

## 温室設計への最適設計法の適用 (2)

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者	蔵田, 憲次 立花, 一雄
巻/号	39巻1号
掲載ページ	p. 9-17
発行年月	1983年6月

# 温室設計への最適設計法の適用

## (II) 最適設計の変動解析

蔵田 憲次\*・立花 一雄\*\*

( \* 東京大学農学部農業工学科  
 \*\* 北里大学獣医畜産学部 )

Application of an Optimization Technique  
 to Greenhouse Structural Designs.

(II) Dependence of Optimal Designs on Cost Restriction,  
 Design Loads and Span

Kenji KURATA\* and Kazuo TACHIBANA\*\*

( \* Department of Agricultural Engineering, University of  
 Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113  
 \*\* School of Veterinary Medicine and Animal Sciences,  
 Kitasato University, Towada-shi, Aomori 034 )

### 1. はじめに

温室設計の指針を呈示する目的で、蔵田・立花(1980) (以下、前報と呼ぶ)は、最適設計法の1つ、最急降下法の温室設計への適用のアルゴリズムを展開し、2, 3の計算例を示した。そこでは、建設費の指標として単位床面積当りの地上部分の資材費、内部環境の指標として冬期の直達光透過率、温室の強度の観点からは「園芸施設安全構造基準(暫定基準)」(日本施設園芸協会, 1975)および関連する日本建築学会の諸規定(藤本, 1972; 日本建築学会, 1974)がとりあげられた。温室の最適設計アルゴリズムは大略すると、以下のようにまとめられる。

最初に、資材費  $J_s$  が目的関数に選ばれ、強度の観点からの諸規定を制約条件として、最小化された。その時の最小資材費を  $J_{sopt}$  としよう。次に、冬至における直達光透過率  $J_l$  を目的関数とし、次の不等式(1)を制約条件に加えて、最大化された。

$$J_s \leq k J_{sopt} \quad (1)$$

ここで、 $k$  は資材費制約条件係数と名づけられた係数で、 $k \geq 1.0$  である。前報では以上の方法によって、風速 50 m/s、積雪深 30 cm の条件下で、建設費の観点から見た最適な温室構造の特徴を明らかにし、次に建設費、直達光透過率両者の観点から見た最適な温室構造の特徴を

明らかにした。

本報告は、前報の続報で、前報で固定したパラメータによる最適設計の変動解析について報告する。

### 2. 基準パラメーター

温室の最適な形状、部材の大きさ等の設計項目が、設計荷重等のパラメーターによって、どのように変化するかを考察する前に、基準となるパラメーターの組合せを設定しよう。基準パラメーターは、日本における最も一般的と考えられる施設園芸地帯を対象とし、Table 1 のように設定した。第4章以後で、あるパラメーターを変化させた場合、他のパラメーターはTable 1の値に固定した。なお、直達光透過率を目的関数にした場合の資材費制約条件の  $J_{sopt}$  (不等式(1)参照)の値は、一定では

Table 1. Standard values of parameters.

Parameters with asterisks are changed stepwise to study the dependence of the optimal design on them.

Parameter	Value	Parameter	Value
Span*	9m	Latitude	34° N
Snow depth*	30 cm	Time of year	winter solstice
Wind velocity*	50 m/s	Orientation of greenhouse	NS, EW
Coefficient of construction cost allowance*	1.10		

昭和52年6月11日 全国大会にて発表

昭和58年1月13日 受理

なく、パラメーターの変化に伴って変化する。すなわち、変動パラメーターが、例えば 1.0, 1.1, 1.2...と変化する時、 $J_{sopt}$  はそれぞれ変動パラメーターが、1.0, 1.1, 1.2...の時の資材費を目的関数とした場合の最小資材費を意味する。

今後、資材費を目的関数にした最適設計を単に C 最適設計、直達光透過率を目的関数にした最適設計の東西棟の場合を EW 最適設計、南北棟の場合を NS 最適設計と呼ぶ。

### 3. 最適設計の特徴

前報で報告した最適設計の特徴を、ここで要約しておく。以下に述べる特徴は、パラメーターが変化した場合にも保持されているので、次章以後の説明では、これらの特徴は既知のものとした。

1) C および NS 最適設計では、左右対称の温室となり、EW 最適設計では、棟が中央より南側に位置し非対称となった。したがって、次章以後、各部材の特徴は EW 最適設計では主架構の各部材ごとに、C および NS 最適設計では柱およびはりごとに説明した。

2) 各部材の断面形は、温室強度(応力度および許容応力度)、直達光透過率および資材費と複雑に関連している。本最適設計では、部材の断面形を表わす変数として、 $x$  軸まわりの断面 2 次モーメント(以下、単に断面 2 次モーメントというとき、 $x$  軸まわりのものをさす)の他に 2 つの無次元数  $R_1, R_2$  を導入し、応力度、許容応力度、直達光透過率、資材費の計算に必要な変数を算出した。 $R_1$  は(断面積)/(断面 2 次モーメント)<sup>1/2</sup> で定義され、 $0.6 \leq R_1 \leq 1.0$  の変域を持つ。 $R_2$  は( $y$  軸まわりの断面 2 次半径)/(断面 2 次モーメント)<sup>1/4</sup> で定義され、 $0.3 \leq R_2 \leq 0.7$  の変域を持つ。C 最適設計では、すべての主架構部材で、 $R_1$  は最低値 0.6、 $R_2$  は最高値 0.7 となった。 $R_1$  は、断面 2 次モーメントを一定とすると、その定義および経験的な関係式から、断面積と正の相関関係にあり、部材のせい(厚み)と負の相関関係にある。したがって、 $R_1$  が大きいと、資材費の観点からは不利であるが、直達光透過率の観点からは有利である。なお、強度に関連する諸変数と  $R_1$  の相関は正負の両者あり、 $R_1$  の大小と強度の面からの有利、不利は場合ごとに異なってくる。しかし、多くの場合、 $R_1$  が大きい程強度的に有利となる。 $R_2$  は、 $y$  軸まわりの断面 2 次半径と正の相関関係に、部材の幅とも正の相関関係にある。したがって、 $R_2$  が大きい程、強度的に有利に、直達光透過率の面からは不利になる。直達光透過率を考慮に入れていない C 最適設計での  $R_1, R_2$  の値は、以上の  $R_1, R_2$  の性質から説明される。5 章以後、C 最適設計での説明では

特に  $R_1, R_2$  の値にふれない。なお、NS, EW 最適設計では、 $R_1, R_2$  の値はそれぞれ最低値、最高値からずれてくる。

3) C および EW 最適設計では多くの場合、柱の長さは最低値 180 cm となった。この最低値は、作業条件を考慮して定めた。次章以後、特にふれない場合は、柱の長さは 180 cm である。

4) 本最適設計では、ガラスおよびガラスを支えるときの強度の制約条件を考慮に入れなかった。そのため、もや間隔は大きな値となった。このことは、少なくとも骨組の強度の面からは、もやに大きな部材を使い、間隔を広くした方が有利であることを意味している。

## 4. 資材費制約条件と最適設計

### 4.1 NS 最適設計

温室を設計する場合に、資材費の節約に重点を置いて考えるか、光透過率に重点を置いて考えるかの指標が、資材費制約条件係数(不等式(1)の  $k$ )である。 $k$  を 1.0 (資材費の節約のみ考える場合)から、1.2 (光透過率に力点を置く場合)まで変化させて、最適設計を行った。NS 最適設計の場合、 $k$  による最適設計の変化はなめらかである。これは能動制約条件(前報で定義した  $P_i \leq 0$  の制約条件で、 $P_i = 0$  となっているもの)が、すべての主架構部材で、 $k$  に関係なく両雪荷重時(両屋根面に積雪のある時)の  $P_1$  (前報参照)であることによる。このように能動制約条件が一定であることは、次節で述べる EW 最適設計との大きな相違の 1 つである。

最適設計の結果を Fig. 1 に示した。Fig. 1 (a) から分かるように、 $k$  の増加による直達光透過率の増加は少ない。 $k \geq 1.08$  では、最適設計は同じ結果を与える(これは、正確には前報第 2 章の収束条件の  $\delta b_1$  の絶対値のとり方による)。Fig. 1 には、したがって  $k \leq 1.08$  の結果を示した。このことは、 $k = 1.08$  以上の投資をしても、直達光透過率の増加は得られない、あるいは得られてもわずかであることを意味している。各設計項目の変化も、次節で述べる EW 最適設計に比べて小さく、総じて C 最適設計( $k = 1.00$  の場合)は、NS 最適設計に近い結果を与えていると言えよう。

Fig. 1 (b) に示したように、屋根勾配は資材費制約条件係数  $k$  の増加とともに、わずかばかり増加する。このことには、3 つの要素が関連している。1 つは、資材費制約条件が緩んだために、はりを長くすることが可能となったことである。また、直達光の屋根面への入射角も関連している。同図(h)に、日の出から南中時までの東側屋根傾斜角  $\theta$  の違いによる東側屋根面に関する太陽高度  $h$  の正弦の違いを示した。午後の西側屋根面での同関

係は、同図と対称形となる。なお、図中の $\theta=90^\circ$ は東側壁面に相当する。図より次のことが分かる。屋根傾斜角が大きい程、午前早い頃の屋根面に関する太陽高度 $h$ は大きく、南中時の $h$ は小さくなる。 $k=1.08$ の傾斜角は約 $15^\circ$ である。図中の $\theta=15^\circ$ と $0^\circ$ を比較すると、南中時にわずかばかり $\theta=15^\circ$ の $h$ が $\theta=0^\circ$ に比べて下まわるのを除いて、 $\theta=15^\circ$ の $h$ は $\theta=0^\circ$ より大きい。屋根面直達光透過率は、ガラスの透過率の観点からも、部材のつくる影の観点からも、 $h$ が大きい程大きくなる。以上の理由より、屋根勾配は増したものと考えられる。第3の理由は、屋根勾配が増すことによって、わずかながらも、積雪時のはりの曲げモーメントが減ることである。このことは、後で見ると、はりの断面2次モーメントを小さくすることを可能とする。

桁高(柱の高さ)は、同図(c)に見るように、 $k$ と共に高くなる。同図(h)( $\theta=90^\circ$ )に示したように、壁面に関する太陽高度は、太陽高度の低い時大きい。したがって、桁高を高くし、壁面の投影面積を増すと、太陽高度の低い時の平均透過率は良くなる。なお、太陽高度が高く、壁面の透過率が小さい時の壁面の投影面積も増加するが、その増加量は、太陽高度が高いので小さい。以上が $k$ とともに桁高が増した理由である。

桁行方向スパンは、3.8m前後でほぼ一定である(同図(d))。断面2次モーメント、 $R_1$ 、 $R_2$ の値(同図(e),

(f),(g))は柱では、ほぼ一定で、はりでは、 $k$ とともに、それぞれ減少、増加、減少している。はりの断面2次モーメントの減少は、 $R_1$ の増加と屋根勾配の増加によって補償されている。このはりの傾向は、直達光透過率に有利な方向を指示している。これは、南北棟の場合、屋根面からの直達光の入射が支配的で、はりの断面形が柱のそれより、より大きく透過率に影響を与えることを示している。 $R_1$ 、 $R_2$ 値より算出した部材の(せい/幅)比は、柱、はりともにほぼ一定で、約1.2である。

#### 4.2. EW最適設計

EW最適設計では、NS最適設計の場合と異なって、 $k$ の値によって、異なった制約条件が能動制約条件となる。したがって、各設計変数の $k$ による変化も複雑で、変化の割合も大きい。主架構部材の能動制約条件から見て、 $k$ の1.00~1.20の範囲を次の4つの段階A~Dに分類することができる。

A:  $k=1.00\sim 1.03$  両雪荷重時の $P_1$ ( $P_1\sim P_4$ については前報参照)が、主架構の全部材で能動制約条件である。

B:  $k=1.04\sim 1.11$  柱は、両雪荷重時の $P_1$ が能動制約条件であり、北側はりは、南風時の $P_1$ 、南側はりは、両雪荷重時の $P_1$ 、北風時の $P_1$ 、南風時の $P_3$ が能動制約条件である。すなわち、この段階では、南北両方向からの風荷重が、はりの制約条件となっている。

C:  $k=1.12\sim 1.16$  北側柱の能動制約条件に、南風時の $P_1$ が加わる。北側はりでは南風時の $P_1$ 、南側はりでは両雪荷重時の $P_1$ 、 $P_4$ が能動制約条件である。

D:  $k=1.17\sim 1.20$  両雪荷重時の能動制約条件は、南側はりの $P_4$ だけとなり、南風時の北側はりの $P_1$ 、南側はりの $P_2$ 、南側柱の $P_3$ が能動制約条件となる。

Fig. 2(a)に、 $k$ の増加とともに直達光透過率が、どのように増加するかを、同図(b)には高屋根勾配を示した。直達光透過率は、段階Aと、段階BからCへの移行の時に大きく増加している。この変化は、南側屋根勾配の変化と近似している。これは、東西棟温室における直達光透過率に、南側屋根勾配が大きく関与していることを示している。他の条件下での計算では、南側屋根勾配は、南中時の直達光方向に垂直が望ましいことが示された。これは、部材の作る影の観点からも、ガラスの透過率の観点からも、直達光への屋根面への入射角( $90^\circ$ -屋根面に関する太陽高度)が小さい程有利であること、また、積雪荷重が支配的な場合、屋根勾配が増すことによって積雪深が低減され、部材を細くできることによるものである。本計算の条件下では、冬至南中時の直達光に垂直な屋根勾配 $57.3^\circ$ ( $\tan \theta = 1.56$ )は実現していない。これは、許容応力度、資材費の制約条件によるものであ

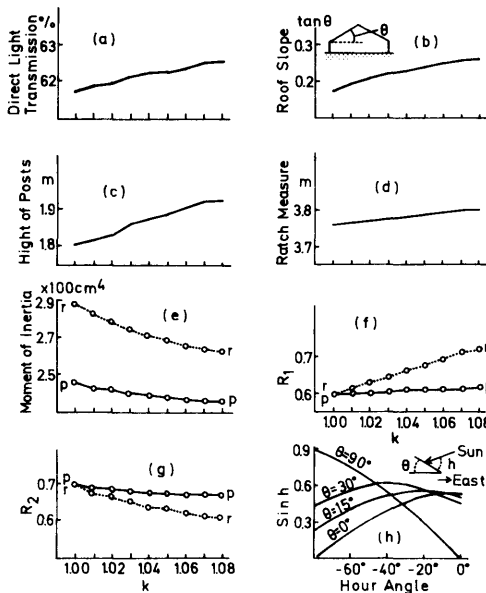


Fig. 1. Dependence of the optimal design of an NS-oriented greenhouse on the coefficient of construction cost allowance  $k$  (a-g) and the altitude of the sun with respect to the east roof (h).

る。

棟の位置は、常に中央より南側に位置した。段階Aでは、棟の位置は  $k$  の増加と共に高くなり、南側に移動し、南側屋根勾配は増加したが、段階Bに入り、南北両方向からの風荷重が能動制約条件になると、形態の変化が規制され、直達光透過率の増加率は低い。段階Cに入り、資材費制約条件がさらに緩和すると、北側はりに大きな部材を使用することが可能となり(同図(e))、再び棟は南よりに位置し、透過率の増加が可能となった。

同図(c)に示したように、北側柱の長さは、段階Cから最低値180 cmより長くなる。これは、NS最適設計の場合と異なって、直達光透過率に関することが理由ではなく、大きな断面積を持つ北側はりの長さを短くするためである。桁行方向スパン(同図(d))は、段階Aで3.5 mまで減少することを除いて、ほぼ3.9~4 mと一定である。

次に、断面2次モーメントの考察に移ろう(同図(e))。段階Aでは、4部材とも  $k$  の増加とともに断面2次モーメントは減少している。これは、屋根勾配が大きくなったこと、また桁行方向スパンが短くなったことと関連している。段階Bでは、断面2次モーメントの変化は小さく、北側はりでわずかに増加している。北側はりは、他の3部材に比べて大きな断面2次モーメントを持っている。この傾向は、段階Cへの移行で、飛躍的に強くなる。段階Cに入ると、南側柱の断面2次モーメントも飛躍的に減少している。また、次に見る  $R_1$ 、 $R_2$  の値、既に考察した屋根勾配も、段階BからCへの移行で、飛躍的に変化している。このことは、各部材への応力配分が、この段階の移行で大きく変化したことと関係している。すなわち、段階C、Dでは、段階A、Bと違って、北側部材(特に北側はり)に大きな部材を使用することによって、応力を北側部材に集中させ、南側部材には可能なかぎり光透過に有利な部材を使用している。段階Dへの移行では、南側はりの断面2次モーメントも減少している。

$R_1$  値(同図(f))は、直達光透過率に関係の深い南側はりの場合、段階Cで最高値1に飛躍的に増加し、南側柱でも、 $k$  の増加と共に増加している。なお、北側柱でも、段階CからDへの移行で大きく増加しているが、これは光透過に関するものではなく、北側柱に加わる大きな曲げモーメントを補償するためである。 $R_2$  値(同図(g))は、北側部材が常に最高値0.7にとどまっているのに対し、南側柱では段階Aから、南側はりでは段階Cから減少している。

以上の  $R_1$ 、 $R_2$  値から算出した部材の(せい/幅)比は、南側柱では段階Aで増加し、以後1.6~1.8と高い値を持つのにに対し、他の部材では、南側柱が段階Dで0.9に減

少することを除いて、1.0~1.2とほぼ一定である。以上の各部材の断面の特徴をまとめると、北側部材にはC最適設計の時のように、肉薄で、せい、幅の大きな鋼材が適している。ただし、段階Dでは、北側柱には大きな曲げモーメントが加わるため、肉厚な部材が必要である。南側はりには、段階C、Dで肉厚な鋼材が、南側柱には、(せい/幅)比の大きな部材が適している。

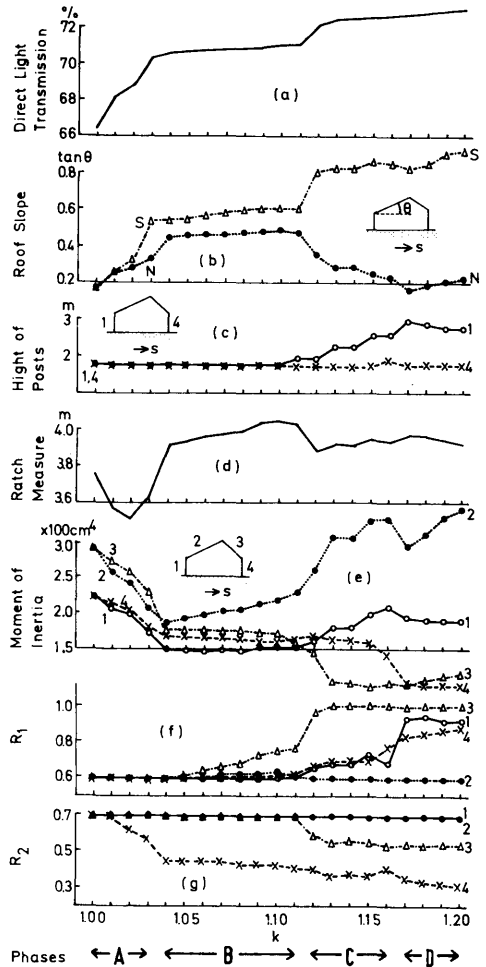


Fig. 2. Dependence of the optimal design of an EW-oriented greenhouse on the coefficient of construction cost allowance  $k$ .

## 5. 設計積雪深と最適設計

### 5.1 C最適設計

積雪深が増すと、各部材に加わる応力は増加する。それに対応する方法として、次の3つが考えられる。①部材の寸法を大きくする。②桁行方向スパンを短くして、柱、はり1本当たりの荷重を小さくする。③屋根勾配を増

す。屋根勾配が増すと、積雪深低減率が增加すること、および積雪荷重のはりに垂直な方向の分力が減少することによって、はりに加わる曲げモーメントは減少する。最適設計の結果は、基本的に②、③の方法を示した。Fig. 3(a),(b)に示したように、屋根勾配、桁行方向スパンは、積雪深の増加にしたがってそれぞれ増加、減少する。それに対して、部材の断面2次モーメントは、積雪深によって大きく変化しない(同図(c))。柱の断面2次モーメントは220~260 cm<sup>4</sup>の範囲にあり、はりの断面2次モーメントは、柱のそれに比べて、積雪深30 cmで1.2倍、積雪深60 cm以上で1.05~1.1倍である。

### 5.2 NS最適設計

屋根勾配、桁行方向スパンは、積雪深の変化に対してC最適設計と同じ傾向を示す。断面2次モーメントも、C最適設計と同じく大きな変化は示さない。柱では220~240 cm<sup>4</sup>の範囲内にある。C最適設計の場合と異なり、はりの断面2次モーメントは、積雪深30 cmの場合を除いて、柱のそれより小さく、180~200 cm<sup>4</sup>の範囲内である。これは、はりの断面形が、柱よりも大きく光透過率に影響することと、次に示すR<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>値の変化と関連している。

はりのR<sub>1</sub>は柱のそれより大きく、R<sub>2</sub>は小さい(Fig. 3(e),(g))。はりのR<sub>1</sub>は積雪深60 cm以上で、最高値1.0に近い値となる。柱のR<sub>1</sub>は、はり、柱のR<sub>2</sub>は積雪深90 cm前後で、それぞれ極大値、極小値を持つ。以上のR<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>の変化は、両変数の持つ直達光透過率、応力度、許容応力度、資材費との複雑な関係の結果である。R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>値より算出した(せい/幅)比は、柱では積雪深に関係なく、ほぼ1.2の値を示すのに対し、はりでは、積雪深120 cm以下で1.2~1.3、積雪深150 cmで1.0となる。Fig. 3には示さなかったが、柱の長さは積雪深30 cmの193 cmから積雪深120、150 cmでの180 cmへと、積雪深とともに双曲線的に減少する。これは力学的制約条件によるものである。

### 5.3 EW最適設計

積雪深の増加とともに屋根勾配が増加すること、桁行方向スパンが減少することは、EW最適設計でも同様である。断面2次モーメントは、積雪深30 cmから60 cmで、全部材とも増加するが、それ以上の積雪深では南側部材では変化しない(同図(d))。北側はりでは、断面2次モーメントは積雪深とともに常に増加している。積雪深60 cm以下と90 cm以上でこのように変化の傾向が違ふことは、能動制約条件の違いに基因している。積雪深90 cm以上での能動制約条件は、4章の段階Cに近似している。断面2次モーメントの大きさの順も段階Cのそれに同じである。北側部材のR<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>値は、C最適設計

の値とはほぼ同じである。南側部材では、積雪深60 cm以上でR<sub>1</sub>値は積雪深とともに増加、R<sub>2</sub>値は減少している(同図(f),(h))。(せい/幅)比は、北側部材で約1.2と一定であるのに対し、南側柱では1.3~1.7と大きく、南側はりでも、積雪深30 cmの1.05から積雪深150 cmの1.5へと増加している。

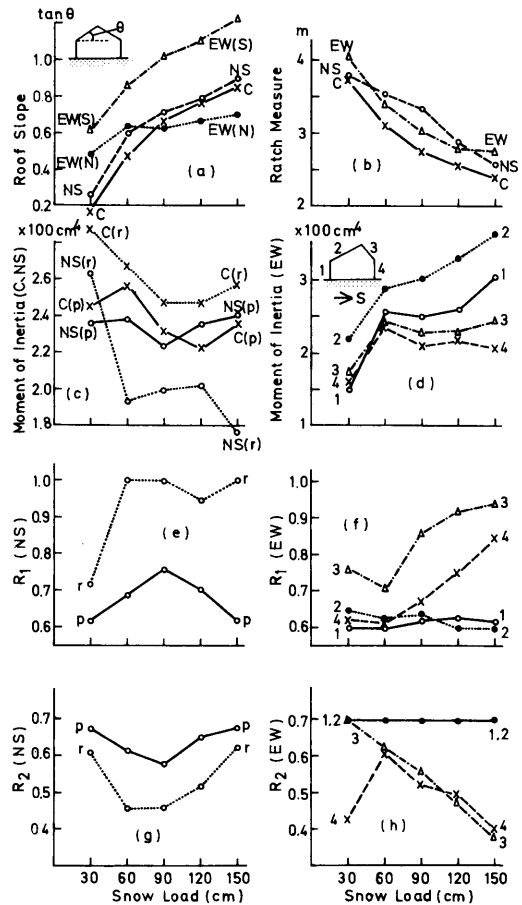


Fig. 3. Dependence of the optimal designs of greenhouses on the design snow load. C: the optimization of the construction cost, NS and EW: the optimizations of the light transmission of NS- and EW-oriented greenhouses, respectively, r and p: rafters and posts by the C- or NS-optimization, respectively, N and S: north roof and south roof by the EW-optimization, respectively.

## 6. 設計風速と最適設計

CおよびNS最適設計(左右対称形の結果を与える最適設計)では、風荷重時の許容応力度検定式が能動制約条件になることはまれである。したがって、設計風速を

変化させても、最適設計の結果に変化はなかった。ここでは、EW最適設計のみを取上げる。

能動制約条件となる許容応力度検定式は、設計風速によって異なってくる。したがって、各設計項目の風速による変化の様子は、必ずしも風速の増加によって一定の傾向を示さなかった。特に、風速 50m/s 以下と 60m/s では異なる場合が多かった。

Fig. 4 に、各設計項目の風速による変化を示した。南北両屋根勾配は、設計風速とともに小さくなっている。風荷重時の風上側屋根面の風力係数は  $1.3 \sin \theta - 0.5$  で計算した(前報参照,  $\theta$  は屋根勾配)。この風力係数が 0 となる勾配は  $\tan \theta = 0.42$  である。風速の増加とともに屋根勾配は、この値に近付いている。風圧力は高さの関数でもあるので、棟高は風速とともに減少した。棟の位置は常に中央より南側にあるが、風速 50m/s まで風速とともに中央よりに移動した。風速 60m/s では再び南よりに移動した。この違いは、能動制約条件が風速 50 m/s の場合は、4 章の段階 B に相当し、風速 60m/s の場合は、段階 C, D のそれに近似したことによる。

断面 2 次モーメントは、北側はりでは風速とともに直線的に増加し、他の部材では、風速 50m/s まで大きく変らなかった。南側部材は、風速 60m/s で減少した。桁行方向スパンも、風速 60m/s ではじめて減少した。Fig. 4 には、 $R_1$ ,  $R_2$  の値も示した。南側はりの  $R_1$  が大

きく、南側柱の  $R_2$  が小さいこと、北側部材は C 最適設計の特徴を示すことは、風速によって変らない。風速 60m/s で南側柱の  $R_1$  が大きく、南側はりの  $R_2$  が小さくなることは、4 章の段階 C, D と同じ傾向である。(せい/幅)比は、北側部材で 1.2, 南側はりで 1.0 とほぼ一定で、南側柱は風速 30m/s の 1.8 から、風速 60m/s の 1.3 まで風速とともに減少した。

## 7. 間口と最適設計

### 7.1 C 最適設計

C 最適設計における資材費は、間口が 3m から 7m へと増すにしたがって減少した。これは、柱の長さの最低値を、作業条件を考えて間口に関係なく 1.8m としたため、間口が狭い程、単位床面積当りの投資額のうち、柱、壁面への投資額割合が増加するためである。間口が 9m 以上になると、資材費は、わずかながら増加した。これは、間口が広がると各部材に加わる応力が増加し、それに対応するために必要な資材費の増加が、壁面への投資額の相対的な減少を上まわったためである。以上の結果より、最適設計のもとの間口の最適値として、7~9 m の値を得た。

Fig. 5 に、各設計項目の間口による変化を、NS, EW 最適設計の結果とともに示した。C 最適設計では、間口の増加による各部材に加わる応力の増加に対して、桁行方向スパンを減少させて、一主架構当りの荷重の負担量を軽減すること(同図(b))、間口 9m 以上では屋根勾配を増すこと(同図(a))と主架構部材の断面 2 次モーメントを増加させること(同図(c))によって対応している。間口 7m 以下の屋根勾配は  $0^\circ$  である。柱、はりの断面 2 次モーメントは、間口 7m 以下では大きな変化はなく、両者の比はほぼ 1 である。間口 9m 以上では、間口とともに大きく増加し、はりの断面 2 次モーメントは、柱のその約 1.2 倍である。

### 7.2 NS 最適設計

NS 最適設計の結果は、基本的に C 最適設計の結果と大きく変らない。すなわち、屋根勾配は、間口 7m 以下で一定で、間口 9m 以上では間口とともに増加した(同図(a))。しかし、勾配は C 最適設計より常に大きかった。これは、南北棟の場合、屋根勾配が大きい程、直達光透過率が良くなるためである。桁行方向スパンは同図(b)に見るように、間口とともに減少した。断面 2 次モーメントは、C 最適設計の時と同じく、間口 7m 以下では柱とはりではほぼ同じ値をとり、間口による変化は小さい。間口 9m 以上では、間口とともに大きく増加し、はりの断面 2 次モーメントは、柱のその約 1.1 倍であった。C 最適設計との相違は、間口 7m 以下で NS 最適

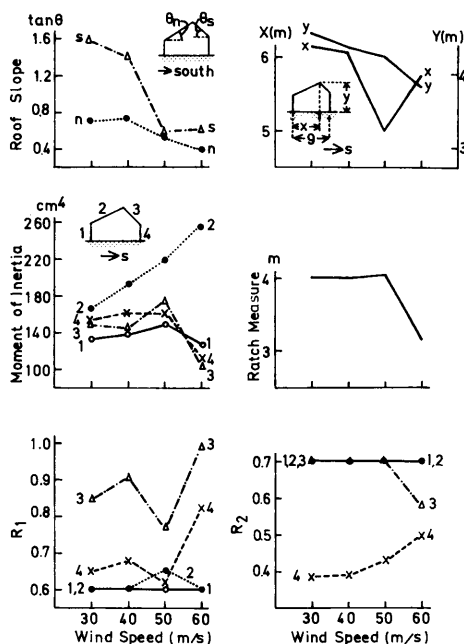


Fig. 4. Dependence of the optimal design of an EW-oriented greenhouse on the design wind velocity.

計の断面2次モーメントの方が大きく、間口9m以上でC最適設計の断面2次モーメントの方が大きくなることである。

同図(e),(g)にNS最適設計の $R_1$ ,  $R_2$ 値を示した。柱の断面の特徴は、C最適設計のそれに近い。それに対して、はりでの $R_1$ は0.7~0.8,  $R_2$ は0.5~0.6と柱のそれより、それぞれ大きい、あるいは小さい値を示した。これは、南北棟の場合、屋根面からの直達光入射が大きな割合を占めるため、はりの断面形が直達光透過率に大きな影響を与えるからである。 $R_1$ ,  $R_2$ の値は、間口の増加とともにそれぞれ減少、増加の傾向を示している。これは次のように解釈できる。間口が異なっても、温室構造および部材の幾何学的相似が成立するならば、直達光透過率は変化しない。しかし、部材の幾何学的相似を成立させるには、間口が1/2になったとすると、断面2次モーメントは $(1/2)^4$ 倍にならなければいけない。同図(c)は、この相似関係が成り立っていないことを示している。すなわち、間口が狭い程、部材の作る影は相対的に大きい。したがって、それだけ部材断面を特徴付ける $R_1$ ,  $R_2$ 値が、直達光透過率に有利な値になったと解釈できる。 $R_1$ ,  $R_2$ 値より算出した部材断面の(せい/幅)比は、はりで間口3mの1.35から間口11mの1.2へ、柱で間口3mの1.3から間口11mの1.2へ間口が広くなるにしたがって減少した。

Fig. 5には示さなかったが、柱の長さは、間口3mの182 cmから、間口9mの193 cmへと、間口とともに増加し、間口11mでは、191 cmと再び減少した。

### 7.3 EW最適設計

EW最適設計の場合、5章、6章の結果と同じく、能動制約条件となる許容応力度検定式は、間口によって異なった。したがって、最適設計の結果は、必ずしも間口の変化によって一定の傾向を示さなかった。能動制約条件は間口7m以下では4章の段階Aに、間口9mでは段階Bに、間口11mでは段階Cに近似した。

柱の長さは、間口3mの南側柱を除いて、最低値180 cmであった。間口3mの南側柱は220 cmと長くなった。(間口/南側柱の長さ)の比が小さいと、南側壁面からの直達光入射が支配的となる。したがって、間口3mの場合、同図(a)に見るように南側屋根勾配は $0^\circ$ となっている。この場合、南側壁面への入射角( $90^\circ$ -壁面に関する太陽高度)は、屋根面への入射角より常に小さい。南側壁面が高くなるのは、南側壁面からの入射の量をさらに増すためである。

間口5m以上の屋根勾配 $\theta$ は、北側で $\tan\theta \approx 0.4$ 、南側で0.6~0.8であった(同図(a))。桁行方向スパンは、C, NS最適設計の場合と同じく、間口の増加にしたが

って減少した。断面2次モーメントは、間口9m以下で北側はりが他の3部材より常に $50 \text{ cm}^4$ 程大きな値を、他の3部材はほぼ同じ値を持っている(同図(d))。全部材とも、間口とともに緩やかに増加している。間口11mになると、北側はりの断面2次モーメントは、大きく増加し、南側はりのそれは、相対的に小さくなる。これらの傾向は、段階Cの特徴である。

$R_1$ 値(同図(f))は、南側はりを除いて、ほぼ最低値0.6にとどまった。間口3mの場合の南側柱は唯一の例外である。これは、前述のように間口3mの場合、南側壁面からの直達光入射が大きな割合を占めることによる。南側はりの $R_1$ は、間口とともに増加し、間口11mでは最高値1に達している。これは段階Cの特徴である。

$R_2$ 値(同図(h))は、南側柱で0.3~0.4と小さく、南側はりで、間口9mの場合を除いて、0.6であった。北側部材はC最適設計の特徴( $R_2 = 0.7$ )を保持している。(せ

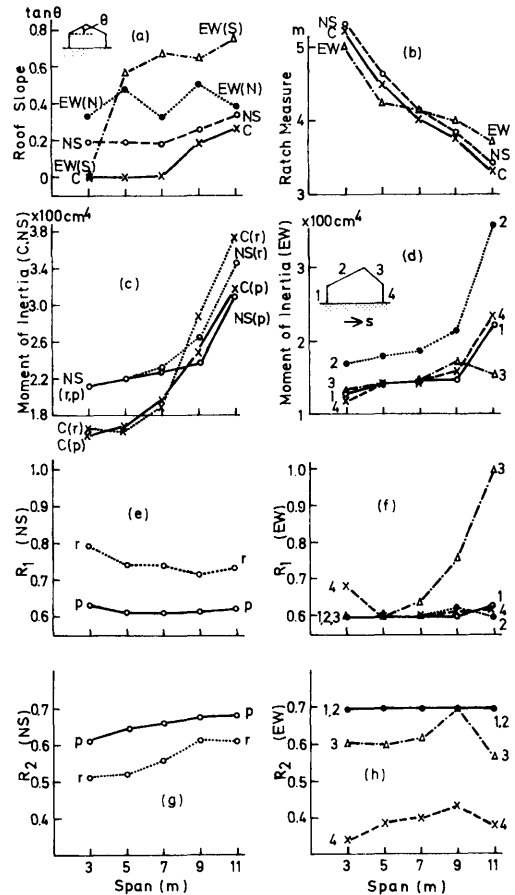


Fig. 5. Dependence of the optimal designs of greenhouses on the span. For the symbols C, NS, EW, r, p, N and S, see the legend of Fig. 3.



い/幅)比は、南側柱で1.7~1.9と大きく、南側はりでは、間口7m以下で1.3、間口9m以上で1.1弱である。

8. おわりに

本報では、前報で展開した温室の最適設計の各パラメーターによる変動解析の結果を報告した。各パラメーターはTable 1のように設定し、1つのパラメーターを変化させた場合、他のパラメーターは同表の値に固定した。その結果、次の諸点が明らかになった。

①前報で指摘した次の最適設計の特徴は、パラメーターを変化させた場合も、いくつかの例外を除いて保持された。CおよびNS最適設計では左右対称となり、EW最適設計では棟は中央より南側に位置した。C最適設計の各部材には、同じ断面2次モーメントを持つ鋼材でも、せい、幅共に大きな鋼材が適している。EW最適設計の北側部材、NS最適設計の柱も、この特徴を有している。EW最適設計の南側柱には、幅の狭い鋼材が適している。

②EW最適設計では、パラメーターの変化による各設計変数の変化は複雑なものとなった。これは、能動制約条件が、パラメーターの変化に伴い変るためである。それに対し、CおよびNS最適設計では、設計変数は比較的単純な変化を示した。

③資材費制約条件を緩和した場合、NS最適設計では屋根勾配が増加し、柱は長くなった。

EW最適設計では、設計変数は複雑な変化をし、変化の過程は4つの段階に分類できることが明らかとなった。資材費制約条件の緩んだ段階では、北側部材に、大きな部材を使用することによって、応力を北側部材に集中させ、南側部材に可能なかぎり光透過に有利な部材を使用している。特に、北側はりの断面2次モーメントは、他の部材に比べて大きい。

④設計積雪深を増した場合、いずれの最適設計でも、屋根勾配が増加し、桁行方向スパンは減少した。CおよびNS最適設計では、各部材の断面2次モーメントは、大きく変化しなかった。

⑤設計風速が変化した場合、CおよびNS最適設計に、変化は見られなかった。EW最適設計では、風速とともに屋根勾配は減少した。

⑥間口を長くした場合、いずれの最

適設計でも桁行方向スパンは短くなった。CおよびNS最適設計では、間口7m以下で屋根勾配、各部材の断面2次モーメントに大きな変化はなく、間口9m以上で、両者とも間口とともに増加した。EW最適設計では、南側屋根勾配は、間口とともに緩やかに増加した。同最適設計の各部材の断面2次モーメントは、間口9m以下では大きな変化はなく、間口11mで南側はりを除いて増加した。

Fig. 6に、最適設計による温室の形状をまとめた。

本報告では、最急降下法による温室の最適設計の数例を示した。残された課題として、次の諸点について、本計算のアルゴリズムを拡張、発展させることが挙げられる。

①本計算の対象とした温室は、脚柱ピン結合の山形ラーメン単棟温室である。連棟温室のように他の様式の温室の最適設計法を開発する。

②被覆材としては、ガラスを対象とした。塩ビや固定二重被覆のように、他の被覆材あるいは被覆方法を対象として最適設計を行う。

③目的関数として資材費と直達光透過率をとりあげた。例えば群落光合成量のように、より生産性に結びついた要因を目的関数としたり、保温性のように省エネルギーの指標となる要因を目的関数に加えて、最適設計を行う。

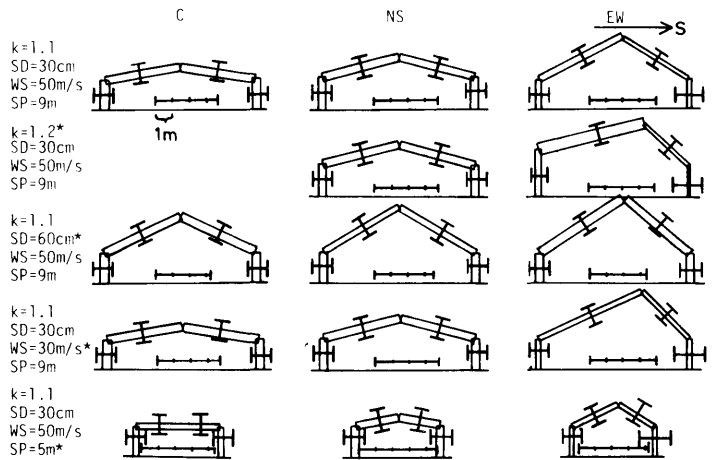


Fig. 6. Illustrations of the optimal designs. Width of each member shows the moment of inertia and the I-shaped figure shows the cross-sectional shape of the member. The segment of a line within each figure indicates the ratch measure. Parameters with asterisks on the left column have values different from the standard values shown in Table 1.  $k$ : coefficient of construction cost allowance, SD: snow depth, WS: wind speed, SP: span. For C, NS and EW, see the legend of Fig. 3.

引用文献

- 1) 藤本盛久編, 1972: 鉄骨の構造設計, 技報堂, 東京, 682 p.
- 2) 蔵田憲次, 立花一雄, 1980: 温室設計への最適設計法の適用(I)設計法のアルゴリズムと計算例, 農業気象, **36**, 181~188.
- 3) 日本建築学会, 1974: 軽量形鋼構造設計施工指針, 同解説, 丸善, 東京, 323 p.
- 4) 日本施設園芸協会, 1975: 園芸用施設安全構造基準(暫定基準), 3~7.

Summary

The authors developed a method of optimizing a greenhouse design with respect to the construction cost and a direct light transmission (Kurata and Tachibana, 1980). First the construction cost  $J_s$  was minimized. Then Inequality (1) was added to the constraints and the light transmission was maximized, where  $J_{sopt}$  meant the minimum construction cost and the coefficient  $k$  was named the coefficient of construction cost allowance.

In this report the dependence of the optimal designs on the coefficient of construction cost allowance, the design snow depth, the design wind velocity and the span was studied. Each of these parameters was changed stepwise and the optimizations were carried out while the rest of the parameters were fixed at the values shown in Table 1. The results are shown in Figs. 1-5. From these optimizations the following points became clear. Here the optimizations of the construction cost, the optimizations of the light transmission of NS-oriented and EW-oriented greenhouses are denoted C-, NS- and EW-optimizations, respectively.

1) The following features of the optimal designs already reported in the previous publication (Kurata *et al.*, 1980) also hold true in this study with few exceptions. The C- and NS-optimizations result in the symmetric designs, whereas by the EW-optimizations ridges are located nearer to the south walls. The rafters and posts by the C-optimization have members with larger depth and width if the moment of inertia is the same. The posts by the NS-optimization and the members facing the north by the EW-optimization have the same characteristic. On the contrary, the south post by the EW-optimization has short width.

2) The changes of the optimal EW-oriented greenhouses with the parameters are found comparatively complicated. This is due to the fact that different constraints become active with the change of the parameters. On the contrary, the C- and NS-optimizations show a relatively simple change.

3) By the NS-optimization the increase of the coefficient of construction cost allowance  $k$  (mitigation of the cost restriction) results in longer posts and a steeper roof slope (Fig. 1). The EW-optimization shows a more complicated change with the change of  $k$ -value, and the optimal designs can be classified in 4 phases. By the lightened cost restriction the optimal designs have larger members on the north side so that the loads imposed on the greenhouse can be supported mainly by the north members. This enables the use of members on the south side which allow the high light transmission (Fig. 2).

4) With the increase of the design snow depth, the roof slope becomes steeper and the ratch measure decreases by every optimization undertaken in this study (Fig. 3).

5) The increase of the design wind velocity makes the roof slope more gentle by the EW-optimization (Fig. 4), whereas by the C- and NS-optimizations no change can be seen with the change of the wind velocity.

6) As the span increases, the ratch measure becomes shorter by every optimization. By the change of the span under 7 m the C- and NS-optimizations show little change in the roof slope and the moment of inertia of each member. By the span above 9 m both of them increase with the span. The EW-optimization shows an increase of the south roof slope with the span. In this optimization the moment of inertia of each member changes little by the span less than 9 m. By the span of 11 m members of larger moment of inertia are needed except for the south rafter (Fig. 5).