

CAE および風洞実験を用いた 強風時の農業用パイプハウスの被害低減についての考察

高橋水木*, 加藤良太**, 桑原幸汰*, 須田敦, 谷口幸典, 福岡寛

A study on the reduction of damage to agricultural pipe houses
against strong winds through the utilization of
Computer Aided Engineering (CAE) and wind tunnel experiment

Mizuki TAKAHASHI*, Ryota KATO**, Kouta KUWABARA*,
Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI, Hiroshi FUKUOKA

本取り組みは本校機械工学科主導の有志集団 MeCafe (Mechanical+Cafe の造語, メカフェ) を活動母体として, 第1回高専防災減災コンテストの援助を受け, 強風時のパイプハウスの被害軽減についての研究を行った. 本取り組みは第1回高専防災減災コンテストにおいて, 高専機構賞を授与された.

1 はじめに

近年, 農業用パイプハウスは台風等の強風により倒壊する被害をたびたび受けている. その対策として, タイバー構造や X 型補強などが実施されている. しかし, この補強方法では農業用パイプハウス内部の作業容積が減少するうえに, パイプハウスの浮き上がりを防ぐことができないという欠点が存在する. そこで, 農業用パイプハウスの屋根中央部に突起をつけることにより圧力分布を変化させ強風時にパイプハウスが飛ばされることを防ぎ, 被害を低減しようとする.

農業用パイプハウスの被害を低減することにより, 農業従事者の経済的な負担を減らし我が国の食料自給率を上げることを目標としている. また, 農業用パイプハウスが倒壊する被害を低減することで, SDGs のターゲット 2-4, やターゲット 13-1, という二つの達成目標の完遂に貢献することも目標としている.

先行研究からパイプハウス屋根中央部に突起をつけることでパイプハウスの浮き上がり防止効果が期待できることが数値計算によって示されている. 本研究では, 実験を行うことにより先行研究の検証を行う. また, 突起の形状や大きさを変更し, 効果の違いを数値流体解析により検証する. 加えて, 簡易風洞装置を用いて流れの可視化と同時に, 6 軸力覚センサを用いた 6 分力計測実験を行う.

2 事前準備

2.1 農家訪問

パイプハウスを用いて作物を生産している農家を訪問し実際に使用されているパイプハウスを計測するとともに, パイプハウスの天窓などの構造を確認する. 図 1 に, 訪問先の農家で使用されているパイプハウスの天窓を示す.



図 1. パイプハウスの天窓

2.2 パイプハウスメーカー訪問

パイプハウスの部材であるアーチパイプを製作している工場を訪問し, 実際にアーチパイプを製作しているところを見学する. 以下の図 2 に見学の様子を示す. この見学より, パイプハウスの素材やその加工について学ぶとともに, 突起の製法について参考となる情報を得られた.



図2. アーチパイプ製作現場の見学

3 数値流体解析

3.1 数値流体解析手法

農家を訪問した際に計測した寸法データを使用して、パイプハウスのモデルを作成し SOLIDWORKS Flow Simulation を用いて解析を行う。本実験では、流速がパイプハウスの長手方向に垂直な方向から 25 m/s で風が吹いた場合を想定して解析を行う。また、標準気圧は 1013.25 [hPa] とする。以下の図3にて今回解析に使用するパイプハウスのモデルの概要を示す。

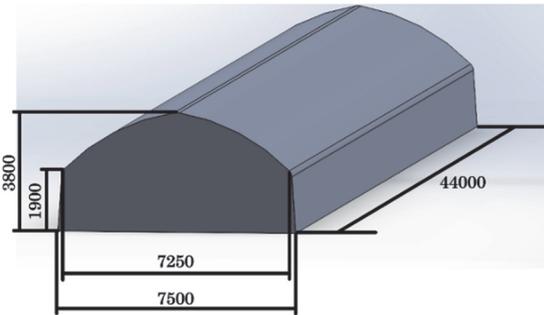


図3. パイプハウスのモデル寸法

この図3に示すモデルを基本として屋根中央部に突起をつけ、その突起の形状や大きさを変更して解析を行う。また、以下の図4、図5に示すような突起を一様に付けた場合だけではなく、図6に示す突起を途切れ途切れにつけた場合についても同様に解析を行う。

3.2 数値流体解析の結果

数値流体解析の結果を表1にて示す。

表1 数値流体解析の結果

突起形状	最大圧力 [hPa]	最小圧力 [hPa]
突起無し	1017.2	998.3
幅: 1m 高さ: 0.5m	1017.2	997.6
幅: 1m 高さ: 1m	1017.2	996.8
幅: 1m 高さ: 1.5m	1017.2	996.5
幅: 0.5m 高さ: 1m	1017.2	996.4
幅: 1.5m 高さ: 1m	1017.1	996.6
半径: 0.5m 円柱	1017.2	996.2
半径: 1m 円柱	1017.2	996.7
半径: 1.5m 円柱	1017.2	996.7
幅: 2m 高さ: 1m 溝: 2	1017.4	999.3
幅: 2m 高さ: 1m 溝: 4	1017.3	999.6
幅: 2m 高さ: 1m 溝: 6	1017.4	999.4

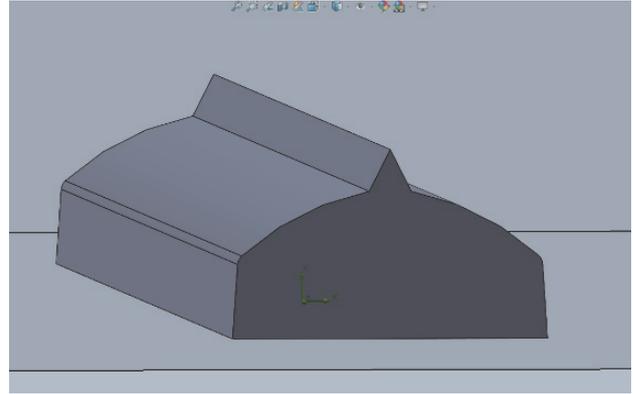


図4. 幅 1m、高さ 1m の突起をつけたパイプハウス

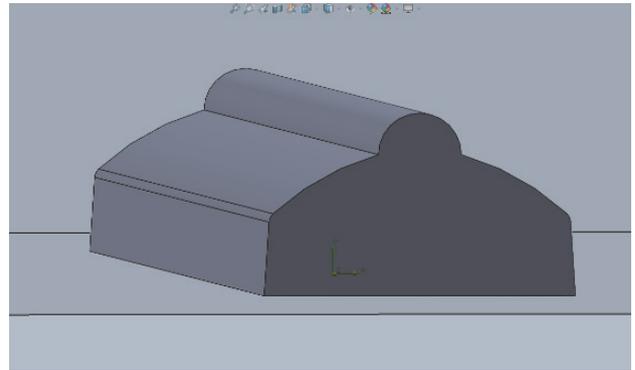


図5. 半径 1m の円型の突起をつけたパイプハウス

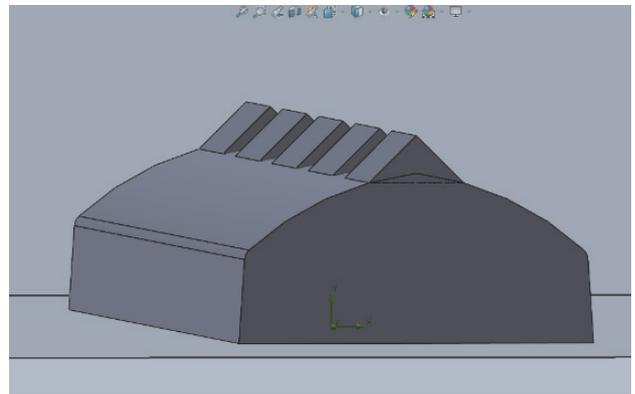


図6. 幅 2m、高さ 1m、溝を 4 個つけたパイプハウス

表1のとおり、突起をつけた場合でも最大圧力はほとんど変化していない。また、最小圧力に関しては突起をつけたことにより減少していることがわかる。以下の図7、図8に突起をつけていない場合のパイプハウスの数値流体解析の結果と圧力分布の変化が顕著に表れていた突起の数値流体解析の結果を示す。

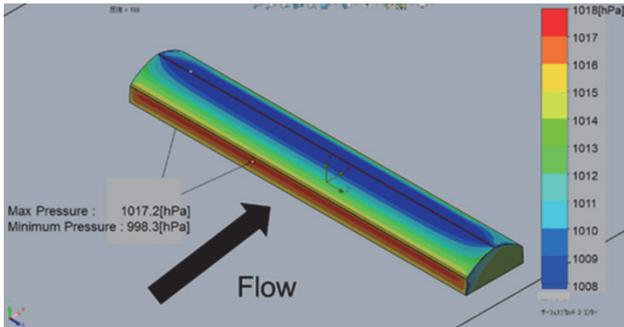


図 7. (a) 突起なしのパイプハウスの CFD 解析結果

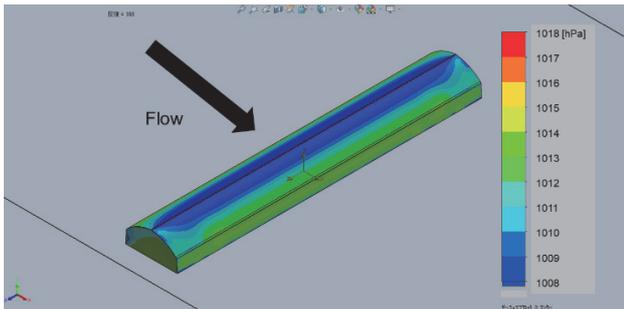


図 7. (b) 突起なしのパイプハウスの CFD 解析結果

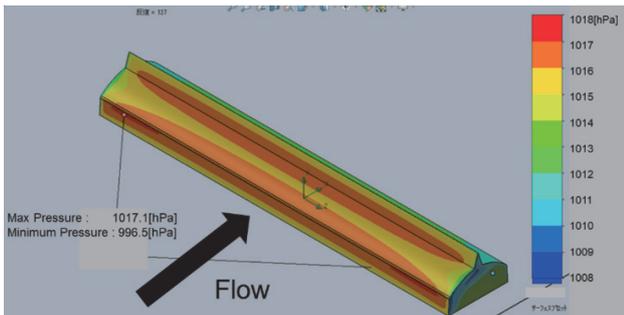


図 8. (a) 幅 1m, 高さ 1.5m の突起をつけたパイプハウスの CFD 解析結果

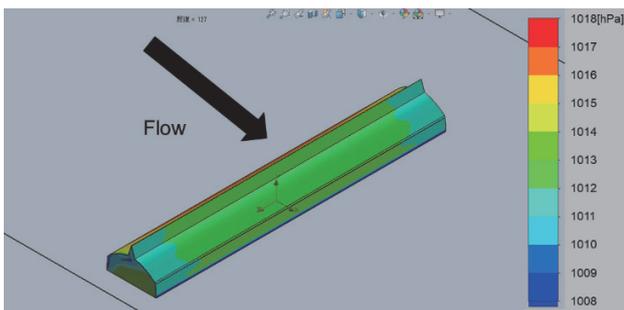


図 8. (b) 幅 1m, 高さ 1.5m の突起をつけたパイプハウスの CFD 解析結果

図 7 と図 8 から分かる通り、突起をつけることによりパイプハウスの上部にかかっていた負圧部分が減少し突起をつけた部分の風上側に正圧部分が生じている。

4 流れの可視化実験及び六力計測実験

4.1 3D プリントによる試験片の作製

農家訪問の際に計測した寸法データをもとにして実験に用いる 163.2 分の 1 試験片を作製する。3D プリントによ

る試験片の作製には、シングルヘッドタイプの FFF 方式 FLASHFORGE Adventurer3 を使用し、試験片の材質として PLA を用いる。3D プリントで作成する試験片の寸法を以下の図 9 にて示す。

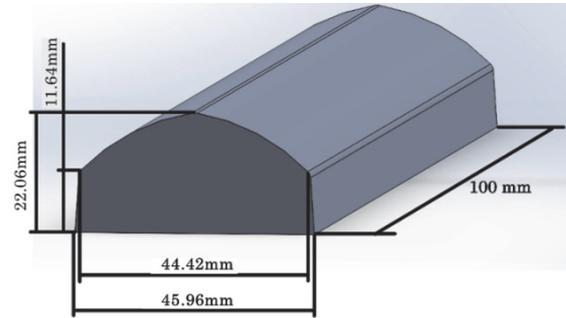


図 9. パイプハウスの試験片の寸法

4.2 簡易実験装置及び実験の手法

以下の図 10 に示す簡易風洞装置を用い、流れの可視化実験及び 6 分力計測実験を行う。

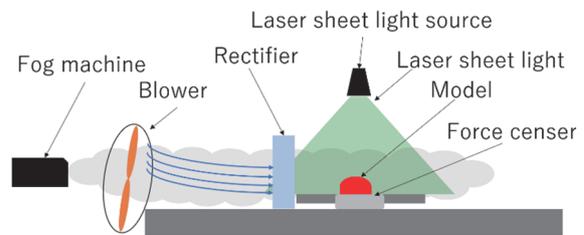


図 10. 流れの可視化実験と六分力計測実験

図 10 に示した実験装置では、送風機により台風時の強風に見立てた風を送り、整流版により整えてから模型の長手方向に垂直な方向で模型にあて、模型に働く X 軸、Y 軸、Z 軸方向の力 (FX, FY, FZ) と X 軸、Y 軸、Z 軸周りのモーメントを六軸力覚センサを用いて計測する。FX は重力方向を正とする鉛直方向の力をする。今回用いる 6 軸力覚センサは株式会社レプトリノ製 PFS055YA251U6 である。送風機より発生する風は模型の位置で風速 4.5 m/s である。風速を計測する際に用いる風速計は、サンワサプライ株式会社製のデジタル風速計 CHE-WD1 である。

また流れの可視化実験については、fog マシンを用いて煙を発生させ、シートレーザーを照射して空気の流れを可視化し模型周りの空気の流れを観察する。なお、可視化した風の流れを記録する際には iPhone 11 のスローモーション機能を用いて映像を撮影する。

4.3 6 力計測実験結果

6 力計測実験結果の 6 分力の内、地面に直角方向の力の F_z を表 2 に示す。

表 2 6 分力計測実験結果

突起形状	最大力 F_z [N]	最小力 F_z [N]	平均力 F_z [N]
突起無し	0.031	-0.065	-0.031
幅: 1 m 高さ: 0.5 m	0.043	-0.004	0.020
幅: 1 m 高さ: 1 m	0.026	-0.014	0.009
幅: 1 m 高さ: 1.5 m	0.044	-0.012	0.021
幅: 0.5 m 高さ: 1 m	0.176	0.016	0.094
幅: 1.5 m 高さ: 1 m	0.115	-0.049	0.024
半径: 0.5 m 円柱	0.058	-0.039	0.008
半径: 1 m 円柱	0.081	0.041	0.063
半径: 1.5 m 円柱	0.028	-0.009	0.010
幅: 2 m 高さ: 1 m 溝: 2	0.183	0.016	0.082
幅: 2 m 高さ: 1 m 溝: 4	0.037	-0.013	0.010
幅: 2 m 高さ: 1 m 溝: 6	0.036	-0.01	0.015

以上の結果から、いずれの突起をつけた場合にも突起無しの場合よりも模型を地面に押し付けようとする力が大きい。このことから、いずれの形状の突起をつけた場合でもパイプハウスが飛ばされる方向の力を弱める効果があることがわかる。

高さを 0.5 m 相当のものから 1.5 m 相当のものへと変化させた場合、平均の力 F_z は 0.009 N から 0.021 N へと増加し、この時の変化量は 0.012 N(+133%)であった。一方、突起の幅を 0.5 m 相当から 1.5 m 相当のものに変更した際の平均の力 F_z は 0.094 N から -0.049 N へと減少している。この時の変化量は -0.143 N(-152%)であった。このことからパイプハウスが飛ばされることを防ぐためには突起の高さを変化させるよりも幅を減少させるほうが効果を期待することができるといえる。

溝の数を増やしていった場合は 2 個から 4 個に増やした場合は平均の力 F_z は 0.082 N から 0.010 N に減少している。この時の変化量は -0.072 N(-87.8%)である。一方溝の数を 4 個から 6 個に増やした場合は、0.010 N から 0.015 N へと増加している。この時の変化量は 0.005 N(+50.0%)であった。このことから、溝の数は一定数以上であれば増加してもパイプハウスを飛ばさない効果に変化は起きないと考えられる。

4.4 流れの可視化実験結果

以下に流れの可視化実験の結果を示す。なお、いずれの場合も図の左側から風を当てている。



図 11. 流れの可視化実験の結果 (突起なし)

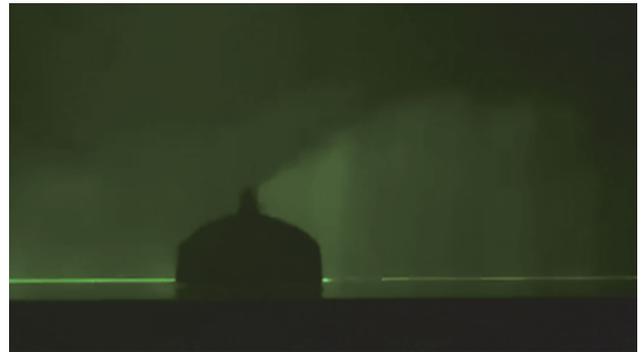


図 12. 流れの可視化実験 (幅 0.5m 高さ 1m の突起)

図 11、図 12 から分かる通り、突起をつけた場合の方が突起をつけていない場合よりも、パイプハウスの風下側でできる渦の大きさが明らかに大きくなっている。この渦の発生がパイプハウスを飛ばさない効果に関係していると考えられる。

5 第 1 回高専防災減災コンテスト最終審査会

2023 年 3 月 6 日に第 1 回高専防災減災コンテストの最終審査会が東京国際フォーラムで開催され、本研究について発表し最終審査の結果、高専機構賞を受賞した。



図 13. 最終審査会の様子

6 結論

今回パイプハウスの防災、減災ということでパイプハウスが飛ばされることを防ぐ方法について研究を行った。突起をつけるとパイプハウスが飛ばされにくくなるということは先行研究によりわかっていたが、今回流れの可視化実験及び、六力計測実験を行うことで先行研究を検証できたと考える。また、今回我々は突起の形や大きさを変更し、数値流体解析や実験を行いよりパイプハウスを飛ばしにくくする突起の形状を考察することができたと考える。

謝辞

本プロジェクトは第1回高専防災減災コンテストの援助を受けたものです。また、パイプハウスの現状の調査に関しては大和郡山市役所の皆様、奈良県庁の皆様、パイプハウスの見学に関しては中津農園様、パイプハウスの製造工程の見学は徳能種苗株式会社関西奈良営業所の皆様の支援を受けました。コンテストでは国立研究開発法人農研機構の森山英樹様、国立研究開発法人防災科学技術研究所の横山仁様にメンターとして支援を受けました。総合的な支援は本校機械工学科科内広報活動担当教員が主導する正課外活動組織 MeCafe から受けたものです。心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省：令和元年台風15号に係る被害状況, available from <https://www.maff.go.jp/j/saigai/typhoon/r10907_09/index.html>, (参照日 2023年2月21日)
- 2) 京都府：園芸ハウス台風対策マニュアル, available from <<https://www.pref.kyoto.jp/nosan/news/documents/detailverall.pdf>>, (参照日 2023年2月21日)
- 3) 外務省：SDGsとは?, available from <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>>, (参照日 2023年2月21日)
- 4) Kenta MORIKAWA, Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI, Shinichi ENOKI and Kenichi IIDA: Study on strength of pipe-framed greenhouse against wind load using numerical analysis, International Conference on Design and Concurrent Engineering 2021 & Manufacturing Systems Conference 2021, Regular Paper No.43.