

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420599

研究課題名(和文) 建物部材耐力に基づく強風災害リスク評価手法の確立

研究課題名(英文) Risk Estimation of Wind Disaster Based on Envelope Component Resistances

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、建物部材耐力に基づいた強風災害リスク評価を確立させる。強風災害リスク評価の確立には種々の検討課題があり、本研究では、強風災害リスクの評価手順と評価尺度の確立、強風による飛散物の飛行シミュレーション、台風ならびに竜巻による強風の再現、超高層建物の風応答予測、竜巻の成因別発生場所の把握の5つの研究サブテーマに区分し研究を進めた。これらのサブテーマについて年度を区切って取り組み、これらのサブテーマは概ね計画通り終了した。強風災害の低減に資する知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Goal of this study is to establish a strong wind disaster risk estimation based on the building member strength. In order to achieve to establishment certainly, this study was divided into five sub-themes, such as, establishment of basic estimation procedures and criteria of the strong wind disaster risk, flight simulation of the debris induced by strong winds, reproduction of strong winds caused by typhoon and tornado using computational technique, prediction of the high-rise building wind responses using computational fluid dynamics, understanding trends of occurrence location induced by each factor using GIS. These sub-themes were carried out almost as scheduled. Many knowledges that contribute to the reduction of the strong wind disaster was obtained.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：耐風設計 リスク評価 外装材 自然災害

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。これまでの強風災害調査によれば、強風による被害は構造主架構ではなく、主に屋根ふき材、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おり、それらの多くは維持管理不良による想定以上の劣化、耐風安全性の認識不足による施工管理の不備など、部材耐力が設計当初に想定している値よりも低いことに起因している。換言すれば新築時あるいはリニューアル時に適切な耐風安全対策を施せば、強風による災害は低減できるものと考えられる。しかしながら、強風災害に対する社会的認識は依然として低く、これらの調査結果は、現段階では、新築時あるいは既存建物のリニューアル工事に広く反映されていない。

2. 研究の目的

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。

本研究では、強風による被害が多く生じる屋根ふき材や窓ガラスなどの建物外装材に着目し、新築建物の耐風安全性の向上、既存建物のリニューアル工事の促進を目的とした強風災害リスクの定量的評価方法を確立する。そして適切な防風対策を推進し強風災害の低減を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、建物部材耐力に基づいた強風災害リスク評価を確立させる。確立には種々の検討課題があり、以下示す5つの研究サブテーマに区分し研究を進めた。

- I. 強風災害リスクの評価手順と評価尺度の確立
- II. 強風による飛散物の飛行シミュレーション
- III. 数値流体計算による台風ならびに竜巻の再現
- IV. 超高層建物の風応答予測
- V. 竜巻の成因別発生場所の把握

本研究では、検討ツールとして主にコンピュータによる数値計算技術を活用した。

4. 研究成果

(1) 強風災害リスクの評価手順と評価尺度

強風による被害は屋根、外壁、窓などの外装材で多くみられ、構造骨組みによる被害は少ない。本研究では外装材のみを対象とした強風災害リスク評価法を考える。図-1に示す通り、強風災害リスクは強風の発生確率、部材耐力の確率分布、建設コストから算出でき

る。強風によるリスクを評価する場合、部材耐力と建設コストのみならず「建物(部材)の劣化」、「飛散物による破壊」、「内圧の変化」、「休業による損害」などを考慮する必要がある。本研究ではリスク評価法の基本的枠組みの確立を目指しているため、これらは考慮していない。

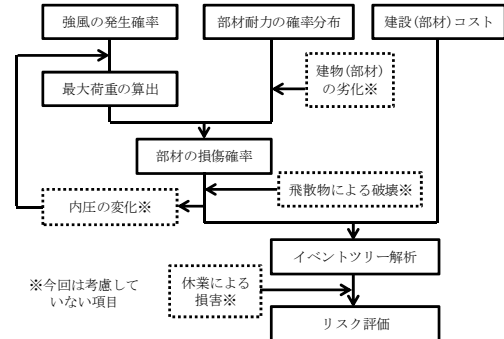


図-1 強風災害リスクの価フロー

対象建物の外装材が複数種類の場合には、イベントツリー解析により全ての破壊パターンを網羅したリスク評価を行う。例えば、建物の外装材が、「屋根」、「外壁」、「窓ガラス」、「ドア・シャッター」の4種類で構成されているとすると図-2に示すイベントツリーを考え、全ての破壊パターンの損失期待値、すなわち想定被害額を求める。

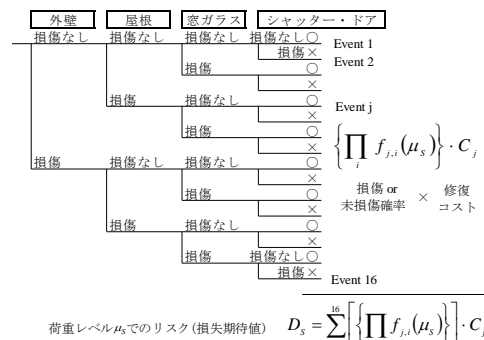


図-2 イベントツリー解析による損失期待値の算出

強風災害リスクは、図-1、図-2の手順で求めた損失期待値のうち再現期間475年の風速による損失期待値を用いて、以下の通り定義した。

強風災害リスク

$$= \frac{\text{再現期間475年の荷重レベルの外装材損失期待値}}{\text{外装材の建設コスト}} \times 100$$

再現期間475年の風速による損失期待値を採用したのは地震リスクの荷重レベルとの整合性を考慮したためである。風速と各外装材の損傷確率の例を図-3に示す。これは、関東地方に建つ物流施設を対象とした事例である。本研究で開発したリスク評価技術を用いれば、部材ごとの損傷確率が判明する。その結果、建物の中でどの部材が最も強風によ

る破壊が起こりやすいかが判明する。図-3中の損失率とは、外装材の損失期待値を対象外装材の建設コストで除した値である。ここで、再現期間475年の風速での損失率が強風災害リスクとしている。

この手法を用いれば、部材耐力の割り増しがどの程度効果があるか明らかになる。また、部材耐力の割り増しによる効果は、部材によって異なり、例えば窓ガラスは軒高風速(設計風速)を割り増しても損傷確率の低減は少ないが、シャッターは損傷確率の低減幅は大きく、その効果は大きいことが分かる(図-4)。

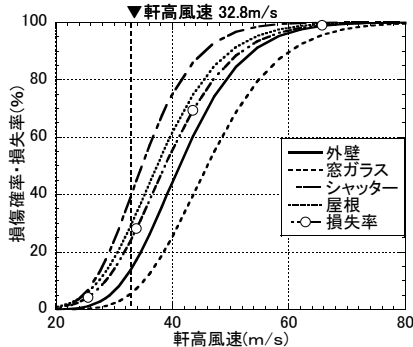


図-3 各部材の損傷確率・損失率と風速の関係

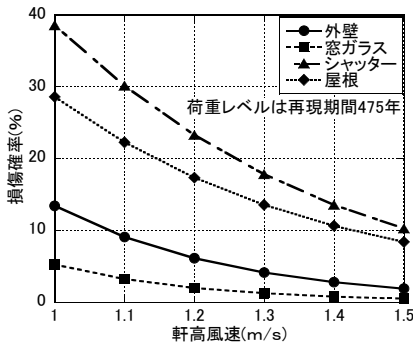


図-4 耐力の割増しと損傷確率の関係

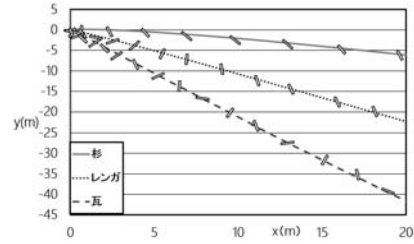
(2) 強風による飛散物の飛行シミュレーション

強風による外装材被害の状況を分析すると、飛散物による破損が大きく影響している。外装材の損傷は強い風圧力によるものであるが、最初の段階で飛散物の衝突により一部の外装材が壊れ、そこから風が建物内に吹き込み、建物内部の内圧が設計時の想定以上の大きな圧力となり、外装材の大きな破壊へと進行している。

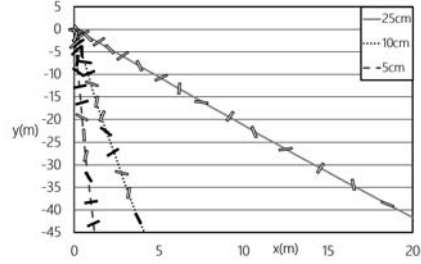
本研究では、飛散物の挙動の把握が強風災害リスクの精度に大きく影響すると考え、風による飛散物の飛行シミュレーションを行った。

まず、飛散物の運動方程式からシミュレーションプログラムを開発し、基本的物性値の実験結果と比較して検証を行い、その後、種々の条件の下に飛散物の飛行シミュレーションを実施した。結果の一例を図-5に示す。この検討により、飛散物の物性値や大きさが

異なる場合の飛散物の状況が定量的に把握することが出来るようになった。



(b)物質(質量)が異なる場合



(a)物体の大きさが異なる場合

図-5 飛散物の飛散状況

(3) 数値流体計算による台風ならびに竜巻の再現

台風時の強風は一様な風ではなく、高さ方向に風速が異なり高度が高くなればなるほど風速は強くなる。また、時間的にも変動する乱れた気流である。また、竜巻による強風は、一般的な自然風とは異なり、上昇流を伴う強い旋回流である。強風時の飛散物の挙動を調査するには、これらの強風を再現する必要がある。ここで、実験的に再現するには膨大なコストが必要となる。本研究では、数値計算技術を駆使して、これらの強風をコンピュータで再現した。

まず、竜巻状旋回流の再現として、既往の竜巻状旋回流発生装置をコンピュータで再現して(図-6)、実験装置と同様な性状を有する気流を数値流体計算により作成した。作成した気流の渦度等値面を図-7に示す。図-7より、装置中央部に鉛直方向に長い渦が発生していることが分かる。

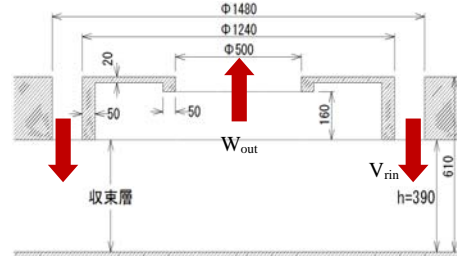


図-6 竜巻状旋回流発生装置

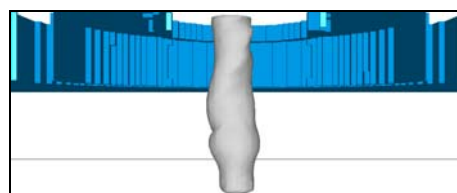


図-7 作成した竜巻状旋回流の渦度等値面

台風時の強風については強風の確率統計量に基づいてモンテカルロシミュレーションにより作成した。台風時の強風の再現は、竜巻状旋回流を作成したように数値流体計算を用いても可能であるが、今回採用したモンテカルロシミュレーションによる方法のほうが、極めて計算負荷が少なく効率的に様々な状況の台風時の強風が再現できる。この手法により既往の風洞実験結果を再現した結果を図-8に示す。また再現した気流の乱れの強さの鉛直分布と主流方向の乱れのパワースペクトル密度を図-9に示す。作成した気流は目標とする既往の風洞実験結果をよく再現している。

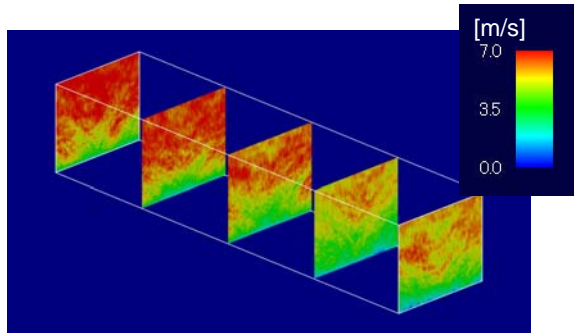


図-8 自然風の確率統計量を用いて作成した強風の風速コンター図

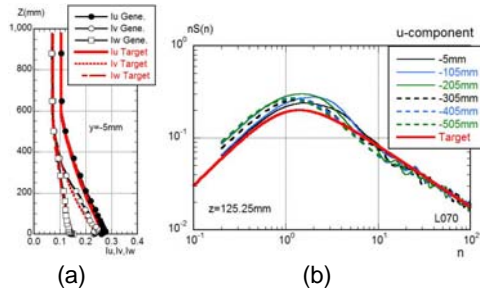


図-9 自然風の確率統計量を用いて作成した強風の統計量, (a)は乱れ強さの鉛直分布, (b)は主流方向のパワースペクトル密度

#### (4) 超高層建物の風応答予測

超高層建物では、春一番のような日常的な強風においても風揺れが発生する。このような振動は、破壊的な振動には至らないものの、居住性能に大きく影響するため、使用リスクとして把握する必要がある。本研究では、数値流体計算と建物振動の連成解析を行い、風による建物応答予測システムを開発した。数値流体計算では、物体の移動回転に伴い座標を変化させる非慣性系座標(図-10)を新たに取り入れ計算効率を向上させている。計算結果は、既往の研究(風速と  $D/B=2.0$  の揺れ振動の性状)による実験結果(図-11)をよく再現しており、本研究で開発した非慣性系座標による数値流体計算の有用性が確認できた。このシステムにより、風による建物応答予測を数値流体計算で効率よく行うことが可能となった。

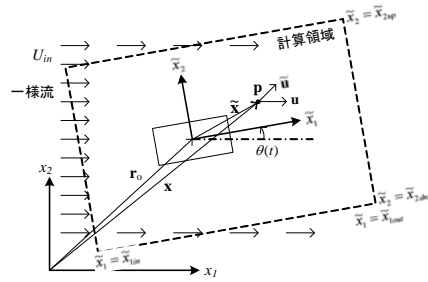


図-10 慣性系座標と非慣性系座標の関係

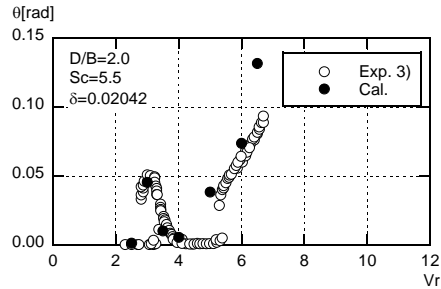
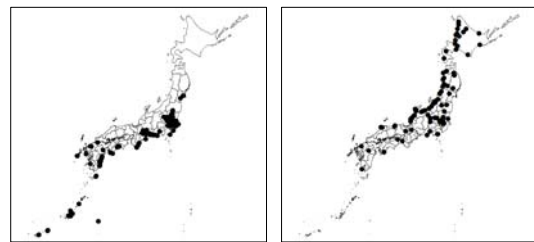


図-11 揺れ自由振動時の風速と振動振幅

#### (5) 竜巻の成因別発生場所の把握

これまで気象庁により集計された全ての竜巻発生地点を要因別に日本地図上にプロットし可視化することにより竜巻発生傾向を調べた。検討した要因項目は、地表面粗度区分、気象要因、発生季節の3項目とした。発生要因別に竜巻発生点を日本地図上にプロットすると、台風に伴う竜巻は太平洋側に多く発生し、寒気の移流に伴う場合は日本海側に多く発生していることが分かる(図-12)。

また、竜巻の発生件数を地表面粗度区分別に分類すると、周辺が広く開けた海上、地表面粗度区分 I, II がほとんどであり、地表面粗度区分 III~IV、すなわち市街化された地域にはほとんど発生していないことが分かる(図-13)。



(a)台風に伴う竜巻 (b)寒気の移流に伴う竜巻  
図-12 発生要因別竜巻の発生地点

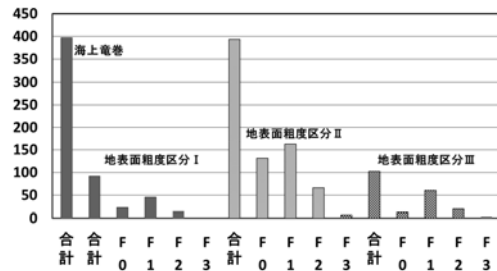


図-13 地表面粗度区分別竜巻の発生件数

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 野田博, 畦直人, 作田美知子, 佐々木亮治, 山岸邦章, 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, 2014, pp.145-150, 査読有
- ② 野田博, 中山昭彦, 非慣性系座標のLESによる一様流中角柱の空力不安定振動の計算, 第23回風工学シンポジウム, 2014, pp.451-456, 査読有

〔学会発表〕（計5件）

- ① 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, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, 2016.8.25, 福岡大学, 福岡市
- ② 畦直人, 野田博, 作田美知子, 佐々木亮治, 山岸邦彰, 外装材の部材耐力に基づいた強風災害リスク評価 その4.各種荷重条件を用いたリスク評価事例, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, 2016.8.25, 福岡大学, 福岡市
- ③ 畦直人, 野田博, 作田美知子, 佐々木亮治, 山岸邦彰, 外装材の部材耐力に基づいた強風災害リスク評価 その3.卓越開口による内圧変化を考慮したリスク評価事例, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, 2015.9.5, 東海大学, 平塚市
- ④ 佐々木亮治, 野田博, 作田美知子, 山岸邦彰, 外装材の部材耐力に基づいた強風災害リスク評価 その1.リスク評価手順, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, 2013.8.31, 北海道大学, 札幌市
- ⑤ 作田美知子, 野田博, 佐々木亮治, 山岸邦彰, 外装材の部材耐力に基づいた強風災害リスク評価 その2.物流倉庫を対象としたリスク評価事例, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, 2013.8.31, 北海道大学, 札幌市

〔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〕

なし

## 6. 研究組織

### (1) 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