	キム　ナム側
氏　　名	金　南　昔
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	形態制御による風力低減効果を利用した 耐候性園芸用鉄骨ハウスに関する研究
論 文 審 査 委 員	主査　東北大学教授　植松　康　　東北大学教授　持田　灯 東北大学教授　木村　祥裕

論文内容要約

我が国の農業や施設園芸における鉄骨ハウスの役割は大きく，将来的にも益々その重要性は増大すると考えられる。鉄骨ハウスにおいては，設計上風荷重が支配的になることが多く，その耐風性能評価が重要である。園芸用鉄骨ハウスは，一般の建物に比べて耐風性に乏しく，台風等の強風で毎年多くの強風被害が発生する。鉄骨ハウスの強風被害は，横からの風力によって押し潰される様に倒壊することが多い。このような影響から，園芸用鉄骨ハウスの耐風性能の向上が求められている。また，生産性と作業効率の観点から耐風性に優れ，かつ大スパンの園芸用鉄骨ハウスを提案する必要があると考えられる。従来の鉄骨ハウスは，スパンの短い切妻型および円弧型のものが殆どで，広い空間が必要な場合には連棟形式にするのが一般的である。しかし，農業機械を使った効率のよい作業を行うためには，広い無柱空間が求められる。その上，従来の円弧型および切妻型でハウスの大スパン化を実現することは非常に難しい。また，高い耐風性を確保しようとすると部材が大きくなり，十分な日照を確保することが困難になるだけでなく，建設コストの増大を招く。「高い耐風性能」と「低コスト」という相反する要求を満たすためには，従来の形状にとらわれることなく，空気力学的に有利な形状とするべきであると考えられる。そこで，風荷重の一つの大きな特徴である，荷重の大きさが構造物の形状に大きく依存するということを利用する。形状を工夫することによって荷重を低減でき，これによって，建設コストを大幅に増大させることなく，大スパン化および耐風性の向上が可能であると考えられる。

本研究では，鉄骨ハウスの断面形状に対して従来の円弧型や切妻型ではなく，翼型断面を新たに導入する。断面形状を流線形に近づけることにより，ハウスまわりの流れをスムーズにして風荷重の低減を図ると共に，構造骨組内の力の流れをスムーズにし，構造の合理化を図る。また，風向とは逆向きの風圧を風上側屋根に発生させることで，ハウス崩壊の原因となる抗力を低減させる。この効果については，簡単な模型を用いた風洞実験により，抗力が約 1/2 に低減することを確認済みである。さらに，内部空間の作業性や光環境を考慮した上で，園芸用鉄骨ハウスの規模を規定し，断面形状を決定する様々なパラメータを広範囲に変化させた系統的な検討行う。各パラメータが及ぼす影響を分析し，風力低減効果が最も高くなるような最適な断面形状を提案する。そして，提案した断面形状を有する縮尺模型を作製し，その模型を用いた風洞実験を行い，様々な風向に対して多点同時測定を行うことにより風圧分布を測定し，風力低減効果を検証する。

一般に，ハウスの両妻面には出入り用の扉が取り付けられており，この扉の周囲には隙間が存在する。また，フィルムを利用したハウスの場合，側面にフィルムの巻上げ装置がついているのが一般的である。夏季に内部の温度が高温になり過ぎるのを避けるため，側面（あるいは頂部）を開けて換気を行う。通常，台風等の強風が予想される場合，この開口部は閉じられるが，そうするとフィルムに作用する風力が全て骨組に流れるため，骨組の耐力が低いと倒壊してしまう危険性がある。それに対し，意図的に開口を設けハウス内部に風の流れを導入することで風圧の低減を図ることができると考えられる。開口部を閉じた場合には隙間からの風の導入は少なく，内圧の変化が小さいため，骨組みに大きな風力が作用し，よく見られるような強風被害の発生の恐れが高い。一方，大きく開けた場合はハウス内部に強い風の流れが生じ，ハウス内の植物にダメージを与えてしまう可能性が高い。

以上の観点に立ち，本研究では，側面から適当な流れを導入するための，開口の設け方や開口面積，開口率の検討が重要であると考えられる。そして，新しい側面開口システムを提案する。開口部は，風上側および風下側，側面に設けるものとする。開口方法や開口率によっり構造骨組および外装材などにさらに大きなダメージを与えることも考えられるため，ここでは荷重低減効果の観点より適切な側面開口状態について考察する。これによって，最適断面形状による効果に加え，一層の風力低減を図ることができると考えられる。

第 1 章　序論

園芸用鉄骨ハウスの特徴や問題について考察し，風力低減効果の観点からの研究方法および研究範囲を明確にし，本研究の目的と背景を述べた。

第 2 章　強風被害とその低減対策

園芸用ハウスの強風被害の特徴を，既往の被害調査結果に基づき整理した。また，2004 年台風 18 号による強風でも無被害であった北海道大学農場のパイプハウスの事例を基に，隙間や開口部を設け内圧を制御することでパイプハウスに作用する風力を低減できる可能性について考察した。

第 3 章　数値流体解析を用いた風力低減効果の検討

空気力学的観点から効率的な鉄骨ハウスの断面形状を提案した。断面形状を「翼形」とすることで，曲率が比較的大きい風上屋根部分に抗力とは逆方向の大きな負圧を発生させ，抗力の低減を図る。数値流体計算(CFD)を用いて抗力の大幅な低減を可能とする断面形状の検討を行った。CFD 解析の理論的背景となる流体の流れを示す Navier-Stokes 方程式と変動風速を解析するために必要な RANS「改良型 k-ε モデル」を用いた。計算には汎用熱流体解析ソフト「STAR-CD」を使用する。本研究の目的は，風力の観点から優れた断面形状を見出すことであるので，計算の負荷を軽くするため二次元モデルとし，平均風力のみを対象とした。そして，既往の風洞実験結果と CFD 解析結果の比較を行い，CFD 解析の妥当性を検証した。そこで，得られた最適な解析条件を用い，園芸用鉄骨ハウスの断面パラメータを系統的に変化させた流体解析を行うことで，各パラメータがモデル断面に作用

する風力性状への影響を明らかにし，耐風性に優れた最適な断面形状の組み合わせを提案した。また，単に抗力低減だけではなく園芸用鉄骨ハウスの使用性も考慮し，図 1 のような最適な断面形状の組み合わせを提案した。λ_H は棟高 H に対する風上軒高の比，λ_B はスパン長さ B に対する風上側壁面から屋根頂部を通る鉛直線上までの距離 B_W の比を示し一般化された。λ_H と λ_B による抗力係数の値が局所的な極小値を与える点を表示している。使用目的および作業環境に合わせることができる提案である。

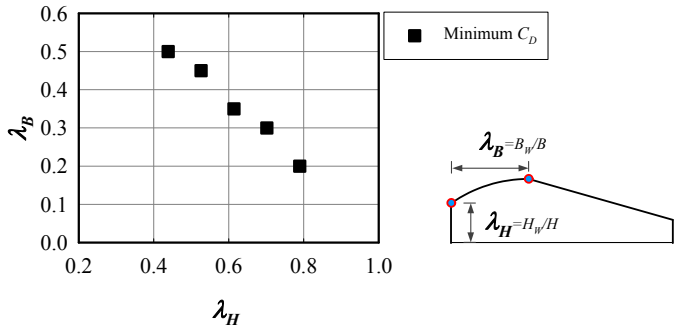


図 1．提案する最適断面の組み合わせ

第 4 章　風洞実験を用いた風力低減効果の検討

第 3 章で決定された最適断面形状を有する鉄骨ハウス（桁行方向の長さが 60m とする）を対象として，縮尺率 1/200 の模型を用いて風洞実験を行い，第 3 章 CFD 解析により明らかになった風力低減効果を検証する。また，平均外圧係数分布の特性を考慮し，フレームの構造骨組用外圧係数を風向に対する検討が行った。

本実験の平均外圧分布を用いて既往の風洞実験の結果と比較を行い，最も重要である妻面に平行な風向 0^o と 180^o に対して風力低減効果を検討した。その結果，風向 0^o の場合が 40%，風向 180^o の場合が 25%風力低減された結果を得た。その理由としては，まず，風上軒高が低くなったことが大きな影響であると考えられる。さらに，風上屋根面に大きな負圧が作用し，その負圧が作用する面積が大きいためであると考えられる。この検討により，第 3 章で提案された最適断面形状の風力低減効果が検証できた。一方，風が斜め方向から吹く場合，屋根の端部に行くほど頂部およびその下流側に大きな負圧が発生し，特に，風向 30^o と 45^o の場合で顕著であった。これは側面からの風の巻き込みにより，けらばに沿って発生した「円錐渦」に起因するものと考えられる。風が妻面に直角の場合は屋根のいずれの箇所においてもほぼ一様な負圧が作用する。これにより，平均外圧係数分布の特性を考慮すると，翼形断面モデルはフレームの構造骨組用外圧係数を設定するにあたって，風向 θ が桁行面に正対する方向 0^o の中央部分，風向 $\theta = 30^o$ と 45^o の端部の側面や屋根の外圧分布を考慮する必要があると考えられる。

第 5 章　側面開口部による内圧の制御とそれによる風力低減効果

園芸用鉄骨ハウスに側面開口を設け，ハウス内部に流れを導入することで風圧の低減を図ることが可能であると考えられるため，ハウス内の風速を低く抑え，内圧を制御できる新たな方法を提案した。提案した方法では内

圧の制御により風圧低減効果が期待でき，風の流れを制御することによって，強い風が吹いた時にも内部の植物にダメージを与えることなく，側面開口部を自由に制御することが可能である。鉄骨ハウスでは，フレームにH形鋼を使用するものとする。スパンが 20m 程度のハウスを想定した場合，骨組に用いられる H 形鋼のせいは 200mm 程度となる。ここでは，図2に示したように側面開口を二重膜とする新しい開口システムを提案する。すなわち，H形鋼のせいを利用し，構造物の内側にもフィルムを張り，上部に開口を設ける。このシステムは，夏季に換気が必要な場合は，外側と内側のフィルムを巻き上げるが，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（内側のフィルムを閉め），上部の開口から風を導入する。これによって，ハウス内部の風速を低く抑えられることが可能となる。ここでは，この開口システムを第4章で対象とした模型に導入した模型を製作し，風洞実験を行った。実験では，鉄骨ハウスに存在する隙間および新しく提案された側面開口位置での風圧を測定し，得られた外圧の時刻歴データを用いて内圧をシミュレーションした。内圧シミュレーションでは隙間および開口からの開口率による内圧の変化を明らかにし，以下のことが確認できた。

(1) 強風中で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は，側面開口を設け，内圧を制御することが有効である。

(2) 側面開口を意図的に設ける場合，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，ある風向で非常に大きな風圧が作用する。特に，風下側面開口を風上側面開口より小さくすることは荷重を増大させ，好ましくない。

(3) 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面開口幅よりいくらが広くする方が荷重低減効果が大きい。H形鋼を使用する鉄骨ハウスの場合，設置されたH形鋼のせいの最大値を開口すると効率的である。

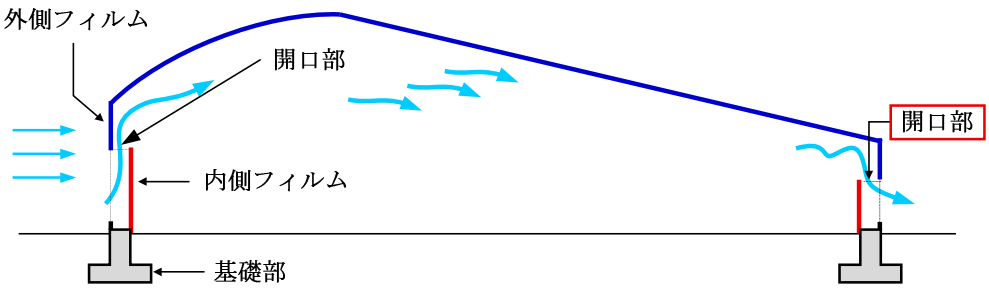


図2．提案する鉄骨ハウスの開口システム

第6章　結論

上記の検討結果に基づき，本研究の成果と提案についてまとめた。