

樹脂製接合部材とトラスを用いた耐風構造の大型園芸施設の開発*

玉城 磨^{*1}・當眞 毅^{*2}・鹿内健志^{*3†}・赤地 徹^{*1}・新城孝彦^{*2}・
国場和也^{*2}・花城和雄^{*4}・東江直司^{*4}

要 旨

近年の台風は大型化し台風襲来時には沖縄のみならず本土でも園芸施設に多額の被害が生じている。2003年のT0314のような最大瞬間風速74.1 m/sを記録する台風では致命的なダメージを受ける。システムトラスは強度の高い大型施設に適した構造であるが、園芸施設に採用するには、使用鋼材の重量を減らし資材コストを低減する必要がある。本研究では、コスト削減と軽量化を図るために、部品重量の大きいシステムトラスの接合部中核部材に安価で高強度な樹脂を用いた接合部用のボールジョイントを考案し、大型台風に耐えるトラス構造の園芸施設を開発した。

〔キーワード〕 農業用ハウス、トラス構造、ボールジョイント、台風被害、ポリアミド

Development of Large-size Truss Greenhouse with Wind-resistant Features
Using Resin Joints*

Maro TAMAKI^{*1}, Takeshi TOUMA^{*2}, Takeshi SHIKANAI^{*3†}, Toru AKACHI^{*1}, Takahiko SHINJYO^{*2},
Kazuya KOKUBA^{*2}, Kazuo HANASHIRO^{*4}, Naoji AGARIE^{*4}

Abstract

In recent years, the intensity of typhoons has increased causing great damage to gardening facilities in not only Okinawa but also the mainland of Japan. For example, typhoon 0314, which recorded a maximum instantaneous wind velocity of 74.1 m/s, caused considerable damage to greenhouses in the Ryukyu Islands. We tried to apply the truss structure to large-scale greenhouses. However, the introduction of such a structure involves very high costs. For implementation in agriculture, it is necessary to reduce the cost of introducing such a structure. In this study, we developed a large-size greenhouse with the truss structure at low cost using resin joints, which are lightweight and inexpensive.

[Keywords] greenhouse, truss structure, ball joint, typhoon damage, polyamide

I 緒 言

沖縄県の施設園芸において、夏秋期に安定した生産環境を構築するためには、耐風性に優れた園芸施設が不可欠である。現在のところ、フィルムを被覆した状態で大

型台風に耐えられる生産施設はH形鋼を主骨材に用いた鉄骨ハウスのみである。しかしながら、鉄骨ハウスは導入コストが高く、既存の栽培品目では採算面で無理が生じる。また、最大瞬間風速74.1 m/sを記録した2003年のT0314の襲来では、これらの鉄骨ハウスの倒壊事例

* 2007年9月 農業環境工学関連学会 2007年合同大会（東京農工大学）にて講演

*1 会員、沖縄県農業研究センター（〒901-0336 沖縄県糸満市真壁820 TEL 098-840-8515）

Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Itoman-shi, 901-0336 Japan

*2 拓南伸線株式会社（〒901-2403 沖縄県中城村伊舎堂312 TEL 098-895-4186）

Takusen Inc., Nakagusuku, 901-2403 Japan

*3 会員、琉球大学農学部（〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 TEL 098-895-8771）

Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara-cho, 903-0213, Japan

*4 株式会社国建（〒900-0015 沖縄県那覇市久茂地1-2-20 TEL 098-862-1110）

Kuniken Ltd. Inc., Naha-shi, 900-0015 Japan

† Corresponding author : tshikana@agr.u-ryukyu.ac.jp

が確認された (Tamaki et al., 2007)。さらに、近年は沖縄県のみならず日本本土でも園芸施設への被害が数多く確認されており、台風対策は全国的な課題となっている (Moriyama et al., 2003)。従って、今後国内で安定した農業経営を行うには、大型台風襲来時にも倒壊せず、かつ、低価格で導入可能な園芸施設が必要である。長崎 (Nagasaki, 2008) は傾斜地の低コスト施設を開発しており、著者らのグループでも 2000 年から背丈の低い野菜を対象とした比較的小型の園芸施設について最適な構造および保護ネットの研究・開発を行い十分な耐風性をもつ小型施設 (AET ハウス) を開発した (Tamaki, 2004)。しかしながら、空間的な制約の多い小型施設はパイヤやバナナ等のように軒高を必要とする栽培体系での利用が困難である。高市ら (Takaichi and Watanabe, 2005; Takaichi, 2007) の超低コスト耐候性ハウスの開発では既存の大型鉄骨ハウスの課題である導入費用低減と耐風性を考慮した結果報告があるものの、最大瞬間風速 60 m/s を越えるような大型台風を想定した施設開発については行われていない。農家の収益性の向上、多品種な作物への栽培展開、さらに近年の台風大型化を考えると低価格で導入可能な耐風構造を有する大型農業施設の研究・開発の必要性は高い。

台風に強い構造として有効と考えられるものにシステムトラスと呼ばれるトラス構造がある。これは、球体を接合部の中核として鋼管部材を連結し構成する構造体である。システムトラスはスパンを大きくした構造が可能で、構造体は小型で単純な部品に分割できる。また多数の部材に荷重が分散することで力が複数方向に伝達され、大きな集中荷重に有利な構造で強度の高い大型施設に適した構造である (Iwata, 1996)。しかし、トラス構造の構成部品には接合部中核および鋼管部材とも構造用鋼材が用いられている。農業用大型ハウスのシステムトラスを用いた場合、使用鋼材の重量が大きくコスト高となる。農業用大型ハウスのシステムトラス構造を採用するには資材コストを低減する必要がある。

本研究では、H 形鋼材を用いた鉄骨構造にかわりシステムトラスを採用し、大型台風にも耐える園芸施設の構造を設計した。また、コスト削減と軽量化を図るために、部品重量の大きいシステムトラスの接合部中核部材に安価で高強度な樹脂を用いた接合部用のボールジョイントを開発した。その結果、H 形鋼材をメインフレームに用いた大型鉄骨ハウス (以下、H 形鋼ハウスという) にかわる、最大瞬間風速 70 m/s に耐えかつコスト低減を同時に実現する果樹栽培等を志向した汎用型大型施設を開発した。

II 施設の設計および開発

1. 施設内法寸法の決定

システムトラスによるトラス構造ではラチスバー (弦材) を鋼球などの接合部で接続し、三角又は四角錐体の

基本ユニットを組み合わせて自由な空間を作る。本研究で開発するハウスはラチスバーを鋼管パイプ、四角錐の頂点部分の接合部はボールジョイントとした正四角錐を組み合わせた形状とした。開発する施設の内法寸法は、間口寸法 27.5 m、奥行き寸法は 50 m 程度まで対応可能な構造とした。内法高さは、栽培する作物の汎用性および施設内の環境制御を容易にするため、マンゴー栽培などで利用される施設と同等の高さが確保できるように 5 m 程度を設計値とした。

2. 設計基準

構造設計に際し準拠基準は、園芸施設であることを踏まえ、日本施設園芸協会 (Japan Greenhouse Horticulture Association, 1997) の「園芸用施設設計安全構造基準 (暫定基準) —平成 9 年版—」を適用した。耐風設計を行い、大型施設の立体トラス構造の強度および部材の断面形状、必要部材量について検討を行った。2003 年 9 月 10 日から 11 日にかけて沖縄県宮古島を襲来した T 0314 (最大瞬間風速 74.1 m/s) により、大型園芸施設が多数倒壊したため (Tamaki et al., 2007)、同程度の台風を想定し、設計用風速 (耐風速) v を最大瞬間風速 70 m/s と設定し、設計を行った。風圧力 P (N/m²) は温室の形状によって定まる風力係数 c と速度圧 q (N/m²) の次式で表される。

$$P = q \times c \quad (1)$$

速度圧 q は設計用風速値 v 、構造体各部の地表からの高さ h (m) を用いて次式で求めた。

$$q = 0.1569 v^2 \sqrt{h} \quad (2)$$

3. 施設形状の決定

立体トラス構造を用いた施設の形状は様々考えられ、施設の形状は風圧力を求める際の風力係数、部材の使用量等に関わる。屋根形状については平面、アーチ型、山形、山折れ型の 4 種類および柱については垂直、傾斜の 2 種類の組み合わせについて表 1 に示す 11 タイプの施設形状を検討した。構造性能は風速 70 m/s の時、施設に作用する風圧力をもとめ構造解析ソフト Multiframe 3D を用いて剛性マトリクス法により構造体の変位、応力を計算した。その結果、平面屋根の構造は、内法高さが一定で汎用性が高く多種の作物栽培に利用でき、容易に増築できるが、風圧力の荷重による変形が大きい。アーチ型屋根は円弧状のため部品点数が多くなり加工および施工難易度が高く汎用性に乏しい。山型屋根は風圧力による荷重が大きく変形が大きい。山折れ型屋根は屋根角度が小さいことより風圧力による荷重が小さく変形が小さい。柱形状は垂直形状では連棟による増築や組立性は高いが、荷重による変形が大きく強度を増すためにコストが増加する。一方、傾斜形状の柱は側面荷重に対する変形が小さいが、柱が斜めになっているため無駄なスペースが生じ、連棟にするときに柱を共有できない。

表 1 比較検討したトラス型ハウス形状
Table 1 Various shapes of truss structures that were analyzed in this study

	屋根形状	柱形状	棟高	構造性能	組立性	コスト	施設内部の利用性能	増築などの将来への展開性
1	平面	垂直	5 m	△	◎	△	◎	◎
2	平面	垂直	5.5 m	△	◎	△	◎	◎
3	アーチ型	垂直	5 m	○	△	○	◎	○
4	アーチ型	垂直	5.5 m	○	△	○	◎	○
5	アーチ型	垂直	6 m	○	△	○	◎	○
6	アーチ型	傾斜	5 m	◎	△	○	△	△
7	アーチ型	傾斜	5.5 m	◎	△	○	△	△
8	アーチ型	傾斜	6 m	◎	△	○	△	△
9	山型	垂直	6 m	○	◎	○	◎	◎
10	山折れ型	垂直	5.2 m	○	○	◎	◎	○
11	山折れ型	傾斜	5.5 m	◎	◎	◎	△	△

*間口 24 m, 軒高 3 m, 棟高 5~6 m とした ◎: 極めて優れている, ○: 優れている, △: やや劣る

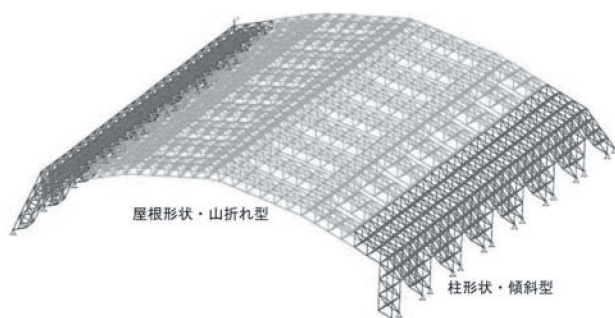


図 1 設計した施設形状の外観図
Fig. 1 Schematic design of the greenhouse

11 のタイプについて, 構造性能, 組立性, コスト, 施設内部の利用性能, 増築などの将来への展開性の 5 項目を総合的に判断し, 施設内部の利用性は劣るが, 部材使用量が少なく, 風風圧による変形が最も小さくできる山折れ型屋根で傾斜柱の形状を選択した (Okinawa Industry Promotion Public Corporation, 2006)。図 1 に開発したハウスの形状 (山折れ型屋根・傾斜柱) を示す。この形状では平面屋根構造と比較し, 使用するボールジョイント数が 69%, ラチスバー重量が 47% になり, 屋根の変位量は平面屋根構造の 44%, 山折れ型屋根で垂直柱構造の 86% に抑えられる。図 2 に台風時の風荷重を載荷したときの剛性マトリクス法による変形量の計算結果を示す。柱の倒れ ($\delta x = 19 \text{ mm}$), はりのたわみ ($\delta z = 51 \text{ mm}$) は検討した 11 のタイプの最小値を示した。

トラス型ハウスはパイプ材で構成されるため太陽光がパイプで遮られる。ハウスに太陽光線が地面に直角に入射する場合の光線透過率を沖縄で利用される一般的な H 形鋼ハウス (13×16 m ハウスの 2×2 棟の連棟を想定。合掌は H 形鋼 150 mm×75 mm, 母屋は C 形鋼 60 mm×30 mm) と比較検討した。ハウスを構成する部材の陰により光がどの程度遮られるかを求めた。開発したハウスでは光線透過率は 79%, H 形鋼ハウスは 88% で, その差は 9% である。光環境については栽培品目との関係を含め, 今後詳細に検討する予定である。

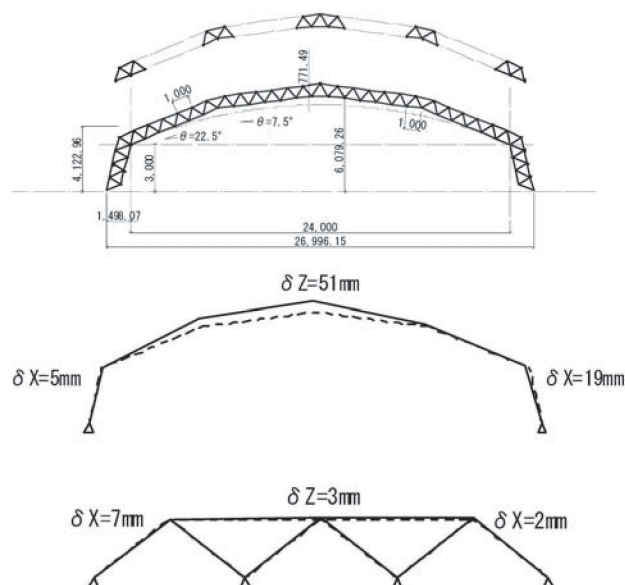


図 2 風圧力作用時のトラスの変形
Fig. 2 Deformation of the truss under wind pressure

4. 樹脂製ボールジョイントの開発

本研究では軽量化のため, 新たに樹脂製のボールジョイントを開発し, 鋼製ボールジョイントの代わりに用いた。ボールジョイントの設計寸法は樹脂の成型が容易となる大きさで, かつ, ラチスバーを接合するための 35 mm のネジ孔深さを確保できるように直径 110 mm (テーパ面間 104 mm) を基準とした。ネジの形式の選定に際して, 事前の実験で様々な形式のネジの強度を調べた。その結果, 樹脂ではメートルネジよりも台形ネジの方が約 8 割, 強度が強くなることが確認されたので, 台形ネジ Tr18×2.5 (ピッチ 2.5, ひっかかりの高さ 1.8) を採用することにした (Okinawa Industry Promotion Public Corporation, 2006)。

樹脂の素材は, 農薬等の耐薬品性から結晶性材料を, また太陽光に対する耐候性からポリアミドを選定した。さらに強度・剛性面からガラス繊維を 50% 配合したポリアミド (旭化成ケミカルズ製レオナ 66 (14G50 グレー

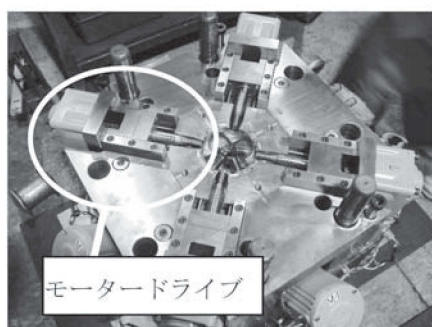
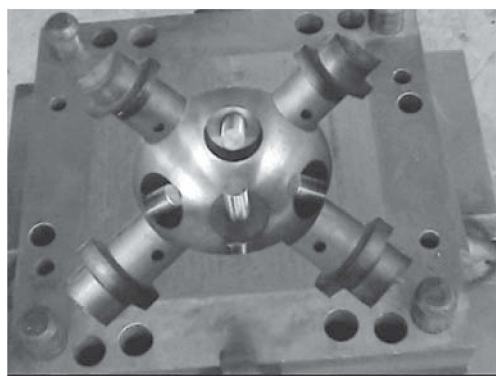


図3 ボールジョイント成型用金型
Fig. 3 Metal mold for a ball joint

ド))を用いた。

樹脂はその成型の方法で強度が大きく変わる。従って金型内部への樹脂の流れ込みの状態について観察し、金型への噴出圧力、冷却方法等について検討した。その結果、樹脂の形状は球体ではなく、流動性があり強度を確保できるリブ付きの形状とした。また、金型温度を上げるため5回の捨て打ち後に成形を始め、20秒射出した後、保圧し120秒後に取り出し、成形後の冷却を80℃の温水で行なうことで安定した強度を有する樹脂製ボールジョイントを成型する手法を確立した。

図3に成型で使用した金型を示す。ネジ部の形状を形成するため8台のモータードライブを搭載し、金型内部に治具を設ける事で、一つの金型で3種類のボールジョイントの作成を可能とした。また、射出成形から製品の取出しまでを全自動化し、基本形状ボールジョイントを300個/日のサイクルで作成可能とした。

成型したボールジョイントの強度を確認するためネジ部に治具をねじ込み、単純引張試験機により引張強度を調査した。その結果、引張強度は60 kN (標準偏差 2.5) であることを確認した。剛性マトリクス法により開発するハウスに風速 70 m/s の風圧力が作用した際に発生する最大引張軸力は 46 kN と計算され、安全率 1.5 とすると 69 kN の引張強度が要求される。しかし、69 kN の引張強度が要求されるボールジョイントはハウスの屋根と柱が接続する部分のボールジョイントのみで全体の 13% であるので、今回は開発コスト削減のため、その部



図4 開発した樹脂製ボールジョイント
Fig. 4 The newly developed resin ball joint

分のボールジョイントのみ鋼管を埋め込みネジ部を補強することで対応した。現在、ネジの形状の改善、成型方法の改善により、要求される強度を確保するように検討している。

本研究で使用するラチスパー (直径 38.1 mm) に対応する鋼製ボールジョイントは直径が 60 mm 程度で質量が 900 g/個程度である。開発した樹脂製のボールジョイントは直径 110 mm、重量は 630 g/個で鋼製ボールジョイントより 28% 軽量化した。樹脂の材料費は 750 円/個程度で、金属製 (鉄製約 2,600 円/個、アルミ製約 4,500 円/個) より低コストで製作が可能である。

材料のポリアミドは吸水性が高い特徴があり膨張や変形を起こすので、ボールジョイントは耐水性を増すため硬化後の塗膜は非常に堅く水をはじくウレタン樹脂系塗料をコーティングしている。コーティング仕様は自動車などの産業用樹脂部品と同仕様で塗装膜厚は 80~100 μ m で、耐久年数は 10 年とされている。開発したボールジョイントとその製造方法並びに製造装置は特許出願中である (特開 2008-156823)。図4に開発したボールジョイントを示す。

5. ラチスパー接続部の開発

システムトラスの骨材となるラチスパーには強度、コスト、流通性等から判断し STK400 (直径 38.1 mm × 板厚 2.3 mm) の鋼管を使用することとした。また、ラチスパーとボールジョイントの接合方法については組立時の微調整を簡便に行うために正逆ネジを利用したターンバックル方式を採用した。図5に示すようにラチスパーの両端には①と②が溶接付けされる。ラチスパーの片端は②のネジとボールジョイントが直接接続され、他端は③と④を用いたターンバックルを介してボールジョイントと接続される。

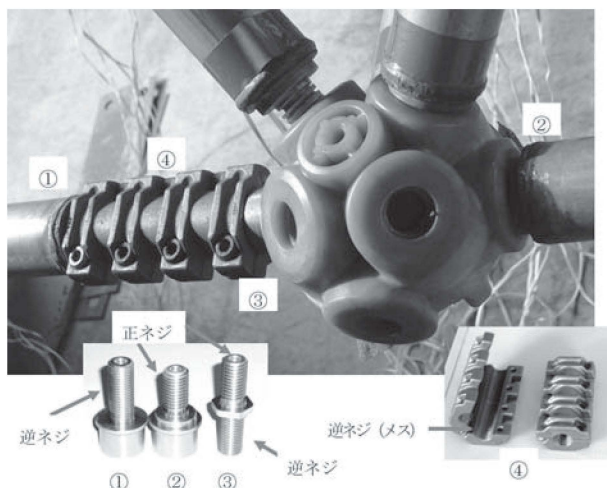


図 5 ラチスバーとボールジョイントの接合方法

Fig. 5 The juncture of lattice bars with the ball joint

III 強度および施工性の評価

1. 強度実験方法

ボールジョイントおよびラチスバーを組み合わせた立体トラス構造の強度特性について調査した。ハウスに用いる 1 m スパンを基準にした正三角形と正方形からなる正四角錐をラチスバー 48 本およびボールジョイント 18 個を用い組み合わせた基本立体トラスで実験を行った。載荷実験は、図 6 に示すように下面が 3 m × 2 m で上面が 2 m × 1 m の四角錐台の基本立体トラスを H 形鋼で作成した支持台に設置し、基本立体トラスを鉛直下向きに載荷し圧縮した。基本立体トラスの下面の 4 隅のボールジョイント (1 番, 3 番, 10 番, 12 番) は支持台に置かれたゴム板上で支持され、ゴム板との摩擦により載荷時の滑りを防止している。載荷は基本立体トラスの上面の中心にある 2 つのボールジョイント (15 番, 16 番) に外圧試験機 (東京試験機製作所 RL 油圧型 BKP-2000-R) の載荷装置を同時にあて 2 つのボールジョイントに均一に荷重が加わるようにしながら鉛直下向きに圧縮した。ラチスバーのひずみは基本立体トラスの対称性を考え全ての荷重状態のラチスバーのひずみが計測できるように 13 本を選択し、ラチスバーの真中にひずみゲージをそれぞれ 90 度間隔で 4 枚貼附し計測した。載荷は 10 kN ごとに行い、その都度ひずみを記録した。荷重は風速 70 m/s の風圧力がハウスに作用した際にハウスのラチスバーに発生する軸力と同等の軸力が基本立体トラスのラチスバーに発生するまで載荷した。すなわち、実証実験施設用のハウスに風速 70 m/s の風圧力が作用した際のラチスバーに発生する最大引張軸力は剛性マトリクス法の結果では 46 kN (ラチスバーの引張応力 178 MPa) であった。剛性マトリクス法で基本立体トラスの最大引張軸力が 46 kN になるのは載荷荷重が 126 kN と求められたので、この値を載荷実験の最大荷重と

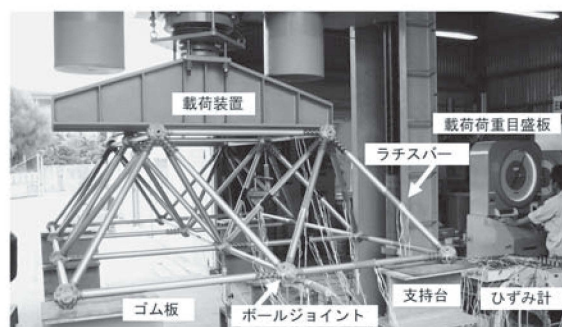
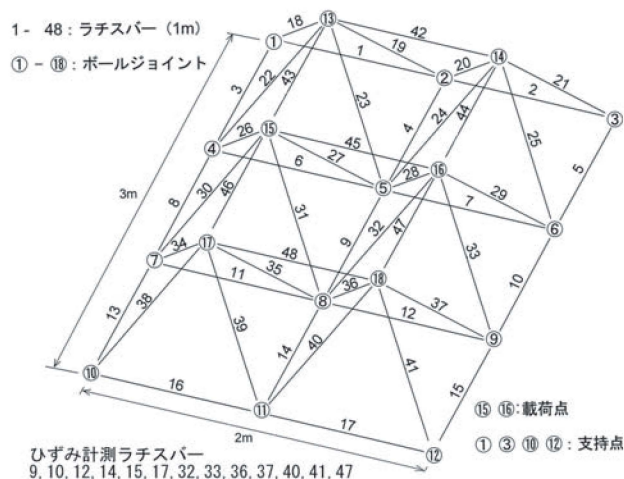


図 6 基本立体トラスの載荷強度実験

Fig. 6 Loading test for the basic space truss

した。計算結果では、図 6 に示す基本立体トラスの下面の中央にある 8 番, 9 番および 10 番のラチスバーに大きな引張軸力が発生する。従ってこの実験ではこれらのラチスバーが接続するボールジョイント (4 番から 9 番) に鋼管を埋め込みネジ部を補強した。

2. 施工方法調査

トラス型ハウスは部品点数が多くなり、組み立て方法を合理的に構築しなければ組み立てコストが大幅に上昇する。そこで大形モデル (ラチスバー 492 本, ボールジョイント 156 個) を用いて組み立て時の問題点を抽出し、迅速かつ正確な施工方法を検討した。さらに実証実験として間口 27.5 m, 奥行き 30 m, 軒高 3.5 m, 棟高 6.9 m のトラス型ハウスを設置し施工性について検証した。

3. 実験結果および考察

(1) 立体トラスの強度

基本立体トラスに載荷した際に生じる軸力を剛性マトリクス法および載荷実験で求め、図 7 に示す。計算と実験結果は良く一致しており、剛性マトリクス法によるラチスバーとボールジョイントのモデル化が妥当であると言える。10 番のラチスバーの計算値と実験値の間に荷重が大きいきに差が生じるのは、この載荷実験ではトラスの一部に集中載荷するためラチスバーのたわみ変形が大きくなり、幾何学的非線形性を考慮していない今回の

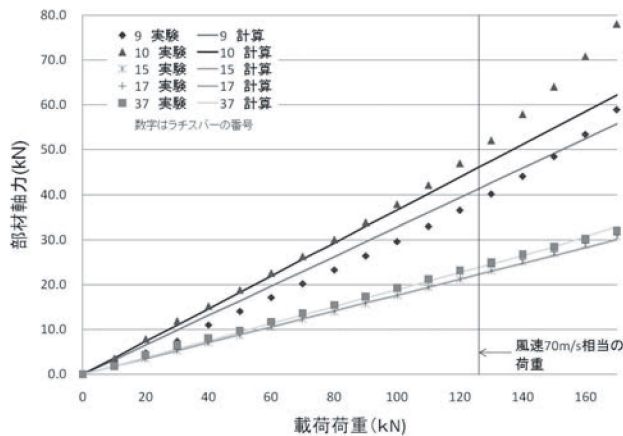


図7 载荷実験結果

Fig. 7 Result of the loading test

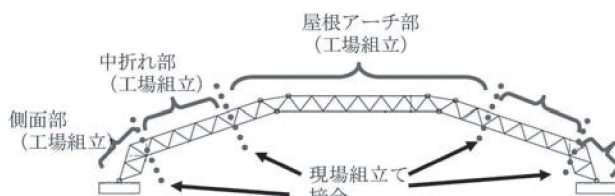


図8 トラス型ハウスの施工方法

Fig. 8 Technique for the fabrication of the truss structure

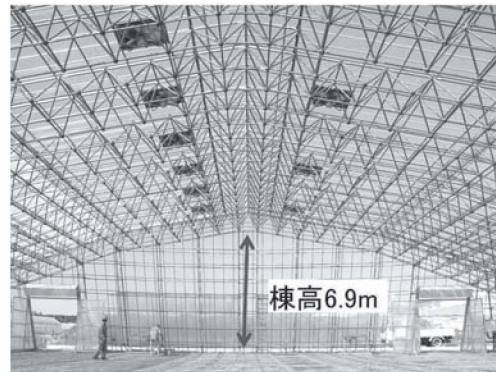
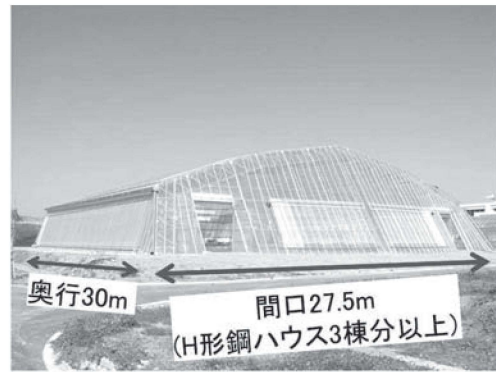


図9 実際に施工した実証実験施設

Fig. 9 The completed greenhouse to be used for demonstration experiments

計算結果より大きな軸力が生じたためと考えられる。実際のハウスでは個々のラチスバーは微小な変形に収まるので線形解析による検討で問題ないとする。

風速 70 m/s の風圧力に相当する载荷荷重 (126 kN) が作用した際のラチスバーに生じる最大引張軸力は 46 kN で基本立体トラスに問題はなかった。さらに、170 kN まで载荷しても基本立体トラスは破壊せず、そのときの最大引張軸力は 78 kN で想定する最大風速による風荷重が作用したときの 1.7 倍の軸力まで耐えることがわかり、十分な安全率が確保できたと言える (図7)。

また、ボールジョイントに補強を行わない状態で同様の実験を行ったが、最大引張軸力が 56 kN 程度 (载荷荷重 146 kN 程度) のときボールジョイントのねじ山が破壊した。

(2) トラス型ハウスの施工方法

トラス施設は地上部で構造全体を組み上げ、全体を同時に大型クレーンや油圧ジャッキでリフトアップする工法があるが大がかりな機材を要しコスト上問題がある。本研究ではハウス全体をフレーム毎に図8に示すブロック (側面部、中折れ部、屋根アーチ部) に分割し、各ブロックの四角錐体の基本構造の組立は前作業部で組み立て、各ブロックをハウスのフレーム毎に地上部で組み上げ、フレームを奥行き方向に接続した後作業部に分けて行う方法を用いることとした。この方法では小型のク

レーンと簡単な足場を設置することで施工が可能であるが、各ブロックを持ち上げ接続する際に接続部の位置を合わせるため精度確保が必要となる。そこで幅 2 m × 長さ約 20 m のワンフレームの大型モデルにより施工方法を確認した。最初に側面部を設置し、水準器により水平を調整し作業台で固定する。その上に中折れ部をクレーンで持ち上げ、作業台で固定しながら接合する。最後に、屋根アーチ部をクレーン等でつり下げ接合する。作業台で固定することで精度が確保でき、簡易な足場と小型クレーンで迅速かつ正確に施工できることが確かめられた。幅 2 m × 長さ約 20 m のワンフレームの大型モデルの組立に 6 人工を要する。このワンフレームを奥行き方向に接続すれば間口 20 m の大型ハウスを施工できる。

大形モデルで施工方法を確立した後、沖縄県糸満市の沖縄県農業研究センター内に実証実験施設として間口 27.5 m、奥行き 30 m、軒高 3.5 m、棟高 6.9 m のトラス型ハウスを設置し施工性について検証した (図9)。

基礎工法は鋼管杭 (直径 139.8 mm × 板厚 6.0 mm) を 6 m 打ち込み、上部にプレートおよび H 形鋼を溶接し、ボールジョイントを固定しハウス側面部を取り付けその上に中折れ部を作業台で支えながら側面部に接続する。実証実験施設の施工の際には、はじめに側面部と中折れ部を奥行き方向に全て接続した。これは、施工中自重による沈下が生じ、精度管理をハウス全体で行う必要が

表 2 開発したハウスと H 形鋼ハウスとの比較
Table 2 Comparison of an H-beam house with a developed house

	H 形鋼ハウス 1	H 形鋼ハウス 2	開発したハウス
連棟/単棟	3 連棟	単棟	単棟
間口, 奥行, 軒高, 棟高 (m)	8, 30, 3.5, 6.7	28, 30, 3.5, 7.0	27.5, 30, 3.5, 6.9
骨材	柱・合掌 LH-200×100×3.2×4.5 mm	柱・合掌 H-500×200×10×16 mm	ラチスバー φ38.1×2.3
鋼材重量 (kg/m ²)	14	31	10.8
ボールジョイント樹脂重量 (kg/m ²)	—	—	1.2
鉄骨建設工期 (人工)	41	75	43

あったためである。側面部と中折れ部の接続に 8 日間（延べ人工 34 人工）を要した。次に屋根アーチ部をクレーンで持ち上げ、中折れ部と連結した。屋根アーチ部は 9 つのフレームに分けられ、最初、中折れ部と連結し、さらに屋根アーチ同士の桁行き方向の連結を行う。この作業に 2 日間（延べ人工 9 人工）を要した。ここまでの鉄骨工事に合計 43 人工を要した。施工した実証実験用トラス型ハウスは、全工程終了までに 2 ヶ月の工期を要した。

同等の大きさの H 形鋼連棟ハウスの工期は鉄骨工事のみで 41 人工で、本研究で開発したハウスの 43 人工と大差ない。しかしながら、初めての施工により発生した問題点（地盤沈下による足場の補修、作業の不慣れにより生じた施工ミス部の部材の取り替えなど）の修正も含まれており、施工マニュアルが確立すれば施工期間の短縮も可能と考える（表 2）。

現在の H 形鋼材を用いた大型鉄骨ハウスは材料の鉄鋼材が高価なため、約 4 万円/坪（12,000 円/m² 相当）のコストがかかる。一般的な H 形鋼ハウスでは鉄骨材の経費が資材経費の 70% 程度を占めることより使用鋼材量を削減することがコストの削減に最も効果的である。開発したハウスで使用する鋼材の重量は、単位面積当たり 10.8 kg/m² で施工したハウスと同等の大きさの H 形鋼連棟ハウス（間口 8 m, 軒高 3.5 m, 棟高 6.7 m）の 14 kg/m² の 77% に減量できることがわかった。開発したハウスのように内部に中柱を配置しない同規模の H 形鋼単棟ハウスを想定した場合は強度を増す必要があり鋼材重量は 31 kg/m² となり 35% に減量できる（表 2）。

自然換気を行うために屋根面の中折部、側面および妻面は 1 mm 目合いの防虫ネットを被覆している。防虫ネット被覆部分には、雨風の侵入を抑制するため、厚さ 0.15 mm のポリエチレンフィルムを園芸用施設で一般的に用いられるフィルム巻き取り方式を 2 段階に分けて固定した。また、屋根の最も高い位置には、13 台の換気扇を設置し、十分な換気量を確保している。

防虫ネットを被覆した箇所以外の施設各面には厚さ 0.15 mm のポリエチレンフィルムを被覆し、一般的なフィルム取り付け金具と鋼線製波形スプリングを用いて風に耐えられるよう固定した。フィルム取り付け金具の設置間隔は、沖縄県内の H 形鋼ハウスを参考にし、奥行き方向に 500 mm 間隔で設置した。取り付け間隔の最適

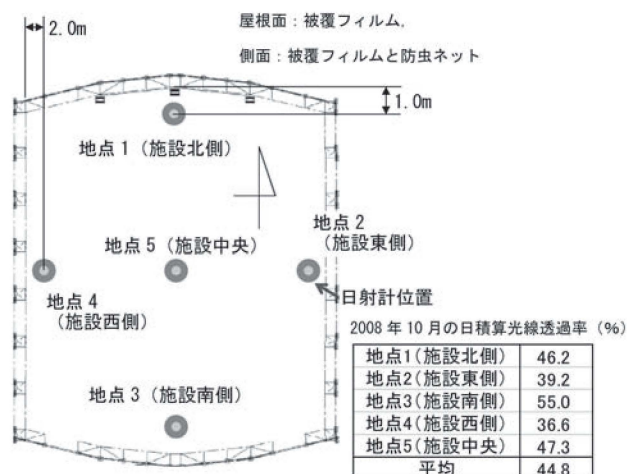


図 10 実証実験施設の光線透過率
Fig. 10 Light transmittance in the demonstration greenhouse

値については今後の検討課題である。

図 10 に実証実験施設の被覆フィルムを通した光線透過率を示す。施設内で±20% 程度のばらつきがある。施設内の光の量や分布については今後、栽培作物の生育環境と合わせて検討する予定である。

本施設は 2007 年の T0704 の風速 56.4 m/s の風圧においても構造上何ら問題が生じなかった。現在、耐風性および耐久性について継続調査している。また、商品化するには、詳細なコスト分析、沖縄の夏場の高温に対する環境制御技術を確立する必要があると検討中である。

IV 摘 要

本研究では沖縄県の生産者が必要としている大型の台風能耐える大型農業施設が樹脂部材を用いたトラス構造により開発された。

1) 剛性マトリクス法により最大瞬間風速 70 m/s の風圧力が作用する際の構造体の変位、応力を計算し、最適な構造体の形状を設計した。

2) 軽量化のためガラス繊維を配合したポリアミドを用いた樹脂製のボールジョイントを新たに開発し、従来使用されていた鋼製ボールジョイントより 28% 軽量化した。

- 3) 施工作業を工夫し、部品点数が多くなるトラス型ハウスをブロック化し小型クレーンと簡易な足場設置で組み上げる合理的な施工方法を確立した。
- 4) 側面と妻面はビニル巻き上げ式機構により換気可能な間口 27.5 m, 奥行 30 m, 軒高 3.5 m, 棟高 6.9 m の実証実験施設を設置し、鋼材使用量が同規模の H 形鋼連棟ハウスと比較し 77% の重量で施工可能なことを明らかにした。

謝 辞

本研究は沖縄県産業振興公社による平成 17 年度沖縄産学官共同研究推進事業として実施したものである。樹脂材料の選定および成型に際しては旭化成ケミカルズおよびヤシマ精工の皆様に助言を頂いた。また、載荷実験には東洋コンクリートの実験装置を使用させて頂いた。ここに記して、関係各位に深甚の謝意を表する。

References

- Iwata, M., 1996. First Step of Framed Structure by System Truss (Hajimeteno Shisutemu Torasu) (in Japanese), Architectural Technology Co., Ltd., Tokyo, 41-45.
- Japan Greenhouse Horticulture Association, 1997. Structural Safety Criteria for Horticultural Facilities (Provisional Standard) (Engeiyo Shisetsu Anzenkouzou Kijun Zantei Kijun) (in Japanese), Japan Greenhouse Horticulture Association, Tokyo, 25-41.
- Moriyama, H., Sase, S., Kowata, H., Ishii, M., 2003. Engineering analysis of the greenhouse structures damaged by typhoon 0221 in Chiba and Ibaraki, Journal of the Society of Agricultural Structures, 34 (3), 199-212.
- Nagasaki, Y., 2008. Cropping system centering around summer /autumn tomatoes production using low-cost facilities on hilly land, Farming Mechanization, 1, 21-25.
- Okinawa Industry Promotion Public Corporation, 2006, Report on Okinawa Industry, Academia and Government Joint Research Project in 2005 "Research and Development of Streamlined Greenhouse with Wind Resistant Features and Environmental Control System" (in Japanese), Okinawa Industry Promotion Public Corporation, Naha, 1-52.
- Takaichi, M., Watanabe, K., 2005. Challenge to reduce costs by 50% with epoch-making structure and construction method (in Japanese). Facilities and Horticulture, 131, 10-13.
- Takaichi, M., 2007. Development of the innovative low-cost greenhouse, Journal of JSAM, 69 (1), 4-7.
- Tamaki, M., 2004. Development of low-cost wind-proof greenhouse, Farming Mechanization, 10, 15-19.
- Tamaki, M., Sase, S., Moriyama, H., 2007. Damage characteristics of greenhouses by typhoon 0314 in Miyako island, Journal of the Society of Agricultural Structures, 38 (1), 29-42.

(原稿受理 : 2009 年 6 月 16 日・質問期限 : 2010 年 7 月 31 日)

コ メ ン ト

[読者のコメント]

ハウスの耐風性確保は重要課題であるが、低コスト化と相反する事項であり、どの程度までの投資を許容できるか(可能であるか)という観点について、地域性や栽培作物を踏まえた著者の視点が必要ではないだろうか。

[コメントに対する著者の見解]

沖縄県では低い棟高(2.8 m)で栽培可能なゴーヤーなどの野菜については、園芸施設を導入する際に計上できる費用を 3,000 円/m² 程度と試算しており、最大瞬間風速 50 m/s に耐えられ、3,000 円/m² 以下で設置可能な低コスト耐候性ハウスを既に商品化しています(Tamaki, 2004)。果樹栽培においては棟高 4.5 m 程度の台風になえた H 形鋼を使用した高価な園芸施設を利用しています。マンゴーなどの沖縄産の果樹は比較的高価格で取り引きされますが、このような作物での施設導入の限界コストを試算するには至っていません。今回報告したトラス型大型園芸施設は H 形鋼施設より低価格で導入できることから、多数の施設で生産団地を構築するような大規模生産地域での利用が見込まれ、そのような場合の限界コストの試算も必要と考えています。