

風力換気促進装置を有する住宅の換気性能に関する研究
 (第6報) 越屋根の勾配が換気特性曲線及び年間換気量に及ぼす影響

Ventilation Performance of Residential Buildings with a Device Promoting Passive Ventilation
 (Part 6) Effect of Monitor roof Pitch on p-Q Curve and Annual Ventilation Rate

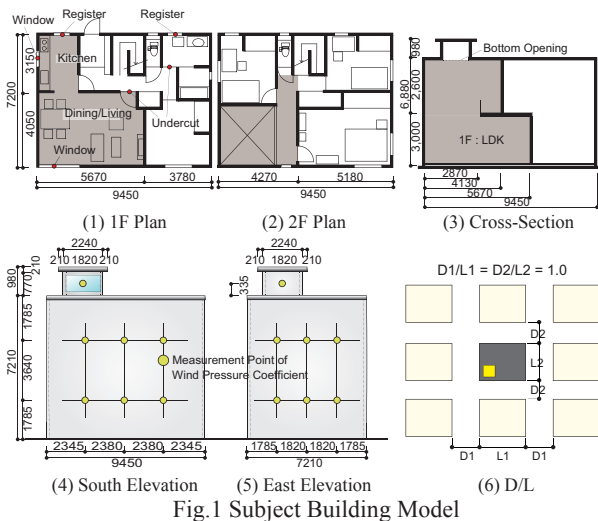
○越 智 実 登 (大阪市立大学) 小林 知 広 (大阪市立大学)
 梅 宮 典 子 (大阪市立大学)

Manato Ochi*1 Tomohiro KOBAYASHI*1 Noriko UMEMIYA*1
 *1 Osaka City University

The objective of this work is to evaluate the ventilation performance of residential buildings with a device promoting natural ventilation. This paper focuses on the effect of a monitor roof pitch on the p-Q characteristics and annual ventilation rate. Therefore, the natural ventilation rate is calculated throughout the year based on the p-Q characteristics obtained from CFD for the case of flat-roof and that from wind tunnel test for pitched-roof.

1. 研究の背景と目的

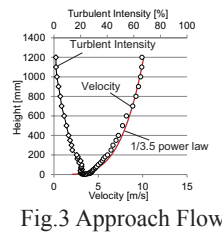
住宅の高気密・高断熱化が進み、風圧係数差が小さい密集市街地では自然換気量の確保が難しいため、本研究では自然換気の促進が期待できる越屋根に注目している。越屋根は風向や風量により全体の抵抗係数が複雑に変化するため換気量の予測にはp-Q特性が必要となる^{文1)}。小林ら^{文2,3)}は風洞実験により勾配越屋根のp-Q特性を作成し、算出された風圧係数を用いて換気量を算出し、CFDにより換気量算定手法の妥当性及び越屋根を用いた換気性状の検証及び評価を行った。それに基づき竹本ら^{文4)}は現実的な換気経路において年間換気量計算を行っているが、異なる屋根勾配では換気計算は行われていない。本研究では屋根勾配のケーススタディとして最もp-Q特性が変化すると考えられる勾配0°(以降、陸屋根型越屋根)の条件に関してCFDによりp-Q特性を作成する。解析する上で越屋根付設住宅に関するCFDの精度検証を行い、その後作成したp-Q特性を用いて年間換気量計算を行い勾配越屋根条件と比較する。なお、本研究ではFig.1に示す住宅を対象に検討を行う。



2. 越屋根付設住宅に関するCFDの精度検証

2.1 解析概要

越屋根付設住宅に関するCFD解析の精度検証を目的とし、既往実験^{文5)}を再現してFig.2の建物外壁面の風圧係数を算出し、実験値の風圧係数と比較する。アプローチフローの平均風速及び乱流強度をFig.3に、CFDの解析条件をTable1に示す。



CFD code	Ansys Fluent 14.5
Turbulence Model	Standard k-ε Model Reynolds Stress Model
Boundary Condition	Inlet: Velocity, k, ε : Based on Wind Tunnel Test
	Outlet: Gauge Pressure: 0 [Pa]
Wall	Standard Wall Function
Roughness degree	1/3.5 power law
Convergence condition	10 ⁻⁵
Wind direction	0°/45°/90°
Total number of Grids	2,186,804

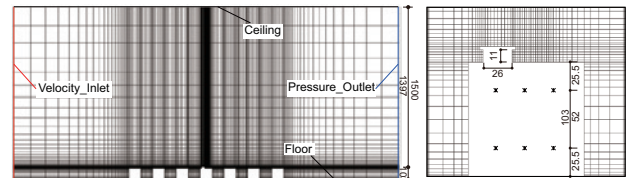


Fig.2 Calculation Domain and Evaluation point of Cp value

2.2 検証結果

風圧係数の実測値^{文5)}と計算値をFig.4に示す。風圧係数の分布性状としてその傾向が良く再現されており、乱流モデルでは応力方程式モデルに比べ標準k-εモデルが実験値に近い結果となった。

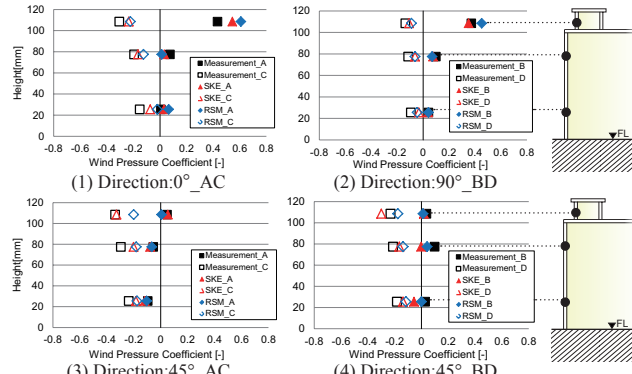


Fig.4 Comparison of Cp value between CFD and Measurement

3. CFD 解析による越屋根の p-Q 特性の作成

3.1 p-Q 特性

越屋根の p-Q 特性は越屋根付建設物模型の越屋根開口部両側のみに開口を設け、室下部から強制的に給排気を行うことで、室内圧と越屋根基部通過風量の関係を求め、室内圧を外部風による速度圧、越屋根基部通過風量を越屋根基部面積及び外部風速により無次元化して表現する。このときの無次元室内圧 (P_i^*) と無次元基部風量 (Q_{mo}^*) の関係が越屋根の換気特性を表すことになる。

3.2 解析概要

室下部に強制給排気を行う風洞実験を再現した CFD 解析により、風向 0° 、 45° 、 90° における陸屋根型越屋根に関する p-Q 特性を作成する。CFD の解析条件を Table2 に、解析領域を Fig.5 に示す。アプローチフローの平均風速及び乱流強度は Fig.3 と同様の条件で解析を行った。なお乱流モデルは、2章で精度が高かった標準 k-ε モデルを使用した。

Table2 CFD Condition

CFD code	Ansys Fluent 14.5
Turbulence Model	Standard k-ε Model
Boundary Condition	Inlet1 Velocity, k, ε: Based on Wind Tunnel Test Forced supply/exhaust : $Q^* = 1.0 \sim 1.0$
	Inlet2 Turbulent Intensity: 1.0% Turbulent Length: 7.9655 [mm]
	Outlet Gauge Pressure: 0 [Pa]
	Wall Standard Wall Function
Roughness degree	1/3.5 power law
Convergence condition	10^{-5}
Wind direction	$0^\circ/45^\circ/90^\circ$
Total number of Grids	2,097,148

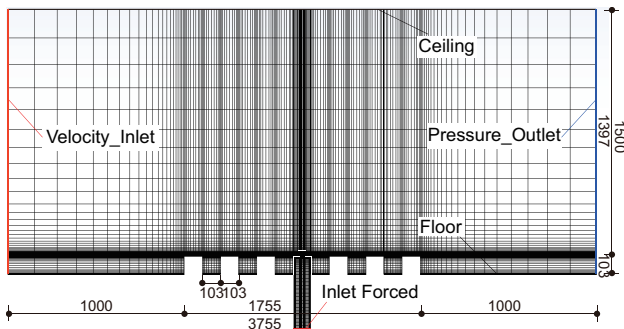


Fig.5 Calculation Domain

3.3 解析結果

Fig.6 に CFD により得られた陸屋根型越屋根及び風洞実験により得られた勾配越屋根の p-Q 特性を示す。最も p-Q 特性が変化すると考えられる両者の傾向に大きな差がないことが確認されたが、現実的に頻度が高いと考えられる無次元室内圧が ± 1 程度の領域では風向 45° で比較的大きな差が生じている。このため、風向だけでなく屋根勾配によっても p-Q 特性を使い分ける必要があると言える。

4. 年間換気量計算

4.1 換気量計算概要

拡張アメダス標準年データ及び既往研究^{文5)}の風圧係数及び p-Q 特性に基づき、風力と重力を考慮し

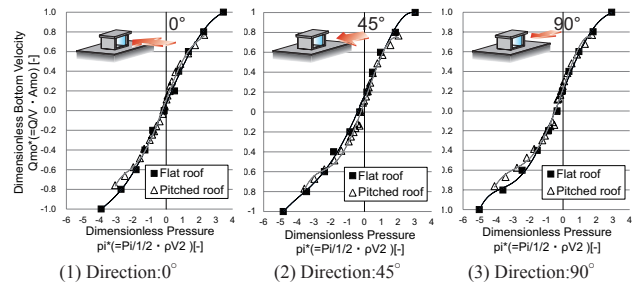


Fig.6 p-Q Curves for Flat and Pitched roof

た年間換気量計算を行う。前章で算出した無次元の p-Q 関係をグラフにプロットして多項式近似を行い、得られた近似式の係数を用いてアメダス気象データの時刻ごとに有次元の p-Q 関係に戻し、基部通過風量 (Q_{mo}) を室内圧 (P_i) の関数として表す。なお、本研究では多項式近似については、全ケースにおいて 5 次式近似とする。換気経路は、換気を想定した 150φ レジスター (RS) - アンダーカット (UC) - UC - 越屋根 (Case1)、100φRS - UC - UC - 越屋根 (Case2)、150φRS - UC - UC - L 側窓 (Case3)、LDK150φRS - 越屋根 (Case4)、通風を想定した L 側窓 - 越屋根 (Case5)、L 側窓 - K 側窓 (Case6) の 6 パターンとした (Fig.7)。越屋根を換気経路に含む条件では片側開放と両側開放を考慮する。計算に用いる風圧係数及び開口条件を Table3 及び Table4 に示す。なお、片側開放条件では越屋根通過時の曲がり抵抗と拡大/縮小の抵抗を考慮した。

(1) 風力換気: 圧力損失を考慮し越屋根片側開口時と両側開口時を計算する。両側開口時の換気量計算に

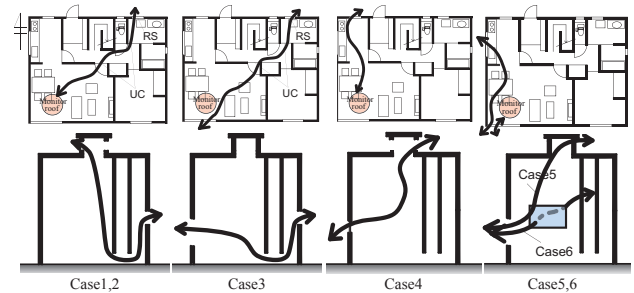


Fig.7 Natural Ventilation Flow Path

Table3 Wind Pressure Coefficient for Each Wind Direction

Wind direction	Wind Pressure Coefficient				
	Register	Monitor roof (South)	Monitor roof (North)	Living Window	Kitchen Window
N	-0.041	-0.177	0.430	-0.090	-0.103
NE	-0.072	-0.290	0.040	-0.163	-0.191
E	-0.107	-0.253	-0.251	-0.077	-0.095
SE	-0.343	0.047	-0.338	-0.103	-0.183
S	-0.089	0.432	-0.306	0.003	-0.075
SW	-0.165	-0.088	-0.517	-0.070	0.055
W	-0.076	-0.367	-0.364	-0.108	0.055
NW	-0.121	-0.431	-0.100	-0.348	0.020

Table4 Area, Resistance and Height of Opening

	Area [m ²]	Discharge Coefficient [-]	Height above GL [m]
Monitor Roof	1.4×1.4	p-Q curve	5.9
Side Window	1.4×0.7	0.65	6.4
Living Window	0.98	0.65	1.4
Kitchen Window	0.98	0.65	1.4
Undercut	90×1.5×10 ⁻⁴	0.65	-
Register 150φ	0.05×0.05×π	0.434	1.6
Register 100φ	0.075×0.075×π	0.429	1.6

は、3章で作成した越屋根の p-Q 特性を用いる。
 (2) 風力+重力換気: 圧力損失を考慮し風力と重力を考慮した年間換気量計算を行う。室内温度は夏期(6~9月)、中間期(4~5、10~11月)、冬期(12~3月)によって26、24、22°Cと季節毎に一定とした。なお、両側開放時の計算では越屋根基部高さの室内圧と静止外気圧をそれぞれ P_i と基準静圧とすることにより p-Q 特性は温度によらず共通の式を用い、風向変化の場合のみ異なる p-Q 特性を用いた。

4.2 換気量計算結果と考察

Fig.8にCase1~6における風力換気、風力+重力換気計算の換気回数[回/h]の年間換気計算結果を示す。ここで、Case6では両側窓の床面高さを等しくしたため重力の影響はない。なお、本研究で対象としたLDKは、天井高が5.8[m]を超える居室であり、建築基準法で求められる24時間換気の換気回数は0.2[回/h]となる。Case1、2において、150φRS、100φRSでそれぞれ約0.3[回/h]、0.2[回/h]の換気回数を得られたことから、レジスターの直径は換気性能に大きく影響することが確認された。Case1に対しCase4において、越屋根の近くにレジスターを設置し単室換気経路とすることで平均で0.5[回/h]、年間を通して常に0.2[回/h]以上の換気回数を得られた。Case1、Case3においてレジスターやアンダーカットを通した場合、換気経路に越屋根

を含むことで風力換気のみを考慮すれば約2倍、風力+重力換気を考慮すれば約3.6倍の換気回数を得られた。同様にCase5、Case6において単室換気経路の場合、換気経路に越屋根を含むことで風力換気のみを考慮すれば約1.3倍、風力+重力換気を考慮すれば約3.2倍の換気回数を得られた。Case1とCase3の関係から換気促進効果、Case5とCase6の関係から通風促進効果が確認されたと言える。Table5に換気量 $Q[m^3/h]$ 及び換気回数[回/h]の年間平均値をまとめて示す。

5. 勾配越屋根との換気性能の比較

5.1 比較手法

陸屋根型越屋根と勾配越屋根における換気性能を比較するため、基部面積と越屋根鉛直側窓面積を統一して検討を行う。ただし、ここでは勾配越屋根と陸屋根型越屋根で軒高を統一することとし、傾斜のため基部高さは勾配越屋根の方が必然的に大きくなっている。Fig.9及びTable6に、それぞれの断面図及び計算条件を示す。また換気回数の算定においては室容積は陸屋根型越屋根、勾配越屋根条件ともに100.9[m²]とし、越屋根の内部及び小屋組部は室容積に含めなっていない。

5.2 計算結果と考察

Fig.10にCase1~6における風力換気、風力+重力換気の換気回数[回/h]の年間計算結果を示す。

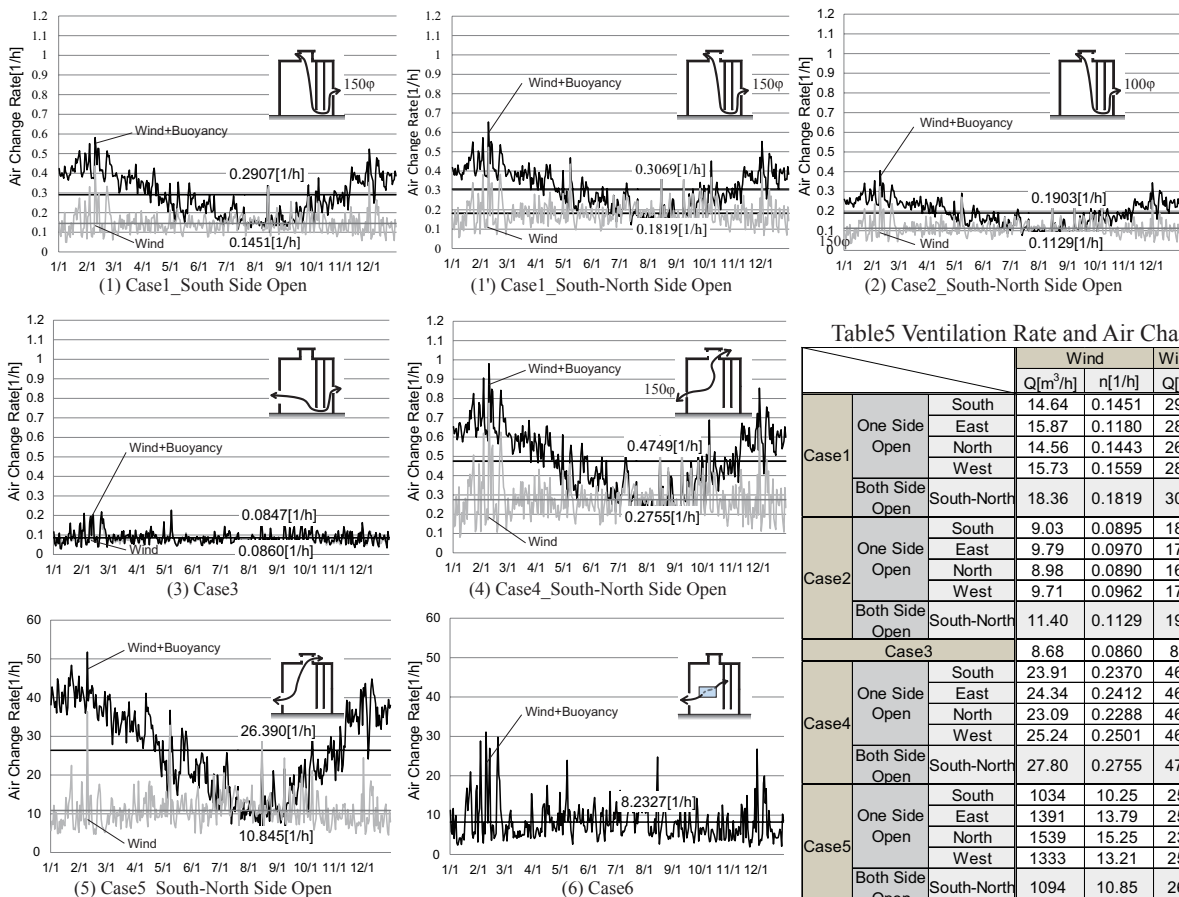


Fig.8 Air Change Rate throughout the Year (Flat roof)

		Wind		Wind + Buoyancy		
		Q[m ³ /h]	n[1/h]	Q[m ³ /h]	n[1/h]	
Case1	One Side Open	South	14.64	0.1451	29.33	0.2907
		East	15.87	0.1180	28.11	0.2785
		North	14.56	0.1443	26.50	0.2626
	West	15.73	0.1559	28.82	0.2856	
Both Side Open	South-North	18.36	0.1819	30.97	0.3069	
Case2	One Side Open	South	9.03	0.0895	18.06	0.1790
		East	9.79	0.0970	17.31	0.1715
		North	8.98	0.0890	16.32	0.1617
	West	9.71	0.0962	17.75	0.1759	
Both Side Open	South-North	11.40	0.1129	19.21	0.1903	
Case3			8.68	0.0860	8.55	0.0847
Case4	One Side Open	South	23.91	0.2370	46.39	0.4597
		East	24.34	0.2412	46.63	0.4621
		North	23.09	0.2288	46.73	0.4631
	West	25.24	0.2501	46.57	0.4615	
Both Side Open	South-North	27.80	0.2755	47.93	0.4750	
Case5	One Side Open	South	1034	10.25	2556	25.33
		East	1391	13.79	2500	24.78
		North	1539	15.25	2361	23.40
	West	1333	13.21	2539	25.16	
Both Side Open	South-North	1094	10.85	2663	26.39	
Case6			830.8	8.233	-	-

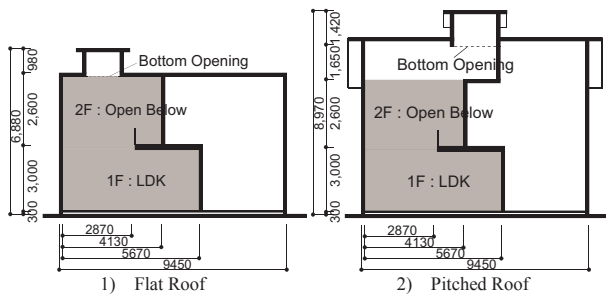


Fig.9 Cross-Section of Subject Building Model

Table6 Comparison of Area, Height and Room Volume

		Flat Roof	Pitched Roof
Area [m ²]	Monitor Roof	1.4×1.4	1.77×1.11
	Side Window	1.4×0.7	1.77×0.555
Height [m]	Monitor Roof	5.9	7.5
	Side Window	6.4	8
Room Volume for air change rate [m ³]		100.9	100.9

風力換気のみの場合、各 Case において陸屋根型越屋根と勾配越屋根条件の換気回数には大きな差が見られなかったが、アメダスデータにおいて発生頻度の高い風向において、各開口部における風圧係数差の絶対値が大きい条件の方が換気回数が多い結果となった。一方、風力+重力換気では、全 Case において越屋根基部高さの大きい勾配越屋根を用いることで、陸屋根型越屋根に比べ換気回数が多い結果となり、重力換気が換気回数に大きく影響することが示された。

6. まとめ

本報では、CFD 解析により陸屋根型越屋根の p-Q 特性を作成し、それに基づき異なる屋根勾配において年間換気量計算を行った。風力換気において換気駆動力の高い陸屋根が、風力+重力換気において勾配屋根が大きい換気回数を得る結果となった。また屋根勾配に関わらず越屋根を換気経路に含む場合、複雑な経路において 0.3[回/h] 以上、単室経路において 0.5[回/h] 以上の換気回数を得られた。本研究で対象としている住宅において建築基準法で設置が義務付けられる 24 時間換気装置の換気回数を考慮すれば、越屋根は自然換気口と併用することでパッシブな自然換気補助装置として十分期待できると言える。

[参考文献]

- 文 1) 石原正雄：建築換気設計，朝倉書店 1969
- 文 2) 小林知広他：勾配屋根を有する独立住宅に設置された越屋根の換気特性、日本建築学会環境系論文集、第 653 号、pp.595-601、2010.7
- 文 3) T.Kobayashi et al. : Evaluation of Ventilation Performance of Monitor roof in Residential Area based on CFD Analysis, *Building and Environment*, vol.63, pp.20-30, 2013.5
- 文 4) 竹本梨花他：風力換気促進装置を有する住宅の換気性能に関する研究 (第 5 報)、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、pp.309-312、2014.3
- 文 5) 長田啓志他：風力換気促進装置を有する住宅の換気性能に関する研究 (第 1 報)、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、pp.1151-1154、2011.9

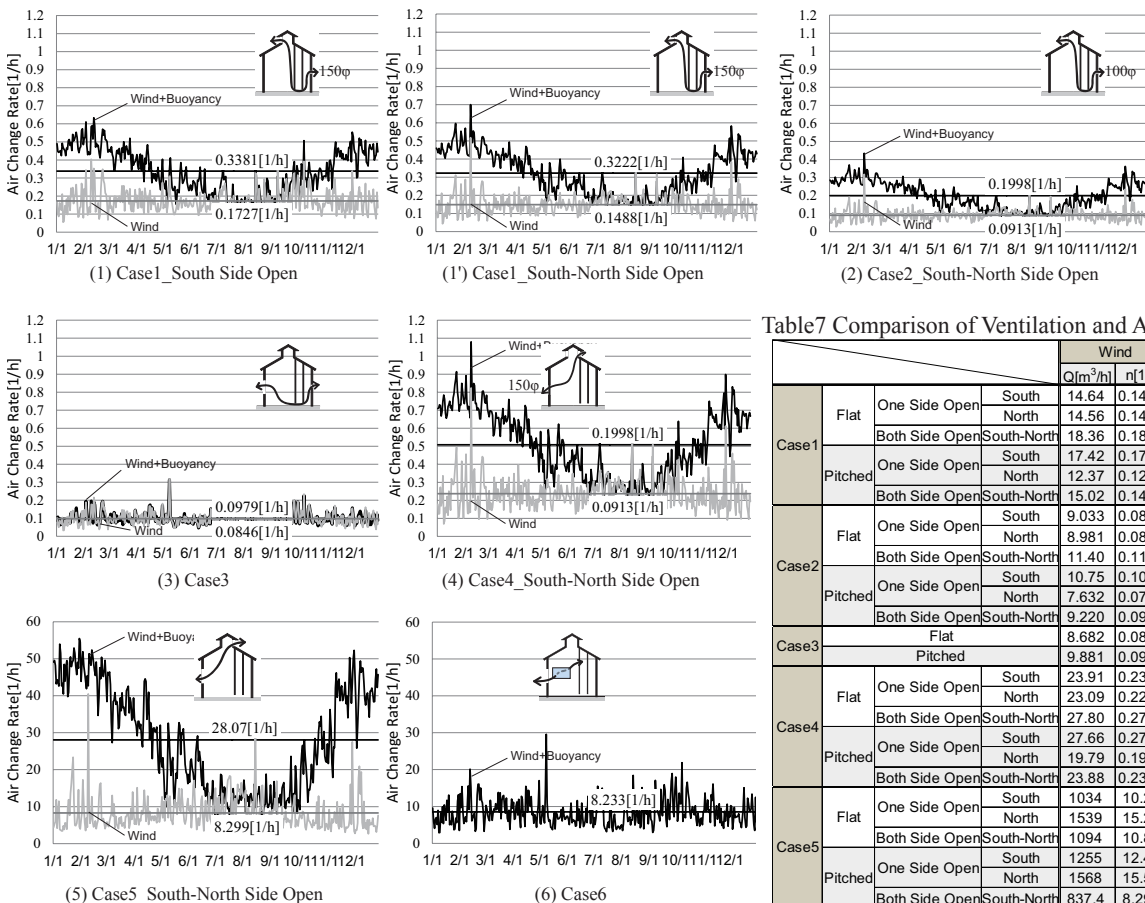


Fig.10 Air Change Rate throughout the Year (Pitched roof)

Table7 Comparison of Ventilation and Air Change Rate

				Wind		Wind+Buoyancy	
				Q[m ³ /h]	n[1/h]	Q[m ³ /h]	n[1/h]
Case1	Flat	One Side Open	South	14.64	0.1451	29.33	0.2907
			North	14.56	0.1443	26.50	0.2626
	Both Side Open	South-North	18.36	0.1819	30.97	0.3069	
		South-North	17.42	0.1727	34.12	0.3381	
Case2	Flat	One Side Open	South	9.033	0.0895	18.06	0.1790
			North	8.981	0.0890	16.32	0.1617
	Both Side Open	South-North	11.40	0.1129	19.21	0.1903	
		South-North	10.75	0.1065	21.01	0.2082	
Pitched	One Side Open	South	7.632	0.0756	18.55	0.1838	
	Both Side Open	South-North	9.220	0.0914	20.16	0.1998	
Case3	Flat			8.682	0.0860	8.547	0.0847
	Pitched			9.881	0.0979	9.975	0.0989
Case4	Flat	One Side Open	South	23.91	0.2370	46.39	0.4597
			North	23.09	0.2288	46.73	0.4631
	Both Side Open	South-North	27.80	0.2755	47.93	0.4750	
		South-North	27.66	0.2741	53.87	0.5338	
Case5	Flat	One Side Open	South	19.79	0.1962	54.11	0.5363
			North	23.88	0.2367	51.31	0.5085
	Both Side Open	South-North	1034	10.25	2556	25.33	
		South-North	1539	15.25	2361	23.40	
Pitched	One Side Open	South	1094	10.85	2663	26.39	
	Both Side Open	South-North	1255	12.44	2946	29.20	
Case6	Flat	One Side Open	South	1568	15.54	2643	26.19
			North	837.4	8.299	2832	28.07
Case6	Flat			830.8	8.233	-	-
	Pitched			860.6	8.529	-	-