

2012年つくば市竜巻の現地調査と空撮可視画像を用いた建物被害判読

Building Damage Inspection of the 2012 Tsukuba Tornado from Field Survey and Aerial Photographs

○鈴木賢太郎¹・花田大輝²・山崎文雄³
Kentaro Suzuki, Daiki Hanada and Fumio Yamazaki

Abstract : On May 6, 2012, a strong tornado hit Tsukuba City, Ibaraki prefecture, and it became one of the maximum scale disaster by tornados in Japan for the damage range and the number of damaged buildings. In this study, building damage by the tornado was inspected from the aerial photographs taken by Geospatial Information Authority of Japan on May 7. The result of visual inspection was compared with the result of our field survey conducted on May 8. The distribution of damaged buildings was then expressed on a GIS map, and the characteristics of the building damage by the tornado was investigated.

Keywords : Tornado, Building Damage, Aerial Photograph, Field Survey, Damage Inspection, GIS

1. はじめに

2012年5月6日の昼過ぎ、茨城県、栃木県の3か所ではほぼ同時刻に竜巻が発生した。特に、茨城県常総市からつくば市にかけて発生した竜巻は、死者を含む甚大な被害を発生させた。気象庁により竜巻の強さを表す Fujita スケールは F3 と推定され、被害範囲や建物被害数も含めて国内最大規模の竜巻災害となった¹⁾。竜巻の発生の予想は困難であるため、発生後、早期に竜巻の経路を推定し、避難警報を出すことが望まれる。

災害による被害把握には、空撮の映像・画像が多く用いられており、地震や水害といった大規模災害に対して多くの研究がなされてきた²⁾。一方、日本では大規模な竜巻災害が起きた例が少なく、竜巻災害に対する航空リモートセンシングの利用例は数少ない。しかし、日本の竜巻発生数は2010年に37個確認されるなど少ないともいえず³⁾、今後気象変動などによって F4, F5 級の竜巻が発生し、大きな被害を発生させる可能性も考えられる。また、竜巻は建物に対して横向きだけではなく上向きにも力を及ぼすため、屋根の被害が多いことが特徴である⁴⁾。したがって、上空から被害を観測する航空リモートセンシングによって、竜巻による建物被害の早期把握が可能と考えられる。

本研究では、著者らが5月8日に行った現地調査結果と、5月7日に国土地理院が撮影したデジタル航空写真を用いて建物被害を把握する。航空写真から、内閣府の定めた被害認定基準に則り、建物一棟ごとに目視で被害判定を行い、つくば市による被害統計と比較する。さらに、航空写真から作成した建物輪郭データに判定結果を入力し、建物被害の分布

図を作成し、これに基づいて竜巻からの距離と建物被害の関係性を把握する。

2. 対象地域と使用データ

本研究では、つくば市の竜巻において特に建物被害が大きかった北条地区を対象地域とする。国土地理院は、竜巻翌日の5月7日、常総市からつくば市の竜巻経路に沿って解像度 20cm のデジタル航空写真を 60 枚撮影した(Fig. 1)。本研究では北条地区の写真を接合し、現地調査の比較と建物被害の目視判読に使用した。また目視判読時に、事前画像として Google Earth を用いた。そのほか、今回、熱赤外面像の撮影をスカイマップ(株)に委託し、同時に取得した空撮可視画像から建物輪郭データを作成した。熱赤外面像を用いた建物被害把握に関しては、研究は別報⁵⁾を参照されたい。

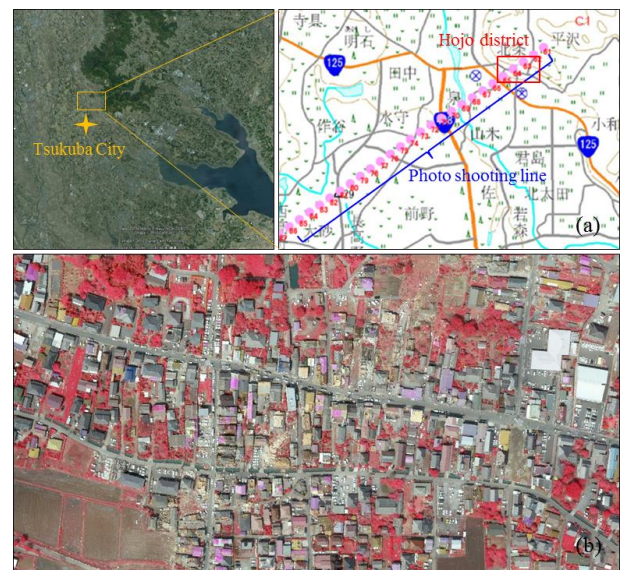


Fig. 1 Map of flight path where Geospatial Information Authority of Japan took aerial photographs (a) and a sample photo in false color composite (b).

¹学生会員 千葉大学 工学部 都市環境システム学科
²学生会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻
³正会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻
(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)
(連絡先 Tel:043-290-3528 E-mail: z9f0222@students.chiba-u.jp)

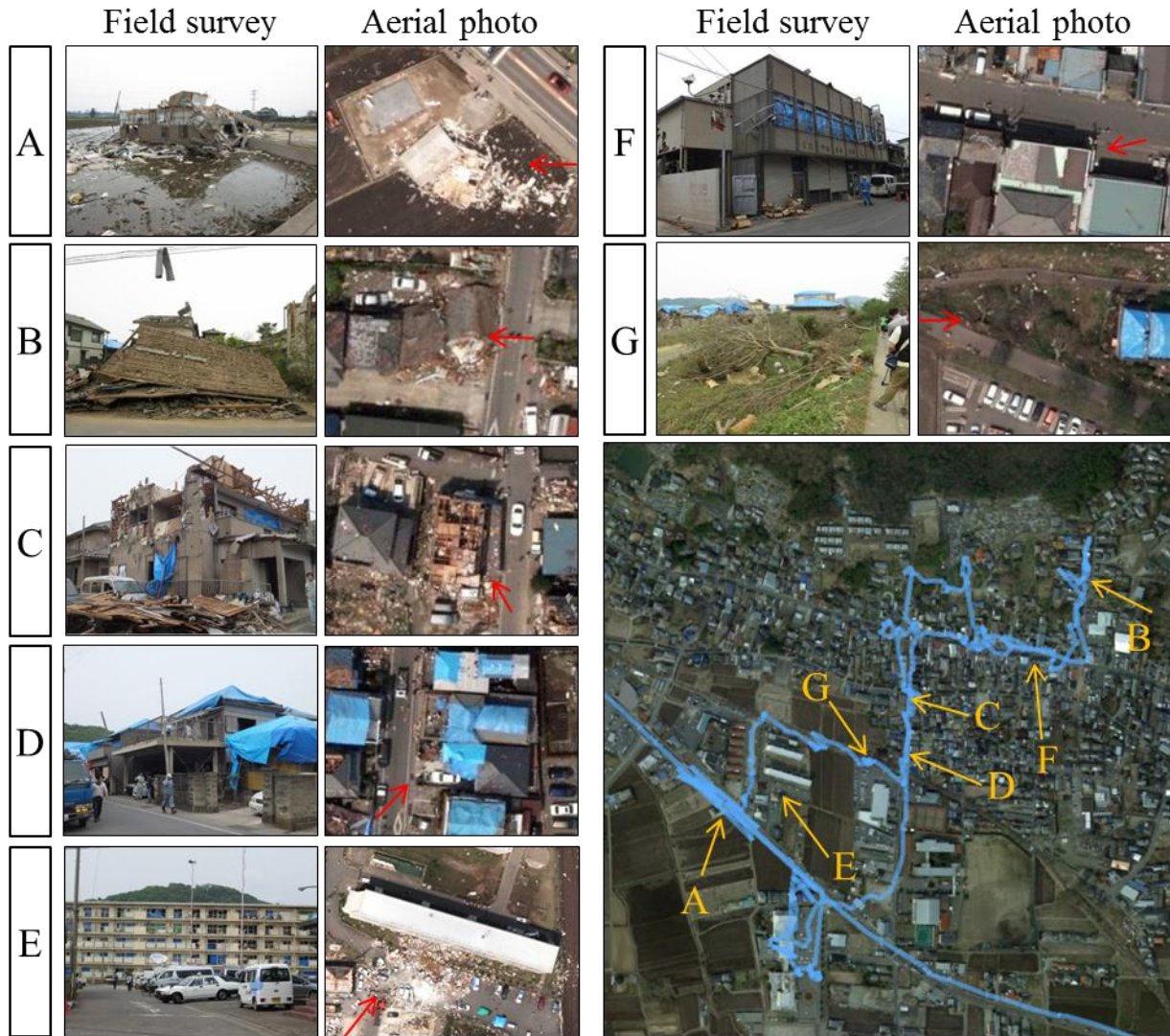


Fig. 2 Comparison of photographs taken in our field survey and from GSI's aerial survey. The lower right image shows the route of the field survey in Hojo district, Tsukuba City on May 8 and the photo shooting locations. Arrows in the aerial photo show the location and shooting angle of the field photos.

3. 現地調査結果と航空写真の比較

著者らは、GPS とデジタルカメラを持って5月8日につくば市北条地区の現地調査を行った。Fig. 2は現地で撮影した写真と、同じ位置の航空写真からの被害の様子を比較したものである。

Fig.2 (A)は気象庁が Fujita スケールを F3 と推定する根拠となったコンクリート基礎ごと飛ばされた建物である。航空写真からも元の敷地から建物が飛ばされて裏返った様子や、残された基礎の土台がよく確認できる。(B)は竜巻により崩壊した木造建物である。航空写真からは屋根の位置がずれて、周りに瓦礫が散乱している様子が確認できる。(C)も建物の上面が吹き飛ばされた木造建物であるが、このように屋根が大きな被害を受けた場合、航空写真からより詳細に被害が把握できる。さらに、(D)のようにブルーシートで屋根が覆われている木造建物

も今回の現地調査で多く確認したが、航空写真で見ると屋根がどの範囲ブルーシートで覆われているかが容易に把握できる。一方、(E)は竜巻が直撃した集合住宅であり、建物側面の窓ガラスが割れ、ベランダの手すりやサッシが損壊するなど大きな被害が出たものである。しかし、航空写真では建物の前面に瓦礫が散乱しているのが確認できるだけであり、側面の被害を把握することはできない。同様に(F)の鉄筋コンクリート構造の建物も、建物自体は窓ガラスが割れるなどの被害を受けているが、航空写真では屋根の被害しか見えないため、正確に被害を把握することはできない。こうした例はそのほかの鉄筋コンクリート造の建物でも見られた。(G)は竜巻によりなぎ倒された並木であり、航空写真でも倒れた様子と方向が確認できる。

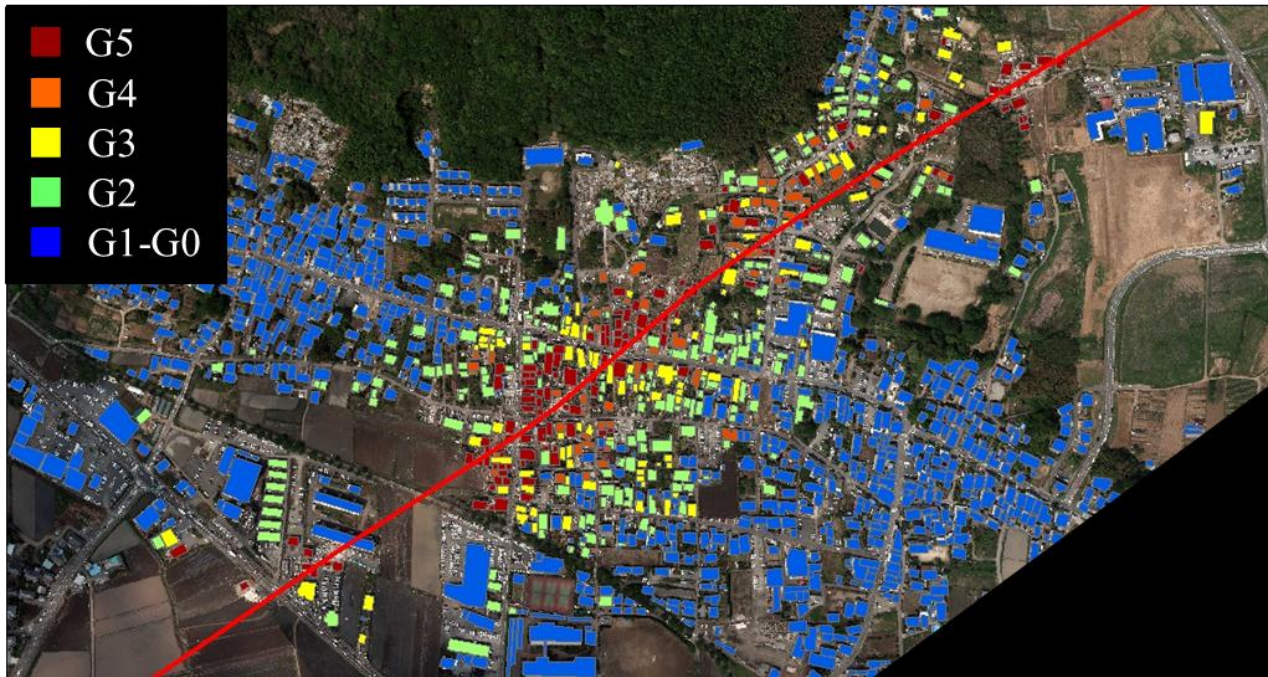


Fig. 3. Damage classification result by visual inspection in Hojo district. Red line shows the tornado's path.

Table 1 Damage classification defined by Cabinet Office of Japan and sample aerial images.

Damage Grade	G5	G4	G3	G2
Damage ratio of roof/floor area	$R \geq 70\%$	$50\% \leq R < 70\%$	$20\% \leq R < 50\%$	$0\% < R < 20\%$
Sample aerial image				

Table 2 Comparison of our visual inspection result with that of survey by Tsukuba City for Hojo district.

	Tsukuba City: T	Visual inspection: V	Ratio: $V/T(\%)$
G5	139	146	105.0
G4	36	62	172.2
G3	175	112	64.0
G2	697	208	29.8
Total	1047	528	50.4

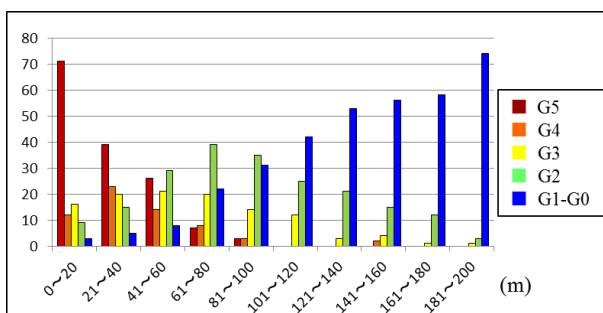


Fig. 4 The relationship between the distance from the tornado's path and the number of damaged buildings for each damage class

4. 目視による建物被害判定

4.1 被害認定基準

建物の被害判定を行うに当たって、まず被害の認定基準を定義する必要がある。日本における住家の被害認定は、内閣府の定めた「損壊認定基準」と「損害認定基準」の2通りに従い、全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊に分類される⁶⁾。「損壊認定基準」は住家の損壊割合から被害を分類し、「損害認定基準」は住家の経済的被害から被害を分類する。本研究では航空写真を用いて判定するため、「損壊認定基準」に従い、屋根の損壊割合から被害認定を行った。今回、屋根がブルーシートで覆われている建物が多数存在したが、ブルーシート部分も損壊箇所と見なした。以上を踏まえて、Table 1に従って被害判定を行った。また便宜的に、全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊はEMS-98⁷⁾と関連させ、以下それぞれG5, G4, G3, G2と表現する。

4.2 目視判定結果

Table 2は目視判定結果とつくば市が行った北条地区の調査集計結果の比較である。これを見ると、G5の数においては105.0%と非常に高い一致度が得られた。これは、竜巻によるG5級の被害では、木造住宅では屋根が完全に損壊するため、航空写真からの被害把握は容易であるためと考えられる。次にG4の数であるが、一致率は172.2%と、多くの建物の被害を過大評価する結果となった。その原因としてブルーシートが挙げられる。屋根が損傷したときの対処として損壊箇所をブルーシートで覆うこと

が多いが、損傷面積とブルーシートの面積は一致するとは限らないためである。小さな損傷面積に対して広い範囲をブルーシートで覆った場合、被害を過大評価する。今回の事例においても実際にブルーシートで屋根を覆っている建物が多かったため、そうした過大判定が多かったと考えられる。

一方、G3の数に関しては一致率が64.0%と被害を過小評価してしまった建物が多くあることが分かる。この原因もG4と同じくブルーシートによって誤判定してしまった可能性が考えられる。また、側面にG3級の被害を受けた鉄筋コンクリート造の建物を過小評価してしまった可能性も考えられる。G4とG3をG3-G4としてひと括りにすると、一致率は82.5%と高くなる。最後にG2の被害であるが、一致率は29.8%と極めて低くなった。これはG2級の小さな屋根の被害は今回用いた解像度20cmの航空写真では把握できないことと、飛散物により建物の側面に軽微な被害を受けた建物が多いことが原因として考えられる。

5. 被害建物の分布

Fig. 3は、建物被害の目視判読結果と、航空写真から推定した竜巻の経路⁸⁾を重ね合わせたものである。竜巻の経路に沿って、被害建物が分布していることが確認でき、竜巻から距離が近いほど被害が大きいことが分かる。そこで、GIS上で竜巻経路から20mごとにバッファをとり、バッファ内の建物数を被害レベル別にFig. 4に示す。

これより、G5の建物は竜巻から0~20mの区間に圧倒的に多く存在し、距離が長くなるにつれてG5の建物数が減少し、100m以降は確認できなくなる。G4の建物については、竜巻から21~40mの区間に一番多く存在する。G3の建物は突出して多く存在する区間はなく0~120mにかけて広く存在している。G2の建物は61~80mを頂点として山なりに存在している。なお、G0-G3の建物も竜巻から近い距離にも存在しているが、これは既に述べたように被害を過小評価してしまった鉄筋コンクリート造の建物によるものと思われる。また、今回の竜巻の被害幅は、気象庁の現地調査¹⁾により500mと発表されたが、航空写真による目視判定では、最も遠くで竜巻から240mの場所にG2の建物が確認された。

6. まとめと今後の展望

つくば市北条地区の竜巻による建物被害を、現地調査と航空写真を使用して検討した。現地調査と航空写真との比較では、屋根の被害が多い木造建物においては詳細な被害の把握が可能であった。一方、屋根に被害が現れにくい鉄筋コンクリート構造の建物は被害の全容を把握しにくいことが確認され

た。航空写真による被害判定では、G5級の大きな建物の被害については精度の高い抽出が可能であったが、G4やG3級の被害ではブルーシートや、建物構造による影響を受け精度が下がることが分かった。また、竜巻からの距離と建物被害の比較では、距離が長くなるに従って、建物被害が小さくなることが確認された。

今後の展開としては、被害判定の誤差の原因と考えられる構造種別を、木造建物と非木造建物に分けて統計を取ることを考えている。また、現段階では各調査機関によって行われた現地調査による建物一棟単位の被害判定が入手できなかったため、目視判定結果の統計をつくば市による地区別の統計と比較したが、現地調査による建物一棟ごとの判定結果を得ることにより、より精度の高い比較ができるエラーマトリクスを作成したいと考えている。また、航空写真からの被害の自動判読についても検討したいと考えている。

謝辞

本研究で使用したデジタル航空写真は、国土地理院から提供していただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 気象庁：現地災害調査速報， 11 May, 2012, URL:http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/new/2012050601/20120506_joso-tsukuba.pdf
- 2) 鈴木大輔，丸山喜久，山崎文雄：デジタル航空画像を用いた新潟県中越沖地震の建物被害抽出，日本地震工学会論文集，第10巻，第3号，33-45, 2010.
- 3) 気象庁：竜巻等の突風データベース， URL:<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/annually.html>
- 4) 喜々津仁密：竜巻による建築物の被害形態について，独立行政法人建築研究所， URL:http://www.mri-jma.go.jp/Topics/Kouenkai201206/120630_Tsukuba-tornado-kikitsu.pdf
- 5) 花田大輝，鈴木賢太郎，山崎文雄：空撮熱赤外面像を用いた2012年つくば市竜巻による建物被害把握，第52回学術講演会論文集，日本リモートセンシング学会，2012.
- 6) 内閣府：災害に係る住家の被害認定基準運用指針， URL:<http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/shishinall.pdf>
- 7) European Seismological Commission, 1998. European Macroseismic Scale 1998.
- 8) 小荒井衛，岡谷隆貴：つくば市における竜巻災害の写真判読と地形との関係，写真測量とリモートセンシング，Vol.51, No. 3, 134-135, 日本写真測量学会，2012.