

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02415

研究課題名（和文）台風時の実測に基づく都市部の低層建築物に作用する風圧特性と影響因子の解明

研究課題名（英文）Analysis of wind pressure distribution of low-rise buildings in urban area and its influencing parameters based on full-scale measurement during typhoons

研究代表者

西嶋 一欽（Nishijima, Kazuyoshi）

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：80721969

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究を通じて、（1）絶対圧センサを用いた圧力計測モジュールおよび風圧実測システムの開発した。これにより、従来困難であったオンデマンドな風圧計測が可能になった。（2）台風時の風速・風圧実測を行うことで、従来の風圧力評価手法では考慮されてない現象に基づく最大風圧が発現している可能性を示唆する結果を得た。（3）周辺環境を段階的に変化させた風洞実験により、風圧特性へ影響を与える因子の候補と程度を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、これまでほとんど実測がなされてこなかったことから、その性状が不明であった、低層建築物に作用する風圧力および急激な負圧の発生メカニズムの解明につながる計測技術と初期の観測結果を提供したことである。また、風圧力および急激な負圧の発生メカニズムが解明されることで、低層建築物の強風被害の低減や、より合理的な耐風設計への道が開かれることが社会的意義である。

研究成果の概要（英文）：Main achievements from this research project are as follows:(1) Development of pressure measurement module with absolute pressure sensor and on-demand wind pressure measurement system therewith;(2) clarification of possible mechanisms of causing peak pressures on building surfaces that are currently not considered in wind pressure evaluation procedure, by means of simultaneous measurement of wind speed and wind pressure during the passage of typhoons;(3) Clarification of possible surrounding obstacles that affect wind pressure of low-rise building surfaces, by means of wind tunnel experiments with different surrounding conditions regarding obstacle placement configurations.

研究分野：風工学

キーワード：風圧 実測 計測技術開発 非定常 風洞実験 3Dプリンタ 点群データ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

1961年の第二室戸台風以来57年ぶりに近畿地方を直撃した台風2018年21号は、都市部に密集する住宅群に甚大な被害をもたらした（2019年3月11日時点で火災保険支払金は9,698億円にのぼり、過去最高を更新）。申請者らによる衛星画像を用いた被害判定や現地被害調査によれば同質の住宅群内であっても被害分布は空間的に様ではなく、また超高解像度数値流体解析によって再現された風速場によれば道路や空き地等の開けた空間に隣接する場所では地表面付近の風速が相対的に高くなっている。これらは、都市部に位置する低層建築物に作用する風圧はそれぞれの周辺環境によって異なることを示唆している。

一方、現行の耐風設計や強風リスク分析における風圧算定式は（風圧）＝（基準速度圧）×（風圧係数）で与えられ、基準速度圧は屋根高さにおける平均風速に基づいて計算される。風圧係数は、接近風の特徴や建物形状に依存し、建物部位ごとに与えられている。そして、この風圧係数の値は、単純な風速プロファイルを有する気流中に、単独の建物模型を配置した風洞実験の結果に基づいている。ところが、都市部に位置する実際の低層建築物は他の建築物等に囲まれ、接近風は単純な風速プロファイルを有していない。すなわち、現行の風圧算定式は、都市部に位置する低層建築物が置かれている現実的な周辺環境を反映しておらず、その適用可能性については大いに検討の余地が残されている。

さらに、簡便に観測できる風速とは異なり、建築物に作用する風圧の計測には機器の大掛かりな設置作業を伴うため、実際の建築物での風圧計測事例は極めて限られる。都市部の低層建築物に対してははまだ実測されておらず、作用する真の風圧は不明である。実測風圧値が得られていないことから、現行の風圧算定式の精度検証を行うことも困難である。

地球温暖化により増大する気象災害リスクへの備えは喫緊の課題であり、リスクポテンシャルが集積している都市部の低層建築物に作用する風圧特性を解明することは、災害リスクマネジメントにおいて学術的にも社会的にも重要な研究課題である。

### 2. 研究の目的

都市部に位置する低層建築物に作用する風圧を必要十分な精度で評価するために要求される、周辺環境のモデル化の程度を明らかにするために、本研究課題では、都市部の低層建築物には実際にどのような風圧が作用しているのか、それらは現行の風圧算定式が想定している風圧とはどのように異なるのか、また低層建築物に作用する風圧特性を決める周辺環境の要因は何かを明らかにするための研究を実施した。

### 3. 研究の方法

上記目的のために、本研究では以下の課題について研究を遂行した。

課題1：風圧実測システムの開発および台風時に風圧を実測できる観測体制の構築

課題2：台風時の風圧の実測と風況観測ならびに周辺環境の3Dデータの取得

課題3：周辺環境を段階的に変化させた風洞実験による風圧特性への影響因子の類型化

以下のそれぞれの課題の進め方を述べる。

#### （1）風圧実測システムの開発および台風時に風圧を実測できる観測体制の構築

##### ①風圧実測システムの開発

まず、低層建築物に実際に作用している風圧を実測するために、風圧実測システムを開発した。開発した風圧実測システムは、絶対圧センサを用いた圧力計測モジュールを核とした実測システムである。風圧実測における従来の方法は、差圧センサを用いたものであり、風圧を計測したい位置の圧力および基準となる圧力をそれぞれ差圧センサまで導圧する必要がある（図1左）。このため、長い導圧チューブを取り回したり、建物外皮に孔を設けてチューブを通したりする必要がある。一方、本研究で開発した風圧実測システムは、絶対圧センサを用いることで導圧チューブの取り回しの問題を解決した（図1右）。これにより、設置に要する手間が格段に小さくなり、台風に先回りしてデバイスを設置し風圧を実測することが可能になった。

絶対圧センサを用いた圧力計測モジュールを核とした実測システムにより、実用上十分な精度で風圧を計測するためには、極めて高精度に圧力（絶対圧）を計測できる必要がある。そこで、本研究期間前半では、圧力計測に最適化さ

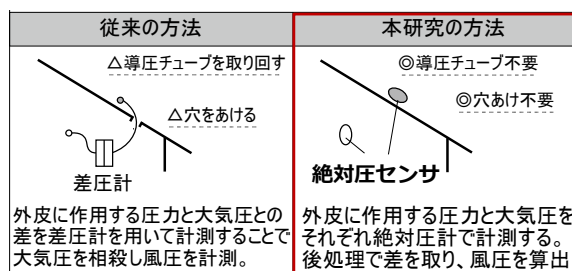


図1. 風圧計測方法（左：従来の方法、右：本研究の方法）

れた電子回路基板を独自に設計・製作するとともに、開発した圧力測定モジュールおよび実測システムによる風圧計測の精度について、風洞実験と実測による検証を行った。具体的な成果について、4. (1) 節で述べる。

## ②台風時に風圧を実測できる観測体制の構築

研究代表者及び分担者が分担し、沖縄、九州、四国、近畿、東海、関東の各地に合計41か所の設置候補建物を選定し、その中から最終候補を選定し、計測に関して所有者の了解を得た。

### (2) 台風時の風圧の実測と風況観測ならびに周辺環境の3Dデータの取得

研究期間を通じて台風通過時の風況実測を試みた。その結果、2つの台風に対して風況実測に成功した。一つ目は2021年台風14号に対して9月11日～13日にかけて沖縄県石垣市内に位置する低層建物での風圧実測、二つ目は2021年台風16号に対して9月30日～10月1日にかけて和歌山県東牟婁郡串本町に位置する平屋建物（京都大学防災研究所潮岬風力実験所内）での風速・風圧実測である。また、これらの建物および周辺の点群データをドローンによる空撮写真及び3Dスキャナにて作成・取得した。本報告書では、2021年台風16号を例にとり台風通過時の平屋建物での風速・風圧実測の結果を4. 2節に述べる。

### (3) 周辺環境を段階的に変化させた風洞実験による風圧特性への影響因子の類型化

低層建物に作用する風圧力は、粗度区分に応じた水平風速の鉛直プロファイルなどによって特徴づけられる大局的な風速場だけではなく、当該建物の周辺の遮蔽物の影響を受けると考えられる。そこで、周辺に位置する様々な遮蔽物（近隣の建物、植生、フェンス、車両など）が低層建物に作用する風圧力へ与える影響を、周辺環境を段階的に変化させて風洞実験により評価した。風洞実験は、2021年台風16号に対して風速・風圧実測を行った平屋建物に対して行った。周辺模型および圧力計測用模型は、ドローンによる空撮写真を用いて作成した点群データを用いて製作した。風洞実験により得られた知見を4. 3節に述べる。

## 4. 研究成果

本章では、本研究を通じて得られた主たる研究成果を述べる。

### (1) 風圧実測システムの開発と風圧実測

風圧実測システムの開発に際して、プロトタイプを開発した。開発したプロトタイプの構成図を図2に示す。本システムの核となるのは、絶対圧センサを用いた圧力計測モジュールである。2台の圧力測定モジュールにより風圧を計測したい位置での圧力と基準となる圧力を計測した後、それらの圧力の差を取り、高低差による静水圧差を考慮することで風圧を計測する。

精度の検証に関して、研究1年目にプロトタイプを製作し、京都大学防災研究所境界層風洞を用いて基本的な性能検証を行った後、京都大学防災研究所潮岬風力実験所内の建物にて実測を行った。

基本的な性能検証は、ヒステリシス、圧力変動追従性、電子回路のノイズ、温度依存性、モジュール間の時刻同期性の各項目について実施し（詳細は文献[1]を参照のこと）、風圧実測上必要十分な精度を有していることを確認した。また、圧力測定風洞実験の際に用いる差圧計で得られる圧力を正解として、プロトタイプを用いて計測した圧力を比較することで、十分な精度で圧力が計測されていることを確認した（図3）。

京都大学防災研究所潮岬風力実験所内の建物にて実測した際、風圧計測デバイスは同実験所本館西面3階ガラス窓に設置した。なお、ガラス面に孔が設けられており、従来の差圧計を用いた風圧計測も可能である。そこで、製作したプロトタイプに加えて、従来の差圧計を用いた計測システムを用いて風圧計測を行うことで、精度検証用の風圧データを取得した。ここでは、2020年台風14号接近時に計測された風圧データに基づいて精度検証を行った結果を述べる。

図4（左）に、圧力計測モジュールにより得られた風圧と差圧計により得られた風圧の時刻歴の一部を示す（いずれも静水圧差を考慮して算出）。差圧計により得

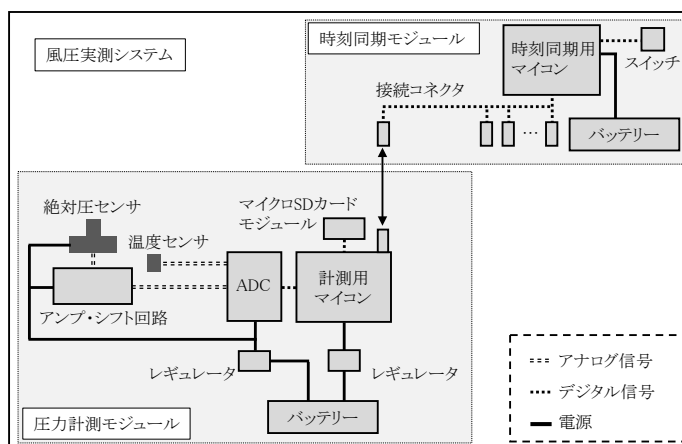


図2. 風圧実測システムの構成図<sup>[1より引用]</sup>

られた風圧の時刻歴を約 1.2 秒進めると差圧変動の傾向が一致するが、これは圧力計測モジュールに内蔵されている時刻モジュールに起因すると考えられる。図 4 (右) に、圧力計測モジュールにより得られた

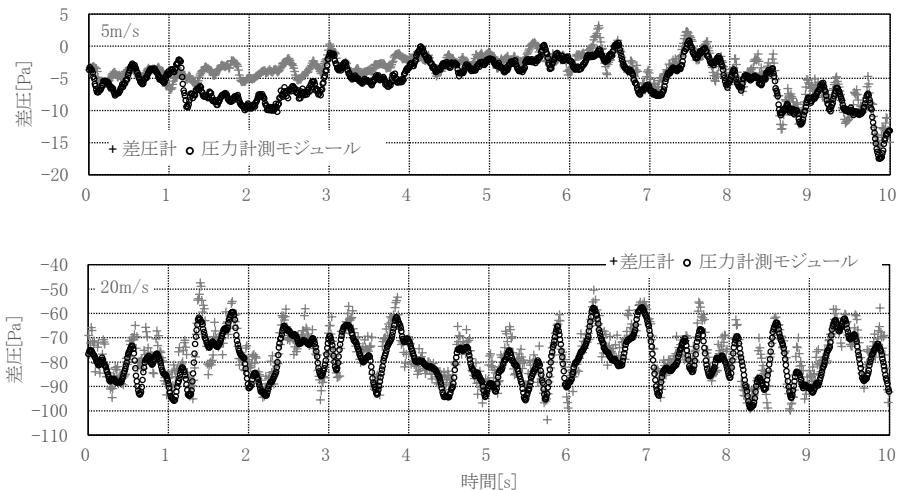


図 3. 差圧計と圧力計測モジュールから得られた風圧 (上: 風速 5m/s, 下: 風速 20m/s) [1 より引用]

風圧と差圧計により得られた風圧の差 (1 分間平均値) と気温の関係を示す。風圧の差は気温と相関があり、これは圧力計測モジュールにより得られた電圧値を圧力値に変換する際に用いる較正式における温度に対する補正に起因していることを示唆している。このことから、改良版風圧実測システムでは、長時間計測を行った際の時刻のズレの補正と較正式を構成する際の温度による補正に特に留意することとした。

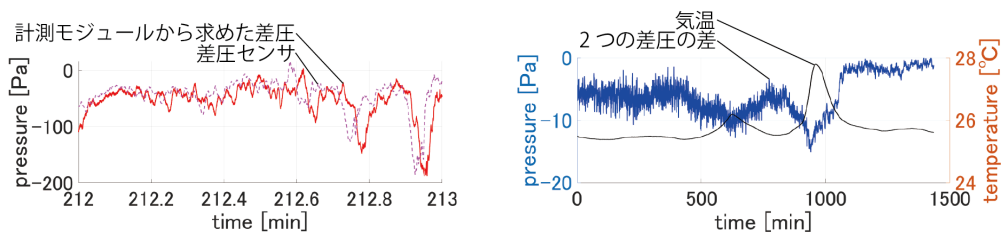


図 4. 左: 風圧計測デバイスで計測した風圧 (実線) と差圧計で計測した風圧 (破線) 右: 風圧計測デバイスと差圧計で計測した圧力の差と気温の関係 [2 より引用]

## (2) 台風時の風圧の実測と風況観測

2 年目には改良版風圧実測システムを用いて、台風に先回りして風圧計測を行った (詳細は文献 [3] を参照のこと)。図 5 に開発した風圧計測デバイスの外観、図 6 に 2021 年台風 16 号通過時の風圧実測のために平屋建物屋根に設置した風圧計測デバイスの防水キャップと導圧チューブの設置風景を示す (マイコンなどの電子機器は防水用の袋の中に入れて軒下に設置)。風速は平屋建物の南の露場に設置した。風速<sup>1</sup>と風圧を同時に計測した結果の一部を図 7 に示す。屋根エッジ部での剥離に伴うと考えられる間欠的な急激な負圧を捉えることができた。一方で、これらの負圧が急激な風速・風向変化と関連していることを示唆する結果も得られた。これは風洞実験では想定されていない気流性状であり、風洞実験に基づいて評価された風圧力が低層建築物においては必ずしも実際の風圧力を十分な精度で評価していない可能性を示唆しており、本研究で得られた主要な成果の一つである。

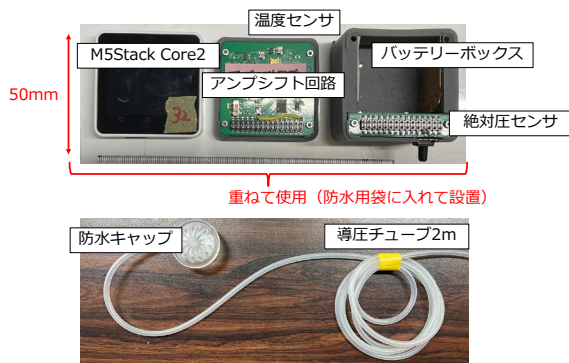


図 5. 開発した風圧計測デバイス外観 [3 をもとに作成]



図 6. デバイス設置風景 [3 より引用]

<sup>1</sup> 本研究で用いた風速データは、京都大学防災研究所潮岬風力実験所本館屋上で観測されたもので、京都大学防災研究所施設・設備利用型共同研究の成果として、京都大学馬場康之氏にご提供いただいた。

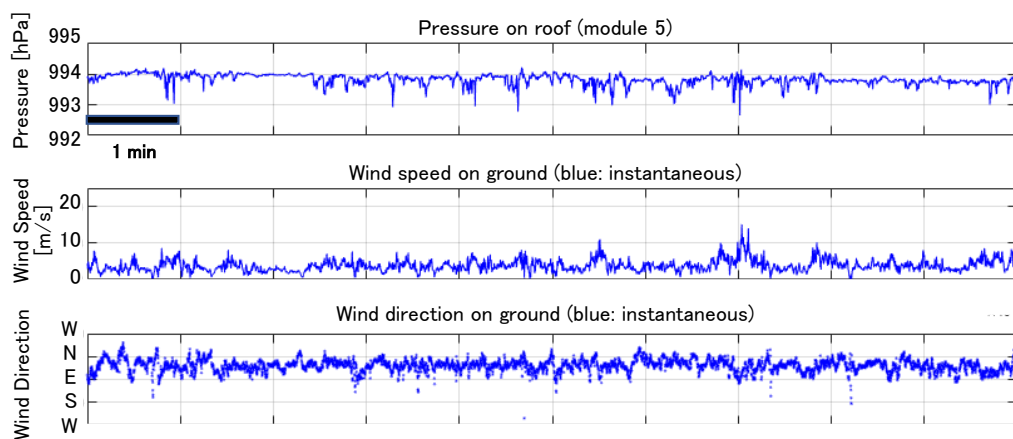


図7. 風速・圧力時刻歴 (600 秒間) [3より引用]

### (3) 周辺環境を段階的に変化させた風洞実験による風圧特性への影響因子の類型化

京都大学潮岬風力実験所敷地内の平屋建物およびその周辺を対象に、周辺環境を段階的に変化させた風洞実験を行った。模型の再現状況を図8に示す。同図左は対象地域の上空からの写真であり、右は風洞実験にて考慮する遮蔽物および対象建物を示したものである。考慮した遮蔽物の種類としては、周辺の建物、植生（平屋建物よりも高い植生、低い植生）、フェンス、車両である。これらの遮蔽物を配置した場合・配置しない場合それぞれの場合について、風圧計測実験を行い、それらの有無による風圧力への影響を評価した（詳細は文献[4]を参照のこと）。

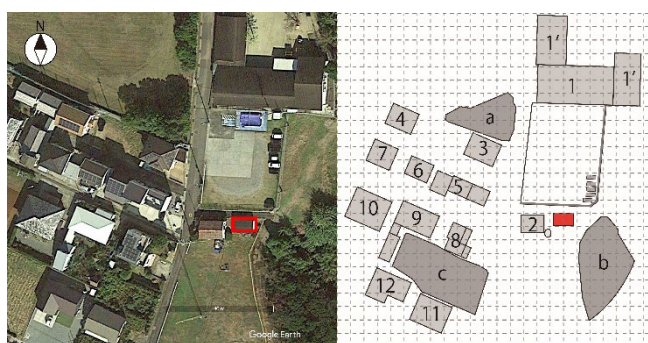


図8. 左：風圧を評価する平屋建物（赤枠で囲まれた建物）<sup>2</sup>と周辺状況、右：模型で再現する周辺の遮蔽物の状況<sup>[4より引用]</sup>

### (4) その他の成果

上記の研究を遂行するに際して、以下の成果を得た。

- ① 点群データに基づいて 3D プリンタを用いて、圧力計測模型を製作する手法を確立した。特に、圧力計測模型の製作に際して、模型内の導圧チューブ部を一体的に製作する手法を確立したことで、既存の風圧計測風洞実験で必要だった圧力測定孔と圧力計測システムを接続する導圧チューブの接続に要する手間が大幅に削減された（文献[5]）。

### 引用文献

- [1] 西嶋一欽, 米田格, 清水勝, 絶対圧センサを用いた高精度風圧実測システムの開発, 風工学研究論文集, 2020, pp. 314-323.
- [2] 岩崎弘高, 西嶋一欽, 米田格, 清水勝, 絶対圧センサを用いた風圧実測システムの開発とその性能の検証, 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会梗概, B202.
- [3] 西嶋一欽, 米田格, 清水勝, 2021年台風16号通過時の低層建築物屋根への作用圧力と周辺風速の同時計測, 風工学研究論文集, 2022, pp. 99-108.
- [4] 土井清誠, 西嶋一欽, 周辺の遮蔽物が低層建築物の屋根に作用する風圧力へ与える影響—実街区を対象とした風洞実験による考察—, 2023年度日本建築学会大会学術講演会梗概.
- [5] 西嶋一欽, 武市俊太郎, 3D プリンタを用いて模型と一体的に出力した導圧管の動的圧力伝達特性への影響, 2022年度日本風工学会年次大会.

本報告書は、本研究申請書および本研究の成果として発表した内容を要約し、また一部追記の上、再構成したものである。

<sup>2</sup> Google Earth. 2022年12月以降撮影の航空写真をもとに作成

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 西嶋一欽, 鴨下諒一	4. 巻 なし
2. 論文標題 点群データに基づいて作成した実市街地模型を用いた強風被害分析のための風圧測定実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021年度年度研究発表会梗概集	6. 最初と最後の頁 85-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14887/jaweam.2021.0_85	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 西嶋一欽, 米田格, 清水勝	4. 巻 26
2. 論文標題 絶対圧センサを用いた高精度風圧実測システムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 風工学研究論文集	6. 最初と最後の頁 314-323
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋徹, LY Sophearith, 西嶋一欽	4. 巻 29
2. 論文標題 令和元年台風15号の被害に基づく家屋の耐風性能評価と経年劣化した外装下地材の耐風性能の比較実験	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 58~61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.29.58	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 西嶋一欽, 米田格, 清水勝	4. 巻 27
2. 論文標題 2021年台風16号通過時の低層建築物屋根への作用圧力と周辺風速の同時計測	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 風工学研究論文集	6. 最初と最後の頁 99~108
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 丸山敬	4. 巻 176
2. 論文標題 住宅を強風被害から守る	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ALIA NEWS	6. 最初と最後の頁 -
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 無
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 藤本郷史、野原康弘、西嶋一欽、大門雅樹	4. 巻 65(5)
2. 論文標題 大規模な放置建築物：現況と未来に向けた取組み	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 コンクリート工学	6. 最初と最後の頁 474 ~ 479
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 西嶋一欽, 伊藤耕介, 米田格, 清水勝
2. 発表標題 2021 年台風 14 号および 16 号通過時の低層建築物に作用する風圧の実測
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩崎弘高, 西嶋一欽, 米田格, 清水勝
2. 発表標題 絶対圧センサを用いた風圧実測システムの開発とその性能の検証
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西嶋一欽、武市俊太郎
2. 発表標題 3D プリンタを用いて模型と一体的に出力した導圧管の動的圧力伝達特性への影響
3. 学会等名 2022年度日本風工学会年次研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋徹
2. 発表標題 2019年台風15号の調査に関連した成果（科研費）
3. 学会等名 第9回強風リスク分析コンソーシアム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋徹
2. 発表標題 雪の観測と災害調査体制
3. 学会等名 第102回風災害研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taiichi HAYASHI
2. 発表標題 Tornado Disaster in Bangladesh
3. 学会等名 Workshop on "Stratgy to reduce tornado and other local storm related disaster risks in Bangladesh"
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 正野涼司、伊藤耕介
2. 発表標題 海面摩擦の増加が励起する台風強度及び構造の変化
3. 学会等名 日本気象学会沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤耕介、山本蓮
2. 発表標題 民間航空機データを用いた台風構造解析
3. 学会等名 日本気象学会沖縄支部研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 西嶋一欽	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本風工学会	5. 総ページ数 4
3. 書名 強風災害の変遷と教訓（第3版）（担当:分担執筆, 範囲: 5章8節）	

1. 著者名 西嶋一欽	4. 発行年 2022年
2. 出版社 総合地球環境学研究所	5. 総ページ数 3
3. 書名 地域の歴史から学ぶ災害対応 砺波平野庄川流域の散村と伝統知・地域知（担当:分担執筆, 範囲:屋敷林の配置と防風効果）	

〔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	林 泰一  (Hayashi Taiichi)  (10111981)	京都大学・東南アジア地域研究研究所・連携教授    (14301)	
研究分担者	丸山 敬  (Maruyama Takashi)  (00190570)	京都大学・防災研究所・教授    (14301)	
研究分担者	高橋 徹  (Takahashi Toru)  (10226855)	千葉大学・大学院工学研究院・教授    (12501)	
研究分担者	友清 衣利子  (Tomokiyo Eriko)  (30346829)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授    (17401)	
研究分担者	伊藤 耕介  (Ito Kosuke)  (10634123)	琉球大学・理学部・准教授    (18001)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関