

1) 構造研究グループ

1) - 6 風洞実験及び数値流体解析を用いた低層建築物の設計風速及び設計用風荷重の検討【安全・安心】

Evaluation of Design Wind Speeds and Wind Loads for Low-rise Buildings using Wind Tunnel Experiments and Computational Fluid Dynamics

(研究開発期間 令和4~6年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

高館 祐貴
Yuki TAKADATE

Design wind speed and design wind loads are investigated based on wind tunnel experiments and computational fluid dynamics (CFD) simulations. To assess the wind load reduction, wind pressures are measured on a square building surrounded by uniformly distributed roughness blocks and on low-rise buildings in an actual urban environment. The results indicate that negative wind pressures at the corner and edge are reduced due to the presence of surrounding buildings, and the mean wind pressure coefficient converges regardless of the model's reproduction scale when the reproduction length is approximately 20 to 40 times the height of the target building. Furthermore, wind speeds obtained from the CFD simulation are decomposed using proper orthogonal decomposition (POD) analysis, allowing the extraction of principal fluctuation components from complex wind variations.

【研究開発の目的】

近年、大型台風や爆弾低気圧、竜巻等の風災害による建築物の屋根ふき材や外装材等への被害が多く発生している。被害の多くは建築基準法で詳細な構造計算が求められていない低層建築物で発生している。一般に、風速は地表面の摩擦の影響で地面に近づくほど小さくなるが、平成12年建設省告示第1454号では地表面から高さ Z_0 までの風速及び風荷重が一定値とされている。建築基準法の Z_0 は多くの地点で5mと規定されており、この数値をそのまま設計に用いていけば安全側での設計になると考えられる。しかし、小規模な低層建築物等では実現象と比べて風荷重が過大に与えられる可能性があり、過剰な外力を想定した設計や現実的ではない工法を選択せざるを得ない場合がある。一方、小規模な低層建築物等では詳細な構造計算が求められていないため、こうした設計風速やそれを用いた風荷重を想定した耐風設計を行わなくても法令上は問題になることはないのが現状である。

建築物の強風被害を低減するためには、特に被害の多く発生している低層建築物等に対して適切な耐風設計ができるような合理的な設計用風荷重を設定する必要があると考えられる。そこで、本研究では、設計風速および設計用風圧係数を含めた設計用風荷重の観点から低層建築物等を安全かつ合理的に設計できるような耐風設計手法を検討することを目的とし、風洞実験および数値流体解析を用いた検討を行った。

【研究開発の内容・結果】

①風洞実験による風圧および風力低減効果

風圧測定には建築研究所所有の回流型境界層風洞を用いた。風洞は幅3m、高さ2.5m、長さ25mである。図1に風洞の内観、図2に風洞模型の概要を示す。風洞のターンテーブル内に複数のラフネスブロックを配置することで、配置密度や形状によって変化するラフネスブロックの間の流れ場やターンテーブル中央に配置した風洞模型に作用する風圧を測定する。風洞模型は正方形角柱の形状としており、高さの調節ができる機構を設けることで風洞気流の縮尺率などを変更した実験でも同様の模型が活用できるように作製している。風圧測定模型の測定点数は1ユニットで48点であり、模型の高さを変えることで最大で288点の多点風圧同時測定ができる。サンプリング周波数は1000Hzとした。図3に流入気流の特性を示す。実験では気流の乱れの影響を把握するために自由発達する流れ(Flow I)と地表面粗度区分Ⅲを模擬した境界層乱流(Flow II)の2種類の気流での実験を行った。図4bは変動風速のパワースペクトル密度であり、自然風を模擬した境界層乱流における形状はカルマン型とよく一致している。

図4に模型に正対する風向($\theta = 0^\circ$)で模型の高さが $H/D = 1$ の時の平均風圧係数分布を示す。図4aは粗度ブロックがない場合であり、図4bは周辺の粗度ブロックを間隔 $x/D=2$ で一樣に配置したときの結果である。周辺に粗度ブロックが配置されると平均風圧係数の絶対値が小さくなっていることが分かる。特に、風上側(A)の正圧や側面(B, D)の風上側隅角部での負圧の絶対値が大きく低減していることから、周辺建築物は平均応答の低減に大き

く影響を及ぼすと考えられる。

次に、風圧測定模型の上流側の建築物が風圧係数に及ぼす影響を明らかにするために、模型の再現範囲を変化させた風洞実験を実施した。図5に実験模型の概要と平均風圧係数と模型の再現範囲の変化による結果を示す。図5aの模型で中央付近に配置されている黒い模型は風圧測定模型であり、黄、緑、赤の模型は市街地模型である。これらの模型は3Dプリンタを用いて作成したものを風洞床に貼り付けた。図5bの風圧係数と模型の再現距離を見ると、模型の再現範囲が対象建築物の高さの20~40倍以上になると、平均風圧係数は模型の再現範囲によらずほぼその大きさが変わらないことが分かる。今後は、平均的な性状だけでなく、瞬間的な風圧係数への影響や建築物の隣棟間隔による直接的な影響、風上側の高層建築物の影響などを明らかにしていく。

②数値流体解析による変動風速場の評価方法の構築

図1で実施した風洞実験を模擬した数値流体解析を実施し、建築物に作用する風圧および風速についてのデータを取得した。数値流体解析にはLES(Large Eddy Simulation)を用いることとし、流入境界には風洞を模擬して計算した流入変動風を用いた。計算の時間ステップは0.0001秒であり、30秒分の計算を実施した。図6に粗度ブロック内部における変動風速場の瞬間値と変動風速の時刻歴データに対して固有直交関数展開(POD: Proper Orthogonal Decomposition)を使って得られる固有ベクトルから変動風速を再合成した瞬間的な風速場を示す。図には、元の変動風圧場に対してする各モードの寄与率を数値で示している。変動風速は、1次モードは主流方向、2次モードでは主流直交方向、3次モードは旋回流、4次モードは斜め方向の流れが得られており、複雑に見える変動風速場をPOD解析を用いることで詳細に分析することができる。また、このPOD解析を複素数領域まで拡張した複素POD解析を用いて変動風速性状を評価し、1つのモードに移流性状を持つ流れ場や風圧場についての手法を構築した。詳細は文献3), 4)も確認されたい。

【参考文献】

- 1) Yuki Takadate, Hitomitsu Kikitsu, Yasuo Okuda: Wind pressures and forces on a building with surrounding roughness blocks, Proceedings of 9th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, 2024
- 2) Dianne Cirunay, Yuki Takadate, Kiyotaka Doi, Takashi Takeuchi, Eriko Tomokiyo, Kazuyoshi Nishijima: Effects of detailed modelling of surrounding buildings on mean wind pressure evaluation for low-rise buildings, Wind Engineering Research, Vol. 28 pp. 173-182, 2024
- 3) 高館祐貴, 喜々津仁密, 奥田泰雄: 粗度ブロック内の実POD解析と複素POD解析について, 2023年度日本風工学会年次研究発表会梗概集, pp. 95-96, 2023
- 4) 高館祐貴, 植松康: 振動する大スパン陸屋根の変動風圧および空力安定性-POD解析と複素POD解析による検討-, 風工学研究論文集, Vol. 28, pp. 155-164, 2024



図1 実験概要

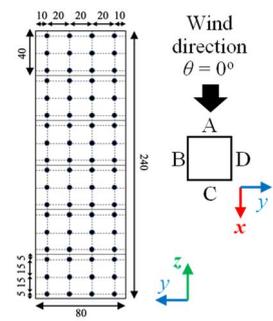
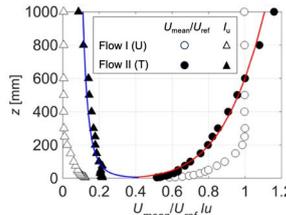
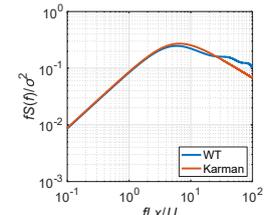


図2 風洞実験模型

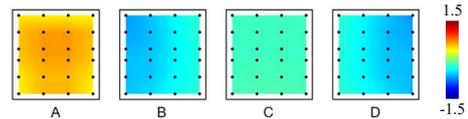


(a) 平均風速と気流の乱れ強さのプロファイル

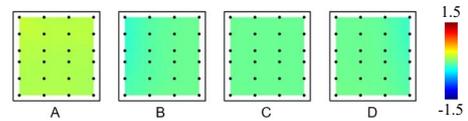


(b) 変動風速のパワースペクトル密度

図3 流入気流の特性



(a) 単体建築物(粗度ブロックなし)

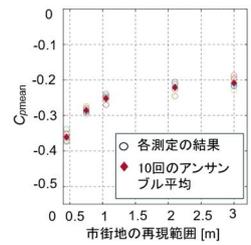


(b) x/D = 2 (粗度ブロックあり)

図4 H/D=1の角柱に作用する平均風圧係数



(a) 市街地模型



(b) 風圧係数と模型の再現距離

図5 模型の再現範囲と風圧係数の変化

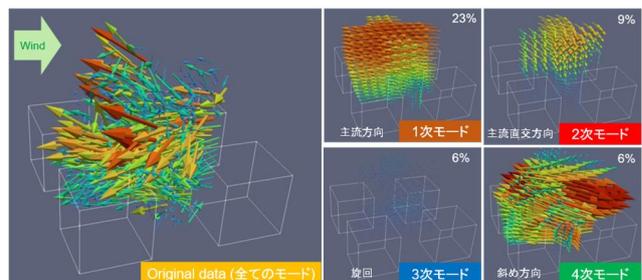


図6 数値流体解析による変動風速のPOD解析結果