

2重ワイブル分布式による建物の強風被害発生確率モデルの適用

高知大学大学院 学生会員 ○尾田 春雄
徳島大学 正会員 野田 稔

1. はじめに

防災・減災の観点において、市民により分かりやすく災害情報を提供することは、人的被害を最小限に抑えるために重要な役割を担う。以前、著者らは最弱リンクモデルの概念を基に、台風発生時の風速と被災予想地域の建物情報から、その場所の建物の被害確率を推定するモデルを提案した^{1,2)}。本検討では、平成30年台風21号(以降T1821号)における大阪府南部での被害情報を基に構築した2重ワイブル分布式による被害確率モデルを用い、令和元年房総半島台風(以降T1915号)での千葉県内房の被害確率を推定し、本モデルの他台風への適用性について検討する。

2. 解析概要

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。解析対象地域は大阪府南部と千葉県内房である。被害の分布情報は、ブルーシートを目視で抽出し、位置を特定した。また、被害確率の評価のため、対象地域を一辺約250m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、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 ε を算出した。そして、最大風速二乗値 V^2 については、T1821号およびT1915号通過時の気象解析³⁾によって得られた地上高10mにおける最大風速 V 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。これらの情報から、評価メッシュごとの被害の有無や ε 、 V^2 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

これまでに提案したモデルは、台風による建物の強風被害に最弱リンクモデルに基づいてワイブル分布を適用する。最弱リンクモデルは複数の輪が構成する鎖の破壊条件を、鎖内の輪が1個でも破壊した時として、その破壊確率をワイブル分布と呼ばれる確率モデルで示したものである。この考え方を台風による建物の強風被害に適用する際、両者の関係を考えると、鎖が引張荷重を受けた時の各輪の材料強度と作用する応力のばらつきが一定範囲内の建物群が強風を受けた時の各建物の耐力と作用する風荷重のばらつきに等しいと言える。このことから、鎖の破壊荷重のばらつきと建物群の破壊荷重のばらつきが同じであると考えられるため、鎖の輪1個が建物1棟に等しく複数の輪で構成された鎖が、複数の建物を内包するメッシュと等価であると考えられる。したがって、前述した鎖の破壊の定義と、建物群を内包するメッシュにおいて1棟でも建物被害が確認されたメッシュを被害メッシュであると定義することは同等と考えられる。以上の対応関係から、台風による建物の強風被害に最弱リンクモデルを適用した。

4. 被害確率モデルの構築

前述した対応関係を基に、ワイブル分布を用いて台風による建物の被害確率をモデル化する。はじめに、評価メッシュを ε で0.05ごとに階級分けし、階級内の n 番目の V_n^2 による累積被害頻度 $P_d(V_n^2, \varepsilon)$ を以下の式で求めた。

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

ここで、 M_d 、 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。また、式(1)から求めた P_d の分布に特徴的な段差形状が確認できたため、 P_d をモデル化するにあたって次式に示すような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、 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ピークと呼ぶ。

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

ここで、式中の $X_{\min}$ 、 X_0 、 m は、それぞれ分布の位置、広がり、形状を決定し、 A は全体の収束値、 a は第1ピークの割合を決定するパラメータである。

キーワード 最弱リンクモデル ワイブル分布 被害確率 台風1821号 台風1915号

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町2-1 徳島大学理工学部 TEL088-656-7323

次に、式(2)と P_d の近似計算から得た各パラメータを ε を説明変数として関数化した結果、次式を得た。

$$X_{min_1}(\varepsilon) = 25.4 \exp(-0.045\varepsilon) \quad (3) \quad X_{min_2}(\varepsilon) = 23.9 \exp(0.228\varepsilon) \quad (7)$$

$$X_{0_1}(\varepsilon) = 14.5 \exp(0.300\varepsilon) \quad (4) \quad X_{0_2}(\varepsilon) = 24.8 \exp(-0.051\varepsilon) \quad (8)$$

$$m_1(\varepsilon) = 1.68 \exp(0.324\varepsilon) \quad (5) \quad m_2(\varepsilon) = 4.73 \exp(-0.455\varepsilon) \quad (9)$$

$$A(\varepsilon) = 0.902\{1 - \exp(-6.44\varepsilon)\} \quad (6) \quad a(\varepsilon) = 1 - \exp(-2.44\varepsilon) \quad (10)$$

これらの式を式(2)に代入することで被害確率モデルを構築し、 P_d とモデルによる推定被害確率 p の関係を調べた結果、図1のようになり、 P_d と p が概ね一对一の直線的な関係にあることが確認された。

5. 被害確率モデルによる被害確率推定

前節で構築した被害確率モデルを用いて、T1915号通過時の千葉県内房の ε と V^2 からメッシュごとの p を求めた。千葉県における p の分布を図2に示す。ここで、大阪の被害と千葉の被害では発災から被害調査の実施までの期間に差があるため、この差を補正する試みとして図3に示した p を式(6)に示す A の収束値 0.902で除した。補正した p によって階級分けし、階級内の被害メッシュの割合 R_m を調べた結果を図3に示す。図中○印が p を0.05幅で等間隔に階級分けした結果で、 p 階級が高くなると R_m が直線的に増加する傾向が確認された。これは本モデルが被害の傾向を捉えられている結果であると言える。また、 p が増加すると R_m の値にばらつきが見られることから、このばらつきを解消するため、 p 階級内を当サンプル数に階級分けし、 R_m を求めた結果を図中に実線で示した。この検討により、 R_m のばらつきを抑える事ができた。以上の検討から、本研究で構築したモデルは他台風にも適用可能であると言える。

6. まとめ

本研究では、T1821号における大阪府南部での被害情報を基に構築した2重ワイブル分布式による被害確率モデルを用いて、T1915号における千葉県内房での被害確率を推定し、本モデルを今後活用する際、他台風についても適用可能であるか検討した。結果として、本モデルから求めた推定被害確率の値が大きくなるほど、被害を受けたメッシュの割合が増えることから、このモデルは他台風についても適用可能であることが確認された。今後さらに検討を重ねることで、本モデルを使用した被害確率予測システムの構築を目指す。

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)「大阪府および千葉県 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) 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.

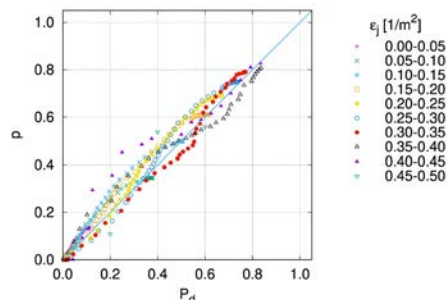


図1 累積被害頻度 P_d と推定被害確率 p の関係

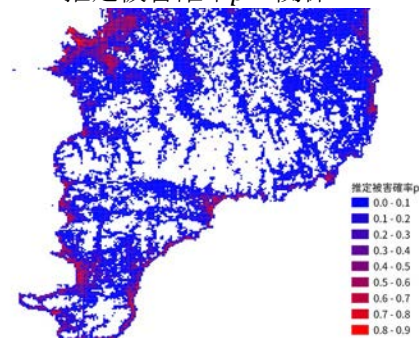


図2 被害確率モデルより求めた推定被害確率 p

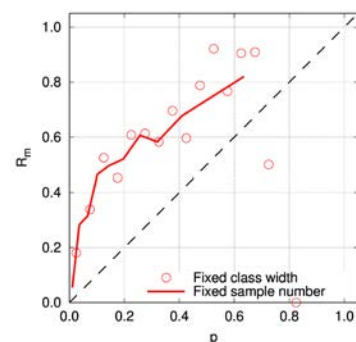


図3 推定被害確率 p と被害メッシュの割合 R_m の関係