

平成 19 年徳島市国府町の竜巻被害について—その 2 竜巻中心付近の風速の推定—

徳島大学 学生員 山田和弘 徳島大学 陳 君
 徳島大学 正 員 長尾文明 徳島大学 正 員 野田 稔

1. はじめに

平成 19 年 8 月 29 日 13 時 10 分頃に徳島県徳島市国府町において竜巻が発生した。徳島県のまとめによれば、被害は建物損壊が 18 ヶ所(うち民家 7 棟、倉庫、カーポート)であり、農業被害は 700 万円相当、幸いにも人的被害はなかった。

通常、竜巻は反時計回りに回転することが多いとされているが、この竜巻は時計回りに回転しており、また写真やビデオ映像が多数残されている点でも大変貴重な事例である。竜巻中心付近に生じる強風についての情報はほとんどないため、残された竜巻の痕跡や映像を元に推定することを試みた。

2. 竜巻の概要

図 1 に竜巻発生時刻に近い平成 19 年 8 月 29 日 12 時の地上天気図を示す。このとき停滞前線が中国地方に位置し、徳島市付近は停滞前線の南側となり、暖かく湿った空気や上空の寒気の影響で大気の状態が非常に不安定となり活発な積乱雲が次々と発生していた。竜巻は強い上昇気流と回転する流れが組み合わさることによって発生するといわれており、今回の竜巻もこの時に発生した積乱雲によるものと考えられる。

3. 竜巻中心付近の風速の推定

竜巻発生直後に実施された現地調査によって求められた竜巻の影響範囲を図 2 に示す。ここで、竜巻は西から東へと移動した。図中の A 地点は墓石が転倒していた場所を示しており、B 地点はビデオ映像に映っていた強風でたわんだ街灯の位置、C 地点は屋根材が飛散した現場を示している。

はじめに A 地点での墓石の転倒の事例について転倒モーメントを考慮して風速を推定する。写真 1 に竜巻の強風によって転倒した墓石の様子(丸印部分)を示す。墓石の重さが 80kg 程度あるにも拘わらず約 1.5m ほど東方向に飛ばされていた。風によって墓石に生じる転倒モーメントを考える。ここで図 3 に墓石に作用する空気力 F_d 及び質量 m を示す。

図中の○印を中心にモーメントをとった場合、墓石が転倒する条件は次式のように表される。

$$\frac{H}{2} \cdot F_d \geq \frac{D_2}{2} \cdot mg \quad (1)$$

ここで、 $H = h + \frac{H_1}{2}$ である。空気力 F_d は $F_d = \frac{1}{2} \rho u^2 C_d A$ で求められ、ここでは抗力係数 C_d は 1.2¹⁾、空気密度 ρ は 1.2kg/m³、 A は風を受ける面積を $A = BH_1$ とした。式(1)にこれらの値を代入すると、風速 u は 31.4m/s 以上であると求められた。

次に B 地点での街灯のたわみから風速を推定する。この街灯をとらえたビデオ映像では強風によって生じたたわみがはっきりと読み取られるほどの大きさで写っており、画像からたわみ量を求めた。街灯は一般構造用炭素管鋼と仮定した。ここでは図 4 のように街灯を一様断面の直線片持ちばりと仮定し、空気力は一様に働いていると考える。このとき地面から x の高さにおけるたわみ量 δ は次式のように表される。

$$\delta = \frac{q_w (x^4 - 4lx^3 + 6l^2x^2)}{24EI} \quad (2)$$

空気力 q_w は、街灯が円形断面であることと、風速域が極超臨界レイノルズ数領域であることを考えて $C_d=0.7$ とし、次式によって求めた。

$$q_w = \frac{1}{2} \rho u^2 C_d D l \quad (3)$$

ビデオ映像では高さ 4m においてたわみ量が 250mm であったことからこの時の風速 u は 34.3m/s と求められ

た。ただし、奥行き方向のたわみが分からないため実際の風速は 34.3 m/s より大きいと考えられる。

最後に C 地点において飛散した屋根材の運動から風速を推定した。ビデオ映像には風で飛ばされる屋根瓦やビニールハウスのビニールの運動が明確に記録されており、これより平均、最大それぞれの速度を求めた。瓦とビニールが飛び散る様子が記録されたビデオから 1/30 秒ごとに飛散物の位置を読み取った。写真 2 はその一例である。その結果、瓦 A の速度は平均 21.4 m/s、最大 23.8 m/s、瓦 B の速度は平均 21.9 m/s、最大 31 m/s、ビニールの速度は平均 33.1 m/s、最大 37.3 m/s と求められた。ただし、奥行き方向の運動が分からないため実際にはこれらの速度よりも高い風速となっていたと考えられる。

4.まとめ

藤田スケールを表 1 に示す。藤田スケールとは竜巻の被害状況から竜巻の強さをクラスわけしたもので、F0~F5 クラスの 6 段階で表される。今回の竜巻について徳島地方気象台は公式発表として F1 スケールとしていた²⁾が、著者らの推定した風速(最大 37 m/s)からも F1 クラスに相当することが明らかとなった。

参考文献

1) 日本道路協会：道路標識設置基準・同解説，1987 年。

2) 徳島地方気象台 調査書

URL http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/new/list_new.html

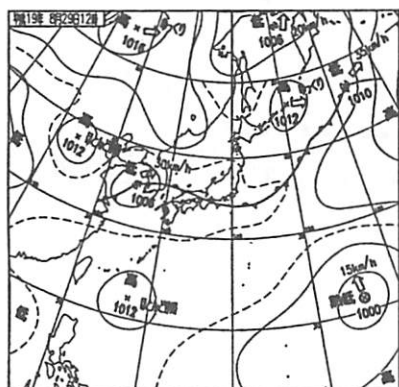


図1 竜巻発生時の地上天気図

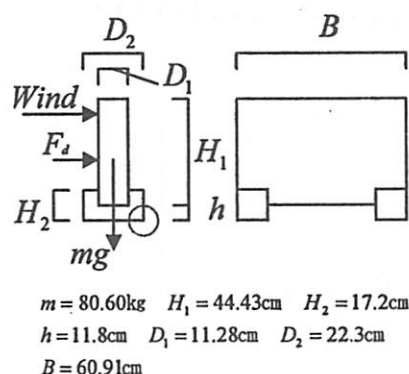


図3 墓石の詳細



写真 2 屋根材の飛散



図2 竜巻影響範囲

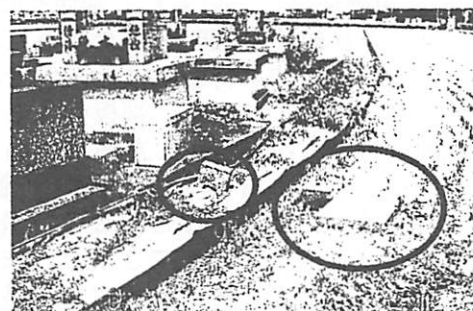


写真 1 強風で転倒した墓石

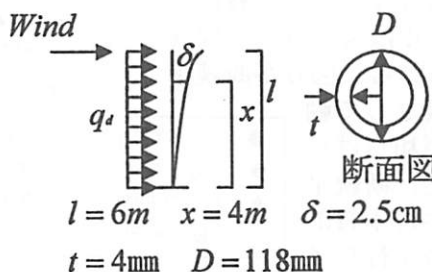


図4 街灯の詳細

表 1 藤田スケール

階級	風速(m/s)	被害状況
F 0	17~32	煙突やテレビのアンテナが折れる。
F 1	33~49	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。
F 2	50~69	住宅の屋根が剥ぎ取られる。
F 3	70~92	鉄骨造の住家が倒壊する。
F 4	93~116	1 トン程の物体が何十 m も空中飛行する。
F 5	117~142	列車等、数トン程の物体が飛ばされる。