

琉球大学学術リポジトリ

南西諸島における園芸施設の台風対策に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 玉城 麿 公開日: 2021-12-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 玉城, 麿, Tamaki, Maro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/20496

博士（工学）学位論文
Doctoral Thesis of Engineering

南西諸島における園芸施設の
台風対策に関する研究

**Studies on Measures against Typhoon for
Horticultural Facilities in the Southwest Islands**

2011 年 3 月
March 2011

玉城 磨
Maro Tamaki

大学院理工学研究科
琉球大学

**Graduate School of Engineering and Science
University of the Ryukyus**

紹介教員：教授 玉城 史朗
Supervisor: Prof. Shiro Tamaki

本論文は、博士(工学)の学位論文として適切であると認める。

論 文 審 査 会

_____ 印
(主 査)

_____ 印
(副 査)

_____ 印
(副 査)

_____ 印
(副 査)

概 要

論 文 題 目

南西諸島における園芸施設の台風対策に関する研究

Studies on Measures against Typhoon for Horticultural Facilities in the Southwest Islands.

本研究では南西諸島における農産物の安定供給体制の構築に寄与するため、台風対策技術の高度化に取り組んだ。農業関係者や生産現場からは、耐風性に優れ、かつ低価格で導入できるような園芸施設が求められている。これらの要望に応えるために、既存施設の問題点やこれまでの台風被害状況を調査、分析し、その結果を踏まえて新たな園芸施設の開発、防風施設の遮風効果の検証、園芸施設の風観測システムの高度化に関する技術開発を行った。

まず、沖縄県の園芸施設の特徴として、台風来襲時の風荷重軽減を目的に被覆材に網を利用することがあげられる。しかし、これらの網の通風特性は明確でなく、使用時の選定基準も曖昧であることから、網の圧力損失、圧力損失係数を測定した。その結果、沖縄で利用される網の通風特性には、開口比が影響することを明らかにした(2章)。

ネット式鋼管施設と角形鋼管プラスチックハウスの台風による倒壊事例から、これらの倒壊要因を解析した。また、南西諸島における園芸施設に関する台風被害の特徴を明らかにし、既存の園芸施設の弱点や課題について考察した(3章)。

次に、既存の園芸施設よりも耐風性に優れた2種類の園芸施設を開発した。一つは農業従事者の農業所得を考慮して開発した小型園芸施設である。最大瞬間風速 50m/s の風荷重に耐えるように設計を行った結果、実証試験においても耐風性を確認できた。本施設は沖縄県内で広く利用されている。もう一方は、トラス構造を特徴とした大型園芸施設である。高コストとなるトラス構造を農業用ハウスに採用するために、コスト削減と軽量化について検討した。そして、重量が大きく、高額なトラスの接合部中核部材の代替品として、安価で高強度な樹脂製ボールジョイント(特許第 4576488 号)を開発した(4章)。

近年は地球温暖化により台風の大型化が懸念されることから、台風対策の強化に資する防風施設の遮風効果についても検証した。防風施設の風洞実験による研究事例は多いが、現地実証試験事例はほとんどない。試験には九州地域で普及が見込まれる2列型防風ネットを用いた。検証の結果、防風施設の設置による平均風速の低減、すなわち、遮風効果を確認できた。また、現場観測においては、地形条件を無視できないため、遮風効果を検討するためには、防風ネットを設置する前の風速分布を考慮する必要があることが明らかになった。

これらの現地試験は、電力の確保やケーブル配線が困難な離島や遠隔地での実施が想定される。そのため、太陽光パネルを利用したワイヤレス型の観測システムを開発した。本システムは3日間の連続観測が可能であり、実用化の目処をつけた(5章)。

本研究では、農業従事者の期待に応えられる園芸施設を開発し、台風対策に必要な防風施設や網の特性について新たな知見を得ることができた。そして、成果の一部は実践的な台風対策技術として実用化された。これらの成果は国内のみならず、東南アジアなどの島嶼地域における風害対策の一助となることが期待できる。

氏 名 玉城 磨

Studies on Measures against Typhoon for Horticultural Facilities in the Southwest Islands

Maro Tamaki

Summary

The gardening facility is essential for the progress of the agriculture in the southwest islands. It contributes greatly to the stable crop production not only for the typhoon damage protection but also for the pest management and the temperature management. In Okinawa prefecture, 42% of the gardening facilities are steel plastic houses as a countermeasure against potential typhoon damages. The steel plastic house requires high cost and it seems difficult to set up the facilities without subvention. In this study, the gardening facility to resist wind with low cost has been developed by the improved technology against typhoon in the southwest islands.

In Chapter 1, researches on the gardening facilities and windbreak facilities have been reviewed. Moreover, the status of using the gardening facilities in Okinawa Prefecture was described in detail.

In Chapter 2, the airflow characteristics of eleven anti-insect screens used in the southwest islands were evaluated by means of a wind tunnel. The thread diameter of anti-insect screens ranged from 0.17 to 0.29 mm, and the porosity ranged from 0.25 to 0.68. Wind tunnel experiments indicated that the pressure loss through the screens was a function of porosity. Specifically, the pressure loss increased when the porosity decreased, even if the pores were approximately the same size. For instance, the pressure loss increased to 1.6 times when the porosity decreased by 18%. It is recommended to examine the porosity, not the pore size, for the airflow characteristics of the anti-insect screens. The pressure loss through a screen was found to be a quadratic function of its porosity for a constant airflow velocity through the screen.

In Chapter 3, Typhoon 0314 attacked Miyako Island on September 10-11, 2003. The maximum instantaneous wind speed of 74.1 m/s was recorded and this is the seventh record in Japan. The damages of commercial greenhouses by the typhoon were investigated in sixteen locations. The damages were categorized into 1) cracked the concrete foundation, 2) breaking of end plate for the base of column, 3) breaking or looseness of the bolt which joint beam and doorjamb, and 4) broken weld zone. These damages caused by the strong winds have not been reported in the past in Okinawa. The collapse patterns of the greenhouses covered with only insect screens were similar to other greenhouses, the bases on the windward gable end of which were pulled out. The Analysis showed that the bases could be pulled out at a wind speed of 46.4 m/s or higher because of the weak resistance against the wind forces to be pulled upward. Moreover, the analysis showed that the weld zone of eaves of a square steel pipe plastic house was fractured by the side load caused by wind speed of 37.5 m/s or higher.

In Chapter 4, many greenhouses in Okinawa islands are frequently damaged by hitting of large-scale typhoons in these years. These damages caused by the strong wind loads have not been reported in the past in Okinawa. In order to improve the strength and reliability of greenhouses for Okinawa horticultural farmers, the new greenhouse that endure the load by the gusts of up to 50 m/s

was developed based on the analysis of the damage. The greenhouse allows opening and closing of the vinyl sheet for temperature management of the inside of the greenhouse, and is designed to withstand typhoon gusts in the closing state of the vinyl sheet. To prevent deformation of greenhouse beams, the reinforcement method with wire rope was proposed.

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. Through the truss structure to large - scale green houses were tried to apply to wind – resistant houses, 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, a large size greenhouse with the truss structure at low cost using resin joints, which are light weight and inexpensive has been developed.

In Chapter 5, performance of the uneven dual-screen windbreak (UDSW) to protect agricultural products from the strong wind was tested when the typhoon 0310 attacked Okinawa. The test area surrounded by the UDSW was located on a plateau near a cliff. Wind speed was measured by ultrasonic anemometers at 6m high from the ground at the outside of the test area and 3m and 6m high at the inside. The relations between the distance from the cliff edge and the average wind speed were indicated a quadratic function of the distance in the range of 400m from the edge. These calculated data by a quadratic function were compared with the measured data. The wind speed at 28m leeward from the UDSW was reduced by 25% at a height of 6m, and that at 90m leeward was reduced by 17%. The wind speed ratio at a height of 3m to 6m was increased with distance from the UDSW about 0.83 to 0.92.

In this study, the multipoint observation system using wireless transmission was developed to observe the strong wind during the typhoon raid, and the feature of the sonic anemometer was examined from the comparison with the wind mill anemometer. It was shown that sonic anemometer is able to measure the strong wind during the storm. This system can be used enough range more than 300m. Moreover, this system can synchronize the data from 11 sonic anemometers by up to 50Hz sampling rate. This system can be available even in the field where the electric power cannot be supplied. Two solar cells and two deep cycle batteries were used for the power supply on the client side. As a result, the system can be operated continuously about 3 days.

Subject for a further study is a quantitative research to evaluate a wind resistance of the facilities covered by net. Moreover, it is necessary to research economic efficiency such as initial construction and maintenance costs. The research about maintenance technique for long-term used of the gardening facilities are also important. These studies contribute greatly to the development of agricultural industry in the southwest islands.

研究関連論文業績

1. 玉城磨, 佐瀬勘紀, 森山英樹: 台風 0314 号による園芸施設の被害特性, 農業施設学会誌, 38(1), pp.29-42, (2007).
2. 玉城磨, 佐瀬勘紀, 池口厚男, 赤地徹, 石井雅久: 沖縄の園芸施設で利用されている防虫網の通気特性, 農業施設学会誌, 40(3), pp.159-165, (2009).
3. 玉城磨, 當眞毅, 鹿内健志, 赤地徹, 新城孝彦, 国場和也, 花城和雄, 東江直司: 樹脂製接合部材を用いたトラス構造の耐風性施設園芸用大型ハウスの開発, 農業機械学会誌, 72(3), pp.283-290, (2010).
4. 玉城磨, 玉城史朗, 伊藤芳樹, 當眞毅, 長田智和, 堤純一郎: 断崖近傍に設置された段違い2列型防風ネットの効果に関する研究, 日本風工学会論文集, 35(4), pp.107-115, (2010).
5. 玉城磨, 内山信司, 伊藤芳樹, 玉城史朗: 超音波風速計を用いた多点型ワイヤレス風観測システムに関する研究, 日本太陽エネルギー学会誌, 36(6), pp.65-74, (2010).

図表リスト

第1章

Fig. 1.1.	Gardening shelves in cultivation (Above) and set down the shelves as shelters when the typhoon raided (Below).
Fig. 1.2.	Area of new greenhouse in Okinawa from 1999 to 2007 (The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, (2009) and Okinawa Prefecture agriculture, forestry and fisheries part, (not open to the public data)).
Fig. 1.3.	Flowchart of this study.
Table 1.1	Total greenhouse area in Okinawa, Miyazaki and Kagoshima from 1999 to 2007 (The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009).
Table 1.2	Greenhouse area of vegetable, flower and fruit in Okinawa from 1999 to 2007 (The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009).

第2章

Fig. 2.1.	Macro photography of net.
Fig. 2.2.	The device for wind tunnel test.
Fig. 2.3.	Relationship between pressure loss ΔP and mean velocity V .
Fig. 2.4.	Relationship between pressure F_s loss and Reynolds number Re .
Fig. 2.5.	Relationship between pressure loss and porosity.
Table 2.1	Properties of eleven net for examination.
Table 2.2	The coefficient as a function of pressure loss and velocity for nets.

第3章

Fig. 3.1.	Observation site.
Fig. 3.2.	Overview of the observation site No.1.
Fig. 3.3.	Broken girder causing collapse of the root of H beam steel plastic house.
Fig. 3.4.	Overview of the observation site No.7.
Fig. 3.5.	Mode of collapse of continuous base on gable end (a), Mode of collapse individual base used for middle pillar in square steel plastic house (b).
Fig. 3.6.	Overview of the observation site No.8.
Fig. 3.7.	The welding joint breaking.
Fig. 3.8.	Mode of collapse of base plate in pillar.
Fig. 3.9.	Inclined gable end of house F (2 ream building).
Fig. 3.10.	Overview of the observation site No.9.
Fig. 3.11.	Moved gable end (Moved distance is 6m).
Fig. 3.12.	Overview of the observation site No.14.
Fig. 3.13.	Base of greenhouse with fin and plate.

Fig. 3.14.	Mode of collapse of greenhouse covered with net.
Fig. 3.15.	Analytical model.
Fig. 3.16.	Displacement of side column with wind loading on gable end.
Fig. 3.17.	Outline of fillet welt.
Fig. 3.18.	Analytical model.
Table 3.1	Tension force to base and maximum bending moment of column at center on gable end.
Table 3.2	Maximum bending moment to fillet weld of each wind speed.

第4章

Fig. 4.1.	Outline of developed greenhouse.
Fig. 4.2.	Installation of wire.
Fig. 4.3.	Installation of net for film protection.
Fig. 4.4.	Bending moment diagram (above) and axial force diagram of wire (below).
Fig. 4.5.	Opening film by human powered device (a), protecting film by tightening for net and belt (b) in developed greenhouse.
Fig. 4.6.	Schematic design of the greenhouse.
Fig. 4.7.	Deformation of the truss under wind pressure.
Fig. 4.8.	Metal mold for a ball joint.
Fig. 4.9.	The newly developed resin ball joint.
Fig. 4.10.	Juncture of lattice bars with ball joint.
Fig. 4.11.	Lording test for the basic space truss.
Fig. 4.12.	Result of loading test for basic space truss.
Fig. 4.13.	Construction technique for truss structure.
Fig. 4.14.	Accomplished greenhouse for demonstration experiments.
Table 4.1	Various shapes of truss structures that were analyzed in this study.
Table 4.2	Comparison of an H-beam plastic house with a developed house.

第5章

Fig. 5.1.	Details of windbreak net.
Fig. 5.2.	Observation points referring to wind tunnel experiment for 2-piece (above) and General type (below) wind protection net system after Hirata and Kanna ⁵⁸ .
Fig. 5.3.	Location of observation field (Miyagi island) (above), Observation points (below).
Fig. 5.4.	Time series of wind direction (above) and mean velocity (below).
Fig. 5.5.	Power spectrum density of wind fluctuations.
Fig. 5.6.	Relation of between mean wind speed and distance from observation points to cliff.
Fig. 5.7.	Relation of between turbulence intensity level and distance from observation points to cliff.

Fig. 5.8.	Relation of between mean wind speed inside windbreak net and distance from observation points to windbreak net.
Fig. 5.9.	Relation of between mean wind speed inside windbreak net and distance from observation points to cliff.
Fig. 5.10.	Outline of sonic anemometer.
Fig. 5.11.	Client (above) and Server (below) of wind observation system.
Fig. 5.12.	Display of wind observation system for collecting situation.
Fig. 5.13.	Outline of laboratory experiment.
Fig. 5.14.	Comparison of average wind velocity for ten minutes of sonic anemometer and wind mill (Included the duration of the rainfall).
Fig. 5.15.	Relation between voltage of battery and elapsed time.
Fig. 5.16.	Wind observation system (Client).
Fig. 5.17.	Observation field.
Fig. 5.18.	Power spectrum density of wind fluctuations.
Fig. 5.19.	Time series of average velocity of the wind.
Fig. 5.20.	Frequency distribution concerning elevation for wind direction (18:30-18:40).
Table 5.1	Mean value for the horizontal wind direction in each observation point.
Table 5.2	Comparison of mean wind speed between the outside and inside windbreak net.
Table 5.3	Mean wind speed between the height 3 m and 6 m in inside windbreak net.
Table 5.4	Maximum wind speed on observation points.
Table 5.5	Mean wind speed and turbulent intensity of each observation point (18:20-19:30).
Table 5.6	Mean elevation and standard deviation of each observation point (18:30-18:40).

目次

第1章 緒論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 沖縄県の施設経営実農家数および園芸施設の利用面積	1
1.3 近年の沖縄県における園芸施設の特徴と課題	2
1.3.1 園芸施設の特徴	2
1.3.2 網被覆型施設の利用状況と施設園芸への貢献	5
1.4 台風対策に関する従来の研究	6
1.4.1 園芸施設の耐風性に関する研究	6
1.4.2 防風施設の遮風効果に関する研究	10
1.5 本研究の目的と論文の構成	11
第2章 南西諸島で利用されている網の通気特性	13
2.1 はじめに	13
2.2 圧力損失の基礎式	13
2.3 実験および計測方法	14
2.3.1 供試網の糸径, 間隙の長さ, 厚さの測定	14
2.3.2 風洞実験	14
2.4 結果と考察	14
2.4.1 網の圧力損失	14
2.4.2 網の圧力損失係数	20
2.4.3 網の開口比と圧力損失の関係	20
2.5 結び	23
第3章 南西諸島の園芸施設における台風被害の態様	24
3.1 はじめに	24
3.2 調査の概要	24
3.2.1 気象概況	24
3.2.2 宮古島の概況	24
3.2.3 調査箇所	25
3.3 調査結果	25
3.3.1 観測点1: 施設肩部並びに基礎が損壊し, 山形フレームが折れたH形鋼ハウス	25
3.3.2 観測点7: 布基礎, 独立基礎共に亀裂が生じた角形鋼管ハウス	29
3.3.3 観測点8: 地形の影響を受けて, 被災規模に違いが生じた生産団地	29
3.3.4 観測点9: 妻面より6m範囲のフレームが損傷し, 強度のある妻面が桁行方向へ後退した2連棟ハウス	34

3.3.5	観測点14：角形鋼管ハウスなどの大型ハウスに比べて， 被害が小さかったネット式鋼管施設	39
3.4	考察	39
3.4.1	ネット式鋼管施設の耐風速について	39
(1)	倒壊要因	39
(2)	補強材の有無による倒壊プロセスの違いについて	43
1)	解析条件	43
2)	補強材がない場合の施設妻面の変位	43
3)	補強材がある場合の倒壊プロセス	43
3.4.2	角形鋼管ハウスにおける柱—屋根部材接合部の破壊要因	47
3.5	結び	49
第4章	耐風性に優れた低コスト型の園芸施設の開発	53
4.1	はじめに	53
4.2	耐風性に優れた小型園芸施設の開発	53
4.2.1	開発した小型施設の概要	53
4.2.2	補強材にワイヤーを利用した理由	54
4.2.3	ワイヤーの効果について	54
(1)	解析条件	54
(2)	解析結果	58
4.2.4	フィルム保護用ネットの効果	58
4.3	トラス構造を用いた大型園芸施設の開発および設計	61
4.3.1	施設内法寸法の決定	61
4.3.2	設計基準	61
4.3.3	施設形状の決定	61
4.3.4	樹脂製ボールジョイントの開発	63
4.3.5	ラチスバー接続部の開発	67
4.4	立体トラスの強度の評価	67
4.4.1	強度試験方法	67
4.4.2	立体トラスの強度	72
4.5	施工方法	71
4.5.1	施工方法調査	71
4.5.2	トラス型ハウスの施工方法	71
4.6	結び	74
第5章	現地観測による防風ネットの効果検証とその観測手法の開発	78
5.1	はじめに	78
5.2	2列型防風ネットの効果検証	78
5.2.1	防風ネットの概要と観測場所，観測条件	78

(1) 2列型防風ネットの概要	78
(2) 風洞実験による2列型防風ネットの遮風効果	78
(3) 観測箇所	80
(4) 台風0310の概況	83
(5) 風向, 風速の測定方法	83
5.2.2 結果および考察	83
(1) 防風施設外の風向, 風速の時間変化	83
(2) パワースペクトル	85
(3) 崖からの距離と平均風速, 乱れの強さとの関係	85
(4) 防風ネット内外の風速比について	90
(5) 平均風速における防風ネットからの距離依存性について	90
(6) 風洞実験結果との比較	93
(7) 最大瞬間風速について	93
5.2.3 防風ネットの効果検証に関する結び	97
5.3 電力を確保しにくい地域対応型風観測システムの開発	97
5.3.1 ワイヤレス型風観測システムの必要性	97
5.3.2 超音波風速計の概要	98
5.3.3 ワイヤレス台風観測システム	98
5.3.4 事前評価結果	103
(1) 評価項目	103
(2) 室内試験による通信データの処理状況の確認	103
(3) 超音波風速計と風車型風速計の比較	103
(4) 野外における電波強度と通信速度の評価	106
(5) バッテリー使用可能時間の評価	106
5.3.5 実証試験	106
(1) 測定条件	106
(2) 観測結果	110
5.3.6 ワイヤレス風観測システムの開発に関する結び	113
第6章 総括	118
引用文献	121
謝辞	125
論文目録	126

第1章 序論

1.1 研究の背景

南西諸島の農業は零細な経営規模、市場遠隔性、さらには夏秋期の台風来襲という不利な条件を抱えている。そのため、作物の生産振興はこれまで本土産地の端境期にあたる冬春期出荷を主体に図られてきた。しかし、産地間競争の激化、外国産農産物の輸入増大等を背景とした長引く慢性的な生産物価格の低迷により、冬春期のみ営農活動では農業経営の維持・継続が困難な状況に成りつつある。そのため、農家経営を再構築するためには、夏秋期を含めた周年安定生産体系の整備が必要とされている。

夏秋期の作物生産上の課題には、生育に適した温湿度管理、風害抑制、病虫害防除などがあげられる。とりわけ、南西諸島では台風被害を回避しなければならない。例えば、1986年8月12日に沖縄島を来襲した台風8612(1986年8月)によるサトウキビや野菜など農作物の被害面積は4,700ha、農産物の被害額は7億7500万円であった。また、農産物のほか園芸施設の損壊など施設被害が1900万円となり、林道や水産業施設などにも被害がみられ、農林水産業関係の被害総額は8億3700万円にのぼった¹⁾。このような背景から、南西諸島では耐風性に優れた頑強な園芸施設が導入されるようになったが、2003年9月10日に宮古島を通過し、最大瞬間風速74.1m/s²⁾を記録した台風0314(2003年9月)の来襲では、最大瞬間風速60m/sの風荷重に耐えるといわれる大型園芸施設が多数倒壊し、撤去・建て直しを余儀なくされ、宮古島の農業関連被害額は41億円に上った³⁾。台風0314(2003年9月)の来襲以降も南西諸島には最大瞬間風速60m/sを超える大型台風が度々来襲している。八重山諸島に甚大な被害を与えた台風0613(2006年9月)の最大瞬間風速は69.9m/s、与那国島を通過した台風0715(2007年9月)の最大瞬間風速は63.2m/s、台風1011(2010年9月)は波照間空港で最大瞬間風速63.8m/sを記録した。このような非常に強い台風の来襲を受け、南西諸島では従来の台風対策技術の見直しを始めた。また、台風対策技術の高度化が求められる中、園芸施設の設計強度の引き上げやプラスチックや木材などの鋼材の代替材料の利用についても検討を始めた。しかし、台風被害に対する不安が農業従事者間に広がる一方で、近年は、園芸施設価格の主材である鉄パイプなどの価格が上昇しており、十分な耐風性能を有する施設の導入が困難となっている。平均110万円前後である沖縄県の年間農業所得が、ここ数年間において減少傾向にあることを踏まえると⁴⁾、南西諸島の台風対策は極めて厳しい状況にある。

本研究で開発する耐風性に優れた園芸施設や防風施設が、農業従事者の期待に応えられ、南西諸島の夏秋期生産体系構築の一翼を担うことができれば、実践的な台風対策技術として国内のみならず、東南アジアなどの島嶼地域において風害対策の一助となることが期待できる。

1.2 沖縄県の施設経営実農家数および園芸施設の利用面積

沖縄県内の園芸施設は他県と異なり、耐風性への配慮からH型钢や角形パイプのような強固な骨材をメインフレームに使用した鉄骨ハウスが多く見られる。マンゴーやゴーヤーなどの農作物が沖縄県と競合する宮崎県および鹿児島県の施設設置実面積と比較すると、沖縄県の園芸施設の特異性が読みとれる(Table.1.1)。沖縄県の施設設置実面積は宮崎県や鹿児島県よりも少なく、2007年においても両県の1/2以下である⁵⁾。しかし、両県とも施設の設置実面積のほとんどが耐風性の低いパイプハウスで占められているのに対し、沖縄県の鉄骨ハウスの設置実面積は鹿児島県の3倍以上、

宮崎県に対しては 30 倍以上を有する。一般に園芸施設は建設コストの低減のために、施設の強度が犠牲にされる。しかし、沖縄県では、設置価格が非常に高額であるにもかかわらず、鉄骨ハウスが県内の設置実面積の 42%を占める。南西諸島で安定的な農業を営むには、耐風性に優れた施設が不可欠であるとの認識が、農業関係者間においても高いことが読みとれる。

沖縄県内の園芸施設設置実面積を野菜、花卉、果樹の 3 分野に分けると、最も面積が多いのが野菜生産用施設であり、2007 年は実面積の約 50%を占める。1999 年から 2007 年までの間にパイプハウスは 14%減少しているが、鉄骨ハウスはほぼ横ばいである。また、果樹生産用施設の実面積は 1999 年以降、緩やかな増加傾向となっている。近年、人気を呼んでいるマンゴーは兼業農家での生産が可能であることから、生産量は増加傾向にあり、今後は施設実面積も増加することが期待される。一方、花卉生産用の施設設置実面積は鉄骨ハウス、パイプハウスのいずれも減少傾向にある。面積減少の要因には花卉農家数の減少が考えられる。沖縄県内の花卉農家数は 2001 年の 1,233 戸を境に減少に転じ、2007 年は約半数の 688 戸となった。減少要因にはいくつか考えられるが、洋ランの価格暴落の影響は小さくないと考える。洋ラン農家の衰退は著しく、現在は切り花の出荷額において県内の 1%未満を占めているに過ぎない⁶⁾。ただし、沖縄の花卉生産全体が低迷しているわけではない。沖縄県のコギク出荷量は日本 1 位であり、生産振興のためには病虫害対策や風害抑制に優れた施設が必要とされ、2000 年頃から補助事業を活用した積極的な施設整備が始まった。露地栽培から施設全面を網で被覆された施設を利用した栽培体系へ移行した生産面積割合は、10 年間で約 30%に達したと言われている。なお、Table.1.2 はプラスチックフィルムを被覆した施設を対象とした資料であるため、網被覆型施設面積は含まれていない。

1.3 近年の沖縄県における園芸施設の特徴と課題

1.3.1 園芸施設の特徴

南西諸島では、プラスチックフィルム（以下、フィルムという）に加えて、網で被覆した施設の利用体系が確立しつつある。

メインフレームに H 形鋼を使用したプラスチックハウス（以下、H 形鋼ハウスという）は野菜、果樹を問わず、多くの作物栽培に利用されている。一般的な施設の仕様は、間口 10m もしくは 12m、棟高 2.5m、軒高 4.5m～5.0m である。施設は作物の台風被害を回避するために全面を厚さ 0.15mm の農業用ポリオレフィン系フィルム（PO 系フィルム）で覆っている。側面については換気のために地際から軒へ向かって巻き上げることができ、フィルムの内側には網目間隔 1mm 程度の防虫網が張られている。なお、沖縄県では本施設の耐風速を最大瞬間風速 60m/s に設定している。

角形パイプをメインフレームに使用したプラスチックハウス（以下、角形鋼管ハウスという）は主にマンゴーなどの果樹栽培に利用されている。一般的なハウスの仕様は、間口 8m もしくは 10m、棟高 2.5m、軒高 4.5m～5.0m である。メインフレームは□50×50×2.3mm、もしくは□75×50×2.3mm が使用されている。全面を厚さ 0.1mm の農業用エチレン酢酸ビニル（以下、農サクビという）で覆っており、側面のフィルムは地際から軒へ、屋根面については軒から棟へ向かって巻き上げることができ、フィルムの内側には網目間隔 1mm 程度の防虫網が張られている。台風来襲時には、フィルムの破損を防ぐために側面と屋根面のフィルムを巻き上げ、防虫網で被覆された状態にするのが一般的である。また、施設の所有者はフィルムを巻き上げることで、施設への風荷重を低減できると考えている。なお、角形鋼管ハウスの耐風速は 40m/s 程度である。

Table 1.1 Total greenhouse area in Okinawa, Miyazaki and Kagoshima from 1999 to 2007
(The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009).

	Steel pipe plastic house(× 10 ³ m ²)			Standard pipe house(× 10 ³ m ²)		
	Okinawa	Miyazaki	Kagoshima	Okinawa	Miyazaki	Kagoshima
1999	3,414	297	1,283	4,874	18,228	17,617
2001	3,435	252	1,155	4,646	18,452	17,782
2003	3,008	116	993	3,847	18,805	14,300
2005	3,433	118	1,055	4,472	18,935	16,326
2007	3,362	98	1,022	4,552	18,106	14,450

Table.1.2 Greenhouse area of vegetable, flower and fruit in Okinawa from 1999 to 2007
(The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009).

	Steel pipe plastic house($\times 10^3\text{m}^2$)			Standard pipe house($\times 10^3\text{m}^2$)		
	Vegetable	Flower	Fruit	Vegetable	Flower	Fruit
1999	1,014	1,119	1,281	3,123	680	1,071
2001	868	1,171	1,396	2,857	671	1,118
2003	1,007	874	1,127	2,239	558	1,050
2005	1,221	871	1,341	2,645	641	1,186
2007	1,235	741	1,386	2,684	579	1,289

※The greenhouse indicates only facilities covered with the film.

ネット式鋼管施設は露地作物を風害から守るために考案された施設であり、主にゴーヤーやインゲンなどの野菜栽培で利用されている。施設の間口は 6.0m、軒高 2.0m、棟高 3.0m である。0.6～2.0mm 目合いの網で屋根面と側面を被覆し、妻面は厚さ 0.1mm の農サクビを被覆している施設が多い。網の目合いは栽培作物や害虫の種類に応じて選択している。山形の形状を成すことから、雨除け用のフィルムも被覆可能である。このフィルムは自在に巻き上げることができることから、容易に施設内の換気ができる。一方、箱を組み合わせたような形状を特徴とした平張施設は、棟高の範囲が栽培品目によって大きく異なり、キク栽培では 2.3m、バナナ栽培では 3.5m である。施設全面が 0.6～4.0mm 目合いの網で被覆されている。屋根が平面であるためにフィルムの被覆が困難であるものの、施工時に地形条件の影響を受けにくいことから、南西諸島全域で広く利用されるようになった。

1.3.2 ネット被覆型施設の利用状況と施設園芸への貢献

2000 年頃までの南西諸島の農業において、農業従事者が独自資金で施工できる園芸施設といえ、メインフレームに直径 19mm または 22mm の鋼管を用いたパイプハウスにほぼ限定された。このパイプハウスは脆弱であるため、台風が来襲した場合、施設利用者が施設の倒壊の危険性を察知した際には、被覆資材であるフィルムを除去し、生産物を諦めることで施設の倒壊を避けた。このような状況では安定した作物生産体系の構築は困難であり、農家経営は極めて不安定な状況にあった。当時、すでに耐風性に優れた鉄骨ハウスも利用されていたが、高額な導入費を必要としたため、既存の栽培品目では採算を確保することが困難であった。パイプハウスよりも骨材の強度に優れ、耐風性に配慮された園芸施設も利用されていたが、製作元の生産力が低く、施設強度の定量化も行われていなかったことから、利用地域は小規模な集落に限定される事例が多かった。

2000 年以降、沖縄県の農作物の生産量並びに本土への移出量はゴーヤーやマンゴーなどの需要拡大により次第に増加した。とりわけ、ゴーヤーについては台風が来襲する夏秋期生産も要望されたことから台風被害を抑制する技術が検討された。Fig.1.1 に示す可変型園芸棚は、台風来襲時に栽培棚を四角形状に変形させ、その内部にゴーヤーを収納することで風害を抑制する露地栽培用の技術である。しかし、この園芸棚が利用され始めた時期と同じくして、アザミウマ(Thysanoptera)などの病害虫による被害が拡大したことから、果菜類の生産では、露地栽培から園芸施設を利用する体系への移行が進んでいる。

従って、南西諸島で夏秋期に作物を安定的に生産するためには、風害や病害虫被害の抑制の観点から園芸施設の利用が不可欠となった。ただし、導入コストの高い既存の鉄骨ハウスでは耐風性に優れていたとしても、農家経営に支障が生じる。そこで、JA おきなわなどの農業関係団体は沖縄県や園芸施設関連企業と協力し、耐風性に優れ、かつ多くの生産農家が購入できるような販売価格の低コスト化を図った施設開発に着手した。その結果、2000 年頃、施設全面を網で被覆したネット式鋼管施設、平張施設が提案された。網で被覆されたこれらの施設では、病害虫の進入と施設内の昇温が抑制され、台風来襲時の施設に対する風荷重低減も期待できる。

これらの網被覆型施設は補助事業対象の園芸施設として認定されたことから、瞬く間に県内全域へと普及した。2001 年に新設された網被覆型施設の設置面積は 575,000m² であり、鉄骨ハウスの 4 倍以上である(Fig.1.2)。その中でも平張施設はキク生産の進展に大きく貢献した。当時、キク生産のほとんどが露地栽培であり、生産地は風害と虫害対策に苦慮していた。特にマメハモグリバエ対

策は農薬散布を毎週行わなければならないほど深刻であり、農薬による生産者の被爆が懸念されていた。平張施設の導入は、風害と虫害抑制だけでなく、過重労働の解消、農薬散布量の大幅な削減にも寄与した。

網被覆型施設が沖縄の園芸作物の品質向上、安定生産に大きく貢献したことは間違いない。しかし、これらの施設においても次第に問題点が指摘されるようになった。施設内には風が吹き込むため、ネット式鋼管施設でゴーヤーを栽培した際には、生産物の2~3割程度に擦れなどの被害が生じ、商品化率が低下するといわれている。風害を避けるため、台風来襲時には、仕立てに利用した網ごと植物体を地上に降ろし、風雨を凌ぐ手法が考案されたが、植物体を上下することによる生育への悪影響が懸念されるため、それを実施しているのは生産者の一部に限られている。また、台風0314(2003年9月)の大型台風の来襲では、ネット式鋼管施設においても甚大な被害が生じたため、施設自体の強化を求める声があがった。

一方、平張施設は施設への台風被害報告は少ないが、本施設の利用はキクを始めとする一部の品目に限られている。キク以外の花卉類(例えばラン)は風雨に曝されることで品質が低下するため、施設にはフィルムの被覆が必要となる。平張施設の屋根は平面であるため、フィルムを被覆した場合、降雨時には雨水が溜まり、フィルムやネットを破損する可能性が高い。屋根にアーチフレームを設置する手法も検討されたが、追加投資が大きいために利用者は限られている。

さらに、両施設で使用されている網の選定基準は明確でないため、農業従事者が求める施設内環境、すなわち、通気性、害虫の侵入抑制、昇温抑制などのバランスが思うように管理できない状況を生み出している。網の選定は目合い、すなわち格子一つあたりの一辺の長さで決定され、この目合いを用いて施設外風速に対する施設内風速の低減率、害虫の侵入抑制効果、施設内気温の昇温抑制効果などを推測している。網被覆型施設が利用され始めた頃の網の目合いは、2.0mmが主流であったが、対象となる害虫の大きさなどが検討されるようになり、目合い1.0mm、0.8mm、0.6mm、0.4mmの網が販売されるようになった。しかしながら、網を選定する際の第一要因となっている目合いと通気特性の関係は明かにされていない。

以上のように、南西諸島で利用される園芸施設には多くの課題が残されている。南西諸島の農業の発展のためには、既存の施設よりも作物の生産性に適応した園芸施設の開発が不可欠である。そして、夏秋期の安定生産体系の構築のためには台風対策技術の高度化が必須である。

1.4 台風対策に関する従来の研究

1.4.1 園芸施設の耐風性に関する研究

園芸施設は、鋼材を骨材として使用しており、屋根形状も一般の建築物の形状と類似することから、施設強度は基本的には建築物と同様に構造計算から求まる。しかし、園芸施設は軽量構造物であり、動荷重の影響を受けやすいこと、ガラス室やその他の建築物が板一骨組構造である一方、園芸施設は膜一骨組構造であることから、篠・中崎は両者の風の応答特性が異なることを指摘している⁷⁾。これまで進められてきた温室の風圧力に関する研究では、羽倉・藤野は、風洞実験から園芸施設耐風メカニズムが開口位置の影響を大きく受け、開口率はほとんど影響しないことを示した⁸⁾。また、小川・津下は、園芸用ガラス施設の実物大耐力試験を実施し、許容耐力について考察している⁹⁾。一方、森山らは、脆弱なパイプハウスの耐風性能の向上と経済的な設計を行う上での資料を得ることを目的に、これまで明確にされていなかったパイプハウスの風圧係数および風力係数を風

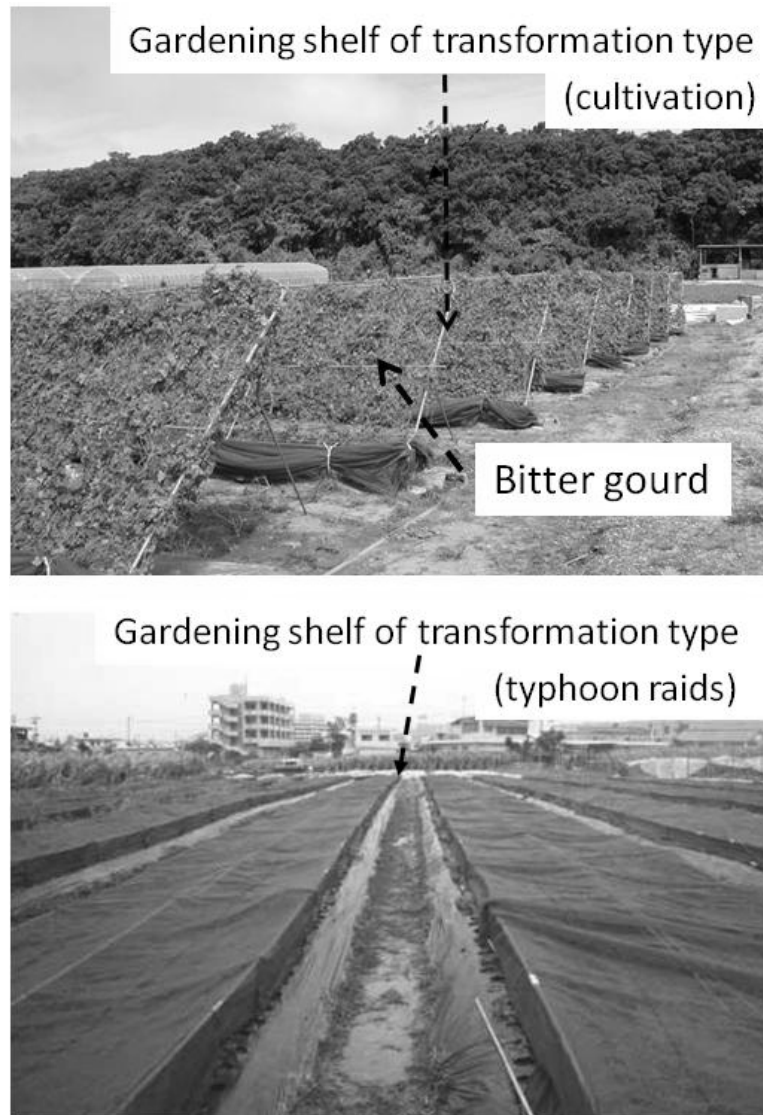


Fig. 1.1. Gardening shelves in cultivation (Above) and set down the shelves as shelters when the typhoon raided (Below).

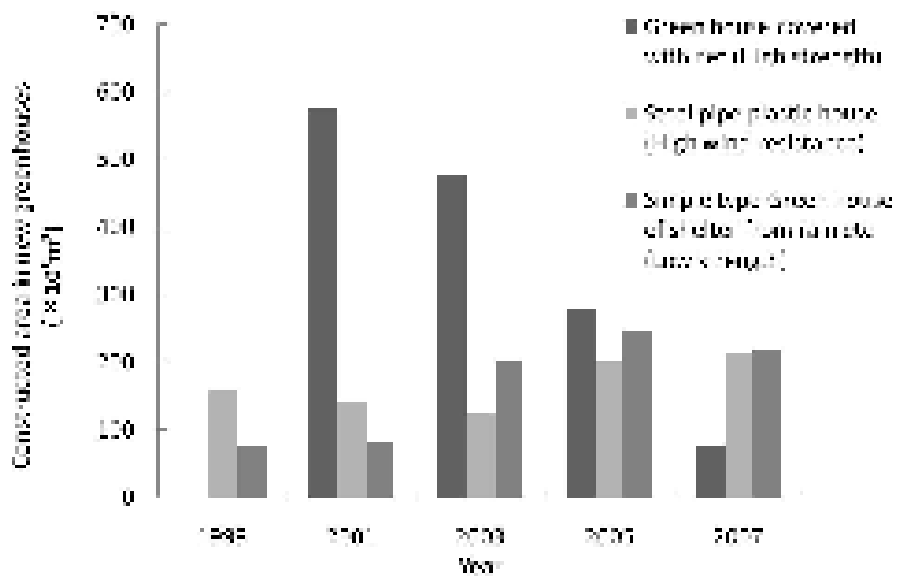


Fig. 1.2. Area of new greenhouse in Okinawa from 1999 to 2007 (The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, (2009) and Okinawa Prefecture agriculture, forestry and fisheries part, (not open to the public data)).

洞実験により求め、現行の設計基準との違いを指摘した¹⁰⁾。さらに、パイプハウスが団地を形成した場合において、隣棟間隔がパイプハウスの風圧係数に与える影響を風洞実験により求めた¹¹⁾。その結果、風向が桁行に直角である場合において、最も風上側にあるパイプハウスは隣棟間隔の影響を若干受けるものの、単体のパイプハウスと同様の風圧係数を示すこと、また、パイプハウスが密集する場合には単棟の場合と比較して負圧が増大することから、施設構造に配慮する必要性を指摘した。

園芸施設の強度向上を目的とした研究のうち、基礎強度に関する研究では、篠らや尹らが、円柱形のコンクリート杭の引き抜き抵抗力を高める手法について、砂質土を対象に研究した結果を報告している¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。また、豊田らは、基礎周辺土壌を水浸により飽和させた場合の基礎強度の低下割合を実験的に示し、補強方法として井桁を利用する手法を提案した¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。さらに、森山らは、園芸施設の台風被害状況を調査し、既存の園芸施設が耐風速を確保する上で、基礎を現状よりも10cm深く埋設するだけで耐力向上に非常に効果的であること。また、施工不良基礎では引き抜き耐力が70%以上低減することを数値計算により証明した¹⁹⁾。

また、園芸施設骨材接合部の強度に関する研究も行われており、小川らは棟部継手、パイプ接合金具の実物大実験を実施し、スエージ継手の差込み長さについては、パイプ径の3倍以上の長さとするれば1本物のパイプと差異が少ないことを示した²⁰⁾²¹⁾。さらに、森山らは、施設骨材の接合に利用されるボルト、溶接、クランプなどの接合強度を実験的に評価し、鉄板を溶接する方法が曲げに対して最も弱いことを指摘し、計算上は骨材を直接溶接する方法が有効であるが、肉厚の薄い農業用の骨材における問題点を指摘した²²⁾。

このように、耐風性を考慮した園芸施設の設計のために必要な情報は整理されつつあるが、例えば、台風来襲時の風環境を反映させるような動的な風圧分布に関しては、研究結果を施設設計に直接反映できる段階にはまだ至っていない。現在、沖縄県において大型台風が来襲するような環境下における園芸施設の耐風性の検討材料は、日本施設園芸協会がとりまとめた園芸用施設安全構造基準²³⁾を参考に求められる強度計算結果のみである。

台風による建築物などへの被害については、これまでも多くの報告がなされており、近年では最大級の台風である台風0314(2003年9月)においても丸山ら²⁴⁾や奥田ら²⁵⁾が風力発電用風車や家屋の被害状況について整理している。しかしながら、農業施設については、建築物被害に関する報告に比べて非常に少ない¹⁹⁾²²⁾²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾。また、沖縄県では園芸施設の中で最も強固とされるH形鋼プラスチックハウスが倒壊したが、このような施設の倒壊に関する報告事例以降は報告されていない。

H形鋼プラスチックハウスの耐風速は最大瞬間風速60m/sである。しかし、前節でも述べたように、台風0613(2006年9月)、台風0715(2007年9月)、台風1011(2010年9月)のように、最大瞬間風速60m/sを超える台風がここ数年の間に頻繁に来襲している。このことは、近年の海面水温の上昇に伴い、強い台風の割合が増加することとの指摘²⁹⁾にも合致している。また、Oouchi et al.による温暖化予測実験では、地球温暖化により熱帯低気圧の発生数は減少したことが示されたが、最大風速が45m/sを超えるような熱帯低気圧は増加傾向にあるという結果が得られている³⁰⁾。さらに、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の予測結果においても熱帯低気圧の最大風速が増加傾向にあることが示されている³¹⁾。そして、これらの報告を踏まえると、現状のままでは、予想される大

型台風の来襲による被害を回避できず、園芸施設の被害棟数、農業関連被害額においても増加することが推察される。

なお、南西諸島の園芸施設は日本国内のそれとは異なり、風荷重の低減や病害対策、昇温抑制を目的に施設面に網を被覆した施設が多く見られる。網の通気特性についてはいくつかの報告があり、Bailey et al.,や Valera et al.,は網や通気性のある保温カーテンなどの特性を明らかにしている³²⁾³³⁾。しかし、南西諸島で利用されている網の通気特性についての報告はなく、網を被覆した園芸施設の風圧分布についても不明である。

1.4.2 防風施設の遮風効果に関する研究

防風柵、防風林、防風ネットなどの防風施設は、強風被害を抑制する手段として、主に海岸や道路周辺で利用されている。農業においては防風林が風害から農作物を守るために古くから利用されてきた。しかし、植林による農地内のつぶれ地の増加、それに伴う栽培面積の減少や日射量の低減による作物生育の阻害が懸念される防風林の設置は、一般的に避けられる傾向にある。そのような中、最大瞬間風速 74.1m/s 記録した台風 0314(2003 年 9 月)の宮古島への被害では、H 型鋼をメインフレームに用い、強度に優れた園芸施設が倒壊した一方、防風林や防風ネットに保護された環境下では、比較的脆弱な施設が被害を回避できた事例も確認された³⁴⁾。この台風の来襲以降、南西諸島では防風施設の設置が見直され、農業従事者は防風施設と園芸施設を対にし、比較的低価格で設置可能な新たな作物生産体系の構築に期待を寄せている。

防風施設の遮風効果は一般に風速比を用いて検討される。風速比は防風施設の風下側の風速を基準風速で除した値であり、通常、基準風速には風上側における任意の高さの風速を用いる。この整理方法は風洞実験、現地観測のいずれにおいても用いられており、防風施設の特徴を比較的容易に把握することができる。例えば、武田・安田らは、柵高 6.2m~6.8m 有孔板形式の防風柵の遮風効果を調べるため、1/20 の縮尺模型を用い、遮へい率 75%、60%、50%の 3 種類において風速比を算定した³⁵⁾。遮へい率とは、有孔板のうち、遮へいされた部分の面積を有孔板の外郭面積で除した値である。いずれの遮へい率においても風速比の最小値は柵高の 10 倍以内で確認され、遮へい率 50%では 0.4、60%では 0.2 となった。遮へい率 75%では 0.2 以下となり、風向が風上向きになる領域も確認された。また、遮風効果は柵高の約 30 倍風下側にまで影響することも確認された。一方、現地観測では、秦野・今井らが、高さ 3.3m の防風柵に空隙率 0.4 の寒冷紗を被覆した際の風速比を算定した結果を報告している³⁶⁾。空隙率とは、寒冷紗の間隙の面積を寒冷紗の外郭面積で除した値であり、「空隙率=1-遮へい率」の関係で示される。基準風速を高さ 2.5m の位置で測定した場合の風速比の最小値は 0.2 となり、高さ 1.5~2.5m において柵高の 5 倍以内の風下側の距離で確認できた。柵高の 7 倍以上では距離が風下側に伸びるにつれて、風速は基準風速に近づく傾向を示した。

しかし、防風柵を盛土の肩部(法面勾配 1:2)に設置した場合の遮風効果の大きさは遮へい率に比例せず、遮へい率 60%の防風柵の風速比が遮へい率 75%よりも低かったといった事例が見られるように、防風柵の遮風効果には施設の遮へい率だけでなく、立地条件も影響する。さらに、深尾・岩佐らは、風の乱れが大きい領域においては防風ネットを設置することにより、防風ネットがない状態よりも瞬間風速が増大する可能性を指摘した³⁷⁾。以上のように、防風施設には一定程度の遮風効果が期待されるものの、立地条件や仕様が異なることにより、その効果も大きく異なると考えられる。

沖縄県³⁸⁾は、真木の報告³⁹⁾をもとに、沖縄県の土地改良事業における防風施設設置時の指標として、風洞実験によって得られた防風ネットの風速比と高倍距離(防風ネットの高さ倍数で示した防風ネットからの距離)の関係をj用いているが、防風施設の最適な配置方法を検討するためには、風洞実験などに加えて現地実証試験による情報の蓄積も必要と考えられる。また、台風の現地観測事例は少なくないが⁴⁰⁾⁴¹⁾、台風来襲時の防風施設の遮風効果についての報告はほとんどないことから、現地実証試験の結果は今後の台風対策を検討する上で重要な資料となる。

1.5 本研究の目的と論文の構成

本研究では、南西諸島の夏秋期の作物生産を行う上で弊害となっている台風被害に着目し、被害軽減に向けた技術開発を目的とする。本研究の内容と構成について以下に述べる(Fig.1.3)。

第2章では、南西諸島で利用される園芸施設の多くが台風来襲時の風害対策、夏秋期の昇温抑制、病虫害の施設内侵入抑制を目的に、施設全面または側面に網を被覆していることに着目し、利用されている網の通気特性について評価した結果を述べる。

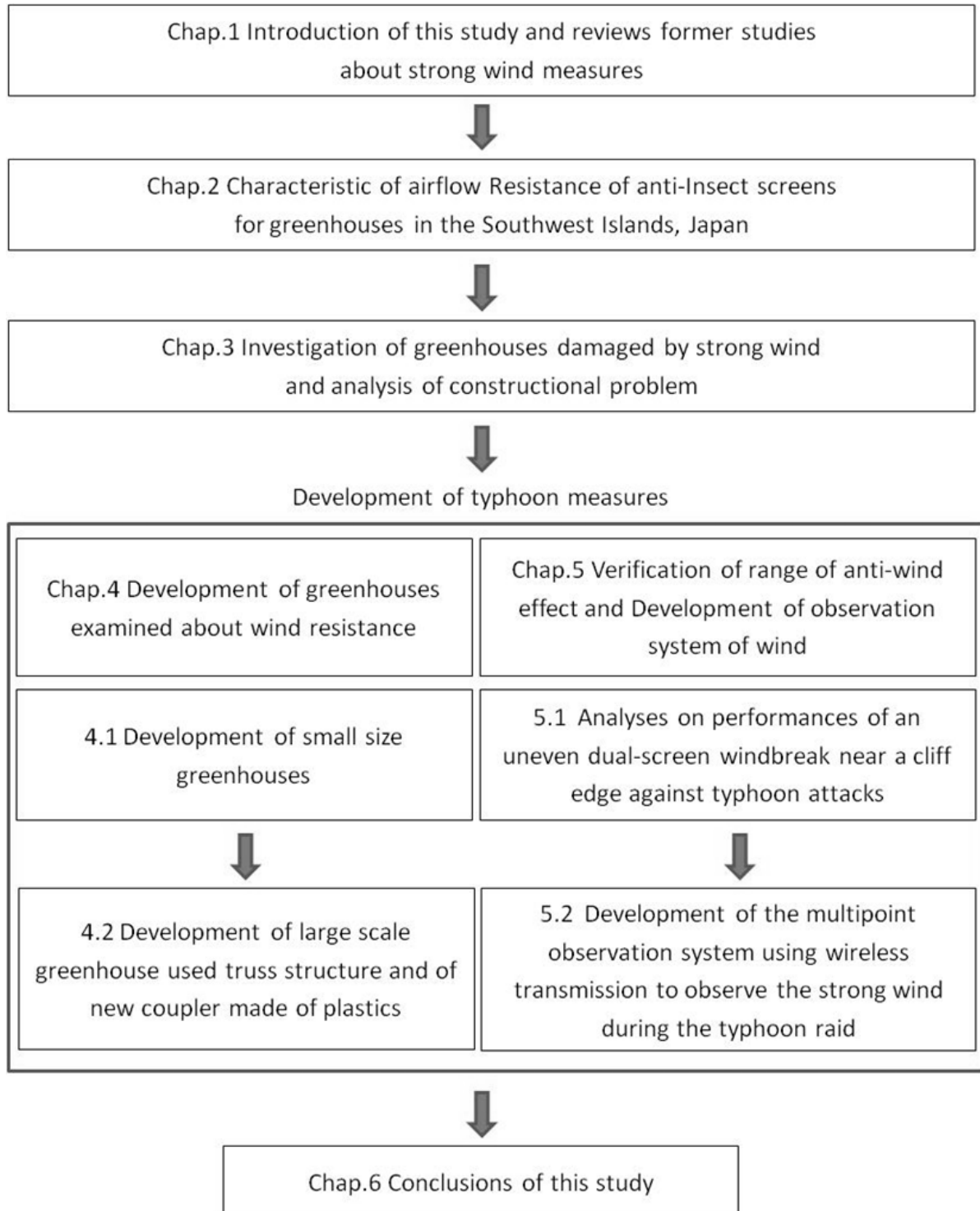
第3章では、台風来襲時における南西諸島の園芸施設への被害状況と被害状況から推定された既存の園芸施設の耐力や問題点について述べる。

第4章では、第3章の台風被害結果を踏まえ、被災地から要望された耐風性に優れた園芸施設の開発結果について述べる。具体的には、まず生産者が独自で施工でき、低価格施工と耐風性を兼ね備えた園芸施設の開発結果について述べる。これに加え、近年の農業への企業参入や植物工場利用を想定した大型園芸施設開発に取り組んだ結果についても述べる。

第5章では、台風被害を回避する上で有効な手段である防風施設に着目した。本章では普及範囲が拡大しつつある2列型防風ネットの遮風効果について、台風0310(2003年8月)来襲時の実証試験結果から検討した結果について述べる。また、実証試験の結果から、離島や僻地のように商用電力が得にくい地域に対応した風観測システムの必要性から、太陽光発電装置と無線LANを用いた新たな観測システムを開発した結果について述べる。

最後に、第6章で本研究の結論および今後の技術展望などを述べる。

Fig. 1.3. Flowchart of this study.



第2章 南西諸島で利用されている網の通気特性

2.1 はじめに

マンゴー、バナナなどの熱帯植物を多く栽培する南西諸島では、網のみを全面に被覆した園芸施設が広く利用されている。網を被覆した園芸施設はフィルムを被覆した施設と比べて以下のような利点がある。①通気性が高く、自然換気のみで施設内気温を外気温に近づける。②害虫などの侵入を抑制でき、減農薬栽培が可能である。③台風来襲時の施設に対する風過重を軽減できる可能性がある。しかし、農作物を栽培する上で重要な要素であるにもかかわらず、網を利用する際の選定条件は、害虫の侵入抑制を主体として決定されており、網の改良は、目合い（格子1つで構成される間隙の一辺の長さ）が縮小する方向に進められている。

その一方で、網の被覆に対しては、施設に対する風荷重がフィルム被覆時よりも大幅に低減すると考えられ、施設自身の耐風性を向上させることが期待されている。網を被覆したパイプハウスが、骨材は脆弱であるものの、大型台風の来襲においても倒壊を免れた事例も報告されている³⁴⁾。

本章では、南西諸島の園芸施設に被覆する網の通気特性を評価する際の基礎資料を得ることを目的に、網の圧力損失と風速の関係を実測した結果を述べる。次に、圧力損失係数とレイノルズ数の関係について整理した結果について述べる。また、網の諸元の一つである開口比から圧力損失係数を推定する回帰式を導いた結果について述べる。

2.2 圧力損失の基礎式

一般に流体が非圧縮性、非粘性流体と仮定できる場合の圧力損失の算定には(1)式が適用される。ベルヌーイ式から導出された(1)式は圧力損失係数 F_s のみで対象物の圧力損失と風速の関係を評価できるため、利便性が高く、網の通気特性を評価する際にも用いられている。圧力損失係数は風速によって変化するが、実用の多くは風速が比較的高い領域(Re が高い領域)で用いられるので、圧力損失係数は一定値として用いられることが多く、様々な分野で利用されている⁴²⁾。

$$\Delta P = F_s \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1)$$

ここで、 ΔP : 圧力損失 (Pa), F_s : 圧力損失係数 (無次元), ρ : 空気密度 (kg/m^3), V : 風速 (m/s), とする。

ある風速の範囲における圧力損失と網を通過する平均風速の関係について、係数を定数とした(2)式で表し、これらの係数の算定方法が検討されているが³³⁾⁴³⁾、係数 a , b , c を直接的に算出する予測式は報告されていない。そのため、本章では新たに風速と圧力損失の関係についての回帰式を求める。

$$\Delta P = aV^2 + bV + c \quad (2)$$

2.3 実験および計測方法

2.3.1 供試網の糸径、間隙の長さ、厚さの測定

供試網は、糸径 0.17~0.29mm、開口比(間隙の面積/全面積)0.25~0.68 の範囲にある 11 種類の網である (Table2.1)。間隙のアスペクト比を考慮し、間隙の長さには間隙の面積の平方根を用い、代表長さとした。供試網の間隙の面積とは格子 1 つで構成される間隙の面積の平均値である。供試網の番号は開口比を小さい順番に並べた値に対応している。Net 2 から Net 11 までの 10 種類の網は南西諸島で一般的に使用されているものである一方、Net 1 は米国で使用されているものである。供試網の糸は全て格子状に編まれており、網目の間隙長さと開口比の測定にはデジタル顕微鏡 (キーエンス, VH-8000) を用いた。Fig.2.1 に示すように、糸径は糸の端部 2 点間距離とした。間隙の面積と開口比は間隙と糸を二値化処理することにより求めた。

2.3.2 風洞実験

網の圧力損失の評価には、吸気型の風量コントローラ (日本科学工業, 特注品) を用いた。実験装置の概要を Fig.2.2 に示す。風量コントローラには、縦 180mm, 横 180mm, 全長 2200mm の測定用ダクトが備えられており、供試網はダクト中央部に取り付けた。本実験では流量をダクトの大きさと等しい網の外郭面積で除した値を平均風速 V (m/s) とした。平均風速を 0.5~16.0m/s の範囲で増減させ、供試網を中心に前後 60cm 離れた位置における静圧差 (以下、圧力損失という) を測定した。なお、本ダクト内の風量が 1.0~28.5m³/min (平均風速 0.5~13.9m/s) の範囲において、ダクト壁による摩擦損失が小さく、圧力測定位置での風速分布が一定であることは黄らによって確認されている⁴⁴⁾。圧力損失の測定は、平均風速 4.0m/s 以上ではベッツ型マノメータ (理化精機工業, F-213) を用い、それ以下では沈鐘式精密微圧検出器 (東亜工業, MP-2000) を利用した。本検出器の測定範囲は 0~80Pa であり、測定誤差は±0.064Pa である。ダクト内の風速は、アネモマスター風速計 (日本カノマックス, MODEL6141) を用い、供試網の下流側断面の中央で測定した。ダクト内の風速と流量の関係はメーカーが提供する検量線から求めた。なお、風量コントローラのダクト内の気温は 9~10.8°C の範囲にあったため、空気密度 ρ は 1.25 (kg/m³)、動粘性係数 ν は 1.4×10^{-5} (m²/s) とした。

2.4 結果と考察

2.4.1 網の圧力損失

圧力損失と平均風速の関係を Fig.2.3 に示す。Table.2.2 に示すように、両者の関係は風速の二次関数として表すことができた。相関係数は全ての関係において 0.99 以上となった。また、圧力損失は開口比の小さい網ほど大きくなる傾向を示した。例えば、開口比が 0.40, 0.51, 0.61, 0.63 の供試網において、風速 1.0m/s の圧力損失はそれぞれ、4.0Pa, 2.3Pa, 1.3Pa, 1.0Pa であった。また、開口比が類似した網、例えば Net 4 (間隙の長さ 0.43mm), Net 5 (間隙の長さ 0.59mm) および Net 6 (間隙の長さ 0.60mm) の 3 つの網、また、Net 7 (間隙の長さ 0.62mm) と Net 8 (間隙の長さ 0.87mm) の 2 つの網においては、平均風速と圧力損失の関係は類似する傾向を示した。一方、沖縄の生産現場において網の選定基準について聞き取り調査を行ったところ、その指標には間隙の長さが使われていることがわかった。そこで、間隙の長さは類似するが、開口比に差のある網の圧力損失について比較検討した。具体的には、メーカーから示された目合いが 0.4mm であった Net 2 (間隙の長さ

Table 2.1 Properties of eleven net for examination.

Net No.	thread diameter (length)	thread diameter (width)	mesh size (vertical)	mesh size (horizontal)	mesh size (mean)	porosity α	thickness Δx	mesh size of manufacturer	Remarks
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m ² /m ²)	(mm)	(mm)	
Net 1	0.29	0.27	0.15	0.68	0.32	0.25	0.38	—	
Net 2	0.23	0.23	0.39	0.40	0.39	0.40	0.33	0.4	
Net 3	0.18	0.18	0.42	0.41	0.41	0.49	0.26	0.4	The silver foil adds like the ninth shou.
Net 4	0.17	0.18	0.46	0.40	0.43	0.51	0.25	0.4	
Net 5	0.23	0.23	0.58	0.60	0.59	0.52	0.34	0.6	
Net 6	0.23	0.23	0.60	0.60	0.60	0.52	0.32	0.6	
Net 7	0.17	0.18	0.62	0.63	0.62	0.61	0.24	0.6	
Net 8	0.23	0.22	0.87	0.87	0.87	0.63	0.35	0.8	The silver foil adds six at equal intervals.
Net 9	0.23	0.23	0.90	1.01	0.95	0.65	0.33	1.0	
Net 10	0.23	0.23	1.05	1.01	1.03	0.67	0.33	1.0	The silver foil adds three at equal
Net 11	0.23	0.23	1.10	1.04	1.07	0.68	0.33	1.0	The silver foil adds four at equal

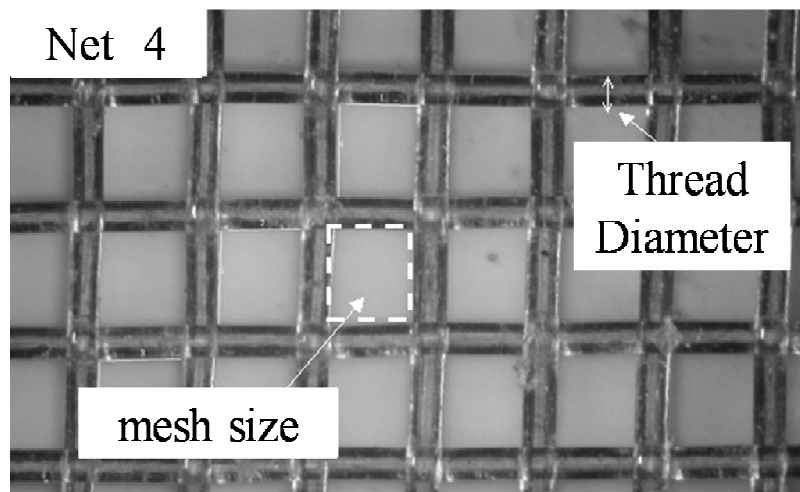


Fig. 2.1. Macro photography of net.

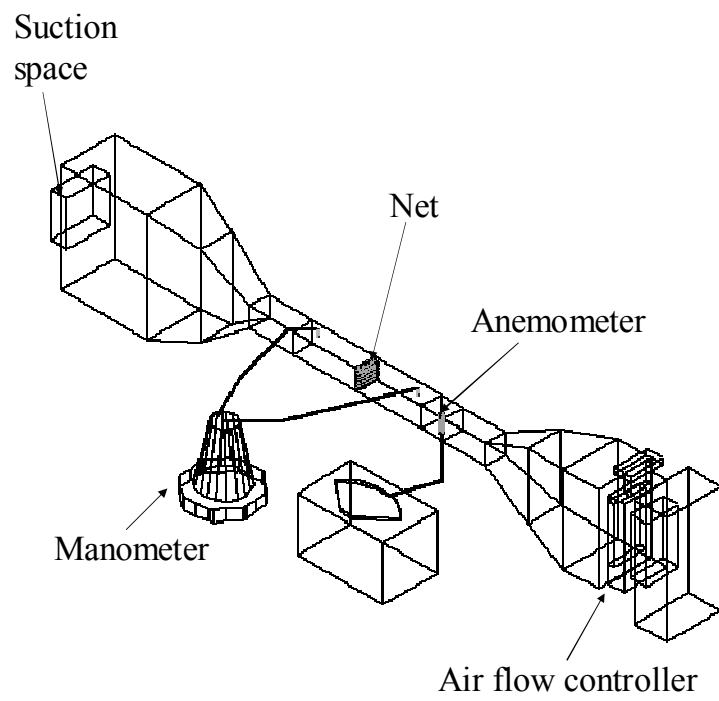


Fig. 2.2. The device for wind tunnel test.

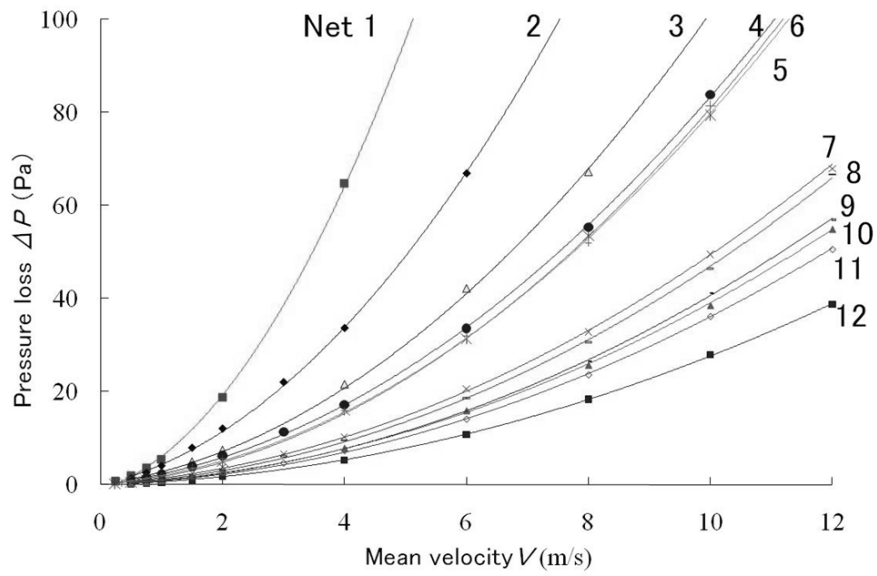


Fig. 2.3. Relationship between pressure loss ΔP and mean velocity V .

Table 2.2 The coefficient as a function of pressure loss and velocity for nets.

net No.	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Net 1	2.90	5.35	-2.15
Net 2	1.37	2.99	-0.05
Net 3	0.83	1.79	0.32
Net 4	0.68	1.52	0.14
Net 5	0.69	1.11	0.16
Net 6	0.71	0.96	0.00
Net 7	0.40	0.93	0.05
Net 8	0.40	0.68	0.06
Net 9	0.36	0.49	0.10
Net 10	0.33	0.59	0.05
Net 11	0.32	0.41	0.20

0.39mm) と Net 3 (間隙の長さ 0.41mm), 0.6mm であった Net 6 (間隙の長さ 0.60mm) と Net 7 (間隙の長さ 0.62mm) の 2 例を用いて検討した。Net 2 と Net 3 の間隙の長さの差は 5%未満であるが, 前者の開口比は後者の 0.82 倍であった。検討の結果, どの風速領域においても前者の圧力損失は後者に対して 1.6 倍程度に増大した値で推移した。一方, Net 6 と Net 7 においては, 風速が 4m/s 以上の場合, 前者の圧力損失が後者の 1.6 倍程度に増大したが, 風速が低下すると圧力損失は減少し, 風速 1m/s では両者の差は 1.4 倍程度となった。

以上より, 現在, 南西諸島で利用されている網の通気特性を検討するには, 一般的な選考基準として用いられてきた目合いではなく, 開口比を用いるのが適当であると考えられる。

2.4.2 網の圧力損失係数

網を通過した流れの状態を確認するため, 代表的な供試網について圧力損失係数とレイノルズ数との関係を整理した結果を Fig.2.4 に示す。圧力損失係数は実験から得られた平均風速と圧力損失を (1) 式に代入して求めた。その結果, レイノルズ数が高くなるにつれて圧力損失係数は急激に低下し, レイノルズ数の高い領域に至ると圧力損失係数はほぼ一定となった。具体的には, Net 2 ではレイノルズ数 17 における圧力損失係数は 7, レイノルズ数 45 の圧力損失係数は 5, レイノルズ数 91 では 3 まで低下し, 以降は緩やかに低下した。Net 7 の場合はレイノルズ数 17 の圧力損失係数が 3, レイノルズ数 71 では 2, レイノルズ数 141 では 1, レイノルズ数 210 以上では 1 以下となり, 緩やかに減少した。そして, 圧力損失係数は開口比が小さい網ほど高くなる傾向を示した。開口比 0.62 以上の網や寒冷紗などではレイノルズ数が 400 以上で圧力損失係数がほぼ一定になることが黄らによって確認されている⁴⁴⁾。本試験で用いた供試網はこの報告事例よりも比較的間隙の長さや開口比が小さい。限界レイノルズ数の算定方法を参考に⁴⁵⁾, 圧力損失係数がほぼ一定となるレイノルズ数領域を推定した結果, Net 1 から Net 7 までの 7 つの供試体, すなわち開口比が 0.25 から 0.61 までの供試網においてはレイノルズ数が 70~150 以上 (平均風速 4m/s 以上), Net 8 から Net 11 (開口比 0.63 から 0.68) までの 4 つの供試体では 300~370 以上 (平均風速 6m/s 以上) で得られることが示された。

2.4.3 網の開口比と圧力損失の関係

風洞実験によって網の圧力損失係数を求めることは, 網の通気特性を評価する上で重要であるが, 全ての網について実験を行うことは困難である。そこで, 開口比などの網の諸元から圧力損失を評価する手法について検討した。Fig.2.3 に示したように, 間隙の長さが類似しても, 開口比が異なれば圧力損失の値にも相違が見られたことから, 本研究で用いた網の通気特性には開口比が大きく影響することがわかった。網の圧力損失を予測する場合, Bailey et al.は開口比と糸径³²⁾, Valera et al.は開口比と網の厚さを変数としているが³³⁾, 今回の供試網の圧力損失が開口比のみで評価できるのであれば, 生産現場においても比較的理解されやすい選定基準が示せると考え, 開口比と圧力損失の関係を風速ごとに整理した。その結果, Fig.2.5 に示すように, 圧力損失は開口比の関数として示された。回帰した例を (3) 式から (8) 式に示す。なお, これらの式の適用範囲は開口比 0.25 から 0.68 までとする。

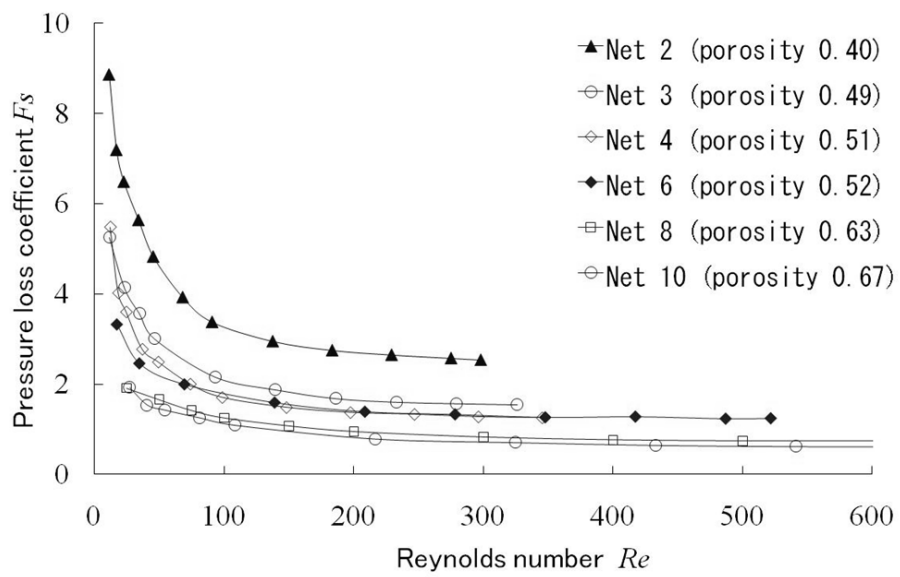


Fig. 2.4. Relationship between pressure F_s loss and Reynolds number Re .

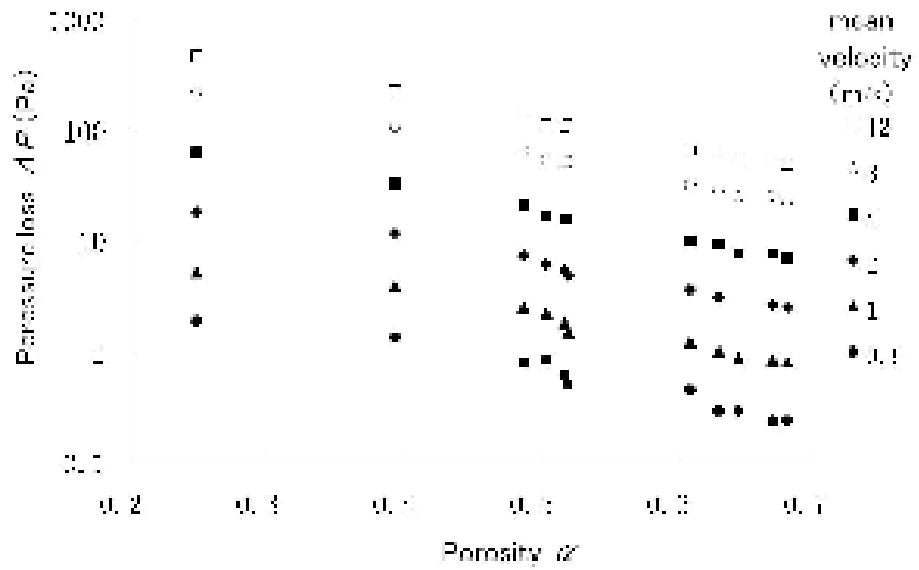


Fig. 2.5. Relationship between pressure loss and porosity.

$$\Delta P_{(v=0.5m/s)} = 3.88 \alpha^2 - 7.74 \alpha + 3.68 (R^2 = 0.972^{**}) \quad (3)$$

$$\Delta P_{(v=1m/s)} = 1.00 \times 10 \alpha^2 - 2.06 \times 10 \alpha + 1.01 \times 10 (R^2 = 0.968^{**}) \quad (4)$$

$$\Delta P_{(v=2m/s)} = 6.19 \times 10 \alpha^2 - 9.64 \times 10 \alpha + 3.94 \times 10 (R^2 = 0.988^{**}) \quad (5)$$

$$\Delta P_{(v=4m/s)} = 2.85 \times 10^2 \alpha^2 - 3.98 \times 10^2 \alpha + 1.47 \times 10^2 (R^2 = 0.998^{**}) \quad (6)$$

$$\Delta P_{(v=8m/s)} = 1.11 \times 10^3 \alpha^2 - 1.50 \times 10^3 \alpha + 5.33 \times 10^2 (R^2 = 0.999^{**}) \quad (7)$$

$$\Delta P_{(v=12m/s)} = 2.33 \times 10^3 \alpha^2 - 3.14 \times 10^3 \alpha + 1.12 \times 10^3 (R^2 = 0.999^{**}) \quad (8)$$

ここで、 ΔP は圧力損失(Pa)、 α は開口比、 R^2 は決定係数、 ** は相関係数が有意水準1%で有意であることを示す。以上より、南西諸島で利用されている網と糸径、間隙の長さ、アスペクト比などの諸元が類似した網の通気性を比較する場合には、開口比を用いるのが適当である。

2.5 結び

本研究では、南西諸島で利用されている網を中心とした糸径0.17~0.29mm、開口比0.25~0.68の範囲にある11種類の網の通気特性を評価し、以下の知見を得た。

- 1) 網の圧力損失は開口比が小さい網ほど増大する傾向にあった。
- 2) 網目の間隙の長さが類似しても、開口比が減少すると網の圧力損失が増加した。例えば、開口比が0.82倍になると、圧力損失は1.6倍になった。
- 3) 風速ごとの圧力損失は開口比の二次関数として示すことができた。従って、糸径やアスペクト比などの諸元が供試網と類似した網については、その通気性を比較する際、開口比を用いて検討できることが示された。

第3章 南西諸島の園芸施設における台風被害の態様

3.1 はじめに

2章で紹介した網を被覆した施設は全面において通風性を有することから、施設に対する風荷重をフィルム被覆の状態よりも軽減でき、結果的に台風被害も抑制できると考えられている。しかし、近年は、大型台風の来襲に伴い、園芸施設においては種類を問わず、多くの倒壊事例が確認されたことから、大型台風来襲に備えた台風対策の整備が重視されている。

台風0314(2003年9月)(マエミー)の来襲では宮古空港管制塔の天井が落下し、管制機能が停止する一方、電気、水道、電話などのライフラインも各地で寸断された。農業施設においても、最大瞬間風速60m/sの風荷重に耐えるといわれる大型園芸施設が多数倒壊し、撤去・建てなおしを余儀なくされた。宮古島における農業関連の被害額は41億円に上った⁴⁶⁾。

本章では、営農現場に提案できる具体的な台風対策手法の確立を目的に、台風0314の来襲において被災した園芸施設の施設構造を中心に調査した結果を述べる。また、被災したネット式鋼管施設と角形鋼管プラスチックハウスの変形状況から、同様な被災状況が生じると考えられる風荷重を算定し、今後の台風対策を検討する際に必要となる既存施設の構造上の問題点と補強の必要性について述べる。

3.2 調査の概要

3.2.1 気象概況

2003年9月6日15時にマリアナ諸島近海で発生した台風0314(2003年9月)は、発達しながら北西に進み、10日21時には、宮古島の南東海上で、中心付近の最大風速が55m/sとなった。台風は10km/hの速さで北西に進み、11日5時前に宮古島を通過した。台風はその後9km/h以下の速さで北西に進んだ後、向きを北に変え、久米島の西海上を北上した。宮古島地方は、10日17時頃から11日17時頃にかけて約24時間暴風域に入り、宮古島では11日3時に北の風最大風速38.4m/s、11日3時12分に北の風最大瞬間風速74.1m/s、11日4時12分に最低気圧912hPa(沖縄県内で歴代2位、全国歴代4位)を観測した。また、11日6時の1時間降水量は54mmを観測し、9日0時から12日15時までの総降水量は465mmに達した。11日の日降水量285mmは宮古島の9月の極値を更新した⁴⁷⁾。

宮古島はこれまでも大型で強い台風が来襲している。台風6618は1966年に日本の気象観測史上第1位である最大瞬間風速85.3m/sを記録し、史上第3位の最大瞬間風速を記録した台風3414、5位の台風6816も宮古島を襲った。なお、台風0314(2003年9月)の最大瞬間風速は全国歴代7位の記録である。

3.2.2 宮古島の概況

宮古群島は北東から南西へ伸びる琉球弧のほぼ中間にあつて、北緯24度から25度、東経125度から126度の範囲に位置し、沖縄本島から南西方向に303km、八重山群島石垣島からは東北東方向に133kmの距離にある。宮古島の面積は1656.16km²、全体が平坦で低い台地状の島である。耕地面積割合は非常に高く総面積の54%を占める(県平均値17.7%)。年平均気温23.3℃、年間降水量が2019mmである⁴⁸⁾。

3.2.3 調査箇所

国や県の補助事業を利用して施工された施設群を中心に、宮古島内ほぼ全域において被害調査を行った。調査地点の位置や高度の測量にはGPS（GARMIN社製eTrex Summit）を用いた。被災施設や防風柵などの立地条件（高さ、距離、勾配など）については、トータルステーション（SOKKIA社製SET5WS）を用いて測量を行った。さらに、台風来襲時における施設の状況についても聞き取り調査を実施した。

現地調査を行った施設はH形鋼ハウス4事例、角形鋼管ハウス9事例、ネット式鋼管施設2事例、丸形鋼管や角形鋼管で構成した箱形の躯体を網で全面被覆し、平張施設1事例の計16事例である。調査地点をFig.3.1に示す。

3.3 調査結果

全調査地点において、施設の北もしくは北東側を向く面に強い風を受けて被災した状況が確認できた。台風0314(2003年9月)の風向は宮古島への接近に伴い、北東から北、そして北西へと変化し、さらに、台風の目が宮古島を通過した後は南南西となった。つまり、台風上陸以前にほとんどの施設が被災していたと考えられる。なお、11日3時12分に観測した最大瞬間風速74.1m/sの風向は北東であった。以下、Fig.3.1に示す16箇所の被災地のうち、特徴的な被災事例である5事例について説明する。調査事例の番号はFig.3.1内の観測点の番号と対応している。

3.3.1 観測点1：施設肩部並びに基礎が損壊し、山形フレームが折れたH形鋼ハウス

(1)生産団地の概況

生産団地の概況をFig.3.2に示す。周囲の道路よりも1m程度低い位置に2連棟のH形鋼ハウス（間口24.0m、軒高3.5m、棟高6.5m、桁行42.0m、山形フレームの寸法LH-200×100×3.2×4.5mm、桁行の柱間隔3.0m）7棟が立地していた。ハウスは全面を厚さ0.15mmの農業用ポリオレフィン系フィルム（以下、農PO系フィルムという）で被覆していた。桁行方向は西北西－東南東であった。被災したハウスDは生産団地内の北東側に位置しており、施設群の北側および東側は裸地であった。基礎には独立フーチング基礎を用いており、フーチング部寸法は80（縦）×80（横）×35（高さ）cm、立ち上がり部は25×25×50cmであった。埋込み深さは60cmであった。屋根面と側面にはφ8.75mm鉄筋のブレースを設置していた。

(2)被害状況

Fig.3.3に示すように、ハウスDの北側側面が間口方向に向かって倒れ、屋根面が陥没していた。両端の妻面は施設内側に向けて倒伏していた。合掌から北側側柱へ伸びる大梁は折れ曲がり、側柱も施設内側に向かって傾斜していた。また、胴縁や母屋などの部材も変形していた。

本ハウスには、ベースプレートを通じて支柱とコンクリート基礎をアンカーボルトで固定した露出型柱脚が用いられていた。特に被害が大きかった北側側柱の基礎では、ベースプレートの変形、コンクリートの裂壊が確認できた。

修復現場の作業員の話では、フレームの合掌部、陸梁と側柱（中柱）の接合部分、屋根フレーム間のボルト接合部分において、ボルトの破断や抜け落ちが確認できたとのことである。

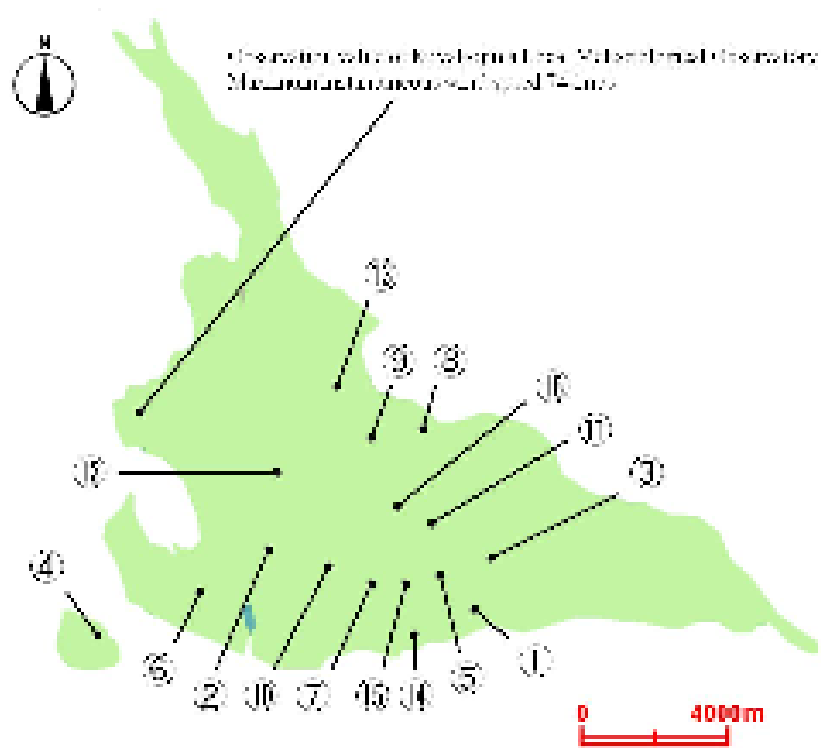


Fig. 3.1. Observation site.

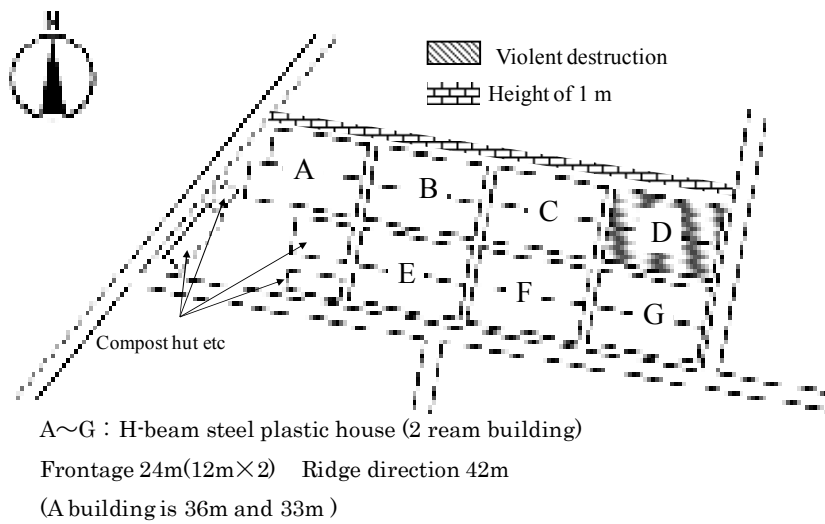


Fig. 3.2. Overview of the observation site No.1.



Fig. 3.3. Broken girder causing collapse of the roof of H beam steel plastic house.

3.3.2 観測点7：布基礎、独立基礎共に亀裂が生じた角形鋼管ハウス

(1)生産団地の概況

3連棟の角形鋼管ハウス（間口24.0m, 軒高2.3m, 棟高4.5m, 桁行33.0m, アーチフレームの寸法 $75 \times 50 \times 2.3\text{mm}$, 桁行方向の柱間隔3.0m）6棟が立地していた生産団地を調査した。概況をFig.3.4に示す。ハウス群は周囲よりも1m程度高い台地の上に立地していた。台風来襲時には網目間隔0.1mmの網で全面を被覆していた。ハウス桁行方向は東北東－西南西であり、ハウス群の周囲にはサトウキビ畑が存在した。サトウキビは倒伏した状態にあり、草丈は1.5m程度であった。柱と梁は添板を介して $\phi 8\text{mm}$ のボルトで接合していた。添板には幅75mm, 長さ180mm, 厚さ4.5mmの鉄板を用いており、長さ85mm分を梁に溶接したものである。妻柱の基礎は現場流し込みコンクリートによる布基礎であり、寸法は幅30cm, 深さ60cmであった。なお、布基礎は無筋コンクリートで構成されていた。ハウス側柱並びに中柱の基礎には、露出型柱脚による独立フーチング基礎が用いられており、フーチング部が80（縦） \times 80（横） \times 15（高さ）cm, 立ち上がり部が16 \times 16 \times 60cmであった。基礎の埋込み深さは60cmであった。なお、屋根と側面には $\phi 8.75\text{mm}$ 鉄筋のブレースを設置していた。

(2)被害状況

角形鋼管ハウスCの南南東側にある側柱が間口方向（南南東方向）に 7° 傾斜していた。施設群の北東側に位置する角形鋼管ハウスA, B, Cでは、Fig.3.5(a)に示すように、北東側妻面の布基礎において、妻柱と接触しているコンクリートに亀裂が生じていた。また、Fig.3.5(b)のように、ブレース構面の中柱に用いられている独立基礎が破砕し、柱脚のベースプレートと基礎コンクリートを繋ぐアンカーボルトは支持力を失った状態にあった。梁と側柱を接合している部分、また、間口方向の柱間に配置された水平梁のたわみを抑えるために、屋根部のアーチ材水平梁間に設置された束の接合部分には、添板を介して $\phi 8\text{mm}$ ボルトにより接合されていた。しかし、これらのボルトにはゆるみが見られ、ボルトの破断や抜け落ちている状況も多数確認できた。ボルトにはワッシャーなどのゆるみ防止用の資材は取り付けられていなかった。コンクリート基礎の破壊やボルトのゆるみは本施設群以外でも確認できた。

3.3.3 観測点8：地形の影響を受けて、被災規模に違いが生じた生産団地

(1)生産団地の概況

施工後1年が経過した2連棟の角形鋼管ハウス8棟を調査した。団地の概況をFig.3.6に示す。桁行方向は東北東－西南西であった。ハウス群の北側には高さ10m程度の丘陵地、東から南側にかけては防風林帯、北東側は裸地が広がっていた。なお、ハウス形状は観測点7のハウスと同型であったが、本ハウス群は厚さ0.1mmの農サクビで全面を被覆されていた。妻面の基礎には現場流し込みコンクリートによる布基礎を、中柱と側柱の基礎には露出型柱脚を用いていた。基礎の寸法はフーチング部80（縦） \times 80（横） \times 15（高さ）cm, 立ち上がり部16 \times 16 \times 60cmであった。基礎の埋込み深さは60cmであった。

(2)被害状況

全8棟の内、4棟が全壊、3棟が傾斜などの被害を受けた。本被災事例においては観測点1および観

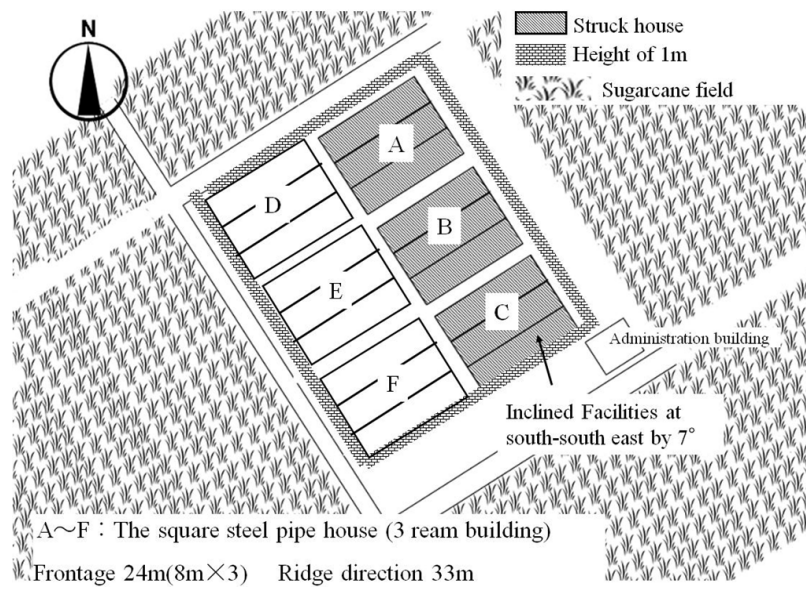
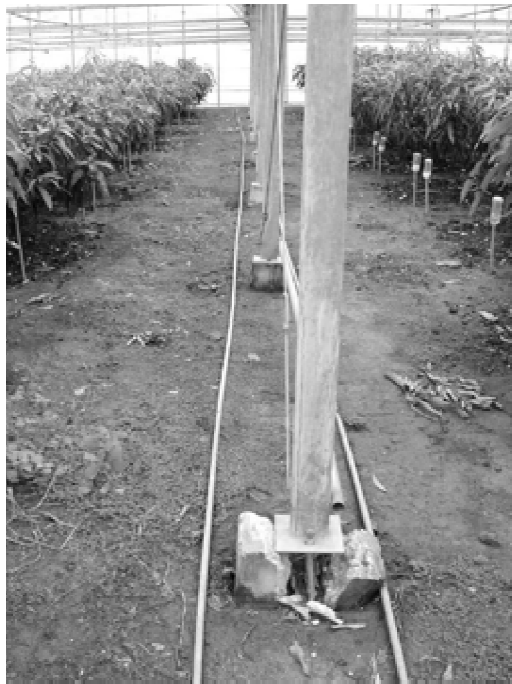


Fig. 3.4. Overview of the observation site No.7.



(a)



(b)

Fig. 3.5. Mode of collapse of continuous base on gable end (a), Mode of collapse individual base used for middle pillar in square steel plastic house (b).

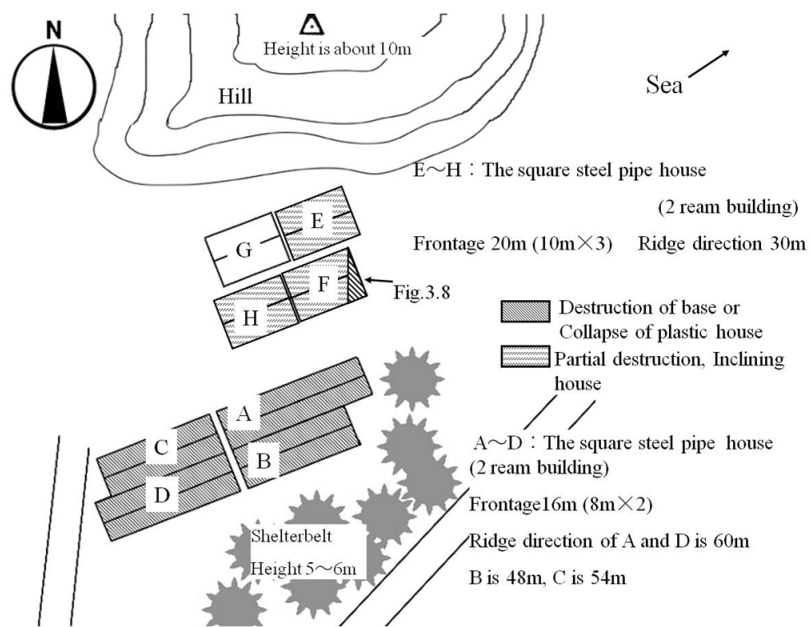


Fig. 3.6. Overview of the observation site No.8.

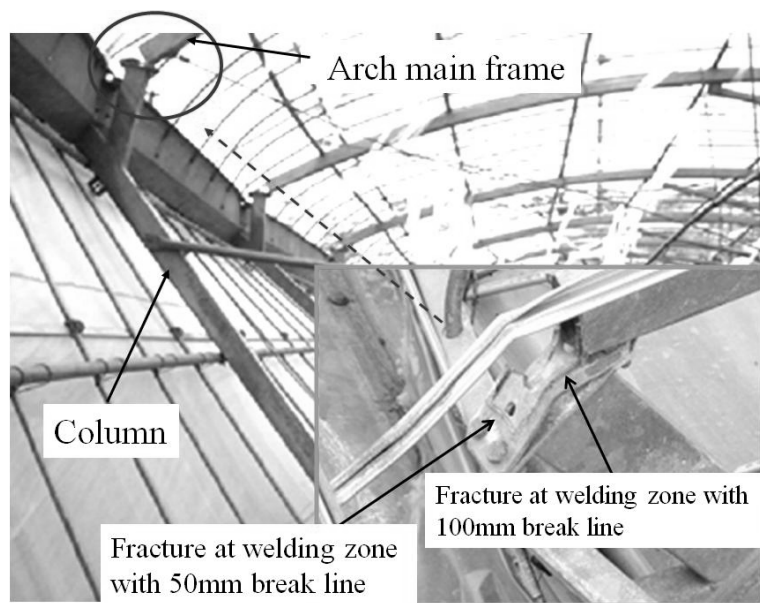


Fig. 3.7. The welding joint breaking.

測点7で生じていた被害も確認されたが、他の観測点では認められなかった特徴として、Fig.3.7に示すように、地形の影響による被災規模の違いと溶接部の破断が確認できた。倒壊したハウスA～Dの被災状況は観測点7の被害状況で紹介したような基礎破壊に加え、Fig.3.8に示すように、コンクリート基礎と柱を繋ぐ板厚4.5mmのベースプレートの縁あきが破断した事例も確認された。ハウス妻面は桁行方向（西南西方向）に向かって傾斜していた。また、ハウス中央から南西側のフレームは間口方向（南南東方向）にも倒れ、側面は45°以上の角度で傾斜していた。一方、ハウスA～Dよりも丘陵地に近いハウスE、F、Hは、ハウスの傾斜、部材の折れなどの被害に留まり、ハウスGにはほとんど被害が見られなかった。このような施設の被害状況の格差は、施設群の北側に位置し、高さ10m程度、東西間の距離200m以上の丘陵地が、本台風来襲において最も風速が増大した北東側からの風を遮り、施設群周辺の風環境にも影響を与えたために生じたと考えられた。丘陵地が北東側の風を遮ったと考えた場合、施設群の倒壊に影響を及ぼした風は、施設群の東北東側に位置し、丘陵地と防風林帯間にある裸地側から流れてきたと推測できた。施設の桁行方向は東北東－西南西であったため、東北東側に位置する施設の妻面は、裸地側から流れてきた風をまともに受ける状態にあった。そこで、東北東側の妻面の被害状況について整理した結果、Fig.3.9に示すように、最も丘陵地に近いハウスEの妻面は、ほとんど傾斜していなかったのに対し、ハウスEの南側に位置するハウスFの妻面では、丘陵地側の面よりもハウスA～D側に近い面が桁行方向に大きく傾斜していた。そして、丘陵地から50m以上離れた位置にあるハウスA～Dの妻面は倒壊していた。この結果から、本施設群は東北東から流れてきた強風を受けて倒壊したと考えられ、施設群周囲の風速は丘陵地の影響を受け、丘陵地から遠ざかるにつれて増大したことが推測できた。なお、特徴的な被災箇所である溶接部の破断については、溶接部が施設の強度を確保する上で極めて重要な部位であることから、考察で検討することとした。

3.3.4 観測点9：妻面より6m範囲のフレームが損傷し、強度のある妻面が桁行方向へ後退した2連棟ハウス

(1)生産団地の概況

2連棟の角形鋼管ハウス4棟が立地している生産団地を調査した。生産団地の概況をFig.3.10に示す。桁行方向は北北西－南南東であった。ハウス群の北北西には裸地が広がり、北北西側妻面の1m手前には、高さ2m程度のイヌマキが1m間隔で植栽されていた。施設形状は観測点7と同型であった。ハウスは妻面を厚さ0.1mmの農サクビで被覆しており、側面と屋根面のフィルムは巻き上げられ、網目間隔0.1mmの網で被覆されている状況にあった。基礎は露出型柱脚を用いており、寸法はフーチング部60（縦）×60（横）×20（高さ）cm、立ち上がり部20×20×40cmであった。基礎の埋込み深さは60cmであった。

(2)被害状況

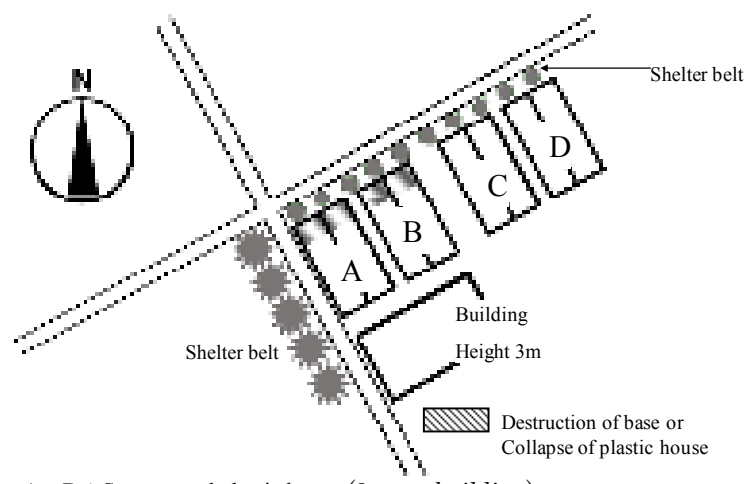
2連棟ハウスAとBの北北西側妻面の被害箇所をFig.3.10の斜線で示す。Fig.3.11に示すように、ハウス群の西側にある面から桁行方向6mの範囲のフレームが損傷し、強度のある妻面が妻柱を支える独立基礎と共に桁行方向へ後退していた。一方、妻面から桁行方向6mまでの範囲よりも奥側においては骨材への被害は軽微であった。また、被災した施設の所有者によると、被災を回避できた



Fig. 3.8. Mode of collapse of base plate in pillar.



Fig. 3.9. Inclined gable end of house F (2 ream building).



A~D : Square steel plastic house (2 ream building)

Frontage 24m(12m×2) Ridge direction 40m

Fig. 3.10. Overview of the observation site No.9.

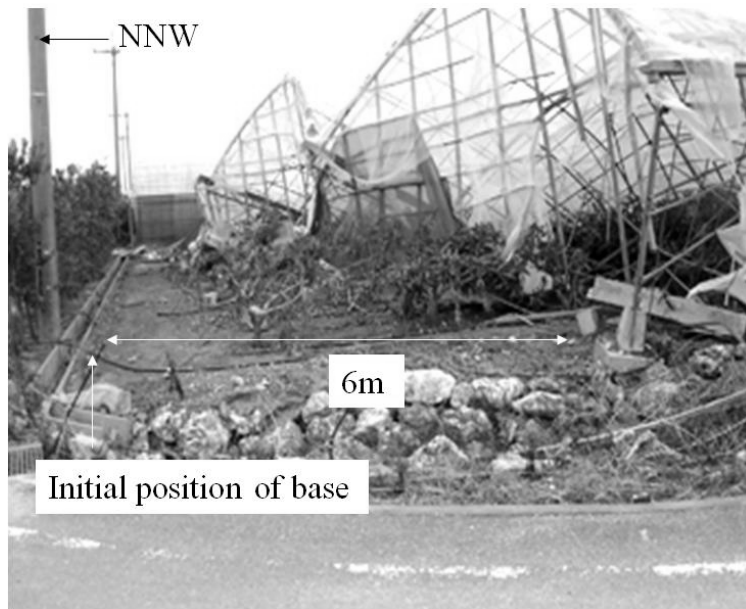


Fig. 3.11. Moved gable end (Moved distance is 6m).

ハウスC、Dと被災したハウスに構造的相違はないとのことであった。現在、生産者は妻面より6mまでの資材を撤去し、残った施設を利用して営農を継続している。

3.3.5 観測点14：角形鋼管ハウスなどの大型ハウスに比べて、被害が小さかったネット式鋼管施設 (1)生産団地の概況

2連棟のネット式鋼管施設(間口12.0m, 軒高1.8m, 棟高3.2m, 柱間隔1.2m, 山形フレームの寸法 $\phi 42.7 \times 2.3$ mm, 桁行の柱間隔1.2m) 6棟が立地していた生産団地を調査した。生産団地の概況をFig.3.12に示す。桁行方向は東北東-西南西であった。施設群の南南東と西南西側には草丈1.5m程度のサトウキビ畑が存在し、その他は裸地であった。施設の側面と屋根面は1mm目合いの網、妻面には厚さ0.1mmの農サクビが展張されていた。Fig.3.13に示すように、基礎には $\phi 48.6 \times 2.3$ (厚さ) mmの一般構造用炭素鋼鋼管に鉄製のフィンとプレートを溶接した基礎を利用していた。プレートのサイズ150 (縦) \times 150 (横) \times 4 (厚さ) mm, フィンのサイズ50 (幅) \times 500 (高さ) \times 4 (厚さ) mm, 埋込み深さは60cmであった。また、妻面に生じる風圧に耐えるため、補強材として $\phi 42.7$ mm \times 2.3 (厚さ) mm, 長さ4m程度の鋼管を妻面フレームの軒と桁行方向3.6mに位置する側柱の地際部にクランプを用いて固定し、つかえ棒として設置していた。なお、本施設には角形鋼管ハウスなどに用いられているブレース材は設置されていなかった。この補強材の効果については考察で検討する。

(2)被害状況

被害の大きかった場所をFig.3.12の斜線で示す。Fig.3.14のように、東北東向きにある妻面の基礎が地中より引抜けていた。破壊した妻面から桁行方向8mにおいては、梁や山形フレーム、母屋、胴縁が折れ曲がり、修復不可能な状態にまで破壊されていた。一方、桁行方向8m以上においては、桁行方向(西南西)に傾斜していたが、部材の損傷は小さかった。

3.4 考察

被害調査結果によると、近年の沖縄県の台風被害調査では報告されていない接合ボルトの破断やコンクリート基礎の裂壊などが確認された。その中でも特に、観測点8に示すような角形鋼管ハウスの溶接部の破断、観測点14の基礎の引抜けは施設の強度を確保する上で極めて重要な部位の破壊であることから、今後の台風対策を検討するためにも強度の定量が必要である。しかも、両施設とも広く普及していることから対策は急務である。そこで、観測点8と14のような被災状況が生じると考えられる風荷重について解析し、既存施設の弱点と補強の必要性について考察した。

3.4.1 ネット式鋼管施設の耐風速について

(1)倒壊要因

ネット式鋼管施設は、山形フレームに $\phi 42.7 \times 2.3$ (厚さ) mmの丸形鋼管を用いた簡易な園芸施設であり、2003年までに宮古島内17カ所(129棟)に設置されている。本施設は2000年から試験導入が始まったが、妻面を支える補強材が設置されていなかったため、桁行方向に傾斜する被害が多数確認された。そのため、2001年以降は補強材を施設側面に設置して本格導入を図った。その結果、台風0314(2003年9月)が来襲するまで、大きな被害は生じなかった。しかし、今回の台風で被災した

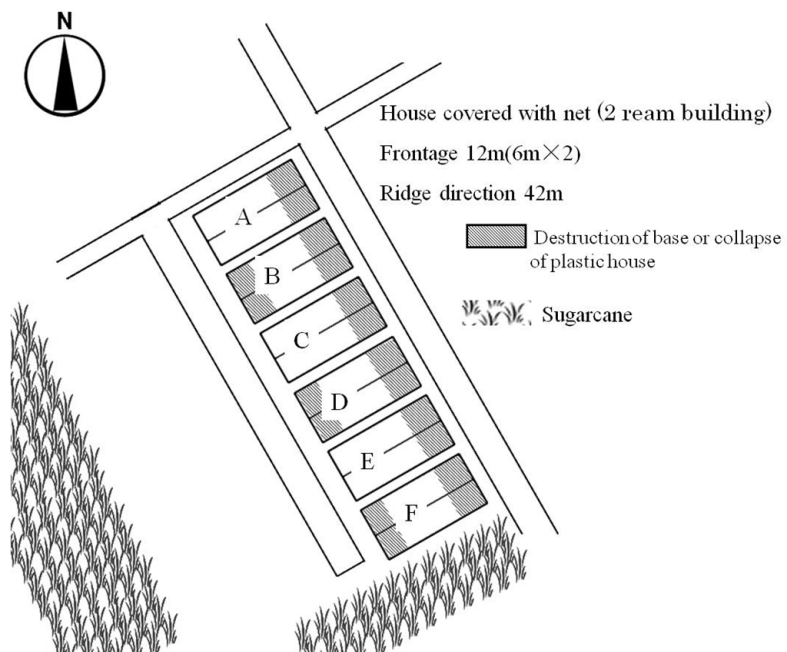


Fig. 3.12. Overview of the observation site No.14.

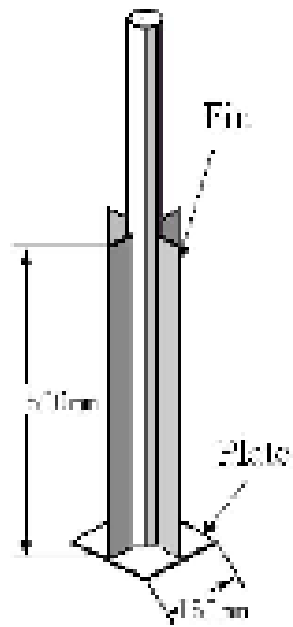


Fig. 3.13. Base of greenhouse with fin and plate.



Fig. 3.14. Mode of collapse of greenhouse covered with net.

ネット式鋼管施設では、妻面の基礎の引抜け、妻面から桁行8mまでは梁や山形フレームの折損が生じており、これまでの台風被害で見られた妻面が桁行方向へ傾斜するような被害状況とは明らかに異なった。補強材が設置されている状況で桁行方向へ風が吹いた場合、この補強材が耐力決定要因になることは明らかであるが、今後、施設の台風対策に関する手法を検討するためには、被災した要因を特定し、被災する可能性のある風速についても把握する必要がある。そこで、本施設の骨組み構造に関して有限要素法解析を行い、許容応力度を用いて被災状況と同様な破壊が生じる可能性のある風速を求めた。また、補強材が設置された場合の耐風性向上の効果についても検証した。

(2) 補強材の有無による倒壊プロセスの違いについて

1) 解析条件

Fig.3.15に示すようなモデルを作成し、風速20, 30, 40, 50m/sに相当する風荷重が妻面に対して垂直に生じた場合の桁行方向への妻柱の変位、軸力、曲げモーメントを静的解析により求めた。解析方法は有限要素法解析ソフトウェア「FEMAP7.1+NASTRAN」を使用した弾性解析である。基礎、側面の胴縁と側柱の接合部はピン支持とした。山形フレームには、実際の施設と同様にφ42.7×2.3mmの丸形鋼管が使用されていると仮定した。また、被覆資材の強度は考慮していない。なお、風圧力は以下の式より導いた⁴⁹⁾。

$$P=0.016V^2h^{1/2} \times C \times A$$

P ：風圧力 (kg)

V ：耐風速 (設計用風速) (m/s)

h ：構造物体各部の地表面からの高さ (m)

C ：風力係数 (妻面1.2, 屋根面0.5)

A ：みつけ面積 (m²)

2) 補強材がない場合の施設妻面の変位

補強材がない状態における本施設の過去の被害状況では、鋼材などが折れ曲がるなどの被害はほとんど見られなかったが、妻面が桁行方向に傾斜する被害が多く確認された。Fig.3.15に示すモデルの妻面が風を受けて桁行方向へ傾斜した場合、Fig.3.16に示すように、風速毎における妻面の側柱柱頭の変位は速度の二乗に比例し、風速20m/sで260mm、風速30m/sで582mm、風速40m/sでは1034mm、さらに風速50m/sでは1558mmとなった。すなわち、補強材がない場合では風速の増大に伴い、妻面の傾斜角が増大し、やがて倒伏すると考えられる。

3) 補強材がある場合の倒壊プロセス

補強材がある場合の風速50m/sにおける側柱柱頭の変位は5.1mmであり、施設に大きな変位が生じないことが確認できた一方、補強材と基礎に対しては軸力、妻柱中央には曲げモーメントが集中した。そして、Table.3.1に示すように、これらの値は風速の増大とともに増加した。本台風における妻面破壊では、補強材と側柱を接合するために用いたクランプの破壊や補強材がクランプから外れるような被害は確認されなかった。つまり、補強材の強度に問題はなかったことから、以下では妻柱中央に生じる曲げモーメントと妻面フレームの基礎の引抜き力に着目して検討する。

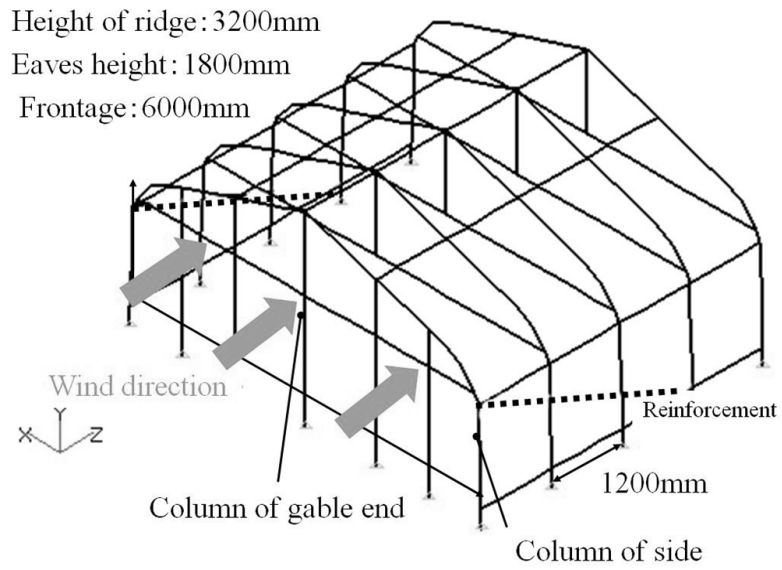


Fig. 3.15. Analytical model.

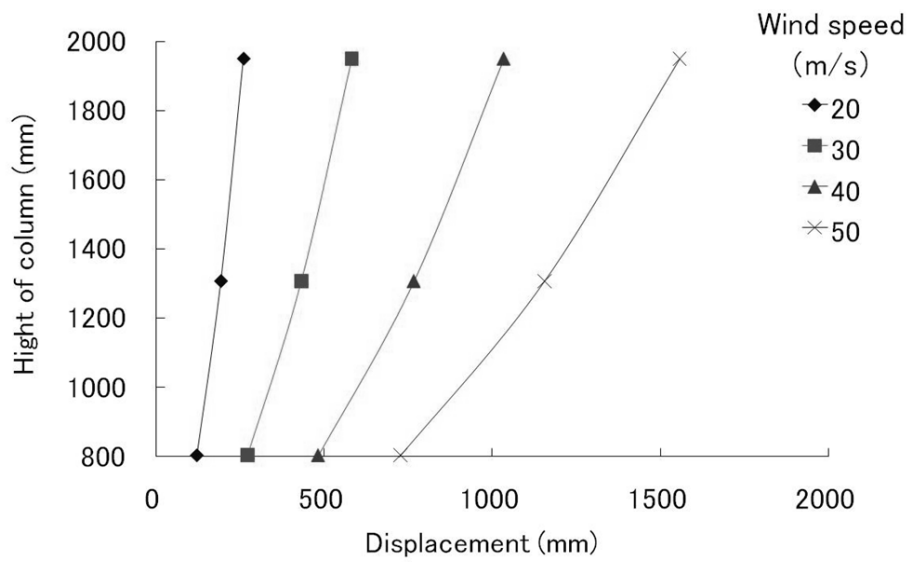


Fig. 3.16. Displacement of side column with wind loading on gable end.

Table 3.1 Tension force to base and maximum bending moment of column at center on gable end.

Wind speed	Maximum bend moment of column at center on gable end	Tension force to base
m/s	kN·m	kN
20	0.09	0.21
30	0.19	0.60
40	0.35	1.15
50	0.52	1.78

今回の被害のように、基礎が完全に引抜けた状況では、基礎には少なくとも終局限界状態相当の引抜き力が生じたことが考えられる。基礎または杭の終局限界状態とは、杭の浮きあがりによって建築物が転倒しない、または建築物の変形によって上部構造が破壊しない基礎引抜き抵抗力の限界値のことを指し、一般的には引抜き荷重と変位の関係曲線から求まる残留引抜き抵抗力を用いる。しかし、粘性土などでは最大引抜き抵抗力を得た後に、抵抗力が急激に低下する場合も多く見られる。このような場合には、終局限界状態に最大引抜き抵抗力を1.2で除した値を採用している⁵⁰⁾。

Fig.3.13に示す基礎を地中深さ60cmに埋設した場合の沖縄土壌（ジャーガル）の飽和状態における引抜き荷重と変位の関係曲線を求めた結果、最大引抜き抵抗力は1.83kNであった⁵¹⁾。そこで、本基礎の終局限界状態に相当する強度は、最大引抜き抵抗力1.83kNを1.2で除した1.53kNと設定し、これをもとに1.53kN以上の基礎引抜き力が生じる風荷重と風速について検討した。強度計算結果では、妻柱に生じる引抜き力の大部分を側柱の基礎が負担していたことから、側柱の基礎を対象に本施設妻面に風荷重が作用した場合に生じる引抜き力を算出した。その結果をTable.3.1に示す。風速と引抜き力の近似式から引抜き力1.53kNが得られる風速は46.4m/sと算出された。一方、本施設の倒壊要因の一つとして考えられた妻柱の破壊について算定した結果、妻柱の曲げモーメントの許容限界値は0.66kN・mであった。そこで、限界値以上の曲げモーメントが生じる風速について、風速と曲げモーメントの関係から近似した結果、風速55.6m/sで許容値を上回る結果が得られた。

以上より、本施設妻面の倒壊は、中央妻柱が折れる前に基礎が引抜けて生じた可能性が高い。また、基礎の引抜けは風速46.4m/s以上の風荷重を受けて生じたことが示唆された。

3.4.2 角形鋼管ハウスにおける柱—屋根部材接合部の破壊要因

本台風の被害調査では、角形鋼管ハウスのアーチフレームにおいて、側柱と屋根材の接合部にあるエンドプレートの溶接部が破断した事例が確認された（観測点8）。破断部はエンドプレートとアーチ材の長さ100mmの長辺部および長さ50mmの短辺部をすみ肉溶接によって接合した部分である。モデルをFig.3.17に示す。過去の園芸施設の台風被害事例において溶接部が破断したという事例報告は非常に少ないことから、観測点8の角形鋼管ハウスの倒壊要因を検討するため、破断した溶接部の強度に着目し、母材強度との比較を行った。また、溶接破断が生じると考えられる風速について解析し、溶接部の増強の必要性について考察した。溶接部の許容耐力は、建築基準法に示されているすみ肉溶接の許容耐力計算式を用いて検討し、溶接接合部の片方の短辺は回転軸、そして、もう片方の短辺で曲げモーメントに抵抗すると仮定した。つまり、短辺幅 w と回転軸からもう片方の短辺までの距離となる長辺幅 b をとった単純な曲げモーメントの計算から求めた⁵²⁾。材料は一般構造用鋼材であるSS400である。なお、すみ肉溶接の脚長 a はのど断面の斜辺 t を実測し、断面が二等辺三角形であると仮定して求めた。 t は6.5mmであった。溶接接合部の強度を f_s とした場合、長辺部の許容曲げモーメント M_s は以下の式より2.62kN・mとなった。

$$M_s = 1.4 \times a \times w \times b \times f_s$$

M_s ：すみ肉溶接の許容曲げモーメント (kN・cm)

f_s ：すみ肉溶接の許容応力度 8.13×10^4 (kN/m²)

b ：長辺幅 100 (mm)

w ：短辺幅 50 (mm)

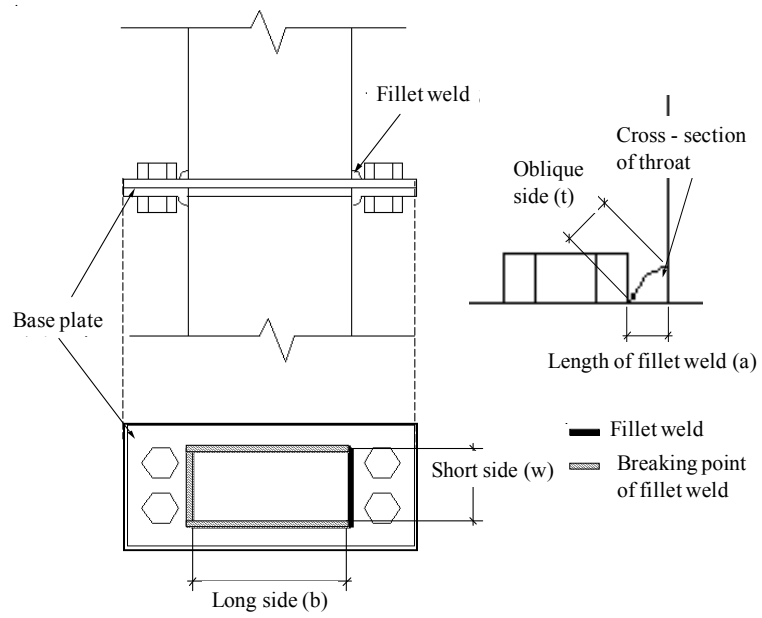


Fig. 3.17. Outline of fillet weld.

a : すみ肉溶接脚長 4.6 (mm)

また、破断した溶接部が鋼材で構成されていたと仮定した場合の許容曲げモーメント M は、鋼材の断面係数 Z に鋼材の短期許容応力度 ρ を乗ずることで求まる。フレームを構成する鋼材の断面係数 Z は $1.16 \times 10^{-5} \text{m}^3$ 、短期許容応力度 ρ は $23.52 \times 10^4 \text{kN/m}^2$ であることから、 M は $2.73 \text{kN}\cdot\text{m}$ を得た。その結果、溶接部の強度は母材と比べてやや低く、改善が必要であることが確認できた。

次に、溶接部の破断が生じると考えられる風速を算定した結果について述べる。本施設と類似した角形鋼管ハウスの耐風速は 40m/s 程度といわれていることから、溶接部には少なくとも風速 40m/s 相当の風荷重に耐えられる強度が求められる。

溶接部が破断した施設は、アーチフレームが間口方向へ倒れていた。そこで、Fig.3.18のような解析モデルを作成し、モデルの側面から風速20, 30, 40, 50 m/s に相当する荷重を段階的に与えて、風速と曲げモーメントの近似式から、溶接部の許容曲げモーメントである $2.62 \text{kN}\cdot\text{m}$ が得られる風速を求めた。解析モデルは基礎部をピン支持とした。間口方向の柱頭間に設置されていた水平梁には圧縮力が生じたが、被災した施設の水平梁は圧縮力に耐えられるような接合がなされていなかったため、圧縮力が生じた屋根ブレースと共に解析モデルから除いた。なお、桁行方向の柱間に設置されている胴縁と柱は固定支持とした。水平梁は実物においても折れ曲がっていたことを被害調査で確認している。風圧力の算出には日本施設園芸協会の算出式を用いた⁴⁹⁾。解析の結果、施設に生じる最大曲げモーメントは、アーチ材と側柱が繋がる施設肩部に生じていた。溶接部は施設肩部から間口方向に 30cm 程度の距離に位置し、非常に接近していたことから、溶接部には最大曲げモーメントと同等の負荷が生じると仮定した。

解析結果をTable.3.2に示す。各風荷重に対する曲げモーメントは風速の二乗に比例し、肩部に最大曲げモーメント $2.62 \text{kN}\cdot\text{m}$ が生じる時の風速は 37.5m/s と算出された。一方、施設肩部が母材で構成された場合の限界風速は 38.2m/s であった。以上より、このハウスに風速 37.5m/s 以上の風荷重が生じた場合には、溶接部の破壊が要因で倒壊する可能性があることが確認できた。また、増強を図るためには、溶接部の改良が必要となるが、施設肩部に位置する骨材の補強にも配慮する必要があることが確認できた。なお、せん断力に対しては、溶接部は風速 60m/s の風荷重にも対応できる結果を得た。

3.5 結び

台風0314の来襲では、宮古島への接近に伴う北もしくは北東方向の風により、多くの園芸施設が倒壊した。被災調査の結果、コンクリート基礎の裂壊、部材接合部に利用している $\phi 8 \text{mm}$ のボルトの破断や抜け落ち、溶接部の破断など、近年の沖縄県の園芸施設に関する台風被害報告にはない特徴的な被害事例が見られた。そこで、本台風の被災事例のうち、沖縄県内で広く普及し、今後も利用拡大が想定されるネット式鋼管施設と角形鋼管ハウスの被災要因について解析を行った。ネット式鋼管施設の被災状況は、妻面の基礎が引抜け、妻面から桁行方向 8m までは部材の破壊が著しく、再利用不可能な状況となっていた。本施設妻面に風荷重が生じたと仮定して破壊強度と倒壊要因の検証を行った結果、負荷は妻面側柱の基礎と妻面中央の妻柱に集中するが、妻柱よりも先に基礎の方が引抜けて破壊すると考えられた。また、基礎の引抜けは風速 46.4m/s 以上で生じる可能性が高いと考えられた。

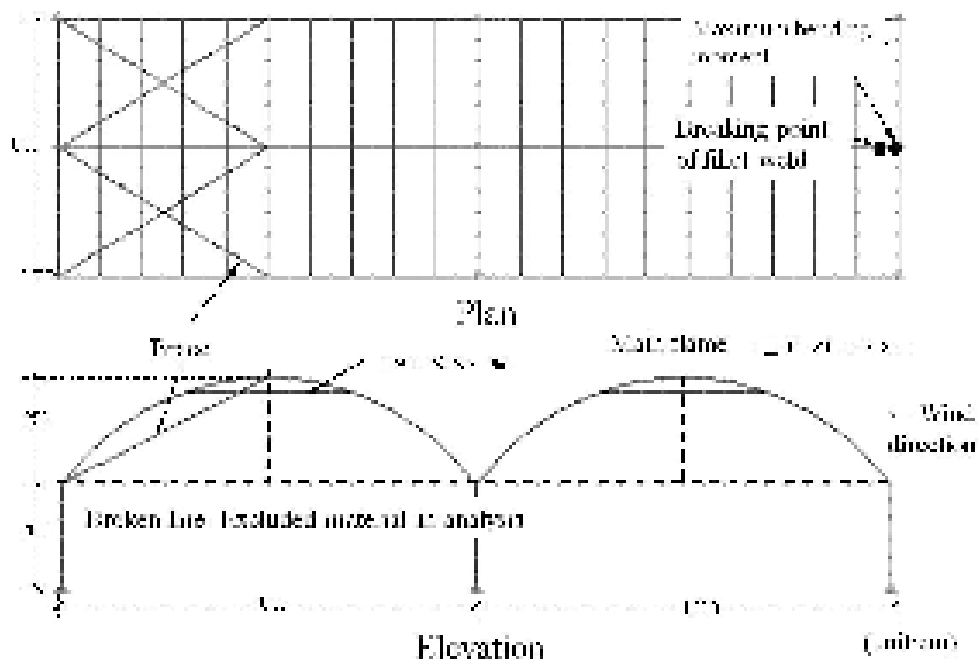


Fig. 3.18. Analytical model.

Table 3.2 Maximum bending moment to fillet weld of each wind speed.

Wind speed (m/s)	20	30	40	50	60
Maximum bending moment (kN·m)	0.42	1.50	3.09	5.07	7.51

一方、角形鋼管ハウスにおいては、これまでの沖縄県の被災事例では確認されなかった溶接部の破断が確認できた。破断は、アーチフレームの屋根材と側柱を接合している施設肩部のエンドプレートすみ肉溶接部で生じた。解析対象とした被災施設が間口方向に倒壊していたことから、数値解析モデルにおいても、施設側面から荷重を与えて解析を行った。その結果、破壊した溶接部の強度は母材強度よりもやや低い値を得た。さらに、溶接部の破壊は、風速37.5m/s以上の風荷重が生じた場合に生じる可能性が示唆された。その結果、解析対象と同型のハウスを増強するには、溶接部の強化にも配慮した改良が必要となることが確認できた。

以上より、沖縄県で利用されている園芸施設の構造上の問題点が明確になり、強い台風に備えた対応策を検討するための資料として整理できた。

第4章 耐風性に優れた低コスト型園芸施設の開発

4.1 はじめに

本章では、既存の園芸施設よりも耐風性に優れた2種類の園芸施設を開発した。一つは農業従事者の農業所得を考慮して開発した小型園芸施設である。第1章において、普及範囲が拡大している網被覆型施設の課題として、網を通過して施設内へ侵入する風雨が、ゴーヤーなどの生産物の商品化率を2割から3割程度低下させることを述べた。そのため、園芸施設には耐風性とともにも台風来襲時にも風雨の侵入を抑制する機能が求められている。さらに近年の園芸施設には台風対策のみならず、施設価格の低減が熱望されている。第3章で述べたように台風来襲ではあらゆる種類の施設が倒壊したことから、耐風性に優れた園芸施設の開発は極めて早急に対応すべき課題であるが、農業従事者が施設の導入を検討する際、一般には耐風性以上に施設価格を優先する。従って、農業従事者のための園芸施設を開発する上では、まず施設価格を決定し、その範疇で可能な限り耐風性を向上させる取り組みをせざるを得ない。

一方、近年は食糧自給率の向上、または食の安全、安心の確保のため、国家をあげた取り組みが行われている。国内各地では中小企業のみならず、大企業までもが農業へ参入し、レタスやトマト栽培においては大型園芸施設を利用した生産体系が構築されている。この体系は植物工場と呼ばれ、国内では50カ所にのぼる（平成21年現在）。農業に参入した企業も一般の農家と同様に、園芸施設に対して高品質かつ多量生産が可能な生産環境を求めるが、一般の農家との違いは、施設環境の最適化に十分な投資を行えることである。南西諸島で大型園芸施設を利用する場合、懸念されることは耐風性である。台風0314(2003年9月)来襲時にH形鋼ハウスが倒壊したことは記憶に新しい（第3章参照）。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との兼ね合いを考慮した研究開発については、高市ら⁵³⁾⁵⁴⁾の超低コスト耐候性ハウスの開発に関する報告があるものの、最大瞬間風速60m/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ほとんど行われていない。そして、農家の収益性の向上、多品種な作物への栽培展開、さらに、近年の財政事情を考えると低価格で導入可能な大型園芸施設の研究・開発の必要性は高い。

最大瞬間風速70m/sの風荷重に耐えられる大型園芸施設に有効と考えられる施設構造として、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⁵⁵⁾。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。農業用大型ハウスに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。農業用大型ハウスに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ことから、本章では、コスト低減のために、新たな材料開発を実施した結果についても述べる。

4.2 耐風性に優れた小型園芸施設の開発

4.2.1 開発した小型施設の概要

開発する施設の価格目標は、沖縄県内のインゲンまたはゴーヤー栽培農家が使用しているパイプハウスと同額とし、3,000円/m²に設定した。また、耐風速の目標値は最大瞬間風速50m/sとした。

この値は既存の角形鋼管ハウスの耐風速である最大瞬間風速 40m/s よりも高い。近年来襲した台風
の最大瞬間風速は 70m/s 以上であるが、農業従事者が施設を購入する際の優先事項である価格面か
ら検討した場合、耐風速を 50m/s 以上に設定することは導入コストの上昇を招くために困難と考え
られた。従って、50m/s 以上の大型台風への対策は、二列型防風ネットなどの防風施設の利用を検
討することにした。防風施設の遮風効果については 5 章で述べる。

開発する施設は低価格化と耐風性を両立させるために、棟高を可能な限り低くして風荷重を低減
できるように設計した。ゴーヤー、キク、マンゴー栽培用の施設高さを調査した結果、最も低い施
設では棟高 2.0m の施設が確認された。そこで、沖縄県内の作物栽培の専門家の方々と相談し、生
産上支障のない施設高さとして、棟高は 2.8m、軒高は 1.8m に設定した。施設の施工を農業従事者
が独自で可能とするため、主骨材には、比較的調達しやすい建設現場の足場材（φ48.6×2.3mm）
を用いた。この資材は軽量であることから、大型機械や大型運搬車両を用いずに資材を販売元から
施工現場まで運搬できる。メインフレームの桁行方向の間隔は強度計算から逆算して求め、2.4m
とした。構造設計に際し準拠基準には、日本施設園芸協会の「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²³⁾。メインフレーム間にはφ22.0×1.6 パイプを 60cm 間隔で設
置した(Fig.4.1)。なお、4 名作業による建て込み時間を計測した結果、立地面積 144 m²において総所
要時間は 23.65 時間であった。また、目標価格の 3,000 円/m²で施工が可能であった（2001 年時点）。

強度計算の結果、施設側面に最大瞬間風速 50m/s の風荷重が生じた場合、メインフレームのみで
は倒壊することが示されたので、ワイヤーによる引張補強を提案した（Fig.4.2）。ワイヤーが作業
に支障を与える場合は、ワイヤー固定用に設置したターンバックルから取り外し、ワイヤーを巻き
上げる。基礎（Fig.3.13）の埋設深さは 70cm 以上とした。台風被害が多く見られる出入り口の破損
を防ぐため、門（かんぬき）を設置できるように設計した。台風来襲時にはフィルムの破損が懸念
されるが、フィルムの上から目合い 10cm の網で被覆することによりフィルムの破損を防止できる
（Fig.4.3）。

4.2.2 補強材にワイヤーを利用した理由

園芸施設の側面からの荷重に対する補強には方杖や鋼管を用いたつかえ棒が用いられる。つか
え棒は施設側面などの倒壊を防ぐ上で最も有効な補強方法である。しかし、この補強方法は背丈
の低い作物や施設内作業の頻度が少ない作型では十分に補強の効果を発揮できるが、ゴーヤー等
のように高い位置に網を配置し、施設内作業頻度が多い栽培体型においては、作業能率を低下させる
要因となる。他の補強方法として方杖があげられるが、方杖による補強の効果は、つかえ棒より
は低下する可能性が高い。そこで、ワイヤーを用いた補強方法を提案した。ワイヤーは脱着が容易
であることから、つかえ棒のように通常作業時の邪魔にはならない。

4.2.3 ワイヤーの効果について

(1)解析条件

補強効果の解析には、有限要素法解析ソフトウェア「FEMAP7.1+NASTRAN」を使用した。対
象施設の妻面並びに側面方向に風速 50m/s の風荷重を与え、軸力(kN)、曲げモーメント (kN・cm)、
変位量(mm)について検討した。解析条件として基礎部はピン固定とし、静解析とした。被覆資材の
強度は考慮しない。基礎引抜き耐力には 3.02kN とした。これは、乾燥した土壌条件下で引抜き試

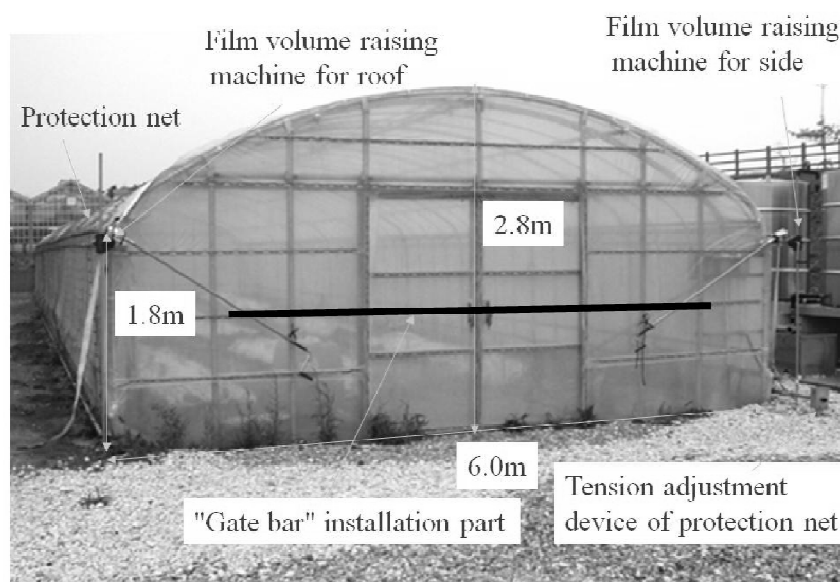


Fig. 4.1. Outline of developed greenhouse.

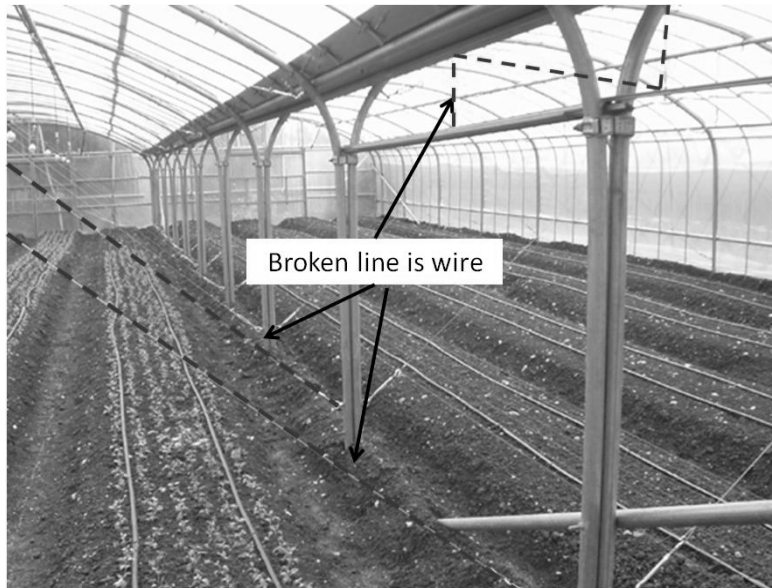


Fig. 4.2. Installation of wire.

]



Fig. 4.3. Installation of net for film protection.

験を実施した際の最大引抜き抵抗 3.62kN を安全率 1.2 で除した値である。

(2)解析結果

解析の結果、Fig.4.4 (上)に示すように、妻面に風速 50m/s の風圧力が生じた場合の最大曲げモーメント (0.69kN・m) は妻柱に生じたが、許容応力度から求めた許容曲げモーメントである 0.87kN・m 内に収まった。変位量も 2cm 未満であり変形制限である 3cm 以内であった。一方、Fig.4.4 (下)に示すように、軸力は基礎に対して引抜方向に最大 1.59kN が生じたが、許容制限値に当たる 3.02kN 以内であった。側面荷重に対する最大曲げモーメントはハウス肩部に生じたが、施設の屋根中央部から施設側柱の基礎にワイヤーで引張補強を施すことにより、施設の変位量、曲げモーメントともに制限内に収まった。ワイヤーには 2.33kN の引張力が生じた。施設内の作業性を考慮すると、ワイヤーの直径はできるだけ細いものが作業上望ましく、直径 3mm 程度が適当と考えられた。一般に販売されている直径 3mm のワイヤーの最大荷重は 7.11kN(生産企業提示値)であった。従って、本ワイヤーを使用することで解析結果の引張力の 2 倍以上を確保できることが示された。以上より、利用するワイヤーの直径は 3mm 程度とすることにした。

4.2.4 フィルム保護用ネットの効果

Fig.4.5(a)のように、開発した施設は換気のために屋根面と側面に張られているフィルムを人力で巻き上げることができるフルオープン方式を採用している。この方式によりハウス内の温度は夏場においても外気温と同等近くにまで低下させることができる。しかし、フィルムを展張した状態で固定することは困難であるため、現状のままでは台風来襲時に破損する。そこで、フィルムの破損を防止するため、目合い 45cm の網をフィルム保護用のネットとして用い(以下、ネットという)、桁行方向に 3m 間隔で設置されたナイロン製ベルトでフィルムのばたつきを抑制する方法を検討した。施設側面下部にあるネットの目合いに挿入された鋼管はウォームギアと連結している。ウォームギアをレンチで動作するとギアの回転により、網とベルトの引張力を調整できる。作業状況を Fig.4.5(b)に示す。引張力はフィルムの開閉には支障を与えない程度に調整可能であることから、ネットは常設可能である。なお、ネットの耐風性は強度計算により検討した。その結果、施設側面に最大瞬間風速 50m/s の風荷重が生じた場合の網の最大引張力は 1.45kN であった。一方、ベルトの破断荷重が 26.3kN、ネットの破断荷重は 1.59kN であり、最大瞬間風速 50m/s の風荷重が生じてフィルムを保護することは可能と考えた。

また、本施設の耐風性について確認するために、台風来襲時の被害状況を検証することを目的とした現場実証試験も行った。モデル施設を沖縄島、宮古島、石垣島に設置し、農業従事者に利用してもらいながら、台風時の被害状況、利用上の課題などについて整理した。2004 年には台風 0404、台風 0418、台風 0423 が来襲したが被害はほとんど見られなかった。石垣島では最大瞬間風速 69.9m/s を記録した台風 0613 来襲時に、妻面の入口上部が若干変形したが、修繕可能であった。また、沖縄島ではモデル施設近傍にある地上高 6.0m の地点で風速を観測した結果、台風 0423 来襲時に最大瞬間風速 57.7m/s を観測したが、施設への被害はなかった。しかし、販売後には、農業従事者の補強作業の不備(台風対策のためのベルトの引張力不足など)が見られ、フィルムが破損する事例が確認された。また、補強状況を視察した結果、被害はなくてもワイヤーの設置不備なども確認された。

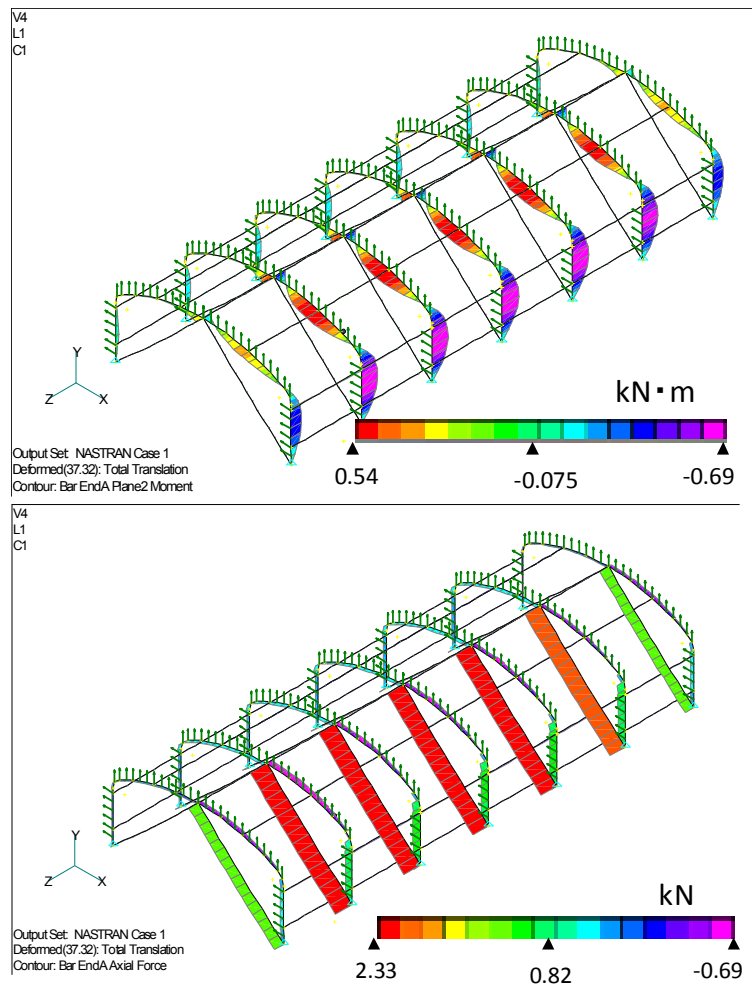


Fig. 4.4. Bending moment diagram (above) and axial force diagram of wire (below).



Film opened and shut by human power

(a)



Tightening Tool for net and belt

(b)

Fig. 4.5. Opening film by human powered device (a), protecting film by tightening for net and belt (b) in developed greenhouse.

以上の結果、開発した小型園芸施設は耐風速 50m/s を確保し、低価格化も実現できた。しかし、農作業においては作業性も無視できず、開発した施設では台風対策に手間取る様子がかがえたことから、作業の簡略化が今後の課題となった。

4.3 トラス構造を用いた大型園芸施設の開発および設計

前節で述べた小型園芸施設では、価格的な配慮から耐風速は最大瞬間風速 50m/s 程度が限界と考えられた。そのため、風速 50m/s を超えるような大型台風の来襲に備えるには、防風施設の利用が必要と考えられた。これに対し、本節では最大瞬間風速 70m/s の風荷重に耐える構造を有する大型園芸施設を開発した結果について述べる。

4.3.1 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 27.5m、奥行は 50m 程度まで対応可能な構造とした。内法高さの設計値は、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 5m 程度とした。

4.3.2 設計基準

構造設計では、日本施設園芸協会の「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²³⁾、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。台風 0314(2003 年 9 月)では、大型園芸施設が多数倒壊したため、同程度の規模の台風を想定し、耐風速は最大瞬間風速 70m/s と設定し、設計を行った。

4.3.3 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。そこで、屋根形状と柱形状を下記のように整理した。屋根形状は平面、アーチ型、山形、山折れ型の 4 種類、柱形状は垂直、傾斜の 2 種類、これらの形状を組み合わせると 11 タイプの施設形状を検討した。検討結果を Table.4.1 に示す。構造性能は風速 70m/s の時、施設に作用する風圧力を求め、構造解析ソフト Multiframe3D 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。まず、屋根形状について検討した結果を述べる。平面屋根は、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、かつ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により風圧力による荷重が小さく変形が小さい。次に、柱形状について述べる。垂直形状は、連棟による増築や組立性は比較的容易であるが、その反面変位は比較的大きくなり、増強のためにはコストが増加する。傾斜形状は、側面荷重に対する変位は小さいが、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。Table.4.1 に示した各タイプの構造性能、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

Table 4.1 Various shapes of truss structures that were analyzed in this study.

	Roof type	the shape of a pillar	Building height (m)	Structure	Workability	Cost performance	Work in facilities	Easiness of remodeling
1	Flat	Verticality	5	△	◎	△	◎	◎
2	Flat	Verticality	5.5	△	◎	△	◎	◎
3	Arch	Verticality	5	.O	△	O	◎	O
4	Arch	Verticality	5.5	O	△	O	◎	O
5	Arch	Verticality	6	.O	△	O	◎	O
6	Arch	Inclined	5	.◎	△	O	△	△
7	Arch	Inclined	5.5	◎	△	O	△	△
8	Arch	Inclined	6	.◎	△	O	△	△
9	Gable roof	Verticality	6	.O	◎	O	◎	◎
10	Mansard	Verticality	5.2	O	O	◎	◎	O
11	Mansard	Inclined	5.5	◎	◎	◎	△	△

* Frotage 24m, Eave height 3m, Building height 5~6m ◎: Excellent, O: Better, △: A little inferior

的に判断した結果、屋根形状は山折れ型、柱形状は傾斜形状を選択した。選択の理由は、施設内部の利用性は劣るが、部材使用量が少なく、風圧力による変位が最小であったからである⁵⁶⁾。開発したハウスの形状（山折れ型屋根・傾斜柱）を Fig.4.6 に示す。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%となる。屋根の変位は平面屋根構造の 44%、山折れ型屋根でかつ垂直柱構造の施設に対して変位を 86%に抑えられる。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位量の計算結果を Fig.4.7 に示す。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 タイプの中で最小値であった。細いパイプが組み合わさって構成されるトラス型ハウスでは、太陽光がパイプによって遮られやすいと考えられる。そこで、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について、沖縄で一般的に利用される H 形鋼ハウスと比較検討した。H 鋼ハウスの形状は、間口 13m、奥行 16m の 2 連棟の連棟であった。測定の結果、開発したハウスでは光線透過率は 79%であったのに対し、H 形鋼ハウスは 88%であり、その差は 9%であった。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。

4.3.4 樹脂製ボールジョイントの開発

本研究では新たに樹脂製のボールジョイントを開発した。これは、ハウスの軽量化、コスト低減のために、鋼製のボールジョイントの代替品とすることを目的としている。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 35mm のネジ孔深さを確保できるように直径 110mm（テーパ面間 104mm）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ネジの形状と強度を調べた。その結果、樹脂で製作したネジの強度は、メートルネジよりも台形ネジの方が約 8 割高くなることが確認された。従って、開発したボールジョイントでは台形ネジ 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⁵⁶⁾。樹脂の素材は、農薬等の耐薬品性の観点から結晶性材料を選択し、さらに、太陽光に対する耐候性からポリアミドを選定した。最終的には強度、価格、剛性面から検討し、ガラス繊維が 50%配合されたポリアミド（旭化成ケミカルズ製レオナ 66（14G50 グレード））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た。20 秒間の射出後、120 秒間保圧し、ボールジョイントを取り出した後、80°Cの温水で冷却する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。成型で使用した金型を Fig.4.8 に示す。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ことで、本金型では 3 種類のボールジョイントの作成が可能となった。また、射出成形から製品の取出しまでを全自動化した結果、基本形状のボールジョイントの製造では、日量 300 個のサイクルを構築できた。

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 60kN（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 70m/s の風圧力が作用した際に発生する最大引張軸力は 546kN と計算され、安全率 1.5 とすると 69kN の引張強度が要求される。しかし、こ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あ

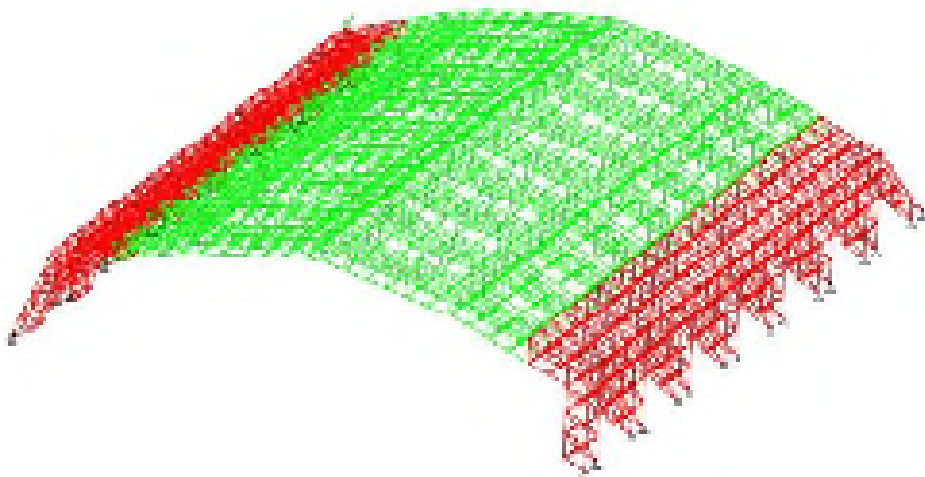


Fig. 4.6. Schematic design of the greenhouse.

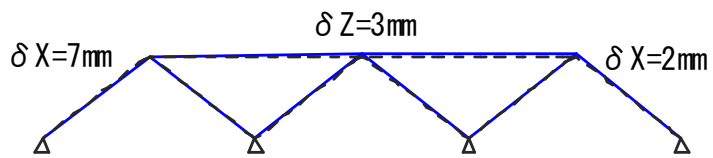
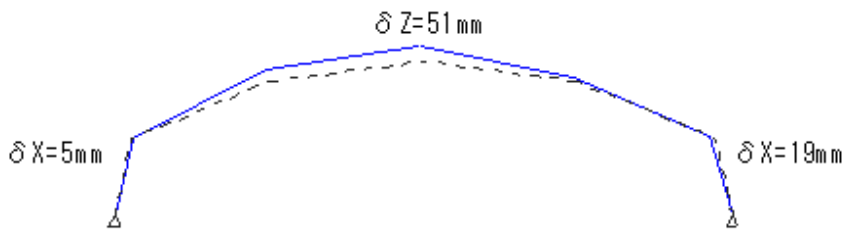
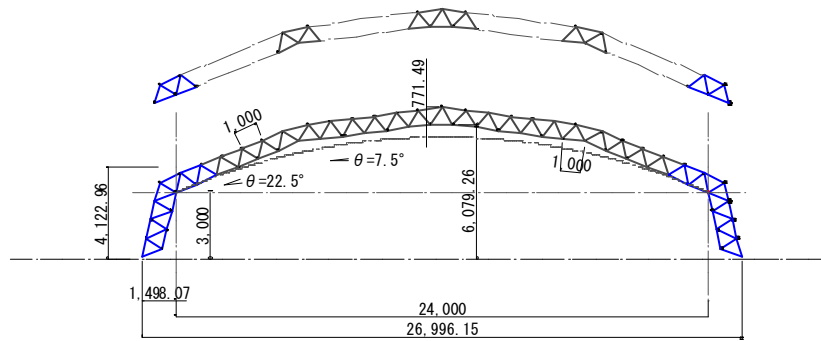


Fig. 4.7. Deformation of the truss under wind pressure.

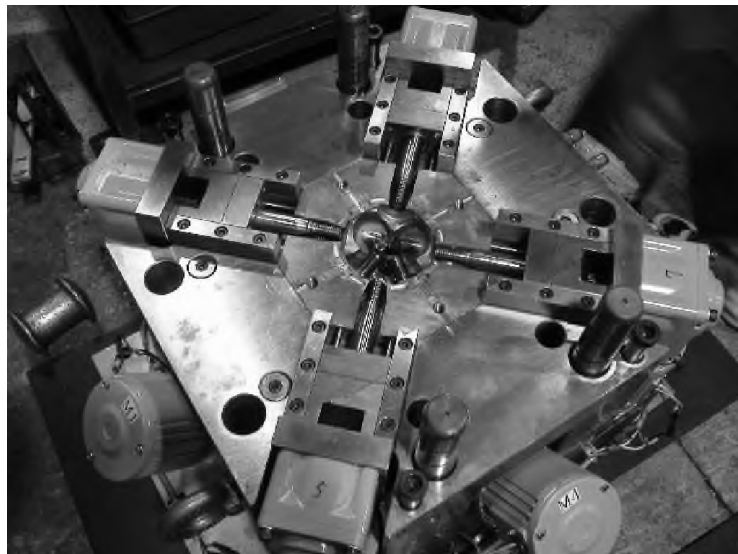
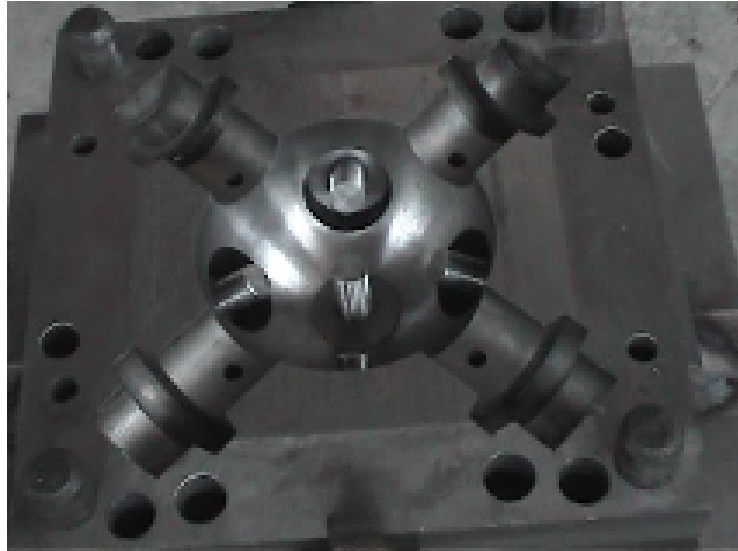


Fig. 4.8. Metal mold for a ball joint.

り、全体の13%相当である。そこで、今回は開発コスト削減のため、その13%のボールジョイントには鋼管を埋め込み、ネジ部を補強することで対応した。本研究で使用するラチスバー（直径38.1mm）に対応するボールジョイントは鋼製である。直径が60mm程度とした場合、その質量は900g/個程度である。一方、開発した樹脂製のボールジョイントの直径は110mm、重量は630g/個であることから、鋼製ボールジョイントより28%の軽量化が実現できた。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）よりも低コストでの製作が可能である。しかし、樹脂製ボールジョイントの材料であるポリアミドは、吸水性が高く、樹脂の中では比較的膨張や変位を起こしやすい。そこで、ボールジョイントの耐水性を増すため、表面を塗膜することとした。塗膜材には非常に堅く、水をはじくウレタン樹脂系塗料を用いた。この塗膜の仕様は自動車などの産業用樹脂部品と同仕様である。塗膜した場合の耐久年数については、暴露試験などで確認する必要があるが、産業用樹脂部品と同仕様の塗装膜では厚さ80~100 μ とした場合、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をFig.4.9に示す。このボールジョイントの製造方法並びに製造装置は特許を取得している（特許第4576488号）。ネジの形状や成型方法については、要求される強度を確保するように現在も検討を続けている。

4.3.5 ラチスバー接続部の開発

システムトラスの骨材となるラチスバーには強度、コスト、通性等から判断しSTK400（直径38.1mm×板厚2.3mm）の鋼管を使用することとした。また、ラチスバ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。Fig.4.10に示すようにラチスバーの両端には①と②のネジが溶接付けされる。ラチスバーの片端は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。

4.4 立体トラスの強度の評価

4.4.1 強度試験方法

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1m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、Fig.4.11に示すように下面が3m×2mで上面が2m×1m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 油圧堅型 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。載荷速度は、低速で静的な載荷条件と考えられる。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10kNごとに行い、その都度ひずみを記録した。載荷荷重については以下のように検討した。数値計算（剛性マトリクス法）の結果、風速70m/sの風圧力が実証実験用のハウスに作用した際にラチスバーに生じ



Fig. 4.9. The newly developed resin ball joint.

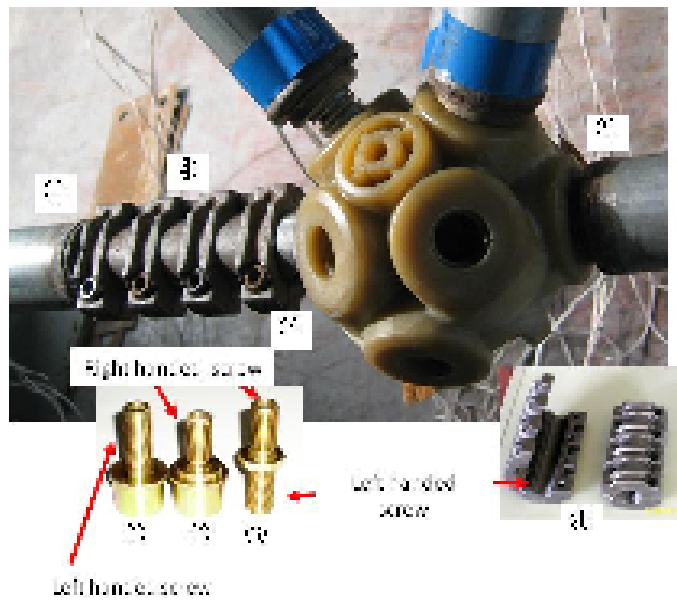


Fig. 4.10. Juncture of lattice bars with ball joint.

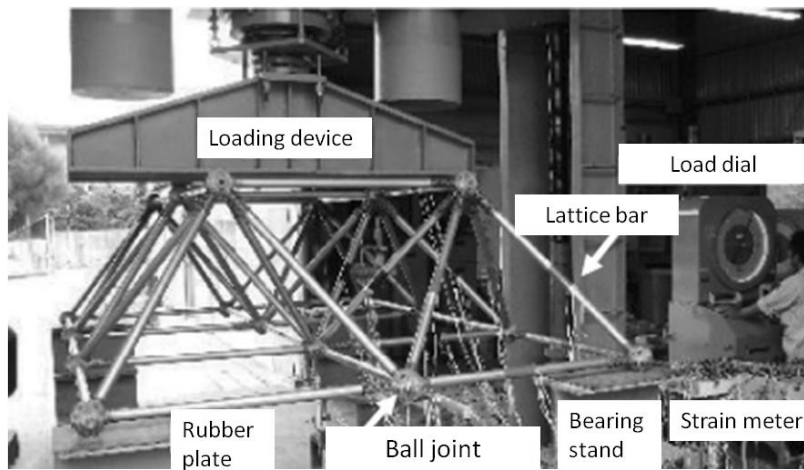
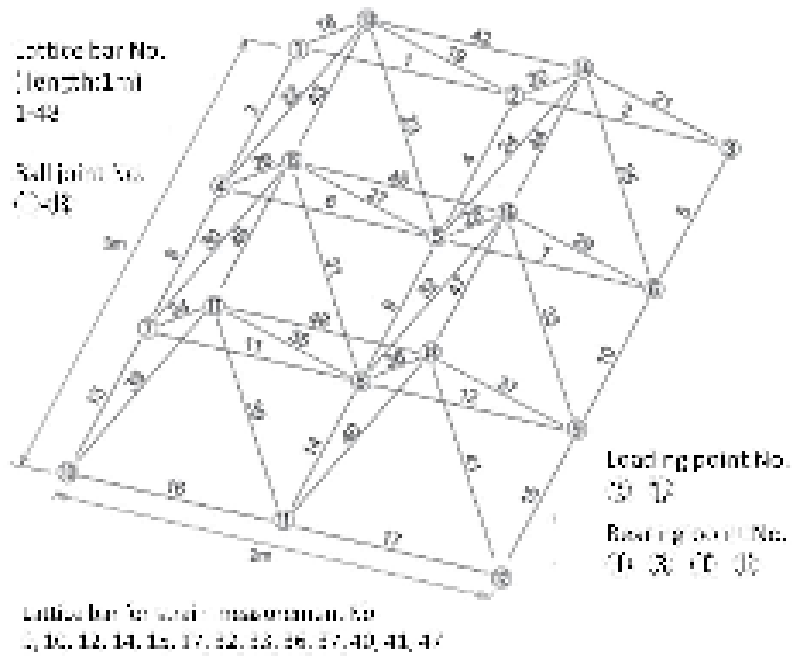


Fig. 4.11. Loading test for the basic space truss.

る軸力は46kN（ラチスバーの引張応力178MPa）であったことから、基本立体トラスのラチスバーにも46kNの軸力が発生するまで載荷することとした。また、裁荷実験用の立体トラスのラチスバーに46kNの軸力を発生させる裁荷荷重を数値計算で求めた結果、載荷荷重は126kNと求められたので、裁荷実験ではこの値を最大荷重とした。計算結果では、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した。そこで、実験ではこれらのラチスバーが接続され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。

4.4.2 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数値計算および載荷実験で求めた結果をFig.4.12に示す。数値計算と実験結果は良く一致していたことから、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は妥当であることが示された。10番のラチスバーにおいて、荷重が大きい領域において、計算値と実験値間に差が生じた。この理由として、本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位が大きくなり、幾何学的非線形性を考慮していない今回の計算結果より大きな軸力が生じたためと考えられた。実際のハウスでは、個々のラチスバーは微小な変位に収まるので線形解析による検討で問題ないと考えた。風速70m/sの風圧力に相当する載荷荷重（126kN）が作用した際、ラチスバーには、数値計算結果と同様に46kN相当の最大引張軸力が発生したが、構造上問題はなかった。基本立体トラスの破壊は裁荷荷重を170kNまで増加した時に生じた。その時の最大引張軸力は78kNであり、軸力においては想定する最大荷重の1.7倍の耐力が得られることが示されたことから、十分な安全性が示された（Fig.4.12）。また、ボールジョイントに鋼管を埋め込む補強を行わずに、同様の実験を行った結果、最大引張軸力が56kN程度（載荷荷重146kN程度）のときボールジョイントのねじ山が破壊した。

4.5 施工方法

4.5.1 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27.5m、奥行30m、軒高3.5m、棟高6.9mのトラス型ハウスを設置し施工性について検証した。

4.5.2 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することからコスト面に問題がある。本研究では、ハウス全体をフレーム毎のブロック（側面部、中折れ部、屋根アーチ部）に分割した（Fig.4.13）。

各ブロックの四角錐体の基本構造の組立は2つに分けて行った。前作業では、各ブロックをハウスのフレーム毎に地上部で組み上げる。次に、後作業において、フレームを奥行き方向に接続した。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、施工方法の妥当性を確認するため、幅2m×長さ約20mのワンフレームの大型モデルを試作した。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、

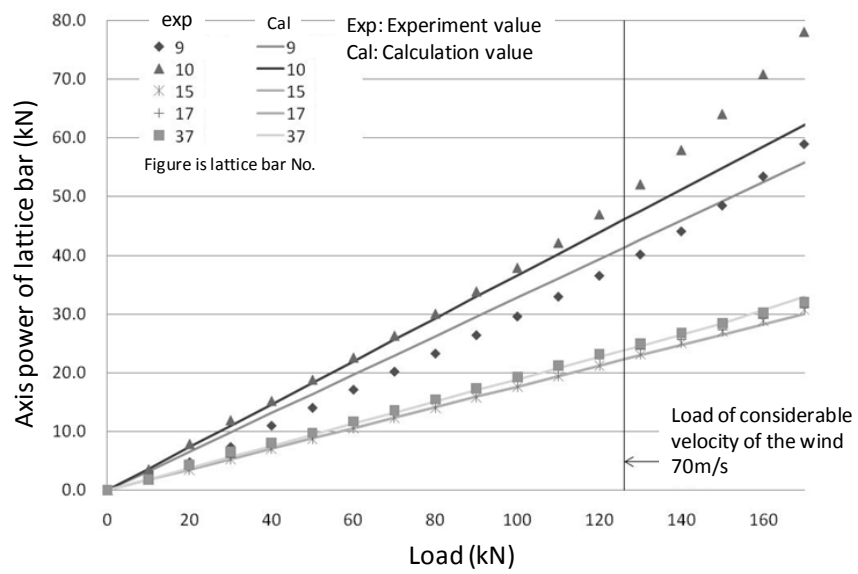


Fig. 4.12. Result of loading test for basic space truss.

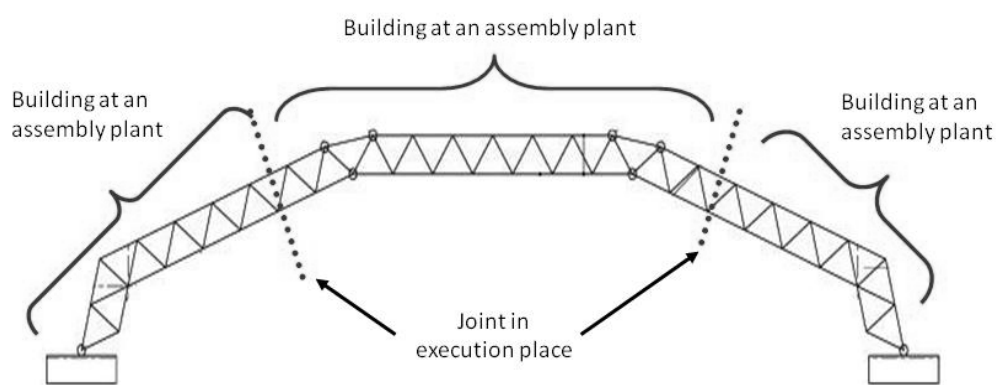


Fig. 4.13. Construction technique for truss structure.

確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。この方法により精度が確保でき、また、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められた。このモデルの組立には6人工を要した。このワンフレームを奥行方向に接続すれば、間口20m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27.5m、奥行き30m、軒高3.5m、棟高6.9mのトラス型ハウスを設置し施工性について検証した(Fig.4.14)。まず、基礎から施工する。工法は、鋼管杭(直径139.8mm×板厚6.0mm)を6m打ち込み、上部にプレートおよびH形鋼を溶接した。H形鋼の上部にボールジョイントを固定し、あらかじめ組み立てたハウス側面部を取り付ける。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、施工中に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った。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人工と大差はない。しかし、実証実験用ハウスの施工期間中には、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、これにより派生した部材の取り替えなど、初歩的な作業も含まれており、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(Table.4.2)。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/㎡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%程度を占めることから、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10.8kg/㎡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8m、軒高3.5m、棟高6.7m)の14kg/㎡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31kg/㎡となり35%に減量できる(Table.4.2)。なお、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できるようにした。本施設は2007年の台風0704の風速56.4m/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認する必要があると検討中である。

4.6 結び

本章では、既存の園芸施設よりも耐風性に優れた2種類の園芸施設を開発した。一つは農業従事者の農業所得を考慮して開発した小型園芸施設である。それは最大瞬間風速50m/sの風荷重に耐えるように設計を行った結果、実証試験においても耐風性を確認できた。耐風性と価格低減により、犠牲になったのは作業性である。具体的には、施設内に設置された補強材であるワイヤーが作業性に支障を与えるため、脱着作業に少々手間がかかる。今後改善すべき課題と考える。このような課題も有するが、本施設は沖縄県内で広く利用されている。

もう一方は、トラス構造を特徴とした大型園芸施設である。高コストとなるトラス構造を農業用

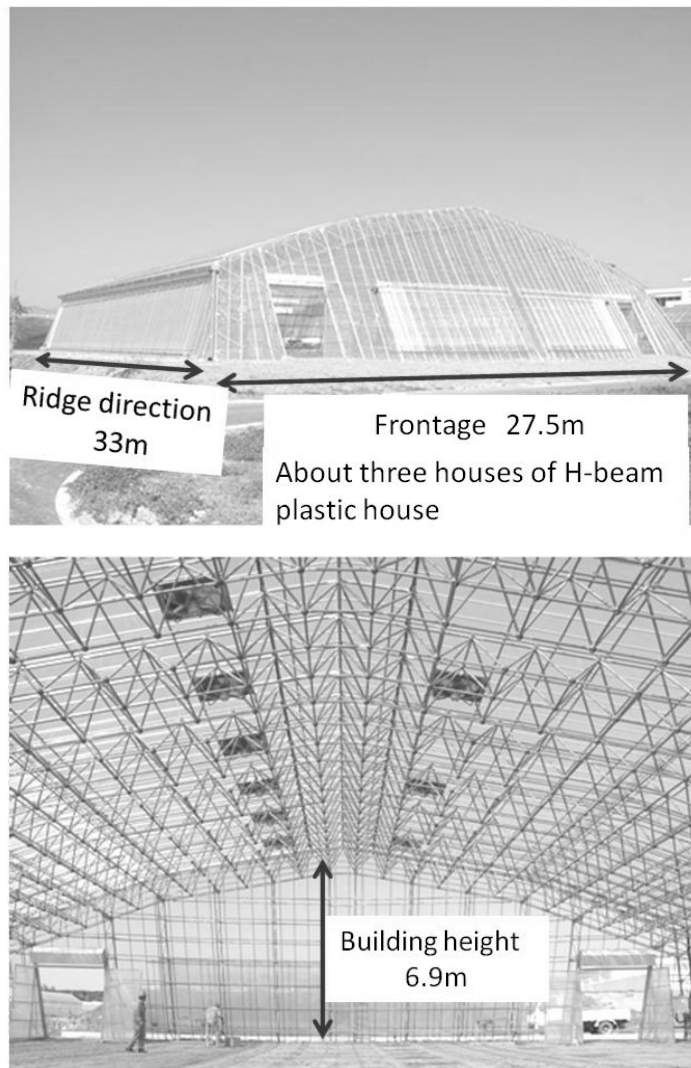


Fig. 4.14. Accomplished greenhouse for demonstration experiments.

Table 4.2 Comparison of an H-beam plastic house with a developed house.

	H-bram plstic house	H-bram plstic house	Development type
Ream/Single building	Three ream building	single building	single building
Frontage, Ridge direction, Eaves height, Hight of risge(m)	8, 30, 3.5, 6.7	28, 30, 3.5, 7.0	27.5, 30, 3.5, 6.9
Main frame type • Structure of frame	H-beam steel • steep rafter roof		Lattice bar
Main frame size	LH-200 × 100 × 3.2 × 4.5mm	H-500 × 200 × 10 × 16mm	φ 38.1 × 2.3mm
Steel weight (kg/m ²)	14	31	10.8
Balljoint weight (plastic only) (kg/m ²)	—	—	1.2
Constraction period (Number of workers × Working days)	41	75	43

ハウスに採用するために、コスト削減と軽量化について検討した。そして、重量が大きく、高額なトラスの接合部中核部材の代替品として、安価で高強度な樹脂製ボールジョイント（特許第4576488号）を開発した。研究結果の要約を下記する。

- 1) 剛性マトリクス法により最大瞬間風速 70m/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) 施工作业を工夫し、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 27.5m, 奥行き 30m, 軒高 3.5m, 棟高 6.9m 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。

第5章 現地観測による防風ネットの効果検証とその観測手法の開発

5.1 はじめに

第4章では耐風性に優れた園芸施設を開発した結果について述べた。しかし、過去の台風被害事例を考慮すると、台風対策は園芸施設の強度のみで検討するよりも防風施設と園芸施設を対にした方が効果的と考えられる。防風施設の中でも比較的低コストで設置可能な防風林は、農地内のつぶれ地の増加、それに伴う栽培面積の減少や日射量の低減による作物生育の阻害が懸念され、設置は一般的に避けられる傾向にあったが、台風0314(2003年9月)来襲後は見直されつつある。一方、防風林よりもコスト高であるが、日射量の低減を防風林よりも抑制できる防風ネットが沖縄県内で利用地域を拡大しつつある。

防風施設の遮風効果は一般に風速比を用いて検討される。風速比は防風施設の風下側の風速を基準風速で除した値であり、通常、基準風速には風上側における任意の高さの風速を用いる。この整理方法は風洞実験、現地観測のいずれにおいても用いられており、実験結果は沖縄県の土地改良事業における防風施設設置時の指標としても利用されている。しかし、防風施設の設置個所が常に実験条件と同様であるわけではなく、防風施設の風上、風下側の地形の変化は少なからず、風向や風速分布に影響を与えると考えられる。従って、防風施設の最適な配置方法を検討するためには、風洞実験などに加えて現地実証試験による情報の蓄積も必要と考えられる。

そこで、本章では園芸施設を対象とした合理的な防風対策手法を検討するため、近年、沖縄県、宮崎県、熊本県などで使用され、導入地域が拡大しつつある2列型防風ネットの遮風効果について現地観測により検証する。具体的には観測場所が海拔90mの崖状地形での観測であったことから、崖からの距離を基準として、防風ネット外と防風ネット内の風速を比較し、遮風効果について整理した。また、離島や遠隔地のように商用電力の確保が困難な場所に対応したワイヤレス多点型風観測システムを製作したことについても述べる。

5.2 2列型防風ネットの効果検証

5.2.1 防風ネットの概要と観測場所、観測条件

(1) 2列型防風ネットの概要

2列型防風ネットの概要をFig.5.1に示す。この防風ネットは2002年に沖縄県内の農家から提案された。保護対象物から外側となる上段面のネットは地上高2mから4mの範囲を、内側にあたる下段面のネットは地上高0mから2mの範囲を被覆する。両面の間隔は80cmである。各面には遮へい率50%、間隙長さが1mmのポリエチレン製ラッセル網が被覆されている。支柱には $\phi 48.6\text{mm} \times 2.3\text{mm}$ の丸形鋼管を使用し、上段面と下段面間は先端をつぶした $\phi 38.1\text{mm} \times 2.3\text{mm}$ の丸形鋼管がボルトで接合されている。

この2列型防風ネットは、既存の防風施設よりも強度を向上させるため、支柱にトラス構造を用いたことを特徴としている。また、上段面と下段面のすき間に風の流れを導き、遮風効果範囲の拡大と防風施設の損壊を防止することを期待して製作されたものである⁵⁷⁾。

(2) 風洞実験による2列型防風ネットの遮風効果

本試験で用いた2列型防風ネットの遮風効果は風洞実験結果で報告されている⁵⁸⁾。以下では、そ

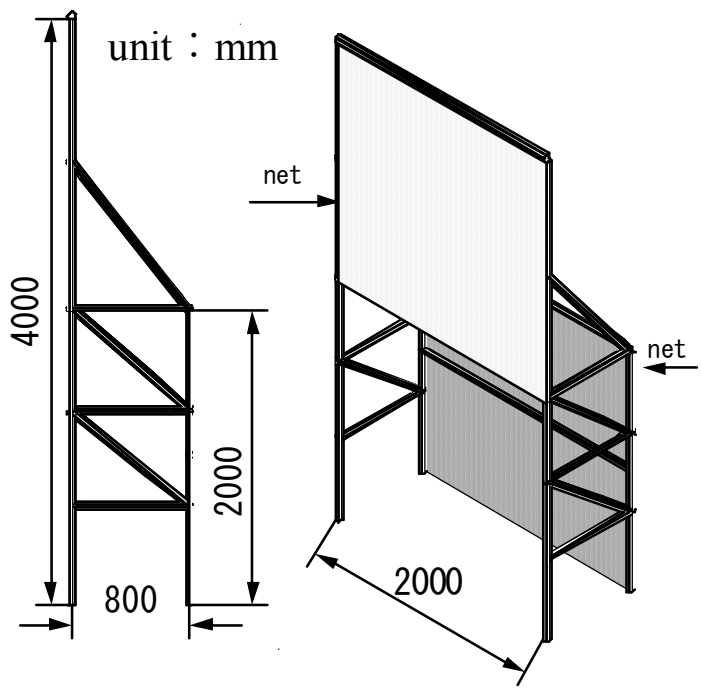


Fig. 5.1. Details of windbreak net.

の報告の概要について述べる。実験で用いられた模型の実機相当寸法は、防風ネット前列の高さが 3m、後列は 1.5m、奥行きは 0.85m であった。実験は（独）森林総合研究所内にあるエッフェル型の風洞実験装置で行われた。測定洞は幅 1.2m、高さ 1.6m、奥行き 10.0m である。設定可能な平均風速の範囲は 2.7m/s から 40.0m/s である。その内部に現物の 1/20 スケールの模型を設置した。前列の高さ 0.15m、後列 0.075m、防風ネットの前列と後列の間隔は 0.1m とした。設置幅は測定洞に合わせて 1.2m であった。模型には間隙の長さが 1mm の防風ネットを被覆した。熱線式風速計を任意の位置に移動できるトラバース装置に固定し、模型付近の風速を測定した。風洞内の基準風速は 7.4m/s に設定されており、野外風速に換算すると 20m/s となる。相似法則には野外と風洞内のレイノルズ数の一致と乱流構造の相似について考慮された(1)式を用いて導かれた⁵⁹⁾。

$$\left(\frac{U_m}{U_n}\right) = \left(\frac{L_m}{L_n}\right)^{1/3} \quad (1)$$

ここに、U は風速、L は代表長さ、m は風洞内、n は野外を意味する。

Fig.5.2 は平田らの風洞実験結果であり、2 列型と 1 列型の防風ネットの遮風効果を等風速線図で示している⁵⁸⁾。営農現場では Fig.5.2 のような風洞実験結果によるネット高倍数を参考に防風ネットの設置位置を決定することが多い。そこで、本観測における風速計の設置位置は Fig.5.2 を参考に決定した。図中の数字は基準風速に対する各観測点での風速比を割合 (%) で示している。ネット高倍数 0 から 4 の範囲における風速比 20% の領域は、2 列型防風ネットの方が 1 列型より広い。また、風速比 30% 以下の領域が確認されたネット高倍数は、1 列型防風ネットで 21 であるのに対し、2 列型では 24 であった。これらの結果について平田らは、2 列型防風ネットの遮風効果が 1 列型よりも若干高いが、両方とも遮風効果は高く、実際に設置した場合、両者の遮風効果に大きな差が生じるとは考えにくいと考察している。なお、2 列型防風ネット上段面と下段面の間隔を短縮した場合においても、遮風効果に大きな違いは見られなかった。

(3) 観測箇所

前節の風洞実験結果を踏まえ、我々は現場観測において防風施設の遮風効果を検証した。観測は Fig.5.3(上)に示すように沖縄県うるま市宮城島で実施した。宮城島の標高は 90m、頂上は平坦な農地である。農地は東南東方向へ 2% 程度傾斜している。農地には高さ 1.5m 程度に成長したさとうきび畑が存在するが、大部分は裸地である。試験区を挟む北北東から南南西向けの道路に沿って、高さ 5m 程度の防風林が疎らに存在する。観測フィールドを Fig.5.3(下)に示す。高さ 4m の防風ネットは長方形を成し、長さ 120m の長辺は西北西方向から東南東方向へ、長さ 100m の短辺は北北東方向から南南西方向へ設置した。防風ネットの内側では超音波風速計を 9 カ所に設置し、設置間隔は防風ネットの形状に合わせて等間隔とした。すなわち、長辺に沿うように西北西から東南東方向の間隔は 30m、北北東から南南西の間隔は 25m とした。超音波風速計は設置箇所 1 カ所あたり 2 台を高さ 6m と 3m に設置した。Fig.5.2 に示すように高さ 6m は防風ネットの 1.5 倍の高さに位置し、図中では遮風効果が得られる限界高さに近い。また、防風ネットの 0.75 倍にあたる高さ 3m では、

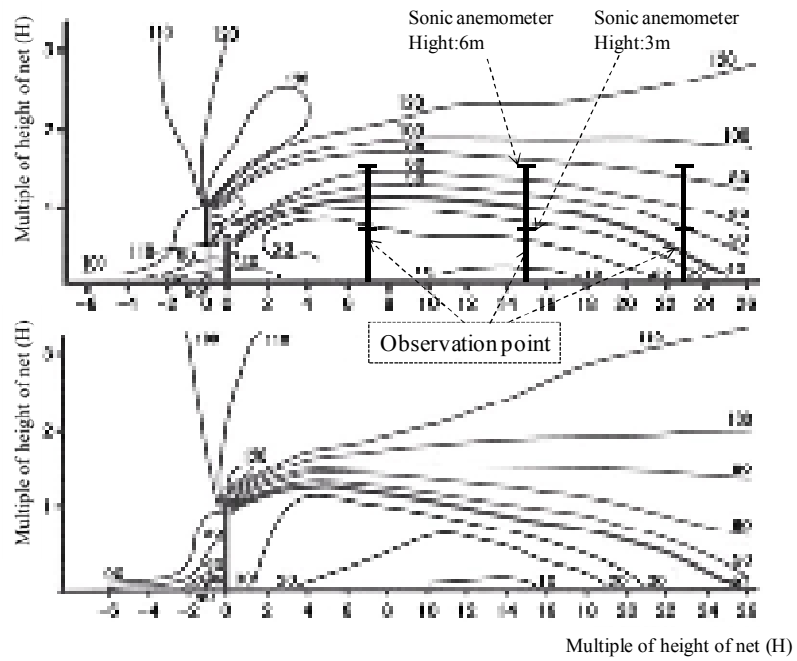


Fig. 5.2. Observation points referring to wind tunnel experiment for 2-piece (above) and General type (below) wind protection net system after Hirata and Kanna⁵⁸⁾.



Fig. 5.3. Location of observation field (Miyagi island) (above), Observation points (below).

ネット高倍数 7H で 20%, 15H で 30%, 23H で 50%程度に低下することが推測された。一方、防風ネット外では防風ネットを取り囲むように超音波風速計の設置箇所を 8 カ所設け、高さ 6m の位置に設置した。

(4) 台風 0310 の概況

2003 年 8 月 3 日 15:00 にフィリピンの東海上で発生した台風 0310 は、発達しながら北上し、5 日 6:00 には中心付近の最大風速が 40m/s となった。沖縄本島地方は 7 日 1:00 頃から 7 日 22:00 頃まで暴風域にあった。本島北部と本島中部の一部が台風の眼に入り、7 日 10:00 前に沖縄本島北部を通過した。那覇では 7 日 5:44 に最大瞬間風速 50.4m/s を観測した⁶⁰⁾。

(5) 風向、風速の測定方法

近年は水平方向に加えて、上下方向の風向風速も観測でき、時間応答にも優れた超音波風速計が試験研究で利用されるようになってきた⁶¹⁾⁶²⁾⁶³⁾。本機器を用いて、台風来襲時における防風施設周囲の風観測を行うことができれば、風速比や乱れの強さについて、精度高く評価でき、防風施設を配置する際の基礎資料も得られることになる。風観測には超音波風速計 SAT-550 (ソニック社製)を用いた。超音波風速計の詳細は 5.3.2 に記す本器が降雨環境下においても観測可能であることは実験において確認されている。本風速計の測定レンジは 0~60m/s であり、風速の測定精度は読み値の $\pm 2\% + 0.05\text{m/s}$ 、風向は $\pm 3\%$ である。サンプリング周波数は 50Hz (時間分解能 0.02s) である。信号の同期と処理には、データ収録装置 MD8Z80-133 (パバック電子開発社製)を用いた。本装置の分解能は 16bit、サンプリングレートは 25Hz ~50kHz である。観測は 8 月 5 日 21:40 から 6 日 3:40 まで実施した。風速の測定は 10Hz で行った。平均風速 \bar{U} の算出には(2)式、乱れの強さ I は風速の標準偏差と平均風速の比を示し、(3)式で示される。

$$\bar{U} = \sqrt{\bar{U}_x^2 + \bar{U}_y^2 + \bar{U}_z^2} \quad (2)$$

$$I = \frac{\sqrt{\overline{U_x'^2} + \overline{U_y'^2} + \overline{U_z'^2}}}{\bar{U}} \quad (3)$$

ここに、 \bar{U}_x 、 \bar{U}_y 、 \bar{U}_z は各風向の平均風速成分である。また、 I は乱れの強さ、 U'_x 、 U'_y 、 U'_z は風速の変動成分であり、 \bar{U}'_x 、 \bar{U}'_y 、 \bar{U}'_z は一定時間における風速の変動成分の平均値である。

5.2.2 結果と考察

(1) 防風施設外の風向、風速の時間変化

防風施設外の観測点における水平風向の 1 分間平均値を 5 分間の移動平均により Fig.5.4(上)に示した。No.12 は No.14 と、No.15 は No.16 と同様な傾向を示し、多重検定の結果、危険率 5%において平均値に差がなかった。No.11 から No.17 までの各観測点の風向は NNE (22.3°) から ENE (84.5°) の範囲で変動した。特に 0:00 から 2:00 までの間の風向はほぼ一定値を示し、No.11 と No.17 は NNE

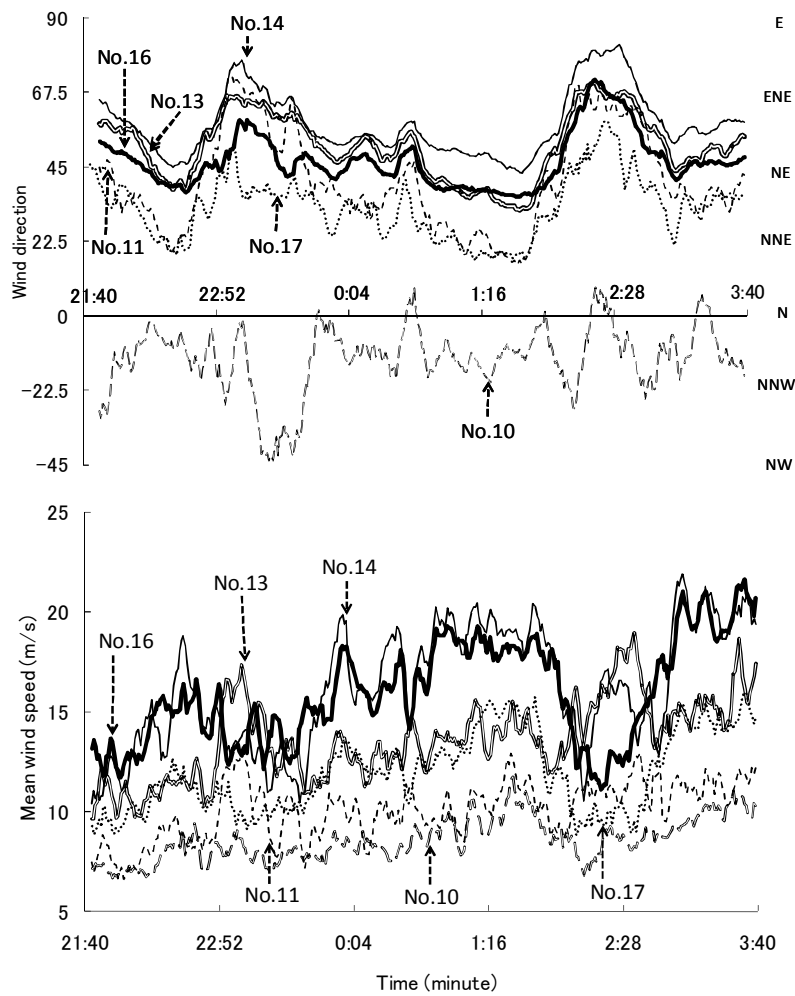


Fig. 5.4. Time series of wind direction (above) and mean velocity (below).

を No.13, No.14, No.16 は NE を示した。一方, Fig.5.4 (下)に示すように, 平均風速は 21:40 から徐々に増加し, その後増減を繰り返し, 2:10 頃に大きく変動するものの, 2:50 頃からは増加し, 観測を終了した 3:40 には No.14 において本観測における平均風速の最大値を記録した。また, 平均風速は崖に近い No.10 が最も低く, 崖から遠ざかるに連れて増大する傾向を示した。

(2) パワースペクトル

台風来襲時における地点間のパワースペクトルの検証と観測データの精度を確認するため, FFT 法によりスペクトル解析を行った。解析には平均風速の変動が比較的小さいと考えられた 6 日 23:50 から 7 日 2:00 までの 130 分間の風速を用いた。サンプリング周期は 10Hz である。本台風の主風向であった NE 方向に並ぶ No.1, No.5, No.9 および防風ネット外の No.14 の周波数特性を代表値として Fig.5.5 に示した。解析の結果, スペクトルの形状は観測点間でほとんど違いが見られず, ピークは明確ではないものの, 5×10^{-3} 付近にあると考えられた。また, 慣性小領域においては周波数が増加するに連れて直線的に減少し, 勾配はおおよそ -5/3 乗で示されたことから, 高周波ノイズやスパイクなどの影響はほとんどないと考えられた⁶⁴⁾。

(3) 崖からの距離と平均風速, 乱れの強さとの関係

崖地形においては粗度の急変に伴い, 崖の後流において内部境界層を生成することはよく知られている⁶⁵⁾⁶⁶⁾。ドップラーソーダを用いて崖後流の観測を行った報告では, 内部境界層内では風速の最大値を得る高度が, 崖から風下側に離れるにつれて増大し, この傾向が下流側 3000m の距離まで高さ 250m から 300m くらいにまで発達することが認められている⁶⁷⁾。従って, 境界層内の風速分布は地表面近傍においても崖からの距離の影響を受けることが考えられる。本観測環境も崖から 500m 以内にあることから内部境界層の範囲にあることが推察された。そこで, まず, 防風施設の遮風効果を評価する前に各測定点の風速に対する崖の影響について検討した。宮城島に最も近い沖縄気象台金武観測所の観測記録では, 本観測時間である 6 日の 21:40 から 7 日の 3:40 における主風向は NE であった⁶⁰⁾。Table.5.1 は N (北) を 0° , 東を 90° , 西を -90° , 南を 180° と設定した場合の各観測点の風向の平均値である。障害物の影響を受けない風観測地点での風向がほぼ 45° , すなわち NE に接近していたことから, 崖から各観測点までの距離は, 崖上にある防風林帯から SW 方向に直線を延長した際の各観測点までの距離とした。その距離は地図上から計測した。

高さ 6m に位置する平均風速と崖から各観測点までの距離の関係を Fig.5.6 に示す。No.10 から No.17 の平均風速は, 崖から遠ざかるにつれて増大し, 崖からの距離がおおよそ 400m 以上になると風速の増加率は低下した。そして, 崖からの距離と平均風速の関係は(4)式のように 2 次関数で近似した。

$$U = -84.1x^2 + 74.4x + 0.4 \quad (4)$$

分散分析の結果, No.14 と No.16 の平均風速についての平均値には差がなかった。一方, 乱れの強さは崖からの距離が増加するにつれて低下した (Fig.5.7)。乱れの強さは崖から約 400m の位置にある No.14 において最も低い値を示し, No.14 と No.15 の平均値に差がないことを確認した。これらの結果から, 本観測では地表面近傍の風速は崖の影響を受け, 崖からの距離が増加するにつれて

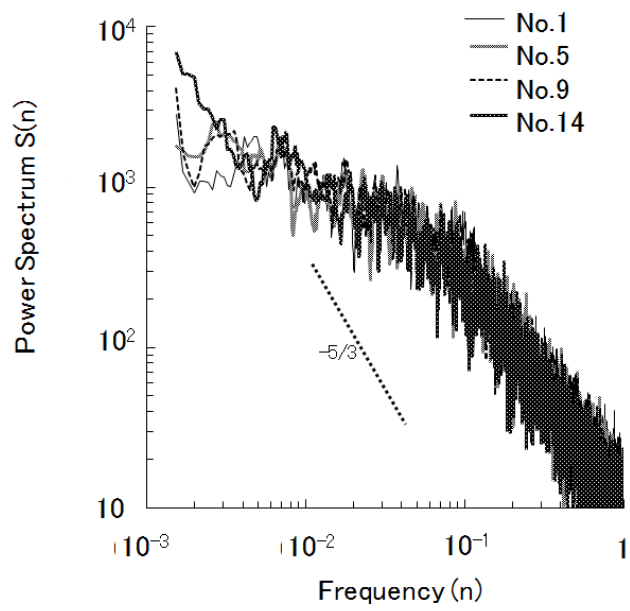


Fig. 5.5. Power spectrum density of wind fluctuations.

Table 5.1 Mean value for the horizontal wind direction in each observation point.

	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17
Mean (°)	-13.0	40.9	57.4	51.4	58.1	48.6	46.9	32.9
Standard deviation (°)	21.8	19.1	10.7	11.2	10.6	9.8	9.7	11.0

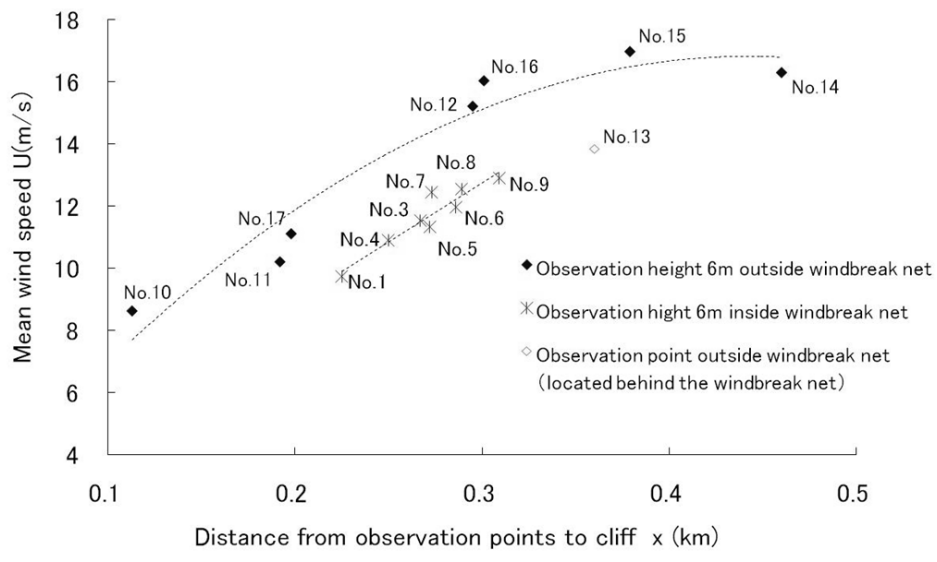


Fig. 5.6. Relation of between mean wind speed and distance from observation points to cliff.

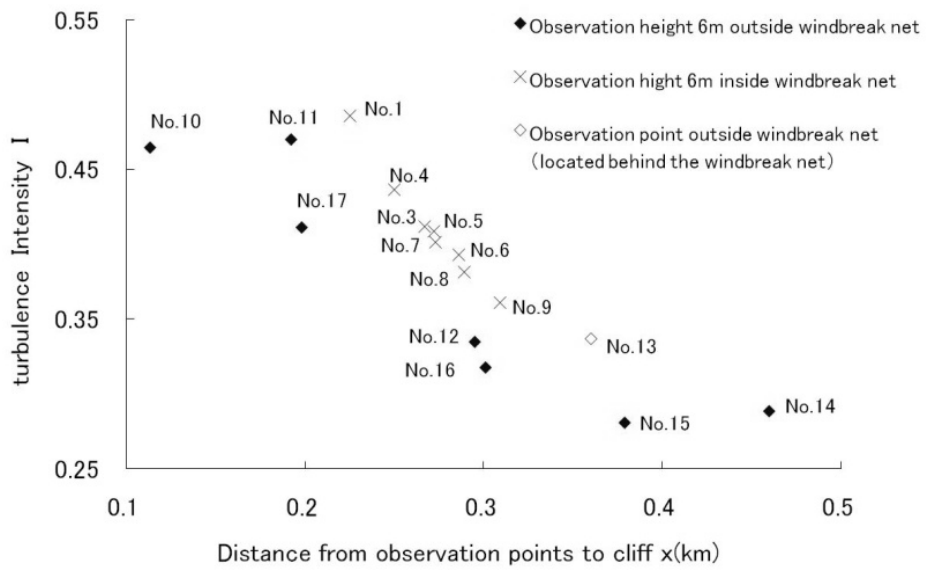


Fig. 5.7. Relation of between turbulence intensity level and distance from observation points to cliff.

風速が増加する一方、乱れの強さは減少することが確認できた。また、乱れの強さの顕著な影響範囲は崖から 400m 程度の距離までと考えられた。なお、崖から 360m の距離にある No.13 は、崖からの距離が約 300m の No.12 や No.16 よりも平均風速が低下した。また、No.12 の乱れの強さは 0.33、No.16 では 0.32 であったのに対し、No.13 は 0.34 であり、比較的乱れが強い傾向を示したことから、No.13 の風環境は防風ネットの影響を受けたと考えられた。

(4) 防風ネット内外の風速比について

本研究では、防風ネットの遮風効果を風速比で示した。風速比の算定には基準風速を定義する必要がある。防風ネット内の観測箇所は崖から 300m 程度の範囲内にあるが、この範囲の防風ネット外の風速が崖から遠ざかるに連れて増加したことから、単純に防風ネット外の風上側の風速を基準風速として用いることは困難と考えられた。しかし、防風ネット外の風速分布が崖からの距離に比例したことから、観測フィールド内に防風ネットがない場合における No.1 から No.9 までの観測点の風速は(4)式で算出できると考え、風速比算定のための基準風速は各観測点の崖からの距離を(4)式に代入して求めた。なお、基準風速、観測値ともに地上から 6m の位置の風速である。

分析の結果を Fig.5.6 に示す。防風ネット内の平均風速は、崖からの距離が増加するにつれて直線的に増加した。そこで、風速比の検討には主風向であった NE に沿って並ぶ No.1, No.5, No.9 を代表値として用いた。Table.5.2 に示すように、No.1, No.5, No.9 の風上側にある防風ネットからの距離は 28m, 61m, 90m であり、ネット高倍数に換算すると 7H, 15H, 23H となった。各観測点の風速比を求めた結果、No.1 は 0.75, No.5 は 0.80, No.9 では 0.83 となり、防風ネットから離れるにつれて風速比が小さくなる傾向が示された。そして、防風ネットの高さ 4m よりも高い 6m の位置でも防風ネットの後流では平均風速が低下する可能性が高いことが示された。また、Fig.5.7 に示すように、乱れの強さは防風ネット外の観測点と同様に崖からの距離が増加するにつれて低下したが、例えば、崖からの距離 0.3km 付近にある No.16 が 0.32 であったのに対して No.9 は 0.36 であり、防風ネット外よりも高い値で推移した。

(5) 平均風速における防風ネットからの距離依存性について

防風施設を設置する場合は、Fig.5.2 に示すような実験結果を参考に防風施設の高倍数を用いて検討することが多い。そこで、防風ネットからの距離と各観測点の平均風速の関係について検討した。Fig.5.8 に示すように、No.7 以外の観測点では、防風ネットに近いほど、また、高さが低いほど平均風速が低下する傾向が確認できた。これらの観測値については、ネット面からの距離が大きく影響していると考えられたことから、地上から高さ方向への風速分布にべき乗則が適用されると仮定し、高さ 6m と 3m の平均風速を(5)式に適用させ、べき指数 α を求めた。その結果 α は、No.1 において 0.41, No.5 では 0.32, No.9 では 0.27 となり、風上側ネット面から離れるほど、べき指数は小さくなった。

$$\frac{V_3}{V_6} = \left(\frac{Z_3}{Z_6} \right)^\alpha \quad (5)$$

Table 5.2 Comparison of mean wind speed between the outside and inside windbreak net.

observation point	No.1	No.5	No.9
Distance from observation point to cliff(m)	225	267	309
Distance from windbreak net (m)	28	61	90
A: Mean wind speed (m/s) (Observation value)	9.7	11.5	12.9
B: Mean wind speed (m/s) (Calculation result in state without windbraek net)	13.0	14.4	15.6
Compared with speed of the wind (A/B)	0.75	0.80	0.83

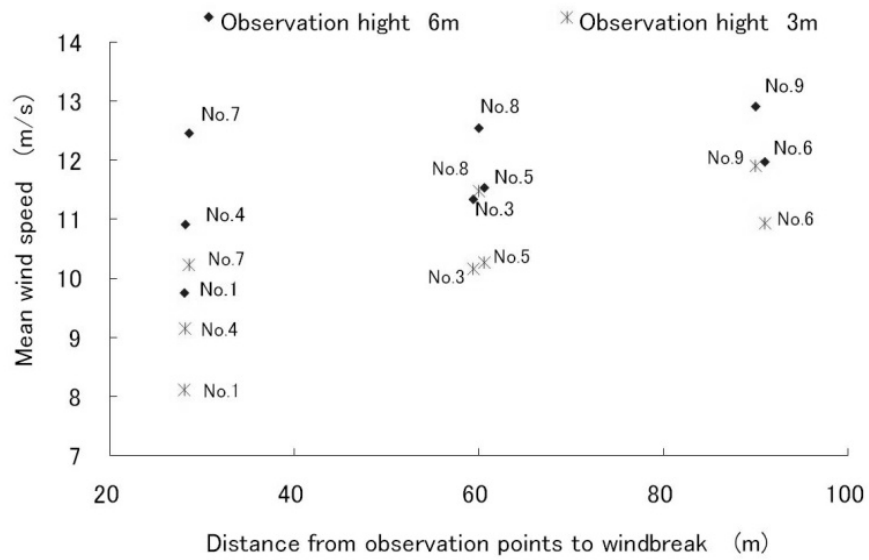


Fig. 5.8. Relation of between mean wind speed inside windbreak net and distance from observation points to windbreak net.

ここに、 Z_3 、 Z_6 はそれぞれ地上から 3m、6m の高度、 V はそれぞれの高度における平均風速、 α はべき指数である。

また、高さ 3m の平均風速を 6m の値で除した風速比について検討した結果を Table.5.3 に示す。防風ネットに近い No.1, No.4, No.7 はそれぞれ 0.83, 0.84, 0.82 であったが、防風ネットからの距離が増大すると 0.9 以上となり、6m と 3m の平均風速が接近する傾向が確認できた。したがって、全体的には防風ネットに近い観測点ほど、防風ネットの遮風効果が大きくなる傾向が示されたが、No.7 の高さ 3m の平均風速は 10.2m/s であり、No.1 の高さ 6m の平均風速 9.7m/s を上回った。さらに、No.7 よりもネット面から遠い位置にある No.3 と No.5 の高さ 3m の平均風速(それぞれ 10.2m/s, 10.3m/s) とほぼ等しい値となった。一方、Fig.5.9 に示すように、防風ネット内の高さ 3m の風速に対する崖からの距離との関係は崖からの距離に比例し、高さ 6m と同様に直線的に増加した。

以上より、防風ネットの遮風効果は、防風ネットに近づくほど増大する傾向が見られたが、観測点の中には、防風ネットからの距離がネット高倍数で 7H 程度であっても 15H にある観測点と同程度の風速が観測される場合も確認された。そして、Fig.5.9 で示したように、防風ネット内の平均風速が、崖からの距離に対して直線的に増加する関係を示したことを考慮すると、防風ネットの後流には、防風ネットの遮風効果に加えて崖からの距離の影響も含まれることが示唆された。

(6) 風洞実験結果との比較

本観測と平田らの風洞実験の結果では、測定時の気流の状態が異なること、現地観測では防風ネットの風上側の面と主風向がなす角は約 70° であったなど、測定条件に違いがあるため、単純な比較はできない。しかし、風洞実験結果が防風ネット設置時の効果範囲の検討材料となっていることから、今後の防風ネット設置時の参考とするために Fig.5.2 との比較も行った。

比較には No.1, No.5, No.9 の観測値を用いた。ネット高倍数ではそれぞれ 7H, 15H, 23H となる。Fig.5.2 では高さ 6m における風速の低減率は 7H が 70%程度(風速比では 0.7 程度)、15H および 23H が 80%の等値線に接近していた(風速比では 0.8 程度)。一方、Table. 5.2 に示した観測値の風速比は No.1 が 0.75, No.5 は 0.8, No.9 は 0.83 であり、風洞実験結果と近い値を示した。

高さ 3m においては Table.5.2 と Table.5.3 の風速比を掛け合わせることで基準風速に対する風速比を算出した。その結果、No.1 は 0.62, No.5 は 0.71, No.9 は 0.76 となったのに対し、風洞実験結果の風速比は、No.1 の位置で 0.2, No.5 では 0.3, No.9 では 0.5 程度となり、野外実験結果の風速比が高くなる傾向を示した。一般的な防風施設の設置を検討する際と同様に、基準風速に防風ネットの風上側の風速を用いた場合、観測値の風速比はさらに、高くなることが推測された。

(7) 最大瞬間風速について

防風ネットの遮風効果は、平均風速で整理した場合では防風ネットよりも 1.5 倍程度高い位置でも得られ、その風速比はネット高倍数 7H で 0.75 であった。しかし、Table.5.4 に示すように、観測時間中の最大瞬間風速は防風ネット内の No.7 で観測され、各観測点の最大瞬間風速についても観測点間による差はほとんどなかった。例えば、風上側の防風ネット面に最も近い No.1 の高さ 3m の最大瞬間風速は 49.6m/s であり、ネット外の No.11 の 49.9m/s(高さ 6m)と接近していた。さらに、崖に最も接近した No.10 では 51.0m/s を観測した。以上より、台風来襲時においては、防風ネット

Table 5.3 Mean wind speed between the height 3 m and 6 m in inside windbreak net.

observation point	No.1	No.4	No.7	No.3	No.5	No.8	No.6	No.9
Mean wind speed (m/s) (height 6 m)	9.75	10.9	12.5	11.3	11.5	12.5	12.0	12.9
Mean wind speed (m/s) (height 3 m)	8.12	9.14	10.2	10.2	10.3	11.5	10.9	11.9
Comparison of mean wind speed(m/s) (height 3 m / height 6 m)	0.83	0.84	0.82	0.90	0.89	0.91	0.91	0.92

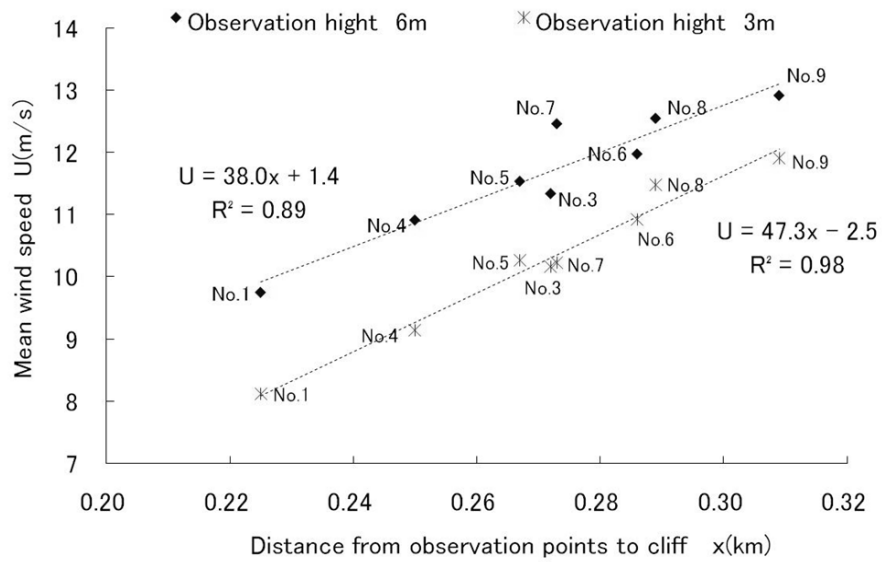


Fig. 5.9. Relation of between mean wind speed inside windbreak net and distance from observation points to cliff.

Table 5.4 Maximum wind speed on observation points.

observation point No.	No.1	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
Maximam wind speed (hight 6m)(m/s)	51.0	49.5	51.7	50.0	48.3	55.6	48.8	51.0
Maximam wind speed (hight 3m)(m/s)	49.6	50.8	45.4	47.6	46.5	50.7	47.0	47.0
observation point No.	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17
Maximam wind speed (m/s)	51.0	49.9	53.2	47.8	53.4	54.4	51.6	54.3

内においても防風ネット外と同等の強風が生じる可能性が示された。

5.2.3 防風ネットの効果検証に関する結び

本研究では、2列型防風ネットの遮風効果を検証するため、台風0314(2003年9月)来襲時の風速を高さ6mと3mの位置で観測し、風速比や乱れの強さについて分析した。また、立地条件が崖地形であったことから、崖後流についても検証した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 崖後流における高さ6mの平均風速は、崖の距離との関係において2次関数で示すことができた。
- 2) 崖後流における高さ6mの乱れの強さは、崖からの距離が約400mに至るまで直線的に低下した。
- 3) 防風ネットの遮風効果は、高さ4mの防風ネットに対し、1.5倍となる高さ6mにおいても得られた。ネット高倍数7Hの風速比は0.75、15Hでは0.8、23Hでは0.83となった。
- 4) 防風ネットの遮風効果について、崖からの距離と防風ネット内の平均風速の関係は比例したことから、防風ネットの後流には防風ネットの遮風効果だけでなく、崖の影響も含まれることが示唆された。
- 5) 防風ネットの設置位置を検討する際には、防風ネットと防護対象物との距離だけでなく、防風ネットを設置する前の風速分布を考慮する必要がある。また、風洞実験結果で示された遮風効果は、野外観測結果よりも高くなる可能性が示された。
- 6) 観測時間内の最大瞬間風速は、防風ネット内外において近い値を示したことから、防風ネット内においても防風ネット外と同等の強風が生じると考えられた。

5.3 電力を確保しにくい地域対応型風観測システムの開発

5.3.1 ワイヤレス型風観測システムの必要性

前節では、超音波風速計を用いて地表面近傍の風観測を実施し、台風来襲時の風挙動を評価できることを確認した。従来、風観測に用いられてきた風杯型風速計は、吹き上げ風の場合に実際の風速よりも高い風速を示す一方、風車型風速計では、吹き下ろし風または吹き上げ風の角度が増加するにつれ、実際の風速よりも観測値の低下率が大きくなることが指摘されている。超音波風速計の利点は、これらの課題を克服できる測定器であり、従来の機器よりもサンプリングタイムが短く、瞬間風速の評価が行いやすくなったことである。また、3組の発信部および受信部で成分ごとの測定を行い、ベクトルとして表せることから、風向風速の3次元評価が可能であることもあげられる。

しかし、前節の観測ではケーブルが地表面に露出した有線観測であったことから、農業機械による断線事故が度々生じた。これを防ぐにはケーブルを地中に埋設するか、電線のように電柱を介して空中で繋ぐ方法が考えられるが、農家が利用しているような畑地において、合計数kmにもおよぶケーブルを地中に埋設することは、埋設工事が営農に支障を来すことやコスト面からも現実的ではない。一方、電線のようにケーブルを空中で繋ぐには、台風来襲時を想定した電柱の強度確保が必要である。有線観測において農作業の支障を来さず、また費用もできるだけ抑制して断線も防ぐためには、観測を数日間で終了し、ケーブルを都度回収することになる。

本節では、まず製作したワイヤレス風観測システムの概要を整理した。次に、超音波風速計と風車型風速計の観測値を比較し、従来の測器との観測値の差異と雨天時の使用の可能性について検証

した。さらに、無電源地帯を想定して装備したソーラーパネルの耐用時間の検討結果、ワイヤレスにおける計測可能距離の評価結果について整理した。最終的に 11 台の超音波風速計を用いた現場観測の結果を得て、実用化への目処をつけた。以上について報告する。

5.3.2 超音波風速計の概要

超音波風速計は、一般家屋内の換気測定（例えば、羽原ら⁶⁸⁾や自然環境の計測（例えば森脇ら⁶⁹⁾）に利用されている（株）ソニック製 SAT-550 を使用した。概要を Fig.5.10 に示す。測定間隔は最大 50Hz，測定精度は $\pm 2\% + 0.05\text{m/s}$ である。本機は、固定された経路を反対方向に進む超音波の伝達時間から軸方向の風速成分を算出する⁷⁰⁾。A 軸の①②間における風速の演算を例に説明する。風速は超音波の伝達時間の逆数差を用いた次式により算出できる。センサー①から②へ超音波が伝達する時間は $T_{①②}$ およびセンサー②からセンサー①に伝達する時間 $T_{②①}$ はそれぞれ(1)式と(2)式で示される。(1)式と(2)式から(3)式を導くことで A 軸方向の風速 V_A が算出される。

$$T_{①②} = \frac{L}{(C + V_A)} \quad (1)$$

$$T_{②①} = \frac{L}{(C - V_A)} \quad (2)$$

$$V_A = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{T_{①②}} - \frac{1}{T_{②①}} \right) \quad (3)$$

ここで、 C は音速、 L はセンサー間距離である。

本機は 3 成分、すなわち 3 次元の風速を評価するため、3 組のセンサーで構成される。A 軸、B 軸、C 軸間で得られた風速 V_A 、 V_B 、 V_C は、(4)式、(5)式、(6)式を用いて、それぞれ X 軸、Y 軸、Z 軸の成分風速に置換される。

$$V_x = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} (V_B - V_C) \quad (4)$$

$$V_y = \frac{\sqrt{2}}{3} (2V_A - V_B - V_C) \quad (5)$$

$$V_w = \frac{\sqrt{2}}{3} (V_A + V_B + V_C) \quad (6)$$

5.3.3 ワイヤレス台風観測システム

本観測システムは、Fig.5.11(上)に示す超音波風速計による観測値を送信するクライアントと Fig.5.11(下)に示すように、観測値を受信してデータファイルとして保存するサーバーに分かれる。

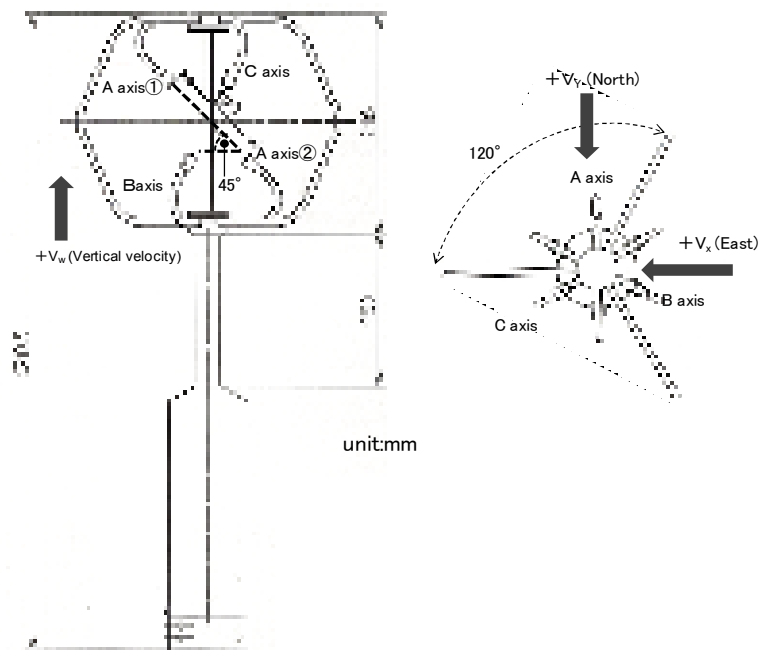


Fig.5.10. Outline of sonic anemometer.

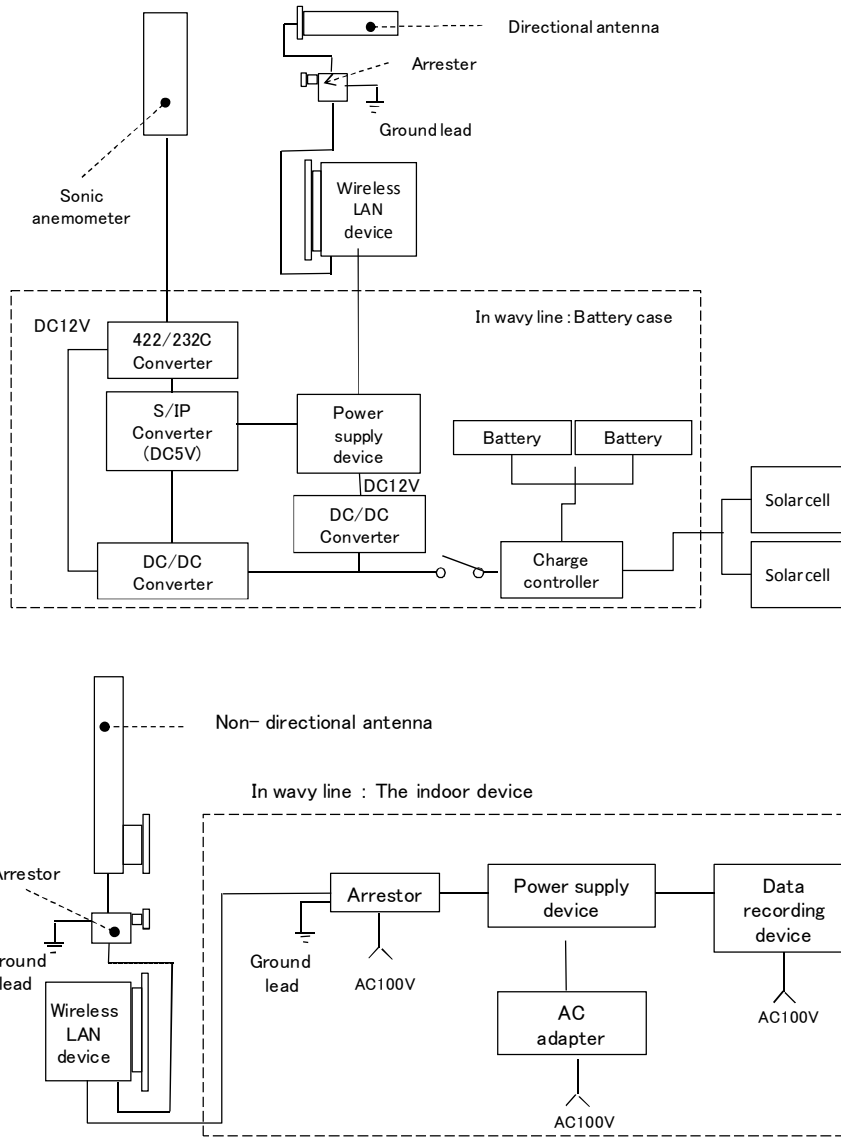


Fig. 5.11. Client (above) and Server (below) of wind observation system.

超音波風速計のデータは無線 LAN に接続されたコンピュータで収集し、ハードディスクに記録する。サーバー側の電源は AC 電源を利用し、停電時には無停電電源装置と発電機で対応する。一方、クライアント側の電源システムはバッテリーとソーラーパネルで対応する。

電力の設計容量は次のとおりである。まず、これまでの台風観測の経験からシステムの連続使用期間は3日間と考えた。各機器の消費電力は、超音波風速計が4W、422/232 コンバータが1.2W(DC10～30V)、風速計の出力値を LAN に接続するための信号変換器である S/IP コンバータ (以下、S/IP という) は2W(DC5V400mA)、無線 LAN ユニットの消費電力は7.2W (実測に基づく)、DC/DC コンバータの電力効率を80%とすると、システム全体の消費電力は、 $4W + (2W \div 0.8) + (7.2W \div 0.8) + 1.2W = 16.7W$ となる。一方、3日間動作させるためのバッテリー容量は、システム全体に流れる電流を機器の消費電力16.7W とバッテリー電圧12V から計算し、72時間の連続使用と安全率2.0を考慮すると $200.4Ah \div 2 = 200Ah$ となった。そこで、耐久性に優れた100Ahのディープサイクルバッテリー12V100Ahを2台備えることとした。

一方、ソーラーパネルについては、バッテリー容量を考慮し、動作電圧が12V(85W)、最大動作電流が5.02Aの製品を2枚採用した。ソーラーパネルの傾斜角は、(財)日本気象協会が(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託研究により作成したMONSOLA05(801)を用いて検討した。方位角を真南とした時の那覇市における最適傾斜角は、8月の場合10°であり、日射量は5.4kWh/m²であった。一方、12月においては40°であり、日射量は3.0kWh/m²であった。本システムは台風来襲時の観測を主目的としているが、季節風が吹き付ける冬場の風況情報も営農現場には有用な情報である。傾斜角を40°に設定した場合の8月の平均日射量は4.8kWh/m²であり、十分な日射量を得られると考え、傾斜角は40°に設定した。また、1日の発電量を見積もるために必要な1日あたりの日射時間換算値は、那覇市における2009年6月1日から2010年5月31日までの年間平均日照時間である1688.1時間⁷¹⁾⁷²⁾⁷³⁾⁷⁴⁾を365日で除し、さらに、気象変動などを考慮して安全率70%を乗じた3.2時間とした。パネルの汚れ係数、充放電効率、製品個体差などは考慮していない。バッテリーが完全に放電した状態から満充電までの時間を計算すると、バッテリー容量200Ahを最大動作電流10.04A(5.02A×2)で除し、さらに、3.2h/日で除した結果、満充電には約6.3日を要する結果となった。台風が1週間以内に2度来襲したことはほとんどないことから、機器の電源をOFFにすることで十分な充電が可能と判断した。

次に、観測システムについて説明する。クライアントからサーバーまでの距離は最長500m程度を想定してシステムを構築した。クライアント側には指向性アンテナを、サーバー側には無指向性アンテナを使用した。サーバー側の無線LANユニットの使用温度は0～50℃、最大通信速度は54Mbps、通信距離は500m以上に対応しているものを採用した。

観測用プログラムの作成にはナショナルインスツルメンツ社のLab Viewを用いた。プログラムの概要をFig.5.12に示す。プログラムの画面では風速の時間変化を成分ごとに確認できる。観測後のデータ整理の利便性を考慮し、1ファイルあたりのデータ収録間隔は1分、5分、10分、20分、30分、60分のいずれかを選択できるようにした。データ収集時の同期を優先したシステムであることから、同期あわせはファイル更新ごとに行うことができる。ただし、デメリットとしてはファイル更新時に瞬間的に通信を切断するため、0.6秒程度(50Hzデータでは30点程度)の欠落が発生する。通信が切断された場合、本システムでは一定間隔ごとに再接続を行う。通信切断を判断し、再接続処理を開始するまでの時間(通常は2秒)および再接続回数は任意に設定できる。ただし、

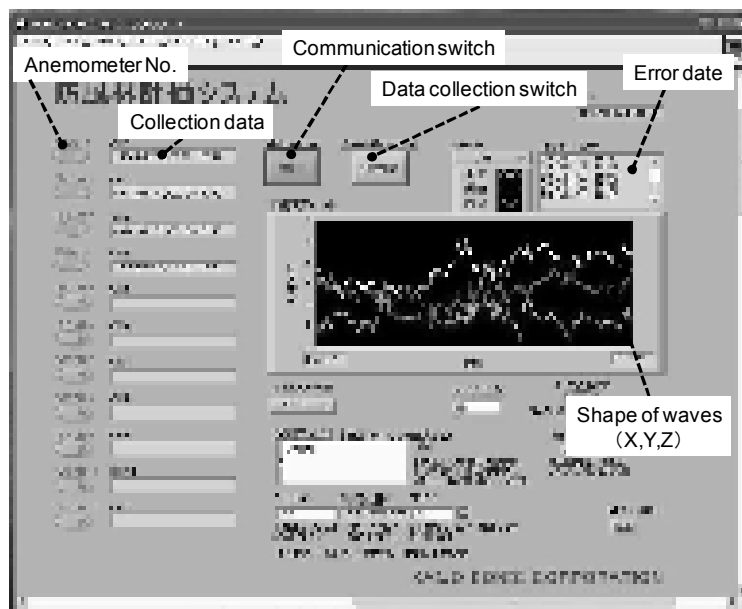


Fig. 5.12. Display of wind observation system for collecting situation.

再接続では 30 秒程度の時間を要する。通信切断時の日時も画面上に表示される。

5.3.4 事前評価結果

(1) 評価項目

ワイヤレス台風観測システムを製作するにあたり、下記に示す試験を実施した。まず、観測システムに用いる通信機器およびデータ処理の精度を確認するため、ダミーデータを用いて試験を実施した。次に、超音波風速計の特性を確認するため、晴天時および雨天時において風車型風速計との風速値の比較を行った。電波強度と通信速度については実際の測定を考慮して野外観測による評価も行った。さらに、バッテリーの使用可能時間についても実際の観測から算定した。

(2) 室内試験による通信データの処理状況の確認

通信データの処理と同期について確認するための試験を Fig.5.13 のように実施した。データが欠落することなく、正確な受信状態を保つことを確認することが目的であることから、風速計の代わりにダミーデータとして 1~9999 数値を順番に送信するパーソナルコンピュータ(PC)を用意した。ダミーデータはこの分配器(Distributor)を通じ、クライアント側となる 11 台の S/IP へ同期がとられた状態で送信される。ダミーデータは無線 LAN(W-LAN)を経由して、11 台分のデータとしてサーバー側の PC に送信される。11 台分の送信データの配列に異常が見られなければ、通信やソフトが正常に動作したと判断できると考えた。実験の結果、データ配列に異常は確認されず、システムが正常であることを確認した。

(3) 超音波風速計と風車型風速計の比較

超音波風速計の性能についてはすでにいくつかの文献で紹介されており⁷⁵⁾⁷⁶⁾、超音波風速計が従来の風車型風速計や風杯型風速計に比べて応答性能に優れ、乱流計測に適した測器であることは周知されている。しかし、本観測に用いた超音波風速計とこれら従来型の風速計の観測値について、降雨時を中心に比較した報告はほとんどない。また、超音波風速計は複数のメーカーが考案しており、中には雨天時での使用は困難な製品も存在する。そこで、本観測で用いる超音波風速計と従来型風速計との観測値の比較検証を行うため、高さ 15m の建造物の屋根上に高さ 6m のポールを設け、その頂上に超音波風速計と風車型風速計を設置し、降雨時の観測値について比較を行った。両器間距離は 1.5m であり、南側に風車型風速計 ((株)日本エレクトリック・インスルメント, N-800S)、北側に超音波風速計を設置した。

観測は日降雨量 187mm (沖縄県農業研究センター内の観測値)を記録した 2007 年 12 月 21 日に実施した。両計測器の比較は、15:40 から 23:00 までの観測値を 10 分間平均風速で整理し、さらに、10 区間分の移動平均として示した結果を用いて行った(Fig.5.14)。その結果、両計測器の風速と測定時間の関係は非常に類似しており、相関係数は 0.99 と高い値が得られた。また、超音波風速計の雨天時の使用では観測値の欠落が懸念されたが、18:30 から 19:30 までの降雨量は 75.5mm を記録したにもかかわらず、観測値に欠落はなかった。しかし、降雨時には超音波風速計の振動子表面に雨滴が付着し、観測値に異常をもたらすことが懸念されたことから、振動子間の伝播速度の特性についても確認をした。その結果、まれに振動子表面への雨滴付着が原因と考えられる観測値の乱れが数秒程度確認されたが、Fig.5.14 で示したように平均風速として整理する場合にはほとんど問題は

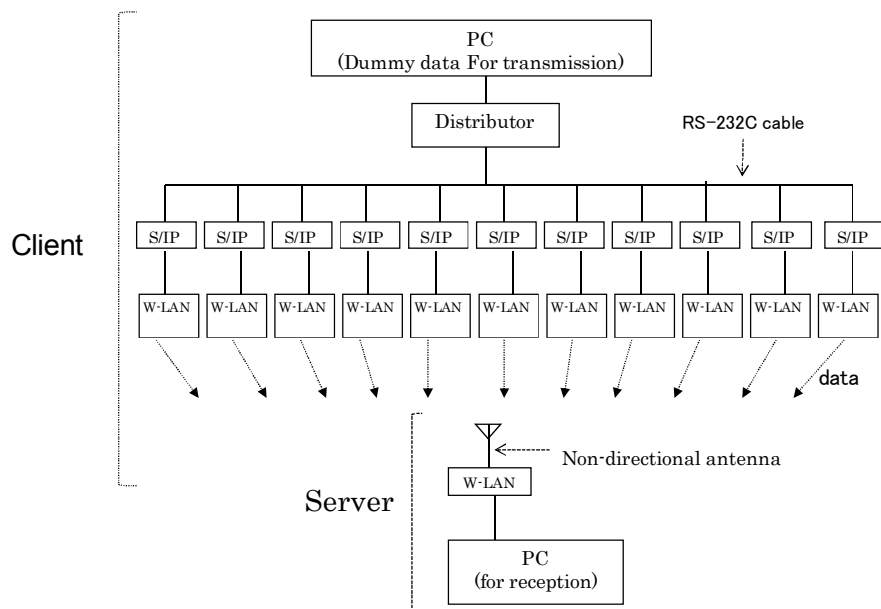


Fig. 5.13. Outline of laboratory experiment.

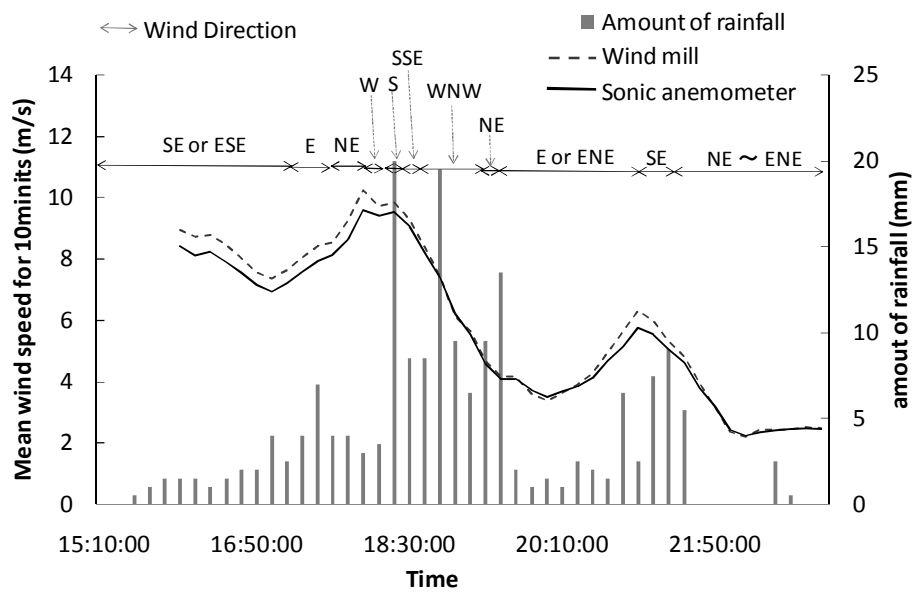


Fig. 5.14. Comparison of average wind velocity for ten minutes of sonic anemometer and wind mill (Included the duration of the rainfall).

なかった。

(4) 野外における電波強度と通信速度の評価

沖縄県農業研究センター内において、サーバー設置予定位置から 250m 離れた位置にクライアント側アンテナを簡易的に設置し、本観測システムで使用予定の無線 LAN の通信速度と電波強度を確認した。その結果、晴天時の通信速度は 56Mbps、雨天時においても 46Mbps を確保でき、十分な観測が可能であることを確認した。一方、電波強度は天気にかかわらず安定して高い信号レベルを維持できた。観測システムを設営後、電波強度及び伝送速度の低下が確認されたが、この原因はクライアント側アンテナケーブル（無線 LAN ユニット付近）内への水滴の浸入であることが確認でき、十分な対策を施した。

(5) バッテリー使用可能時間の評価

観測システムのクライアント側電源には、5 時間率容量 100Ah、電圧 12V のバッテリーを使用している。台風来襲時の観測では無日照で 3 日間程度の連続観測が必要と考えられたことから、観測システムを設置後、観測システム作動時におけるバッテリーの電圧変化の推移をテスターで測定し、連続使用が可能な時間について検証した。日射量測定には(株)プリード製 PCM-03E を用いた。

測定は 2007 年 4 月 6 日 11:30 を観測開始時刻とし、16 日 17:00 まで実施した。Fig.5.15 に例として 4 台のバッテリーの推移を示す。No.2, No.3, No.4 は観測前までシステムが作動中であったため、記録開始時の電圧はそれぞれ、11.3V、10.8V、11.4V であった。

測定開始 1 日から 7 日までは充電期間とした。充電期間 6 日間のうち、4 日は降雨が観測され、日射量日平均値は 0.27kW/m^2 であった。そのため、充電が緩やかに行われ、6 日目に No.2, No.3, No.4 は満充電の目安である 12V を超えた。以上の結果から、本システムにおいては充電日数として 6 日を要すれば、天候不順な状態であってもバッテリーをほぼ満充電とすることが可能であることが示された。

7 日目から観測システムを作動し、電圧の低下状況を確認した結果、電圧勾配には差が見られ、No.4 の電圧が観測開始から 5 日目に許容値とした 10.8V に到達した。その時の No.2 の電圧は 11.0V、No.3 は 11.3V、No.1 は 11.7V であった。観測期間中の平均日射量は 0.37kW/m^2 であり、充電のために十分な日射量を得たとは考えにくい。そのような状況下でも、観測開始から 3 日後の電圧は、電圧勾配が直線であったならばいずれも 11V を超えていたと考えられた。以上から、台風来襲時においても少なくとも観測開始時のバッテリー電圧が 12V を超えていれば、目標とする 3 日間の連続観測は十分に可能と判断した。

5.3.5 実証試験

(1) 測定条件

観測システムは沖縄県農業研究センター内に設置した。構成したクライアント側の測定システムの一例を Fig.5.16 に示す。風速計 No. と設置高さは Fig.5.17 に示した。クライアント側からサーバーまでの最長の距離は 310m、その間に大きな障害物ない。観測場所周辺は裸地もしくはサトウキビ畑として利用されている。なお、観測場所は北側から南側に向かって 2% の下り勾配があり、道路は畑地よりも 1m 程度低い。道路から畑地に向かって緩やかな法面が形成されている。観測点が

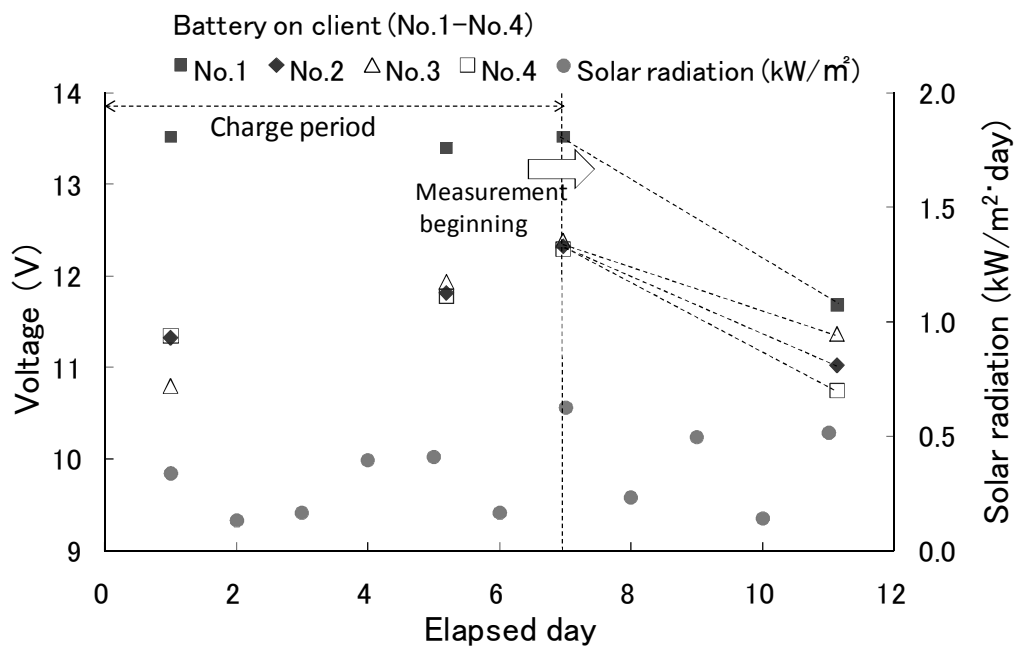


Fig. 5.15. Relation between voltage of battery and elapsed time.

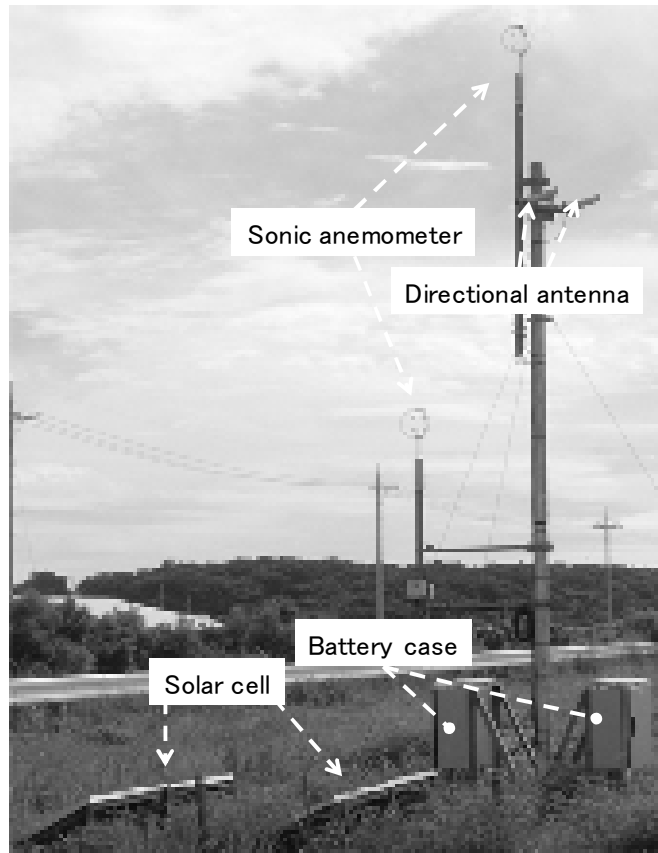


Fig. 5.16. Wind observation system (Client).

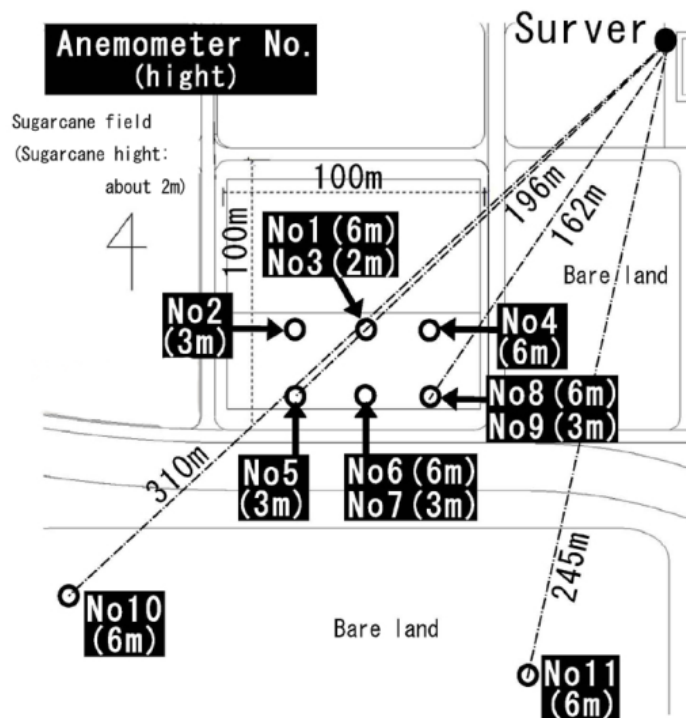


Fig. 5.17. Observation field.

集中する畑地の南側道路は畑地よりも 2m 程度低い位置にある。

(2) 観測結果

台風 0704 接近時である 2007 年 7 月 12 日の 18:20 から 19:30 において観測を実施した。観測中、降雨は 18:20 から 18:40 間で観測され、降雨量は 2.0mm/20min であった。観測値の妥当性は観測値の欠落の可否、平均風速、乱れの強さ、パワースペクトルから確認した。パワースペクトルは FFT 法により求めた。

観測値の妥当性はパワースペクトルの形状から簡易的に検討できる。具体的には慣性小領域（パワースペクトルが高周波数に向かうに従って直線的に低下する領域）の勾配の近似性から判断する。勾配が $-5/3$ 乗よりも小さいと、データ内に高周波ノイズが含まれるか、大きなスパイクが入った可能性があると言われていた一方、傾きが $-2/3$ 乗よりも大きい場合は、測器の応答が不十分、もしくは測定部スパンが慣性小領域の渦スケールに比べて大きすぎると言われている⁷⁷⁾。パワースペクトルが高周波数に向かうに従って直線的に低下する領域、すなわち、慣性小領域の勾配は、一般的に $-5/3$ 乗に比例し、大気乱流中においてはその性質が満足される⁷⁸⁾。Fig.5.18 に本観測におけるパワースペクトルの一例を示す。スペクトルの形状は観測点間でほとんど違いが見られなかった。また、慣性小領域と見られる周波数域の勾配は $-5/3$ 乗と近い値を示したことから、適切な観測値が得られたと判断した。

観測値の欠落に関して分析した結果を Fig.5.19 に示す。No.1 では 10 秒程度の観測値の欠落が数回にわたり観測された。図中の風速は 10 秒間平均値である。欠落の理由には、振動子に水滴が付着し、超音波の伝播が測定レベル以下になったこと、または、水滴以外の異物が振動子間に侵入したことが原因と考えられたが、観測値からは原因の特定は困難であった。従って、超音波風速計の利用では観測値の欠落が生じる可能性を否定できないが、この現象が No.1 のみに生じたものであったこと、他の観測日においては異常値が観測されなかったこと、事前評価結果も合わせて考慮すると、異常値の判別さえ正確に行えれば、超音波風速計の使用は風挙動の分析に有効と考えられた。次に、各観測点における水平風向、仰角、平均風速、乱れの強さから観測場の気流性状について検討した。この観測場は地表面が平坦であることから、観測高さが同値な場合、平均風速や乱れの強さは接近すると考えられる。乱れの強さとは、乱流のもつエネルギーの大きさを表す尺度であり、変動成分の標準偏差を平均風速で除した値である。水平風向は 16 方位で整理し、N を 0° として時計回りに方位を算出した。例えば E は 78.75° から 101.25° の範囲内となる。主風向はサーバー設置箇所東側の位置する 15m の高さの建造物の屋根上に高さ 6m のポールを設け、ポールの頂上に設置された風車型風速計で測定した。その結果、台風 0704 来襲における測定時間帯の主風向は NE もしくは ENE であった。

一方、Fig.5.17 に示す地上高 6m 以下の地表面近傍の観測点では、ENE または E の風向が比較的高い頻度で観測された。また、観測時間中 18:20 から 19:30 までの各観測点の平均風速と乱れ強さを Table.5.5 に示す。各測定箇所の風向の一例として 18:30 から 18:40 までの観測結果を Fig.5.20、仰角の平均値と標準偏差を Table.5.6 に示す。

まず、乱れの強さが 0.25 と他の観測点よりも低い No.10 に着目した。No.10 では水平風向頻度の 85% が E または ENE であった。平均風速は 9.6m/s であり、他の観測地点よりも高い値を示した。以上の結果から、No.10 が最も地形の影響を受けずに安定した観測値を得られたと考えられたので、

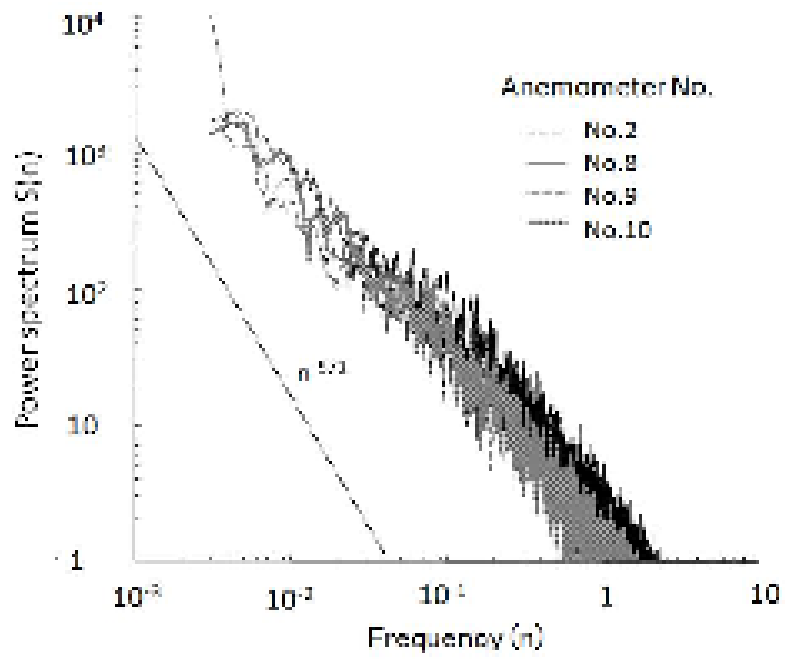


Fig. 5.18. Power spectrum density of wind fluctuations.

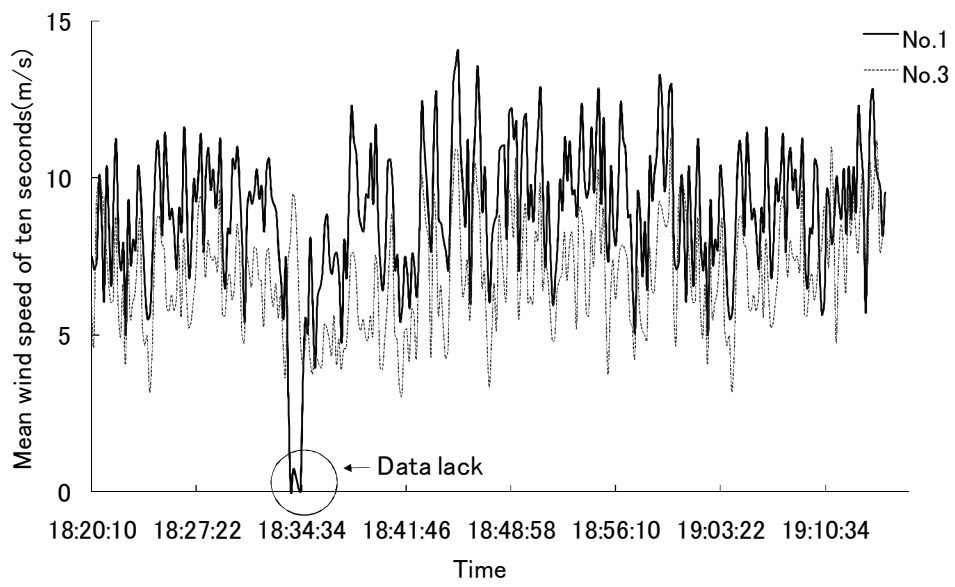


Fig. 5.19. Time series of average velocity of the wind.

No.10 を基準に他点との比較を行った。

地表面からの高さ 6m における観測結果について検討した結果を Table.5.5 に示す。No.1, No.4, No.6, No.11 は平均風速がそれぞれ 8.9m/s, 9.0m/s, 9.3m/s, 9.1m/s, 乱れの強さは 0.33, 0.3, 0.28, 0.3 であった。No.10 よりも平均風速は低下し, 乱れの強さは若干高いが, 各観測値は接近していた。一方, 地上からの高さ 3m, もしくは 2m に設置された No.3, No.7, No.9 は高さ 6m 検討した。その結果, 相関係数は No.1 と No.3 は 0.42, No.6 と No.7 は 0.65, 無相関検定でも有意水準 1%の相関が認められた。以上の結果から, 主風向が NE の場合, No.1, No.4, No.6, No.10, No.11 が設置された観測点では, 観測値の相対的評価が可能と考えられた。

仰角の平均値を Table.5.6 に示す。No.9 以外の観測点の平均値は 4°未満であり, 正の値を示した。また, 観測点が地表面に近いほど, 仰角のばらつきは大きくなる傾向にあった。仰角の頻度分布を Fig.5.20 に示す。観測高さ 2m にある No.3 では少数ではあるものの, 70°以上の仰角が観測された。また, 仰角の標準偏差は 13.1 と比較的大きい値となった。そのような観測結果がある一方, No.5 は高さ 3m での観測にもかかわらず, 乱れの強さは 0.27 であった。仰角は -40°から 50°の範囲以内で観測され, 標準偏差 7.3 と比較的小さかった。しかし, No.5 から北方向に 30m の位置にある No.2 は, 乱れの強さは 0.26 と低いものの, 仰角が観測された角度の範囲が広く, 頻度は少ないが, 全ての水平風向で 70°以上の値を記録した。乱れの強さについては No.2 と No.5 に相違は示されていないが, 仰角のばらつきが生じる理由については今後検討したい。

本観測では, No.9(地上高 3m)の乱れの強さが, 他の観測点よりも高かった。また, 特に水平風向において, 他の観測点では 10%以上の頻度割合を示した水平風向は NE から E までであったのに対し, No.8 と No.9 では NE から ESE へと広がった。両観測点については地形的要因が影響したと考えられる。No.8 と No.9 の東側通路は南北方向に傾斜しており, 畑地の南東側隅角部においては通路よりも 1.5m 程度高かった。そのため, 風上となる北東方向からの風に対し, No.8 と No.9 の観測値はこの高低差の影響を受け, 複雑な風挙動を示したと考えられた。よりも平均風速が低下し, 乱れの強さは増加した。そのうち, No.1 と No.3, No.6 と No.7 では, 観測値は異なっても風挙動は近い傾向を示すと考えられたことから, 測定点ごとの偏相関係数と無相関検定から観測精度について検討した。その結果, 相関係数は No.1 と No.3 は 0.42, No.6 と No.7 は 0.65, 無相関検定でも有意水準 1%の相関が認められた。以上の結果, 本観測場では主風向が NE の場合, No.8 と No.9 を除いた地点では, 観測点間の相対評価が行える観測値が得られた。また, 風向を 3 次元的に評価することにより, 立地特性を詳細に評価できる可能性が示された。降雨に伴い, 若干の観測値の欠落も生じたが, 地表面近傍の風挙動を評価できる観測値が十分に得られたと考えられ, 本観測システムの有効性が確認できた。

本研究の目的は超音波風速計を用いたワイヤレス型の多点観測システムの構築であったことから, 観測値の解析は風況特性を簡単に示すことができる水平風向, 仰角, 平均風速, 乱れの強さにとどめた。今後は, 本システムを電源が確保できないような南西諸島の離島地域の台風対策で活用したいと考える。

5.3.6 ワイヤレス風観測システムの開発に関する結び

本研究では, 超音波風速計の特徴を風車型風速計との比較から検討し, 雨天時の観測も可能であることを示した。また, 台風来襲時の風挙動を観測できるワイヤレス多点観測システムを製作した。

Table 5.5 Mean wind speed and turbulent intensity of each observation point (18:20-19:30).

Anemometer No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
Mean wind speed (m/s)	8.9	9.0	6.7	9.0	8.8	9.3	8.0	8.5	5.0	9.6	9.1
Turbulent intensity	0.33	0.27	0.36	0.30	0.27	0.28	0.30	0.33	0.65	0.25	0.30

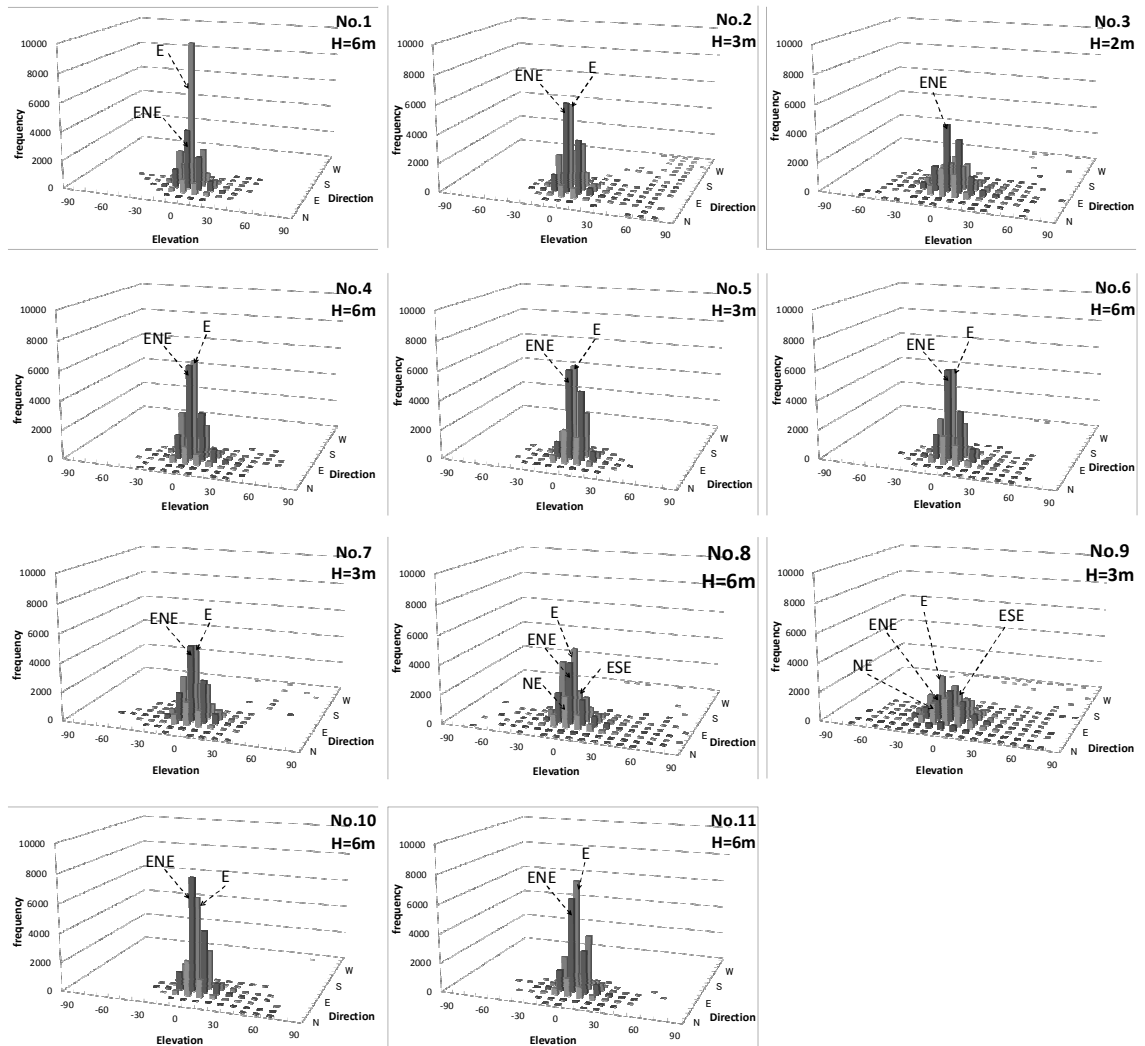


Fig. 5.20. Frequency distribution concerning elevation for wind direction (18:30-18:40).

Table 5.6 Mean elevation and standard deviation of each observation point (18:30-18:40).

Anemometer No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
Mean elevation (°)	1.0	2.3	3.4	1.4	2.6	2.2	0.6	1.0	-1.3	2.7	1.9
Standard deviation	8.1	13.1	13.1	9.3	7.3	9.3	9.1	11.9	15.8	7.9	8.3

評価結果の要約は以下のとおりである。

- 1) 本システムではサーバー側から 310m の範囲内において風向風速の多点観測が行えた。また、観測値のサンプリング周期が 50Hz 以下においては、超音波風速計 11 台を用いた多点観測においても、高い精度で同期をとることができる。ただし、同期精度を確保するため、通常、10 分間隔でファイルを更新し、各クライアント側の測定時間の同期合わせを行う。その際、瞬間的に通信を切断するため、0.6 秒程度（50Hz データでは 30 点程度）の欠落が発生する。現状の観測では支障がないが、10 分間以上の瞬時データが必要な場合はファイル更新時間を延長することで対応できる。
- 2) 本システムで用いた超音波風速計で観測された平均風速は、降雨時においても風車型風速計とほぼ同等の観測精度が得られることが確認できた。
- 3) 本システムで用いた超音波風速計は、降雨時において 10 秒程度の観測値の欠落もしくは異常値が発生する可能性が示された。しかし、本研究で観測した範囲では、観測値の欠落も補正可能な範囲であり、解析にはほとんど支障がなかった。
- 4) 本システムは電力が得られない地域での使用を想定した装置である。そのため、クライアント側にはソーラーパネル 2 枚とディープサイクルバッテリー 2 台を併用した。これにより、少なくとも 3 日間の連続観測が可能である。
- 5) 観測値をもとに平均風速、水平風向、仰角、乱れの強さについて整理した結果、本システムが地表面近傍かつ狭小な領域における風挙動を把握する上で有効であることが示された。

第6章 総括

南西諸島の農業の進展には園芸施設が不可欠である。夏秋期の台風や冬春期の季節風による風害対策のみならず、病害虫対策、温度管理などの観点からも園芸作においては、栽培用の施設がなければ安定した作物生産は困難である。鹿児島県と宮崎県における鉄骨ハウスの設置面積割合がそれぞれ6.6%、0.5%にしか過ぎないのに対し、沖縄県では42%を占めることから、南西諸島が常に台風の脅威に曝されている地域であり、台風対策への意識が非常に高いことが伺える。しかし、既存の鉄骨ハウスは導入費が高いため、政府からの補助金なしで設置することは非常に困難である。そして、近年はその補助金も徐々に削減されていることから、低価格かつ耐風性に優れた園芸施設および台風対策技術の開発が緊急的課題となっている。しかし、その一方で近年は農地法の改正により、異業種から農業への参入が増加しつつある。参入した企業が行う営農体形は、施設園芸や畑作など多様であるが、いずれも一般の農業従事者と比べて大規模である。そして、施設園芸では大規模生産用の施設、いわゆる植物工場に対応した園芸施設が求められている。農家と企業が求める園芸施設のスタイルは必ずしも一致しないが、本研究では、両者の要望に応えられる南西諸島向けの園芸施設および防風施設を開発することを目的に研究を実施した。

まず、第1章では、本研究の目的と園芸施設ならびに防風施設に関する既往の研究を整理した。また、南西諸島を代表して沖縄県の園芸施設の利用状況について取りまとめた。

次に、第2章では、南西諸島で設置面積が増加した網被覆型施設で利用されている網に着目した。網被覆型施設は、園芸施設の屋根面と側面に網を被覆することで、施設に対する風荷重を低減できるとの考えから、耐風性に優れ、かつ比較的 low コストで設置できる園芸施設として南西諸島で普及している。しかし、これを被覆する網の通気性は明確でなく、農業従事者が購入する際の選定基準も明確でないことから、風洞実験により、南西諸島で利用されている網を中心とした糸径 0.17~0.29mm、開口比（網の間隔の面積/網の外郭面積）0.25~0.68 の範囲にある 11 種類の網の通気特性を評価した。風洞実験により網の圧力損失と平均風速の関係を求めた結果、網目の間隙の長さが類似しても、開口比が減少すると網の圧力損失が増加した（例えば、開口比が 0.82 倍になると、圧力損失は 1.6 倍になった）。従って、通気性に着目して網を選択する場合は、一般的に用いられてきた目合い（格子1つで構成される間隙の一辺の長さ）を基準とするのではなく、開口比を用いなければならないことが示された。また、圧力損失と開口比の関係は風速ごとに二次関数で示され、糸径やアスペクト比などの諸元が供試網と類似した網については、開口比を用いて通気特性を比較できることを明らかにした。

第3章では、沖縄県における近年の台風被害事例とその特性について調査した。最大瞬間風速 74.1m/s を記録した台風 0314(2003年9月)の来襲により被災した園芸施設の調査結果から、1) コンクリート基礎の裂壊、2) ベースプレートの破断、3) 梁と側柱を繋いでいる接合ボルトの切断やゆるみ、4) 溶接部の破断など、これまでの沖縄の園芸施設における台風被害報告では見られない被災の特徴明らかにした。また、ネット式鋼管施設と鉄骨ハウス（ここでは角鋼ハウス）の被災事例をもとに、同様な破壊現象が生じる可能性のある風速を許容応力度から逆算して求めた。その結果、ネット式鋼管施設における妻面側柱の基礎が引抜けた状態での倒壊は、妻面に風速 46.4m/s 以上の風を受けた場合に生じる可能性が高いと指摘した。また、角鋼ハウスの施設肩部におけるアーチ材と側柱を接合するエンドプレート溶接部の破壊は、施設側面から風速 37.5m/s 以上の風を受けた場

合に生じる可能性があることを明らかにした。

第4章では、第3章で述べたような被害を回避することを目的に、低コストで耐風性に優れた2種類の園芸施設の開発を行った。一つはゴーヤーなどの野菜栽培農家を対象とした、間口 6.0m、棟高 2.8m、軒高 1.8m の小型園芸施設である。この施設の耐風速は最大瞬間風速 50m/s である。実証試験でも耐風性が確認された本施設は、現在、沖縄県内でマンゴーやゴーヤー栽培で広く利用されている。もう一つは、マンゴーなどの大型果樹栽培農家を対象とし、トラス構造を特徴とした大型園芸施設である。トラス構造は、使用鋼材の重量が大きくなり、コスト高となるため、農業用ハウスに採用するには資材コストを低減する必要がある。最大瞬間風速 70m/s の風荷重に耐える設計とする一方、コスト削減とハウスの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。

第5章においては、既存の園芸施設や開発型施設の耐風速を超えるような大型台風の来襲に備えるために、防風施設の遮風効果を実証試験により検証した。また、検証に必要な台風観測システムを開発した。まず、防風施設の遮風効果は南西諸島や九州地域で普及が見込まれる2列型防風ネットを対象とした。観測は高さ6mと3mの位置で実施し、台風0310来襲時の風速比や乱れの強さについて分析した。また、立地条件が崖地形であったことから、崖後流の挙動についても検討した。その結果、崖後流における高さ6mの平均風速は、崖の距離との関係において2次関数で表されることを明らかにした。一方、崖後流における高さ6mの乱れの強さは、崖からの距離が約400mに至るまで直線的に低下した。防風ネットの遮風効果は、高さ4mの防風ネットに対し、1.5倍となる高さ6mにおいても得られ、高さ6mにおけるネット高倍数（ネット高さHに対するネット設置箇所からの距離）が7H（ここでは28m）の風速比は0.75、15Hでは0.8、23Hでは0.83となった。崖からの距離と防風ネット内の平均風速の関係は直線関係で示され、ネット設置箇所と平均風速との関係よりも決定係数が高かったことから、防風ネットの後流には防風ネットの遮風効果だけでなく、崖の影響も含まれることが示唆された。従って、防風ネットの設置位置を検討する際には、防風ネットと防護対象物との距離だけでなく、防風ネットを設置する以前の風速分布についても考慮する必要があることが示された。また、本観測結果では、風洞実験結果で示された遮風効果が、野外観測結果よりも高くなる可能性が示された。ただし、防風ネット内外の最大瞬間風速は互いに近い値を示したことから、防風ネット内においても防風ネット外と同等の強風が生じると考えられた。そのため、一般的に突風といわれる瞬間風速については、今後の対策方法について検討する必要があることが示唆された。

防風施設の遮風効果の評価には立地条件が無視できないため、前述のような多点観測による実証試験が有効と考えられる。しかし、農地や遠隔地を対象とした観測では、農業機械による断線や電源が確保できない状況も生じる。そこで、ワイヤレス型の風観測システムを開発した。本システムは少なくとも3日間の連続観測が可能であり、実用化の目処をつけた。また、本観測では防風ネットの遮風効果の観測で用いた3次元計測型の超音波風速計を用いたが、本機の雨天時の使用については疑問が持たれていた。そこで、本機の雨天時での観測精度を風車型風速計との比較から検討し、雨天時観測が可能であることを示した。

今後の課題は、第一に網被覆型施設の耐風性について定量的に評価することである。新たに提案した観測システムを用いて、実物大の園芸施設の風速比、ネットに生じる風圧力の測定方法を確立し、測定データを風洞実験にフィードバックすることができれば、園芸施設の耐風設計に大きな貢献が期待できる。また、園芸施設の建設費、維持費などの経済性に関する研究報告が少なく、耐

風設計を行う上での指標が整理されていないことも課題としてあげられる。建設費については農家所得と園芸施設材料費のバランスが図られた合理的な設計が行える指標が必要であると同時に、施設の長期的利用が図られるようにメンテナンス手法についても基本的な指針を示す必要がある。メンテナンスについてはボルトの緩み防止や防錆加工など、研究分野は広範となる。しかし、農業従事者の経済面から考慮すると、園芸施設の長期的利用に繋がる維持管理手法は極めて重要な技術であり、これらの提案は南西諸島の農業の発展に大きく貢献することになると考える。

引用文献

- 1) 琉球新報: 台風12号による農林水産業関係被害総額は8億円余,
<<http://ryukyushimpo.jp/news/storyid-86938-storytopic-86.html>>, 1996年8月15日参照, (1996).
- 2) 沖縄気象台: (速報)平成15年台風14号について, 沖縄気象台 (2003).
- 3) 沖縄県宮古支庁: 台風14号被害確定報告, (2003).
- 4) 沖縄県農林水産部: 農業関係統計平成17年7月, 沖縄県農林水産部農林水産企画課, pp.48, (2005).
- 5) 農林水産省: 2-3-4 ガラス室・ハウス設置状況, ガラス室・ハウス経営実農家数, 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況, <<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001051847>>, 2009年3月19日参照, (2009).
- 6) 沖縄県農林水産部: 沖縄県の園芸・流通, 沖縄県農林水産部, 52-53, (2010).
- 7) 篠和夫, 中崎昭人: 一様流中の剛模型ハウス屋根面に作用する風圧の変動について—施設園芸ハウスの耐風性に関する研究(I)—, 農土論集, 139, pp.25-33, (1989).
- 8) 羽倉弘人, 藤野宏道: ビニルハウスに作用する風荷重に関する研究—風洞実験による基礎的な風圧特性—, 農業施設, 23(1), pp.15-24, (1992).
- 9) 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)—実物大実験—, 農業施設, 19(3), pp.29-38, (1989a).
- 10) Moriyama, H., Sase, S., Uematsu Y. and Yamaguchi, T.: Wind Pressure Coefficient of a Pipe-Fremed Greenhouse and Influence of the Side Gable Openings Using a Wind Tunnel, Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan, 38(4), pp.237-248, (2008).
- 11) Moriyama, H., Sase, S., Uematsu Y. and Yamaguchi, T.: Wind Tunnel Study of the Interaction of Two or Three Side-by-Side Pipe-Framed Greenhouses on Wind Pressure Coefficients, Transactions of the ASABE, 53(2), pp.585-592, (2010).
- 12) 篠和夫, 中崎昭人: Shear Keyを付けた異形杭の引抜き抵抗力に関する実験的考察—施設園芸ハウスの耐風性に関する研究(IV)—. 農土論集, 147, pp.61-67, (1990).
- 13) 篠和夫, 尹龍喆, 松本伸介: 砂地盤における浅いアースアンカーの引抜き抵抗力に関する実験的研究—施設園芸ハウスの耐風性に関する研究—, 農土論集, 194, pp.7-16, (1998).
- 14) 尹龍喆, 篠和夫, 松本伸介, 玉井佐一: 水平方向に加振した短杭の引抜き抵抗力に関する実験的研究—施設園芸ハウスの耐風性に関する研究—, 農土論集, 166, pp.25-33, (1993).
- 15) 尹龍喆, 篠和夫, 松本伸介: 水平方向に加振した短杭の短杭の引抜き抵抗力の低下と杭の振幅との関係, 農土論集, 173, pp.29-37, (1994).
- 16) 豊田裕道, 森山英樹, 瀬能誠之, 前川孝昭: 園芸用プラスチックハウスの耐風性向上のための簡易基礎工法について(第1報), 農業施設, 29(4), pp.215-223, (1999a).
- 17) 豊田裕道, 森山英樹, 瀬能誠之, 前川孝昭: 園芸用プラスチックハウスの耐風性向上のための簡易基礎工法について(第2報), 農業施設, 30(1), pp.31-39, (1999b).
- 18) 豊田裕道, 森山英樹, 瀬能誠之, 前川孝昭: 園芸用プラスチックハウスの耐風性向上のための簡易基礎工法について(第3報), 農業施設, 30(1), pp.61-67, (1999c).
- 19) 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(3), pp.9-22, (2003).

- 20) 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)―実物大実験―, 農業施設, 19(3), pp.29-38, (1989a).
- 21) 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 (II)―継手, 定着杭, 接合金具の耐力―, 農業施設, 20(3), pp.35-42, (1989b).
- 22) 森山英樹, 松島健一, 藤本直也: 台風7号(1998年)による園芸施設の被害状況と施設構造の特性, 施設と園芸, (107), 1999-12, pp.6-12, (1999).
- 23) 日本施設園芸協会: 園芸用施設安全構造基準(暫定基準)平成9年版, 日本施設園芸協会, pp.38, (1999).
- 24) 丸山敬, 河井宏充, 奥田泰雄, 林泰一: 宮古島を襲った台風0314号の後日調査, 日本風工学会論文誌, 29(4), pp.63-69, (2004).
- 25) 奥田泰雄, 喜々津仁密, 岡田恒, 松井正宏, 田村幸雄, 土谷学, 山本学, 林田宏二, 近藤宏二: 2003年台風14号(マエミー)による宮古列島での強風被害, 日本風工学会誌, 97, pp.49-60, (2003).
- 26) 山本良三: 渥美半島における伊勢湾台風による園芸温室の倒壊とそのとき表面化した構造上の不備, 伊勢湾台風災害の調査研究報告(名古屋大学調査会), pp.160-175, (1964).
- 27) 山下進, 小倉力: 園芸施設の台風による被害について, 農業土木試験場技報, A28, pp.61-84, (1982).
- 28) 豊田裕道, 森山英樹, 瀬能誠之, 前川孝昭: 園芸用プラスチックハウスなどの風害発生事例とその特徴, 農業施設, 29(1), pp.21-24, (1998).
- 29) Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A. and Chang, H. R.: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, *Science*, 309, pp.1844-1846, (2005).
- 30) Oouchi, K., Yoshimura, J., Yoshimura, H., Kusunoki, S. and Noda, A.: Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20km-mesh global atmospheric model: frequency and wind intensity analyses, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 84(2), pp.259-276, (2006).
- 31) Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC WGI Fourth Assessment Report - Summary for Policymakers-, pp.21, (2007).
- 32) Bailey, B. J., Montero, J. I., Pérez Parra, J., Robertson, A. P., Baeza, E. and Kamaruddin, R.: Airflow resistance of greenhouse ventilators with and without insect screens, *Bio systems Engineering*, 86(2), 217-229, (2003).
- 33) Valera, D. L., Molina, F. D., Alvarez, A. J., Lopez, J. A., Terres-Nicoli, J. M. and Madueno, A.: Contribution to characterization of insect-proof screens: Experimental measurements in wind tunnel and CFD simulation, *Acta Horticulturae*, 691, pp.441-448, (2004).
- 34) 當眞毅, 玉城磨: CFDによる台風被害抑制要因の解析, 第44回(平成17年度沖縄農業研究会講演要旨・総会資料), pp.21-22, (2005).
- 35) 武田勝昭, 安田喜世史, 竹内政夫, 金田安弘: 防風・防雪柵の性能に関する風洞実験, 日本風工学会誌, No.25, pp.15-32, (1985).
- 36) 秦野武雄, 今井篤雄, 前田考一: 防雪柵の機能試験(1), 鉄道技研速報, No.66-1016, pp.1-35, (1966).
- 37) 深尾康三, 岩佐義輝, 川端三朗, 又木義浩: 中高層建物周辺の風害防止策に関する研究―防風フェンスの遮風性能について―, 第6回風工学シンポジウム, pp.107-114, (1980).

- 38) 沖縄県農林水産部農地建設課：農地防風施設設計指針，沖縄県農林水産部農地建設課，pp.21-108, (1998).
- 39) 真木太一：風害と防風施設，文永堂出版社，pp.99-118, (1987).
- 40) 台風研究委員会：多良間島における耐風観測研究総合報告書，中央電力協議会，pp.21-161, (1980).
- 41) 孟岩，松井正宏，嶋田健司，日比一喜：台風時の平均風速と乱れ強度の鉛直分布，清水研究報告，No.60, pp.57-64, (1994).
- 42) 板本守正・市川裕通・塘直樹・片山忠久・小林信行：環境工学，四訂版，朝倉書店，pp.78-94, (2002).
- 43) Miguel, A. F., van de Braak, N. J. and Bot, G. P. A.: Analysis of the airflow characteristics of greenhouse screening materials, Journal of Agricultural Engineering Research, 67, pp.105-112, (1997).
- 44) 黄裕益，相原良安，瀬能誠之，奈良誠：台湾における温室の自然換気に関する研究(Ⅱ)，農業施設，23(2), pp.67-71, (1992).
- 45) 日野幹雄：明解水理学，丸善株式会社，84, (1983).
- 46) 沖縄県宮古支庁：台風14号被害確定報告，沖縄県宮古支庁，(2003).
- 47) 沖縄気象台：(速報) 平成15年台風14号について，沖縄気象台，(2003).
- 48) 宮古支庁農林水産振興課：宮古の農林水産業，pp.5-9, (2002).
- 49) 日本施設園芸協会：園芸用施設安全構造基準（暫定基準）平成9年版，日本施設園芸協会，pp.38, (1999).
- 50) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，日本建築学会編，pp.200-241, (2001).
- 51) 玉城暦：引抜き試験による園芸施設用簡易基礎の耐力評価，農業環境工学関連7学会2005年合同大会講演要旨集，pp.489, (2005).
- 52) 日本鉄鋼連盟：わかりやすい鉄骨の構造設計，第2版，技報堂出版，pp.126-132, (2004).
- 53) 高市益行，渡辺賢：特集 新しい施設開発に向けた取り組み画期的な構造・工法による1/2を目指す低コスト化への挑戦，施設と園芸，日本施設園芸協会，131, pp.10-13, (2005).
- 54) 高市益行：超低コストハウスの開発，農業機械学会誌，69(1), pp.4-7, (2007).
- 55) 岩田衛：はじめてのシステムトラス，建築技術，東京，pp.41-45, (1996).
- 56) 沖縄産業振興公社：，平成16年度沖縄産学官共同研究推進事業「台風に壊れない流線型・最適環境制御グリーンハウスの研究開発」成果報告書，沖縄産業振興公社，那覇，1-52, (2006).
- 57) 山城英世：防風・防音装置，日本国特許庁，特許出願公開番号特開平11-206248, (1999)
- 58) 平田功，漢那賢作：風洞実験による2列型防風ネット工の減風効果について，沖縄県林業試験場研究報告，No.41, pp.16-22, (1998)
- 59) Nemoto, S.: Similarity between Natural Wind in the Atmosphere and Model Wind in a Wind Tunnel, Pap. Meteorol. Geophys, Vol.12, pp.30-52, (1961)
- 60) 沖縄気象台：(速報) 平成15年台風10号について，沖縄気象台，pp.2, (2003)
- 61) 丸山敬，谷口徹郎，岡崎充隆，谷池義人：接地境界層中に置かれた2.4m立方体周りの気流・風圧性状，日本風工学会論文集，No.99, pp.227-240, (2004)
- 62) 天野輝久，大熊武司，川口彰久，山本博志，後藤暁：ドップラーソーダによる沖縄における台風時の観測，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，pp.135-136, (1995)
- 63) 玉川一郎ほか：熱・水収支観測の高精度評価に関する研究，京都大学防災研究所，12G-15, pp.

1-26, (2001)

- 64) 塚本修, 文字信貴: 気象研究ノート, 日本気象学会, No.199, pp. 49, (2001)
- 65) Peterson, E. W., : Modification of mean flow and turbulent energy by a change in surface roughness under conditions of neutral stability, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 95, 5, pp. 561-575, (1969)
- 66) Rao, K. S., Wyngaard, J. C., and Cote, O. R.,: The structure of the two-dimensional internal boundary layer over a sudden change of surface roughness, *J. Atmos. Sci.* 31, pp. 738-746, (1974)
- 67) 伊藤芳樹, 林泰一: ドップラーソーダで観測された崖後流の台地上の風速分布, 第15回風工学シンポジウム, pp. 55-60, (1998)
- 68) 羽原宏美・三浦尚志・細井昭憲・西澤繁毅・澤地孝男: 夏期および中間期における通風冷房行為の再現による RC 集合住宅の室内温熱環境および冷房消費電力量に関する研究 住宅のための省エネルギー手法の実験的研究に関する研究 その 2, 日本建築学会環境系論文集, 73-633, pp.321-329, (2008) .
- 69) 森脇 亮・神田 学・木本由花: 都市接地層における乱流プロファイルの大気安定度依存性, 水工学論文集, 47, pp.1-6, (2003).
- 70) 副島潤一郎: 超音波の基礎, *カイジョー技報*, 8-12, pp.51-52, (2003).
- 71) 沖縄気象台: 平均気温・降水量・日照時間の平年差(比)と階級, 沖縄地方の天候-平成 22 年 3 月～5 月-, pp.2, (2010).
- 72) 沖縄気象台: 平均気温・降水量・日照時間の平年差(比)と階級, 沖縄地方の天候-平成 21 年 12 月～平成 22 年 2 月-, pp.2, (2010).
- 73) 沖縄気象台: 平均気温・降水量・日照時間の平年差(比)と階級, 沖縄地方の天候-平成 21 年 9 月～11 月-, (2010) pp.2.
- 74) 沖縄気象台: 平均気温・降水量・日照時間の平年差(比)と階級, 沖縄地方の天候-平成 21 年 6 月～8 月-, pp.2. (2010)
- 75) 牛山素行: 超音波風速温度計を使った観測, 身近な気象・気候調査の基礎, 古今書院, 東京, pp.76-79, (2000).
- 76) 光田 寧・山田道夫訳(J.C カイマル著): 微細気象学, 技報堂出版, 東京, pp.52-77, (1993).
- 77) 塚本修・文字信貴: 気象研究ノート第 199 号-地表面フラックス測定法-, 日本気象学会, 東京, pp.49, (2001).
- 78) 社団法人日本鋼構造協会: ,構造物の耐風工学, 東京電気大学出版局, 東京, pp.389-390, (1997).

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、本論文の主査であり様々なご指導を頂きました琉球大学工学部情報工学科玉城史朗教授に心より感謝申し上げます。また、本論文の副査である同大学環境建設工学科堤純一郎教授，同大学農学部地域農業工学科鹿内健志准教授，同大学工学部情報工学科名嘉村盛和教授には，貴重なお時間とご助言を頂きました。謹んで感謝の意を表します。

論文作成の基本から実験手法に至るまで，丁寧にご指導いただきました独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所の佐瀬勘紀博士，石井雅久博士，森山英樹博士，同機構畜産草地研究所の池口厚男博士に心から感謝申し上げます。

また，台風対策の研究業務に関わって以来，12年に渡って研究生活をサポートして下さった沖縄県農業研究センター研究企画班長の赤地徹氏に深謝いたします。

そして，研究期間中，実験や現場観測においては共同研究者としてご尽力いただきました沖縄県農業研究センター総務管理班農業技術補佐員宮平守邦氏，沖縄県土木建築部北部土木事務所主任古川快氏，拓南伸線株式会社社長新城孝彦氏，同社相談役國場之裕氏，同社主任国場和也氏，當眞毅氏，金城祥一氏，臼井高江氏，株式会社国建構造設計部長花城和雄氏，同社構造設計部次長東江直司氏，株式会社ソニック専務伊藤芳樹博士，同社内山真司氏，有限会社グリーンスタッフ社長亀島克夫氏，同社比嘉正道氏に感謝の意を表します。

さらに，台風被害に関わる現地調査を遂行するにあたり，貴重な時間を割いてご協力頂きました元沖縄県農業研究センター名護支所長比嘉正和氏，沖縄県農業研究センター宮古支所長小禄博昭氏，沖縄県農林水産部農林水産企画課企画班長竹ノ内昭一氏，同主任技師安田宗伸氏，同園芸振興課主任技師比嘉淳氏，沖縄県農業研究センター野菜花卉班主任研究員宮城徳道氏，同センター総務管理班農業技術補佐員知念潤氏，同センター農業機械研究室ならびに農業システム開発班の歴代非常勤職員の皆様，JAおきなわの皆様感謝申し上げます。

最後に，就職した私に再度試験研究に取り組むきっかけを与えて下さり，また，情熱を持って厳しくご指導頂きました元独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所の大井節男博士，宮原和己博士，茨城大学農学部の中石克也教授，岡山大学環境理工学部教授石黒宗秀教授，故茨城大学農学部教授岩田進午教授に厚く御礼申し上げます。

平成23年3月
沖縄県農業研究センター
農業システム開発班
玉城 磨

論文目録

【印刷論文】 5 件

- [1] 玉城麿, 佐瀬勘紀, 森山英樹: 台風 0314 による園芸施設の被害特性, 農業施設学会誌, 38(1), pp.29-42, (2007).
- [2] 玉城麿, 佐瀬勘紀, 池口厚男, 赤地徹, 石井雅久: 沖縄の園芸施設で利用されている防虫網の通気特性, 農業施設学会誌, 40(3), pp.159-165, (2009).
- [3] 玉城麿, 當眞毅, 鹿内健志, 赤地徹, 新城孝彦, 国場和也, 花城和雄, 東江直司: 樹脂製接合部材を用いたトラス構造の耐風性施設園芸用大型ハウスの開発, 農業機械学会誌, 72(3), pp.283-290, (2010).
- [4] 玉城麿, 玉城史朗, 伊藤芳樹, 當眞毅, 長田智和, 堤純一郎: 断崖近傍に設置された段違い 2 列型防風ネットの効果に関する研究, 日本風工学会論文集, 35(4), pp.107-115, (2010).
- [5] 玉城麿, 内山信司, 伊藤芳樹, 玉城史朗: 超音波風速計を用いた多点型ワイヤレス風観測システムに関する研究, 日本太陽エネルギー学会誌, 36(6), pp.65-74, (2010).

【Proceeding】 1 件

- [1] Maro, T., Takeshi, S: REINFORCEMENT METHOD FOR GREENHOUSES BASED ON THE SURVEY OF DAMAGE BY TYPHOON WIND LOADS IN OKINAWA, is-ASAE, Proceedings of International Seminar on Agricultural Structure Agricultural Engineering 2007 TAIPEI, pp.212-217, (2007).

【講演要旨】 10 件

- [1] 玉城麿, 内山真司, 伊藤芳樹, 玉城史朗, 超音波風速計を用いた多点型台風観測システムの検討, 生態工学会 20140 年次大会講演要旨集, pp.19-20, 沖縄, (2010).
- [2] 玉城麿, 鹿内健志, 赤地徹, 沖縄県のキク栽培における平張施設利用上の課題と雨除け機構の利点, 農業環境工学関連学会 2009 年合同大会講演要旨集 (CD-ROM), 東京, (2009).
- [3] 玉城麿, 赤地徹, 鹿内健志, 新城孝彦, 當眞毅, 国場和也, 花城和雄, 東江直司, 新部材による耐風性施設園芸用大型ハウスの開発, 農業環境工学関連 7 学会 2007 年合同大会, 2007 年度農業施設学会大会講演要旨集 (CD-ROM), F72, 東京, (2007).
- [4] 玉城麿, 佐瀬勘紀, 池口厚男, 赤地徹, 石井雅久: 南西諸島で利用している防虫網の通気特性, 2006 年度農業施設学会大会講演要旨 CD-ROM, 北海道, (2006).
- [5] 玉城麿: 低コスト耐風性施設-その開発と夏秋野菜の生産技術-, 平成 17 年度九州沖縄地域農林水産業研究成果発表会「次世代の農林水産業を支える革新技術」-異常気象にどう立ち向かうか, 九州沖縄の新技术-, 第 25 回講演要旨集, pp.26-31, 大分, (2005).
- [6] 玉城麿: 引抜き試験による園芸施設用簡易基礎の耐力評価, 農業環境工学関連 7 学会 2005 年合同大会講演要旨集, GS73-4, pp.489, 石川, (2005).
- [7] 玉城麿: 台風 0314 号による沖縄県宮古島の園芸施設被害について, 2004 年度農業施設学会大会講演要旨, B-16, pp.78, 千葉, (2004).
- [8] 玉城麿: 台風 0314 号による宮古島の農業施設への被害状況とその対応, 台風災害低減へ向けた

挑戦-我々は何をすべきか-, 京都大学防災研究所一般共同研究集会, 16k-6, pp.25-32, 京都, (2004).

[9] 玉城麿: 耐風性に優れた沖縄型園芸用施設の開発(第2報), 第63回農業機械学会年次大会講演要旨, pp.115-116, 兵庫, (2004).

[10] 玉城麿: 耐風性に優れた沖縄型園芸用施設の開発, 第61回農業機械学会年次大会講演要旨, pp.85-86, 岩手, (2002).

【特許権】5件

[1] 玉城麿, 新城孝彦: 「耐風性パイプハウス」, 出願番号 2004-134812, 特許権者沖縄県, 拓南伸線(株), 出願年月日 2004年3月31日, 特許第 3946208号.

[2] 玉城麿, 新城孝彦, 宮城正和, 嘉数博: 「ハウス用保護ネット」, 出願番号 2004-108359, 特許権者沖縄県, 第一農薬(株), 拓南伸線(株), 出願年月日 2004年3月31日, 特許第 4227063号.

[3] 玉城麿, 赤地徹, 仲本善幸, 新城孝彦: 「ハウス用保護ネットと保護ベルトの同時締め付け構造と使用方法」, 出願番号 2005-257711, 特許権者沖縄県, 第一農薬(株), 拓南伸線(株), 出願年月日 2005年9月6日, 特許第 4338687号.

[4] 玉城麿, 赤地徹, 仲村健一, 宮城健次: 「ネット式平張り施設の雨除け構造」, 出願番号 2006-135642, 特許権者沖縄県, 沖縄産業(株), 出願年月日 2006年5月15日, 特許第 4368362号.

[5] 玉城麿, 赤地徹, 鹿内健志, 新城孝彦, 花城和雄, 東江直司: 「合成樹脂製の球状継手とその製造方法並びに製造装置」, 出願番号 2006-343586, 特許権者沖縄県, 琉球大学, 拓南伸線(株), (株)国建, 出願年月日 2006年12月20日, 特許第 4576488号.

【意匠権】1件

[1] 玉城麿, 赤地徹, 鹿内健志, 新城孝彦, 花城和雄, 東江直司: 「合成樹脂製の球状継手とその製造方法並びに製造装置」, 出願番号 2006-036632, 特許権者沖縄県, 琉球大学, 拓南伸線(株), (株)国建, 出願年月日 2006年12月20日, 登録第 1323923号.

【受賞】2件

[1] 玉城麿, 佐瀬勘紀, 森山英樹: 農業施設学会論文賞, 2009年9月15日, 台風0314号による園芸施設の被害特性, 農業施設, 40(2), pp.11-13.

[2] 玉城麿, 新城孝彦: 九州地方発明奨励賞, 「耐風性に優れたパイプハウス」, 2009年11月19日, 発明協会.