

バルコニーを有する建築物の風荷重に関する研究 その2 バルコニー手摺に作用する風荷重の評価

Study on the Wind Load of the Building with Balconies Part2 The Evaluation of Wind Load on Balcony Handrail

山内 豊英*

要 旨

前報¹⁾では、外壁面に凹凸のない滑面模型とそれらにバルコニーを付した模型の風洞実験を行い、バルコニーの有無による外壁への風荷重の影響、およびバルコニー手摺の風荷重分布について報告した。それらについて、更に詳細な検討を行った結果、外壁面に関しては、正圧のピーク風圧係数はバルコニーの有無に依存せず、負圧のピーク風圧係数はバルコニーを設けることにより大幅に減少するという特性を模型の全層に亘って確認した。また、建物のコーナー部分に位置するバルコニー手摺については、外壁面の正圧とバルコニー手摺の内側の風圧、および外壁面の負圧とバルコニー手摺の外側の風圧に強い相関があることを示し、バルコニー手摺に作用する風荷重を評価する方法を提案した。

キーワード：風荷重／バルコニー／風圧係数／相互相関係数

1. はじめに

前報¹⁾では、外壁面に凹凸のない基本的形状滑面模型とそれらにバルコニーを付した模型による風洞実験、およびその実験により得られた外壁面とバルコニー手摺の風圧係数の概要について示した。その結果、バルコニーを設けることにより外壁面の負圧が減少すること、また、建物のコーナー部分に位置するバルコニー手摺には非常に大きな風荷重が作用し、逆に中央部分では風荷重が極めて小さいことを確認した。

本報では、それらの結果を用いて、外壁面のピーク風圧係数と建設省告示および建築物荷重指針・同解説(1993年)(以降、荷重指針と称す)に示されるピーク外圧係数との比較・考察、並びに、バルコニー手摺に生じるピーク風力係数について検討した結果を示す。

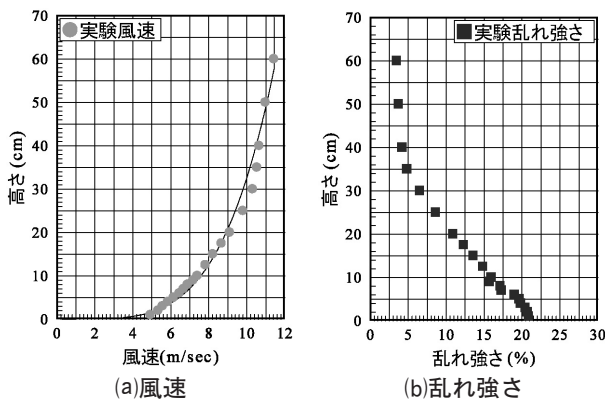


図-1 実験気流のプロファイル

2. 風洞実験概要

2.1 実験模型

実験模型と想定建築物との関係を表-1に示す。実験模型は縮尺を1/200とし、アスペクト比および平面辺長比をパラメータとした4種類の矩形模型とそれらの外周全面にバルコニーを設けた模型の全8種類とした。模型の詳細は前報¹⁾を参照されたい。なお、以下では、正方形平面でアスペクト比を4とした模型PA4(バルコニーあり/なし)および平面辺長比を4とした模型PLS4(バルコニーあり/なし)の実験結果を用いて検討を行うこととし、模型PA2および模型PLS2については省略する。

2.2 実験条件

実験気流は建設省告示1454号に示される地表面粗度区分Ⅲを近似した勾配流とした。実験気流のプロファイルを図-1に示す。相似則、実験風向角、サンプリング条件等、その他実験条件の詳細は前報¹⁾を参照されたい。

表-1 実験模型と想定建築物

模型名称		実験模型 (mm)			想定建築物 (m)		
		幅	奥行	高さ	幅	奥行	高さ
PA2	N:バルコニーなし	105	105	211	21	21	42
	B:バルコニーあり						
PA4	N:バルコニーなし	105	105	421	21	21	84
	B:バルコニーあり						
PLS2	N:バルコニーなし	140	70	151	28	14	30
	B:バルコニーあり						
PLS4	N:バルコニーなし	280	70	151	56	14	30
	B:バルコニーあり						

*構造研究グループ

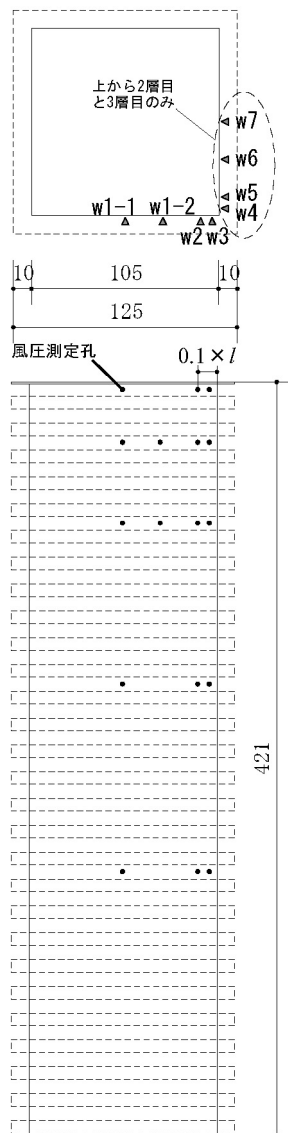
3. 外壁面のピーク風圧係数

建設省告示および荷重指針に示される外壁の外圧係数は正圧（壁面を建物内部へ押す方向の圧力）と負圧（壁面を外側に引張る方向の圧力）に分けて示されており、設計においては、それらの外圧係数と屋内の内圧係数との差を取り、正圧と負圧それぞれについて検討を行うこととしている。したがって、本報告においても、ピーク風圧係数を正圧と負圧に分けて検討する。

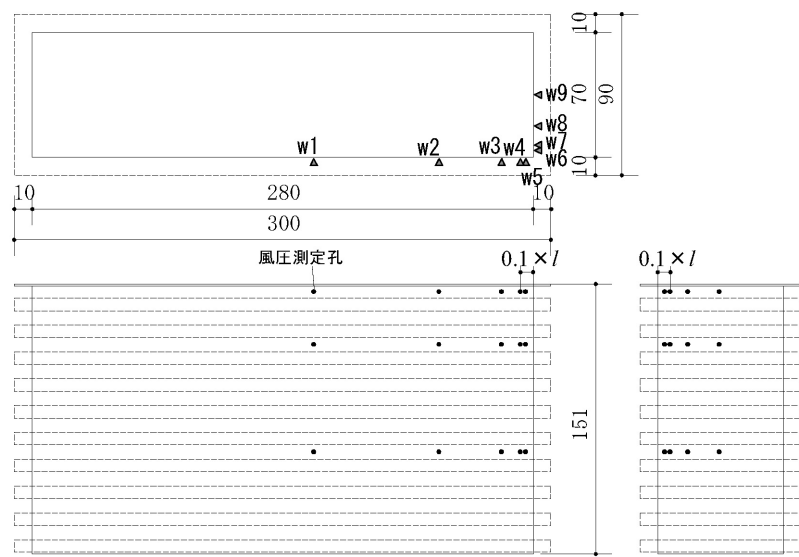
3.1 外壁の風圧測定孔

模型PA4および模型PLS4の外壁に設けられた風圧測定孔をそれぞれ図-2(a)および(b)に示す。外壁の風圧測定孔はバルコニーの有無にかかわらず同じ位置とし、模型PA4については、28階、26階、23階、17階および10階の5層、模型PLS4については、10階、8階および4階

の3層に設けた。図中の l はそれぞれの模型平面の短辺長さを表す。（模型PA4は $l=105\text{mm}$ 、模型PLS4は $l=70\text{mm}$ とする。）なお、各辺の端部から $0.1l$ の位置に設けた風圧測定孔は建設省告示および荷重指針との対応を調べる為に設けた。



(a)模型PA4



(b)模型PLS4

図-2 外壁の風圧測定孔（単位：mm）

3.2 正圧のピーク風圧係数

模型PA4および模型PLS4について、全風向で測定されたピーク風圧係数の各層毎の最大値と、建設省告示および荷重指針に示される正圧のピーク風圧係数との関係を図-3(a)および(b)に示す。図中の縦軸は測定孔の高さを模型の高さで除して無次元化した「高さ比」である。

正圧のピーク風圧係数については、バルコニーの有無による変化がほとんど見受けられず、模型PA4および模型PLS4のどちらも建設省告示および荷重指針に示されるピーク風圧係数で安全側に評価できていることがわかる。

ここで、図-3(a)を見ると、建設省告示および荷重指針値が過大評価となっているように見受けられるが、これについて若干補足しておく。

一般に、正圧の変動外圧係数 C'_{pe} は平均風圧係数 C_{pe} および風速の乱れ強さ I_z を用いて式(1)で表されることが知られている³⁾。

$$C'_{pe} = 2 \cdot I_z \cdot C_{pe} \quad (1)$$

一方、今回行った風洞実験における接近流の乱れ強さは、荷重指針等に示される乱れ強さと比較すると若干弱く、風洞床面からの高さが高くなるほどにその傾向が顕著である。すなわち、床面からの高さに依存して式(1)中の I_z が実現象よりも小さくなり、それに伴い変動風圧成分も小さくなっていると考えられる。したがって、模型PA4のように背の高い模型においては、建設省告示および荷重指針値が実験結果を大幅に上回ったものと考えられる。

3.3 負圧のピーク風圧係数

模型PA4および模型PLS4について、全風向で測定されたピーク風圧係数の各層毎の最小値と、建設省告示および荷重指針に示される負圧のピーク風圧係数との関係を図-3の(c)から(f)に示す。本来、負圧の風圧係数の値はマイナス値をとるが、グラフ上では絶対値で表示している。なお、今回用いた模型の場合、建設省告示および荷重指針に示される負圧のピーク風圧係数は、建物端部からの距離に応じて図-4に示すような範囲で分けて示されている為、グラフもその範囲で分けて示す。

図-3(c)および(d)によると、模型PA4については、全外壁面にわたって建設省告示および荷重指針値で安全側に評価できていることがわかる。さらに、バルコニーを設けた模型の方が、ピーク風圧係数が大幅に減少していることがわかる。一方、図-3(e)および(f)によると、模

型PLS4については、バルコニーなしの短辺側の風圧係数が建設省告示および荷重指針値を超えている。この原因については、前述の接近流の乱れ強さによる影響、および荷重指針でのピーク風圧の評価時間が0.5~1.0sec程度であるのに対し本実験ではピーク風圧の評価時間を実時間で0.25secとしていること等が考えられる。なお、模型PLS4においても、バルコニーを設けた模型の方が、ピーク風圧係数が大幅に減少していることがわかる。

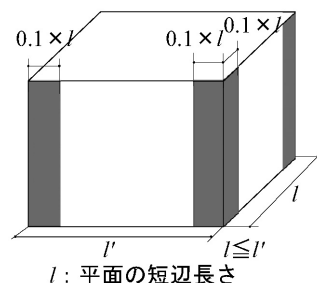


図-4 負圧の分布範囲

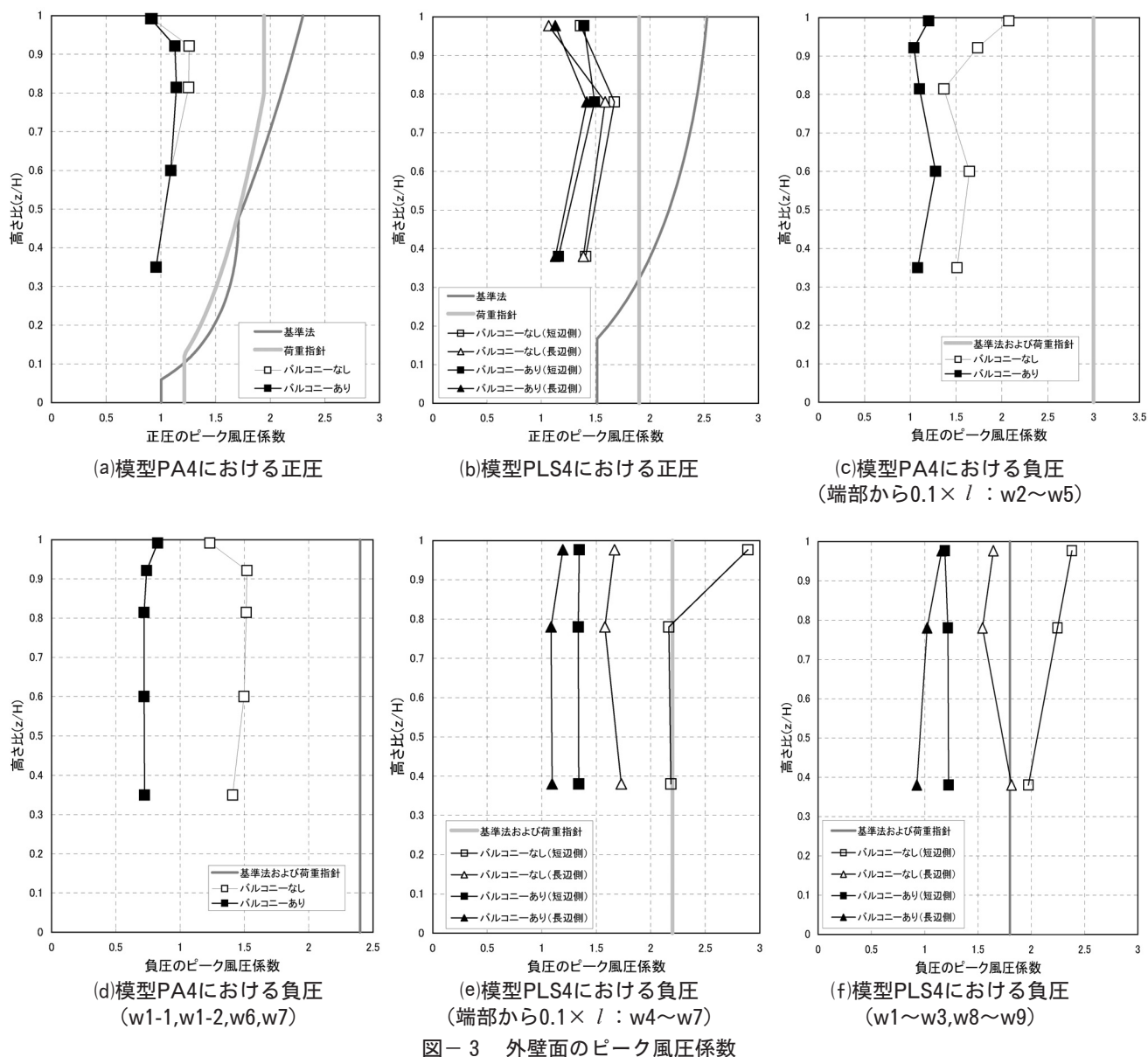


図-3 外壁面のピーク風圧係数

4. バルコニー手摺に作用する風荷重

4.1 バルコニー手摺の風圧測定孔

模型PA4-Bおよび模型PLS4-Bのバルコニー手摺に設けられた風圧測定孔をそれぞれ図-5(a)および(b)に示す。風圧測定孔は外壁と同様に、模型PA4-Bについては、28階、26階、23階、17階および10階の5層、模型PLS4-Bについては、10階、8階および4階の3層に設けた。(図-2(a)および(b)と同様に、模型PA4-Bは $l=105\text{mm}$ 、模型PLS4-Bは $l=70\text{mm}$)

4.2 バルコニー手摺のピーク風力係数

図-6に示すように、時刻 t におけるバルコニー手摺の外側に作用する風圧力を ${}_{bal}P_{out}(t)$ 、内側に作用する風圧力を ${}_{bal}P_{in}(t)$ とし、模型頂部の基準速度圧を q_H とすると、外側および内側の風圧係数 ${}_{bal}C_{out}(t)$ 、 ${}_{bal}C_{in}(t)$ は次の(2)式ようになる。

$$\begin{aligned} {}_{bal}C_{out}(t) &= \frac{{}_{bal}P_{out}(t)}{q_H} \\ {}_{bal}C_{in}(t) &= \frac{{}_{bal}P_{in}(t)}{q_H} \end{aligned} \quad (2)$$

これら ${}_{bal}C_{out}(t)$ 、 ${}_{bal}C_{in}(t)$ より、バルコニー手摺のピーク風力係数 ${}_{bal}C_{peak}$ を次の(3)式のように定義する。

$${}_{bal}C_{peak} = \text{Max}(|{}_{bal}C_{out}(t) - {}_{bal}C_{in}(t)|) \quad (3)$$

以下、このピーク風力係数を用いて考察を行う。

4.3 ピーク風力係数の分布

バルコニー手摺に設けた風圧測定孔位置のピーク風力係数のうち、全風向での最大値を測定孔毎に示したものを図-7に示す。図-7(a)によると、模型PA4の場合、b1(b9)～b2(b7)の範囲はピーク風力係数が小さく、最大でも0.5前後である。一方、コーナー部に位置するb3(b6)およびb4(b5)となると急激にピーク風力係数が大きくなり、最大で2.90となった。

また、図-7(b)および(c)によると、模型PLS4においても同様の傾向が見受けられる。コーナー部に位置するb5からb7でピーク風力係数が非常に大きく、b6は最大で2.35、b7は最大で2.83となった。

いずれにせよ、バルコニー手摺に作用する風荷重は、中央部では非常に小さく、コーナー部では非常に大きくなることがわかる。更に、その風荷重は、端部から $0.1l$ 付近で急激に上昇していることもわかる。今回の実験においては、模型平面の角から $0.1l$ の点より中央部にかけてはピーク風力係数が非常に小さかった。

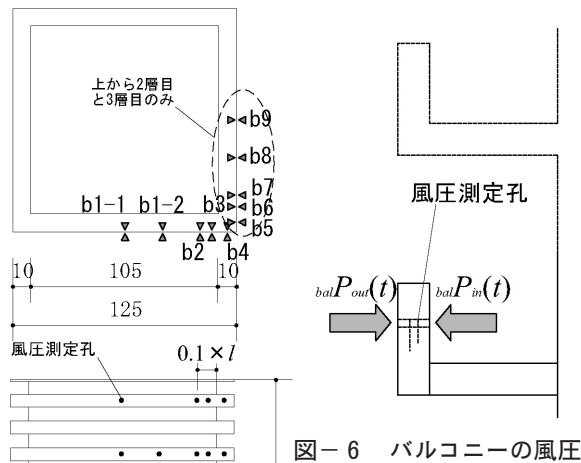


図-6 バルコニーの風圧

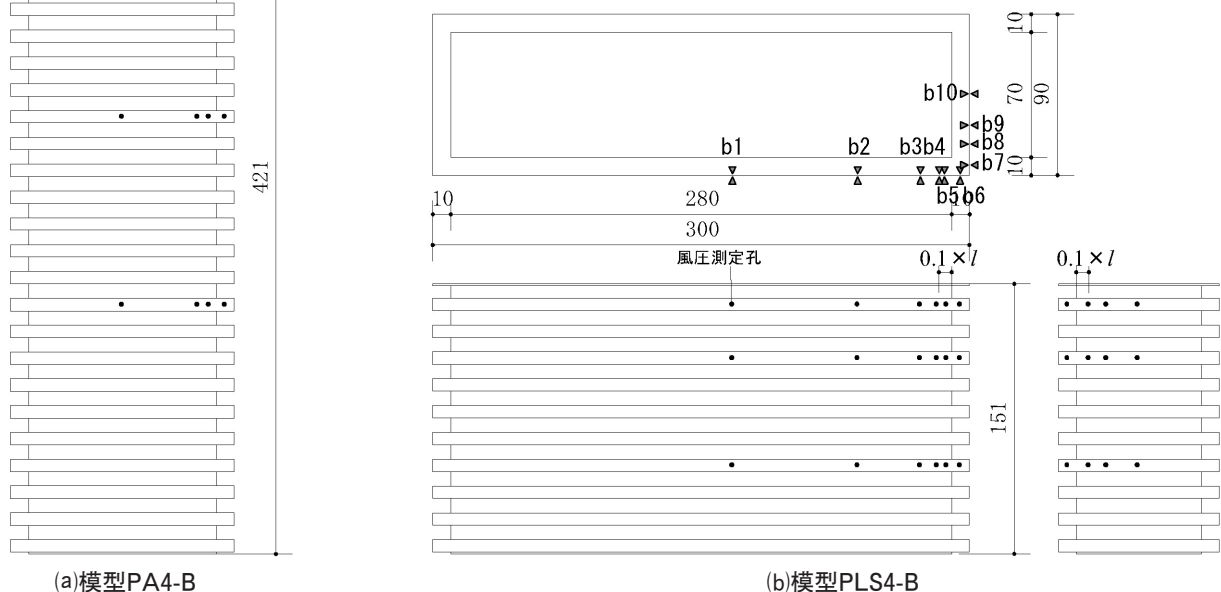


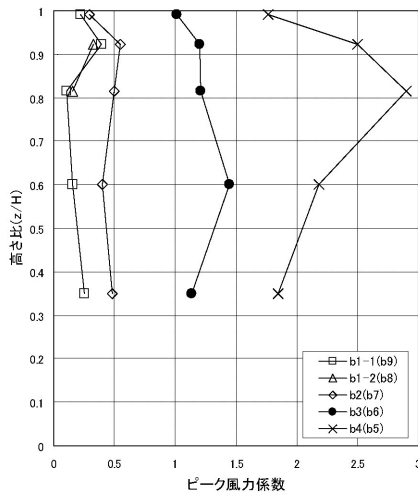
図-5 バルコニー手摺の風圧測定孔 (単位: mm)

4.4 風力係数のピークファクター

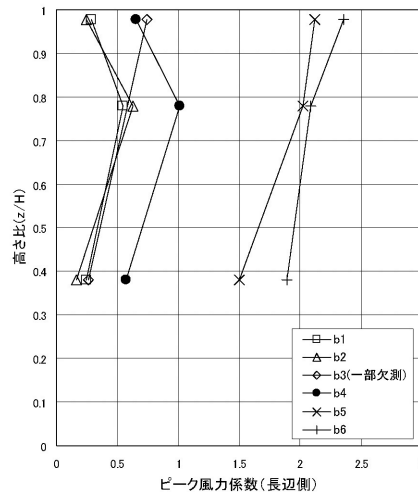
バルコニー手摺のピーク風力係数を $_{bal}C_{peak}$ 、平均風力係数を $_{bal}C$ 、風力係数の標準偏差を $_{bal}C'$ とした時、式(4)中の g_{bal} を風力係数のピークファクターと呼ぶ。

$$_{bal}C_{peak} = \overline{_{bal}C} + g_{bal} \cdot _{bal}C' \quad (4)$$

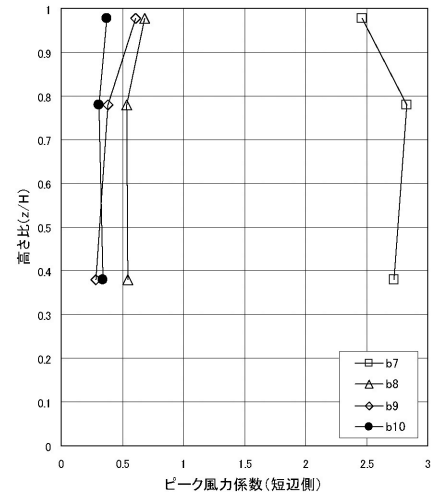
バルコニー手摺の各風圧測定孔におけるピーク風力係数の最大値、その時の平均風力係数および標準偏差から(4)式を用いてピークファクターを算定した。その結果を図-8に示す。図-8によると、ピークファクターは、(b)模型PLS4(長辺側)の値が(a)模型PA4、(c)模型PLS4(短辺側)と比較してやや大きい値を示しているが、模型形状および風圧測定孔の位置による明確な違いが見受けられない。その値は、おおよそ3~6程度の範囲で分布していることがわかる。



(a)模型 PA4

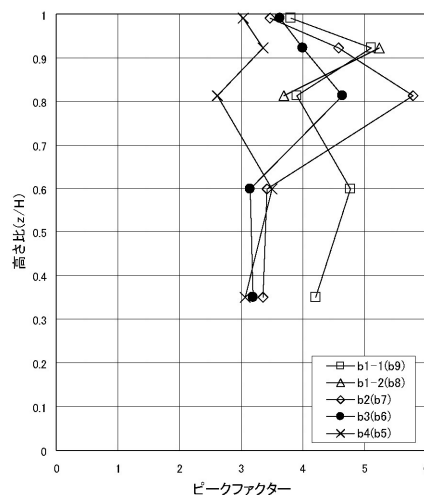


(b)模型 PLS4(長辺側)

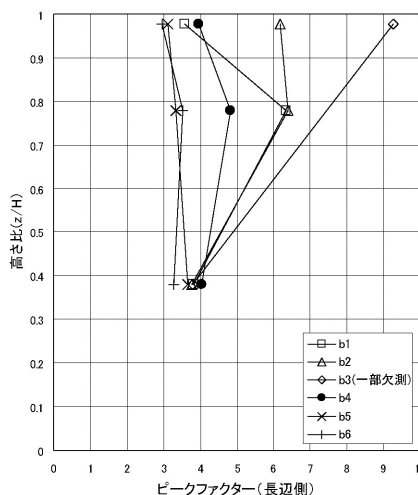


(c)模型 PLS4(短辺側)

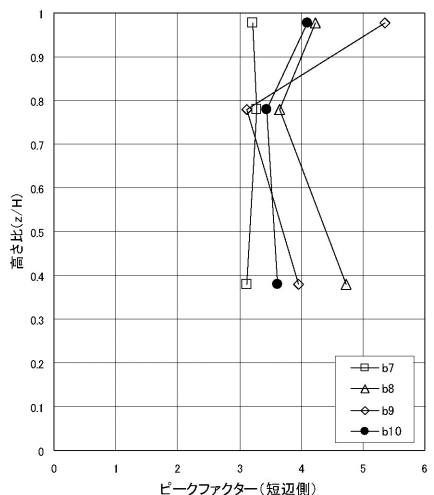
図-7 バルコニー手摺のピーク風力係数



(a)模型 PA4



(b)模型 PLS4(長辺側)



(c)模型 PLS4(短辺側)

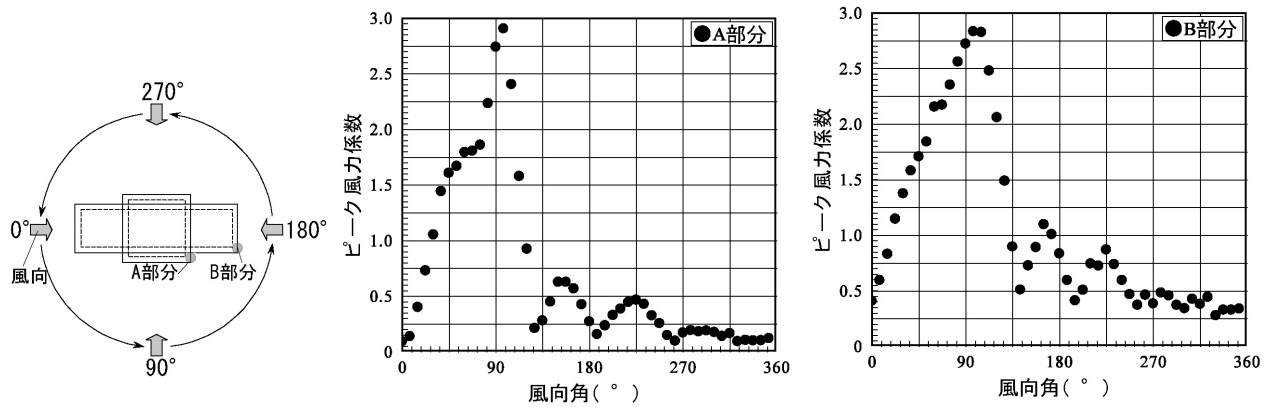
図-8 バルコニー手摺の風力係数のピークファクター

5. コーナー部におけるバルコニー手摺の風力係数の評価

岡崎ら⁸⁾⁹⁾は、バルコニー手摺のピーク風力係数が最大となる風向角において、外壁面とバルコニー手摺の風圧係数の相互相関が極めて高いことを示し、バルコニー手摺の風力係数を風洞実験により得られたコーナー部外壁面の風圧係数から予測する評価式を示している。本報告においては、荷重指針に示される風圧係数等によりバルコニー手摺の風力係数を推測する評価方法を検討する。

5.1 外壁面とバルコニー手摺に作用する風荷重の関係

模型PA4および模型PLS4におけるコーナー部に位置するバルコニー手摺のピーク風力係数と風向角の関係を図-9に示す。なお、図-9に示すデータは模型高さの4/5付近に設けられた風圧測定孔により測定されたものである。図-9によると、模型PA4のA部分および模型PLS4のB部分におけるピーク風力係数は風向角97.5°で最大となる。



図－9 コーナー部に位置するバルコニー手摺のピーク風力係数

そこで、風向角 97.5° における模型PA4-B（バルコニーあり）のw1-1とb5の内側、w4とb5の外側、また、同じく風向角 97.5° における模型PLS4-Bのw1とb7の内側、w6とb7の外側の4組（図－10参照）それぞれについて、風圧係数の相互相関係数を図－11に示す。なお、相互相関係数 $R_{xy}(\tau)$ は次の(5)式のように定義される。

$$R_{xy}(\tau) = \frac{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x'(t) \cdot y'(t+\tau) dt}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (5)$$

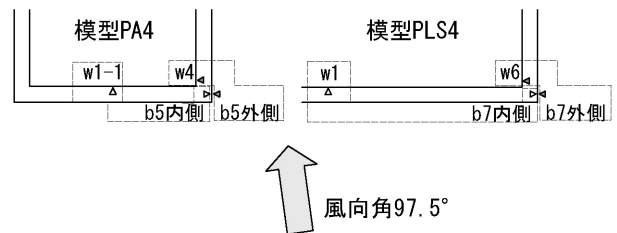
$x'(t), y'(t)$: 2つの異なる時系列データ $x(t), y(t)$ の変動成分
 T : 評価時間

σ_x, σ_y : $x(t), y(t)$ の標準偏差

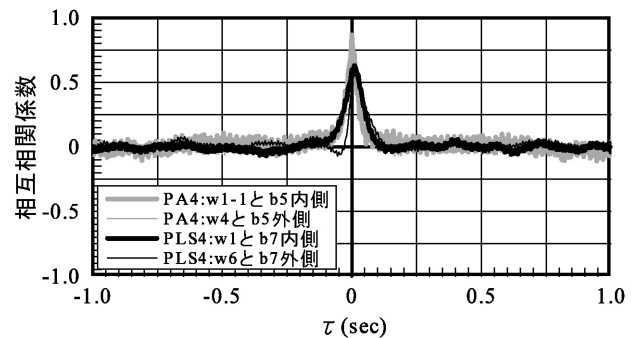
岡崎ら⁸⁾⁹⁾が指摘するように、いずれの相互相関係数も $\tau=0$ の時、すなわち、同時刻時に強い正の相関を示しており、バルコニー手摺の外・内側面の風圧係数を外壁面の風圧係数を用いて予測できる可能性があることがわかる。一方、3章3.2および3.3で示したように、外壁面の正圧はバルコニーの有無に依存しないが、負圧はバルコニーを設けることにより大幅に低減する。したがって、バルコニー手摺の風圧係数（負圧）をバルコニーを設けた模型の外壁面の風圧係数を用いて予測すると過小評価となる可能性がある。

ここで、バルコニー手摺のピーク風力係数が最大となる風向角 97.5° において、模型PA4-N（バルコニーなし）のw1-1およびw4と模型PA4-B（バルコニーあり）のb5の内側および外側、模型PLS4-Nのw1およびw6と模型PLS4-Bのb7の内側および外側の平均風圧係数、標準偏差を表－2に示す。

表－2によると表中の組み合わせ①～④はおおよそ似かよった値を示している。前述の相互相関係数も合わせて考慮すると、バルコニーの内側面および外側面の平均風圧係数と標準偏差は、バルコニー等を設けていない滑



図－10 風圧測定孔の位置関係



図－11 バルコニー手摺と外壁面の相互相関係数

面模型の外壁面の平均風圧係数と標準偏差から推測することが可能であると考えられる。

次に、バルコニーのピーク風力係数が最大となる時のバルコニー手摺の外・内側面における相互相関係数を図－12に示す。図－12によると、いずれの相互相関係数も $\tau=0$ の時に高い負の相関を示していることがわかる。その値は、最小値で-0.60となった。

5.2 バルコニー手摺のピーク風力係数評価式

バルコニー手摺のピーク風力係数 $_{bal}C_{peak}$ は、式(4)に示したように、平均風力係数 $_{bal}\overline{C}$ 、風力係数の標準偏差 $_{bal}C'$ およびピークファクター g_{bal} により算定可能である。平均風力係数 $_{bal}\overline{C}$ は次の式(6)のように表される。

$$_{bal}\overline{C} = _{bal}\overline{C}_{in} - _{bal}\overline{C}_{out} \quad (6)$$

$_{bal}\overline{C}_{in}, _{bal}\overline{C}_{out}$: バルコニー内側、外側の平均風圧係数

また、風力係数の標準偏差 $_{bal}C'$ は次の式(7)のように表される。

$${}_{bal}C' = \sqrt{{}_{bal}C_{in'}^2 + {}_{bal}C_{out'}^2 - 2 \cdot \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} {}_{bal}C_{in'}(t) \cdot {}_{bal}C_{out'}(t) dt} \quad (7)$$

T : 評価時間

${}_{bal}C_{in'} \cdot {}_{bal}C_{out'} \cdot {}_{bal}C_{in}(t) \cdot {}_{bal}C_{out}(t)$ ((2)式参照) の標準偏差
 ${}_{bal}C_{in'}(t) \cdot {}_{bal}C_{out'}(t) \cdot {}_{bal}C_{in}(t) \cdot {}_{bal}C_{out}(t)$ の変動成分の時系列

(7)式の右辺における平方根内の3項目を、 $\tau=0$ とした時のバルコニー外・内側面の相互相関係数 $R_{bal}(0)$ を用いて変換し、更に、図-12より $R_{bal}(0)$ を-0.65と仮定すると、次の(8)式のように表される ((5)式参照)。

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} {}_{bal}C_{in'}(t) \cdot {}_{bal}C_{out'}(t) dt &= R_{bal}(0) \cdot {}_{bal}C_{in'} \cdot {}_{bal}C_{out'} \\ &= -0.65 \cdot {}_{bal}C_{in'} \cdot {}_{bal}C_{out'} \quad (8) \end{aligned}$$

ここで、前項での推測が成立すると仮定し、バルコニーの外・内側面の平均風圧係数 $\overline{{}_{bal}C_{in'} \cdot {}_{bal}C_{out'}}$ および標準偏差 $\overline{{}_{bal}C_{in'} \cdot {}_{bal}C_{out'}}$ と、バルコニーを設けていない外壁面での正圧・負圧の平均風圧係数 $\overline{C_{plus} \cdot C_{minus}}$ 、および標準偏差 $\overline{C_{plus} \cdot C_{minus}}$ がそれぞれ等しいとすると、式(6)、(7)は式(9)、(10)のように表される。

$$\overline{{}_{bal}C} = \overline{C_{plus}} - \overline{C_{minus}} \quad (9)$$

$${}_{bal}C' = \sqrt{C_{plus}^{\prime 2} + C_{minus}^{\prime 2} + 1.3 \cdot C_{plus}' \cdot C_{minus}'} \quad (10)$$

式(9)、(10)より、バルコニー手摺のピーク風力係数 ${}_{bal}C_{peak}$ は、ピークファクターを g_{bal} を用いて式(11)のように表される。

$$\begin{aligned} {}_{bal}C_{peak} &= \overline{C_{plus}} - \overline{C_{minus}} \\ &+ g_{bal} \cdot \sqrt{C_{plus}^{\prime 2} + C_{minus}^{\prime 2} + 1.3 \cdot C_{plus}' \cdot C_{minus}'} \quad (11) \end{aligned}$$

表-2 風向角97.5°での平均風圧係数および標準偏差

組み合わせ	①	②	③	④
模型名称	PA4-N	PA4-B	PA4-N	PA4-B
風圧測定孔	w1-1	b5内側	w4	b5外側
平均風圧係数	0.93	0.79	-1.10	-1.24
標準偏差	0.06	0.06	0.12	0.11

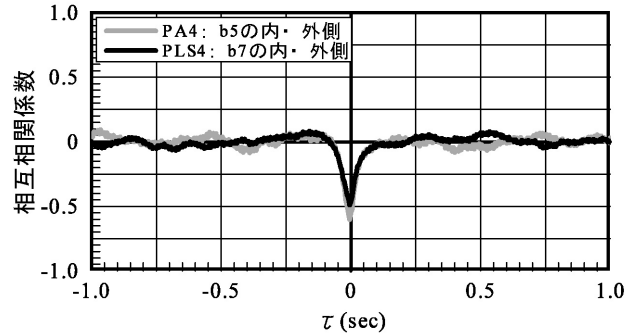


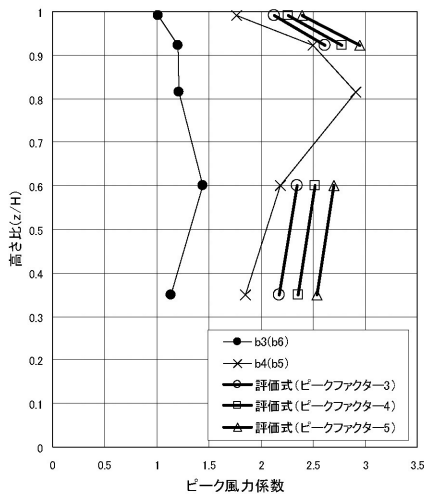
図-12 バルコニー手摺外・内側面の相互相関係数

5.3 ピーク風力係数評価式と実験結果

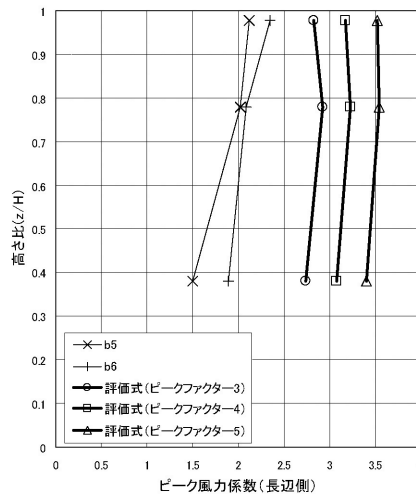
コーナー部に位置するバルコニー手摺のピーク風力係数と式(11)によるピーク風力係数との関係を図-13に示す。なお、式(11)の $\overline{C_{plus} \cdot C_{minus}}$ および C_{plus}', C_{minus}' はバルコニーを設けていない模型の実験結果を用いた。(ただし、模型PA4-Nの上から3層目の風圧測定孔には欠測が多かった為、その層の(11)式による評価ができなかった。)

図-13によると、ピークファクター g_{bal} を4程度として評価式(11)を用いれば、バルコニーのピーク風力係数を安全側に評価できることがわかる。

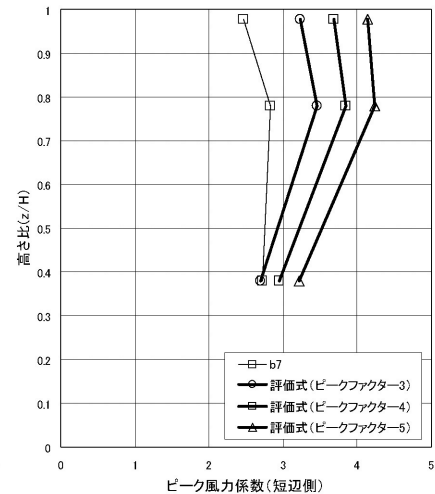
また、本報告において示したピーク風力係数の評価式は、バルコニーを設けていない滑面模型の外壁の風圧係数からバルコニー手摺のピーク風力係数を評価するものである為、荷重指針等に示される正圧、負圧の平均風圧係数および変動風圧係数(標準偏差)により一般的に評価することも可能であると考えられる。例えば、基準高さが45m以上の建築物について、荷重指針に示される正圧・負圧の平均外圧係数および変動外圧係数を用いると



(a)模型PA4



(b)模型PLS4 (長辺側)



(c)模型PLS4 (短辺側)

図-13 実測されたピーク風力係数と評価式の関係

バルコニー手摺のピーク風力係数は次の式(12)のようになる。

$$C_{peak} = 1.0 \cdot k_z - \overline{C_{pe}} + g_{bal} \cdot \sqrt{(2 \cdot I_z \cdot k_z)^2 + C_{pe}'^2 + 2.6 \cdot I_z \cdot k_z \cdot C_{pe}'} \quad (12)$$

k_z : 高さ方向分布係数³⁾

$\overline{C_{pe}}$: コーナー部の負圧の平均外圧係数

C_{pe}' : コーナー部の負圧の変動外圧係数

I_z : 風速の乱れ強さ³⁾

例えば、模型PA4-Bの想定建築物（一辺の長さが21mの正方形平面で高さ84m）において、式(12)を用いて（ピークファクターを4とする）コーナー部に位置するバルコニー手摺の風力係数を算出すると図-14のような分布となる。

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) バルコニー等の壁面凹凸のない模型と比較して、バルコニーを設けた模型は、外壁面の負圧のピーク風圧係数が大幅に減少する。一方、正圧のピーク風圧係数はバルコニーの有無による違いがほとんどない。
- 2) バルコニー手摺に作用する風荷重は、建物平面の各辺の中央部付近では非常に小さく、コーナー部では非常に大きくなる。更に、その風荷重はコーナー部付近で急激に上昇すると考えられる。今回の実験においては、模型平面の角から平面短辺長さの0.1倍の点から中央部にかけてはピーク風力係数が非常に小さく、最大で1.0程度であった。
- 3) 建物のコーナー部に位置するバルコニー手摺において、ピーク風力係数が最大となる時のピークファクターは模型形状や地上高さに依存せず、おおそ3～6程度の範囲で分布している。
- 4) 建物のコーナー部に位置するバルコニー手摺のピーク風力係数をバルコニーを設けていない滑面模型の外壁の風圧係数から算定する評価式を示した。また、その評価式により実験結果を安全側に評価できた。

本報告で提案したバルコニー手摺のピーク風力係数評価式は、バルコニーの出幅や取り付け方等のパラメータを加えることにより、更に合理的な評価式になると考えられる。今後の研究により明らかにしていく所存である。

最後に、本研究を行うにあたり、多くの御指導を頂いた大阪市立大学建築防災研究室・谷池義人教授・工博および谷口徹郎講師・工博、(株)長谷工コーポレーション・岡崎充隆氏、風洞実験において御尽力を頂いた大阪市立大学工学部・中井重行主査、並びに、同大学建築防災研究室的の大学院生・井筒清嗣君に深く感謝いたします。

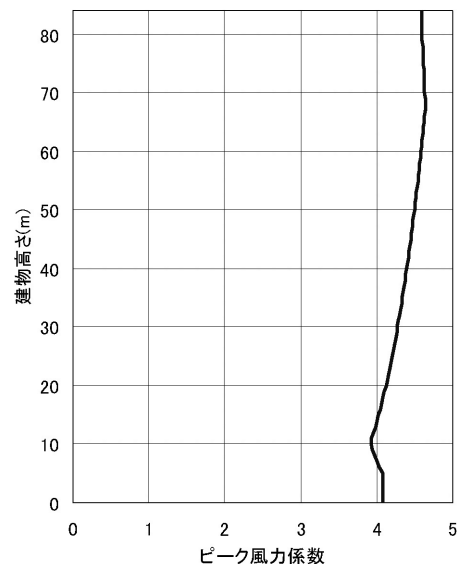


図-14 コーナー部のバルコニー手摺のピーク風力係数

[参考文献]

- 1) 山内豊英：バルコニーを有する建築物の風荷重に関する研究 その1 風洞実験および結果の概要、(株)浅沼組技術研究所報No.15、pp.15～20、2003
- 2) 西村宏昭、浅見 豊、高森浩次、樋屋眞士：高層建築物を対象とした変動風圧実験 その4 設計用風圧係数・風力係数、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.57～58、1992
- 3) 建築物荷重指針・同解説：日本建築学会、1993
- 4) 高森浩治・西村宏昭：凹凸のある建物の風圧分布、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1061～1062、1993
- 5) 佐藤純也・丸田栄蔵・神田 亮：高層建物に作用する風圧力の表面粗度による影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.241～244、1995
- 6) 魏 然・義江龍一郎・丸山勇祐：高層建物のパネル型手すりに作用するピーク風圧、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.201～202、2000
- 7) 鶴見俊雄・織茂俊泰：バルコニーを有する建築物のピーク風圧性状について、佐藤工業(株)技術研究所報No.28、pp.13～20、2002
- 8) 森脇一樹・岡崎充隆・谷池義人・谷口徹郎：中高層集合住宅の手摺りに加わる風圧力の性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.179～180、2003
- 9) 岡崎充隆：中高層集合住宅のバルコニー手摺りに加わる風荷重の性状、(株)長谷工コーポレーション技術研究所報、pp.69～74、2003