報 告

2008年5月25日に米国アイオワ州で発生した建築物のトルネード被害

Damage to Buildings by EF5 Tornado in Iowa, U.S. on May 25, 2008

喜々津 仁密*1 パーサ サーカー*2

Hitomitsu KIKITSU, Partha P. SARKAR

1. はじめに

2008年5月25日(日)午後5時頃(米国中西部時間)に、米国アイオワ州北部のButler郡を中心としてトルネード被害が発生した。今回のトルネードの直撃によりアイオワ州全体で394戸の住宅が全壊し、8名が死亡している。米国内での2008年のトルネードの発生は過去3年間よりも増加傾向にあり(参考資料参照)、例えば2月上旬には南部の複数の州でトルネードが相次いで発生し、50人以上が死亡する等の被害があったところである。また、今回の死者により同年のトルネードによる米国内の死者数は既に100名を超え、これは過去10年間で最悪の結果である。

このような状況も踏まえて筆者らは、5月26日、27日及び30日に建築物被害の分布状況及び代表的な構造部材等の被害状況の把握を目的に、被害が最も甚大であったButler郡Parkersburgにて被害調査を実施した。本報では、現地での主な建築物の被害状況等の調査結果を報告する。

2. トルネードの規模と被害の概要

アイオワ州による記者発表等^{1), 2), 3)}及び国立気象局による発表⁴⁾の内容に基づき、トルネードの規模と被害状況の概要を以下にまとめる。また、被害発生当日に報道されたテレビニュースの様子を写真1に示す。

トルネードの規模に関しては、5月27日に国立気象局より改良藤田スケール^{5), 6)}でEF5と発表され、推定風速は205mph(約91m/s)である。これは今年5月までに米国内で発生したトルネードのなかで最大規模であり、改良藤田スケールによる規模判定が2007年に米国内で実施されてから、EF5のトルネードは今回が2例目である。またアイオワ州のなかでは、1976年に発生したトルネード(藤田スケールF5)以来最も規模が大きい。なお、当時のトルネードでは、88戸の建築物が被害を受けたが、死者はいなかった。トルネードのタッチダウンの推定時刻は午後4時48分であり、5時58分にBlack Hawk郡とBuchanan郡との境界で確認されるまで東方向に約43mile(69km)進んだ。したがって、この間の平均移動速度は約60km/hになる。

人的被害と建築物被害に関する概要は、以下のとおりである。

- ・ アイオワ州全体で5月28日現在確認された死亡者は7名、重軽傷者は50名以上であり、死亡者の年齢の内訳は72, 74, 71, 80, 80歳(以上がParkersburg内)、71, 48歳(以上がNew Hartford内)となっている。その後さらにParkersburgで1名の死亡が確認された。なお、ミネソタ州では2歳児が死亡している。

*1 建築研究所構造研究グループ 主任研究員(調査当時 アイオワ州立大学工学部 客員研究員)
Senior Research Engineer, Department of Structural Engineering, Building Research Institute

*2 アイオワ州立大学工学部航空工学科 教授
Professor, Department of Aerospace Engineering, Iowa State University

- アイオワ州全体で5月30日現在、アイオワ州と連邦緊急事態管理庁が合同で調査した958戸の住宅について、被害の内訳は表1のとおりとなっている。また、住宅以外にも21の店舗等が被害を受けている。

表1 5月30日現在のアイオワ州での住宅被害

被害の程度	被害戸数
全壊 (destroyed)	394
過半の損壊 (major damage)	65
一部損壊 (minor damage)	162
一部被害があるものの使用可能 (affected but habitable)	337

次に、5月28日現在のライフライン等の復旧状況に関しては以下のとおりである。

- 電気と水道の復旧が5月27日から開始された。Parkersburgでの停電件数は1,002件で、そのうち320件が全壊した建築物等であるが、27日の午後までには残存している住宅に復旧する見込み。
- ガスは5月29日か30日までに倒壊していない建築物に対して復旧予定である。電気・ガス会社は復旧作業のために約300名の人員（ミネソタ州、ネブラスカ州からの支援人員も含む。）を確保した。

5月30日現在、今回のトルネードによるアイオワ州での被害推計は580万ドルであり、そのうち約65%がButler郡での被害とされている。しかし、これらの推計額には個々の住宅被害に係る被害額等が含まれていないため、今後さらに増える見込みである。

写真1 CNNニュース（5月25日夜）

3. Parkersburgにおける住宅の被害分布状況

図1にParkersburgにおける住宅の被害分布状況を示す。各々の被害は表2に示す改良藤田スケールで定める被害の状態と対応させ、図中ではその結果をDOD (Degree of Damage) の数値1~10で示した。なお、悉皆調査を行っていない通り沿いの住宅被害については、地元紙のホームページ⁷⁾に掲載されている被害状況の写真からそれぞれ判断した。それらの住宅については、敷地を隅丸の矩形で表している。

表2 改良藤田スケールで定めるDODと対応する被害の状態（戸建住宅の場合）⁶⁾

DOD	被害の状態
1	目視で分かる程度の被害
2	屋根ふき材（20%未満）の飛散、樋や日よけの損傷、ビニル樹脂又は金属系サイディングの飛散
3	ドアのガラスや窓の損傷
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、玄関やカーポートの損傷
5	建築物全体の基礎からの移動
6	広範囲の小屋組を構成する部材の飛散（大部分の壁は未倒壊）
7	外壁の倒壊
8	大部分の壁（外に面していない小部屋の間仕切壁を除く）の倒壊
9	全ての壁の倒壊
10	適切に設計施工された住宅の全壊、床版の飛散

全壊又は倒壊の被害（DOD=9,10）は、57号線、Conn通り、N Johnson通り及びCircle通り沿いを中心に分布している。また、Conn通り南側の住宅2軒の上部構造が東方向、57号線北側の住宅3軒の上部構造が西方向へそれぞれ移動する被害が認められたことを考慮すれば、トルネードの渦の中心はほぼ57号線上を通過したと推測される。そして地元紙によれば、この推定経路に沿った住宅で死亡者が出ていることがわかる。

一般にトルネードや竜巻被害の特徴として、台風被害の場合と比較して被害範囲の境界が明確であることが挙げられる⁸⁾。そこで、DOD=4以下を非構造部材を中心とした被害とみなして、住宅の構造部材の被

図1 Parkersburg における住宅の被害分布状況

害と非構造部材を中心とした被害とのおおよその境界を破線で示した。また、住宅被害の有無に関するおおよその境界も一点鎖線で示した。これらの結果に基づけば、調査を実施した範囲では住宅の構造部材の被害が概ね 400～600m の幅、非構造部材を中心とした被害が南北それぞれ概ね 200m の幅で分布していることがわかる。

4. 主な建築物等の被害

公共施設等、戸建住宅及び車両等について主な被害状況をそれぞれ以下に示す。図 1 中の括弧内の各数字の位置は、以下に示す写真番号の撮影場所に対応している。

4.1 公共施設及び商工業施設

(1) 高等学校校舎

高等学校校舎の被害を写真 2～5 に示す。また、地元紙²⁾掲載の上空からの写真を見てまとめた被害状況を図 2 に示す。構造種別はコンクリートブロックによる組積造であり、校舎西側の教室の壁面(写真 2, 3)、校舎東側にある講堂の壁面(写真 4, 5)が倒壊している。東側の壁面そばでは、鉄筋が挿入された構造部材の破壊も確認された。また、広範囲にわたって屋根版とそれを支持するラチス部材が崩落しており、窓ガラスも多数破損している。写真 2 中の時計の針が 4 時 55 分で止まっていた。

図 2 高等学校校舎の被害状況

写真 2 壁の倒壊

写真 3 壁の倒壊と屋根の崩落

写真 4 壁の倒壊と屋根の崩落

写真 5 北東からの概観

(2) 銀行

57 号線沿いに位置する銀行 A、B の被害状況をそれぞれ示す。いずれも構造骨組は木造である。銀行 A のほうが壁面の倒壊等の構造部材の被害が著しい(写真 6、7)。一方、屋根ふき材等の非構造部材の被害が中心の銀行 B は、一部の窓口業務が既に再開されていた(写真 8)。

写真 6 銀行 A の概観

写真 7 銀行 A の壁の倒壊

写真 8 銀行 B の概観

(3) 消防署

消防署の被害を写真 9、10 に示す。柱・梁は鉄骨造

であり、これらの構造骨組の被害は認められなかった。屋根ふき材と壁面の一部がはく離しており、壁面のシャッターは西面 8 個のうち 7 個、東面 2 個全てが飛散又は落下していた。

写真 9 屋根ふき材とシャッターの被害

写真 10 壁面のはく離

(4) 生産施設

生産施設と思われる鉄骨造建築物の全壊被害を写真 11、12 に示す。この施設は 57 号線沿いのほぼ西南端に位置している。柱・梁等の構造骨組は著しくゆがみ、コンクリートスラブに残存している柱脚の接合部も破断している。

写真 11 全壊の状況

写真12 柱脚接合部の破断

の被害状況をそれぞれ示す。また、倉庫を構成する各々のユニットの被害状況を図3に示す。

隣接した3棟の倉庫は切妻型の屋根を有し、桁行方向はシャッターが連続している。図3をみると、いずれの倉庫も東側のユニットは大部分が屋根の被害、一方の西側のユニットは大部分がシャッターの被害をそれぞれ受けており、対照的な結果となっている。またシャッターの被害に関しては、西側のユニットは内側に、東側のユニットは主に外側にそれぞれめくれていることがわかる（写真14）。特に倉庫A、Bの北側端部では、妻壁と小屋が飛散しており被害が著しい（写真15）。

(5) 倉庫及び車庫

倉庫（写真13～15）及び乗用車車庫（写真16, 17）

また、乗用車車庫は屋根の西側端部が飛散しており、

図3 倉庫の被害状況

写真 13 屋根とシャッターの損壊

写真 14 シャッターの損傷

写真 15 妻壁と小屋の飛散

写真 16 屋根ふき材の飛散

写真 17 飛来物による壁面の損傷

西側の壁面には飛来物（製材）による損傷もみられた（写真 16, 17）。

（6）工場タンク

Parkersburg から 57 号線を東に約 3km 走った地点（図 1 の範囲外）での工場タンクの被害事例を写真 18～20 に示す。タンク頂部での鋼板のはく離や著しい変形のほか、アスペクト比の大きいタンクが転倒する等の被害がみられた。

写真 18 タンク頂部の著しい変形

写真 19 タンク頂部の鋼板のはく離

写真 20 タンクの転倒

写真 21 小屋組の飛散

4.2 戸建住宅

調査を行った全ての戸建住宅が木造（枠組壁工法）によるものであり、そのうちの多くが地下室を有していた。被害の状況に関しては、屋根ふき材や外壁等の非構造部材の被害だけでなく、表 3 に示すような被害形態をはじめとする構造部材の被害事例も多数みられた。これらの事例を以下にそれぞれ示す。

表 3 住宅の構造部材の主な被害形態

(1)	(2)
<p>小屋組の飛散又は倒壊</p>	<p>壁の飛散又は倒壊</p>
(3)	(4)
<p>上部構造の基礎からの移動</p>	<p>上部構造の飛散又は倒壊</p>

(1) 小屋組の飛散又は倒壊

写真 21～23 に示すように、住宅の構造部材に関する被害の多くが小屋組にみられた。写真 23 の住宅は小屋組の構成部材の飛散とともに二階の妻壁が東方向に転倒している。

写真 22 小屋組の飛散

写真 23 小屋組の飛散と妻壁の転倒

(2) 壁の飛散又は倒壊

壁の飛散又は倒壊に関する被害については、写真 24 のように小屋組の構成部材も全て飛散したものが多く、写真 25 の事例では壁が倒壊して鉛直支持能力が喪失することによって、小屋組全体が倒壊（崩落）している。また、一部の居室まわりの外壁や間仕切壁のみが残存している被害例も多くみられた。例えば、写真 26 は浴室が残存している例である。

写真 24 壁の飛散

写真 25 壁の倒壊と小屋組の崩落

写真 26 壁の飛散

写真 27 上部構造の移動

写真 28 基礎の破壊
(写真 27 と同一の住宅)

写真 29 上部構造の移動

(3) 上部構造の基礎からの移動

写真 27 の住宅は西方に, 写真 29 の住宅は東方にそれぞれ移動している。また調査をした範囲では, 地下室の壁面から繋がった基礎のコンクリートブロック中に鉄筋の挿入は認められず, 写真 28 のように基礎を構成するブロックも崩壊していた。

(4) 上部構造の飛散

上部構造の飛散被害には, 1 階の床版が残存している場合 (写真 30) と 1 階の床版も飛散して, 基礎と地下室のみ残存している場合 (写真 31) がある。

写真 30 上部構造の飛散（床版が残存）

写真 31 上部構造の飛散

また、構造部材以外の被害としては、写真 32 に示すような飛来物による壁面等の被害も多数認められた。飛来物の多くは住宅の枠組材であり、調査地域では写真 33 のように多くの枠組材が散乱していた。

写真 32 飛来物による壁面の損傷

写真 33 枠組材の散乱状況

4.3 車両、墓石及び樹木等

車両、墓石、樹木及び街路灯の被害を写真 34～38 にそれぞれ示す。墓石は転倒していないものも比較的多くみられた。また、ここに示すもののほか、電信柱も多数折損していた。

写真 34 スクールバスの窓ガラス破損

写真 35 貨物トレーラーの横転

写真 36 墓石の転倒

写真 37 街路灯の折損

写真 38 樹木の折損

5. トルネード被害に対する行政対応等の状況

アイオワ州による記者発表と地元紙の報道内容¹⁾、²⁾に基づいて、トルネード接近時の警報発令状況や被害後の行政の対応状況に関する主な事項を以下にまとめる。

- Parkersburg に対しては 4 時 46 分にトルネード警報が発令されており、トルネードが通過するより少なくとも 5 分前には、サイレンが鳴っていたと思われる。また Parkersburg の発表によれば、今

回のトルネード発生の数日前に追加の警報サイレンを設置したところであり、これが人的被害の抑制につながったと考えられるとのことである。

- Parkersburg と同様に死者を出した New Hartford では、トルネードが通過する少なくとも 15 分前には鳴っていたが、停電のため数分鳴っただけだった。その後は、消防車がサイレンを鳴らしながら巡回したとのことである。
- アイオワ州知事は、5 月 25 日に Butler, Buchanan, Black Hawk 郡、26 日に Delaware 郡にそれぞれ州災害地域 (State disaster area) 宣言を出した。また大統領も被災住民に援助を行うために、7 名の死亡者が確認された 27 日に Parkersburg がある Butler 郡、30 日に Buchanan, Black Hawk, Delaware 郡にそれぞれ連邦災害地域 (Federal disaster area) 宣言を出した。
- アイオワ州では今回のトルネード被害後、6 月に EF3 (推定風速 145mph) のトルネード被害、河川の増水による甚大な洪水被害が連続して発生し、それぞれ死亡者も出した。このような状況を踏まえてアイオワ州知事は、「アイオワ州の復旧・復興 (Rebuild Iowa)」に関する諮問委員会の設置を決定した。同委員会は 15 名の委員から構成され、開催後 45 日以内に州知事及び州議会に対して、今回のトルネードや洪水が州内の経済活動やインフラ等に及ぼした影響評価の報告、復旧活動に資するための初動体制の提言を行わなければならない。さらに、今後より自然災害に強い州にするため、包括的かつ長期的な復旧・復興計画も同委員会内でまとめられる予定である。

6. まとめ

本報では、2008 年 5 月 25 日に米国アイオワ州北部で発生したトルネードによる建築物被害の状況をまとめた。今回発生したトルネードは改良藤田スケールで EF5 であり、今年米国内で 5 月までに発生したトルネードのなかでは最大規模のものである。

住宅の被害に関しては、屋根ふき材等の飛散や飛来物による外装材の被害のほか、小屋組や壁の飛散、上部構造の移動や倒壊等の構造部材の被害も多数確認

された。調査をした範囲では、住宅の構造骨組の被害が概ね400～600mの幅に分布していた。また住宅だけでなく、組積造による高等学校の校舎や工場のタンク施設等も甚大な被害を被った。

参考文献

1) アイオワ州政府記者発表資料

<http://www.governor.iowa.gov/news/>

2) The Des Moines Register (5月27, 28, 29, 30日版)

3) http://en.wikipedia.org/wiki/Tornadoes_of_2008

4) http://www.crh.noaa.gov/crnews/display_story.php?w

[fo=dmx&storyid=14909&source=0](http://www.spc.noaa.gov/efscale/)

5) <http://www.spc.noaa.gov/efscale/>

6) <http://www.wind.ttu.edu/EFScale.pdf>

7) <http://data.desmoinesregister.com/parkersburg/parkersburg.php>

8) 奥田・喜々津・村上：2006年佐呂間町竜巻被害調査報告,

<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2006saroma/2006saroma.pdf>

9) <http://www.spc.noaa.gov/wcm/>

参考資料 米国における2008年のトルネード発生状況（例年の発生数との比較）

米国の商務省国立海洋気象庁は、米国における2008年のトルネード発生数の推移を発表している⁹⁾。図4に2008年7月9日現在の状況を示す。

図4 米国における2008年のトルネード発生数と例年の発生数との比較⁹⁾