、 $0.5m^2$ であるから、1階階段室の扉や窓のすき間から洩れる空気量 Q_{12} は、

$$Q_{12} = \alpha A_{12} \sqrt{2g\tau_0 P_{S0}} = 1.58 \text{ kg/sec}$$

となる。

故に、遮熱に必要な空気供給量 Q_0 は、

$$\begin{aligned} Q_0 &= Q_{12} + Q_{SC} + Q_{25} + Q_{40} \\ &= 1.58 + 2.46 + 6.02 + 8.78 \\ &= 18.8 \text{ kg/sec (又は} 940 \text{ m}^3/\text{min)} \end{aligned}$$

となり、第2表に示す観測結果とも一致する。

4. む す び

2つの実験を通じて言えることは、階段室に一定量以上の送気をすることにより火災室から廊下又は階段室へ流出する熱気流や煙を押えることができる。この場合、火災室の窓を開放することが絶対で、送風量に余力があれば次に最上階の窓を開くことにより、すでに階段室にたまっている煙を有効に排除することができる。しかし、その反面送風によって火災室の燃焼が促進されるので、事前に十分な警防体制を布き、迅速適確な消火活動を整えることが必要である。なお、送風効果を高めるには1階扉を閉しておく方がよい。

したがって、高層建築物の窓を容易に開放する方法を考えるとともに排煙効果を低下させないためにも、送風口の周囲を密閉する手段を講じ、リークを防止しなければならない。

また、使用する送風機は圧力タイプより風力タイプの方がよい。