

建築物エントランス庇のピーク外圧係数およびピーク風力係数

Peak Wind Pressure Coefficients and Peak Wind Force Coefficients on Building Entrance Canopies

山 本 学 伊 藤 嘉 晃 中 山 かほる

要 約

一般に、建築物のエントランスには庇が設置される。しかし、庇の耐風安全性を検討するために必要な外圧係数や風力係数には不明な点が多く、庇の耐風設計を行えないのが実情である。本研究は建築物のエントランス庇に作用する外装材用ピーク外圧係数およびピーク風力係数を風洞実験により調査したものである。実験パラメータは、庇の外圧係数と風力係数に影響を与える主要な要因である建築物高さに対する庇の設置高さの比、庇の出幅、庇の設置位置とした。実験の結果、庇上面のピーク外圧係数およびピーク風力係数の最小値は $h/H=1$ (h : 庇の設置高さ, H : 建築物高さ) の場合に庇の出幅の減少に伴い値が増加すること、隅角部設置は中央部設置に比べて絶対値が大きい傾向を示すことなどを明らかにした。

目 次

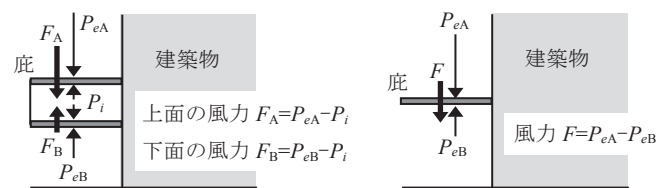
- I. はじめに
- II. 風洞実験方法
- III. 複合部材の庇に作用するピーク外圧係数
- IV. 単一部材の庇に作用するピーク風力係数
- V. おわりに

I. はじめに

高層建築物のエントランスや生産施設の搬出入口などには、日除け、雨除け、風除けなどを目的とした比較的大きな庇が設置されることが多い。この庇の風荷重算定に必要な外圧係数や風力係数は、建築基準法告示¹⁾や日本建築学会 建築物荷重指針²⁾などの基・規準に示されていないため、風洞実験や数値流体計算などで調査しなければ、適切な数値を設定できないのが実情である。一方、日本建築学会 建築物外装材耐風設計マニュアル³⁾では、既往の文献の活用例として、庇の外装材用ピーク外圧係数およびピーク風力係数の一例が示されている⁴⁾。しかし、本マニュアルは、建築物高さに対する庇の設置高さの比ではなく、建築物のアスペクト比の違いによる外圧係数や風力係数の変化に着目しているため、庇の外圧係数や風力係数に及ぼす影響が大きいと考えられる建築物高さに対する庇の設置高さの比が $0.67\sim 1$ の値が示されていない。また、外圧係数や風力係数に及ぼす庇の出幅の影響や建築物壁面に対する設置位置の影響についても不明な点があり、耐風設計に有用なデータの蓄積は今後の課題になっている。また、庇が Fig.1(a)に示すように、庇の上面が屋根材、下面が軒天井材で構成され、これらの外装材間に内部空間が存在する複合部材の場合と Fig.1(b)に示すように単一部材の場合では、ピーク風力係数の算出方法が異なる³⁾。複合部材における

庇上面のピーク風力係数は上面のピーク外圧係数と内部空間のピーク内圧係数との差から、庇下面のピーク風力係数は下面のピーク外圧係数と内部空間のピーク内圧係数との差からそれぞれ別々に求める必要がある (Fig.1(a)参照)。一方、単一部材のピーク風力係数は、庇の上面と下面の外圧の差から求める必要がある (Fig.1(b)参照)。このように、庇には外装材によって構成される内部空間の有無により、風力算出の考え方が異なるという特徴がある。

本報告は、生産施設のような低層建築物から超高層建築物に至る様々なエントランス庇を対象に、建築物高さに対する庇の設置高さの比、庇の出幅、庇の設置位置をパラメータとして、複合部材の庇に作用する外装材用ピーク外圧係数および単一部材の庇に作用する外装材用ピーク風力係数を風洞実験により調査することを目的とした。



(a) 複合部材の場合 (b) 単一部材の場合
 P_{eA} : 上面の外圧, P_{eB} : 下面の外圧, P_i : 外装材間の内圧

Fig.1 庇に作用する風力の求め方

(Calculation Method of Wind Force Acting on the Canopy)

II. 風洞実験方法

技術研究所の大型境界層風洞 (測定部断面 幅 4.5m×高さ 2.5m) を用いて、建築物のエントランス庇を対象に多点同時風圧測定実験を行った。Fig.2 および Fig.3 に実験模型の概要を示す。建築物の見

キーワード: 庇, エントランス, ピーク外圧係数, ピーク風力係数, 外装材, 風荷重, 風洞実験

Keywords: canopy, entrance, peak wind pressure coefficient, peak wind force coefficient, components and cladding, wind load, wind tunnel test

付幅 B と奥行き D は 40m (辺長比 $D/B=1$)、高さ H は 10~200m (アスペクト比 $H/\sqrt{BD}=0.25\sim 5$) の矩形建築物を想定し、それを 1/200 の縮尺率で模型化した (模型寸法は $B=D=200\text{mm}$, $H=50\sim 1000\text{mm}$)。底の設置高さ h は 10m, 見付幅 b は 20m とし (模型寸法は $h=50\text{mm}$, $b=100\text{mm}$)、建築物高さに対する底の設置高さの比 h/H は 0.05~1 である。底の厚さ t は 1.2m 相当 (模型寸法は $t=6\text{mm}$) であり、実物に比べてやや厚いが、これは外圧をセンサーに導くための導圧チューブ (外径 2.3mm) を底模型の内部に埋設したためである。底の出幅 L は 3, 6 および 9m (模型寸法は $L=15, 30$ および 45mm) とし、建築物の奥行きに対する底の出幅の比 L/D は 0.075, 0.15 および 0.225 である。建築物壁面に対する底の設置位置は、建築物の隅角部 (隅角部設置, Fig.3(b)参照) と中央部 (中央部設置, Fig.3(c)参照) とした。Fig.4 に底の風圧測定点位置を示す。風圧測定点は底の上面と下面に設けた。底に作用する風力は上下面の同時刻における外圧の時刻歴データの差から求めた。また、底と建築物壁面のピーク外圧係数の関係を検討するため、Fig.3(a)に示すように底の直上と直下の壁面に風圧測定点を設けた。壁面の風圧測定点の間隔は底と同じである。底や壁面に作用する外圧の向きは、面を押す方向を正、面を引く方

向を負と定義し、底に作用する風力の向きは、下向きを正、上向きを負と定義した。実験気流は Fig.5 に示すように建築物荷重指針²⁾の地表面粗度区分Ⅲとし、実験風向は Fig.3(b)に示すように底が設置された壁面に正対する風向を 0° として、 5° 間隔の 72 風向とした。実験風速は建築物高さ H で 10m/s, 計測条件はサンプリング間隔 0.001s, 個数 65536 とし、建築物高さ H により実時間で 50~80 分間相当のデータを取得した。全ての外圧データは導圧チューブを介したことによる変動成分の歪 (振幅倍率と位相差) を補正した。ピーク外圧およびピーク風力を評価する際の平均化時間は建築物高さ H により 0.3~0.5s であり、実時間 10 分間相当のデータ毎にピーク値を求め、それらをアンサンブル平均 (平均回数は 5~8) した。ピーク外圧係数およびピーク風力係数は建築物高さ H での速度圧で無次元化した。

Ⅲ. 複合部材の底に作用するピーク外圧係数

1. ピーク外圧係数に及ぼす建築物高さに対する底の設置高さの比および底の設置位置の影響

Fig.6 に実験結果の一例として、底出幅比 $L/D=0.15$, 隅角部設置における無次元距離 y/b (Fig.6 の凡例参照) と 72 風向中のピーク外圧

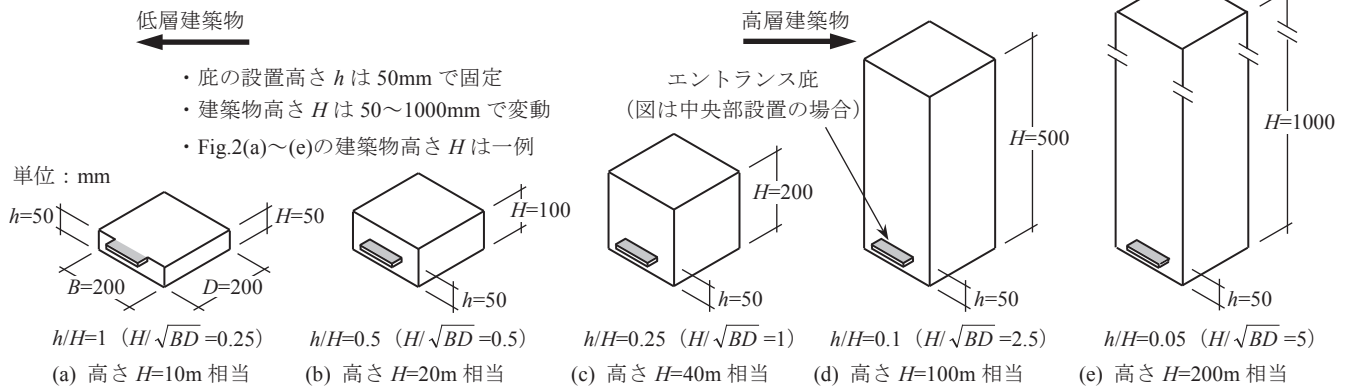


Fig.2 風洞実験模型の概要 (Outline of Wind Tunnel Test Models)

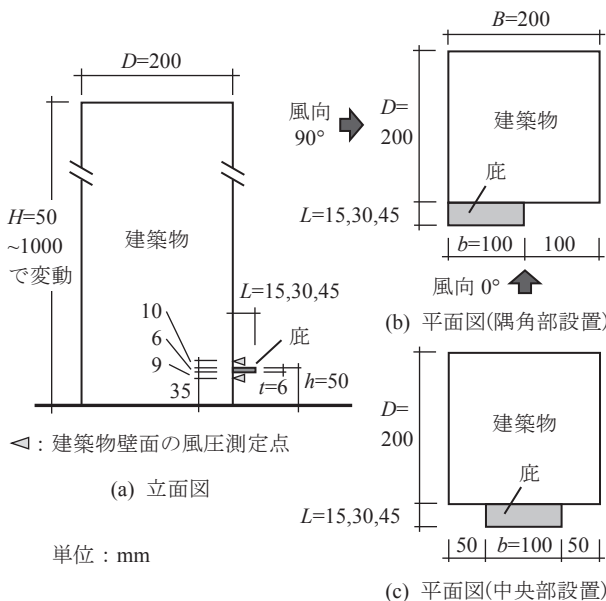


Fig.3 風洞実験模型の詳細 (立面図および平面図) (Details of Wind Tunnel Test Models)

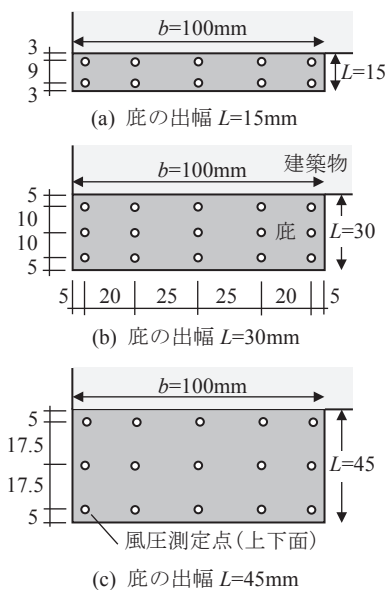


Fig.4 底の風圧測定点 (平面図) (Wind Pressure Measuring Points of Canopy)

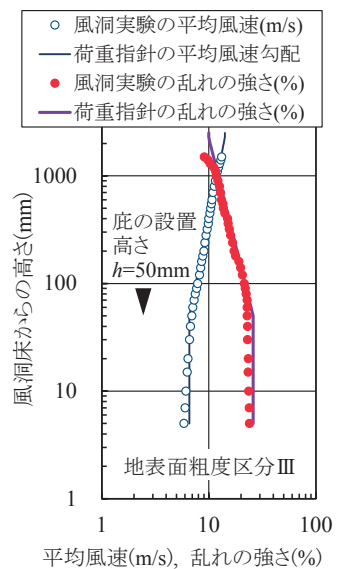


Fig.5 実験気流の鉛直分布 (Wind Tunnel Flow)

係数の最大値および最小値の関係を示す。凡例の A～C 列は建築物壁面からの距離の違いを表す (Fig.6 の凡例参照)。

Fig.6(a)に示す庇上面のピーク外圧係数の最大値は、庇が建築物頂部に設置される $h/H=1$ の場合、測定点の位置により 0.3～0.8 の値を示すが、 $h/H=0.83$ では 0.5～1.9、 $h/H=0.67$ では 1.3～2.2 になり、 h/H の減少に伴い値が増加する傾向を示す。しかし、 $h/H=0.67$ を超えると 2 前後の値になる。図は省略するが、 $h/H=0.125$ のように、庇の設置高さが建築物高さ比べて低い場合は、多くの測定点が風向 0° 付近で最大値を示したことから、建築物壁面に沿って下方へ向かう流れの影響が現れたと考えられる。一方、庇上面のピーク外圧係数の最小値は、 $h/H=1$ がほかの h/H に比べて絶対値が大きい傾向を示す。これは、 $h/H=1$ の場合、多くの測定点が風向 0° 付近で最小値を示したことから、庇の前縁から上方に剥離する流れの影響が現れたと考えられる。また、B 列の壁面隅角部付近の $y/b=0.05$ は、全測定点中で最も絶対値が大きい -5.9 を示す。これは、この値が風向 85° で生じたことから、上方の剥離に加えて壁面隅角部からの剥離による影響を受けた可能性が考えられる。しかし、 h/H が減少すると上方の剥離の影響が小さくなり、 $h/H=0.83$ を下回ると庇の測定点の位置によるが、-2～-4 程度になる。次に、Fig.6(b)に示す庇下面のピーク外圧係数の最大値は、 $h/H=1$ では 1.8～2.7、 $h/H=0.125$ では 0.9～1.7 の値を示し、 h/H の減少に伴い徐々に減少するが、庇上面に比べて h/H に対する値の変化は小さい。庇下面のピーク外圧係数の最小値は h/H

にかかわらず -2～-3 程度であり、 h/H による影響が小さいといえる。

ここで、ピーク外圧係数に及ぼす h/H の影響を詳しく検討するため、Fig.7 に庇出幅比 $L/D=0.15$ における h/H と全測定点かつ 72 風向中のピーク外圧係数の最大値および最小値の関係を示す。また、図中には隅角部設置および中央部設置の結果を示した。

Fig.7(a)に示す庇上面のピーク外圧係数の最大値は、隅角部設置、中央部設置共に、 $0.05 \leq h/H \leq 0.83$ では 2 前後であるが、 $h/H=1$ では隅角部設置で 0.8、中央部設置で 0.5 に減少する。一方、庇上面のピーク外圧係数の最小値は、隅角部設置の場合、 $0.05 \leq h/H \leq 0.83$ では -4 前後であるが、 $h/H=1$ では絶対値が大きくなり -5.9 の値を示す。中央部設置と比較すると、 $0.5 \leq h/H \leq 1$ では隅角部設置の方が絶対値が大きい傾向を示す。次に、Fig.7(b)に示す庇下面のピーク外圧係数の最大値は、隅角部設置、中央部設置共に、 $h/H=0.05$ では約 1.3 であるが、 h/H の増加に伴いほぼ直線的に増加し、 $h/H=1$ で約 2.7 の値を示す。一方、庇下面のピーク外圧係数の最小値は、 h/H の違いにかかわらず -3 前後であるが、 $0.67 \leq h/H \leq 1$ では隅角部設置の方が中央部設置に比べて絶対値が大きい傾向を示す。

以上より、庇上面のピーク外圧係数の最小値は、庇が建築物頂部に設置される $h/H=1$ の場合、吹上げの影響により、ほかの h/H に比べて絶対値が大きくなるので、耐風設計の際には注意が必要である。

2. ピーク外圧係数に及ぼす庇の出幅の影響

Fig.8 に庇出幅比 L/D と全測定点かつ 72 風向中のピーク外圧係数

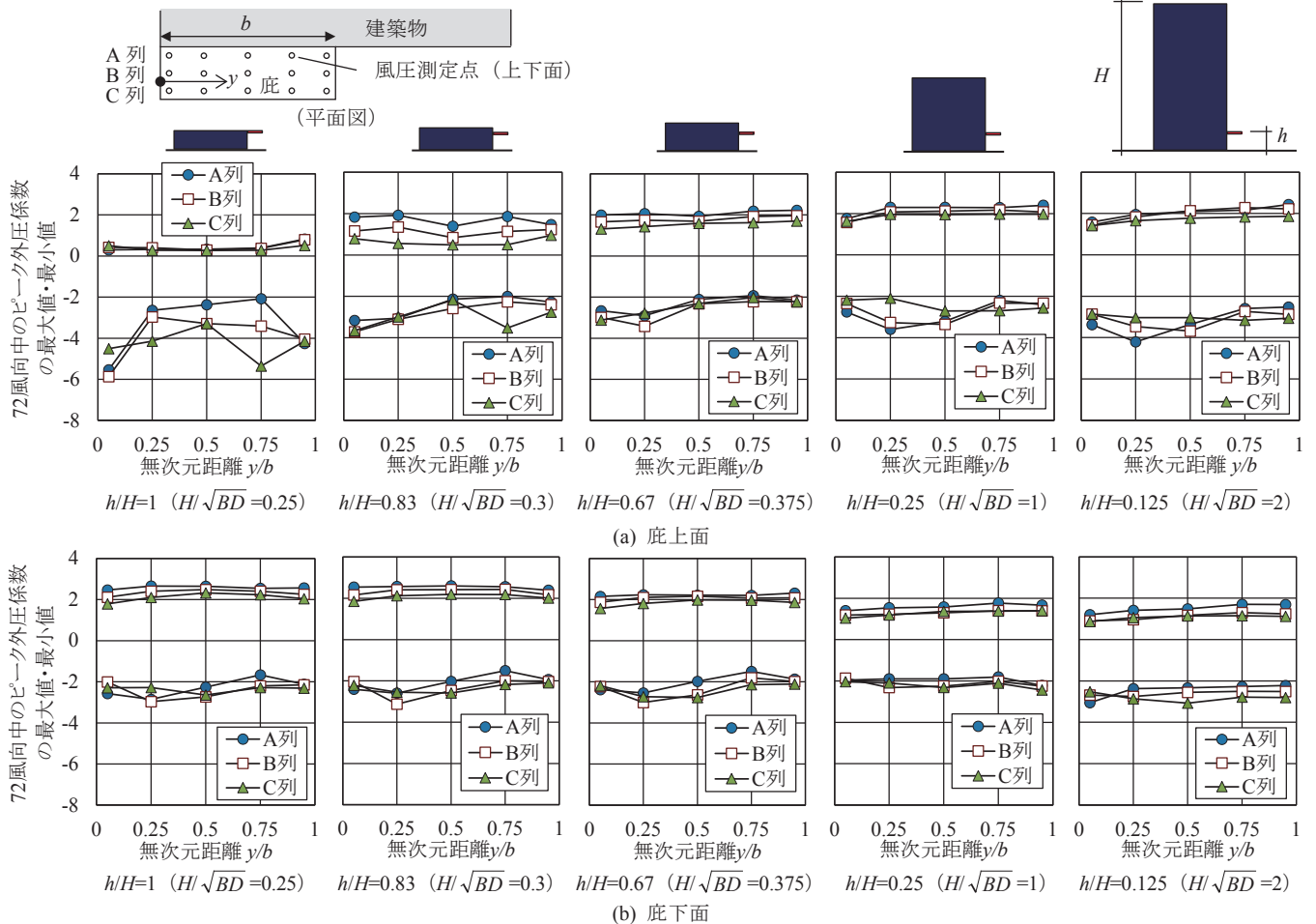


Fig.6 無次元距離 y/b と 72 風向中のピーク外圧係数の最大値・最小値の関係 [庇出幅比 $L/D=0.15$, 隅角部設置]

(Relationships between y/b and Positive and Negative Peak Wind Pressure Coefficients in 72 Wind Directions [$L/D=0.15$, Corner Position of Building])

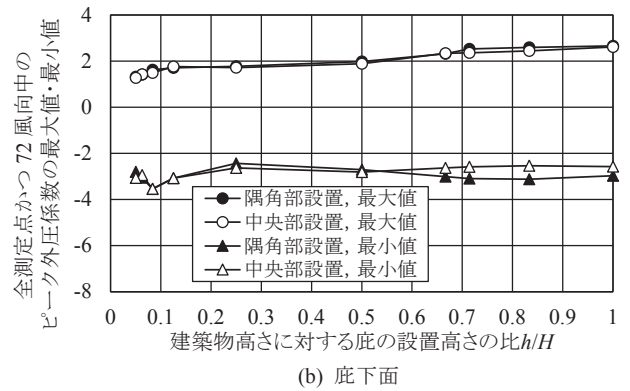
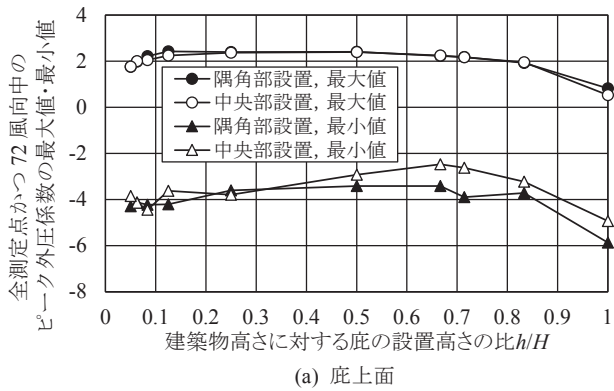


Fig.7 建築物高さに対する底の設置高さの比 h/H と全測定点かつ 72 風向中のピーク外圧係数の最大値・最小値の関係 [底出幅比 $L/D=0.15$] (Relationships between h/H and Positive and Negative Peak Wind Pressure Coefficients in 72 Wind Directions and All Measuring Points [$L/D=0.15$])

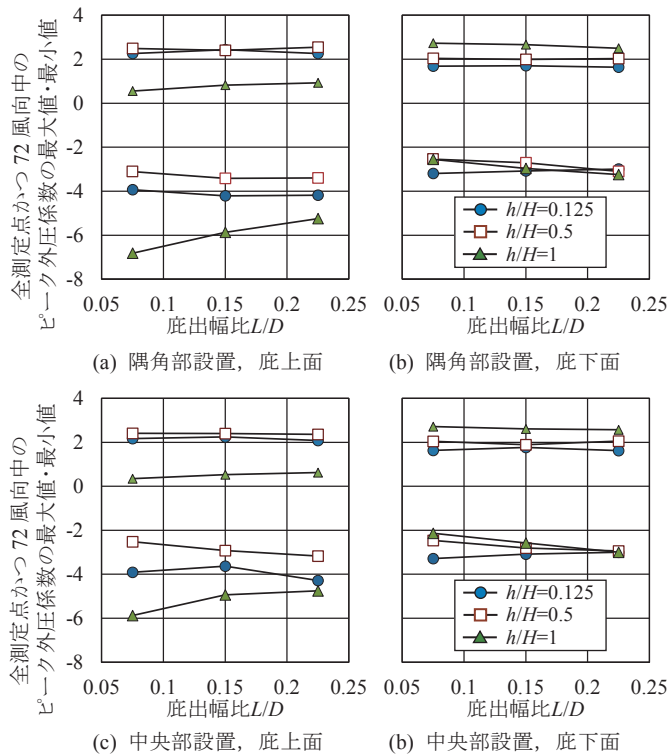


Fig.8 底出幅比 L/D と全測定点かつ 72 風向中のピーク外圧係数の最大値・最小値の関係

(Relationships between L/D and Positive and Negative Peak Wind Pressure Coefficients in 72 Wind Directions and All Measuring Points)

の最大値および最小値の関係を示す。ここでは、代表例として、 $h/H=0.125, 0.5$ および 1 に注目した。

Fig.8(a)に示す隅角部設置における底上面のピーク外圧係数の最大値は、 L/D の違いにかかわらずほぼ一定の値を示すため、底の出幅の影響は小さいといえる。一方、底上面のピーク外圧係数の最小値は、 $h/H=0.125$ および 0.5 では L/D によらずほぼ一定であるが、 $h/H=1$ は L/D の減少に伴い絶対値が増加し、 $L/D=0.075$ では -6.8 を示す。これは、この値が風向 80° の時に壁面隅角部近傍の測定点で生じたことから、底の出幅が小さい場合は、底上面が屋根面端部付近の上方への剥離と壁面隅角部からの剥離による影響を受けた可能性が考えられる。次に、Fig.8(b)に示す底下面のピーク外圧係数の最大値および最小値は、 L/D の違いにかかわらずほぼ一定であり、底の出

幅の影響は小さいといえる。Fig.8(c)(d)に示す中央部設置についても、隅角部設置と定性的な傾向が同様であることがわかる。

3. 底と建築物壁面のピーク外圧係数の比較

底に作用する外圧は、底近傍の建築物壁面に作用する外圧に近くなるため³⁾、ここでは底と壁面のピーク外圧係数を比較、検討する。Fig.9に一例として、 $h/H=0.5, L/D=0.15$ における無次元距離 y/b と 72 風向中のピーク外圧係数の最大値および最小値の関係を示す。

Fig.9(a)に示す隅角部設置における底上面のピーク外圧係数の最大値は、壁面近傍 A 列の $0.25 \leq y/b \leq 0.95$ では、底直上の壁面のピーク外圧係数の最大値とほぼ一致するが、壁面隅角部付近の $y/b=0.05$ では両者に差が見られる。これは、壁面隅角部付近は剥離や吹き降ろしといった複雑な流れの影響を受けるため、底と壁面の僅かな位置の差が値に現れた可能性が考えられる。底の B, C 列については、底直上の壁面に比べて値が小さく、壁面から離れるほど壁面との差が大きくなることが確認できる。一方、底上面のピーク外圧係数の最小値は、壁面近傍 A 列の $0.25 \leq y/b \leq 0.75$ では底直上の壁面とほぼ一致するが、底端部の $y/b=0.05$ および 0.95 では差が見られる。特に、壁面隅角部付近の $y/b=0.05$ は底と壁面の差が大きく、前述したように壁面隅角部付近の複雑な流れの影響を受けたためと考えられる。底の B, C 列については、壁面との距離があるため、壁面の値との対応は良くない。次に、Fig.9(b)に示す底下面のピーク外圧係数の最大値は、底上面とほぼ同様の傾向を示し、底下面のピーク外圧係数の最小値は、壁面近傍 A 列では底直下の壁面とほぼ一致するが、B, C 列は壁面に比べて絶対値が大きい傾向を示す。

Fig.9(c)(d)に示す中央部設置の底のピーク外圧係数の最大値および最小値は、底上面、下面共に、壁面近傍 A 列では y/b によらず壁面の値とほぼ一致した。底の B, C 列については壁面から離れるほど壁面に比べて値が減少するが、定性的な傾向は壁面と同様である。

以上より、壁面近傍の底 (A 列) のピーク外圧係数は、壁面隅角部付近を除けば、直近の壁面のピーク外圧係数と良い対応を示すことがわかった。すなわち、壁面隅角部付近に注意すれば、底の屋根や軒天井のピーク外圧係数に直近の壁面の値を適用することができる。しかし、壁面から離れた底の領域 (B, C 列) については、底と壁面のピーク外圧係数の対応が良くなかった。なお、この領域 (B, C 列) において、底のピーク外圧係数に壁面の値を適用すると、最大値については風荷重算定値が安全側の評価になるが、最小値については過小評価になるので注意が必要である。

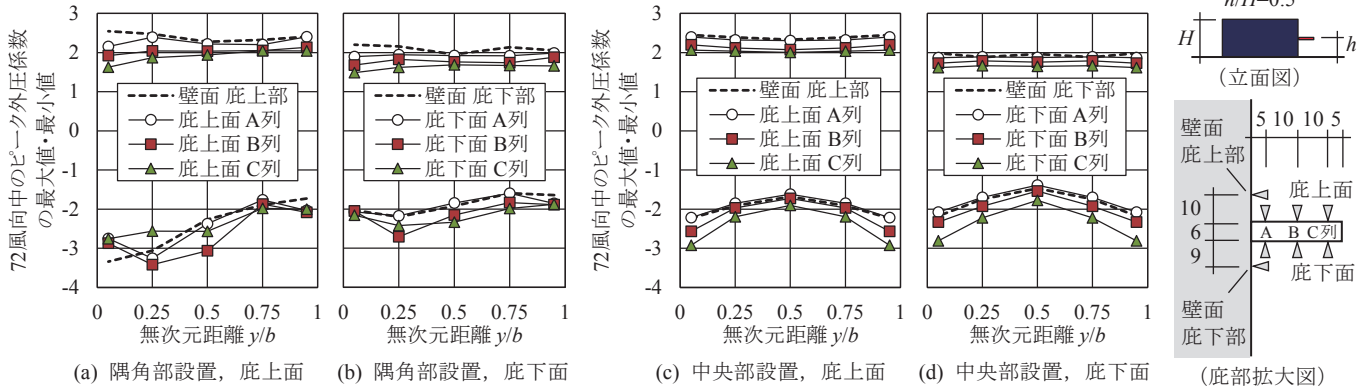


Fig.9 庇と建築物壁面のピーク外圧係数の比較 [建築物高さに対する庇の設置高さの比 $h/H=0.5$, 庇出幅比 $L/D=0.15$]
(Comparison between Canopy and Building Wall in Peak Wind Pressure Coefficients in 72 Wind Directions [$h/H=0.5$, $L/D=0.15$])

IV. 単一部分材の庇に作用するピーク風力係数

1. ピーク風力係数に及ぼす建築物高さに対する庇の設置高さの比および庇の設置位置の影響

Fig.10 に一例として、庇出幅比 $L/D=0.15$, 隅角部設置における無次元距離 y/b と 72 風向中のピーク風力係数の最大値および最小値の関係を示す。

庇のピーク風力係数の最大値は、 $h/H=0.125$ の $y/b=0.95$ (建築物壁面中央付近) において約 3.4 を示すが、それ以外では h/H にかかわらず 1~2 程度の値を示す。一方、ピーク風力係数の最小値は、庇が建築物頂部に設置される $h/H=1$ がほかの h/H に比べて絶対値が大きい。これは、 $h/H=1$ の場合、ほとんどの測定点が風向 0° 付近で最小値を示したことから、庇の前縁から上方に剥離する流れに起因する吹上げの影響と考えられる。また、壁面隅角部近傍の A 列の $y/b=0.05$ は、全測定点中で最も絶対値が大きい -7.2 を示す。これは、この値が風向 60° で発生したことから、吹上げに加えて壁面隅角部からの剥離の影響により増加した可能性が考えられる。しかし、 h/H が減少すると吹上げの影響が小さくなると考えられ、 $h/H \leq 0.67$ では -2 前後に低減する。

ここで、庇のピーク風力係数に及ぼす h/H の影響を詳しく検討するため、Fig.11 に $L/D=0.15$ における h/H と全測定点かつ 72 風向中

のピーク風力係数の最大値および最小値の関係を示す。また、図中には隅角部設置および中央部設置の結果を示した。

庇のピーク風力係数の最大値は、中央部設置の場合、 h/H の違いにかかわらず 2~2.6 の値を示す。隅角部設置の場合は、 $0.05 \leq h/H < 0.25$ において中央部設置に比べて値が大きい傾向を示し、 $h/H=0.1$ 付近で約 3.4 を示すが、 $h/H \geq 0.25$ では中央部設置とほぼ同様である。一方、ピーク風力係数の最小値は、隅角部設置の場合、 $0.05 \leq h/H \leq 0.67$ では -2.6~-3.3 であるが、 $h/H > 0.67$ では吹上げの影響により、 h/H の増加に伴いほぼ直線的に絶対値が増加し、 $h/H=1$ で -7.2 の値を示す。中央部設置の場合は、 $0.05 \leq h/H \leq 0.67$ では -2.1~-2.8, $h/H=1$ では -6.5 であり、隅角部設置に比べて絶対値が小さいことがわかる。

以上より、庇のピーク風力係数の最小値は、 h/H が 0.67 を超えると、庇を押し上げる吹上げの影響により、 $h/H \leq 0.67$ に比べて絶対値が大きくなるので、耐風設計の際には注意が必要である。

2. ピーク風力係数に及ぼす庇の出幅の影響

Fig.12 に庇出幅比 L/D と全測定点かつ 72 風向中のピーク外圧係数の最大値および最小値の関係を示す。ここでは、代表例として、 $h/H=0.125, 0.5$ および 1 に注目した。

庇のピーク風力係数の最大値は、隅角部設置の $h/H=0.125$ において、 L/D の増加に伴い値が減少する傾向が見られるが、それ以外で

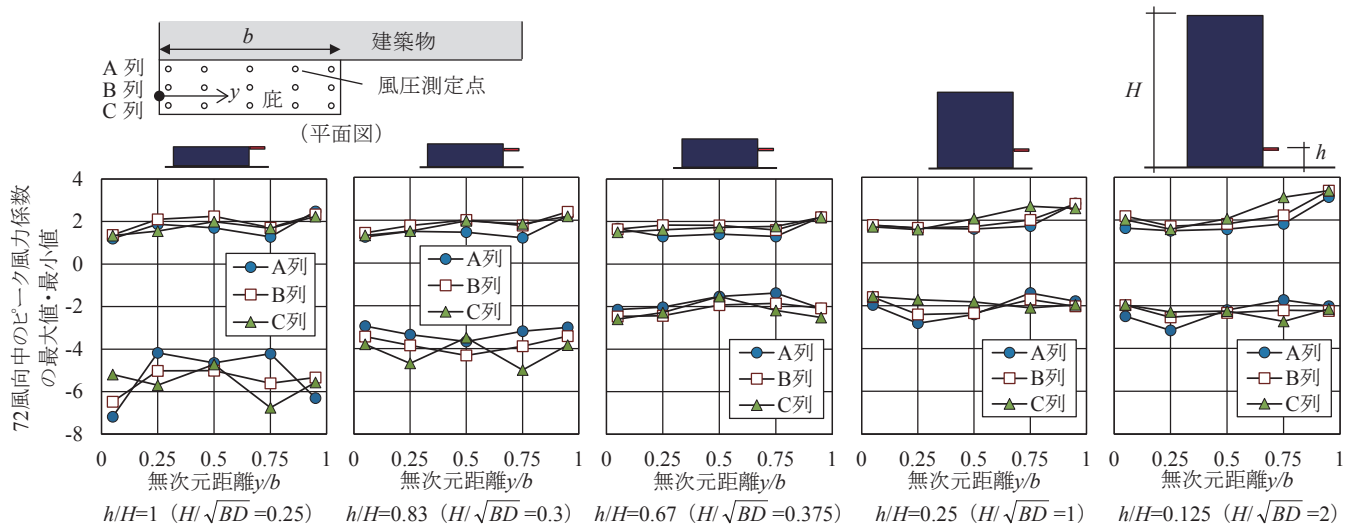


Fig.10 無次元距離 y/b と 72 風向中のピーク風力係数の最大値・最小値の関係 [庇出幅比 $L/D=0.15$, 隅角部設置]

(Relationships between y/b and Positive and Negative Peak Wind Force Coefficients in 72 Wind Directions [$L/D=0.15$, Corner Position of Building])

は L/D の違いにかかわらずほぼ一定の値を示し、底の出幅の影響は小さいといえる。一方、ピーク風力係数の最小値は、隅角部設置、

中央部設置共に、 $h/H=0.125$ および 0.5 では L/D にかかわらずほぼ一定であるが、 $h/H=1$ では L/D の減少に伴い絶対値が増加し、 $L/D=0.075$ で-8を示す。これは、この値が隅角部設置、中央部設置共に風向 0° 付近で発生したことから、底が建築物頂部に設置され、かつ底の出幅が小さい場合は、底が屋根面端部付近の上方への剥離の影響を顕著に受けるためと考えられる。

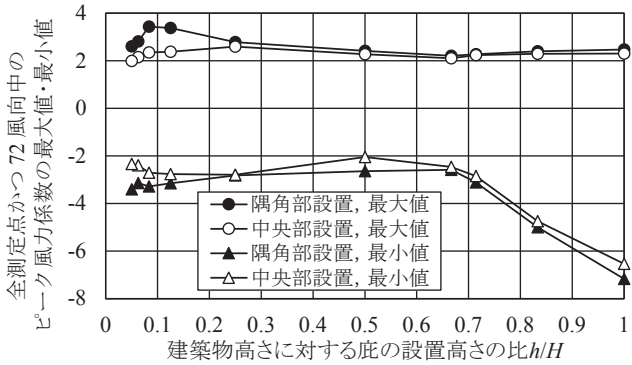


Fig.11 建築物高さに対する庇の設置高さの比 h/H と全測定点かつ72風向中のピーク風力係数の最大値・最小値の関係 [庇出幅比 $L/D=0.15$]
(Relationships between h/H and Positive and Negative Peak Wind Force Coefficients in 72 Wind Directions and All Measuring Points [$L/D=0.15$])

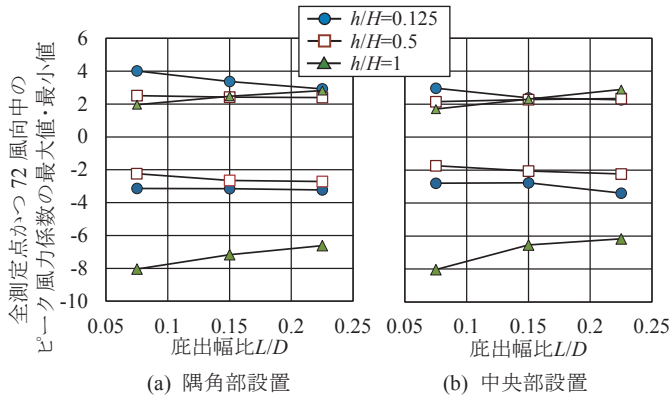


Fig.12 庇出幅比 L/D と全測定点かつ72風向中のピーク風力係数の最大値・最小値の関係
(Relationships between L/D and Positive and Negative Peak Wind Force Coefficients in 72 Wind Directions and All Measuring Points)

V. おわりに

建築物のエントランス庇を対象に、建築物高さに対する庇の設置高さの比、底の出幅、庇の設置位置をパラメータとして、底に作用する外装材用ピーク外圧係数およびピーク風力係数を風洞実験により調査した。その結果、以下の知見が得られた。

- a. 庇上面のピーク外圧係数の最小値は、底が建築物頂部に設置される $h/H=1$ の場合、ほかの h/H に比べて絶対値が大きく、底の出幅の減少に伴い絶対値が増加すること、 $0.5 \leq h/H \leq 1$ では隅角部設置の方が中央部設置に比べて絶対値が大きいことがわかった。
- b. 庇のピーク風力係数の最小値は、 $0.67 < h/H \leq 1$ において h/H の増加に伴い絶対値が増加すること、 $h/H=1$ では底の出幅の減少に伴い絶対値が大きくなること、隅角部設置は中央部設置に比べて絶対値が大きい傾向を示すことがわかった。
- c. 建築物壁面近傍の庇のピーク外圧係数は、壁面隅角部付近を除き、直近の壁面のピーク外圧係数と一致することがわかった。しかし、壁面から離れると、庇と壁面の値に差が見られた。

参考文献

- 1) 建設省告示第1454号, 第1458号, 2000.
- 2) 日本建築学会; 建築物荷重指針・同解説, 2015.2.
- 3) 日本建築学会; 実務者のための建築物外装材耐風設計マニュアル, 2013.2.
- 4) 染川大輔, 田畑侑一, 谷口徹郎, 谷池義人; 高層建物の庇に作用する風荷重, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, 2010.9, pp.135-136.

Peak Wind Pressure Coefficients and Peak Wind Force Coefficients on Building Entrance Canopies

Manabu Yamamoto, Yoshiaki Itoh and Kahoru Nakayama

Canopies are usually situated at the entrance of a building. However, there is insufficient information on wind pressure coefficients and wind force coefficients to provide for their appropriate wind-resistant design. This study investigates using wind tunnel tests the peak wind pressure coefficients and the peak wind force coefficients for cladding on entrance canopies. The experiment parameters used as factors affecting the wind pressure coefficients and the wind force coefficients on the canopy were the ratio of the canopy height to the building height and the protrusion and location of the canopy. The results showed notably that the minimum values of peak wind pressure coefficients of the top surface of the canopy and the peak wind force coefficients increased as the protrusion of the canopy decreased in the case of $h/H=1$ (h : canopy height, H : building height) and that the peak wind pressure coefficients and the peak wind force coefficients of canopies located on the corner of a building were greater than those of canopies located at the center.