高層集合住宅における加圧防煙システムの性能確認実験

PERFORMANCE EXAMINATION TEST OF PRESSURIZED SMOKE CONTROL SYSTEM FOR A HIGH-RISE APARTMENT BUILDING

掛川秀史 —*1 大田道広 —*2
奥田昌治 —*3 高橋満博 —*4
広田正之 —*5

Shuji KAKEGAWA —*1 Michihiro OTA —*2
Masaharu OKUDA —*3 Mitsuhiro TAKAHASHI —*4
Masayuki HIROTA —*5

キーワード:

加圧防煙システム, 高層集合住宅, 性能確認実験, 有効開口面積

Keywords:

Pressurized smoke control system, High-rise apartment building, Performance examination test, Effective flow area

A pressurized smoke control system was employed in the 25 stories' high-rise apartment building named "Akasaka Tameike Tower." We have conducted a performance examination test of the system. From the results of the test, it was confirmed that: 1) the pressure differences at the evacuation routes agreed with the requirements for smoke prevention; and 2) door opening force in operating the system was low enough for the children to open the doors. Furthermore, effective flow areas of some architectural components, such as doors and pressure adjusting openings, were measured and design data for simulating the pressure difference of the system were collected.

1. はじめに

火災時の煙制御方式の一つとして、高層事務所ビルを中心として、加圧防煙システムの適用事例が増加している。同方式は、避難経路となる廊下、付室等の安全区画に新鮮空気を給気し、火災室との間に圧力差を与えることで、避難路や堅穴区画への漏煙を防ぐことを目的としている。同方式の主な特長のひとつは、従来の排煙設備と比較して、長時間避難路の安全性を確保できるため、在館者の安全性を高めることができることである。

一方、近年、都心部を中心として高層集合住宅が増加しているが、高層集合住宅は、平面計画上、廊下が外気に直接面しない中廊下型のプランを採用する事例が多く、火災時に避難路である中廊下の安全性をいかに確保するかは火災安全計画上重要な課題である。

こうしたことから、筆者らは、こうした課題を解決するためのひとつの方法として、事務所と中廊下型集合住宅が複合した高層建築物に加圧防煙システムを採用し、実建物を対象とした加圧防煙システムの性能確認試験を実施した。

2. 研究の目的

従来加圧防煙システムは、高層事務所ビルを中心として適用がされており、集合住宅における適用例はほとんどみられない。

集合住宅は、用途の特性上、就寝を伴いつつ各住戸が区画されているため、火災の覚知および避難開始が遅れる可能性がある。また、高齢者や児童等、運動能力の劣る人々が使用することが想定される。このように、集合住宅では、火災時に事務所とは異なる避難のシナリオが想定されることから、こうしたシナリオに対応したシステム

の圧力制御による遮煙性能を把握しておく必要がある。さらに、防災計画上は、避難が遅れた場合でも加圧防煙システム起動時に扉の開閉等で避難上支障が生じない計画とすることが重要である。

また、加圧防煙システムの設計の観点からは、建物部位毎の隙間開口面積を把握することは、圧力変動の予測を行う上で重要となる。集合住宅では、住戸や中廊下周辺に換気等のための配管が多く敷設されており、事務所とは異なる隙間特性を有すると考えられる。

以上より、本研究では、加圧防煙システムを適用した集合住宅を対象として、システムの性能確認実験および建物部位の隙間有効開口面積の測定を行い、以下の点を明らかにすることを目的とする。

- ・集合住宅で想定される各火災シナリオにおける加圧防煙システムの圧力制御による遮煙性能
- ・システム起動時の圧力調整機構による扉開閉障害の防止効果
- ・住戸や廊下廻りを中心とした集合住宅の主要な部位の隙間有効開口面積

3. 対象建物の建築計画と加圧防煙システムの概要

3.1 建築計画の概要

加圧防煙システムを適用した建物（赤坂溜池タワー）の概要を表1に、住宅階の基準階平面図を図1に示す。低層階（2～13階）は、片側コア形式の事務所、高層階（14～25階）は、中廊下を有するセンターコア形式の共同住宅（各階12戸、25階のみ6戸）から構成されている。事務所階用エレベーター（6基）は、地下1階から地上13階に、住宅用エレベーター（2基）は、地下1階および1階と地上14階から25階の各階に連絡している。

*1 清水建設㈱技術研究所 副主任研究員・博士(工学)
(〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

*2 清水建設㈱設計本部 グループ長

*3 清水建設㈱設計本部 副部長

*4 清水建設㈱設計本部

*5 清水建設㈱技術研究所 主任研究員

*1 Deputy Senior Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation, Dr. Eng.

*2 Architect Manager, Design Division, Shimizu Corporation

*3 Deputy General Manager, Design Division, Shimizu Corporation

*4 Design Division, Shimizu Corporation

*5 Senior Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation

表 1. 赤坂溜池タワー建物概要

建設地	東京都港区
建物用途	事務所、共同住宅 地下2階：機械室・駐車場 2～13階：事務所 地下1階：駐車場 14～25階：共同住宅 1階：店舗・エントランス
延べ床面積	47,758 m ²
基準階面積	事務所階：1,676 m ² 共同住宅階：1,357 m ²
階数・高さ	地下2階，地上25階，塔屋2階 建物高さ 99.8m
構造種別	地下SRC造，地上S造

表 2. 加圧防煙システムの作動シーケンス（住宅階）

	設計仕様	通常モード	漏煙モード	
			排煙作動	排煙不作為
給排気	付室給気ファン	13,000 m ³ /h×2 系統	作動	作動
	乗用エレベーター給気ファン	30,000 m ³ /h×1 系統	作動	作動
	廊下排煙ファン	6,000 m ³ /h×2 系統	停止	停止
扉等	付室防火戸	1.8m×2.28m	開放	閉鎖*
	圧力調整ガラリ	1.0m×2.25m	開放	開放

* 付室圧力調整扉は，開放のまま

特別避難階段付室は，煙感知器連動の防火戸 2 箇所にて区画されており，平常時は中廊下と一体の空間となっている。付室と非常用エレベーター乗降ロビーは，防火戸を介して別の空間となっており，在館者の避難経路と消防活動拠点とが平面上明確に分離されている。但し，付室と非常用エレベーター乗降ロビーは，天井裏に設置されたバイパス開口（面積約 0.5m²）を介して，加圧防煙上は連結されており，一体の防火区画を構成している。

住宅階の各住戸，廊下には，スプリンクラー設備が設置されている。また，床面積が 100m² を超える住戸は，キッチン单独で防火区画し，住戸内での延焼拡大を防止するとともに，住戸内の居室から中廊下へ至る安全な避難経路を確保している。

屋外バルコニーは，外壁 4 面に 1 箇所ずつ設けられており，バルコニーを経由して，隣接する住戸へ避難できる計画となっている。

3.2 加圧防煙システムの概要

住宅階の加圧防煙システムの構成を図 2 に，システムの作動シーケンスを表 2 に示す。当システムは，火災時に火災階の非常用エレベーター乗降ロビー，付室，乗用エレベーターシャフトに加圧給気し，廊下および乗用エレベーターシャフトを間接的に加圧することにより，火災階および非火災階の避難経路への煙伝播を防止する。

本計画では，中廊下の安全性を確保することが避難安全上重要となることから，排煙設備の作動信頼性を考慮し，中廊下に独立した 2 系統の機械排煙設備を設けている。これにより，万が一出火住戸から中廊下に漏煙した場合においても，火災階の安全な避難経路を確保するとともに，付室と中廊下間，乗用エレベーターと中廊下間で遮煙に必要な圧力差を確保し，エレベーターシャフト等の堅穴区画を介した非火災階への煙伝播防止を図っている。

一方，集合住宅では，就寝時等に避難の開始が遅れる可能性があることから，避難時の扉開閉障害を防止することが重要な課題となる。このため本システムでは，住戸，中廊下，付室各々に下記の圧力調整機構を設け，住戸扉，付室扉の開閉障害防止を図っている。

- (1) 住戸圧力調整口：各住戸の玄関脇側壁の床面近傍に，メータボックスと玄関を結ぶ圧力調整口（0.15φ，0.3m の丸管）を設置する。開口は常時開放されており，延焼拡大防止のため，区画貫通部に防火ダンパーを併設している。

図 1. 住宅階基準階平面図と計測点位置

図 2. 加圧防煙システムの構成（住宅階）

- (2) 中廊下圧力調整ガラリ：住宅階の中廊下に，屋上階で外気に開放された堅ダクト（1.5m×0.5m）に繋がる圧力調整用ガラリ（1.0m×2.25m）を設置する（常時閉鎖の防火ダンパー併設）。付室加圧ファンの起動に連動して，火災階の防火ダンパーを開放する。
- (3) 付室圧力調整扉：乗用エレベーターホール側の付室防火戸を上段 2 段（扉高さ：上段 1.98m，下段 0.3m）の構成とし，下段の扉を，熱感知器連動閉鎖式の圧力調整扉とする。

当建物は，事務所と集合住宅の複合用途建物であるため，防災センターでは 24 時間有人管理を行なっている[注 1]。このため，加圧防煙システムは，火災階付室の起動ボタン操作または防災センターからの遠隔操作により起動させることを基本としている。

住宅階におけるシステムの作動シーケンスを以下に記す。

- A. 通常モード：火災階付室の起動ボタン操作または防災センターからの遠隔操作により，非常用エレベーター乗降ロビーの加圧給気ファンを起動するとともに，中廊下の圧力調整ガラリを開放し，中廊下と付室を一体の空間として加圧する。非常用エレベーター乗降ロビーと付室の天井裏に設置された常時開放のバイパス開口を介して，中廊下へ新鮮空気を供給する。同時に乗用エレベーターシャフトの給気ファンを起動し，乗用エレベーターシャフトと中廊下間で遮煙を行う。各住戸と中廊下間は，常時閉鎖式の防火設備で区画し，中廊下への火煙の拡大を抑制する。
- B. 漏煙モード：出火住戸より中廊下に漏煙した場合は，中廊下の

煙感知器に連動して付室の防火戸（上部）が閉鎖するとともに、廊下の機械排煙設備を起動して、付室と中廊下間、乗用エレベーターシャフトと中廊下間で遮煙を行い、非火災階への煙伝播を防止する。非常用エレベーター乗降ロビーと付室は、天井裏に設置された常時開放のバイパス開口を介して、一体の加圧空間となる。

万が一、中廊下の排煙設備が作動しない場合は、中廊下の圧力調整ガラリにより、外気への排気経路を確保し、付室と中廊下間、乗用エレベーターシャフトと中廊下間で遮煙を行う。

4. 設計段階における火災シナリオの設定

4.1 システムの作動モードに関するシナリオ

設計段階では、システムの作動条件の観点から、以下に示す火災シナリオを想定し、一層ゾーンモデルにより避難安全性評価を実施した。シナリオ毎の扉開閉条件、煙制御条件を表3に示す。

A. 通常モード

火災時の避難に伴う避難経路上の扉の開閉条件を考慮し、通常モードとして、階避難中、階避難終了の2つのシナリオを設定した。

- ・階避難中：出火階の非出火住戸の避難段階（シナリオ A-1）。
- ・階避難終了：出火階の全住戸からの避難終了段階（シナリオ A-2）。

B. 漏煙モード

当加圧防煙システムにおいて、システムが作動した状態で、中廊下に高温の煙が伝播し、出火階の在館者が避難できなくなるのは、以下の3つの条件が発生した場合と考えられる。

- (1) 住戸内のスプリンクラーが有効に作動しない。
- (2) 出火した住戸と中廊下間の扉が避難に伴う障害物の影響で、一部開放されている。
- (3) 廊下の排煙設備が有効に機能しない。

以上の条件を考慮し、設計段階においては、漏煙モードとして、以下に示す3つのケースを想定した。

- ・スプリンクラー不作動：住戸内のスプリンクラーが作動しない規模の火災が発生し、廊下に煙が伝播した場合（シナリオ B-1）。
- ・中廊下排煙作動：出火住戸が盛期火災に達して、中廊下に漏煙し、排煙設備が作動した場合（シナリオ B-2）。
- ・中廊下排煙不作動：出火住戸が盛期火災に達して、中廊下に漏煙し、中廊下の排煙設備が作動しなかった場合（シナリオ B-3）。

漏煙モードでは、出火住戸の避難終了後、玄関扉に障害物が挟まった状態を想定して、住戸扉を一部開放とした（有効開口率 10%）。また、万が一付室親扉が閉鎖しなかった場合を想定し、付室親扉を開放とした。

4.2 火災条件、気象条件に関するシナリオ

気象条件、火災階、火源に関するシナリオの条件は、各々避難安全上危険側となる条件を考慮し、以下の考えに基づき設定した。

1) 気象条件・火災階

エレベーターシャフト内の煙突効果を考慮し、夏期に 24 階の住戸で出火した場合を想定した（初期温度：外気 30℃、住戸・廊下・付室 26℃、階段室・エレベーターシャフト 28℃）[注 2]。また、外気風の影響により、火災室から中廊下へ煙が伝播する危険性があることから、シナリオ B-2、B-3 では、盛期火災に達し出火住戸の窓ガラスが温度上昇により破損した場合を考慮し、火災室外壁に対して正圧となるように外気風（風速 7.0m/s）を設定した[注 3]。

表 3. 設計段階での想定条件とシステム起動・扉開閉シナリオ

実験条件	通常モード			漏煙モード			
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7
	出火住戸避難	階避難中	階避難終了	スプリンクラー不作動	廊下排煙	排煙不作動(a)	排煙不作動(b)
設計段階で想定したシナリオ	—	A-1	A-2	B-1	B-2	—	B-3
設計段階での設定火源 (kW)	—	300	3000	360	23000	—	23000
計測時間 (秒)	0～120	120～240	240～360	360～480	480～600	600～720	720～840
扉開閉条件	出火住戸—中廊下間	○	×	×	▲	▲	▲
	火災住戸—外気間	×	×	○	×	○	○
	非出火住戸—中廊下間	×	○	×	×	×	×
	非出火住戸—外気間	×	×	×	×	×	×
	付室—中廊下間	○	○	○	△	△	△
	付室—ごみ置場前廊下間	○	○	○	×	×	×
	非常用エレベーター乗降ロビー—付室間	×	×	×	×	×	×
	付室—階段室間	△	○	○	×	×	×
	中廊下圧力調整ガラリ	○	○	○	○	○	○
煙制御	付室給気ファン	○	○	○	○	○	○
	中廊下排煙ファン	×	×	×	○	×	×
	乗用エレベーターシャフト給気ファン	○	○	○	○	○	○

○：開放，×：閉鎖，▲：扉一部開放（開放率 10%），△：階段 1 箇所開放

△：子扉のみ閉鎖（圧力調整扉開放），×”：親子扉閉鎖（圧力調整扉開放）

2) 火源の発熱速度

火源の発熱速度は、想定したシナリオ毎での火災の進展状況を考慮し、表 3 に示す値を用いた。スプリンクラー不作動（シナリオ B-1）では、スプリンクラーが作動しない最大規模の発熱速度が継続したものとして、住戸の天井高さ（2.3m）、火源とスプリンクラーヘッドとの最大水平離隔距離（2.3m）を考慮して、発熱速度を設定した[注 4]。盛期火災を想定したシナリオ（B-2、B-3）では、外壁に面した開口が破損し、換気支配型の燃焼に達した場合を想定し、発熱速度を設定した[注 5]。

5. 性能確認実験の概要

5.1 実験の目的

住宅階を対象として、設計段階で設定したシナリオに対して、竣工時に以下の性能が確保されていることを確認する。

- 1) 遮煙位置の室間圧力差が遮煙に必要な値以上であること。
- 2) 避難経路の扉開放力が、開閉に支障がない値以下であること。

5.2 実験条件

実験は、2000 年 7 月 22 日に実施した。当日の気象条件は、外気温度約 29℃、屋上階での風向・風速は、南西約 1.3m/s であった。

住宅階のうち 18 階を実験対象とし、表 3 に示すケースを設定して実験を行った。性能確認実験では、設計段階での想定シナリオに加え、通常モードとして、出火した住戸で避難を行っている場合（Case1）、漏煙モードとして、付室親扉が正常に起動した場合の中廊下排煙不作動（Case6）の場合の 2 ケースを追加した。

なお、漏煙モードでは、出火住戸の避難終了後、玄関扉に障害物が挟まった状態を想定して、住戸扉を約 10cm 開放した。Case5～7 では、出火住戸が盛期火災に達し、外壁窓が破損した状態を想定し、出火住戸の窓を開放した。また、Case4、5、7 は、万が一付室の親扉（W=1.35m）が閉鎖しなかった場合を想定して、子扉（W=0.45m）のみを閉鎖した。

付室加圧ファン、乗用エレベーターシャフト加圧ファンは、予め起動した上で、各ケース毎に2分間計測を行った。なお、図1の住戸Aを火災室として設定したが、住戸内で火源を模擬した燃焼を行うことが困難であったため、模擬的な火災の再現は行っていない。

5.3 測定項目

測定項目は、室間の圧力差、室内温度、扉面風速、給排気ダクト風速、外気風速である。代表的な測定項目の測定点を図1に示す。各測定データは、2秒間隔でデータロガーに取り込み記録した。

6. 性能確認実験の結果と考察

6.1 システム作動モードに対する遮煙位置での室間圧力差

性能確認実験の結果得られた室間圧力差の時間変動を図3に示す。なお、実験時の非常用エレベーター乗降ロビーの給気風量測定値は、約15,000m³/h、中廊下の排気風量測定値は、約9,000 m³/hであった(各1系統当たり)。

1) 通常モード

1-a) 出火住戸避難 (Case1)

出火住戸の扉が開放されるため、出火住戸の外壁窓が閉鎖していると、中廊下と住戸との圧力差は、ほぼゼロとなる。但し、出火住戸避難は、火災の初期段階であり、かつ扉の開放時間は短いと考えられることから、中廊下へ漏煙する危険性は低いと考えられる。

1-b) 階避難中 (Case2)

階避難中は、非火災住戸の在館者の避難が行われているが、火災

住戸の外壁窓が閉鎖した状態においても、中廊下と出火住戸間との圧力差は、約5Paを確保しており、中廊下へ漏煙する危険性は低い。

1-c) 階避難終了 (Case3)

階避難段階で火災住戸の外壁窓を開放した場合でも、中廊下と火災住戸間との圧力差は、約7Paであり、中廊下へ漏煙する危険性は低い。

今回の実験では、火災室として想定した住戸が風上側(南側)に位置していたが、図3(1), (2)より、通常モードでは、出火住戸を介した中廊下-外気間の圧力差は、外壁窓の開閉状態に関わらず、約7Paを確保しており、火災室の扉が長時間開放されない限り、火災室から中廊下へ漏煙する危険性は低いと考えられる。また、Case1~3を通じて、乗用エレベーターシャフトと中廊下間の圧力差は、約5~8Paを確保しており、エレベーターシャフトを介して、非火災階へ漏煙する危険性は低い。

2) 漏煙モード

2-a) スプリンクラー不動作、中廊下排煙作動 (Case4, 5)

中廊下排煙が起動し、万が一付室親扉が1枚開放されたままの状態の場合、遮煙位置である付室扉での圧力差は約0.6Pa、扉開放時の扉面での平均風速は約0.8m/sとなっている。設計段階で一層ゾーンモデルにより中廊下の煙温度を予測した結果、Case4で約27℃、Case5で約34℃となり、遮煙に必要な圧力差は0.6Paとなる。以上より、中廊下へ漏煙し、かつ付室親扉が1枚開放された場合でも、遮煙に必要な圧力差は確保されている。

(1) 非常用エレベーター乗降ロビー(+)-付室(-) 間: P1

(2) 中廊下(+)-出火住戸(-) 間: P11

(3) 出火住戸(+)-外気(-) 間: P16

(4) ごみ置場前廊下(+)-非出火住戸(-) 間: P13

(5) 付室(+)-中廊下(-) 間: P3

(6) 付室(+)-階段室(-) 間: P5

(7) 乗用ELVシャフト(+)-中廊下(-) 間: P14

図3. システム作動モードに対する圧力差の時間変化

表4. 加圧防煙システム起動時の必要扉開放力

	住戸扉	付室親扉	非常用エレベーター乗降ロビー扉
システム未起動時の扉開放力 F_0 (N)	41	25	16
扉幅 W (m)	0.9	1.35	0.8
扉高さ H (m)	2.1	2.0	2.1
加圧時の最大圧力差 ΔP (Pa)	6.9 (16.2)	17.1	111.4
扉開放に必要な力 F (N)	47.5 (56.3)	48.1	109.6

* 加圧時の最大圧力差は、出火住戸の測定値を示す。但し、同欄の括弧内の数値は、廊下排煙不動作時の非出火住戸(測定点P13)の値を示す。

2-b) 中廊下排煙不作動 (Case6, 7)

中廊下の排煙機が作動せず、かつ付室親扉が1枚開放された場合、遮煙位置である付室-中廊下間の圧力差は約0.6Paとなっている。また、付室親扉が正常に閉鎖した場合は、付室-中廊下間で約17Pa確保されている。設計段階で行なった中廊下の煙層温度の予測結果は、Case7では約26℃であり、ほとんど温度上昇がみられないことから、中廊下に漏煙し、付室扉が1枚開放された場合でも、遮煙に必要な圧力差は確保されていると考えられる。

Case4~7を通じて、乗用エレベーターシャフトと中廊下間の圧力差は、約2~11Paを確保している。設計段階での煙層の温度予測結果によると、中廊下の煙温度は最大でも34℃であることから、中廊下を介して非火災階へ漏煙する危険性は低い。

消防活動拠点の観点からは、付室と非常用エレベーター乗降ロビーは平面上分割されており、中廊下に対して二重の防火戸で隔てられていること、また非常用エレベーター乗降ロビーの扉が閉鎖されていれば、付室扉の開閉条件に関わらず、非常用エレベーター乗降ロビーと付室の間で最低でも約97Paを確保していることから、火災が拡大し、中廊下に漏煙した場合でも、十分な防煙性能を有していると考えられる。

6.2 システム起動時の扉必要開放力

一般に住宅では、就寝時等に避難開始が遅れる可能性があること、高齢者や児童等が居住することから、加圧防煙システム起動時に扉開閉に障害が生じないことは、避難安全上重要となる。システム起動時に開閉障害の生じる可能性がある住戸扉と付室親扉を対象として、扉必要開放力を算出した。システムを起動しない状態で扉開放力を予め測定した上で、性能確認試験における圧力差の測定結果を用いて、(1)式によりシステム起動時の扉必要開放力(F)を算出した。

$$F = F_0 + \frac{1}{2} WH \Delta P \quad (1)$$

ここで、 F_0 はシステム未起動時の扉開放力(N)、 W は扉幅(m)、 H は扉高さ(m)、 ΔP は加圧時の床面での最大圧力差(Pa)を示す。

必要扉開放力の算出結果を表4に示す。住戸、中廊下、付室に設置した圧力調整機構により、システム起動時の扉必要開放力は、住戸扉、付室親扉ともあまり違いはなく、最大で56.3Nに収まっている。成人の扉開放力は、約100~200Nといわれており¹⁾、システム起動時に成人が扉を開閉するのに、避難上特に問題はないと考えられる。一方、既往の研究²⁾によると、小学校3年から6年生の児童の扉開放扉開放力は、片手で扉を押した場合、男子で約60~220N、女子で約50~160Nであり、女子が両手で扉を押した場合の扉開放力は約75~200Nとなっている。以上より、女子児童が住戸内に単独で取り残された場合、片手で扉を開閉するには一部障害の生じる可能性は残るが、扉開閉上概ね問題はないと考えられる。

非常用エレベーター乗降ロビーの扉は、加圧時の必要扉開放力が最大で109.6Nであり、開閉にやや力を要するものの、消防活動上特に問題はないと考えられる。

7. 住宅階の建物部位の隙間有効開口面積の測定

住宅階の主な建物部位の隙間有効開口面積を把握するため、2000年8月9日に、18階を対象として測定を行った。気象条件は、外気温度約30℃、屋上階での風向・風速は、南東約3.2m/sであった。

図4. 住宅階隙間有効開口面積の測定範囲

表5. 建物部位別の隙間有効開口面積の測定結果

対象場所 建物部位	寸法 (m)		本研究での 有効開口 面積測定値 (m ²) ³	既往研究 での測定 結果 ^{3,4,5)} (m ²) ³	設計段階 における 設定値 (m ²) ³
	幅	高さ			
(1) 付室・非常用エレベーター乗降ロビー ^{*1} (領域 A)					
付室・非常用エレベータ 乗降ロビー廻り (階段扉・付室扉・非常 用エレベーター扉除く)	床面積 19 m ²		0.079 (0.004m ² /m ²)	—	0.095 (0.005m ² /m ²)
付室防火戸 (親子扉)	1.8	2.3	0.036 ^{*2}	0.018 ³⁾ 0.033 ⁴⁾	0.018
階段室扉	0.9	2.1	0.026	0.008 ³⁾ 0.023 ⁴⁾ 0.01～0.02 ⁵⁾	0.008
非常用エレベーター扉	1.1	2.1	0.044	0.019 ³⁾ 0.06 ⁴⁾ 0.02～0.03 ⁵⁾	0.019
(2) 住戸 (領域 B, B')					
住戸廻り (玄関扉, 圧力調整口除く)	床面積 57 m ²		0.034 (0.0006m ² /m ²)	—	0.040 (0.0007m ² /m ²)
住戸玄関扉	0.9	2.1	0.0043 ^{*2}	—	0.008
住戸圧力調整口	0.15 φ (0.0177m ²)		0.0073 ^{*2}	—	0.0146
(3) 中廊下 (領域 C)					
廊下廻り (玄関扉, 圧力 調整口, エレベーター扉, 圧力調整ガラリ除く)	床面積 103 m ²		0.78 (0.008m ² /m ²)	(0.005m ² /m ²)	0.52 (0.005m ² /m ²)
圧力調整ガラリ	1.0	2.25	0.11 ^{*4}	—	—

*1 非常用エレベーター乗降ロビー-付室間の扉は開放状態で計測した。

*2 各々1箇所当たりの有効開口面積を示す。

*3 括弧内の数値は、床面積1m²当たりの有効開口面積を示す。

*4 ガラリの防火ダンパー閉鎖時の有効開口面積を示す。

7.1 測定対象部位と測定方法

(1) 付室・非常用エレベーター乗降ロビー、(2) 住戸、(3) 中廊下において、表5に示す部位を対象として測定を行なった。

1) 付室・非常用エレベーター乗降ロビー (領域A)

図4の領域Aを対象とし、周辺の扉に全て目貼りをした状態で、加圧給気ファンを起動して、付室と中廊下間の圧力差、給気風量、付室内温度を測定した。その後付室扉、階段室扉、非常用エレベーター扉の順で目貼りを除去し、各々30秒間測定を行なった。非常用エレベーター乗降ロビー-付室間の扉は常時開放とした。中廊下を外気に近い圧力に保つため、18階の全住戸の玄関扉・外気側窓、及び測定対象でない側の階段室扉は常時開放とした。

2) 住戸 (領域B, B')

付室-ごみ箱置場前廊下間の扉を開放し、図4の領域AとBを一体の加圧空間として、2住戸分の中廊下-住戸間圧力逃し口、住戸扉に目貼りをした状態で、付室の加圧給気ファンを起動して、付室と中廊下間の圧力差、給気風量、付室内温度を測定した。その後、圧力調整口、住戸扉の順で目貼りを除去し、30秒間隔で測定を行な

った。測定終了後、領域 B'の住戸玄関扉を開放し、外気側窓を閉鎖した状態で、領域 B'について同様の測定を行なった。なお、ごみ箱置場前廊下の換気口、住戸の郵便受けは、常時目貼りし、住戸内の換気扇は閉鎖状態とした。また、中廊下廻りの開口条件は、1)と同様とした。

3) 中廊下 (領域 C)

図 4 の領域 C を対象とし、乗用エレベーター扉、圧力調整ガラリに目貼りした状態で、廊下の排煙ファンを起動し、廊下一付室間の圧力差、排煙風量、廊下内温度を測定した。18 階の全住戸の玄関扉と付室扉は閉鎖し、全住戸の外気側窓と階段室扉は常時開放とした。

上記 1)~3)の測定データの 30 秒間の平均値を用いて、(2)式により、建物部位毎の隙間有効開口面積を算出した。

$$\alpha A = q / \sqrt{2\Delta P / \rho} \quad (2)$$

ここで、 αA は各部位毎の隙間有効開口面積 (m^2)、 q は給気 (排気) 風量 (m^3/s)、 ΔP は付室-廊下間の圧力差 (Pa)、 ρ は空気密度 (kg/m^3) を示す。

7.2 測定結果

建物部位毎の隙間有効開口面積の算出結果を表 5 に示す。

1) 付室・非常用エレベーター乗降ロビー (領域 A)

表 5 より、階段室扉、付室防火戸、エレベーター扉は、既往の研究 (例えば^{3), 4), 9)} における測定結果とほぼ同様の値となっている。

付室・非常用エレベーター乗降ロビー廻りの隙間は、床スラブと壁間等が考えられる。付室の間仕切り壁は、乾式工法を採用しており、躯体部分に両開きの防火戸約 2 枚分の隙間があることがわかる。

2) 住戸 (領域 B, B')

住戸廻りの隙間面積は、玄関扉と圧力調整口の隙間面積の合計 ($0.0116m^2$) の約 3 倍となっている。住戸廻りの隙間の要因としては、外壁窓サッシュ、換気口、壁・スラブ接合部等が考えられる。

圧力調整口の有効開口率 (α) は、 $0.41 (=0.0073m^2/0.0177 m^2)$ となる。圧力調整口は、丸管の両端に同一径のエルボーが設置されており、エルボーの抵抗が有効開口率に影響していると思われる。

3) 中廊下 (領域 C)

単位床面積当たりの隙間面積は、 $0.008m^2/m^2$ であり、事務所ビルの中廊下を対象とした既往の測定結果³⁾と比較すると約 5 割大きくになっている。集合住宅は、中廊下周辺に排水口等の設備配管が敷設されており、スラブと配管との接合部等が隙間を生じる主要な要因として考えられる。

中廊下の圧力調整ガラリ (開口率 80%) は、羽根式のダンパーで閉鎖する機構となっている。ダンパー閉鎖時のガラリ面積に対する有効開口率 (α) は、約 0.05 となった。

8. おわりに

本報では、高層集合住宅における加圧防煙システムの適用事例とその性能確認実験および建物部位の隙間有効面積の実測結果について述べた。本研究の結果を整理すると以下ようになる。

- ・集合住宅階での火災の進展や避難行動に伴い想定される各シナリオに対して、当該加圧防煙システムは、圧力制御による遮煙性能を満足している。
- ・集合住宅の用途特性上、在館者として想定される高齢者や児童の

避難に対して、本システムで導入した圧力調整機構は、避難経路の加圧に伴い発生する扉開閉障害を防止する効果を有する。

- ・集合住宅では中廊下廻りの躯体の単位床面積当たりの隙間有効開口面積は、事務所の廊下と比較すると約 5 割大きい。住戸扉の圧力調整用開口の有効開口率は約 0.4 であった。階段室、付室等の扉は、既往の測定値とほぼ同じ値であった。

本報で報告した建物は、一般的な高層集合住宅への加圧防煙システムの適用という観点からすると、全館スプリンクラー設置や 24 時間有人管理など、防火対策や維持管理面で、事務所との複合用途であることによる特殊性があることは否めないが、こうした条件が揃えば、従来の集合住宅と比較して、中廊下型の避難経路を長時間安全に確保できるため、避難安全性を向上できる解決策のひとつとして、当該システムは有効であると考えられる。

最後に、当実験の実施に当たり、ご協力をいただいた関係各位に心より謝意を表します。

[注 1] 集合住宅単独用途の高層建物では、維持管理の実態調査の結果⁹⁾にみられるように、一般的に、24 時間有人管理を行っている事例は少なく、夜間は無人管理となることが多い。

[注 2] 煙流動の予測に際し、対象空間は、想定火災階 (24 階) の主要な室 (住戸、中廊下、付室)、火災階に面する壁穴空間 (乗用・非常用エレベーターシャフト、階段室、中廊下圧力調整ダクト) を対象としてモデル化し、室間の開口条件は、ケース毎の扉開閉条件を考慮して設定した。扉閉鎖時の隙間開口は、表 5 の「設計段階での設定値」を使用した。

[注 3] 対象とする建物は、全方位に住戸の外壁窓が面することから、東京管区気象台 (地上高さ 74.6m) における過去の平均風速の観測データ (1979 年 3 月~1983 年 2 月)⁷⁾ をもとに、発生確率の最も高い風向 (NNW) における平均風速の超過確率が 5% となる風速を求め、外気風速を設定した。風速の発生頻度分布としてワイブル分布を仮定した上で、対象建物の屋上階床面の地上高さ (95.4m) における平均風速の超過確率が 5% となる風速 (風向 NNW) を求めると 6.5m/s となる。以上より、安全側の条件として、外気風速の設定値 (V) を 7.0m/s とした。

[注 4] スプリンクラーが作動しない最大規模の発熱速度 (Q_s) は、以下の式により算出した⁸⁾。

$$Q_s = 0.08r \{ (T_c - T_0 + \Delta T) H \}^{3/2}$$

ここで、 r : 火源の気流中心軸とスプリンクラーヘッドとの水平距離 ($=2.3m$)、 T_c : スプリンクラーヘッドの公称作動温度 ($=345K$)、 T_0 : 雰囲気温度 ($=299K$)、 ΔT : 余裕温度 ($=20K$)、 H : 天井高さ ($=2.3m$) を示す。

[注 5] 火災室が盛期火災に達し、換気支配型燃焼に至った段階での火災室の発熱速度 (Q_p) は、以下の式により算出した。

$$Q_p = 1500A\sqrt{H}$$

ここで、 A : 外壁に面する開口面積 ($=10m^2$)、 H : 開口高 ($=2.0m$) を示す。

参考文献

- 1) 建設省住宅局建築指導課監修：新・排煙設備技術指針 1987 年版，日本建築センター，p.183，1987
- 2) 佐藤和子：男女児童のドアの開角度と開扉力について，日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)，No.5325，1983.9
- 3) 掛川秀史，矢代嘉郎，広田正之，石川雅之，中村健：実証試験に基づく加圧防煙システムの計画手法の検証，清水建設研究報告，第 55 号，1992
- 4) 笠原勲，中濱慎司，樋渡潔，池島由華：特別避難階段付室の隙間開口面積，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，No.3065，2001.9
- 5) 建設省大臣官房技術調査室：建築物の総合防火設計法 第 1 巻 総合防火設計法，p.56，1989
- 6) 宮野義康，長谷見雄二：高層共同住宅における防火管理の実態調査，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，No.3106，2001.9
- 7) 風工学研究所編：新・ビル風の知識，鹿島出版会，pp.38~39，1989
- 8) 建設省大臣官房技術調査室監修：建築物の総合防火設計法 第 3 巻 避難安全設計法，日本建築センター，p.90，1989

[2001年10月19日原稿受理 2002年2月18日採用決定]