

Wind24S の消費電力削減効果に関する研究—ボイド型超高層集合住宅における検討—

Study on the Energy-conservation of Wind24S —Case of Super-high-rised Residential Building with Boyd—

佐藤 健一* 佐々木 亮治**
 Kenichi Sato Ryoji Sasaki
 鹿籠 泰幸*** 原田 耕司****
 Yasuyuki Shikamori Koji Harada

要 約

ボイド型超高層集合住宅の1階の開口および屋上の塔屋の有無を変化させ風洞実験を行い、建物外側壁面およびボイド内側壁面の風圧係数を求めた。1階の開口の有無により建物外側壁面の風圧係数はほとんど変化せず、ボイド内側壁面の風圧係数の変化も小さかった。塔屋の有無によりボイド内の風圧係数差は若干変化した。これらの風圧係数の値と各地の気象データを用いて Wind24S の補助ファン稼働率を推定した結果、全住戸の平均補助ファン稼働率は概ね 50% 以下となった。また、ボイドの煙突効果を考慮すると補助ファン稼働率はさらに小さくなり、換気駆動力に対する煙突効果の影響の大きさを確認した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 研究目的および背景
- § 3. 風圧係数算出のための風洞実験
- § 4. 風洞実験結果による換気駆動力
- § 5. ボイド内の煙突効果の考慮
- § 6. Wind24S 補助ファン稼働率の検討
- § 7. 結論

§ 1. はじめに

近年は大型再開発物件などでボイド型超高層集合住宅が多くなってきた。しかし、このような建物では、シックハウス対策^{注1)}としての自然換気やハイブリッド換気は行われていない。一方、西松建設では、少ない消費電力でシックハウス対策を行う集合住宅用風力式ハイブリッド換気システム^{注2)} Wind24S¹⁾を開発してきた。この技術をボイド型超高層集合住宅に適用することは、省エネルギーや地球温暖化防止の観点から有益であると考えられる。本研究では Wind24S をボイド型超高層集合住宅に適用した場合を考慮し、その換気性能と消費電力

量削減効果について検討した。

§ 2. 研究目的および背景

2-1 研究目的

本研究では 30 階建てを想定したボイド型建物模型による風洞実験を行い風圧係数分布を求め、以下の点について検討した。

- ①1 階の出入口やボイド内通気用開口からボイド内への給気に伴い、ボイド内の圧力が高まることによる換気駆動力（外周部とボイド内の差圧）の低下
- ②屋上の塔屋の有無による影響
- ③各住戸における換気駆動力
- ④建物からの排熱を考慮したボイド内の煙突効果による換気駆動力
- ⑤各地の気象データを用いた Wind24S の補助ファン稼働率の予測

2-2 ボイド型超高層集合住宅における Wind24S の優位性

ボイド型超高層集合住宅における Wind24S の優位性を下記に示す。

- ・上空ほど風速が高くなるため、超高層では軒高風速が高く大きな風力が得やすい。
- ・ボイド上空を通過する風によりボイドが負圧になり、風下側住戸でも外側壁面からボイド側壁面に向かう差

* 技術研究所技術研究部建築技術研究課

** 技術研究所技術研究部環境技術研究課

*** 技術研究所技術研究部

**** 企画技術部企画技術課

- 圧(以下、住戸外壁面差圧)を得られる可能性がある。
- ・超高層集合住宅は、中低層の集合住宅に比べ周辺の空地が多く、風力を得やすい。
 - ・ボイド内でルームエアコンの室外機または室内からの温排熱がある場合には、ボイド内空気の煙突効果が生じ、ボイド内はより負圧となり住戸外壁面差圧が大きくなる。

但し、下記の点には注意が必要である。

- ・風下側、風の側面側の住戸では、風上側住戸ほど住戸外壁面差圧が得られない可能性がある。
- ・ボイド内に冷排熱がある場合は、ボイド内の空気の比重が大きくなるとボイド内の気圧が高くなり住戸外壁面差圧が小さくなる。

2-3 既往研究

建物の構造設計時の風荷重を求めるための風洞実験および実測は数多く行われているが、研究の視点はピーク風圧を求めることにある。しかし、Wind24Sなど風力利用の場合では風圧が弱まる要因について検討する必要があり、既往の風洞実験結果だけでなく隣接建物の影響など風圧減少要因も考慮する必要がある。そこで筆者らは、実建物を使った実測により風洞実験の妥当性を確認²⁾した上で、ボイド型建物以外の一連の研究³⁾を行ってきた。なお、ボイド内の自然換気については山中⁴⁾、甲谷⁵⁾、早川⁶⁾らの研究があるが、いずれもボイド内の換気そのものを研究対象としたもので、住戸外壁面差圧やボイド側壁面風圧に関して公表されたものは見当たらない。

§ 3. 風圧係数算出のための風洞実験

3-1 実験方法

実験は日本大学生産工学部所有のエッフェル型境界層風洞(風洞断面2,200mmW×1,800mmH)にて行った。風洞測定部の平面図を図-1に、実験模型を図-2に示す。気流は日本建築学会の建築物荷重指針・同解説⁷⁾で定める地表面粗度区分Ⅳに相当するものとし、風洞風速は軒高レベルで10m/sとした。なお、実験模型周辺には地表面粗度区分Ⅳに相当する気流をつくるためのラフネスブロックを配置した。模型縮尺は1/250とし、風向は22.5°おきに16風向とした。実験条件を表-1に示す。

3-2 想定住戸割による換気駆動力の推定方法

実験模型の大きさから、各階の住戸割と換気口の位置を図-3のように想定した。階高は各階3mで換気口の高さは床から2mとした。

§ 4. 風洞実験結果による換気駆動力

4-1 風圧係数分布

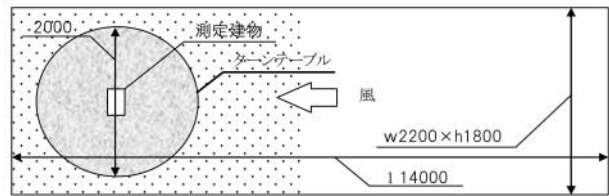


図-1 測定部平面図

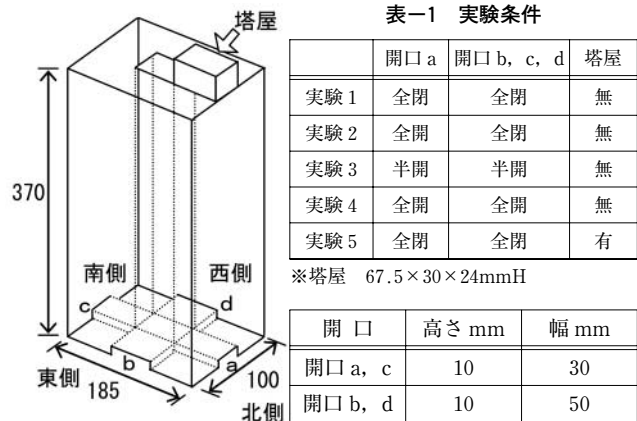


図-2 実験模型(寸法 mm)

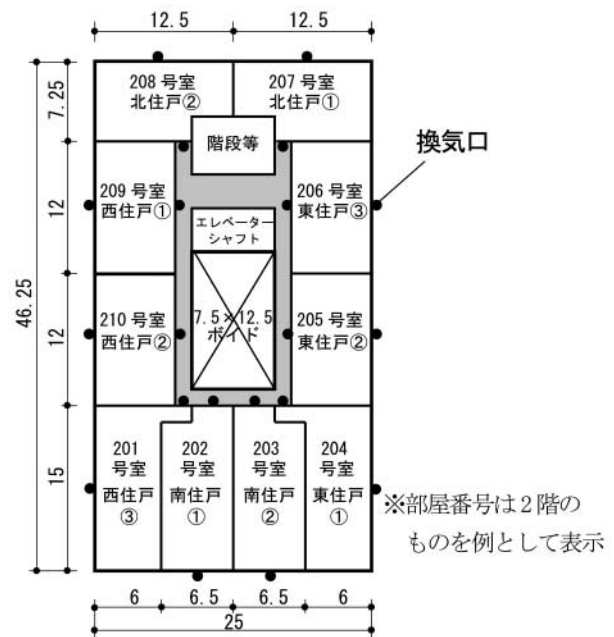


図-3 想定住戸割(寸法 m)

図-4に1階の開口を全閉(実験1)とした場合の東風の風圧係数分布を示す。東面のみが正圧となり、他の外側壁面およびボイド側壁面は負圧となった。南東風では東面、南面が正圧となり、他の外側壁面とボイド側壁面が負圧となった(図省略)。

4-2 1階開口の影響

1階開口のない実験1と開口のある実験2~4との風圧係数差の絶対値平均を表-2に示す。1階開口の有無により、ボイド側壁面の風圧係数には若干差が生じてい

るが、外側壁面の風圧係数は差がほとんど生じていない。また住戸外壁面の風圧係数差を図-5に示す。ここでは1~30階のすべての値を各面住戸ごとに平均している。平均風圧係数差は、風上面では1.0前後で大きい値を示すが、風下および側面では0.2以下の小さい値である。実験1が実験2~4よりも大きい傾向にあるが、風上面における実験2~4の値は実験1よりも2~5%小さい程度である。また風下および側面では20~30%小さいが、平均風圧係数自体が小さい値のため有意な差はあまり見られないと言える。従って、本実験結果からは1階開口の影響はあまり表れなかった。

4-3 塔屋の影響

風向別の全住戸平均風圧係数差に対する北側塔屋の影響を図-6に示す。南からの風が塔屋に当たるとボイド内風圧が高まるため、実験5の風圧係数差は実験1よりも0.1~0.15程度小さくなる。一方、北からの風の場合は、ボイド内圧力が負圧になるため、実験5の風圧係数差は実験1よりも0.1程度大きい値を示した。東および西からの風の場合は、両者の差はほとんど見られなかった。従って、以下の換気駆動力の検討は実験1を中心に進める。

4-4 風向別の換気駆動力

図-7に各面住戸の各風向における風圧係数差の絶対値の平均を示す。風上を中心として90度の範囲では風圧係数差が1.0~1.3となり、十分な風圧係数差が得ら

表-2 実験1との風圧係数差の絶対値平均

	外側壁面	ボイド側壁面
実験2	0.014	0.048
実験3	0.014	0.057
実験4	0.013	0.076

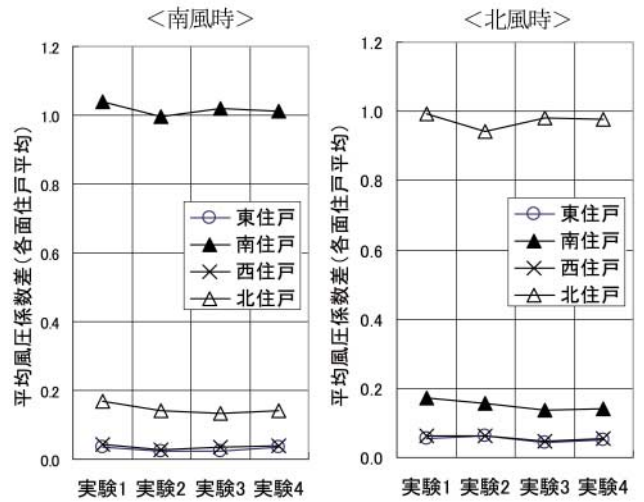


図-5 1階開口の違いによる風圧係数差の比較

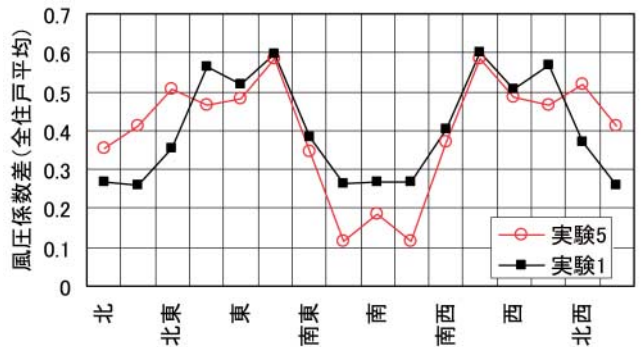


図-6 塔屋の有無の影響

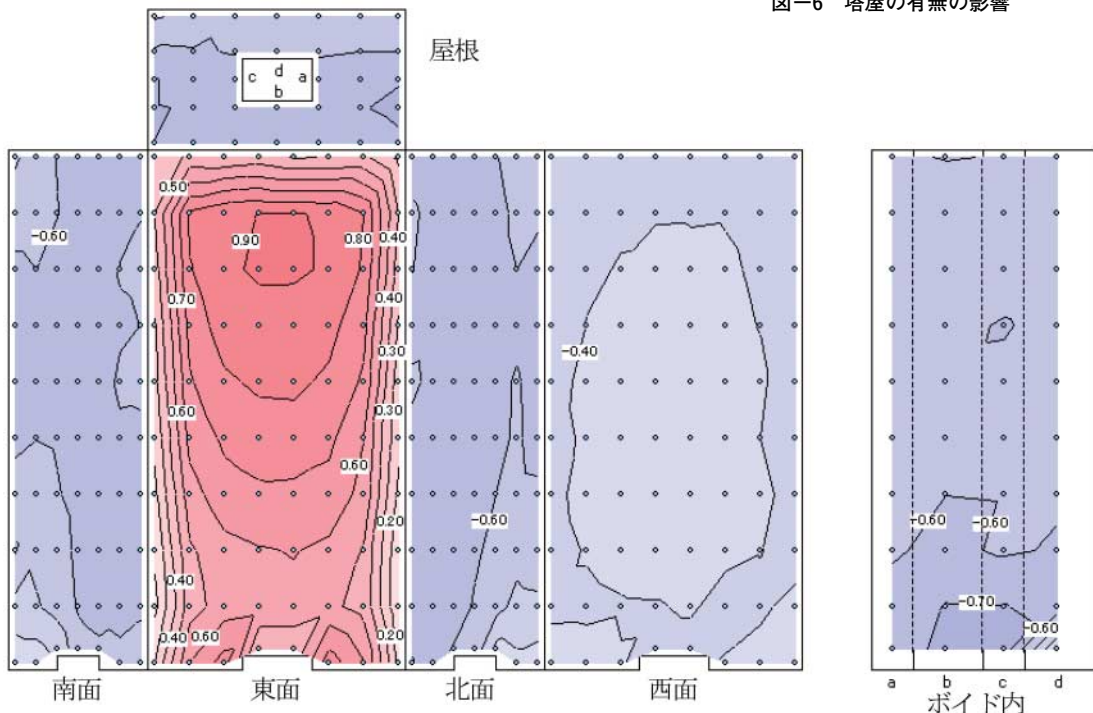


図-4 風圧係数分布(実験1, 東風)

れる。しかし、風の側面や背面となる住戸側では風上側と比べると風圧係数差が小さい。

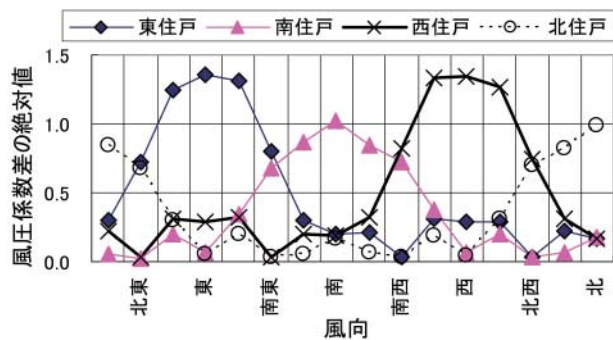


図-7 風向別風圧係数差の絶対値 (各面住戸平均)

4-5 階数別の風圧係数差

階数別の風圧係数差を図-8に示す。風向別に比べると階数による影響は小さい。すなわち上下階で利用できる風力の違いは小さいと言える。

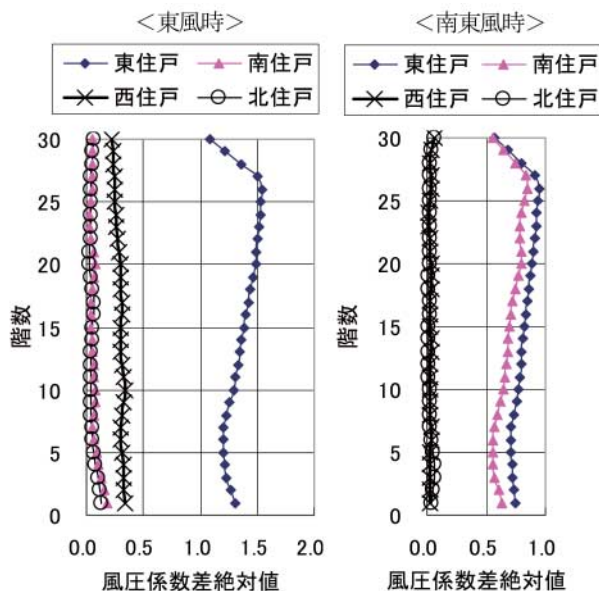


図-8 風圧係数差の絶対値 (各階住戸平均)

§ 5. ボイド内の煙突効果の考慮

5-1 建物からボイドに排熱がある場合

ボイド内に発生する浮力および上昇気流について検討する(図-9)。1階付近に大開口がない限り、ボイド内の気流は極めて小さいので、頂部開口とボイド内面の圧力損失は無視できる程小さくなる。

ボイド内の浮力 ΔP_s は式(1)^{注3)}で表すことができる。また、外気とボイド内空気の比重の差 $\Delta\rho$ は、式(2)で求められる。次に1階開口における圧力損失 ΔP_1 は式(3)^{注4)}により求められる。

$$\Delta P_s = \Delta\rho \times g \times h \quad \text{式(1)}$$

$$\Delta\rho = \rho \times \Delta T / T \quad \text{式(2)}$$

$$\Delta P_1 = (Q / \alpha A)^2 \times \rho / 2 \quad \text{式(3)}$$

ΔP_s : 浮力 [Pa]

ΔP_1 : 1階開口における圧力損失 [Pa]

ρ : 外気の比重 [kg/m³] (=1.21 [kg/m³] と仮定)

$\Delta\rho$: ボイド内空気と外気の比重差 [kg/m³]

g : 重力加速度 [m/s²]

h : 給排気の高差 [m]

T : 絶対温度 [K]

ΔT : 絶対温度の差 [K] (ボイド内-外気)

A : 1階開口面積 [m²]

α : 流量係数 [-]

Q : 上昇気流の流量 [m³/s]

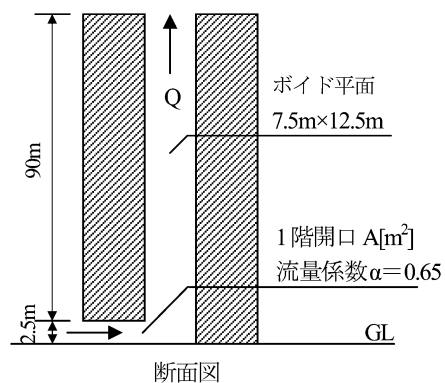


図-9 ボイド内の煙突効果

次に建物からボイドへの排熱量について検討する。電力、太陽光など建物への入力エネルギーと人体等からの発熱は建物外側またはボイド側へ排熱される。統計によれば、家庭の消費電力量は平均で4,227kWh/年・世帯^{注5)}であり、0.48kW・世帯となる。ここでは電力消費量の1/3の排熱(0.16kW)がボイド側に放出され、煙突効果を生じさせるものとして検討を行う。

この排熱があり1階開口を6m²($\alpha=0.65$)として、 $\Delta P_s = \Delta P_1$ となるようにボイド内の気流を式(1)、式(2)、式(3)を用いて解くと、12.2m³/s ($V=0.13$ m/s)の上昇気流が生じ、ボイド内気温は平均で1.6K上昇する。また、1階開口での圧力損失は5.9Pa、1階での煙突効果は5.8Pa、30階では0.07Paとなる。この上昇温度試算結果は既往の実測結果⁸⁾と同じ傾向である。なお、1階開口を変えた場合の煙突効果計算結果を表-3に示す。1階の開口が小さいほどボイド内気温が上昇し、煙突効果が大きくなる。

また、集合住宅ではエネルギー消費と排熱が集中して、

表-3 煙突効果計算結果

1階開口		上昇速度 [m/s]	外気温とボイド内気温差 ΔT [K]	換気駆動力増加	
面積 [m ²]	面風速 [m/s]			1階 [Pa]	30階 [Pa]
2	2.94	0.06	3.4	12.10	0.14
6	2.04	0.13	1.6	5.82	0.07
10	1.72	0.18	1.2	4.14	0.05
20	1.36	0.29	0.7	2.62	0.03

一時的に大きな煙突効果が生じる可能性もあると考えられる。

5-2 CO₂ ヒートポンプによる影響

ボイド側にCO₂ヒートポンプが設置された場合、多くの時間帯で換気駆動力は大きくなるが、深夜に冷排熱がボイド側に一斉に放出されるため、ボイド内の空気が高圧になり、一時的に換気駆動力は減るばかりでなく、逆流を起こす恐れがある。本システムでは逆流防止機能付の風量調整ダンパ⁹⁾を用いて逆流を防止するが、他の換気システムでも、逆流を防止する措置が必要であると考えられる。

なお、CO₂ヒートポンプの熱がベランダ側へ放熱される場合は、ボイド内の煙突効果に関して寄与することはあっても阻害することはないと考えられる。

§ 6. Wind24S 補助ファン稼働率の検討

6-1 外壁面風圧差と補助ファン稼働率

実測は独立行政法人建築研究所の集合住宅実験棟 201号室で行った。実測項目と測定器を表-4に示す。

図-10には住戸の対向する外壁面差圧と換気回数

表-4 実測項目および測定器

実測項目	測定器	備考
屋上風速	プロベラ式風向風速計 (英弘精機製)	1秒間隔で測定 屋上+3.5m
屋上風向		
外壁面差圧 (北面-南面)	微差圧計 (Setora 製)	1秒間隔で測定
外気導引量	サンブラドーザーおよび マルチガスモニタ(B&K 製)	SF ₆ の一定濃度法 による
補助ファン稼働	データロガー (keyence 製)	1秒間隔で測定

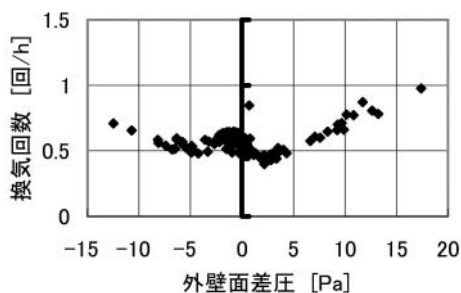


図-10 外壁面差圧と換気回数

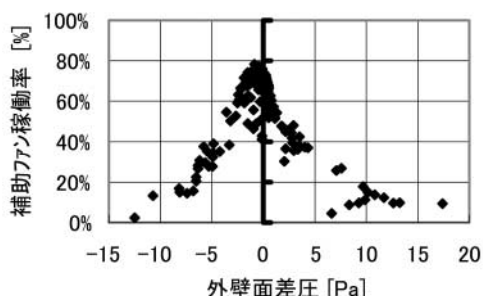


図-11 外壁面差圧と補助ファン稼働率

関係を示す。図-10に示すように必要な換気回数を確保できる条件で、外壁面差圧と補助ファン稼働率の関係を実測により求めたものを図-11に示す。

6-2 風力のみを考慮した補助ファン稼働率の試算

外壁面差圧から補助ファン稼働率を推定することが図-11より可能となる。風洞実験で得られたボイド型建物の風圧係数分布と1年間(2002年)の気象データを用いてボイド型建物の風圧を求め、さらに補助ファン稼働率に変換を行った。

表-5に東京における各住戸の補助ファン稼働率を示す。上下階、住戸向による違いは小さく、49~58%となった。表-6に国内主要都市における補助ファン稼働率を示す。補助ファン稼働率は39~56%であり、平均的には50%程度となった。

表-5 東京における各住戸補助ファン稼働率
(風力のみ考慮)

単位：%

	東面住戸 平均	南面住戸 平均	西面住戸 平均	北面住戸 平均
30階	58	59	55	55
25階	53	53	49	49
20階	55	55	49	50
15階	56	56	52	52
10階	58	56	53	55
5階	58	55	52	54
1階	56	56	52	54

表-6 国内主要都市における補助ファン稼働率
(風力のみ考慮)

単位：%

	東京	横浜	名古屋	大阪	神戸	福岡
30階平均	57	42	53	55	48	58
25階平均	51	37	47	50	43	54
20階平均	52	38	48	51	44	54
15階平均	54	40	50	52	45	55
10階平均	56	42	51	54	47	57
5階平均	55	39	51	53	46	56
1階平均	54	41	50	51	45	56
最大	63	54	64	70	59	62
最小	47	32	41	42	35	51
平均	54	39	49	52	45	56

6-3 風力と煙突効果を考慮した補助ファン稼働率の試算

表-7に煙突効果を考慮して試算した国内主要都市における補助ファン稼働率を示す。ここでは1階開口は6m²と仮定している。煙突効果が加わることで補助ファン稼働率は風力のみ考慮した場合よりも下がり、35%~43%となった。

表-7 国内主要都市における補助ファン稼働率
(風力+煙突効果)

単位%

	東京	横浜	名古屋	大阪	神戸	福岡
30階平均	57	42	53	55	48	58
25階平均	48	38	44	47	42	49
20階平均	44	36	40	43	39	44
15階平均	41	34	39	40	37	42
10階平均	39	34	37	39	36	39
5階平均	37	34	35	36	35	37
1階平均	34	32	33	35	33	35
最大	62	45	63	67	56	60
最小	32	28	30	28	28	33
平均	42	35	40	42	38	43

§ 7. 結論

7-1 まとめ

ボイド型超高層集合住宅模型を用いて風洞実験を行った。さらに Wind24S の補助ファン稼働率を試算し以下の知見を得た。

- ①4面に1階の開口がある場合は、開口が無い場合に比べて換気駆動力が小さくなる。ただし100m²の開口がある場合でも換気駆動力の減少は1~2割程度と影響は小さい。
- ②塔屋がボイドの風下側となる場合はボイド内風圧が高まり、換気駆動力が減少する。風上側となる場合は増加するが、全風向で見れば塔屋の影響は小さい。
- ③風上側住戸の風圧係数差は大きい。風上側以外の住戸は風圧係数差は小さいが、軒高風速が高く必要な換気駆動力を得ることができる。その結果各地における補助ファン稼働率は39~56%と予測され、電力削減効果を確認した。
- ④住戸の平均電力消費量の1/3がボイドに放熱されると仮定し煙突効果を考慮すると、各地における補助ファン稼働率は35%~43%となった。
- ⑤1階の開口が小さく、ボイド内への排熱が多いほど煙突効果が大きい。排熱の集中や風速の高さを考慮すると過大な住戸外壁面差圧となる恐れもある。また、CO₂ヒートポンプなどの冷排熱により、深夜に一時的にボイド内が高圧になり住戸へ風が逆流する可能性もある。従って、Wind24Sの風量調整ダンパのような逆流防止機能や風量調整機能が必要となる。

7-2 今後の研究課題

排熱があるボイド型集合住宅における外気温とボイド内気温等実測結果を入手し、検討を行う予定である。

謝辞：本研究は環境省補助事業「温暖化対策市場化直結技術開発事業」(開発代表者：佐藤健一)の一環として行われたものである。また風洞実験はCp研究会の協力を得た。環境省関係各位および国土交通省国土技術政策総合研究所の澤地孝男新技術研究官、日本大学生産工学

部の丸田榮藏教授他に感謝の意を表します。なお西松建設換気部会で結果の検討を行った。

注釈

注1) 建築基準法第28条の2の改正。

<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sick.html>

注2) ハイブリッド換気とは風力や煙突効果など自然力を利用した換気と機械換気を併用するものである。自然力を利用し運用エネルギーを抑えながら、自然力が不足するとき機械力で必要換気量を確保するものである。

注3) 斎藤平蔵著「建築気候」pp.212の(6.7)式

注4) 斎藤平蔵著「建築気候」pp.214の(6.11)式

注5) (財)省エネルギーセンター「家庭における待機時消費電力調査(1999年)」による家庭での全消費電力平均値。

参考文献

- 1) 佐藤健一, 大國治: 自然風を利用した24時間換気システム, 建築設備と配管工事, pp.47-52, 日本工業出版, 2000. 7.
- 2) 丸田榮藏, 近藤武士, 澤地孝男, 瀬戸裕直, 佐藤健一, 高橋泰雄, 城田修司他: 高層集合住宅の風圧係数に関する風洞実験と実測の比較(その1)(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2分冊, pp.677-680, 2001. 9.
- 3) 丸田榮藏, 澤地孝男, 瀬戸裕直, 近藤武士, 佐藤健一, 高橋泰雄, 城田修司他: 自然換気・通風設計のための風圧予測手法に関する研究(その1)~(その9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002. 8~2004. 9.
- 4) 山中俊夫他: 超高層集合住宅のボイド空間内の風力換気に関する研究(その5)(その6)(その8)(その9)(その11), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995. 8~1998. 9.
- 5) 甲谷寿史他: 超高層集合住宅の吹き抜け空間(エアーコート)内換気に関する研究(その2)(その4)(その8)(その9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991. 9~1995. 8.
- 6) 早川真: 超高層集合住宅の中庭(エアーコート)の風力換気, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.891-892, 1998. 10.
- 7) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2004.
- 8) 藤村欽哉他: 高層建築における光庭空間内の温度分布と自然換気の実測, 日本建築学会大会梗概集, pp.1133-1134, 1987. 10.
- 9) 佐藤健一, 城田修司他: 自然風を利用した24時間換気システム(その1), 西松建設技報Vol.23, pp.23-26, 2000.