集合住宅のバルコニー手摺りに作用する風圧力に関する実測

FIELD MEASUREMENTS ON WIND FORCES ACTING ON BALCONY HANDRAILS

岡崎充隆 — * 1 山内豊英 — * 2
谷口徹郎 — * 3 谷池義人 — * 4

Mitsutaka OKAZAKI — * 1 Toyohide YAMAUCHI — * 2
Tetsurou TANIGUCHI — * 3 Yoshihito TANIKE — * 4

キーワード：
実測, バルコニー手摺り, 風圧力

Keywords:
Field measurement, Balcony handrail, Wind force

This report shows the wind force characteristics which acts on balcony handrails of condominium under natural wind condition. As the results, the large wind pressure force acts on the balcony handrails at the corner part, and uniformly distributed of the height direction. The mean wind force coefficient which acts on balcony handrails showed that it was possible to evaluate at the inclination of the straight line which envelops peak wind pressure force to the maximum dynamic pressure. It proposed the evaluation method of peak wind force coefficient of the balcony handrail which considered a phenomenon under the natural-wind for the design.

1. はじめに

集合住宅等のバルコニー手摺りには、コンクリート手摺りやアルミ製柵に縦格子、横ルーバー、ガラススクリーン等を取り付けた手摺りなどがあるが、充実率が高くなると、風荷重による検討が重要になる。しかし、現行の建築基準法等の規基準には、バルコニー手摺りに関する荷重算定方法は示されておらず、設計者の判断に委ねられている。

これまでに筆者らは、板状中高層集合住宅および角柱形状の超高層集合住宅を対象として、縮尺 1/200~1/300 の縮尺模型を用いた風洞実験を行い、バルコニー手摺りに作用する風荷重に関する報告を行ってきた^{3)~6)}。その中で、建築物の隅角部付近のバルコニー手摺りには、内側から外側への極めて大きな風力が作用することを示した。一方、建物中央部付近では、手摺りの内側と外側に発生する圧力は正の相関が高く相殺するため、バルコニー手摺りに作用する風力は極めて小さくなることを示した。さらに、細部の風力分布を評価するとともに、自然風の風向・風速変動等の非定常性状による影響について検証を行うために、角柱形状の超高層集合住宅(辺長比 1:1:5)をモデル化した縮尺 1/30 の実測模型を用いて野外実測を行い、風洞実験で得られた知見との対応を報告している⁷⁾。この野外実測の結果では、バルコニー手摺りに作用するピーク風力は、瞬間速度圧によって評価できる可能性について示した。

本報告は、板状中高層集合住宅(辺長比 3:1:4)をモデル化した縮尺 1/20 の実測模型を用いた、バルコニー手摺りに作用する風力の野外実測に基づくものである。本報告では、まずバルコニー手摺りに作用ピーク風力と、基準風速から算定した瞬間速度圧の関係につい

て示す。また、瞬間速度圧に対応して発生するピーク風力について、物理的な考察を行う。さらに、この考察に基づき、設計荷重を評価する方法の提案を行う。

2. 野外実測概要

野外実測は、大阪の舞洲にある大阪市立大学耐風構造実験所において行なった。図1に実験所の配置図を示す。実験所は、西側および南側が大阪湾に面しているが、北北東から南南東側は高さ 7~8m の高木植栽が並んでいる。このため、東寄りの風については、風速値が低く乱れも極めて大きい気流となる。従って、実測では対象とする風向を西寄りの風(風向南~西~北)に絞り、実測模型の圧力測定孔も、これらの風向を対象として配置している。図2および図3に野外実測に用いた実測模型の立面図、平面図および圧力測定孔の平面配置詳細図を、写真1に実測模型外観を示す。実測模型縮尺は 1/20 で、7 スパン 15 階建て高層集合住宅(軒高約 46m)をモデル化しており、模型辺長比は B:D:H=2, 400mm:600mm:2, 300mm である。この供試体には、実スケールで 1.6m に相当する出幅 80mm のバルコニーを北面、西面および南面の 3 面に配置し、そのうち、15 階(レベル1)、12 階(レベル2)、7 階(レベル3)のバルコニーには、図3に示すようにバルコニー手摺りの内部側および外部側に圧力測定孔を設けている。実測における基準風速は、図1に示す観測用鉄塔に設置した超音波風速計(図1の Reference Point)により計測した。なお、実測模型の中心から超音波風速計は、北西側に約 15m 離れており、また、実測模型の頂部高さが G.L.+2, 350mm であるのに対し、風速計の設置高さは G.L.+2, 500mm で若干異なる。この超音波風速計は、風向北を 0° として設定しており、本実測で対象としている風向は、風向角 180° (風向南) から風向角 360° (風

¹⁾ 榊長谷工コーポレーション技術研究所
(〒343-0822 埼玉県越谷市西方 2968)

²⁾ 浅沼組技術研究所

³⁾ 大阪市立大学大学院工学研究科 建築防災分野 准教授・工博

⁴⁾ 大阪市立大学大学院工学研究科 建築防災分野 教授・工博

¹⁾ Technical Research Institute, Haseko Corporation

²⁾ Technical Research Institute, Asanuma Corporation

³⁾ Assoc. Prof., Osaka City Univ., Dr. Eng.

⁴⁾ Prof., Osaka City Univ., Dr. Eng.

向北)となる。(図3参照)バルコニー手摺りおよび建物壁面に作用する風圧力は、内径5mmのシリコンチューブを介して、供試体内部に設置した圧力センサーに伝達され、敷地内マンホール(図1の Atmospheric Pressure)の圧力を基準静圧とした差圧を測定した。風向風速データおよび各圧力測定点での圧力データは、サンプリング周波数50Hzで、実時間換算した平均化時間は約0.12secとなる。また、解析時にはチューブの伝達特性を考慮し補正¹⁾を施した。なお、1回の計測時間は約22分(データ数65536個)とした。

3. 実測結果

本報告では2007年3月から2008年3月に測定された、それぞれ約22分間、155個の結果を用いている。実構造物との縮尺を考えた場合、距離縮尺1/20、風速縮尺1/3とすると、時間縮尺は1/6前後となる。本報では、極端な風向変動および風速変動による影響を避けるため、評価時間を約40sec(データ個数2048、実時間で約180sec)を基本として解析を行うこととした。また、風洞実験による研究結果^{3), 4), 5), 6)}より、バルコニー手摺りで最も風力が大きくなるのは、

図3のB2~B7の隅角部付近であり、特に辺長比が大きい場合は、短辺側のB2, B3, B4の風力が、風が長辺側に正対する時(風向角270°)に、最も大きくなる結果が得られている。さらに、風洞実験で長辺側のB5, B6がピーク値を示す風向は風向角360°前後であったが、今回の実測データでは360°前後のデータが極めて少ないことから、本報告においてはB4における結果を中心に報告することとする。なお、以降に示す風力係数の符号は、外側から内側に向かう風力を正として表示することとする。

3.1 自然風の性状

図4および図5は基準風速の平均風速および乱れ強さと風向の関係を示している。なお、平均風速が小さい場合には、風速および風向の変動が極めて大きくなっており、評価時間の平均風速が4m/sec以下のデータは解析対象から除外することとした。また、接近流の乱れ強さは20~40%程度に分布しており、建築物荷重指針に従って想定建物高さでの乱れ強さを算定した場合、地表面粗度区分Ⅲで20%以下であることを考えると、本実測結果は乱れ強さが比較的大きな状況での結果と考えられる。また、図6は評価時間内の接近流のガストファクターを示している。全てのデータ

図3 実測供試体平面図兼測定点配置図

図1 大阪市立大学耐風構造実験所配置図

図2 実測供試体立面図

写真1 供試体外観写真

で1.5以上、最大で2.8程度を示している。なお、比較対照している風洞実験³⁾では、建物頂部高さでの乱れ強さは約14%、突風率は1.35前後であった。

3.2 解析対象高さ

風洞実験では、バルコニーに作用する風力の高さ方向分布は、平均風力、ピーク風力ともほぼ一様に分布し、中でも建物高さの0.8付近で絶対値が若干大きくなる結果を得ている。図7および図8はバルコニー手摺りのB4部に作用する平均風力について、レベル1とレベル2およびレベル3とレベル2を比較したものである。レベル間の風力比は、ほぼ1.0に近い値を示しており、B4部に作用する風力の高さ方向分布は、規基準に示されている建物隅角部の負のピーク風圧係数と同様に、高さ方向に一様な分布と考えると良いと考えられる。一方で、風力比の勾配はレベル1～3の中で、無次元高さ0.8となるレベル2で若干大きくなる傾向を示しており、以降の解析結果にはレベル2の実測結果を中心に示すこととする。

3.3 平均風力係数の分布

図9はレベル2のB4部での、基準風速の平均値に基づく平均風力係数と風向の関係を示す。図中には同形状の実験模型を用いて行った、風洞実験における平均風力係数の値(Wind Tunnel)を示している。風洞実験では平均風力係数の最小値は風向角270°で発生し、その値は-2.8であったが、実測でも270°付近で平均風力係数が-3.0となっており、風洞実験とほぼ同じ値を示している。また、野外実測における平均風力係数は、風洞実験結果を下限として分布している。図10はレベル2の他の測定ポイントを含めて、全風向の実測結果より求めた平均風力係数の最小値を平面図上にプロットしたものであり、比較対照として風洞実験における平均風力係数の最小値も示している。風洞実験結果では実験模型作成段階での物理的な制約から測定点間隔が広がっているが、実測での短辺部B1～B4の平均風力係数の最小値は、風洞実験に近い値を示していることが分かる。一方、長辺部B5～B8については、風洞実験の方が絶対値は大きな値を示しているが、B5～B8で平均風力係数が最小値を示すのは、風向角は360°前後に相当し、実測では風向角360°付近のデータがほとんど取れていない事が、大きな主な要因であると考えられる。

3.3 ピーク風力係数

図11はレベル2、B4部での、ピーク風力係数の風向による変化を示している。風洞実験ではピーク風力係数の最小値は-4.2程度で

図4 平均風速

図5 乱れ強さ

図6 ガストファクター

図7 B4部におけるレベル2とレベル1のピーク風力比

図8 B4部におけるレベル3とレベル1のピーク風力比

あったが、実測ではピーク風力係数の最小値は-15 近くとなった。図中には風洞実験でのピーク風力係数を、併せて示している。このように自然風中における実測で、ピーク風力係数が大きくなる要因として、風向および風速変動が、風洞実験と比較して大きいことが挙げられる。つまり、接近流の平均風速が低い値であっても、短時間に突風が発生した時、実測模型には瞬間的に大きな風力が作用する場合があることになる。この場合、平均速度圧でピーク風力を除したピーク風力係数は極めて大きな値となる。一方で、図 1 1 からも解るように、データの中にはピーク風力係数が、風洞実験結果よりも絶対値が小さい場合も見られる。この場合、接近流の平均風速に見合った瞬間風力が発生していないことになり、風速および風向変動が大きい事が、必ずしもピーク風力係数の増加につながらないことを示している。

図 9 平均風力係数の風向による変化 (B4 レベル 2)

図 10 平均風力係数の平面分布 (レベル 2)

図 1 1 ピーク風力係数の風向による変化 (B4 レベル 2)

3.4 最大瞬間速度圧で除したピーク風力係数

図 1 1 に示したように、実測結果の解析において、ピーク風圧力を平均速度圧で除したピーク風力係数は極めて大きな値となる場合があり、この結果をそのまま実務設計に用いることは、過大評価になると考えられる。筆者らは、角柱形状の超高層集合住宅を対象とした野外実測に関する報告⁷⁾において、ピーク風圧力は評価時間内の最大瞬間速度圧で除することで、平均風力係数に近い値となることを示している。また、河井ら¹²⁾は、ダブルスキnfァサードの実測結果で、同様な解析方法示している。そこで本報でも、ピーク風圧力と最大瞬間速度圧の関係を見ることとした。

図 1 2 は評価時間内での最大瞬間速度圧とバルコニー手摺り B4 部に発生するピーク風力の関係を示したものである。図では多くのデータが得られた風向角 $285 \pm 15^\circ$ および風向角 $300 \pm 15^\circ$ について示しており、a), b), c) はそれぞれ評価時間 40sec, 80sec, 120sec としたものである。図中の実線は風洞実験での平均風力係数を勾配

a) 評価時間 40sec

b) 評価時間 80sec

c) 評価時間 120sec

図 1 2 最大速度圧とピーク風圧力の関係

とする直線である。評価時間を長くすることで、実測データのばらつきは少なくなり、それぞれのデータが風洞実験の平均風力係数を下限として分布する傾向が見られる。そこで、この理由について考察する事とする。

3.5 風程を用いた考察

桂⁹⁾は、準定常的な圧力変動が発生する条件として、対象とする部位に応じた流形形成長さ、流路変化率が小さくなることを挙げている。流形形成長さについては、対象部位によって異なり、特によどみ点付近では流形形成長さが最も短く、対象模型の背面では長くなるとしている。図14は風速変動から算定した基準速度圧の変動、実測模型のバルコニー手摺りB4部の風力変動および風向変動のグラフであり、横軸には風速データから、式(1)より算定した風程 s を取っている。

$$s = \int V(t) dt \quad (1)$$

なお、図14で速度圧変動と風力変動との対応では、接近流の測定を行った風速計位置と実測模型との水平距離で15m程度離れていることから、風程においても距離差が発生すると考えた。基準速度圧の変動では、大きな速度圧が数回生じている。これに対し、手摺りの風力を見ると、まず風程の短いA部では速度圧の変動に対応する風力の降下が見られない。また、B部では風程がある程度確保されているが、Aと同様に風力の降下は見られない。これは、この時間帯における風向の変動が大きかったためであると考えられる。一方、C部では風程がある程度確保されていると同時に、風向も比較的安定しており、速度圧に追従する風力の降下が見られる。本研究で対象としている、バルコニー手摺りの風力については、バルコニーの外側側に作用する風圧力と、内部側の風圧力が関係するため、単純に流形が形成する必要条件を示すことは、困難であると考えられる。しかし、評価時間を長くすることで、この評価時間内に流形を形成させる条件を満たした突風が含まれる可能性が高くなり、この時バルコニー手摺りには瞬間速度圧に対応したピーク風力が準定常的に生じるのではないかと考えられる。

3.6 設計荷重算定に関する考察

評価時間内に、流形が形成される状態が発生すれば、バルコニー手摺りには瞬間速度圧に対応したピーク風圧力が作用し、この時の最大瞬間速度圧とピーク風圧力の比は**風洞実験で得られる平均風力係数に近い値をとると考えられる**。野外実測では接近流の風速および風向変動により、得られたデータにはばらつきが発生するが、流形が形成された状態では準定常状態に近くなり、瞬間速度圧に比例したピーク風力が発生すると考えれば、最大瞬間速度圧に対して、ピーク風力を包絡する直線の勾配が瞬間速度圧に基づく風力係数になると考えられる。このことは、非定常な現象を含んだ実構造物に対して設計用風荷重を導く一つの方向性を示していると考えられる。図15には風向角 $277.5^\circ \sim 292.5^\circ$ 、B2部およびB3部評価時間40sec, 120secでの、最大瞬間速度圧とピーク風力の関係を示している。なお、風洞実験ではB3およびB2部に対応する圧力測定孔が無かったため、図中には、実測で得られたB3およびB2における、平均風力係数の最小値を波線で示している。この図から他の測定点に

於いても、最大瞬間速度圧とピーク風圧力の比が、平均風力係数とほぼ同じ値となることが分かる。前項までの実測結果より、設計用風荷重は式(2)のように、最大瞬間速度圧に平均風力係数を乗じて算定することも可能であると考えられる。一方、現状の規基準では、設計用風荷重を式(3)のように設計風速より求めた平均速度圧にピーク風力係数を乗じて算定する方法が取られている。この算定式に準じたピーク風力係数は、式(4)のように表すことが出来る。

$$W = q_{\max} \times \overline{C_f} \quad (2)$$

$q_{\max}$: 建物頂部の最大瞬間速度圧 (Pa)

$\overline{C_f}$: 平均風力係数

$$W = q_{\text{mean}} \times \hat{C_f} \quad (3)$$

q_{mean} : 建物頂部の平均速度圧 (Pa)

$\hat{C_f}$: ピーク風力係数

$$\hat{C_f} = \overline{C_f} \times q_{\max} / q_{\text{mean}} \quad (4)$$

図14 速度圧、B4部風圧力および風向の風程波形

図15 ピーク風圧力と最大瞬間速度圧の関係

式(4)から、風荷重算定用のピーク風力係数を算定する。例えば、バルコニー手摺り B4 部では、平均風力係数の最小値は約-2.8 であり、平均速度圧と最大瞬間速度圧の比は、ガストファクターの 2 乗になることから、B4 部のピーク風力係数はガストファクターの値に対して、図 1 6 の様なグラフで表すことができる。図中の○は風洞実験での、ガストファクター1.35 に対して最小ピーク風力係数が-4.2 を示している。さらに、バルコニー手摺り B4 部での実測データより、風向角 $270 \pm 15^\circ$ の範囲で、ガストファクターと平均速度圧に基づくピーク風力係数の値も併せて示している。式(4)に基づいてピーク風力係数算定すると、風洞実験よりも大きな値を示す結果となるが、非定常な自然風に対しては、評価できる値であると考ええる。

図 1 6 ガストファクターからのピーク風力係数予測値

4. まとめ

中高層建築物のバルコニー手摺りに作用する風力に関する縮尺 1/20 実測模型を用いた野外実測を通して、以下の知見が得られた。

- 1) 建築物の隅角部では、バルコニー手摺に大きな負の風圧力（内部側から外部側に働く風圧力）が作用し、その平均風力係数は同形状の 1/200 模型を用いて行った風洞実験結果に近い値をとることを確認した。
- 2) 実測結果より算定したバルコニー隅角部におけるピーク風力係数は、風洞実験の場合と同様に、高さ方向にほぼ一様に分布する。
- 3) バルコニー手摺に作用する風力は、建物周りの流形が形成された状態で最も強くなり、その値は瞬間速度圧に比例する形で、準定常的に評価できることを示した。
- 4) 上に示した自然風の下での現象を考慮した、バルコニー手摺りの設計用ピーク風力係数の評価式を提案した。

参考文献

- 1) 魏然、義江龍一郎、丸山勇祐：高層建物のパネル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 B1、pp. 201-202、2000。
- 2) 上林正、芦沢知樹：2 階建て集合住宅に付属するバルコニーのピーク風圧係数、日本建築学会大会学術講演梗概集 B1、pp. 131-132、2001。
- 3) 森脇一樹、岡崎充隆、谷池義人、谷口徹郎：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 B1、pp. 179-180、2003

- 4) 山内豊英、谷池義人、谷口徹郎：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、日本建築学会大会学術講演梗概集 B1、pp. 93-94、2004
- 5) 山内豊英、谷池義人、谷口徹郎：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、日本建築学会大会学術講演梗概集 B1、pp. 191-192、2005
- 6) 山内豊英、岡崎充隆、谷口徹郎、谷池義人：建築物のバルコニー手摺に作用する風荷重、第 19 回風工学シンポジウム論文集、pp. 383-388、2006
- 7) 山内豊英、岡崎充隆、谷口徹郎、谷池義人：野外実験による建築物バルコニー手摺のピーク風力係数、第 20 回風工学シンポジウム論文集、pp. 383-388、2008
- 8) 高森浩次、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 B1、pp. 1061-1062、1993
- 9) 桂順治：突風によって模型建物に生じる流形の形成について、日本建築学会構造系論文報告集 第 451 号 pp. 65-78 1993
- 10) 山縣誠一郎、前田潤慈：瞬間風速の評価時間がガストファクターに及ぼす影響に関する二、三の考察、日本建築学会大会学術講演梗概集 B1、pp. 135-136、1996
- 11) Holmes, J. D., Lewis, R. E.: Optimization of Dynamic-Pressure-Measurement Systems. I. Single Point Measurements, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 25, pp. 249-273, 1987
- 12) 河井宏允、西村宏昭、鈴木雅靖、大浦豊：ダブルスキnfアードに作用する風圧力に関する実大測定について、第 20 回風工学シンポジウム論文集、pp. 403-408、2008

[2009 年 2 月 20 日原稿受理 2009 年 4 月 6 日採用決定]