

「第12回環境研究シンポジウム」

近年の竜巻災害に基づく 建築物の被害発生メカニ ズムの解明

喜々津 仁密

独立行政法人建築研究所
構造研究グループ 主任研究員

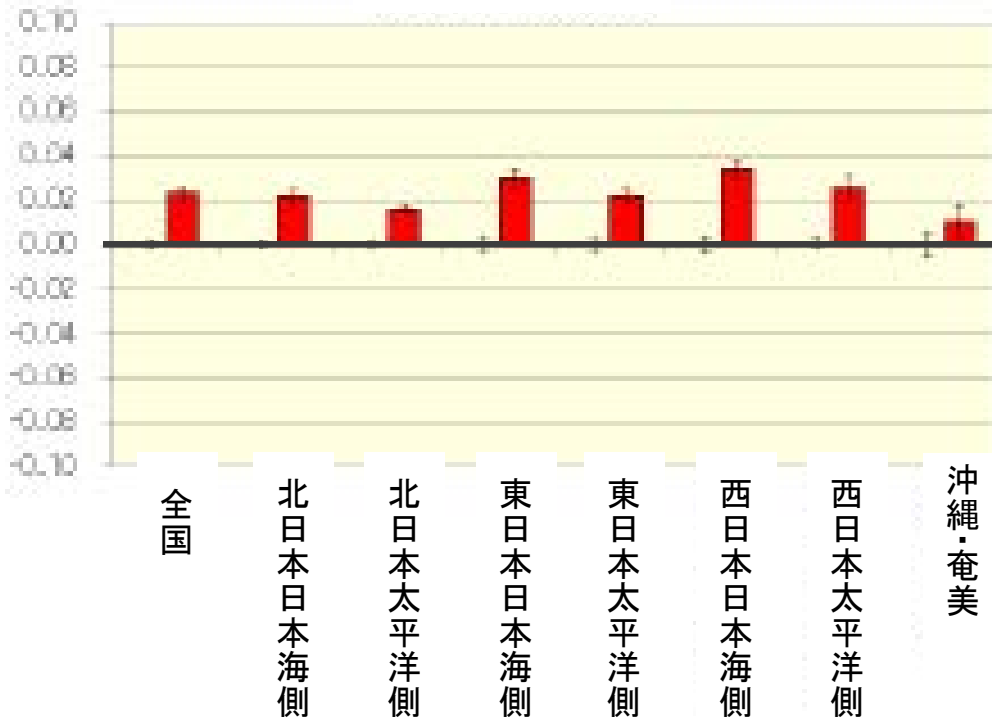
報告の内容

1. 研究の背景
2. 建築物等の竜巻被害の概要
3. 竜巻発生装置を活用した実験的研究の展開
4. まとめ

- 平成24年5月、平成25年9月に関東地方で竜巻が発生し、相次ぐ竜巻の発生と被害の甚大さは**社会的にも大きなインパクト**を与えた。
- 竜巻は**発生頻度が低く**、通常の耐風設計で考慮するのは合理的ではない。また、観測網で捉えることがまれで、設計に反映できる**知見が不十分**である。
- 建築基準法では、竜巻による荷重外力は**想定されていない**。

研究の背景(2)

- しかし、気象庁「地球温暖化予測情報 第8巻(2013)」によれば、将来、突風の発生しやすさを示す大気環境場の指数(エネルギー・ヘリシティ・インデックス, EHI)は、いずれの地域でも不安定の方
向に変化しており、今後、**突風や雷雨の発生する可能性が高くなる**ことが想定される。



地域別の年平均EHIの変化
気象庁(2013)

赤い棒グラフが現在の気候との差を示している。

- また、近年の竜巻被害をみると、**被害後の人命・財産・機能に与える影響**が無視できない事例も確認されており、通常の耐風設計の延長上で**竜巻に対する配慮や対応策**が求められる場合も想定される。
- 以上を背景にして、建築研究所では平成24年5月のつくば竜巻後すみやかに、**建築物の竜巻による被害発生メカニズムの解明に資する研究を開始した。**



建築物等の竜巻被害の概要

木造建築物(小屋組の破壊・飛散)

木造小屋組の破壊・飛散は竜巻による**典型的な被害形態**であり、今般の調査でも多く確認された。

この被害形態では、**窓ガラスなど開口部の損壊**(大きな開口の発生)も同時に見られることが多い。

(つくば市)



切妻屋根



寄棟屋根



片流れ屋根

木造建築物(上部構造の倒壊・飛散)

上部構造の倒壊・飛散事例は、つくば竜巻、越谷竜巻双方で確認した。

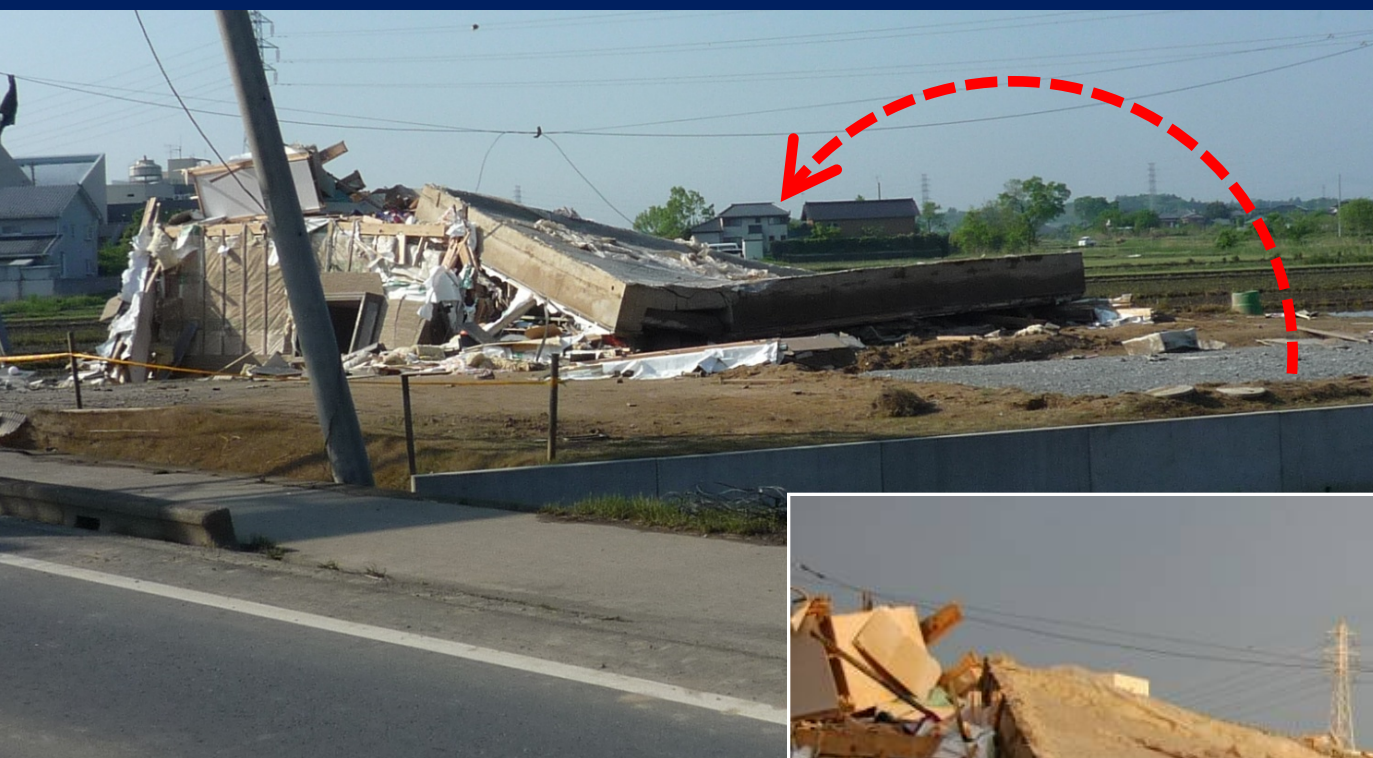


一部の土台が残存しているものの、ほとんどの上部構造が飛散した事例(つくば市)



上部構造全体が飛散し、近隣の住家に衝突した事例(越谷市)

木造建築物（上部構造の基礎を伴う転倒）



（つくば市）

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しになっていた。過去の建築研究所の被害調査ではみられなかった被害形態である。



RC造建築物（開口部・建具の損壊）



5階建て集合住宅（つくば市）

RC造建築物（開口部・建具の損壊）

目隠しパネル
が全て飛散

5階

4階

3階

2階

堆積物
が多い

手すりが手前に大きく引抜かれている

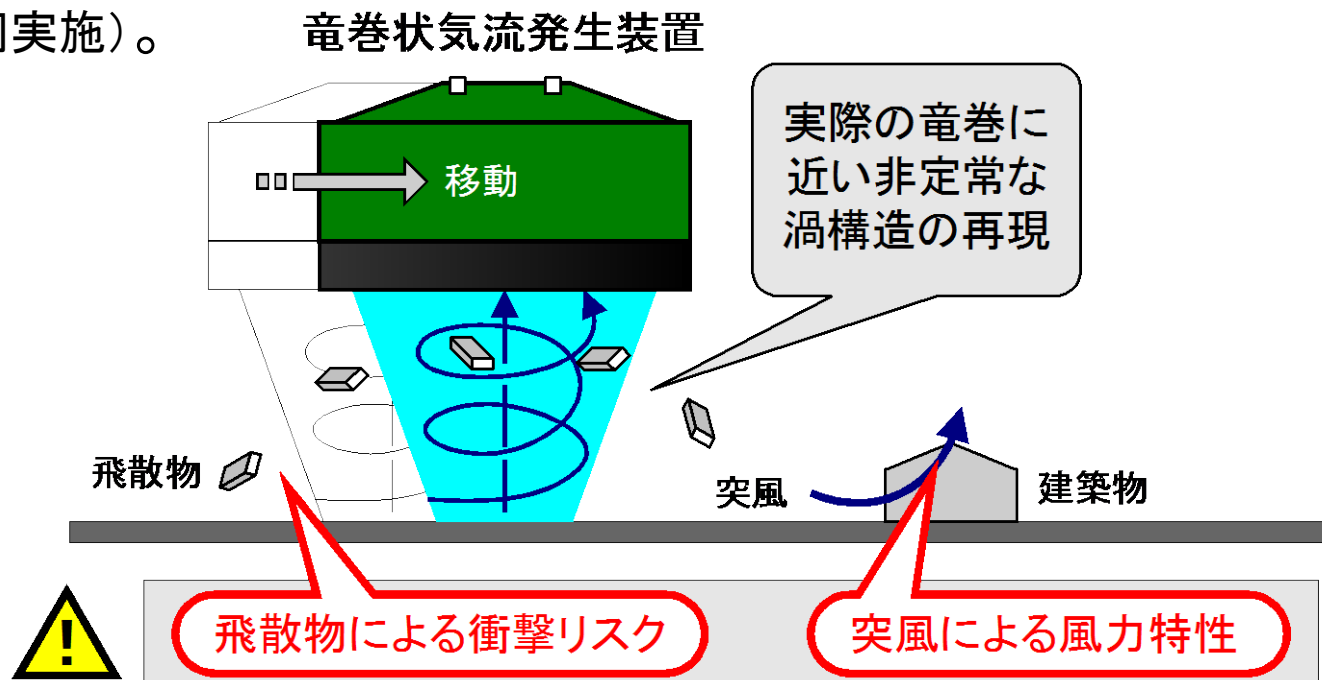
11



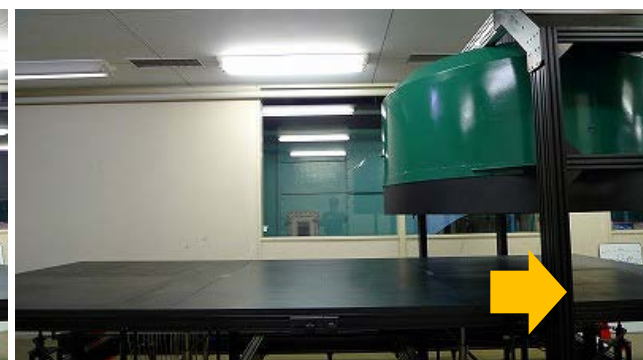
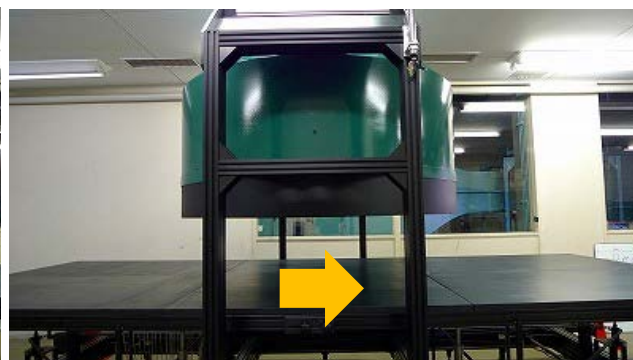
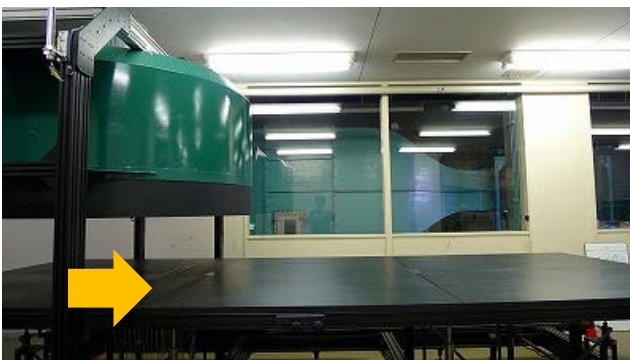
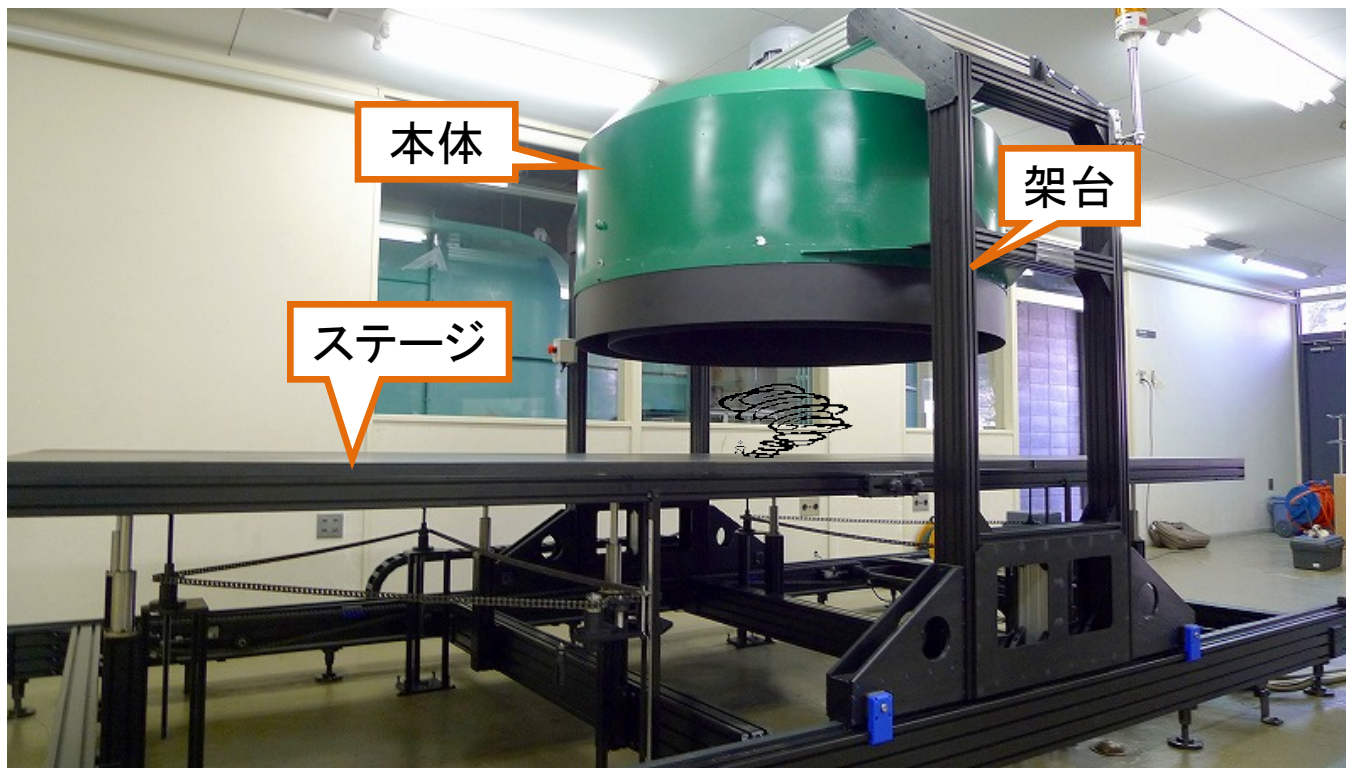
竜巻発生装置を活用した 実験的研究の展開

実験的研究の背景

- 竜巻等突風による力は、通常の風洞実験で評価される風力特性と大きく異なるが、実験による知見は十分に蓄積されていないのが現状。
- 竜巻による被害発生メカニズムに影響する風力特性、飛来物による衝撃リスクを実験的に評価することを目的に、平成21年度に**竜巻発生装置**を製作した(科研費補助金の助成を受け、国総研、東大、京大防災研と共同実施)。



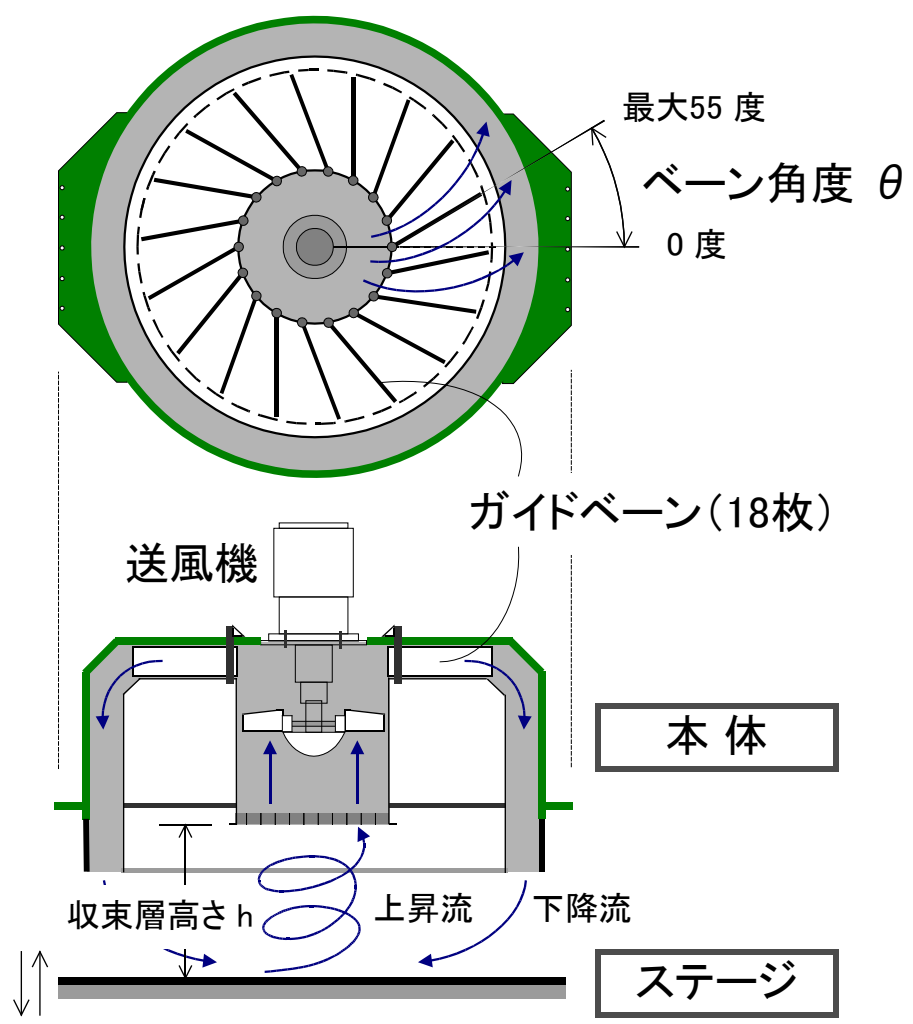
竜巻発生装置の概要



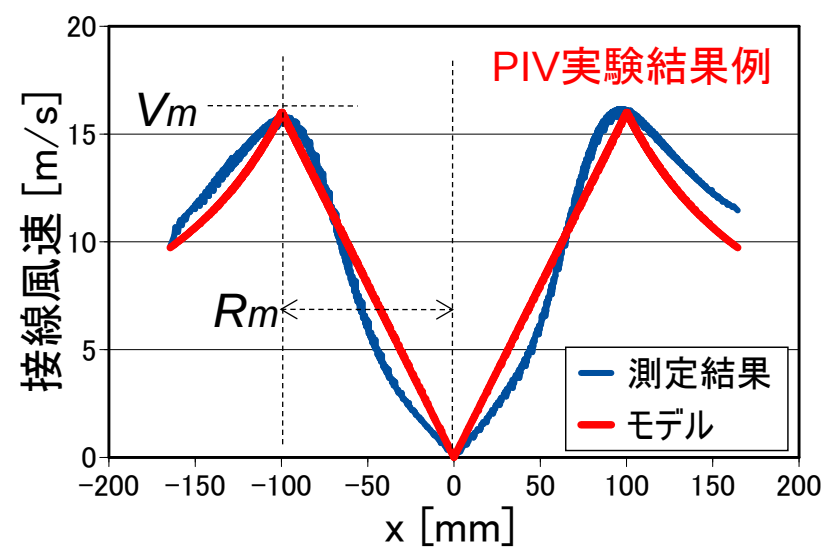
横方向に移動可能

旋回流の発生機構

旋回流の発生機構は、送風機の回転数、ガイドベーンの角度及びステージの高さを自在に変化させるものである。

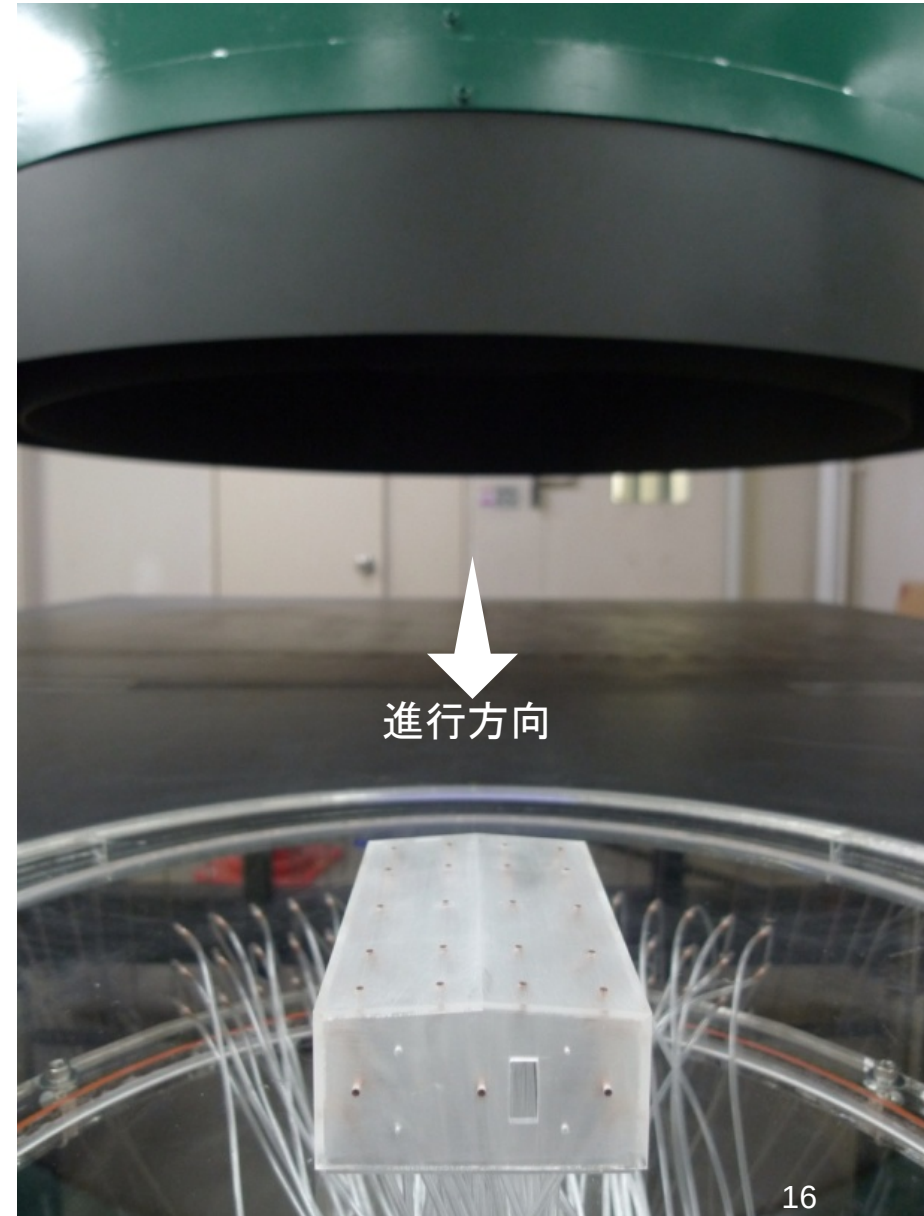


実験気流が竜巻の工学モデル(ランキン渦モデル)に適合することを確認。



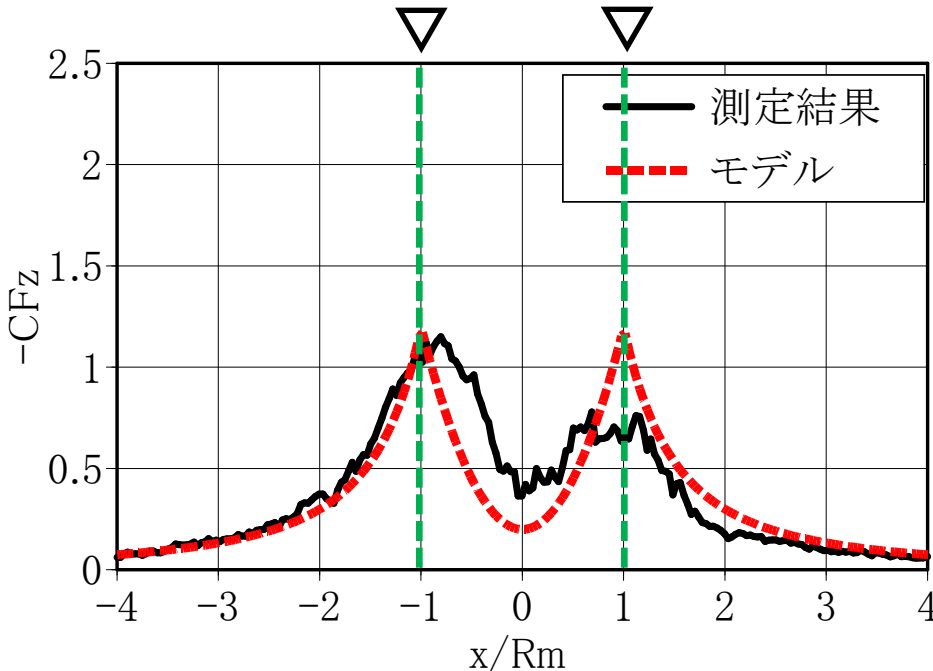
開口の有無を考慮した建築物の風圧実験(1)

- 工場などの非住家施設の真上を竜巻が通過する状況を再現し、**模型の壁と屋根に作用する風圧**を測定して竜巻による風力特性を評価した。
- 模型の各壁面には、一様なすき間と**飛来物による衝撃痕等を想定した大きな開口**を設ける。
- 風力特性は、風力(=外圧-内圧)の測定値を基準となる速度圧で除した風力係数で評価する。風速の縮尺は1/10、模型の大きさの縮尺は1/350。

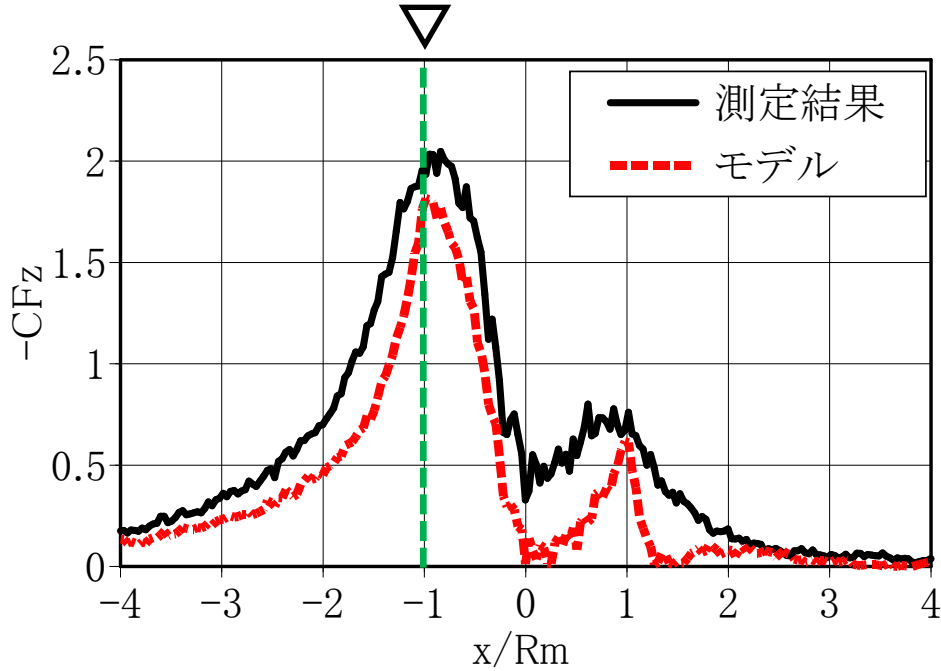


開口の有無を考慮した建築物の風圧実験(2)

最大接線風速が模型中心に作用するタイミング



壁に大きな開口がない場合



壁に大きな開口がある場合



注)横軸は模型中心(原点)に対する, 移動する装置中心の相対位置を表す

竜巻通過時に飛来物の衝突による開口部の損壊(大きな開口の発生)は、屋根に作用する荷重増加(上記の結果では約2倍)にもつながる。開口部の損壊を防ぐため、**耐衝撃性に配慮したガラスの採用、雨戸等による開口部の防御措置**が重要かつ有効である。

実験結果に基づく竜巻による突風荷重の提案

竜巻による 突風荷重

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

ρ : 空気密度

V_m : ランキン渦を仮定した最大接線風速

x : 建築物中心に対する竜巻モデル中心の座標

C_{Fz} : 屋根に作用する風力係数、 v : ばらつきの補正係数



・各種の実験パラメータを反映させて、系統的な風力係数モデルを構築
・測定結果に概ね整合することを確認した

屋根の 風力係数

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

R_m : ランキン渦を仮定したコア半径

C_{we}^* : 外圧係数

ε_r : すき間の大きさに応じた係数、 C_{wi} : 大きな開口に最も近い壁面上の外圧係数

α_i : 内圧効果に対するすき間と大きな開口の寄与の程度を表す係数

- 現地調査で得た建築物等の竜巻被害の実態をまとめるとともに、竜巻発生装置を活用した実験的研究の概要について述べた。
- 将来、地球温暖化の影響でいずれの地域でも、**突風や雷雨の発生する可能性が高くなる**ことが想定される。
- 近年の竜巻被害を踏まえれば、通常耐風設計の延長上で**竜巻に対する配慮や対応策**の整備が必要である。
- 対竜巻設計の考え方には、通常耐風設計とは異なる発想が求められる。建築研究所では、ひきつづき**竜巻発生装置**を活用した技術的な知見を蓄積していく予定である。

建築研究所 竜巻

検 索

