

令和 3 年 5 月 25 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04662

研究課題名（和文）被害連鎖メカニズムを考慮した建物の対強風脆弱性曲線の提案とリスク予測精度の改善

研究課題名（英文）Proposal of vulnerability curve of buildings against strong winds considering damage chain mechanism and improvement of risk prediction accuracy

研究代表者

友清 衣利子 (TOMOKIYO, Eriko)

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・准教授

研究者番号：30346829

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：より正確な建物の強風被害脆弱性曲線を提供することを目的に、複数の台風被害に対して強風被害連鎖を引き起こす要因を整理し、それらが被害拡大に及ぼす寄与率を検討した。正確な強風被害予測を行う上では、個々の建物に作用する風力を精緻に求めることが最適であると考えられるが、構造物の年代や屋根葺材の構造物特性を考慮し、隣接建物との距離等の周辺環境を複合的に検討することで、強風被害リスク推定精度を高めることができることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

個々の建物に作用する風力および構造物の耐力が分れば、強風被害の発生と拡大を推定することは可能であるが、さまざまに条件が異なる戸建て住宅等の小規模建築物に対して、条件に合致した風力と耐力を求めることは非常に難しい。本研究で行った構造物の特性や周辺環境を複合的に考慮することで、強風被害リスク精度を高める方法は、地形等の地理情報や自治体が有する登記情報を利用することで実現が可能であり、強風災害のリスクマネジメントへの利用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Some factors which effect on chain of strong wind damage to buildings were organized for several typhoons in order to provide more accurate strong wind damage vulnerability curve of buildings. Then contribution rate of the factors on extends of damage was examined. Though it is important that wind forces acting on each building are clarified for prediction the damage caused by strong winds, it is found that ages of the structure, roofing materials and distances from the adjacent building can be used to develop accuracy of risk prediction.

研究分野：風工学

キーワード：強風災害 風圧 飛散物 災害リスク予測

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

平成28年熊本地震の際、一部の地方公共団体では庁舎の被災による業務の停滞が復旧復興の障壁となった。内閣府は「市町村のための業務継続計画作成ガイド」を平成27年5月に策定し、小規模市町村においても業務継続計画（BCP）策定を推進している。BCPの策定には災害時リスクの特定・分析・評価を行うリスクアセスメントが必要で、リスク評価には災害の外力から被害確率を求めるフラジリティ曲線が用いられる。あらゆる災害に対してフラジリティ曲線が提案されているが、強風災害に対する建物の脆弱性を示すフラジリティ曲線は被害確率の偏差が大きく、精確な被害レベルの予測には課題がある。その要因として、強風被害特有の「被害の連鎖」の発生が挙げられる。竜巻や台風等の強風下の風圧で構造物の外装材が破損すると、それらが飛散物となって周辺構造物の開口部や壁面に衝突し、二次被害を生じさせる。さらに開口部が破損した構造物では室内圧が急増して構造体が損傷し、再び飛散物を生じさせる場合もある。強風被害では複数の発生要因が複合的かつ経時的に作用して被害が拡大するため、被害の精確な予測は簡単ではない。しかしながら、より精確な災害リスクマネジメントを行うためには、被害連鎖メカニズムを考慮した予測が重要となる。

強風被害連鎖を引き起こす要因は何か、複数の被害要因がリスクに及ぼす寄与率ほどの程度かを明らかにし、被害連鎖メカニズムを考慮することで、強風被害分析がどの程度改善されるのかを検討する必要があると考えた。

2. 研究の目的

被害連鎖メカニズムで強風による被害リスクが追跡できることを示し、連鎖メカニズムを考慮したより精確な「建物の被害脆弱性曲線」を提供することで、地方公共団体等の災害リスクマネジメントや災害時業務継続計画の策定に寄与することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 平成3年（1991年）台風19号時の九州地区での被災住家に対する悉皆調査のアンケート結果から得られた強風被害の実例に対して、建物の構造特性や周辺環境等と被害要因および被害の連鎖、拡大との関係を検討した。

(2) 平成30年（2018年）台風21号および令和元年（2019年）台風15号（房総半島台風）による強風被害事例調査を行い、戸建て住家の構造特性、被害要因および建物周辺環境に対して、被害拡大要因分析を行った。

(3) 複数の台風による住家の強風被害事例を整理し、強風被害の拡大連鎖に及ぼす影響要因を特定するとともに被害拡大への寄与率を求めた。

4. 研究成果

(1) 平成3年（1991年）の台風19号での被災住家の被害要因分析

1991年台風19号で被災した佐賀県内の一地域50戸に対して実施されたアンケート調査¹⁾に基づき、屋根や開口部被害拡大に及ぼす建物および宅地に関する影響因子の選出を行い、被害程度との関連を調べた。

屋根面積に対する被害面積との割合を0（被害無し）～3（75～100%）までの4段階で示した屋根の被害程度は、建築面積（図1）および建物の棟の向き（図2）との間に若干の相関がみられた。建築面積と被害程度との間に関連がある理由は明らかにはできなかったが、台風時の強風は南から吹いていたことから、風向と棟の向きが一致する北向きの棟の場合には、被害が拡大しやすかった。棟の向きと風向方向が一致すると、屋根の妻面側に強風が作用して軒やケラバ付近での局部風圧が大きくなることで、被害が増大する可能性がある。一方で、建物の壁面は周辺道路に正対するように配置するのが一般的であるため、棟の向きは道路の向きとも関連がある。道路に対面しているということは宅地の風に正対する面が開放され、強風が直接作用する可能性を示唆しており、宅地の開放度と棟の向きにも何らかの関連がある可能性がある。個々の項目と被害程度との相関係数の有意確率は有意とはいい難かったが、複数の項目を利用して強風脆弱性を数値化するとその指標と被害程度との間には有意な相関

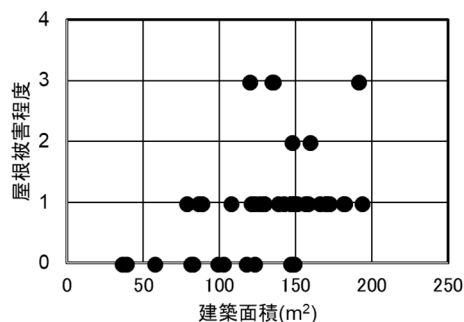


図1 建築面積と屋根被害程度の関係

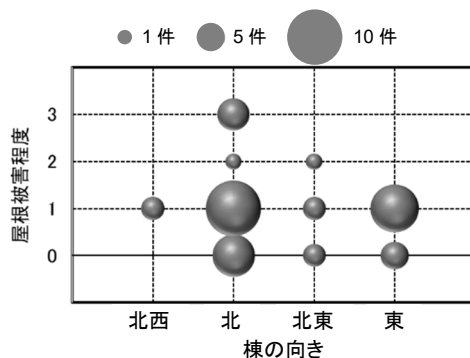


図2 棟の向きと屋根被害程度の関係

関係がみられ、屋根被害の拡大には複数の要因が関連していることが示唆された。

また、建物周長に対する開口部幅の比で表した開口部被害程度と建物および宅地の特性との関係を調べたところ、風向方向に面する開口部が雨戸等で保護されていない場合に、飛来物によって破損する事例が比較的多かった。また、風向方向の土地が開けている場合より、建物が隣接している場合のほうが、開口部被害が生じる傾向があった。

上述のように風速以外の建物および宅地の特性間には何らかの関連があることが多く、独立した変数として被害程度との関連を考えることはできず、相互に関連する因子の影響を考慮するための方法を検討しなければならない。

建物特性を独立した変数として表すことは難しいので、被害の拡大に影響を及ぼすと思われる項目に対して加点を行い、建物の強風被害に対する脆弱性を評価する方法を用いた。ここでは、① 2階建て以上、② 宅地の南側が開けている、③ 棟が北向きの3項目を評価して、建物の評点を付けた。各条件に一致した場合に1点を加点し、最大で3点となる。これを強風脆弱性評価値とした。屋根の被害程度と強風脆弱性評価値との相関係数は0.35、有意確率は1.3%であった。高い相関があるとはいえないが、有意確率は十分に小さい。また、図3に強風脆弱性評価値ごとに被害程度別の住家数をバブルチャートで示す。被害程度が0または1の場合は、強風脆弱性評価値が1や2となる場合が多く、被害程度が3の住家の評価値はやや大きくなった。ばらつきはあるが、屋根の被害程度拡大に関する脆弱性のある程度評価できた。

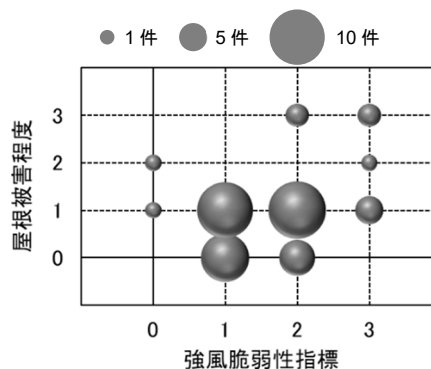


図3 強風脆弱性指標と屋根被害程度の関係

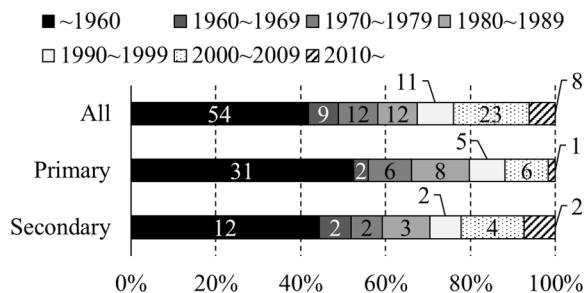


図4 被害要因ごとの建築年代別住宅の割合

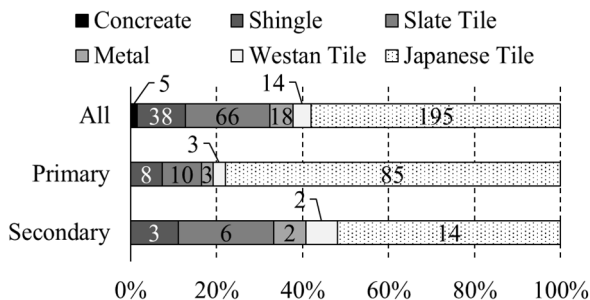


図5 被害要因ごとの屋根葺材別住宅の割合

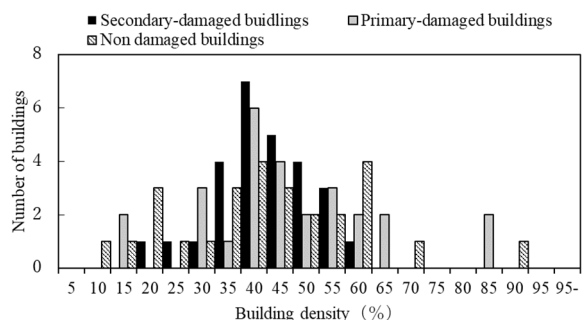
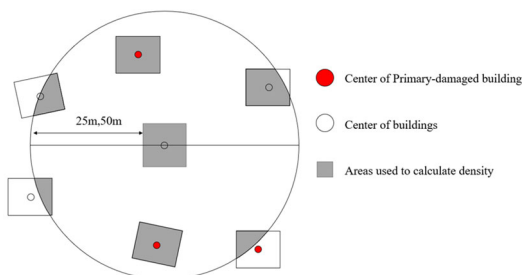


図6 建物密度と被災要因別建物数の関係

(2) 平成30年(2018年)台風21号および令和元年(2019年)台風15号の現地被害調査に基づく被災住家の被害要因分析

平成30年(2018年)台風21号通過後、大阪府南部地域の152戸に対して実施された現地被害調査²⁾に基づき、構造特性や周辺環境と被害との関係を検討した。調査建物の66%に何らかの被害が見られ、そのうち約80%が強風風圧による一次被害、約20%が飛来物による二次被害であった。強風被害を1次被害と2次被害とに分類して住宅の建築年代別の割合(図4)および屋根葺材別の割合(図5)を調べたところ、1次被害は建築年代が古いほど多かったが、2次被害はあらゆる年代の住家で発生していた。また1次被害は瓦屋根で多く発生していたが、2次被害は屋根葺材に関わらず発生していた。つまり、建築年代の古い瓦



建物密度と建物位置検討範囲の概念図

表1 被災住宅の風上半円の1次被害住宅数

Number of primary-damaged buildings	Radius	N	Non-damaged	Secondary-damaged
			damaged	damaged
25m	N	1.0	1.0	
	S	0.7	1.0	
50m	N	3.7	3.3	
	S	2.3	3.7	

屋根を持つ住宅で強風による1次被害が多く発生し、それに起因する飛来物によって周辺住が被災している可能性がある。

強風被害に及ぼす周辺環境を検討するため、100m四方のグリッドごとの建物密度および2次被害住宅周辺の住宅数および1次被害住宅数を調べた。建物密度と住宅被害率との関係は明確ではなかったが、2次被害住宅は比較的住宅密度の高い地域に存在することを確認した(図6)。2次被害住宅の風上側(南側)には1次被害建物が多くあることが分かった(表1)。

また、令和元年(2019年)台風15号通過後に千葉県房総半島南部の1608棟の住宅を対象に被害調査を実施した³⁾。2018年台風21号時の被害調査と同様に建築年代が古く、屋根葺材に瓦を用いた住宅の被害率が高いことを確認した。強風風圧による1次被害と飛来物による2次被害の特徴を整理したところ、1次被害は主に屋根で発生し、2次被害は壁面や開口部を中心とした住宅全体で発生していた。また、住宅の建築年代別に1次被害率と2次被害率との割合を整理したところ(図7)、1990年以前では1次被害率が高いが、建築年代が最近の住宅では1次被害率が減少し、相対的に2次被害率が増加した。

住宅の周辺環境が被害拡大に及ぼす影響を検討するため、被災建物を中心とした半円内の建物密度と隣接建物の数、隣接建物との距離に着目した。建物密度と1次被害率および2次被害率との間には明確な関連は見られなかったが、隣接建物との距離が離れると1次被害率が増大する傾向が見られた(図8)。隣接建物数が増えると、1次被害率はやや低下し、一方で2次被害率がわずかに増加する傾向が見られた(図9)。

(3) 強風被害の拡大連鎖に及ぼす影響要因の特定と被害拡大への寄与率

(1)、(2)をもとに強風風圧による1次被害拡大に着目し、数量化II類を用いた被害要因の分析を行った。上述のように複数の建物特性や周辺環境条件が、強風風圧による1次被害発生に影響を及ぼすため、各要因の影響度合いを比較することが台風被害予測、及び今後の台風被害を防ぐために重要となる。本検討では、令和元年台風15号(房総半島台風)による被害に注目した。分析に用いた項目は、調査地域(市町村)、屋根葺材、建築年代、隣接建物までの距離である。表2に分析結果を示す。全調査建物のうち検討項目すべての情報が得られたのは539棟である。分析精度を示す相関比と判別的中率は0.15と70.13%で、今回用いたモデル式の精度は十分とは言えなかった。

図10に各説明変数とカテゴリースコアを示す。なお、カテゴリースコアが正の値は、説明変数が1次被害の発生に起因することを示す。(2)で述べたように、古い住宅、および瓦葺きの住宅は1次被害の発生に影響を及ぼすため、カテゴリースコアの正の絶対値が大きく、これらの項目が大きく寄与していると言える。被害に与える影響度の確認には、各項目のカテゴリースコアの最大値と最小値の差であるレンジ、および各項目のレンジのレンジ合計に占める割合である

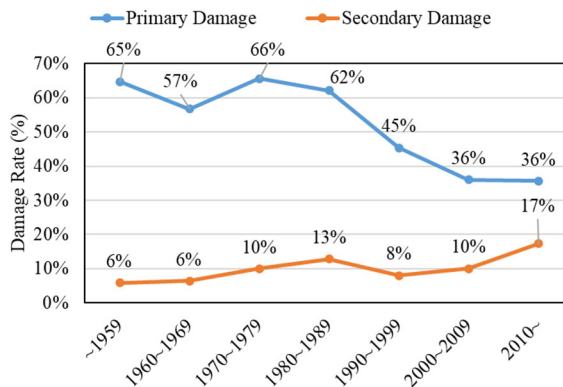


図7 建築年代別の被災要因ごとの被害率

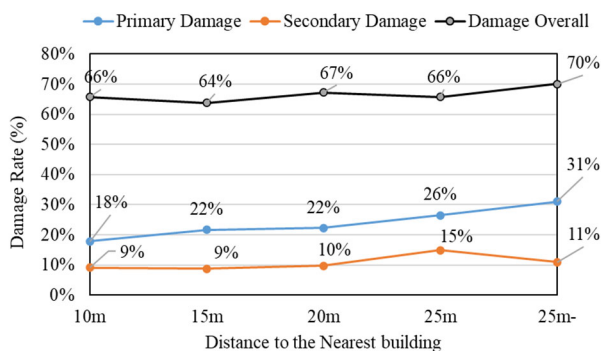


図8 隣接建物との距離と被災要因別被害率

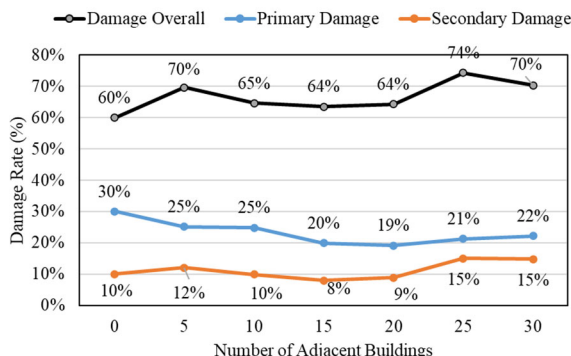
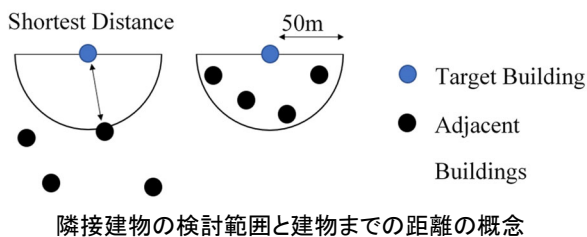


図9 隣接建物数と被災要因別被害率



隣接建物の検討範囲と建物までの距離の概念

寄与率が用いられる。表3に示すように、屋根に1次被害を受けた建物の場合、屋根葺材の寄与率をもっとも大きな値を示し、影響が大きいことがわかった。また、建築年代の影響も比較的大きかった。建物特性以外の環境要因としては、建物の建設場所による影響が大きかった。各地域での風速に関する情報が不足していたため、市町村地域での分析にとどまっているが、代表風速、建物建設地の標高、海岸線までの距離等をより細かく分析することで台風被害に関わる地理的な影響が特定できる可能性がある。一方で、隣接建物までの距離の項目は、影響はあると思われるものの、偏相関係数の値が小さく、その他の項目に比べ影響度は小さかった。隣接建物との距離で、建物の受ける風圧力を相対的に評価することは可能であると考えられるが、その精度は高くないと言える。より正確な台風被害の予測を行う上では、風洞実験や数値解析から求めた対象地域の風速および建物に生じる風圧を用いることが適当であると考えられる。

(4) まとめ

複数の台風の被害調査に基づき、強風被害連鎖を引き起こす要因を整理し、複数の被害要因が被害拡大に及ぼす寄与率を検討した。

建物に風力として直接作用する風速以外では、建物の建築年代および屋根葺材が1次被害拡大に影響を及ぼすことが分かった。個々の項目と被害との関係を相関係数等で数量的に評価すると、その有意確率は有意とは言い難いが、複数の項目を総合的に判断することで、被害の間にはある程度有意な関係がみられた。より正確な強風被害予測を行う上では、風洞実験や数値解析から求めた対象地域の風速、さらには個々の建物に生じる風圧を用いることが最適であると考えられるが、隣接建物との距離や建物密度等の周辺環境を用いて、建物の受ける風圧力のある程度評価することは不可能ではない。強風に対する「建物の被害脆弱性曲線」の精度を高めるためには、建物特性および周辺の被害状況等を把握する必要があると言える。

参考文献

- 1) (財)日本建築センター、住宅の耐風設計施工点検指針、1993
- 2) 代表：丸山敬、科研費（特別研究促進費）平成30年台風21号による強風・高潮災害の総合研究報告書、2019.
- 3) 代表：丸山敬、科研費（特別研究促進費）令和元年台風15号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査研究報告書、2020.

表2 数量化Ⅱ類分析のサンプル数と精度

サンプル数	539 棟
相関比	0.15
判別の中率 (%)	70.13%

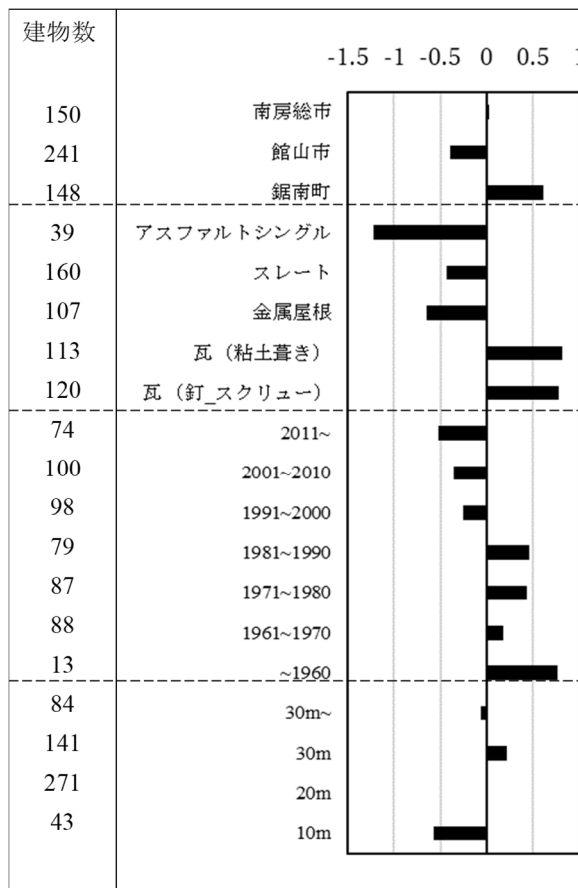


図10 各項目のカテゴリースコアと建物数

表3 寄与率および偏相関係数

項目名	レンジ	寄与率	順位	偏相関係数	順位
市町村	1.01	20%	3	0.17	2
屋根葺材	2.03	40%	1	0.28	1
建築年代	1.28	25%	2	0.16	3
隣接建物までの距離	0.79	16%	4	0.08	4

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2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 赤塚巧, 友清衣利子	4. 巻 26
2. 論文標題 2018年台風21号の強風下での住宅被害の特徴及びその発生に及ぼす周辺環境の影響分析	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 96-101
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 西嶋一欽, 友清衣利子, 高橋 徹	4. 巻 63A
2. 論文標題 近年の台風による住宅への強風被害の現状とリスク低減のための提案, 近年の台風による住宅への強風被害の現状とリスク低減のための提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 101-106
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 友清衣利子	4. 巻 25
2. 論文標題 強風による 住家被害に及ぼす個々の建物 および宅地周辺状況の影響, 台風9119号による佐賀県での事例	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 55-60
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 小林文明, 佐藤英一, 野田稔, 友清衣利子, 他	4. 巻 Vol.44 No.1
2. 論文標題 【速報】台風1821号 (JEBI) がもたらした広域強風災害について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本風工学会誌	6. 最初と最後の頁 44-53
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 友清衣利子, 西嶋一欽, 河野祐哉, 竹内 崇, 野田 博	4. 巻 -
2. 論文標題 都市部における強風リスクの空間分布の解明	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 平成30年台風21号による 強風・高潮災害の総合研究	6. 最初と最後の頁 1-7
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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 西嶋一欽, 友清衣利子, 高橋 徹, 大風 翼, 中嶋唯貴, 竹内 崇
2. 発表標題 2019年台風15号による住宅被害および補修に関する調査, その1 被害と調査の概要
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会 (関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤塚巧, 友清衣利子, 西嶋一欽
2. 発表標題 2019年台風15号による住宅被害および補修に関する調査 その2 現地調査に基づく住宅被害状況
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会 (関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大風 翼, 友清 衣利子, 菊本 英紀, 富永 禎秀, 玄 英麗, 水谷 国男, 西嶋 一欽
2. 発表標題 2019年台風15号による住宅被害および補修に関する調査 その3 強風被害後の住家等の居住環境の変化
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会 (関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 徹, 友清 衣利子, 西嶋一欽
2. 発表標題 2019年台風15号による住宅被害および補修に関する調査 その5 アンケート調査 保険活用および補修の実態
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内崇, 西嶋一欽, 高橋 徹, 中嶋唯貴, 大風 翼, 水谷 国男, 友清 衣利子, 河野祐哉
2. 発表標題 2019年台風15号による住宅被害および補修に関する調査 その6 一連の調査・分析手法の課題
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 定井 恵, 高橋 徹, 西嶋一欽, 友清 衣利子
2. 発表標題 令和元年台風15号による家屋の被害報告と年代別にみた瓦屋根の耐風性能
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤塚巧, 友清衣利子
2. 発表標題 2019 年台風 15 号の強風下での住宅屋根被害発生の影響要因分析
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 友清衣利子
2. 発表標題 2018年台風21号の強風による人的被害の特徴
3. 学会等名 2019年度日本風工学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eriko Tomokiyo
2. 発表標題 Effects of surroundings on residential damage caused by winds during Typhoon Mireille (9119)
3. 学会等名 Proceedings of 15th International Conference on Wind Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤塚巧, 友清衣利子, 西嶋一欽, 河野祐哉, 竹内崇, 野田博
2. 発表標題 2018年台風21号による住宅被害 その2 現地調査に基づく被害要因分析
3. 学会等名 2019年度日本建築学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Akatsuka
2. 発表標題 Damages to Residential Houses Caused by Typhoon Jebi (T1821)
3. 学会等名 The 14th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST) 2019 Kumamoto (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤塚巧, 友清衣利子
2. 発表標題 2018 年台風21 号の強風による住宅の2 次被害発生に及ぼす周辺環境の影響分析
3. 学会等名 第58回日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2020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

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