

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04234

研究課題名（和文）突風時の気圧降下を考慮した屋根葺き材の耐風性能の解明

研究課題名（英文）Investigation of Wind Resistance Performance of Roofing Materials under a Sudden Change in Atmospheric Pressure during Wind Gusts

研究代表者

竹内 崇（Takeuchi, Takashi）

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80624395

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、突風時の気圧降下が屋根葺き材の耐風性能に及ぼす影響と突風下での物体の飛散性状を調べた。突風時の急激な気圧降下によって建物に生じる気圧差力の特性について、数値流体解析により検討を行い、複数の開口がある場合の内圧は、既往の内圧評価式を拡張した式により評価できることを示した。短時間で風速が急増する突風を受ける切妻屋根建物の屋根面上から球の飛散距離について、数値流体計算と飛散シミュレーションにより検討し、突風下の物体の飛散距離は、長くなる可能性があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

突風時の被害を低減させるには、突風時に屋根葺き材に作用する力の解明と突風下での物体の飛散性状の解明が必要である。本研究の内圧評価式に関する成果は、突風時に屋根葺き材の裏に作用する裏面圧の評価方法の開発に資するものである。また、本研究で用いた突風時の数値流体計算と飛散シミュレーションを併用する手法は、突風時の飛散性状を明らかにするために基礎データを取得する上で役立つことができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the effects of atmospheric pressure drop during gusts on the wind-resistance performance of roofing materials and the flying properties of objects under gusty winds were investigated. The characteristics of the pressure differential force acting on a building due to a sudden drop in air pressure during a gust were investigated by numerical fluid analysis, and it was shown that the internal pressure of a building with multiple openings can be evaluated using an extended equation of the existing internal pressure evaluation equation. The flying distance of spheres ejected from the roof surface of a gable-roofed building subjected to short-rise-time gusts was investigated by numerical fluid dynamics and flying simulation, and it was shown that the flying distance of objects under gusty wind may be longer.

研究分野：耐風工学

キーワード：突風 急激な気圧降下 数値流体計算 飛散

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

台風による強風被害および竜巻等による突風被害は、日本の各地で毎年多数発生している。特に2018年の台風21号および2019年の台風15号は記録的な暴風をもたらし、それぞれ86,401棟と97,910棟の住家に一部損壊以上の被害が生じた。また、竜巻などの突風による被害が日本においても頻発しており、この20年間で、JEF3の突風が2件、JEF2の突風が10件発生している[1] (JEFは竜巻の強さを表すスケール)。突風による被害は、台風と比べて被害の範囲が狭いながらも住家に甚大な損傷を与えるため、現行の耐風設計で考慮される台風のような強風時だけでなく、突風時についても建物の安全性を検討する必要性が高くなっている。突風時に建物に作用する風圧力の検討に関して、短時間で風速が変化する突風を受ける場合には、風力が通常よりも大きくなる“風力のオーバーシュート現象”を生じることが既往の研究[2]で報告されている。一方で、これらの台風や突風による被害を受ける住家の多くは木造の建物であり、特に屋根葺き材の被害が支配的である。その屋根葺き材被害の主な要因は、風圧によるものと、被害を受け飛散した屋根葺き材が衝突することで発生するものとがあるため、突風時の被害を低減させるには、突風時に屋根葺き材に作用する力の解明と突風下での物体の飛散性状の解明が必要である。

屋根葺き材に作用する力は、一般に、表面上に作用する外圧と、その裏面に作用する裏面圧の差に面積を乗じたものとして算定される。しかしながら、突風発生時には、短時間での急激な気圧降下が生じることが知られており、竜巻接近時の観測において、30秒間で100hPaの気圧降下が計測されたことが報告されている[3]。石崎ら[4]や泉ら[5]は、気圧降下時の建物の内圧と外圧の変動に関する研究を行い、短時間での急激な気圧降下が生じた際、建物の内圧は急激な外圧の変化に追従できず、外圧との間に差を生じ、その差圧が力として作用することを報告している。気圧降下は、屋根葺き材の外圧と裏面圧の間でも同様に差圧を発生させる可能性があるが、その影響は調べられていない。気圧降下に起因する付加的な力が屋根葺き材に作用するのであれば、より低い風速で屋根葺き材の耐力に到達する可能性があり、屋根葺き材の耐風性能に大きく影響する(図1)。

強風下での物体の飛散に関しては、立川ら[6]などにより研究が行われているが、その多くは台風などを想定した境界層乱流中での飛散である。竜巻中での飛散物の挙動に関する研究は丸山ら[7]などによって行われているが、突風下の気流中での物体の飛散に関する基礎的な研究はいまだ十分ではない。特に、建物周辺での気流が物体の飛散性状に及ぼす影響に関しては不明な点が多い(図2)。

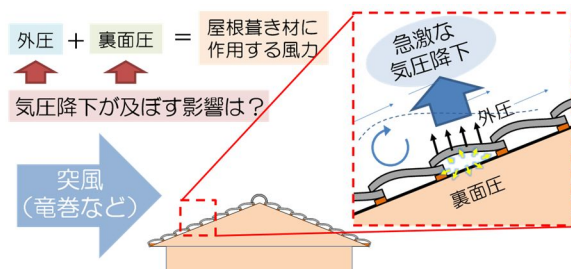


図1 屋根葺き材に作用する風力

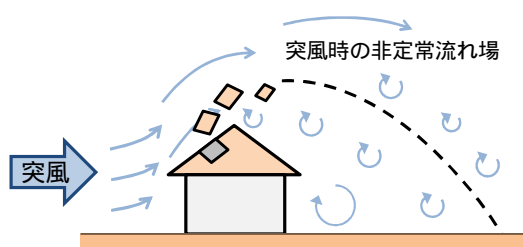


図2 突風下での物体の飛散性状は？

2. 研究の目的

本研究は、木造建物の屋根葺き材の突風による被害低減を目指す上で、突風時に屋根葺き材に作用する力および突風下での物体の飛散に着目し、突風時の気圧降下が屋根葺き材の耐風性能に及ぼす影響の解明および突風下での物体の飛散性状の解明を目的としている。耐風性能に及ぼす影響を明らかにするために、本研究では数値流体計算により突風下の屋根葺き材に作用する力を調べる。また、突風下での物体の飛散に関しては、物体に作用する風速と風力を数値流体計算により取得し、物体の飛散運動を運動方程式の数値計算を行うことにより明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 既往の研究の風洞実験においては風速急変時に生じる気圧降下を利用し、建物外圧の急激な変化を意図的に生じさせ、建物内圧の変動との差による気圧差力を調べ、開口部面積および建物容積を変数とした実験的研究が行われている。その状況を数値流体計算により再現すべく、風洞実験を模擬した解析領域(図3)を設定し、数値流体計算により風速急変流を生成し、建物模型の内圧および外圧の変動のシミュレーションを行い、解析領域の大きさや数値流体計算の解析条件や境界条件の設定によって解析結果における建物内圧と外圧がどのように変化するかを検討した。また、既往の研究で示されている外圧変化を受ける建物内圧応答式の本数値流体計算結果に対する適用性を検討した。

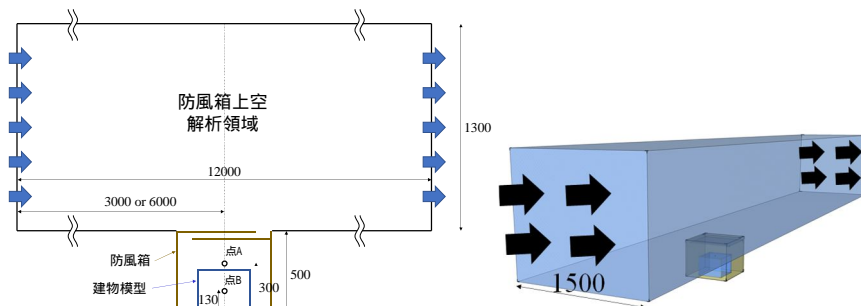


図3 数値流体計算モデル^[8]

(2) 上記の解析モデルをより簡略化し、気圧降下を直接境界条件として与える解析モデルを考案し、そのモデルにおいて、上記の解析モデルと同等の内圧変動シミュレーションの再現を試みた(図4)。その上で、建物に複数の開口がある場合および、複数の開口部が異なる外圧変動を受ける際の建物の内圧応答の評価方法を数値流体計算により検討した。

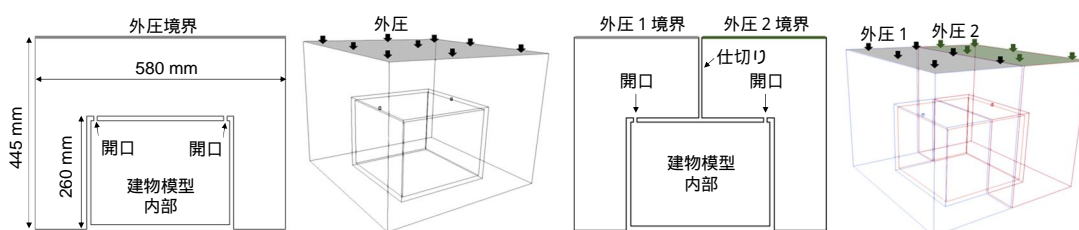


図4 簡略化した数値流体計算モデル^[9]

(3) 立ち上がり時間の短い突風時の切妻屋根建物周りの風速場を数値流体計算によって求め、その風速を用いて切妻屋根面上の球の飛散シミュレーションを行うことで、突風時の物体の飛散距離について検討した(図5)。また、飛ばす球の重さや初速度を変化させ、条件によって飛散距離にどのような影響がでるのかを検討した。

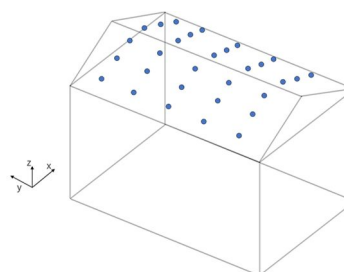


図5 球の飛散開始点

4. 研究成果

(1) 風速急変時に生じる気圧降下を利用した既往の突風風洞実験を模擬した数値流体解析により、急激な気圧降下による内圧変動を再現するにあたっては、圧縮性流体として解析を実施する必要があること、数値流体計算により生じる防風箱内の静圧変動が正側に生じるか負側に生じるかは、圧力の基準点の位置により異なり、圧力降下を再現するには、風上側に基準点を取る必要がある。また、圧力基準点が防風箱から離れるほど圧力変化量は大きくなることなどを明らかにした。また、解析結果より得られた建物内圧は、既往の内圧応答式により再現可能であることを示した(図6)。

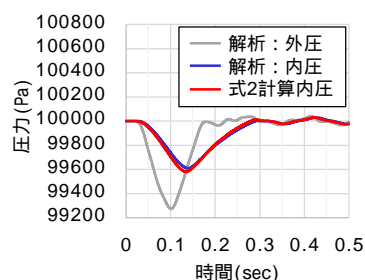


図6 解析結果の内圧と内圧計算値の比較^[8]

(2) 簡略化した解析モデルにおいても、風洞実験再現モデルと同様に、外圧に遅れて内圧が変動する状況が再現され、その内圧は、既往の内圧応答式により再現可能であることを示した。複数の開口がある場合の内圧は、複数の開口からの流入を考慮して、既往の内圧評価式を拡張した次式により評価できることを示した(図7)。

$$\frac{dP_i}{dt} = - \sum_k^n \sqrt{\frac{2S_k P_i}{\rho V}} \cdot |P_i - P_{ek}|^{0.5} \cdot \text{sign}(P_i - P_{ek}),$$

ここで、 n は開口数、 ρ は空気密度(kg/m^3)、 S_k は k 番の開口面積(m^2)、 V は建物容積(m^3)、 P_i は建物内圧(Pa)、 P_{ek} は k 番開口の建物外気圧(Pa)、である。

また、複数個所に開口があり、それぞれに作用する外圧が異なる場合は、内圧変動が差圧力の向きにも影響する可能性があることを明らかにした。

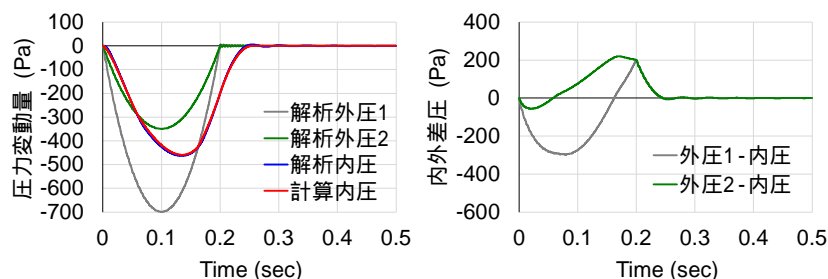


図7 簡略化した解析モデルにおける解析結果の内圧と内圧計算値の比較^[9]

(3) 1秒間で風速 40m/s まで風速が急激に立ち上がり、その後一定風速を維持する突風を流入し、その時の切妻屋根面からの球体の飛散シミュレーションを行ったところ、風速の立ち上がり直後 ($t=1.0\text{sec}$) に、物体が飛散開始した時の飛散距離は、風速が立ち上がり終わって十分に時間が経過した後に物体を放出した際 ($t=10\text{sec}$) の飛散距離よりも、長くなる可能性があることを示した (図8)。これは、風速立ち上がり時には切妻屋根面周辺においては、流れの剥離や剥離渦が生成されておらず、風速の高い領域が屋根面近傍まで生じたことによる影響と考えられる。

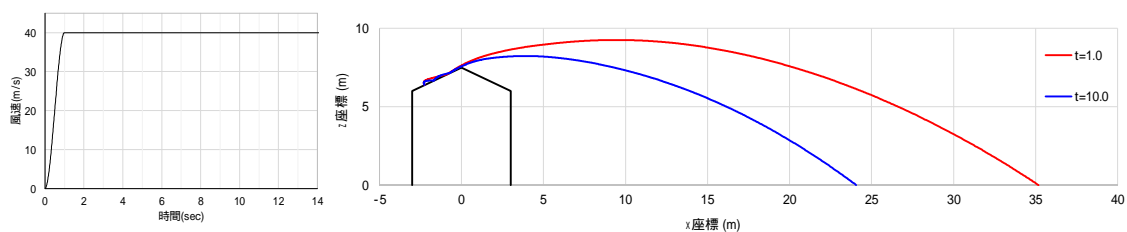


図8 立ち上がり時間の短い突風を受ける切妻屋根建物の屋根面からの球の飛散距離

【参考文献】[1] 気象庁：竜巻等の突風データベース(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/>). [2] 竹内崇, 前田潤滋：立ち上がり時間の短い突風下の切妻屋根建物に作用する非定常風圧力に及ぼす風向角の影響に関する研究, 第23回風工学シンポジウム論文集, 247-252, 2014. [3] J. Lee, T. Samaras, Pressure measurements at the ground in an F-4 Tornado. In: Proceedings of the 22nd Conference on Severe Local Storms, 2004. [4] 石崎滉雄, 林泰一, 谷池義人：急激な気圧変化に対する室内圧の応答, 京都大学防災研究所年報, 26(B-1), pp.323-329, 1983. [5] 泉知宏, 高橋駿介, 友清衣利子, 前田潤滋：急激な気圧降下による建物内外の気圧差力に及ぼす建物密閉度の影響, 風工学シンポジウム論文集, 24, pp.205-210, 2016. [6] 立川正夫, 福山雅弘：平板の空力特性と飛散の性状について, 第6回風工学シンポジウム論文集, pp.231-238, 1980. [7] Maruyama, T. "Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex." Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering, 99(4), 249-256, 2011. [8] 竹内ら, 風速急変時の建物内外の気圧差力に関する数値流体計算による検討, 風工学シンポジウム講演梗概集, No.27, pp.55-60, 2022. [9] 竹内ら, 急激な気圧降下時の建物内圧評価に関する数値流体計算による検討, 2023年度日本風工学会年次研究発表会・梗概集, pp.87-88, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 竹内崇, 前田潤滋	4. 巻 27
2. 論文標題 風速急変時の建物内外の気圧差力に関する数値流体計算による検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 風工学シンポジウム講演梗概集	6. 最初と最後の頁 55-60
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 有
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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 竹内 崇, 鈴木 翔也, 前田 潤滋
2. 発表標題 急激な気圧降下時の建物内圧評価に関する数値流体計算による検討
3. 学会等名 日本風工学会年次研究発表会
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------