

平成 28 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境

研究期間：H28 ～ H29 [平成 28 年度で終了]

課題番号：152006

研究課題名（和文）：換気塔を利用した通風性能向上に関する研究

研究課題名（英文）：Improvement of cross-ventilation by a ventilation tower

研究代表者：倉渕 隆

交付決定額（当該年度）： 800,000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

住宅における温熱・空気環境の改善に、冷房や機械換気によらず、気候の良い中間期などには自然通風を活用することが考えられる。しかし、都市住宅では密集度が高く、壁対面開口では十分な通風が期待できない場合が多い。このような背景から屋根面を通風経路の一つとして利用する天窗や換気塔といった通風促進開口部を用いることによる通風・換気性能向上効果があることが知れている(図1)。但し、効果的な開口部の形状や設置位置については検討の余地がある。そこで、本研究ではまず風洞実験を行い、換気塔・屋根形状による通風への影響を把握するとともに、この結果を用いて流れの数値シミュレーション解析(以降 CFD 解析)の実条件との整合性を確認する。その後 CFD を用いて密集市街地における詳細なケース検討を行い、これらが通風性能に及ぼす影響を把握することを目的とする。



図1 換気塔

2. 研究の方法

2.1. 風洞実験

換気塔にアプローチする屋外風と流出開口部の風圧係数が換気塔の性能において重要な要素であるため、実験項目は対象建物屋根上における鉛直方向風速分布と閉め切り室内圧測定とした。

実験は東京工芸大学のエッフェル型風洞を用いて行い、住宅モデルは宇田川の標準モデル(縮尺 1/40)を使用した。なお屋根形状は切妻屋根とした(図2)。軒高を基準高さ($Z_0=0.1475\text{m}$)とし、接近流の軒高風速($V_0=7\text{m/s}$)を基準風速、それに基づく動圧を基準動圧とした。接近流は市街地を想定した 1/4 乗則に従うプロファイルとした。屋根上風速の測定に際しては換気塔を取り外した状態で行う(図3)。



図2 1/40 宇田川モデル模型

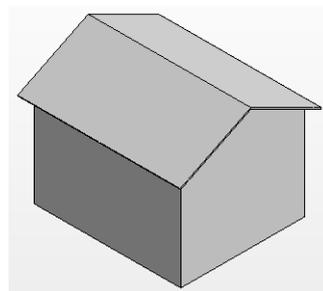


図3 模型アイソメ図

2.1.1. 屋根上鉛直方向風速分布測定

スプリットフィルムプローブを用いて屋根上鉛直方向風速分布を測定した。図4の通り風向角は2風向、測定位置は9点について高さ600mmまで測定を行った。

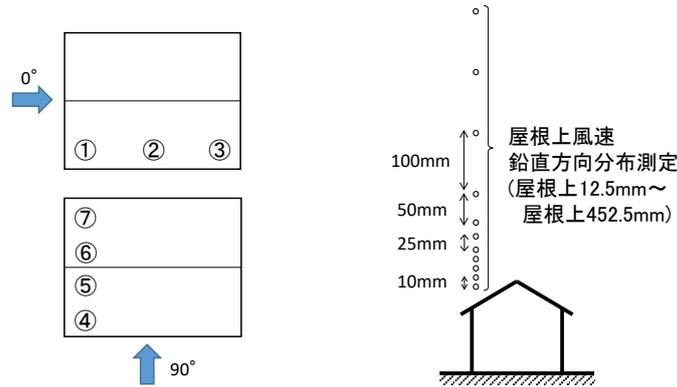


図4 風向角及び屋根上測定点と測定高さ

2.1.2. 換気塔風圧係数測定

屋根形状の違いや換気塔高さの違いが換気塔に作用する風圧力に及ぼす影響について検討するため、閉め切り室内圧法を用いて換気塔に作用する風圧力の検討を行った。閉め切り室内圧法は測定対象開口部のみを開放し、その状態で室内圧を測定する方法である。この測定方法を行うことで、測定した室内圧を測定対象開口部に作用する風圧力として考えることが出来る。本研究では換気塔開口部のみを開放し、換気塔に作用する風圧力 P_{vt} の測定をした(図5)。

圧力測定には32ch多点圧力計を用い、データ収録ソフトとしてmelon technos社製のEFRP-LTを用いた。測定ケースは3種類の換気塔高さ(実寸で2m, 3m, 4m)各々について、図6に示す風向角45°刻みの8風向で検討を行った。模型の寸法は図7に示す通りである。

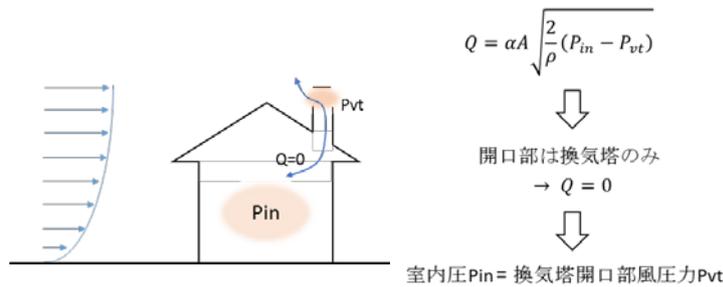


図5 閉め切り室内圧の概念

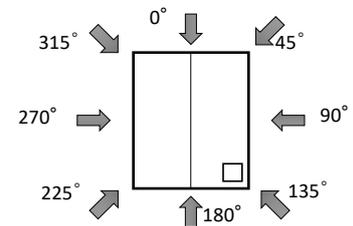


図6 検討風向角

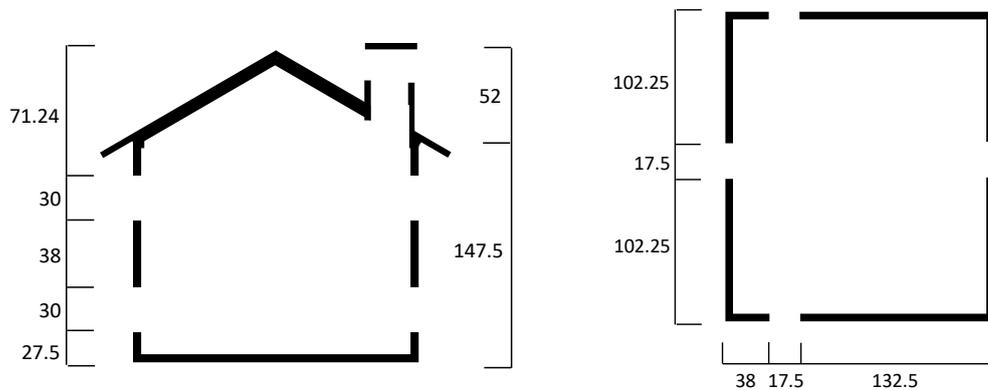


図7 1/40 模型寸法

2.2. CFD 解析

風洞実験を CFD で再現するため、上記の実験に対応する解析を行った。屋外気流解析に用いた解析領域とメッシュ概要を図 8、図 9 に示す。

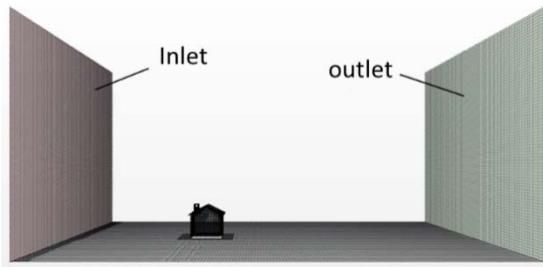


図 8 解析領域

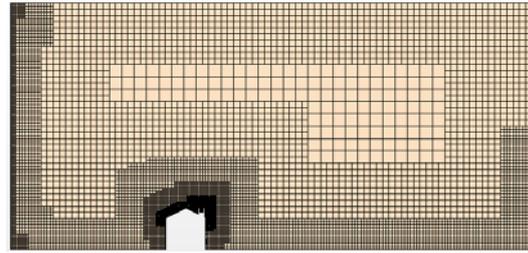


図 9 メッシュ概要

また流入開口と建物の影響を取り除いた状態で通風促進開口部の性能を測るため、解析領域は同一とし宇田川標準住宅モデルの寸法を参考に側面開口を取り除いたチャンバーモデルで検討を行った(図 10)。

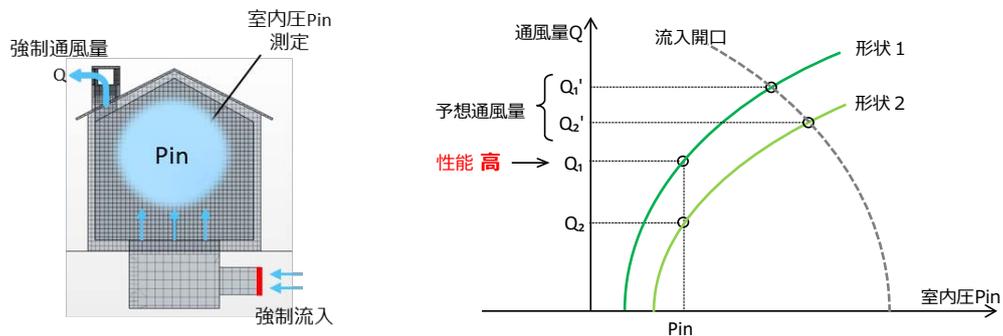
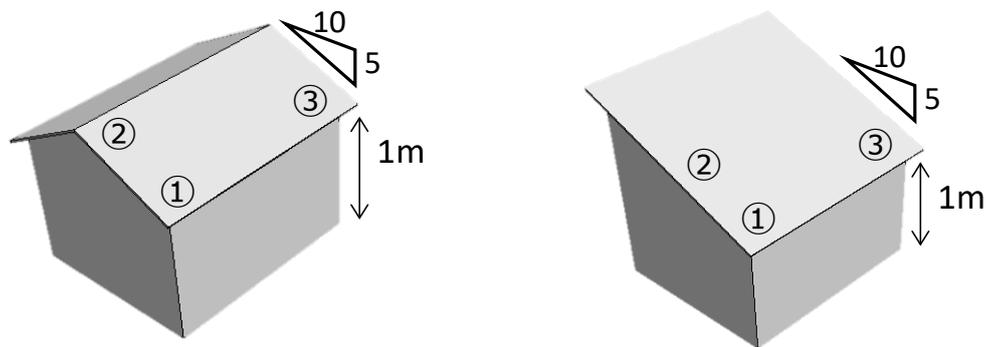


図 10 チャンバーモデル 概要

通風促進開口部の形状ごとに得られる室内圧と通風量の関係性は異なる。通風促進開口部を流出開口として用いることで、流出開口における風圧を小さくして換気駆動力を大きくすることが目的であることから、本研究では同一の室内圧に対して換気駆動力が大きいもの、つまり通風量が大きいものを通風性能が高いとみなす。

検討塔形状は、実寸軒高 6m に対して高さ 2m と 4m の換気塔および天窗の 3 要素とした。検討屋根形状は、5 寸勾配の切妻屋根と、屋根勾配・軒高さが切妻屋根と同一の片流れ屋根の 2 種類(図 11)とし、開口部の設置位置に関しては図 11 に①～③で示す 3 か所を検討した。また、周辺街区を考慮し、グロス建蔽率 30% と 50% の整列街区を想定して検討を行った。



切妻屋根

片流れ屋根

図 11 検討屋根形状と通風促進開口部の設置位置

3. 研究成果

3.1. 屋根上鉛直方向風速分布測定

屋根上面鉛直方向風速分布について、図 12、13 に位置①と位置④についての屋根上鉛直方向風速分布 (u, v, w 成分)の風洞実験結果と CFD 検討結果を併せて示す。妻側が風上となる位置①では平側が風上となる位置④と比較して Z/Z_0 が小さい位置での u 成分が大きくなっている。これは風上側の軒付近での剥離による風速拡大によるものと考えられる。また屋根の斜面に合わせてそれぞれ Z/Z_0 が小さい位置での v 成分、 w 成分も大きくなっているが、 u 方向のベクトルが支配的な流れとなっていることがわかる。またこの結果より屋根上鉛直方向風速分布について、概ね風洞実験結果と CFD 解析結果の整合性が取れていることが確認できた。

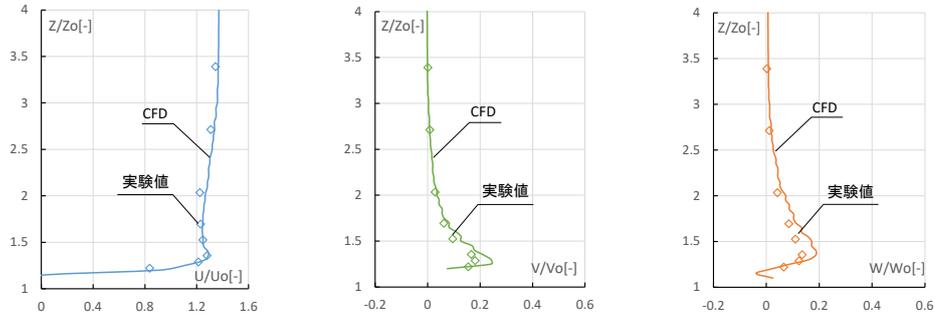


図 12 位置① 屋根上鉛直方向風速分布 (u, v, w)

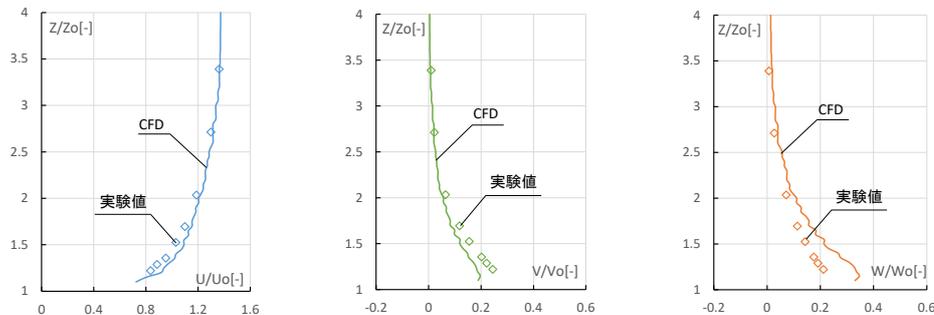


図 13 位置④ 屋根上鉛直方向風速分布 (u, v, w)

3.2. 換気塔風圧係数測定

換気塔の風圧係数について、図 14、図 15 に換気塔高さ 2m と 4m の風洞実験結果と CFD 検討結果を併せて示す。高さ 2m の換気塔を設置した場合は、風向角 180° の値が最も小さく、風向角 0° の値が最も大きくなっている。これは、軒の剥離の影響で屋根上の静圧が低下するためであると考えられる。一方、高さ 4m の換気塔を設置した場合は、上空の気流速度が大きいため、風向角 0° の値が小さくなり、風向角 315° の値が最大となっている。またこの結果より換気塔の風圧係数についても、概ね風洞実験結果と CFD 解析結果の整合性が取れていることが確認できた。

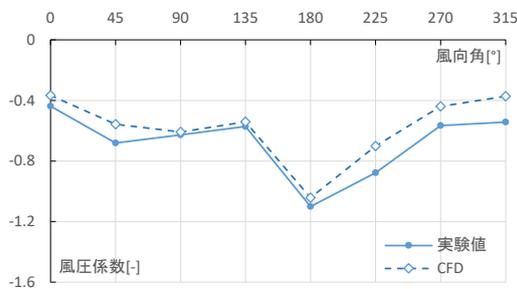


図 14 換気塔の風圧係数 (換気塔高さ 2m)

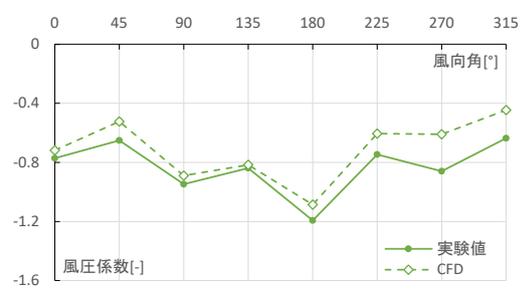


図 15 換気塔の風圧係数 (換気塔高さ 4m)

3.3. チャンバーモデルによる検討

本研究では、密集市街地における通風性能の改善を目的としているため、代表的な都市住宅地である東京を例に、夏季における卓越風を考慮し、通風促進開口部の性能検討を行う。このことから、昼の風向は南、夜の風向は南西として設定する。切妻屋根においては夏季の通風確保や日射遮蔽、冬季の日射取得を考慮し、南北流れに、片流れ屋根においては太陽熱・太陽光発電の利用等を考慮し、南流れに設定する。これより図 16 に示すように風向角を仮定した。

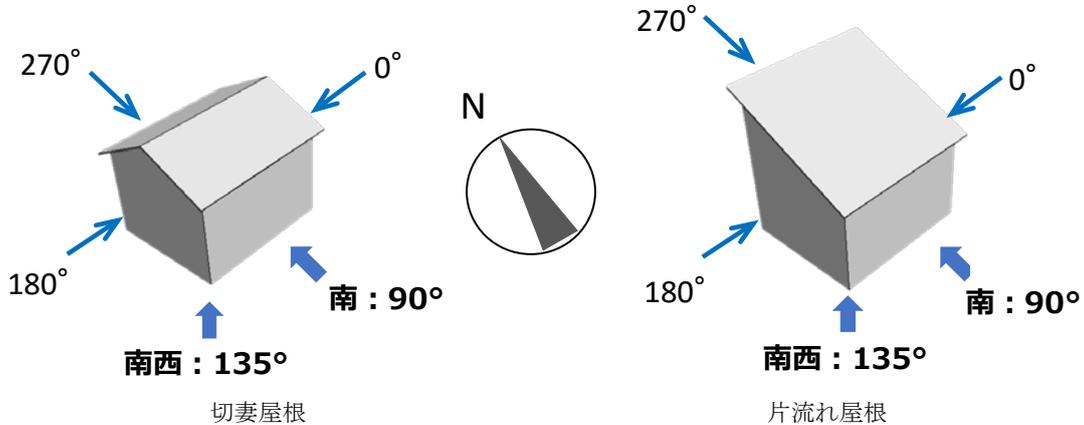


図 16 設定風向角

3.3.1. 切妻屋根の検討

切妻屋根について建蔽率ごとに 3 種類の開口部を設置した場合の解析結果を、壁面開口についての流入・流出開口としての窓開口の P-Q 特性曲線と合わせて比較検討する。図 17, 18 に風向角 90° の結果を示す。

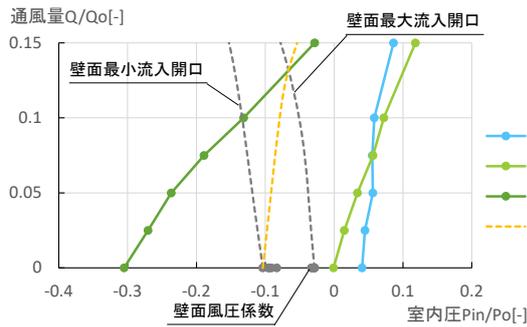


図 17 グロス建蔽率 30%

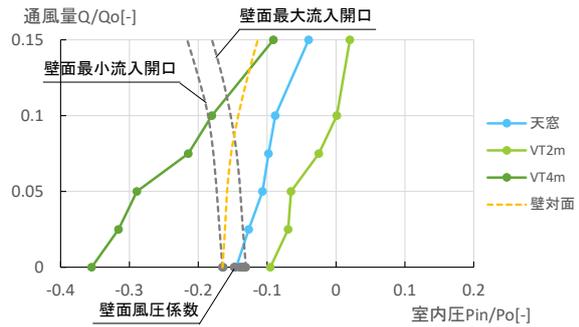


図 18 グロス建蔽率 50%

風向角 90° においては、密集度が低い場合は、高さ 4m の換気塔を設置したケースが最も性能が高くなる。天窗と高さ 2m の換気塔を設置したケースはどちらも同等の性能となるがこれらは壁面流入開口のグラフと交差しないため流出開口として機能しない。また壁対面での通風に関しては、通風量が最も大きくなる窓開口同士の組み合わせでは、換気塔と同程度の性能となった。密集度が高い場合では、壁対面では性能が落ちるが換気塔 4m を設置したケースでは高い性能を維持した。図 19 に換気塔高さ 2m と 4m の屋根上静圧分布を、図 20 に 4m の塔頂部付近の気流分布を示す。換気塔高さが高くなると、屋外気流が換気塔に直接衝突し開口部付近で剥離が発生、流出開口部付近で低い静圧となり高い性能が維持されたと考えられる。また、同様の傾向が風向角 135° でも確認された。

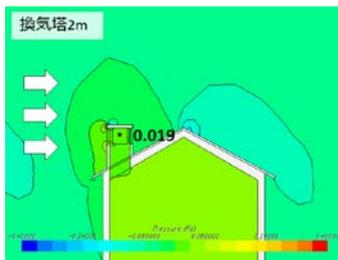


図 19 切妻風向角 90° 屋根上静圧分布

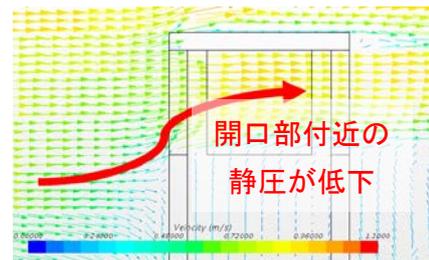
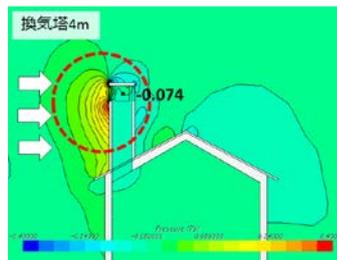


図 20 換気塔高さ 4m 気流分布

3.3.2. 片流れ屋根の検討

通風促進開口部の検討形状、設置位置は切妻屋根と同一とし、屋根形状を片流れとして検討した。図 21, 22 に風向角 90° の解析結果を示す。

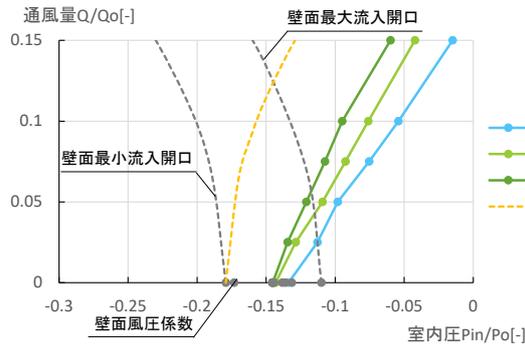


図 21 グロス建蔽率 30%

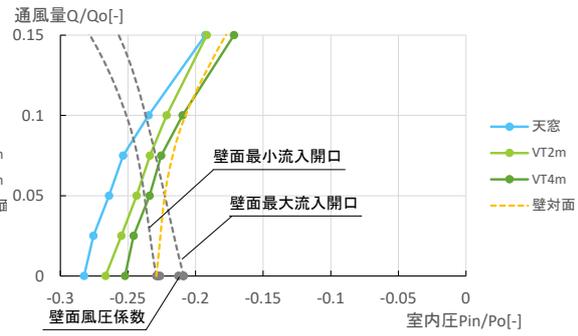


図 22 グロス建蔽率 50%

風向角 90° においては、密集度が低い場合は流入開口部の位置によっては流出しない場合もあるが、天窓、換気塔高さ 2m、4m の順で性能が高くなった。一方、密集度が高い場合は、いずれのケースも屋根面の開口部から流出するが、換気塔高さ 4m、2m、天窓の順に性能が高くなった。

図 23 に換気塔高さ 2m と 4m の屋根上静圧分布を、図 24 に天窓の開口部付近の気流分布を示す。

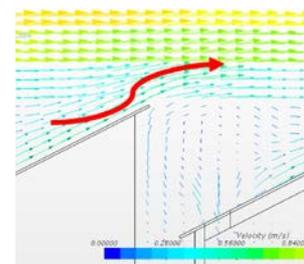
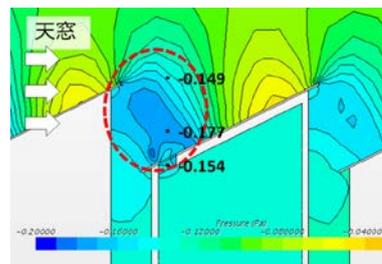
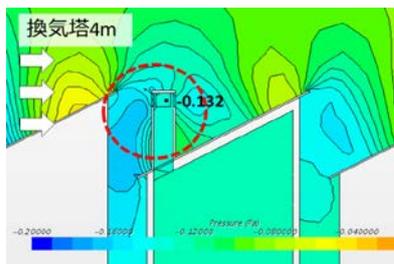


図 23 片流れ風向角 90° 屋根上静圧分布

図 24 天窓付近気流分布

密集度が高いと隣棟間隔が狭くなるため、風上に建つ周辺建物の軒で発生する剥離により生じる負圧域に開口部が入っていることがわかる。これより、屋根面に近いほど静圧が低下しているため、換気塔よりも天窓の方が性能が高くなったと考えられる。

また風向角 135° では密集度によらず天窓より換気塔の方が性能が高くなったが、いずれも流入開口部の位置によっては屋根面から流出しない場合もあることが確認された (図 25, 26)。

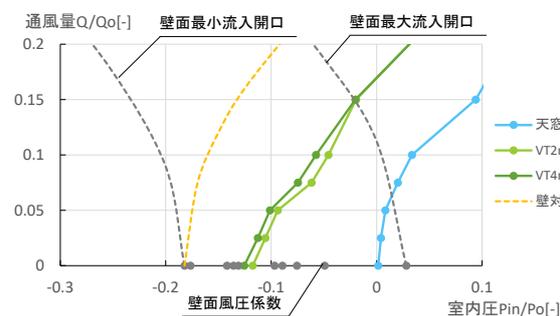


図 25 グロス建蔽率 30%(135°)

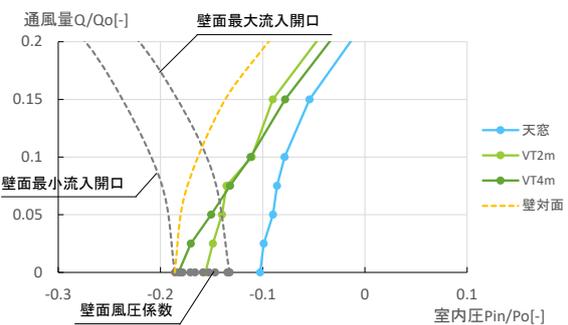


図 26 グロス建蔽率 50%(135°)

3.3.3. 通風促進開口部の設置位置検討

前項の検討から、高さ 4m の換気塔を設置した場合に最も性能が高く、開口部高さが高いほど性能が向上することから、換気塔の設置位置を変化させる検討を行った。検討ケースはグロス建蔽率 30%・高さ 4m の換気塔を設置した場合において屋根形状・風向角ごとに図 16 に示す位置に設置したケースとする。はじめに、切妻屋根において風向角ごとに比較した結果を図 27, 28 に示す。

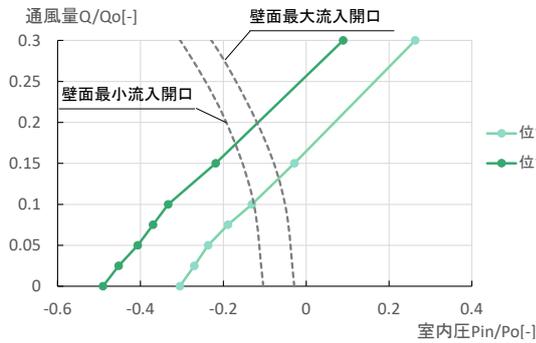


図 27 風向角 90°

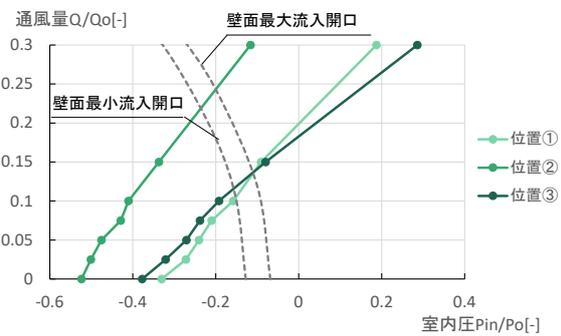


図 28 風向角 135°

どちらの風向角も換気塔を屋根上端に設置した位置②の性能が高くなっていることがわかる。しかし、換気塔を風下の設置した位置③は位置①と同等となり、性能が向上しなかった。また、いずれのケースも 4m の換気塔を設置すると、屋根面から流出することが確認された。

次に、片流れ屋根において風向角ごとに比較した結果を図 29, 30 に示す。

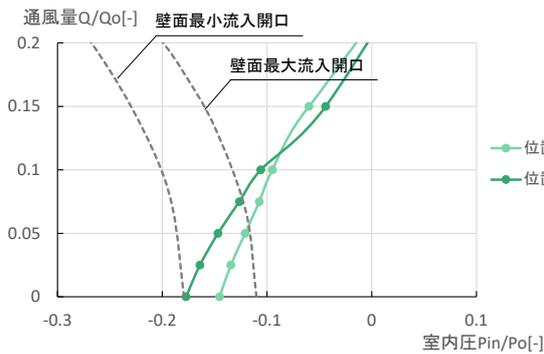


図 29 風向角 90°

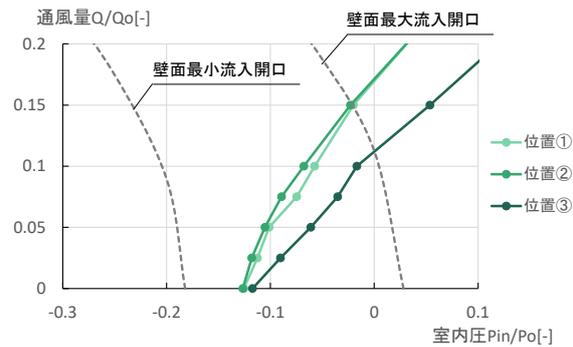


図 30 風向角 135°

片流れ屋根においても、換気塔を屋根上端付近に設置した位置②のケースが最も性能が高くなっているが、切妻屋根に比べると向上しなかった。また、風下に設置した位置③は同等または低下した。これより、通風促進開口部の性能向上には屋外気流が換気塔に衝突し発生した剥離により開口部付近の静圧が低下することが大きな要因であると推測される。

以上、本研究より以下の知見が得られた。

1. 既往研究により陸屋根における屋根面を活用した自然通風は効果が確認されていたが、勾配屋根においては屋根面の開口部が必ずしも効果を示すとは限らない。
2. 屋外気流が換気塔に衝突し発生する剥離の影響で開口部付近の静圧が低下することで性能が向上する。
3. 風上に建つ周辺建物により発生する剥離の影響で屋根上の静圧が低下することで性能が向上する。
4. 以上より、開口部が屋根の最上端より上空に位置する高さの換気塔を設置する、または屋根上端付近に換気塔を設置することで、屋根面を活用した通風促進開口部の効果が顕著にみられる。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

(1) 戸田雄大、鷹野亮、倉渕隆、水谷国男、野中俊宏、滝澤正玄：密集市街地における換気塔を利用した自然通風促進・換気量改善に関する研究（その3），日本建築学会大会学術講演梗概集(2016)

(2) 鷹野亮、戸田雄大、倉渕隆、水谷国男、野中俊宏、滝澤正玄：密集市街地における換気塔を利用した自然通風促進・換気量改善に関する研究（その4），日本建築学会大会学術講演梗概集(2016)

(3) 戸田雄大、倉渕隆、水谷国男、野中俊宏、鷹野亮：自然通風を目的とした換気塔の通風性能に及ぼす影響要素に関する研究，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2016)

(4) Ryo Takano, Takashi Kurabuchi, Sihwan Lee: Research on the grasp of cross-ventilation performance by using the ventilation tower in residential buildings, Clima(2016)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

[図書] (計 0 件)

[その他，産業財産権，ホームページ等]

研究集会資料「換気塔を利用した通風性能向上に関する研究集会」

5. 研究組織

(1) 研究代表者

倉渕 隆 東京理科大学・工学部・教授

(2) 研究分担者

鷹野 亮 東京理科大学・工学部・院生
妙木 麻紋 東京理科大学・工学部・院生
井上 洋輔 東京理科大学・工学部・院生
川島 教城 東京理科大学・工学部・院生
長島 映璃 東京理科大学・工学部・院生
戸田 雄大 東京理科大学・工学部・院生
志村 麻梨絵 東京理科大学・工学部・院生
中村 琢郎 東京理科大学・工学部・院生
中島 正登 東京理科大学・工学部・院生
久野 雅崇 東京理科大学・工学部・院生
宮嶋 舞佳 東京理科大学・工学部・院生
阿部 結花 東京理科大学・工学部・卒研究生
荒田 真希 東京理科大学・工学部・卒研究生
石原千妃呂 東京理科大学・工学部・卒研究生
川俣 一輝 東京理科大学・工学部・卒研究生
剣持 翔太 東京理科大学・工学部・卒研究生
駒木根颯介 東京理科大学・工学部・卒研究生
永繁 和也 東京理科大学・工学部・卒研究生
村田 麗名 東京理科大学・工学部・卒研究生
水谷 国男 東京工芸大学・工学部・教授
塚本 健二 佐藤工業（株）
張 偉榮 東京工芸大学・工学部・准教授

