

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高層建物に作用する層風力に対しメンテナンスバルコニーが与える影響
Title(English)	Effect of maintenance balcony on layer wind force acting on high-rise building
著者(和文)	普後良之, 佐藤大樹, 田村哲郎, 勝村章
Authors(English)	Yoshiyuki Fugo, Daiki Sato, TETSURO TAMURA, Akira KATUMURA
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 325-328
Citation(English)	, , , pp. 325-328
発行日 / Pub. date	2019, 3

高層建物に作用する層風力に対しメンテナンスバルコニーが与える影響

構造・荷重・信頼性

正会員 ○ 普後良之^{*1}
〃 佐藤大樹^{*3}正会員 田村哲郎^{*2}
〃 勝村章^{*4}高層建物 層風力 メンテナンスバルコニー
風圧実験

1. はじめに

超高層建物や高層免震建物の構造設計では、風洞実験を用いて風荷重や居住性の検討を行う場合が多い。近年の実験手法としては、多点同時に風圧を計測し空間積分することで層風力および建物全体の風力を算定する手法（以下、風圧実験）が多く用いられる。

風圧実験模型のファサードの細部形状は、風力計測に与える影響が不明のままデフォルメ再現されることが多い。この理由は模型縮尺が風洞施設サイズの制限により1/400程度と小さく、細部形状の再現が困難であるか、再現したとしても計測が困難な場合が多いためである。

バルコニーはデフォルメ再現されることが多い形状の1つである。手摺や床に通気性がない場合は平面の外郭形状でボリューム再現されることが多い。一方、メンテナンスバルコニーのように手摺や床に通気性がある場合はバルコニー自体が省略されることもある。

バルコニーを有する建物の風圧模型再現が層風力に与える影響を検討した既往研究は見当たらない。バルコニーに関する研究は外装材の耐風設計の視点からバルコニー手摺に作用する局所風力やバルコニー内側の壁面のピーク風圧を検討しているものが主である（例えば 1)2)。文献 1)2)を参照すると、バルコニーに作用する局所風力は決して小さくはない。

本報は、バルコニー再現の有無およびバルコニー計測の有無が層風力に与える影響を確認し、適切な風圧計測方法を検討することを目的としている。メンテナンスバルコニー（以降、単にバルコニーと記す）が設置される高層建物を対象として風圧実験を行い、バルコニーを再現した場合と省略した場合の層風力を比較する。次いで層風力におけるバルコニーに作用する風力の寄与を確認し、最後に変動層風力のパワースペクトル密度分布を比較することで応答に対する影響を検討する。

2. 風圧実験概要

対象建物およびバルコニーの概要を述べる。対象建物は図1に示す高層の大学校舎である。東面はバルコニーが壁全体に、西面はバルコニーが部分的に設置される。バ

ルコニー形状は一般的な住戸用バルコニーと異なり、手摺は数本の鋼棒のみで構成され開口率が94%と遮風効果がない。一方で、高さ方向には遮風効果がある連続した目隠し壁が設置されている。また戸境壁がない点も住戸用とは異なる。

次に対象建物の模型再現について述べる。模型縮尺は1/400とし、図2に示すようにバルコニーを再現した「詳細形状」、バルコニーを省略した「単純形状」の2つを対象とした。計測対象は図1に示すように、建物高さHに対し0.8Hに相当する17Fの1層である。この理由は、風向が正対する状況において最大の平均層風力が発生する層、すなわちよどみ点付近の層を計測するためである。また高さ方向の風圧分布を確認するため、西面の中央の1列を計測対象とした。詳細形状のバルコニーは手摺を再現せず、目隠し壁と床を通気性のない材料で再現した。よってこの模型ではバルコニーに作用する風力は目隠し壁に作用する風力と同義であり、単にバルコニーに作用する風力と称する。17Fにおける風圧測定点を図3に示す。バルコニーに設置される測定点の位置の詳細を図4に示す。図4に示すC点は目隠し壁の裏側の風圧を計測するものである。模型寸法が小さく目隠し壁裏側には風圧測定点を設置することが困難なため、目隠し壁裏側に作用

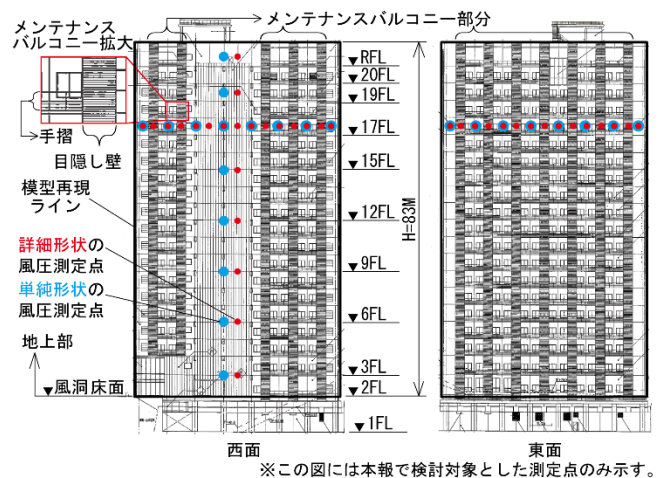


図1 対象建物概要

Effect of maintenance balcony on layer wind force acting on high-rise building

Yoshiyuki FUGO^{*1}, Tetsuro TAMURA^{*2}, Daiki SATO^{*3}, Akira KATSUMURA^{*4}

する風圧は、C点と等圧と見なせると仮定した。

実験条件について述べる。実験風向は0~360°を72分割した5°ピッチとした。実験気流は建築物荷重指針(2015)に示される地表面粗度区分Ⅲとし、建物頂部風速を9m/sとした。サンプリングは800Hzとし、実風速を60m/s(再現期間500年程度を想定)とした場合のデータ長10分相当を10波計測した。周辺建物や地形は考慮せず、対象建物のみが建っている状況を計測した。

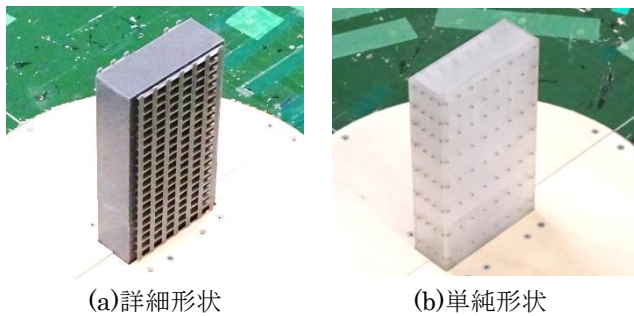
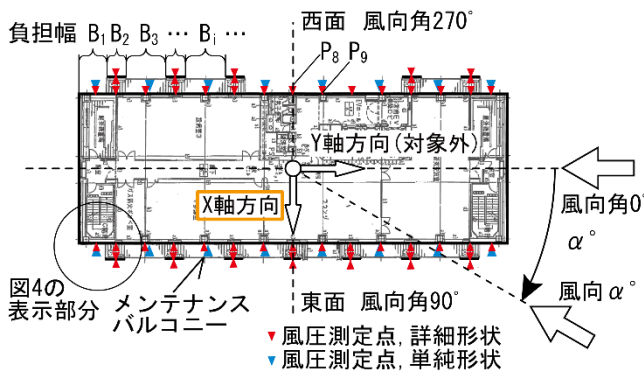


図2 風圧模型



※▲▲の向きは風圧の正の向きを表す。
※この図には本報で検討対象とした測定点のみ示す。

図3 風圧測定点配置

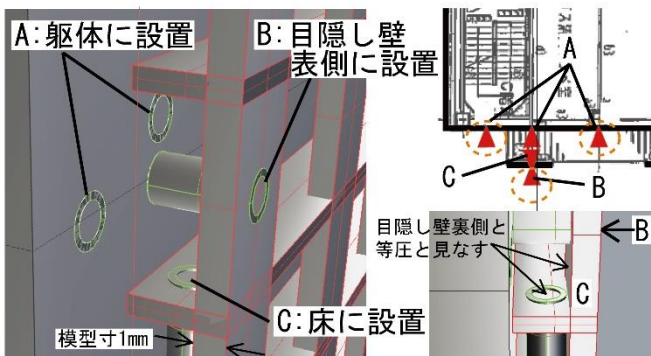


図4 バルコニー内の測定点位置

3. 実験結果

3.1. 層風力係数の比較

層風力係数は、計測された風圧時刻歴から以下の手順で空間積分により算定する。躯体が負担する層風力係数 $C_{FXw}(t)$ は(1)式で算定する。バルコニーが負担する層風力

係数 $C_{FXb}(t)$ は(2)式で算定する。(2)式は目隠し壁の表裏に作用する風力を目隠し壁の面積だけ空間積分したもので、以降は単にバルコニーの負担する層風力と記す。

$$C_{FXw}(t) = \sum k P_{Ai}(t) B_i / (q_H \sum B_i) \quad (1)$$

$$C_{FXb}(t) = \sum k (P_{Bi}(t) - P_{Ci}(t)) B_i / (q_H \sum B_i) \quad (2)$$

ここで、 k : 1(西面の測定点)または-1(東面の測定点)、 $P_{Ai}(t)$ 、 $P_{Bi}(t)$ および $P_{Ci}(t)$: 測定点*i*において図4に示すA、BおよびCの各点の風圧時刻歴、 B_i : 測定点*i*の負担幅、 q_H : 建物頂部速度圧である。

層風力係数 $C_{FX}(t)$ は(3)式により算定する。

$$C_{FX}(t) = C_{FXw}(t) + C_{FXb}(t) \quad (3)$$

また一般的な風圧実験では模型に格納できるチューブの本数に限りがありバルコニーの内側を計測することが困難な場合も多いため、図4の破線で囲む測定点のみ計測することが多い。この場合は(4)式で層風力を算定する。

$$C_{FXo}(t) = \sum k P_{oi}(t) B_i / (q_H \sum B_i) \quad (4)$$

ここで、 $P_{oi}(t)$: 目隠し壁がない部位では $P_{Ai}(t)$ 、目隠し壁がある部位では $P_{Bi}(t)$ である。

層風力係数の時刻歴を統計処理し求めた平均層風力係数 $\overline{C_{FX}}$ の風向変化を図5に、変動層風力係数 C'_{FX} の風向変化を図6に示す。また $C_{FXw}(t)$ に対する平均および変動層風力係数をそれぞれ $\overline{C_{FXw}}$ および C'_{FXw} 、 $C_{FXb}(t)$ に対する平均および変動層風力係数をそれぞれ $\overline{C_{FXb}}$ および C'_{FXb} 、また $C_{FXo}(t)$ に対する平均および変動層風力係数をそれぞれ $\overline{C_{FXo}}$ および C'_{FXo} と定義し、図5および図6に示す。

詳細形状の $\overline{C_{FX}}$ と C'_{FX} は共に、非対称な平面形状の影響が見られず、風向角90°および270°付近で絶対値が最大となった。風向角90°および270°の±15°の範囲では、単純形状と比べ詳細形状の $\overline{C_{FX}}$ は5%程度、 C'_{FX} は5%~15%程度絶対値が小さくなった。詳細形状の $\overline{C_{FXw}}$ および C'_{FXw} は詳細形状の $\overline{C_{FX}}$ および C'_{FX} と良く一致した。一方で詳細形状の $\overline{C_{FXb}}$ および C'_{FXb} は詳細形状の $\overline{C_{FX}}$ および C'_{FX} に対して無視できるほど小さい値を示した。また $\overline{C_{FXo}}$ および C'_{FXo} は詳細形状の $\overline{C_{FX}}$ および C'_{FX} と良く一致した。

単純形状に比べ詳細形状の $\overline{C_{FX}}$ と C'_{FX} が小さい原因を検討する。1つに、詳細形状はバルコニー床が鉛直方向の風の流れを制限する形状であり、詳細形状の最大層風力が発生する層、すなわちよどみ点が発生する層が単純形状と異なる可能性が考えられる。よって風圧の鉛直分布を確認する。ここで測定点*i*の躯体の平均風圧係数 $\overline{C_{pwi}}$ およびバルコニーの平均風力係数 $\overline{C_{fbi}}$ を(5)式および(6)式に定義する。

$$\overline{C_{pwi}} = \overline{P_{Ai}} / q_H \quad (5)$$

$$\overline{C_{fbi}} = (\overline{P_{Bi}} - \overline{P_{Ci}}) / q_H \quad (6)$$

風向角270°における西面の建物中心位置(図3の P_8 および P_9)の平均風圧分布を図7に示す。図7より詳細形状と単純形状は共に計測対象とした17階付近で最大値が示され、バルコニーの影響でよどみ点の高さが変化した可能性は否定された。

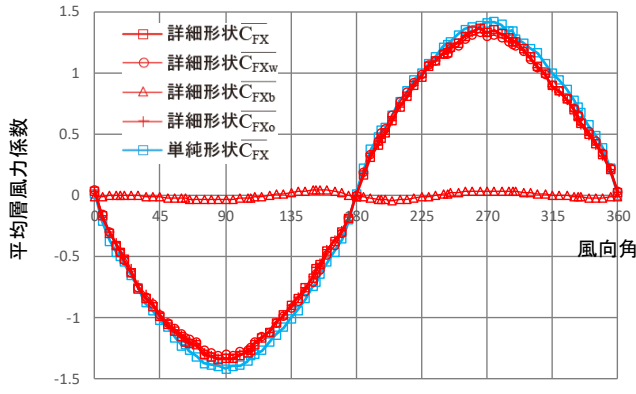


図 5 平均層風力係数 $\overline{C_{FX}}$

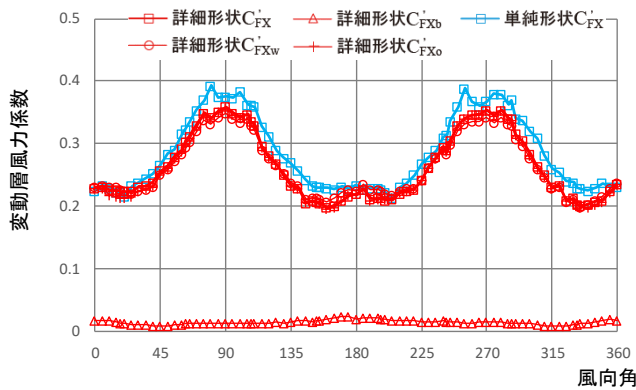


図 6 変動層風力係数 C'_{FX}

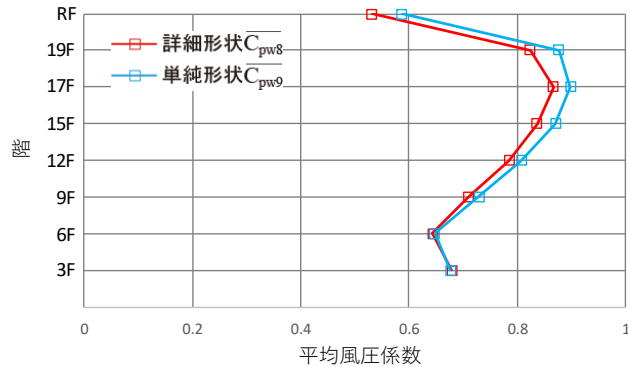


図 7 平均風圧係数の高さ方向分布

詳細形状と単純形状の差が生じた原因を確認するため、 $\overline{C_{FX}}$ 、 C'_{FX} 、 $\overline{C_{FXw}}$ 、 C'_{FXw} 、 $\overline{C_{FXb}}$ および C'_{FXb} の各パラメータに対して東面の測定点のみ空間積分の対象とした $\overline{C_{FXE}}$ 、 C'_{FXE} 、 $\overline{C_{FXWE}}$ 、 C'_{FXWE} 、 $\overline{C_{FXDE}}$ および C'_{FXDE} 、西面の測定点のみ空間積分の対象とした $\overline{C_{FXW}}$ 、 C'_{FXW} 、 $\overline{C_{FXBW}}$ 、 C'_{FXBW} 、 $\overline{C_{FXDW}}$ および C'_{FXDW} を定義し、風向変化を図 8 および図 9 に示す。対称性があるため風向角 180~360° は省略した。風向角 90° 付近に着目すると、詳細形状の $\overline{C_{FXW}}$ および C'_{FXW} は単純形状の $\overline{C_{FXW}}$ および C'_{FXW} と大きな差がなく、詳細形状の $\overline{C_{FXWE}}$ および C'_{FXWE} は単純形状の $\overline{C_{FXE}}$ および C'_{FXE} に比べて絶対値が小さい。風向角 90° における東面は風上面であり、風上面に生じた差が詳細形状と単純形状の $\overline{C_{FX}}$ およ

び C'_{FX} の差に対して寄与が大きいことが示された。風向角 270° についても 90° と同様に風上面の差が $\overline{C_{FX}}$ および C'_{FX} の差に対して寄与が大きい。

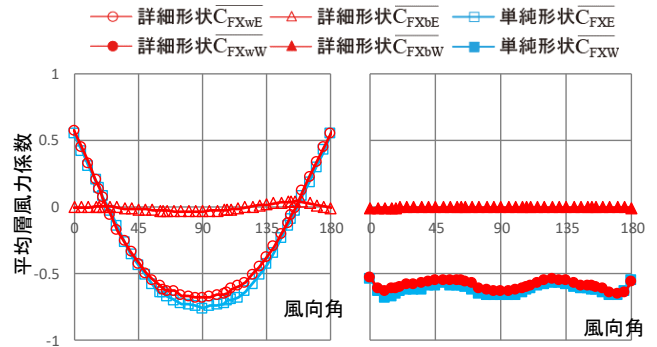


図 8 平均層風力係数 $\overline{C_{FX}}$

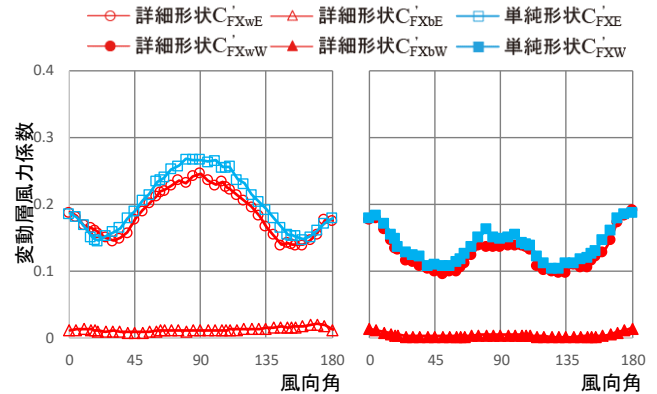


図 9 変動層風力係数 C'_{FX}

風向角 270° における詳細形状と単純形状の $\overline{C_{pw1}}$ および $\overline{C_{fbl}}$ の水平方向分布を図 10 に示す。図 10 中に点線で囲む部位以外は大きな差が見られない。赤丸部分の差が詳細形状と単純形状の $\overline{C_{FX}}$ および C'_{FX} に差が生じた原因である。またバルコニーに作用する風力 $\overline{C_{fbl}}$ は建物端部を除き 0 に近い値を示し、これらを空間積分しても層風力が 0 に近い値となることは明らかである。 $\overline{C_{fbl}}$ が 0 に近い値を示すのは、目隠し壁の表側に作用する風圧と目隠し壁裏側の壁に作用する風圧がほぼ等圧となるためである。

次に図 10 に示す測定点 P₁ の平均風圧係数 $\overline{C_{pw1}}$ の風向変化を図 11 に示す。図 11 より風向角 225° ~ 360° の範囲で詳細形状の平均風圧係数は単純形状に対して負側の値を示している。この風向範囲ではバルコニーの目隠し壁が P₁ の風上側に位置する。よって建物端部に最も近いバルコニーの目隠し壁から剥離する流れが P₁ 付近にぶつかることが、詳細形状の平均風圧係数が単純形状より負側になる原因と考えられる。

3. 2. 変動層風力のパワースペクトル密度分布

風向角 270° における $C_{FX}(t)$ のパワースペクトル密度分布を図 12 に示す。この風向角は X 軸方向に対して風方向である。同図には対象建物の固有周期を建物高さの 2%、

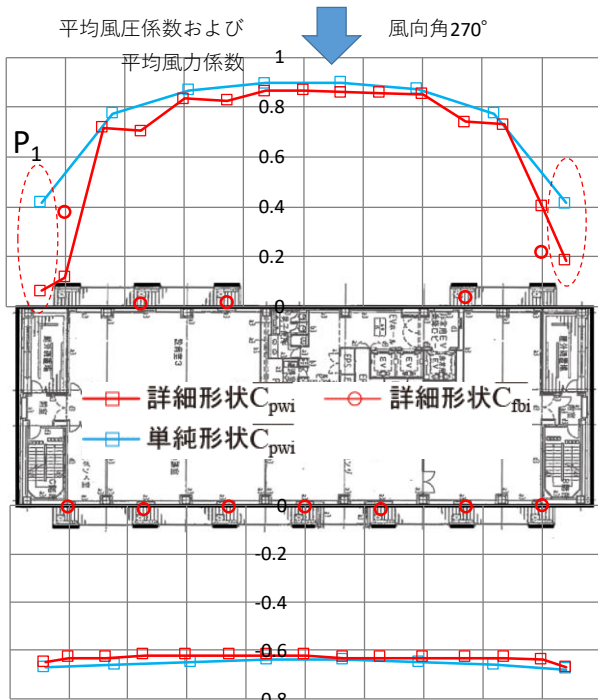


図10 風向角 270° の $\overline{C_{p1}}$ および $\overline{C_{f1}}$ の水平方向分布

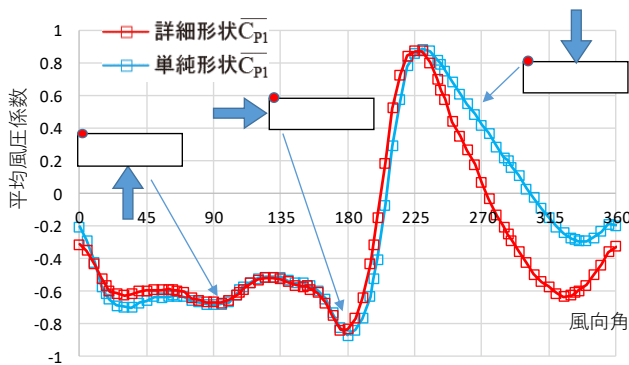


図11 P₁の平均風圧係数 $\overline{C_{p1}}$ の風向変化

再現期間 1 年の風速を 20m/s、再現期間 500 年の風速を 60m/s と仮定した場合の無次元振動数を併記した。詳細形状は単純形状と比較して殆ど差が見られない。次に風向角 0° における $C_{FX}(t)$ のパワースペクトル密度分布を図 13 に示す。この風向角は X 軸方向に対して風直交方向である。無次元周波数 0.4 以下の範囲で差がみられるものの、再現期間 1 年から 500 年の無次元振動数に対応する範囲においては殆ど差が見られない。以上から、バルコニー再現の有無は周波数領域において影響が小さく、応答評価に対し影響が小さい。

4. まとめ

メンテナンスバルコニー再現の有無およびバルコニー計測の有無の影響を検討することを目的として、板状の高層建築物を対象として詳細形状と単純形状の 2 つの模型を用いた風圧実験を行い、以下の知見を得た。

*1,*4 株式会社 風工学研究所
*2,*3 東京工業大学

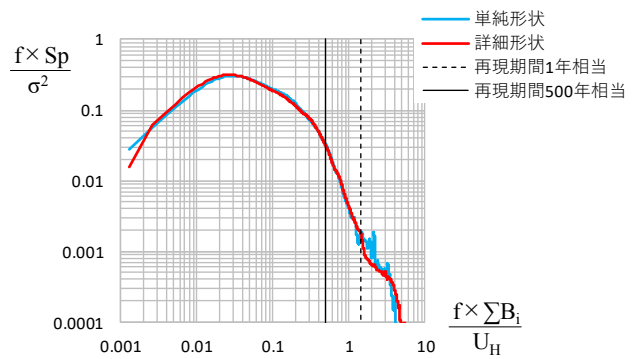


図12 風向角 270° における $C_{FX}(t)$ のパワースペクトル密度分布

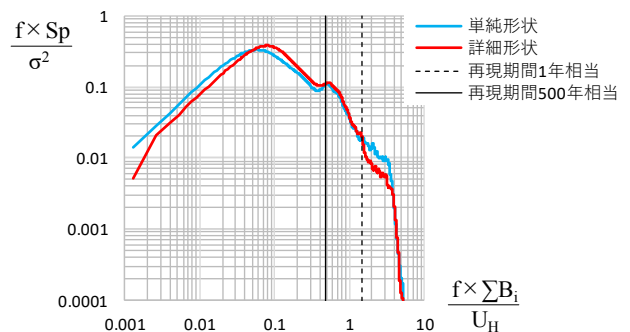


図13 風向角 0° における $C_{FX}(t)$ のパワースペクトル密度分布

1)本研究の対象建物では、層風力におけるバルコニー部に作用する風力の寄与は無視しうるほど小さかった。よってこの建物で層風力の取得を目的とする場合は、バルコニー内側の壁面のみ計測するか、またはバルコニーの外側のみ計測しても大きな影響はない。ただしバルコニーそのものの形状再現を省略することは、広い面に風が正対する風向において、風方向平均層風力を 5%程度、変動層風力 5~15%程度過大評価した。

2)変動層風力のパワースペクトルに対し、バルコニー再現の有無の影響は小さく、応答評価に対し影響が小さかった。謝辞

本研究は J2-風応答観測研究会の研究成果の一部です。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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りに作用する風荷重, 第 19 回風工学シンポジウム論文集, pp. 383-388, (2006)
- 2) L. Ludena, A.G. Chowdhury, B. Hajra, M. Moravej, M.A. Mooneghi, P. Irwin, I. Zisis, The effect of Balconies on the Wind Induced Loads on a Fifteen Story Building, 4th American Association for Wind Engineering Workshop, 2016.8

* Wind Engineering Institute *1,*4
*Tokyo Institute of Technology *2,*3