

# 平成24年5月につくば市で発生した竜巻被害と 竜巻発生装置を活用した研究の展開

構造研究グループ 主任研究員 喜々津 仁密

## I はじめに

平成24年5月6日に北関東を中心に複数の竜巻が発生し、茨城県つくば市でも建築物等の甚大な被害をもたらした。建築研究所と国土技術政策総合研究所がつくば市内で実施した被害調査の結果、典型的な被害形態がある一方で、過去の調査では見られなかった新たな被害形態も明らかになっている。

これらの特徴的な被害形態を分析するためには、竜巻による突風荷重が建築物に作用する状況を実験的に再現した上で、当該荷重下での被害発生メカニズムを解明する必要がある(図1)。今般の竜巻被害の状況も踏まえ、建築研究所では平成21年度に開発した竜巻発生装置(図2)を積極的に活用した実験的研究を推進しており、本稿では、つくば市での竜巻(以下「つくば竜巻」)による建築物被害と竜巻発生装置を活用した実験的研究の概要について紹介する。

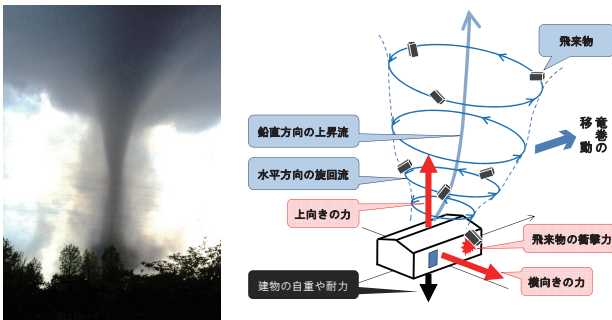


図1 つくば竜巻と竜巻による力の作用イメージ



図2 竜巻発生装置の概観と建築物模型の設置状況

## II つくば市で発生した建築物の竜巻被害

建築研究所では、つくば市内で発生した建築物被害の状況を把握するため、国土技術政策総合研究所と共同で被害発生当日から現地調査を実施した<sup>1)</sup>。調査の結果、過去の竜巻被害事例でも見られた典型的な被害形態(例えば外装材の飛散、木造小屋組の倒壊、飛来物の衝突等、図3~4)だけでなく、過去には見られなかった新たな被害形態も確認した。

図5は2階建て木造住宅のべた基礎の底面が地盤から離れ、上部構造とともに完全に裏返った状況である。また図6~7は鉄筋コンクリート造による5階建て集合住宅の被害事例であり、窓ガラス、サッシの枠、ベランダのアルミ製手すり等が広範囲にわたって損壊した。これら2つの建築物は竜巻の中心経路上又はその付近に位置していたと想像される。しかし、どうしてこのような被害形態に至ったのか、また突風や気圧降下によってどの程度の力が作用したのかといった点がまだ十分に明らかにされておらず、これらの現象を明らかにすることは耐風工学上極めてチャレンジングな課題である。



図3 木造小屋組の倒壊



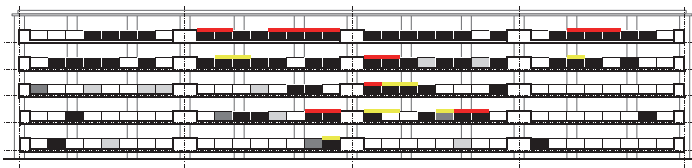
図4 飛来物(屋根)の衝突



図5 基礎を伴って上部構造が転倒した木造住宅



図6 広範囲にわたり外装材が損壊した5階建て集合住宅



部位	色	被害の状況
目隠し パネル	淡灰	軽微な衝突痕又は亀裂
	濃灰	著しい衝突痕
	黒	全面的な破壊
アルミ 手すり	黄	著しい変形
	赤	手すりの両端又は片端の離脱

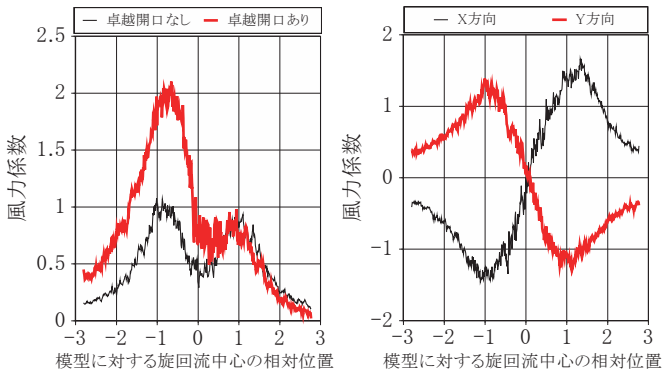
図7 5階建て集合住宅（南面）におけるベランダの目隠しパネルとアルミ手すりの被害分布状況

### III 竜巻発生装置を活用した実験的研究の展開<sup>2)</sup>

#### (1) 竜巻通過時を想定した風圧実験による荷重の評価

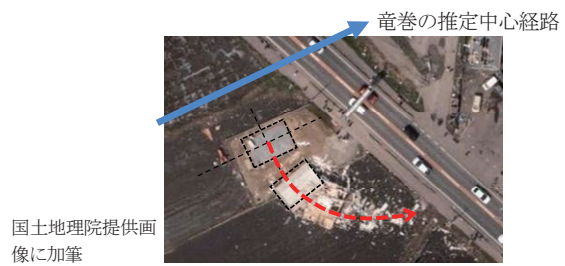
低層建築物の真上を竜巻が通過する状況を実験的に再現し、建築物模型（縮尺 1/350）に作用する突風荷重の特性を把握した。

図8に風圧実験で得た風力係数の例を示す。風力係数は内外圧差を旋回流の最大接線風速から得た速度圧で除して得ており、横軸は模型中心（原点）に対する旋回流中心の位置を旋回流のコア半径  $R_m$  で除した数値である。同図(a)は、壁面に卓越開口（飛来物の衝突の結果生ずる大開口等を想定）がある場合のほうがない場合よりも屋根に約2倍の風力が作用することを示しており、この結果から、竜巻接近時に飛来物に対して開口部を防御することが被害を軽減するうえで重要であると言える。また同図(b)は、竜巻が接近して通過するまでに水平方向の合力の作用が、進行方向に対して左斜め後方から右斜め前方へと180度急変することを示している。特に、装置通過直後の合力の作用方向が、つくば竜巻によって基礎を伴い転倒した木造住宅の飛散方向と整合していることも確認できる（図9参照）。

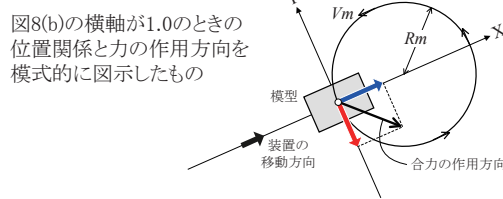


(a) 鉛直方向の風力係数 (b) 水平方向の風力係数

図8 風圧実験結果の例



(a) 図5に示す木造住宅の被害状況



(b) 風圧実験結果

図9 つくば市での実際の被害状況と実験結果との対応関係

#### (2) 竜巻による突風荷重モデルの提案

風圧実験の結果に基づいて屋根に作用する風力係数  $C_{Fz}$  のモデルを(1)式のとおり構築し、これが図8(a)の実験結果に概ね対応することを確認した。また、 $C_{Fz}$  を用いて竜巻による突風荷重  $W_f$  の算定式を(2)式で提案した。

$$\begin{aligned}
 C_{Fz}(x) &= C_a(x) + C_w(x) \\
 &= C_{ae}(x) + C_{we}(x) - C_i(\alpha_i, x) \\
 &= \begin{cases} \frac{x^2}{R_m^2} (C_{we}^* - \alpha_i \varepsilon_r + 1) - 2(1 - \alpha_i \varepsilon_r) - (1 - \alpha_i) C_{wi}(x) & (|x| \leq R_m) \\ \frac{R_m^2}{x^2} (C_{we}^* + \alpha_i \varepsilon_r - 1) - (1 - \alpha_i) C_{wi}(x) & (|x| > R_m) \end{cases}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$W_f(x) = \frac{1}{2} \rho V_m^2 \cdot C_{Fz}(x) \cdot v \tag{2}$$

上式において、 $C_a(x)$ ：気圧降下を考慮した風力係数、 $C_w(x)$ ：旋回流の直接作用を考慮した風力係数、 $\rho$ ：空気密度、 $V_m$ ：旋回流の最大接線風速、 $v$ ：ばらつきを考慮した補正係数、 $x$ ：旋回流中心の座標である。

### IV まとめ

今後は、竜巻発生装置を活用した実験結果を踏まえ、竜巻による特徴的な被害発生メカニズムの解明と系統的な突風荷重モデルの展開を進める。また、これと並行して人命、財産保護の観点で被災後の影響が大きい重要施設等を対象に、被害の軽減に資する性能検証法の調査及び検討を実施する予定である。

参考文献<sup>1)</sup> 国土技術政策総合研究所，建築研究所：平成24年（2012年）5月6日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告，建築研究資料，No. 141，2013. 2) 喜々津他：竜巻通過時に低層建築物に作用する風力特性に関する実験的研究，第22回風工学シンポジウム論文集，pp. 209-214，2012.