

# M型無落雪屋根用トラスに関する研究 (第1報)

堀江秀夫 長谷川雅浩

## 目次

1. 緒言	1
2. 木製軽量屋根トラスの既往の研究	2
3. M型屋根用トラスの設計	3
3.1 M型屋根用トラスの概要	3
3.2 釘打ち合板ガセット接合部の設計資料の作成	4
3.2.1 CS64W 1-F釘の釘打ち間隔の検討と結果	5
3.2.2 CS64W 1-F釘の許容剪断耐力の検討と結果	8
3.3 U型トラスの構造設計	10
3.3.1 設計条件	11
3.3.2 応力解析	13
3.3.3 部材の検定と接合部の設計	13
4. U型トラスの強度試験	20
4.1 曲げ破壊試験	20
4.1.1 材料の性質とトラスの製造方法	20
4.1.2 試験方法	22
4.1.3 結果と考察	23
4.2 曲げクリープ試験	29
4.2.1 材料と試験方法	29
4.2.2 結果と考察	30
5. M型屋根用トラスの枠組壁工法住宅への適用	32
5.1 概要	32
5.2 トラスの作製	35
5.3 トラスの施工方法	36
5.4 トラスの強度性能	36
5.5 施工性・経済性の検討	37
5.6 まとめ	42
6. 総括	42
謝辞	44
文献	45
Résumé	48

## 1. 緒 言

最近の北海道においては、土地の高騰に伴う敷地の狭小化が進み、落雪処理をめぐる隣家とのトラブルや核家族化による雪下ろしの人手の確保難から、M型無落雪屋根形式の木造住宅が都市部を中心に急激に増加している。M型無落雪屋根は、昭和38年頃、札幌市在住の建築家が木造住宅の屋根勾配を従来とは逆にして、軒先からの落雪とすがもりを防止しようとしたことに始まる<sup>63)</sup>と言われ、現在までに約20年の実績を持つ屋根形式である。昭和57年時点で、札幌市の確認申請件数の60%を超える住宅がM型無落雪屋根である<sup>63)</sup>と言われるほど普及し、北海道における屋根形式の一つとして定着した観がある。

M型無落雪屋根の特徴は、家の断面を英文字の“M”型として屋根中央に排水用の樋を設けることである。つまり、冬期には屋根上に常時雪が載っており、地震が来たとしても落雪はあり得ない。このため、M型無落雪屋根住宅の構造計画にあたっては十分な注意を払う必要があり、在来軸組工法住宅では、屋根木と小屋梁を通常よりも大き目の断面寸法の材料にして小屋組の補強を行っている。一方、枠組壁工法住宅の場合には、北米及び日本において、過去にM型無落雪屋根（以後、M型屋根と呼ぶ）の実績が無いため、各工務店段階でM型屋根の小屋組に対応している。その小屋組で共通していることは、2階建住宅を例にとると、在来の枠組壁工法仕様で3階床を構成し、その上に置屋根的に束とラフターでM型屋根に仕上げていることである。写真1に、在来軸組工法と枠組壁工法のM型屋根住宅例を示す。

枠組壁工法のM型屋根構造は、過去の実績が無い上に構造計算もされずに建設されているのが現状であり、さらに通常の落雪屋根と比較して二重の手間と多くの材料を用いている。このような現状に対し、新しく枠組壁工法住宅のM型屋根用トラスを開発したならば、小屋組の強度的信頼性が明確になると同時に、現場作業の省力化と材料の節約が期待できる。また、M型屋根の形状の単純さは、注文住宅の場合でも、トラスの施工に適している。

以上のような背景から、我々は枠組壁工法住宅のM型屋根用トラスの開発に着手した。開発目標を、製材工場や市井の工務店でも製造できること、十分な耐力を有すること、できるだけ安価であること、の3点に定めて材料の種類、トラスの形状、節点の接合方式などについて検討した。その結果、部材は204材を基本とし、下弦材の一部を206材で補強する形式とした。節点の接合方式は、製造の簡便さから釘打ち合板ガセット方式とした。釘は割れ防止と接合強度の安定性から市販の自動釘打ち機用特殊釘（先なし尖端のスクリュウ釘）とし、片面打ちの二面剪断形式で打ち込むものとした。トラスの形状は第1図に示すとおり

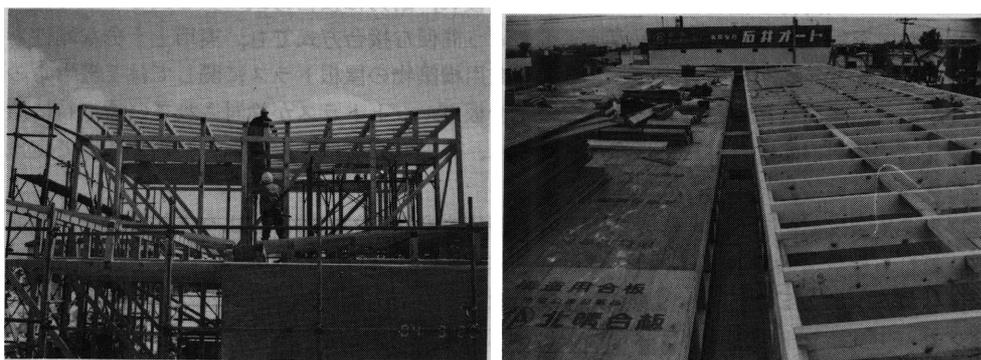


写真1 在来軸組工法と枠組壁工法によるM型無落雪屋根例  
Photo. 1. Examples of M-type roof for Japanese conventional  
Wooden dwelling and platform frame construction

で、2種類のトラスによりM型屋根を構成する。なお、一方のトラスは下弦材の一端が張り出し梁となっており、さらに上・下弦材の一部に切欠きがある特殊な形状をしている。

本報告は、開発したM型屋根用トラスの構造設計手法及び耐力を確認するためのトラスの強度試験の結果と、実際の枠組壁工法M型屋根住宅への施工を通してのトラスの施工性と経済性についてまとめたものである。具体的な内容は次のとおりである。第3章は、使用する特殊釘の釘打ち間隔と許容剪断耐力を求めた試験の結果と、求めた釘許容剪断耐力を用いてのトラスの構造設計である。第4章は、設計されたトラスを5体製造し、そのうちの3体について行った曲げ破壊試験と、残り2体について行った繰返し載荷（積雪荷重を想定）による曲げクリープ試験の結果である。第5章は、実際の住宅への使用例から、トラスの施工性・経済性について検討し、さらに強度性能の確認も行ったものである。

## 2. 木製軽量屋根トラスの既往の研究

アメリカ及びカナダでは、屋根トラスを百数十年以上にわたって使用してきた実績の上に、軽量屋根トラスに関する数多くの研究がある。我が国においては、昭和49年7月に従来の建築基準法第38条による建設大臣の認定事項から枠組壁工法が一般工法として認められた<sup>56)</sup>ことを契機に、軽量屋根トラスの研究が盛んになった。

トラス節点の接合方式の違いとトラスの変形及び耐力との関係を調べたものとしては、Sliker<sup>4)</sup>ら及びWilkinson<sup>12)13)14)</sup>の研究がある。これらの研究では、2種類のネイルプレートと釘打ち鉄板ガセットと釘打ち及び釘打ち接着合板ガセットの計5接合方式による屋根トラスのクリープ試験と破壊試験が行われ、接合部の変形がトラス全体の撓みに大きく関与していることが報告された。また、15年間のクリープ試験の結果、釘打ち合板ガセットトラスの剛性が30%低下したことを除けば、どのトラスについても剛性及び耐力の低下は認められなかった<sup>14)</sup>。Grainger<sup>5)</sup>は、同様の接合方式による屋根トラスの破壊試験を行い、屋根トラスの構造計算と製造方法について検討している。Hoyle<sup>3)</sup>は、部材の機械的等級格付に注目してネイルプレートトラスの設計方法について検討している。Schriever<sup>2)</sup>らは、ラフター形式トラスと釘打ち合板ガセットトラスの破壊試験とクリープ試験を行い、特に釘本数の差に注目して、屋根トラスの短・長期の剛性及び耐力に影響を与える因子について検討している。我が国においても同様の研究が、丸山<sup>21)</sup>ら、建設省の昭和50年度総合技術開発プロジェクト<sup>29)</sup>（以後、総プロと略す）、宮島<sup>27)</sup>、有馬<sup>30)</sup>、伊藤<sup>22)23)</sup>ら、米田<sup>24)</sup>らによって行われ、その結果、屋根トラスの短・長期の剛性はラフター形式のトラス<釘打ち合板ガセット<ネイルプレート<釘打ち接着合板ガセットの順で優れ、耐力は接合方式による大きな差は認められなかった。そして釘打ち合板ガセットという簡便な接合方式でも、実用上十分な剛性と耐力を発揮することが確認された。また、農業用構築物の屋根トラスに関しては工藤<sup>25)</sup>らの研究があり、生材を用いた低コストな釘打ち合板ガセットトラスが検討されている。特に屋根トラスの接合方式とクリープ性能に関しては、有馬<sup>31)</sup>らが既往の研究を整理する形で定量的に検討している。

以上の研究に対して、屋根トラスの変形及び応力を定量的に解析しようと試みた研究がある。釘打ち接着合板ガセットトラスに関しては、Boyd<sup>1)</sup>ら、Suddarth<sup>8)9)</sup>、藤井<sup>28)</sup>の研究があり、屋根トラスの二次応力も考慮した接着合板ガセットトラスの設計方法が確立された。フィンガージョイント工法をトラス節点の接合に適用した例としては、Pincus<sup>6)</sup>ら、Hoyle<sup>7)</sup>らの研究がある。これらトラス節点が剛接合された屋根トラスの研究に対して、節点が機械的に接合された屋根トラスの研究が、Suddarth<sup>10)</sup>、高柳<sup>48)</sup>ら、Maraghechi<sup>16)</sup>らによって行われた。その結果、釘又はネイルプレート接合を半剛接合と考えた有限要素法による屋根ト

ラスの解析手法が確立され、高い精度で変形及び耐力が予測できるようになった。また接合部の研究としては、釘打ち合板ガセットについて行った飯塚<sup>45)</sup>、杉山<sup>46)</sup>らの研究が、ネイルプレートに関してはFoschi<sup>15)</sup>の研究が、製材どうしの釘接合に関しては林<sup>47)</sup>らの研究がある。

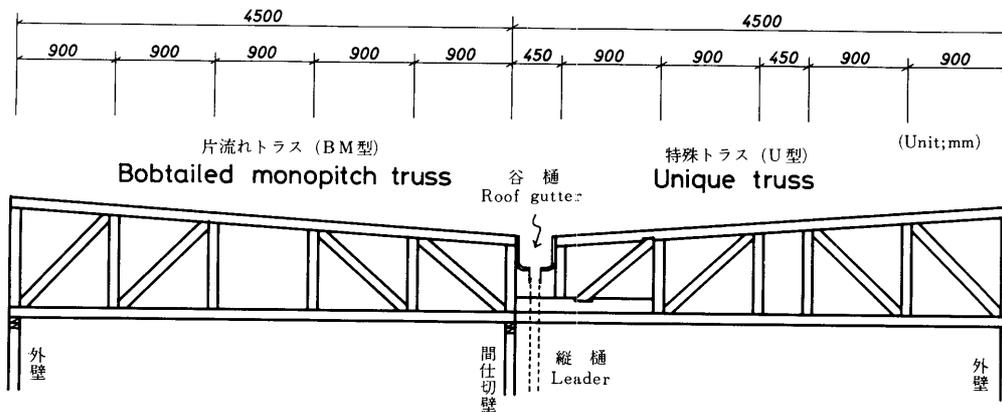
以上に挙げた研究の蓄積から、北米においては木造平面骨組構造物の構造計算手法<sup>11)</sup>や木製軽量屋根トラスの標準設計・製造・施工のマニュアル<sup>17)</sup><sup>18)</sup><sup>19)</sup>が完備されている。一方我が国では、屋根トラスの利用が大手枠組壁工法住宅メーカーに限られているため、一般的な屋根トラスの設計・製造・施工マニュアルはない。ただし、住宅金融公庫の仕様書<sup>60)</sup><sup>61)</sup>では釘打ち合板ガセットトラスの使用が認められており、屋根トラスの耐力試験方法についても総プロから「小屋組の鉛直載荷試験方法(案)」<sup>29)</sup>が出されている。木材工業ハンドブック<sup>67)</sup>には、簡単ではあるが釘打ち合板ガセットトラスの設計法が述べられている。最近になって、釘打ち合板ガセットトラスを農業用施設及び住宅に普及するためのマニュアル<sup>62)</sup><sup>26)</sup>も作られるようになってきた。

### 3. M型屋根用トラスの設計

#### 3.1 M型屋根用トラスの概要

札幌市と旭川市の枠組壁工法住宅メーカー4社を調査し、トラスによるM型屋根の構成方法について検討した。その結果、第1図に示すとおり、2種類のトラスを組み合わせることでM型屋根断面を構成させることとした。図は間口5間(9.0m)、家の中央に間仕切壁がある場合を示している。左側のトラスは、一般的な片流れトラス(以下**B M型トラス**と呼ぶ)である。右側のトラスは、我々が考案したもので、下弦材の一端が張り出し梁になっている特殊トラス(以下**U型トラス**と呼ぶ)である。両トラスとも204材を使用している。間仕切壁の上部に雨水と融雪水が流れ込む谷樋を設け、この谷樋から縦樋(普通、便所や押入れの隅に配管される)を通して雨水等は排出される。

現在の住宅モジュールが3尺(90cm)を基準とし、間仕切壁もこのモジュールに従って配置されることが多いので、両トラスとも束材(鉛直に配置された腹材)を90cmピッチで配置した。これにより間仕切壁がどこにきても束材と間仕切壁の位置が一致する。たとえ一致しない場合でも、束材間隔(節点間隔)が90cmと短いため、下弦材が曲げを受けて折れることはない。また両トラスとも中央部に斜材(斜めに配置された腹材)のない箇所があるが、



第1図 開発したM型屋根用トラス(BM型とU型トラス)によるM型屋根断面  
 Fig. 1. Cross sectional view of M-type roof by Bobtailed Monopitch and Unique trussed rafters

この箇所にはトラスつなぎとくも筋違を取り付けるため意図的に斜材を除いたものである。トラスの勾配は、両トラスとも同一の約1/10とし、トラスのスパンが変化しても一定としたこのためスパンに係わらずトラスの腹材構成は一定となる。

U型トラスのスパンは1.5間(2.7m)、2.0間(3.6m)、2.5間(4.5m)の3種類に限定する。B M型トラスのスパンは必要に応じた長さとする。この2種類のトラスの組み合わせにより、変化する住宅の間取りに十分対応できる。

トラスの施工は、住宅金融公庫の仕様書<sup>60)</sup>に従う。具体的には、あおり止め金物でトラスを耐力壁に緊結する。トラス中央部にはトラスつなぎとくも筋違を取り付ける。上・下弦材には釘受け材が取り付けられたのち屋根下地材と天井材が張られる。このような施工の結果、鉛直及び水平方向に対して十分な耐力とダイアフラム効果<sup>69)</sup>をもつ立体的な小屋組が構成される。

トラス節点の接合方式は、製造が簡便でありながら接合強度が安定している釘打ち合板ガセットを採用した。釘は、部材に割れを発生させにくい、長期にわたり安定した接合強度をもつ、自動釘打ち機用の市販品である、といった条件を満足するCS64W1-F釘(マックス株式会社製コイルネイル)を選定した。この釘は、写真2に示すとおり、先端が先なしのスクリーニング釘である。写真は比較のためC N65釘と並べて写してある。釘打ち方法は、片面打ちの二面断形式とし、クリンチはしない。

U型トラスの形状について詳述する。第6図に示すとおり、U型トラスは谷樋を収めるために下弦材の一端が張り出し梁になっている。この張り出し部分には大きな剪断力と曲げモーメントが発生するため、206材を単純重ね梁形式で補強に用いている。斜材は圧縮軸力のみが発生するように配置し、ガセット部の釘本数がわずかでも減るよう

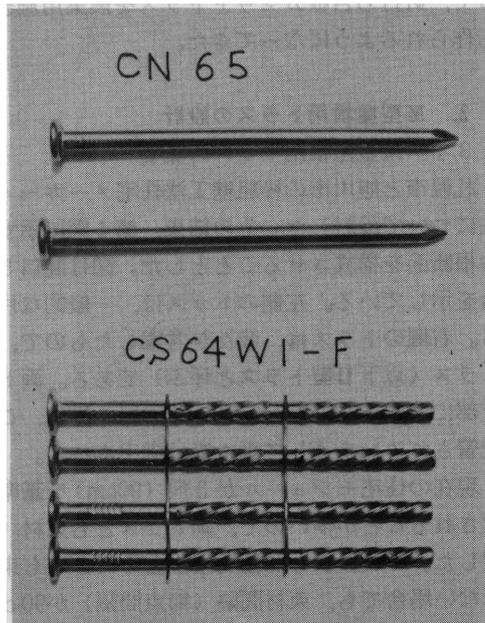


写真2 CS64W1-F釘の形状  
Photo. 2. Shape of CS64W1-F nails

にした。最大の圧縮軸力が発生する斜材の場合には、上・下弦材に深さ20mmの切欠きを設けてこれを受け、ガセット部の釘本数を低減させた。なお、設計荷重下での上・下弦材は曲げを受けるが、この切欠きは曲げの圧縮側に設けてあるので、弦材の大きな強度低下には結びつかない<sup>64)</sup>。

### 3.2 釘打ち合板ガセット接合部の設計資料の作成

木製軽量屋根トラスの剛性と耐力を左右するものは部材節点の接合性能である。釘打ち合板ガセット方式の場合には、ガセット部の釘断性能が重要な因子となり、特に釘の種類が重要である。M型屋根用トラスに選定したCS64W1-Fという特殊釘は、下記に示すとおり釘打ち合板ガセットに適した性質をもっている。

1) 釘寸法は次のとおりである。

釘長さ	62.5mm
釘頭部径	7.0mm

釘胴部径 3.0mm

- 2) 釘先端が先なしなので、部材に割れが入りにくく、引抜き抵抗も大きい<sup>(39) 40)</sup>。
- 3) スクリュー釘なので、乾湿繰り返しに対して安定した引抜き抵抗を示す<sup>(43)</sup>。
- 4) スクリュー釘なので、二面断形式の片面打ち・クリンチなしの状態でも裏側の合板ガセットははがれにくい。
- 5) 釘先端が先なしなので、クリンチなしのままでもけがをしにくい。

この特殊釘と厚さ9mm及び12mm構造用合板により接合部を構成し、M型屋根用トラスを設計する。ただし、この釘は上記のとおり特殊なため、釘打ち間隔や許容剪断耐力が定められておらず、トラスの設計に入る前にこの特殊釘の設計施工基準を定める必要がある。そこで、釘設計施工マニュアル<sup>(65)</sup>に準じて、実験により基準を定めた。行った試験は、釘打ち間隔と部材の割れの関係を検討し適正な釘打ち間隔を求めるための試験と、釘の許容剪断耐力を求めるための釘打ち合板ガセット接合部の剪断試験である。

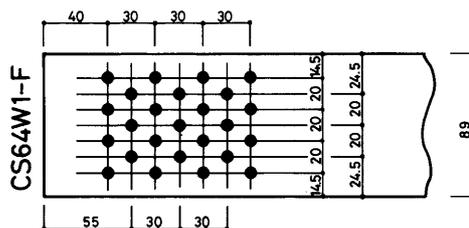
### 3.2.1 C S64W1 - F釘の釘打ち間隔の検討と結果

現在、北海道の枠組壁工法住宅で主に使用されている樹種は北米産スプルスと道産トドマツ・エゾマツであり、今後使用が期待される樹種として造林カラマツがある。この中で最も高比重な樹種であるカラマツ204気乾材を供試材として、釘打ち間隔と部材の割れの関係を検討した。

現在一般に使用されているN釘及びC N釘の基準<sup>(64) 65)</sup>にC S64W1 - F釘(胴部径 $d=3.0$ mm)をあてはめると、

釘間隔	12d = 36mm
端距離(引張余長)	15d = 45mm
釘列間隔	5d = 15mm
縁距離	5d = 15mm

となる。しかし、C S64W1 - F釘は割れを発生させにくい性質をもっており、上記の基準よりもっと密に釘打ちできる可能性がある。そこで、釘間隔の36mmを30mmに、端距離の45mmを40mmに丸め、この釘打ち基準が妥当かどうかを検討した。具体的には、第2図に示す釘打ち間隔で、カラマツ204気乾材に25本のC S64W1 - F釘を打ち込み、材料に割れが入るかどうかを観察した。



(Unit ; mm)

第2図 CS64W1 - F釘の釘打ち間隔検討用試験体  
Fig.2. Test specimen for determination of nail spacing for CS64W1 - F nails

第1表 CS64W1 - F釘の釘打ち間隔  
検討用試験体の性質  
Table 1. Basic properties of test specimens for determination of nail spacing for CS64W1 - F nails

試験体番号 Specimen No.	平均年輪幅 R. W. (mm)	比重 S. G.	含水率 M. C. (%)
1	2.6	0.57	13.5
2	5.4	0.55	13.5
3	3.2	0.49	13.2
4	3.7	0.61	13.4
5	4.6	0.58	12.9
6	3.6	0.62	13.3
mean	3.9	0.57	13.3
min.	2.6	0.49	12.9
max.	5.4	0.62	13.5
S. D.	0.92	0.043	0.21
C. V. (%)	23.8	7.5	1.6

Foot note R.W. : Annual ring width  
S.G. : Specific gravity  
M.C. : Moisture content  
S.D. : Standard deviation  
C.V. : Coefficient of variation

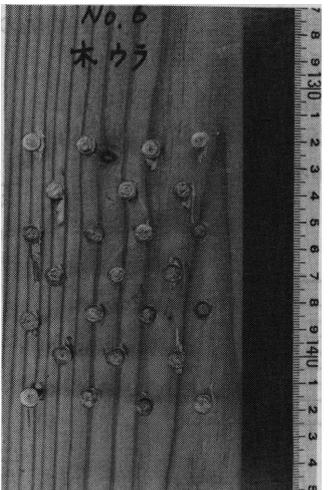
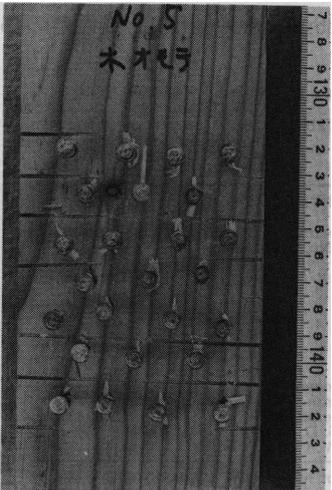
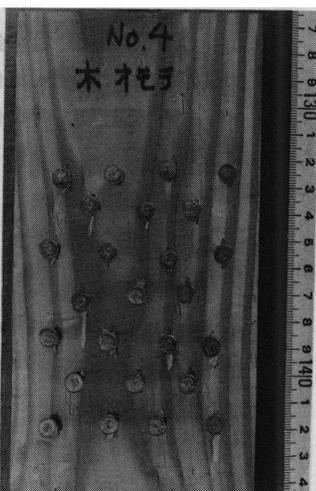
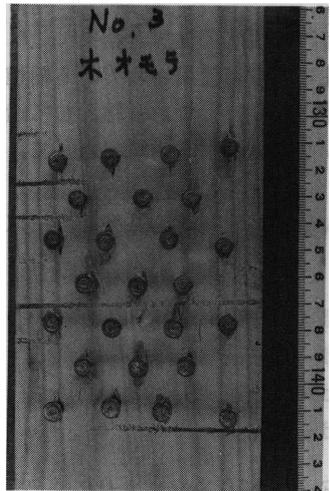
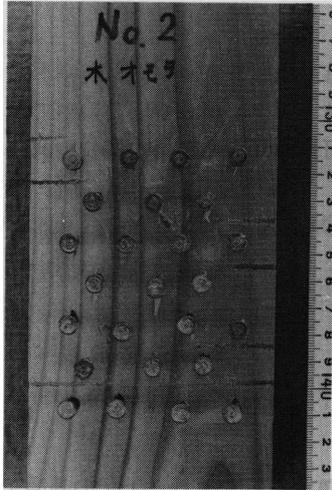
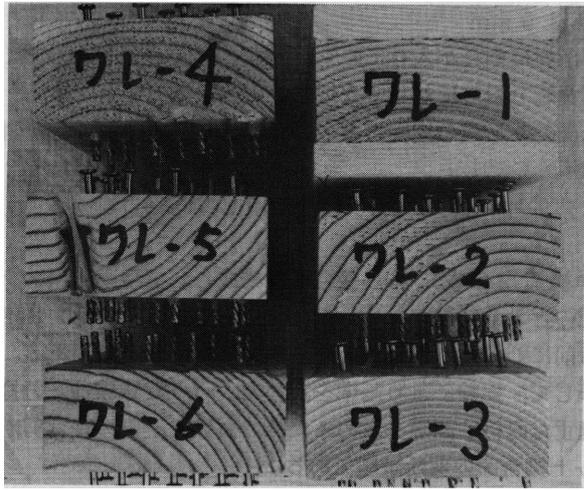
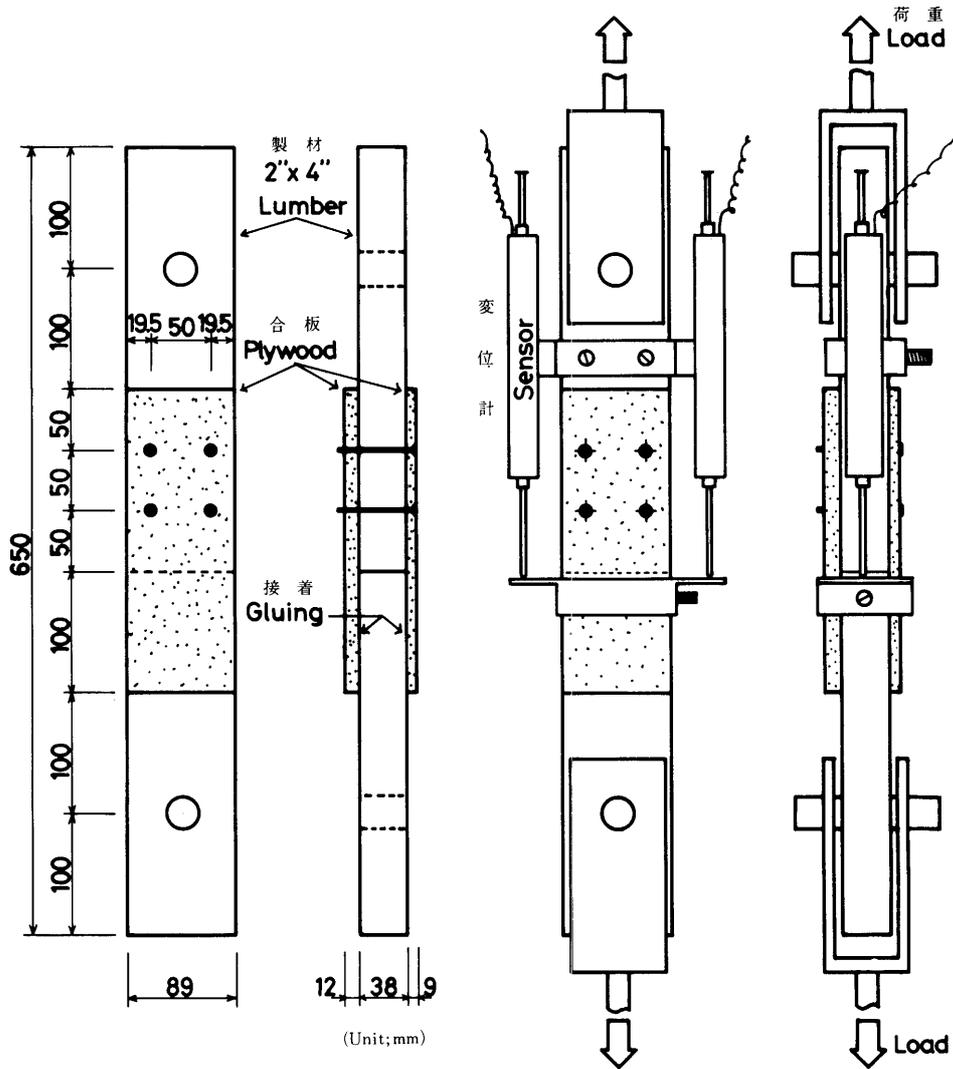


写真3 CS64#1 - F釘の釘打ち間隔検討用試験体  
Photo.3. Test specimens for determination of nail spacing for CS64#1 - F nails

試験体は6体とし、その性質を第1表に示す。試験方法は、次のとおりである。カラマツ204材を厚さ12mmの製材ではさみ、その上から第2図に示した位置に25本の釘を自動釘打ち機で打ち込んだ。その後、上下の製材を取り除き、釘打ちによる割れの有無を観察した。試験結果を写真3に示す。写真のとおり、6体の試験体のどの釘打ち込み部分にも割れは発生していない。この結果から、CS64W1-F釘の釘打ち基準を次のように定めた。なお、合板ガゼットの端距離（引張余長）は、既往の研究成果に従い、釘剪断耐力が安定する20m<sup>2</sup>とする。

釘間隔            30mm  
 端距離            40mm



第3図 CS64W1-F釘の剪断耐力試験体と試験方法  
 Fig. 3. Test specimen and test method of shear test for nailed plywood gussets with CS64W1-F nails

釘列間隔 20mm  
縁距離 15mm

合板の端距離 20mm

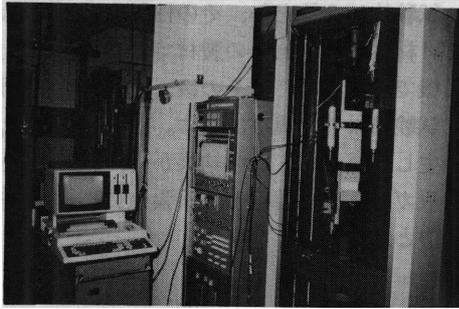


写真4 CS64W1-F釘の剪断耐力試験  
Photo .4 . Shear test of nailed plywood gussets with CS64W1-F nails

### 3.2.2 C S64W1 - F釘の許容剪断耐力の検討と結果

C S64W1 - F釘を使用した釘打ち合板ガゼットの釘許容剪断耐力を求めるため、釘の剪断耐力試験を行った。

試験体の主材は、北米産スプルス、道産

トドマツ、道産造林カラマツの204気乾材の3種類である。側材は、厚さ9mmと12mmのワン構造用合板である。スプルスとトドマツに用いた側材は市販の類2級構造用合板で、カラマツに用いた側材は当場製の特類1級構造用合板である。試験体は、釘を打ち込む側に9mm合板を、反対側に12mm合板を取り付けるようにし、自動釘打ち機を用いて4本の釘を片面打ち（二面剪断形式）したものである。試験体の形状及び試験方法は、前述の釘設計

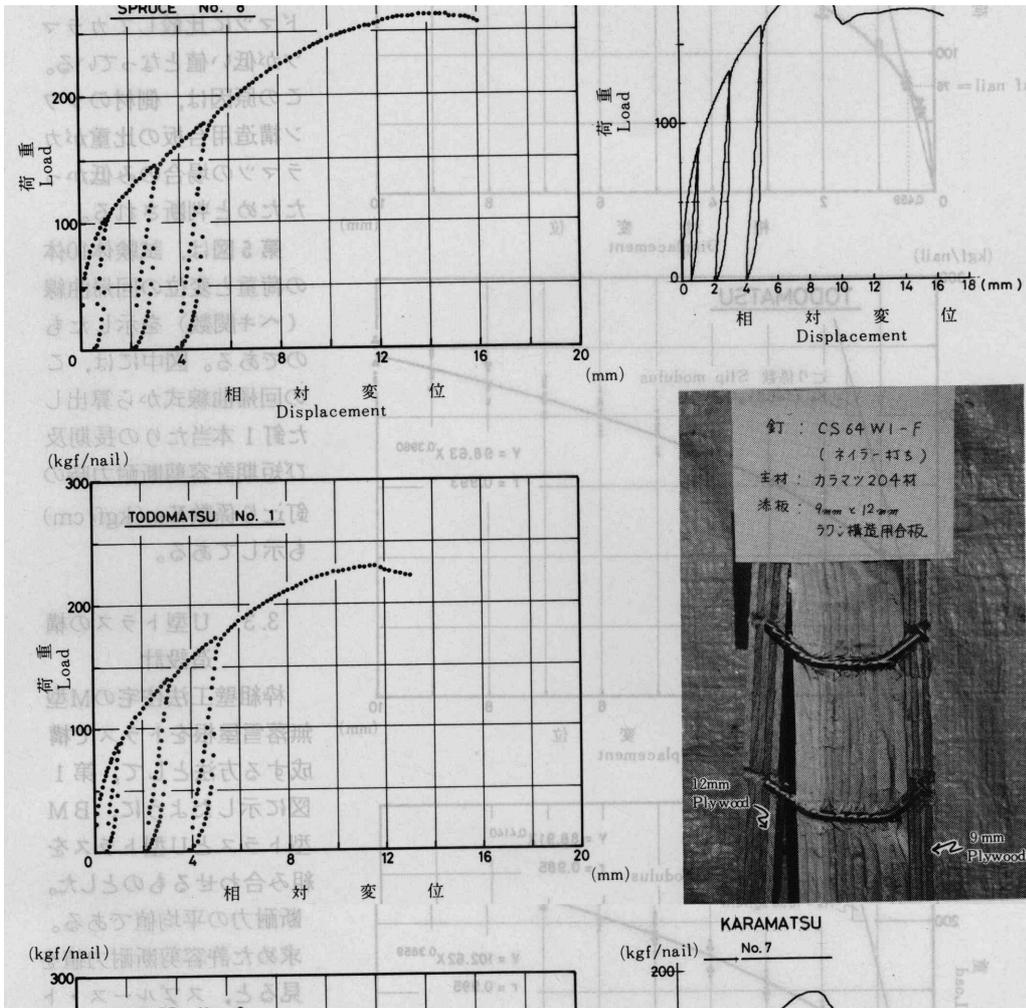
第2表 CS64W1-F釘の剪断耐力試験結果  
Table 2. Results of shear test for nailed plywood gusset with CS64W1-F nails

試験体番号 Specimen No.	主材 Lumber			側材-1 Plywood (9mm)		側材-2 Plywood (12mm)		相対変位一定時の釘剪断耐力 Test loads at some joint slips				最大耐力 Ultimate load ( )
	R. W. (mm)	S. G. (%)	M. C. (%)	S. G. (%)	M. C. (%)	S. G. (%)	M. C. (%)	0.38mm ( )	1.00mm ( )	2.00mm kgf/nail	10.00mm ( )	
<b>S*</b> -1	3.3	0.46	14.6	0.49	8.1	0.65	8.4	70	103	132	240	252
2	1.4	0.49	16.8	0.50	7.8	0.66	9.0	78	111	142	258	271
3	1.7	0.47	14.4	0.52	7.8	0.65	8.4	66	98	126	243	246
4	1.3	0.51	15.0	0.50	7.9	0.66	9.0	72	107	135	268	278
5	1.4	0.47	14.1	0.51	8.0	0.67	8.5	75	108	138	254	262
6	1.7	0.47	14.0	0.51	8.1	0.63	8.9	66	100	127	238	246
7	1.2	0.55	14.7	0.54	8.6	0.64	8.9	69	104	137	261	267
8	1.1	0.38	13.3	0.53	8.9	0.63	8.4	76	102	126	245	264
9	1.7	0.45	14.3	0.54	8.6	0.64	9.1	70	102	130	235	246
10	1.0	0.40	13.1	0.56	8.2	0.65	8.4	71	101	127	241	253
mean	1.6	0.46	14.4	0.52	8.2	0.65	8.7	71	103	132	248	258
min.	1.0	0.38	13.1	0.49	7.8	0.63	8.4	66	98	126	235	246
max.	3.3	0.55	16.8	0.56	8.9	0.67	9.1	78	111	142	268	278
S. D.	0.63	0.048	0.970	0.021	0.36	0.012	0.29	3.9	3.8	5.5	10.6	11.0
C. V. (%)	44.4	0.25	104.5	4.03	4.4	1.92	3.3	5.4	3.7	4.2	4.3	4.3
<b>T*</b> -1	2.2	0.38	12.4	0.49	8.1	0.65	8.4	58	88	117	226	230
2	1.9	0.38	12.8	0.50	7.8	0.66	9.0	67	101	130	241	249
3	2.0	0.38	11.3	0.52	7.8	0.65	8.4	75	112	144	251	254
4	3.1	0.39	11.1	0.50	7.9	0.66	9.0	68	102	130	232	236
5	2.6	0.40	12.1	0.51	8.0	0.67	8.5	74	111	140	254	256
6	4.4	0.38	11.0	0.51	8.1	0.63	8.9	66	102	130	237	246
7	3.0	0.41	12.2	0.54	8.6	0.64	8.9	71	107	133	253	262
8	2.1	0.37	12.1	0.53	8.9	0.63	8.4	62	95	120	228	236
9	2.0	0.40	11.8	0.54	8.6	0.64	9.1	67	102	131	258	266
10	2.0	0.40	13.2	0.56	8.2	0.65	8.4	67	97	121	239	251
mean	2.5	0.39	12.0	0.52	8.2	0.65	8.7	67	101	129	242	248
min.	1.9	0.37	11.0	0.49	7.8	0.63	8.4	58	88	117	226	230
max.	4.4	0.41	13.2	0.56	8.9	0.67	9.1	75	112	144	258	266
S. D.	0.75	0.013	0.681	0.021	0.36	0.012	0.29	4.8	6.9	8.2	10.9	11.1
C. V. (%)	61.7	0.02	51.6	4.03	4.4	1.92	3.3	7.2	6.8	6.3	4.5	4.5
<b>K*</b> -1	3.9	0.49	13.0	0.48	9.3	0.45	7.9	61	97	127	187	202
2	3.0	0.49	13.0	0.50	8.8	0.44	7.8	55	92	122	177	207
3	3.5	0.49	12.6	0.47	8.8	0.49	7.7	60	92	122	164	202
4	5.0	0.47	12.8	0.48	9.1	0.46	7.9	51	80	107	195	199
5	3.3	0.52	12.7	0.49	9.0	0.43	7.9	58	91	122	176	192
6	4.9	0.58	13.2	0.47	8.8	0.44	7.8	56	97	127	180	186
7	3.6	0.45	13.0	0.49	8.9	0.44	7.9	55	84	111	162	186
8	3.2	0.49	12.6	0.48	8.7	0.49	7.6	62	101	135	193	217
9	4.6	0.49	13.0	0.47	9.0	0.45	7.8	57	87	117	180	196
10	4.2	0.58	12.8	0.48	8.7	0.49	7.9	64	92	120	167	173
mean	3.9	0.51	12.9	0.48	8.9	0.46	7.8	58	91	121	178	196
min.	3.0	0.45	12.6	0.47	8.7	0.43	7.6	51	80	107	162	173
max.	5.0	0.58	13.2	0.50	9.3	0.49	7.9	64	101	135	195	217
S. D.	0.69	0.041	0.19	0.008	0.18	0.022	0.10	3.7	6.0	7.7	10.8	11.9
C. V. (%)	52.2	0.19	4.0	1.73	2.0	4.86	1.3	6.4	6.5	6.4	6.1	6.1

Footnote \*: S is SPRUCE, T is TODOMATSU and K is KARAMATSU.

施工マニュアルの剪断試験方法（その1 基礎的な検討を行う場合の方法）に準じた。試験体寸法及び試験方法を第3図，写真4に示す。なお，試験体数は各樹種10体である。

試験結果を第2表に示す。樹種ごとの荷重 - 変位曲線の代表例を第4図に，試験後の試験体例を写真5に示す。

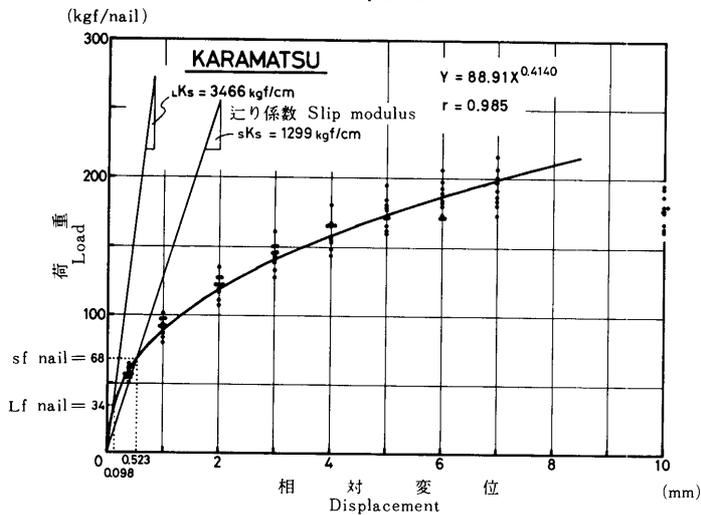
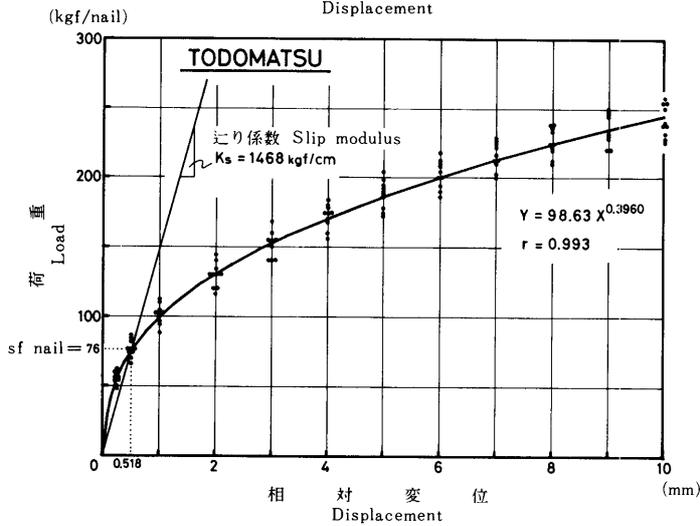
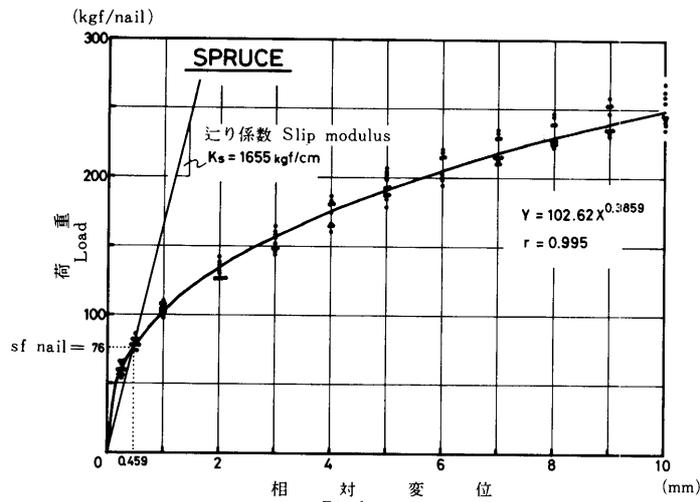


第4図 樹種ごとの荷重 - 変位曲線の代表例  
Fig. 4. Typical examples of load - displacement curves for each species

写真5 剪断耐力試験後の試験体代表例  
Photo. 5. Typical example of specimens after shear test

この結果から，前述のマニュアル(その3 釘の剪断耐力の評価法)に従ってCS64W1-F釘1本当たりの短期及び長期許容剪断耐力  $f_{snail}$ ， $f_{lnail}$  を求めると，次のようになる。

	$P_{max} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \div P_{1.00} \times \frac{3}{4}$	$f_{snail}$	$f_{lnail}$
スプルース	96kgf > 77kgf	76kgf	38kgf
トドマツ	93kgf > 76kgf	76kgf	38kgf
カラマツ	73kgf > 68kgf	68kgf	34kgf



第5図 樹種ごとの荷重と変位の関係

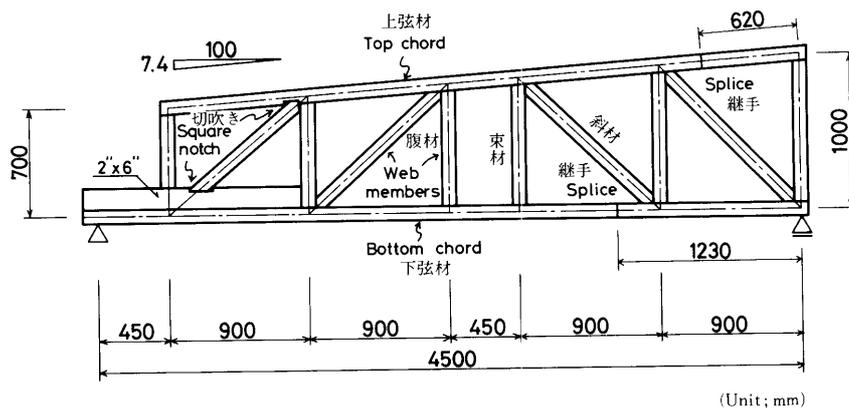
Fig. 5. Relationship between load and displacement for each species

なお、 $P_{max}$  は実験によって求めた最大剪断耐力の平均値、 $P_{1.00}$  は相対変位 1.0mmのときの剪断耐力の平均値である。求めた許容剪断耐力値を見ると、スプルス・トドマツに比較してカラマツが低い値となっている。この原因は、側材のラワン構造用合板の比重がカラマツの場合のみ低かったためと判断される。

第5図は、試験体10体の荷重と変位の回帰曲線（べき関数）を示したものである。図中には、この回帰曲線式から算出した釘1本当たりの長期及び短期許容剪断耐力時の釘絞り係数 $K_s$  (kg / cm) も示してある。

### 3.3 U型トラスの構造設計

枠組壁工法住宅のM型無落雪屋根をトラスで構成する方法として、第1図に示したように、BM型トラスとU型トラスを組み合わせるものとした。BM型トラスは一般的な片流れトラスであるのに対して、U型トラスは非常に特殊な形状をしている。このため、ここではU型トラスの構造設計について詳述する。設計条件の概要は、次のとおりである。積雪 1.5mの荷重に対し、スパン 2.5間 (4.50m) のU型トラスをピッチ 0.45 mで配置



第6図 U型トラスの姿図  
Fig. 6. A detail view of Unique trussed rafter

する。部材はカラマツ 204気乾材（下弦材張り出し部の補強用に 206材も使用），接合部は前節で許容剪断耐力を求めたC S64W1 - F 釘による釘打ち合板ガセットとする。スパン2.5間のU型トラスを第6図に示す。

### 3.3.1 設計条件

**材料の種類と性質** 部材にはSI = Hem - Tam樹種群のカラマツ甲種梓組材（乾燥材），ガセット板には厚さ9mmと12mmの類1級A構造用合板，釘にはC S64W1 - F釘を用いる。カラマツ甲種梓組材と構造用合板の長期許容応力度<sup>57) 59) 64)</sup>を第3表に，部材断面の種類と性質を第7図に示す。なお，構造用合板の面内曲げ許容応力度  $L_{fb}$  は，引張許容応力度  $L_{ft}$  に等しいと仮定し ( $L_{fb} = L_{ft}$ )，弦材継手の合板ガセットの表単板の繊維方向は部材と平行とする。圧縮を受ける木材の最期座屈許容応力度  $L_{fk}$  は次のとおり<sup>57)</sup>である。

$$\begin{array}{lll} (30) & (30 < 100) & (> 100) \\ L_{fk} = L_{fc} & L_{fk} = L_{fc} (1.3 - 0.01 \quad ) & L_{fk} = \frac{0.3 L_{fc}}{\left(\frac{\quad}{100}\right)^2} \end{array}$$

；有効細長比

$L_{fc}$  ；長期圧縮許容応力度

釘打ち合板ガセットの釘長期許容剪断耐力  $L_{fnail}$  は，前節での試験結果から，

$$L_{fnail} = 34\text{kgf} / \text{nail}$$

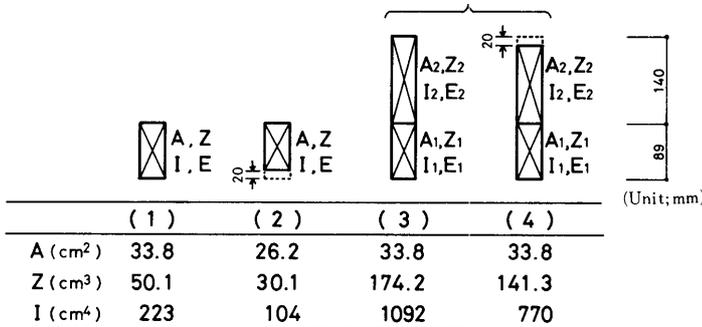
である（短期は長期の2倍）。

第3表 カラマツ製材とラワン構造用合板の長期許容応力度  
 Table3 Allowable unit stresses of long term for  
 lumbars (KARAMATU) and structural  
 plywoods (LAUAN)

		(Unit: kgf/cm <sup>2</sup> )				
等級	Grade	曲げ・引張 Lfb, Lft	圧縮 Lfc	剪断 Lfs	めり込み Lflc	ヤング係数 E
製材 Lumbers	特級 Sel. Struct.	130	90	7	25	100 × 10 <sup>3</sup>
	1級 No. 1	110	80	7	25	100 × 10 <sup>3</sup>
	2級 No. 2	90	65	7	25	90 × 10 <sup>3</sup>
構造用合板 Structural plywood	I類1級A No. 1-A	50	35	--	--	--

Footnote Lf ; Allowable unit stress of long term  
 E; Modulus of elasticity  
 Subscripts b, t, c, s and c indicate bending, tension, compression,  
 shear and compression perpendicular to grain.

A : Cross-section area      A = A<sub>1</sub>  
 Z : Section modulus        Z = Z<sub>1</sub> + Z<sub>2</sub>  
 I : Moment of inertia      I = I<sub>1</sub> + I<sub>2</sub>  
 E : Young's modulus       E =  $\frac{E_1 + k \cdot E_2}{1 + k}$  ( k = I<sub>2</sub>/I<sub>1</sub> )



第7図 部材断面の種類と性質

Fig. 7. Kinds and properties of member cross section

**設計荷重** 屋根は勾配1/10の薄板ぶき (20kgf / m<sup>2</sup>) , 積雪は1.5m , トラス間隔は0.45mとしてトラス上弦材に加わる水平面に対する長期及び短期等分布設計荷重 LW<sub>top</sub> , sW<sub>top</sub>を求めると ,

$$LW_{top} = \left\{ (20 \text{ kgf / m}^2 \times \frac{10}{10}) + (3 \text{ kgf / m}^2 \times 150 \text{ cm} \times 0.7) \right\} \times 0.45 \text{ m} = 151 \text{ kgf / m}$$

$$sW_{top} = \left\{ (20 \times \frac{10}{10}) + (3 \times 150 \times 1.0) \right\} \times 0.45 = 212 \text{ kgf / m}$$

となる。天井は石コウボード張 (15kgf / m<sup>2</sup>) , 断熱層重量を5kgf / m<sup>2</sup> , トラス自重を12kgf / mとして下弦材に加わる水平面に対する長期及び短期等分布設計荷重 LW<sub>bottom</sub> , sW<sub>bottom</sub>を求めると ,

$$LW_{bottom} = sW_{bottom} = (15 \text{ kgf / m}^2 + 5 \text{ kgf / m}^2) \times 0.45 \text{ m} + 12 \text{ kgf / m} = 21 \text{ kgf / m}$$

となる。

### 3.3.2 応力解析

U型トラスの応力解析は、トラス形状を第8図のようにモデル化（節点数39，要素数48の平面骨組構造物）し、有限要素法による平面骨組構造物解析プログラム<sup>(8)(9)</sup>（BASIC言語使用）を用いて行った。モデル化に際し次のような仮定をした。

- 1) 上・下弦材は、継手がある場合や補強材がある場合でも、1本の通直かつ連続した部材とする。
- 2) 腹材と弦材の接合はピン接合とする。

このような仮定から、弦材継手の設計は、継手を有するトラス節点区間に発生する最大の軸力、剪断力、曲げモーメントに対して行い、トラス節点のガセットの設計は腹材に発生する軸力のみに対して行う。

応力解析における節点荷重（ $P_t$ 、 $P_b$ ）は、水平面に対する荷重点間隔0.225mとして次式より求めた。

$$P_t = W_{top} \text{ kgf / m} \times 0.225\text{m}, \quad P_b = W_{bottom} \text{ kgf / m} \times 0.225\text{m}$$

狭い荷重点間隔のため、等分布設計荷重に近い応力解析結果が得られる。使用した計算機は、パーソナルコンピュータ沖電気if800 - model 30である。

応力解析の結果を、第9図と第10図に示す。この結果で特徴的なことは、下弦材の張り出し部分に非常に大きな断力と曲げモーメントが発生していることである。

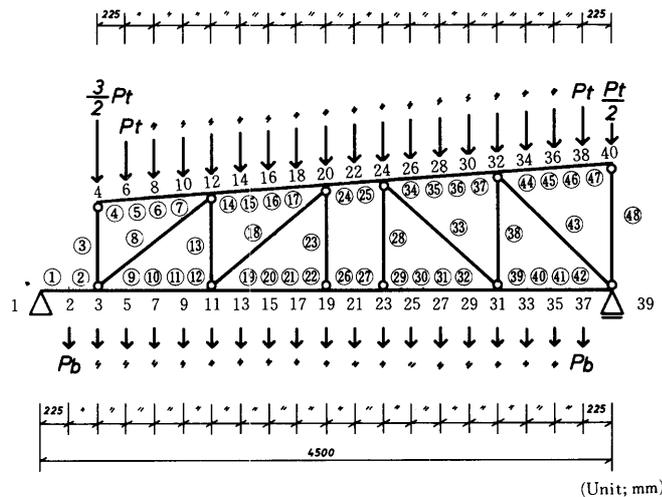
### 3.3.3 部材の検定と接合部の設計

#### 部材断面の検定

第9図に示された応力解析結果から、部材の等級と断面を検定する。このとき、上弦材の面外座屈は野地板により拘束され座屈は面内でのみ生ずる、また腹材は面外座屈すると仮定する。部材長は、応力解析で用いた要素長とは異なり、トラス本来の節点間の長さとする。部材断面の性質は、部材に切欠きがある場合、最も部材に不利な切欠き部の断面を検定に用いる。検定に用いる軸力、剪断力、曲

$$L P_t = 34 \text{ kgf} \quad S P_t = 48 \text{ kgf}$$

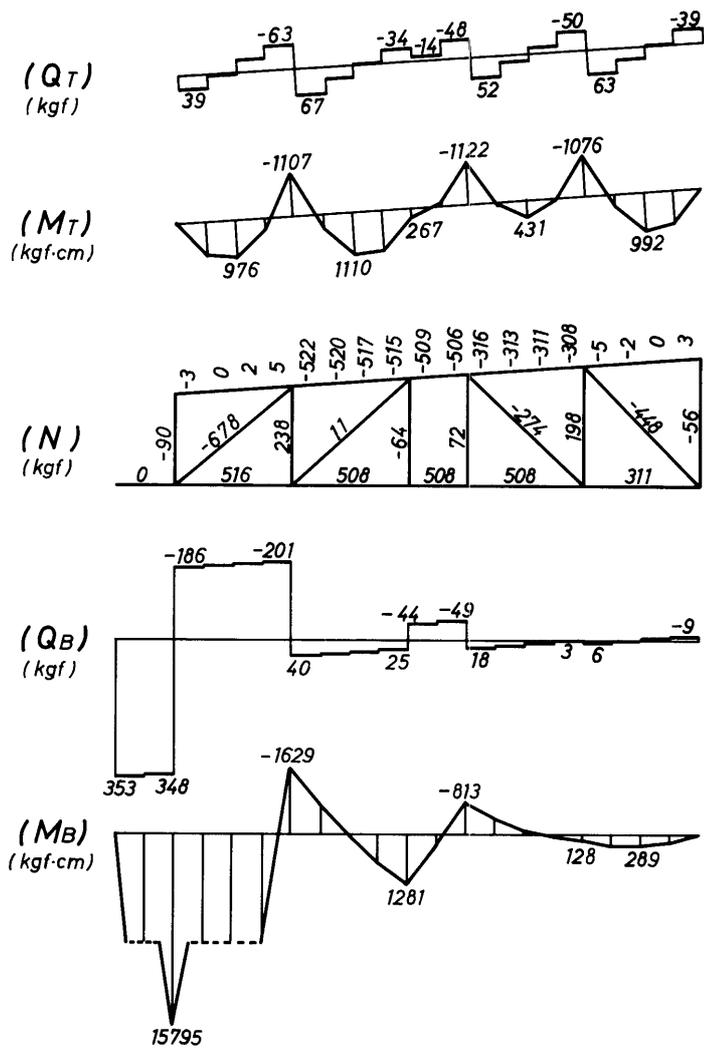
( Design load of long (L) and short term (S) for top chord )



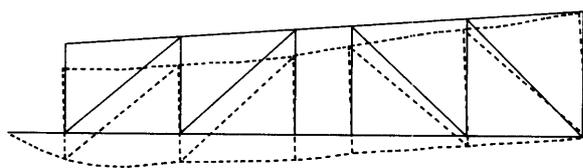
$$L, S P_b = 5 \text{ kgf}$$

( Design load of long and short term for bottom chord )

第8図 有限要素法による応力解析モデル  
Fig. 8. An analysis model of Unique trussed rafter for finite element method



第9图 部材応力図  
 Fig. 9. Diagrams of axial force N, Shear force Q and bending moment M



第10图 变形图  
 Fig. 10. Exaggerated deformation diagram

げモーメントは、部材に生ずるもののうち各最大の値を使用する。部材の等級を下記のとおりと仮定し、検定を行う。

上弦材.....2級  
 下弦材.....特級  
 要素番号 の腹材.....1級  
 その他の腹材.....2級

検定結果を第4表に示す。すべての部材が合格している。さらに、下弦材張り出し部に生ずる剪断力Q及び支点反力Rに対するめり込みについて検定する。支点（間仕切壁）の支圧面積 $A_R$ は、 $3.8\text{cm} \times 8.9\text{cm} = 33.8\text{cm}^2$ とする。

$$\left(\frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{A}\right) / Lf_s = \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{353}{87.0}\right) / 7 = 0.87 < 1$$

$$\left(\frac{R}{A_R}\right) / Lf_c = \left(\frac{353}{33.8}\right) / 25 = 0.42 < 1$$

これも合格である。

以上の検定結果から、切欠きや張り出し部を有する特殊形状のU型トラスではあるが、部材上では構造的に安全であることが確認された。

**弦材継手の設計** 弦材継手の接合方式は、他のトラス節点と同様の釘打ち合板ガセットとする。設計に用いる軸力N、剪断力Q、曲げモーメントMは、継手を有する部材に発生するうちの各最大の値を使用する。ただし、上弦材継手に生ずる圧縮軸力は、継手加工が精度よく加工されるものとして部材から部材に伝わりガセット板には伝わらない、と仮定しこれを無視する。

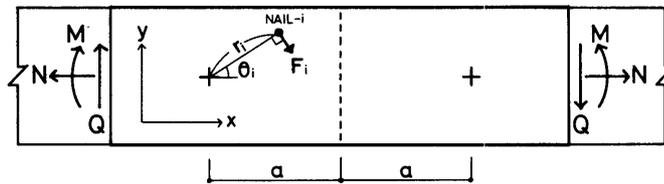
釘打ち合板ガセット継手の釘本数の検討は、曲げモーメントの発生する釘及びボルト接合部の設計に用いられる次式<sup>47)64)</sup>により行う（第11図参照）。

$$\left\{ \underbrace{\left( \frac{\sum M}{I_p} \cdot r_{ix} + \frac{Q}{n} \right)^2 + \left( \frac{\sum M}{I_p} \cdot r_{iy} + \frac{N}{n} \right)^2}_{F_i} \right\} / Lf_{\text{nail}} \leq 1$$

- a : 釘配置の重心から材端までの距離 (cm)
- $r_i$  : 釘配置の重心から釘 - i まで距離 (cm)
- M : 継手に加わる総モーメント (kgf · cm)
- $S_p$  : 釘位置の極形状係数 (cm)
- $I_p$  : 釘位置の極二次モーメント (cm<sup>2</sup>)
- $F_i$  : 釘 - i に加わる剪断力 (kgf)
- $Lf_{\text{nail}}$  : 使用釘の長期許容剪断耐力 (kgf / nail)
- n : 釘本数

第4表 部材等級と断面の検定結果  
Table 4. Results of examination for grade and cross section of members

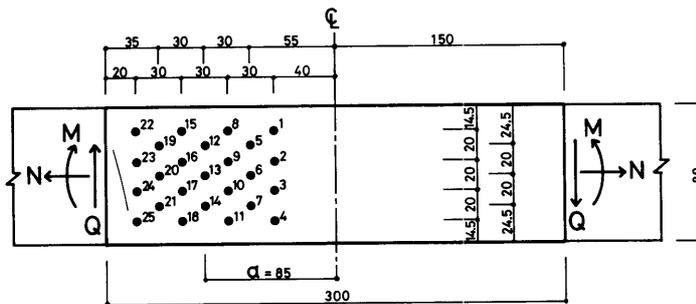
要素番号 Element No.	上弦材 Top chord					下弦材 Bottom chord		
	④-⑤-⑥-⑦	⑭-⑮-⑯-⑰	⑳-㉑	㉒-㉓-㉔-㉕	㉖-㉗-㉘-㉙	①-②	⑧-⑨-⑩-⑪	⑱-⑳-㉑-㉒
等級 Grade	2級 No. 2	2級 No. 2	2級 No. 2	2級 No. 2	2級 No. 2	特級 Sel. Struct.	特級 Sel. Struct.	特級 Sel. Struct.
断面積 A (cm <sup>2</sup> ) Cross-section area	26.2	33.8	33.8	33.8	33.8	33.8	33.8	33.8
断面係数 Z (cm <sup>3</sup> ) Section modulus	30.1	50.1	50.1	50.1	50.1	174.2	141.3	50.1
座屈長さ l <sub>k</sub> (cm) Buckling length	0.7 × 90.2	0.5 × 90.2	0.5 × 45.1	0.5 × 90.2	0.7 × 90.2	—	—	—
断面二次半径 i (=√I/A) Radius of gyration (cm)	1.99	2.57	2.57	2.57	2.57	—	—	—
有効細長比 λ (=l <sub>k</sub> /i) Slenderness ratio	31.70	17.55	8.78	17.55	24.58	—	—	—
軸力 N (kgf) Axial force	3	522	509	316	5	0	516	508
曲げモーメント M (kgf·cm) Bending moment	1107	1110	1122	1122	1076	15795	15795	1629
( $\frac{N}{A}$ )/L <sub>f</sub> k + ( $\frac{M}{Z}$ )/L <sub>f</sub> b	0.40	0.48	0.48	0.39	0.24	—	—	—
( $\frac{N}{A}$ )/L <sub>f</sub> t + ( $\frac{M}{Z}$ )/L <sub>f</sub> b	—	—	—	—	—	0.69	0.97	0.36



$$F_i = \sqrt{\left(\frac{\Sigma M}{S_P} \cdot \cos \theta_i + \frac{Q}{n}\right)^2 + \left(\frac{\Sigma M}{S_P} \cdot \sin \theta_i + \frac{N}{n}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\Sigma M}{I_P} \cdot r_{ix} + \frac{Q}{n}\right)^2 + \left(\frac{\Sigma M}{I_P} \cdot r_{iy} + \frac{N}{n}\right)^2}$$

$\Sigma M = M + Q \cdot a$   
 $S_P = I_P / r_i$   
 $I_P = \Sigma r_i^2$   
 $n$ : Number of nails



(Unit; mm)

第11図 弦材継手の釘本数の設計方法  
Fig. 11. Design method for nailed plywood gusset of chord splices

			腹材 Web	
㉙-㉚	㉙-㉛-㉜-㉝	㉙-㉞-㉟-㊱	㉠	㉡
特級 Sel. Struct.	特級 Sel. Struct.	特級 Sel. Struct.	1級 No. 1	2級 No. 2
33.8	33.8	33.8	33.8	33.8
50.1	50.1	50.1	—	—
—	—	—	1.0×118.2	1.0×129.7
—	—	—	1.10	1.10
—	—	—	107.75	118.24
508	508	311	678	448
1281	813	289	0	0
—	—	—	0.71	0.48
0.31	0.24	0.11	—	—

弦材継手を第11図のとおりとして、  
釘耐力を検定する。上・下弦材継手の  
検定に用いる軸力N，剪断力Q，曲げ  
モーメントMを第9図から求めると、

$$N_{top} = 0 \text{ kgf}$$

$$N_{bottom} = 508 \text{ kgf}$$

$$Q_{top} = 63 \text{ kgf}$$

$$Q_{bottom} = 18 \text{ kgf}$$

$$M_{top} = 1076 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{bottom} = 813 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

となる。検定は最大の剪断力Fが働く  
釘 - 25について行う。

$$\text{上弦材継手: } \left\{ \sqrt{\left(\frac{1612}{338} \times 4.5 + \frac{63}{25}\right)^2 + \left(\frac{1612}{338} \times 3.0\right)^2} \right\} / 34 \approx 0.82 < 1$$

$$\text{下弦材継手: } \left\{ \sqrt{\left(\frac{966}{338} \times 4.5 + \frac{18}{25}\right)^2 + \left(\frac{966}{338} \times 3.0 + \frac{508}{25}\right)^2} \right\} / 34 \approx 0.94 < 1$$

検定結果は合格である。よって、弦材継手の釘本数と釘配置は、上・下弦材とも同一の第11  
図のとおりとする。

次に、合板ガセット自体の検定を行う。検定式は、

$$\text{上弦材継手: } \left( \frac{M}{Z_{splice}} \right) / L_{fb} \cdot \text{plywood} \quad 1$$

$$\text{下弦材継手: } \left( \frac{N}{A_{splice}} \right) / L_{fb} \cdot \text{plywood} + \left( \frac{M}{Z_{splice}} \right) / L_{fb} \cdot \text{plywood} \quad 1$$

である。ここで、 $A_{splice}$  はガセットの断面積  $(0.9+1.2) \times 8.9 = 18.6\text{cm}^2$  であり、  
 $Z_{splice}$  はガセットの断面係数  $(0.9+1.2) \times 8.9^2 / 6 = 27.7\text{cm}^3$  である。

$$\text{上弦材継手: } \left( \frac{1076}{27.7} \right) / 50 = 0.78 < 1$$

$$\text{下弦材継手: } \left( \frac{508}{18.6} \right) / 50 + \left( \frac{813}{27.7} \right) / 50 = 1.13 > 1$$

検定の結果、下弦材継手のガセットが不合格となった。しかし、応力解析の結果、下弦材  
継手の位置に発生する真の曲げモーメントは62kgf・cmであり、この値を使って検定をやり直  
すと、

$$\left( \frac{508}{18.6} \right) / 50 + \left( \frac{62}{27.7} \right) / 50 = 0.59 < 1$$

となり、合格する。よって、下弦材継手のガセット板寸法はあえて変更しないものとする。

**トラス節点の設計** トラス節点は釘打ち合板ガセットとし、各ガセットに必要な釘本数を算出する上で、次の仮定を設ける。

- 1) 部材には鉋削された乾燥材を用い、かつ精度よく仕口加工されるため、ガセット部の部材仕口間に透き間はない。
- 2) 前項の仮定から、部材どうしが押し付け合う力は、部材から部材へ直接伝わり、釘を介してガセット板には伝わらない。
- 3) 前項の仮定から、腹材に生ずる軸力が圧縮力である場合、その軸力の弦材と平行方向の分力のみがガセット板に伝わる。軸力が引張力の場合には、その軸力のすべてがガセット板に伝わる。  
このようなガセット板に伝わる軸力を、「有効軸力 $N_e$ 」という言葉で定義する。
- 4) 弦材に生ずる軸力、剪断力、曲げモーメントは、弦材のみが負担し、ガセット板には伝わらない。

以上の仮定から、ガセット板に必要な釘本数は、次の式から算出される。

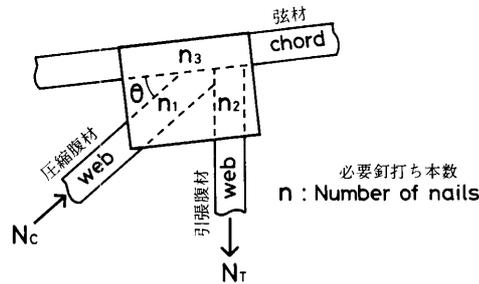
$$\text{釘本数 } n = \frac{\text{有効軸力 } N_e}{\text{釘の長期許容剪断耐力 } L f_{\text{nail}}}$$

ただし、弦材部の釘本数は、腹材部の釘本数の和とする。また、腹材部の最低釘本数は3本とする。

第12図に釘本数の算出方法を示す。

**ガセット板寸法の設計** 弦材継手及びトラス節点の釘本数と釘打ち間隔の基準（3.2.1参照）から、合板ガセットの最小寸法を求める。合板ガセットの端距離（引張余長）は20mmとする。

このようにして求めたガセット板寸法と釘本数を第13図と第14図に示す。

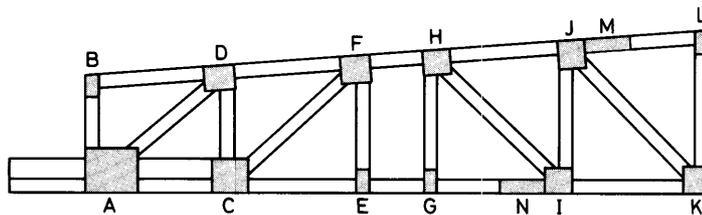


$$n_1 = \frac{N_c \cdot \cos \theta}{f_{\text{NAIL}}} \quad \text{and } n_1 \geq 3$$

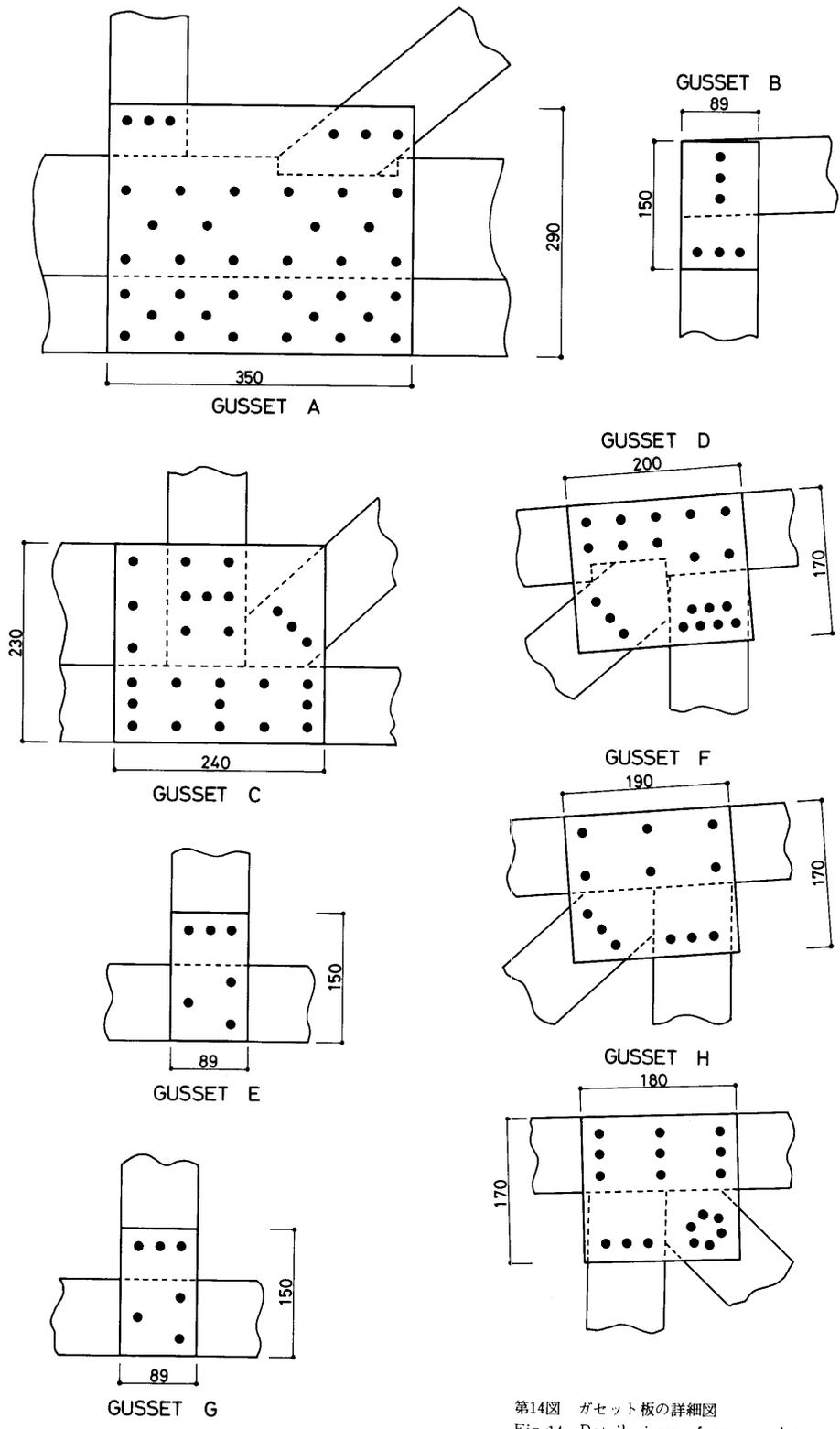
$$n_2 = \frac{N_r}{f_{\text{NAIL}}} \quad \text{and } n_2 \geq 3$$

$$n_3 = n_1 + n_2 \quad \text{and } n_3 \geq 6$$

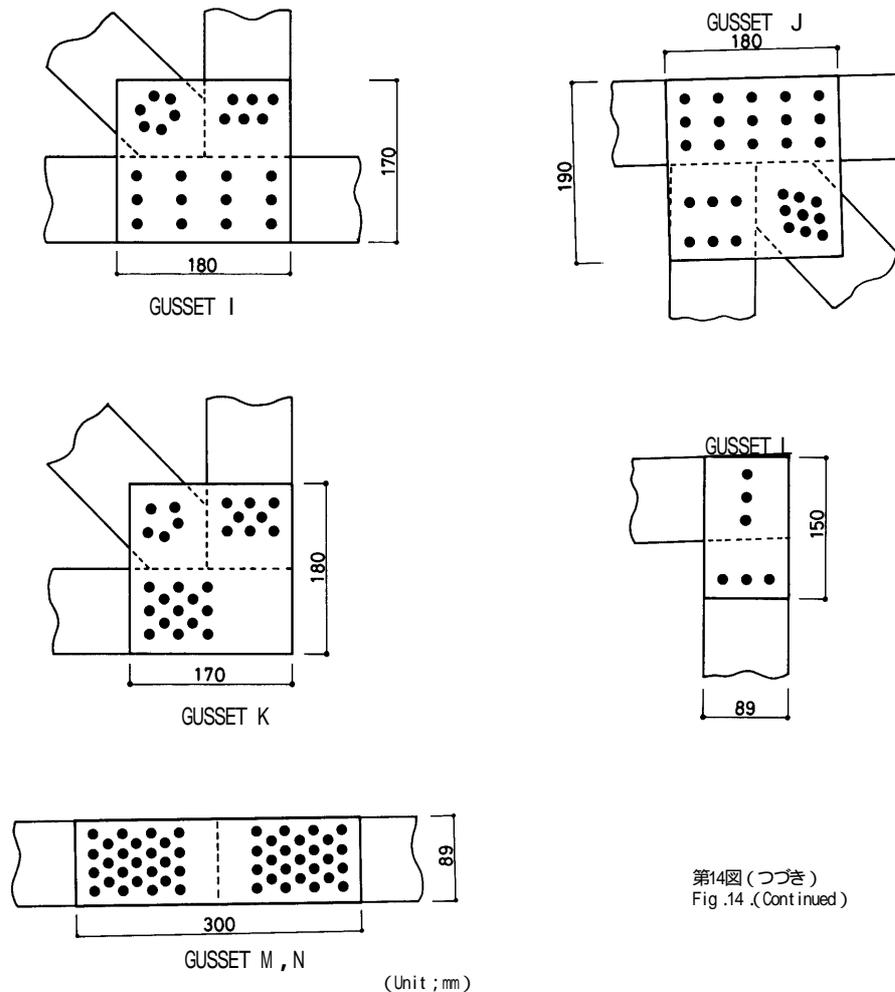
第12図 節点の釘本数の設計方法  
Fig. 12. Design method for nailed plywood gusset of joints



第13図 U型トラスの姿図とガセット板記号  
Fig. 13. A detail view of Unique trussed rafter and gusset plates No.



第14図 ガセット板の詳細図  
 Fig. 14. Detail views of gusset plates



第14図(つづき)  
Fig.14.(Continued)

#### 4. U型トラスの強度試験

前章で詳述した釘打ち合板ガセットトラスの設計手法の妥当性と設計したU型トラスの耐力を確認するため、設計どおりのU型トラスを5体製造し、そのうち3体を曲げ破壊試験に供した。残り2体は、次節で述べる曲げクリープ試験に供した。製造したU型トラスの概要は次のとおりである。

スパンは2.5間(4.50 m)、部材は造林カラマツ 204気乾材と 206気乾材、ガセットは厚さ9 mmと12mmのラワン構造用合板(特類1級)、釘はC S 64W1 - F釘の片面打ちである。トラス間隔0.45mに対して積雪1.5mに耐えるよう設計されている。

##### 4.1 曲げ破壊試験

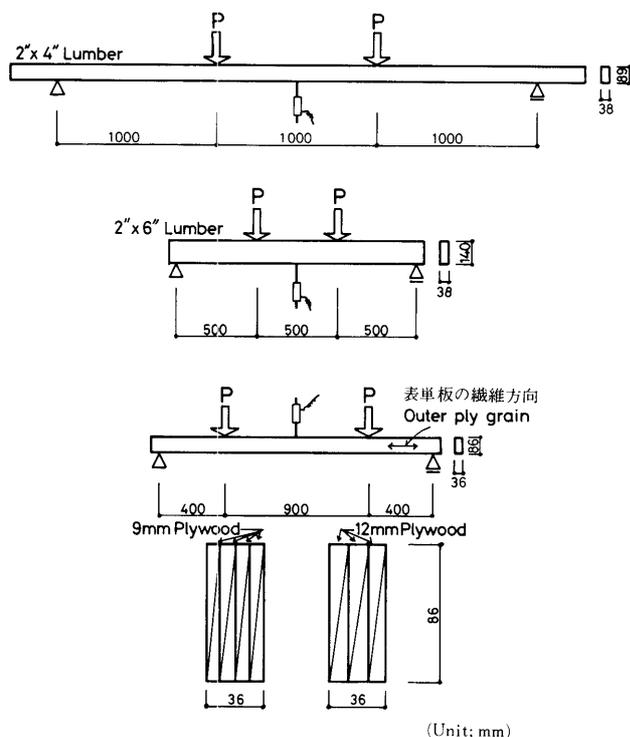
###### 4.1.1 材料の性質とトラスの製造方法

部材には造林カラマツ材を用いた。基本部材である 204材は、夏期4カ月間の天然乾燥後204断面に鉋削した。206材は人工乾燥された製材を所定の断面に鉋削した。鉋削のすんだ製材は、材長 3.65m及び 1.60mの状態曲げ剛性試験を行い、その後枠組壁工法構造用製材の農林規格<sup>55)</sup>に従って等級格付を行った。これにより、各製材の曲げヤング係数と等級を

求めた。製材の曲げ剛性試験方法を第15図に示す。なお、加力は上下のエッジワイス面について行い、求めた2つのヤング係数の差が2 tonf/cm<sup>2</sup>以内の製材のみを選別した。

**ガセット**は厚さ9mmと12mmのラワン構造用合板（特類1級）を使用した。この構造用合板の面内曲げ強度性能を調べるため、第15図に示した方法で合板の曲げ破壊試験を行った。9mm合板の場合は4枚を、12mm合板の場合は3枚を積層接着（酢酸ビニル樹脂接着剤使用）し、204断面に近い寸法の梁として試験した。試験結果を第5表に示す。この結果から、試験に用いた構造用合板の曲げ強度性能は、部材に用いた造林カラマツ材に匹敵しており<sup>41)</sup>、弦材継手の添え板として十分な強度性能であることを確認した。

**トラスの製造方法**は次のとおりである。前章で設計されたトラス形状・寸法に従い、合板ステージの上にトラス原寸図を描いた。この原寸図から各部材の型を作り、この型に合わせて昇降盤により部材を切断（仕口加工）した。弦材の切欠きは、ルーター用刃物を取り付けたハンディ型丸ノコにより切削した。ガセット用の合板は、所定の寸法に



第15図 部材用製材の曲げ剛性試験とガセット用構造用合板の曲げ破壊試験の方法

Fig. 15. Test methods of flexural rigidity for lumbers (members) and bending destructive for structural plywoods (gusset plates)

第5表 ガセット用構造用合板の曲げ破壊試験結果  
Table 5 Results of bending destructive test for structural plywoods (gusset plates)

合板 Plywoods	S. G.	M. C. (%)	E (×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	P. L. S. (kgf/cm <sup>2</sup> )	M. O. R. (kgf/cm <sup>2</sup> )	
9 mm	mean	0.52	8.8	64	316	469
	min.	0.50	8.7	62	284	441
	max.	0.55	9.0	67	329	505
	S. D.	0.018	0.11	1.9	18.6	27.4
	C. V. (%)	3.5	1.2	2.9	5.9	5.9
	n	4	4	4	4	4
12mm	mean	0.46	8.6	72	319	492
	min.	0.45	8.6	69	295	458
	max.	0.48	8.6	75	346	513
	S. D.	0.011	0	2.3	18.7	22.7
	C. V. (%)	2.5	0	3.1	5.9	4.6
	n	4	4	4	4	4

Foot note P. L. S. : Proportional limit stress  
M. O. R. : Modulus of rupture  
n : Number of specimens

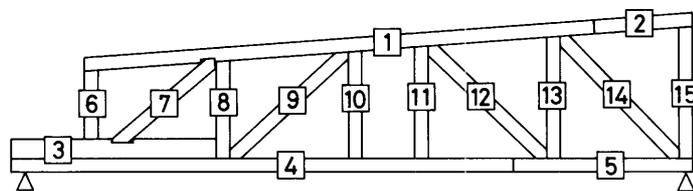
裁断した後、釘打ち込み側の9mm合板に釘位置を印刷した。仕上がった部材とガセット板を原寸図上に並べ、自動釘打ち機により釘打ちした。

計5体のU型トラスを製造した。部材の性質を第6表に示す。表中の材料番号は、第16図の番号に対応している。なお、部材の平均年輪幅、比重、含水率は、トラスの破壊試験後部材から採取した小片により測定した。

全製材の等級格付け結果から、全トラスについて、上弦材には2級材を、206材も含む下

弦材には1級材を、腹材には2級材を選んで配置した。ただし、腹材の場合は、1本の製材から切り使いしたため部材単位でみると2級から特級までばらつく結果となった。

なお、製造に用いたカラマツ材と構造用合板は、3.2.2釘剪断耐力試験に用いた材料と同一のものである。トラスの重量は、平均40.7 (38.6~41.7) kgであった。



第16図 材料番号  
Fig. 16. Material No. at Table 6

第6表 部材の性質  
Table 6 Basic mechanical properties of members

材料番号 Material	破壊試験体 For the destructive testing						クリープ試験体 For the creep testing				
	No. 1 Truss			No. 2 Truss			No. 3 Truss			No. 4 Truss	No. 5 Truss
No.	R. W. (mm)	S. G.	E ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	R. W. (mm)	S. G.	E ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	R. W. (mm)	S. G.	E ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	E ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	E ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )
1	6.2	0.45	89	3.1	0.56	136	4.2	0.56	112	122	119
2	5.8	0.52	90	3.4	0.59	137	4.5	0.53	113	128	118
3	5.9	0.44	68	3.9	0.45	70	7.0	0.47	72	75	78
4	7.2	0.44	84	3.3	0.63	136	3.4	0.50	113	126	118
5	6.6	0.54	90	3.2	0.61	137	4.3	0.53	113	128	118
6	7.4	0.40	72	2.8	0.54	81	3.4	0.59	80	72	118
7	6.0	0.44	72	6.0	0.45	94	5.7	0.45	94	72	117
8	5.1	0.56	93	3.6	0.52	97	3.5	0.50	97	93	117
9	6.2	0.49	98	4.9	0.54	99	3.5	0.55	99	94	117
10	5.5	0.46	83	6.2	0.49	98	5.1	0.52	99	77	118
11	5.3	0.45	79	4.6	0.56	93	5.0	0.54	93	79	117
12	8.0	0.53	80	8.0	0.46	87	6.7	0.46	87	80	117
13	7.2	0.38	72	7.4	0.49	87	6.0	0.50	98	72	118
14	2.5	0.51	81	5.3	0.43	83	4.1	0.45	83	81	118
15	3.5	0.67	77	4.5	0.44	79	3.9	0.67	77	72	117

脚注) トラスNo. 1, 2, 3に用いた材料の含水率は、平均 13.4 (12.7~14.0) %であった。  
Footnote M.C. of members of truss No. 1, 2, 3 were Ave. 13.4 (12.7 - 14.0) %.

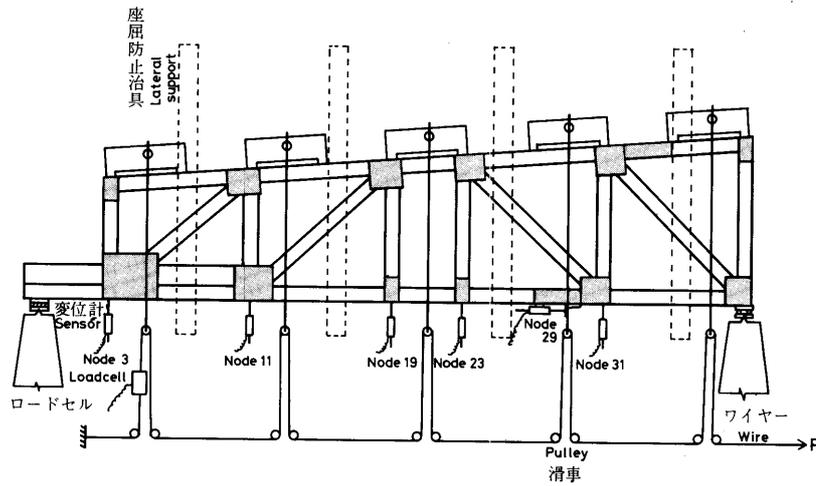
#### 4.1.2 試験方法

U型トラス3体の曲げ破壊試験方法を、第17図に示す。1体ずつの試験体をスパン4.50mの単純支持支点上に載せ、ワイヤーと滑車による多点集中荷重単調増加方式で試験した。荷重点間隔は、水平面に対し0.45mとし上弦材に加力した。

加力は、ワイヤーをチルホールで引っ張ることにより行い、荷重は図中に示したロードセルで測定した。ロードセルの荷重値 (P) と総荷重値 (ΣP) の関係は、理想的には  $\Sigma P = 10P$  であるが、別に行った検力試験から  $\Sigma P = 10.9P$  の関係であった。設計荷重はすべて上弦材に加わると仮定し、長期設計荷重に相当する総荷重は  $780 \text{ kgf} [ = (LW_{\text{top}} + LW_{\text{bottom}}) \times 4.50 ]$ 、短期に相当する総荷重は  $1050 \text{ kgf} [ = (sW_{\text{top}} + sW_{\text{bottom}}) \times 4.50 ]$  とする。

変形の測定は、下弦材の各節点に取り付けた1/100mm精度の電気式変位計と、下弦材継手の開きを測定するために取り付けた同種の変位計により行った。測定は、ロードセルの荷重値5kgfごとに行った。

破壊試験終了後、ガセット板を除去して、釘打ちによる部材の割れの有無を観察した。その後、各部材から平均年輪幅、比重、含水率測定用小片を採取した。



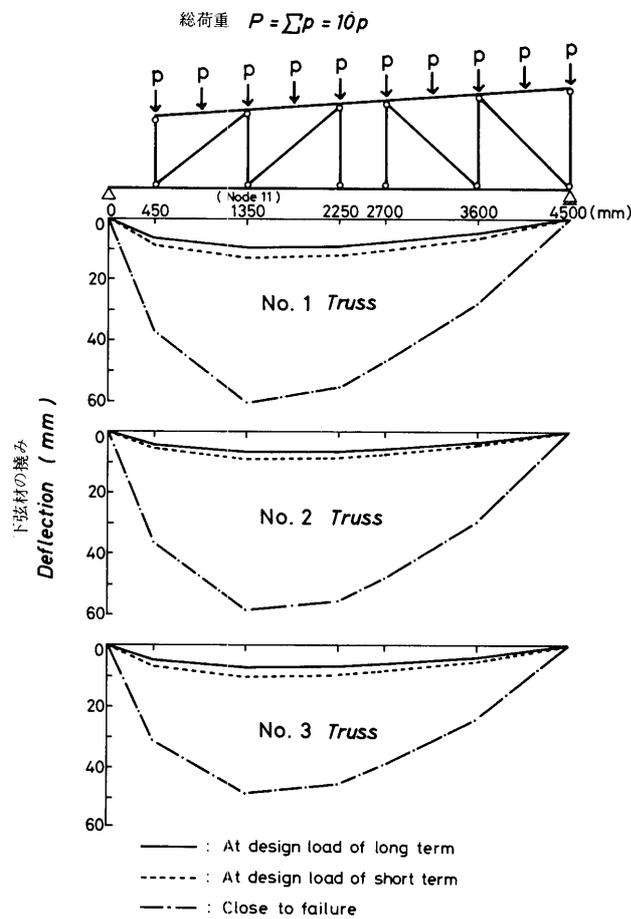
第17図 U型トラスの曲げ破壊試験方法  
Fig. 17. Test method of bending destructive for Unique trussed rafters

#### 4.1.3 結果と考察

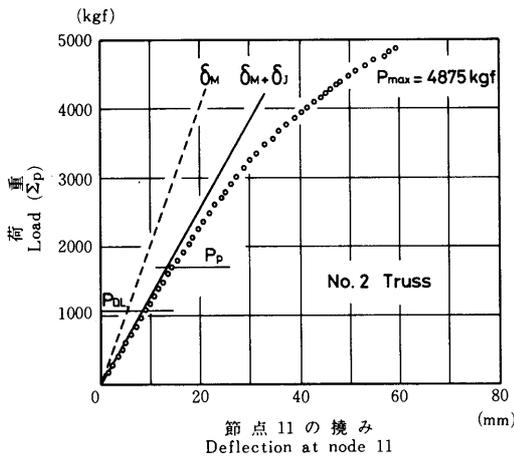
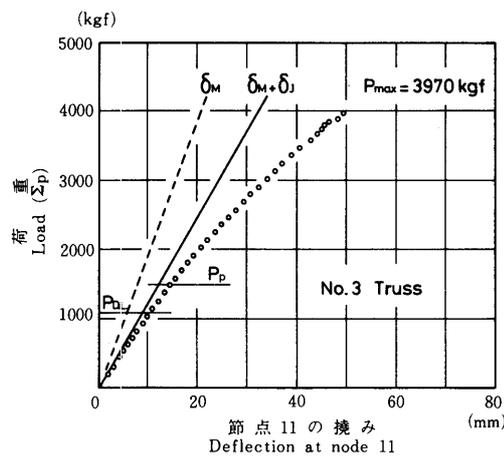
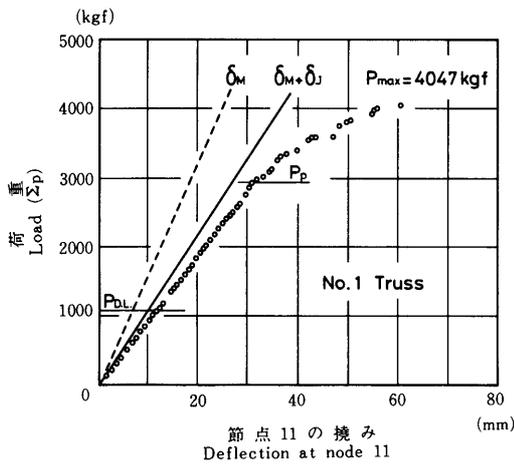
破壊に供した3体のU型トラス下弦材の長期設計荷重時、短期設計荷重時、破壊直前の撓み分布を第18図に示す。図より、節点11の撓みが最も大きいことがわかる。そこで、節点11の撓みをもってU型トラス下弦材の撓みを代表させるものとする。

第19図に下弦材の荷重 ( P ) - 撓み曲線を、第20図に下弦材継手の荷重 ( P ) - 開き曲線を示す。これらの図から、短期設計荷重  $P_{D.L.}$  に対して3体のトラスとも十分な耐力とねばりを有していることがわかる。

なお、第19図中の  $M_1$  は、前章と同じ応力解析手法により算出した節点11の部材撓みである。  $J_1$  は、3.2.2の釘剪断耐力試験より求めた釘の短期許容剪断耐力時



第18図 曲げ破壊試験時の下弦材の変形図  
Fig. 18. Deformation diagrams of bottom Chord at bending destructive test



Truss No.	短期設計荷重時の節点11の撓み Deflection of node-11 at P <sub>D.L.</sub> (mm)				(4)/(3)
	$\delta_M$ (1)	$\delta_J$ (2)	$\delta_M + \delta_J$ (3)	$\delta_O$ (4)	
1	6.48	2.80	9.28	11.79 (=span/382)	1.27
2	5.18	2.86	8.04	8.85 (=span/508)	1.10
3	5.46	2.84	8.30	10.03 (=span/449)	1.21

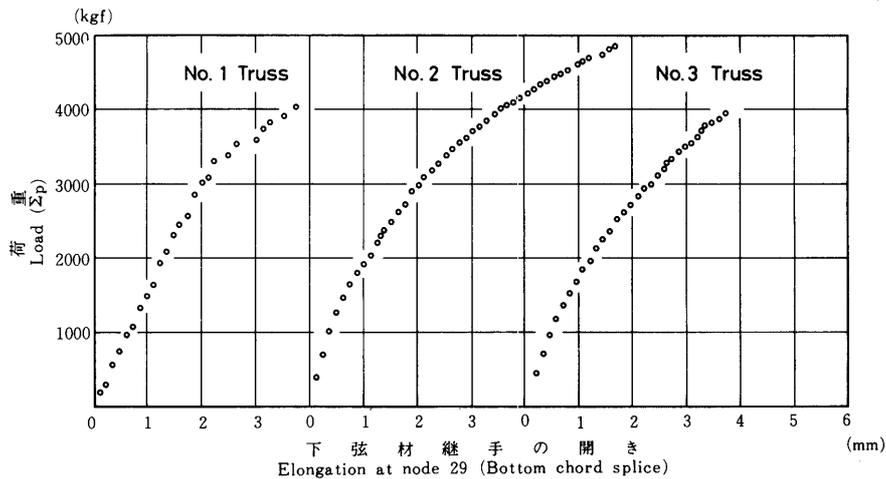
脚注) 有限要素法による計算撓み  
Footnote (1); Calculated deflection by finite element method

第19図 節点11における荷重-撓み曲線  
Fig. 19. Load-deflection curves at node 11 of bottom chord

のり係数  $s_{Ks}$  (= 1299kgf / cm) を用いて仮想仕事法<sup>64)66)</sup> から算出した接合部のりによる付加撓みである。この付加撓みの算出に用いた節点11に1なる鉛直荷重を加えたときの軸力图 (N図) と接合部の釘本数を第21図に示す。

第7表に試験結果を示す。総プロの小屋組の鉛直載荷試験方法及び評価方法の提案<sup>29)</sup> 「(b) 静的載荷試験において、短期設計荷重内で下弦材の最大撓みのスパンに対する比率は1 / 300以下で、かつ部材、接合部に構造耐力上有害な変形、破損を生じないこと。(c) 静的載荷試験において、最大荷重は短期設計荷重の3倍以上あること。」に従って試験結果をみると、どのトラスも短期設計荷重時における最大撓みのスパンに対する比率は1 / 382以下であり、最大荷重は短期設計荷重の3.78倍以上である。すなわち、3体の試験体とも十分な剛性と耐力を有している、と判断される。

撓み予測に関しては、ガセット部の釘のりによる付加撓み ( J ) を考慮することにより、危険側ではあるが予想可能である。計算撓み ( M + J ) が実測撓み ( O ) よりも小さめに出た原因は、全腹材について釘のりを考えずに接合部の付加撓み ( J ) を算出したた



第20図 下弦材継手における荷重 - 開き曲線  
Fig. 20. Load - elongation curves at bottom chord splice

第7表 U型トラスの曲げ破壊試験結果  
Table 7. Results of bending destructive test for Unique trussed rafters

荷重 Load (kgf)			(6)/(5)		(7)/(5)	破壊形態 Type of failure
P <sub>D.L.</sub> (5)	P <sub>P</sub> (6)	P <sub>max</sub> (7)				
1050	2968	4047	2.83	3.85	Bending of bottom chord (Cantilever part)	
1050	1637	4875	1.56	4.64	Bending of bottom chord (Cantilever part)	
1050	1484	3970	1.41	3.78	Bending of top chord and tension of bottom chord-splice	

ガセット部の釘のりによる付加撓み  
(2); Additional deflection by nailed gusset-slips

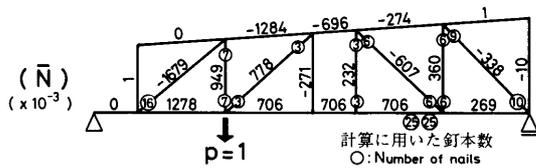
$$\delta_i = \sum \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{n_i \cdot K_s}$$

応力解析における部材軸力  
N<sub>i</sub> ; Real axial force of member-i (See Fig. 9)  
仮想仕事法における部材軸力  
N<sub>i</sub> ; Virtual axial force of member-i (See Fig. 21)  
ガセット部の釘本数  
n<sub>i</sub> ; Number of nails of member-i (See Fig. 21)  
部材番号  
i ; Member No.  
釘のり係数  
K<sub>s</sub> ; Slip modulus (=1299kgf/cm, See Fig. 5)

実測撓み  
(4); Observed deflection  
短期設計荷重  
(5); Design load of short term  
比例限度荷重  
(6); Proportional limit load  
最大荷重  
(7); Ultimate load

めと思われる。つまり、実際のトラスの接合部には、部材の仕口間にわずかな透き間があり、計算ではこれを無視したためと思われる。

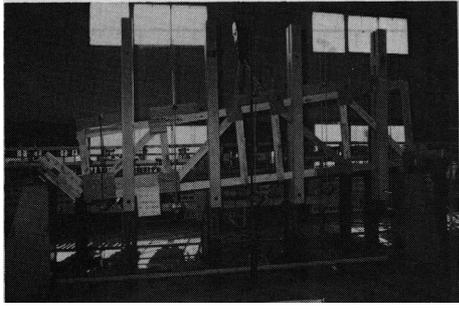
写真6に、トラスの破壊状況とガセット板を除去した後のガセット部の状況を示す。写真から、接合部での釘打ちによる割れが全く発生していなかったことがわかる。これは、使用



第21図 仮想仕事法による部材軸力図  
Fig. 21. Virtual axial force diagram  
by virtual work principle

した特殊釘 (CS64W1 - F釘) の釘打ち基準 (3.2.1参照) の妥当性と、釘打ち合板ガセットの強度的信頼性の高さを示すものである。

以上までの考察から、前章に詳述したU型トラスの構造設計手法の妥当性を確認することができたと同時に、U型トラスの強度的安全性も証明された。



No. 1 トラス

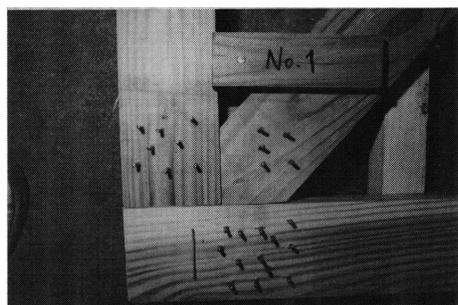
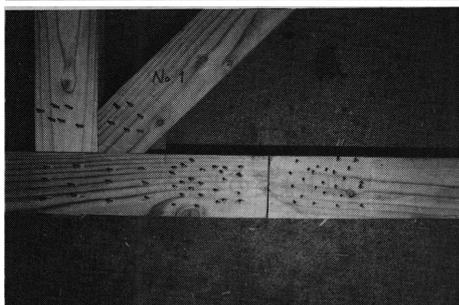
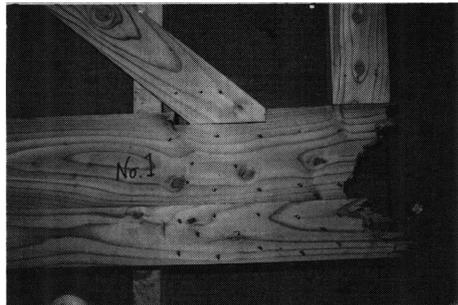
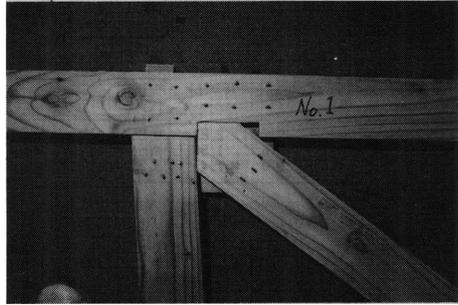
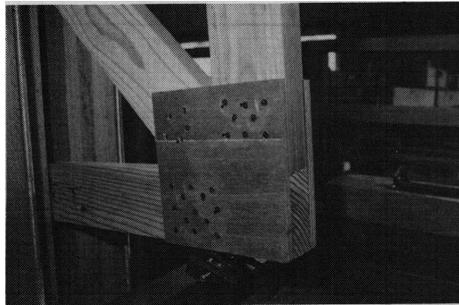
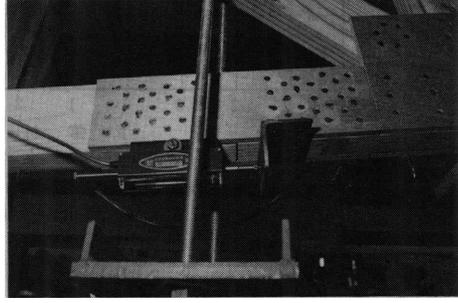
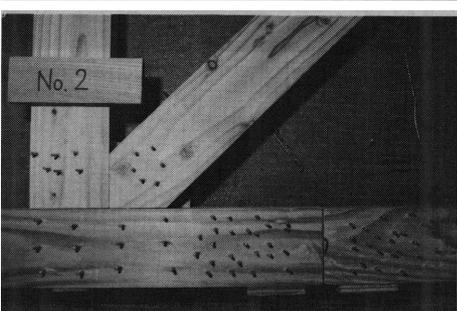
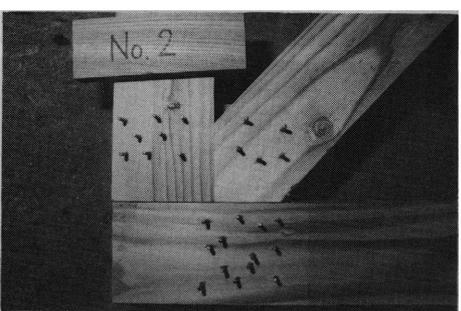
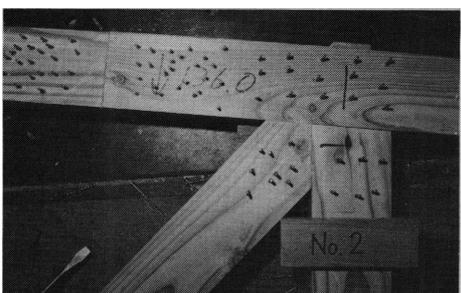
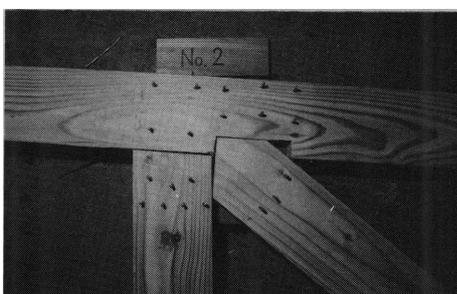
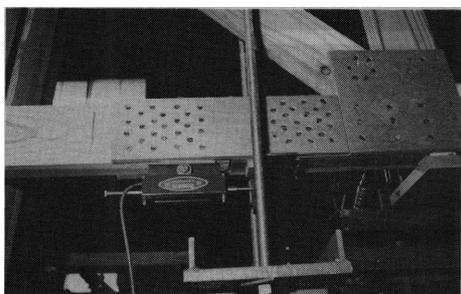
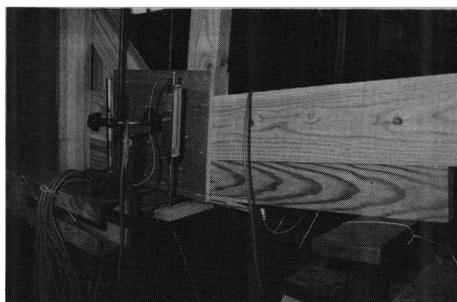
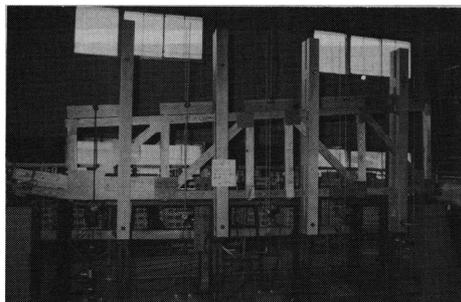
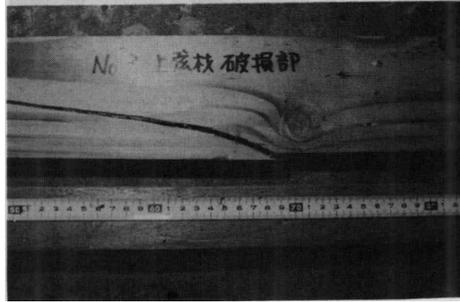
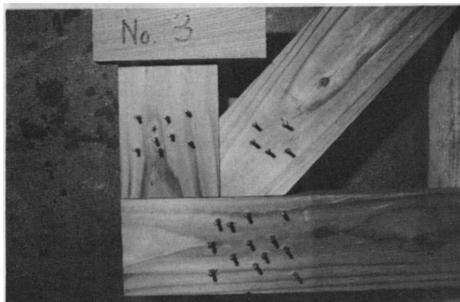
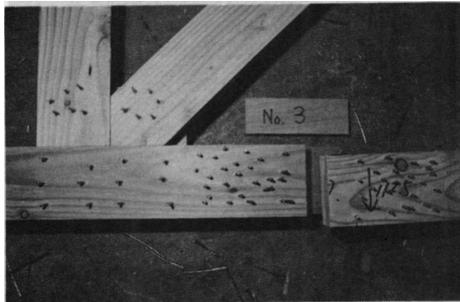
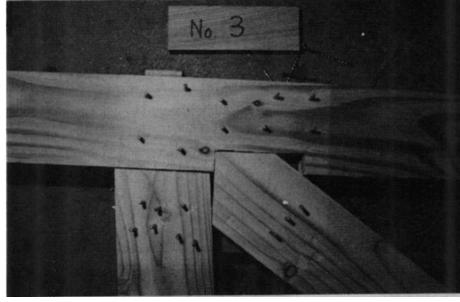
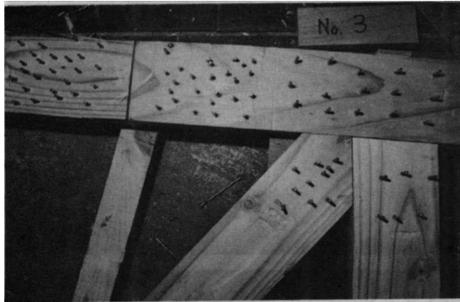
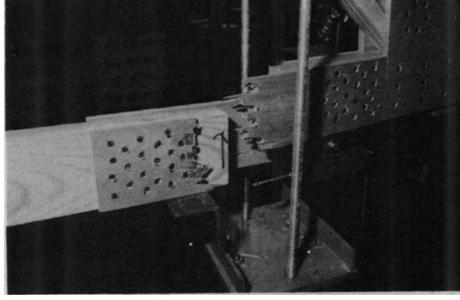
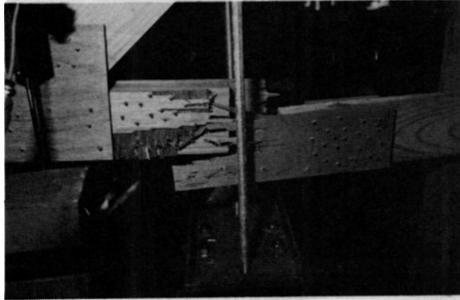
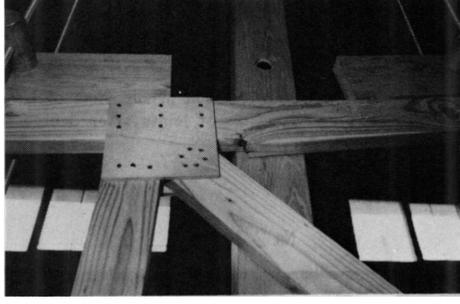
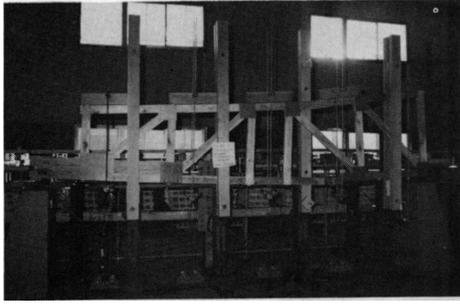


写真6 U型トラスの曲げ破壊状況と代表的なガセット部の状況  
Photo.6. The whole view of Unique trussed rafters and typical examples  
of joints after destructive test

No.2 トラス



No. 3 トラス



## 4.2 曲げクリープ試験

前節の破壊試験結果から、設計されたU型トラスの短期剛性及び耐力は十分であることが確認された。しかし、屋根トラスの性能としては、積雪荷重に対するクリープ性能も重要である。そこで、ここでは破壊試験に供したトラスと同型のU型トラス2体について、トラス間隔 0.45mに対する積雪1.5 mを想定した載荷々重による繰り返し曲げクリープ試験を行い、U型トラスのクリープ性能を検討した。

### 4.2.1 材料と試験方法

材料及びトラスの製造方法は前節の破壊試験体と同じである。部材の性質を第6表に示す。

荷重の載荷は、前節同様すべて上弦材に加えるものとし、長期設計荷重（積雪 1.5mの積雪荷重 + 屋根と天井の固定荷重）に相当する総荷重  $P (= 780\text{kgf})$  を載荷した。荷重点間隔も前節同様、水平面に対して0.45mとした。各節点荷重  $P$  は  $78\text{kgf} (= P / 10)$  である。

試験方法を、第22図及び写真7に示す。2体の試験体を一組としてスパン 4.50 m支点に載せ、前節同様ワイヤーと滑車による多点集中荷重方式で加力した。試験体は 0.45 m間隔に並べてあり、5箇所の間隔を一定に保つためのスペーサーが取り付けられている。一組となった試験体は、一体となって加力され 一体となって変形する。

繰り返し荷重の方法は、降雪期間4ヵ月、積雪1.5mを想定した長期設計荷重（ $P = 780\text{kgf}$ ）を120日間トラス上弦材に載荷し、120日後には除荷して60日間クリープ回復させるものである。この120日間載荷60日間除荷をもって1サイクルとし、この1サイクルが1年に相

当するものとして載荷と除荷のサイクルを繰り返す。実際の屋根トラスでは、屋根と天井の固定荷重（今回の場合では節点荷重14kgfに相当する）は常時トラスに負荷されているが、荷重用の重りの都合と、釘接合部の剪断クリープでは残存荷重がある場合に回復は少ないが同じ荷重を再負荷したときの変形の著しい変動はなくほぼ前のクリープ曲線の延長上にある<sup>31)</sup>ことから、今回のクリープ試験では全荷重を載荷又は除荷した。なお、固定荷重のみのトラスの瞬間撓みは計算上1.1mm（節点11）にしかすぎない。

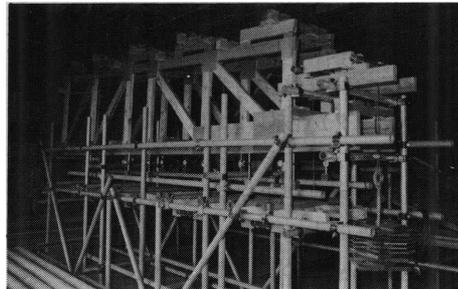
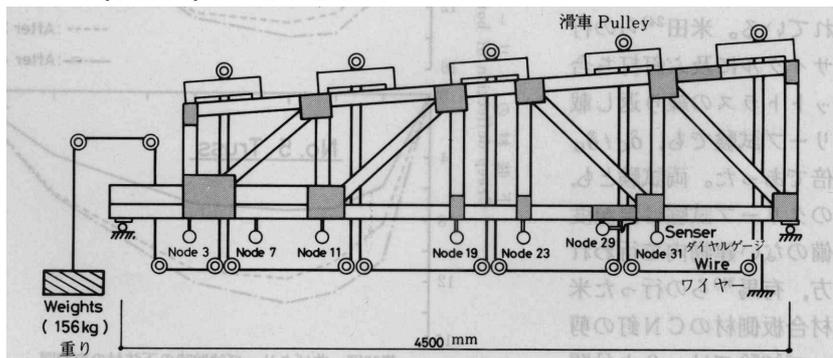


写真7 U型トラスの曲げクリープ試験  
Photo. 7. The whole view of bending creep test under intermittent snowfall loading for a pair of Unique trussed rafters



第22図 U型トラスの曲げクリープ試験方法  
Fig. 22. Test method of bending creep under intermittent Snowfall loading for a pair of Unique trussed rafters

変形の測定は、第22図に示したとおり、下弦材の各ガセット部、応力解析上の節点7、弦材継手の計7箇所に取り付けた1/100mm精度のダイヤルゲージにより行い、下弦材の鉛直撓みと継手の開きを測定した。

以上のような繰り返し載荷方式の曲げクリープ試験を、当場の試作農業用構築物内で昭和58年10月24日から開始した。試験中の雰囲気は、温湿度調整設備のない建物内での試験のため、外気とほぼ同様な環境である（温度 - 30 ~ + 35 ， 相対湿度50% ~ 100%）。

#### 4.2.2 結果と考察

現在までに3サイクル（3年間に相当）までの試験が終了した。各サイクルごとの下弦材の撓み分布を、第23図に示す。

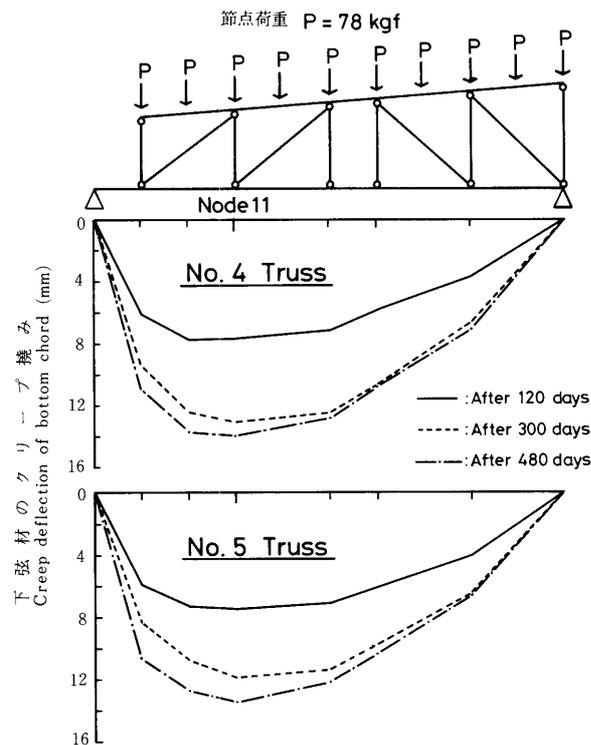
破壊試験時の下弦材撓み分布同様、節点11のクリープ撓みが最も大きい。そこで、前節同様、節点11のクリープ撓みをもってU型トラス下弦材のクリープ撓みを代表するものとする。

第8表に、クリープ試験結果を示す。表中の  $\sigma_c$ 、 $\sigma_0$  は、前節と同様の手法により算出した部材による撓みと接合部のにりによる付加撓みである。ただし、 $\sigma_0$  は、釘の長期許容剪断耐力時のにり係数  $LK_s$  ( $= 3466 \text{ kgf/cm}$ ) を用いて全腹材の接合部ににりが発生すると考えて算出した値である。これは、釘の長期許容剪断耐力時のにりが  $0.098 \text{ mm}$  (第5図参照) にしかすぎず、製造されたトラスの接合部の部材仕口間にはこの程度の透き間は存在する、と考える方が現実には則しているからである。

計算撓みと載荷1分後の実測撓みとの比  $\{\sigma_c / (\sigma_c + \sigma_0)\}$  は、1.03及び0.99と非常に良く一致している。

長期間にわたるトラスのクリープ撓みについては、3サイクルまでのデータからだけでは一概に議論できない。そこで、クリープに関する既往の研究を眺めてみることにする。

Wilkinson<sup>14)</sup> の行った15年間の釘打ち合板ガセットトラスの連続載荷式クリープ試験では、最終撓み ( $\sigma_c$ ) は初期瞬間撓み ( $\sigma_0$ ) の約3倍になったことが報告されている。米田<sup>24)</sup> らの行った7サイクルに及ぶ釘打ち合板ガセットトラスの繰り返し載荷式クリープ試験でも、 $\sigma_c / \sigma_0$  は約3倍であった。両試験とも、トラスのクリープ試験は温湿度調整設備のない建物内で行われた。一方、有馬<sup>31)</sup> らの行った米ツガ主材合板側材のC N釘の剪断クリープ試験では、3カ月間の恒温恒湿室での試験の場合に



第23図 曲げクリープ試験時の下弦材の変形図  
Fig. 23. Deformation diagrams of bottom chord at each elapsed times of bending creep test

$c / \delta_0$ は約2倍, 1年間の屋外暴露の場合には  $c / \delta_0$ は約40倍にも達した。また, 合板と製材の釘接合部の釘打ち直後と6カ月後との釘剪断性能に差が現れることも, 神谷<sup>38)</sup>らにより報告されている。集成材の曲げクリープ試験では, 恒温恒湿内と屋外との試験条件の違いによりクリープ撓みが大きく影響されることも, 佐藤<sup>36)</sup>及び大平<sup>37)</sup>らにより報告されている。

次に, 屋根トラスの使用環境を考察してみよう。小屋裏内の環境は, 小屋裏換気口と最近の天井断熱の普及のため, 温度及び湿度とも外気に近い状態にある<sup>51)52)</sup>。屋根トラスのクリープが問題となる降雪期間(12月, 1月, 2月, 3月)の内, 積雪重量が最も大きい2月及び3

月<sup>53)</sup>の月平均気温は, 北海道のような寒冷地では0以下である<sup>54)</sup>。また, 乾燥材を小屋裏に放置した場合には, 一年間を通して大きな含水率変動はない<sup>50)</sup>。つまり, 降雪期間における屋根トラスは, 一定含水率の低温下に置かれていることになり, 木材及び釘接合部のクリープ変形が進みにくい<sup>31)32)33)</sup>状態にある, と言える。

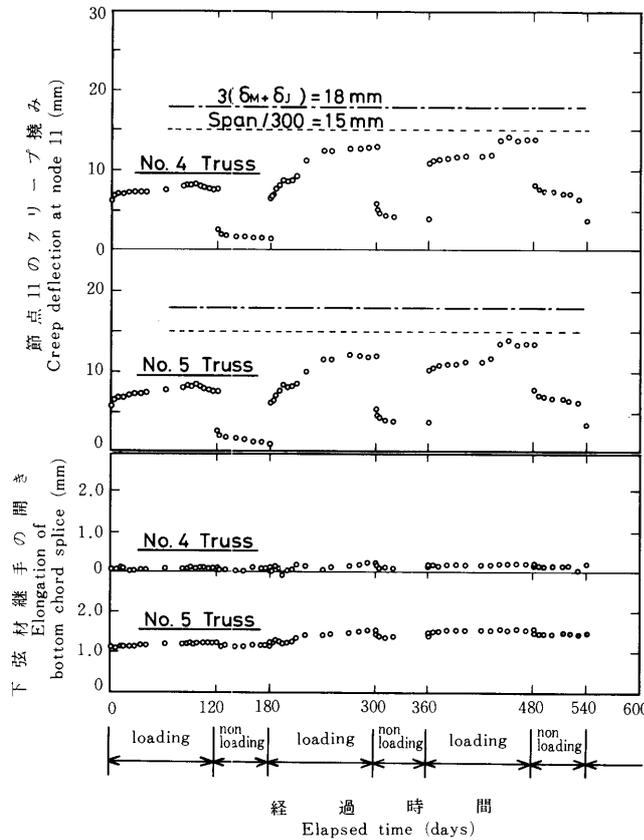
また, 木材の曲げクリープにおいて, 荷重を連続して載荷した場合と繰り返し載荷した場合とは, 明らかに繰り返しのクリープ撓みの方が連続のクリープ撓みよりも小さくなることの中井<sup>34)35)</sup>らにより報告されている。

以上の既往の研究から, 積雪荷重による釘打ち合板ガセット屋根トラスのクリープ変形は, 設計荷重が載荷さ

第8表 U型トラスの曲げクリープ試験結果  
Table 8. Results of bending creep test under intermittent snowfall loading for a pair of Unique trussed rafters

Truss No.	長期設計荷重時の節点11の撓み Deflection of node 11 at design load of long term									
	弾性撓み Elastic deflection (mm)				クリープ撓み Creep deflection (mm)					
	$\delta_M$ (1)	$\delta_j$ (2)	$\delta_M + \delta_j$ (3)	$\delta_0$ (4)	(4)/(3)	$\delta_{c-cal}$ (5)	$\delta_1$ (6)	$\delta_{120}$ (7)	$\delta_{300}$ (8)	$\delta_{480}$ (9)
4	4.16	1.91	6.07	6.23 ( $= \frac{\text{span}}{722}$ )	1.03	18.21	6.77	7.61	12.97	13.82
5	3.89	1.99	5.88	5.81 ( $= \frac{\text{span}}{775}$ )	0.99	17.64	6.36	7.46	11.86	13.35

脚注) Footnote (1), (2), (4); (5); (6), (7), (8), (9);  
第7表の脚注を参照せよ。; See footnote of Table 7 ( $K_s = 3466 \text{ kgf/cm}$ ).  
;  $3 \times (\delta_M + \delta_j)$   
1, 120, 300及び480日後のクリープ撓み  
Creep deflections at after 1, 120, 300 and 480 days.



第24図 節点11のクリープ撓みと下弦材継手のクリープ開き  
Fig. 24. Creep deflection at node 11 and Creep elongation of bottom chord splice

れた直後の初期瞬間変形の3倍と考える。今回のU型トラスにおいては、破壊試験及びクリープ試験での実測撓みと計算撓みが良く一致していることから、長期にわたるU型トラス下弦材の予測クリープ撓み( c-cal. )は、長期設計荷重時の計算撓み(  $M + J$  )の3倍と推定する。

$$c\text{-cal.} = 3 \times ( M + J ) \quad 18\text{mm}$$

この推定値と実測のクリープ曲線を比較したのが第24図である。図には、下弦材継手の開きのクリープ曲線も併記してある。

3サイクルまでの結果からでは、この推定値の妥当性は明確ではないが、一応のクリープ撓みの目安となることだけは確認できる。なお、クリープの期間は、住宅金融公庫融資金返済期間の上限30年(木造簡易耐火住宅の場合)<sup>60)</sup>を想定するものとする。

建築学会の推奨値<sup>64)</sup>「長期にわたって全荷重近くのものがかかるはりの場合：クリープ後における最大たわみはスパン/300以下」を、今回のU型トラスにあてはめると、

$$4500 / 300 = 15\text{mm} < c\text{-cal} \quad 18\text{mm}$$

となる。クリープ撓みの推定値が建築学会推奨値を上回る結果となった。しかし、その差は僅少であり、スパン4.5mに対し18mmのクリープ撓みは実用上差し支えない範囲と思われることから、クリープ性能についてもU型トラスは十分な性能を有していると判断される。

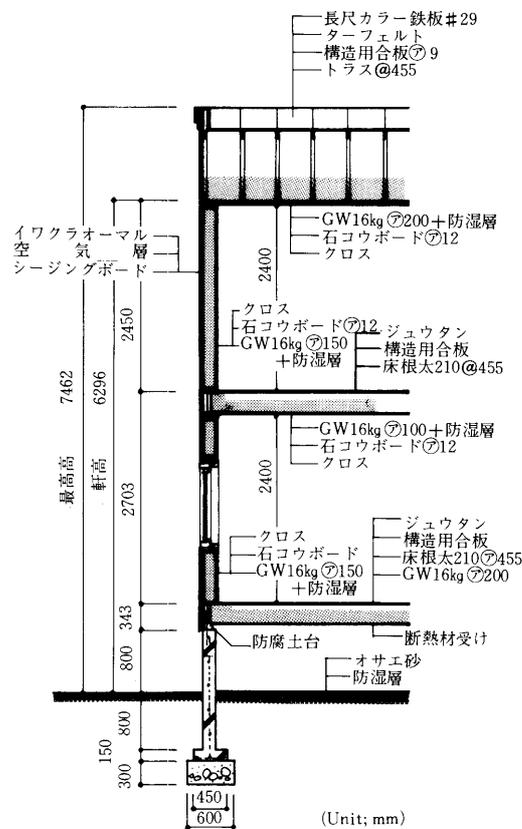
以上の考察をもっと確実なものとするためには、さらに多くのサイクルを繰り返す必要があると考えられ、このU型トラスの曲げクリープ試験は現在も継続中である。

## 5. M型屋根用トラスの枠組壁工法住宅への適用

開発したM型屋根用トラスを実際の建物に普及させるにあたっての問題を把握するため、ある実際の住宅への使用をとおりしてM型屋根用トラスの製造方法、施工性、経済性、強度性能などについて検討した。

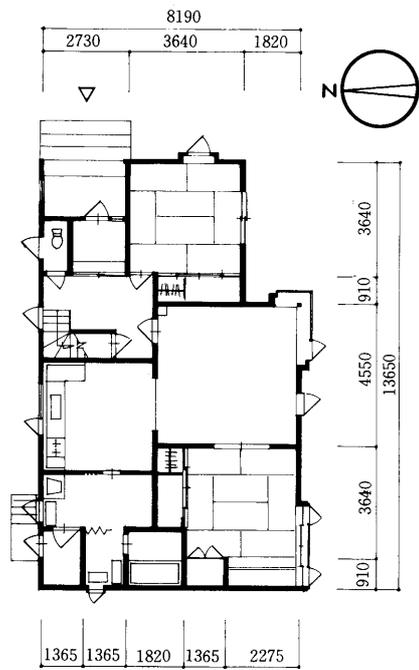
### 5.1 概要

昭和59年に、旭川市内でM工務店によるM型無落雪屋根形式の注文枠組壁工法住宅( I氏邸 )に、開発したM型屋根用トラス( U型とBM型トラス )を小屋組に適用する機会を得た。

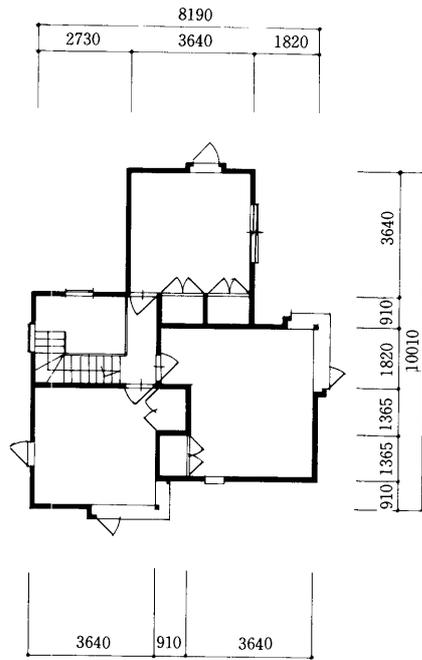


短計図  
Cross section

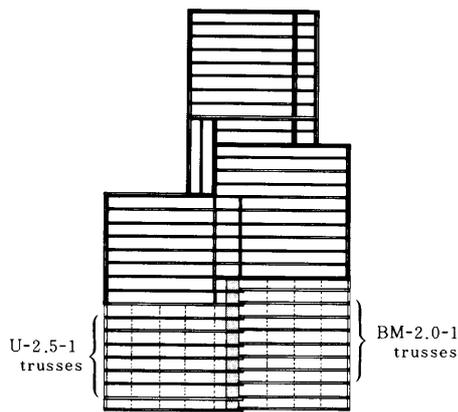
第25図 トラスを使用した住宅の概要  
Fig. 25. Outline of a house using trussed rafters



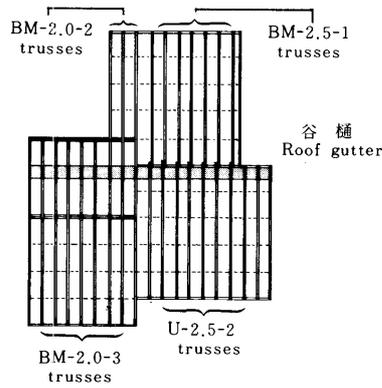
1階平面図  
1-st floor plan



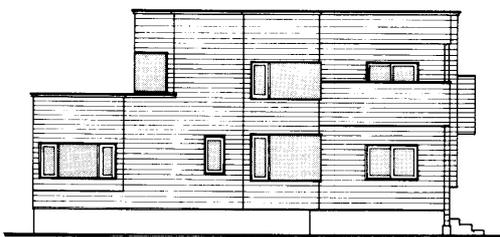
2階平面図 (Unit:mm)  
2-nd floor plan



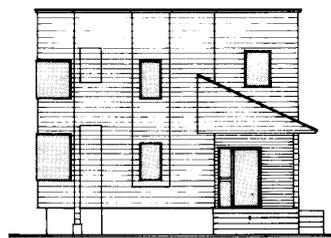
谷樋  
Roof gutter  
1階小屋伏・2階床伏図  
1-st roof framing and 2-nd floor plan



2階小屋伏図  
2-nd roof framing plan



南側立面図  
South elevation



東側立面図  
East elevation

第25図がその建物の矩計図・平面図・小屋伏図・立面図である。トラスの種類はU型がスパン2.5間の2種類，BM型がスパン2間と2.5間の4種類である。第26図に使用したトラスの姿図を示す。

トラスの設計は次の条件に従い，第3章の設計方法のとおり行った。

- ・積雪荷重 積雪 1.5m，3kgf / m<sup>2</sup> / cm (旭川地方は1.0m地域であるが，工務店の要求により1.5mとした)
- ・屋根荷重 20kgf / m<sup>2</sup> (薄鉄板ぶき)
- ・トラス自重 12kgf / m
- ・天井荷重 20kgf / m<sup>2</sup> (石コウボード15kgf / m<sup>2</sup> + 断熱材5kgf / m<sup>2</sup>)
- ・部材の許容応力度 (北米産スプルース使用)
  - 長期許容応力度 (単位 kgf / cm<sup>2</sup>)

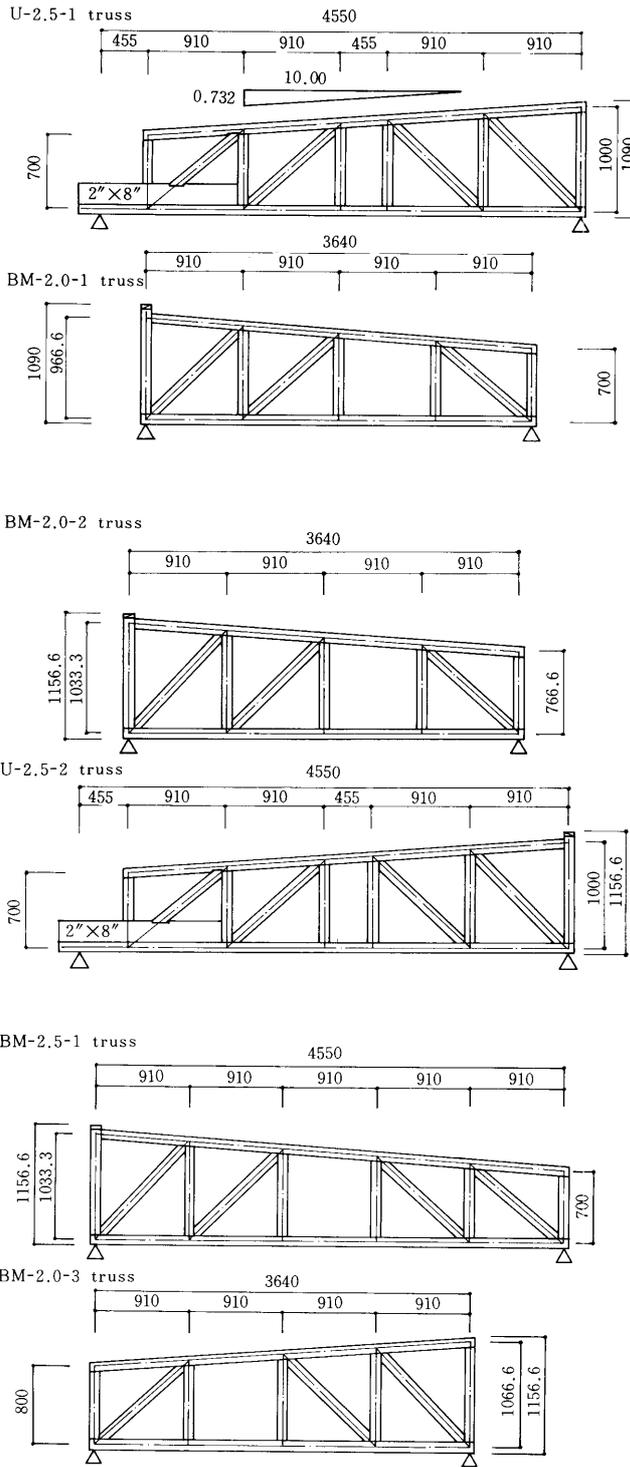
等級	曲げ・引張	圧縮	剪断	ヤング係数
1級	95	65	6	85 × 10 <sup>3</sup>
2級	75	50	6	75 × 10 <sup>3</sup>

  - (短期許容応力度は，長期許容応力度の2倍)
- ・釘の許容剪断耐力 (C S 64W1 - F 釘・スプルース.....3.2.2参照)
  - 長期許容剪断耐力 38kgf / 本
  - 短期許容剪断耐力 76kgf / 本

使用材料は次のとおりである。

- ・トラス部材 (乾燥甲種梓組材)
  - 樹種群：S S - P - F (北米産スプルース)
  - 含水率：19%以下
  - 断面の種類と等級
  - (イ) U型トラス
    - ：上弦材.....204 - 2級
    - ：下弦材.....204 - 1級
    - ：下弦材の補強材.....208 - 1級
    - ：腹材.....204 - 1級
  - (ロ) BM型トラス
    - ：上弦材.....204 - 2級
    - ：下弦材.....204 - 2級
    - ：腹材.....204 - 2級
- ・ガセット板
  - ラワン構造用合板 類2級 (厚さ9，12mm)
- ・釘
  - 自動釘打ち機用特殊スクリュー釘 (マックス社製コイルネイルC S 64W1 - F)

なお，建築物の確認申請にあたっては，トラスの構造計算書を添付した。



第26図 使用したトラスの形状 (Unit ; mm)  
Fig. 26. Shape of trussed rafters

## 5.2 トラスの作製

トラスは建築現場ではなく、工務店の資材置場で大工2～3名により作製された。手順は次のとおりである。

### 1) 作業用ステージ作り

トラスの組み立てを行うため平らなステージを作った。土場に角パイプを並べ9mm合板を204材に要所を釘で留めた簡単なものである。

### 2) トラス部材の木取り

作業用ステージに書いたトラスの原寸図から、204材を使って各部材の原寸の型を採った。それをもとにハンディ型電動丸ノコで部材を切断(仕口加工)した。

### 3) ガセット板の木取り

用意した9mmと12mmのラワン構造用合板類2級を所定の寸法にハンディ型電動丸ノコで切断後、あらかじめ穴をあけた合板を使い釘打ち位置に釘で印を付けた。

### 4) 釘打ちと組み立て

ステージに書かれた原寸図の上に部材とガセット板を配置して、エアコンプレッサーとポータブルエアネイラーを使い釘打ちした。その際部材がずれないように、要所に204の端材をストッパーとして固定しておいた。

以上でトラスは出来上がるが、トラスは面外にあおったりしないよう特に注意して建築現場へ運搬し、面外の変形や風雨にさらされぬように養生しておいた(写真8, 9, 10, 11)。

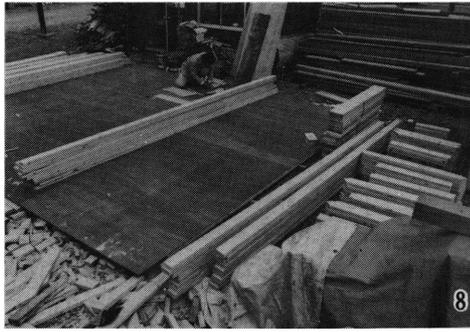


写真8 作業用ステージでの原寸図おこし  
Photo . 8 . Drawing a real scale figure on working stage



写真9 ガセット板の木取り  
Photo . 9 . Cutting gussets



写真10 トラスの組立  
Photo . 10 . Fabrication of trussed rafters



写真11 現場に運ばれたトラス  
Photo . 11 . A site view of trussed rafters on the building site

### 5.3 トラスの施工方法

建上にあたって、トラスは上2人、下2人の計4人掛りで人力だけで持ち上げた。ちなみにトラス1体当たりの重量は約40kgであった。施工の順序は、壁の頭つなぎ上でトラスの位置決めをし、釘で仮止めをする。仮筋違で垂直に固定し、あおり止め金物で位置を固定する。くも筋違・トラスつなぎで全体を固める。矩計図に示すように、屋根はトラスの上に9mm構造用合板を直張りして屋根下地を作り長尺カラー鉄板をふく。天井はトラス下弦材に12mm石コウボードを天井下地材として直張りした(写真12)。

### 5.4 トラスの強度性能

トラスの作製にあたり、原寸図に間違いがあったため1体作り直した。間違いのあったのは、第27図に示すU型トラス(スパン2.5間)の節点7、第28図の部分である。不良品としてはねたその1体で、強度試験を行い性能を確認した。

試験方法は、第4章の破壊試験と同じ方法で行った。試験終了後トラスを解体し、各部材の強度的性質を中央集中荷重による曲げ試験を行い調べた後、各部材から小片を採取して比重・含水率・平均年輪幅を調べた。部材の性質を第9表に示す。

トラスの強度試験の結果は、次のとおりである。第29図に長期設計荷重時・短期設計荷重時・破壊直前のトラス下弦材の撓み分布を示す。図より撓みの最も大きい位置、節点8をこのトラス下弦材の撓みの代表とし第30図に荷重-撓み曲線を示す。短期設計荷重時で約2cmの撓みであり、最大耐力は短期設計荷重の約3倍であった。このトラスに欠点が無かったとして、第4章と同じ方法で釘のりりによる付加撓みを考慮したトラスの変形を計算すると、

短期設計荷重時で約6 mm となり実験値よりはるかに小さく、実際の正常なトラスの撓みはこの計算値と大きく違わないことは第4章までの考察から推測される。さらに実際の小屋組は、くも筋違やトラスの上下に面材を直張りするなどの補強により、小屋組が立体トラス化、ストレスキンパネル化<sup>49)</sup>されることで、剛性・耐力とも十分な性能を有していると考えられる。なお、試験終了後に接合部のガセット板をはがし、部材の釘打ちによる割れを観察したが、釘打ちによる割れはほとんどみられなかった(写真13)。

#### 5.5 施工性・経済性の検討

小屋組をトラス化したことによる施工性・経済性を、開発したM型屋根用トラスと従来の3階床的なM型屋根形式と比較して検討した。



写真12 トラスの施工  
Photo. 12. Construction of roof

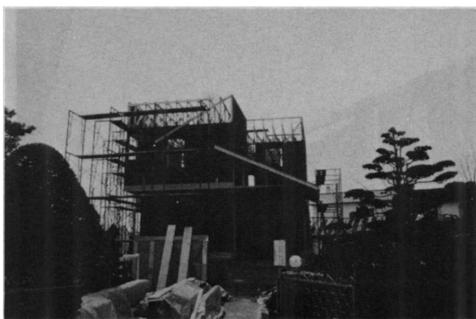
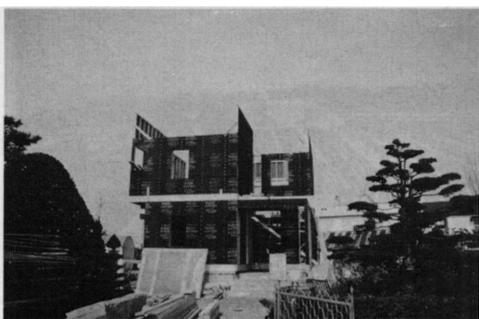
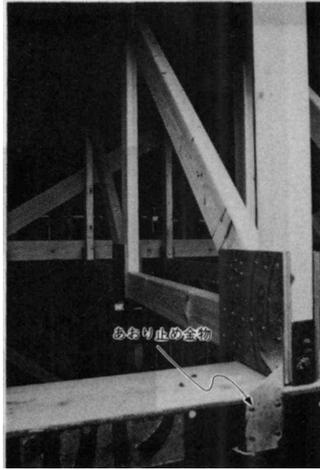
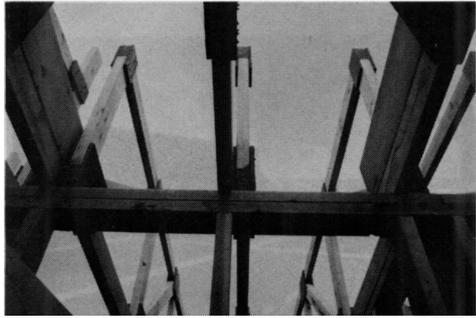
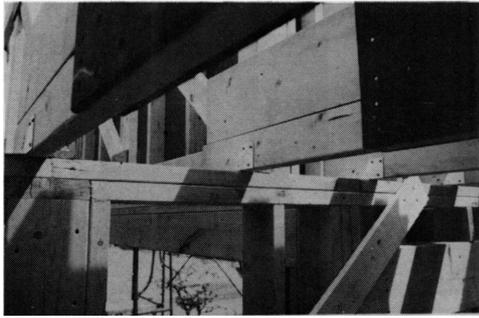
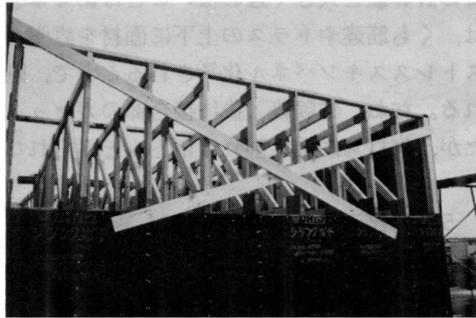


写真12(つづき)  
Photo. 12. (Continued)

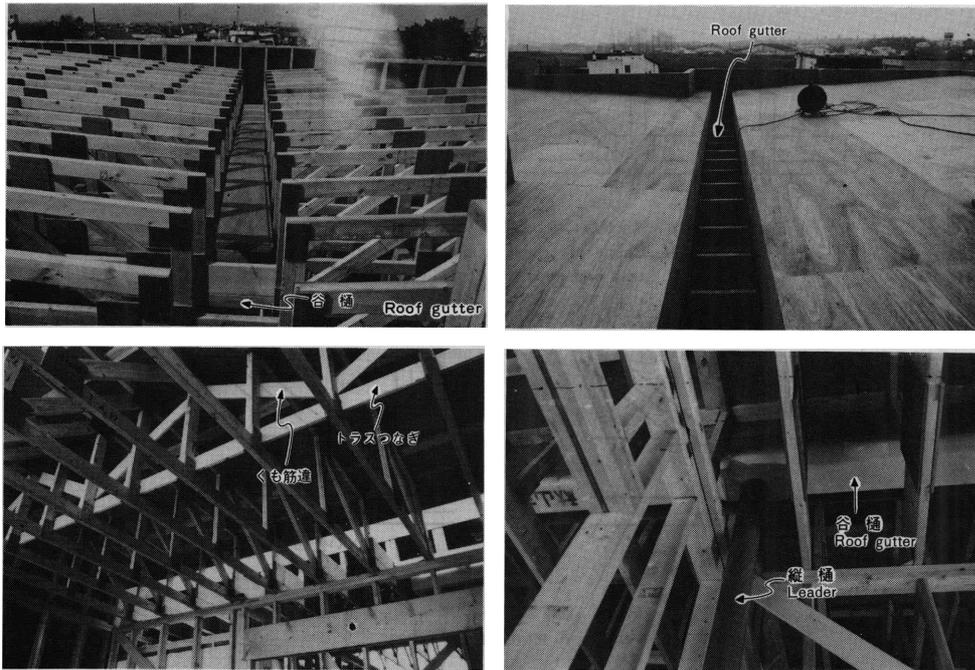


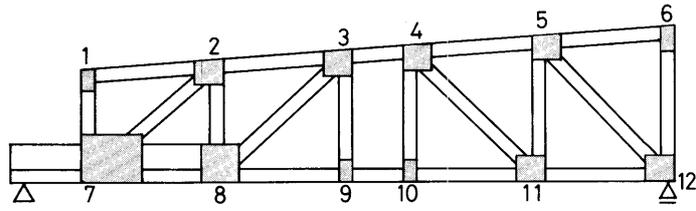
写真12(つづき)

Photo . 12 . (Continued)

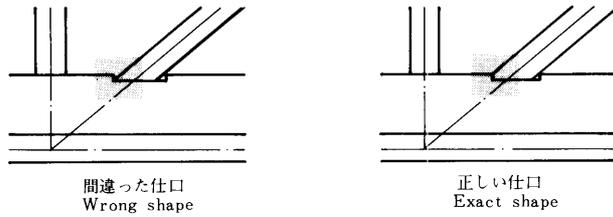
まず施工性であるが、工務店からの聴き取りでは従来の方法、つまり3階床を組み上げた上に束を並べる方法で今回の住宅の小屋組を施工したと仮定した場合、床組に3日、小屋組に2日、屋根下地に2日に対し、トラスを使用した場合、小屋組に1日、屋根下地に2日となり、現場での作業が減ることが大きな特徴である。また、トラスの作製・施工とも単純な作業であり熟練した技術を必要とせず、慣れてくればさらに能率が上がると思われる。施工上の問題点・改良点を施工した大工の感想などを中心にまとめると次のようである。

- ・ 人手でトラスを運び上げるのはこの大きさ（スパン3間程度）が限界であった。
- ・ 建物のまわりに足場を設けずに壁を建ててトラスを施工したが、壁の頭つなぎの上だけでトラスを取り扱うのは大変であった。
- ・ 位置決めをした後あおり止め金物を取り付けたが、壁を建て上げる前に金物は壁に取り付けておいたほうがトラスの位置決めや、あとの作業もやりやすいようであった。
- ・ 屋根下地合板の釘受け材がガセット板にあたるため、取り付けに工夫がいる。
- ・ くも筋違が第31図(上)のように施工されていたが、安全性を考えると第31図(下)のように施工することを徹底させておくことが必要と思われる。

次に、使用したトラスのコストを試算した。各タイプのトラス合わせて42体で、製材（65,000円/m<sup>3</sup>）2.45 m<sup>3</sup>・約159,000円、構造用合板（9mm 1,650円/枚、12mm 1,850円/枚）各24.2枚・84,700円、釘35,000円（1.6円/本）、人工賃（12,000円/日）10人工・120,000円、作業用ステージ等損料20,000円、計約420,000円となり、ならずと1体10,000円前後がトラス製造原価となる。この数値については工務店に確認したところ、ほぼ同程度に見積っているとのことであった。



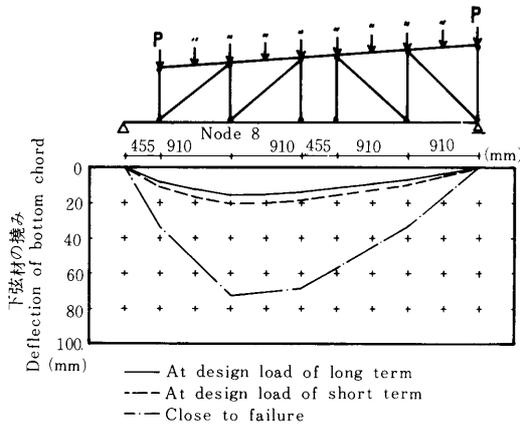
第27図 強度試験に供したトラスの姿図と節点番号  
Fig. 27. Shape of truss examined bending destructive test and node No.



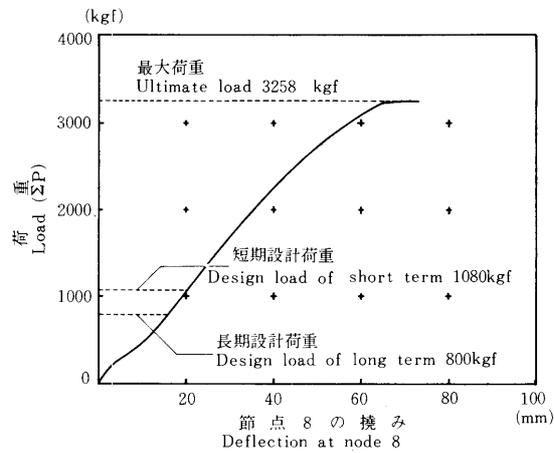
第28図 節点7の間違い部  
Fig. 28. A wrong part in node 7

第9表 部材の性質  
Table 9 Basic mechanical properties of members

	比重 S. G.	平均 年輪幅 R. W. (mm)	含水率 M. C. (%)	ヤング係数 E ( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	比例限度応力 P. L. S. (kgf/cm <sup>2</sup> )	曲げ破壊係数 M. O. R. ( )
Mean	0.42	1.60	10.3	33	440	629
Min.	0.33	0.56	9.6	69	224	334
Max.	0.50	2.66	10.9	135	540	873
S. D.	0.045	0.52	0.39	18.2	92	139
C. V. (%)	10.7	32.5	3.7	19.5	20.9	22.1
n	13	13	13	12	12	12



第29図 曲げ破壊試験時の下弦材の変形図  
Fig. 29. Deformation diagrams of bottom chord at bending destructive test



第30図 節点8における荷重 - 撓み曲線  
Fig. 30. Load - deflection curve at node 8 of bottom chord

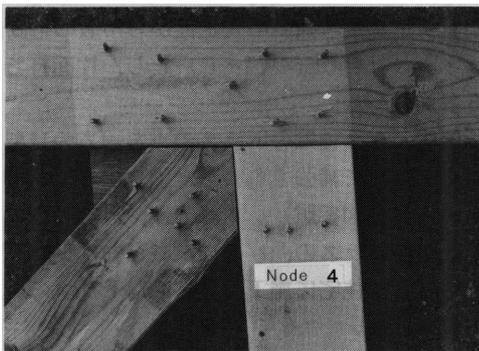
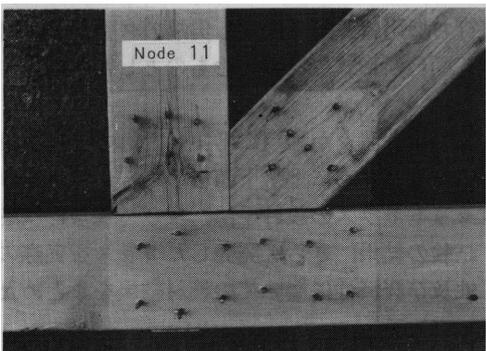
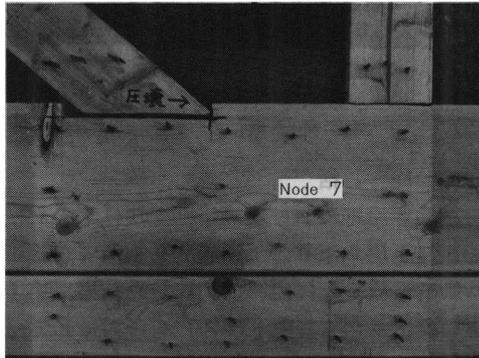
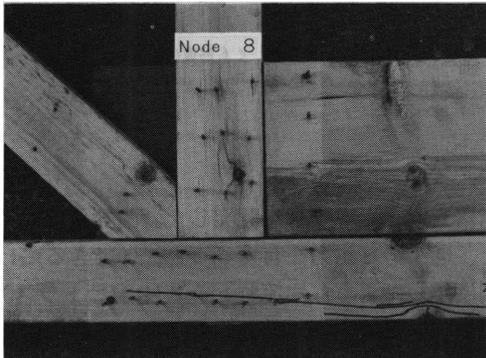
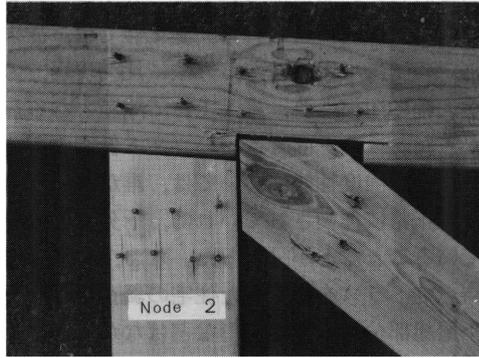
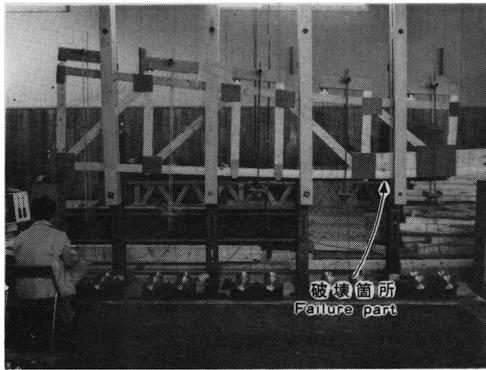


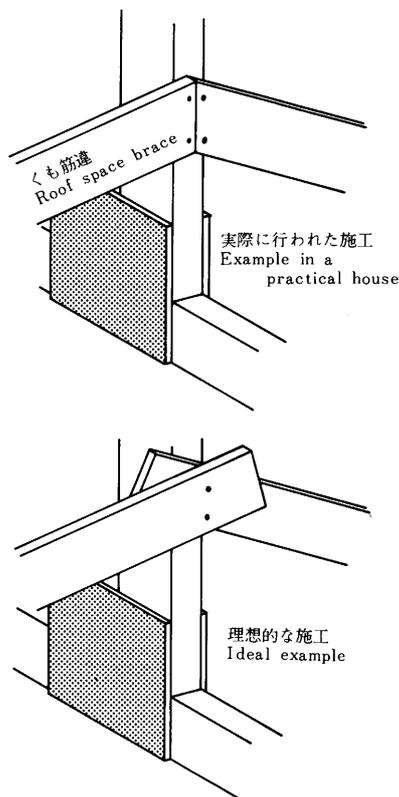
写真13 トラスの強度試験と試験後のガセット部の状況  
Photo . 13 . The whole view of bending destructive test  
and joints after test

一方、従来の方式とトラス方式の使用材料量を比較すると、トラスの方が製材は5%程度の減少、合板はほぼ変わりなしであった。しかし、従来206材と210材を必要としていたところを204材で構成できることで材料単価の低下となり、中小径材の用途拡大にもなる。

### 5.6 まとめ

以上、実際の建物でM型屋根用トラスを使用し、製造から施工性、経済性さらに強度性能についても検討した。製造については、大工等への製造技術指導は容易に行われた。施工性では、従来の3階床の上に小屋組を作る方法に比べ現場での作業が大幅に短縮され、施工上特に問題となる点はなかった。コスト面では材料コスト低減の可能性があった。強度性能については、誰が作ってもトラスが正常に作製されていれば、十分な性能を有していることなどが分かった。なお、一冬経過した時点でトラスを施工した住宅の調査を行ったが、小屋組部分に有害な変形などはなかったことも合わせて報告しておく。

このようにM型無落雪屋根形式の枠組壁工法住宅では、小屋組にM型屋根用トラスを使用する価値は大きい。



第31図 くも筋違の施工  
Fig. 31. Roof space brace

## 6. 総括

積雪寒冷地における枠組壁工法住宅のM型無落雪屋根用トラスを開発した。開発目標を、製材工場や市井の工務店でも製造できること、十分な耐力を有すること、できるだけ安価であることに定めて検討した結果、第1図に示したような片流れトラス（BM型トラス）と特殊トラス（U型トラス）を一对にしてM型屋根を構成することとした。トラス部材は、204材を基本とし、節点の接合方式は製造の簡便な釘打ち合板ガセット方式とした。釘は、割れ防止と接合強度の安定性から市販の自動釘打ち機用特殊釘（先なし尖端のスクリーュー釘 マックス社製CS64W1-F）とし、片面打ちの二面剪断形式で打ち込むものとした（写真2、5参照）。

開発した2種類のトラスのうち一方のU型トラスは、我々が独自に考案したもので、下弦材が206材で補強された形で張り出し梁となっており、さらに上・下弦材の一部に切欠きがある（第6図参照）。本報告は、釘打ち合板ガセットトラスの設計手法、及び特殊な形状をしたU型トラスの曲げ破壊試験と曲げクリープ試験の結果、さらに開発したトラスを実際の枠組壁工法住宅に施工し具体的なトラスの施工性及び経済性についての検討結果をまとめたものである。

以下に試験結果等の要約を述べる。

開発したトラスではCS64W1-F釘という特殊釘を使用するため、トラスの設計前にこの釘の釘打ち間隔と許容剪断耐力を求めるための試験を行い、下記に示すCS64W1-F釘の設

計施工基準を得た。なお、側材はラワン構造用合板（9mm，12mm）である。

釘打ち間隔	釘間隔	30mm
	端距離	40mm
	釘列間隔	20mm
	縁距離	15mm

合板の端距離	20mm
--------	------

長期許容剪断耐力（短期は長期の2倍）：

主材の樹種	
スプルス.....	38kgf / 本
トドマツ .....	38kgf / 本
カラマツ .....	34kgf / 本

U型トラスの構造設計は、積雪 1.5mの設計荷重に対するスパン 2.5間（4.50m），トラス間隔0.45mのカラマツ材トラスを想定して行った。ここでは、幾つかの仮定と有限要素法を用いた応力解析手法による合理的な釘打ち合板ガセットトラスの構造設計手法を示した。

設計されたトラスの剛性及び耐力を確認するため、スパン 2.5間のカラマツU型トラス3体の曲げ破壊試験を行った。使用したガセット板及び釘は、釘の剪断試験に用いたものと同様である。試験は、滑車とワイヤーを利用した多点集中荷重方式で行った（第17図参照）。その結果、3体のトラスとも十分な剛性（短期設計荷重時における最大撓みのスパンに対する比率は1/382以下）と耐力（短期設計荷重の3.78倍以上）を有していることが確認された。撓み予測に関しても、仮想仕事法による釘接合部の迂り付加撓みを考慮することにより予測可能であった。また、試験中にトラスのどの部分にも有害な変形は見られず、試験後のガセット部の観察から部材に釘打ちによる割れが一切発生していなかったことも確認した。このような破壊試験結果から、前述した釘打ち合板ガセットトラスの構造設計手法の妥当性とU型トラスの強度的安全性が証明された。

屋根トラスに重要な積雪荷重に対するクリープ性能を調べるため、スパン 2.5間の2体のカラマツU型トラスを一組にして、積雪 1.5mに相当する荷重で繰り返し曲げクリープ試験を行った。試験は破壊試験と同じ多点集中荷重方式（第22図、写真7参照）とし、120日間載荷60日間除荷の1サイクルをもって1年に相当するものと考えてこのサイクルを繰り返した。なお、試験は温湿度調整設備のない建物内で行ったため、環境条件はほぼ外気と同じである。現在までに3サイクルが終了し、その結果、長期にわたるクリープ撓みは初期瞬間撓みのおおよそ3倍（18mm）程度に収まるものと推測された（第24図参照）。

開発したトラスを旭川市内の実際の枠組壁工法住宅に使用して、トラスの製造方法・施工性・経済性・強度性能などを検討した（第25図）。製造方法は特に問題なく、大工等への技術指導により容易に製造できることを確認した。施工性に関しては、従来の3階床方式（写真1参照）の小屋組に比べ、現場での施工が大幅に短縮されることを確認した。また、施工上特に問題となる点はなかった。コスト面では従来の方式に比べ、材料コストの低減の可能性があった。これらから、小屋組部分でのトータルコストの低減が期待できることがわかった。トラスの強度性能については、誰が作ってもトラスが正常に作られていれば、強度的にはなんら問題となる点はなく設計通りの性能を期待できることが確認された。

以上、開発したM型無落雪屋根用トラスの一連の強度試験及び施工性・経済性等の検討結果から、トラスシステムによるM型無落雪屋根は十分な強度的安全性を備えていると同時に施工性及び経済性の性能も十分満足できるものと判断され、今後広く積雪寒冷地における枠組壁工法住宅に普及するものと思われる。

## 謝 辞

この研究をまとめるにあたり、無落雪屋根住宅に関して御指導を賜った室蘭工業大学助教授 鎌田紀彦氏並びに北国の住まい相談所所長 一宮忠雄氏に対し感謝の意を表します。

また、開発したM型無落雪屋根用トラスの実際の住宅への施工の機会を与えて下さった丸金建設株式会社並びに施主の板岡紘輝氏に心から感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Boyd, J. S. , Giese, H. :Secondary stresses in glued trusses, Agr. Eng. Vol. 36, No. 11, pp. 739-741(1955)
- 2) Schriever, W. R. , Hanson, A. T. : Snow loads and strength of small roofs in Canada, F. P. J. , Vol. 16, No. 3 , pp. 129-136 (1964)
- 3) Hoyle, Jr. R. J. : EMSR lumber "Will it make good roof trusses?",F. P. J., Vol. 15, No.9 , pp. 410-411 (1965)
- 4) Sliker, A. , Radcliffe, B. : Deflection and creep characteristics of trussed rafters with metal plate fasteners, F. P. J. , Vol. 15, No.11, pp. 473-479 (1965)
- 5) Grainger, G. D. : The design and construction of trussed rafters, Wood, Vol.33, No.5 , pp. 27-45 (1968)
- 6) Pincus, G. , Cottrell, E. F. , Richards, D. B. : Rigid roof trusses with glued-finger corners, F. P. J. , Vol.16, No.2 , pp. 37-42 (1966)
- 7) Hoyle, Jr. R. J.,Strickler, M. D. , Adams, R. D. : A finger joint connected (FJC) wood truss system, F. P. J. , Vol.23, No.8 , pp. 17-26 (1973)
- 8) Suddarth,S.K. : Determination of member stresses in wood trusses with rigid joints, Res. Bull. Wood Res. Lab. Purdue Univ. No.714, pp.2 -13 (1961)
- 9) Suddarth,S. K. : The design of glued joints for wood trusses and frames,Res. Bull. Wood Res. Lab. Purdue Univ. No.727, pp.2 -15 (1961)
- 10) Suddarth,S. K. : The engineering design of mechanically fastened trusses; A review, Wood Science, Vol.1 , No.4 , pp. 193-199 (1969)
- 11) Suddarth,S. K. : A computerized wood engineering system; Purdue plane structures analyzer, USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL-168 (1972)
- 12) Wilkinson, T. L. : Longtime performance of trussed rafter with different conection systems ; 5 -year evaluation, USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL-204(1973)
- 13) Wilkinson,T. L. : Longtime pekformance of trussed refters with different connection systems; 10 -year evaluation. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL--204 (1978)
- 14) Wilkinson,T. L. :Longtime performance of trussed rafter with different conection systems, USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL-444 (1984)
- 15) Foschi, R. O. : Analysis of wood diaphragms and trusses. Part II ; Truss-plate connections, Canadian J. of Civil Eng. , Vol. 4 , No. 3 , pp. 353-362 (1977)
- 16) Maraghechi,K. , Itani, R. Y. : Influence of truss plate connectors on the analysis of light frame structures, Wood and Fiber Science, Vol.16, No.3 , pp. 306-322 (1984)
- 17) Hoyle, Jr. R. J. : Wood technology in the design of structures, Mountain Press Publishing Company, pp. 293-312 (1978)
- 18) Lytle, R. J. : Industrialized builders handbook, Structures Publishing Company (1971)
- 19) A handbook of prefabricated wood trusses, Gang-Nail Systems, Inc. (1981)
- 20) 1983 Annual book of ASTM standards, Section 4, Vol.04.09, D 245, p. 145 (1983)
- 21) 丸山 武, 伊藤勝彦, 宮野 博 : 枠組壁工法による小屋組の耐力, 第26回木材学会大会要旨集, p.109 (1976)
- 22) 伊藤勝彦, 丸山 武, 宮野 博, 森泉 周 : 接合工法の異なる屋根トラスの強度性能, 林産試月報, No.319, pp.17-20 (1978)
- 23) 同上 : 屋根トラスの長期荷重試験 (第1報) , 林産試月報, No 347, pp.1-3 (1980)
- 24) 米田昌世, 丸山 武, 堀江秀夫, 長谷川雅浩, 伊藤勝彦 : 屋根トラスの長期荷重試験 (第2報) ,

- 林産試月報, No. 376, pp.1-6 (1983)
- 25) 工藤 修, 伊藤勝彦, 宮野 博, 丸山 武, 森泉 周: ポールコンストラクションに関する試験—Ⅲ. 小屋組トラスの試験一, 林産試研報, No.72, pp.160-175 (1983)
  - 26) 米田昌世, 堀江秀夫, 長谷川雅浩: 特集「木製軽量トラスはこんな使われ方をしている」, 林産試だより, No.12, pp.1-11, 付録pp.1-5 (1984)
  - 27) 宮島 寛: 各種接合法によるカラマツ小型トラスの性能比較, 木材学会北海道支部講演集, No. 8, pp.19-24 (1976)
  - 28) 藤井 毅: 合板ガセット接着接合に関する研究, 北大演報, Vol.29, No. 2, pp.224-297 (1972)
  - 29) 財団法人国土開発技術研究センター: 枠組壁工法住宅の構造耐力の研究, 昭和50年度総合技術開発プロジェクト「小規模住宅の新施工法の開発」報告書, pp.12-32 (1976)
  - 30) 有馬孝禮: 木造小屋組の鉛直載荷による変形特性とクリープ, 建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1971-1972 (1978)
  - 31) 有馬孝禮, 佐藤雅俊, 益田恵吾: 木質材料及び部材の長期耐力評価に関する研究, 建築研究報告, No.95 (1981)
  - 32) 北原寛一, 岡部 登: 木材の曲げクリープに及ぼす温度の影響, 木材学会誌, Vol. 5, No. 1, pp. 12-18 (1959)
  - 33) 都築一雄, 山田直人, 野村 健: 低温における木材および木質材料の曲げ強度について, 材料, Vol.32, No.359, pp.864-868 (1983)
  - 34) Nakai ,T, Grossman, P.U.A: Deflection of wood under intermittent loading Part 1 ; Fortnightly cycles , Wood Science and Technology, Vol.17, pp.55-67 (1983)
  - 35) 中井 孝: 雪荷重を断続して積載した実大合成ばりの曲げクリープ試験, 建築学会大会学術講演梗概集, pp.2257-2258 (1983)
  - 36) 佐藤雅俊, 宮村雅史, 森 和雄: 実大集成材梁の曲げクリープ試験 (I) , 第34回木材学会大会要旨集, p.282 (1984)
  - 37) 大平 章, 森 和雄, 葉多修司, 佐藤雅俊: 同上 (II) , 第34回木材学会大会要旨集, p.283 (1984)
  - 38) 神谷文夫, 平嶋義彦, 畑山謙男: 乾燥を伴う時間経過が接合部の剪断性能に与える影響, 木材学会誌, Vol.29, No.12, pp.925-929 (1983)
  - 39) 土屋欣也: 釘の先端形状が材面割れおよび引抜抵抗に及ぼす影響 (1) , 木材工業, Vol.33, No. 8, pp.339-341 (1978)
  - 40) 同上: 同上 (2) , 木材工業, Vol.34, No. 1, pp.25-27 (1979)
  - 41) 倉田久敬, 山本 宏, 長原芳男, 高橋政治, 川口信隆: 枠組壁工法の部材性能・接合性能及び部分構造性能に関する考察 (第1報) ; I .道産針葉樹による枠組壁工法構造用製材の品質と強度性能, 林産試研報, No.67, pp. 4-33 (1978)
  - 42) 伊藤勝彦, 工藤 修, 宮野 博, 森泉周: 同上Ⅲ. 部材の接合性能に関する研究—くぎの接合耐力について—, 林産試研報, No.67, pp.76-100 (1978)
  - 43) 金森勝義, 千野 昭, 河原田洋三: 釘の引き抜き抵抗に関する研究—木材の含水率変化と経過時間による影響—, 林産試研報, No.67, pp.103-128 (1978)
  - 44) 飯島泰男, 吉田直隆: 枠組壁工法用材としてのシベリア産カラマツ (第3報) —並列曲げ部材の強度性能—, 木材と技術, No.53, pp. 13-16 (1983)
  - 45) 飯塚五郎蔵: 木構造における合板ガセットプレートの耐力, 建築学会大会学術講演梗概集, pp.509-510 (1971)
  - 46) 杉山英男, 吉永光郎: 添え板釘打ち接合の曲げ抵抗機構に関する研究, 建築学会大会学術講演梗概集, pp.943-944 (1972)
  - 47) 林 龍一, ほか5名: 建築用構成材及び構造部分の性能の研究 (第1報) —木材釘打ち接合部の耐力—, 製品科学研究所研報, No.87, pp.1-18 (1979)

- 48) 高柳寛司, ほか6名: 同上(第2報) - 半剛節屋根トラスの力学的性質 - , 製品科学研究所研報, No.87, pp.19 - 40 (1979)
- 49) 平嶋義彦: 木質平面材料の構造的性能に関する研究, 農林水産省林試研報, No.330, pp.1 - 139 (1984)
- 50) 千葉宗昭・橋本博和, 菅野新六・大山幸夫: 住宅内部におけるカラマツ材の乾燥特性, 林産試月報, No.293, pp.1 - 5 (1976)
- 51) 土居修一, 石村和正, 宮野 博, 伊藤勝彦: 木質構造部材の耐久性(第4報) - 実験構築物による床下温湿度環境の測定 - , 林産試月報, No.385, pp.1 - 7 (1984)
- 52) 坂原弘也, 菊地弘明, 遠藤順一: 屋根雪の挙動について, 建築学会北海道支部研究報告集, No.57, pp.113 - 116 (1984)
- 53) 遠藤明久: 屋根積雪に関する最近の考え方(日本建築学会雪荷重指針案を中心に), 北海道工業大学公開セミナー講演資料(1985)
- 54) 北海道建築指導センター: 寒地建築設計施工便覧(増補版), pp.142 - 143 (1976)
- 55) 農林省告示第600号(1974)
- 56) 建設省告示第1019号(1974)
- 57) 同 上 第1799号(1980)
- 58) 同 上 第56号(1982)
- 59) 建設省住宅局建築指導課長通達昭和56年建設省住指発第19号, ビルディングレター, No.151, p.12 (1982)
- 60) 住宅金融公庫建設指導部: 住宅金融公庫融資住宅・枠組壁工法住宅工事共通仕様書(1982年改訂版), 財団法人住宅金融普及協会
- 61) 同上: 同上別冊 枠組壁工法の構造設計 - スパン表 - , 財団法人住宅金融普及協会
- 62) 北海道立林産試験場, 道立寒地建築研究所, 道立中央農業試験場: 農業用PT型ハウス設計標準仕様書, 道立林産試験場(1981)
- 63) 一宮忠雄: 無落雪屋根の標準工法, 北国の住い相談所(1982)
- 64) 日本建築学会: 木構造設計規準・同解説, 丸善(1973)
- 65) 線材製品協会釘マニュアル作成委員会: 釘設計施工マニュアル - 枠組壁工法用釘の設計施工 - , 線材製品協会(1979)
- 66) 後藤一雄: 木構造の計算, 鹿島出版会, pp.258 - 260 (1980)
- 67) 木材工業ハンドブック(改訂3版), 丸善, p.727 (1983)
- 68) 京都大学金多研究室: BASICによる建築構造計算, 学芸出版社(1981)
- 69) 戸川隼人: マイコンによる有限要素解析, 培風館(1982)