

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630252

研究課題名(和文)形態制御による風力低減効果を利用した高耐風性園芸用鉄骨ハウスの開発

研究課題名(英文)Development of a new type of steel greenhouse with high wind resistance utilizing the wind force reduction by controlling the aerodynamic shape

研究代表者

植松 康(Uematsu, Yasushi)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60151833

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、鉄骨ハウスの断面形状を「翼型」とすることによる風力低減に加え、側壁に意図的にスリット状の開口を設けて内圧を制御することで更なる風力低減を図り、スパンの大きな園芸用鉄骨ハウスを開発するための基礎データを得ることを目的としている。
まず、系統的な数値流体計算を実施し、断面形を規定する5つのパラメータを広範囲に変化させて風力係数を計算し、風力低減の観点から最適な断面形状を決定した。風洞実験も併せて行い、その妥当性を確認した。次に、側面にスリット状の開口を設け、その開口率が内圧性状にどのような影響を与えるかを、風洞実験で得られた外圧データを用いた内圧シミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要(英文):The present study develops a new type of steel greenhouse with wing-like cross section, which has high wind resistance despite a long span. First, the effects of the parameters describing the wing-like cross section on the drag coefficient were investigated by a series of CFD analyses. Based on the results, together with a consideration for the workability inside the greenhouse, the most suitable cross section was proposed. A wind tunnel experiment was also carried out using a three-dimensional greenhouse model with the proposed cross section. The experimental result on the wind pressure distribution was found to be in good agreement with the CFD result. Next, slits were made on the side walls to control the internal pressure, which may reduce the net wind force on the greenhouse further. The effect of the porosity on the internal pressure was investigated based on a numerical simulation using the time history of external pressures obtained from the wind tunnel experiment.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：農業用鉄骨ハウス 翼型断面 風力係数 荷重効果 数値流体計算 風洞実験 内圧係数

1. 研究開始当初の背景

我が国ではハウスを利用した施設園芸が盛んに行われている。小規模な場合には、パイプハウスが多く利用されるが、一定以上の規模になると鉄骨ハウスが用いられ、骨組部材には H 形鋼などの重量鉄骨が利用される。一方、ハウスにとって最も重要な機能は植物の光合成に必要な光透過量を確保することであり、そのためには骨組部材寸法と部材数を最小限に抑えることが要求される。従来、鉄骨ハウスには切妻型あるいは円弧型断面が一般的に用いられるが、これらの断面形に固執すると、大スパン化と高い光透過性確保を同時に満足させることは困難である。

園芸用ハウスでは、通常の建物と同じ安全性を確保する必要はなく、建築基準法は適用されない。したがって、建設コストの観点からも、通常の建物より細い部材や軽微な基礎が利用されることが多い。風に対して脆弱であり、台風等の強風により被災することも多い(図 1)。風上側が押し潰されるような形で崩壊するケースが多い。したがって、このような被害を防ぎ、大スパン化を実現するためには抗力係数を低減することが効果的である。



図 1 鉄骨ハウスの強風被害例

構造物に作用する風圧・風力の特性は構造物の形態に大きく依存する。したがって、この形態を制御することで、構造物まわりの流れを変化させ、構造物に作用する風力を低減することが可能となる。本研究では、風荷重のこのような特性を利用するものである。特に断面形状と側面開口に着目する。

2. 研究の目的

本研究では、上述した風荷重の特徴に注目し、形態を制御することで抗力低減を図り、耐風性に優れた園芸用鉄骨ハウスを開発することを目的としている。具体的には、1)鉄骨ハウスの断面形状を「翼型」とすることで抗力の低減を図るとともに、2)ハウス桁行面に意図的に開口を設けて内圧を制御し、構造耐力上重要な荷重効果(例えば、フレームに作用する曲げモーメント)の低減を図る。

1)は植松ら(2004)により提案されたアイデアである。断面形が円弧型や切妻型の場合、風上屋根面に正圧が作用する。また、頂部での強い流れの剥離により風下側の屋根面や壁面に大きな負圧が作用するようになり、その結果大きな抗力が作用する。一方、翼型の場合、風上屋根面に大きな曲率を与えること

で、この部分に作用する負圧を増大させ(風向とは逆向きの大きな力を発生させ)、さらに頂部での流れの剥離を弱めることで風下側の屋根面や壁面に作用する負圧を小さくし、結果として抗力を低減することができる。このように翼型断面とすることで、従来の切妻型や円弧型に比べて抗力係数が大幅に低減することを風洞実験により確認した。しかし、検討した断面形状は 1 例のみであった。そこで、本研究では系統的な検討が可能な数値流体計算(CFD)を利用し、翼型断面の抗力低減効果を検証する。断面形状を規定する幾何学的パラメータをそれぞれ広範囲に変化させて計算を行い、風力特性に及ぼすそれらの影響を把握し、内部での作業性をも考慮した上で最適な断面形状を提案する。

2)については、パイプハウスを対象とした検討が植松ら(2009)によって為されている。側面の一部(地面から高さ 50cm 程度までの部分)を通気性材料で覆うこととし、その開口率を種々変化させてパイプハウスに作用する外圧並びに内圧の分布を風洞実験で測定し、側面開口による荷重低減効果を検証した。その結果、開口率を 40~50%とすると最大の荷重低減効果が得られることが示された。しかし、この場合、外部の風の 50%程度の速さの風がハウス内部に吹くことになり、内部の植物へのダメージが懸念された。そこで、内部に強い気流を導入することなく内圧を制御して荷重低減を図ることができる方法を開発する必要性が示された。本研究では、幅(スパン)20m 程度の鉄骨ハウスの場合、骨組には 200mm 程度のせいを有する H 型鋼が用いられることに着目し、開口部のディテールを工夫することで、内部の植物に直接強風が当たることなく内圧を制御する方法を提案する。

3. 研究の方法

本研究は、以下に示す 3 ステップよりなる。
ステップ 1: 図 2 に本研究で対象とする翼型断面を示す。ここでの解析対象は二次元モデルであり、図に示す 5 つのパラメータによって表される。風向は桁行面に正対する方向のみである。各パラメータを現実的な範囲で変化させ、CFD により平均外圧係数分布を求める。次に、その外圧分布より単位幅当りに働く抗力 D および揚力 L を計算し、平均抗力係数 C_D および平均揚力係数 C_L を計算する。

$$C_D = \frac{D}{q_H \cdot A_1}, \quad C_L = \frac{L}{q_H \cdot A_2} \quad (1), (2)$$

ここに、代表面積 A_1 および A_2 は、流れ方向および鉛直方向の投影面積であり、 $A_1 = H \times 1 \text{ (m}^2\text{)}$ 、 $A_2 = B \times 1 \text{ (m}^2\text{)}$ である。

一連の計算により、 C_D および C_L に及ぼす上記パラメータの影響を把握し、内部での作業性も考慮し、風力(特に抗力)低減の観点から、最適な断面形を決定する。流体計算には汎用熱流体解析プログラム「STAR-CD」を用いる。

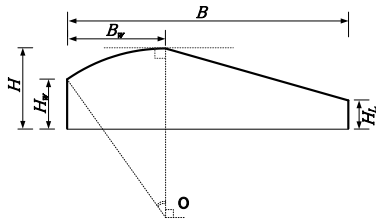


図2 解析モデルの形状およびパラメータ

ステップ2: ステップ1で定められた断面形を有する風洞実験模型(三次元模型)を用いた風洞実験をCFDとともに実施し、抗力低減効果を検証する。また、提案した翼型鉄骨ハウスに作用する風圧・風力の特性を把握する。実験気流は地表面粗度区分Ⅱ～Ⅲの境界層乱流である。

ステップ3: ステップ2で用いた風洞実験模型において、両側面にスリット状の開口を想定し、スリット位置での外圧の多点同時測定を行う。次に、風洞実験で得られた外圧データを用い、開口部の開口率(開口幅)を種々変化させながら内圧の時刻歴シミュレーションを行い、最適な開口条件を見出す。

4. 研究成果

(1) 翼型断面による荷重低減効果

① 数値流体計算による最適断面の検討

1) 数値流体計算法

乱流モデルには計算負荷の低いRANSモデル(Realizable型 $k-\epsilon$ モデル)を用いる。また、ハウス中央断面まわりの流れはほぼ二次元的であるため、二次元解析とする。計算対象は実大モデルではなく、風洞実験模型相当のモデルである。計算方法は、日本建築学会(2007)「市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブックーガイドライン」を参考に決定する。

2) 断面形状のモデル化(図2)

比較的大規模なハウスを想定し、幅 B を20m、頂部高さ H を5.7mとする。作業性や光環境を考慮し $H_W \geq 2.0\text{m}$ および $H_L \geq 2.0\text{m}$ とする。「翼型」の概念より、 $B_W \leq B/2$ とする。風上屋根は、棟直下にある点 O を中心とし、頂部での傾きが 0 となる円弧とする。この場合、曲率半径は H_W と B_W で計算される。すなわち、断面形を規定するパラメータは、 H_W 、 H_L 、 B_W の3つとなる。

3) 風力に及ぼす各形状パラメータの影響

・風上側曲面屋根形状の影響

C_D は風上側の曲面屋根部分形状に大きく影響されると考えられる。頂部高さを $H=5.7\text{m}$ と固定したので、その形状は B_W と H_W の組み合わせで定まる。そこで、 $H_L=2.4\text{m}$ としたモデルについて、 B_W を4~10m($B/2$)、 H_W を2~5mの範囲で様々に変化させて、 C_D および C_L を計算した。様々な B_W に対して、 C_D の H_W による変化を図3に示す。また、同じ結果ではあるが、様々な H_W に対して、 C_D の B_W による変化をみたのが図4である。

図3より、 H_W が約4mを超えると C_D は急激に

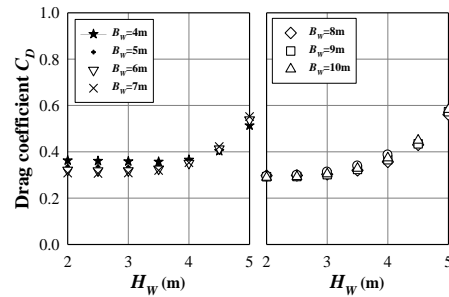


図3 C_D に及ぼす B_W および H_W の影響(1)

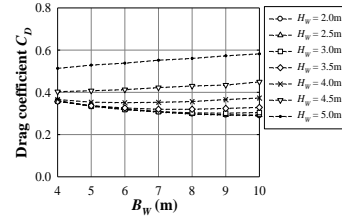


図4 C_D に及ぼす B_W および H_W の影響(2)

増大する。これは H_W の増大に伴って正圧を受ける風上壁面の面積が広くなるとともに正圧の大きさが大きくなることによる。一方、 $H_W \leq 4\text{m}$ の場合、 H_W による C_D の変化は小さいが、 B_W の値に応じて多少変化する。 B_W の増大に伴って少しずつ低下するが、 $B_W \geq 8\text{m}$ では B_W の影響は小さい。この傾向は図4において明確に読み取れる。 $H_W=2\sim 4\text{m}$ の範囲では、 C_D の B_W による変化は下に凸の放物線的であり、 H_W に応じた B_W のある値で C_D は最小値をとる。この最小値は H_W の増大に伴って増大する傾向があるが、 $H_W=2\sim 3.5\text{m}$ の範囲ではそれほど大きな変化はない。一方、 $H_W=4.5\sim 5\text{m}$ の場合、 B_W の増大に伴って C_D が単調に増大する。

$H_W \leq 4\text{m}$ の場合、 C_D の H_W および B_W による変化は単純ではなく、両者が関連しあっている。これは、曲率をもつ風上屋根面の形状と負圧分布に関連している。

本研究では、 $B=20\text{m}$ 、 $H=5.7\text{m}$ としているので、 H_W や B_W に関して具体的な数値で風力特性を議論してきたが、異なる B や H を有するハウスへの適用を考えると、無次元化したパラメータで表しておいた方が良い。そこで、 H_W および B_W に対して次式で与えられる2つの無次元パラメータを導入する。

$$\lambda_H = \frac{H_W}{H}, \quad \lambda_B = \frac{B_W}{B} \quad (3), (4)$$

図3および図4に示した結果より、 λ_H を固定すれば C_D の極小値を与える λ_B が定まる(逆に、 λ_B を固定して考えても同じ)。そのような C_D の極小値を与える λ_H と λ_B の組み合わせを示すと図5のようであり、 $\lambda_H-\lambda_B$ 平面上の直線で近似的に与えられる。真の最小値はこのうちの1点で与えられるが、図3や図4に示したように、 λ_H と λ_B が最適値より多少ずれたとしてもそれほど大きな C_D の増大がもたらされる訳ではないので、実設計においては必ずしも C_D の最小値ではなく、内部での作業性、鉄骨部材の加工性や施工性なども考慮し、図5を参考にしながら断面形状を定めるのが良い。

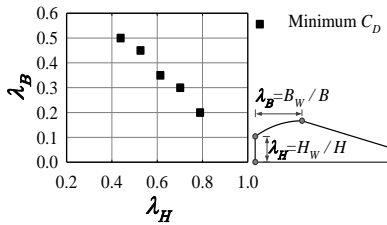


図5 C_D の極小値を与える λ_H と λ_B の組み合わせ

・ 風下側屋根勾配と軒高の影響

1)での検討結果に基づき、 $H_W=3\text{m}$ 、 $B_W=7\sim 10\text{m}$ の場合について、風下屋根の勾配と軒高の影響について解析を行った。様々な B_W に対して C_D の H_L による変化を図6に示す。図6によれば、 C_D は風下屋根形状にはほとんど影響されないことが分かる。内部での作業性を考えれば H_L は高い方が良いが、その場合、風向 $\theta=180^\circ$ の場合の C_D が大きくなってしまい、翼型断面としたことの意味がなくなってしまう。 $\theta=180^\circ$ の風を考えると、 H_L はなるべく小さくし、軒先での流れの剥離を抑え、上り勾配での増速効果によって負圧を発生させて風向とは逆向きの力が作用するようにするのが良い。しかし、内部での作業性を考えれば $H_L=2\text{m}$ とするのが良い。

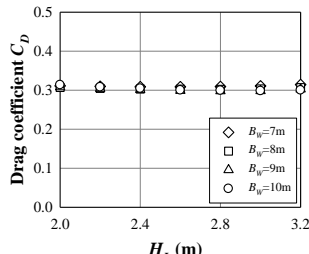


図6 C_D に及ぼす B_W および H_L の影響

4) 実用的最適断面形状の提案

前項では、 $B=20\text{m}$ 、 $H=5.7\text{m}$ とし、断面形状を規定する3つのパラメータ H_W 、 B_W および H_L を変化させて C_D および C_L を計算した。 H_L は C_D にほとんど影響しないことより、風向 $\theta=180^\circ$ の場合にも C_D が小さくなるよう、 $H_L=2\text{m}$ とする。内部での作業性を考えると、 H_W としてあまり低いのは好ましくなく、一方、図3より $H_W \geq 4\text{m}$ では $H_W \leq 3.5\text{m}$ の場合に比べて C_D の値がかなり大きくなる。また、 $H_W \leq 3.5\text{m}$ の場合には、 H_W および B_W を変化させても C_D の極小値の変化は数パーセントである。したがって、ここでは $H_W=3.5\text{m}$ とする。この場合 $\lambda_H \approx 0.61$ であり、図5より $\lambda_B \approx 0.35$ が与えられ、 $B_W \approx 7\text{m}$ が最適値となる。したがって、図7に示す断面が実用的な意味において最適な断面として提案される。この断面の場合、 $C_D \approx 0.32$ 、 $C_L \approx 0.7$ である。

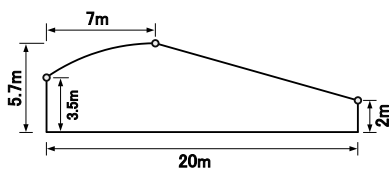
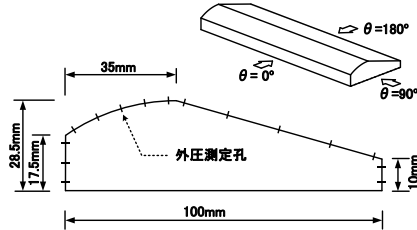


図7 実用的な観点での最適断面形状

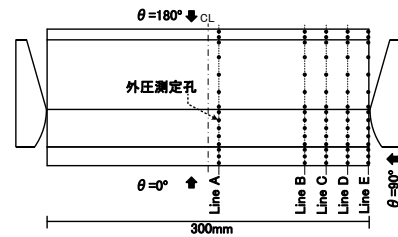
② 風洞実験による検証

1) 実験方法

風洞実験模型は、図7に示した断面形を有し、桁行長さ $L=60\text{m}$ の鉄骨ハウスを縮尺率 $\lambda_L=1/200$ で作製したアクリル製の剛模型である。図8に模型の概要を示す。ラインA~Eに沿って外圧測定孔がそれぞれ15点設けられている(図中の●印、 $0.5\text{mm}\phi$)。実験風向 θ は、 $\theta=0\sim 180^\circ$ の範囲を 15° ピッチで変化させた。



(a) 断面および圧力測定孔位置



(b) 圧力測定ラインおよび風向

図8 風洞実験模型

実験気流は、ベキ指数 $\alpha \approx 0.2$ 、境界層高さ $Z_G \approx 60\text{cm}$ 、模型頂部高さ H における乱れの強さ $I_H \approx 0.2$ の境界層乱流である。屋根頂部高さでの風速は $U_H \approx 11\text{m/s}$ で、 U_H と H で定義されるレイノルズ数は $Re \approx 2.1 \times 10^4$ である。外圧測定孔に作用する風圧は、内径 1mm 、長さ 1m のビニールチューブを介して圧力変換器に導かれ、サンプリング周波数 500Hz で約82秒間全点同時測定した。チュービングによる変動風圧の歪みは、予め求められたチュービングシステムの伝達関数を用い、周波数領域で行った。

2) 実験結果

まず、風向 $\theta=0^\circ$ のとき中央断面における平均外圧係数 C_{pe_mean} の分布について、風洞実験結果とCFD(三次元解析)による結果との比較を図9に示す。両者はよく一致している。また、この平均外圧係数分布を用いて C_D と C_L を計算すると、CFDでは $C_D=0.32$ 、 $C_L=0.7$ 、実験では、 $C_D=0.3$ 、 $C_L=0.61$ である。両者を比較すると、 C_D については概ね一致しているが、 C_L についてはCFDの方がいくらか大きい。その原因としては、気流の違いと模型表面粗度の違いが考えられる。しかし、 C_{pe_mean} 分布や C_D の値が概ね一致していることより、ここで用いた数値流体計算法が概ね妥当な結果を与えるといえる。

次に、様々な風向 θ に対し、ラインAおよびE上の平均外圧係数分布を図10に示す。風向が妻面に平行な場合($\theta=0^\circ, 180^\circ$)、平均外圧係数分布はほぼ二次元的であり、ラインA、E上の分布に大きな差はない。一方、風が斜め方向から吹く場合、ラインE上の頂部およびその下流側

に、外圧係数 -2.0 程度の大きな負圧が発生する。特に、 $\theta = 45^\circ$ の場合に顕著である。これは円錐渦に起因するものである。風が妻面に直角の場合($\theta = 90^\circ$)、いずれのラインにおいてもほぼ一様な負圧が作用するが、ライン E においても -1.0 程度の大きさである。

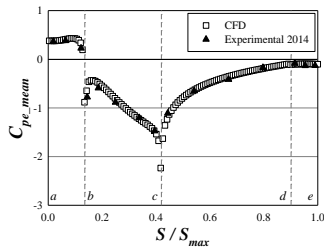
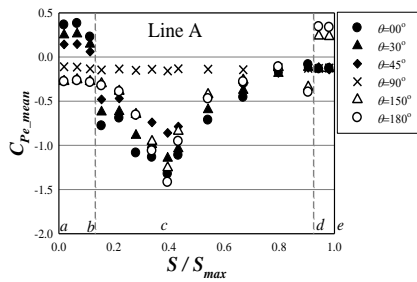
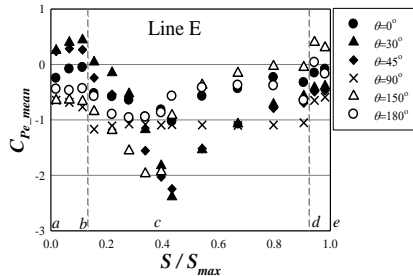


図9 中央断面における平均外圧係数分布



(a) Line A



(b) Line E

図10 様々な風向に対する平均外圧係数分布

(2) 側面開口による内圧係数の制御

① 新しい側面開口システムの提案

図11に本研究で提案する側面開口システムの概要を示す。側面を二重膜とし、H形鋼のせいを利用して、構造物の内側にもフィルムを張り、上部に隙間を設ける。夏季に換気が必要な場合は、外側と内側のフィルムを両方巻き上げるが、強風が予想される場合には、外側のフィルムだけを巻き上げ、上部の隙間から風を導入し、内圧を制御する。この場合、ハウス内部に導入された風が上方に向かって拡散されるため、ハウス内部の流速は低減し、植物が損傷する可能性が低くなると考えられる。

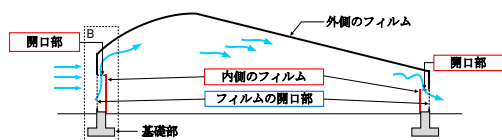


図11 提案する側壁開口システム

② 内圧係数のシミュレーション

1) シミュレーション方法

スリット状の開口位置における外圧変動を図12に示すような模型(幾何学的縮尺率 $\lambda = 1/200$)を用いた風洞実験により測定し、隙間の状況(隙間幅や流量係数など)に対して内圧の時刻歴のシミュレーションに用いた。

実験では、図中■印の位置における風圧を多点同時測定した。風向 θ は桁行面に正対する方向を 0° とし、 $0^\circ \sim 180^\circ$ の範囲を 15° ピッチで変化させた。実験風速は、高さ H で約 11m/s である。

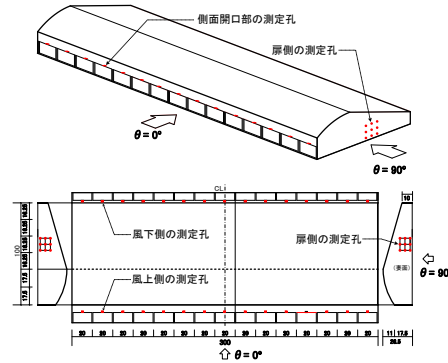


図12 風洞実験模型

内圧のシミュレーションは非定常ベルヌーイの式に基づく。シミュレーションにおいて重要なのは隙間に関するパラメータの設定である。ここでは、主として建築物等に関する既往の研究成果に基づき以下のように設定する。

妻面に設けた引き違い戸周辺の隙間については、実在する園芸用ハウスでの測定結果に基づき、代表的な値として $d_g=4\text{mm}$ 、流量係数は $k=0.65$ とする。側面開口部については、様々な開口状態が想定されるが、ここでは計算を単純化するため、全長にわたって一定幅の開口があるものとして、その幅(d_s)を変化させることで、側面開口が内圧および荷重効果に及ぼす影響を検討する。フレームは、せい 200mm 程度のH形鋼で構成されていると仮定し、 $d_s=8\text{mm} \sim 200\text{mm}$ とする。流量係数は $k=0.50$ とする。

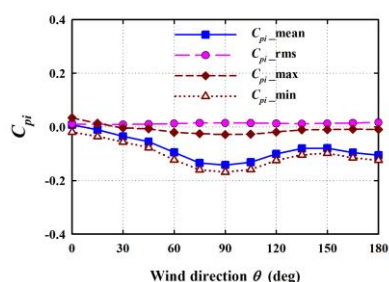
2) シミュレーション結果

図13は内圧係数の最大・最小ピーク値($C_{pi,max}$, $C_{pi,min}$)、平均値 $C_{pi,mean}$ および標準偏差 $C_{pi,rms}$ と風向 θ との関係を示す。側面のフィルムに対して、図13(a)は $d_s=8\text{mm}$ の場合を示す。最大ピーク値はほぼ 0 である。風向 $\theta < 75^\circ$ の範囲では、内圧係数は平均、ピーク値ともに風洞 θ の増大に伴い低減する。風向 $\theta=90^\circ$ で絶対値が最大となる。平均内圧係数は $-0.2 \sim 0$ 程度で、建設省告示第1454号に定められた閉鎖型建築物の構造骨組用内圧係数(-0.2 または 0)にほぼ一致している。また、図13(b)は最大開口部の $d_s=200\text{mm}$ のときの結果で、ピーク内圧係数は $-0.3 \sim +0.2$ 程度の範囲となっており、建設省告示第1458号の外装材用ピーク内圧係数(-0.5 または 0)に比べて 0.2 程度大きな値となっている。このような違いは、建設省告示では、矩形平面を有する建物の壁面全体に小さな隙間が一樣に分布している状況を想定しているのに対し、本研究では園芸用ハウスを対象としており、構

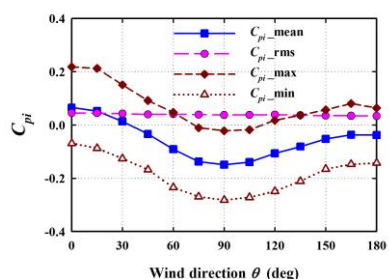
造物の形状が異なることに加えて、隙間が特定の場所に存在するという違いによるものと考えられる。側面の隙間の幅を大きく開けた場合、全体の内圧が大きくなるのが分かる。

一連のシミュレーション結果をまとめると、

- 鉄骨ハウスの構造骨組に作用する荷重負担を低減させるために側面開口を設け、内圧を制御することは有効である。
- 側面開口を設ける場合、風上側また風下側のどちらか一方に大きな開口を設けると、内圧が風向に対して大きな影響を受けやすくなる。特に、風下側開口を風上側開口より小さくすることは荷重を増大させる。
- 側面開口幅を広くすることで、風力低減効果が高くなる。特に風下側開口幅を風上側開口幅よりいくらか広くする方が荷重低減効果は大きい。H形鋼のせい最大値を開口することが効率的である。



(a) 側面開口幅 8mm



(b) 側面開口幅 200mm

図 13 内圧係数の統計量の風向による変化

(3) 今後の検討課題

鉄骨フレームの骨組にせい 200mm 程度の H 形鋼が用いられることを前提に、そのせいを利用してハウス側面にスリット状の開口を設けることで内圧が大きく変化することが示された。しかし、実際の風力は外圧と内圧の差で与えられることより、内圧だけを検討したのでは不十分である。また、内圧制御による荷重低減効果を見るためには、荷重効果に基づく検討が必要である。

参考文献

- 植松 康, 織茂俊泰, 渡部俊一郎, 北村周治, 岩谷 賢 (2004) : 翼型に似た断面形状を持つ鉄骨ハウスの設計用風荷重, 第 18 回風工学シンポジウム論文集, 347-352.
- 植松 康, 中原浩一, 森山英樹, 佐瀬勘紀, 園芸用パイプハウスの構造骨組用風荷重に関する研究—側壁面の開口が荷重効果に及ぼす影響について—, 農業施設, 第 40 巻, 第 2 号, 2009, 27-37.

Uematsu, Y., Orimo, T., Watanabe, S., Kitamura, S., Iwaya, M., Wind loads on a steel greenhouse with a wing-like cross section, Proceedings of the Fourth European and African Conference on Wind Engineering, Prague, Czech Republic, 11-15 June, 2005, Paper #101.

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 4 件)

- (1) 金 南昔, 植松 康, 翼型断面による抗力低減効果を利用した耐候性鉄骨ハウスの開発, 農業施設, 2016(印刷中)(査読有)
- (2) 高橋和也, 植松 康, 園芸用パイプハウスの風荷重および雪荷重による崩壊過程, 農業施設, 47 巻, 2015, 1-8(査読有)
- (3) H. Moriyama, S. Sase, Y. Uematsu, M. Ishii, L. Okushima, Influence of ridge height of pipe-framed greenhouses on wind pressure coefficients, Transactions of ASABE, The American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 58, 2015, 763-769, DOI: 10.13031/trans.58.10937 (査読有)
- (4) 金 南昔, 植松 康, 数値流体計算を用いた大スパン園芸用鉄骨ハウスの最適断面形状の提案, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, 2014, 301-306. (査読有)

[学会発表] (計 3 件)

- (1) 高橋和也, 植松 康, 園芸用パイプハウスの風荷重および雪荷重による崩壊過程に関する有限要素解析, 農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会, 2015 年 9 月 14~18 日, 岩手大学(岩手県盛岡市)
- (2) 金 南昔, 植松 康, 大スパン園芸用鉄骨ハウスの最適断面形状を用いた風洞実験による風力低減効果の検証, 日本建築学会大会(関東), 2015 年 9 月 4~6 日, 東海大学(神奈川県平塚市)
- (3) 高橋和也, 植松 康, 園芸用パイプハウスの風・雪荷重による崩壊過程に関する研究, 日本建築学会大会(関東), 2015 年 9 月 4~6 日, 東海大学(神奈川県平塚市)

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

なし

(3)連携研究者

なし