

令和元年6月13日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06594

研究課題名(和文) 飛散物による破壊シナリオを考慮した強風災害リスク評価

研究課題名(英文) Wind disaster risk assessment in consideration of flying objects

研究代表者

野田 博(NODA, Hiroshi)

近畿大学・建築学部・教授

研究者番号：30602221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では実被害状況に即した強風災害リスク評価を確立するため、以下の4つの研究サブテーマに取り組んだ。

飛散物による破壊シナリオを考慮した強風災害リスク評価手順の構築、台風ならびに竜巻による強風の作成、飛散物による建物外装材の破損確率の解明、被災地における強風被害調査によるリスク評価法の検証  
これらのサブテーマは概ね終了し、強風災害の低減に資する知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本近郊の海水温度の上昇に伴い、台風や竜巻といった強風に起因する災害が増加している。我々風工学の専門家は、工学的に強風災害リスクを評価しその社会的影響を認識しているが、その評価方法は確率統計量に基づいているため一般的にはなじみの無い表現で表されている。本研究では、強風災害リスクを被害額であらわすことに拠りその影響度合いを馴染みのある量で表している。

また、近年の強風災害調査では飛散物の影響が大きいことが明らかとなったが、本研究では飛散物の影響を考慮した強風災害リスク評価を構築している。

研究成果の概要(英文)： In this research, in order to establish strong wind disaster risk assessment according to the actual damage situation, we worked on the following four research sub-themes.

(1) Establishment of strong wind disaster risk assessment procedure in consideration of destruction scenario by scattered objects, (2) Generation of strong wind by typhoon and tornado, (3) Elucidation of damage probability of building exterior material by scattered objects, (4) Verification of risk assessment method by surveying strong wind damage in affected areas

These sub-themes were almost finished, and we obtained the knowledge to contribute to the reduction of strong wind disasters.

研究分野：風工学

キーワード：強風災害リスク 数値流体計算 飛散物 流入変動風

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

日本近郊の海水温度の上昇に伴い、台風や竜巻といった強風に起因する災害が増加している。日本風工学会では風災害研究会を発足させ強風災害調査を精力的に行っており、台風や竜巻による災害原因が明らかになりつつある。これまでの調査によれば、強風による被害は構造主架構ではなく、屋根ふき材、外壁(乾式壁)、窓ガラス、シャッターなどの外装材に集中している。その原因は、想定以上の風圧力もあるが飛散物の衝突によるものも多く報告されている。

災害の程度を表す尺度として災害リスク評価がある。災害リスク評価は、想定される被害レベルを金額(被害額)で表すため建築の専門家でない建築主や建築使用者にも被害の程度が実感として理解できる。また地震災害の分野では地震リスク評価が確立しており、地震リスク評価と比較することにより、限りある原資をどのような災害対策に費やすかという総合的な判断が可能となる。

研究代表者らは、これまで建物部材耐力に基づいた強風災害リスク評価法を確立した(野田ら、第23回風工学シンポジウム論文集 2014)。この強風災害リスク評価法は、強風災害を対象とした国内初のリスク評価法であり、風荷重と部材耐力の確率分布に基づいた最も基本的な破壊シナリオで構成されている。このリスク評価法を用いることにより建物部位ごとの耐風安全性を定量的に把握することができる。しかし、飛散物の影響が反映されていないため、これまでの被害調査結果と若干差異が認められた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、近年の被害調査で重要な要因と判明した飛散物の影響を考慮した強風災害リスクを確立することである。このリスク評価を用いれば、飛散物対策(例えば、雨戸・強化ガラス等)の有効性を被害金額で示すことができる。このように本研究で開発する強風災害リスク評価を用いることにより、これまで以上に適切な防風対策を推進することが可能となる。

### 3. 研究の方法

本研究では実被害状況に即した強風災害リスク評価を確立するため、以下に示す4つの研究サブテーマを設定し、各研究サブテーマに沿って研究を推進した。

#### (1) 飛散物による破壊シナリオを考慮した強風災害リスク評価手順の構築

これまで研究代表者らが確立した屋根ふき材、外壁(乾式壁)、窓ガラス、シャッターなどの各部材の耐力と荷重の頻度に基づいた破壊シナリオに、飛散物による破壊シナリオを加えた強風災害リスク評価の原案を研究初年度で確立する。このサブテーマは本研究の骨格と言える。

#### (2) 台風ならびに竜巻による強風の作成

研究代表者らの専門分野技術である数値計算を利用して台風ならびに竜巻による強風の空間分布を効率的に取得するとともに、数値地図データを利用して竜巻の発生頻度の傾向を明らかにする。

#### (3) 飛散物による建物外装材の破損確率の解明

上記研究サブテーマで取得した強風データを用い、より実現象に近い状況での飛散物の挙動を明らかにする。また強風災害リスク評価に取り入れるために、飛散物の速度や飛散範囲をある条件下での確定的な値ではなく、種々の条件を想定した確率的統計量として取りまとめる。

#### (4) 被災地における強風被害調査によるリスク評価法の検証

実際の強風被害状況と強風災害リスク評価結果を比較し、本テーマで構築するリスク評価

法を検証する。リスク評価は、荷重レベル、部材耐力、資材コストといった個別の事実に基づいて破壊シナリオを想定し、確率的に組み合わせて評価する。

#### 4. 研究成果

各研究サブテーマに関して、以下の成果を得た。

##### (1) 飛散物による破壊シナリオを考慮した強風災害リスク評価手順の構築

研究代表者らが以前に構築した強風災害リスク評価法を改良することにより、飛散物による破壊シナリオを考慮した強風災害リスク評価法は概ね構築した。この強風災害リスク評価法は建物部位ごとにイベントツリー解析を行うが、このイベントツリーに飛散物による破壊シナリオを追加することにより、飛散物を考慮することが可能となる（図-1 参照）。

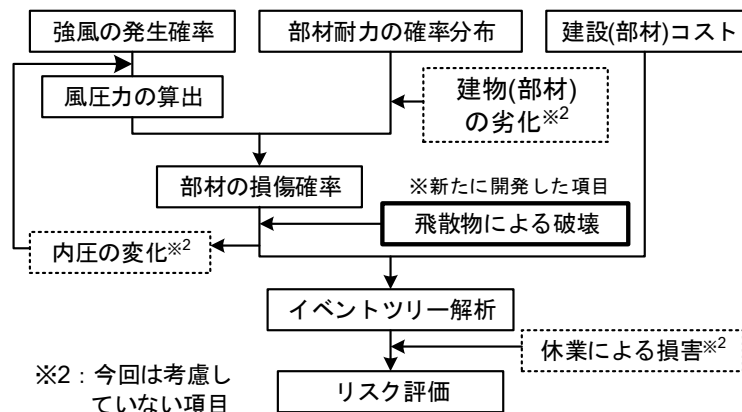


図-1 飛散物による被害を考慮した強風災害リスクの評価フロー

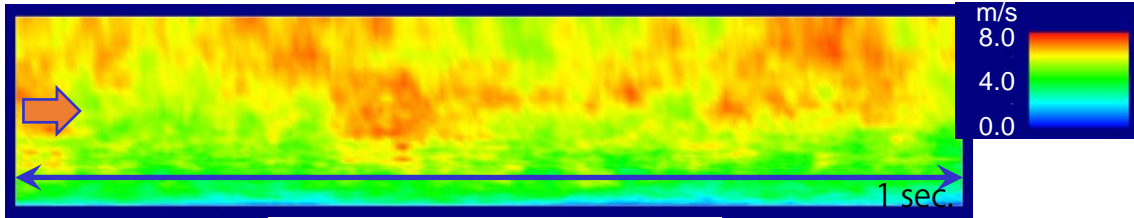
##### (2) 台風ならびに竜巻による強風の作成

台風を対象とした確率統計量に基づく作成方法は概ね完成した。この方法は、数値流体計算を一切用いず、地震動の作成と同様に変動の確率統計量に基づいてモンテカルロ法により生成させる。そのため、目標とする統計量どおりの強風を迅速に得ることが出来る。本研究では、作成した自然風の確率統計量と目標値との再現性を検討するために、確率統計量が精度よく得られている風洞実験気流をターゲットとして気流を作成した。計算結果の一例を図-2 に示す。図-2 は確率統計量に基づいて作成した台風時を模した自然風の空間風速分布である。主流方向成分(u 成分)の風速は上空に進むに従い風速は高くなっていることが分かる。ただし、その分布は一様ではなく、時間により風速が変化している。直交方向成分(v 成分)、鉛直方向成分(w 成分)も場所や時間により値が変化しており、風速の乱れが出現していることが認められる。

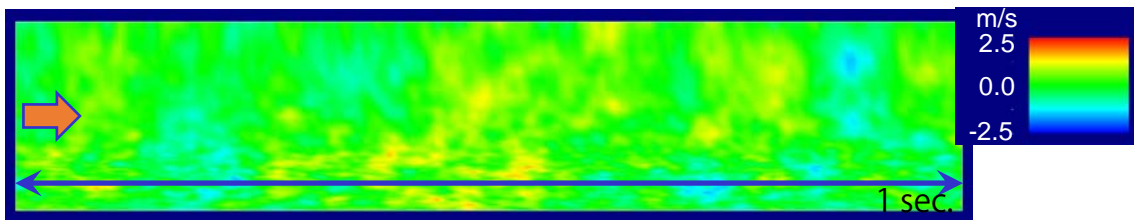
作成した自然風の統計量(主流方向成分の平均値、各成分の変動の分散値、レイノルズ応力)の鉛直分布を図-3 に示す。図中には目標値(Target)と発生した自然風を流入条件として計算した数値流体計算結果(LES)も併記する。図-3 より、作成した自然風の統計量はいずれも目標値とよい一致をしている。また、作成した自然風を流入条件として計算した数値計算結果の統計量も概ね目標値を維持していることが分かる。

竜巻に関しては、日本における発生頻度分布について調査した。既往の知見においても竜巻の発生は、地表面の状況、発生要因等により一定の傾向があるとされている。この傾向を定量的に把握することを目的として、これまで日本で発生した竜巻の各種要因を調べた。調査結果の一例として、地表面粗度区別の竜巻の発生箇所を図-4 にそれぞれ示す。海上で発生する竜巻は、日本海ならびに沖縄で多く発生している。地表面粗度区分 I(海岸付近)

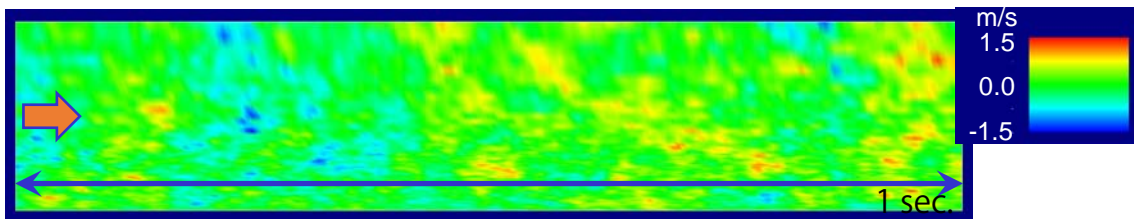
は、九州地方、中部地方、沖縄地方の順に発生件数が多く、中国地方北部や東北地方ならびに北海道地方東部では少ない。地表面粗度区分 II(平坦地)あるいは III(一般市街地)では関東地方に集中していることが分かる。このように地表面の状況により竜巻の発生箇所が明確に異なることが分かる。この地形的要因の定量的傾向、すなわち地表面粗度区分毎の竜巻発生確率により表すことにより、強風災害リスク評価の精度向上が期待できる。



(a)主流方向成分(u成分)



(b)直交方向成分(v成分)



(c)鉛直方向成分(w成分)

図-2 作成した自然風の風速空間分布

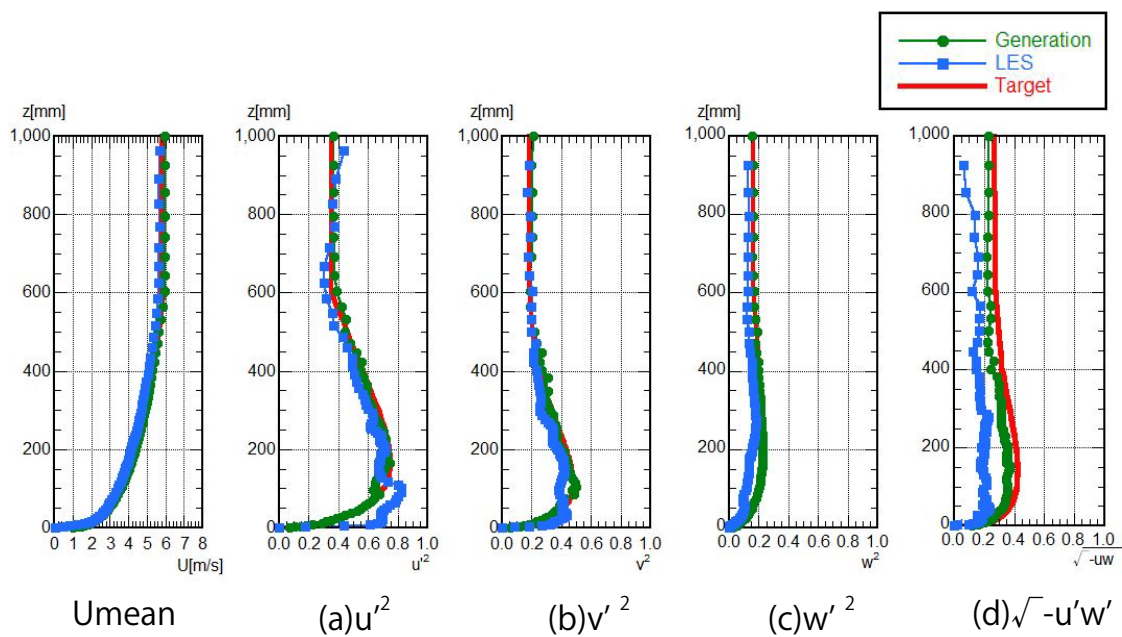


図-3 作成した自然風の統計量(平均風速, 風速の分散値, レイノルズ応力)の鉛直分布

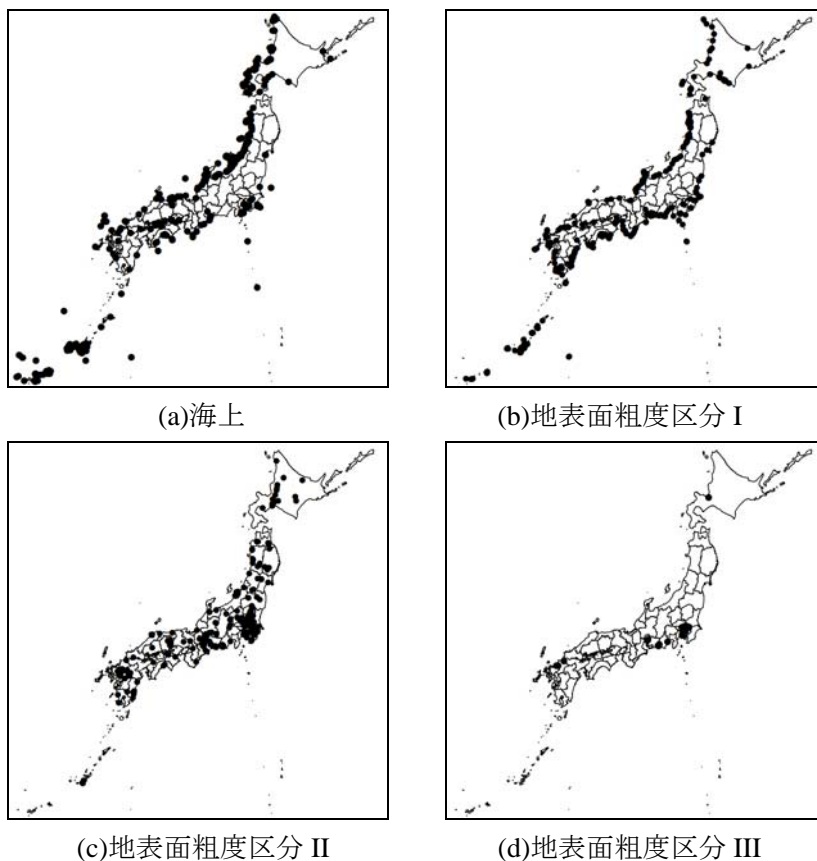


図-4 海上及び地表面粗度区分別の竜巻発生地点

### (3) 飛散物による建物外装材の破損確率の解明

このサブテーマについては、飛散物による建物外装材の破損確率の把握を目的とし、様々な状況における飛散物の飛行の確率分布を調査する予定であった。しかしながら、確率分布を算出するほどの計算結果が得られなかった。成果が得られなかった原因はとして、他のサブテーマにエフォートを費やしたことが挙げられる。

### (4) 被災地における強風被害調査によるリスク評価法の検証

平成 29 年 9 月 4 日に台風 21 号が強い勢力を維持しながら大阪地方を直撃し、大阪地方に甚大な強風災害が生じた。このサブテーマでは強風災害リスク評価の対象建物である物流施設を対象に被害調査を実施した。調査した建物の一例を図-5 に示す。被災した建物の多くは屋根が吹き飛ばされており、その結果倉庫内部の什器、物資も被災している。屋根の破損箇所も屋根隅角部あるいは妻面ケラバ付近が多く、開発した強風災害リスク評価とよい対応を示していた。また、被災した建物は築年数が多い建物ばかりであり、部材劣化の評価の重要性を改めて認識された。



(a)被災建物 A 外観



(b)被災建物 A の内部





(c)被災建物 B 外観



(d)被災建物 B の屋根ふき材(鋼板)の飛散状況

図-6 台風 21 号により強風被害にあった建物例

<引用文献>

- ①野田博, 畦直人 作田美知子, 佐々木亮治, 山岸邦彰, 建物の部材耐力に基づく強風災害リスク, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, pp.145-150, 2014.12

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ①立花卓巳, 野田博, 岸田岳士, 宮下康一, 佐々木亮治, 義江龍一郎, 作成方法の異なる流入変動風を用いた都市街区内の流れ場の再現精度, 第 25 回風工学シンポジウム論文集, 査読有 pp.205-210, 2018.12

- ②Noda Hiroshi, Nakayama Akihiko, Miyashita Koichi, Kishida Takeshi, Turbulent boundary layer generated using stochastic method for inflow conditions of LES, International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics, 査読有, 10, pp.146~158, 2018, DOI:10.1007/s12572-018-0214-0

- ③白石悠策, 野田博, 地理情報システムを利用した日本の竜巻発生状況の把握, 第 24 回風工学シンポジウム論文集, 査読有, pp.31-36, 2016.12

[学会発表] (計 2 件)

- ①立花卓巳, 宮下康一, 佐々木亮治, 野田博, 岸田岳士, 義江龍一郎, 流入変動風の異なる流れ場の予測精度の検証, 日本建築学会, 2018

- ②Noda Hiroshi, Nakayama Akihiko, Miyashita Koichi, Kishida Takeshi, Turbulent boundary layer generated using stochastic method for inflow conditions of LES, 6th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow, 2017.12

[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]

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 佐々木 亮治

ローマ字氏名: SASAKI ryoji