

竜巻等の突風による被害予測手法に関する研究

加藤 敢士

1. はじめに

近年、竜巻による突風被害が頻発¹⁾し、竜巻による建物被害の軽減²⁾が検討されるようになったが、竜巻等の突風は局所的かつ突発的に発生し、気象学的にその発生を予測することは難しい。しかし、自治体の防災対策や損害保険リスク算定の面から、ある地域を竜巻等の突風が襲った場合の被害リスクを想定する必要がある。著者ら^{3,4)}はGISを用いて竜巻経路を推定し、竜巻被害域の建物密度を考慮した竜巻等の突風による建物被害予測手法を検討してきた。

本論では、気象庁の竜巻等突風データベースの資料をもとに建物や人に被害をもたらした突風等の竜巻の発生分布の特徴を整理し、人的被害拡大要因および被害領域での土地利用や建物密度と被害との関係を分析し、建物および人的被害の予測手法を検討した。本報では特に2006年に宮崎県延岡市で発生した竜巻被害に着目して、被害予測検討領域の建物密度および竜巻の推定風速から領域内の建物の被災面積を予測する手法について述べる。また、検討した竜巻被害予測手法をつくば市での竜巻被害事例に適用して、実際の被害状況との比較をもとに被害予測精度の確認を行い、今後の竜巻被害予測への利用可能性を検討する。

2. 延岡市竜巻の概要と建物被害の特徴

2006年9月17日午後2時ごろ、宮崎県延岡市の海岸に発生した竜巻は速度約25m/sで北北西方向に移動し、その被害範囲は長さ約7.5km、幅150~300m、フジタスケールはF2と報告⁵⁾されている。住宅の強風被災度ランク⁶⁾ごとの被害棟数を表1に示す。図4に被害分布を示すが、被害帯の中心に被災度ランクの大きな建物が分布し、川や山地などの建物の少ない領域には被害があまり出ていない。

3. 建物被災面積の算出手順

3.1 竜巻経路の決定と被害領域の分割

建物被災面積の算出手順を図1に示す。竜巻経路の推定には建物の被害分布とランキン渦モデルによる竜巻の風速推定結果を利用する文献⁴⁾の方法を用いた。決定した竜巻中心経路を基準に、被害領域をグリッド状に分割した。分割間隔は約30mとし、竜巻の進行方

向が変化する地点では領域の面積が多少変化する。

3.2 グリッドの建物被災程度の算定

経路の推定に利用したランキン渦モデルをもとに、グリッド位置での風速を推定し、低風速域（推定風速30m/s以下）と中間風速域（推定風速30~50m/s）、高風速域（推定風速50m/s以上）の3通りに分類した。グリッド内に存在する建物面積の合計をグリッド面積で除した値を建物密度と定義する。

次に被災建物の分布図をもとに、グリッド内に位置する建物の強風被災度ランクを整理し、建物被災面積を算出する。表1より強風被災度ランクの一部では、屋根の被災面積割合が示されているので、被災面積におおよそ対応するように、被災度ランク1では0.1、ランク2が0.3、ランク3が0.5、ランク4が0.7、ランク5が1.0の係数を定めた。被災していない建物の係数は0となり、以下では考慮しない。グリッド内の各建物面積に被災度ランクに基づく係数を乗じ、グリッド内の建物数に対して総和を求めて被災建物面積を算出した。

表1 強風被災度ランクごとの延岡市竜巻での建物被害棟数

ランク	代表的な被害状況	被害棟数
ランク1	テレビアンテナ・種の損傷。小枝や葉の飛散。	241
ランク2	瓦のずれ。屋根面積30%未満で屋根葺材の飛散。太い枝が折れる。	283
ランク3	屋根面積30%以上で屋根葺材が飛散。窓ガラスの破損。	310
ランク4	屋根の垂木や母屋が破損。	75
ランク5	家屋の倒壊。	29

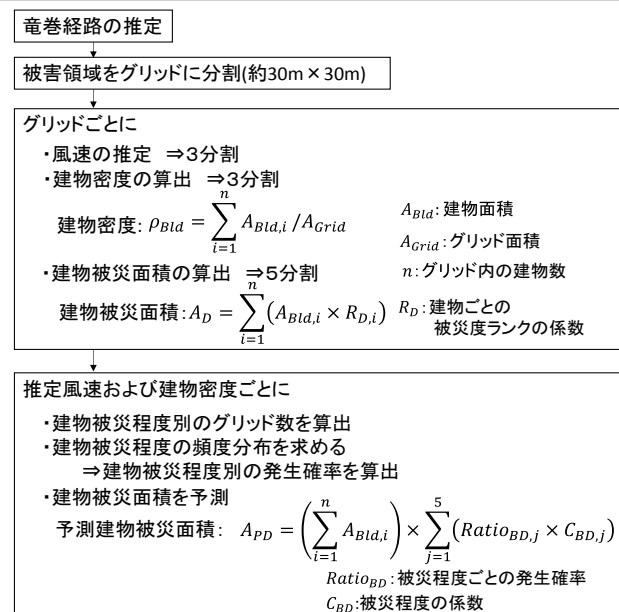


図1 建物被災面積の算出手順

図 2(a)~(c)に各風速域での建物密度と被災面積の割合との関係を示す。建物密度が増加するに伴い、被災面積の割合が減少する傾向があることから、建物密度は0~20%、20~40%、40%より大きい範囲の3通りに分類して、それぞれの建物密度での建物被災面積を算定した。ここで、建物被災面積の割合を0~10%、10~30%、30~50%、50~70%、70~100%の5通りに分類し、被災程度1から5と定義した。ただし、建物被災面積が0のものは検討から除いた。つまり、被害領域内の全グリッドを、風速域(3分割)および建物密度(3分割)ごとに分類し、それぞれの領域の被災程度(5分割)を求めた。風速域および建物密度ごとに、被災程度1から5のグリッド数を集計し、図3(a)~(i)にその頻度分布を示す。ここでは住宅のみに着目し、被害形態が異なる工場や商業施設、病院や学校等を含むグリッドは検討していない。この頻度分布に正規分布の確率密度関数に当てはめて、被災程度ごとの発生確率を算出した⁷⁾。

図3(a)~(i)の右側の第2縦軸には各風速および建物密度の集計数全体に占める各被災程度の割合と正規分布から算出した確率を示す。図3(a)~(f)に示す低風速域と中間風速域では、被災程度1と2で実際の被災程度ごとの発生割合と算出した確率との間に相違がみられる。特に低風速域の建物密度が0~20%と40%~の範囲では違いが大きい。高風速域では、建物密度によらず実際の被災程度ごとの発生割合と算出した確率がある程度一致していた。低速域の被災程度が低い領域の予測には課題が残るが、以降では正規分布から算出した確率を用いて建物の被災面積の予測を行った。

3.3 予測建物被災面積と実際の被災状況との比較

各グリッドの建物密度と推定風速が分かれば、該当する被災程度1から5の発生確率をグリッド内の建物面積合計に乗じることで、そのグリッドで予測される被災面積を算出できる。被災程度1の被災面積は10%以下なので被災程度に応じた係数を0.1とし、建物面積

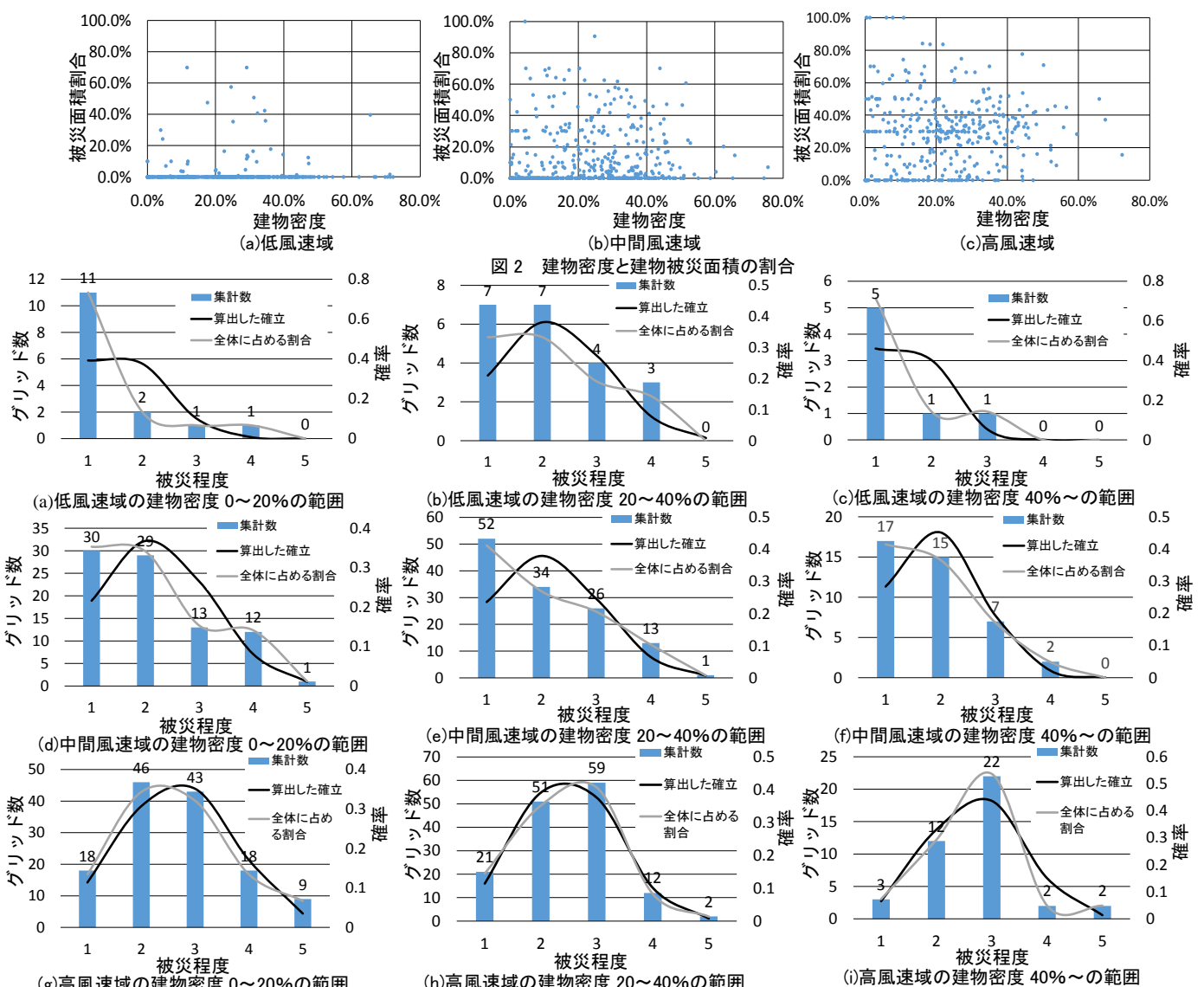


図3 被災程度ごとの集計数と全体に占める割合、算出した確立

に係数を乗じて、予測被災面積を算出する。同様に被災程度に応じて、被災程度 2 では 0.3、程度 3 は 0.5、程度 4 は 0.7、程度 5 は 1.0 の係数を乗じた。図 4 の実際の被害分布図に算出した被災面積の大小で色分けした建物被災面積予測マップを重ね合わせる。被害が集中し、強風被災度ランクが高い建物の多い竜巻経路付近の領域での被災面積は高く予測されているが、竜巻経路の右側 150~210m と左側 60~90m の低風速域では、被害が発生していないにもかかわらず大きな被災面積が予測されている領域がある。図 5 に各グリッドでの予測建物被災面積と実際の被害から算出した被災面積との関係を示す。すべての風速域で、実際の被災面積が 0 m² でも予測値が 0 でないものがみられるが、本論の予測手法では、グリッド内に建物が存在すれば予測被害面積が 0 にならないためである。無被害の領域を予測に考慮していないため、無被害の領域が多い低風速域では、実際の被災面積よりも予測被災面積が非常に大きい値で算出された。しかしながら、無被害の領域が少ない高風速域では、予測被災面積と実際の被災面積が比較的良く対応した。無被害の領域を予測値に反映させるとともに低風速域での領域被災程度の発生確率を正確に算定できれば、予測精度は改善すると考えられる。

4. つくば市竜巻での建物被災面積の予測

前節で、延岡市竜巻の建物被害から算出した被災程度ごとの発生確率を用いて、茨城県つくば市で発生した竜巻による建物被災面積を予測する。

2012 年 5 月 6 日 12 時 35 分ごろ、茨城県常総市からつくば市にかけて竜巻が発生した。この竜巻の移動速度は約 15m/s、被害範囲は長さ約 17km、最大幅約 500m、フジタスケール F3 程度と報告されており、コア半径（最大接線風速に対応する半径）と最大接線風速はそれぞれ約 35m、70m/s と推定されている。この竜巻では漏斗雲の目撃情報や動画等からその経路がほぼ特定されているので、その情報をもとに被害領域を約 30m 四方に分割した。風速分布は文献 4) と同様にランキン渦に従うモデルで算出した。図 6 に推定される風速分布

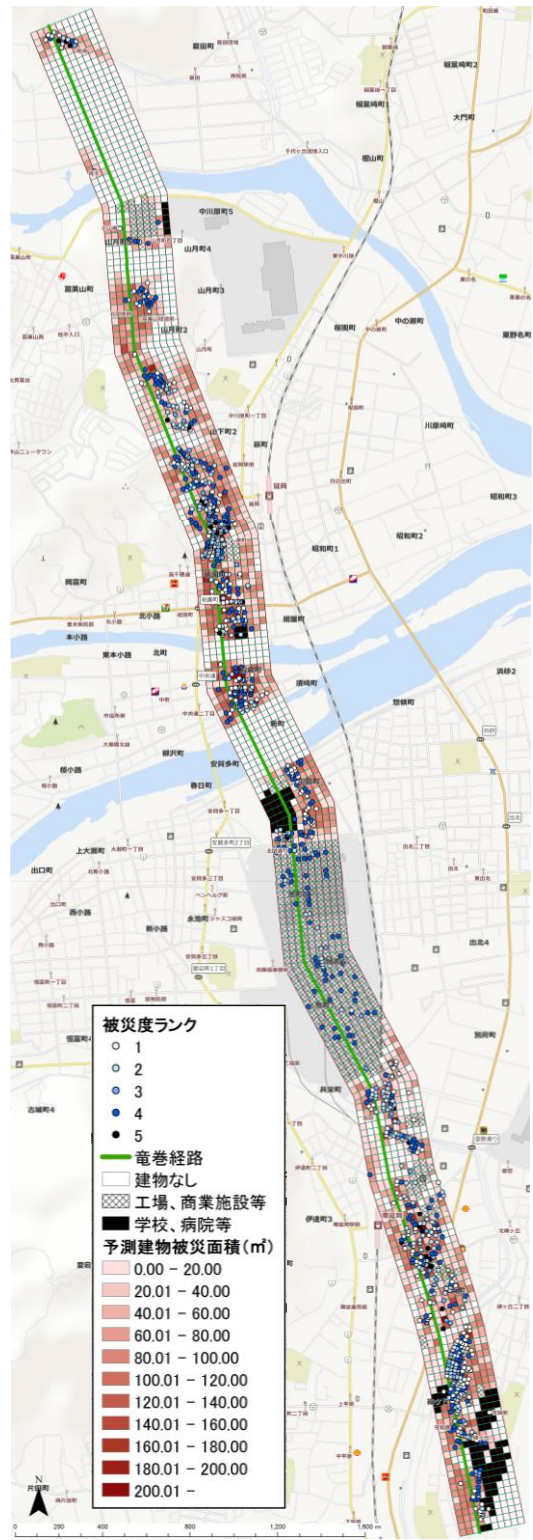


図 4 延岡市竜巻の被害分布と建物被災面積予測マップ

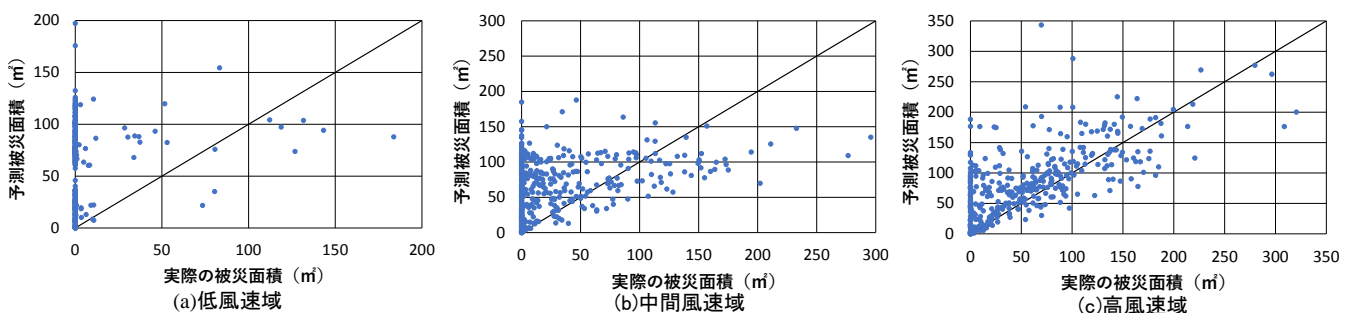


図 5 延岡市竜巻の予測被災面積と実際の被災面積との関係

を示す。図 6 から竜巻の中心経路から右側 0~60m と左側 0~30m の範囲を高風速域、右側 60~90m と左側 30~60m の範囲を中間風速域、右側 90~210m と左側 60~180m の範囲を低風速域とする。前節の方法でグリッドごとに建物密度を求めた。本論では、竜巻の被害域の中でも被害が大きかったつくば市北条地区を対象とした。グリッドの推定風速と建物密度に対応する、前節の被災程度ごとの発生確率を用いて、つくば市竜巻の各グリッドでの建物被災面積を予測した。図 7 に予測被災面積を実際の被害分布図と重ね合わせる。延岡市竜巻と同様に、高風速域では大きな被害面積が予測されているが、低風速域でも建物が密集する領域で被災面積が大きく予測される領域がみられた。図 8 に各グリッドでの予測被災面積と実際の被災面積との関係を示す。つくば市竜巻の高風速域では、無被害の領域が少なかったため、予測と実際の被害が良く対応した。しかし、低風速域での対応は良くない。本論の手法による被害予測は安全側の値ではあるが、低風速域での無被害領域の影響を考慮すれば、より精度の高い被害面積予測

が可能であると考えられる。

5. まとめ

本論では竜巻等の突風データベースから被害を生じさせる突風の特徴を把握し、建物および人的被害を予測する手法を検討した。特に建物被害面積の予測手法に着目した場合、以下のことが分かった。

- (1) 延岡市竜巻の被害をもとに、正規分布の確率密度関数を用いて算出した被災程度ごとの発生確率は、低風速域では実際の発生割合と相違がみられたが、高風速域ではおおむね一致した。
- (2) 延岡市竜巻の建物予測被災面積と実際の被災面積を比較したところ、高風速域ではよく対応したが、無被害領域の多い低風速域では、予測被災面積が大きく見積もられた。
- (3) 延岡市竜巻の被害に基づく建物被災程度の発生確率を利用して、つくば市竜巻での建物被災面積を予測したところ、低風速域での対応は良くなかったが、高風速域では予測値と実際の被害とが定性的に一致した。

以上のことから、一つの竜巻による建物被害事例から正規分布の確率密度関数を利用して建物被災面積を予測する本手法の有用性が確認されたが、無被害領域の影響を考慮するとともに低風速域での領域被災程度の発生確率の推定手法を検討することで予測精度は向上すると考えられる。

参考文献

- (1) 平成 24 年度文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費 24900001 代表：前田潤滋，平成 24 年 5 月 6 日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態の総合調査，2013.
- (2) 喜々津：建築物の竜巻被害軽減に向けた研究と課題，平成 25 年度建築研究所講演会資料.
- (3) 加藤，友清，前田：2006 年に延岡市で発生した竜巻の突風による建物被害棟数と建物密度との関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 149-150，2016.8.
- (4) 友清，加藤，前田：GIS を用いた竜巻による建物被害の分析その 2 建物規模および推定風速と被害程度との関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 153-154，2015.9.
- (5) 日本風工学会，風災害研究会：2006 年台風 13 号および同年 11 月 7 日に北海道佐呂間町で発生した竜巻による強風災害に関する調査報告書，pp. 71-96，2007.10.
- (6) 奥田，喜々津，西村：強風被災度ランク，第 19 回風工学シンポジウム論文集，pp. 223-228，2006.12.
- (7) 野村由司彦著：図解 確率・統計入門，コロナ社，2004.10.

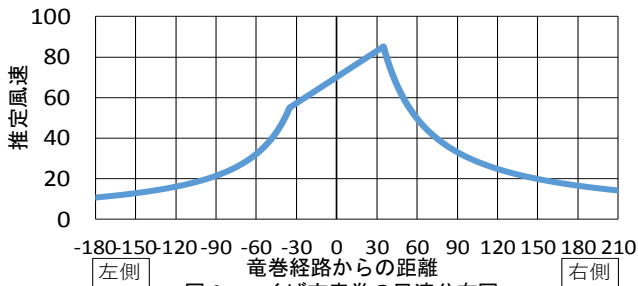


図 6 つくば市竜巻の風速分布図

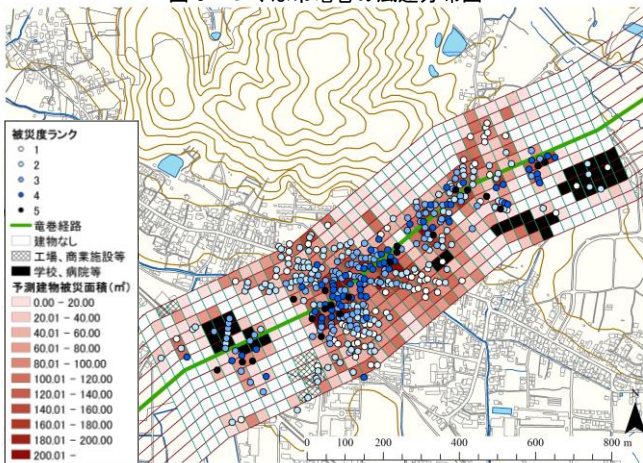


図 7 つくば市竜巻の被害分布と建物被災面積予測マップ

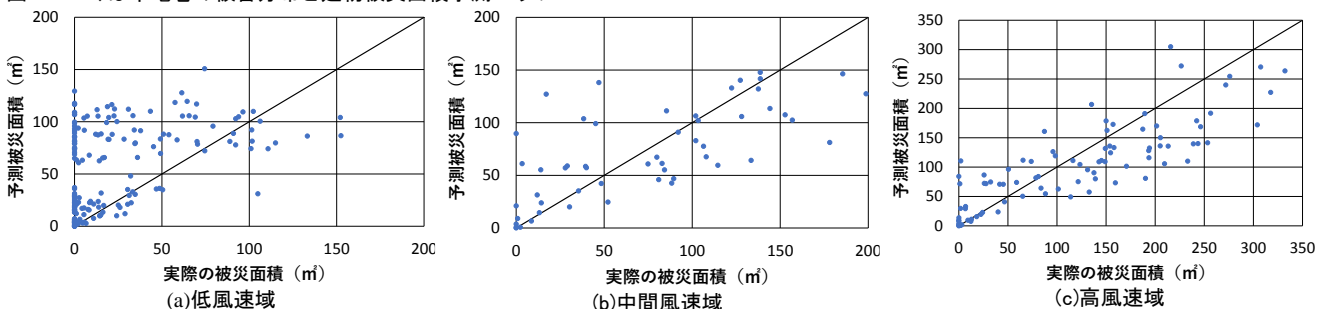


図 8 つくば市竜巻の予測被災面積と実際の被災面積との関係