

2013年9月2日に埼玉県などで発生した竜巻による建物被害

東北大学大学院工学研究科 高橋麻衣, 金南昔, 飯田有未, 植松康

1. はじめに

2013年9月2日14時過ぎに埼玉県で発生した竜巻により、図1に示すように埼玉県さいたま市岩槻区尾ヶ崎新田から茨城県坂東市法師戸にかけて甚大な被害がもたらされた¹⁾。竜巻の発生を正確に予想することは難しいうえに、竜巻の移動速度は約40km/hであり、非常に速い。竜巻による災害は台風災害と異なり、短時間で甚大な被害をもたらすために、適切な対策の検討が急がれている。被害低減のためにはまず被害の実態を把握することが重要である。

筆者らは竜巻発生から2日後の9月4日に、特に被害が大きかった越谷市立北陽中学校付近、越谷市立大袋小学校付近及び千葉県野田市真光寺付近の三か所を中心に建築物等の被害調査を行った。本報ではその調査結果をまとめる。

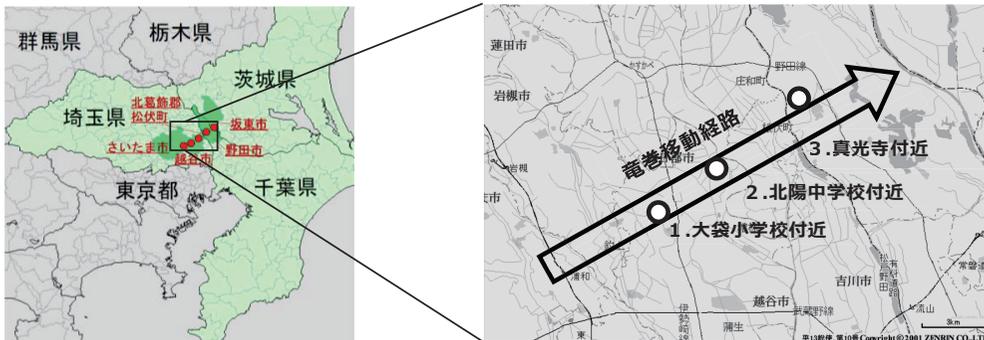


図1 竜巻進行経路及び被害調査範囲(右:被害発生地域¹⁾ 左:被害調査範囲)

2. 被害の特色

気象庁は今回の竜巻の強さをF2(推定風速50-69m/s)であるとした¹⁾。また、被害の範囲は長さ19km、幅約300mである²⁾。過去に発生したF2以上の主な竜巻による被害の概要を表1に示す。これによると、今回の竜巻による住家被害はF2の竜巻としては、他のものと比べ、比較的大きなものであったと言える。これは、被災地域の建物の密集度が高いことが挙げられる。2006年9月17日宮崎県延岡市での竜巻(F2)でも同様である。2012年5月6日に茨城県つくば市で発生した竜巻と比べてみると、今回の竜巻の方が藤田スケールは小さいにもかかわらず、負傷者が多い。これは、つくば市の竜巻は日曜日に発生したのに対し、今回の竜巻は平日の月曜日に発生したため、外出している人が多く、飛来物による負傷者が多くなったと考えられる。

また、1999年9月24日愛知県豊橋市の竜巻(F3)の場合と同様^{3),4)}、学校において飛来物により割れたガラスで負傷した生徒が多くいたことも原因である。

* Building damage due to the Tornado in Saitama, Chiba and Ibaraki Prefectures on September 2, 2013

Mai Takahashi, Namseok Kim, Yumi Iida, Yasushi Uematsu
Architecture & Building Science, Tohoku University.

表 1 過去の代表的な竜巻の被害(気象庁 HP より作成)

発生年月日	発生場所	藤田スケール	被害幅(m)	被害長さ(km)	人的被害(人)		住家被害(棟)		
					死者	負傷者	全壊	半壊	一部破損
2013.9.2	埼玉県, 千葉県, 茨城県	F2	300	19	0	64	13	35	1349
2012.5.6	茨城県常総市, つくば市	F3	500	17	1	37	76	158	400
2011.11.18	鹿児島県徳之島町	F2	100	0.6	3	0	1	0	0
2006.11.7	北海道佐呂間町	F3	100-300	1.4	9	31	7	7	25
2006.9.17	宮崎県延岡市	F2	150-300	7.5	3	143	79#	348#	753#
1999.9.24	愛知県豊橋市	F3	50-550	18	0	415	40	309	1980
1990.12.11	千葉県茂原市	F3	500-1200	6.5	1	73	82	161	1504
1990.4.6	石川県羽咋郡	F2	400-900	10	0	7	4	15	72
1990.2.19	鹿児島県枕崎市	F2-F3	200	3.0-4.0	1	18	29	88	266

#は他の気象現象による被害を含む

3. 被害形態

3.1 建築物の構造躯体の被害

写真 1,2 は建築物の上部構造の移動が見られた例である。いずれも基礎との固定が不十分であったために、竜巻による吸い上げ力と強風による横力で簡単に移動してしまった例である。また、写真 3 は基礎だけが残った例である。この基礎の上には剣道場が載っていたが、ほとんど固定されていなかったため、50m 程飛び、写真 4 のように住家 4 棟に激突し、それらの住家に大きな被害をもたらした。2006 年 11 月 6 日北海道佐呂間町の竜巻(F3)ではプレハブの工事現場事務所が杭基礎にかすがいで留められていたが、竜巻により簡単に吹き飛ばされた⁴⁾。写真 3 の建物では、ほとんど定着されていないので、比較的低い風速でも簡単に吹き飛ばしてしまうと考えられる。屋根の小屋組みの破壊(写真 5)や、衝撃力による倒壊(写真 6)が見られた。この他、地面にただ置いてあるだけの物置の移動や転倒は多く見られた。



写真 1 上部構造の飛散



写真 2 上部構造の移動



写真 3 剣道場の基礎



写真 4 剣道場の飛散



写真 5 小屋組の破壊



写真 6 上部構造の倒壊

3.2 建築物の外装材の被害

(1) 屋根の被害

今回の調査で最も多く被害が見られたのは、外装材の破損である。写真7はO中学校の体育館の屋根が剥離した例である。南側の窓ガラスがほとんど破損していたことより、はじめに飛来物で窓ガラスが破損し、建物内に風が吹き込んだことで、内圧が上昇して大きな上向きの力が作用し、屋根材が野地板毎吹き飛ばされたものと考えられる。

写真8は瓦屋根の剥離被害の例である。この建物は空き家であり、維持管理が行われず、耐力が低下したため、周囲の建物に比べて、大きな被害が発生したと考えられる。

台風などの強風中では、屋根の周辺部には大きな局部風圧が作用するため、周囲の瓦は全て下地に固定することになっているが、中央部では固定されずに置かれているだけの場合も多い。台風などでは中央部にそれほど大きな負圧が作用しないが、竜巻の場合、強風による負圧に加えて中心部では吸い上げ力も作用するため、固定していない瓦は、簡単に吹き飛ばしてしまい、写真9のような被害も発生する。

また自治会館(写真10)では屋根材が剥離したことによって、天井面が持ち上げられてしまった(写真11-12)。発災時に建物内にいた人の話によると、天井面が一度浮き上がり、元の所に戻ったということである。このように屋根の破損はそれだけに止まらず、建物内部の二次部材の破壊や破損の原因になる。



写真7 体育館の被害



写真8 空き家の被害



写真9 瓦の剥離被害



写真10 自治会館の外観

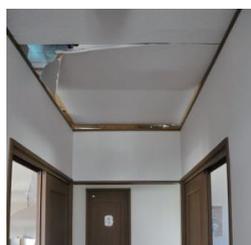


写真11 天井面の様子①



写真12 天井面の様子②

(2) 外壁材の破損

写真13のように飛来物によって外壁が破損する例が多く見られた。この例は、過去の竜巻災害調査報告書⁵⁾、⁶⁾でも指摘されており、竜巻被害の特徴ともいえる。また、写真14、15のように、外壁面全体には飛来物の痕跡は見られないが、外壁材が一部剥離する例も見られた。これは突風時に壁面に作用する局部風圧(負圧)が原因とみられ、特に壁面隅角部や端部に多く

見られた。台風時と同様、竜巻の風によっても壁面隅角部や端部と大きな局部風圧が作用することを示している。写真 15 に示す、ラスモルタル壁では、壁面中央部で剥離しているが、これは外力ではなく耐力の問題であると考えられる。



写真 13 飛来物による損傷



写真 14 外壁材の剥離
(窯業系サイディング)



写真 15 外壁材の剥離
(ラスモルタル)

(3) 開口部の破損

窓ガラスにおいても、飛来物や局部風圧によって破損する被害が多く見られた。飛来物によって窓ガラスが割れて室内に飛び散り、それが人的被害の原因となる。したがって、開口部を飛来物から防御することは人的被害を低減させるためにも非常に重要である。写真 16 は格子付き窓の被害例である。このように、格子の耐力が不足したため、飛来物によって格子と窓が共に破損してしまった。写真 17 は、小さな飛来物が格子の間をすり抜け、窓ガラスを破損させた例である。一方、写真 18 のように発災時には雨戸を閉めていたために、雨戸は多少の損傷を受けたが、窓ガラスには被害が生じなかった例も多い。したがって、飛来物からの開口部の防御という観点からは、格子よりも雨戸やシャッターの方が有効であるといえる。

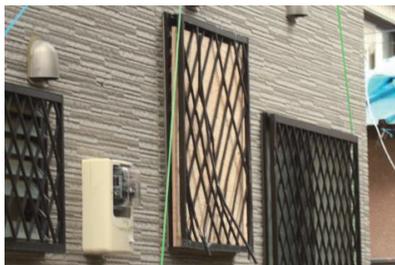


写真 16 格子窓の被害①



写真 17 格子窓の被害②



写真 18 雨戸の被害

3.3 建築物以外の被害

(1) 工作物の被害

工作物の被害も多く見られた。写真 19 は看板が傾斜している状況である。また、写真 20, 21 はブロック塀の倒壊被害の例である。このブロック塀は袖壁も無く、配筋も建築基準法をかなり満たすものだった。ブロック塀内の鉄筋の腐食も著しく、明らかに耐力不足であったと考えられる。看板や温水パネル、太陽光パネルなど小規模建築付属物には建築基準法は適用されないため、台風などでも被害がしばしば発生する。これが破損して飛散すると人的被害や

他の建築物の被害(二次被害)を引き起こすことが多い。

写真 22 は、写真 3 に示した剣道場と同様、コンテナが転倒した例である。竜巻の場合には風力に加えて吸い上げ力も作用するため、コンテナのように軽い構造物では簡単に転倒したり舞い上がったりする。

また、屋根上に取り付けられた温水パネルにも被害が見られた。写真 23 のように、屋根とともに温水パネルが破損してしまった例や写真 24 のように温水パネルのガラス面が飛来物によって破損する例も見られた。



写真 19 看板の折損



写真 20 ブロック塀の倒壊



写真 21 ブロック塀の配筋



写真 22 コンテナの倒壊



写真 23 温水パネルの被害①



写真 24 温水パネルの被害②

(2) 野外テニスコートの被害

野外テニスコートではコート 4 面分の人工芝が貼られていたが、竜巻による吸い上げ力によって、その 7 割近くが剥離してしまった(写真 25)。また、ネットを固定するための高さ 4m の支柱には十分に配筋がされていたにも関わらず、傾斜・折損していた(写真 26,27)。ネットは充実率が小さいため、大きな風力は作用しないと考えられがちであるが、実際には支柱を倒壊させる程の力が竜巻時には作用する。



写真 25 人工芝の剥離



写真 26 支柱の傾斜



写真 27 支柱の被害

4. まとめ

過去の竜巻被害調査結果も参考にし、今回の調査結果に基づき、被害の原因と対策をまとめると表2のようである。被害の原因は大きく分けて3つあげられるが、特に飛散物によってもたらされる、建築物の一部損壊や、負傷者の被害は甚大なものである。しかし、一方で、日頃から行う事ができる対策も多い。特に、表に示す飛散物への対策は竜巻発生情報が発表され次第、すぐに行くと被害を大幅に減らすことができると考えられる。また、今回の竜巻では、学校において飛散した窓ガラスによって生徒が怪我をした例も見られたため、学校での竜巻時の対応も重要である。

表2 竜巻による被害の原因と対策

被害の原因	対策
①局部風圧の作用	<ul style="list-style-type: none"> ・風圧力について正しい知識を持ち、十分な強度を発揮できる施工を行う。 ・工作物等のアンカー固定を行う。 ・適切な維持管理 ・瓦の固定 ・壁の耐力確保
②被害にあった建築物等の強度不足	
③飛散物	<ul style="list-style-type: none"> ・窓ガラスの保護。格子窓より雨戸・シャッターの方が効果的。 ・飛来物、飛散物の原因になるものを屋外に放置しない。 ・竜巻発生時には開口部から離れた、屋内に避難する。 ・建築付属物(看板、温水パネル等)の耐風性確保。

5. 謝辞

今回の竜巻の災害で被災された皆様に心からお見舞い申し上げます。また、本調査を実施するにあたって、被災されたにも関わらず、調査に協力していただいた住民の皆様に深く感謝いたします。

参考

- 1) 気象庁：「現地災害調査報告 平成25年9月2日に埼玉県さいたま市、越谷市、北葛飾郡松伏町、千葉県野田市、茨城県坂東市で発生した突風について」、2013年9月13日発表
- 2) 消防庁：「平成25年9月2日からの突風及び大雨による被害状況などについて(第10報)」2013年9月13日発表
- 3) 「豊橋市竜巻災害記録」編纂委員会：竜巻の記録、1999年9月24日
- 4) 「豊橋市竜巻災害記録」編纂委員会：豊橋市を襲った黒い渦、2000年
- 5) 平成18年度科学研究費補助金(特別研究促進費)研究成果報告書：北海道佐呂間町で発生した竜巻による甚大な災害に関する調査研究(研究代表者 田村幸雄)、2007年3月
- 6) 平成24年度科学研究費補助金(特別研究促進費)研究成果報告書：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(研究代表者 前田潤滋)、2013年2月