

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289182

研究課題名(和文) 遠隔観測・LESに基づく耐風設計用鉛直風速分布の再評価と乱れの不確定性の定量化

研究課題名(英文) Assessment of vertical design wind velocity profile and its uncertainty estimation using remote observation and LES

研究代表者

田村 哲郎 (Tamura, Tetsuro)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：90251660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：建築物に作用する強風に対して耐風設計を行う場合、強風の空間分布、乱流構造の適切な把握は安全性実現のための重要事項であるが、観測データが十分でないことから現在、曖昧な取り扱いになっている。強風特性は、下方の地表被覆状態によって決定されるが、その関係を正しく認識する必要がある。本研究では、上空風に対してライダーなどの遠隔観測および建物・植生再現モデルによるLES数値解析で風速分布を再評価する一方、建物高さでの強風のキャノピー内構造を、非構造格子系LESにより算定し、地表近傍での設計用風速分布を提示することをめざす。また広範囲の鉛直領域での異なる乱流構造を対象に統計値の現象論的不確定性も定量化する。

研究成果の概要(英文)：In wind resistance design of buildings, it is important to grasp the spatial distribution of wind turbulence structure appropriately for guaranteeing the safety. However, the turbulent characteristics of wind are treated ambiguously because of insufficient observation techniques. In particular, the relation between wind characteristics and land coverage is necessary to be shown because the characteristics are determined dominantly by land coverage. This study re-evaluates the distribution of wind by remote observation using lidar and LES resolving building and vegetation. Also, the distribution of design wind speed in the region near the ground is shown by revealing the turbulence structure within urban canopy by LES using unstructured grids. Moreover, the phenomenological uncertainty of turbulence statistics for broad height region is quantified, and the robustness of evaluation results for wind loading and the appropriate evaluation time and ensemble number are clarified.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：LES 遠隔観測 耐風設計 風速分布 乱れの強さ キャノピー 都市 植生

1. 研究開始当初の背景

建築物に作用する強風に対して耐風設計を行う場合、強風の空間分布、乱流構造の適切な把握は安全性実現のための重要事項であるが、観測データが十分でないことから現在のところ、あいまいな取り扱いになっている。その結果、以下に示す課題が残っている。

(1)建築構造物の風荷重評価では、接近流を正しく再現する必要がある。風洞実験では対象建物から500m程度の範囲の市街地をモデルで再現し、それより遠方については地表面の被覆状態に応じた分布を仮定している。しかし都市域では対象となる建物の風上遠方まで市街地が形成されており、分布を仮定する事が難しい場合がある。また台風時あるいは春の移動性気圧に伴って発生する建物の強風被害の原因を究明する場合、被害発生時に当該建物周りの風の状況がどうであったかの検証が必要である。以上、実在都市街地における遠方の地表面の粗度の影響や、実際に発生した強風時の都市キャノピー内外の風の流れを再現する事が望まれている。

(2)風の影響を受けやすい高層建築物の耐風設計においては、地表面の粗度を考慮した大気境界層内の風速の鉛直分布が地上数百 m オードまで必要となる。また航空機の運航、特に離着陸においても大気境界層内の風速プロファイルの情報が重要である。航空機が離着陸する場所として、周辺が比較的平坦な空港と近年利用実績が増大しているビル屋上のヘリポートでは、粗度の違いから異なる接近流が予想される。しかしながら、これまでの観測データが十分でなく、実態が不明となっている。以上の観点から、地表面粗度の異なる複数地点における大気境界層内の風速の鉛直分布の実測データが必要とされている。

(3)都市・建築の耐風性能、熱環境等の予測において、より広域の影響を考慮するために、気象モデルと LES のハイブリッド解析が試みられている。しかしながら、気象モデルで得られた解析結果は空間解像度が相対的に粗く、乱流モデルに数値粘性を含んでいることから、一種の空間フィルタリングが施されたような変動の少ない流れ場となり、これを LES 解析に利用するためには高周波の風速変動成分を付加する必要がある。気象擾乱の特性を都市風レベルでの解析に取り込むためのモデル開発は急務の課題と言える。特に、気象モデルの解析結果のような低周波で変動する風速に対して適切な高周波変動成分を付加する技術の数値解析技術の確立が求められている。

(4)近年深刻化する強風災害を背景として、建築物の安全性確保と都市防災の観点から、耐風設計の重要性が高まっている。特に強風の影響を受けやすい高層建築物に関しては、設計用風荷重を適切に評価する上で、建築物に作用する風圧力、またそれを特徴づける周囲の複雑な風速場を精度よく予測する必要

がある。特に近年では、都市機能の更新および土地の高度利用を目的とする市街地再開発が活性化しており、都市部を中心として市街地の形態が年々変化している。さらに、近年建設されている超高層建築物には、外観の意匠性あるいは環境性能の向上を目的として特殊な外装形式が採用される事例が多いことから、外形の複雑さに伴い設計用風荷重評価がより困難なものとなっている。

(5)市街地に建設される複雑形状を有する建築物の風荷重評価を実施するためには、対象となる建物形状だけでなく、周辺建物の影響や隣接する大規模な建物の流れ場を正確に再現することを必要となる。これまでは比較的建物表面形状が単純化された建物を対象に CFD (数値流体解析) が行われており、同程度の表面形状を持つ風洞実験結果と比較することで、その予測精度の検証が行われている。しかし、実際の建物のような庇やリブ、格子状の詳細な表面形状を再現して建物の壁面風圧の評価や低層部にある複雑なピロティ内の流れ場を再現する解析事例はほとんどない。

(6)複雑地形上の風は局所的な増速や乱れの増幅が想定され、周辺構造物に被害を与えることがある。近年では、地形の影響を受けて形成された乱れ特性によって、複雑地形上に設置された風車における疲労破壊事例や木造住家群の被害事例が度々報告されている。そのため、複雑地形上の構造物の安全性を考える上で地形の影響を考慮した風の乱れの把握が重要である、地形によって形成される局所的な流速場の影響を考慮した安全性評価法の構築が求められており、複雑地形上での鉛直方向の風速分布の評価が重要となる。

2. 研究の目的

本課題では下記の項目を研究目的として設定した。

(1)実在都市街地における都市キャノピー内外の乱流構造の把握

広域の市街地を風洞内で再現する事は非常に難しいが、数値流体計算では広域の計算領域の設定が可能である。ただし計算負荷を考えると領域全体を対象とした LES の実施は困難であり、RANS により平均場を求める事が考えられる。そこで広域を対象とした RANS で得られた情報をもとに時々刻々の風速変動を再現し、対象建物周りへの流入気流とする計算手法を確立する。実在都市街地における建物に作用する時間空間スケールでの風速変動を再現しながら、接近する強風の乱流構造を把握することを目的とする。

(2)実在都市街地上空での鉛直風速分布の観測結果の整備

地表面の粗度が異なる複数地点における大気境界層内の風速の鉛直プロファイルの観測データを収集・解析し、粗度や大気安定度が風速の鉛直分布に与える影響を明らかにする。また平均風速だけでなく、建築物の

風荷重評価や航空機の飛行への影響評価に重要な乱流強度および乱れスケールの情報を観測データから抽出することをめざす。

(3)気象モデル・LES 解析接続のための手法の提案と適用

本研究では、空間発達する境界層に対し準周期境界により流入変動風を作成するリスケーリングの方法に着目し、広域解析によって得られる変動の少ない風をドライバ領域で吹走させることにより変動成分を増幅させ、それを空間フィルタリングしたものととの偏差から変動成分を抽出し、リスケーリングすることにより風速の高周波変動成分を付加する方法を提案し、その有効性を確認したうえで、気象モデル解析結果への高周波変動成分の付加を試みる。

(4)東京都心部の高層市街地における風荷重評価のための乱流構造の分析

耐風設計用風荷重評価を目的とした過去の CFD 研究の多くは、比較的シンプルな建物モデルを用いてその妥当性を示すものであった。本研究では、東京都内における実際の高密度市街地を対象とし、複雑な都市形状モデルで風速・風圧に関する解析精度を精査すること、建築物・都市形態に起因する特殊な風圧現象を周囲の乱流構造と関連づけて吟味することを目的とする。

(5)複雑形状まで再現した建築物のまわりの乱流場の評価

庇やリブといった複雑な表面形状を有する建物の圧力評価や流れ場について、CFD で算定する際の課題の抽出や課題解決のための対応策等を明らかにするとともに、その適用性について確認することを目的とする。CFD では、風洞実験では再現できない建物表面の小さな凹凸までも再現することが可能であるため、よりリアルな流れ場や壁面圧力を再現することができるものと考えられ、局所的な場所で発生するリスクを事前に予測できるものと期待できる。また、下層部の広大なピロティ内での流れ場を再現することで、防災的、環境的な観点での評価についても期待できる。

(6)複雑地形上の流入条件の設定方法の提案と構造物の疲労破壊リスクの評価

複雑地形上の流れ場においては、風上の流入面を海上としたケースに関する解析が多く試みられているが、陸地側から流入する風の境界条件については十分に検討されていない。急峻な地形を越える風に関する LES の再現性を検討し、LES により得られた風力発電設備の各設置地点における乱流強度と風力発電設備の疲労損傷度の関係性から、複雑地形上に建つ風力発電設備の疲労損傷に影響を及ぼす複雑地形上の流速分布の特徴について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

研究の方法を下記の通り具体的に示す。

(1)合成渦法による流入変動風を作成と都市キャノピー内外の乱流構造の予測

RANS の結果から時々刻々の風速変動を再現する方法として、Jarrin ら(2006)によって提案された SEM(Synthetic-Eddy Method)に基づき、新たに提示した。これは、平均風速分布とレイノルズ応力の分布を与条件とし、LES の流入境界において仮想的な渦点を用いて、風速の変擾場を再現する方法である。その後 Poletto ら(2012)によって連続の条件を満たす改良が加えられた DFSEM (Divergence-Free SEM) が提案され、その手法も反映させた。平板上の境界層乱流、ならびに市街地内気流を対象とした解析により、両手法が有効である事を確認する。

(2)ライダーによる実在都市街地における都市キャノピー内外の鉛直風速分布の観測

風速の鉛直プロファイルの観測データとして、ドップラーライダーによるリモート観測データ、およびヘリコプタ搭載の超音波風速計による風観測データを利用する。ライダーによるリモート観測では、長期間にわたる平均風の鉛直分布が取得でき、気象庁のメソ数値予報モデル GPV や航空機による気温/気圧の観測データと組み合わせることで風速分布に対する大気安定度の影響が評価可能となる。一方、ヘリコプタによる風観測は、観測回数が限定されるものの、40Hz で観測データを取得するため、乱流強度を始めとする風の乱れ情報の抽出が可能となる。これらの観測データを、地表面の粗度が異なる複数地点で収集することにより、粗度の影響も評価可能となる。本研究では、粗度が異なる以下の2地点での観測データを用いる。

粗度が大きい都市環境(地表面粗度区分 VI~V 相当)の例として、東京都港区赤坂の高層ビル A 屋上でのライダーとヘリコプタによる観測データ

粗度が小さい平坦な地形(地表面粗度区分 II 相当)の例として、千葉県成田国際空港でのライダーによる観測データ

(3)気象モデル・LES 接続用空間フィルタリング・リスケーリング手法の提案と適用

本研究では、空間フィルタリング・リスケーリング手法を用いた流速場への高周波変動成分の付加方法を提案したうえで、その有効性を確認するための a Priori Test として、乱流境界層を空間フィルタリングにより粗視化した流れ場を流入条件に用いた解析を実行する。高周波変動成分の回復過程を示すことで提案した方法により粗視化前の乱流境界層を再現し、提案方法の有効性を示す。

(4)東京都心部の高層市街地における風荷重評価のための乱流構造の分析

都市の風速・風圧に関する非正常現象を数値的に求める計算法として、LES(Large Eddy Simulation)を採用する。ここでは、その計算モデルとして、格子配列に規則性を持たない非構造格子系を用いる。非構造格子系は、複雑なモデル形状を完全に保持できること、また、乱流構造を決定づける格子解像度に対し高い自由度を有することが特長である。本

研究ではまず、LES の流入境界条件として要求される流入変動風（流入境界における時刻歴変動風速場）について風洞実験法に倣う作成手法を提案し、その妥当性を確認する。次に、都内の実市街地を対象として、個々の建築物形状を精緻に再現したモデルで LES を実施し、都市内の複雑な風速場を調べる。

(5)中層市街地中に建つ複雑形状を有する建築物の風荷重・流速場評価

都心部の中層建物が密集する地域を対象に、2棟の高層建物が少し離れて建っている状況の流れ場を再現する。建物は壁面に非常に細かい格子状の凹凸を有し、別の建物は各層の壁面全面に大きな庇を有しており、それぞれの建物において地下空間と一体化した広大なピロティを有している。計算格子は非構造格子で生成(総要素数 1.4 億格子)する。

(6)複雑地形上の流入条件の設定方法の提案と疲労破壊リスクの評価

複雑地形上の流れ場に関し、上流側に急峻な地形が存在する実在複雑地形を LES による解析の対象として、上流側の地形からテーパーを付加することで、急峻な地形を越える風に関する LES の再現性を検討する。次に、風力発電設備が存在する別の実在地形を対象とした乱流場の LES を行い、得られた風力発電設備の各設置地点における乱流強度を用いて、運転可能期間が相対的に長くなる地点の予測、および乱流強度と風力発電設備の疲労損傷箇所の対応関係を把握する。

4. 研究成果

(1)合成過法による流入変動風の作成と都市キャノピー内外の乱流構造の解析

平板上の境界層乱流の LES を対象に、流入境界で準周期境界条件を課した場合と、SEM により変動風を生成した場合を比較した。両者では床面近傍の流れ場に差が生じたが、流入境界のレイノルズ応力を非等方に与える事で改善される事が示された。また準周期境界条件では風速変動のスペクトルに周期長さに起因するピークが生じるが、SEM ではそれを回避できる利点がある。次に実在都市街地を対象とした Hybrid RANS/LES 計算手法の確立を行った。DFSEM を用いて接近流を再現して LES の結果と比較した。その結果、Hybrid RANS/LES では、遠方にある高層建物の影響などを反映した乱れを LES 小領域の入り口で再現でき、全体を LES で解析した場合と同等な流れ場が得られる事が示された。最後に上記の実在都市街地を対象とした風洞実験結果をターゲットに SEM と LES の組み合わせによる解析を実施し、都市キャノピー内部の気流の再現性について検討した。対象となる風洞実験では、ヘリポートのある高層建物をほぼ中心として半径 400m の範囲の市街地を 1/400 の模型で再現した。LES ではターンテーブルと風上の風路上にある建物形状を GIS データから再現し、実験状況を参考に粗度ブロックを配置した。

ヘリポートのある高層建物の風上にライン状に設けた 3 箇所、平均風速ならびにレイノルズ応力の鉛直分布を実験結果と比較した。平均速度、乱れ強さ、ならびにレイノルズ応力の分布は、実験結果とよく一致した。次に、ヘリポートのある高層建物の近くにある中層建物上空での鉛直分布を比較する事で、都市キャノピー内での気流の再現性を検証した。風向 190.5 度の場合には、当該位置は高層建物の風直交方向に位置し、かつターンテーブル端部にある別の高層建物の後流側に位置する。平均風速、乱れ強さ、レイノルズ応力ともに実験に近い分布が LES で得られた。一方、当該位置がヘリポートのある高層建物の風下側に位置する風向 315 度の場合、LES の平均速度分布に実験よりも大きな速度欠損が現れた。これは風洞模型と計算モデルにおける屋上の再現性の差異が、異なる傾向の原因であると考察した。以上の検討結果から、LES により都市キャノピー内の風速鉛直分布や乱流構造についての基本的な性状の把握が可能であると判断できる。ただし乱れの強さについては評価点近くにある建物形状の再現性の影響が大きいと考える。

(2)ライダーによる実在都市街地における都市キャノピー内外の鉛直風速分布の観測

まず利用する観測データの妥当性を確認するため、高層ビル A 屋上でのライダーとヘリコプタによる観測データを比較した。その結果、平均風速分布のべき指数、および乱流強度共に両観測データは整合性があり、共に信頼できるデータであると判断された。次に、地表面の粗度や大気安定度が平均風速分布のべき指数に与える影響について、ライダーの観測データを用いて評価した。なお大気安定度は、高層ビル A においてはメソ数値予報モデル GPV、成田国際空港においては離着陸機による気温/気圧の観測データを用いて算出した勾配リチャードソン数により評価した。結果として、べき指数は地表面の粗度に加えて大気安定度の影響を強く受け、安定時には大きく、不安定時には小さくなる傾向があることが定量的に明らかとなった。中立および不安定時（主に日中）には建築物荷重指針に示されるべき指数と同等かやや大きい値を取るが、安定時（主に夜間）には指針を大きく超える値を取り得る。特に高層ビル A においては、夜間のべき指数の平均値が 0.5 以上と、指針の 0.27~0.35 を大きく超える値が示された。高層ビル A において計測した乱流強度については、高度 150~200m において建築物荷重指針に比してやや大きめの値（観測値 0.2~0.3、指針 0.15~0.2）が観測された。また、ビル近傍では乱れが大きく増大し、局所的に 0.7 近い乱流強度も観測された。同時に算出した高度約 150m における高層ビル間の水平風の乱れスケール（風速時刻歴の自己相関関数の積分値）については、60~80m の値が得られており、指針の 230m に比してかなり小さくなっている。これは著者らが実

施した風洞試験での計測値と整合しており、高層ビル群の形状の影響により、乱れスケールが小さくなっていると考えられる。以上の結果から、今回観測手段として利用したドップラーライダは、降水時に観測できない弱点はあるものの、騒音の問題もなく、都市境界層の風観測に適していることが示された。またヘリコプタによる観測は、観測回数が限定されるものの、平均風に加えて乱流強度を評価可能なデータが取得可能であり、有力な風観測手段であることが示された。得られた風観測結果は、既存の指針に比べ大きな風の高度勾配（ベキ指数）や空間スケールの小さな乱れが都市境界層にあることを示している。

(3)気象モデル・LES 接続用空間フィルタリング・リスケーリング手法の提案と適用

本研究では、ドライバ領域の解析によって空間フィルタリングされた流入風を高周波の変動成分を加えるために、リサイクル面の流速に空間フィルタリングを施して変動成分を抽出し、リスケーリングにより変動成分を流入面に付加する方法を提案した。さらに、a Priori test として空間フィルタリングされた乱流境界層を流入風に用いた解析により提案した方法の有効性を確認した。その結果、空間フィルタリングとリスケーリングにより流入面に偏差成分が付加されるプロセスから、空間フィルタリングによって失われた高周波の変動成分が回復することを確認した。さらに解析結果の乱流統計量を分析し、10%以内の差で空間フィルタリング前の乱流構造を再現することを確認した。本手法により WRF-LES 解析結果への高周波風速変動成分の付加を試みた。その結果、観測地点相当の高さにおける風速の時系列に着目すると、元の WRF-LES の結果に対して細かい変動が得られていることが確認できた。

(4)東京都心部の高層市街地における風荷重評価のための乱流構造の分析

LES の流入境界条件として、風洞実験を模擬したモデルを用いて流入変動風を生成した。本計算は、風洞気流作成法と同様にスパイヤおよびラフネスブロックにより乱流境界層を発達させ、時刻歴変動風速データを保存するものであり、気流特性の調整が容易であるとともに主計算に対し汎用性を有する。目標とする気流特性を精度よく再現できることが確認され、本手法の妥当性が示された。次に、非構造格子系を用いて実市街地モデルの LES を実施した。正確に再現された各建物まわりで様々な渦構造が形成され、流入風と風速分布が異なる複雑な風速場が市街地内に形成されること、またそれらが各建物の風圧分布に影響を与えることが確認された。ここで、当該エリア中心に建つ超高層建築物に着目し、その風圧分布について別途実施された風洞実験結果と比較したところ、ピーク値を含め両者はよく対応し、本計算法の妥当性が示された。特に、風洞実験で計測された建物側面の強い局所負圧が計算で精度よく再現

されたことから、耐風設計用風荷重評価に対する本手法の適用性が確認された。また、同エリアにおける近 10 年間の市街地再開発の経緯を踏まえ、都市形状による風況変化の様子を再現した。その結果、同じ建築物であっても、周辺状況の変化により風圧分布特性に顕著な差が生じることが確認された。最後に、再開発で近年竣工した超高層建築物のうち、複雑な外装形式を有する建築物に着目した。壁面に遮光用の鉛直フィンが多数設置され複雑形状となることから、高解像度の格子系を用いて再計算を実施し、当該フィンに作用する変動風力を算定した。また、フィン形状の再現の有無が他の一般外壁面の風圧分布に与える影響について調べるところ、特に隅角部では剥離点の変化によって風圧分布に差が生じることが確認された。したがって、建物規模に比べて微細な寸法の外装部材であっても、建物全体の圧力場に影響をおよぼす可能性があることが明らかとなった。以上の計算結果をまとめ、統計値の現象論的不確定性も定量化し、風荷重評価でのばらつきおよび適切な評価時間・平均数を明確化した。

(5)複雑形状を再現した建築物の風荷重・流速場評価

複数の鉛直断面および水平断面における流れ場（瞬間風速コンター）をみたところ、斜め上流側に建っている建物の隅角部で生じる剥離せん断層が、別の建物の壁面にわずかに接近することが確認できる。このように複数の建物が林立する市街地では、上流側にある建物表面の凹凸が剥離せん断層の形成位置に影響を与えることが予測されるため、より詳細な壁面の凹凸を再現して CFD を実施することが重要であることが予想される。一方、地下空間を有するピロティ内の流れ場をみると、局所的には大きな風速が発生する場所が数か所で確認できる。ピロティ内には人の動線となるエスカレータや通路、内天井やフェンスなどの建物部材があり、強風時の飛散事故が発生した場合には甚大な被害が発生する可能性があるため、これらの形状を正確に再現して風速や壁面圧力の予測をおこなうことが重要となる。

(6)複雑地形上の流入条件の設定方法の提案と疲労破壊リスクの評価

本研究では、上流側に高い山が存在する実在複雑地形周りの LES を実施し、観測値との比較による精度検証を行った上で、さらに、風力発電設備周りの LES から累積疲労損傷度を評価した。下記の知見が得られた。

風力発電設備を設置する地点として、疲労による損傷リスクが比較的高くなると想定される場所の特徴は、当該地点の上流側に高い山が存在し、当該地点がその後流域に入っている場合、あるいは風力発電設備設置地点の直前に崖が存在し、ハブ高さでの乱流強度の値が比較的大きくなっている場所であるという結論を得た。

LES の結果を用いた場合と、乱流生成プロ

グラムを用いた場合の累積疲労損傷度を比較した結果、風力発電設備設置地点の直前に急峻な地形が存在していると、乱流生成プログラムでは地形の影響の考慮が難しいため、LES の結果を用いて疲労損傷評価を行う有用性が確認された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

吉川優, 田村哲郎: 周辺街区が再現された高層建物モデルの LES 風荷重評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 718 号, pp.1849-1857, 査読有 2015.12

河合英徳, 田村哲郎: リスケーリングと空間フィルタリングによる都市境界層への高周波風速変動成分の付加, ながれ No.34, 427 - 431, 査読無, 2015.12

片岡浩人, 田村哲郎: LES による都市キャノピー内外の風の乱流構造の予測-LDV 計測による乱流統計量との比較検討, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, pp. 535-560, 査読有, 2014.12

又吉直樹, 田村哲郎: ドップラーライダー、ヘリコプタを用いた都市境界層の風観測, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, pp. 37-42, 査読有, 2014.12

片岡浩人, 田村哲郎: RANS/LES ハイブリッド計算法による市街地気流の予測, 日本風工学会誌, No. 135, pp.221-222, 査読有 2013.4

[学会発表](計 10 件)

Kataoka, H. and Tamura, T : Hybrid RANS/LES Simulation of Wind Flow over An Urban Area, 12th Americas Conference on Wind Engineering, 2013.6

Kataoka, H. and Tamura, T : Study on the relationship between roughness parameters and vertical wind velocity profiles over an urban area by LES, 6th International Symposium on Computational Wind Engineering, 2014.6

片岡浩人, 田村哲郎 : 実市街地を対象とした都市キャノピー内外の風の予測防, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp. 741-742, 2015.9

Hidenori Kawai, Tesuro Tamura; High frequency recovering technique of turbulent inflow for LES of urban wind, ICUC9, Toulouse, France, 2015.7

河合英徳, 田村哲郎: 空間フィルタリングされた流入風に対する高周波変動成分の付加方法, 平成 27 年度日本風工学会年次研究発表会, 213-214, 徳島, 2015.5

河合英徳, Tao Tao, 田村哲郎: 空間フィルタリング・リスケーリング手法による WRF-LES 解析結果への高周波風速変動成分の付加, 第 29 回数値流体力学シンポジウム, A10-5, 福岡 2015.12

Yoshikawa, M. and Tamura, T. : CFD Wind-resistant Design of Tall Building in Actual Urban Area Using Unstructured-grid LES, IABSE Conference, May13-15, 2015, Nara, Japan

吉川優, 田村哲郎: 実市街地における高層建築物の変動風圧に関する非構造格子系 LES, 第 28 回数値流体力学シンポジウム, 2014.12

吉川優, 田村哲郎: 実市街地にみられる高層建物の強いピーク負圧発生に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015.07

吉川優, 田村哲郎: 外装フィンの風荷重評価に関する非構造格子系 LES の実建物への展開, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016.07

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 哲郎 (TAMURA TETSURO)

東京工業大学・環境社会理工学院・教授
研究者番号: 9 0 2 5 1 6 6 0

(2) 研究分担者

又吉 直樹 (MATAYOSHI NAOKI)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・主任研究員

研究者番号: 9 0 3 5 8 6 8 0

片岡 浩人 (KATAOKA HIROTO)

株式会社大林組技術研究所・環境技術部・部長

研究者番号: 4 0 3 9 3 5 9 0

吉川 優 (YOSIKAWA MASARU)

大成建設株式会社技術センター・技術企画部 企画室・課長

研究者番号: 6 0 3 9 3 6 6 7

野津 剛 (NOZU TSUYOSHI)

清水建設株式会社技術研究所・航空プログラムグループ・主任研究員

研究者番号: 1 0 6 0 1 0 2 3

(3) 連携研究者

奥田 泰雄 (OKUDA YASUO)

国土技術政策総合研究所 建築研究部・建築新技術研究官

研究者番号: 7 0 2 0 1 9 9 4

喜々津 仁密 (KIKITSU HITOMITSU)

独立行政法人建築研究所 構造研究グループ・主任研究員

研究者番号: 1 0 3 7 0 6 9 4

河合 英徳 (KAWAI HIDENORI)

東京工業大学 環境・社会理工学院・助教
研究者番号: 0 0 7 3 5 3 7 6