

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656118

研究課題名（和文） ダウンバーストシミュレータの製作と風荷重評価の試み

研究課題名（英文） Trial construction of a downburst simulator and its application to wind load evaluation on buildings

研究代表者

植松 康 (UEMATSU YASUSHI)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60151833

研究成果の概要（和文）：まず、既往の研究並びに気象庁等による竜巻やダウンバースト等突風災害に関する調査結果に基づき、ダウンバーストの特性を把握した。次に、ダウンバーストシミュレータの設計の参考資料を得るため、我が国並びに北米の大学等で開発された竜巻シミュレータを調査した。そして、それらの成果をもとに、ダウンバーストシミュレータの試作を行うとともに、ダウンバースト中に置かれた建物に作用する風力の測定方法について考察した。

研究成果の概要（英文）：First, the characteristics of downbursts was investigated based on the review of the previous studies as well as of the damage investigations conducted by the Japanese Meteorological Agency and so on. Then, information about the design of tornado simulators was obtained from some universities and institutes in Japan and North America. Based on these surveys, a downburst simulator was designed and constructed. A discussion was made of the measuring method of wind loads on buildings induced by downbursts.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	700,000	0	700,000
2011 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	690,000	3,690,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：ダウンバースト、シミュレータ、風荷重、突風災害

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国では竜巻やダウンバースト（積乱雲の下に局地的・短時間に上空から吹く極端に強い下降流）など突風災害がしばしば発生し、人的・物的被害を引き起こしている。例えば、2003年12月羽越線特急「いなほ14号」の転覆事故（死者5名）、2004年9月宮崎県延岡市および同年11月北海道佐呂間町での竜巻災害（死者3名および9名）は記

憶に新しい。地球温暖化により、突風災害は今後益々増えると考えられている。近年、竜巻等突風の発生予測に関する研究は気象学分野でかなり進んだが、竜巻やダウンバースト内の風の性状や構造物に作用する風荷重に関する研究は非常に少ない。また、建築基準法をはじめ現行の耐風設計ではこのような突風による風荷重は全く考慮されていない。

このような中、竜巻に関しては、近年、米国アイオワ州立大学の Sakar, 東京工芸大学の松井, 建築研究所の喜々津は、竜巻シミュレータの開発を行っている。一方、ダウンバーストについては、数値流体解析(CFD)による研究が多く実験的研究は少ない。妥当な CFD モデルを確立するため、またダウンバーストに対する合理的な耐風設計法を確立するためには、ダウンバーストシミュレータを製作し、精度よい実験を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、ダウンバースト内の風速分布やダウンバースト内に置かれた構造物に作用する風圧・風力を研究するための大型の「ダウンバーストシミュレータ」(直径3m程度を想定)の製作を目指し、その製作に当たっての問題点を抽出する。そのため、気象学および風工学における関連文献および国内外の研究動向調査に加え、プロトタイプの 1/4 程度の縮尺モデルを試作する。また、それを用いて、ダウンバースト内に置かれた建築物に作用する風荷重の測定を試みる。

ダウンバーストは積乱雲の下に発生するが、この積乱雲は一般には上空の風で移動する。従って、移動する積乱雲からの下降流をシミュレートする必要がある。しかし、その場合には、地表面付近の流れは非常に複雑となる。そこで、本研究では、研究の第一歩として、静止している積乱雲からのダウンバーストをシミュレートする装置の開発を行う。それによって、ダウンバースト内の気流分布や建築物に作用する風荷重の基本的な性状を先ず把握する。将来的にはそれを一定速度で移動できるように改良し、より一般的なダウンバーストを扱えるようにする。

3. 研究の方法

本研究は以下の4ステップよりなる。

- (1)ダウンバースト内の風速分布やダウンバースト内の建築物に作用する風荷重に関する既往の研究(気象並びに風工学分野)をサーベイする。
- (2)我が国における竜巻やダウンバースト等突風による被害状況を把握することで、ダウンバースト内の風速の大きさや分布に関する知見を得る。なお、本研究では、気象条件が類似している北海道および東北地方を対象とし、1950年代以降のデータを収集してデータベースを作成する。
- (3)ダウンバーストシミュレータの製作に当たっての技術的課題を明らかにするため、先行例である竜巻(トルネード)シミュレータについて我が国並びに北米での実情を把握する。情報収集を行う機関は以下の通りである。
日本：建築研究所, 東京工芸大学

北米：アイオワ州立大学(米国), 西オンタリオ大学(カナダ)

(4)小型のダウンバーストシミュレータの設計と試作を行う。また、ダウンバースト内に置かれた建築物に作用する風荷重の測定を試みる。そして、これらの課程を通して、最終的な目標である大型のシミュレータを製作する上での課題と解決策を整理する。

4. 研究成果

(1) 既往の文献調査

1990年に米国・シカゴ大学の Fujita によってダウンバーストが初めて定義された。その後実験的研究が行われたが、近年では、コンピュータと数値解析技術の著しい進歩を受け、数値流体解析(CFD)を用いた研究が行われるようになった。再現の精度が向上したため、2007年以降では地形の影響や噴流の直径、発生高さ、下降噴流の速さなどダウンバーストの性質に影響を及ぼすパラメータの研究が行われている。また、カナダ・西オンタリオ大学の Hangan らは被害率を示すモデルの提案を行っており、ダウンバーストの性質のみではなく建物への影響へと研究対象がシフトしてきている。なお、本研究で詳細な調査を行った文献は18編であるが、その内訳は、実験的研究9件、数値シミュレーション12件(うち3件は両方)である。

ダウンバーストは発生から終息まで噴流直径が変化し続け、大気層風により噴流発生位置が移動する。噴流直径が変わらない状態を定常噴流といい、時間変化するものを非定常噴流という。ほとんどの実験と数値シミュレーションで定常噴流が使用されている。非定常噴流の性質は未解明であり、またダウンバーストの時間歴、瞬間最大風速を記録する鉛直プロファイルについては定常噴流の使用で十分再現可能であると考えられている。

ある程度非移動ダウンバーストの性質が明らかになると、移動するダウンバーストの検討が行われるようになった。Letchford らは実験装置自体を移動させることで移動するダウンバーストの検討を行った。数値シミュレーションにおいては、2007年以降に定常噴流に周囲の環境として大気層風を考慮することで検討されている。

(2) 突風データベースの作成

北海道および東北地方を対象に、1955年以降発生した竜巻やダウンバースト等突風並びにそれによる災害に関する情報を収集してデータベースを作成した。含まれている情報は以下の通りである。

- ①現象区分(竜巻, ダウンバースト, ガストフロントなど)
- ②発生日時・場所(都道府県市町村)

- ③発生および消滅場所(緯度, 経度)
- ④フジタスケール
- ⑤被害幅, 被害長さ
- ⑥主な被害状況(人的被害, 物的被害)
- ⑦総観場(突風を発生させる原因となった気象現象)
- ⑧新聞記事(地方紙), 地上天気図

このデータベースを用いた解析を行うことで、竜巻やダウンバーストなど突風の規模、被害と風速との関係、突風によって引き起こされる現象などを把握することができる。我が国にこれまで発生したダウンバーストのフジタスケールはいずれも F1 以下であり、竜巻に比べると風速は弱い。関東以西では夏から秋にかけて発達した積乱雲の下に発生することが多いが、北海道や東北地方では秋から冬にかけての低気圧や寒冷前線の下で発生することが多い。

(3)竜巻(トルネード)シミュレータの調査

本研究を進める上で非常に参考になったものは、米国・アイオワ州立大学のトルネード・ダウンバーストシミュレータである(図1)。これは直径が最大約 1.2m の竜巻状の旋回流や最大 1.8m の下降流を再現できる装置であり、最大約 0.5m/s で移動可能である。ただし、開発した Sarkar の話では、床面までの距離が短いため、ダウンバーストは上手く再現できないとのことであった。



図 1 米国・アイオワ州立大学のトルネード・ダウンバーストシミュレータ

また、カナダ・西オンタリオ大学 Hangan らは、図2に示される直径 25m の大規模な実験装置(WINDEEE DOME)を開発している。これは周囲の壁面と天井中心部に多数のファンを設置し、それらをコントロールすることで、通常の風洞流のような平行流だけでなく、竜巻状の気流やダウンバーストのような下降流も再現できるというものである。現在、縮尺率 1/5 程度のミニチュアモデルを用いて予備検討を行ってところである。これが完成すれば、より詳しい実験を行えると期待される。

る。

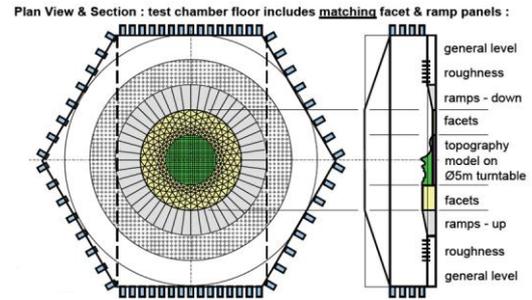


図2 カナダ・西オンタリオ大学の WINDEEE DOME の概念図

(4)小型のダウンバーストシミュレータの試作

ダウンバーストを引き起こす積乱雲は上空風に乗って移動する。フジタスケール F1~2 を想定すると、最大瞬間風速は 50~60m/s に達する。一方、積乱雲の移動速度は最大 10~15m/s 程度と想定される。今、ダウンバーストシミュレータにおいて風速の縮尺率を 1/6 程度とすると、移動速度は最大 2m/s 程度となる。アイオワ州立大学の竜巻シミュレータのように、重い送風機を上空に設置して移動しようとする、架構がかなり大規模になる上、2m/s もの速い移動速度を得ることは困難である。そこで本研究では、天地を逆にして上に吹き出す形式とし、床に敷かれたレール上を送風部が移動させるようにするもの(自走式)として設計を行った。ただし、本研究の範囲では、経費と研究期間の都合上、移動させることはせず、固定して風速分布等基本的な性状を把握することとした。(1)~(3)の成果を踏まえ、本研究で試作する小型ダウンバーストシミュレータの仕様を以下のように決定した。

- ①吹く出し口の直径 600mm
- ②最大風速(平均) 約 10m/s
- ③最大移動速度 約 2m/s
- ④地面盤(天井)の高さ 吹く出し口より 650~1250mm の範囲で可変

試作した装置を図3に示す。また、測定した風速分布の一例を図4に示す。

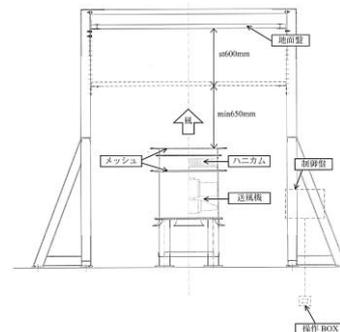
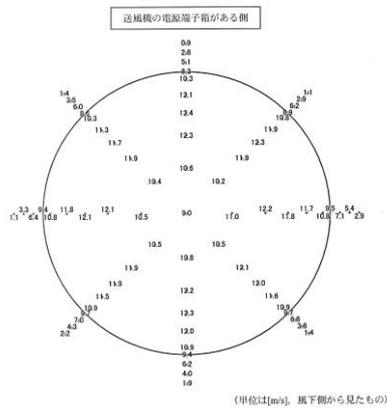
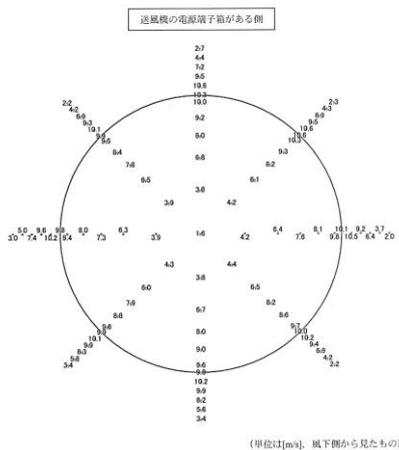


図3 試作したダウンバーストシミュレータ



(a)地面盤がない場合



(b)地面盤がある場合

図4 風速分布の測定例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. 植松 康, 高橋章弘, 2009年10月30日 秋田県能代市で発生した竜巻災害, 東北地域災害科学研究所, 第47巻, 2011年, 53-58(査読無)
2. 植松 康, 高橋章弘, 竜巻災害時の住民の意識調査—佐呂間町の竜巻災害を例として, 西部地区自然災害災害資料センターニュース, No.42, 26-32, 2010年(査読無)

[学会発表] (計3件)

1. 高橋章弘, 植松 康, 堤 拓哉, 竜巻等突風災害における行政対応, 日本建築学会大会, 東京, 2011年8月23日
2. 高橋章弘, 植松 康, 堤 拓哉, 竜巻等突風災害に対する行政の対応状況, 第21回

風工学シンポジウム, 東京, 2010年12月3日

3. 高橋章弘, 植松 康, 堤 拓哉, 竜巻等突風災害における行政対応の現状と課題—その1 被災経験と発災時の対応, 日本建築学会大会, 富山, 2010年9月9日

[図書] (計1件)

1. 植松 康ほか, Emerald, Environment Disaster Linkages (Community, Environment and Disaster Risk Management Vol. 9), 35-60ページ, 2011年

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/adpe/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植松 康 (UEMATSU YASUSHI)
東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 60151833

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: