

## 2重ワイブル分布式を用いた台風による強風建物被害確率モデルの構築

高知大学大学院（研究当時） 非会員 尾田 春雄 高知大学 正会員 ○野田 稔

### 1. はじめに

防災・減災の観点から、一般市民に正確でわかりやすい災害情報を提供することは、人的被害を最小限に抑えるにあたって非常に重要な事である。以前、著者らは最弱リンクモデルを基にした台風による一定範囲における建物の強風被害発生確率を推定するモデルを提案した<sup>1,2)</sup>。このモデルは、台風発生時の風速情報と被災予想地域の建物情報から、その場所の建物の強風による被害確率を推定するものである。本研究では、平成30年台風21号（以降、T1821号）のWRFモデルによる気象解析の結果<sup>3)</sup>を基に、2重ワイブル分布式を用いて被害確率モデルの構築を行い、モデルによる推定値とデータから求めた累積被害頻度との関係を検討する。

### 2. データの概要

被害確率モデルの構築にあたって、全ての情報はGISソフト上で平面直角座標系に投影した。対象地域はT1821号の被災地域となった大阪府南部である。被害の分布情報は、ブルーシートを目視で抽出して位置を特定した。また、被害確率の評価のため、航空調査の対象範囲を約250m間隔の直交格子上のメッシュで覆った。建物情報はゼンリンの地物データから建物ポリゴンを用いた。この建物ポリゴンから、各評価メッシュの面積に対する建物面積の比として、建築面積率を求めた。そして、最大風速二乗値については、前述の気象解析<sup>3)</sup>によって得られた地上高10mにおける最大風速より算出した。この気象解析は分解能が900mであったため、線形補完を用いて評価メッシュの図心位置における値を求めた。これらの情報を用いて、評価メッシュごとの被害の有無や建築面積率、最大風速二乗値について解析を行った。

### 3. 強風被害への最弱リンクモデルの適用

本研究で構築する被害確率モデルは、台風による建物の強風被害と最弱リンクモデルの類似点から着想を得たものである。最弱リンクモデルは複数の輪によって構成された鎖が力を受けた時、鎖を構成する輪が1個でも破壊すれば、鎖全体が破壊したと定義するモデルである。この鎖の破壊確率を表した最も単純な確率モデルが、ワイブル分布であり、確率変数 $x$ に対するワイブル分布の累積分布関数 $F(x)$ は以下の式で与えられる。

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

ここで、式中の $X_{\min}$ ,  $X_0$ ,  $m$ 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。最弱リンクモデルを建物の強風被害に適用すると、鎖が引張荷重によって破壊した時に各輪に生じる内部応力と材料強度のばらつきが、一定範囲内の建物が強風により被害を受けた時に各建物に生じる風荷重と耐力のばらつきと同義であると言える。その結果、鎖の破壊荷重のばらつきと建物の破壊荷重のばらつきが等価であると言えるため、鎖の輪1つがメッシュ内の建物1棟と等しく、 $n$ 個の輪を持つ鎖1本が建物 $n$ 棟を内包するメッシュ1個と等しいとして、ワイブル分布を用いた建物の被害確率のモデル化を行った。

### 4. ワイブル分布による被害確率モデル

建物の強風被害に最弱リンクモデルを適用し、全対象メッシュについて建物面積率 $\varepsilon$ で0.05毎に階級分けし、 $\varepsilon$ 階級内の $n$ 番目の最大風速二乗値 $V_n^2$ による累積被害頻度 $P_d(V_n^2, \varepsilon)$ を次式で求めた。

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

ここで、 $M_b$ ,  $M$ は被害が1棟以上確認されたメッシュ数と総メッシュ数である。式(2)から求めた $P_d$ を図1中の各シンボルで示す。この図から、 $P_d$ の分布形状に特徴的な段差形状が見られることが分かった。このような段差形状を持つ $P_d$ をワイブル分布でモデル化するため、本検討では以下に示す2つのワイブル分布を合成した2重ワイブル分布式を用いた。ここでは $P_d$ 分布の段差形状における1段目を第1ピーク、2段目を第2ピークと呼称する。

$$F(x) = A \left[ a \left( 1 - \exp \left\{ - \left( \frac{x - X_{\min_1}^2}{X_{0_1}^2} \right)^{m_1} \right\} \right) + (1 - a) \left( 1 - \exp \left\{ - \left( \frac{x - X_{\min_2}^2}{X_{0_2}^2} \right)^{m_2} \right\} \right) \right] \quad (3)$$

式中 $A$ は、1に収束しない $P_d$ に1に収束するワイブル分布を適用するために設定した全体の収束値を決定するパラメータであり、 $a$ は第1ピークの割合を決定するパラメータである。式(3)と $P_d$ の近似計算の結果を図1中に実線および破線で示す。この結果から、2重ワイブル分布式は段差形状を持つ $P_d$ と良く一致することが分かった。また、近似計算から得た各パラメータを図2, 3に各シンボルで示す。これらのパラメータについて、 $\varepsilon$ を説明変数として関数化した結果、以下の式を得た。

$$X_{\min_1}(\varepsilon) = 27.1 \exp(-0.529\varepsilon) \quad (4)$$

$$X_{0_1}(\varepsilon) = 12.0 \exp(0.923\varepsilon) \quad (5)$$

$$m_1(\varepsilon) = 0.749 \exp(4.25\varepsilon) \quad (6)$$

$$X_{\min_2}(\varepsilon) = 23.3 \exp(0.394\varepsilon) \quad (7)$$

$$X_{0_2}(\varepsilon) = 25.5 \exp(-0.226\varepsilon) \quad (8)$$

$$m_2(\varepsilon) = 4.77 \exp(-0.514\varepsilon) \quad (9)$$

$$A(\varepsilon) = 0.883 \{1 - \exp(-6.72\varepsilon)\} \quad (10)$$

$$a(\varepsilon) = 1 - \exp(-2.50\varepsilon) \quad (11)$$

関数化したパラメータを2重ワイブル分布式に代入して被害確率モデルを構築し、データから求めた $P_d$ とモデルによる推定被害確率 $p$ を比較した結果、図4のようになった。この結果から、 $P_d$ と $p$ とが概ね一対一の関係であることが確認できた。

## 5. まとめ

本研究では、2重ワイブル分布式を用いて被害確率モデルを構築し、T1821号の被災地域である大阪府南部において実際の被害確率とモデルによる推定値の関係を検討し、モデルによる推定値は実際の累積被害頻度と概ね一致する結果を得た。今後は、累積被害頻度を持つ段差形状の発生要因として建物の築年数等に注目して検討を重ねて、台風発生時の建物の強風被害予測システムの実現を目指す。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、科研費(19H02410)および高知大学防災推進センタープロジェクト研究経費の支援を受けた。また、竹見哲也氏(京都大学)にT1821号のWRFモデル気象解析の結果を提供頂いた。さらに、東京大学CSIS共同研究No.1112(Zmap TOWN II(2016年度 Shape版)「大阪府データセット」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) 尾田 春雄, 益子 渉, 友清 衣利子, 野田 稔, 「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」, 日本風工学会論文集, Vol. 47, 2号, pp. 18-26, 2022
- 2) 尾田 春雄, 益子 渉, 野田 稔, 「建物ポリゴン情報の導入によるワイブル分布を用いた台風の建物被害確率モデルの精度改善」, 風工学研究論文集, Vol. 27 pp. 109-117, 2022.
- 3) Tetsuya Takemi, Toshiya Yoshida, Shota Yamasaki, and Kentaro Hase, "Quantitative Estimation of Strong Winds in an Urban District during Typhoon Jebi (2018) by Merging Mesoscale Meteorological and Large-Eddy Simulations", SOLA, Vol. 15, pp. 22-27, 2019.

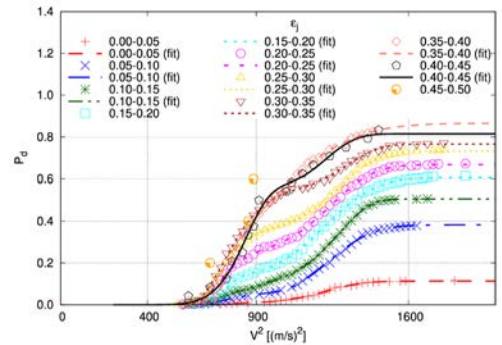


図1  $\varepsilon$ 階級毎の最大風速二乗値 $V^2$ における被害確率 $P_d$

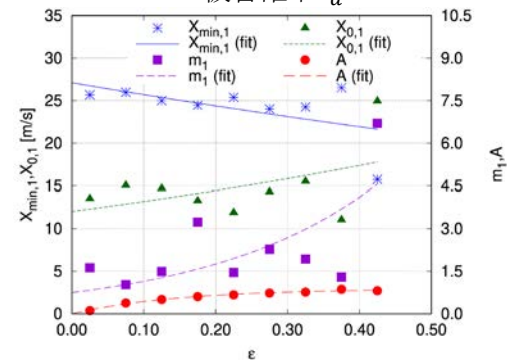


図2 建築面積率 $\varepsilon$ と各パラメータの関係(第1ピーク)

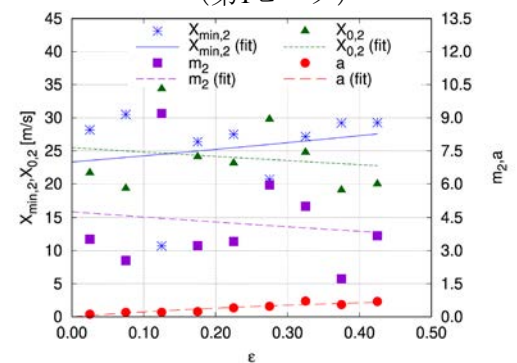


図3 建築面積率 $\varepsilon$ と各パラメータの関係(第2ピーク)

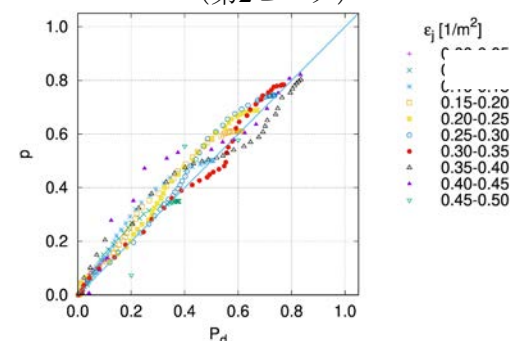


図4 累積被害頻度 $P_d$ と推定被害確率 $p$ の関係