

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：82115

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02293

研究課題名（和文）地表面付近での粗度効果を反映した竜巻荷重算定法の体系化

研究課題名（英文）A Study for Systematizing Calculation Method of Tornado-induced Loads
Considering Roughness Condition Near the Ground

研究代表者

喜々津 仁密（KIKITSU, Hitomitsu）

国土技術政策総合研究所・建築研究部・室長

研究者番号：10370694

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,880,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、地表面付近の粗度効果を考慮した竜巻状気流による荷重（竜巻荷重）を検討するものである。まず、国内外での地表面付近の竜巻観測結果に関する文献を通して、地表面粗度と竜巻の構造や気流特性との関係について分析した。観測記録の傾向は竜巻状気流発生装置による気流可視化実験で得た風速分布と概ね整合することを確認した。次に床面上での粗度ブロックの抗力特性把握のための風圧実験を行い、抗力はスワール比が大きいほど絶対値が大きくなること等を確認した。さらに、オイラー方程式の外力項が粗度ブロックの抗力と釣り合うものと仮定し、上記の定性的傾向を反映することで、粗度効果を反映した圧力降下モデルを検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に建築物への竜巻による作用は、小スケールかつ急激な気圧降下を伴う点で台風等の強風による作用と異なる。したがって、竜巻荷重の体系化においては現行の風荷重と異なる観点でモデル検討をする必要があり、本研究はその一助となることを目的に実施したものである。竜巻による顕著な建築物被害が報告されている近年の状況を踏まえ、本研究での地表面粗度を考慮した検討の成果は、より竜巻作用の実状に近い荷重モデルの整備に寄与でき、被害の軽減に資する可能性もある点において学術的、社会的な意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study examines the load due to the tornado-like wind (tornadic load) considering the roughness effect near the ground surface. First, the relationship between surface roughness and wind characteristics of the tornado was analyzed through technical papers on the tornado observations near the ground. It was confirmed that the tendency of the observation record is almost consistent with the wind speed distribution obtained in the flow visualization experiment using the tornado-like wind generator. Next, wind pressure experiments were conducted to grasp drag characteristics of the roughness blocks on the floor, and it was confirmed that the absolute value of the drag force increases as the swirl ratio increases. Furthermore, assuming that the external force term of the Euler equation is balanced with the drag of the roughness blocks, a pressure dip model that reflects the roughness effect was examined by reflecting the above qualitative tendency.

研究分野：建築構造、風工学

キーワード：竜巻 地表面粗度

1. 研究開始当初の背景

近年では、国内外で気象外乱の甚大化とともに竜巻による顕著な建築物被害も顕在化し、その被災状況は社会的にも大きなインパクトを与えている。このような状況のもと、竜巻の突風によって建築物に作用する荷重（竜巻荷重）の体系化が求められる。その点において日本建築学会の技術資料では竜巻荷重設定の考え方として、（ ）突風による力を定常な流体力に置換し、それを竜巻荷重とみなす方法、（ ）竜巻による突風特有の特性を算定式に反映する方法のいずれかで設定することとされている。（ ）の方法では現行の法令や指針に定める係数を援用でき、米国でも同じ考え方による風荷重規準があるが、（ ）の方法による設計体系は国内外ともに未整備である。

2. 研究の目的

本研究は、室内実験と観測事例から地表面付近の竜巻による気流特性を評価し、竜巻荷重の算定法を構築するものである。竜巻荷重の算定では、地表面付近での小スケールかつ急激な気圧降下特性を適切にモデル化する必要があることから、既往の科研費課題で製作した竜巻状気流発生装置で得た実験結果を適切に反映する。その上で、地表面付近での粗度効果と竜巻状気流の特性との関係を把握し、竜巻荷重の体系的な算定法に資する圧力降下モデルを検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 既往の竜巻観測・被害調査結果の分析・整理

近年、国内外の研究プロジェクトによって地表面付近での竜巻観測結果が報告されてきている。これらの入手可能な公表論文等を通して、地表面粗度の実況と竜巻の構造や気流特性との関係について分析する。また近年発生した竜巻被害を調査し、建築物の被害形態を収集する。

(2) 粗度ブロックを有する床面の風圧実験

竜巻荷重は旋回流の直接作用と急激な気圧降下による作用の組み合わせであり、いずれも地表面の粗度状況に依存するものである。ここでは、粗度ブロック模型を用いた風圧実験によって地表面粗度の違いに応じた粗度ブロックでの風力特性の関係を把握し、圧力降下量のモデル化のためのデータを収集する。

(3) 地表面粗度を考慮した圧力降下モデルの検討

(1)～(2)で把握した定性的な傾向を反映する形で、竜巻状気流のスワール比と地表面粗度の影響を考慮した圧力降下モデルを検討する。

4. 研究成果

(1) 既往の竜巻観測結果の分析・整理

既往の竜巻観測で得られた速度分布と気圧降下分布を対象に、竜巻荷重モデルとの比較検証に資するデータベースとして活用することを目的として、国内事例1件、海外事例5件を分析・整理した。観測事例の修正ランキン渦モデルへの適合性について、最大風速半径を超える範囲での風速の接線成分のべき指数の検証を行った。例えば、海外の郊外での事例では β が -0.45～-0.65、国際空港内の事例では地上10mで β が概ね -1、国内の事例では β が -0.4又は -0.6とした場合に適合性がよい結果である。また、地表面での摩擦が旋回流の遠心力と気圧傾度力との釣り合いに影響すること、べき指数の大小は角運動量の摩擦損失に起因すること等の知見も得られた。竜巻状気流発生装置による既往の気流可視化実験で得た粗度密度とべき指数との関係を図1に示す。装置上部のベーン角度にも拠るが、粗度密度が0.05を超える範囲で β が -0.6～-0.5となり、粗度密度が小さくなるほど β が -1に近づく傾向である。この傾向は上記の観測事例と整合した結果となっている。

(2) 粗度ブロックを有する床面の風圧実験

本実験では竜巻状気流発生装置を用いて、装置床面上に配置した粗度ブロックに作用する風圧特性を把握することを目的とする。表1に粗度ブロック模型の概要、写真1に粗度ブロック模型の設置状況を示す。立方体形状のブロックは千鳥配置されており、ブロック各面に風圧測定孔が設けられている。竜巻状気流については、装置上部のベーン角度を20、30、40、55度の4通りに設定した。なお、以下ではベーン角度20、30、40、55度に対応する実験条件をそれぞれ、S1、S2、S3、S4と表記する。

表1 粗度ブロック模型の概要

模型名称 (粗度密度)	ブロックの 辺長(mm)	ブロックの 間隔(mm)	ブロック 個数
R1 (0.014)	20	240	25
R2 (0.056)	20	120	85
R3 (0.125)	30	120	85

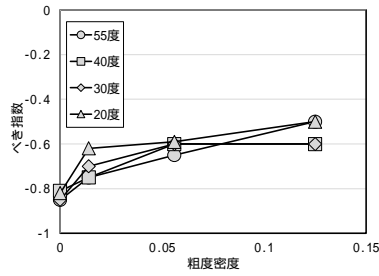


図1 室内実験で得た粗度密度とへき指数との関係

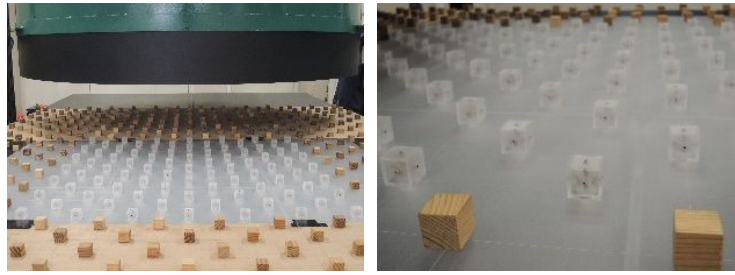


写真1 粗度ブロック模型の設置状況

ブロックの各側面に作用する風圧から直角座標系の風力が算出されるが、ここでは極座標系で風力特性を把握するのが都合よく、(1)～(2)式に基づいて極座標系に変換する。

$$P_r = P_x \cos\theta + P_y \sin\theta \quad (1)$$

$$P_\theta = -P_x \sin\theta + P_y \cos\theta \quad (2)$$

ここで、 P_r, P_θ ：極座標系での風力の動径・接線成分、 P_x, P_y ：直角座標系での風力の $x \cdot y$ 成分、 θ ：旋回流中心での粗度ブロックと当該粗度ブロックとの間のなす角度である。なお、竜巻状気流の旋回方向は反時計回りである。

図2に各粗度ブロック模型の竜巻状気流下での風力特性の結果を示す。いずれの模型の場合も、ベーン角度が大きいくほど、一部の場合を除き旋回流中心に近くなるほど風力の絶対値が大きくなる傾向である。次に粗度密度との関係については、粗度密度の増加とともに、絶対値が動径成分は大きく接線成分は小さくなる傾向であり、方向によって逆の傾向を示す。この結果から、粗度ブロックでの抗力の作用方向が粗度密度の大小に依存するものと考えられる。

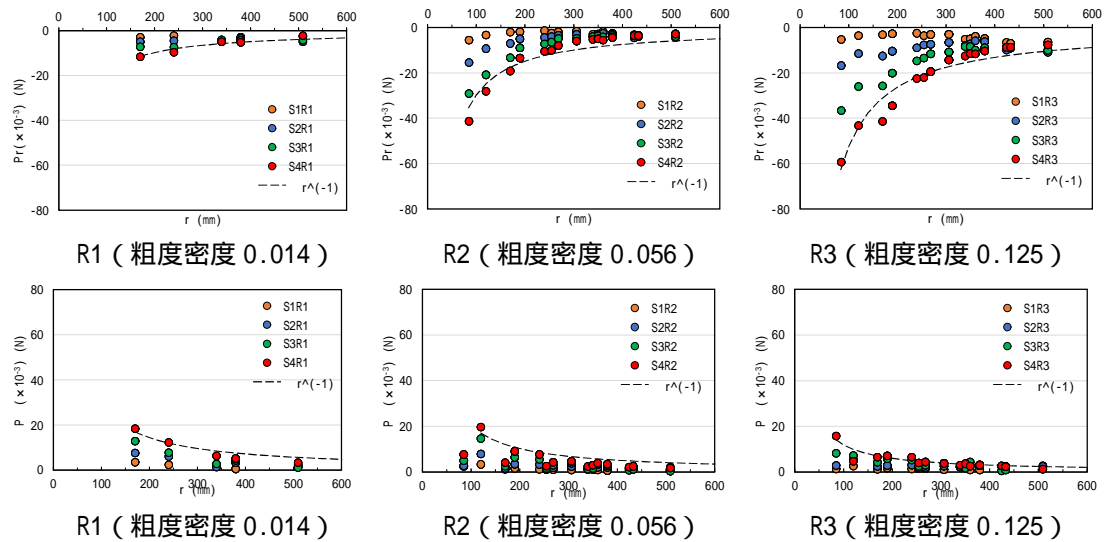


図2 各粗度ブロック模型での抗力特性（上段：動径成分、下段：接線成分）

(3) 地表面粗度を考慮した圧力降下モデルの検討

竜巻状気流による既往の圧力降下モデルでは、地表面粗度の影響の取り扱いに課題が残されていることから、竜巻状気流発生装置による各実験で得た定性的傾向を考慮することで簡便なモデルの構築を試みた。具体的には、円筒座標系でのオイラー方程式において、気流可視化実験で得た速度分布の特性を反映するとともに、外力項が粗度ブロックが流体から受ける抗力と釣り合うものと仮定して式展開を試みた。手計算で導出可能な簡便なモデル化方針のため、実験での圧力降下性状と異なる部分や適用範囲の検証に今後の課題を残したが、概ね実験結果と定性的に整合した算定結果を与える可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 喜々津仁密、石原直、奥田泰雄、中島昌一、高舘祐貴、榎本敬大、山崎義弘	4. 巻 1111
2. 論文標題 建築物等の被害	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 国総研資料「令和元年（2019年）房総半島台風および東日本台風による土木施設・建築物等災害調査報告」	6. 最初と最後の頁 300-407
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 喜々津仁密、奥田泰雄	4. 巻 構造
2. 論文標題 竜巻状の旋回流による突風荷重モデルに関する研究 その4 地表面粗度の影響を考慮した屋根の風力係数	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 157-158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 喜々津仁密	4. 巻 38
2. 論文標題 竜巻等突風に対する建築物の性能検証に向けた取り組み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JSSC	6. 最初と最後の頁 13-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 喜々津仁密	4. 巻 44(2)
2. 論文標題 集成材と折板屋根構成材とのねじ接合部に関するFEM解析の試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本風工学会誌	6. 最初と最後の頁 167-168
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 国土技術政策総合研究所・建築研究所（喜々津・奥田が共著者）	4. 巻 503
2. 論文標題 令和元年台風第15号に伴う強風による建築物等被害の現地調査報告（概要）	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 建築防災	6. 最初と最後の頁 57-66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 国土技術政策総合研究所他（喜々津・奥田が共著者）	4. 巻 61(12)
2. 論文標題 令和元年台風第15及び19号等による災害の緊急調査速報	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木技術資料	6. 最初と最後の頁 36-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 喜々津仁密
2. 発表標題 竜巻状の旋回流による突風荷重モデルに関する研究 その5 境界層乱流場での作用を準用した突風荷重との比較
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 喜々津仁密
2. 発表標題 過去10年の台風・突風災害の概要：頻発する極端気象に対する強風被害調査・要因分析・荷重設定
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喜々津仁密
2. 発表標題 強風・豪雪等による建築物の被害：異常気象にどう対応するか？ - 都市・建築環境分野への視座
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	奥田 泰雄 (OKUDA Yasuo) (70201994)	国立研究開発法人建築研究所・構造研究グループ・シニアフェロー (82113)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------