

最弱リンクモデルを適用した台風による建物屋根の被害確率モデルの検討

高知大学大学院 学生会員 ○尾田 春雄 高知大学 正会員 野田 稔

1. はじめに

2018年に日本に上陸した台風21号(以後T1821号)は、建物を中心に甚大な被害を及ぼした記憶に新しい強風災害である。強風被害を受けた経験や知識をこれからの減災・防災に活用するために、著者らはT1821号の発災2ヶ月後に実施された航空調査¹⁾によって明らかになったブルーシートをマーカーとする被害の分布情報を基に、最弱リンクモデルを適用した強風による建物の被害発生確率モデルを提案した²⁾。このモデルでは、被災地域をメッシュ状の格子で分けし、各メッシュを最大風速二乗値とメッシュ内の建物数をメッシュ面積で除した住宅密度によって整理することで、一定範囲内の強風による建物屋根の被害発生確率をワイブル分布で表せることを示した。

本研究では、メッシュ内の建物状況をより詳細に考慮する試みとして、住宅密度に代えてメッシュ内の建物面積をメッシュ面積で除した建物面積率を用いてモデルを作成し、被害確率との関係を検討した。

2. データの概要

被害確率モデルの作成において、すべての情報はGISソフト上で平面直角座標系に投影した。また、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、建物情報はゼンリンの地物データを用いた。最大風速二乗値については、引用文献³と同じ手法で益子³が実施したT1821号通過時の気象解析によって得た最大風速より算出した。これらの情報を、被災地域を分割した約250m間隔の直交格子状のメッシュごとに整理し、視認可能な範囲における建物を含むメッシュを検討対象とした。

3. 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た鎖が張力を受けた際、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みなすモデルである。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、その累積分布関数は以下の式で与えられる。

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x - x_{\min}}{x_0}\right)^m\right\} \quad (1)$$

ここで、関数内の x_{\min} , x_0 , m は分布の位置、広がり、形状を決め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にあたって、両者の対応関係を検討すると、鎖が引張荷重によって破壊した際の各輪の材料強度と生じた応力のばらつきは、一定範囲内の建物群において強風による被害が生じた際の各建物の耐力と生じた風荷重のばらつきに等しいと考えられる。このように考えると、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等価であると言えることから、鎖の輪1つが建物群内の建物1棟に等しく、複数の輪で構成される鎖1本が複数の建物で構成された建物群を有するメッシュ1つに等しいとすることができる。その結果、前述した鎖の破壊条件と、メッシュ内において1棟でも建物被害が確認された時、そのメッシュを被害メッシュであると定義することは同義であり、建物の強風被害に最弱リンクモデルは適用可能であると言える。

4. ワイブル分布による被害確率モデル

前章での検討に基づいて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 ε で0.05毎に階級分けし、 ε 階級内の最大風速二乗値 V^2 による累積被害確率 $P_d(V^2, \varepsilon)$ を次式で求めて、ワイブル分布との関係を検討した。

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

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り、また、被害確率を累積する形で表現したのは、ある V^2 を対象とした時、その V^2 より低い値で被害が発生したメッシュも、対象とした V^2 で当然

被害が発生すると考えられるためである。この時、各 ε 階級の P_d は1に収束しなかったため、式(1)に倍率 A を乗じて近似計算を行った結果、図1のようになった。この図から P_d はワイブル分布によく沿うことが確認できた。また、 ε 階級値と近似計算により得た各パラメータの関係を見ると、図2のようになり、 ε 階級の変化に伴って各パラメータが連続的に変化する傾向が見られた。また、過去行った検討²⁾と比較すると、 x_{\min} の減少傾向が確認された。これは、被害が発生し始める V^2 が建物の密集度が高まるに従って低くなることを示しており、 ε を用いたことでメッシュ内の建物の密集状況をより詳細に検討できた結果と言える。さらに、近似計算より得られた各パラメータの傾向から、 ε を説明変数とする関数で近似した結果、次式を得た。

$$x_{\min}(\varepsilon) = 184 \exp(-1.28\varepsilon) \quad (3)$$

$$x_0(\varepsilon) = 118 \exp(-0.322\varepsilon) \quad (4)$$

$$m(\varepsilon) = 1.88 \exp(-0.244\varepsilon) \quad (5)$$

$$A(\varepsilon) = 0.867\{1 - \exp(-6.86\varepsilon)\} \quad (6)$$

これらの式を、倍率 A を含めた式(1)に代入し、推定被害確率 $p(V^2, \varepsilon)$ を求めた結果、図3を得た。図中の×印は式(2)で求めた P_d である。 P_d と p の関係を見ると図4のようになり、概ね一対一になる結果を得た。

5. まとめ

本研究では、T1821号による大阪府南部の強風被害分布を用いて最弱リンクモデルに基づく被害確率モデルを構築し、実際の被害確率との関係を検討した。結果として、建築面積率を用いることで被害が発生し始める最大風速二乗値の傾向に変化が見られた。また、実際の被害確率とモデルによる推定値が良く一致することが確認できた。今後、さらに検討を重ね、より詳細で一般性のあるモデルを作成し、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)の支援を受けた。また、益子渉氏(気象研究所)にT1821号通過時の気象解析の結果を提供頂いた。そして、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。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) 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」, 日本風工学会2019年度年次研究発表会概要集, pp.105-106, 2019.
- 2) 尾田 春雄, 益子 渉, 友清 衣利子, 野田 稔, 「平成30年台風21号における強風被害発生確率モデルの提案」, 2021年度日本風工学会年次研究発表会梗概集, pp.139-140, 2021.
- 3) 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, 2020.

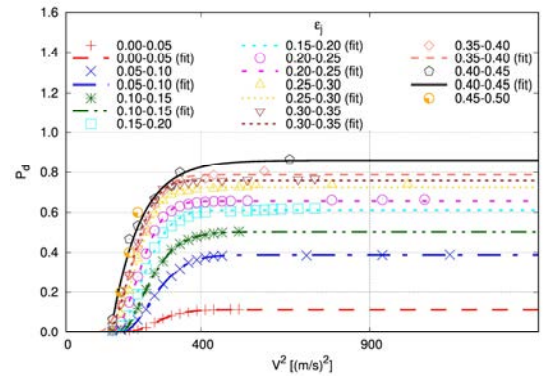


図1 ε 階級毎の最大風速二乗値 V^2 における被害確率 P_d

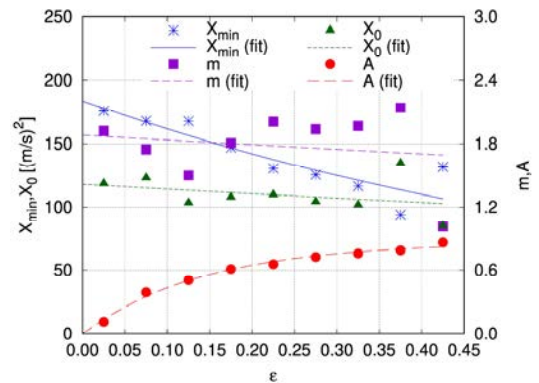


図2 建築面積率 ε と各パラメータの関係

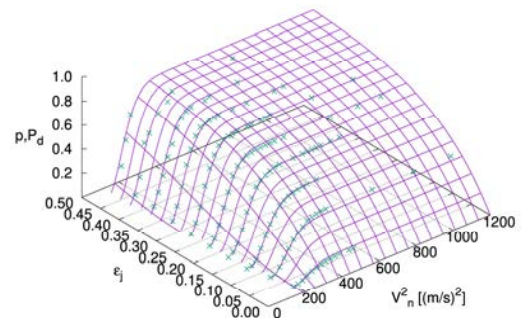


図3 ワイブル分布を用いた被害確率モデル

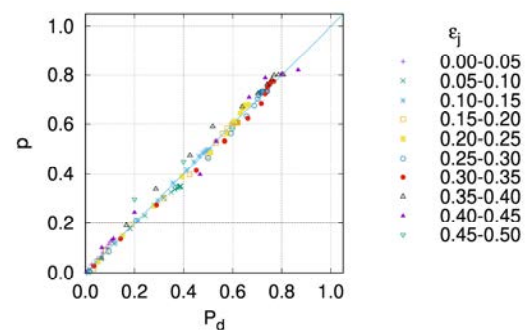


図4 被害確率 P_d と推定被害確率 p の関係