



台風による屋根被害分布の分析と最弱リンクモデルに基づく被害確率推定

Analysis of Roof Damage Distribution Caused by Typhoons and Damage Probability Estimation based on the Weakest Link Model

尾田 春雄*¹ 益子 渉*² 友清 衣利子*³ 野田 稔*⁴
Haruo ODA Wataru MASHIKO Eriko TOMOKIYO Minoru NODA

SUMMARY

The relation between the distribution of roof damaged by Typhoon Jebi, 2018 and the maximum wind speed during passing this typhoon (V_{\max}) were investigated by Geographic Information System. The variation of the damage ratio given as the ratio of the number of blue tarps to the number of houses in a survey mesh was very wide and did not show the clarify relationship with V_{\max} . Therefore, the number of the damage mesh (survey mesh including at least one damage) was counted and the relation between the cumulative number of damage mesh for the squared V_{\max} was investigated based on the weakest link probability model. As the result of this investigation, it was clarified that distribution of cumulative number of damage mesh was fit very well to Weibull distribution which is the solution of the weakest link probability model, and Weibull parameters were controlled by the housing density.

keywords: Weibull distribution, damage probability, blue tarp, housing density, meteorological analysis

1. はじめに

近年、日本では台風によって生じる様々な災害について、予想される災害の程度を一般市民に伝える方法が整備されてきた。例えば、大雨による河川の氾濫や、山間部の土砂崩れ等は、台風襲来時に地区ごとに特別警報が発せられ、それにより災害の危険性を伝える仕組みが採用

されている。しかしながら強風災害については場所が曖昧なまま、最大風速や瞬間風速を示して注意喚起するに留まっているのが現状である。強風災害においても同様に具体的な地域を含めた強風災害の危険性をわかりやすく提供するためには、台風通過時の強風と被害の関係を明確にする必要があると考えられる。そこで、本研究では

* 1 高知大学大学院 大学院生
Graduate Student, Graduate School, Kochi University

* 2 気象研究所
Meteorological Research Institute

* 3 熊本大学 准教授
Associate Professor, Kumamoto University

* 4 高知大学 教授 noda@kochi-u.ac.jp
Professor, Kochi University

(原稿受理年月日: 2022年2月8日, 採用決定年月日: 2022年4月2日)

広域の強風被害が発生した平成30年台風21号における強風と強風被害の関係について検討を行った。

今回対象とした平成30年台風21号(以降T1821号と呼ぶ)は「非常に強い」勢力を保ったまま、徳島県南部に上陸し、近畿地方を中心に日本各地に甚大な被害を及ぼした。この台風による被害として、大阪府では70,000棟を超える住宅被害が報告されている¹⁾。非常に広範囲に住宅被害が発生したことから、被害分布を把握するため、発災から二か月後に航空調査が実施され²⁾、被災地域において住宅屋根に敷設されたブルーシートをマーカーとして住宅屋根被害の分布が記録された。

野田らはこの航空調査の結果を基に、大阪府南部での単位面積あたりの住宅数およびブルーシート数をそれぞれ住宅密度とブルーシート密度とし、これらの比を被害率として、海岸からの距離との関係に注目し、海岸からの距離の増加に伴い被害率が指数関数的な減衰傾向にあることを明らかにした³⁾。また、西嶋らはT1821号による台風被害発生前後の衛星画像を用いてブルーシートによる住宅の被害の抽出を試み、台風通過時の推定最大風速と被害率の関係について考察をしているが両者の間に明瞭な関係は確認できなかった³⁾。

竜巻などの局所的な突風被害の分析においては、被災構造物を1件1件詳細に調べ、被害の発生プロセスを明らかにするというアプローチが数多く見られるが、台風被害の場合には、広い範囲において一斉に被害が発生し、個別の被害発生プロセスの詳細を追うことが困難である。そこで、本研究では航空調査で明らかになった広範囲の強風被害情報を観測範囲によって補正し、自治体の報告した住宅被害件数との関係を検討することで強風被害のマーカーとしてのブルーシートの有意性を示す。また、従来使用されてきた強風被害の分析方法である、被害率とその値に影響を及ぼすと予想される因子との関係の検討を行う。本研究では強風被害に影響する因子として、住宅密度と風速を用いる。さらに、エリアの被害状況に着目し、強風被害に対して最弱リンクモデルに基づくワイブル分布を適用した被害確率モデルを提案し、その適用性について検討する。

2. 解析概要

本研究の強風被害の定義は、建物の屋根にブルーシートが掛けられるほどの被害としている。この強風被害の分布は、航空調査の結果からブルーシートを目視によって抽出し、GIS上で位置情報を特定した。結果を図1に示す。本研究では空撮された画像から対象とする建築物が

住家か否かであることを判断することが困難であったため、対象としたすべての建築物をまとめて住宅と呼ぶ。

本研究では、強風被害との関係を検討する因子として、住宅密度と風速を用いる。住宅密度は、ゼンリンの住宅の位置情報を基に、被災地域を分割する地域メッシュ内の面積当たりの住宅数として求めた。ここで用いた地域メッシュは、分割地域メッシュにおける4分の1地域メッシュ(約250m四方)⁴⁾である。また、風速は、益子が実施した気象解析⁵⁾の結果から、T1821号通過イベント中における地上高10mの最大風速を用いた。この気象解析では土地利用区分によって決定される粗度長によって粗度区分が考慮されている⁷⁾。図2に検討に用いた最大風速の分布を示す。本研究では評価メッシュ範囲内の最大風速は同じ値であることを前提とする。これは、気象解析の分解能が250mで解析を行っているためである。

ここで、住宅の強風被害は住宅の耐力を風荷重が上回ったとき発生すると考えられ、風荷重は風速の二乗に比例することから、説明変数としては最大風速の二乗値を用いた。これらすべての情報を住宅密度の算出に用いたメッシュに集約して整理し、航空機から視認可能な住宅を含むメッシュを解析対象とした。

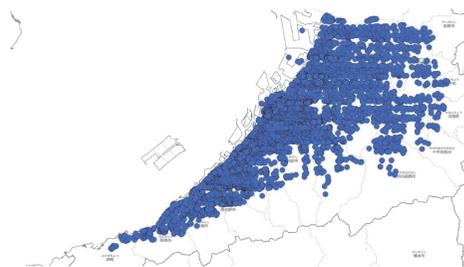


図1 航空調査より得た強風被害分布⁴⁾

Fig. 1 Damaged features obtained by aviation survey

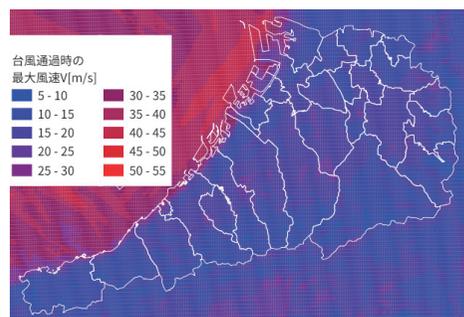


図2 T1821号通過時の最大風速分布

Fig. 2 Distribution of maximum wind speed during passing Typhoon Jebi, 2018

3. 強風被害におけるブルーシート観測の有意性

3. 1 概説

本研究では、強風被害の分析にあたり、航空調査より得たブルーシートをマーカーとする強風被害分布を用いる。先行研究では、T1821号において大阪府南部で観測されたブルーシート数と行政より報告された行政区域別の住宅被害件数の間に直線的な関係があることが明らかにされている⁸⁾。しかし、この研究では航空調査の観測範囲が考慮されていなかったため、ここではブルーシート数を航空調査の観測範囲によって補正し、ブルーシート数と住宅被害件数との関係を検討する。そして、得られた関係から強風被害のマーカーとしてのブルーシートの有意性を確認する。

3. 2 観測範囲を考慮したブルーシート数の補正

T1821号の被害を対象に実施された航空調査では航空機の真下が撮影できておらず、観測できていない部分と被害の無い部分についての判断ができなため、図1に示すブルーシートの分布を基に、図3に示すようなブルーシートが敷設された住宅を包括するポリゴンを作成し、観測範囲とした。図中の実線は飛行経路であり、この飛行経路に沿ってポリゴンを作成した。そして、この観測範囲に含まれる各行政区域内の住宅数に対するブルーシート数の比率が、行政区画全域でも同じであると仮定して、観測範囲内の各行政区域の住宅数 m に対する行政区画全域の住宅数 M の比 M/m を求め、この比をブルーシート数に乗じることで補正を行った。大阪府南部の22の行政区画を対象とする住宅数比および補正前後のブルーシート数は表1のようになった。

3. 3 補正後のブルーシート数と被害住宅件数の関係

各行政区画の補正後のブルーシート数 N_b と被害住宅件数 N_a との関係を図4に示す。ここで、被害住宅件数 N_a は大阪府危機管理室が発表した「台風21号にかかる被害状況等について(第30報)」における一部損壊以上の被害住宅件数を用いた⁹⁾。この図から、貝塚市と泉佐野市に対応する2点(図中▲)を除いて、 N_b と N_a とは直線的な傾向を示すことが確認できる。また、最小二乗法を用いて直線を求めた結果、 $N_a = 1.60N_b$ の関係を得た。そして、発災から時間が経つにつれて住宅が復旧されることでブルーシートの数が減少することが予想されるため、この直線の傾きは発災から観測までの期間に応じて傾きが大きくなるものと推測される。

直線から離れた2点については、貝塚市では同じ敷地内の複数の建物の屋根被害を個別にカウントしてブルーシート数が報告被害件数を上回った可能性があり、一方、泉

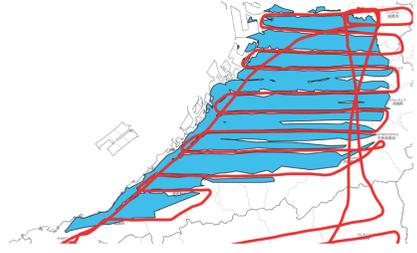


図3 ブルーシート分布より作成したポリゴン⁴⁾
Fig. 3 Polygons created from blue tarp distribution

表1 行政区画ごとの住宅数比と補正前後のブルーシート数

Table 1 Ratio of observed dwellings per administrative block and number of blue tarps

行政区画	住宅数比 M/m	ブルーシート数(件)	
		補正前	補正後
和泉市	1.53	1,183	1,810
泉大津市	1.73	423	732
泉佐野市	1.51	1,435	2,167
大阪狭山市	1.47	113	166
貝塚市	1.45	1,363	1,976
河南町	2.74	22	60
河内長野市	2.27	196	445
岸和田市	1.31	2,213	2,899
熊取町	1.21	385	466
堺市	1.50	2,174	3,261
泉南市	1.50	747	1,121
太子町	6.51	14	91
高石市	1.69	288	487
田尻町	2.73	79	216
忠岡町	1.03	400	412
千早赤阪村	5.22	9	47
富田林市	1.71	188	321
羽曳野市	1.56	99	154
阪南市	1.51	337	509
藤井寺市	1.32	59	78
松原市	1.44	187	269
岬町	3.60	20	72

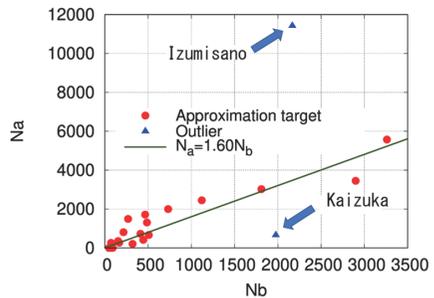


図4 補正ブルーシート数 N_b と被害住宅数 N_a の関係
Fig. 4 Relationship between the number of corrected blue tarps N_b and the number of damaged houses N_a

佐野市では、屋根以外の被害や集合住宅の被害が多く含まれたことでブルーシート数が報告被害件数に比べて少なくなった可能性が考えられるが、本検討ではいずれも検証が困難であるため確認は行っていない。しかし、2点を除いた地域では直線的な傾向が示されており、 N_b と N_a の間に有意な関係があることは明確であるため、ブルーシートの位置情報を屋根被害の位置情報として用いることは特に問題ないと判断できる。

4. 住宅密度・風速二乗値と被害率の関係

4.1 概説

強風被害を分析するにあたって、被害拡大に関係する因子を特定することは被害の拡大メカニズムを理解するためにも重要なことである。本章では単位面積当たりの総住宅数に対する被害住宅数の比を「被害率」として、その値に影響を及ぼすと考えられる住宅の密集度を示す住宅密度および被害の発生要因である風荷重との関係について検討する。なお、観測範囲に完全に含まれる評価メッシュのみを検討の対象とした。

4.2 住宅密度と被害率の関係

住宅の強風被害を検討するにあたって、被害を受けた住宅周辺の環境は非常に重要であり、特に住宅の密集度を表す住宅密度は、飛散物などによる被害の連鎖的な拡大のプロセスにも大きく影響していると考えられる。

各メッシュの住宅密度 γ と被害率 R_d の関係を図5に示す。図中●印は住宅密度 $0.001[1/m^2]$ ごとに被害率 R_d の平均値を求めたものであり、●より伸びるひげ線は平均値を中心とした $\pm 1\sigma$ の範囲である。この図から、 γ が特に低いところで R_d が高くなっているものの、それ以外の部分では γ の変化に対応した R_d の傾向的な変化は見られない。住宅密度の著しく低いメッシュにおける被害率が高い原因については、被害率の分母はそのメッシュ内の住宅数であり、住宅密度が低いメッシュは被害率の分母が小さ

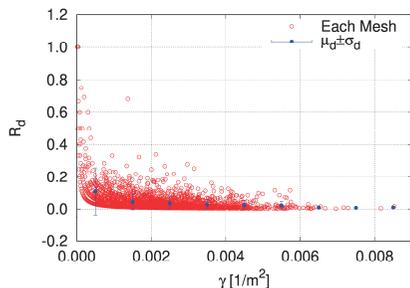


図5 住宅密度 γ と被害率 R_d の関係
Fig. 5 Relationship between housing density γ and damage ratio R_d

いため、被害一棟の重みが大きくなり被害率が高くなったことが考えられる。

4.3 最大風速二乗値と被害率の関係

強風被害の発生条件を、風荷重が住宅の耐力を超えた時と考えると、被害の拡大に風荷重が大きく関係していることが予想される。

ここで、最大風速二乗値 $V^2[(m/s)^2]$ と被害率 R_d の関係を図6に示す。しかしながら、この図から、 V^2 の増加に対応して R_d が傾向的に増加せず、両者の間に明瞭な関係は見られなかった。この結果を踏まえて、 V^2 の変化に対する R_d の傾向を捉える試みとして、各メッシュを最大風速二乗値 $25[(m/s)^2]$ ごとに階級分けし、各階級内のメッシュの住宅数とブルーシート数の関係に直線近似を行って得られた傾きを平均被害率 μ_s として、 V^2 との関係を考察した。図中●印が平均被害率 μ_s を示している。これを見ると、 V^2 の上昇によって僅かに μ_s が上昇しているものの明瞭な関係は得られなかった。また、 μ_s を求めるのに用いたメッシュ内の住宅数とブルーシート数の関係を、一部の V^2 階級を抜粋して図7に示す。ここで、住宅数とブルーシート数をメッシュの面積で除し、それぞれ住宅密度 γ とブルーシート密度 β として表している。この図を見ても、 γ と β の関係は同じ V^2 階級内であってもばらつきが大きく、明確な関係性は確認できなかった。これは他の階級でも同様の結果であった。

4.4 本節のまとめ

以上の検討からわかるように、住宅密度と最大風速二乗値は、被害率との関係ではどちらも明瞭な関係は見いだせなかった。このような結果になった原因として、被害率に含まれる住宅一棟ごとの耐力のばらつきや最大瞬間風速のばらつきの影響が考えられる。メッシュ内に含まれる住宅は一棟ごとに築年数や建築様式、疲労損傷度や経年劣化などの特性によって耐力が異なっている。また、より被害を左右する最大瞬間風速もメッシュ内で広くば

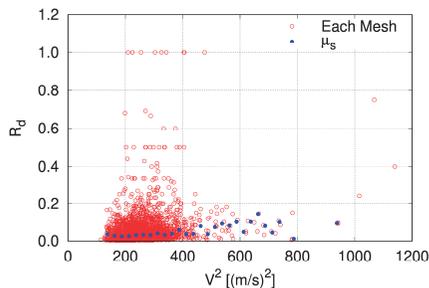


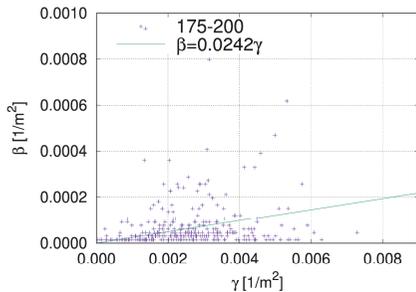
図6 最大風速二乗値 V^2 と被害率 R_d の関係
Fig. 6 Relationship between maximum wind speed squared V^2 and damage ratio R_d

らついていると考えられる。被害率には住宅一棟ごとの耐力や最大瞬間風速が反映されるため、耐力や最大瞬間風速のばらつきを無視して、単純にメッシュ内の被害率を算出したため、明確な関係が得られなかったことが考えられる。この問題を解決するためには被災地域の住宅を一棟ごとにつぶさに調査し、その特性を明らかにする必要があるが、1章でも述べたように台風による強風被害は非常に広範囲に渡るため現実的ではない。したがって住宅の強風被害とそれに影響する因子の関係性を示す別の考え方が必要である。

5. 最弱リンクモデルによる強風被害発生確率モデル

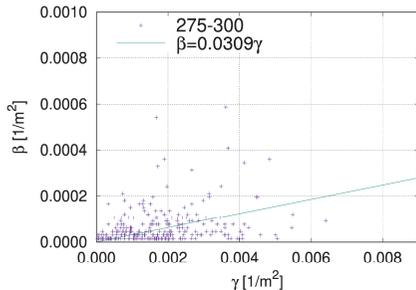
5.1 概説

4章での検討では、住宅密度および最大風速二乗値と被害率の間に明瞭な関係は見られなかった。そこで、本章では被害率による検討に代わる新しい試みとして、一定の市街地エリアにおける住宅の「被害確率」とこれに影響する因子の関係について検討を行う。ここで扱う因子は前章同様に住宅密度と最大風速二乗値である。この検討を行うに当たって本研究では最弱リンクモデルを適用した。このモデルは複数の輪によって構成される鎖における、



(a) 最大風速二乗値 V^2 の階級: 175-200 [(m/s)²]

(a) Class maximum wind speed squared V^2 : 175-200 [(m/s)²]



(b) 最大風速二乗値 V^2 の階級: 275-300 [(m/s)²]

(b) Class maximum wind speed squared V^2 : 275-300 [(m/s)²]

図7 最大風速二乗値 V^2 階級毎の住宅密度 γ とブルーシート密度 β の関係

Fig. 7 Relationship between housing density γ and blue tarp density β within the class maximum wind speed squared V^2

鎖の破壊を定義するモデルである。このモデルに住宅の強風被害をあてはめて、強風被害に影響すると考えられる要因との関係について検討を行った。また、このような検討から最弱リンクモデルを基にしたワイブル分布を用いた被害確率のモデル化を提案する。前章同様に、本章においても観測範囲に完全に含まれる評価メッシュを検討の対象とした。

5.2 強風被害への最弱リンクモデルの適用

最弱リンクモデルは複数の輪によって構成される1本の鎖に引張荷重 x が作用する状況において、鎖を構成する輪が1個でも破壊した時、鎖全体が破壊したと定義するモデルで、この鎖の破壊確率を表す最もシンプルな形がワイブル分布と呼ばれる確率モデルである¹⁰。最弱リンクモデルでは、各輪の中に生じる応力が輪の材料強度を上回ることで鎖が破壊する。この各輪に生じる応力と、輪の材料強度にばらつきがあるため、鎖の輪の破壊荷重にはばらつきが生じることになる。

ここで、強風によって注目するメッシュ内の住宅が破壊されることを考える時、引張荷重 x によって鎖の輪内部に生じた応力のばらつきは、メッシュ内の住宅の位置や向き等による風荷重のばらつきに対応し、鎖を構成する各輪の材料強度のばらつきは、住宅の建築時期や劣化状況の差によって生じる耐力のばらつきに対応すると考えることができる。このことから、最弱リンクモデルにおける鎖の輪の破壊荷重のばらつきは、強風被害におけるメッシュ内の住宅の破壊荷重のばらつきと同様であると解釈できる。このように解釈すると、一本の鎖とそれを構成する輪は、メッシュ内の住宅集団とそれを構成する住宅に対応し、鎖に生じる応力の元となる引張荷重 x は、注目するメッシュ内の住宅に働く風荷重の元となるメッシュの代表風速に対応すると考えられ、鎖の破壊確率は一定範囲内の住宅が1棟以上被害を受ける確率に相当する。

以上のような対応関係のもと、最弱リンクモデルを強風被害に適用した。最弱リンクモデルの概念を住宅とメッシュの関係に適用した場合、メッシュ内に存在する住宅に1棟以上ブルーシートが確認されれば、注目するメッシュを被害メッシュと定義することができる。これは前述した鎖の破壊条件と同義である。本研究では風荷重を最大風速二乗値 V^2 で、住宅数を住宅密度 γ として検討を行い、ワイブル分布を住宅の累積被害頻度へ適用した。ここでワイブル分布の累積分布関数は以下の式で与えられる。

$$F(x) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{x - X_{\min}}{X_0} \right)^m \right\} \quad (1)$$

この時、関数内の X_{\min} 、 X_0 、 m は、それぞれ分布の位置、広

がり、形状を決定するパラメータである。

5. 3 被害確率モデルの検討

被害頻度を算出するにあたって、被害を1棟以上含むメッシュ数 M_d と総メッシュ数 M をカウントする必要がある。この時、ある最大風速二乗値階級 V_i^2 より低い値で被害が確認されたメッシュは V_i^2 発生時、当然被害が確認されることが考えられる。そのため、ある V_i^2 発生時の被害頻度は V_i^2 よりも低い値で被害が確認されたメッシュも含めた累積の形で表す必要がある。このことから、大阪府南部の全対象メッシュについて、住宅密度 γ_j によって $0.001[1/m^2]$ 毎に階級分けし、階級内において値の低い順に並べた最大風速二乗値階級 $V_n^2[(m/s)^2]$ 発生時の累積被害頻度 $P_d(V_n^2, \gamma_j)$ を次式で定義した。

$$P_d(V_n^2, \gamma_j) = \sum_{i=1}^n \frac{M_d(V_i^2, \gamma_j)}{M(\gamma_j)} \quad (2)$$

この式を用いて P_d を求めたところ、各 γ_j 階級の P_d は累積被害頻度の上限である1に収束しなかった。この原因はメッシュのサンプル数不足や発災から観測までの期間の影響が考えられる。サンプル数の不足については、 V_n^2 が大きくなるにつれて P_d が一定になっていることから、今回は当てはまらない。したがって、発災から観測までの期間における住宅復旧によるブルーシートの減少が P_d の値に影響したものと考えられる。1に収束するワイブル分布の累積分布関数を P_d に適用するため、ここでは倍率 A を式(1)に乗じた。 A を乗じることで観測までの期間の影響を含めた上での近似計算の結果を、図8に示す。この図から、 P_d が A を乗じたワイブル分布に良く沿うことが分かる。また、近似計算より得た各ワイブルパラメータは、図9に示すように住宅密度 γ の変化に対して連続的に変化する結果を得た。この関係を用いて、各パラメータについて住宅密度を説明変数とする適当な関数で近似した結果、次

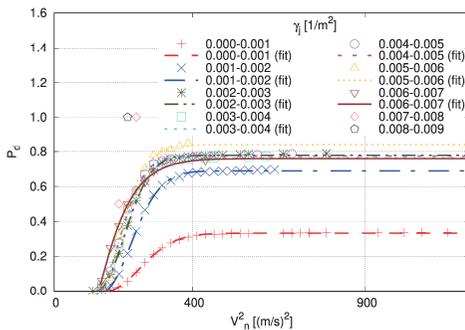


図8 住宅密度 γ 毎の累積被害頻度 P_d

Fig. 8 Cumulative damage frequency P_d for each housing density γ

式を得た。

$$X_{\min} = 132 \quad (3)$$

$$X_0(\gamma) = 140 \exp(-90.7\gamma) \quad (4)$$

$$m(\gamma) = 2.20 \exp(-62.8\gamma) \quad (5)$$

$$A(\gamma) = 0.797\{1 - \exp(-1200\gamma)\} \quad (6)$$

これらの関数をワイブル分布に組み込んで求めた推定被害確率 $p(V_n^2, \gamma_j)$ は図10のようになった。図中の×印は図8に示した P_d である。 P_d と p の対応関係は図11のようになり、概ね一対一となることが分かった。また、相関係数は0.976であったことから、この被害確率モデルは適切であると

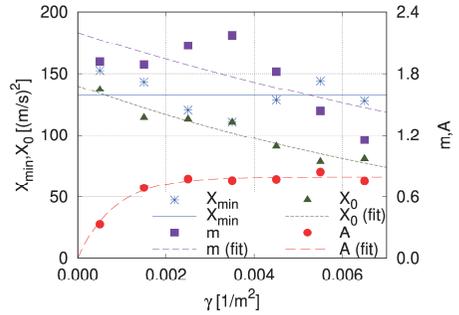


図9 住宅密度 γ と各パラメータの関係

Fig. 9 Relationship between housing density γ and Weibull parameters

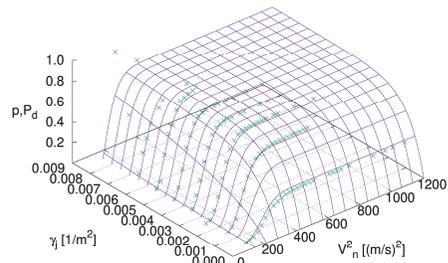


図10 ワイブル分布による被害確率 p

Fig. 10 Damage probability p model using Weibull distribution

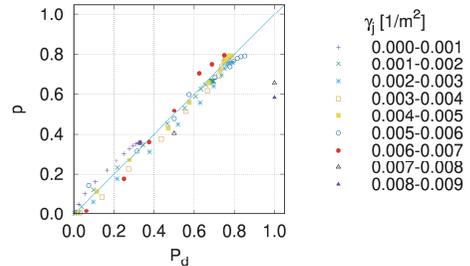


図11 累積被害頻度 P_d と推定被害確率 p の関係

Fig. 11 Relationship between cumulative damage frequency P_d and estimation damage probability p

判断できる。

5. 4 被害確率モデルによる階級ごとの被害頻度推定

前節で提案したモデルから、ある V_i^2 、 γ_i の階級内の被害頻度を推定して実際の被害頻度と比較し、提案するモデルの有用性について示す。

前節で得た各ワイブルパラメータをワイブル分布の確率密度関数に代入し、 A を乗じて γ_i 階級内を母集団とする各 V_i^2 の推定被害頻度の確率密度を求めた。ここで、ワイブル分布の確率密度関数は以下の式によって与えられる。

$$f(x) = \frac{m}{X_0} \left(\frac{x - X_{\min}}{X_0} \right)^{m-1} \exp \left\{ - \left(\frac{x - X_{\min}}{X_0} \right)^m \right\} \quad (7)$$

また、求めた値に γ_i 内の総メッシュ数 $M(\gamma_i)$ を乗じることで V_i^2 の階級幅当たりの被害メッシュ数に換算し、総メッシュ数 M と γ_i の階級幅で除することにより、対象メッシュ全体を母集団とする各 V_i^2 、 γ_i の階級内における推定被害頻度の確率密度 $pd(V_i^2, \gamma_i)$ とした。結果を図12(a)に示す。さらに、図12(b)に実際のデータから得た発現頻度 $OF(V_i^2, \gamma_i)$ を示す。これらの値の関係は図13に示すようになり、両者は概ね一対一の値を示す強い相関が認められ、相関係数は0.956となった。

このことから、提案するモデルは各最大風速二乗値および住宅密度階級内の被害頻度を良く再現できていることが示され、台風における住宅の強風被害の被害頻度の推定において、このモデルは有用であると言える。

5. 5 推定被害確率と被害メッシュ分布の関係

本節では提案するモデルを用いて算出した各メッシュの p と被害メッシュの分布を比較し、モデルによる被害メッシュ分布の再現性について検討する。

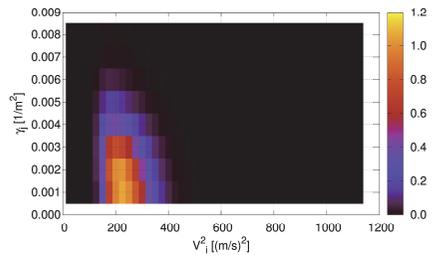
図14および図15に被害確率モデルを用いてメッシュごとに住宅密度および最大風速二乗値を与えて求めた推定被害確率 p と被害の有無を示す。これらの図では、 p の高低とメッシュの被害の有無が概ね対応しており、被害のある所では p が高く、被害のない所では p が低い傾向がみられた。また、メッシュを p で0.05ごとに階級分けした時の、階級内における被害を含むメッシュの割合 R_m について図16に示す。この図から、 p が高いメッシュ集団では被害を含むメッシュの割合が高くなり、 p が低いメッシュ集団では被害を含まないメッシュの割合が高くなっていることが確認できる。このことから今回検討した被害確率モデルは実際の被害の有無を概ね再現できることがわかった。

6. まとめ

本研究では、平成30年台風21号 (T1821号) における被

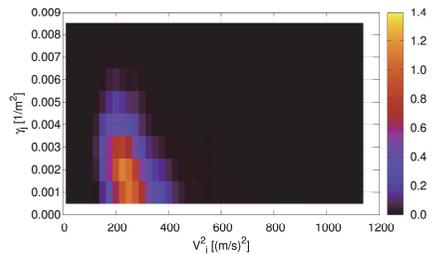
災地域である大阪府南部の強風被害分布を用いて、住宅密度および風速二乗値と被害率の関係を検討するとともに、最弱リンクモデルを適用した強風被害の発生確率モデルについての検討を行った。その前段階として、観測範囲を考慮して補正を施したブルーシート数と住宅被害件数の関係を検討したところ、両者は直線的な関係があることが確認できた。このことから、住宅への強風被害の抽出において、ブルーシートをマーカーとすることは適切であることが確認できた。

また、ブルーシートをマーカーとする強風被害分布情報を基に、大阪府南部の250mメッシュにおける被害率と住宅密度および最大風速二乗値との関係を検討したが、



(a) 推定確率密度 pd

(a) Estimated probability density pd



(b) データより求めた発現頻度 OF

(b) Observed occurrence frequency OF

図12 推定確率密度 pd とデータより求めた発現頻度 OF
Fig. 12 Estimated probability density pd and observed occurrence frequency OF

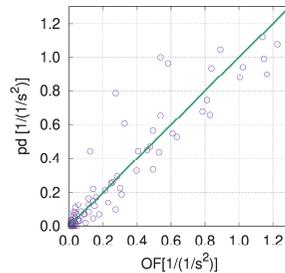


図13 データより求めた発現頻度 OF と

推定確率密度 pd の比較

Fig. 13 Comparison of observed occurrence frequency OF and Estimated probability density pd

どちらも被害率との明瞭な関係は得られなかった。これは被害率に含まれる住宅一棟ごとの耐力や最大瞬間風速のばらつきが影響したと考えられる。

そこで、被害確率に着目し、メッシュ内の個別の住宅の耐力および最大風速に対する最大瞬間風速の偏差をばらつきを有する量として取り扱い、最弱リンクモデルに基づく被害確率モデルの検討をした結果、累積被害頻度がワイブル分布に沿う結果を示し、近似計算より得た各パラメータが住宅密度によって連続的に変化する傾向にあることが分かった。この関係を用いたワイブル分布による被害確率モデルは、実際の累積被害頻度と概ね一致する結果を得た。さらに、この被害確率モデルから被害頻度の確率密度の推定を行い、実際のデータを用いて算出し

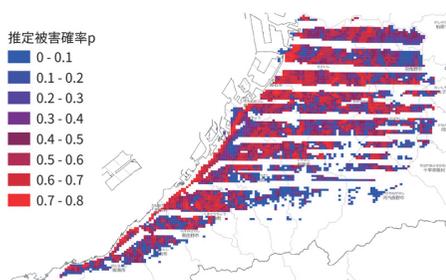


図14 各メッシュの推定被害確率 p ⁴⁾

Fig. 14 Estimation damage probability p for each mesh

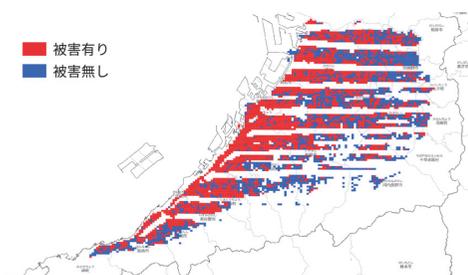


図15 各メッシュの被害の有無⁴⁾

Fig. 15 Mesh with damaged and non damaged

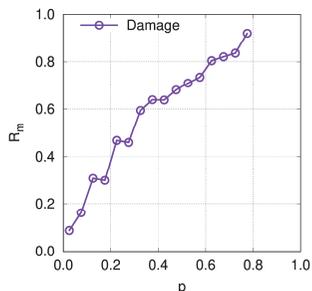


図16 推定被害確率 p 毎の被害メッシュの比率 R_m

Fig. 16 Ratio of numbers of meshes with damage R_m in each class of estimation damage probability p

た発現頻度との関係を検討した結果、両者の値が概ね一対一の関係を示した。これは、台風による強風被害の被害頻度推定においてこのモデルが有用であることを示している。そして、メッシュごとに推定被害確率を算出し、実際の被害メッシュの分布との関係について検討した結果、この被害確率モデルはメッシュ内における実際の強風被害の有無を概ね再現できることが示された。以上の結果から今回提案する被害確率モデルは台風による強風被害を推定するにあたって十分適用できると判断する。

本研究で提案した被害確率モデルを活用し被害予測を行うにあたって、気象解析による台風通過イベント時の最大風速と住宅の位置情報は必要不可欠である。今回、最大風速の二乗値による被害確率がワイブル分布に沿うことが分かり、被害予測における気象解析の重要性をより高めていく必要があることが確認された。

今回求めた各ワイブルパラメータについて、住宅密度との関係を理論的に説明するまでには至っていないが、現時点では飛散物による影響が考えられ、住宅密度階級の上昇によるワイブル分布の広がりや形状を決定するパラメータの低下はこの影響によるものと思われる。また、最大収束値については発災から被害観測までの時間経過が強く影響していると考えられる。観測までの期間の影響が強いことを考慮すると、ブルーシート数と被害住宅数を用いて求めた直線の傾きによって、時間経過の影響を補正できる可能性がある。さらにこれらのパラメータは検討する地域の住宅特性によっても変化することが考えられるため、異なる地域の特性を考慮し、一般化していく必要がある。

今後は、各ワイブルパラメータと住宅密度の関係性について詳細な検討を行い、より正確な被害確率モデルの構築を目指す。また、将来的には台風接近時に、気象モデルによる精度よく短時間で得られる最大風速と住宅の位置情報を用いた、被害確率予測システムの確立を実現したい。

謝辞

本研究の遂行にあたり、東京大学 CSIS 共同研究 No.608 (Zmap TOWN II (2016 年度 Shape 版)「大阪府および和歌山県 データセット」提供) の助成を受けた。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 総務省消防庁応急対策室、「平成30年度台風21号による被害及び消防機関等の対応状況 (第10報)」,

- <https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/40fa100bdc7b7db0e896733faa88c208d8b032ee.pdf>, (2021/12)
- 2) 野田 稔, 友清 衣利子, 竹内 崇, 「航空調査で明らかになったT1821号による大阪府南部の住宅被害分布」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019, pp. 155-156, (2019)
 - 3) 西嶋 一欽, 河野 祐哉, 竹内 崇, 友清 衣利子, 野田 博, 「2018年台風21号襲来前後に撮影された衛星写真の比較に基づく住宅の屋根被害率推定」, 平成30年度科学研究費助成事業(特別研究促進費研究)「平成30年台風21号による強風・高潮災害の総合研究」, 成果報告会資料, pp. 4-1-4-5, (2019)
 - 4) 国土地理院, 「地理院タイル一覧」, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, (2021/6)
 - 5) 政府統計の総合窓口(e-Stat), <http://www.e-stat.go.jp/>, (2021/6)
 - 6) 益子 渉, 「令和元年房総半島台風に伴う強風の特徴」, 2020年度日本気象学会秋季大会講演予稿集, 第118号, p. 236, (2020)
 - 7) 青柳 暁典, 清野 直子, 「メソ数値予報モデルと都市」, 気象研究ノート第224号, pp.273-301, (2012)
 - 8) 野田 稔, 友清 衣利子, 竹内 崇, 「大阪府南部・和歌山県北部におけるT1821号による強風被害の航空調査」, 2019年度日本風工学会年次研究発表会梗概集, pp. 105-106, (2019)
 - 9) 大阪府危機管理室, 「台風21号にかかる被害状況等について (第30報)」, (2018)
 - 10) Waloddi Weibull, “A Statistical Distribution Function of Wide Applicability”, Journal of Applied Mechanics, Vol. 18, pp. 293-297, (1951)