

実在中高層市街地に建つ高層建物壁面に作用する風圧の LES 解析における流入変動風の影響

Influence of Inflow Turbulence on LES Computation of Wind Pressure Acting on High-Rise Building Wall Surfaces in Middle- and High-Rise City Area

近藤 宏 二 挟間 貴 雅 伊藤 嘉 晃 鈴木 雅 靖
 中山 かほる 田村 哲 郎¹⁾ 河合 英 徳¹⁾

要 約

複雑な地形上に中高層建物が林立する実在市街地を対象として、高層建物壁面に作用する風圧を LES で計算し、風洞実験結果と比較することで、その適用性を検証した。その結果、対象建物まわりの風の流れは、周辺の高層建物の影響を受けていること、各風圧係数は、計算結果と実験結果が概ね対応していること、実験結果に対する計算結果の誤差は、概ね 20% の範囲に収まることが確認された。一方で、流入変動風の乱れの強さの不足、流入変動風を生成した計算格子と流入境界における計算格子の解像度の不整合に起因する不具合が顕在化した。これらの問題に関して、流入変動風の乱れの強さや格子解像度の整合性を修正した結果、改善効果が得られることを確認した。

目 次

- I. はじめに
- II. 対象建物及び周辺状況
- III. 計算条件
- IV. 計算結果
- V. まとめ

I. はじめに

建築物の耐風設計では、「建築物荷重指針・同解説」¹⁾ (以下、荷重指針) や「建築基準法告示」で規定されている風圧・風力係数を用いて風荷重を評価することができる。しかし、周辺建物の影響が考慮されていないため、都市部のように建物が密集する地域では、風洞実験による評価が推奨されている。

また、近年の建築分野における数値流体計算技術 (CFD : Computational Fluid Dynamics) やコンピュータ性能の急速な発展によって、CFD による都市域に建つ複雑形状建物の風荷重評価が可能となった。この状況を踏まえて、2015 年度の荷重指針の改定に際し、これまで用いられてきた風洞実験と同様に CFD による風圧・風力係数や風速などの評価が認められた。

ここで注意すべきことは、風洞実験はこれまでに確立された手法に基づいて専門家が実施しているため、実験結果の信頼性が担保されているが、CFD の場合は、計算格子、境界条件、計算スキームなどを適切に選ばないと正解値と大幅に異なる結果をもたらすことである。この問題を回避するためには、風工学と CFD の両方に精通した技術者が CFD を実施する必要がある。しかし、通常のユーザーで

は、そこまでの体制を構築するのは容易ではない。そこで、日本建築学会では CFD による適切な風荷重評価を担保することを目的として「建築物荷重指針を活かす設計資料 2」で CFD 適用ガイドを刊行した²⁾。

この成果を受けて、国土交通省の平成 27 年度・28 年度の建築基準整備促進事業 (以下、基整備) では、「S18 風圧力、耐風設計等の基準への数値流体計算の導入に関する検討」として下記の取組みを行った。

- ① 実建築物を対象とした風洞試験及び大規模計算による数値流体計算 (平成 27 年度)³⁾
- ② 風洞試験と同等の妥当性のある数値流体計算の適用範囲に関する検討 (平成 28 年度)⁴⁾

本論文では、そのうち平成 28 年度に行った虎ノ門地区を対象とした CFD の計算結果^{4), 5)}及びそこで顕在化した課題について新たに実施した計算結果を報告する。

II. 対象建物及び周辺状況

1. 周辺状況

対象とした地域は、尾根と谷が複雑に入り組んだ地形上に高層建物と中低層建物が混在して建つ地域である。対象建物に隣接して高層建物が建っており、その影響が大きいと考えられる。低層部にはサンクンガーデンがあり、敷地内にも複雑な高低差がある。

本検討では、風洞実験と比較検証するために、風洞実験と同じ範囲をモデル化した。なお、実験模型と同様にモデル化範囲の外では、周辺部での地形の高低差をテーパー処理した。

1) 東京工業大学 Tokyo Institute of Technology

キーワード: 数値流体計算, LES, 風洞実験, 建築基準整備促進事業, 流入変動風, 計算格子, 風速, 風圧係数
Keywords: CFD, LES, wind tunnel test, Building Standard Development Promotion Program of MILT, inflow turbulence, computational grids, wind velocity, wind pressure coefficient

風洞実験では、周辺市街地の状況を勘案して地表面粗度区分（以下、粗度区分と称す）Ⅳ、Ⅲの2種類の実験気流（ターンテーブル前端で定義）で測定を行っている。そこで、本検討では粗度区分Ⅳ、Ⅲの2種類の流入変動風を用いて計算を行い、その影響を調査した。

2. 建物概要

対象建物は、東京都港区の虎ノ門地区に位置しており、比較的急勾配の地形上部に建っている。対象建物の平面は72.0m×37.4m、高さは110.35mであり、平面47.92m×20m、高さ146.8mの高層建物が隣接している。

3. 解析モデル

地形データは国土地理院「基盤地図情報数値標高モデル(5mメッシュ)」、周辺街区建物データは「ゼンリンZmap-AREAⅡ」2013年に基づいて作成した。周辺街区は風洞実験と同じ半径400mの範囲を再現し、半径400~500mにある建物で対象建物まわりの風の流れに影響を及ぼすと考えられる建物についても再現した。地形は半径400mの範囲を詳細に再現し、実験模型と同様に400~500mの領域で高低差のテーパ処理を施した。Fig.1に解析モデルを、Fig.2に対象建物を示す。

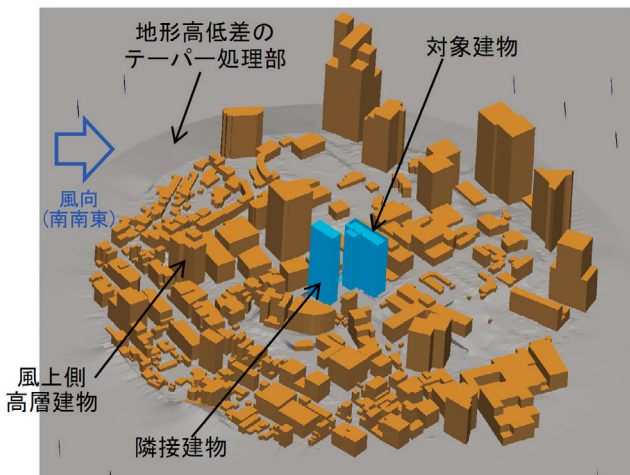


Fig.1 解析モデル (Analytical Model)

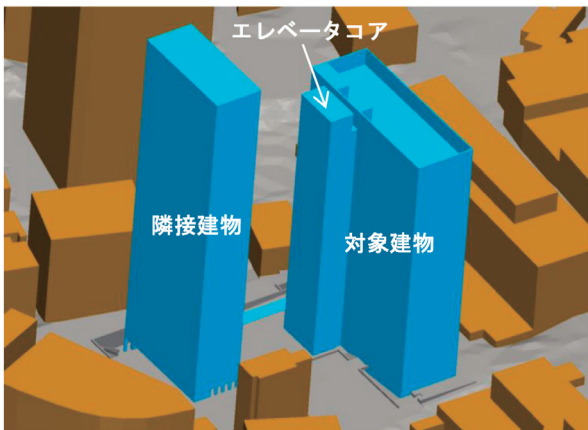


Fig.2 対象建物 (Target Building)

Ⅲ. 計算条件

1. 計算領域と計算格子

計算領域の幅は、技術研究所の大型境界層風洞の測定胴幅4.5mと一致させ、解析モデルの周辺には、粗度区分Ⅲの風洞実験と同じ位置にラフネスブロックを配置した。Fig.3に計算領域と計算格子を、Fig.4に計算領域分割を、Table 1に各領域の格子解像度を示す。計算格子数はテトラ要素で3億2558万要素である。格子解像度は、基整促³⁾のチャンピオンデータに基づいて決めた。Fig.5に対象建物まわりの計算格子を示す。

2. 計算手法

計算は風洞実験の模型スケール(縮尺1/400)で行った。流入境界

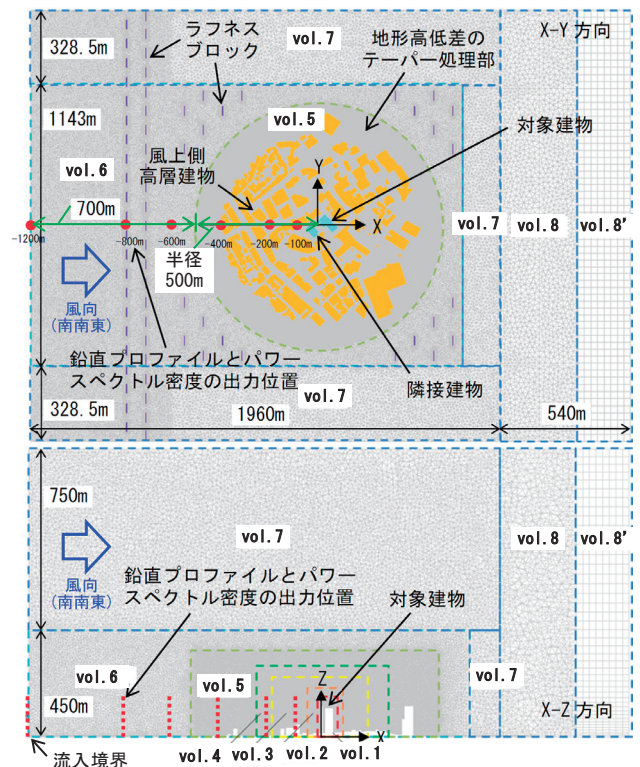


Fig.3 計算領域と計算格子 (Computational Domain and Grids)

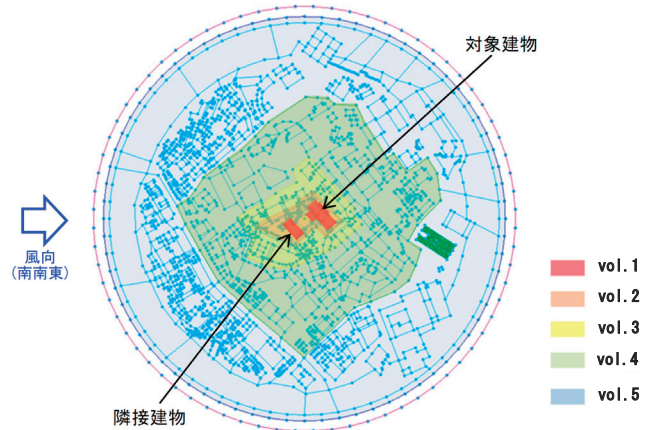


Fig.4 計算領域分割 (Division of Computational Domain)

面の建物頂部高さでの風速は、風洞実験と同じ 10m/s とした。頂部風速と建物見付幅で求めたレイノルズ数 Re は約 120,000 である。設計風速 43.47m/s ならびに実建物スケールにおける風荷重の評価時間 10 分 (600 秒) は、模型スケールでは 6.52 秒に相当する。

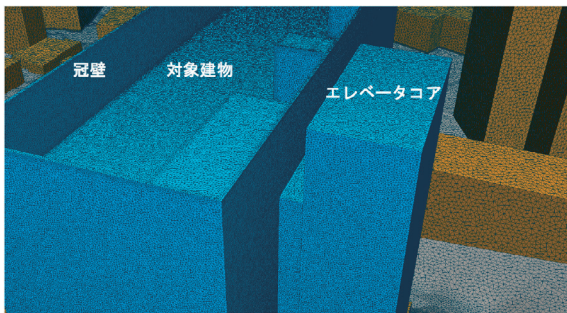
統計処理は、サンプリング周波数を 1000Hz とし、評価時間 10 分 (600 秒) 相当のデータ 3 波で行った。ピーク値の算定では、風圧データ 5 個の移動平均を行った。対象風向は南南東である。

計算は LES (Large Eddy Simulation) で行い、乱流モデルは標準 Smagorinsky モデル (Smagorinsky 定数 $C_s=0.10$) とした。壁面近傍で過大になる渦粘性を減衰させるため、長さスケールに Van Driest の減衰関数を乗じたモデルを用いた。計算プログラムは、FrontFlow/Red[HPC 版] (以下 FFR) であり、節点ベースの有限体積法による計算を行った。

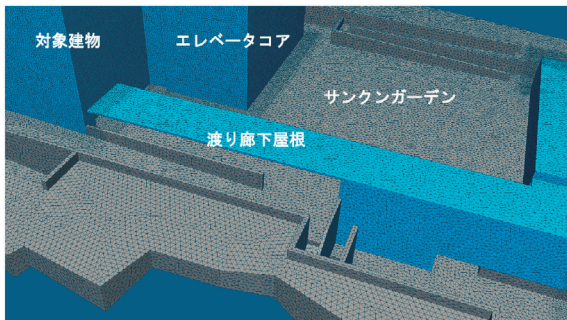
方程式の離散化には、非構造格子ベースの 3 次元デカルト座標系有限体積法を使用した。変数は保存則に関してコロケート格子を採用し、さらに各コントロールボリュームに対し仮想検査面を配置したエッジベースの節点中心法により離散化し、計算の高精度化を図

Table 1 各計算領域の格子解像度
(Resolution of Computational Grids)

	建物表面・ 地表面解像度	空間 解像度	境界面 解像度	建物表面・ 地表面プリズム厚さ
vol. 1	0.3m	0.4m	0.4m	0.06m
vol. 2	0.5m	0.5m	0.7m	0.1m
vol. 3	1m	1.1m	1.2m	0.2m
vol. 4	2m	2.2m	2.4m	0.3m
vol. 5	2m	3.5m	3.6m	0.3m(地表面のみ)
vol. 6	10m	12m	15m	2m(地表面のみ)
vol. 7	20m	20m	25m	2m(地表面のみ)
vol. 8	30m	30m	30m	6m(地表面のみ)



(a) 上層部



(b) 低層部

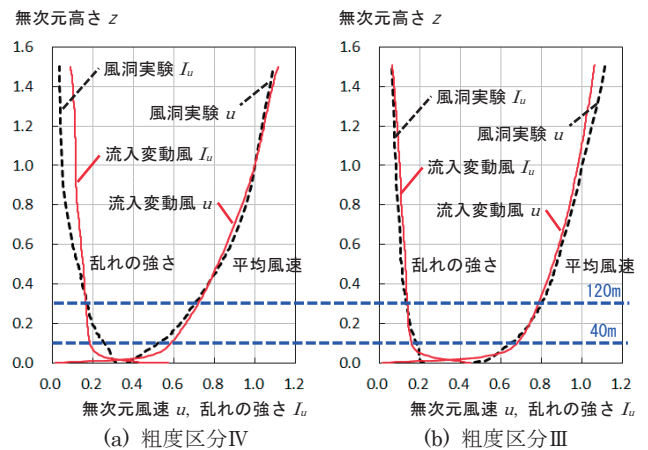
Fig.5 対象建物まわりの計算格子

(Computational Grids around Target Building)

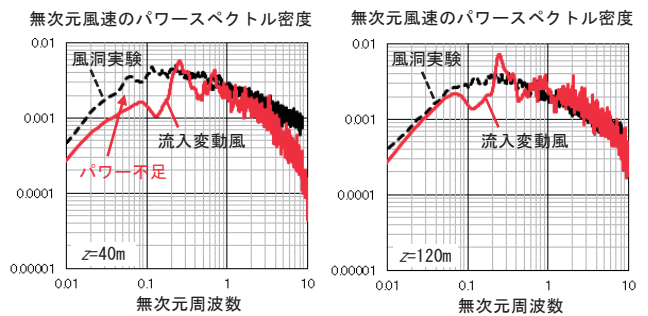
った。移流項の離散化には、2 次精度中心差分及び 1 次精度風上差のブレンド式を使用した。対流項は 2 次精度中心差分に 5% の 1 次精度風上差分を配合した。解析アルゴリズムには SMAC 法を用い、流速の時間積分法には Euler の陰解法を用いた。

境界条件は、流入境界に粗度区分Ⅳ及びⅢの気流を対象として、模擬変動風と準周期境界条件を有するドライバ部で生成した流入変動風を与えた⁶⁾。流入変動風の平均風速 u と乱れの強さ I_u の鉛直分布を Fig.6 に示す。縦軸は風洞実験の基準高さ 1m で、横軸の風速は基準高さでの平均風速で無次元化している。また、風洞実験気流はターンテーブル前端位置 ($x=-1m$) で規定したもののだが、流入変動風は計算領域の流入境界 (Fig.3 $x=-1200m$) に与えたものである。

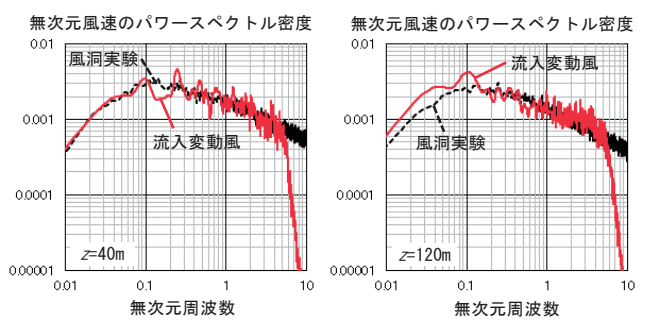
平均風速は、粗度区分Ⅳ、Ⅲともに目標とする風洞実験値と対応



(a) 粗度区分Ⅳ (b) 粗度区分Ⅲ
Fig.6 流入変動風の平均風速 u と乱れの強さ I_u の鉛直分布
(Vertical Profiles of Mean Wind Velocity u and Turbulence Intensity I_u of Inflow Turbulence)



(a) 粗度区分Ⅳ



(b) 粗度区分Ⅲ

Fig.7 流入変動風のパワースペクトル密度
(Power Spectra of Inflow Turbulence)

している。乱れの強さは、粗度区分IVでは対象建物の頂部高さ110.35m(≒0.275)以下で流入変動風の乱れの強さが過小評価となっているが、粗度区分IIIではこの領域でも良く対応している。

この状況を確認するために高さ40m及び120mにおける流入変動風のパワースペクトル密度をFig.7に示す。縦軸は基準高さ1mでの無次元風速のパワースペクトル密度、横軸は周波数と基準高さ1mの積をその高さでの平均風速で除した無次元周波数である。

粗度区分IVの場合、高さ120mでは両者は良く対応しているが、高さ40mでは低周波数領域で流入変動風のパワーが不足している。一方、粗度区分IIIでは、全周波数領域において両者は良い一致を示している。なお、LESのフィルタ効果による高周波数領域でのパワー低下が粗度区分IIIの方がより低い周波数で生じているのは、流入変動風生成時の計算格子が粗度区分IIIの方が若干粗いためである。

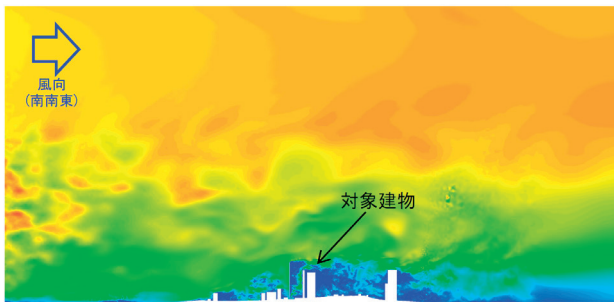
流入・流出境界は圧力修正項にDirichlet条件($P'=0$)を、壁面境界は壁関数(Spalding則)を、上空・側方境界はFree-slip条件を用い、その他はNeumann条件とした。

IV. 計算結果

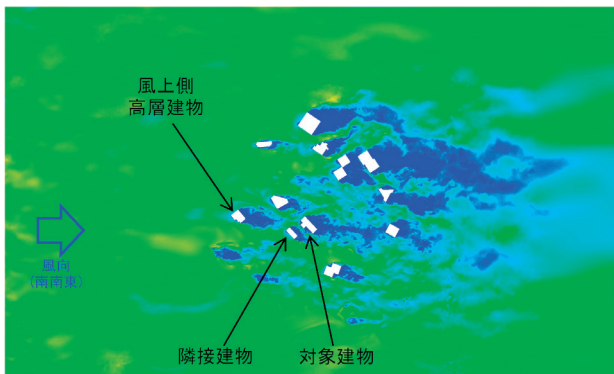
1. 建物まわりの風の流れ

Fig.8に鉛直断面($y=0m$)及び水平断面($z=80m$)における風速 u 成分の瞬間値コンターを示す。また、Fig.9に対象建物の風上壁面の正圧部に向かって流れる流線(図中の緑線の位置を通過)を示す。

対象建物に向かって来る風は、風上側の街区の影響で乱されており、特に風上側の $x=-200m$ 付近の高層建物の影響を受けていることが分かる。また、隣接建物からの剥離せん断層が直接作用しており、その影響を受けている。このように対象建物まわりの風の流れは、周辺の高層建物の影響を強く受けているため、周辺の高層建物まわ



(a) 鉛直断面 ($y=0m$)



(b) 水平断面 ($z=80m$)

Fig.8 風速 u 成分の瞬間値コンター
(Contour Maps of Instantaneous Wind Velocity u)

りの格子解像度の確保が重要である。

Fig.10及びFig.11に粗度区分IV及びIIIの風速の鉛直分布とパワースペクトル密度のX方向の変化を示す。粗度区分IVの場合、流入直後の $x=-1200m$ では、平均風速、標準偏差とも流入変動風の特徴がほぼ維持されているが、標高120m以下の標準偏差は、計算結果が実験結果を下回っている。平均風速は、 $x=-600m$ までは流入変動

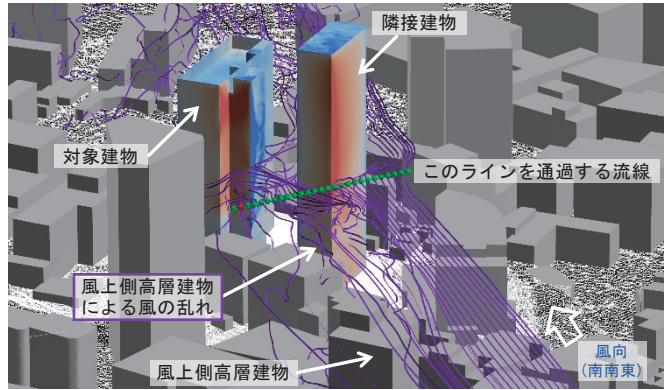
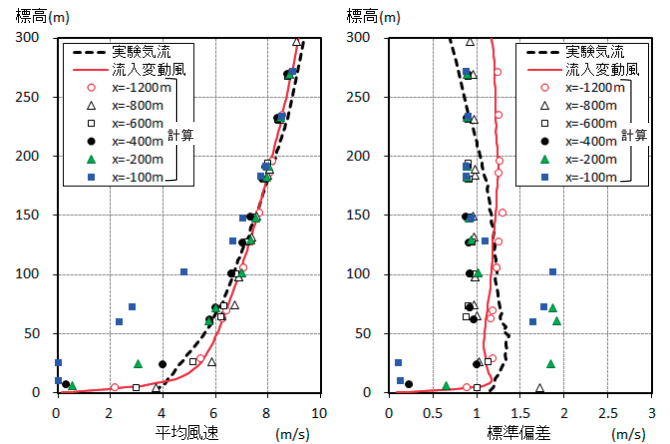
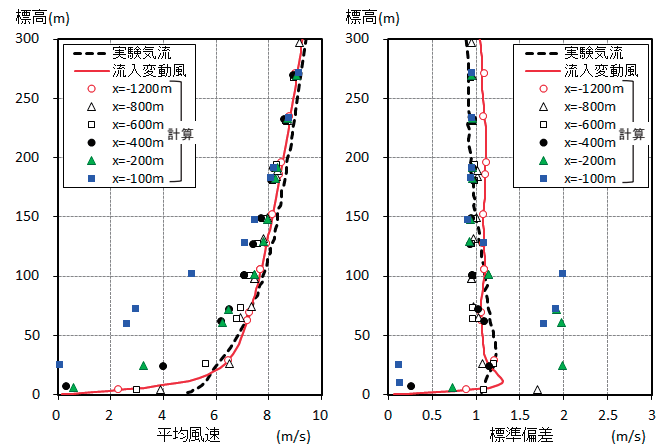


Fig.9 対象建物の風上壁面の正圧部に向かって流れる流線
(Stream Lines which Flow to Positive Pressure Region on Windward Wall Surfaces of Target Building)



(a) 粗度区分IV



(b) 粗度区分III

Fig.10 風速 u 成分の鉛直分布のX方向の変化
(Variation of Vertical Profiles of Wind Velocity u in X-direction)

風の鉛直分布が維持されているが、周辺街区を再現した $x=-400\text{m}$ より風下側では、周辺街区の影響で次第に地表面付近の平均風速が減少し、 $x=-100\text{m}$ では風上側の高層建物の影響もあり大きく低減している。風速の標準偏差は、 $x=-800\text{m}$ ではラフネスブロックの影響により地表面近傍で増加しているが、それより上空では流入変動風と比べて小さくなっている。この傾向は $x=-400\text{m}$ でも同様であるが、それより風下側では、風上側の高層建物や周辺街区の影響が現れ、 $x=-200\text{m}$ では標高 100m より下方で、 $x=-100\text{m}$ では標高 130m より下方で標準偏差が大きく増加している。

粗度区分Ⅲの場合、流入直後の $x=-1200\text{m}$ では、平均風速、標準偏差とも流入変動風の特徴がほぼ維持されており、実験結果と同等となっている。平均風速と標準偏差は、粗度区分Ⅳと同様に X 方向に変化するが、 $x=-400\text{m}$ までは標準偏差の変化は小さく、実験結果とほぼ対応している。 $x=-200\text{m}$ より風下側では、風上側の高層建物や周辺街区の影響が大きく、粗度区分Ⅳに近い値となっている。

Fig.11 に示した $z=70\text{m}$ での風速 u 成分のパワースペクトル密度の X 方向の変化を見ると、粗度区分Ⅳ、Ⅲとも $x=-1200\text{m}$ (流入境界) と $x=-800\text{m}$ の間で 10Hz 以上の高周波数領域でパワーの低下が生じており、周辺街区風上側の $x=-400\text{m}$ でもパワーの回復は見られない。一方、これより風下側の $x=-200\text{m}$ では、周辺街区で生成される乱れの影響でパワーが大きく増加している。このパワー低下は、Fig.3 及び Table 1 に示した流入境界付近の計算領域 vol.6 の格子解

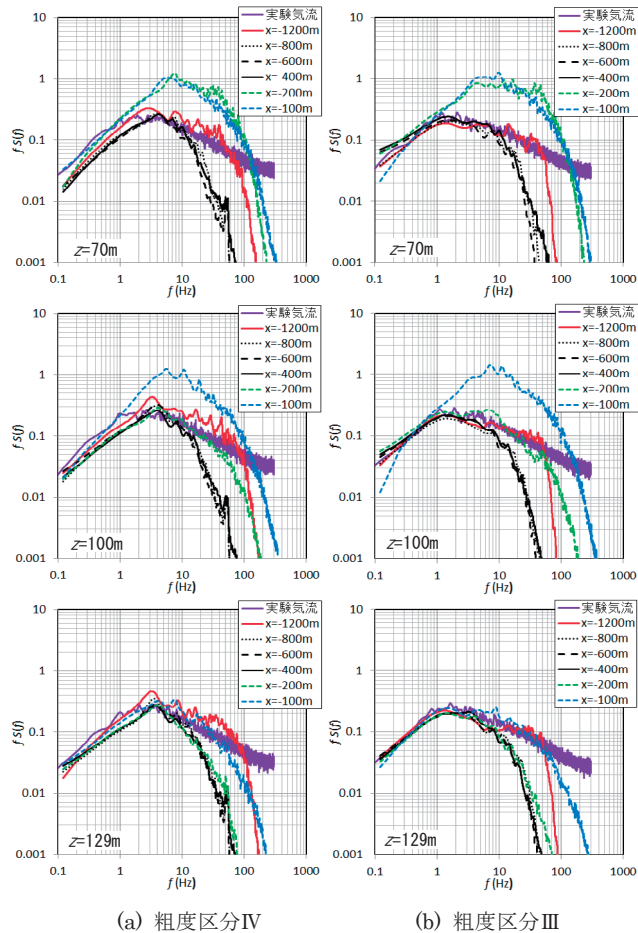


Fig.11 風速 u 成分のパワースペクトル密度の X 方向の変化 (Variation of Power Spectra of Wind Velocity u in X-direction)

像度 (12m) が、流入変動風を生成した計算格子の格子解像度 (8.4m) に比べて粗く、流入変動風の情報を間引く形で流入境界に与えているため、Navier-Stokes 方程式と連続の式を満たさない状況となっていることが主な原因と考えられる。これを防ぐためには、流入変動風を生成する格子解像度と計算領域の流入境界付近の格子解像度を合わせる必要があると考えられる。

$z=100\text{m}$ 及び 129m における風速 u 成分のパワースペクトル密度は、 $z=70\text{m}$ に比べて上空ほど高周波数領域のパワーの回復が遅れる傾向が見られる。これは周辺街区で生成された乱れが到達するのが上空ほど遅れるためである。

2. 風圧係数

Fig.12 に風洞実験の風圧測定点 (図中に番号を記載していない点は連番) を示す。エレベータコアと本体の接続部分の最上部の壁は、解析モデルでは再現していないため、北面の測定点 12, 86 と南面

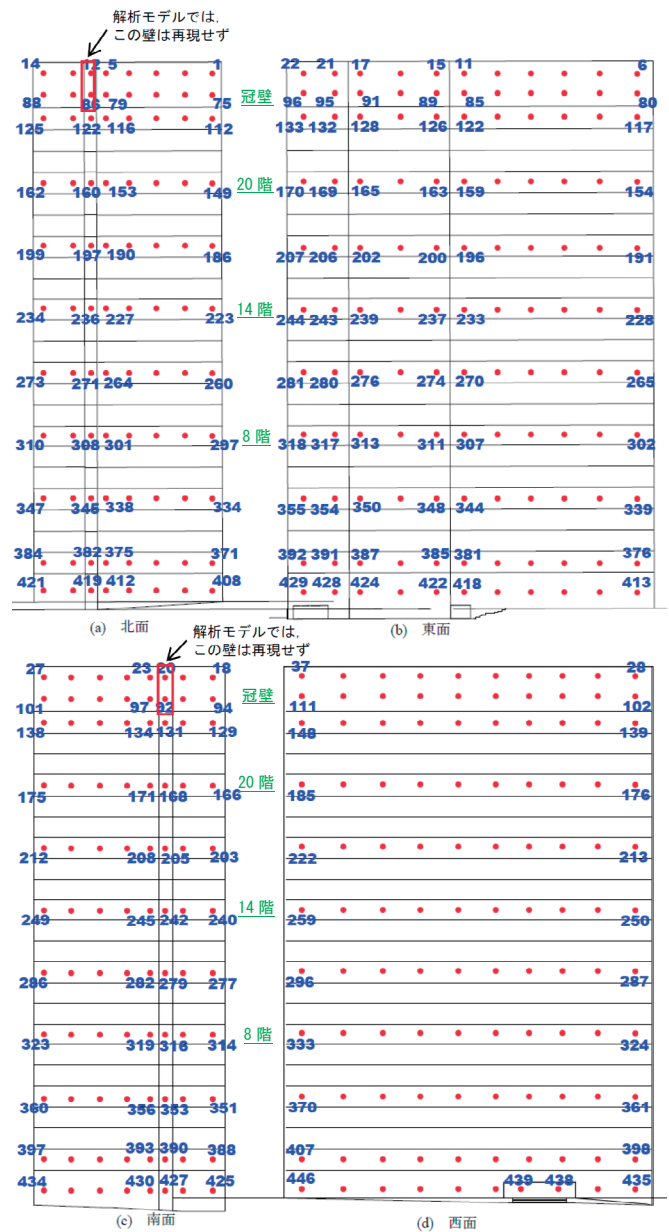


Fig.12 風圧測定点 (Wind Pressure Measuring Points)

の測定点 20, 92 は比較対象から外した。また、図中に番号を記載していない屋上の冠壁内壁の測定点 38~74 については、冠壁内部の造作が実験模型と解析モデルで異なるため比較対象から外した。

風圧係数の算定では、基準速度圧は流入境界の $x=-1200\text{m}$, $y=0\text{m}$ における対象建物頂部高さでの速度圧とし、基準静圧は $x=-22\text{m} \sim 22\text{m}$ の座標範囲において側壁境界面と上空境界面の圧力を時刻毎に保存し、それらの空間平均値を時々刻々壁面圧力から差し引いた。

Fig.13 に代表階における粗度区分Ⅳ及びⅢの各層の風圧係数の比較を、Fig.14 に粗度区分Ⅳ及びⅢの計算結果と実験結果の風圧係数の相関を示す。風圧係数の最大ピークおよび最小ピークは、平均化時間 0.005 秒（設計風速 43.47m/s とした場合の実スケールで 0.46 秒）の移動平均値として求めたものである。また、LES は評価時間 10 分相当のデータ 3 波のアンサンブル平均値、実験結果は同じく 5 波のアンサンブル平均値である。

粗度区分Ⅳの平均風圧係数を見ると、いずれの測定点でも計算結果と実験結果は良く一致している。標準偏差と最大ピーク値も全体的には両者が良く対応している。ただし、14, 20 階の風上壁面であるエレベータコア部で計算結果が実験結果を若干下回る傾向が見られる。これは、Fig.7 で説明したとおり、流入変動風の乱れの強さが実験気流に比べて小さいことが主な原因と考えられる。最小ピーク値は、多少ばらつきが見られるが、計算結果と実験結果は概ね対応している。特に、エレベータコア角部で生じている負のピーク値を良く捉えることができている。

粗度区分Ⅳの風圧係数の相関図は、計算結果は 3 波のアンサンブル平均値であり、風洞実験より少ないため、ややばらつきが見られるが、両者の差異は概ね 20% の範囲に収まっている。値が小さな領域でばらつきがやや大きくなっているが、これは低層部での実験模型と解析モデルの差異が一因と考えられる。

粗度区分Ⅲの平均風圧係数は、いずれの測定点でも計算結果と実験結果は良く一致している。標準偏差と最大ピーク値は、流入変動風の乱れの強さが実験気流と対応しているため、14, 20 階のエレベータコア部での過小評価が改善している。このことから粗度区分Ⅳの風上壁面での標準偏差と最大ピーク値の過小評価は、流入変動風の乱れの強さが不足していることが主な原因であると考えられる。一方、最小ピーク値は、計算結果の方が絶対値をやや大きめに評価している。この原因については、今後検討を加えたい。

粗度区分Ⅲの風圧係数の相関図は、標準偏差と最大ピーク値に関しては、粗度区分Ⅳに比べて一致度が改善しているが、最小ピーク値は、計算結果の方が絶対値を大きめに評価しており、一部で誤差 20% を超える点が増えている。

3. 流入境界付近の計算格子の改善

前述したとおり、Fig.11 に示した風速 u 成分のパワースペクトル密度が流入後に $x=-1200\text{m}$ （流入境界）と $x=-800\text{m}$ の間で 10Hz 以上の高周波数帯域のパワーが低下する原因は、流入変動風を生成した計算格子に比べて計算領域の流入境界付近の計算格子が粗く、流入変動風のデータを間引く形で流入境界に与えていることが原因であると考えられる。そこで、これを検証するために以下の 2 ケースの検討を行った。計算格子を Fig.15 に示す。

① 計算領域の流入境界付近の計算格子を流入変動風生成時の計算格子と一致させたケース（プリズム格子）

② 計算領域の流入境界付近の格子解像度を流入変動風生成時と同程度にしたケース（テトラ格子）

Fig.16 に粗度区分Ⅳにおける風速 u 成分の鉛直分布の X 方向の変化を示す。平均風速は、Fig.10 からの変化は小さい。ただし、テトラ格子の標高 30m で平均風速が大きく増加してしまっている。

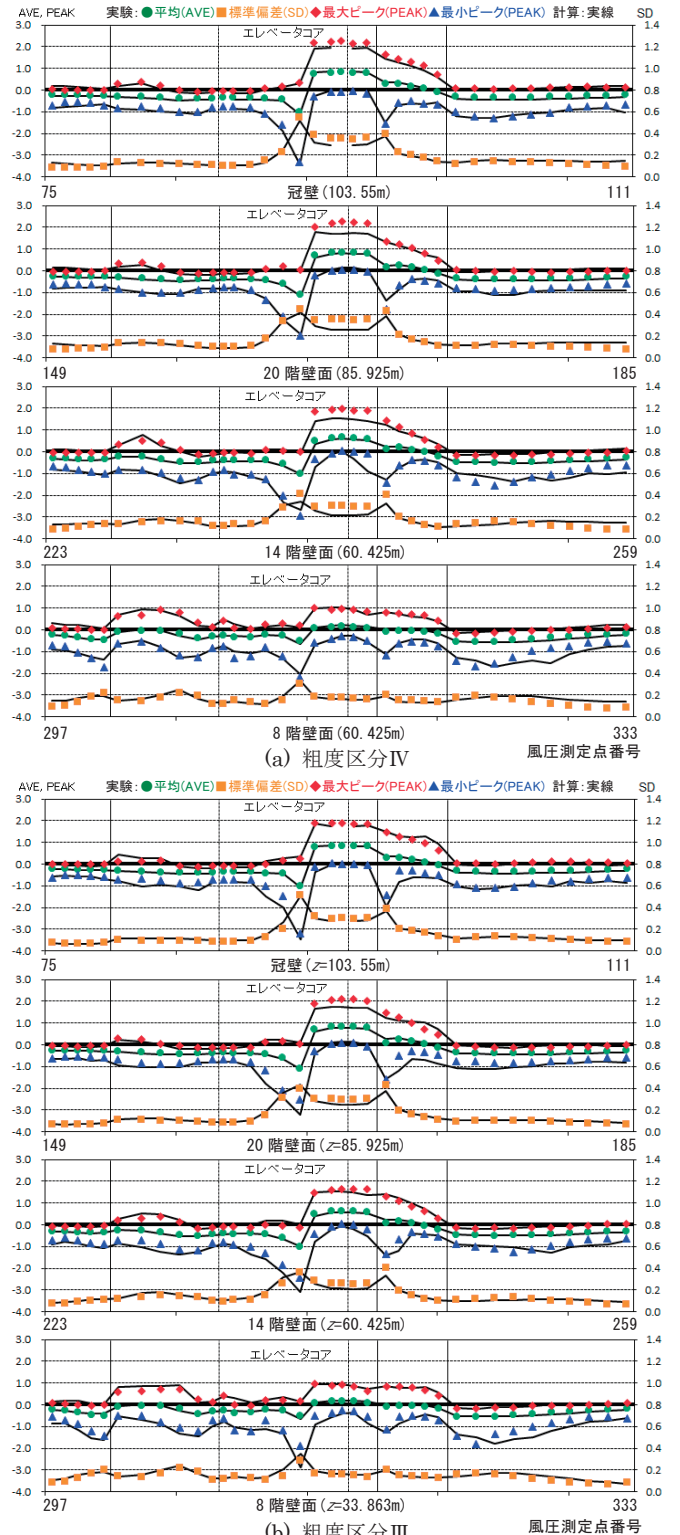
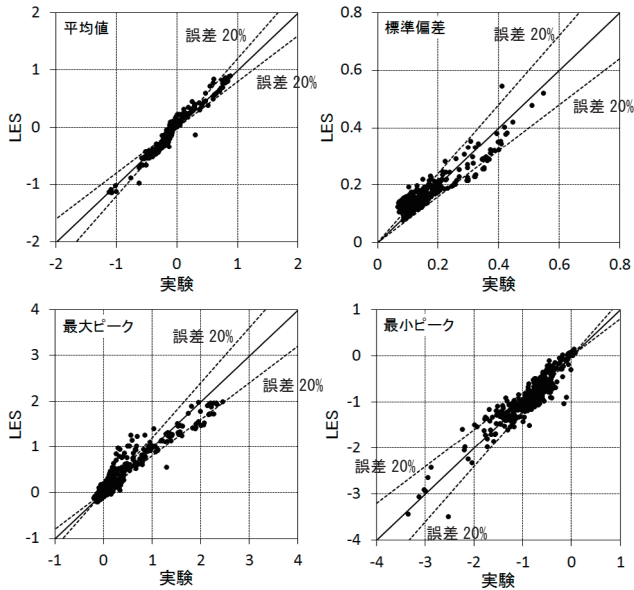
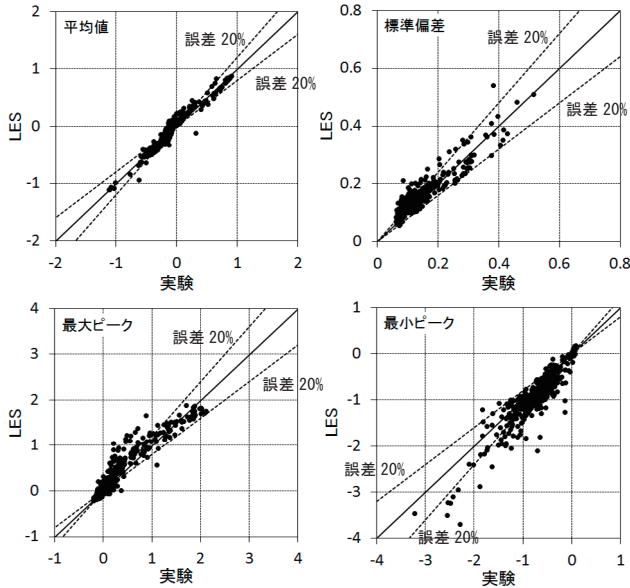


Fig.13 各層の風圧係数の比較
(Comparison of Wind Pressure Distribution)



(a) 粗度区分IV



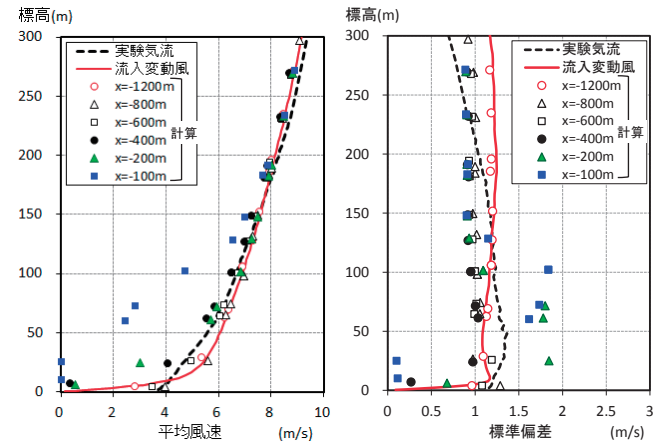
(b) 粗度区分III

Fig.14 計算結果と実験結果の風圧係数の相関

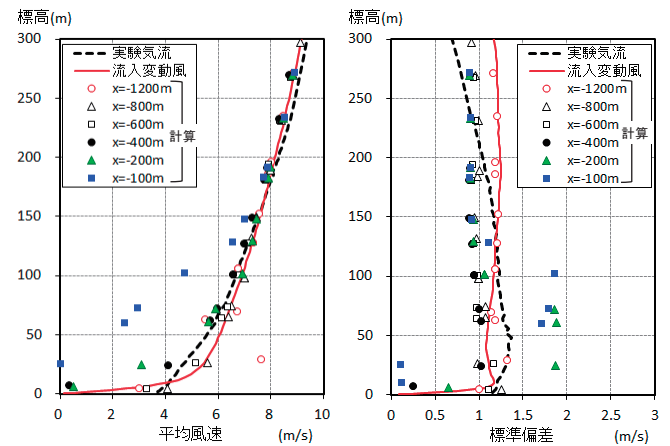
(Correlation between Computed Results and Test Results)

の点に関しては、計算格子の改善が必要と思われる。一方、標準偏差はプリズム格子、テトラ格子とも流入変動風からの低減が改善される傾向が見られる。その効果を見ると、計算領域の流入境界付近の計算格子を流入変動風生成時の計算格子と一致させたプリズム格子の方がより改善された結果となっている。図は省略するが、粗度区分IIIも同様の傾向である。

Fig.17, 18に粗度区分IV及びIIIにおける風速 u 成分のパワースペ



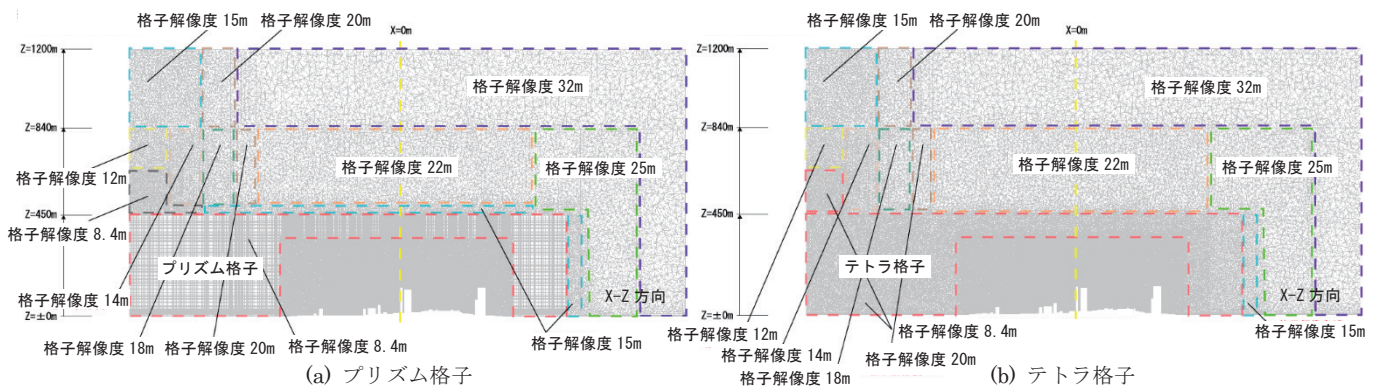
(a) プリズム格子



(b) テトラ格子

Fig.16 風速 u 成分の鉛直分布の X 方向の変化 (粗度区分IV)

(Variation of Vertical Profiles of Wind Velocity u in X-direction)



(a) プリズム格子

(b) テトラ格子

Fig.15 流入境界付近の計算格子の改善

(Improvement of Computational Grids near Inflow Boundary)

クトル密度の X 方向の変化を示す。計算領域の格子解像度を流入変動風生成時と揃えたプリズム格子とテトラ格子は、Fig.11 に比べて 10Hz 以上の高周波数領域のパワーの低下が明らかに改善されている。また、プリズム格子とテトラ格子を比較すると、Fig.16 と同様にプリズム格子の方がより改善された結果となっている。

Fig.19, 20 に地表面粗度区分Ⅳ及びⅢの各層の風圧係数の比較を示す。いずれも Fig.13 に示した各層の風圧係数との差は小さい。このことは、流入直後に高周波数領域で風速変動のパワーが低下しても、 $x=-400m$ より風下側の周辺街区で発達する内部境界層においてパワーが回復しており、その影響が支配的であることを示唆している。ただし、周辺街区の影響が及ばない高度や対象建物が単独で建つような場合は、流入変動風の特徴が支配的となるので、目標とする統計値を再現した流入変動風を用いることが重要であることは言うまでもない。

もう一点注意すべきことは、本検討で用いた X 方向の計算領域の幅では、低周波数領域の発達がほとんど見られないことである。このため、Fig.7(a)に示した粗度区分Ⅳの標高 40m におけるパワースペクトル密度のように、流入変動風生成時に低周波数領域のパワーが不足している場合は、計算領域におけるパワーの回復が期待できず、乱れの強さが不足するため、風圧係数の標準偏差や最大ピーク値を過小評価する恐れがあるので注意が必要である。

V. まとめ

複雑な地形上に中高層建物が林立する実在市街地を対象として、高層建物壁面に作用する風圧を LES で計算した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 対象建物まわりの風の流れは、周辺の高層建物の影響を強く受けるため、周辺の高層建物まわりの格子解像度の確保が重要である。
- ② 風圧係数は、全体的には実験結果に対する計算結果の誤差は、概ね 20% の範囲に収まっている。平均風圧係数は、粗度区分Ⅳ、Ⅲともいずれの測定点でも計算結果と実験結果は良く一致している。風圧係数の標準偏差と最大ピーク値も全体的には両者が良く対応しているが、粗度区分Ⅳの場合、14, 20 階の風上壁面であるエレベータコア部で計算結果が実験結果を若干下回る傾向が見られる。これは、流入変動風の乱れの強さが実験気流に比べて小さいことが主な原因と考えられる。このことは、流入変動風の乱れの強さが実験気流と一致している粗度区分Ⅲでは、改善されていることから確認できる。風圧係数の最小ピーク値は、多少ばらつきが見られるが、計算結果と実験結果は概ね対応している。ただし、粗度区分Ⅲの場合、計算結果の方が絶対値をやや大きめに評価する傾向が見られる。
- ③ 風速 u 成分のパワースペクトル密度は、流入後に 10Hz 以上の高周波数領域のパワーが低下する。この原因は、流入変動風を生成した計算格子に比べて計算領域の流入境界付近の計算格子が粗く、

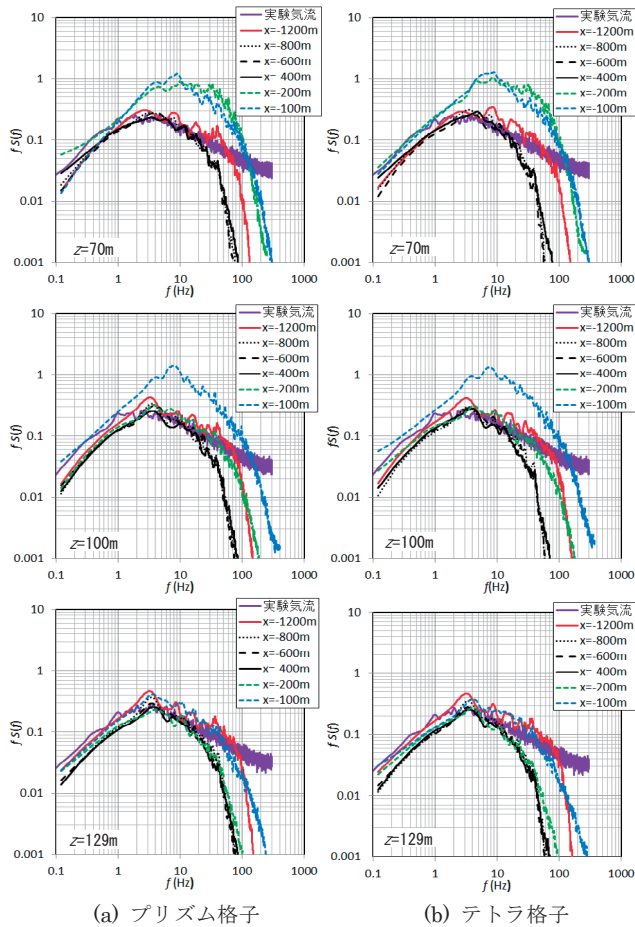


Fig.17 風速 u 成分のパワースペクトル密度の X 方向の変化 (Ⅳ)
(Variation of Power Spectra of Wind Velocity u in X-direction)

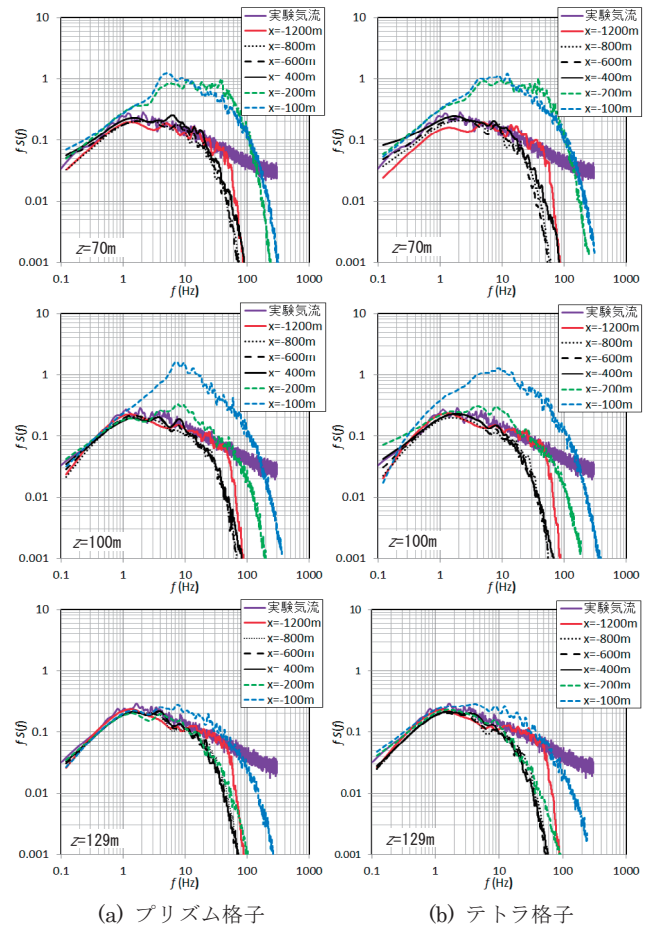


Fig.18 風速 u 成分のパワースペクトル密度の X 方向の変化 (Ⅲ)
(Variation of Power Spectra of Wind Velocity u in X-direction)

流入変動風のデータを間引く形で流入境界に与えていることが原因と考えられた。そこで、計算領域の流入境界付近の格子解像度を流入変動風生成時と揃えて計算した結果、パワー低下を改善できることを確認した。

④ ③で述べた改善を行った場合においても、対象建物の風圧係数の

変化は小さかった。このことは、流入直後に高周波数領域で風速変動のパワーが低下しても、 $x=400m$ より風下側の周辺街区で発達する内部境界層においてパワーが回復しており、その影響が支配的であることを示唆している。ただし、周辺街区の影響が及ばない高度や対象建物が単独で建つような場合は、流入変動風の特徴が支配的

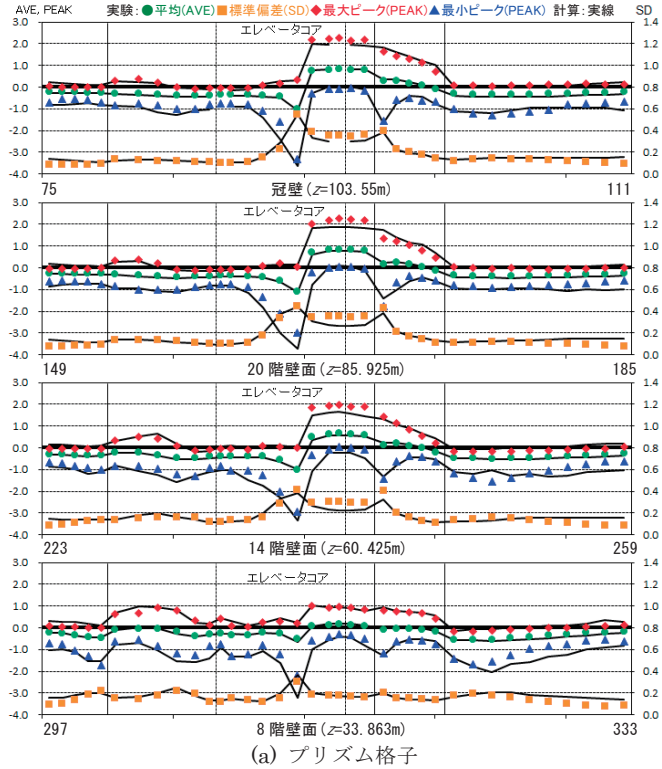


Fig.19 各層の風圧係数の比較 (粗度区分IV)
(Comparison of Wind Pressure Distribution)

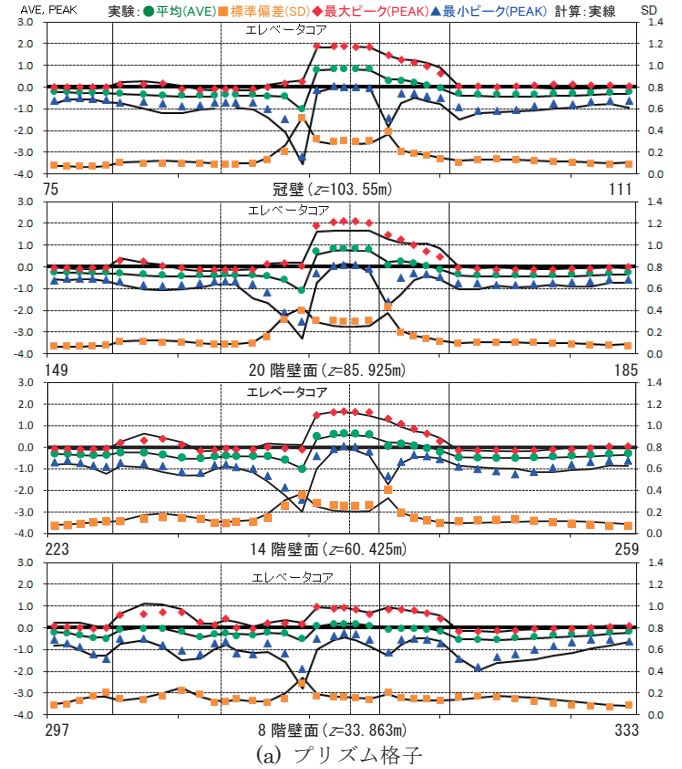


Fig.20 各層の風圧係数の比較 (粗度区分III)
(Comparison of Wind Pressure Distribution)

となるので、目標とする統計値を再現した流入変動風を用いることが重要である。

⑤ 本検討で用いた X 方向の計算領域幅では、低周波数成分の発達がほとんど見られないため、流入変動風生成時に低周波数領域のパワーが不足すると、計算領域におけるパワーの回復が期待できず、乱れの強さが不足するため、風圧係数の標準偏差や最大ピーク値を過小評価する恐れがあるので注意が必要である。

謝 辞

本成果は、理化学研究所の「京」コンピュータ平成 28 年度 HPCI システム利用研究課題（課題番号：hp160144, hp160248）を利用して得られたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本建築学会；建築物荷重指針・同解説（2015），2015.
- 2) 日本建築学会；建築物荷重指針を活かす設計資料 2 —CFD 適用ガイド—，2017.
- 3) 平成 27 年度建築基準整備促進事業；風圧力，耐風設計等の基準への数値流体計算の導入に関する検討報告書，2016.
- 4) 平成 28 年度建築基準整備促進事業；風圧力，耐風設計等の基準への数値流体計算の導入に関する検討報告書，2017.
- 5) 近藤宏二，田村哲郎，河合英徳，挾間貴雅，伊藤嘉晃，中山かほる；複雑な地形上に広がる中高層市街地に建つ高層建物壁面風圧の LES，日本風工学会誌，2017，pp.161-162.
- 6) 伊藤嘉晃，田村哲郎，近藤宏二；模擬変動風と準周期境界条件により生成した流入変動風の性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，2014，pp.131-132.

Influence of Inflow Turbulence on LES Computation of Wind Pressure Acting on High-Rise Building Wall Surfaces in Middle- and High-Rise City Area

*Koji Kondo, Takamasa Hasama, Yoshiaki Itoh, Masayasu, Suzuki, Kahoru Nakayama
Tetsuro Tamura¹⁾ and Hidenori Kawai¹⁾*

The authors conducted large eddy simulation (LES) to simulate the wind pressure acting on high-rise building wall surfaces in a middle- and high-rise city area in complex terrain. The computed results were compared with wind tunnel test results to determine their applicability. The following were confirmed. The flow field around the target building was influenced by neighboring high-rise buildings. As for the wind pressure coefficients, the computed results coincided with the wind tunnel test results. The error in the computed results for the wind tunnel test was approximately 20%. However, malfunctions due to a lack of turbulence intensity of the inflow turbulence and the faulty setting of the resolution of the computation grids used to generate the inflow turbulence and for LES computation became apparent. Accordingly, the authors revised the consistency of the turbulence intensity of the inflow turbulence and the resolution of the computation grids and were thereby able to improve the simulation.