

施設園芸用パイプハウスの風被害に関する研究

(3Dモデルを用いた解析による検討)

森川建太*, 高尾春花**, 須田敦, 野林多美子***, 榎真一****, 室巻孝郎*****, 吉岡剛志*****

A study for wind damage in Greenhouse Horticulture
(Examination by analysis using 3D model)

MORIKAWA Kenta*, TAKAO Haruka**, SUDA Atsushi, NOBAYASHI Tamiko***, ENOKI Shinichi****, MUROMAKI Takao*****, YOSHIOKA Tsuyoshi*****

施設園芸用パイプハウスについて、現在普及しているパイプハウスやその補強方法、パイプハウスについて過去に行われた研究などの調査を行う。また、パイプハウスの台風時の挙動を調べるために、パイプハウスの3Dモデルを用いて流体解析、構造解析、およびそれらの連成解析を行う。解析の結果より、台風時のパイプハウスの挙動を概ね再現することが可能であることが確認できた。今後の予定として、台風時のパイプハウス強度に地盤の状態が及ぼす影響について明らかにするために、より実際のパイプハウスに近い解析モデルを用いて地盤の状態を考慮した解析を行う必要がある。

1 緒言

我が国において野菜や果樹などの園芸作物は農業産出額の約39%を占め、食料の支出金額に占める割合が最も高く、消費者ニーズに応えるためには施設園芸による周年安定供給が必須である(農林水産省, 2020a)。園芸作物の生産において風雨や寒さから作物を守るために温室などの施設が用いられる。その1種のパイプハウスは施工費が安価であることや、農家が自力で組み立てできるという施工性の高さから多く用いられる。一方で、パイプハウスは強度が低く台風などの強風や大雪の被害をたびたび受ける。本稿ではこのパイプハウスの自然被害について、現在普及しているパイプハウスやその補強方法、パイプハウスについ

て過去に行われた研究などを調査し、その結果とともにパイプハウスの自然被害の対策としてパイプハウスの3Dモデルを用いたCFD解析を行い、その結果や今後の方針について報告する。

2 パイプハウス

2.1 パイプハウスの概要

園芸作物の生産において、風雨や寒さから作物を守るために農業用ハウスが用いられる。農業用ハウスには、図1に示す鉄骨の骨組みにガラスを張り合わせた鉄骨ハウスや、図2に示すアーチ状の鋼管(パイプ)で構成された骨組みをビニールで覆ったパイプハウスなどがある。



図1 鉄骨ハウス
(株式会社アグリテック東北)



図2 パイプハウス

* システム創成工学専攻機械制御システムコース1年, ** 元機械工学科学生, *** きららか支援員(研究支援員), **** 大阪産業大学工学部機械工学科, ***** 舞鶴工業高等専門学校機械工学科, ***** 徳農種苗株式会社

このうち、パイプハウスは施工費が安価であることや、農家が自力で組み立てできるという施工性の高さから多く用いられ、日本国内の園芸施設総設置面積の約76%を占める(農林水産省, 2018)。一方で、パイプハウスは低コスト化や日射透過率の観点から部材数や部材寸法は最低限に抑えられる必要があり構造的な強度は低くなる。パイプハウスの構造について日本施設園芸協会が構造指針を発行しているが、これはあくまで指針であり、法的な構造規定は存在しない。そのため、構造や補強方法などは設置者やメーカーの判断に委ねられ、台風などの強風や大雪の被害をたびたび受ける。2019年に発生した台風15号では農林水産関係被害額の半分以上である約476.8億円を農業用ハウスなどが占め、被害件数は23,766件を超える(農林水産省, 2020b)。このような現状から、パイプハウスの被害対策として様々な補強方法の考案や、ハウス構造についての研究が行われている。

2.2 パイプハウスの固定具

パイプハウスの骨組みは複数のパイプから構成されてお

り、それぞれのパイプは結束金具によって固定されている。

図3に実用新案権に登録されているパイプハウスにおけるパイプどうしの結束金具を示す。この金具は十字に交差したパイプを結合するための金具で、U字形の側板と楔板から構成される。

図4に実用新案権に登録されているビニールハウスの骨材接続金具を示す。この金具は湾曲状に成形したパイプとそれに交差するパイプを結合するための金具で、断面門型の接続具と楔から構成される。

図5に実用新案権に登録されているパイプ交差連結用金具を示す。この金具は交差する2本のパイプを所定の間隔をあけて連結固定するための金具である。この金具は、パイプ間に介在させる金属角形筒状体と線状係着部材から構成され、特にねじれに対して優れた抵抗強度を有する。

2.3 パイプハウスの補強

パイプハウスの台風による主な被害パターンを図6に示す。図6(a)はアーチパイプの鋼材が圧力に耐えることができずに曲がり、ハウス全体が倒壊するパターンである。図

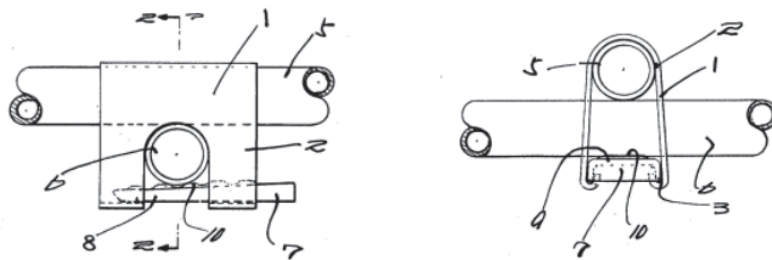


図3 パイプハウスにおけるパイプどうしの結束金具 (青木, 1973)

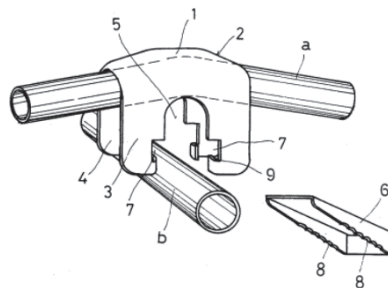
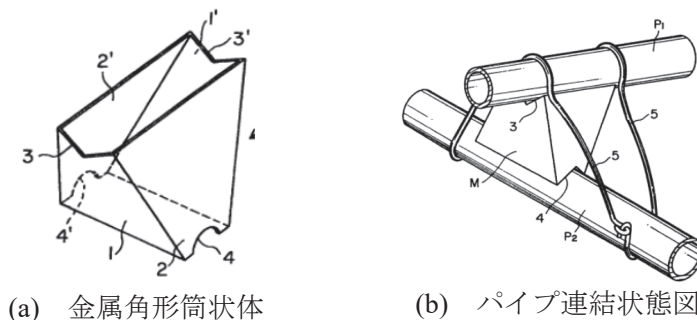


図4 ビニールハウスの骨材接続金具 (大家, 1973)



(a) 金属角形筒状体 (b) パイプ連結状態図

図5 パイプ交差連結用金具 (村上, 1991)

6(b)はハウス内に風が吹き込むことによりハウス内の圧力が大きくなり、アーチパイプが外側に跳ね上がるパターンである。図6(c)は強風が妻面から奥行方向に吹いた場合に、妻面が傾きアーチパイプが押されてドミノ倒しのように奥行き方向に倒壊するパターンである。図6(d)は一度建物などに当たり上昇した風が下方へ吹き下ろすとき、障害物から離れたハウスの屋根が陥没するパターンである。

これらの被害の対策として補強部材がしばしば用いられる。図7に一般的に用いられる補強方法を示す。図7(a)に示すタイバーによる肩部補強方法は部材を棟および軒上部に逆T字に取り付ける方法で、耐風速は約1.2倍となる。図7(b)に示すX型補強は肩部から棟部の左右に斜材を取り付ける肩部強化方法である。X型補強はタイバーによる補強方法よりも効果的とされ、耐風速は約1.3倍となる。図7(c)に示す筋交いによる補強方法は妻面上部から桁行方向に部材を取り付けることで、妻面から奥行き方向への風に対しアーチパイプの横倒しを防ぐ効果がある。これらの補強以外にも、雪荷重のような上方向からの力による変形を防ぐための支柱、ハウスの浮き上がりを防止するための基礎部の強化、肩部分をワイヤーなどで外側からひっぱり固定する、などの補強が行われている。また、台風の接近によりハウスの耐風速を超える風が予想される場合は、事

前にハウスを覆うビニールを取り除くなどの対策が行われる場合がある。

3 パイプハウスに関する先行研究

パイプハウスの自然被害の対策として様々な研究が行われている。黒住ら(1999)は台風によるパイプハウスの強風被害について調査を行い、パイプ構造や被覆フィルムなどの素因と被害程度との関係についての考察を行っている。また、森山ら(2003)は台風による被害事例を詳細に調査し、事例ごとに破壊メカニズムの推察を行っている。台風以外の被害調査として、奥島ら(2003)は2012年に発生した竜巻による被害を調査し、台風被害との近似性を明らかにしている。これらの被害調査では各地点での正確な風速を把握する必要がある。そこで、福本ら(2008)はLAWEPSによる風況シミュレーションを用いて中山間地の風速推定を行っている。しかし、近年の異常気象の増加により台風発生予測や風向き、風速の判定は難しく、パイプハウスの常設的な強度が必要と考えられる。

ハウス構造の観点から、長利ら(1980)はパイプハウスの断面形状について風・雪荷重下で最も大きな抵抗力が得られる形状を計算によって求めている。また、ハウス強度に

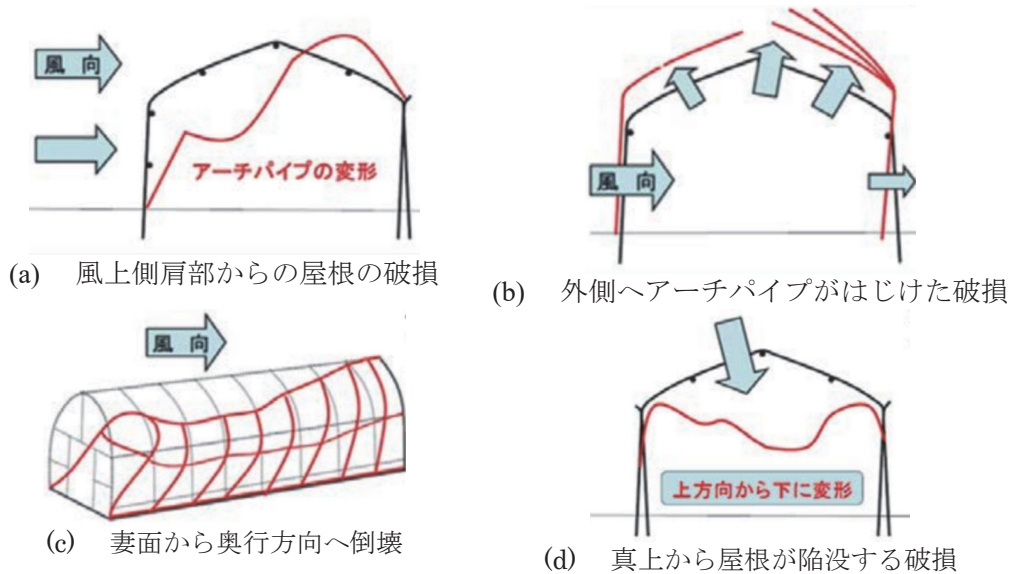


図6 パイプハウスの主な被害パターン (京都府農林水産部農産課, 2019)

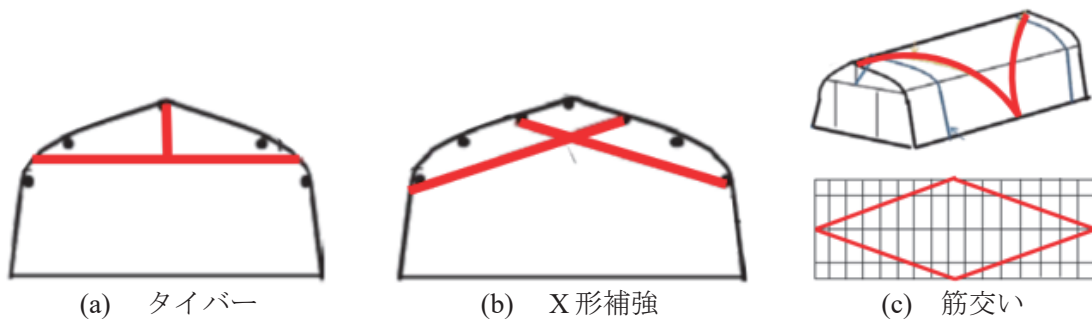


図7 パイプハウスの補強方法 (京都府農林水産部農産課, 2019)

ついて、小川ら(1989)は実物大強度実験を行いその耐力を求め、理論解析との適応性について考察している。さらに、構造解析を用いた研究として、Mearsら(2003)は有限要素法解析(以下「FEM解析」と呼ぶ)によって応力解析および座屈解析を行い、荷重試験との比較により設計における座屈解析の必要性を明らかにしている。また、Davidら(2008)はFEM解析による許容雪荷重の測定により雪荷重下での補強法やパイプ断面の最適値を明らかにしている。これらの既存のハウス形状についての研究に対して、Banら(2016)は新たに提案したハウス構造に対して固有値解析を行いその剛性を明らかにしている。

ハウスの台風被害について、台風時のハウス周りの風荷重の様子を調べるために風洞実験が用いられる。森山ら(2008)は、ハウスの1:20スケールのモデルを使用した風洞実験によって風圧係数の計測を行い、風向きや妻面開口部の影響を明らかにしている。風洞実験ではなく数値流体解析によって風圧係数を求める試みもある。ピッチの異なる建物についてCFD解析による風圧係数の測定を行った研究では風洞実験の結果との比較によってCFD解析の適応性を明らかにしている。また、Kimら(2017)は連棟型温室についてCFD解析による風圧係数の測定を行い、CFD

解析によって得られた風荷重を用いた構造解析の必要性を提示している。FEM解析とCFD解析の組み合わせた研究として、高橋・植松(2016)は風・雪荷重を受けるハウスが崩壊するまでの過程を二次元モデルに対するFEM解析とCFD解析の連成によって再現している。さらに、2018年には同様の方法を三次元モデルに対して行い、ハウスの一般的な設計法の安全性や補強方針を示している。これらの研究から、風荷重に対するハウスの正確な強度を知るためにはFEM解析による応力解析や座屈解析に加えて、CFD解析による風圧係数の測定を行うことは重要であると考えられる。

高尾(2019)は特に農業用パイプハウスに当たる台風の風に焦点を当て、台風の風によって倒壊する農業用パイプハウスの被害を抑えるための装置を提案し、装置周りの流体解析を行っている。図8に提案された5種類の装置を示す。

(a)から(d)の装置はそれぞれのデザインを風見鶏のように屋根部に取り付けることで負揚力を発生させてパイプハウスを浮き上がらせる力を相殺させることを目的としている。また、(e)の装置はパイプハウス側面に配置することで表面のくぼみにより乱流が発生しやすくなり、物体表面から気流の剥離を防ぐ狙いである。図9に傘型装置、図

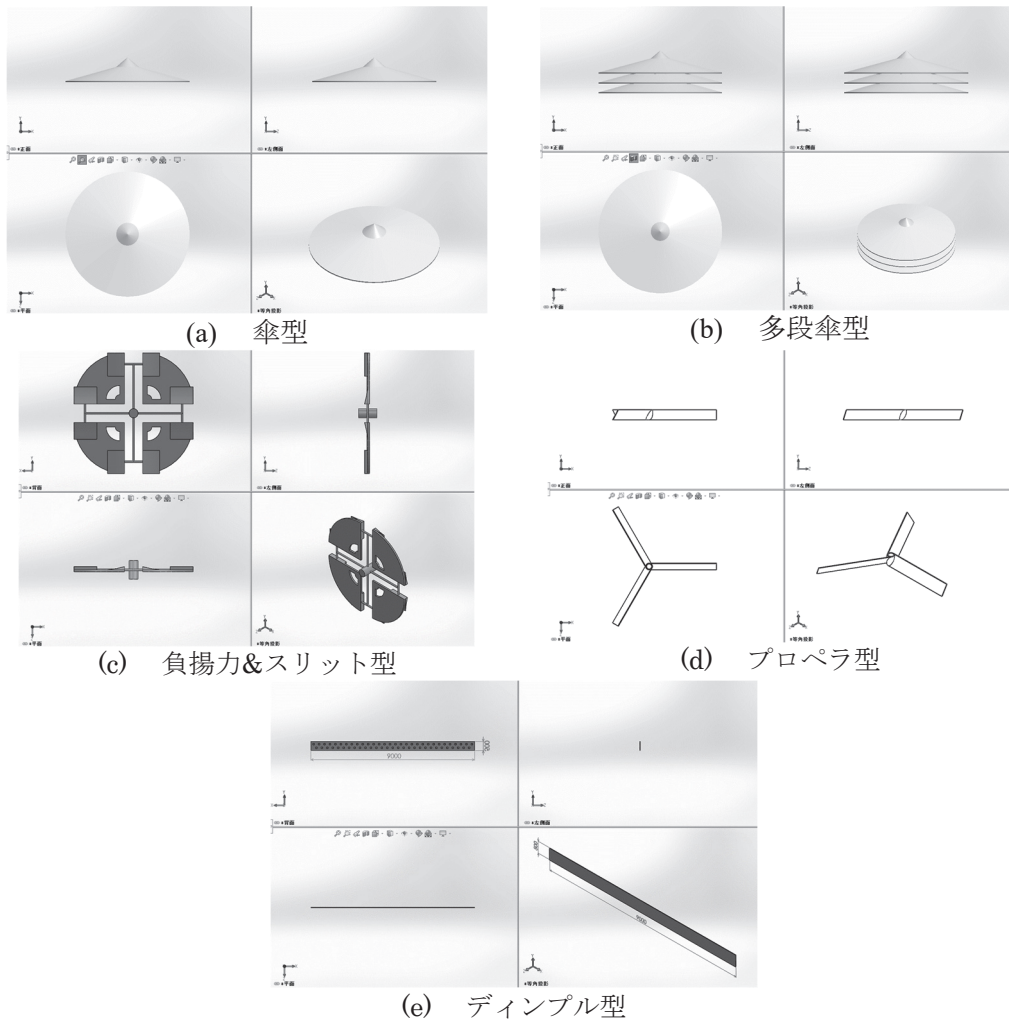


図8 提案された装置

10に多段傘型装置, 図11に負揚力&スリット型装置, 図12にプロペラ型, 図13にディンプル型装置の流体解析結果の一例を示す。

各装置の流体解析の結果として, 風見鶏型機構の各デザインにおいては, 負揚力の発生がみられなかったため, 台風による被害の対策効果は見込めないと考えられる。対してディンプルを応用した形状においては, パイプハウ

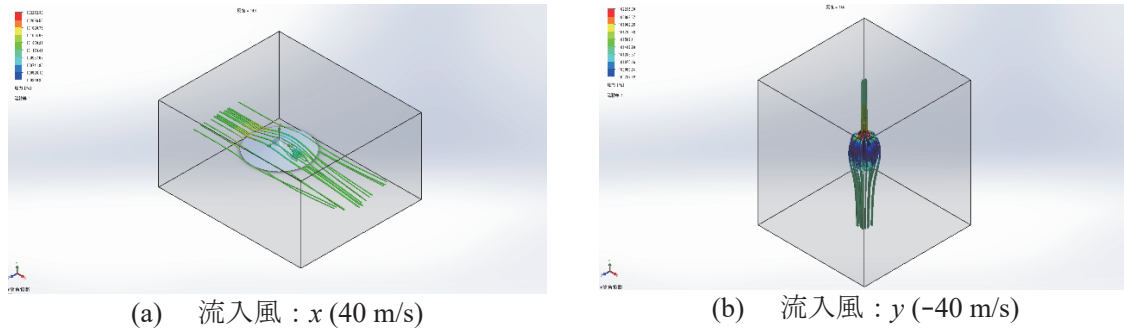


図9 傘型装置の解析結果

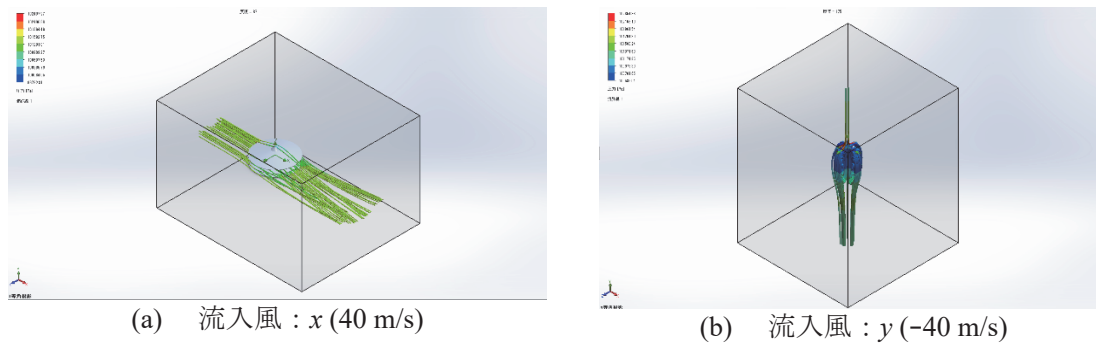


図10 多段傘型装置の解析結果

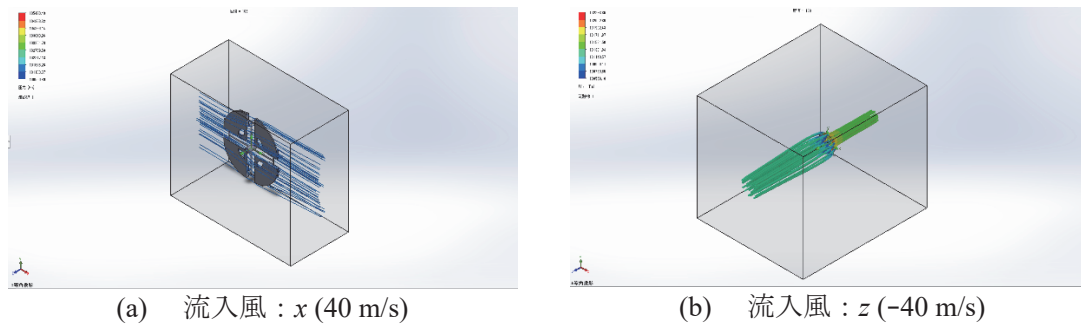


図11 負揚力&スリット型装置の解析結果

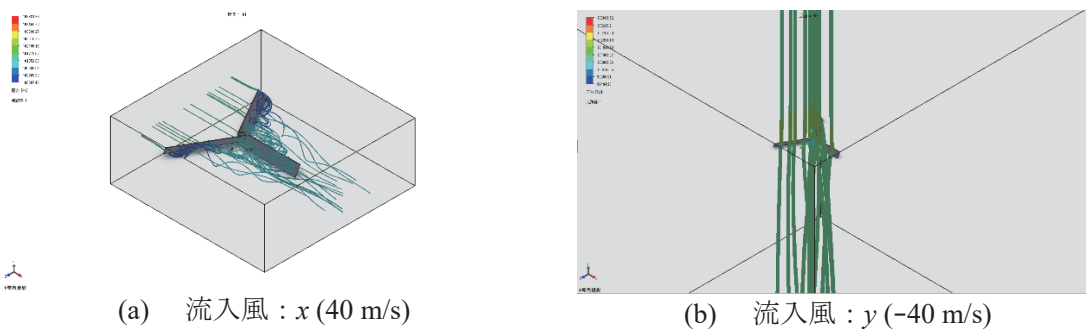


図12 プロペラ型装置の解析結果

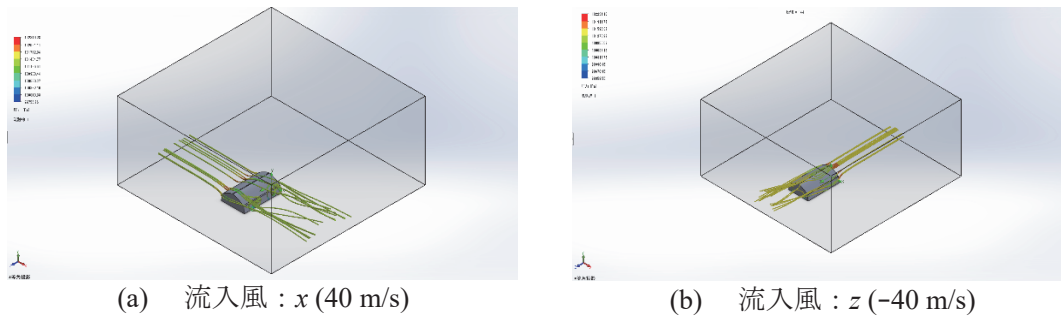


図13 ディンプル型装置の解析結果

スに結合させることにより表面方向および桁行方向から受ける風圧のうち約 100 Pa 以上緩和することがわかったことから、パイプハウスにかかる圧力の緩和、渦の軽減に成功したといえる。よってディンプルを応用した形状は、台風による被害の対策効果があると考えられる。

4 パイプハウス強度に地盤の状態が及ぼす影響についての研究

4.1 研究の目的

パイプハウスの強度について地盤の状態に注目すると、ハウスの地盤支持条件に着目した研究 (Kim et al, 2017) はあるが地面の性質等の変化を考慮した解析を行う研究はあまりされていない。実際の台風では、強風とともに降雨による地盤の軟化が発生し、土壌の含水比の上昇につれて地耐力は低下する (町田, 1968)。よって、より正確な解析を行うには地盤性質の考慮が必要と考えられる。したがって、本研究ではパイプハウスの強度に対する地盤状態の影響を明らかにすることを目的とし、CFD 解析によってパイプハウスの周りの風圧係数を測定し、地盤の性質を

考慮した FEM 解析によって応力解析を行う。さらに、簡易的な地盤実験や風洞実験によって各解析の妥当性の検証を行う。

4.2 3D モデルを用いた解析

本研究では、パイプハウスの台風時の強度の把握を目的とした解析を行う。まず、パイプハウス周りの風圧分布を調べるために数値流体解析を行う。図 14 に SolidWorks で作成した解析に用いるパイプハウスの 3D モデルを示す。数値流体解析は SolidWorks2018 の SolidWorks Flow Simulation で行う。解析の条件として台風を想定し、風速を 30 m/s とし、風向きを桁行方向に垂直に設定する。メッシュはモデル近傍に向けて細くなるように設定し、最大メッシュを 10000 mm、最小メッシュを 10 mm とする。また、図 15 に解析領域、表 1 にその他の解析条件を示す。

図 16 にモデル表面の風圧分布、図 17 にハウス周りの流跡線の結果を示す。図 16 に示す結果より、桁行方向に垂直な方向から風が当たると、風上側の地表から肩部にかけて約 30 Pa の圧力が作用し、棟部付近に約 -50 Pa 圧力が発生することがわかる。これにより、台風時には風上側に

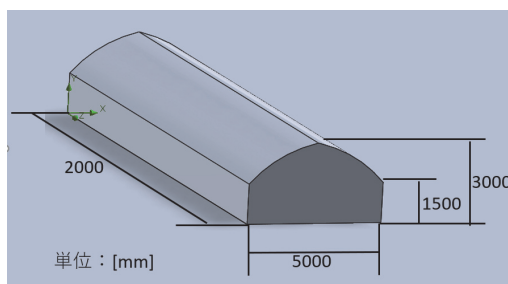


図14 CFD解析の3Dモデル

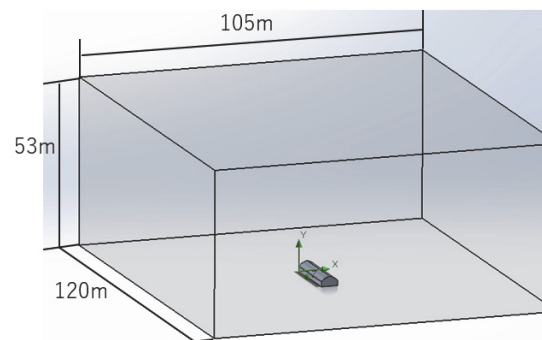


図15 CFD解析での解析領域

表1 CFD解析の解析条件

設定項目	設定条件および値
解析タイプ	外部流れ
流体	空気 (気体)
流れタイプ	層流及び乱流
圧力	101325 Pa
温度	293.2 K
乱流強度	0.10 %
乱流長さ	0.03001 m

押しつぶす力が発生し、棟部に浮き上がらず力が発生すると考えられる。図 17 に示す結果より、ハウス後方(風下側)に渦が発生していることがわかる。このように、流体解析を行うことで台風時のパイプハウス周りの風の様子や、作用する力の様子の把握が可能であることを確認した。

流体解析で得られた結果のうち、ハウス中央に作用する相対圧力の値を用いて台風時の中央アーチの変形の様子を SolidWorks simulation によって調べる。図 18 に構造解析に用いる 3D モデルを示す。解析モデルはソリッドボディで材質を炭素鋼板とし、解析条件としてパイプ端を固定とする。図 19 に流体解析によって計算された圧力を作用、変形させたときの x 方向の変位の結果を示す。図 19 に示す結果より、桁行方向に垂直な方向から風が当たると肩部付近の水平変位が最も大きくなることがわかる。また、棟部付近は負圧により上方向に引き上げられることがわかる。この変形形状は図 6(a) に示す被害パターンへの傾向に近いことがわかる。よって流体解析によって得られた結果を用いた構造解析によってパイプハウスにかかる力やおおよ

その倒壊形状の把握が可能であることを確認した。

つづいて、台風時のパイプハウスの全体の形状変化を流体解析と構造解析の連成を SolidWorks 上で行うことで調べる。図 15 に示す流体解析の結果を構造解析の外部荷重として適用し、モデル底面を固定とした構造解析を行う。ここで、モデルはソリッドボディで材質はポリ塩化ビニールである。図 20 に連成解析の結果を示す。このように、流体解析と構造解析の連成によって、台風時のパイプハウスの全体のおおよその形状変化の様子を調べることが可能であると考えられる。

4.3 今後の研究方針

現時点での研究結果より、流体解析、構造解析、およびそれらの連成解析によって台風時のパイプハウス周りの圧力分布や変形の様子を把握が可能であることが分かった。今後の予定として、台風時のパイプハウス強度に地盤の状態が及ぼす影響について明らかにするために、解析モデルをより実際のパイプハウスに近づけるとともに、アーチパ

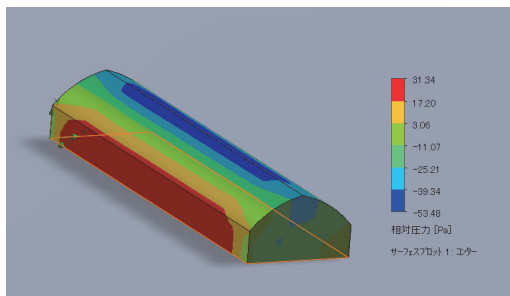


図 16 モデル周りの圧力分布

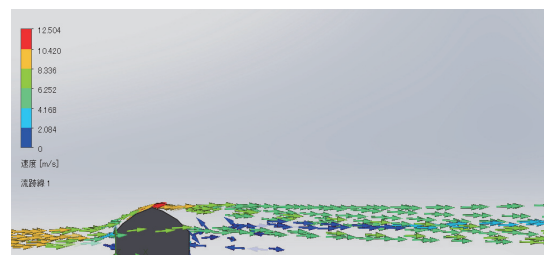


図 17 ハウス周りの流跡線

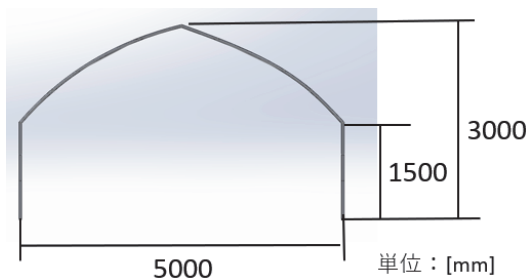


図 18 構造解析モデル

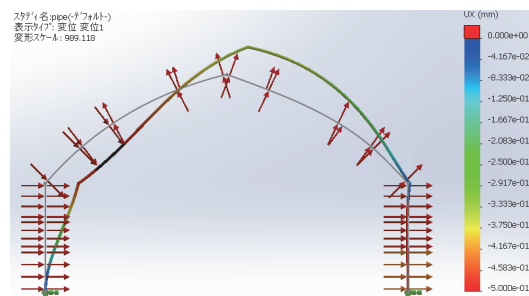


図 19 構造解析の結果 (水平変位)

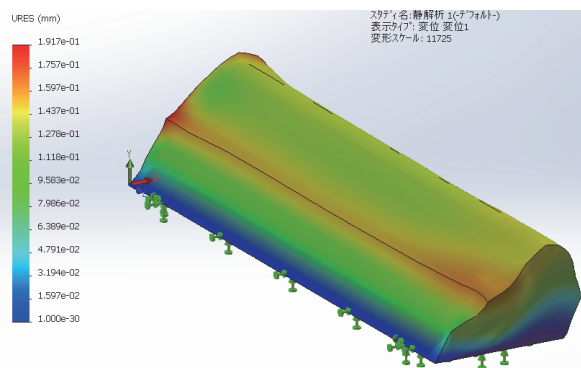


図 20 連成解析による風速 30 m/s での水平変位

イブを地面に差し込んだ状態のモデルを用いて、地面の性質などの解析条件を変化させた解析を行うことが必要だと考える。

4 結言

施設園芸用パイプハウスについて、現在普及しているパイプハウスやその補強方法、パイプハウスについて過去に行われた研究などの調査を行った。また、パイプハウスの台風時の挙動を調べるために、パイプハウスの3Dモデルを用いて流体解析、構造解析、およびそれらの連成解析を行った。解析の結果より、台風時のパイプハウスの挙動を概ね再現することが可能であることが確認できた。今後の予定として、台風時のパイプハウス強度に地盤の状態が及ぼす影響について明らかにするために、より実際のパイプハウスに近い解析モデルを用いて地盤の状態を考慮した解析を行う必要がある。

文献

- 青木彰, パイプハウスにおけるパイプどうしの結束金具, 特開昭 46-104858(1973).
- 株式会社アグリテック東北, “鉄骨農業ハウス”, 商品ラインナップ, AgritecTOHOKU(online), available from <<http://agritec-tohoku.jp/lineup/index.html>>, (参照日: 2020年10月11日).
- Ban, M., Hira, T., Ouchi, S., Imanishi, K., Nomura, H., Enoki, S., Estimate Of Rigidity Of Greenhouses Made Of Steel Pipes, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 166(2016).
- 福本昌人, 柴田昇平, 吉村亜希, LAWEPSによる台風時のパイプハウス地点の風速推定, システム農学, Vol. 24, No. 2, p. 85-92, 2008.
- Hideki, M., Sadanori, S., Yasushi, U., Tomoharu, Y., Wind Pressure Coefficient of a Pipe-Framed Greenhouse and Influence of the Side Gable Openings Using a Wind Tunnel, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.237-248, (2008).
- H.W. Lee, S.G. Lee, J.W. Lee, C.S. Kwak, experimental study on the ground support conditions of pipe ends in single span pipe greenhouse, ISHS Acta Horticulturae 893(2009).
- Kim, R., Hong, S., Lee, I., Kyeong, K., Evaluation of wind pressure acting on multi-span greenhouses using CFD technique, Part 2: Application of the CFD model, biosystems engineering I64, pp.257-280(2017).
- 黒住徹, 角山正吉, 大辻純一, 台風7号による園芸施設被害の要因と今後の対策, 奈良農業試験場研究報告, 大30号, pp.33-42(1999).
- 京都府農林水産部農産課, 園芸ハウス台風対策マニュアル, p.4-17(2019).
- 長利洋, 山下進, パイプハウスの断面形状と強度について

- (I), 農業土木試験場技法 .A, 土地改良 (1980).
- 町田武美, 地耐力と機械走行の研究: 第1報地耐力の経時変化, 茨城大学農学部学術報告 (16), pp.43-49, (1968).
- 農林水産省, “施設園芸をめぐる情勢”, 2020a
- 農林水産省, “園芸用施設の設置などの状況”, 2018
- 農林水産省, “令和元年台風15号に係る被害状況”, 2020b.
- 森山英樹, 佐瀬勘紀, 小綿寿志, 石井雅久, 台風0221による千葉県・茨城県下の園芸施設構造の被災状況と考察, 農業施設, 34巻3号, 199-212(2003).
- 森山英樹, 奥島里美, 佐瀬勘紀, 石井雅久, 竜巻の3次元風向および風速がパイプハウスの破壊モードに及ぼす影響, 農業施設, Vol. 43, No. 4, pp.152-159(2012).
- H. Moriyama, D. R. Mears, S. Sase, H. Kowata, M. Ishi, Design Considerations for Small-Scale Pipe Greenhouses to Prevent Arch Buckling Under Snow Load, An ASAE Meeting Presentation, Paper Number: 034047(2003).
- M. Hideki, David R. M., S. Sadanori, I. Atsuo, Y. Tomoharu, Reinforcement for Pipe-Framed Greenhouse under Snow Load and Design Optimization Considering Steel Mass, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.263-274(2008).
- 村上克介, パイプ交差連結用金具, 特開昭 59-18845(1991).
- 大家武, ビニールハウスの骨材接続金具, 特開昭 47-27143(1973).
- 小川秀雄, 津下一英, 佐藤義和, 干場信司, 山下進, パイプハウスの強度に関する実験的研究 (I), 農業施設, Vol.19, No.3(1989), pp.29-38.
- Y.Tominaga, S.Akabayashi, T.Kitahara, Y.Arinami, Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations, Building and Environment, Vol.84, 204-213(2015).
- 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, Vol.47, No.1, pp. 1-8, (2016).
- 高橋和也, 植松康, 園芸用パイプハウスの風荷重による崩壊過程と補強効果の三次元解析による検討, 農業施設, Vol.49, No.2, pp.77-85(2018).
- 高尾春花, パイプハウスの台風対策, 奈良高専卒業論文 (2019).

References

- Aoki, A., Bundling metal fittings between pipes in a pipe house, Japanese patent disclosure S46-104858 (1973).
- Agritec Tohoku Co., Ltd., "Steel Agricultural House", Product Lineup, AgritecTOHOKU (online), available from <<http://agritec-tohoku.jp/lineup/index.html>>, (accessed on 11 October, 2020)
- Ban, M., Hira, T., Ouchi, S., Imanishi, K., Nomura, H., Enoki, S., Estimate Of Rigidity Of Greenhouses Made

- Of Steel Pipes, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 166(2016).
- Fukumoto, M, Shibata, S, Yoshimura, A, Wind speed estimation at pipe house points during typhoons by LAWEPS, System Agricultural Science, Vol. 24, No. 2, p. 85-92(2008).
- Hideki, M., Sadanori, S., Yasushi, U., Tomoharu, Y., Wind Pressure Coefficient of a Pipe-Framed Greenhouse and Influence of the Side Gable Openings Using a Wind Tunnel, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.237-248, (2008).
- H.W. Lee, S.G. Lee, J.W. Lee, C.S. Kwak, experimental study on the ground support conditions of pipe ends in single span pipe greenhouse, ISHS Acta Horticulturae 893(2009).
- Kurozumi, T., Kakuyama, M., Otsuji, J., Factors of damage to horticultural facilities caused by typhoon No. 7 and future countermeasures, Nara Agricultural Experiment Station Research Report, No.30, pp.33-42, 1999.
- Kyoto Prefecture Agriculture, Forestry and Fisheries Department, Agricultural Products Division, Horticultural House Typhoon Countermeasure Manual, p.4-17, (2019).
- Nagatoshi, H, Yamashita, S, Cross-sectional shape and strength of pipe house (I), Agricultural Civil Engineering Experiment Station Technique. A, Land Improvement(1980).
- Machida, T., Study of bearing capacity and machine running: 1st report Changes in bearing capacity over time, Academic Report of Faculty of Agriculture, Ibaraki University (16); pp.43-49(1968).
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, "Damage to Typhoon No. 15 in the first year of Reiwa", (2020b).
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, "Situation Concerning Facility Horticulture"(2020a).
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, "Status of installation of horticultural facilities"(2018).
- Moriyama, H., Sase, K., Kowatari, H., Ishii, M., Damage to the structure of horticultural facilities in Chiba and Ibaraki prefectures and consideration by typhoon 0221, Agricultural facilities, Vol. 34, No. 3, pp.199-212, (2003).
- Moriyama, H., Okushima, S., Sase, K., Ishii, M., Effect of 3D wind direction and speed of tornado on the destruction mode of pipe house, Agricultural facilities, Vol. 43, No. 4, pp.152-159(2012).
- Moriyama, H., D. R. Mears, Sase, S., Kowata, H., Ishi, M., Design Considerations for Small-Scale Pipe Greenhouses to Prevent Arch Buckling Under Snow Load, An ASAE Meeting Presentation, Paper Number: 034047(2003).
- M. Hideki, David RM, S. Sadanori, I. Atsuo, Y. Tomoharu, Reinforcement for Pipe-Framed Greenhouse under Snow Load and Design Optimization Considering Steel Mass, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.263-274, (2008).
- Murakami, K., Metal fittings for crossing pipes, JP-A-59-18845 (1991).
- Oya, T, Aggregate connection fittings for greenhouses, Japanese patent disclosure S47-27143 (1973).
- Ogawa, H., Tsushita, K., Sato, Y., Hoshihara, S., Yamashita, S., Experimental Study on Strength of Pipe Houses (I), Agricultural Facilities, Vol. 19, No. 3(1989).
- Tominaga, Y., Akabayashi, S., T.Kitahara, Arinami, Y., Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations, Building and Environment, Vol.84, 204-213(2015).
- Takahashi, K., Uematsu, Y., Collapse process due to wind and snow loads of horticultural pipe houses, Agricultural facilities, Vol. 47, No. 1, pp. 1-8(2016).
- Takahashi, K., Uematsu, Y., Examination by three-dimensional analysis of decay process and reinforcement effect due to wind load of horticultural pipe house, Agricultural Facilities, Vol. 49, No. 2, pp.77-85(2018).
- Takao, H., Typhoon Countermeasures for Pipe House, Nara National Insutitute of College Graduation Thesis(2019).
- Kim, R., Hong, S., Lee, I., Kyeong, K., Evaluation of wind pressure acting on multi-span greenhouses using CFD technique, Part 2: Application of the CFD model, biosystems engineering 164, pp.257-280(2017).