

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 25 年 6 月 11 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560576

研究課題名（和文）建築物の外装材被害低減のための室内圧制御法に関する研究

研究課題名（英文）Internal pressure control for reduction of wind loading on claddings of buildings

研究代表者

松井 正宏（MASAHIRO MATSUI）

東京工芸大学 工学部 教授

研究者番号：60350576

研究成果の概要（和文）：竜巻や台風による強風での建物への被害は全壊や倒壊を除くと、飛散物での壁面損傷、窓ガラスの破損が多く、さらに屋根飛散等は窓ガラスや外装材の損傷により内圧が上昇し屋根面にかかる負圧との合力が大きくなるのが原因とみられる場合も多い。内圧の変動をモデル化し、計算で評価する手法を用いることにより、様々な開口条件での内圧が評価でき、さらに外装材に作用する風力が求められる。本研究では、屋根面の風荷重を抑えるために、建物屋根面、壁面に積極的に開口を設け、局所的に屋根面に発生する風荷重を緩和させる条件を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The actual wind induced damage to buildings more often seen on their cladding materials than in their structural systems. Damage on roofs blown off is one of typical damage among them, those are affected both external and internal pressures of buildings. The external pressures are mainly affected by the buildings shapes, the internal pressures are very closely affected by opening conditions. In this study, wind loads acting on the roof are estimated from external pressures measured in a wind tunnel experiment and internal pressures calculated by numerical method. The wind loads are compared among several different opening conditions on walls.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
総 計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：耐風設計，外装材，突風，室内圧

1. 研究開始当初の背景

グローバルな環境の変化は気象災害の発生にも大きな影響を与えている。

近年の気候変動は、強い台風の増加や竜巻突風などの増加を招き、強風やそれに起因する災害・損害の増大を示唆している。例えば、2004 年は日本列島への台風上陸数が 10 件と過去最高を記録した。台風だけではなく、2005 年末には北日本海側において突風による羽越線脱線事故が発生し死者 5 名、負傷者

30 余名がでたが、この際、周辺において突風による家屋への被害が確認された。また、台風に伴い竜巻などが発生することが知られており、2006 年 9 月には台風 13 号に伴う積乱雲下において宮崎県延岡市等で竜巻が発生し、死者 3 名、住家への被害 1800 余を数えた。また、竜巻の発生に必要な積乱雲は冬季の日本海側でも発達することが多く、寒候期の竜巻被害も十分に留意する必要がある。2006 年 11 月 7 日には北海道佐呂間町で発生

した竜巻により9名の犠牲者が出た。さらに2009年18号台風では、千葉県、茨城県の3か所において連続的に竜巻による被害が発生するなど、竜巻やダウンバースト等の突風に対して社会的注意が向けられるようになっていく。突風被害の発生件数だけでなく、都市の高密度化、高機能化に伴い、災害そのものも深刻化、大規模化している。この傾向は、日本だけではなく、2005年のカトリナに代表されるアメリカ合衆国沿岸におけるハリケーンの発生数、被害は想像を絶するものとなっている。

このような気象災害では強風により大きな被害を受ける建築物が後を絶たない。特に、ニューオリンズにおけるスーパードームの様に、避難所となっていながら強風被害を受け、その機能を果たせないことは非常に問題がある。体育館、公民館、スタジアム等は公共性が高い建築物で、これらは非常時には避難施設としての役割が期待されている。このような大空間建築物は、構造設計においても近代的な耐風設計がおこなわれているはずであるが、極限状況における自然現象、物理現象は、通常見込まれる荷重や部材応力状態と整合しないものとなっている可能性がある。例えば、近年の建築物における強風災害をみると、強風により発生した飛来物により建築物の壁面、屋根、窓ガラス、サッシ等において損傷が発生し、その損傷部分から外気が室内に流入することによる内圧の上昇を伴い、屋根や全体の構造骨組に対する被害へ結びついているものが少なくない。

従来の規基準に示された耐風設計方法では、閉鎖型建築物に対しては、外殻に作用する風圧力（外圧）の評価が主であり、内圧については、閉鎖型であることを前提に若干の通気性を考慮した内圧係数が設定されているにすぎず、実際の被害状況を反映した耐風設計法が、建築構造あるいは防災の見地からも求められているといえる。この耐風設計法の考え方をさらに一歩進めて考えれば、極限状況の過大な荷重を低減するような工夫を施したディテールの実現、防災装置の開発に繋がるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、近年多発している突風による建築物の被害が、外装材、特に屋根葺材、屋根小屋組等に集中していることを勘案し、被害発生メカニズムを分析したうえで、建築物の室内圧の挙動に着目した実験、解析に基づき、その対策として、室内圧をパッシブにまたはアクティブに制御することにより当該部に作用する風荷重を低減する手法を検討することを目的とする。

本申請研究課題で提案するような積極的な外装材風荷重低減策は、これまで検討され

た例がなく、きわめて斬新な手法と言える。

3. 研究の方法

本研究は、強風時の建築物の被害発生の特徴を的確に捉えて、被害の発生を抑止する手段を講じることが目的である。従って、研究方法は、以下の4ステップで実施される。

(1) 現象の分析・モデル化：被害調査に基づき、実情に即した被害モデルを構築する。

(2) 内圧制御方法の検討：パッシブ、アクティブに内圧を制御する手法をまとめる。

(3) 実験・解析の実施：内圧を制御した場合の挙動を実験的、解析的に把握する。

(4) 手法の妥当性・有効性の評価：実験に基づく解析モデルの妥当性を踏まえて、様々な条件での内圧制御法が外装材風荷重低減に及ぼす効果を把握し、手法の有効性を評価する。

特に、本研究で実施予定の内圧制御を実験モデルベースで再現するために、計算機によるリアルタイム制御可能な圧力制御システムを構築することが研究上のブレイクスルーとなる。

・内圧制御方法の検討

室内圧の制御には、パッシブな方法と、アクティブな方法が考えられる。パッシブな方法は、室内圧および局部外圧の作用により部材の一部分や、専用の工夫を施した装置が作動し、内圧を制御する方法である。主として、内外圧差によるダンパーの開閉などによる方法と、過大な風圧力が作用する部位を積極的に変形させる方法に分けられる。これらの対策により漏気・通風をはかり、内外圧差を低減することにより、他の部材に作用する風圧力を低減する方法である。アクティブな方法は、室内圧および外圧を風圧センサや外装材の変形をモニタするセンサにより常に監視し、部材に作用する風圧力をリアルタイムに把握する。その風圧力が安全性の閾値を超えないように、室内外の風圧力の分布状況に応じて室内外の通風を制御する弁等を開閉制御し、当該部材に作用する風荷重を低減する方法である。

・強風時の室内圧に対する実験・解析の実施

上記のパッシブ、アクティブな室内圧の制御方法を実験レベルでどのようにモデル化するか、解析レベルでどのようにモデル化するかを明らかにする。室内圧に関する風洞実験手法や室内圧の非定常性を考慮できる解析モデル等は既に過去の研究者により研究されており、また、応募者らによる既往研究成果として具現化されている。これらの研究成果を進展させ、より現実的な模型実験手法、解析モデルの構築を目指す。風洞実験、解析モデルを通して、数多くのケースについて実験・解析を行い、評価に耐えうる信頼性の高いデータを取得する。

4. 研究成果

風上壁面に開口が発生した時、屋根面にかかる合力が大きくなることはよく知られている。そこで風力を低減させることができないか模索するためどこに開口を設ければいいかを検討した。風上壁面に 400N/m^2 の外圧がかかると開口ができる状況を想定すると、風上開口発生後 5s~15s 後に他壁面の開口が開くよう設定し、開口の大きさや位置を様々に、変化させて屋根面の風荷重がどのように変化するかを調べた。軒高風速を 34.8m/s 、風上開口は $1.62\text{m}^2(0.9\text{m}\times 1.8\text{m})$ とした。表 1 に解析ケースを記す。ケース 1~4 は隙間による変化、ケース 5~8, 13~15 は開口位置の違いによる風荷重を比較している。ケース 9~12 は屋根面開口を $0.36\text{m}^2(0.6\text{m}\times 0.6\text{m})$ とし、隙間やケース 11, 12 での屋根面の開口は最初から開いているものとして計算した。風荷重評価対象は図 1 に示す屋根面風上端部とした。屋根面に作用する内外圧差を単位面積当たりの風力と呼び、鉛直上向きを負と定義した。

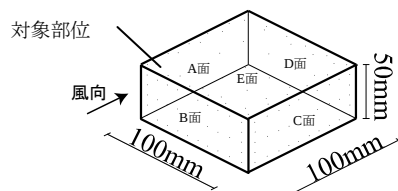


図1 風洞実験模型

表1 解析ケースと開口条件

開口条件	状態	8	側面両方に開口部	
1	風上側面両隅に隙間	9	屋根面風上中央に開口部	
2	風上側面、屋根面上部に隙間	10	屋根面風下中央に開口部	
3	風下側面両隅に隙間	11	屋根面開口部は開いている	
4	風下側面、屋根面上部に隙間	12	屋根面開口部は開いている	
5	風下面に開口部	13	側面風上下隅に開口部	
6	側面片側に開口部1	14	側面風下隅に開口部	
7	側面片側に開口部2	15	開口なし	

図2に屋根面風上右端部での負のピーク風力係数を示す。大幅な変化が見られたケースはケース 2, 4, 5, 8, 13 である。このうち 2, 4 は隙間であり, 5, 8, 13 は開口の位置の違いである。ケース 5 とケース 2, 4 を比較してみると風下壁面に開口を設けた時よりも隙間の方が負のピーク風力係数が低減していることがわかる。図 3, 図 4 にケース 8, 13 の等値線図を示す。ケース 8, 13 は側壁面に開口を設け、開口位置の違いでの風力係数の変化を検討する。ケース 8 は側壁面中央、ケース 13 は風上側壁面にそれぞれ開口を設けている。屋根面に広がる等値線が全体的に緩やかになっていることがわかる。ケース 8 は-4.77, ケース 13 は-4.6 と大きく風力係数の減少が見られた。これらのことから屋根面の最大風力が小さくなる開口部の設置位置はケース 13 が最も効果的であると考えられる。風上壁面開口発生時の負のピーク風力係数とケース 13 での屋根面風上右端部の負のピーク風力係数差は-3.35 であり実験中最も屋根面にかかる風力を抑えている。またケース 8 よりもケース 13 の方が風力が低いことから開口の設置には側壁面中央よりも外圧係数の低い側壁面風上側に設けた方が屋根面への風荷重を低減できると考えられる。

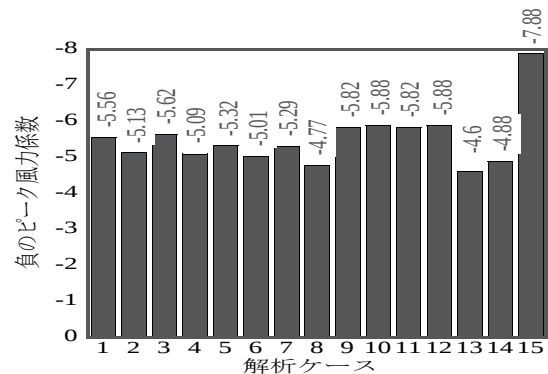


図2 対象部位の負のピーク風力係数

さらにケース 8 とケース 13 の風力、内圧の時刻歴を調べた結果、ケース 13 ではケース 8 に比べ全体的に風力が小さくなっていることがわかった。また、ケース 8 で側面開口発生の影響により側面に大きな風力が発生している様子が示されている。これは、開口の位置と発生タイミングによっては悪影響を及ぼす可能性も示唆するものである。

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 5 件)

- (1) 松井正宏, 大熊武司, 田村幸雄, 験的風速比を用いた台風モデルによる設計用風向・風速時刻歴の生成, 第 22 回 風工学シ

ンポジウム論文集，査読有，pp.341-346，
2012.12

- (2) Masahiro Matsui and Yukio Tamura,
Real-time controlled electromagnetic device
with load cell for experimental study on
windborne debris, Proceedings of the 13th
International Conference on Wind
Engineering (ICWE13), 査読有，CD-ROM,
6p., 2011
- (3) 松井正宏，西村宏昭，2009 年台風 18 号に
よる建築物の強風被害，日本風工学会誌，
査読無，Vol.35 No.3，203-208，2010
- (4) 岡田玲，金容徹，Le Thai HOA，松井正宏，
吉田昭仁，田村幸雄，2009 年台風 18 号に
伴い千葉県で発生した竜巻による被害，日
本風工学会誌，査読無，Vol.35，No.3，
209-216，2010
- (5) 吉田昭仁，金容徹，松井正宏，田村幸雄，
2009 年台風 18 号に伴い茨城県龍ヶ崎市で
発生した竜巻による被害，日本風工学会誌，
査読無，Vol.35，No.3，217-224，2010

〔学会発表〕（計 2 件）

- (1) 松井正宏，田村幸雄，歴史的に顕著な台
風の気圧場逆解析と風速の評価，日本建築
学会大会学術講演，名古屋大学，B-1，
2012.9.13
- (2) 松井正宏，耐風設計で考慮すべきイベン
トの等価継続時間，大阪市立大学，日本風
工学会，2011.5.25

〔図書〕（計 3 件）

- (1) 植松康，松井正宏ほか（共著），日本建築
学会，実務者のための建築物外装材耐風設
計マニュアル，(132p) pp.28-31，2013.2
- (2) 植松康，松井正宏ほか（共著），日本鋼構
造協会，風を知り風と付き合う—耐風設計
入門—(119p.) pp.26-28，pp.34-35，p37，p59，
2011
- (3) 植松康，松井正宏ほか（共著），日本風工
学会，風災害の歴史と教訓，(212p.) pp.56
-62，p166，2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 正宏 (MATSUI MASAHIRO)
東京工芸大学 工学部・教授
研究者番号：60350576

(2) 研究分担者

田村 幸雄 (TAMURA YUKIO)
東京工芸大学 工学部・教授
研究者番号：70163699

吉田 昭仁 (YOSHIDA AKIHITO)
東京工芸大学 工学部・准教授