スギ材をメタルプレートコネクターで接合した継手の強度特性†

林 知行* 軽 部 正 彦**
原 田 真 樹* 井 道 裕 史**

Strength Properties of Sugi Timber-Joints with Metal Plate Connectors

by

Tomoyuki HAYASHI*, Masahiko KARUBE**, Masaki HARADA* and Hirofumi IDO**

Gusset truss systems using metal plate connectors have been developed and used in residential constructions in Japan. Several softwoods, such as SPF (*Picea spp.*, *Pinus spp.*, and *Abies spp.*) and White Spruce (*Picea abies* Karst), have been used as structural members of the systems. However, Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), the most important species in Japan has not been used so far.

To examine the feasibility of Sugi, tensile strength tests were made on Sugi timber joints with two kinds of metal plate connectors (GN80 and GNQ). Furthermore, full size bending tests of roof trusses composed of Sugi and GN80 were conducted to discuss the availability of current structural design method.

Sugi joints showed lower maximum strength and toughness than SPF and White Spruce. However, it was found that Sugi had enough performance required for structural members. Coefficient of correlation between the density of wood and tensile strength of the joint was positive in any kinds of specimens, but most of them were less than 0.3. The current design method for plate size and truss members can be applied to the Sugi gusset trusses, though its estimation for deformation is rather conservative.

Since the mechanical properties of Sugi vary with its cultivar, provenance, or other factors, such as the amounts of small knots, more experimental data should be accumulated to expand the practical applications.

Key words: Metal plate connector, Timber joint, Metal plate gusset truss, Sugi, Full size test

1 緒 言

わが国にメタルプレートコネクター (MPC) を用いたガセットトラスシステムが登場したのは、枠組壁工法の導入を前にした 1973 年であった。当時、MPC はわが国において全く新しい製品であったために、その強度特性に関する基礎的なデータは皆無であった。このため、各種の実験的な研究¹⁾が農林水産省林業試験場(現森林総合研究所)を中心に行われた。

その後、各地の研究機関や大学で、実大屋根トラスの変形挙動²⁾、引張クリープ特性³⁾、繰返し荷重における変形特性⁴⁾、疲労特性⁵⁾、時間依存性⁶⁾、試験体形状と強度特性の関係⁷⁾、突き付け間隙の影響⁸⁾、疲労損傷⁹⁾、材に LVL を用いた場合の強度特性¹⁰⁾などに関する研究が積極的に行われた。この結果、MPC は構造用金物として広く認知されることとなった。

ただ逆に、MPC に関する研究は、1980 年代の半ば以降、低調となった。わずかに、新開発されたステンレス製 MPC を用いた平行弦トラス¹¹⁾および屋根トラスの曲げ挙動¹²⁾、各種 LVL の適用性試験¹³⁾、部材剛性¹⁴⁾の影響、はしご梁の強度特性¹⁵⁾などに関する研究が散発的に行われてきただけであった。

このように、研究面では停滞状況にあった MPC ではあるが、近年資源が充実しつつあるスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) の需要拡大の一方策として、MPC を用

いた組み立て部材の利用¹⁶⁾や畜舎への応用などが注目されるようになってきた。

しかしながら、スギを MPC で接合した継手については、基礎的なデータがほとんど存在せず、また、スギのガセットトラスは未だ公的な認定が得られていない。これはガセットトラスの主な需要先が枠組壁工法であり、ディメンジョンランバーとしての用途がないスギは、原材料として対象にならなかったためである。

このような情勢を背景に、本研究では MPC を用いたスギトラスの実用化を目的として、スギ材の継手の引張試験を行い、その基礎的な強度特性を検討した。また、3 体ではあるが実大の屋根トラスの曲げ試験を行い、部材のたわみや接合部の変形などについても検討した。なお、継手の試験においては、対照材として北米産の SPF (Spruce-Pine-Fir: *Picea spp.*, *Pinus spp.*, and *Abies spp.*)、北欧産ホワイトスプルース (White Spruce: *Picea abies* Karst) についても同数の試験を行った。

2 試 験

2・1 供試体

継手の引張試験に用いたスギは宮城県の登米森林組合に伐採から製材までを依頼したものである。材は厚さ 50 × 幅 105mm × 長さ 1m 弱に粗挽きした後、含水率 10% を目標に熱風減圧乾燥し、さらに断面を厚さ 45 × 幅 90mm に仕上げた。材料の断面を一般的な 2 × 4 ディメ

† 原稿受理 平成 12 年 6 月 29 日 Received June 29, 2000

* 正 会 員 森林総合研究所 〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町, Forestry and Forest Products Res. Inst., Tsukuba-gun, Ibaraki, 305-8687

** 森林総合研究所 〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町, Forestry and Forest Products Res. Inst., Tsukuba-gun, Ibaraki, 305-8687

ンジョンランバー（厚さ 38 × 幅 89mm）より大きく設定したのは、スギの密度とヤング率が低いいため、トラスにした場合、対照とした 2 樹種より大きな断面が必要であろうと考えられたからである (Table I). なお、プレートを圧入する前に打撃法および小荷重法により材のヤング係数 (MOE) を計測した. 打撃法による MOE の値は平均が 8.0GPa, 変動係数が 12% であった. 小荷重法によるそれは平均が 7.9GPa, 変動係数が 13% であった.

対照材として用いた SPF およびホワイトスプリースは、関東ギャングネイル社がトラス製品に用いている一般的な 2 × 4 ディメンジョンランバーの乾燥材で、JAS 製材品の甲種 2 級相当の目視検査が施されたものである. 極端に密度の低いものや高いものは予めロットから除外されていたため、Table I から明らかなように変動係数は非常に低い値を示した. なお、いずれの樹種も含水率は 10 ~ 12% の範囲内にあった.

用いた MPC はギャングネイル社製の GN80 および GNQ の 2 種類 (Fig. 1) である. GN80 はわが国に導入された時期より用いられている製品である. 一方、GNQ は比較的新しい製品で、プレートの厚さを薄くし、単位面積あたりの歯数を増やしたものである. ただし、歯の長さは GN80 より短い. なお、MPC の寸法は Row の数 (Fig. 1) が増えるとプレートの中央破断が生じるため、ここでは市販品より、Row の数が少ないものを用意した (Table II).

試験体数はスギの材質のバラツキが大きいことを考慮して、1 条件あたり 32 体とした. このため、総試験体数は 128 体 (= コネクター 2 種類 × 2 試験方向 × 32 体) となった (Fig. 2). なお、他の 2 樹種についても同条件で同数の試験を行った.

プレートは、木材を中央で鋸断した後、そのままの方向で突き付け、上下方向から圧入した. なお、圧入部分に節が入ることは避けた. スギ以外の 2 樹種については

Table I . Density of wood.

	Sugi	SPF	White sp
Ave.	0.343	0.496	0.501
SD	0.0348	0.0134	0.0215
CV	10.1%	2.71%	4.30%

Note : Ave. : Average, SD : Standard deviation, CV : Coefficient of variation.

Fig. 1. Schematics of metal plate connectors.
Left : GN80, Right : GNQ.

Table II . Plate size and the number of teeth.

Plate	Specimen	Size (mm)	No. of teeth
GN80	P type	71 × 160	40
	C type	71 × 160	40
GNQ	P type	75 × 150	72
	C type	50 × 175	56

Fig. 2. Schematics of tensile test specimens.

Note : P type : Columns of the teeth are parallel to the wood grain, C type : Columns of the teeth are perpendicular to the wood grain.

長さ 3.6m 強の材を 4 等分し、同様の手法で上記 4 種類の試験体を作成した.

上で述べた継手の引張試験の他に、プレートと荷重方向の角度の影響を調べるために、Fig. 3 のように 7 種類の角度を持った試験体を作成し、引張試験を行った. 試験に用いた樹種はスギのみで、試験体数は 15°, 30°, 75° について各 3 体、それ以外は 2 体とした. 用いたスギは密度の影響を避けるため、平均密度がほぼ同等 (0.360g/cm³) でバラツキの少ない (変動係数 : 3.9%) 宮崎産材 (厚さ 35 × 幅 135 × 長さ 700mm) を用いた. 用いた MPC は GN80 で、歯数は 90 本であった. なお、図中に示した有効歯数は、突き付け部の上に存在する歯数と材に圧入されなかった歯数とを、全体の歯数から差し引いたものである.

Fig. 3. Schematics of test specimens composed of MPC with various plate angles.

実大試験に用いたトラスは、Fig. 4 に示すような形態のワーレントypeで、材は先に示した宮城県産のスギのみとした。プレート (GN80) や部材のサイズは図中に示したとおりで、試験体数は3体とした。斜材に継手を入れたのは、通直材よりも厳しい条件を意図的に与えたためである。なお、トラスの製作は関東ギャングネイル社に依頼した。

2・2 試験方法

継手の引張試験には、引張型プルーフローダー NET-40 (容量 400kN) を用い、Fig. 5 のように試験体の両端を硬質ゴム被覆タイプの楔形チャックで挟み込み、破壊に至るまで単調に加力した。

荷重の検出には試験機に組み込まれたロードセルを、また部材相互の相対変位の測定には試験体の上下に取り付けた変位計 (Fig. 5) を用いた。

変位計およびロードセルで得られた出力信号は、デジタルひずみ測定器を経由し、 GPIB を介してパーソナルコンピュータに送られ、その後自動的に処理された。

プレートの角度の影響を検討するための実験、およびトラスの実大試験後に行った非破壊接合部の引張試験 (後述) については、試験体の寸法が異なるだけで、試験方法は上述したものと同様である。

トラスの実大曲げ試験は、縦型万能試験機 (容量 200kN) を用いて、4 点曲げ形式の 2 点集中荷重で行った (Fig. 4)。加力に際しては、面外座屈防止用の拘束治具を使用した。

供試体は、支点到付属する鋼製ブロック (支持鋼板) 上に直に設置した。加力点では、試験体の斜材の勾配に合わせた加力点補助ブロックをスギ角材で作製し、供試体と加力点ブロックとの間に挟み込んだ。

加力は、繰返しを行わずに破壊まで単調に増加させた。供試体の各部には、あらかじめ変位計を設置し、スパン方向全体のたわみ状況のほか、接合部の変位、端部支点のめり込み等を計測した。

Fig. 4. Schematics of a full size truss specimen.

Fig. 5. Schematics of tensile test.

継手の引張試験と同様に、変位計の歪出力と荷重計から得られた出力はデジタル歪測定器を経由し、 GPIB を介してパーソナルコンピュータに送られ、その後自動的に処理された。

実大試験終了後、破壊が生じなかった上弦材および下弦材の接合部については、部材を適当な長さに切断したのち、継手の試験と同様の方法で、単調加力で引張試験を行った。

3 結果と考察

3・1 継手の引張試験

(1) 破壊形態

先に述べたようにプレートは Row の数が少ない形状のものをを用いたため、プレート中央の金属部の破断は生じなかった。ほとんどの試験体で、プレートの端部から、歯が引き抜けるとともに、プレートがめくれ上がるような形態で破壊が生じた。各樹種間で極端な差は見られなかったが、全般的に、スギは歯が引き抜けやすく、また材の面圧部分をむしり取るような形態で破壊する傾向が強かった。これは、スギの密度が低いこと、また早材晩材の境界での強度変化が著しいことによるものと考えられる。

荷重方向による変化としては、P タイプでは、突き付け部に向かって歯の先端近傍の早晩材境界がせん断破壊する 경우가多く、一方 C タイプでは、プレートのめくれ上がりに伴って歯が抜け出すものが多かった。

なお、実大トラスの残存試験体では、Row の数が多いプレート形状であったため、すべての試験体においてプレートの中央破断が生じた。このため、7 体の平均値が 50.7kN、その変動係数が 1.80% という非常にバラツキの少ない結果となった。

(2) 最大耐力と許容耐力

最大耐力、最大耐力時の変位、ならびに許容耐力を決定する際に必要となる 0.76mm 変形時の耐力¹⁷⁾を Table III に示す。なお、QP と QC では歯数が異なるので両者の最大耐力を直接比較することには意味がない。

まず最大耐力をみると、スギは全般的に SPF の 1 割減、ホワイトスプリースの 2 割減程度の値を示している。また、スギの変動係数は、いずれの条件においても最も大きい値となっている。さらに、0.76mm 変形時の耐力でも、スギは他の 2 樹種に比べて低い値を示している。これは、スギの密度が低いことに加えて、その変動係数が 10% (他の樹種では 3 ~ 4% 程度) と高かったためであろう。

一方、最大耐力時の変位をみると、スギの値は NP を除いていずれの条件でも、他の 2 樹種と同等の値を示している。

試験で得られた荷重と相対変形の関係を Fig. 6 ~ 8 に示す。これらの曲線はいわゆるマスターカーブではなく、いずれも平均的な挙動を示した 1 試験体の 1 データを表したものである。これらの図からも明らかなように、スギは最大耐力が他の 2 樹種に比べて低く、また P タイプでは少し粘りが少ない傾向にある。

以上のように、スギは最大耐力と 0.76mm 変形時の耐力が他の 2 樹種より低く、粘りも小さい傾向にあるが、

Table Ⅲ. Maximum load and the related values.

Sugi	Specimen	Maximum load (kN)				Displacement at maximum load (mm)				Load at 0.76mm displacement (kN)			
		NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC
Sugi	Ave.	16.6	13.1	15.3	9.7	24.9	16.3	11.5	14.6	11.8	11.2	13.9	8.4
	SD	1.97	1.72	1.79	1.04	7.25	2.27	2.19	2.03	1.09	1.48	1.51	1.10
	CV	11.8%	13.1%	11.7%	10.7%	29.1%	13.9%	19.1%	13.9%	9.3%	13.2%	10.8%	13.1%
SPF	Specimen	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC
	Ave.	19.6	15.2	19.6	10.7	35.5	14.5	9.5	11.3	14.2	13.7	18.8	10.0
	SD	1.25	1.10	1.53	1.00	6.26	2.25	1.37	1.62	0.83	0.86	1.17	0.88
	CV	6.4%	7.2%	7.8%	9.3%	17.6%	15.5%	14.4%	14.3%	5.9%	6.3%	6.2%	8.8%
White Spruce	Specimen	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC
	Ave.	18.6	14.7	19.2	10.9	38.7	16.6	11.4	12.9	13.3	12.8	17.8	10.0
	SD	1.40	1.08	1.34	0.96	7.92	2.43	1.79	1.76	0.86	0.85	0.93	0.89
	CV	7.6%	7.3%	7.0%	8.8%	20.5%	14.6%	15.8%	13.6%	6.5%	6.7%	5.2%	8.9%

Note : N : GN80, Q : GNQ, P : Columns of the teeth are parallel to the wood grain, C : Columns of the teeth are pendicper to the wood grain, Ave. : Average, SD : Standard diviation, CV : Coefficient of variation.

Fig. 6. Load-displacement curves of Sugi specimens.

Fig. 7. Load-displacement curves of SPF specimens.

Fig. 8. Load-displacement curves of White Spruce specimens.

ガセットトラスの軸材として不都合となるような欠点は見受けられない。

これらのことから判断して、最大耐力と粘りの低下を考慮して、若干大きなプレートを用いれば、スギをガセットトラスの軸材に用いることは十分可能であると考えられる。ただし、スギは産地や品種によって強度特性のバラツキが大きいので、実際に様々な用途に応用するためには、さらなる実験的データの蓄積が必要であろう。

「日本建築学会 木質構造計算基準・同解説」¹⁷⁾によれば、MPCの短期許容耐力は、i) 最大耐力 (P_{max}) をプレート面積で除した値に安全係数 1/2 とバラツキ調整係数 3/4 を乗じた値 ($S_{3/8}$), ii) 0.76mm 変位時の荷重にバラツキ調整係数 3/4 を乗じた値 ($S_{3/4}$) のうち、小さい方で与えられる。上の実験結果の場合、いずれの条件であっても i) の値となった。

(3) プレートと荷重方向の角度の影響

プレートと荷重方向の角度の影響を調べるために、Fig. 3 の試験体について行った試験結果を Fig. 9 に示す。図中には最大耐力 (P_{max})、変位 0.76mm の耐力 ($P_{0.76}$)、($S_{3/8}$) および ($S_{3/4}$) を示した。ただし、耐力はすべて有効歯一本あたりの値に換算したものである。

図から明らかなように、角度が大きくなるにしたがって、最大耐力 (P_{max}) は右下がりであり若干上に凹の傾向を示したが、変位 0.76mm の耐力 ($P_{0.76}$) は単調に右上がりとなる傾向を示した。このため、許容耐力は 0 ~ 30°までは $S_{3/4}$ となり、45°でそれが逆転し、90°までは $S_{3/8}$ となった。この結果は、いずれの条件でも $S_{3/4}$ が許容耐力になった先の実験の場合と少し異なっている。

Fig. 9. Effect of plate angle on maximum load and allowable load per tooth.

Fig. 10 は荷重と相対変位の関係をプレートの角度をパラメータとして表したものである。図から明らかなように、0.76mm（接合部における便宜的な比例限度）を越えてから最大耐力に至るまでの曲線の傾斜が、プレート角度の増加に伴って緩やかになっている。言い換えると、接合部はプレート角度が小さい間は、0.76mm を超えてもすぐに最大荷重に達しないで粘り続けるのに対し、角度が大きくなるのに伴って、粘りが少なくなっている。

このように、MPC 継手の荷重－変形特性はプレートの形状によって若干変化するので、スギについて様々な形状のプレートと加力の角度についての関係を調べておくことが望まれる。ただ実際のトラスではこのような塑性的な特性を考慮して設計する必要性はなく、また上で導かれたような許容耐力は、Fig. 10 の荷重－変形曲線から考えても妥当な値であると考えられる。したがって、現行の許容耐力による設計法をスギガセットトラスに応用しても、特に問題はないと考えられる。

(4) 密度と最大耐力との相関関係

スギ試験体における密度と最大耐力 ($P_{\max}$) との相関図を Fig. 11 に示す。

一般に金物接合では材の密度と最大耐力との間に比較強い相関関係が見られることが多い。⁷⁾ しかしながら本研究の結果では、スギのみならず他の2樹種のいずれの条件においても両者の相関は弱く、相関係数が0.3以下となる場合が大半であった。ただ、回帰直線の傾きが正の値を示すものがほとんどであった。

これは、はじめに述べたように、材料選択の段階で極

Fig. 10. Load and displacement curves of Sugi specimens with various plate angles. θ : Plate angle.

Fig. 11. Linear regression between $P_{\max}$ and density of Sugi specimens. γ : Coefficient of correlation.

端に密度の高いあるいは低いものが排除されていたため、密度の範囲が狭くなり、その結果として相関係数が低くなったものと思われる。

なお、材の密度と同様に、材のMOEと最大耐力との間にも強い相関は見られなかった。

(5) 強度分布

上で述べたように密度と $P_{\max}$ との間に強い相関が見られなかったため、ここでは密度による強度の補正を行わず、得られた $P_{\max}$ のデータに直接3パラメータワイブル分布を当てはめた。各試験体の確率密度分布曲線を Fig. 12 に示す。

これらの曲線からも明らかなように、QP が少し左に裾を引いた（右に傾いた）ような分布形をしているが、全般的にはいずれの分布も特徴的な形態ではない。

荷重抵抗係数設計法（限界状態設計法）に対応したANSIの1995年版¹⁸⁾では、継手の強度を正規分布、その変動係数を14%と仮定している。この値はアメリカの全国的なサンプリングから得られたものであるため、本試験で得られたスギのそれ (Table III) より幾分高めになっている。また、他の2樹種の値の2倍程度となっている。

いずれにしても、スギの継手の強度は、対照の2樹種に比べればバラツキが大きい、極端に大きくはなく、また分布形状も特異ではない。したがって、密度が低いことを考慮すれば、他の樹種と同様な設計が可能であるといえよう。ただし、本研究ではスギに多く見られる小節が強度特性に及ぼす影響については検討していない。この問題については更なる検討が必要である。

3・2 実大トラス試験の結果

試験体 No.1 では、斜材接合部の頂部側プレート端部が面外座屈により折れ、それに伴ってトラス頂部の接合部、ラチス材と斜材の接合部などで破壊が生じた (Fig. 13)。

試験体 No.2 では、支点近傍の斜材と下弦材接合部付近において下弦材が引張破断した。また加力点近傍で上弦材が面内方向に折れ曲がった。

試験体 No.3 では、斜材の接合部を変曲点として、緩やかに面外座屈した。

全ての試験体を通して、斜材接合部、頂部接合部等の圧縮力を受けるトラス接点では、試験体製作時のわずかな隙間が、荷重増加につれて閉じていき、接合部のメタルプレートの座屈が生じた。

Fig. 12. Probability density function (3 parameter Weibull distribution) for maximum load of Sugi specimens.

各試験体の最大荷重は、加力シリンダーの値で、35.5kN (No.1), 46.9kN (No.2), 45.7kN (No.3) であった。この値は、スパン方向 1m あたりの長期鉛直荷重を 1.27kN/m として計算した場合の長期荷重 (8.24kN) の、それぞれ 4.31 倍 (No.1), 5.69 倍 (No.2), 5.55 倍 (No.3) に相当する。ただし、この荷重条件は本試験の状態に合わせて等分布荷重を集中荷重に置き換えたものであるため、実際に作用する荷重とは少し異なる。

トラスに作用させた荷重と下弦材中央部のたわみの関係を Fig. 14 に示す。ここで、縦軸の荷重は加力点荷重、横軸は中央たわみからトラス尻での母材のめり込みを減じて求めた「純粋な中央たわみ」である。また、図中の上の直線 P- δ (1) は、接合部を完全な剛節として有限要素法により解析した計算結果である。同様に図の下の直線 P- δ (2) は接合部をピンとして解析した計算結果（一般的なガセットトラスの構造計算方法による結果）である。なお、解析の際には材の曲げヤング係数を 8.0GPa と仮定した。

よく知られているようにこの種のトラスの接点は半剛

節的な挙動をすることが多い。¹⁴⁾ 実測された荷重-たわみ曲線が上の直線と下の直線に挟まれたところに存在するのはこのためである。一般的なガセットトラスの構造計算方法は、幾分安全側の結果を導くことになるが、スギガセットトラスの設計に用いることに、問題はないと判断される。

4 ま と め

メタルプレートコネクターを用いたスギ継手は、SPF やホワイトスプルースに比べて、最大耐力や粘りが若干低い。それを考慮すれば、スギをガセットトラスの軸材に用いることは十分可能である。また継手やトラスに関する現行の設計方法はそのまま応用できる。ただし、スギは産地や品種によって強度特性のパラツキが大きいので、実際に様々な用途に応用するためには、節の影響などを含めたさらなる実験的データの蓄積が必要である。

本研究の試験体の作成にあたり、宮城県迫農林振興事務所の伊藤彦紀氏、登米町森林組合、関東ギャングネイルトラス(株)の各位にご協力いただいた。ここに厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 金谷紀行, 材料, **32**, 922 (1983).
- 2) 伊藤勝彦, 丸山 武, 宮野 博, 倉田久敬, 山本 宏, 工藤 修, 木材学会北海道支部講演集, **8**, 25 (1976).
- 3) 徳田迪夫, 竹下昌彦, 杉山英男, 木材学会誌, **25**, 399 (1979).
- 4) 徳田迪夫, 竹下昌彦, 杉山英男, 木材学会誌, **25**, 408 (1979).
- 5) T. Hayashi, H. Sasaki and M. Masuda, Forest Products Journal, **30**, 49 (1980).
- 6) 林 知行, 佐々木光, 材料, **30**, 697 (1981).
- 7) T. Hayashi and H. Sasaki, Wood Research, **68**, 22 (1982).
- 8) 林 知行, 佐々木光, 冬木敏夫, 木材学会誌, **29**, 663 (1983).
- 9) 林 知行, 佐々木光, 木材学会誌, **30**, 23 (1984).
- 10) M. Tokuda, M. Gakkaishi, **30**, 139 (1984).
- 11) 神谷文夫, 河合 誠, 畑山蟻男, 岡田圭一郎, 木材学会誌, **34**, 326 (1988).
- 12) 神谷文夫, 河合 誠, 畑山蟻男, 岡田圭一郎, 木材学会誌, **34**, 682 (1988).
- 13) 林 知行, 原田真樹, 海本 一, 木材工業, **47**, 120 (1992).
- 14) Y. Sasaki and H. Fumoto, Mokuzai Gakkaishi, **39**, 636 (1993).
- 15) 佐々木康寿, 小笠原隆, 三浦伸二, 麓 秀彦, 木材工業, **50**, 314 (1995).
- 16) 井上正文, 清水 武, 沖林 聡, 田中 圭, 後藤泰男, 構造工学論文集, **45B**, 463 (1999).
- 17) 日本建築学会編, “木質構造設計基準・同解説”, p.231, p.284 (1995) 日本建築学会.
- 18) Truss Plate Institute, “National Design Standard for Metal Plate Connected Wood Truss Construction”, p.2 (1995).

Fig. 13. Buckling failure at the joint on upper chord of a fullsize test specimen.

Fig. 14. Load and deflection curves at the center of lower chord.

Note : P- δ (1) : Calculated by finite element method assuming that all joints are rigid, P- δ (2) : Calculated by finite element method assuming that all joints are pins.