

## 高層ビル全体の換気性状の定量的予測に関する研究

## EV 扉前後の差圧の実測値と計算値の比較

四宮直人<sup>1)</sup>, 高田暁<sup>1)</sup>, 牛尾智秋<sup>2)</sup><sup>1)</sup>神戸大学大学院工学研究科建築学専攻, <sup>2)</sup>(株)日建設計**Study on quantitative prediction of ventilation in whole high-rise building  
Comparison between measured and calculated values of pressure difference  
at elevator door**Shinomiya Naoto<sup>1)</sup>, Takada Satoru<sup>1)</sup>, Ushio Tomoaki<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Graduate School of Engineering, Kobe University, <sup>2)</sup>NIKKEN SEKKEI LTD

**Abstract:** In winter, environmental problems caused by the stack effect are occurred in high-rise buildings. In order to examine preventing the stack effect, it is necessary to understand ventilation quantitatively in a whole high-rise buildings. Therefore, in this study, pressure distribution calculated by the airflow network model was compared with the pressure differences at elevator door measured in an actual building. As the result, calculated results agreed with the measured value except at the entrance hall beside the one of the three elevator shafts. In addition, by considering outdoor wind pressure in the calculation, it was shown that it has a significant influence on the pressure differences at elevator door of the entrance hall when the wind velocity and the wind pressure coefficient of the entrance doors are large, but that the influence on the whole building is small.

**Key words:** High-rise Building, Elevator Shaft, Airflow Network Model, Measured Value, Wind Pressure

**要旨:** 冬季の高層ビルでは、煙突効果に起因する環境障害が発生している。煙突効果の抑制には、高層ビル全体の換気性状の定量的な把握が必要と考えられる。そこで、本研究では、実建物を対象として、EV(エレベーター)扉前後の差圧の実測値と換気回路網を用いた計算値の比較を行った。その結果、3本あるEVシャフトの上下部6箇所のうち、エントランス階を除いた5箇所において実測値を概ね再現できた。また、外部風を考慮した解析を行ったところ、風速とエントランス扉の風圧係数が大きい条件では、エントランス階のEV扉前後の差圧への影響が大きいが、建物全体の差圧への影響は小さいことが示された。

**キーワード:** 高層ビル、エレベーターシャフト、換気回路網計算、実測値、風圧

## 1. はじめに

冬季の高層ビルでは、煙突効果が発生し、エントランス扉開放時の多量の外気侵入、エントランス扉の開閉障害、主にEVシャフト上下階のEV扉での音鳴り、暖房負荷の増大などを引き起こす。煙突効果の抑制を検討するうえで、建物全体の換気性状を明らかにすることが必要であると考えられる。煙突効果の抑制を検討した研究例がみられる(吉野ら 2007、櫻井ら 1997、加藤ら 2011)が、実測もしくは数値計算のいずれかで検討しており、実測値と計算値を比較した例はほとんどない。早川ら(1988)は実測値と計算値が概ねよく一致するという結論を得ているが、中層建物(地上高さ28.3m)を対象としており、高層ビルを対象としたものではない。したがって、高層ビル全体の換気性状の定量的予測について、検討の余地がある。そこで、本論文では、実在する高層ビルのEV扉前後の差圧(EVシャフト-EVホール間)を評価指標として、実測により得た開口

面積、EVシャフト温度を計算条件に用いた換気回路網計算の値と実測値の整合性を検討する。さらに、外部風を考慮する場合についても検討を行うことで、外部風がEV扉前後の差圧に及ぼす影響を定量的に把握する。

## 2. 解析条件

## 2.1 対象建物の概要

実測対象建物は地上高さ195mの超高層ビルである。店舗(B1~2階)、多目的ホール(3~7階)、オフィス(9~11階、15~36階)、食堂(12階)、レストラン(2階、37階)を併設する。図1に解析対象とする実建物を簡略化した断面図、図2にB1階、1階平面図、表1に各階床面高さをそれぞれ示す。この建物はEVシャフトが3本あり、低層階(主に9~11階)に停止するA、乗り継ぎ階(13階)まで直接向かうシャトルEVのB、高層階に停止するCからなる。表2に各EVシャフトの停止階、EVかご数を示す。各EVシャフトの上部にはEV機械室が

ある。

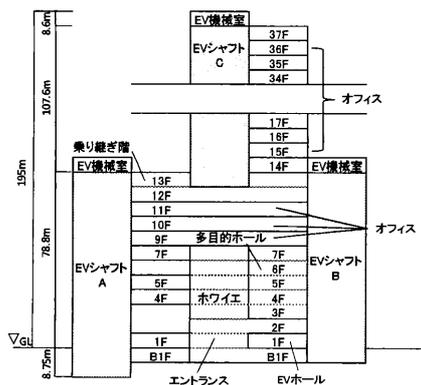


図1 解析対象建物の断面図

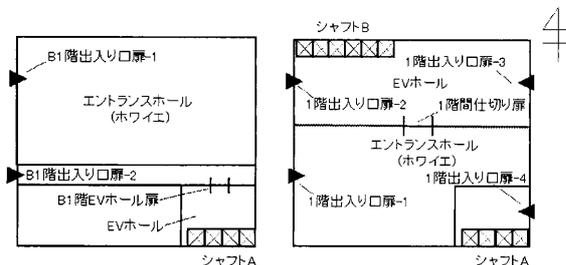


図2 解析対象建物の平面図(左:B1階 右:1階)

表1 解析対象建物の各階床面高さ

		階高さ(m)							
		10F	51.6	20F	107.6	29F	146.3		
B1F	-5.05	11F	56	21F	111.9	30F	150.6		
1F	0	12F	60.4	22F	116.2	31F	154.9		
2F	6.5	13F	66.9	23F	120.5	32F	159.2		
4F	17.5	15F	85.8	24F	124.8	33F	163.5		
5F	21.45	16F	90.4	25F	129.1	34F	167.8		
6F	26.95	17F	94.7	26F	133.4	35F	172.1		
7F	33.8	18F	99	27F	137.7	36F	176.4		
9F	47.2	19F	103.3	28F	142	37F	181.2		

表2 解析対象建物の各EVシャフトの概要

シャフトA	停止階: B1F, 1F, 4F, 5F, 7F, 9F, 10F, 11F, 12F, 13F EVかご数: 4台
シャフトB	停止階: 1F, 12F, 13F EVかご数: 6台
シャフトC	停止階: 13F, 15F~37Fの各階 EVかご数: 16台 *うち中層用EV(13F~26F)8台

## 2.2 実測項目

実建物を対象として実測を行ったのは、EV扉前後(EVシャフト-EVホール間)の差圧とEVシャフト温度である。表3, 4にそれぞれの測定階を示す。EV扉前後の差圧は差圧計(長野計器)を用いて、各シャフトの上下部において5分間隔で測定した。EVシャフト温度は温度データロガー(KNラボラトリーズ、DS1922L)をEVシャフト平面上の中央付近に取り付け、各シャフトの上部、中部(シャフトA, Bは1点、シャフトCは3点)、下部において5分間隔で測定した。

表3 差圧測定階

シャフトA	B1F, 13F
シャフトB	1F, 13F
シャフトC	13F, 37F

表4 シャフト温度測定階

シャフトA	B1F, 7F, 13F
シャフトB	1F, 7F, 13F
シャフトC	13F, 17F, 24F, 31F, 37F

## 2.3 解析モデル

図9に換気回路網モデル図を示す。計算は、圧力仮定法を用いる。階段、エスカレーターを通じて上下階が空間的につながっている空間(ホワイエ、12階-13階)とEVシャフトは、計算上、ひとつの室として扱う。EVシャフト内の空気流動抵抗は考慮していない。

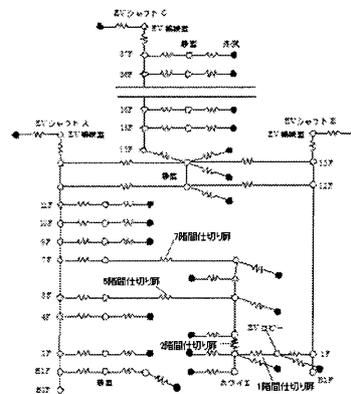


図3 換気回路網モデル

[開口条件]計算過程において、すべての開口を微小開口として扱い、流量係数は0.6を用いる。出入口扉、

間仕切り扉、EV扉は床上1mの高さに設定する。外壁隙間は隙間を考慮する階の床面から階高の1/2の高さに設定する。表5に各開口の有効開口面積を示す。出入口扉、間仕切り扉、EV扉は、通勤時の実際の開閉状況を想定した設定をしている。表5で\*をつけた値は実測した値である。5階、7階の間仕切り扉の閉鎖時の有効開口面積は、1枚あたり0.024m<sup>2</sup>(隙間長さ2m×2+2m×3=10m、平均隙間幅4mm)として、実際の扉枚数を考慮して設定している。EV扉閉鎖時隙間の有効開口面積は、実測により扉寸法が幅1.3m、高さ2.6m、平均隙間幅4mmと確認しており、扉1枚あたり0.025m<sup>2</sup>とする。EV扉開放時にEVシャフトとEVホールの間にできる隙間の有効開口面積は、EVかご扉とEV扉の隙間の実測により扉1枚あたり0.301m<sup>2</sup>と確認している。通勤時を想定したEV扉隙間面積の設定は、各シャフトにおいてEV扉が開放している可能性が最も高いと考えられる上方階と下方階の計2フロアでのみ開放している状況を想定し、開放枚数は実際の状況を想定して設定した(シャフトA: B1階, 10階 4枚中2枚ずつ、シャフトB: 1階, 13階 6枚中3枚ずつ、シャフトC: 13階, 26階 16枚中4枚ずつ)。外壁隙間の有効開口面積は、Tamuraら(1976)の実測に基づく外壁気密性を用いる。1階, 2階, 4階, 5階, 6階, 7階の外壁はコンクリートであるため外壁気密性Tight(外壁1m<sup>2</sup>あたり隙間面積0.5cm<sup>2</sup>)を、9階以上はガラス張りであるため外壁気密性Average(外壁1m<sup>2</sup>あたり隙間面積1.4cm<sup>2</sup>)を用い、実際

の外壁面積を考慮する。

表 5 基準条件での各開口の有効開口面積

[出入り口扉]			[間仕切り扉]	
		通勤時想定		通勤時想定
B1階出入り口扉-1		5.579(開)	1階間仕切り扉	5.054(開)
B1階出入り口扉-2		0.056(開)	2階間仕切り扉	0.541(開)
1階出入り口扉-1		3.037(開)	5階間仕切り扉	0.024(開)
1階出入り口扉-2		3.111(開)	7階間仕切り扉	0.024(開)
1階出入り口扉-3		0.071(開)	[EV 機械室扉]	
1階出入り口扉-4		0.028(開)	シャフト	$\alpha A[m^2]$
13階出入り口扉		0.094(開)	A	0.180
B1階EVホール扉		0.033(開)	B	1.218
			C	0.384
			EV機械室開口 A,B,C共通	0.500

[EV 扉]			[外壁隙間]	
階	EV扉枚数	通勤時想定	階	$\alpha A[m^2]$
シャフトA				
4F	1	0.025(開)	1F	0.052
5F,7F,12F,13F	2	0.050(開)	2F	0.015
B1F,9F,11F	4	0.100(開)	4F	0.029
1F,10F	4	0.652(一部開)	5F	0.041
シャフトB				
12F	1	0.025(開)	6F	0.051
1F,13F	6	0.978(一部開)	7F	0.097
シャフトC				
15-25F,27F-37F	8	0.200(開)	9-11F	0.182
13F,26F	16	1.504(一部開)	12F	0.269
			13F	0.324
			15F	0.158
			16-35F	0.147
			36F	0.165
			37F	0.178

[温度条件] 外気温は対象ビルに最も近い気象庁気象台のデータを用いる。計算では、シャフトを1つの質点で代表させるため、各シャフト温度は、シャフト内の実測により得られた各測定点での温度の平均値を用いる。シャフトA, B 機械室、シャフトC 機械室、居室内温度は、日時の違いによる変化が小さかったので、対象ビルに設置されている BEMS のデータに基づき、それぞれ 14℃、22℃、22℃とした。

2.4 解析対象日時

計算対象日時は、冬季の3日(2013年12月9日、2013年12月10日、2014年1月22日)の午前9時とする。表6に解析対象日時の外気温、EV シャフト温度を示す。

表 6 外気温と EV シャフト温度

日時	外気温	シャフトA平均温	シャフトB平均温	シャフトC平均温
2013年12月9日午前9時	7.0℃	20.1℃	13.3℃	19.0℃
2013年12月10日午前9時	11.9℃	19.8℃	16.0℃	20.3℃
2014年1月22日午前9時	4.6℃	17.0℃	11.1℃	17.5℃

3. 解析結果

3.1 外部風を考慮しない場合

図4~6に結果を示す。図の横軸の差圧は、EV シャフト

ト圧力からEVホール圧力を引いたものである。実測値は午前9時の前後5分を含めた計3時刻の値を示す。計算値は、EV扉の開く階にマーカーをプロットし、実測値と区別するために、マーカー間を直線で結んで表現している。風圧なしの場合の計算値と実測値を比較すると、シャフトA、シャフトBの13階、シャフトCにおいて、3日通じて実測値を概ね再現できている。シャフトAのB1階は、計算値が約0[Pa]であるのに対し、実測値は-8[Pa]から5[Pa]と幅がある。シャフトAは他のシャフトに比べて利用者が少なく、出入り口扉やEV扉の開閉状態が安定しないことが原因として考えられる。一方、シャフトBの1階は、差圧の絶対値の計算値が実測値よりも小さくなっている。実測値と計算値の差が最も大きくなったのは、2013年12月10日で、約15[Pa]であった。外気とEVシャフトの温度差が3日の中で最も小さい12月10日は、差圧の絶対値の計算値が他の日時と比べて小さくなっているが、実測値にはその傾向が見られない。差圧の絶対値を上げる別の要因が働いていることが考えられる。そこで、外部風の影響を考慮した解析を3.2節で検討する。

3.2 外部風を考慮する場合

[計算条件] シャフトBの下部のEVホールと外を隔てる出入り口扉(B1階出入り口扉-1, 1階出入り口扉-1, 1階出入り口扉-2, 1階出入り口扉-3)にのみ風圧係数を与えた(図2)。本来、外部風を考慮する場合、外気に接する開口すべてに風圧係数を与える必要があるが、開口面積が小さい開口では風圧の影響も小さくなると考えて、その他の開口には風圧係数を与えず、本報では簡易的なモデルで検討する。表7に解析対象日時の外部風速と風向を示す。表8に各扉の風圧係数の値を示す。風圧係数は勝田ら(1962)の値を参考に決定している。1階出入り口扉-2, 3はそれぞれ西、東に面している、西側の扉からおもに人が出入りするため、西側の扉を開放、東側の扉を閉鎖した想定をしている(表5)。

表 7 外部風速と風向

日時	外部風速	風向
2013年12月9日午前9時	0.8m/s	北北東
2013年12月10日午前9時	4.6m/s	西南西
2014年1月22日午前9時	2.1m/s	北北西

表 8 各開口での風圧係数

開口的位置	2013年12月9日午前9時	2013年12月10日午前9時	2014年1月22日午前9時	
B1階出入り口扉-1	西面	-0.5	0.8	0.1
1階出入り口扉-1	西面	-0.5	0.8	0.1
1階出入り口扉-2	西面	-0.5	0.8	0.1
1階出入り口扉-3	東面	0.1	-0.5	-0.5

[計算結果] 図4~6に結果を示す。12月9日と1月22日は、風速と扉が開放している西面の風圧係数が小さ

く、外部風の有無による差圧の違いはほとんど見られなかった。比較的強い西風が吹いている 12 月 10 日では、シャフト B の 1 階の差圧が、外部風を考慮しない場合に -11[Pa]であったのに対し、考慮した場合は -18[Pa]となり、実測値との差も縮まっている。しかし、風圧を考慮した場合でも、実測値とは依然として開きがみられる。また、シャフト B の上階や他のシャフトでの差圧に対して、シャフト B 下部付近で生じた風圧が及ぼす影響は小さい。

#### 4. まとめ

本論文では、実在する高層ビル(EV シャフトを 3 本備えたビル)を対象として、通勤時間帯における、EV 扉前後での差圧の実測値と計算値の比較を行った。計算値は、実測により得た扉の開口面積、EV シャフト温度を用いた換気回路網計算により求めた。その結果、各 EV シャフト上下部 6 箇所のうち、シャトル EV(シャフト B)の 1 階を除いた 5 箇所において実測値を概ね再現できた。また、外部風を考慮する場合について計算を行い、差圧に及ぼす影響の定量的な検討を行った。出入口扉が位置する面の風圧係数が大きい場合、シャトル EV の 1 階 EV 扉前後の差圧への影響が大きくなる場合があるが、建物全体の差圧への影響は小さいことが示された。

#### 5. 文献

吉野博ら, 2007. 煙突効果による高層住宅建物の環境障害の防除に関する COMIS モデルを用いた検討, 日本建築学会環境系論文集, No. 619, pp. 69/74  
 櫻井健司ら, 1997. 高層オフィスビルの空気流動特性に関する実測解析 統報 -扉開口面積およびシャフトの差圧・温度特性- 日本建築学会大会学術講演梗概集, p553/554  
 加藤正宏ら, 2011. 回転扉を有する高層ピルの煙突効果に関する実測(その 2) 扉開閉・差圧の測定結果と外気侵入量・熱損失量の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p737/738  
 早川真ら, 1962. 煙突効果現象の解明と各種障害への対応 高層事務所建物の煙突効果の研究(その 1), 日本建築学会計画系論文報告集, No. 387, pp. 42/52  
 G.T.Tamura ら, 1976. Studies on exterior wall air tightness and air infiltration of tall buildings, ASHRAE Trans., Vol.82, Part 1, pp.122/134  
 新田千利ら, 1962. 建築物壁面開口部による換気および外部気流の影響, 空気調和・衛生工学会, 36

#### <連絡先>

連絡先氏名: 四宮直人  
 住所: 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1  
 所属: 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻  
 E-mail アドレス: [147t036t@stu.kobe-u.ac.jp](mailto:147t036t@stu.kobe-u.ac.jp)

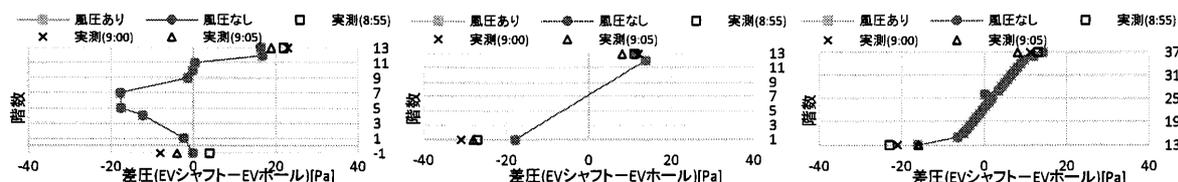


図 4 EV 扉前後 (EV シャフト-EV ホール) 差圧 (2013 年 12 月 9 日、左からシャフト A, B, C)

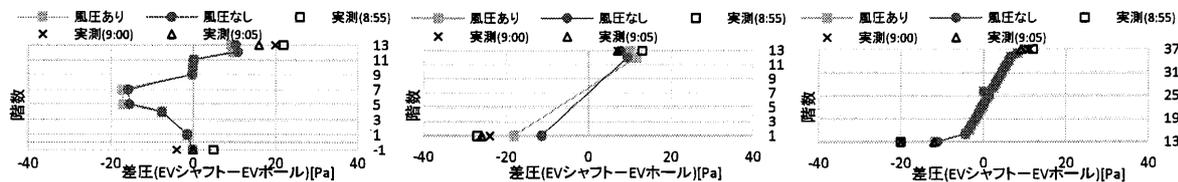


図 5 EV 扉前後 (EV シャフト-EV ホール) 差圧 (2013 年 12 月 10 日、左からシャフト A, B, C)

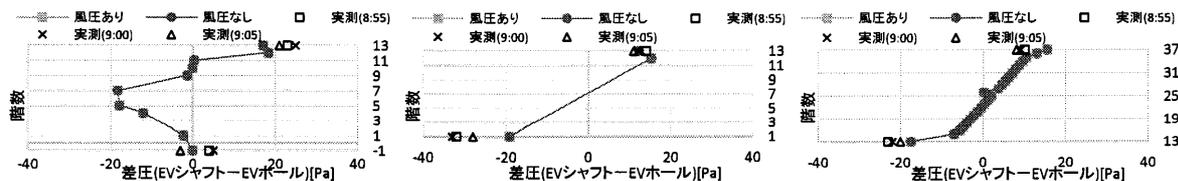


図 6 EV 扉前後 (EV シャフト-EV ホール) 差圧 (2014 年 1 月 22 日、左からシャフト A, B, C)