給気加圧時における建物内静圧測定実験結果について

（S51. 6.23 松坂屋銀座店）

小　島　正　臣*
村　上　利　章**

1. 実験に至る経過

これまで加圧排煙を目的とした火災実験を数回実施したが，実験建物の構造や形態がそれぞれ違うため，しゃ煙限界送風量の算出にあたっても，建物ごとの条件を与えて一棟ごとに算出する必要があった。これは窓，扉等，開口部のすき間面積や建物内の静圧等が一定条件にできないなど，主として建物形態の違いによるもので，建物内各階の静圧が一定になるという条件が確認できれば，あとは，窓や扉等の開口部のすき間を通して屋外に漏気する空気流量を把握することによって比較的簡単にしゃ煙限界送風量を算出することが可能になる。消防隊が火災現場へ到着し，直ちに排煙活動を行う場合，その建物にどの位送風したらしゃ煙できるかを短時間に判断するためには，算出に必要な気象，建物構造等の平均的な条件を予め計算しておいてやり，指揮者は，窓や扉等の開口部のすき間面積を推定すれば，その建物のしゃ煙（又は排煙）限界送風量が自ら判るようにできるわけで，送水基準板ならぬ送風基準板の作成もあながち夢ではない。このような発想は，昭和50年10月に行った富国生命ビルの火災実験で全館を送気加圧した際，建物内の静圧分布が定常状態でほぼ均一になり，これならば，しゃ煙限界送風量を計算する上でコンピューターの厄介にならないでも，あとはすき間開口の条件挿入だけで簡便な計算法に乗せることができると考えたからである。しかし，富国生命ビルにおける実験で各階の静圧分布が一定になったからといっても，他の建物も同様になると考えるのは早計であり，開口部のすき間面積にしても，送気加圧したときの静圧値から計算した場合と，それぞれを実測した場合とでは相異するであろうし，これら相互の関係を他の建物でも確認してみる必要があり，松坂屋銀座店の協力を得て，静圧測定を行ったものである。

2. 実験の目的

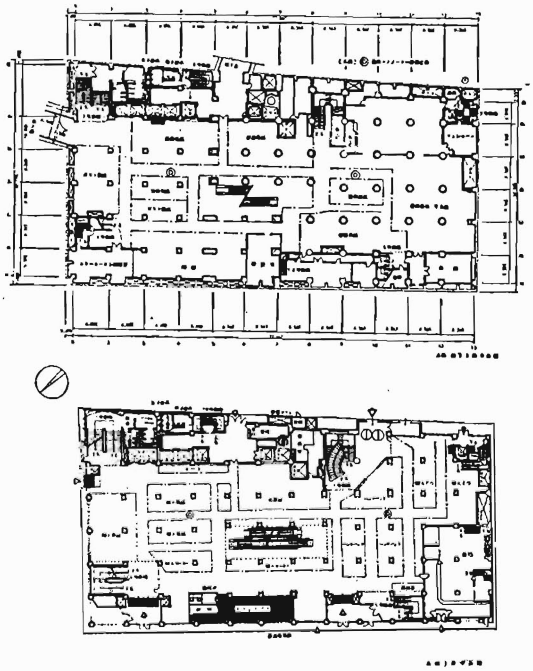
(1) 火災発生時に，建物に付属した空調設備を利用して全館を送気加圧した場合，階段等の避難路の煙制ぎよが可能であるかどうかについて調査する必要があった。

(2) 送気加圧した場合の建物内の静圧値及び理論上のすき間面積と実測によるすき間面積の関係等，加圧排煙を行う上で必要な各種の要因を調査し，しゃ煙限界送風量の理論計算を，より実用価値の高いものとするためであった。

3. 日時及び場所

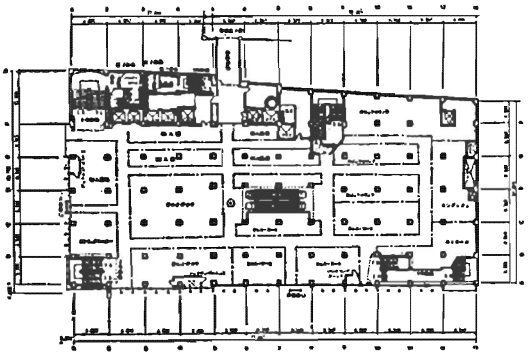
昭和51年6月23日(水)　10：10～17：00

図1 ①



* 第一研究室　** 小岩消防署

図 1 ②



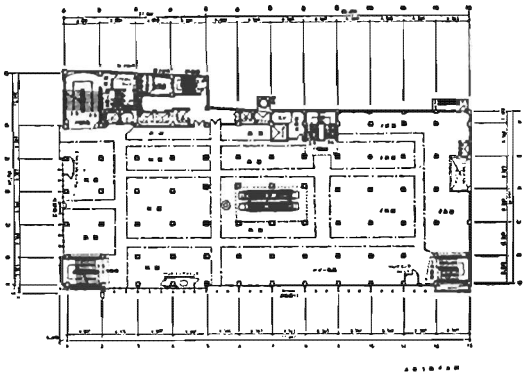
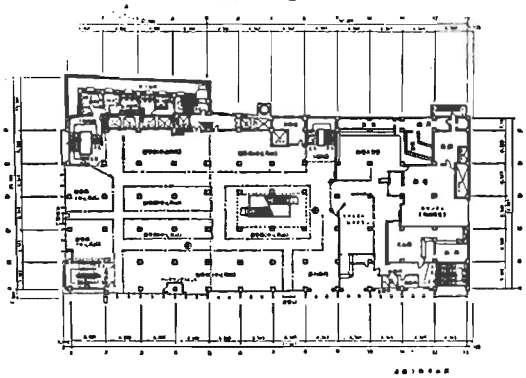
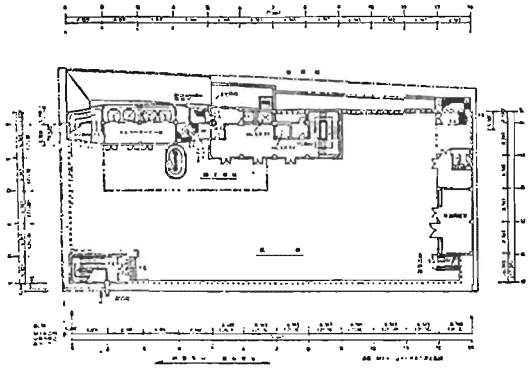


図 1 ③





松坂屋銀座店，中央区銀座六丁目10番1号

4. 実 験 概 要

(1) 実験建物構造・規模

鉄骨・鉄筋コンクリート造，地下3階地上7階，塔屋3階，建築面積2,957㎡，延面積31,135㎡，軒高31m，竣工昭和27年1月，平面図（図1参照）

② 実験条件等

ア 実験1

◦空調機 給排気運転

◦開口条件 外気に面する開口部は1階出入口及び屋上出入口を開放し，他は閉鎖する。各階の階段出入口およびエスカレーターシャフトは開放する。

イ 実験2

◦空調機 給気運転のみ

◦開口条件 実験1に同じ

ウ 実験3

◦空調機 給気運転のみ

◦開口条件 外気に面する開口部は1階出入口を½開放し，他は閉鎖する。各階の階段出入口及びエスカレータシャフトは開放する。

エ 実験4

◦空調機 給気運転のみ

◦開口条件 外気に面する開口部はすべて閉鎖する。各階の階段出入口およびエスカレータシャフトは開放する。地下2階事務棟の連絡通路は開放。

オ 実験5

◦空調機 給気運転のみ

◦開口条件 実験4に同じ，ただし地下2階事務棟との連絡通路閉鎖。

(3) 計，観測その他

ア 測定項目

各階（B2，F1，F3，F5，F7）床スラブ上の静圧測定（外気との差圧），開口部の風速測定，空調機の給気量測定，室温の測定，気象観測等。

イ 計測器

傾斜マノメータ8台，風速計7台，アルコール温度計2，ビラム式風向風速計1，ストップウオッチ6

ウ その他

各実験とも主系統のみ空調機を運転し，補助ファンの運転は停止した。

5. 実 験 結 果

(1) 静圧測定結果

測定結果は図2に建物断面図の形式で，各階ごとに明記したが，実験建物が大規模であるうえに，空調機の各階の給気量は，その階の用途の性質上から異なっ

図2　①静圧測定結果

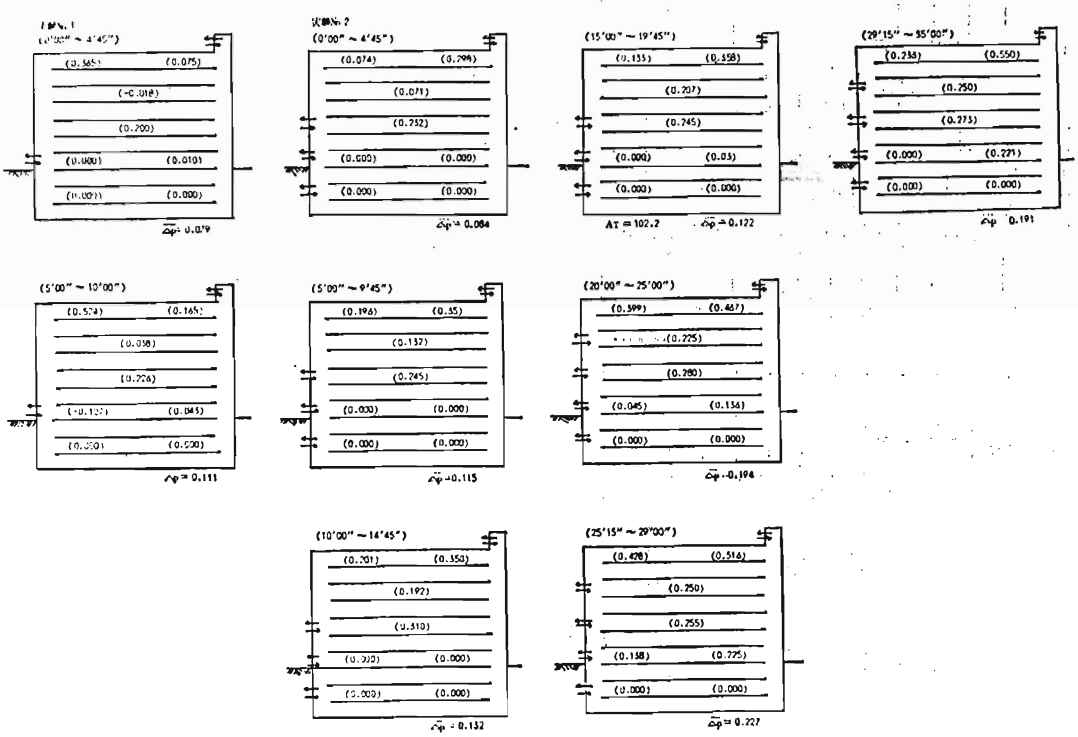


図2　②静圧測定結果

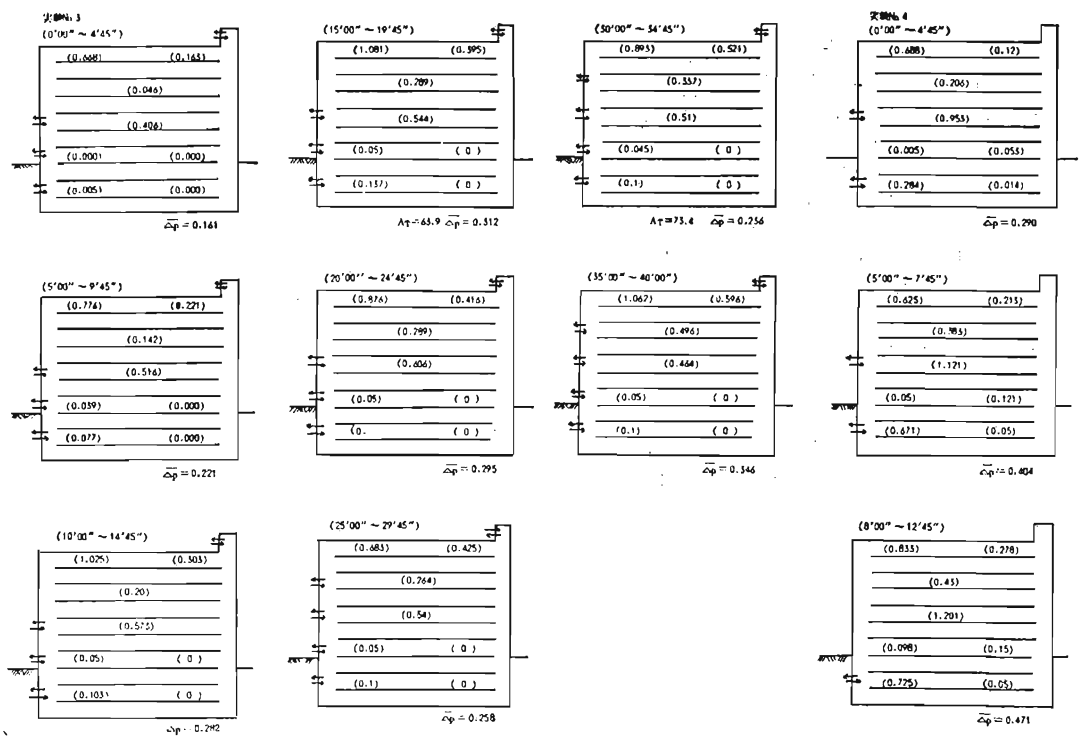
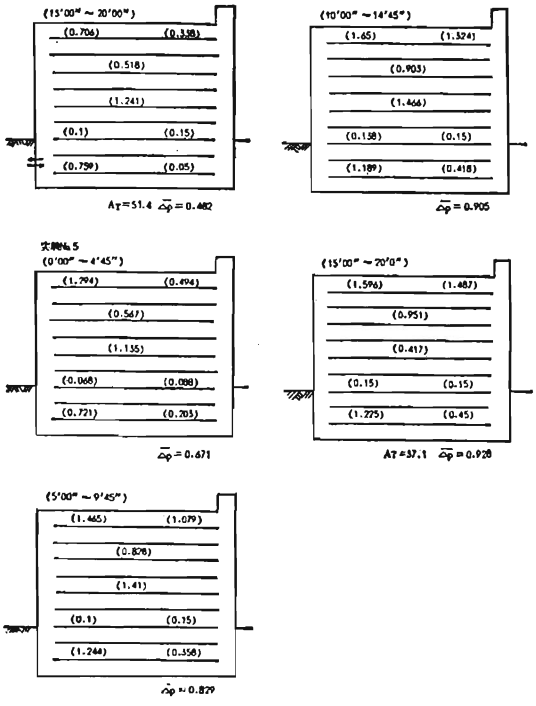


図 2 ③静圧測定結果



ており，このようなことから建物全域が一定の静圧値を示すには至らなかった。

ここでは実験開始（空調運転開始）後，15分～20分経過時の安定した静圧値を採用し，建物全体の平均静圧値を算出した結果を示す。

実験 1　$\Delta P=0.111$
〃 2　$\Delta\bar{P}=0.122$
〃 3　$\Delta\bar{P}=0.312$
〃 4　$\Delta\bar{P}=0.482$
〃 5　$\Delta\bar{P}=0.928$

(2) 空調機ファン給気量測定結果

この実験建物の空調設備は16系統（図3参照）によって構成されており，給気量の測定は，これら各系統のO・H（外気取り入れダクト）内の流速を測定することにより給気量を算出する方法をとった。その結果は表1に示すとおりであり，総給気量は7,023.8㎥/min であり，定格風量 9,770㎥/min と比較し，28%の減であった。

(3) 開口部流量測定結果

実験条件に従って開放された各出入口の流出入風速を測定した。その結果，流出空気量は流入空気量に比して大であり，その質量収支の面では，流出量の方

表 1 空調量調査結果　　単位（㎥/min）

系統別	(1) 定格風量	(2) 運転率	(1) × (2)	計	実測値	備考
1 系統	2,150	13／14	1,996.4	3,663.1	1,851.4	
4 〃	600	27／43	376.7			
B 3 F（南）	930	1／1	930.0			
〃 （北）	360	1／1	360.0			
3 系統	483	35／35	483.0	678.0	917.0	
7 階食堂	225	13／15	195.0			
5 系統	430	26／28	399.3	399.3	304.0	
6 〃	564	50／55	512.6	2,125.3	885.0	
7 〃	568	104／105	562.6			
10 〃	1,050	7／7	1,050.0			
8 系統	315	42／42	315.0	315.0	1,136.0	
9 系統	550	50／62	443.5	443.5	1,093.0	
本館 B 2 F	250	4／5	200.0	200.0	73.0	
3 F, A・H	150	70／75	140.0	140.0	58.4	
5 〃	575	45／59	438.6	438.6	353.0	
6 〃	570	47／57	470.0	470.0	353.0	
計	9,770	90.8%	8,872.3	8,872.3	7,023.0	

が多く吹出しの結果となった。

(4) 窓，扉等，実験条件により開放された開口部面積

ア　実験 1

（1階出入口全開＋屋上出入口全開）

① 2.15h ×1.84W× 3 ケ所＝11.868㎡
② 2.15 ×2.15 ＝ 4.623
③ 2.15 ×1.83 ＝ 3.935
④ 2.10 ×0.85 ＝ 1.785
⑤ 2.10 ×0.85 ＝ 1.785

小計＝23.996㎡

（1階出入口部分）

① 2.08 ×1.98 ＝ 4,118
② 2.27 ×1.42 ＝ 3.223
③ 2.10 ×1.70 ＝ 3.570
④ 2.10 ×1.70 ＝ 3.570
⑤ 2.10 ×1.70 ＝ 3.570
⑥ 2.10 ×1.56 ＝ 3.276

小計＝21.327㎡

（屋上出入口部分）

合計＝45.323㎡

イ　実験 2

（1階出入口，全開）＋（屋上出入口，全開）＋（地下連絡通路開口部）＋（3階便所窓）＝開口部面積

23.996＋21.327＋8.94＋0.683＝54.9㎡

ウ　実験 3

（1階出入口，½開）＋（屋上出入口，½開）＋（地下連絡通路開口部）＋（3 F 便所窓）＝開口部面積

23.996/2＋21.327/2＋8.94＋0.683＝32.3㎡

エ　実験 4

（地下連絡通路開口部）　8.94㎡

6. 実験結果に基づく解析

(1) すきま開口面積の算出

（理論式）

$$Q=\alpha A_T\sqrt{2g\gamma_c|\Delta p|} \text{ から } A_T=\frac{Q}{\sqrt{2g\gamma_c|\Delta p|}}$$

但し　Q：給気量（kg/sec）

γ_c：給気する空気の比重量（kg/㎥）

Δp：建物内外の差圧（kg/㎡）

A_T：すきま開口面積（㎡）

α：流量係数 0.8

g：重力加速度（9.8m/sec²）

実験結果値の代入により算出すると表 2 のような結果となる。

このすきま開口面積は実験条件により開放した各開口部面積と閉鎖した場合のサッシ等のすき間面積を含むものであり，建物の外気に面する開口部をすべて閉鎖した実験 5 についてのみが各開口部のすきまを合成した真の面積である。したがって本実験を実施した松坂屋・百貨店の建物は建物の外気に面する開口部をす

図 3 空調系統図

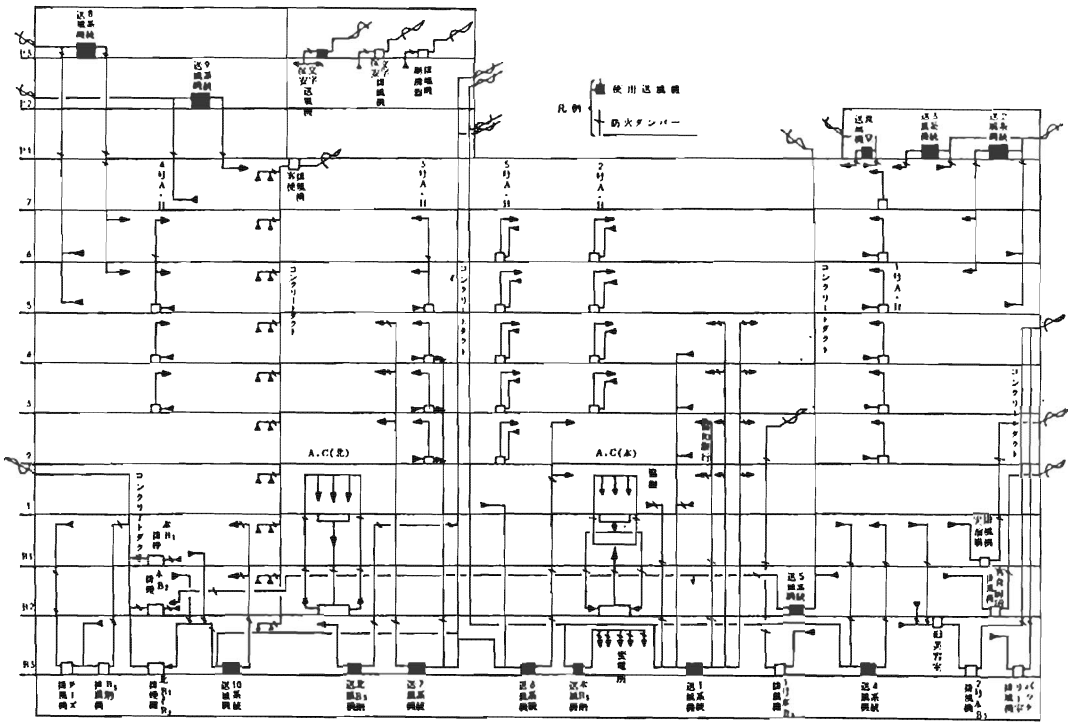
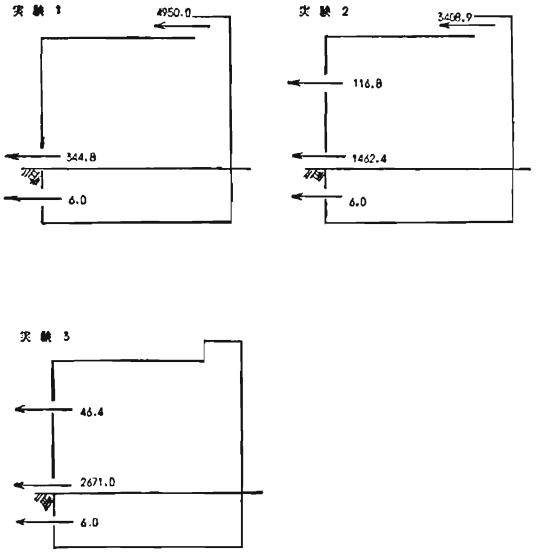


図 4　各出入口風量調査結果

単位（㎥／分）



べて閉鎖し，密閉の状態にしても37.1㎡のすきま，即ち建物はＲＣ 7/3 であることから階平均 3.7㎡ のすきまを有する結果となった。

(2)　流量係数の補正

表 2　すきま開口面積（理論値）

	平均静圧値 ($\Delta\bar{P}$) kg/㎡	すきま開口面積 (A_T) ㎡
実験 2	0.122	102.2
実験 3	0.312	63.9
実験 4	0.482	51.4
実験 5	0.928	37.1

前(1)のすきま開口面積の算出は，通常考えられる流量係数 0.8 を採用したものであり，実験 5 のすきま面積を基準とし，これに実験条件により開放された開口部面積を加え，これを実測によるすきま開口面積として前(1)の理論値と実験 2 ～実験 4 について比較すると表 3 のようになる。

表 3　すきも開口面積

	理論値	実測値
実験 2	102.2㎡	54.9＋37.1＝92㎡
実験 3	63.9	32.3＋37.1＝69.4㎡
実験 4	51.4	8.9＋37.1＝46㎡

この理論値と実験条件により開放した各開口部の面積の差を実際のすきま開口の面積（理論値を基にしたもので実際は少し異るかもしれない）として理論値（37.1）を補正し，流量係数を求めると0.73になる。

したがって建物内静圧とすきま開口面積との関係は流量係数，0.73を採用すると松坂屋の建物に適した値となるので，次解析はこの値を採用することにする。

ここで前(1)と同様な手法により流量係数0.73を用いすきま開口面積を算出すると表 4 のようになる。

表 4　流量係数0.73を採用した場合のすきま開口面積

	平均静圧値 $\Delta\bar{P}$ (kg/㎡)	すきま開口面積 A_T (㎡)
実験 2	0.122	111.9
実験 3	0.312	70.0
実験 4	0.482	56.3
実験 5	0.928	40.7

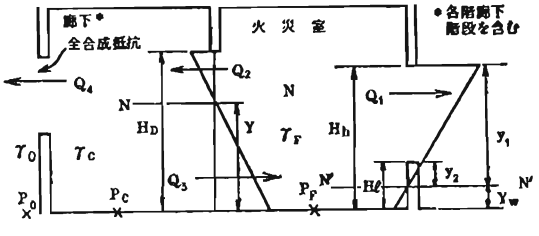
この結果から本実験建物（松坂屋）のすきま開口面積は40.7㎡，階平均4.07㎡ということになる。

(2)　略算法によるしゃ煙給気量の解析

（しゃ煙必要給気量の算定式）

建物内各部の圧力分布は火災室以外はほぼ一様であると仮定して，火災室以外の全空間を 1 つに合成することができ，図 5 のような系を考えると次のような計算モデルが成り立つ。

図 5



γ：空気の比重量（kg/㎥）

P：火災階床レベルでの静止外気圧を基準とした静圧（kg/㎡）

Y：扉開口における中性帯の床からの高さ（m）

Y_W：窓開口における中性帯の床からの高さ(m)

y_1：窓開口における中性帯の開口の上端から中性帯までの高さ（m）

y_2：窓開口における中性帯の開口の下端から中性帯までの高さ（m）

H_D：扉開口の床から上端までの高さ（m）

H_h：窓開口の上端から床までの高さ（m）

H_l：窓開口の下端から床までの高さ（m）

B：開口の幅（m）　A_D：扉開口面積（㎡）

Q_i：流量（kg/s）　A_W：窓開口面積

火災室窓開口の中央の高さにおける圧力差 ΔP をとり，必要給気量を求める算定式を導くと

$$Q_{FO}=\alpha Aw\sqrt{2g\gamma_F|\triangle P|}=Q_{CF}=\frac{2}{3}\alpha A_D$$

$$\sqrt{2g\gamma c\,|\triangle\gamma_{CF}|\cdot H_D}\cdots\cdots(1)$$

$$Aw\sqrt{\gamma_F|\triangle P|}=\frac{2}{3}A_D\sqrt{\gamma c\,|\triangle\gamma_{CF}|H_D}$$

$$Aw^2\gamma_F|\triangle P|=\frac{4}{9}A_D{}^2\gamma c\triangle\gamma_{CF}\cdot H_D$$

$$|\triangle P|=\frac{4}{9}\left(\frac{A_D}{Aw}\right)^2\left(\frac{\gamma c}{\gamma_F}\right)|\triangle\gamma_{CF}|\cdot H_D\cdots\cdots(2)$$

この ΔP を使用して各室の圧力を求めると次のようになる。

火災室圧力：P_F

$$P_F=P_O+\triangle P-\frac{|\triangle\gamma_{OF}|(H_C+H_H)}{2}$$

$$=P_O+\left[\frac{4}{9}\left(\frac{A_D}{Aw}\right)^2\left(\frac{\gamma c}{\gamma_F}\right)+1\right]\cdot|\triangle\gamma_{CF}|\cdot H_D$$

$$-\frac{(H_L+H_H)\,|\triangle\gamma_{CF}|}{2}\cdots\cdots(3)$$

廊下圧力：P_C

ここでは建物内一般部分の圧力は P_C と等しいと仮定している。

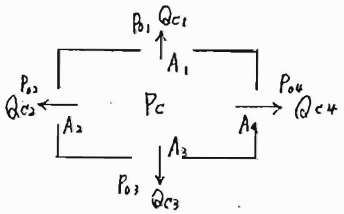
$$P_C=P_F+|\triangle\gamma_{CF}|\cdot H_D$$

$$=P_O+\left[\frac{4}{9}\left(\frac{A_D}{Aw}\right)^2\left(\frac{\gamma c}{\gamma_F}\right)+1\right]\cdot|\triangle\gamma_{CF}|\cdot H_D$$

$$-\frac{(H_L+H_H)\cdot|\triangle\gamma_{OF}|}{2}\cdots\cdots(4)$$

次に外への漏気量については，方向を図6のように考えると

図 6



$$Q_{coi}=\alpha Ai\sqrt{2g\gamma c\,|Pc-Poi|}\cdots\cdots(5)$$

$$C_{co}=\Sigma\,Q_{coi}=\alpha\sqrt{2g\gamma c\cdot\Sigma}\left(Ai\sqrt{Pc-Poi}\right)\cdots\cdots(6)$$

ただし風圧 $P_{oi}=Ci\frac{\gamma v^2}{2g}$

$P_{oi}=const=P_o'$ とすると

$$Q_{co}=\alpha A_T\sqrt{2g\gamma c\,|Pc-P_o'|}$$

$$=\alpha A_T\sqrt{2g\gamma c}\left\{\left[\frac{4}{9}\left(\frac{A_D}{Aw}\right)^2\left(\frac{\gamma c}{\gamma_F}\right)+1\right]\cdot|\triangle\gamma_{CF}|\right.$$

$$\left.H_D-\frac{(H_L+H_H)\,|\triangle\gamma_{OF}|}{2}+P_O-P_O'\right\}^{1/2}\cdots\cdots(7)$$

ただし $A_T=\Sigma\,Ai$（すきま開口面積）

ゆえに必要給気量 Q_{SUP} は

$$Q_{SUP}=Q_{CF}+Q_{CO}\cdots\cdots(8)$$

で与えられるから(1)，(7)，(8)式より

$$Q_{sup}=\alpha A_T\sqrt{2g\gamma c\,|\triangle\gamma_{CF}|\cdot H_D}\left\{\frac{2}{3}\frac{A_D}{A_T}+\left[\frac{4}{9}\left(\frac{A_D}{Aw}\right)^2\right.\right.$$

$$\left.\left.\left(\frac{\gamma c}{\gamma_F}\right)-\frac{H_L+H_H}{2H_D}+\frac{P_O-P_O'}{|\triangle\gamma_{CF}|\cdot H_D}\right]^{1/2}\right\}\cdots(9)$$

(9)式が火災室しゃ煙に必要な給気量の算定式ということになる。

本実験において建物に付属する空調設備を利用し，建物全域を給気加圧した場合における煙制ぎょ可能性をこのしゃ煙必要給気量算定式(9)式を用い確認すると，次のようになる。

実験結果により与えられる数値

$A_D=45.8$m，$H_L=1$ m，$H_H=3$ m，$H_D=2.15$m

$A_W=6$ ㎡，$\gamma_c=1.165$（実験 2～4）

$\gamma_c=1.171$（実験 5）

$A_T=111.9$㎡（実験 2），$A_T=70$㎡（実験 3）

$A_T=56.3$（実験 4），$A_T=40.7$㎡（実験 5）

$\gamma_F=0.457$

この数値を説明すると火災室温度は過去の火災実験データから，その平均を500°Cに仮定し，$\gamma_F=0.457$ を採用した。また火災階を5階と仮定したことから階段室，4箇所の出入口の総和面積を $A_D=45.8$㎡ としそしてすきま開口面積の階平均4㎡と消防隊進入口2箇所の面積，2㎡の和をもって火災階の外気に面する開口部 $A_W=6$ ㎡を採用した。

解析した結果，火災階に煙をとじ込め，上下階及び階段室に煙を流入させないためのしゃ煙必要給気量は表5のようになる。

表 5　火災階しゃ煙必要給気量

	しゃ煙必要給気量
実験 2	3,773kg/s (194,317㎥/min)
実験 3	2,325 〃 (119,742 〃)
実験 4	1,850 〃 (95,278 〃)
実験 5	1,317 〃 (67,480 〃)

7. 結　　論

差圧測定データの不足及び建物のすきま開口面積の実測（実験条件により開放した以外の部分の閉鎖した開口部のすきま面積）等を行なわなかったため解析が不十分であるが概ね次のようなことが言えると思われるので記すことにする。

(1) 実験建物のすきま面積は全体で40.7㎡あったことになる。そして建物が7/3階建であることから階平均すきま面積は4㎡程度と推察される。（実験5解析結果より）

(2) 建物内全域に給気加圧した場合，富国生命ビル（S50.10実施）のような中規模で，しかも比較的すきま面積（全体で4㎡）の少ない建物においては各部の圧力がほぼ一様になると思われるが，本実験建物のように大規模な，かつ前(1)に記すとおり相当なすきまがあった場合，圧力は極めて不安定であると言える。

(3) 実験建物の5階を火災階と想定し，そして火災室平均温度を500°Cに仮定して，それぞれの実験条件により給気加圧した場合，火災階に煙をとじ込め，上下階及び階段室に煙を流入させないためには次に示すような給気量が必要である。

実　験	2	194,317㎥/min
〃	3	119,742　〃
〃	4	95,278　〃
〃	5	67,480　〃

この理論計算の結果からして本実験建物のような大規模な店舗（デパート等）では全館給気による加圧排煙は，その効果が期待出来ないことは事実である。

8. 結　　言

本実験は，はじめに述べたような主旨で，実験が計画され，そして実施したわけであるが，余りにも大規模な建物を取り上げたため，静圧値も一定にならず，実験のねらいとするすきま開口面積の把握も期待しえる結果は得られなかったが，その結果からして本実験建物のような大規模な店舗は余りにも大きなすきま面積，言いかたを替えればザルのような状態で，これまで検討してきた全館加圧による煙制ぎょが期待できないということを知ったことは一応の成果と言うことができよう。しかし加圧排煙がすべて効果がないということではなく階段室加圧等による煙制ぎょは今後も検討してしかるべきと思う。

今後は中規模な建物を選び，すきま面積の実態調査を行い，すきま面積算出，理論式の流量係数の定式化等を急ぎ，加圧排煙運用上のマニュアル作成に傾注し実験を継続実施する必要がある。

9. 参 考 文 献

(1) 建築学大系21，建築防火論　彰国社

(2) 換気設計　日本建築学会設計々画パンフレット（彰国社）

(3) 富国生命ビル火災実験の解析（東京消防庁火災予防審議会レポート）若松孝旺　建築研究所