

強風被害低減のための耐風設計の高度化に関する研究

Study on Advanced Wind Resistant Design to Reduce Wind Damage

原田 雅俊*¹ 伊藤 真二*¹
Masatoshi Harada Shinji Ito

要旨

建築物の強風被害の多くは、屋根葺き材や窓ガラスなどの外装材に発生している。これらの強風被害を未然に防ぐためには、対象となる外装部位ごとに適切なピーク風力係数を設定して外装材用風荷重を求める必要がある。外装材用風荷重を求める際に必要なピーク風力係数は、建設省告示 1458 号¹⁾や建築物荷重指針²⁾などの基規準に例示された値を用いるか風洞実験によって定めることができる。しかし、庇や目隠し壁など、これらの基規準に数値が例示されていない外装部位もある。本報告では、基規準に数値が示されていないもののうち、設計者からの要請が特に強かった 3 ケースに関する風洞実験を行い、耐風設計の精度をより向上させるための基礎資料を作成したので報告する。

キーワード：外装材 強風被害 耐風設計 ピーク外圧・風力係数 風洞実験

1. はじめに

写真 1 は、台風による建築物の被害事例³⁾である。建築物の強風被害は、外装材に多く発生しているというのが現状であり、建築物の外装材が被害を受けてしまうと、当該建物だけではなく、飛散などにより外部への 2 次被害が発生する可能性があり非常に危険である。また、外装材の被害は建物外部だけに留まらず、外部ピロティ空間の軒天井などが被害を受けると、写真 1 (b) に示すように天井裏に風が吹き込むことで天井ボードが落下するなどし、室内側にも大きな被害が発生することがある。

これらの被害を防ぐためには、外装部位ごとに適切にピーク風力係数やピーク外圧係数を設定し、風荷重を求める必要がある。ピーク風力係数やピーク外圧係数は、図 1 に示すような矩形や円形などの基本的な形状に限り、建設省告示や指針等にその数値が示されているため、これらを用いて風荷重を算定することができる。しかし、外装部位によっては、これらの基規準に数値が示されていないものもあるため、風洞実験などにより求める必要がある。

また、集合住宅に付属する倉庫や集会場のような建築物の設計用風荷重を算定する場合に、隣接する集合住宅からのビル風の影響などにより風荷重が増大することが考えられるが、いずれの基規準においても隣接する建築物との相互作用や平均風速の割増しについての数値などは示されていない。

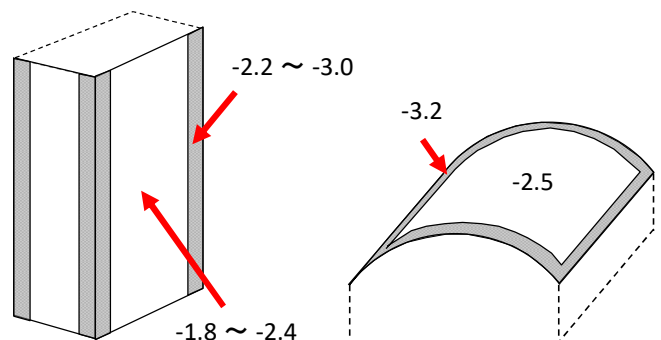
したがって、本研究では、庇や屋上目隠し壁に関するピーク風力係数および集合住宅などに付属する小規模建物に

関するピーク外圧係数を風洞実験^{4)~8)}により求め、当該外装部位に関する耐風設計実務に資する資料を作成したので報告する。



(a) 庇の被害事例 (b) 室内の被害事例

写真 1 台風による被害事例



(a) 帳壁 (b) 円弧屋根面

図 1 告示に示されている基本的な形状 (負のピーク外圧係数の例)

*1 技術研究所

2. 風洞実験対象部位の選定

風洞実験を行うにあたり、事前の実務設計者へのヒアリングを実施し、優先して実験を行うべき外装部位について検討した。表1に実験の候補に挙げた外装部位、表2にヒアリングに対する回答の一例を示す。実験の候補としては、主に9つの外装部位が挙げられたが、その中でも庇、屋上目隠し壁および高層建物に付属する小規模建物に関する情報の3つに対する要望が特に多かった。その理由としては、先にも述べたように基規準に外圧・風力係数の数値が示されていないためである。そのほかにも、大きな風圧力が作用することが想定される外装材の端部（隅角部）や複雑な建物形状・建物配置などに関する内容が見られた。また、そもそも外装材の範囲が明確ではないという問題もある。たとえば、外装材を受ける母屋や胴縁などを外装材用の荷重で設計すべきかどうかなどの意見も見られた。これらの意見を踏まえ、風洞実験を行い、基規準に示されていない外装部位に関する情報を整備することは、耐風設計の精度を向上させる上で有益であると考えられる。

表1 実験の候補に挙げた外装部位

外装部位		
壁面・屋根面	太陽光パネル	独立上屋
手摺	庇	ダブルスキン
目隠し壁	軒天井	付属建物

表2 ヒアリングに対する回答の一例

Q. 外装材用風荷重の設定に関して今後調べて欲しいこと、現状の疑問点や困っていること	
外装部位	A. 回答
手摺	コーナー部に作用する風圧力
目隠し壁	外圧、内圧係数はどのように設定すればよいか
庇	基規準に数値が示されていない
付属建物	高層建物に付属する集会所や倉庫などの評価方法（割増率など）がない

3. 庇

写真2は、建築物に取り付くエントランス庇や倉庫などに設置される鉄骨造の庇の一例であるが、現在、庇に関するピーク外圧係数やピーク風力係数は基規準には示されていない。図2は、庇および壁面周りの圧力の状況を示した図である。一般に庇の出幅があまり大きくない場合や庇が建築物の中央付近に取り付く場合は、その付近の壁面の外圧係数の数値から庇の外圧係数が推定可能とされている。

これは、圧力が同心円状（図中青点線）に作用するという考え方によるものである。そのため、壁面から離れた位置（庇先端付近）では、庇下面に作用する庇を押し上げる風圧力は小さくなるのが予想されるが、その風圧力がどの程度小さくなるかが不明である。また、庇上面に作用する風圧力は、建物高さが高い場合には吹き下ろしの影響を受けると考えられるが、この点についても、どの程度建物高さが影響するかは不明である。

このように庇に作用する風圧力は非常に複雑であることが予想されるため、現状の設計方法としては、たとえば、庇下面に関しては、安全側の設計になると考えられる壁面圧を準用して風荷重が算定されることが多い。したがって、特に庇先端付近に関しては、過剰な設計となっていることも考えられる。こうした背景から、庇の出幅や建物高さなどの条件を実験のパラメータとして風洞実験を行うことで、より合理的な風荷重の算定が可能となると考えられる。



(a) エントランス庇の例



(b) 倉庫などの庇の例

写真2 庇の例

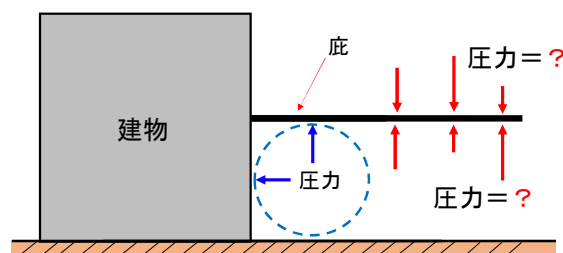


図2 庇および壁面周りの圧力の状況

3.1 風洞実験の概要

風洞実験は、回流式境界層風洞で行った。写真3に実験模型の一例を示す。風洞実験とは、風洞装置内に設置した縮小模型に作用する風圧力などを計測するものである。風洞実験を行うことで、複雑な形状の建築物や外装部位などの外圧係数や風力係数を求めることができ、適切な風荷重を算定することが可能となる。

図3に実験模型の概要を示す。模型の縮尺は1/200とし、底の上面、下面および壁面に風圧測定孔を設けている。

表3に実験パラメータ（全13ケース）を示す。実験は、底の出幅 $L=15, 60, 80\text{mm}$ (底の出幅に対する建物奥行の比 $L/D=0.05\sim 0.27$)、建物高さ $H=40\sim 450\text{mm}$ 、底の高さ $h=40\text{mm}$ (建物高さに対する底高さの比 $h/H=0.09\sim 1.0$) とした。なお、底の設置高さは 40mm の位置で固定しており、実大スケールに換算すると地上 8m の高さとなる。

図4に実験気流の鉛直分布を示す。実験気流は、建築物荷重指針に示されている地表面粗度区分Ⅲを目標に作成した。図中の緑点線は本実験における建物高さ ($H=40, 75, 110, 145, 450\text{mm}$) を示す。実験風向は、図3(a)に示す風向角の定義で5度ピッチ72風向 (360度) とした。データ集録は、サンプリング周波数 1kHz で1風向あたり131,072個集録した。

本節での表および図の記号は、図3(a)に示すように、基準とした底端部を0とし、基準とした底端部からの距離 (X) を底長辺方向の幅 ($W=550\text{mm}$) で除したものを底端部からの距離 (X/W) とする。また、底の測定点の名称は、図3(c)に示すとおり、底先端の測定点から短辺方向に向かって、A列～E列 ($L=80\text{mm}$ の場合) と定義した。

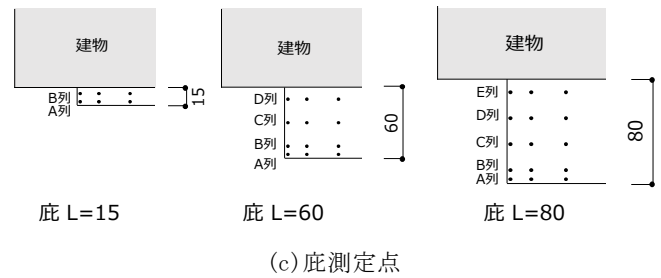
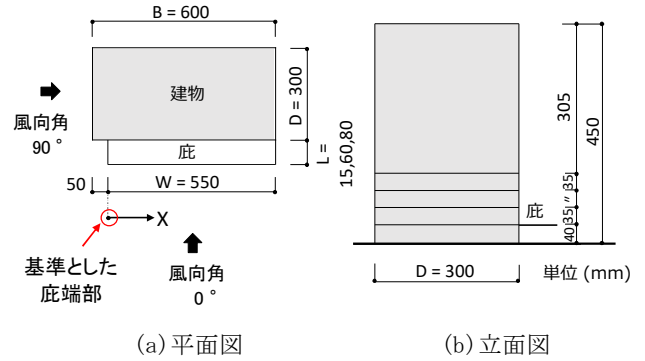
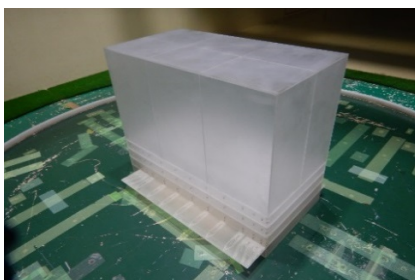


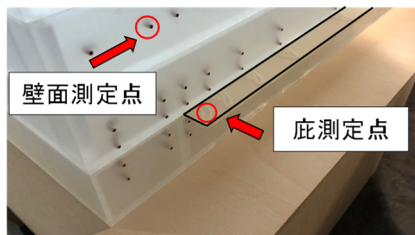
図3 実験模型の概要

表3 実験パラメータ

実験ケース	建物			底			高さ比 h/H	出幅比 L/D
	幅 B (mm)	奥行 D (mm)	高さ H (mm)	幅 W (mm)	出幅 L (mm)	高さ h (mm)		
Case 1	600	300	40	550	15	40	1.00	0.05
Case 2	600	300	75	550	15	40	0.53	0.05
Case 3	600	300	110	550	15	40	0.36	0.05
Case 4	600	300	145	550	15	40	0.28	0.05
Case 5	600	300	450	550	15	40	0.09	0.05
Case 6	600	300	75	550	60	40	0.53	0.20
Case 7	600	300	110	550	60	40	0.36	0.20
Case 8	600	300	145	550	60	40	0.28	0.20
Case 9	600	300	450	550	60	40	0.09	0.20
Case 10	600	300	75	550	80	40	0.53	0.27
Case 11	600	300	110	550	80	40	0.36	0.27
Case 12	600	300	145	550	80	40	0.28	0.27
Case 13	600	300	450	550	80	40	0.09	0.27



(a) 模型設置状況



(b) 壁面および底の測定点

写真3 実験模型の一例

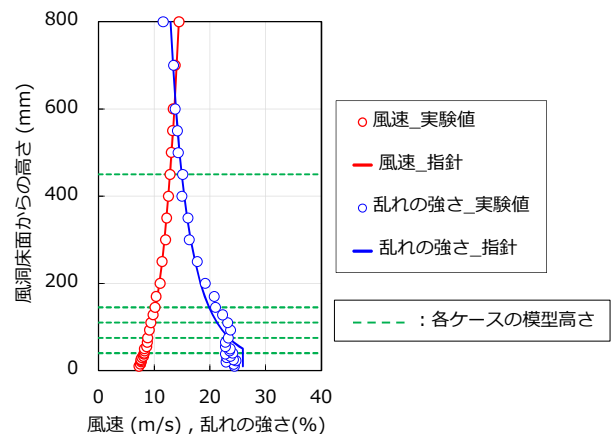


図4 実験気流 (地表面粗度区分Ⅲ)

3.2 外圧係数・風力係数の定義

底の風力係数(C_f)は、(1)式に示すとおり、底上面の外圧(P_u)と下面の外圧(P_l)の差を時刻歴上で求め、建物頂部高さ(H)における速度圧(q_H)で無次元化した値とした。また、底の外圧係数は、測定した風圧力を建物頂部高さ(H)における速度圧(q_H)で無次元化した値である。

$$C_f = (P_u - P_l) / q_H = C_{pu} - C_{pl} \quad (1)$$

ここに、 C_{pu} ：底上面の外圧係数(= P_u / q_H)

C_{pl} ：底下面の外圧係数(= P_l / q_H)

図5に底の外圧係数および風力係数の定義を示す。本報告における風力係数の符号は、風力が底上面から下面に向かって作用する方向を正、その逆を負とした。また、外圧係数の符号は、底上下面をそれぞれ押す方向を正、逆方向(引張る方向)を負と定義した。

風力係数および外圧係数のピーク値は、実験で得られた時刻歴波形に実時間0.5秒に相当する移動平均を施し、評価時間600秒に相当するアンサンブル平均によって評価した。

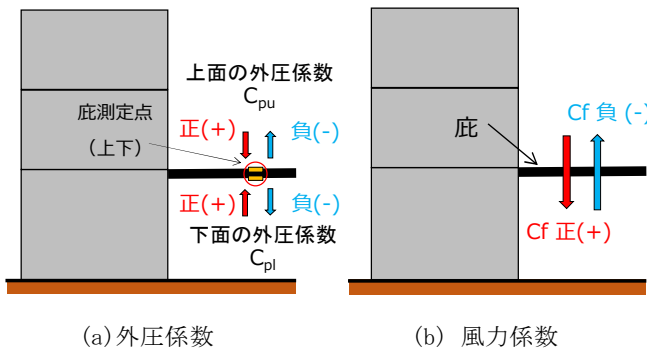


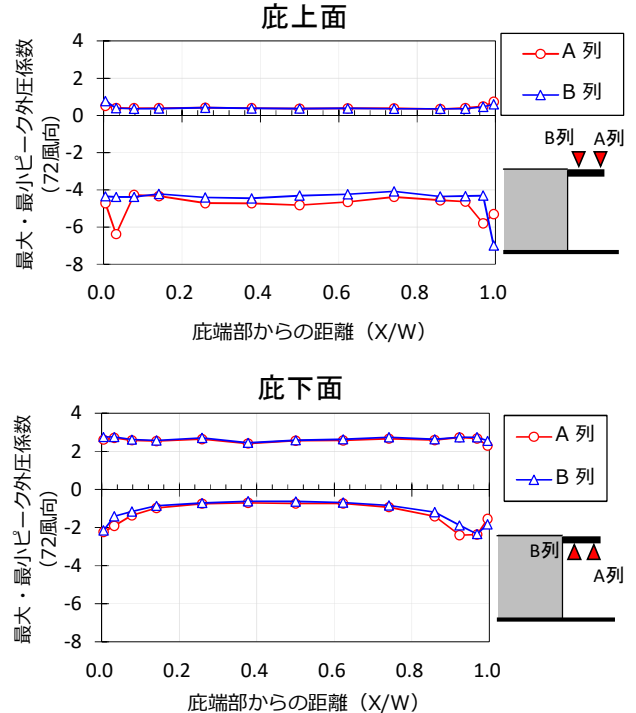
図5 底の外圧係数・風力係数の定義

3.3 実験結果

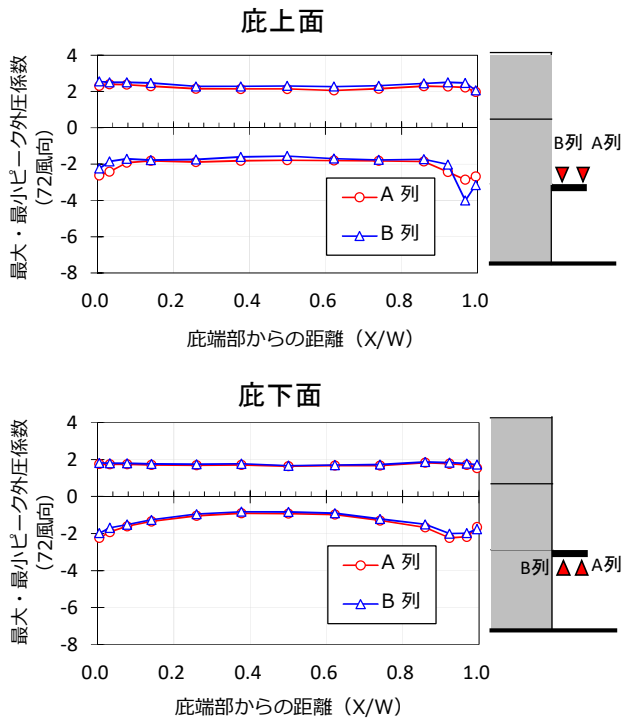
3.3.1 底上下面の外圧係数

図6にCase1およびCase3の底端部からの距離(X/W)とピーク外圧係数との関係を示す。両者の最大ピーク外圧係数に関して、底上下面ともに底の幅方向に大きな変動は見られない。最小ピーク外圧係数に関しては、全体的に上下面ともに端部ほど絶対値が大きくなっている。また、Case1では、底上部に壁面が存在しないため、底上部の壁面に衝突した風の吹き下ろしの影響が無く、底上面の最小ピーク外圧係数の絶対値が大きくなっている。一方、Case3では、底上部の壁面からの吹き下ろしの影響で、Case1と比較すると最小ピーク外圧係数の絶対値が小さくなっている。このように、底の上部の壁面の有無により、底に作用する風

圧力が大きく異なる。また、底端部の切欠きの影響については、底上面の建物に最も近い測定点において両端部で差が見られる。これは、建物隅角部からの剥離渦の影響であると考えられる。



(a) Case1 ($h/H=1.0$, $L/D=0.05$)



(b) Case3 ($h/H=0.36$, $L/D=0.05$)

図6 底端部からの距離(X/W)とピーク外圧係数の関係

図7にCase3、7、11 ($h/H=0.36$ の場合)における底の出幅と底上下面のピーク外圧係数の関係を示す。比較はいずれも底先端(A列)の実験結果を示している。底上面の最大ピーク外圧係数は、底の出幅の増加に伴い若干減少する傾向が見られる。底下面については、上面ほど出幅の影響は見られない。最小ピーク外圧係数に関しては、底の出幅の増加に伴い絶対値が増加する傾向が見られる。

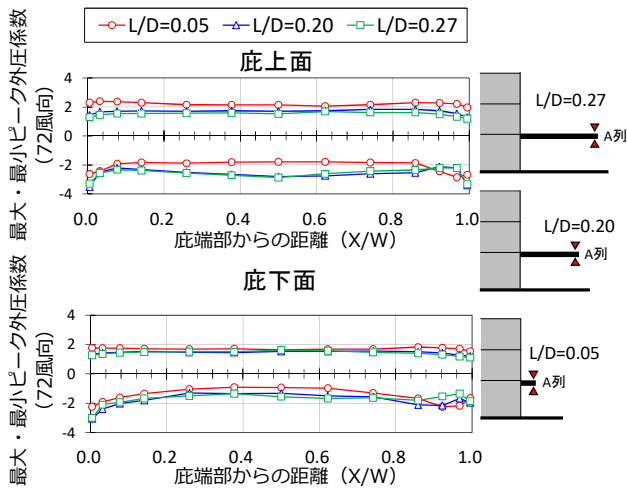


図7 底の出幅とピーク外圧係数の関係 ($h/H=0.36$)

3.3.2 建物高さに対する底高さの比とピーク風力係数

図8に $L/D=0.05$ (Case1~5)における建物高さ(H)に対する底高さ(h)の比(h/H)とピーク風力係数の関係を示す。図には、底先端(A列)における端部および中央部の測定点それぞれ1点の実験結果を示している。最大・最小ピーク風力係数ともに中央部と比較して端部のほうが絶対値が大きい。また、最大ピーク風力係数に関しては、 h/H の影響が比較的小さい。一方で、最小ピーク風力係数に関しては、 h/H が概ね0.6以下であれば大きな変動は見られないが、 h/H が0.6を超えると絶対値が非常に大きくなっている。これは、図6で述べたように底上面に作用する吹き下ろしの有無によるものである。

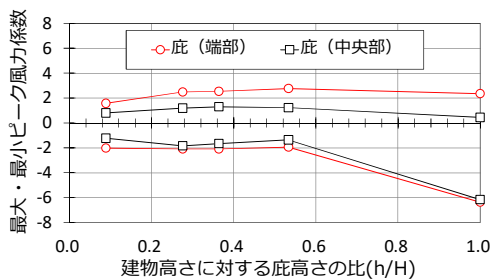


図8 建物高さに対する底高さの比(h/H)とピーク風力係数の関係

3.3.3 壁面外圧係数と底下面の外圧係数

本節では、壁面のピーク外圧係数と底下面のピーク外圧係数の関係について注目し、それぞれの外圧係数を用いて算定したピーク風力係数について報告する。図9に検証対象とした測定点を示す。

図10には、Case13について、底下面および底直下の壁面のピーク外圧係数を示す。底の出幅が大きい場合には、壁面近傍の測定点(E列)と壁面の数値は概ね一致しているが、壁面から離れた底先端の測定点(A列)では、壁面圧との差が大きくなっている。特に壁面に対して平行方向(風向角 90° 、 270°)付近からの風に対して差が大きい。

Case13について、図11には、底上下面の差圧から算定したピーク風力係数と、底上面と壁面の差圧から算定したピーク風力係数を示す。なお、図中には前者を(一般)後者を(壁面)と表記している。前述のとおり、底の出幅が大きい場合に、風向角によっては、壁面圧と底下面の外圧係数の差が大きくなる可能性があり、それによりピーク風力係数に差が生じることが確認できた。

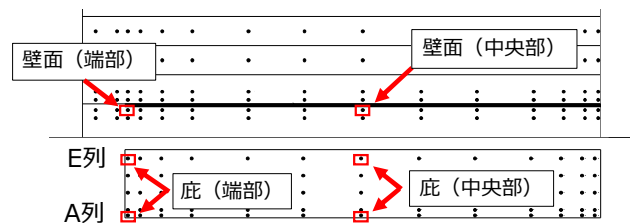
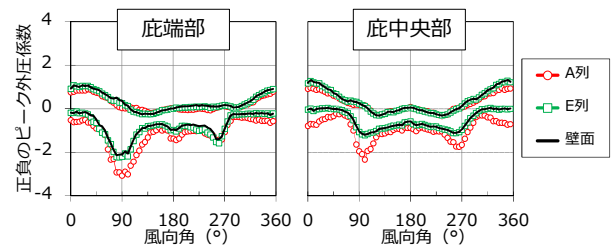
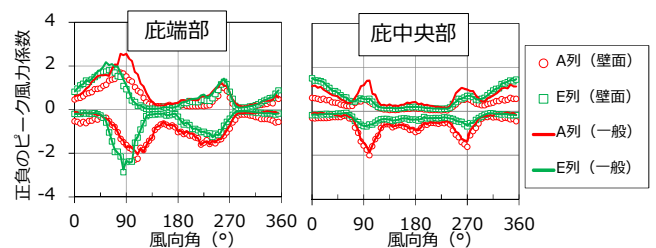


図9 検証対象とした測定点



Case13 ($h/H=0.09$ $L/D=0.27$)

図10 底下面および壁面のピーク外圧係数



Case13 ($h/H=0.09$ $L/D=0.27$)

図11 壁面外圧を用いて算定したピーク風力係数

4. 屋上目隠し壁

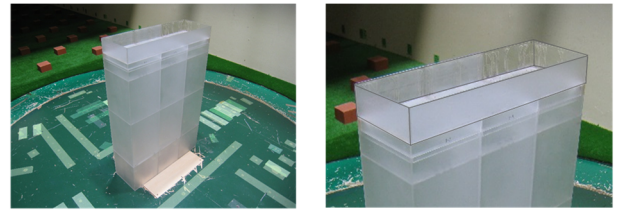
写真4は、建築物の屋上に設置された設備機器用の目隠し壁である。現在、屋上目隠し壁に関する法的な基準は定められていないが、一般的には、平成12年建設省告示第1454号および第1458号に示される風荷重で検討することが多いと考えられる。屋上目隠し壁は、表面・裏面ともに外気に曝されるために風による影響を受けやすく、適切に耐風設計がなされていないと飛散などの被害が発生しやすい。

一般に、屋上目隠し壁に作用する風圧力は、建物形状(辺長比やアスペクト比)や壁面からの離隔距離の影響を受けると考えられる。たとえば、建物の辺長比によっては、風上側の目隠し壁で剥離した気流が、風下側で再び建物や目隠し壁に衝突する再附着といった現象が起こる可能性がある。このような現象が発生する場合には、目隠し壁には想定する方向と逆向きの圧力が作用することも考えられる。したがって、建物形状や離隔距離によって屋上目隠し壁のピーク外圧係数やピーク風力係数がどのような影響を受けるかを風洞実験により明らかにすることは、非常に重要であると考えられる。

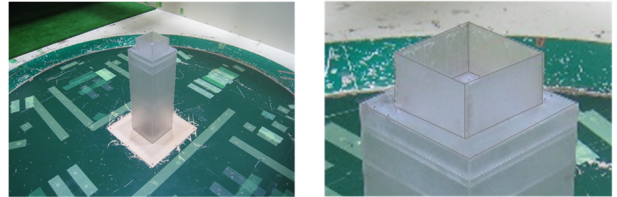


写真4 屋上目隠し壁の例

(粗度区分Ⅱ)の鉛直分布を示す。データ集録は、サンプリング周波数1kHzで1風向あたり196,608個集録した。



(a)Case10 (B/D=3, H/D=4, x/D=0)



(b)Case15 (B/D=1, H/D=3, x/D=1/6)

写真5 実験模型の一例

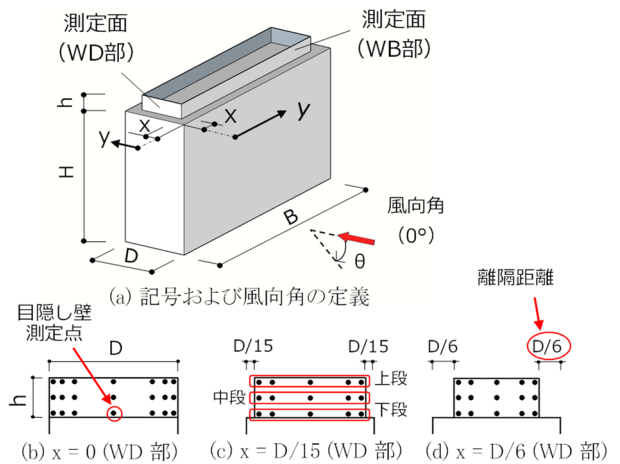


図12 実験模型の概要

表4 実験パラメータ

実験ケース	airflow	建物					屋上目隠し壁			
		幅 B (mm)	奥行 D (mm)	軒高 H (mm)	辺長比 B/D	アスペクト比 H/D	高さ h (mm)	離隔距離 x (mm)	離隔距離 x/D	高さ比 h/H
Case 1	Ⅲ	300	150	450	2	3	50	0	0	1/9
Case 2	Ⅲ	300	150	450	2	3	50	10	1/15	1/9
Case 3	Ⅲ	300	150	450	2	3	50	25	1/6	1/9
Case 4	Ⅲ	300	150	600	2	4	50	0	0	1/12
Case 5	Ⅲ	300	150	600	2	4	50	10	1/15	1/12
Case 6	Ⅲ	300	150	600	2	4	50	25	1/6	1/12
Case 7	Ⅲ	450	150	450	3	3	50	0	0	1/9
Case 8	Ⅲ	450	150	450	3	3	50	10	1/15	1/9
Case 9	Ⅲ	450	150	450	3	3	50	25	1/6	1/9
Case 10	Ⅲ	450	150	600	3	4	50	0	0	1/12
Case 11	Ⅲ	450	150	600	3	4	50	10	1/15	1/12
Case 12	Ⅲ	450	150	600	3	4	50	25	1/6	1/12
Case 13	Ⅱ	150	150	450	1	3	50	0	0	1/9
Case 14	Ⅱ	150	150	450	1	3	50	10	1/15	1/9
Case 15	Ⅱ	150	150	450	1	3	50	25	1/6	1/9
Case 16	Ⅱ	300	150	450	2	3	50	0	0	1/9
Case 17	Ⅱ	300	150	450	2	3	50	10	1/15	1/9
Case 18	Ⅱ	300	150	450	2	3	50	25	1/6	1/9
Case 19	Ⅱ	450	150	450	3	3	50	0	0	1/9
Case 20	Ⅱ	450	150	450	3	3	50	10	1/15	1/9
Case 21	Ⅱ	450	150	450	3	3	50	25	1/6	1/9

4.1 風洞実験の概要

風洞実験は、回流式境界層風洞で行った。写真5に実験模型の一例を示す。また、図12に実験模型の概要、表4に実験パラメータを示す。模型の縮尺は1/100とし、建物上部に目隠し壁を設置した。目隠し壁模型の表裏面には、それぞれ風圧測定孔を設けている。実験パラメータは、辺長比(B/D)、目隠し壁の外壁面からの離隔距離(x)、アスペクト比(H/D)および建物高さ(H)に対する目隠し壁高さ(h)の比(h/H)とした。なお、(h/H)のパラメータについては、目隠し壁高さ(h)を一定(50mm)としている。また、実験気流は、地表面粗度区分ⅢとⅡの2種類とし、実験風向は図12(a)に示すとおりWB部に正対する風向を0度とし、355度まで5度ピッチで計72風向計測した。図13に実験気流

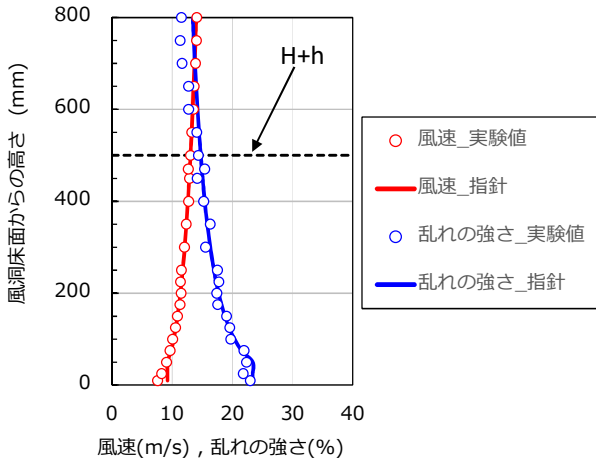


図 13 実験気流（地表面粗度区分Ⅱ）

4.2 外圧係数・風力係数の定義

目隠し壁の風力係数(C_f)は、(2)式に示すように目隠し壁表面の外圧(P_e)と裏面の外圧(P_r)の差を時刻歴上で求め、目隠し壁頂部高さにおける速度圧(q_{H+h})で無次元化した。風力係数のピーク値は、平価時間 0.2 秒、評価時間 600 秒に相当する 6 組のアンサンブル平均により評価した。

$$C_f = (P_e - P_r) / q_{H+h} = C_{pe} - C_{pr} \quad (2)$$

ここに、 C_{pe} ：目隠し壁表面の外圧係数(= P_e / q_{H+h})

C_{pr} ：目隠し壁裏面の外圧係数(= P_r / q_{H+h})

本報告における外圧係数および風力係数の記号を図 14 に示す。目隠し壁を外側（表面）から建物側に向かって押す方向を正、その逆を負と定義した。

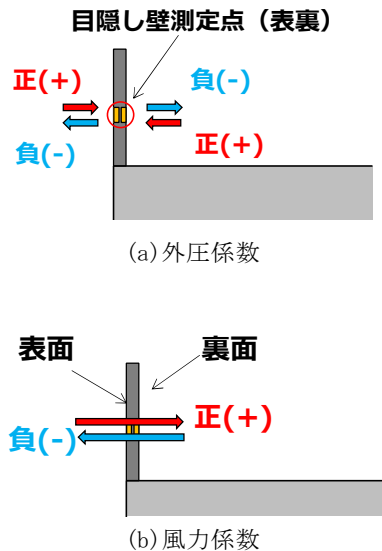


図 14 目隠し壁の外圧係数・風力係数の定義

4.3 実験結果

本報告では、粗度区分Ⅱ (Case13~21) の実験結果について報告する。図 15 に、3 種類の離隔距離ごとの辺長比 (B/D) と最大ピーク風力係数の関係を示す。なお、最大ピーク風力係数は全風向中の最大値を示す。離隔距離 $x=0$ の目隠し壁では、(B/D) が大きくなるほど短辺側 (WD 部) 上段位置の最大ピーク風力係数は大きくなり、長辺側 (WB 部) では逆に小さくなる。

図 16 に辺長比 (B/D) と最小ピーク風力係数の関係を示す。B/D=2~3 の WB 部における最小ピーク風力係数は、概ね上段位置で絶対値が大きくなるが、WD 部においては離隔の有無によって値に顕著な差がみられる。

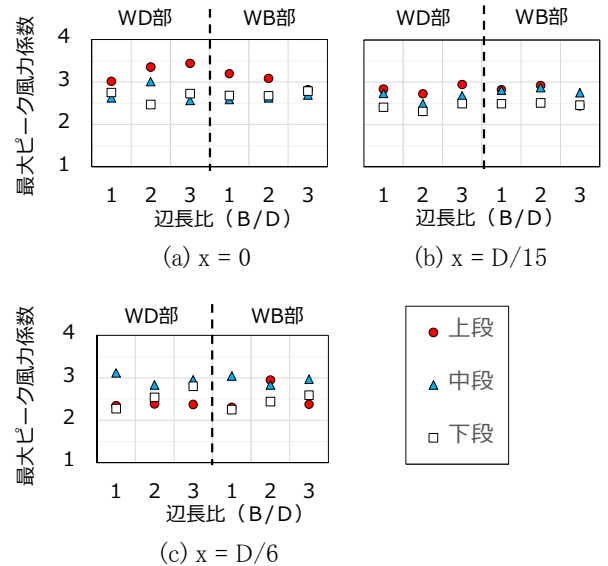


図 15 辺長比 (B/D) と最大ピーク風力係数の関係

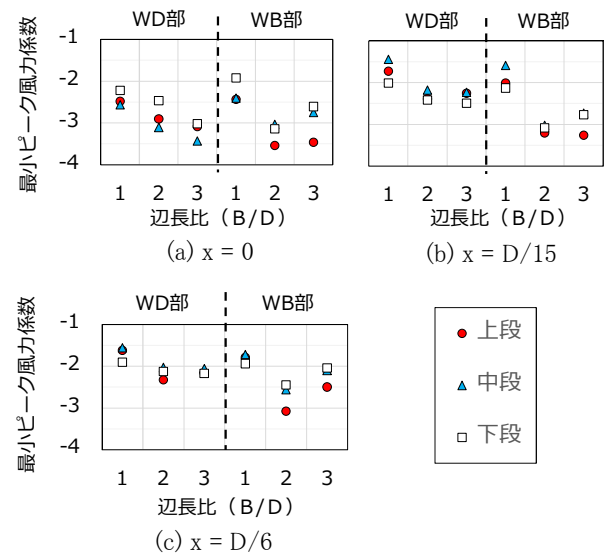


図 16 辺長比 (B/D) と最小ピーク風力係数の関係

図 17 に離隔距離 $x=0$ 、上段位置における最大ピーク風力係数とその発生風向角を示す。横軸は、建物コーナー部を起点とする無次元距離 (y/D) とし、WB 部を正、WD 部を負で表した。最大ピーク風力係数は、目隠し壁端部付近ほど値が大きく、WD 部の側方 ($\theta=180^\circ$ 付近) および裏側 ($\theta=270^\circ$ 付近) からの風向で全風向中の最大値となる。

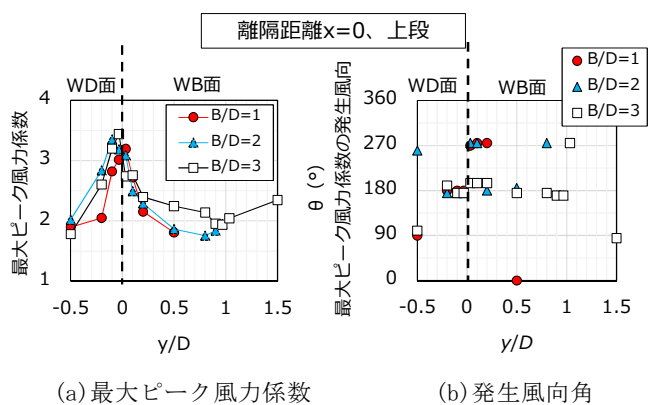


図 17 最大ピーク風力係数と発生風向角

図 18 に $X=0, D/15, D/6$ の目隠し壁裏面における最小ピーク外圧係数(上段端部測定点)の風向角による変化を示す。風向角 180° および 270° 付近に卓越したピークが見られる。これは、目隠し壁上層部から発生する渦の影響により風下側の目隠し壁裏面に強い負圧が生じたためと考えられ、それにより最大ピーク風力係数が大きくなったものと考えられる。また、このピークは離隔を有する目隠し壁にもみられ、離隔距離が大きくなるほど絶対値が小さくなる傾向にある。

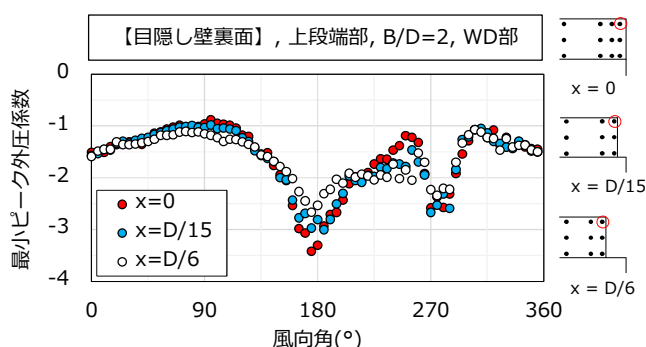


図 18 裏面の最小ピーク外圧係数の風向角による変化

5. 集合住宅に付属する小規模建物

写真 6 は、集合住宅に付属して建設される小規模な集会所や倉庫の例である。高層建物が建設されると当該建築物周辺の風環境が大きく変わることがしばしばみられる。一

般に、地上付近と比べると上空では風速が大きく、高層建物に衝突した高風速の風が地上付近に吹き下ろすような現象(ビル風)が発生することがある。このようなビル風が発生すると歩行者が転倒したり、周辺の建築物において外装材が被害を受けることがある。

現在、集合住宅などに付属する小規模建物の外装材用風荷重に関する法的な基準は定められていないが、先に述べたとおり、近接する高層建物の影響が大きいことはよく知られている。しかし、告示や指針等では、これらに関するピーク風力係数は明確に示されていないため、風洞実験などによりピーク風力係数やピーク外圧係数を求めることが望ましいとされている。



写真 6 付属小規模建物の例

5.1 風洞実験概要

風洞実験は、エッフェル型吹き出し式境界層風洞で行った。実験模型は縮尺 1/150 とした。写真 7 に風洞実験の状況、表 5 に実験パラメータを示す。対象とする集合住宅は実大スケールで、幅 $B=15\text{m}\sim 60\text{m}$ 、奥行 $D=15\text{m}$ 、高さ $H=30\text{m}$ 、 45m とし、合計 8 種類とした。また、比較のため、集合住宅模型がない状態での計測を Case0 とし、付属建物模型(1 体)をターンテーブル中央に設置した状態で計測を行った。

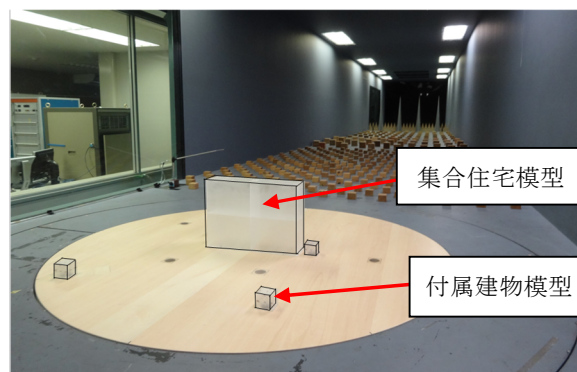


写真 7 風洞実験の状況

表 5 実験パラメータ

実験 ケース	B : D : H	集合住宅模型 (mm)		
	(1D = 50 mm)	B	D	H
Case 0	無し (付属建物のみ)			
Case 1	2 : 2 : 4	100	100	200
Case 2	2 : 2 : 6	100	100	300
Case 3	4 : 2 : 4	200	100	200
Case 4	4 : 2 : 6	200	100 <td 300	
Case 5	6 : 2 : 4	300	100	200
Case 6	6 : 2 : 6	300	100	300
Case 7	8 : 2 : 4	400	100	200
Case 8	8 : 2 : 6	400	100	300

図 19 に実験模型の概要を示す。付属建物模型は、一辺 $b=50\text{mm}$ の立方体 (実大 : 7.5m 角) とし、各壁面に 3 点 (W1 ~ W12)、屋根面に 5 点 (R1 ~ R5) の計 17 点風圧測定孔を設けた。また、付属建物模型の配置は、図 20 に示す 10 箇所をとした。なお、付属建物模型間の最短距離は $2.5b$ (18.75m) である。

図 21 に実験気流の鉛直分布を示す。実験気流は、建築物荷重指針に示されている地表面粗度区分Ⅲを目標に作成した。実験風向は、5 度ピッチで 72 風向とした。

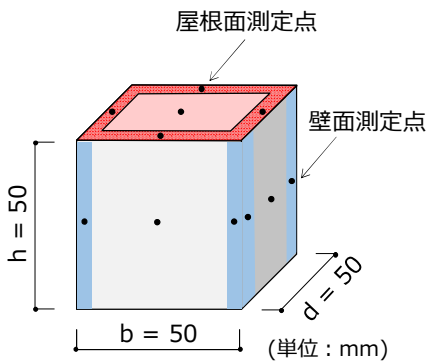
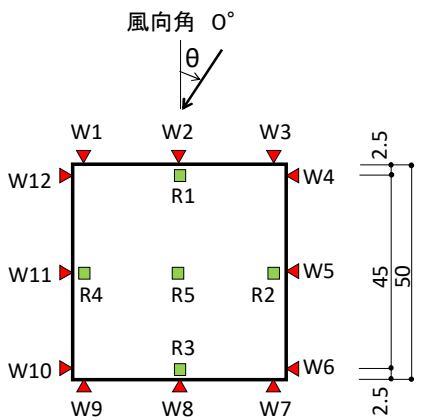


図 19 実験模型の概要

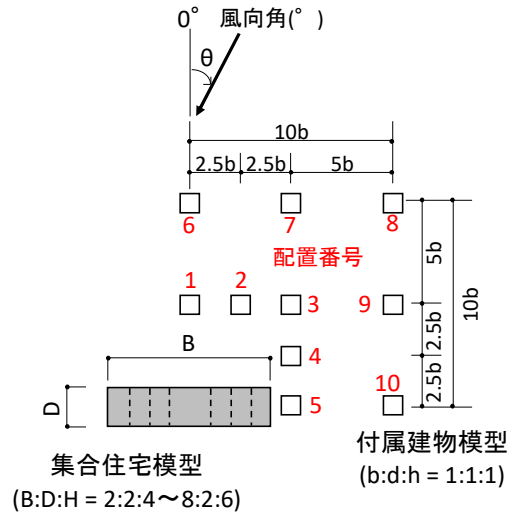


図 20 付属建物の配置

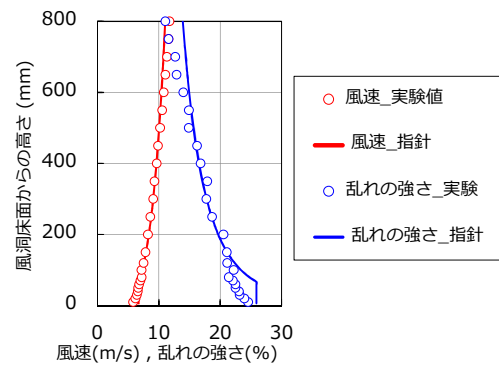


図 21 実験気流

5.2 外圧係数の定義

実験結果は、高さ 300mm に設置したピトー管で得られた速度圧を、付属建物模型高さ (h) の速度圧に換算した値を用いて外圧係数とした。

実験で得られた各測定点の風圧の時刻歴データに実時間約 0.23 秒の移動平均 (移動平均数 6 個) を施し、評価時間 600 秒に相当する 6 組のアンサンブル平均によりピーク外圧係数を評価した。

図 22 に壁面および屋根面の外圧係数の定義を示す。壁面および屋根面を屋外側から押す方向を正、その逆を負とした。

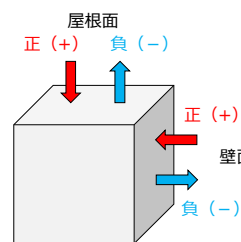


図 22 付属建物 (壁面および屋根面) の外圧係数の定義





5.3 実験結果

表6に実験結果の一例として、Case2、4、6、8における配置番号1、3、5の外壁中央部(W2、5、8、11)および屋根中央部(R5)の結果を示す。図23には各Caseの集合住宅模型と付属建物模型の配置を示す。表中の数値は、各ケースのピーク外圧係数を付属建物単体の実験結果(Case0)のピーク外圧係数で除した比で示している。すなわち、表中の数値が1.0を超えるケースでは集合住宅模型による影響で外圧係数の絶対値が大きくなることを示している。また、表中には最大値の発生した風圧測定孔を括弧内に示し、各模型配置(配置番号1、3、5)における最大ピーク外圧係数の比の最大値を赤字、最小ピーク外圧係数の比の最大値を青字で示している。

5.3.1 外壁面中央部の傾向

表6より外壁中央部の最小ピーク外圧係数の比は、1.03~1.88の値となっており、これらの実験ケースにおいては、集合住宅模型の幅が長くなるほど値が大きくなっている。また、配置位置(1、3、5)で比較すると、配置番号3における値が大きくなっている。これは、集合住宅模型からの剥離流や吹き下ろしによる影響を受けているためと考えられる。一方、最大ピーク外圧係数の比は0.90~1.16と、最大でも1.16倍であり、集合住宅模型の幅の違いによる差は小さい。したがって、これらの実験ケースにおいては、集合住宅模型が付属建物模型に与える影響は、負のピーク外圧係数の方が大きい結果となった。

表6 ピーク外圧係数の比
(外壁中央部および屋根中央部)

実験 Case	集合住宅 模型		配置番号 1		配置番号 3		配置番号 5	
			壁面	屋根面	壁面	屋根面	壁面	屋根面
Case 2		最大ピーク	0.96 (W11)	2.12 (R5)	1.16 (W8)	2.77 (R5)	0.93 (W5)	2.04 (R5)
		最小ピーク	1.14 (W2)	1.01 (R5)	1.14 (W11)	1.07 (R5)	1.03 (W5)	0.98 (R5)
Case 4		最大ピーク	0.99 (W5)	2.56 (R5)	1.11 (W8)	2.79 (R5)	0.91 (W5)	1.84 (R5)
		最小ピーク	1.37 (W2)	1.29 (R5)	1.71 (W11)	1.51 (R5)	1.46 (W5)	1.18 (R5)
Case 6		最大ピーク	0.94 (W11)	3.03 (R5)	1.10 (W8)	2.99 (R5)	0.90 (W5)	2.44 (R5)
		最小ピーク	1.77 (W2)	1.50 (R5)	1.88 (W5)	1.71 (R5)	1.82 (W5)	1.59 (R5)
Case 8		最大ピーク	0.98 (W11)	3.53 (R5)	1.10 (W8)	2.97 (R5)	1.00 (W2)	3.99 (R5)
		最小ピーク	1.68 (W8)	1.61 (R5)	1.82 (W2)	2.01 (R5)	1.84 (W5)	2.08 (R5)

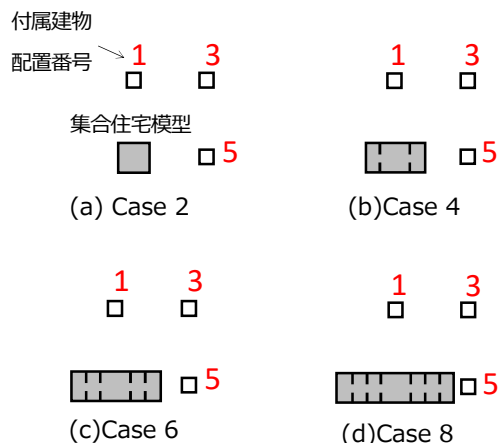


図23 各Caseの集合住宅模型と付属建物模型の配置

図24に、表6で赤字および青字で示した測定点の壁面中央部におけるピーク外圧係数と風向角の関係を示す。壁面中央部の正負のピーク外圧係数の絶対値を比較すると、Case6やCase8のように集合住宅模型の幅が長くなると負のピーク外圧係数の絶対値の方が大きくなる傾向がある。正のピーク外圧係数に関しては、集合住宅模型の影響はごくわずかである。また、最大値およびその発生風向は、いずれのケースでも付属建物単体の結果と大きな差はみられない。ただし、配置番号3のW8では、風向225°付近において集合住宅模型により気流が遮蔽されることにより、集合住宅模型の幅が長いほど付属建物単体の場合と比較して値が小さくなる。負のピーク外圧係数は、いずれの風圧測定孔においても、集合住宅模型の風下側となる風向180°付近では集合住宅模型による剥離流や吹き下ろしの影響を受け、付属建物単体の場合と比較して大きくなる。

5.3.2 屋根面中央部の傾向

表6より、屋根面中央部の最小ピーク外圧係数の比は、0.98~2.08の値となっており、壁面と同様に集合住宅模型の幅が長くなるほど値は大きくなっている。最大ピーク外圧係数の比は、1.84~3.99と最小ピーク外圧係数と比較して大きな値となっているが、これは図25に示すように、付属建物単体の場合(Case0)の屋根面中央部のピーク外圧係数が小さいため、比で表すことで数値が大きくなっているが、ピーク外圧係数自体の絶対値は最小ピーク外圧係数の方が大きい。正のピーク外圧係数は、集合住宅模型の風上側となる風向(配置番号1では風向0°、配置番号5では風向90°)において、付属建物単体の場合と比較して値が大きくなっており、集合住宅に衝突した風による影響が考えられる。負のピーク外圧係数は、壁面と同様の風向で絶対値が大きくなっており、-5.0を超えるような値も確認できた。

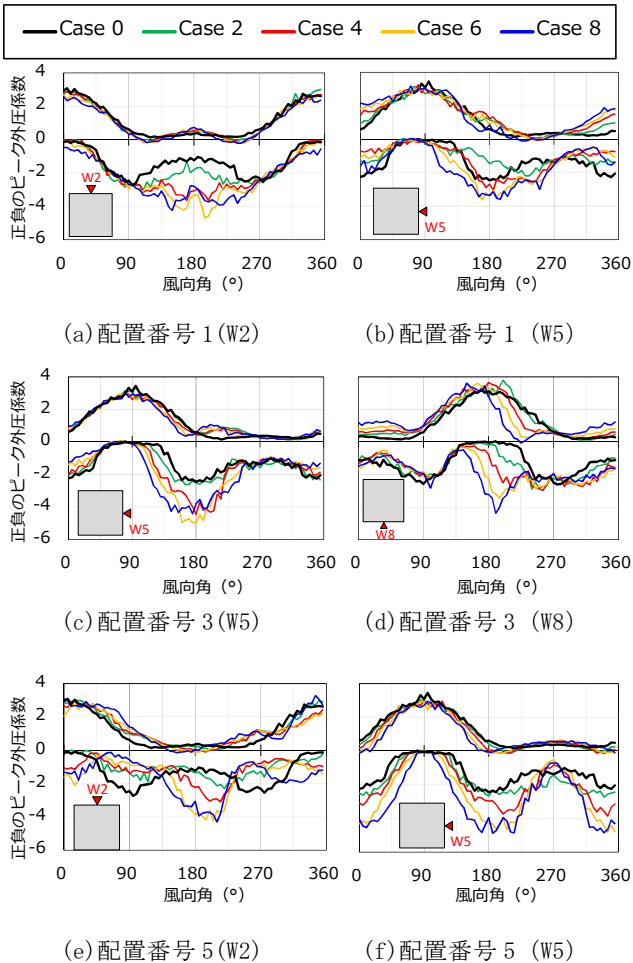


図 24 壁面中央部のピーク外圧係数

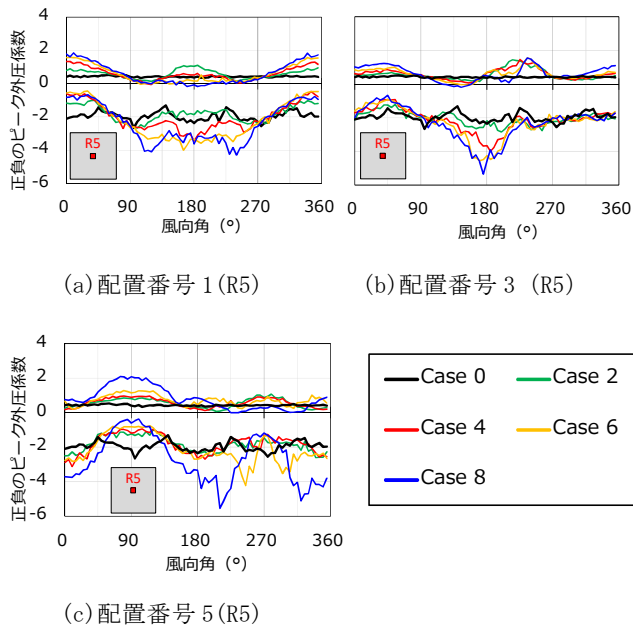


図 25 屋根面中央部のピーク外圧係数

6. まとめ

庇や屋上目隠し壁、また、集合住宅に付属する小規模建物の外装材用風荷重を算定するために必要なピーク外圧係数やピーク風力係数に関する情報が不足しているという背景から、これらの情報を整備するための風洞実験を行い、耐風設計に資する資料を作成した。

今回行った風洞実験の結果から、各外装部位について、細かな条件ごと（たとえば、庇の出幅や建物形状など）のピーク外圧・風力係数を定めることができるようになったため、今後は、より精度の高い合理的な耐風設計が可能となり、近年多発している台風などによる外装材の強風被害が低減されることが期待できる。

各実験結果のまとめは以下のとおりである。

1) 庇

庇の出幅や建物高さが庇の外圧・風力係数の与える影響について検討した。その結果、 $h/H=1.0$ のケースでは、庇上部の壁面からの吹き下ろしの影響がないために庇上面の最小ピーク外圧係数の絶対値が非常に大きくなることが確認できた。したがって、庇が建物頂部付近に取り付く場合には、特に注意が必要である。また、庇の出幅が大きい場合には、壁面からの距離の増加に伴い庇下面と壁面の外圧係数の差が大きくなることが確認できた。

2) 屋上目隠し壁

建物辺長比および目隠し壁の離隔距離が外圧・風力係数に与える影響について検討した。その結果、離隔のない目隠し壁の短辺側上段部分では、辺長比が大きくなると、最大・最小ピーク風力係数の絶対値が大きくなる傾向が確認できた。また、建物の辺長比によっては、風上側の目隠し壁上層部から発生した渦により風下側の目隠し壁裏面に強い負圧が作用することで最大ピーク風力係数が大きくなる可能性があるため注意が必要である。

3) 付属建物

集合住宅などに付属する倉庫や集会所などの外壁面および屋根面のピーク外圧係数について、集合住宅の規模や位置関係により、付属建物がどのような影響を受けるかを検討した。本報告で示した実験結果において、全体的な傾向として、付属建物の外壁・屋根面における負のピーク外圧係数の絶対値は、集合住宅モデルの幅が長くなるほど大きくなる傾向が見られた。また、集合住宅モデルに対する付属建物の配置に関しては、集合住宅モデルのコーナー部からの剥離流や壁面に衝突した風が吹き下ろす

領域に付属建物が配置される場合には特に注意が必要であることが分かった。

謝辞

本研究は、2017年度から2年間にわたり活動してきた研究会「外装材用風荷重研究会」における成果である。以下に本研究会の会社名を示す。(会社名：五十音順)
㈱浅沼組、㈱安藤・間、㈱熊谷組、㈱鴻池組、㈱銭高組、大日本土木㈱、東亜建設工業㈱、東急建設㈱、飛島建設㈱、㈱長谷工コーポレーション、三井住友建設㈱

参考文献

- 1) 建設省告示第1458号(平成12年5月31日)
- 2) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2015)、2015.2
- 3) 国立研究開発法人 建築研究所：平成30年台風21号に伴う強風による建築物等被害現地調査報告(速報)
- 4) 伊藤真二、原田雅俊、加藤優輝、本田宏武、大澤健、鈴木健稔：物流倉庫などの大庇に作用する風力の特性 その1 庇上下

面のピーク外圧係数、日本建築学会学術講演梗概集、2020(投稿済)

- 5) 原田雅俊、伊藤真二、加藤優輝、田中靖彦、栗田剛、岡崎充隆：物流倉庫などの大庇に作用する風力の特性 その2 壁面圧を用いたピーク風力係数、日本建築学会学術講演梗概集、2020(投稿済)
- 6) 胡家龍、本田宏武、栗田剛、加藤優輝、安部剛、藤原朝典：屋上目隠し壁に作用する風圧力特性 (その1) 目隠し壁の離隔距離および建物辺長比の影響、日本建築学会学術講演梗概集、2020(投稿済)
- 7) 本田宏武、栗田剛、胡家龍、扇谷匠己、岡崎充隆、伊藤真二：屋上目隠し壁に作用する風圧力特性 (その2) 目隠し壁の離隔距離および建物辺長比の影響、日本建築学会学術講演梗概集、2020(投稿済)
- 8) 小島千里、作田美知子、山内豊英、岡崎充隆、扇谷匠己、安部剛：集合住宅等に付属する小規模建築物のピーク外圧係数、日本建築学会学術講演梗概集、2020(投稿済)