

気象災害に強い低コスト園芸施設の開発

Development of Low-cost Horticultural House Tough to Weather Calamity

田中 誠司・石氷 泰夫
Seiji TANAKA and Yasuo ISHIGOORI

要 約

台風によるハウスの倒壊やハウス内作物の損害等気象災害は農家経営を不安定なものにしている。そこで、低コストで台風に強く、農家自らが簡単に施工できるハウスを開発した。開発したハウスの仕様は屋根型妻上部傾斜構造、基礎にスパイラル杭、フレームに軽量で変形に強い高張力鋼を取り入れ、また、軒高を2.5mと高くし、サイドと妻面は全面開放、谷部も両側1.1m開放できる換気部とし夏場の換気性を高めたものである。このハウスに対する強度解析により耐風強度は風速45m/sec程度、φ8ブレースによる補強を行うと風速50m/secまで上がることが確認された。また、実際、最大瞬間風速45m/secであった平成16年台風18号でそのフレーム強度も実証され、8月上旬収穫スイカ、抑制トマト栽培によって夏場は外気温+1.5℃以内で推移し換気性に優れていること、冬場も内張カーテン被覆によって燃料消費量は県経営指標と同程度になることから、周年利用が可能なハウスであることが確認された。

キーワード: 低コスト耐候性ハウス、台風災害、農家による簡単施工、スパイラル杭、高張力鋼、夏場の換気性

I. 緒言

熊本県では農業粗生産額の1/3を野菜生産が占め、中でも施設園芸が農家経営の柱となっている。近年、農産物価格の低迷に加えて、台風等気象災害に見舞われることが多く施設園芸農家の経営は不安定となっている。このため耐候性ハウスの導入が進められているが、風速50m/secに耐える耐候性ハウスの価格は高価であり、補助事業の活用なしでは導入できない状況である。

そこで、農家が自己資金で建設、更新できる低価格で、しかも重機を使わず人力で自ら施工できる軽量化資材を利用し、風速50m/sec程度の台風に耐える強度の高い低コスト園芸施設の開発を行った。さらに、夏場の高温が施設内の周年栽培や育苗管理を妨げる原因となっており夏場の換気性に優れた施設を目指した。

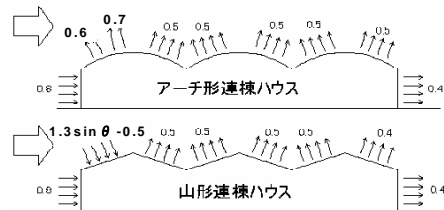
このような目的を達成するため、本研究では、スパイラル杭の引き抜き試験、フレームのけん引試験、有限要素法構造解析ソフトによる強度判定を行った。さらに栽培試験により夏場の昇温抑制効果や、冬場の保温性について検討した。

II ハウス仕様の検討

1 ハウスの屋根形状

アーチ型連棟と山形連棟の風力係数を比較すると両者の違いは風上側屋根面にあり、アーチ型が0.6お

よび0.7、山形が $1.3\sin\theta - 0.5$ 、開発したハウスの軒高と棟高から計算した風力係数は0.012とほぼ0に近い値となり、屋根面の風圧を軽減でき、さらに主フレームとして利用する角パイプをアーチ形では曲げ加工する必要があり、風圧軽減と部材加工コスト面から山形連棟を採用した(第1図)。



第1図 風力係数

2 基礎の検討

1) スパイラル杭の特徴

従来の耐候性ハウスでは100kg以上のコンクリート基礎を用いているが、施工には重機が必要である。スパイラル杭は平板を螺旋状にねじったもので鋼の厚み、幅、長さは自由に変更できる。しかも、10kg程度と軽量であり、設置に穴を掘る必要もなく施工コストを低減できると考えられるためスパイラル杭を基礎として利用した(第1表)。

第1表 基礎の垂直耐力比較

基礎の種類	規格	垂直耐力
スパイラル杭	幅65mm厚9mm深さ70mm	578kgf
コンクリート基礎	□150mm長900mm□300mm	410kgf
	□170mm長900mm□500mm	750kgf

注)スパイラル杭は農研センター畑土壌(N値4.2)地上10cmを牽引
コンクリート基礎は日本施設園芸協会の講演資料(2から求めた)



写真2 各種スパイラル杭と施工状況

しかし、従来の平板を螺旋状にねじったスパイラル杭は風速45m/sの風圧を想定した荷重に対し水平耐力が劣るため、スパイラル上部にパイプを溶接し、スパイラル部およびパイプ部の長さ、スパイラル部鋼材の厚み、杭の径を変更した各種杭による垂直耐力および水平耐力試験を実施した。



写真3 垂直・水平耐力試験装置

反力装置として垂直試験では丸太を利用し、水平試験ではトラクターを用いた(写真3)。測定条件として杭打ち込み後すぐにけん引し測定し、水平試験は地上10cmの位置で杭をけん引した。さらに、チェーンブロックにより1mm/60secの速度でけん引した。

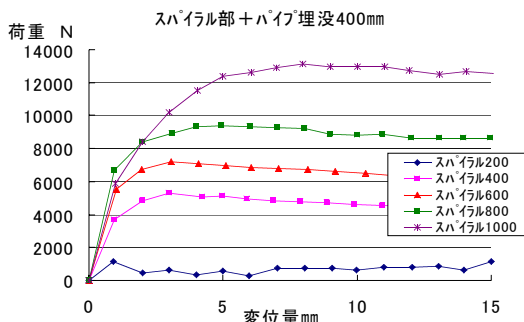
2) 垂直耐力及び水平耐力

スパイラルのみの杭よりスパイラル上部にパイプを溶接した杭(スパイラル+パイプ杭)の方が水平耐力が向上した。

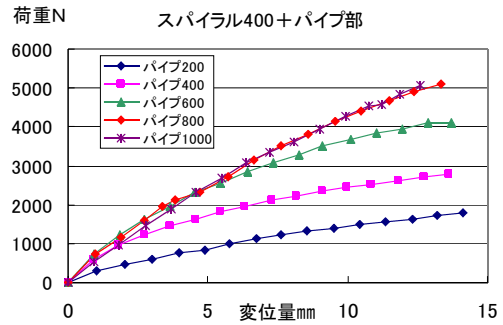
杭の長さではスパイラルの長さ、パイプの長さが長くなると垂直及び水平耐力が増加した(第4, 5図)。

杭の径では大きくなると垂直耐力、水平耐力が増加する(第6図)。

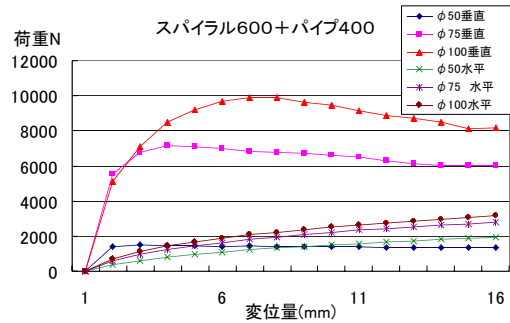
鋼厚ではスパイラル部の鋼材厚みが増すと垂直耐力、水平耐力が増加した(第7図)。



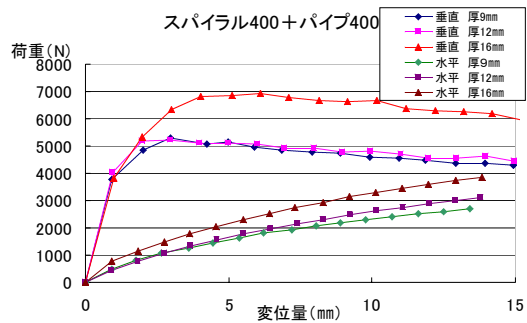
第4図 スパイラル部長さの違いによる垂直耐力



第5図 パイプ部長さの違いによる水平耐力



第6図 杭径の違いによる垂直・水平耐力



第7図 スパイラル部鋼厚の違いによる垂直・水平耐力

3) スパイラル杭の選定

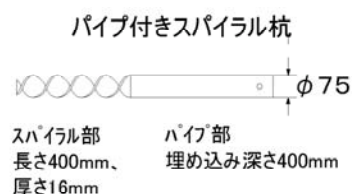
風速45m~50m/sの目標耐力推定値を下記の風圧式より試算すると垂直耐力:6000N、水平耐力:3000Nとなる。

$$\text{風圧式 } q = 0.016 * V^2 * h^{1/2} \quad V(\text{m/s}), h \text{構造体高さ}$$

水田(地表1mまでの平均土壌N値3.3)での目標耐力(垂直6000N、水平3000N)を備え、施工面での労力から全長が1番短い杭を選定し、標準品とした。(第8図)。

スパイラル+パイプ杭

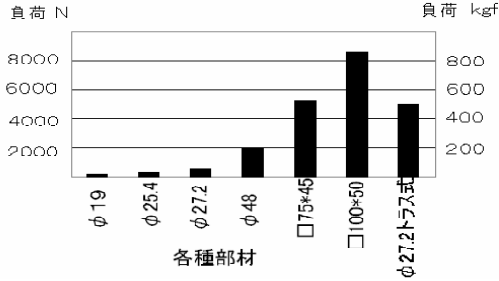
(φ75、スパイラル鋼厚16mm、埋没S400mm+P400mm)



第8図 選定したスパイラル杭

3 主骨材の検討

丸パイプと角パイプでは角パイプの強度が高い、また、トラス構造(φ27.2t2.3パイプ、9mm鉄筋)は材料費は安くなるものの加工費用が高くなり、形状面からハウス日射量が少なくなると予想され、角パイプを採用した(第2図)。



第2図 資材の強度比較

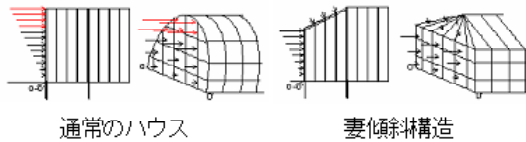
角パイプの材質では一般鋼材STKR400より短期許容応力度が高く、重量も軽い高張力鋼STKR700を採用した。それにより建設時に重機を使わず人力でフレームを立ち上げられると考えられる(第2表)。また、高張力鋼が鋼材重量が軽い分価格は同程度である。

第2表 高張力鋼と一般資材の比較

材質	単位重量 (kg/m)	重量比 (%)	引強さ張り (N/mm ²)	最大曲げ荷重曲げ強度比 (kg/2mスパン)	強度比 (%)
高張力鋼 (□75*45*1.8)	3.22	79	700以上	540	164
通常ハウス資材 (□75*45*2.3)	4.06	100	400以上	330	100

4 風圧軽減対策

ハウスの高さが高くなると換気性が向上する反面、耐風性が低下する。夏場の換気性を考慮して2.5mの軒高としたが、妻上部の風圧を軽減するため妻上部を傾斜構造とした(第3図)。



第3図 ハウス妻面に作用するモーメント

5 換気性の向上

サイド換気幅が大きいと換気がよいことから、サイド妻全面開放、コストの面から巻き上げ方式とし、屋根に谷換気を採用した。

6 被覆資材

3~4年に1度張り替えを前提とし塩類集積等を防ぎ、減価償却費も低いことからPOフィルム0.15mmを採用した(第3表)。

一般名称	規格 mm	価格 円/m ²	耐用年数	減価償却 円/m ²
一般汎用農ビ	0.075	65	1	65
防滴処理POフィルム	0.15	220	3.5	63
15年耐用フッ素フィルム	0.1	1350	15	90
硬質フィルム	0.7	2950	20	148

第3表 フィルム価格(H12)



写真1 熊本型試作ハウス (間口 6m、軒高 2.5m 棟高 3.8m、3m スパン)

III 耐風性に優れたハウス構造の検討

1 フレームの強度解析

1) 解析方法

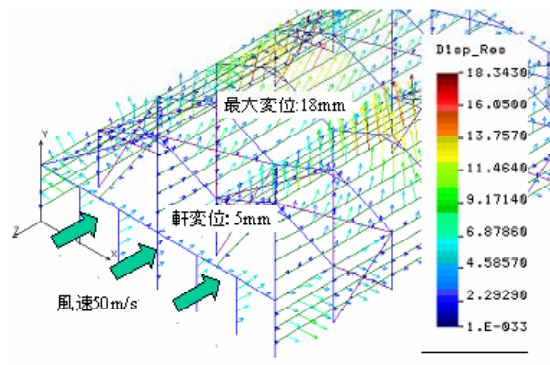
有限要素法構造解析ソフトCOSMOS/Mを用い、妻方向からの荷重モデルではBEAM3D、サイド方向からの荷重モデルではBEAM2Dとした。

荷重条件は風速50m/s及び45m/sを想定し、風力係数から荷重の方向及びフレーム当たりの荷重を試算し、均等荷重した。

計算式: $0.016 \times \text{風速}^2 \times \text{高さ}^{1/2} \times \text{面積} \times \text{風力係数} / \text{フレーム長}$

基礎部の拘束条件はスパイラル杭を用いているため、X、Y、Z方向に回転自由なピン接合とした。

2) 解析結果



第9図 風速50m/s 妻面からの解析変位量

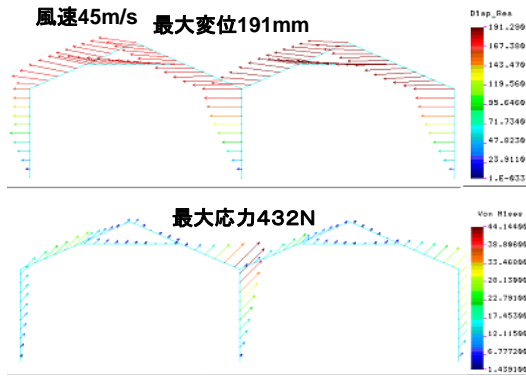
風速50m/sを想定した妻面方向からの解析で最大変位は屋根部で18mm、軒の変位は5mmとなり、応力は214N/mm²と高張力鋼の短期許容応力度500N/mm²以下となった(第9図、第4表)。

風速50m/sを想定したサイド方向からの解析では最大変位は236mm、応力も高張力鋼の短期許容応力度500N/mm²を越えた(第4表)

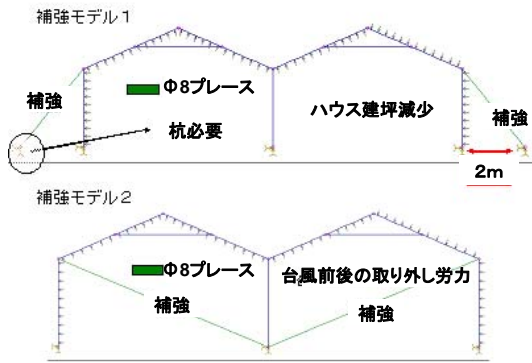
風速45m/sを想定したサイド方向からの解析では最大変位は191mm、最大応力432N/mm²で短期許容

応力内である(第10図)。

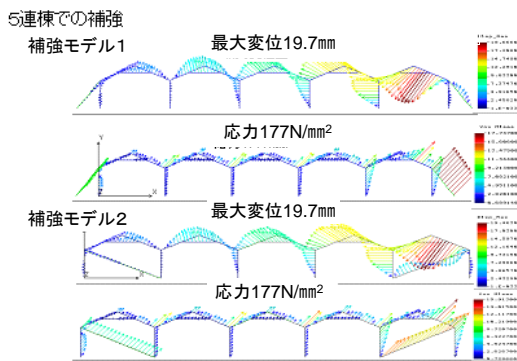
ハウスにφ8ブレスで補強(第11図)を行うことで低コスト耐候性ハウスの安全基準である軒変位40mm以内、応力も弾性範囲内となった(第12図、第4表)。



第10図 風速45m/s サイド面からの解析



第11図 8φブレスによる補強



第12図 風速50m/s φ8ブレス補強解析結果

第4表 風速50m/secを想定した強度解析結果

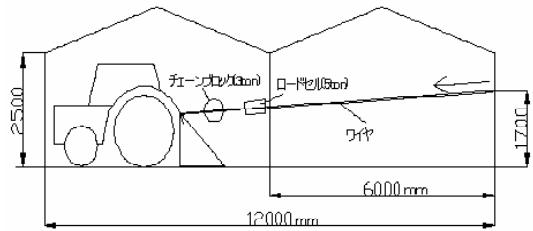
風圧方向	モデル名	最大変位量mm	最大応力N/mm ²
妻方向	補強前モデル	18.3	214
	補強前モデル	236	545
サイド方向	5連棟φ8補強モデル1	19.7	177
	5連棟φ8補強モデル2	19.5	159
	耐候性ハウス(熊本方式)基準	40以内	500以内

2 フレームけん引試験

2連棟1スパンモデルを作成、トラクターを反力装置とし、側柱の地上1.7m地点にワイヤーを設置、チェーンブロックでけん引した(第13図)。

2.5mの軒変位は、標準杭(16mm厚)において17cm、1フレーム当たりけん引力は4087N、除荷後のフレーム変形は無く、軒の変位は1cm以内でほぼ元の状態に戻った(第14図、写真4)。

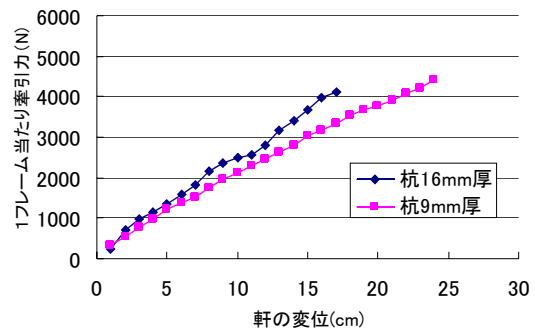
また、解析結果(軒変位236mm)と風速50m/sを想定した荷重での実際のフレームけん引試験結果(軒変位は230~250mm)とが同程度であったことから、モデリング、荷重、拘束条件等解析条件は妥当なものと考えられた(第14図)。



第13図 フレームけん引試験



写真4 ハウス軒の変位状況



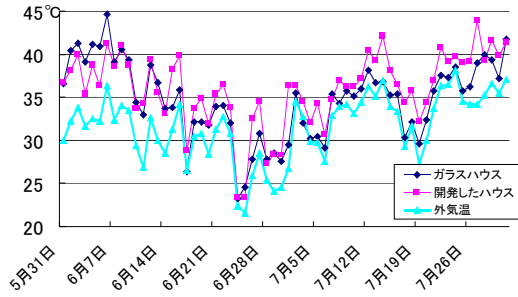
第14図 フレームけん引試験結果

IV ハウス周年利用の検討

1 夏場の換気性

1) 8月上旬収穫スイカ栽培における換気性

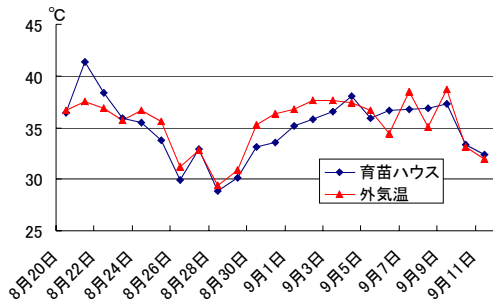
換気部を全面開放した状態となった6月20日以降の最高温度を開発したハウスと既存のガラスハウスと比較すると開発したハウスが平均1.3℃程度低く、外気温+1℃程度で推移した(第15図)。



第15図 外気温と最高温度比較

2) 抑制トマトの育苗時の換気性

ハウス換気部の防虫ネットは0.6mmメッシュを設置し、さらにハウス内部トマトの周囲を0.6mmメッシュの防虫ネットで覆った状態で管理した。防虫ネットが遮光の役割となったためか、育苗ハウス内の気温は外気温に比べ平均+0.2℃と同程度であった(第16図)。今後、トマト黄化葉巻対策等で防虫ネット目合いが細くなる傾向のなか昇温抑制には遮光ネットもとり入れた対策が必要である。



第16図 育苗時の最高気温の推移(地上50cm)

2 抑制トマトにおける保温性

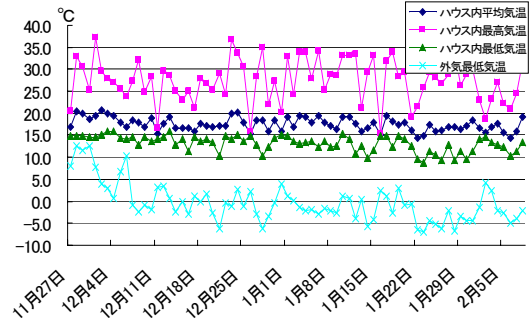
1) ハウス管理状況

10月21日から暖房を15℃の設定温度で運転開始し、10月27日に内張カーテン(0.05のPOフィルム)を設置した。また、その日から暖房の設定温度を12℃とし、9時頃～16時頃まで内張カーテンの天井を開放、換気は谷換気のみとし、外サイド・外妻面・内張サイド妻面は閉じの状態管理した。

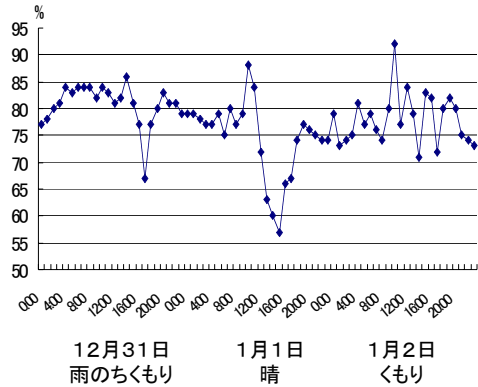
2) 温度及び湿度の推移

温度推移は第17図のとおりであった。また、湿度については外張り谷換気をしてない12月31日～1月2日の期間、曇天や雨天の場合は湿度の日変化は少ないものの晴天日は90%から55%まで変

化していた(第18図)。



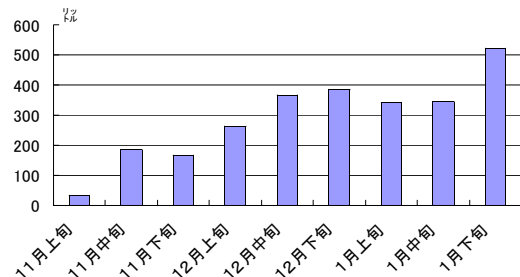
第17図 トマトの加温期における気温の推移



第18図 天候別湿度の日変化

3) 暖房用燃料の消費量

抑制トマトの暖房による燃料消費量は、暖房設定温度12℃、内張1重被覆の状態では11月～1月下旬までで2,605 $\frac{1}{100}$ ℓ、1 $\frac{1}{100}$ ℓ40円として361,806円/10aとなった。(第19図)。本ハウスは軒高2.5mであるが、早めの内張カーテンの設置と巻き上げ換気部の密閉対策が必要である。

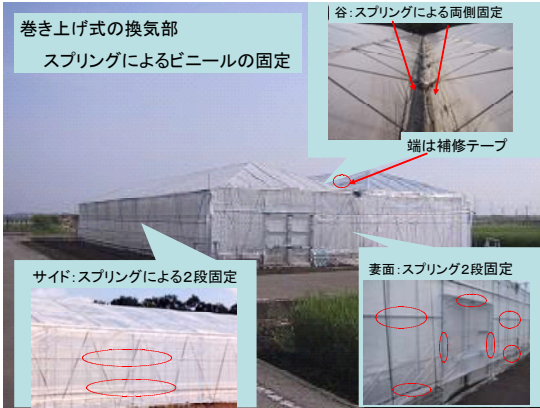


第19図 トマト栽培における燃料消費量の推移

密閉対策としては谷部のみで換気をすることでサイドと妻面のコーナー部をスプリング留めすることが可能となりコーナー部での冷気の流入を防ぐ、また、妻面内張ビニールを間口長さより2m程長くし、サイド方向へオーバーラップすることでよりさらに保温性を確保することができると思われる。

V 平成16年台風18号に対する耐風性の実証

サイド面、妻面、谷換気部はビニール巻き上げ式となっているので、マイカ取り線でバタツキを抑えているものの、台風接近前は換気部を閉じ、スプリングでサイドと妻面は2段、谷は1段ずつ固定した(第20図)。



第20図 熊本型ハウス台風前補強対策

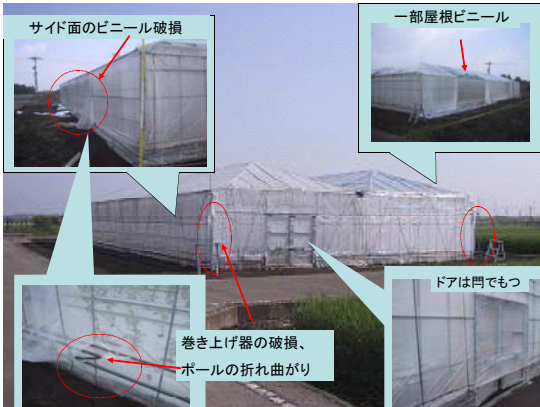
2 台風データ

台風18号(平成16年9月7日)

観測地点:農研センター

時間	最大瞬間風速m/s
7:00	18.7
8:00	17.9
9:00	24.5
10:00	45.4
11:00	39.8

3 台風後のハウス状況

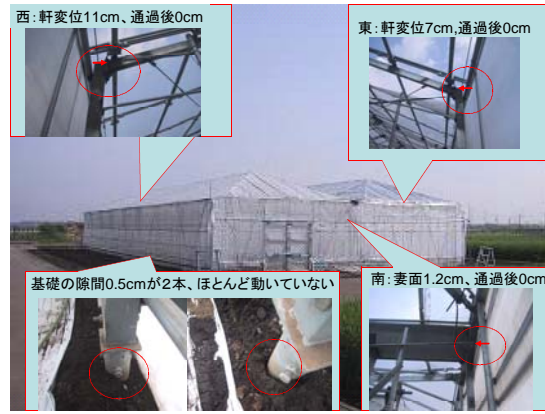


第21図 ハウスの被害状況

台風による強風のため、巻き上げ機支柱の倒壊によりサイド部のビニールが一部破損したが、ドア部の門による補強でドアの破損は免れた(第21図)。

ハウスフレームの最大軒変位は西側10.5cm 東側7.6cm 南妻面1.4cm、台風通過後はフレームの変形なく、元に戻った(第22図)。

台風襲来時、定植直後であったトマトは生育にほとんどダメージを受けることなく順調に生育した(写真5)。



第22図 ハウスの変位と基礎の状況



写真5 9/3定植9/7台風通過後のハウス内

及び10/27のトマト生育状況

4 今後の台風事前対策

ビニールの破損が、サイド換気部のビニール巻き取り支柱の倒壊とハウス四隅のスプリングが防虫ネットのテンションによってはずれやすいことが原因だったので杭を打ち込み、杭と巻き取りポールをU字アンカーで固定する。

四隅は防虫ネット上からスプリングレールをビス打ちし、防虫ネットのテンションでスプリングがはずれないような被覆固定を行う。

VI 開発したハウスの建設コスト

3連棟、1000㎡規模(被覆資材、換気資材、内張骨材込み)で平成16年時点の見積価格は資材費約440万円、工事費約92万円となり、さらに、解析結果での風速50m/sに耐える補強費用試算は補強モデル1でプラス30万円、補強モデル2でプラス5万円となり、それを加えても現在の低コスト耐候性ハウスの低価格化が図られた。

VI. おわりに

開発した高軒高ハウスは現在の低コスト耐候性ハウスと同程度の強度でより低価格、しかも夏場の換気性に優れたハウスを開発することができた。建設にあたってはフレーム製作図面等に基づいて鉄工所資材業者に対して農家自らの発注、施工が可能である。さらに、メーカーやJAを通じても建設が可能である。なお、本研究は先端技術等地域実用化促進事業(農水産新技術実用化型)として実施したものである。

IV. 参考文献

- の概要（風対策） p.16
- 1) 社団法人日本施設園芸協会:園芸用施設安全構造基準(暫定基準) P25-54、1997
 - 2) 2001年施設園芸中央セミナー テキスト
低コスト耐候性鉄骨ハウス施工マニュアル
 - 3) 田中誠司、石氷泰夫、下門久、兼子健男:気象災害に強い園芸施設の開発 第2報、第3報
九州農業研究 65 : P.157-P.158、2003

Development of Low-cost Horticultural Greenhouse tolerant to Weather Calamity

Seiji TANAKA and Yasuo ISHIGOORI

Summary

The weather disasters by typhoon, such as the damages of the crops or the collapses of the horticultural houses, are making farmhouse management unstable. Thereupon, the low-cost horticultural house tolerant to weather calamity has been developed, which farmers can built up easily by themselves.

This horticultural house of Kumamoto style has the inclination in the upper face of the house edge and is made of light rectangular pipes of high-tension steel and spiral stakes of steel. The height of the house eaves is 2.5m and the side and edge face become all ventilally by curling up films, and the valley departments are able to open 1.1m both sides for improving the ventilation in summer.

The spiral stake with vertical proof stress 6kN and level one 3kN in paddy field has been selected in this research. It is confirmed by strength analysis that the house can bear wind velocity 45m/s, further by reinforcing with 8 φ braces the strength is raised up to 50m/s.

Also the summertime temperature in the house changed within outside one + 1.5 °C through the first ten days of August harvest watermelon and control tomato cultivation, so it is clear to be excellent in ventilation and the fuel consumption volume in winter season by means of covering with inner curtains was same degree as the prefecture management guideline.

The frame strength was proved with typhoon number 18 in 2004, when the maximum instantaneous wind velocity was 45m/s.