

1) - 2 建築物の竜巻による被害発生メカニズムの解明【基盤】

Study on Damage Generation Mechanism of Buildings under the Effect of Tornado

(研究期間 平成 24~25 年度)

構造研究グループ

Dept. of Structural Engineering

喜々津 仁密

KIKITSU Hitomitsu

Recently in Japan, significant tornado-induced damage has been observed among buildings. The main purpose of this study is to summarize such structural damage state and clarify damage generation mechanism using a tornado-like wind simulator. In this study, tornadic wind force characteristics on the roof of low-rise building was experimentally evaluated and it was made clear that the presence of a dominant opening plays an important role in the characteristics. The concept of structural design against effect of tornado was also organized for critical facilities such as designated emergency buildings

[研究目的及び経過]

近年では、平成 24 年に茨城県つくば市を襲った竜巻をはじめ、甚大な竜巻による建築物等の被害が顕在化し、社会的にも大きなインパクトを与えている。このような状況を背景にして本研究では、被害調査で得た特徴的な被害形態を対象に、竜巻による建築物の被害発生メカニズムの解明を目的とする。ここでは突風荷重の作用状況を竜巻発生装置で実験的に再現し、竜巻規模等の各パラメータが風力に与える影響を系統的に評価する(図 1, 2)。次に重要施設等の被害軽減に資することを目的に、国内外の対竜巻性能検証法を調査し、竜巻による被災を想定した性能検証の考え方を整理する¹⁾。

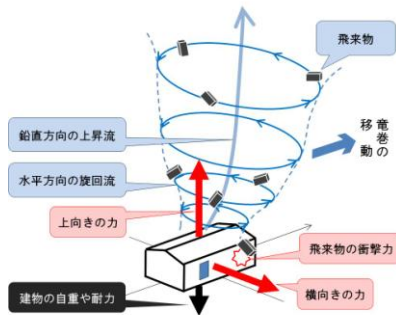


図 1 竜巻による突風荷重の作用形態

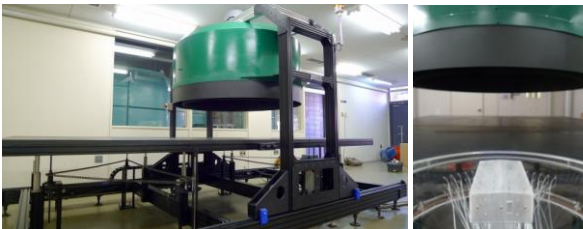


図 2 竜巻発生装置の外観と風圧実験用模型の設置状況

[研究内容]

本研究は、以下の 4 つのサブテーマから構成される。

- 1) 竜巻による建築物の被害形態の整理・分析、2) 竜巻発生装置を活用した建築物に作用する突風荷重の評価、3) 竜巻による特徴的な被害発生メカニズムの解明、4) 竜巻被害軽減に資する建築物の性能検証法の調査及び検討

サブテーマ 1) に関連して、平成 24 年度は 5 月 6 日に茨城県つくば市を襲ったフジタスケール F3 の竜巻、平成 25 年度は 9 月 2 日に埼玉県越谷市等を襲った F2 の竜巻による建築物等被害の調査を実施した。以下では前者をつくば竜巻、後者を越谷竜巻とよぶ。

[研究結果]

(1) 竜巻による建築物の被害形態の整理・分析

つくば竜巻の被害調査結果を踏まえ、建築物等の被害形態の整理、被害発生風速の推定、被害発生メカニズムの検討等を行った。典型的な被害事例以外にも、木造住宅の転倒や 5 階建て集合住宅建具の著しい損壊が確認され(図 3)、甚大な被害地域での竜巻状旋回流をランキン渦と仮定した場合の最大風速半径、集合住宅での建具被害分布から竜巻による荷重・外力の高さ方向分布を明らかにした(図 4)。

また越谷竜巻による被害では、文教施設の被害として、窓ガラスの破損、体育館の屋根ふき材の飛散、プロティ部分の天井の面的な剥がれ等が確認された(図 5)。

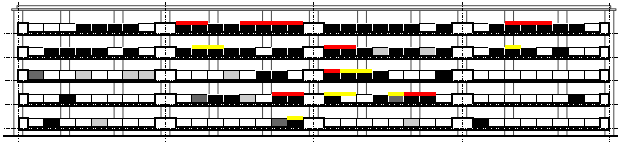


(a) 木造小屋組の倒壊 (b) 飛来物(屋根)の衝突
図 3 つくば竜巻の被害事例



(c)住宅上部構造の転倒 (d)集合住宅建具の著しい損壊

図3 つば竜巻の被害事例(つづき)



| 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 |

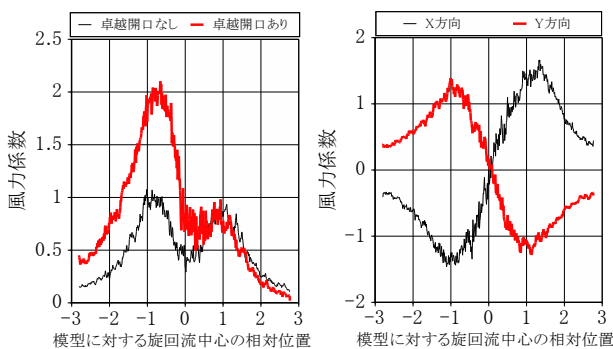
図4 5階建て集合住宅(南面)におけるベランダの被害状況



図5 越谷竜巻の被害事例(鉄骨造の文教関連施設の屋根ふき材と天井材の被害)

(2) 竜巻発生装置を活用した建築物に作用する突風荷重の評価

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, 図 2)に作用する突風荷重の特性を把握した。



(a)鉛直方向の風力係数 (b)水平方向の風力係数

図6 風圧実験結果の例

図 6 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最大風速半径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ことが言える。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。

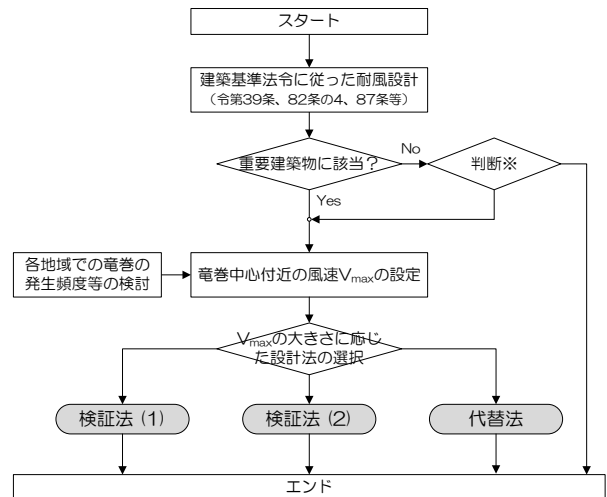
(3) 竜巻を想定した設計の考え方の整理と課題の抽出

人命・財産・機能保護の観点で、竜巻による被害を最小限に軽減することが期待される重要な用途建築物(重要建築物)に対しては、設計時に竜巻による作用をいかに考慮すべきか、その考え方をきめ細かく整備することが求められる。この観点で既往の調査研究の結果、国内外での関連動向を参考にして、竜巻による作用を想定した設計(対竜巻設計)の検討を行った(表1, 図7)。

表1 最大風速 V_{max} に応じた設計法のイメージ

| 設計法の種類 | | V_{max} の目安 | | |
|--------|---------------------------------|---------------|----------|--------|
| | | 20~50m/s | 50~70m/s | 70m/s~ |
| 検証法 | (1) 竜巻の作用を直接考慮した突風荷重による計算 | ○ | ○ | ○ |
| | (2) 建築基準法等に定める数値を割り増した荷重を準用した計算 | ○ | △ | △ |
| 代替法 | 屋根や開口部等について、耐風性能の向上に配慮した構造方法の採用 | ○ | △ | - |

凡例○：当該方法によることができる。△：当該方法によることができるが、竜巻の中心付近での気圧降下の影響には慎重な判断を要する。-：当該方法以外の方法による。



※) 判断とは、設計者の設計方針に基づく判断のこと。重要建築物に該当しない場合であっても、竜巻を想定した詳細な設計を選択する判断等のことを示している。

図7 建築物の対竜巻設計フローのイメージ

【参考文献】

1) 喜々津仁密, 建築物の竜巻被害軽減に向けた研究と課題, 平成 25 年度建築研究所講演会資料, 建築研究資料 No. 157, pp. 49-66, 2014