

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01303

研究課題名(和文) ビッグデータに基づく建築物CFD風荷重算定法の高度化と耐風性能のアンサンブル推定

研究課題名(英文) Highly developed CFD method of wind load prediction and ensemble estimation for wind resistant performance based on big data

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) 31,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではCFDの中で最も高精度で洗練された非定常解法であるLESに基づく新しい建築物風荷重評価法を確立することを目的とする。まず、CFD耐風設計において必要最小限の条件を確定したうえで、気象観測、都市・建築に基づくビッグデータを用いながら、マルチスケール解析により合理的でロバスト性の高い建築物まわりの風速・風圧を推定した。さらに、風災害の多い外装材に対しては圧力の超細密データから風圧ピーク値を空間平均に基づき直接評価した。最後に極端気象についてLESの解析結果と建築物の強度情報から推定値のばらつきを考慮したリスク評価法を提示するとともに、アンサンブル推定に基づく設計用統計値を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、学会や国において数値流体計算法(CFD)を実用的な風荷重算定に用いることを認める動きになっており、本研究で得られた実建物の耐風性能評価結果は耐風設計に関する指針を定める基礎的な資料として活用される。本課題では実建物の局所的な流れ場の解析や空間平均を用いた外装材の評価等が適切に進められ、今後CFDの利点を生かした新たな耐風性能評価への展開が期待される。さらに、近年極端気象が頻発しており、今回示された実被害とCFDによる解析結果の関係に関する研究事例は未だ少なく、本課題での推定値のばらつきを考慮したリスク評価法とその定量化は極端気象下での被災推定や減災手法の提示に貢献すると判断される。

研究成果の概要(英文)：This study aims to establish new estimation method of wind load based on LES, which has been the most accurate and sophisticated method of CFD. First, the minimum required condition for appropriate estimation of wind load using CFD is confirmed. Then, robust and reasonable estimation of wind velocity and pressure is carried out by multiscale analysis using big data on meteorological observation results and detailed data of configuration for a large city and a building. Then, for cladding attachment of building, peak value of wind pressure is directly evaluated by spatial averaging method of high-resolution pressure data. Next, disaster estimation results on wind gust are obtained from LES for actual wind disaster. Finally, methods for risk evaluation considering the deviation of estimation value are conducted based on the obtained results and information on strength of building, and statistic values for wind resistance design are shown by ensemble averaging estimation.

研究分野：風工学，流体力学，建築構造

キーワード：風荷重 耐風設計 LES ビッグデータ アンサンブル推定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

巨大台風など気象の局所的不安定に基づく顕著事象が頻発している中で、よりレジリエンシーを高めた耐風設計法の確立が求められている。一方で計算技術の進歩に伴い実建物の風圧力の予測において、数値流体計算法(Computational Fluid Dynamics: CFD)が実用レベルに達してきており、国土交通省の建築基準整備促進事業(以下、基整備)では数値流体計算では既存の風洞実験と同等の精度の風圧力が予測できることが確認されている。しかし、その一方で工学での CFD 技術の近年の発展に対し、適切な方法で行えば流体力の予測に対する精度はほぼ保証されるものの、自然現象を対象とする建築物の風の問題で潜在する不確実性に対して、建築学的視点に基づく数値モデルが建築耐風設計用ツールとして洗練された形で完成しているとはいえない。高レイノルズ数の再現、評価時間 10 分での推定値のゆらぎなど、未解決な課題も多く、その結果、様々な CFD によって推定された荷重値が適切であるかの判断は、専門家に頼る傾向が強い。今後、CFD で推定された荷重に基づく設計が実務において急激に増えることが想定される事情を踏まえ、CFD 推定値を適切に導入し、その妥当性を普遍的に判断するための安全性規範を建築分野で作成することは急務である。本課題ではこうした CFD に基づく耐風設計法を確立するために、下記を課題として挙げる。

(1) 極端気象とマルチスケール(気象、都市、地形)による耐風性能の評価

気象分野での長期予報によれば、極端に巨大な台風の発生の可能性が指摘されている。さらに不安定大気に基づき、竜巻・ダウンバーストの発生が増えている傾向は明白で、2012 年、スーパーセル型の竜巻がつくば市界隈を来襲して多大な被害をもたらした。多様な強風・突風に対し、建築物が安全であるには耐風性能のレジリエンシーを高めることが要請される。

CFD ではスケールが異なる事象の融合が可能であり、気象、地形・都市、建築物のスケールの異なる事象を融合して解析し、詳細領域の複雑な局所部分での風速と風圧の推定が可能となる。特に実都市や地形に対しては、実際の都市形態を計算モデルに取り入れることで、建設地点における設計風速の設定が可能となる。市街地内の建物の建設状況に基づいた接近する強風構造を正確に再現することが課題となる。

(2) 極端気象下における外装材のピーク風圧予測手法の展開

巨大台風など極端気象においては外装材の被害が顕在化しており、そのピーク風圧の評価手法の確立は依然として課題である。外装材のピーク風圧の評価において、従来の風洞実験では部材スケールと等価な時間平均化を想定した手法(TVL 法)が用いられているが、CFD の場合は、十分な空間解像度で時系列データを提示することから、空間平均に基づくピーク値の直接評価等を検討していく必要がある。

(3) 実建物のファサード形状の複雑化と耐風性能評価

実在する建築物を想定したとき、最近の建築物では、日射遮蔽の目的から外壁に縦フィン、横リブなどの環境配慮型の建築パーツが取り付けられることが多く、また高層住宅では、バルコニーなどで大きな風圧が発生することが指摘されている。

(4) 極端気象における被災推定とその不確実性

近年、不安定大気に基づき、強風その他、突風などの複数の災害に対する安全性確保が求められている。このような極端気象の被災推定は気象モデルとの融合により十分可能であり、そこで得られた計算結果の情報をまとめ、建築物の強度情報を組み合わせることで、リスク評価を実施する。推定値のばらつきまで考慮した減災の方策を示すとともに総合的に安全性規範を作成するための耐風設計資料を提示していく必要がある。

2. 研究の目的

温暖化に伴う巨大台風来襲時、気象の局所的不安定性に基づく顕著事象(竜巻など)下での建築物の安全性において、よりレジリエンシーを向上するために、近年、学会および国もふくめ、数値流体計算法(Computational Fluid Dynamics: CFD)を風荷重算定に用いることを認める動きに変わった。それに対して、CFD を建築分野でより確実な技術として完成させる必要があり、ここでは、CFD の特徴を活かすために細かい時空間解像度での長時間(高密度・高頻度)の強風観測値に基づく観測ビッグデータ、都市を覆う地表被覆情報、当該建物を構成する建築部材を含めた BIM データに基づく都市・建築物のビッグデータを活用し、風荷重評価法の高度化を進める。また、得られた荷重に対する建築物の耐風性能を適切に判定するために、近年の計算資源を活用して十分な検証数の解析を進め、被害例を対象にしたアンサンブル推定を実施して帰納的に要因を整理し、確率情報を加えた安全性規範を作成する。

ここで提案する研究は、風荷重評価について風洞実験レベルの推定を前提にせず、CFD の中で最も高精度の非定常解法である LES(Large Eddy Simulation)に基づく新しい建築物風荷重評価法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

従来の CFD の耐風設計法では、CFD 適用ガイドに基づき実行し、風洞実験と同レベルの荷重評価が可能となるが、本研究では、まず必要最小限の条件を確定する。また、新しい方法では、設計風速評価をより実際の条件に合わせて行い、マルチスケール解析(気象、地形・都市、建築物のスケールの異なる事象を融合して解析し、詳細領域の複雑局所部分での風速と風圧の推定が可能)により合理的でロバスト性の高い風速・風圧を推定する。さらに、もっとも風災害が発生する外装材には風圧ピーク値を空間平均に基づき直接評価する。風以外の極端気象の豪雨、豪雪、猛暑に対する防災を同時に考え、

耐風安全性を考える。以上より、実際の建築物を対象にした CFD による風荷重評価については、以下のスケールの強風事象が解析対象となる。

建物を含む大領域(20km 範囲)における気象学的要因による変動成分を含む強風。

建物の 5km 上流側の中領域に存在する建物群の上空を流れる風で、市街地の乱流場を直接再現。

建物周りの 800m 範囲の建物群領域に流れ込む強風。風洞実験の模型範囲に相当

建物まわりに存在する隣接建物まで再現した後流領域における強風

当該建物の複雑形状まわりの流れ(剥離せん断層と渦の生成)を取り扱った強風

当該建物を構成する建物部分(断面隅角部、屋根、ファサード、バルコニー)まわりの流れも対象とする詳細な強風。建物部材・外装材に作用する風力・風圧も取り扱う

以上を踏まえながら、研究計画・方法を以下に示す。

(1)耐風性能評価へのマルチスケール(気象,都市,地形)解析の導入

まず、より広範囲のスケールの気象現象に基づく構造物の被災推定を目標とし、遠隔観測データベースに基づく大気境界層の変動風速データ(細かい時空間解像度での長時間(高密度・高頻度)の強風観測値に基づく観測ビッグデータ)の整備と気象要因に基づく低周波風速変動の把握を行う。さらに気象スケール事象との融合解析を実施し、設計風速の評価を行う。また、融合解析等で生成された接近流の流入条件については、建築物への強風作用を検討する上で、乱流境界層の平行性を確認する。さらに、都市において、建築物の風荷重評価では接近流の条件は建築物荷重指針において地表面粗度区分に基づくべき指数により定義され、評価に使用されているが、不均一な粗度条件を有する実在都市では都市の実態に応じた流入条件を検討する必要がある。そこで本課題では都市を覆う地表被覆情報に関する都市のビッグデータを活用して実在都市(数 10km 範囲)を対象とした LES(3 億要素)を実施し、そこで得られた流入条件に基づき当該建築物に作用する風荷重の LES 評価を行う。地形に対しては局所地形の影響を受けた地域に建つ高層建物群の LES を実施する。

(2)CFD の高解像度計算により実現する外装材の風圧ピーク値の評価手法

外装材の風圧力の評価において評価部材スケールに配慮しながら建築部材ピーク風圧の評価を実施するためには、従来の時間平均に基づく風圧力の評価に代わり、高解像度 LES(約 1 億要素)によって得られた圧力超細密ビッグデータの空間平均処理によりピーク風圧の評価を試みる。本課題では基本的角柱状建物に作用する圧力に関する LES と風洞実験を実施し、圧力超細密データから空間平均に基づく外装材ピーク風荷重を算定するとともにその精度を検証する。

(3)高精度・高解像度の LES により実建物の複雑形状を解像した風速・風圧シミュレーション

実建物の風圧力評価において、詳細なファサード形状や大空間構造物の屋根形状の周りでは局所的な風速、圧力分布が生じることからこれらの局所的な風速場、圧力場を考慮した風圧力の評価手法を検討する。まず、本課題では、必要解像度と乱流モデル選定に基づく計算負荷の最適化、荷重評価に対する風向変化の解析の効率的導入方法の検討を行い、格子解像度に対する依存性を明らかにしたうえで流入条件のばらつきに対するアンサンブル推定を行った。次に、これまでに検討した計算条件を踏まえ、基整促において得られた既往の風洞実験データベースに対する BCM を用いた 5 億要素を超える高精度・高解像度計算を行った。さらに、当該建物を構成する建築部材を含めた BIM (Building Information Modeling) データに基づく建築物のビッグデータを活用して実建物のファサード形状を再現した 2 億要素を超える超大規模な非構造格子に基づく LES を実施し、得られた風圧力の高解像度の時空間ビッグデータに基づき環境配慮型建築パーツ(縦フィン、横リブ、バルコニーなど)の風力の評価を実施した。大空間構造物に対しては高解像度の LES より大空間構造物に作用する風荷重を直接評価した。

(4)極端気象のリスク評価における不確定性に基づいた被災推定手法の導入

近年様々な極端気象が発生していることから耐風安全性の評価においてもリスク評価と減災概念の導入を試みる。また、様々な極端気象に対してロバストな耐風安全性を実現するうえでは、不確定性に基づいた被災推定手法が求められていることから、アンサンブル推定と不確定性の定量化手法にもとづく風荷重評価と設計用統計値の定量化を実施する。

4. 研究成果

(1)マルチスケール解析による構造物の風速と風圧の推定

遠隔観測データベースに基づく大気境界層の変動風速データの整備と気象要因に基づく低周波風速変動の把握

遠隔観測データベースに基づく大気境界層の変動風速データの整備と気象要因に基づく低周波風速変動の把握を実施するために、ドップラーライダー観測を実施し、乱流構造を把握した。また、観測対象地を含む市街地の LES 計算を実施し、観測結果との比較を行ったうえで、大気境界層上部に存在する低周波風速変動が接近流のピーク風速に及ぼす影響を示した。

気象スケール事象と地形あるいは都市を組み合わせた融合解析

気象スケール事象と都市を組み合わせた融合解析について、細かい時空間解像度での長時間(高密度・高頻度)の強風観測値に基づく観測ビッグデータを用いて、気象スケールでの大気境界層・突風

の非定常な特性を取り入れながら、都市での工学的な風の変動特性に関する LES を実施した。建築物に強風が作用する場合の適切な流入変動風の流れを明らかにし、低周波乱流成分のエネルギー散逸過程を吟味した上で、都市・建築物へのインパクトを評価した。都市に対しては、地表被覆情報に関するビッグデータを活用して地表被覆を再現した数 10km 範囲の地域の風の流れの LES (3 億要素) を実施し、高い建築物で構成される都市被覆の上空で乱流境界層が発達する場合については、都市キャノピーの影響下での平均風速および乱流特性を明らかにし、設計風速の評価を行った。

CFD により生成された流入変動風の平衡性確認

建築物への強風作用を検討する上で、接近流は非定常の乱流でなければならない。上記のように作成した融合解析等の接近流を流入条件として台風安全性を評価するためには乱流場としての平衡性を確認する必要があることから、CFD により生成された流入変動風の平衡性を確認し、今後の解析における基礎を確立した。

実在都市 (数 10km 範囲) 中にある当該建築物に作用する風荷重の LES 評価

次に都市に対しては、実都市の流れ場の実態をより反映した風荷重を算定するために、都市の比較的広い領域を LES の解析対象として、その中に当該建築物まわりの狭い範囲の解析領域を重合させて、微細な格子生成を行い、二つの領域を組み合わせた LES 評価を実施した。その結果広域で正確に再現された強風が当該建築物へ作用する場合の風荷重を算定した。その結果、上流側の不均一な粗度条件に基づいて、上流の平均風速の鉛直プロファイルに大きな速度欠損がみられ、建築物に作用する風圧力が従来のべき指数を用いた流入条件の評価に比べて低減されうることを示した。

局所地形の影響を受けた地域に建つ高層建物群の LES

局所地形の影響を受けた地域に建つ高層建物群を対象に LES 解析を実施した。高層建築物の風上側においては斜面に基づいて、平均風速の増速がみられることを確認した。さらに、建物近傍の地形の凹凸により建物の低層部周りに強い剥離せん断層が発生し、その結果、低層部の風圧分布において強いピーク負圧が発生することを確認した。

(2) 空間平均に基づいた外装材の風圧ピーク値の評価

基本的角柱状建物まわりの高解像度測定点での圧力超細密分布に関する LES

基本的角柱状建物まわりの高解像度測定点での圧力超細密分布に関する LES を実施した。三次元角柱表面の風圧特性に関して、従来の風洞実験等と比べて、表面のサンプル数を細密に設けた大規模計算を実施し、角柱の隅角部付近において極大な負圧が発生することを明らかにすると共に、従来の評価方法では荷重が過大評価される可能性があることを示した。

超高解像度格子による高レイノルズ数に関する LES

上記の角柱状建物に対して数億メッシュ程度の非構造格子で計算モデル (解像度: 角柱幅の 1/100) を作成し、非構造格子系 LES の解析結果を実験結果と比較しながら風圧分布に対する精度検証を行った。また、極端に高いレイノルズ数で隅角部の丸い角柱を対象に LES を実施し、臨界状態における抵抗軽減と乱流流入効果を確認するとともに実現象における物理機構を明らかにした。

空間平均に基づく外装材ピーク風荷重の算定とその精度検証

部材スケールに配慮しながら空間平均処理に基づく建築部材ピーク風圧の評価を実施する。実験データについては、の実験結果を、LES データは、の結果に基づく圧力の超細密ビッグデータを活用する。また、同時に TVL 法に基づき、時間変動データを用いてピーク風圧を評価し、両者の違いを明確にし、これまで実験で便宜的に用いられていた TVL 法のピーク評価の問題点を明らかにする。カーテンウォール形状を再現した高層建物モデルを対象として LES を実施し、窓部材ごとに面平均ピーク外圧に基づく高精度な外装材用風荷重評価を行った。離散点風圧データによる従来の時間平均ピーク外圧と比較すると、特に建物側面の負圧領域において差が顕在化することが確認された。

(3) 詳細領域の複雑局所部分での風速と風圧の推定

必要解像度と乱流モデル選定に基づく計算負荷の最適化

まず、実建物周りの詳細領域の解析を行う基礎的検討として、必要解像度と乱流モデル選定に基づく計算負荷の最適化を進める。蓄積された計算例に基づいて計算精度を吟味しながら最低限必要な計算条件を吟味した。計算負荷が低減されても十分な精度の解が得られる計算領域、解像度の計算条件、ならびに乱流場を適切に再現するための LES の SGS モデルの選定方法を提示した。また、実建物に作用する風圧力の予測においては格子解像度の依存性に対する解析を実施し、平均風圧係数分布において格子解像度に対する依存性があることを確認した。一方でピーク風圧予測においては、流入条件や他の計算条件に起因する推定値のばらつきが顕著であることから、アンサンブル推定によりピーク風圧のばらつきを評価した。

荷重評価に対する風向変化の解析の効率的導入方法の提案

実建物の風圧力評価においては、従来の風洞実験では 36 ~ 72 風向程度の複数風向の解析が実施されるが、LES では評価上重要な風向を選択するとともに、極大なピーク風圧を発生させる風向を合理的に選択する必要がある。本課題では、風向によって建築物の空力特性の変化する様子を踏まえながら、空力特性の風向依存性を効率的に把握する方法を明らかにした。

基盤促風洞実験データベースに対する BCM を用いた高精度計算

基盤促のプロジェクトにおいて提示された都市域に存在する高層建築物に作用する風圧データを対

象としながら、BCMにより5億超のメッシュの計算モデルを対象にLESを実施し、精度検証を行った。

環境配慮型建築パーツ(縦フィン、横リブ、バルコニーなど)の風力の評価

実在する建築物を想定したとき、最近の建築物では、日射遮蔽の目的から外壁に縦フィン、横リブなどの環境配慮型の建築パーツが取り付けられることが多く、また高層住宅では、バルコニーなどで大きな風圧が発生することが指摘されている。ここでは、建築パーツに作用する風荷重を、建築部材を含めたBIMデータに基づく建築のビッグデータを用いたLES(2億要素)により算定し、両者を比較検討して耐風性能を確認するとともに、建築物を対象とするCFDを行う際に、どこまで実形状を再現するかについて検討した。

大空間構造物に作用する風荷重の直接評価

空間構造物における外部内部の連成流れと強風インパクトを把握し、大空間屋根構造物を対象にLESを実施し、大屋根の内外を行き来する流れの乱流特性から環境評価を行い、また強風時の風圧特性・応答を推定し、構造安全性を確認した。

(4) 極端気象のリスク評価と不確定性に基づく風荷重評価

リスク評価と減災概念の導入

実被害例を対象とした強風・突風解析に基づくリスク評価と減災概念の導入をめざし、近年、不安定大気に基づいた強風・突風の災害に対する安全性確保が求められていることから、気象モデルとの融合により得られた計算結果の情報をまとめ、建築物の強度情報を組み合わせることで、推定値のばらつきまで考慮した減災のためのリスク評価法を示した。

不確定性に基づく風荷重評価と設計用統計値の提示

不確定性に基づく風荷重評価と設計用統計値を提示するため、風荷重評価に必要な各種推定値の不確定性に関する定量化を実施し、それらのばらつきに基づき、風速・風圧・風力・荷重のアンサンブル統計値を算定する方法を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yong Cao, Tetsuro Tamura	4. 巻 32
2. 論文標題 Large-eddy simulation study of Reynolds number effects on the flow around a wall-mounted hemisphere in a boundary layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 25109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5142371	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hasama Takamasu, Saka Toshihide, Itoh Yoshiaki, Kondo Koji, Yamamoto Manabu, Tamura Tetsuro, Yokokawa Mitsuo	4. 巻 197
2. 論文標題 Evaluation of aerodynamic instability for building using fluid structure interaction analysis combined with multi-degree-of-freedom structure model and large-eddy simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	6. 最初と最後の頁 104052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.104052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Cao Yong, Tamura Tetsuro, Kawai Hidenori	4. 巻 196
2. 論文標題 Spanwise resolution requirements for the simulation of high-Reynolds-number flows past a square cylinder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers & Fluids	6. 最初と最後の頁 104320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2019.104320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 河合英徳, 田村哲郎	4. 巻 85
2. 論文標題 メソ気象モデルにより再現された風速場への高周波変動成分付加方法の提案 空間フィルタリング・リスケーリング手法の適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 19~27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3130/aijs.85.19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawaguchi Masaharu , Tamura Tetsuro , Kawai Hidenori	4. 巻 80
2. 論文標題 Analysis of tornado and near-ground turbulence using a hybrid meteorological model/engineering LES method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Fluid Flow	6. 最初と最後の頁 108464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2019.108464	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cao Yong , Tamura Tetsuro , Kawai Hidenori	4. 巻 198
2. 論文標題 Investigation of wall pressures and surface flow patterns on a wall-mounted square cylinder using very high-resolution Cartesian mesh	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	6. 最初と最後の頁 108464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2019.108464	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tao Tao, Tetsuro Tamura	4. 巻 148
2. 論文標題 Numerical Study of the 6 May 2012 Tsukuba Supercell Tornado: Vorticity Sources Responsible for Tornadogenesis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review 1205	6. 最初と最後の頁 1205 ~ 1228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0095.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uchibori Kazuaki, Tamura Tetsuro	4. 巻 89
2. 論文標題 LES study on aerodynamics of auto-rotating square flat plate by IBM and SAMR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluids and Structures	6. 最初と最後の頁 108 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2019.04.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yong Cao, Tetsuro Tamura	4. 巻 vol.82
2. 論文標題 Aerodynamic characteristics of a rounded-corner square cylinder in shear flow at subcritical and supercritical Reynolds numbers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Fluids and Structures	6. 最初と最後の頁 473-491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mingyu MENG, Hidenori KAWAI, Tetsuro TAMURA, Zhexu Chen	4. 巻 vol.25
2. 論文標題 High-resolution LES for wind pressure prediction of tall building on slight undulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第25回風工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 247-252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yong Cao, Tetsuro Tamura	4. 巻 vol.29
2. 論文標題 Supercritical Flows Past a Square Cylinder With Rounded Corners	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 085110-1 -17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.4998739	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yong Cao, Tetsuro Tamura	4. 巻 vol.174
2. 論文標題 Shear effects on flows past a square cylinder with rounded corners at Re=2.2	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	6. 最初と最後の頁 119-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.120.025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計16件(うち招待講演 0件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Masaharu Kawaguchi, Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai, Wataru Mashiko
2. 発表標題 Numerical estimation of building damage in Tsukuba tornado 2012 using a hybrid meteorological mode/engineering LES method
3. 学会等名 10th European Conference on Severe Storms (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenori Kawai, Tetsuro Tamura, Hiroki Suyama, Dung Duong
2. 発表標題 Environmental Turbulence In Urban Boundary Layer -LES And Field Measurement-
3. 学会等名 International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuro Tamura, Masaharu Kawaguchi
2. 発表標題 BCM-LES application to wind gust disaster under extreme meteorological events
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Hamada, Tetsuro Tamura
2. 発表標題 Uncertainty quantification on aerodynamic characteristics of flow around square and corner-rounded cylinder with glancing angle
3. 学会等名 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Uncertainty Quantification in Computational Sciences and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M.Kawaguchi, T.Tamura, T.Tao and H.Kawai
2 . 発表標題 LES Method for Generating Broad-Band Turbulence for Meteorological Events
3 . 学会等名 12th International EROCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai, Duong Dung, Yong Cao, Keiji Onishi,Rahul Bale, Makoto Tsubokura
2 . 発表標題 Application of LES Based on BCM to Wind Engineering
3 . 学会等名 7th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD 7) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Hidenori Kawai, Tetsuro Tamura, Maiko Arai, Hiroki Sayama,Takayuki Yamaguchi,Keisuke Yoshie
2 . 発表標題 Turbulence and Pressure Fluctuation around High-Rise Building with Complicated Facade in Urban Districts
3 . 学会等名 International Symposium on Computational Wind Engineering: CWE 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai
2 . 発表標題 Classification of Coherent Turbulent Structures over Actual City with Scattered High-Rise-Building Cluster
3 . 学会等名 10th International Conference on Urban Climate (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 河合英徳, 田村哲郎
2. 発表標題 粗面都市境界層における気象擾乱を含んだ流入変動風の作成-空間フィルタリング・リスケーリング手法の展開
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱田 翼, 河合 英徳, 田村 哲郎
2. 発表標題 高層建築物の風圧力予測に関するLES解析の精度評価 -各種計算条件に対する依存性-
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐山浩輝, 河合英徳, 田村哲郎, 山口貴之, 吉江慶祐,
2. 発表標題 複雑形状を持つ建物周りのピーク風圧に関する LES
3. 学会等名 日本流体力学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新井 舞子, 河合 英徳, 田村 哲郎, 吉江 慶祐
2. 発表標題 高密度市街地に建つ高層建築物におけるピーク風圧の発生要因
3. 学会等名 2017年度日本建築学会大会(中国)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai, Viet Dung Duong, Rahul Bale, Keiji Onishi, Makoto Tsubokura
2. 発表標題 BCM-LES analysis of turbulent flows over and within actual urban canopy
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, APCWE-IX (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuro Tamura, Koji Kondo, Hiroto Kataoka, Yoshiyuki Ono, Hidenori Kawai
2. 発表標題 Application of LES to wind loading estimation on buildings
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, APCWE-IX (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaharu Kawaguchi, Tetsuro Tamura, Tao Tao, Hidenori Kawai
2. 発表標題 Generation of Higher Frequency Components for Wind Gust by Fusion
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, APCWE-IX (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidenori Kawai, Tetsuro Tamura, Yoshiyuki Ono, Koji Kondo, Hiroto Kikuchi, Kazuo Otake
2. 発表標題 Appropriate numerical conditions for practical LES of actual high rise building
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, APCWE-IX (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	河合 英徳 (Kawai Hidenori) (00735376)	東京工業大学・環境・社会理工学院・助教 (12608)	
研究分担者	坪倉 誠 (Tsubokura Makoto) (40313366)	神戸大学・システム情報学研究所・教授 (14501)	
研究分担者	吉川 優 (Yoshikawa Masaru) (60393667)	大成建設株式会社技術センター・その他部局等・課長 (92702)	
研究分担者	小野 佳之 (Ono Yoshiyuki) (70393593)	株式会社大林組技術研究所・都市環境技術研究部・課長 (92608)	
研究分担者	野津 剛 (Nozu Tsuyoshi) (10601023)	清水建設株式会社技術研究所・その他部局等・グループ長 (92605)	削除：平成29年7月27日