

平成 18 年 9 月 21 日

平成 20 年 7 月 3 日 (修正)

突風と建築物被害について(豆知識)

建築研究所 構造研究グループ

奥田 泰雄

喜々津 仁密

029-864-6618 (奥田)

y_okuda@kenken. go. jp

突風とは一時的に吹く継続時間の短い強風をさし、竜巻、ダウンバースト、局地的な風、乱気流といったものがある。これらのうち竜巻は、気象科学事典¹⁾によると「積雲や積乱雲などの対流性の雲によってつくられる鉛直軸をもつ激しい渦巻きで、しばしば漏斗状または柱状の雲を伴う。米国では陸上竜巻をトルネード、水上竜巻をウォータースパウト、上空竜巻をファネル・アロフトというが、日本では竜巻というところらすべてを含んだものをさす」とされている。一方、ダウンバーストは、「積雲や積乱雲から生じる、冷やされて重くなった強い下降気流のこと」であり、「地面に到達後激しく発散し、突風となって周囲に吹き出す」現象¹⁾をさす。

一般に竜巻による建築物の被害には、個々の被害は甚大であるのに対しその被害の範囲はきわめて局所的であり線状に分布するという特徴がある。また、建築物の被害の多くには、屋根ふき材や外壁等の外装材の捲れや飛散といったものが多いが、甚大な被害では建築物全体が倒壊することもある。また、木枝や建築部材等が飛散物となって、建築物の外壁や屋根に衝突しあるいは突き刺さるといった被害も見られる。

竜巻やダウンバーストといった突風の強さを表す指標として藤田スケールがあり、建築物や樹木等の被害状況からその強さが推定される(参考資料 1 参照)。わが国で近年発生した竜巻被害の概要と推定された藤田スケールをそれぞれ表 1 に示す。なお、米国では 2007 年から藤田スケールに代わって、改良藤田スケールがトルネードの強さを表す指標として採用されている(参考資料 2 参照)。

建築研究所では、強風による建築物の被害状況を把握するために、これまでわが国と米国において現地被害調査を実施してきた。その際には、台風による建築物等の被害だけでなく、竜巻、トルネード及びダウンバーストといった突風被害についても現地調査を実施している。また、現地調査では、被害状況を知る資料として風速記録を近くの気象官署や消防署から入手する場合があるが、風速記録が入手できない場合には、電柱や交通標識の折損、墓石の転倒等といった単純な構造物の被害状況から風速推定を試みる場合もある。

表 1 わが国における近年の主な竜巻被害

1990.12	茂原竜巻 千葉県茂原市・富津市ほか ^{参考文献 2, 3), 建研情報 1)} 被害の長さ 5km : 幅最大 1km 死者 0 名、重傷者 7 名、軽傷者 72 名 全壊 85 棟、半壊 176 棟、一部損壊 1843 棟 (千葉県)	F3 (70-92m/s)
1999.9	豊橋竜巻 愛知県豊橋市・豊川市ほか ^{参考資料 4, 5)} 被害の長さ 19km : 幅最大 550m 死者 1 名、重傷者 14 名、軽傷者 400 名 全壊 40 棟、半壊 309 棟、一部損壊 1980 棟 (豊橋市)	F3 (70-92m/s)
2002.7	境町竜巻 群馬県境町、埼玉県深谷市 ^{建研情報 2)} 被害の長さ 5km : 幅最大 100m 死者 0 名、重傷者 1 名、軽傷者 11 名 全壊 7 棟、半壊 31 棟 (境町・深谷市)	F2 (50-69m/s)
2004.6	佐賀竜巻 佐賀県佐賀市、鳥栖市ほか ^{建研情報 3)} 被害の長さ 8km : 幅最大 300m 死者 0 名、重傷者 0 名、軽傷者 15 名 全壊 13 棟、半壊 34 棟、一部損壊 322 棟 (佐賀市・鳥栖市ほか)	F2 (50-69m/s)
2006.9	延岡竜巻 宮崎県延岡市 ^{建研情報 4)} 被害の長さ 7.5km : 幅最大 250m 死者 3 名、重傷者 3 名、軽傷者 140 名 全壊 71 棟、半壊 317 棟、一部損壊 599 棟	F2 (50-69m/s)
2006.11	佐呂間町竜巻 北海道佐呂間町 ^{建研情報 5)} 被害の長さ約 1km : 幅最大 100~250m 死者 9 名、負傷者 26 名 全壊 10 棟、半壊 8 棟、一部損壊 19 棟	F3 (70-92m/s) ^{参考資料 6)}

参考資料 1 藤田スケールについて¹⁾

竜巻、トルネード、ダウンバースト等の風速を建築物や構造物の被害状況から簡便に推定するために、シカゴ大学の藤田哲也により 1971 年に考案された。F1 から F12 までの各スケールの風速の下限値 V は

$$V = 6.3(F + 2)^{1.5} \quad [m/s]$$

で表され、F1 はビュフォートの風力階級の第 12 段階、F12 は音速に等しくなるように定められている。1/4 マイル (約 400m) の風程で評価された平均風速で示されている。表 2 に藤田スケールの階級と推定風速、被害状況との関係を示す。

表 2 藤田スケールの階級と推定風速、被害状況との関係

階級	風速	被害状況
----	----	------

F0	17~32m/s (約 15 秒間の平均風速)	テレビアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33~49m/s (約 10 秒間の平均風速)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木の幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50~69m/s (約 7 秒間の平均風速)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、車が脱線することもある。
F3	70~92m/s (約 5 秒間の平均風速)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨造でもつぶれる。車は転覆し、自動車が持ち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半折れるか倒れるかし、また引抜かれることもある。
F4	93~116 m/s (約 4 秒間の平均風速) [荒廃的被害]	住屋はバラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨造でもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1 トン以上もある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117~142 m/s (約 3 秒間の平均風速) [信じられない被害]	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

参考資料 2 改良藤田スケールについて^{7),8)}

改良藤田スケールは、建築物の用途や規模等に応じて詳細な被害の程度を明らかにし、その結果に基づいてトルネードの規模を評価する指標であり、2007 年から従来の藤田スケールに代わって米国内で採用されている。

改良藤田スケールでは、表 3 に示す被害建築物等についてそれぞれの被害の程度に対応した推定風速が表 4 のような体裁で示されている。表 4 では、住宅と中学校・高等学校の校舎についてそれぞれ例示している。例えば、1 世帯又は 2 世帯向け住宅の場合、小部屋の間仕切壁を除くほとんどの壁が倒壊していれば、表 4 (a) に示す DOD (Degree of Damage : (被害の程度)) が 8 の被害状態に相当し、このときの推定風速は 152mph (推定の幅 127~178mph) であると判定される。これを表 5 に当てはめれば、改良藤田スケールで EF3 であると判定される。

表 3 被害建築物等の区分

区分	被害建築物等	区分	被害建築物等
1	小規模な納屋又は農業施設	15	小学校校舎
2	1世帯又は2世帯向け住宅	16	中学校・高等学校の校舎
3	工業化住宅	17	低層建築物（1～4階）
4	工業化住宅	18	中層建築物（5～20階）
5	アパート、マンション	19	高層建築物（21階以上）
6	簡易ホテル	20	公共施設（1～10階）
7	アパート又は簡易ホテル	21	鋼製プレハブ建築物
8	小規模な店舗	22	ガソリンスタンドの屋根
9	小規模な商業施設	23	倉庫
10	ショッピングモール	24	電信柱
11	大規模なショッピングモール	25	鉄塔
12	大規模な商業施設	26	独立柱
13	車両展示場	27	樹木（広葉樹）
14	車両整備場	28	樹木（針葉樹）

表4 被害の程度と推定風速との関係

(a) 区分2 1世帯又は2世帯向け住宅の場合

DOD*	被害の状態	風速 (mph)		
		推定値	下限値	上限値
1	目視で分かる程度の被害	65	53	80
2	屋根ふき材（20%未満）の飛散，樋や日よけの損傷，サイディングの飛散	79	63	97
3	ドア又は窓の損傷	96	79	114
4	屋根版の上への浮き上がり又は広範囲の屋根ふき材（20%以上）の飛散，屋根の煙突の倒壊，車庫のドアの内側への倒れこみ，カーポートの損傷	97	81	116
5	建築物全体の地盤からの移動	121	103	141
6	広範囲の小屋組を構成する部材の飛散（壁は自立）	122	104	142
7	外壁の倒壊	132	113	153
8	外に面していない小部屋の間仕切壁を除くほとんどの壁の倒壊	152	127	178
9	全ての壁の倒壊	170	142	198
10	適切に設計施工された住宅の全壊，床版の飛散	200	165	220

※DOD Degree of Damage (被害の程度)

(b) 区分 16 中学校・高等学校の校舎

DOD※	被害の状態	風速 (mph)		
		推定値	下限値	上限値
1	目視で分かる程度の被害	68	55	83
2	屋根ふき材 (20%未満) の飛散	79	66	99
3	窓の損傷	87	71	106
4	玄関ドア等の損傷	101	83	121
5	鋼板製の屋根材の浮き上がり, 広範囲の屋根ふき材 (20%以上) の飛散	101	85	119
6	帳壁の損傷又は落下	108	92	127
7	体育館、カフェテリア又は講堂の組積造による壁の倒壊	114	94	136
8	軽量鋼材による屋根版の浮き上がり又は倒壊	125	108	148
9	最上階の外壁の倒壊	139	121	153
10	最上階の大部分の間仕切り壁の倒壊	158	133	186
11	過半の構造の倒壊又は全壊	192	163	224

※DOD Degree of Damage (被害の程度)

表 5 改良藤田スケールの階級と推定風速との関係

階級	推定風速 (3秒ガスト風速)
	mph (m/s)
EF0	65 ~ 85 (29 ~ 38)
EF1	86 ~ 110 (38 ~ 49)
EF2	111 ~ 135 (49 ~ 60)
EF3	136 ~ 165 (60 ~ 73)
EF4	166 ~ 200 (74 ~ 89)
EF5	> 200 (>89)

関連する建築研究所からの情報

1. 建設省建築研究所：1990年の千葉県茂原市の竜巻による建築物の被害調査報告、建築研究資料 No. 78, 1992. 3

<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/78.htm>

2. 喜々津仁密・奥田泰雄・伊藤 弘：群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について 平成 14 年 7 月 26 日
<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/str/list/topics/tatsumaki/index.pdf>
3. 石原 直・奥田泰雄・喜々津仁密・村上知徳：佐賀市・鳥栖市竜巻 現地被害調査報告 平成 16 年 7 月 13 日
<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/str/list/topics/saga-tatsumaki/index.pdf>
4. 奥田泰雄・喜々津仁密：2006 年台風 13 号 被害調査報告－延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害－ 平成 18 年 10 月 10 日
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2006taifu13/2006taifu13.pdf>
5. 奥田泰雄・喜々津仁密・村上知徳：2006 年佐呂間町竜巻 被害調査報告 平成 18 年 11 月 21 日
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2006saroma/2006saroma.pdf>
6. 喜々津仁密・P.P.サーカー：米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告 平成 20 年 6 月 9 日
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2008iowa/index.pdf>

参考文献

1. 日本気象学会編：気象科学事典（東京書籍）
2. 桂 順治編：1990 年 12 月 11 日千葉県に発生した竜巻による暴風災害の調査研究、文部省科学研究費突発災害調査研究成果、1991. 3
3. 気象庁：平成 2（1990）年 12 月 11 日千葉県内で発生した竜巻等調査報告、気象庁技術報告、1993. 3
4. 桂 順治編：台風 9918 号に伴う高潮と竜巻の発生・発達と被害発生メカニズムに関する調査研究、文部省平成 11 年度科学研究費補助金（特別研究推進費）研究成果、2000. 6
5. 豊橋市：竜巻の記録 1999. 9. 24 豊橋市を襲った黒い渦、2000. 3
6. 気象庁・網走地方気象台・気象研究所：平成 18 年 11 月 7 日に佐呂間町で発生した竜巻について（竜巻の強度の推定）<http://www.sapporo-jma.go.jp/hokkaido/abashiri/data/061215.pdf>
7. <http://www.spc.noaa.gov/efscale/>
8. <http://www.wind.ttu.edu/EFSscale.pdf>