平成10年度　農林水産省補助事業
構造用間伐材利用推進対策事業

木造施設間伐材利用技術開発事業報告書
（間伐材利用建築物の強度実験及び試作）

51

平成11年3月

財団法人　日本住宅・木材技術センター

まえがき

間伐は、スギ、ヒノキ等人工林を育成する上においてが必要不可欠な行為である。間伐により生産される間伐材は、利用用途が限られていて販路の確保に苦慮している現状にあり、育林費用の山林への還元の面でこのことが大きな問題となっている。

本事業は、間伐材の利用を促進するため、間伐材の構造材としての利用が見込まれる木造建築物を対象に、設計・施工方法を開発し、その普及を図ることを目的とするものである。

平成10年度には、農業施設、倉庫、郊外型店舗などの建築物に間伐丸太や間伐製材を使用することで設計を行うとともに、トラス構造及び埋設丸太構造の強度実験並びに一部建物の試作検討を行った。これらは、今後、設計施工マニュアルを作成するための資料として活用する予定である。

本事業は、下記の委員会を設置して推進してきた。委員及び関係者の皆様には、忙しい中でご尽力を頂戴し、厚くお礼を申し上げます。

構造用間伐材用途開発委員会 委員名簿

（五十音順）

委員長	有馬　孝禮	東京大学大学院農学生命科学研究科　教授
〃	新井　信吉	(株)新井建築工学研究所　代表取締役
〃	井上　伸史	大分県日田郡上津江村　村長
〃	神谷　文夫	森林総合研究所木材利用部構造性能研究室　室長
〃	齋藤　陸郎	日東木材産業(株)　代表取締役
〃	諏訪　勝志	諏訪設計事務所　代表取締役
〃	趙　海光	(株)ぷらん・にじゅういち　代表取締役
〃	友井　政利	TTL一級建築士事務所　所長
〃	西村　勝美	森林総合研究所木材利用部木材特性科　科長

平成11年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

理　事　長　　岡　勝　男

要約

間伐材を使用する建物として、小規模特定用途建築物、小規模多目的建築物及び中規模多目的建築物を選定し、設計図及び構造計算書を作成し、それら建築物のトラス構造体及びコンクリート埋設丸太構造体について実験を行い、その強度性能の評価を行った。

さらに、間伐材利用建築物について、試作を行い、施工上の問題点を把握した。

キーワード

小屋組(山形)トラス、鋼板添板接合トラス、曲げ強度、引張荷重、等分布荷重、節点荷重、たわみ、座屈、クリープ、ポールコンストラクション、スギ丸太、根巻き、コンクリート土間、H型鋼、地盤攪乱、間伐材、丸太、製材、物置、車庫、

目　次

1章　小屋組トラスの強度実験

1．はじめに ---------- 1
2．試験体 ---------- 1
3．試験方法 ---------- 5
4．試験結果と考察 ---------- 8
5．おわりに ---------- 13

2章　鋼板添板接合トラスの等分布荷重試験

1．目的 ---------- 29
2．トラスの概要 ---------- 29
3．試験方法 ---------- 31
4．試験結果 ---------- 35
5．おわりに ---------- 43
付表 ---------- 44

3章　ポールコンストラクションの耐力性能把握実験

1．目的 ---------- 49
2．試験体 ---------- 49
3．実験方法 ---------- 52
4．実験結果 ---------- 53
5．まとめ ---------- 61
付録 ---------- 62

4章　丸太軸組小規模建築物の試作

1．目的 ---------- 87
2．試作建築物 ---------- 87
3．木質部材の加工方法 ---------- 88
4．現場での施工方法 ---------- 90

1章　小屋組トラスの強度実験

1　はじめに

木造建築物の小屋組にトラス構造を採用することは，木材のもつ強度的な特性を十分に生かした合理的な方法として知られている。また，トラスは他の複合梁に比較してその組み立てが容易なことからも，節点に多様な接合形式を取り入れて普及してきた。

一方，木質トラスは鉄骨のそれと比較して接合部の設計法や弦材の2次応力の発生など，強度的な挙動に十分な配慮が必要なことも通説となっている。

トラスの構成部材として，強度的に低位に位置づけられる間伐小径材を有効に活用することによって，より低コストな木造施設建設の可能性が高まり，性能評価が確立することを前提として，農林水産用施設や倉庫等への適用の道が開ける。

ここでの実験は，間伐小径材より得られる製材ならびにより加工度の低い丸身付き材を利用したボルト接合小屋組トラスの鉛直載荷試験を行ってその強度的な特性を明らかにし，これまで低付加価値な利用に留まっている人工林間伐小径材の建築物の構造材への利用推進を図るものである。

2　試験体

試作したトラスの設計は，委員会で提案された鉛直荷重のみを負担する山形トラス（フィンクトラス）であり，その仕様は基本的に委員会からの提案設計に基づいて行ったが，使用した原材料の制約等から一部変更を加えた部分もある。

小屋組トラスを構成する主要部材である弦材・斜材ならびに補助部材である振止め材等のすべてに，高温乾燥処理した北海道産トドマツ人工林間伐材を使用した。

作製したトラスは，弦材・斜材に矩形断面の製材を用いたもの（記号: TRS1）と丸身を有する材を使用したもの（記号: TRS2）の2種類である。丸身付きのうち斜材に使用する材は，本来は見付け面全面に丸身を残す予定であったが，乾燥処理の過程で圧締が必要と判断され材厚の均一性が求められたため2面落し（1面は最小限に留める）の製材とした。

トラス節点の接合は，主材（弦材）と2つの側材（斜材）とからなる二面せん断形式のボルト接合で，使用ボルトはM12およびM16（一個所のみ）である。また，弦材の縦継ぎ等は，鋼板ガセットによる二面せん断ボルト接合である。

供試トラスの形状ならびに節点接合部の詳細を**図1**に示す。試作した小屋組トラスは，各タイプ6体の計12体である。

載荷試験は，次節で述べるように鉛直多点荷重方式としたが，梁幅が小さく梁せい・曲げスパンとも大きな場合に常に問題となる横方向の面外変形を防止するため，トラス2体を組み合せて実施した（**図2**参照）。一体化の方法は通常の屋根施工での中間のトラス2体を切り出した形態を模したものである。構造用合板を上弦材に直接釘打ち（CN65 @200mm）する

ことにより屋根構面を形成するとともに，つなぎ材・振止め材（40mm × 90mm）を複数配置して面外安定性を確保している。

《委員会より提供された設計図書からの変更個所》

(1) 前述のように，TRS2 タイプの斜材断面を変更した。

(2) 同じく TRS2 タイプの下弦材は上下端に丸身を有する仕様となっていたが，ボルト穴加工等の基準線を確保するため，上下弦材と同様に 3 面落しの材（上下は逆に使用）とした。

（3）道内で入手の容易な製材長は 3,650mm であることから，下弦材の縦継ぎ位置を当初の設計のスパン中央位置から下弦材と斜材との節点の外側 2 個所に変更した。

(4) 桁材上のころび止め材は，実験評価を行う上で影響を及ぼさないと考えられたので，取り付けを省略した。

(5) 構造用合板厚を設計仕様の 18mm から，道内に一般に流通している 15.5mm 厚のものに変更した。鉛直方向の剛性は若干低下するが，載荷試験を行うに当たって必要な屋根面剛性の確保には十分と思われる。

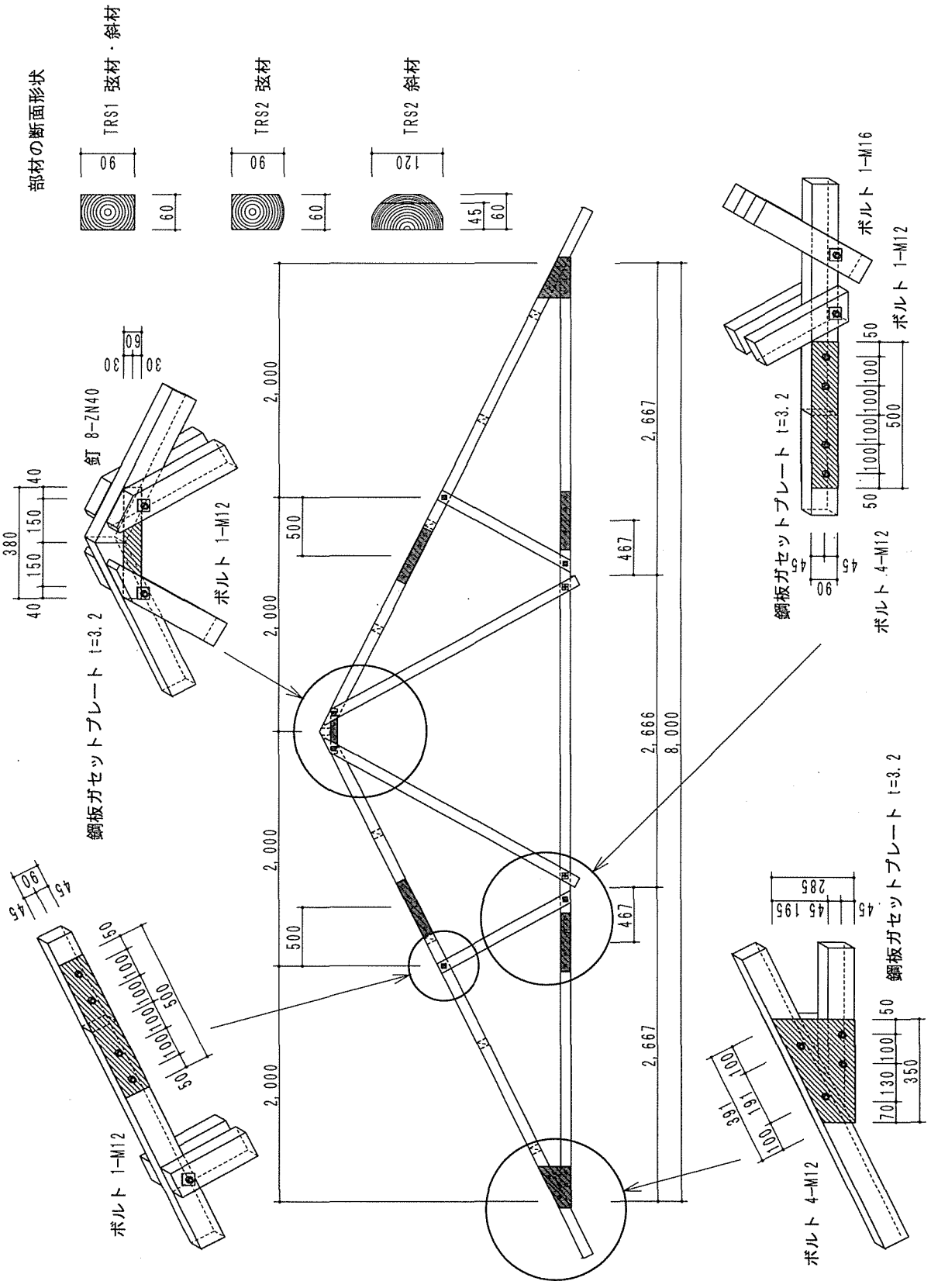


図１　供試小屋組トラスの形状と接合部詳細

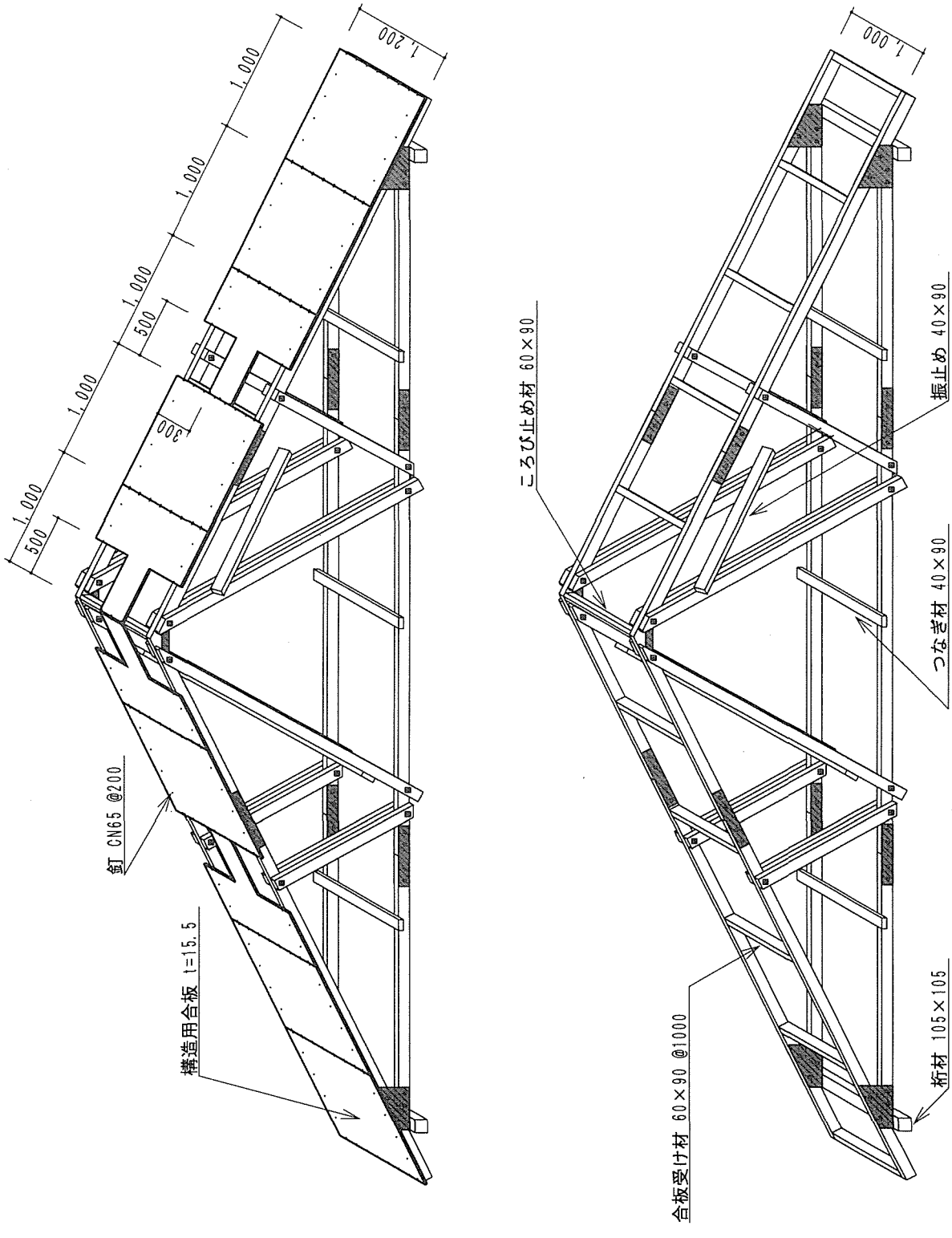


図２　一体化した小屋組トラスの形状

3　試験方法

曲げ強度試験は，スチールワイヤと滑車を使用した多点載荷方式により行った。載荷点数は，全スパンを12等分した11点である。ワイヤの引張加力は，能力1tfの電動ウインチを使用して行った。したがって，全載荷能力は11tfとなる。載荷点は分配ビームと全ネジボルト（M12）で連結されたC形鋼により，上弦材に合板を挟んで直接負荷されており，理論上はすべての点で均等な多点載荷条件となる。

荷重支点は，通常の梁の曲げ試験においては一方を水平方向拘束し他方をローラーとするのが一般的であるが，今回の場合には載荷荷重の増大に伴ってスパン方向の荷重分布の対称性が失われる危険があるため，両スパンとも木材・鋼板面の摩擦に依存した拘束条件として，左右とも均等に支点・トラス間の移動（滑り）が発生することを期待した。

載荷スケジュールは，長期設計荷重の1/2倍，1倍，2倍，4倍で繰り返し載荷の後，破壊により荷重の低下が認められるまでとした。ここでの設計荷重は，トラスおよび屋根仕上げ等を含む長期の固定荷重（70kgf/m^2）であり，負担幅を2m（トラスピッチ1m・2体分）として算定した。

試験時には，載荷荷重のほかに真の固定荷重であるトラス・構造用合板ならびに載荷治具等の重量を常時負担しているが，この影響については考慮しなかった。

荷重値として容量5tfの引張型ロードセルを使用し，電動ウインチからのワイヤ張力（載荷点1点の荷重に相当）を計測した。トラス部材の鉛直方向変位の計測は，**図3**に示すように精度1/100mmのひずみゲージ式変位変換器を使用し，有効ストローク-10mm～+90mmとなるようスパン中央，左右の下弦材節点中央において2体のトラスそれぞれについて行った。荷重値および個々の変位計測値は，荷重（ワイヤ張力）の増減約5kgf毎に記録した。

載荷試験に当たって，振止め等の面外変形に対する拘束は行わなかった。このため，破壊時の予期しない挙動に対する安全性を確保するために，小屋組頂部は走行クレーンにより支持（破壊直前まで影響がないように配慮）しながら実施した。

また試験後，各部材より長さ30mm程度の小試験片を採取して，気乾比重および全乾法による含水率を得た。

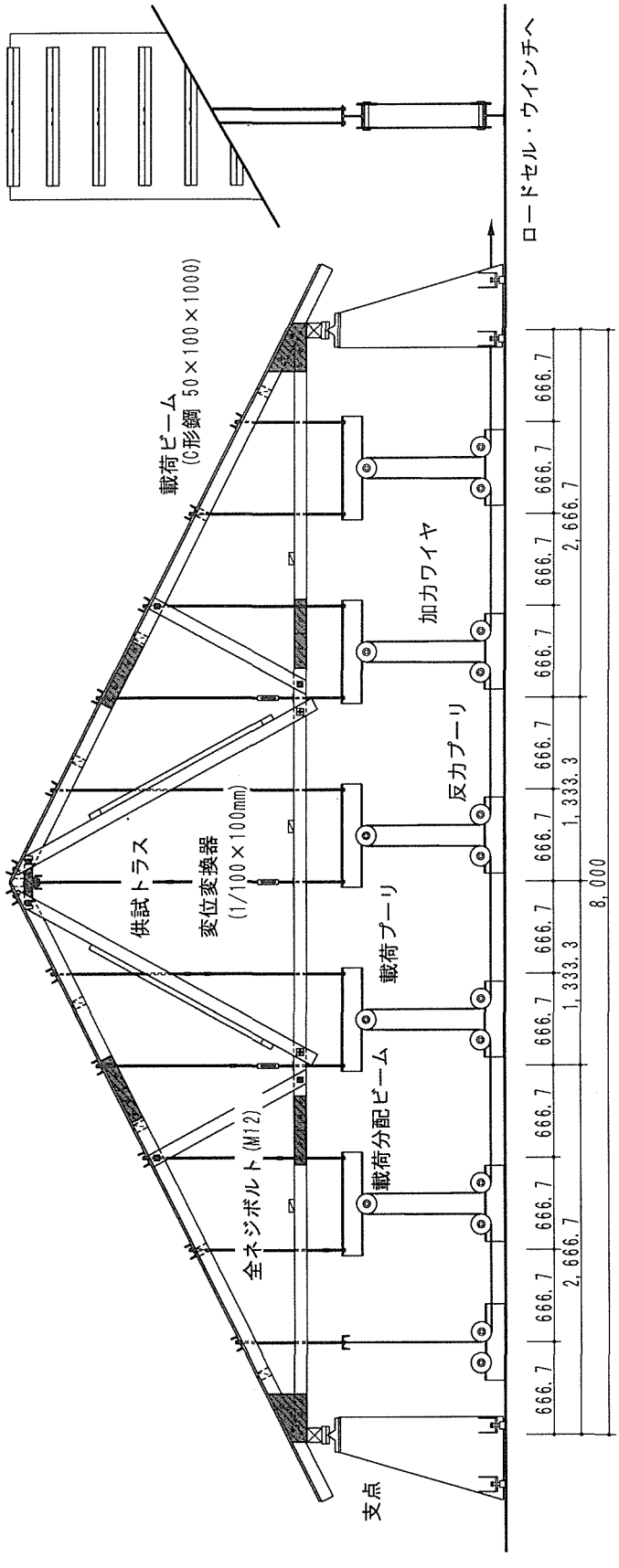


図3　小屋組トラスの多点載荷試験方法

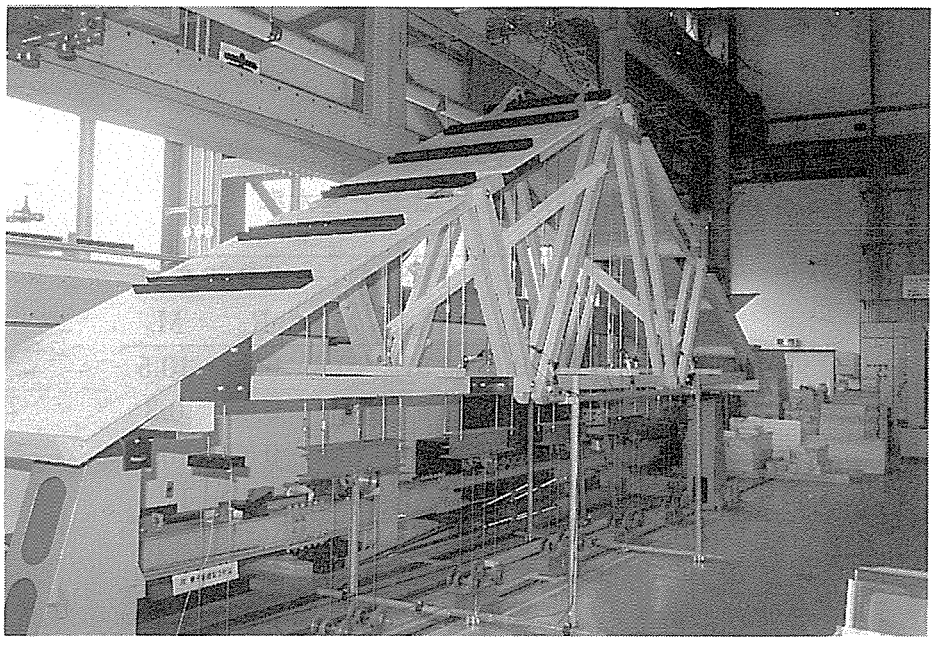


写真１　小屋組トラスの載荷試験の模様

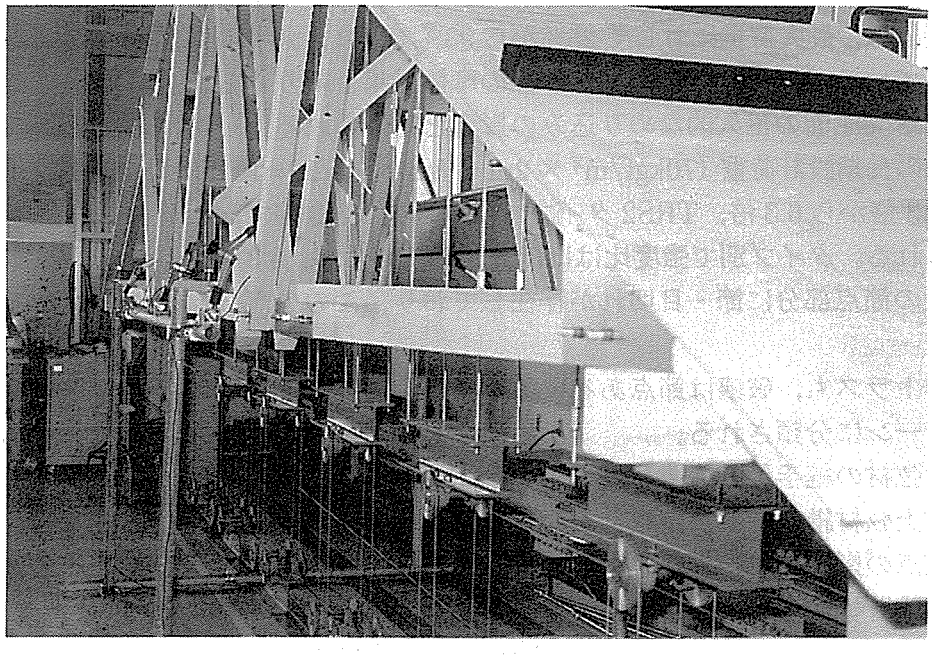


写真２　載荷装置および計測機器の詳細

4　試験結果と考察

基礎試験の結果を**表 1** に，曲げ載荷試験の結果を**表 2** に示す。また，載荷時の荷重とたわみとの関係曲線を**図 6～図 11** に，載荷途中における変形状況を**写真 3～写真 4** に，載荷試験後の破壊状況を**写真 5～写真 18** に示す。

表 1　使用部材の比重と含水率

	TRS1		TRS2 弦材		TRS2 斜材	
	R_u	M_c	R_u	M_c	R_u	M_c
平 均 値	0.37	10.5	0.37	10.8	0.38	10.5
標準偏差	0.05	0.4	0.02	0.5	0.03	0.3
最 小 値	0.31	9.9	0.34	10.1	0.33	10.1
最 大 値	0.46	11.0	0.41	11.7	0.42	11.1

R_u:　気乾比重　　M_c:　含水率（%）

気乾比重は平均 0.37 程度で天然林木の平均 0.40 に比較して若干低く，バラツキもやや大きい。最小値は 0.31 であり，木質構造設計規準の接合部設計に記載されている下限気乾比重の値 0.32 を下回っている。乾燥状態は，処理後からトラス組み立てまでの約 2 ヵ月の養生期間で材のねじれ狂いが観察されたものの，試験後の計測値を見る限りにおいては安定した含水率値を示しており極めて良好である。

設計荷重におけるたわみを下弦材最大変位を示す節点での計測値で見ると，最大 4.19mm であり，これはスパン比 1/1900 と極めて小さいものとなっている。また，初期段階を除くたわみの包絡線は，最大荷重に対して 25%から 93%であり，大半の供試体では 80%以上の直線領域を有している。初期の高剛性は接合部の摩擦効果，繰り返し荷重除荷時における残留たわみはボルト支圧面の恒久的なめり込みの影響と考えられる。

最大荷重の長期設計荷重（$70kgf/m^2 \times 2m \times 8m \times 11/12=1027kgf$）に対する比は，TRS1 タイプで 5.3 倍から 6.3 倍，TRS2 タイプで 8.1 倍から 8.3 倍で，十分な破壊強度を有するものと判断される。タイプ別で強度比はほぼ安定しているが，5.3 倍を示した供試体 TRS1_3 では破壊位置の節点部分に節・目切れが存在しており，この欠点が原因で低い値を示したと考えられる。

いずれのトラスも，破壊は節点あるいは継手接合部に端を発しており，その形態は以下の四つのパターンに分類される。

（1）上弦材の継手付近の載荷点の曲げ

荷重点と上弦材継手位置が接近しており，曲げモーメントの小さな位置に継手があるとはいえ，荷重点の影響は無視できない部分である。試験では弦材節点間の 2 点に載荷点があるが，今回の設計では下地用の構造用合板を母屋等を介さずに直接トラスに釘打ち固定する方法をとっており，現実の建築物では部分的な集中荷重は生じない。

該当する供試体：TRS1_1

（2）下弦材の継手に近接する節点のボルトによる割裂

理想的には節点接合部を一点に集中させて，力を斜材から他の斜材へ直接伝達するのがトラス設計の基本ではあるが，接合部を単純化して加工・組み立てを簡素にする上でやむを得

ないものと考えられる。

該当する供試体： TRS1_2，TRS1_3，TRS2_3

（3）上弦材端部（合掌尻）の節点

乾燥割れの影響を強く受ける部位ではあるが，屋根の庇のため上弦材の余長が十分に確保されており，また負担力の向きもそれとは反対の屋根頂部方向であるため，通常は下弦材の材端での破壊が想定される個所である。

該当する供試体： TRS2_1

（4）上弦材節点のボルトによる割裂

上弦材縦継ぎに近接しており（2）に類似した破壊形態である。斜材からの突き上げがあるものの，上部には載荷点もあり予想し難い破壊形態であると思われる。

該当する供試体： TRS2_2

TRS1 と TRS2 を比較すると，剛性・強度とも TRS2 が上回っている。これは斜材・弦材の断面積が TRS1 よりも大きなためで，ボルト接合部の側材厚は 60mm から 45mm に減少しているものの側材厚の合計は主材厚に相当しており接合強度の低下要因とはなっていない。

表 2　トラスの載荷試験結果

供　試　体	$\Delta P/\Delta\delta$	δ_{DL}	P_p	P_{max}	$P_{L/800}$	$P_{L/600}$	$P_{L/400}$	$P_{L/300}$
TRS1_1 中央	237.0	3.30	5822.3	6465.8	2532	3364	4975	6279
TRS1_1 節点	166.7	3.87	5878.4	6465.8	1993	2526	3680	4806
TRS1_2 中央	255.5	3.24	5951.0	6429.5	2750	3621	5325	-
TRS1_2 節点	167.0	4.19	2130.7	6429.5	2013	2546	3733	5002
TRS1_3 中央	253.1	2.44	2093.3	5437.3	2925	3842	-	-
TRS1_3 節点	168.9	3.65	2093.3	5437.3	2030	2675	3956	5228
TRS2_1 中央	203.3	2.16	7016.9	8339.1	2529	3239	4619	5889
TRS2_1 節点	172.5	2.44	4169.0	8339.1	2249	2782	4043	5134
TRS2_2 中央	244.4	2.01	7090.6	8688.9	3085	3841	5516	6995
TRS2_2 節点	194.6	2.25	7090.6	8688.9	2699	3286	4609	5898
TRS2_3 中央	249.3	2.06	6851.9	8486.5	3020	3827	5508	7002
TRS2_3 節点	221.7	2.36	2148.3	8486.5	2635	3294	4564	5901

$\Delta P/\Delta\delta$ ： 単位たわみ当たりの荷重（kgf/mm）

δ_{DL} ： 設計荷重時のたわみ（mm）

P_p ： 比例限度荷重（kgf）

P_{max} ： 最大荷重（kgf）

$P_{L/800}$ ： スパン比 1/800 たわみ時の荷重（kgf）

$P_{L/600}$ ： スパン比 1/600 たわみ時の荷重（kgf）

$P_{L/400}$ ： スパン比 1/400 たわみ時の荷重（kgf）

$P_{L/300}$ ： スパン比 1/300 たわみ時の荷重（kgf）

トラス部材間の接合を完全剛とピンのみに限定し，節点での回転以外の変形を考慮しない場合のマトリックス法による計算モデル，ならびに長期設計荷重条件についての計算結果を**図4**ならびに**表3**に示す。計算にあたりトラス自重の影響は考慮していない。

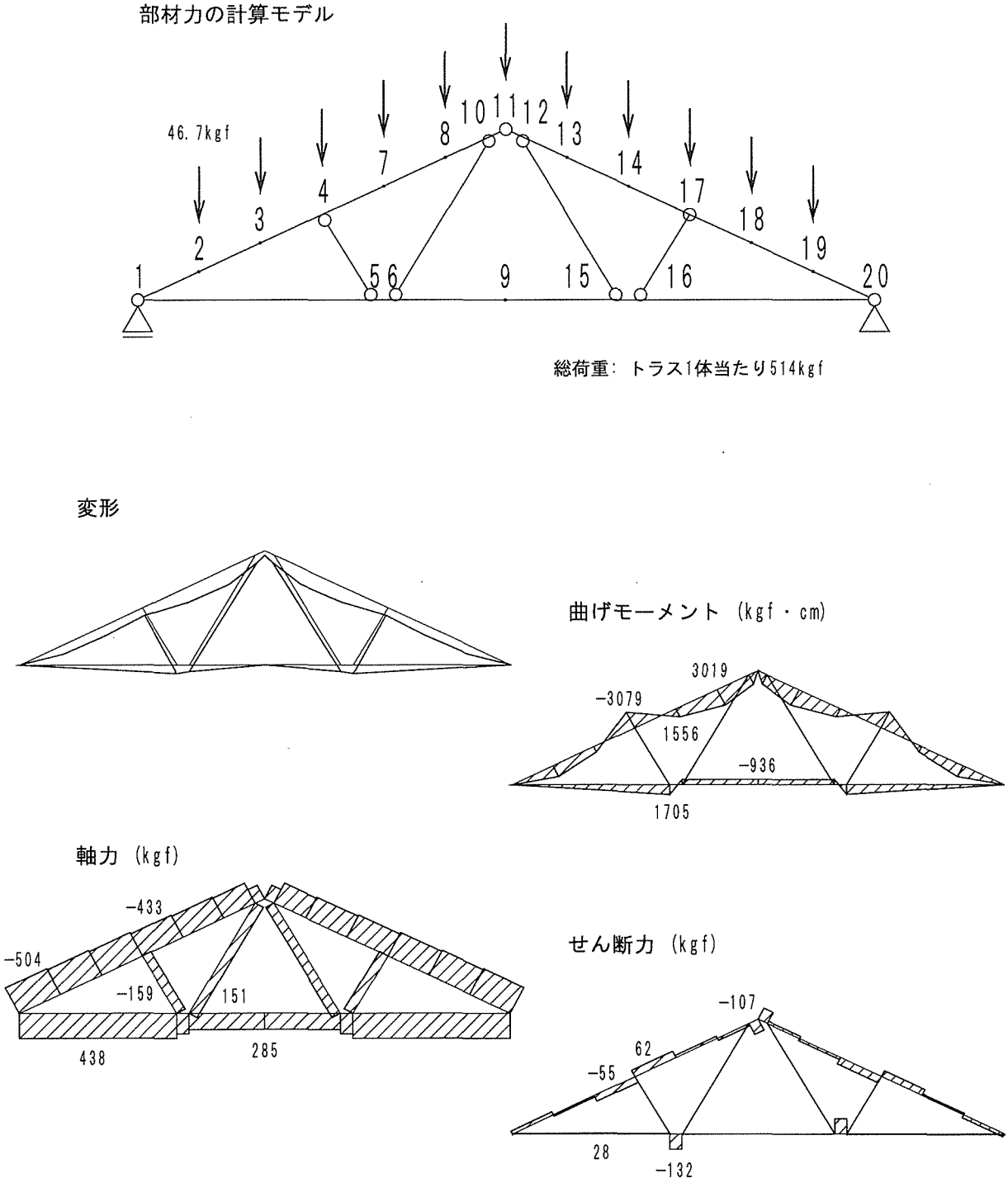


図4　小屋組トラスの計算モデルと結果

表3　部材力計算結果

部材		始端 (i)			終端 (j)			中央
i	j	軸方向 (kgf)	せん断 (kgf)	曲げ (kgf・cm)	軸方向 (kgf)	せん断 (kgf)	曲げ (kgf・cm)	曲げ (kgf・cm)
1	2	503.5	28.3	0.0	-503.5	-28.3	2110.1	1055.0
1	5	-437.8	6.6	0.0	437.8	-6.6	1704.6	852.3
2	3	482.6	-14.3	-2110.1	-482.6	14.3	1041.1	1575.6
3	4	461.7	-55.3	-1041.1	-461.7	55.3	-3078.6	-1018.7
4	5	159.4	0.0	0.0	-159.4	0.0	0.0	0.0
4	7	432.5	62.2	3078.6	-432.5	-62.2	1555.7	-761.4
5	6	-359.2	-132.0	-1704.6	359.2	132.0	-936.3	384.2
6	9	-284.9	-0.0	936.3	284.9	0.0	-936.3	-936.3
6	10	-151.5	0.0	0.0	151.5	0.0	0.0	0.0
7	8	411.7	19.6	-1555.7	-411.7	-19.6	3019.0	2287.4
8	10	390.8	-21.3	-3019.0	-390.8	21.3	1786.4	2402.7
9	15	-284.9	-0.0	936.3	284.9	0.0	-936.3	-936.3
10	11	265.2	-106.5	-1786.4	-265.2	106.5	-0.0	893.2
11	12	265.2	106.5	0.0	-265.2	-106.5	1786.4	893.2
12	13	390.8	21.3	-1786.4	-390.8	-21.3	3019.0	2402.7
12	15	-151.5	0.0	0.0	151.5	0.0	0.0	0.0
13	14	411.7	-19.6	-3019.0	-411.7	19.6	1555.7	2287.4
14	17	432.5	-62.2	-1555.7	-432.5	62.2	-3078.6	-761.4
15	16	-359.2	132.0	936.3	359.2	-132.0	1704.6	384.2
16	17	159.4	0.0	0.0	-159.4	0.0	0.0	0.0
16	20	-437.8	-6.6	-1704.6	437.8	6.6	0.0	852.3
17	18	461.7	55.3	3078.6	-461.7	-55.3	1041.1	-1018.7
18	19	482.6	14.3	-1041.1	-482.6	-14.3	2110.1	1575.6
19	20	503.5	-28.3	-2110.1	-503.5	28.3	0.0	1055.0

木材の強度的弱点として割裂による破壊があるが，この破壊形態である（2）（4）によって最大耐力が決定された供試体について，以下に示す接合部のせん断応力度の検定式を適用し検討する。

$$\text{接合部せん断応力度} \quad F_v = K\frac{Q}{2bh_e}$$

Q ： 部材せん断力のいずれか大きな値
b ： 部材の幅
h_e ： 部材せいと力の非負担側縁距離との差
K ： 接合部端距離 c が部材せい h の5倍以上のとき 2/3，5倍未満のとき h/h_e

下弦材節点

$$c/h = 36.7/9 = 4.1 < 5$$
$$K = h/h_e = 9/4.5 = 2$$
$$F_v = 2 \times 132/(2 \times 6 \times 4.5) = 4.9 < {}_Lf_s = 6\ (\mathrm{kgf/cm^2})$$

上弦材節点

$$c/h = 55.9/9 = 6.2 > 5$$
$$K = 2/3$$
$$F_v = 2/3 \times 62/(2 \times 6 \times 4.5) = 0.8 << {}_Lf_s = 6\ (\mathrm{kgf/cm^2})$$

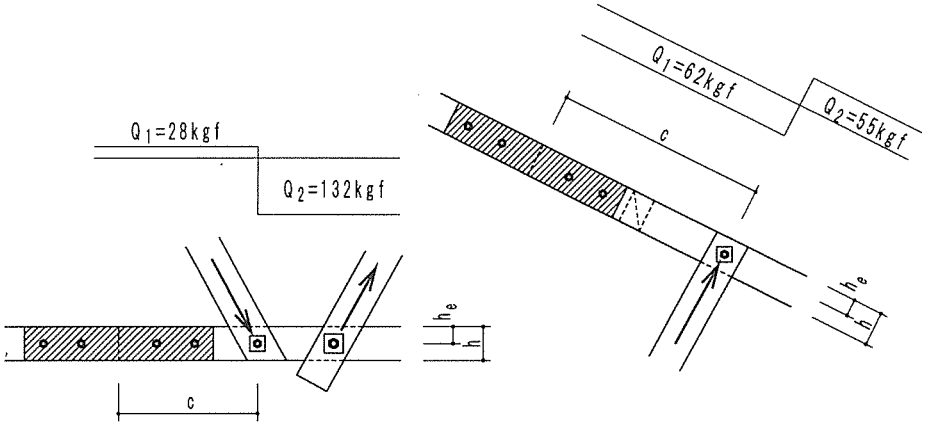


図5　節点接合部のせん断応力度

上弦材節点で破壊した供試体 TRS2_2 は，設計上せん断応力度に十分な余裕があり，全供試体中で最大の破壊耐力を示している。一方，上弦材節点に比較して許容応力度に接近した設計条件となっている下弦材節点で破壊するケースは半数の供試体で観察された。許容応力度を満たしているという点からは十分な設計ではあるものの，下弦材の継手位置の変更の影響が大きく現れる試験結果となった。

5　おわりに

北海道産のトドマツ人工林間伐材を使用したボルト接合小屋組トラスを製作し，多点載荷方式による曲げ強度試験を行った。

試験により得られた結果の要約および今後の課題と考えられる事項は以下のとおりである。

(1) 長期の設計荷重における下弦材鉛直たわみは極めて小さく，十分な曲げ剛性を有するとの結果を得た。

(2) たわみの包絡線はほぼ直線的に高荷重レベルまで推移するが，トラス節点等に機械的接合部を有するため除荷時の残留変位は比較的大きい。

(3) 破壊荷重は，材の欠点が顕著な1体を除いて長期設計荷重に対し6倍以上確保されており，安定した高い破壊強度を示した。

(4) 載荷試験での破壊形態から見て，接合部における材の割裂やせん断に対する検討が，トラスの接合部設計に重要であると判断された。

(5) 今回採用した多点載荷による曲げ強度試験は，さらに載荷点数を増加することで理想化するものと思われるが，トラスの曲げ強度評価を行う上で十分有効な手法と判断された。

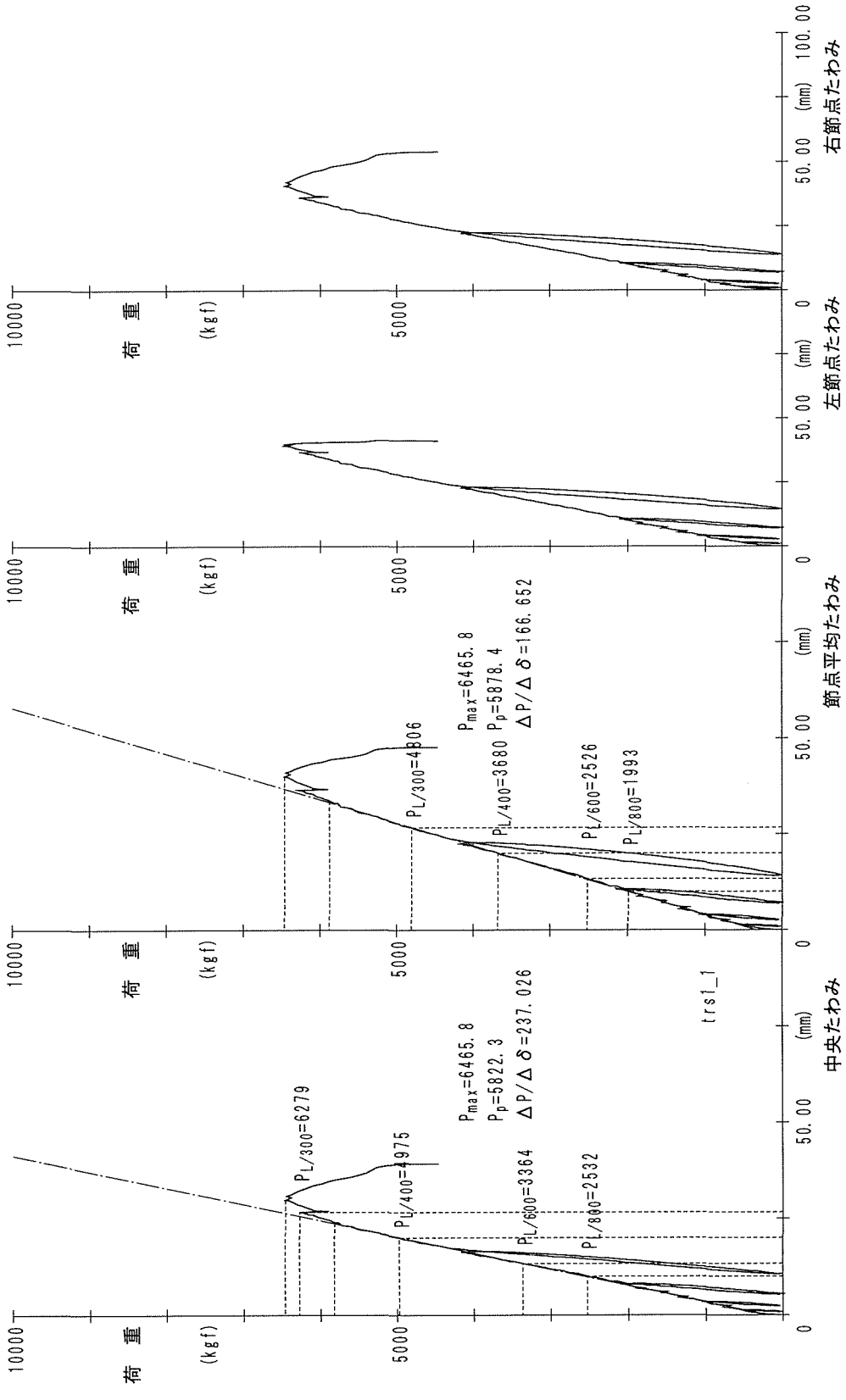


図6　荷重とたわみの関係曲線 供試体 TRS1_1

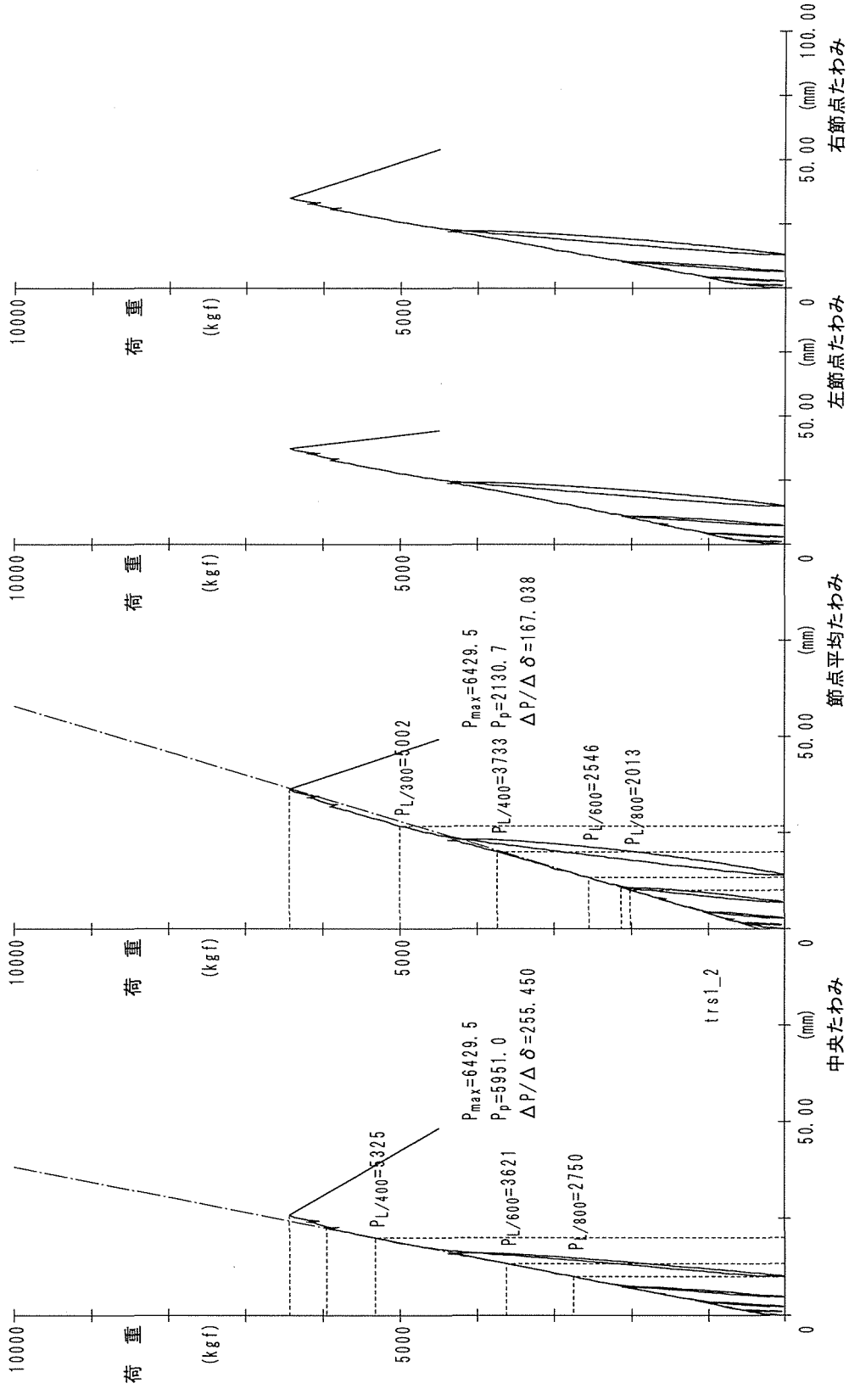


図7 荷重とたわみの関係曲線 供試体 TRS1_2

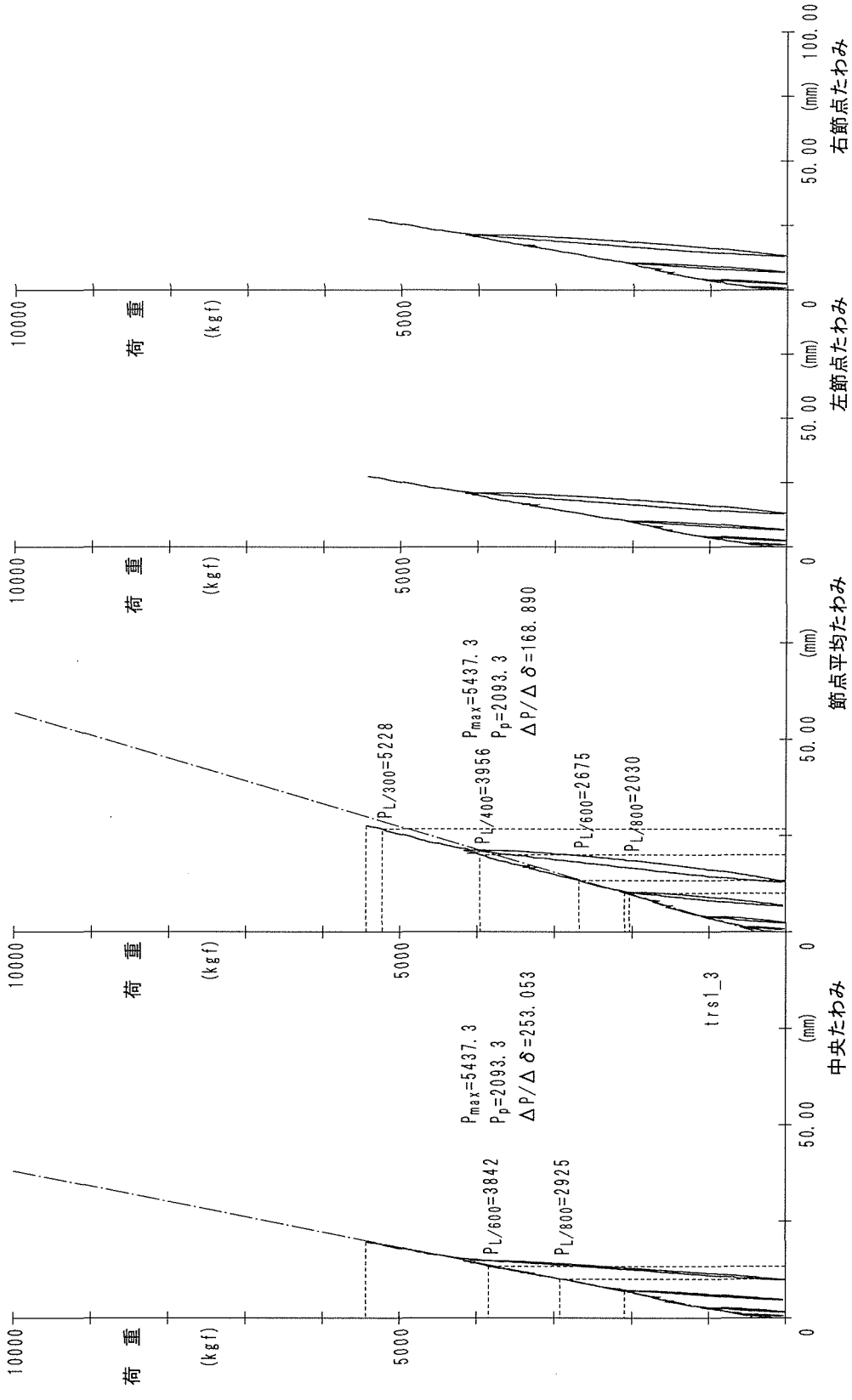


図 8　荷重とたわみの関係曲線 供試体 TRS1_3

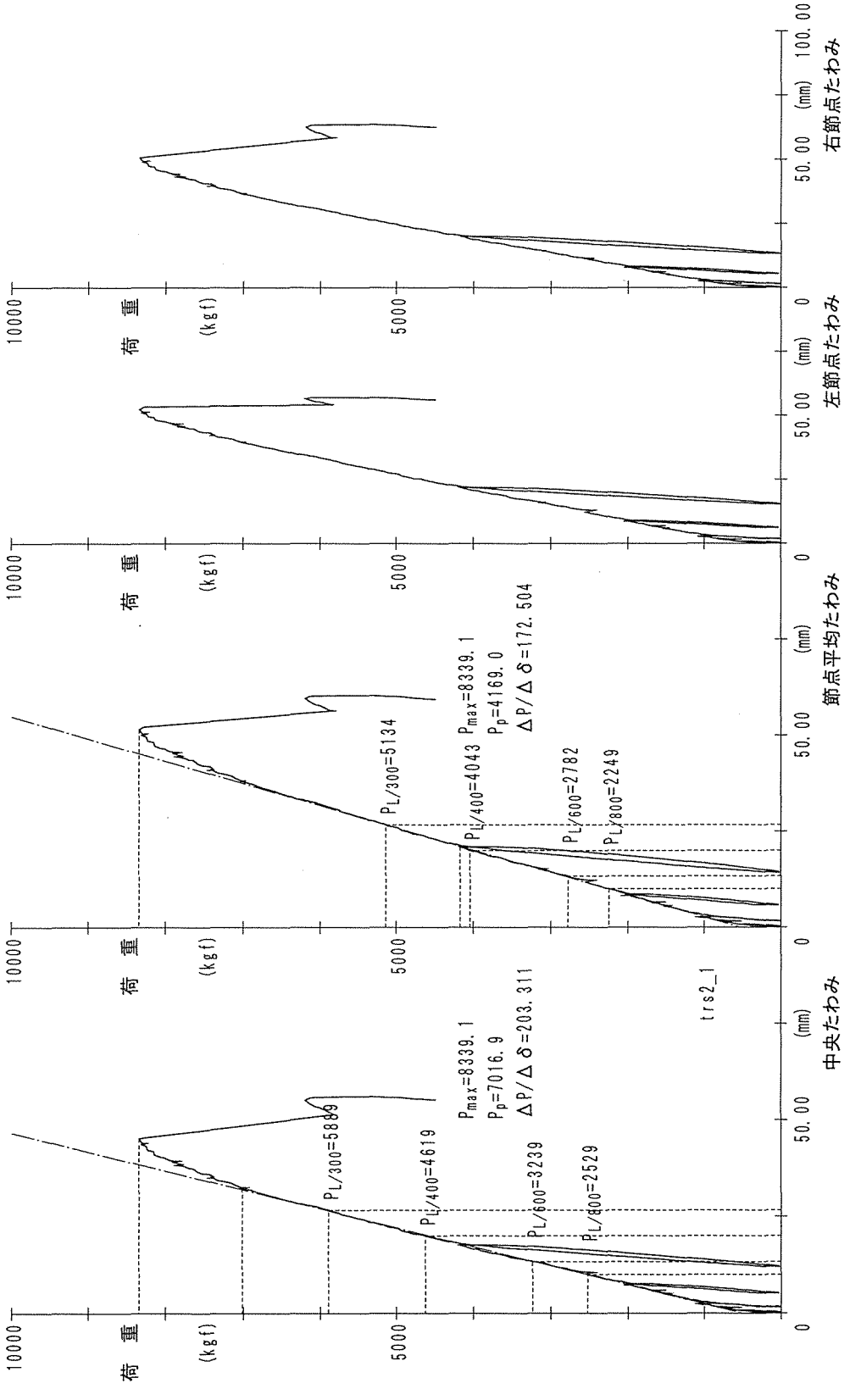


図 9　荷重とたわみの関係曲線 供試体 TRS2_1

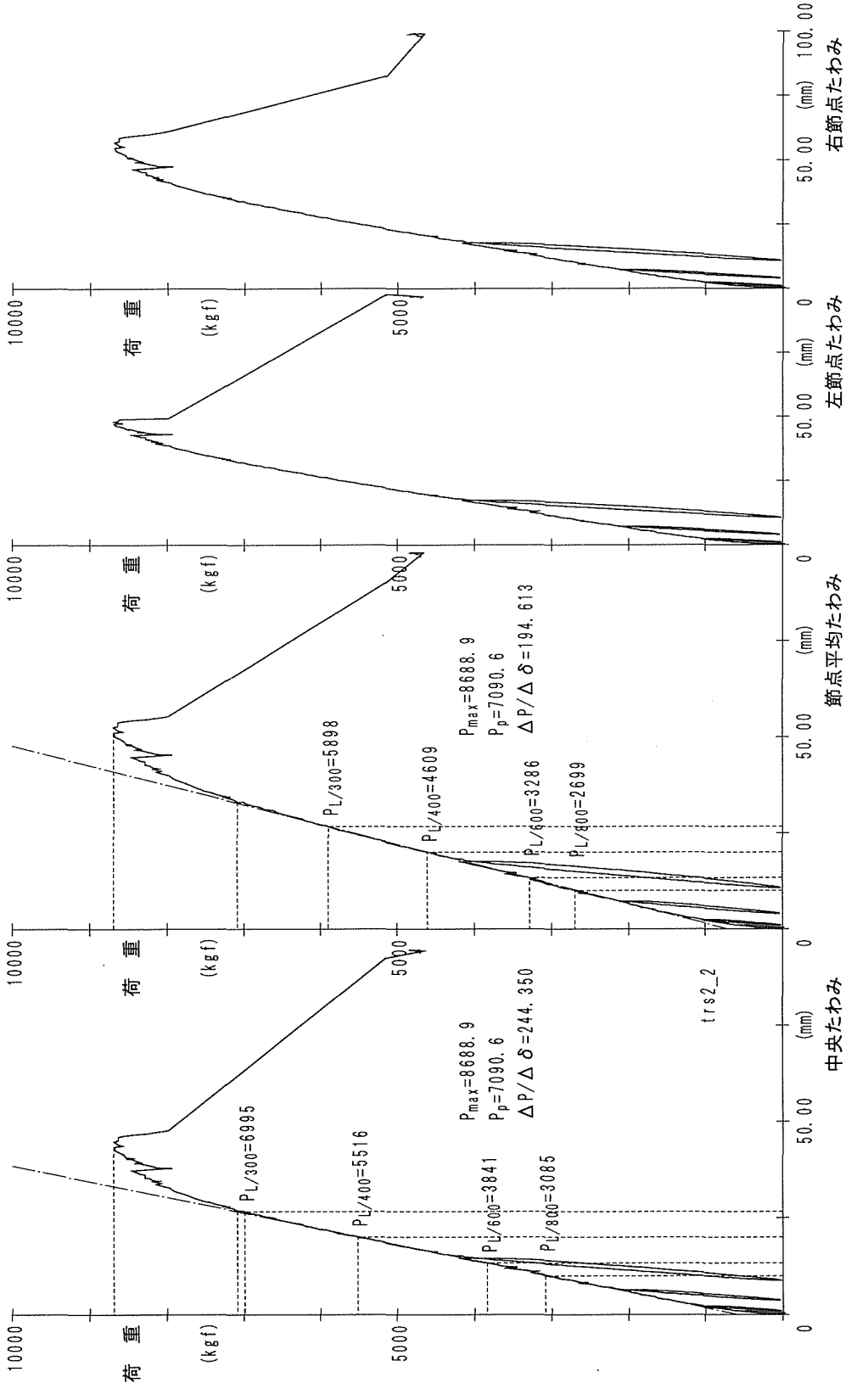


図 10　荷重とたわみの関係曲線 供試体 TRS2_2

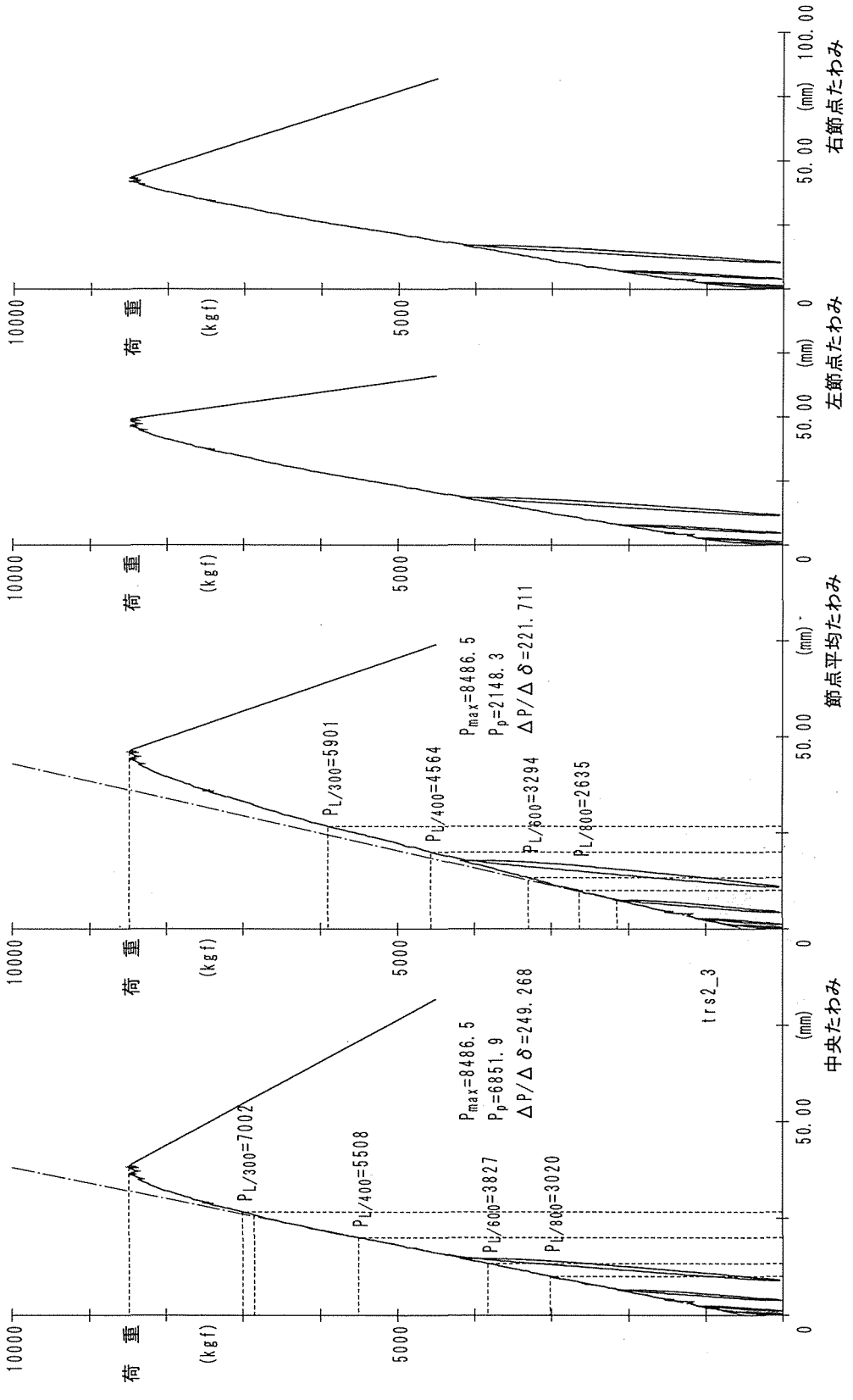


図 11　荷重とたわみの関係曲線 供試体 TRS2_3

写真３　小屋組トラス載荷時の変形 供試体 TRS2_3

下弦材の変形状態（中央部は上に凸となる）

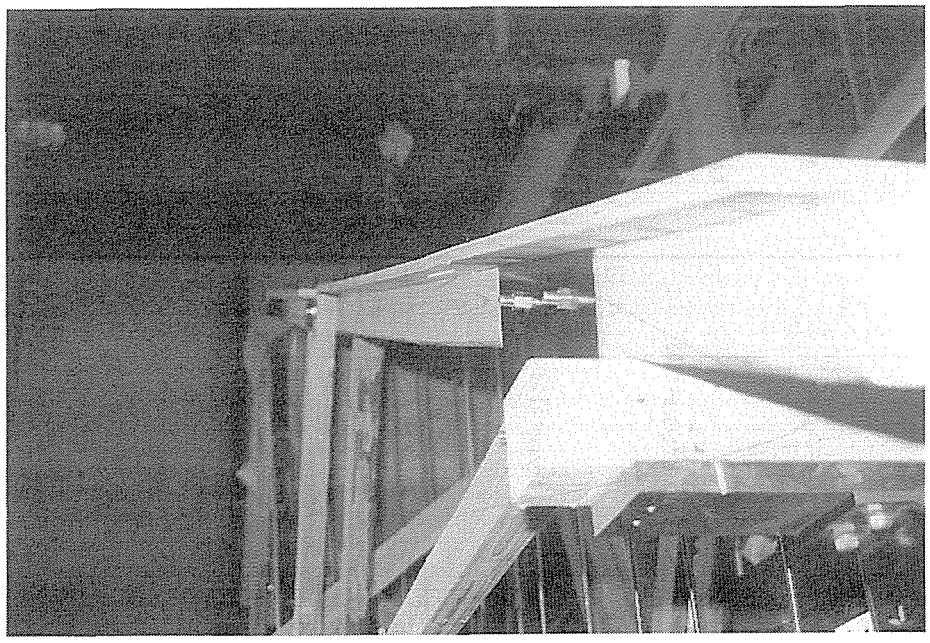


写真４　小屋組トラスの載荷時の変形 供試体 TRS2_3

上弦材および屋根面の変形状態

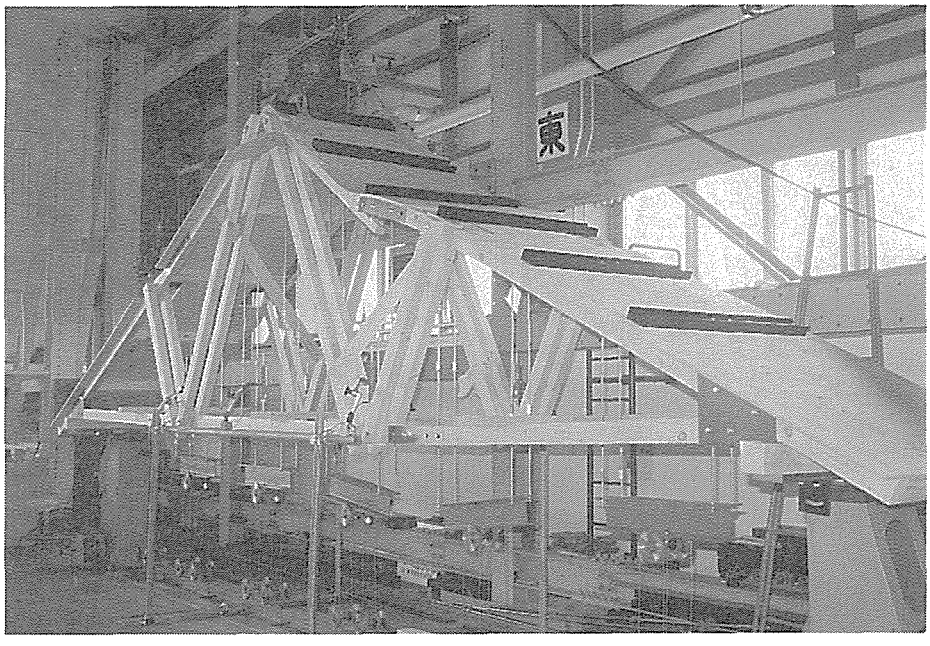


写真５　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS1_1

破壊後のトラス全景

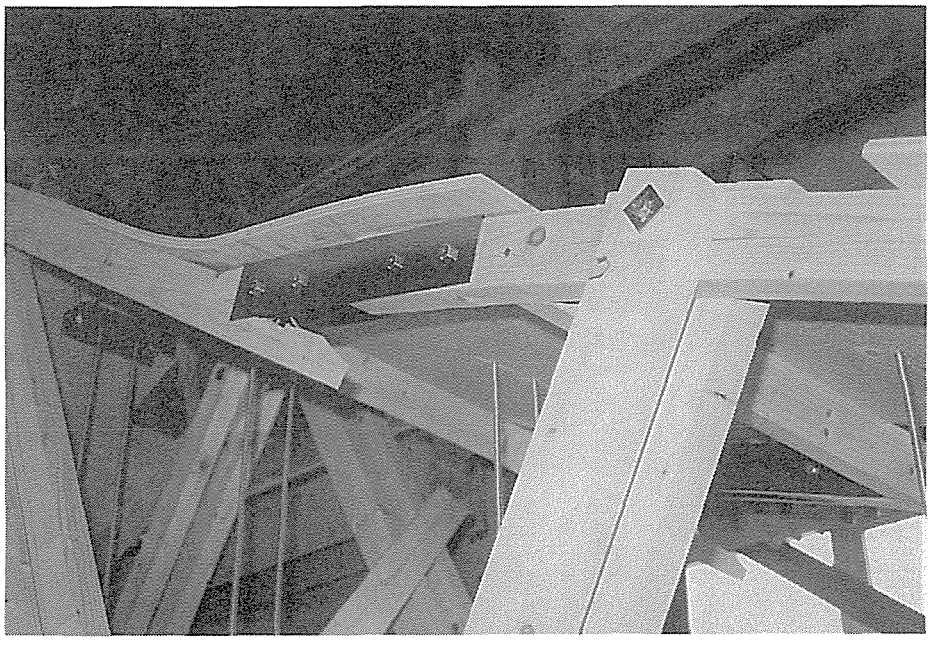


写真６　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS1_1

上弦材継手近接位置の載荷点における破壊

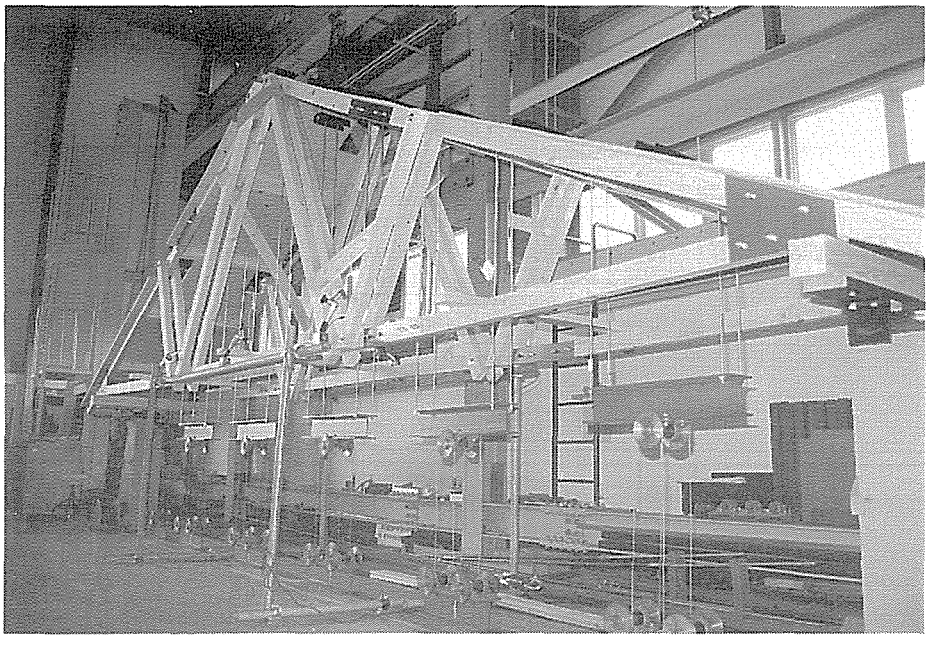


写真７　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS1_2

破壊後のトラス全景

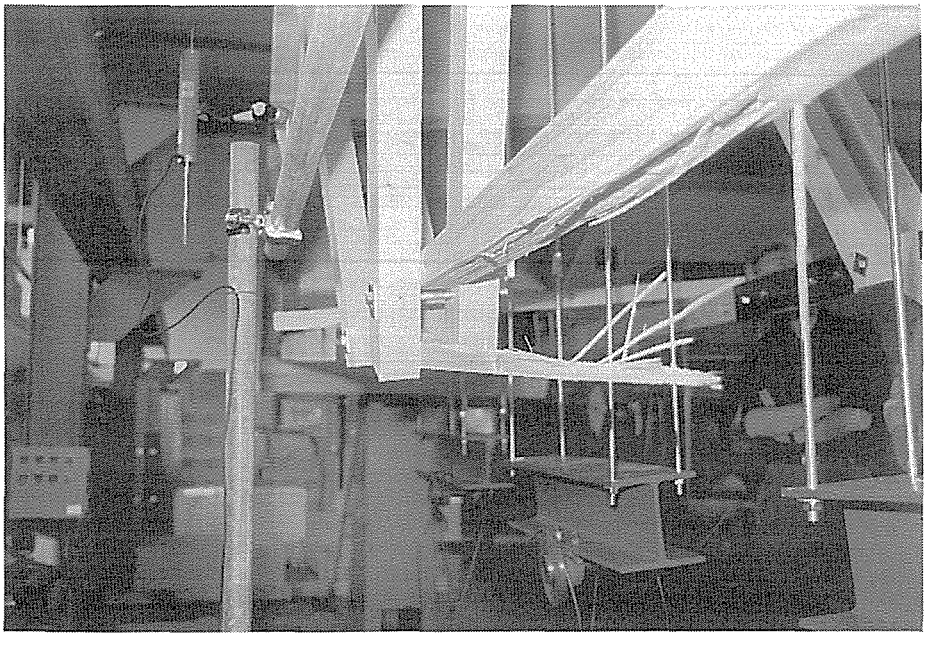


写真８　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS1_2

下弦材節点部における材の引き裂き

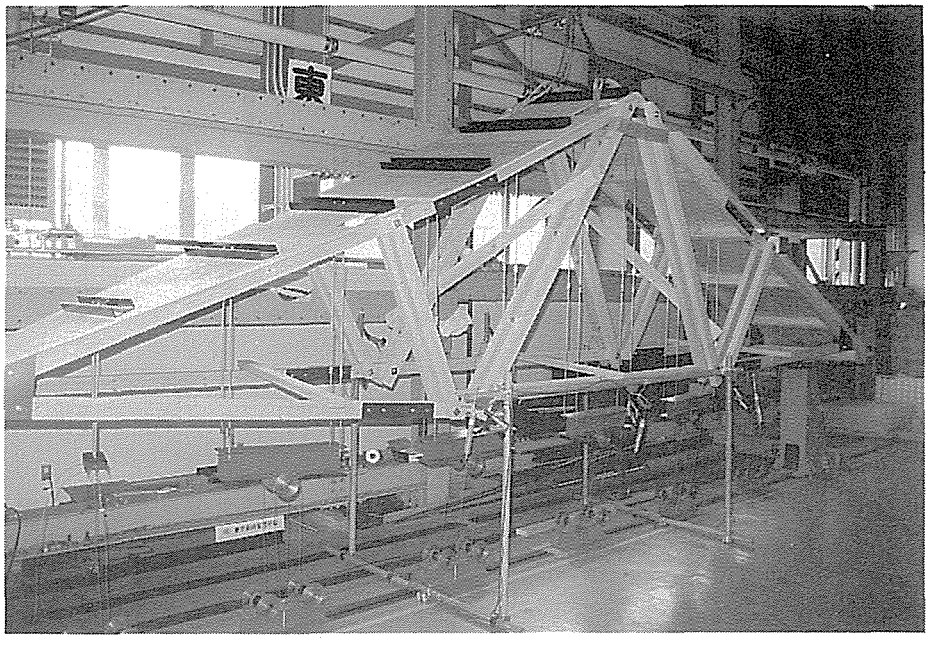


写真 9　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS1_3

破壊後のトラス全景

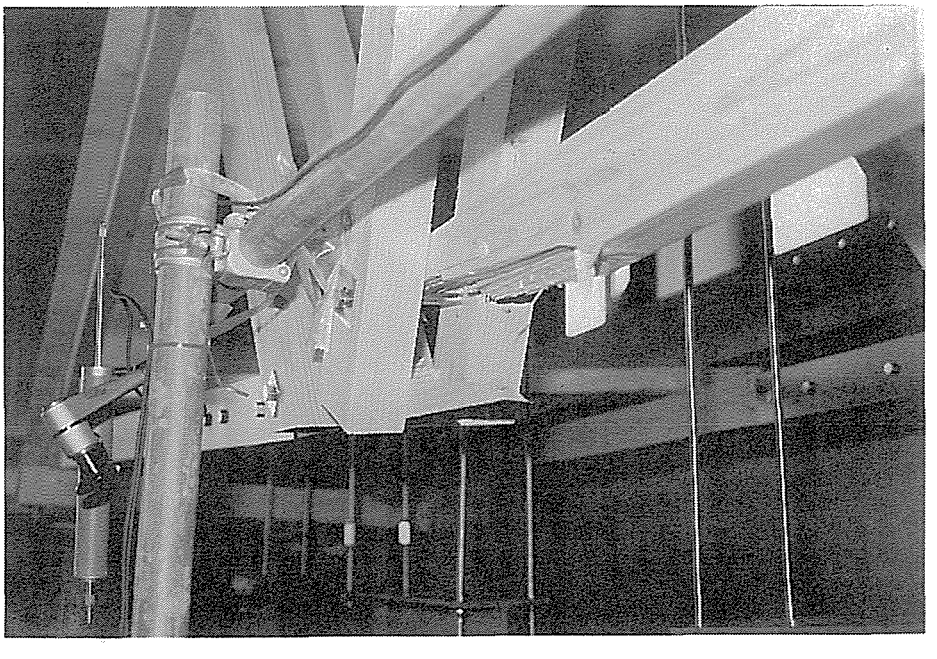


写真 10　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS1_3

下弦材節点部における材の引き裂き

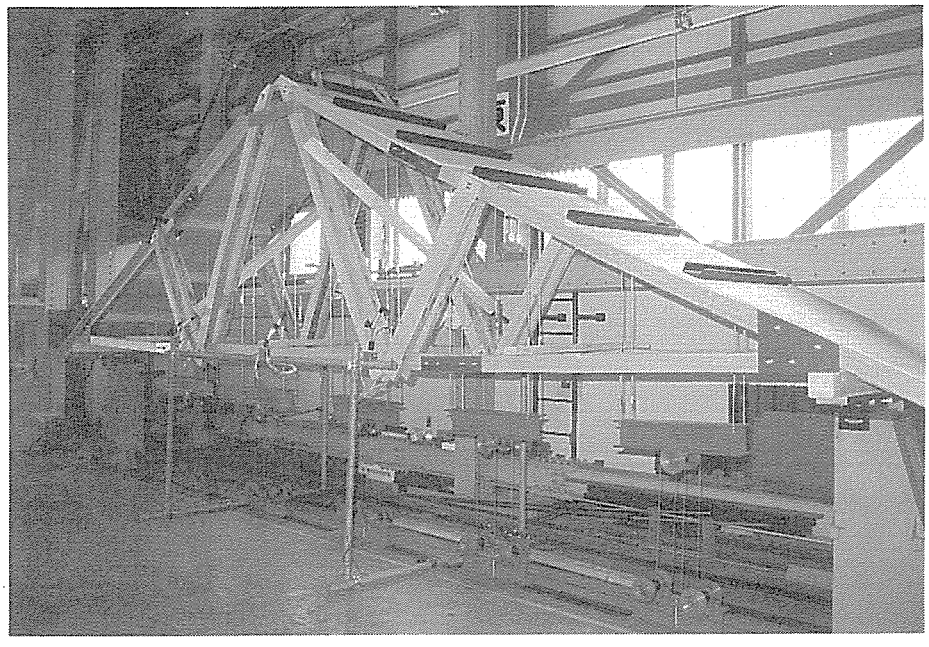


写真 11　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_1

破壊後のトラス全景

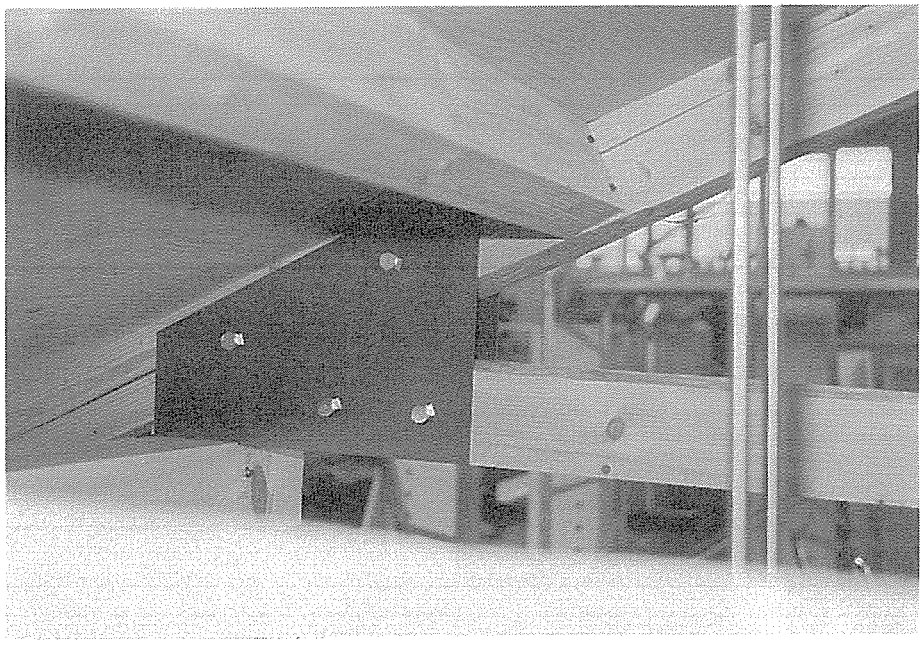


写真 12　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_1

上弦材端部のボルトによる割裂

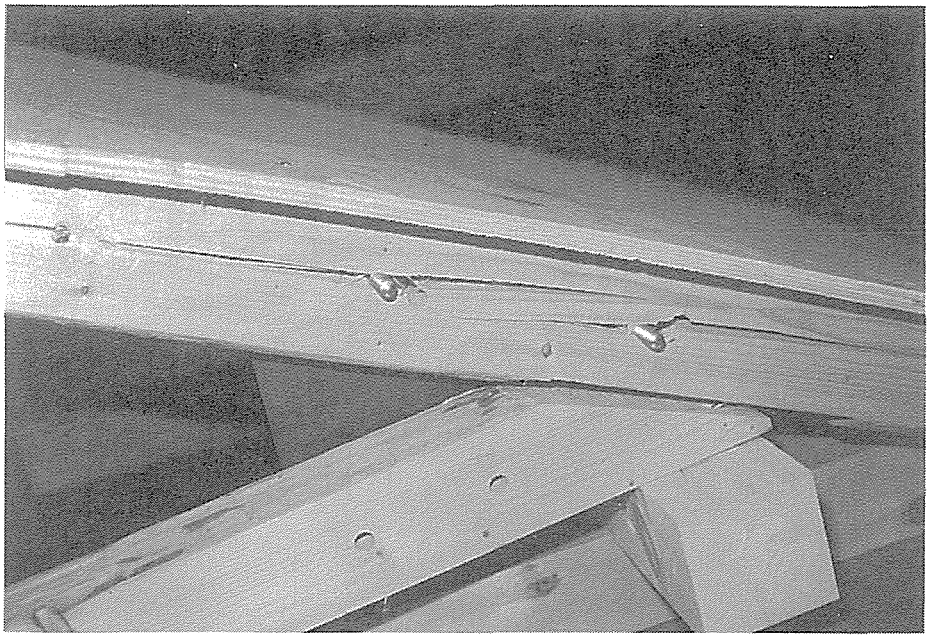


写真 13　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_1

上弦材端部のボルト移動の模様

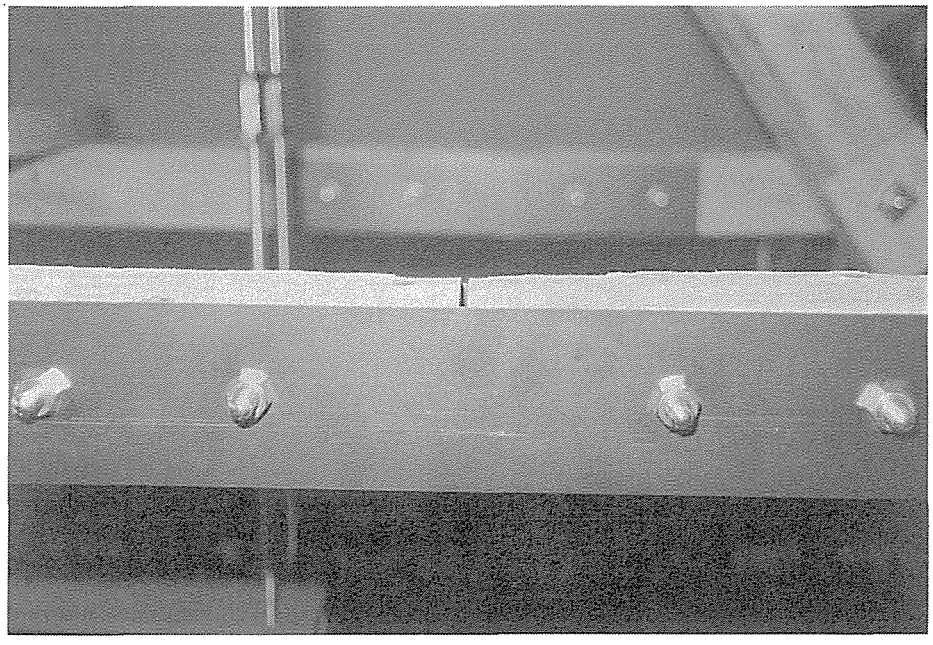


写真 14　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_1

下弦材継手部の変形状態

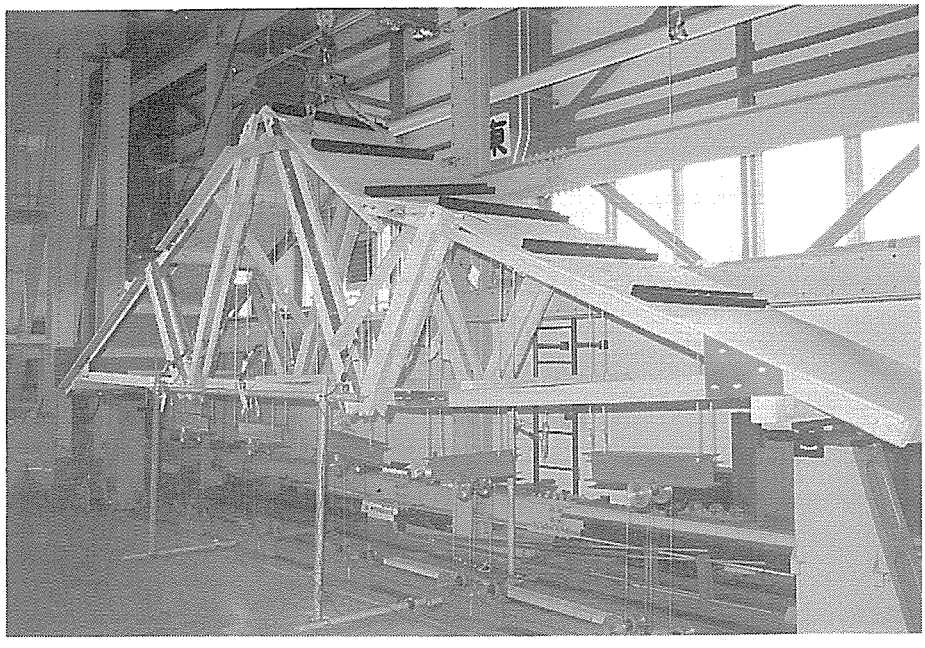


写真 15　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_2

破壊後のトラス全景

写真 16　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_2

上弦材節点における材の割裂（継手部は 2 次破壊）

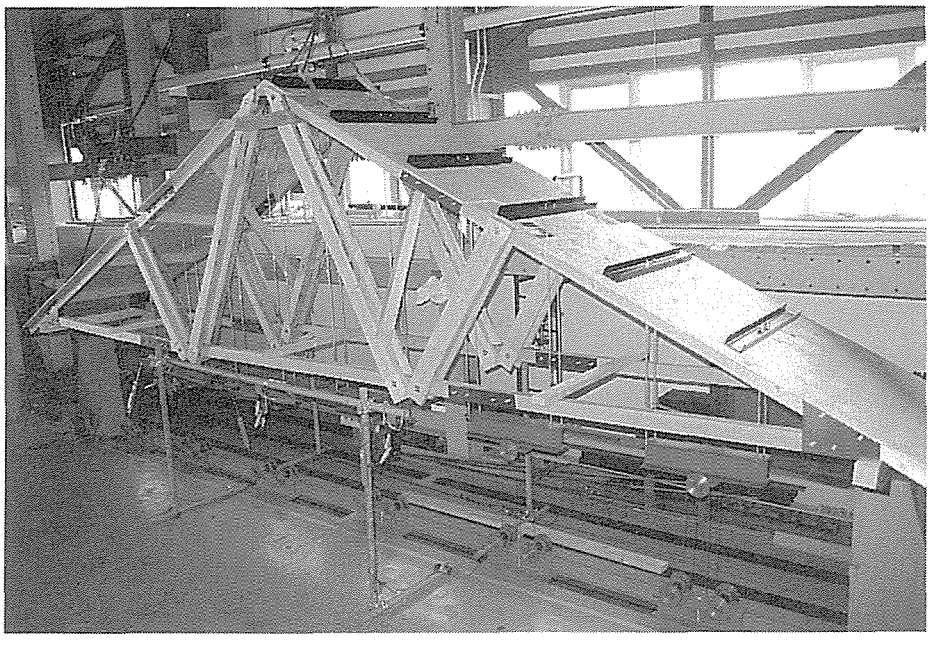


写真 17　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_3

破壊後のトラス全景

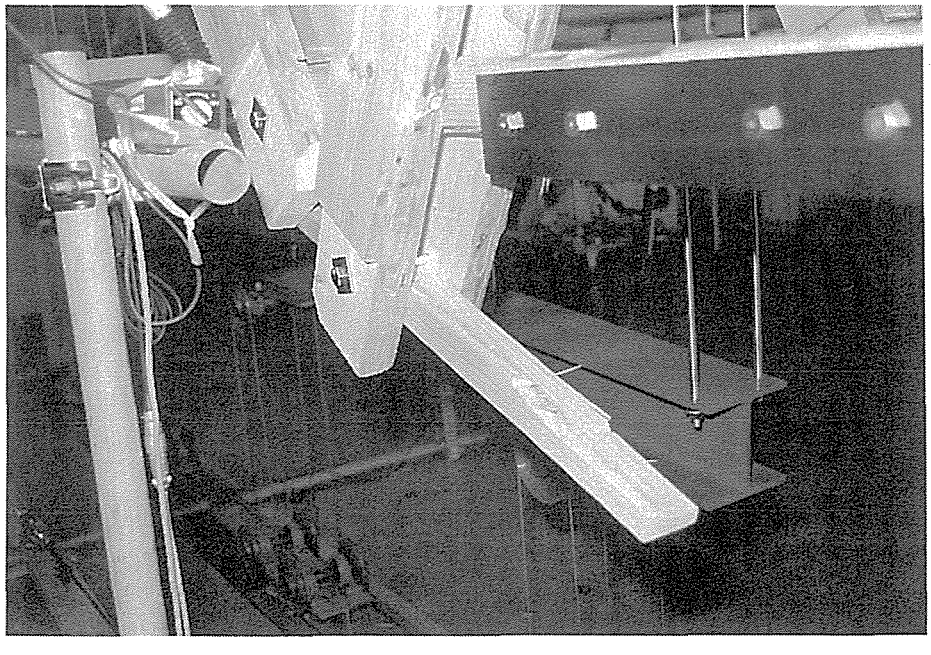


写真 18　小屋組トラスの破壊状況 供試体 TRS2_3

下弦材節点部における材の引き裂き

２章　鋼板添板接合トラスの等分布荷重試験

１．目的

本試験では、スギ間伐材で製作された鋼板添板接合トラスの実大負荷試験を行い、その耐力性能の評価を行うことを目的としている。

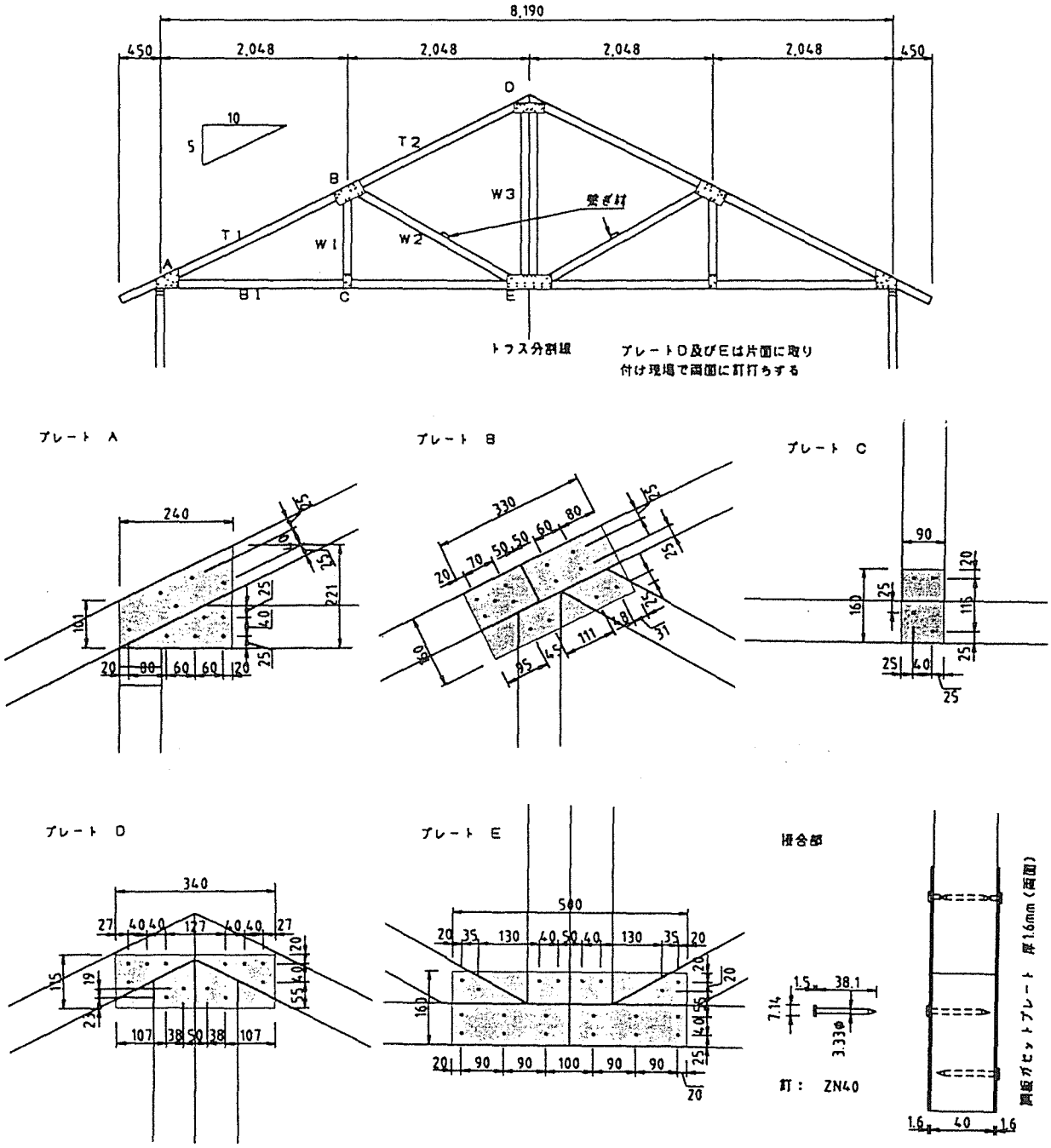
対象としたトラスは、スパン 8.19 ｍの大型トラスであり、設計詳細は「小屋組トラス及び合板ガセットフレームの構造設計業務報告書」（住木センター）に詳細が記載されている。間伐材に限らずスギ材の利用を考える場合、スギ材特有の含水率の高さ、さらには含水率のばらつきが大きいために、在来工法用材では断面が大きいために、この点が乾燥の大きな問題点となっている。したがって 38mm 厚である枠組壁工法用材として利用するならば、乾燥の点で極めて有利なものとなってくる。

また、間伐材の利用として考えるならば、比較的小断面材での利用に制限されてくるが、トラスは小断面材で大きなスパンの設計が可能であることもあり、間伐材等の利用に適していると考えられる。一方、このような住宅用の大型トラスは、大きな空間を作り、内部を自由に間仕切りで構成することによって、住まい方の変化に対応できる、使用面からの耐久性の高い住宅にもつながっていくものと考えられる。

２．トラスの概要

本トラスは、スギ間伐材による枠組壁工法製材で構成されたスパン 8.19 ｍの鋼板添え板接合トラスである。本トラスは、接合部を鋼板（厚さ 1.6mm）とＺＮ釘を使用していること、２分した半トラスを工場で組立て、現場で一体化する形式となってい点に特徴がある。これによって、トラス長さは半分の約４ｍとなり輸送上の問題あるいは輸送コストの低減につながるものと思われる。また、施工は現場での半トラスの結合のみで

とも大きな特徴となっている。また、合板ガセットに比べて、釘の許容せん断力が割り増しされるため、釘の使用本数を低減できる等の利点も有している。トラスの形状を図１に示す。



製材：スギ間伐材、一般地　積雪 30cm、間隔 607mm

設計：Tomoi　Timber　Engineering

図１　鋼板添板トラスの形状

3．試験方法

3.1　等分布荷重試験

従来、トラスの試験では、設計計算が外力を節点負荷に置き換えて軸力のみを扱う形で行うことや、負荷点を増やすのは試験的に難しいこともあり、試験も節点に負荷する形で行われる場合が多い。しかし、現実的な外力は等分布荷重条件で加わるのが通常であることを考えると、より実状に応じた、等分布荷重条件での設計、試験が望ましいと思われる。以前行なわれた等分布荷重試験では、動滑車を利用して行われているが、この方式ではワイヤーの抵抗で負荷にむらが出ることが指摘されている。今回は、等分布荷重の方式として、単純に 11 本のシリンダで同時に負荷する方式（図２）とした。油圧は、電動ポンプから、３分岐、各分岐から連結ホースの先にさらに３分岐、ないし４分岐をとりつけ、シリンダ 11 本に接続された。なお、４本のシリンダは復動シリンダを単動シリンダとして利用しており、他の７本は単動シリンダである。シリンダ直径は同じである。

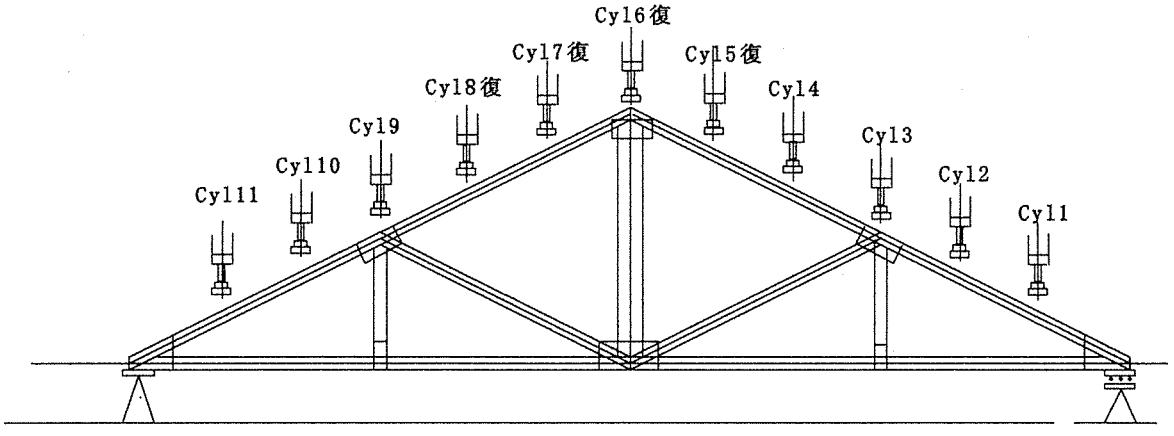


図２　トラス負荷の概要

負荷試験は、横型で行うのが作業性からは望ましいが、試験棟の制約から実大曲げ試験機のレールを利用して、縦型で行うこととした。試験体は、曲げ試験機の支点に置くこととし、シリンダは図３に示す鉄骨フレームにそれぞれ取り付けられており、フレームは実大曲げ試験機の支

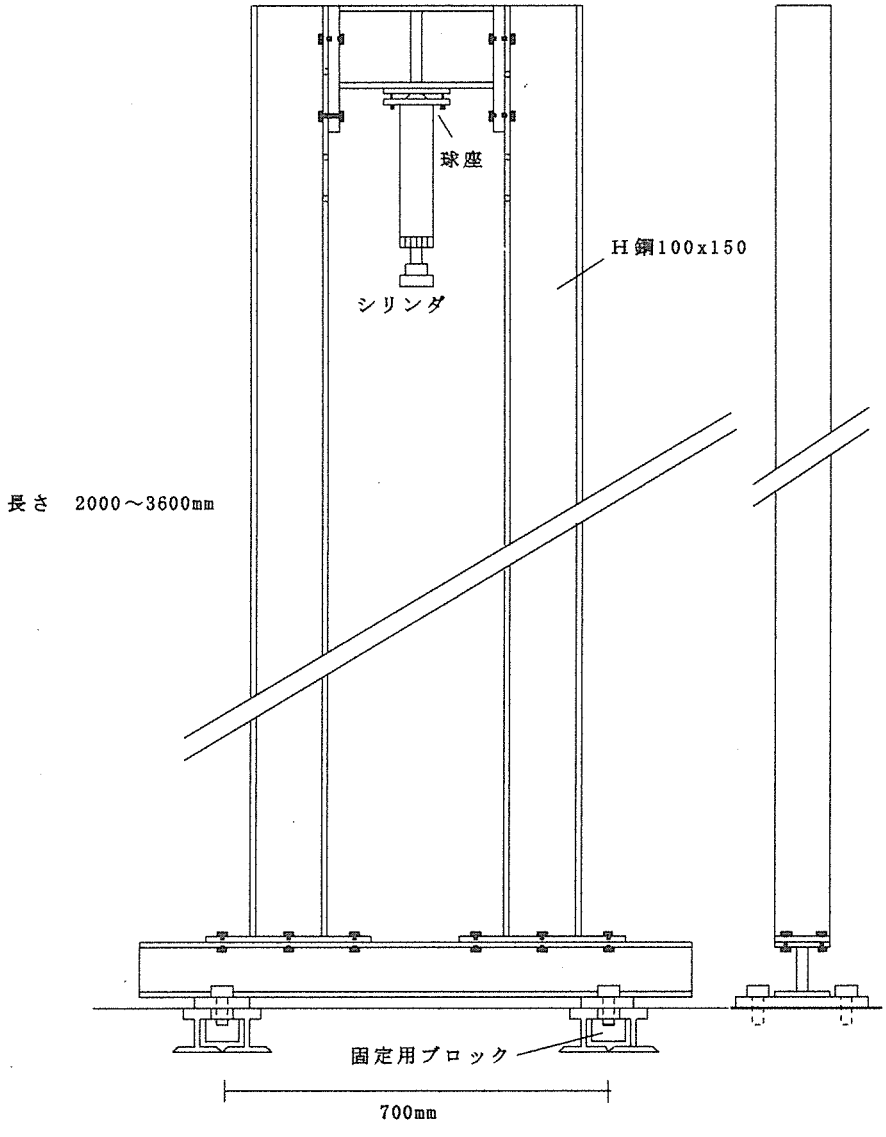


図３　等分布荷重用シリンダ固定フレーム

点レール溝を利用して固定されている。このフレームが 11 体一定間隔で並ぶことになる。フレームはレールにボルトで固定されているのに加えて、横方向にはタイロッドと上下２本の足場パイプで連結固定されており、特に足場による固定を行わなくても、安定度の点では全く問題がなかった。また、足場パイプ間に足場板をわたすことで高所の作業領域も確保された。この実大機のレールにフレームを固定する方式は、対レールになっていなければ固定できないため、一般的に行える方式か制限されよう。また、一般的に実大試験機のレールは圧縮荷重に対しては 50 ト

ン、100トンクラスの荷重で設計されており、基礎内部に鉄骨や鉄筋でを有しコンクリートで固められている。したがって、かなり引張り荷重にも抵抗できるものと予想されるが、基本的には引張り荷重に抵抗するようには設計されていないと考えられる。引張り試験も可能な試験機であっても、通常は中央部の本体フレームから反力をとることになっている。今回は、予想破壊荷重が総荷重でも2トン程度であることから、この程度の引張り荷重には十分抵抗可能と考え実施した。試験機設計者の参考意見を聞くのが望ましいと考えられる。

本フレームの鉄骨はやや薄いのものを使用したため比較的軽量であり、各部材は長いものでも1人で保持、作業することが可能である。

中央部のシリンダ取り付け部材とシリンダ低部は球座のようになっており、取り付けボルトを緩めにしておくことで、ある程度試験材の動きに追随して傾斜することが可能となっている。これによって、シリンダロッドへの横荷重を逃げることとしている。また、シリンダ取り付け部材は縦フレームにボルトで固定されているが、縦フレームには5 cm間隔でボルト穴が開けられており、ほぼ任意の高さにシリンダを固定できる。

トラスへの負荷部は図4のようにトラスに三角形の木製ブロックを木ねじで取り付けることとした。せん断力でブロックが移動する心配もあったため、市販のL型止め金具を取り付けて補強することとした。木製ブロックの上に、鋼板を介してロードセルをおき、中央部に凹部を有する鉄板をロードセルに当て、これをシリンダで負荷することとした。

また、ロードセルは圧縮1トン用のものを6個用いたのみであり、全シリンダの荷重計測を同時には行えなかった。

変位は、各シリンダ（半数6カ所）分と下弦材の3カ所（中央、左右節点）で鉛直方向を測定した。他に、斜材の横座屈、下弦材の接合部変位等を測定した。

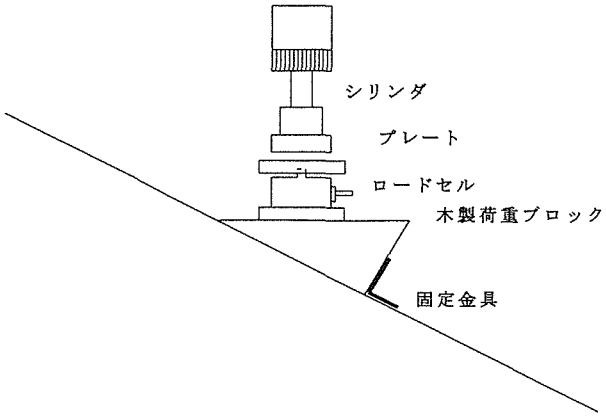


図４　トラスへの荷重部

3.2　試験方法

試験材は、富山県産スギ間伐材の 2x4 寸法材である。乾燥後、38x89mm にプレーナーで仕上げた。使用部材のヤング率を縦振動法で測定したのち、図１に示した寸法のハーフトラスを製作し、負荷装置内で、釘打ちしてトラスを完成した。試験材は６体とし、２体は３節点に負荷、４体は等分布荷重方式で破壊した。なお、一部の試験体では、負荷方法による違いを検討するため、初期荷重（総荷重で 300kg 程度）を節点負荷で加え、除荷後、等分布荷重で破壊まで負荷した。

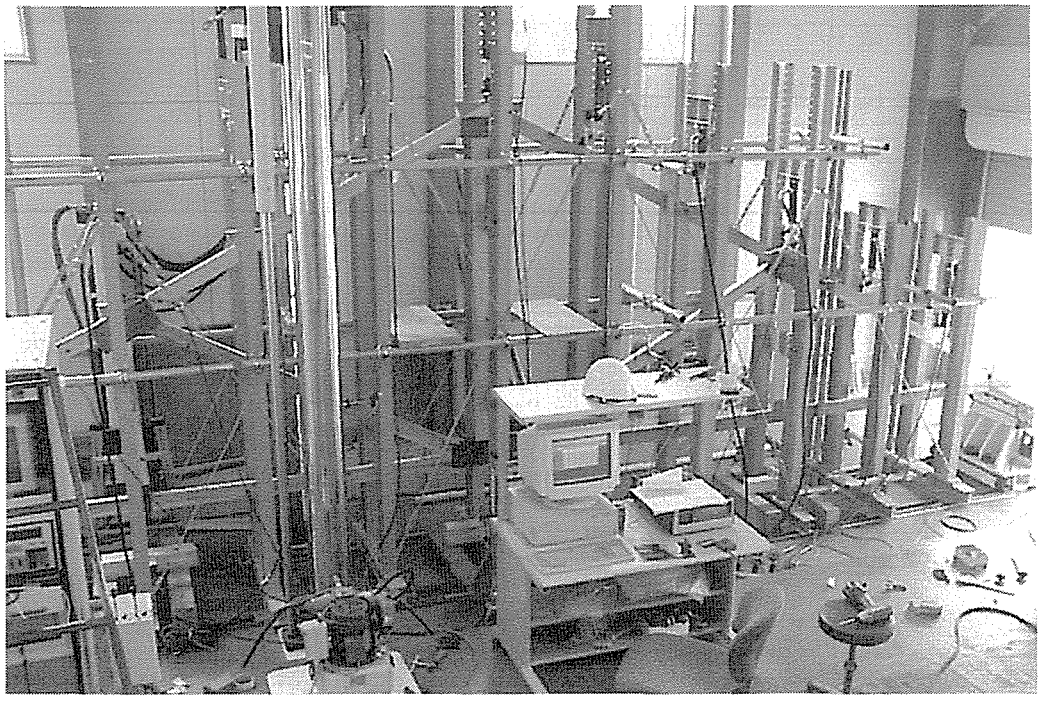


写真１　　等分布荷重装置

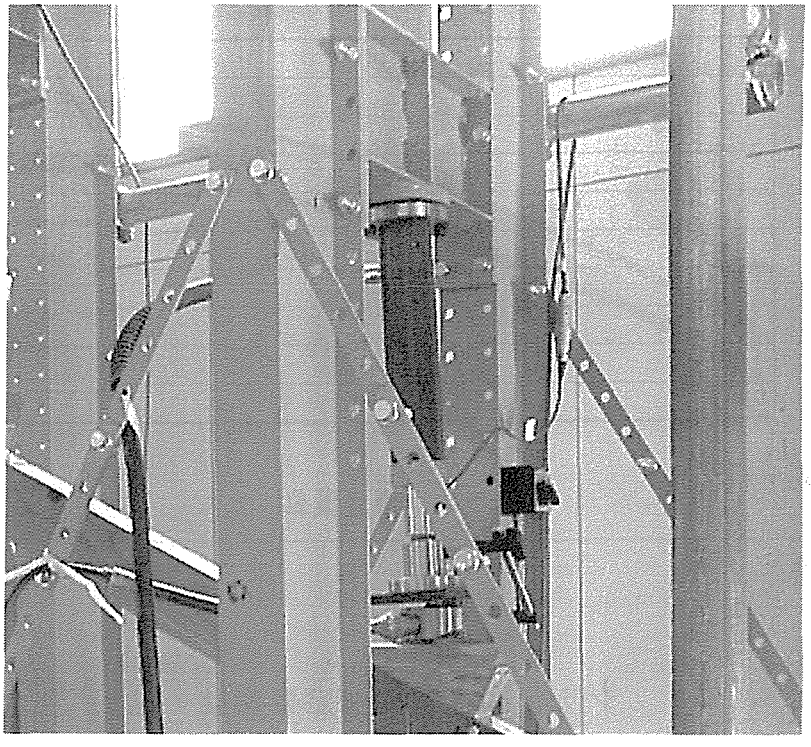


写真２　　等分布荷重装置負荷部

４．試験結果

4.1　等分布荷重装置の状況

試験体の交換に際しては、試験体高さの関係から荷重フレームの一部（３体）のシリンダーを取り外す必要がある。当初の設計では、片面のフレーム柱を相当数とり外して試験体をセットする予定であったが、シリンダーの取り外しが簡便と思われる。

試験体の横倒れ防止について、当初４カ所に押さえローラーをセットしていたが、直接荷重を受ける上弦材の接点間で横座屈が発生したため、急遽、パイプをあてがって抑えとした。ローラーではないため、抵抗力は発生するが、点接点となるためさほど大きな摩擦力とはならないと思われる。なお、実際のトラス施工では、合板等の屋根下地材で連結されるため、上弦材の横座屈は拘束されると考えられる。

１）荷重の同等性

本装置は等分布荷重の負荷を目的としており、同一油圧源で同一シリンダ径を持つことから、測定される荷重は同一であると考えられた。しかし、ロードセルに得られた値は、必ずしも一致しなかった。図５に荷

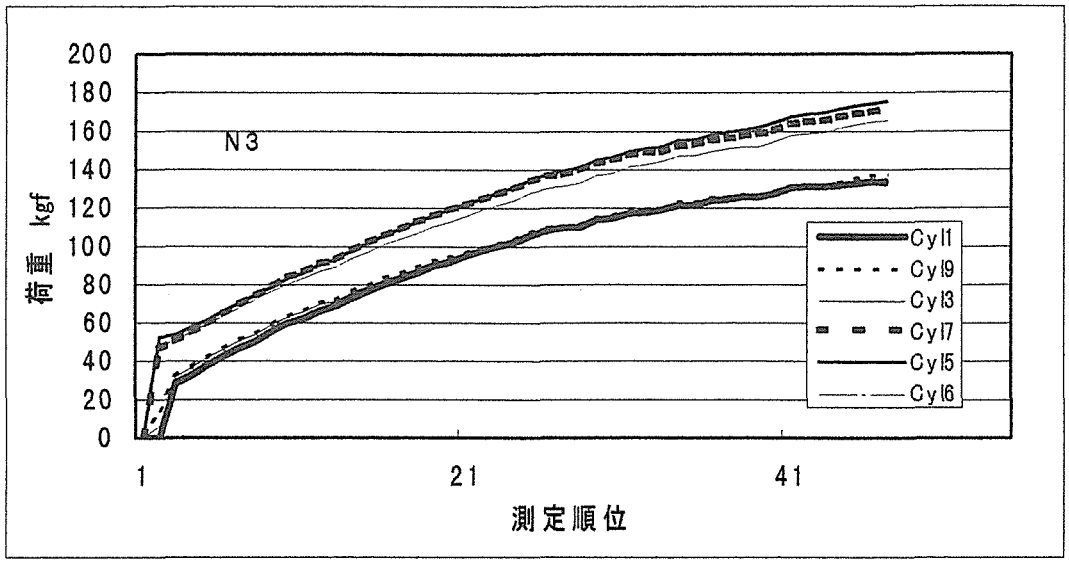


図５　シリンダによる荷重計測値の違い

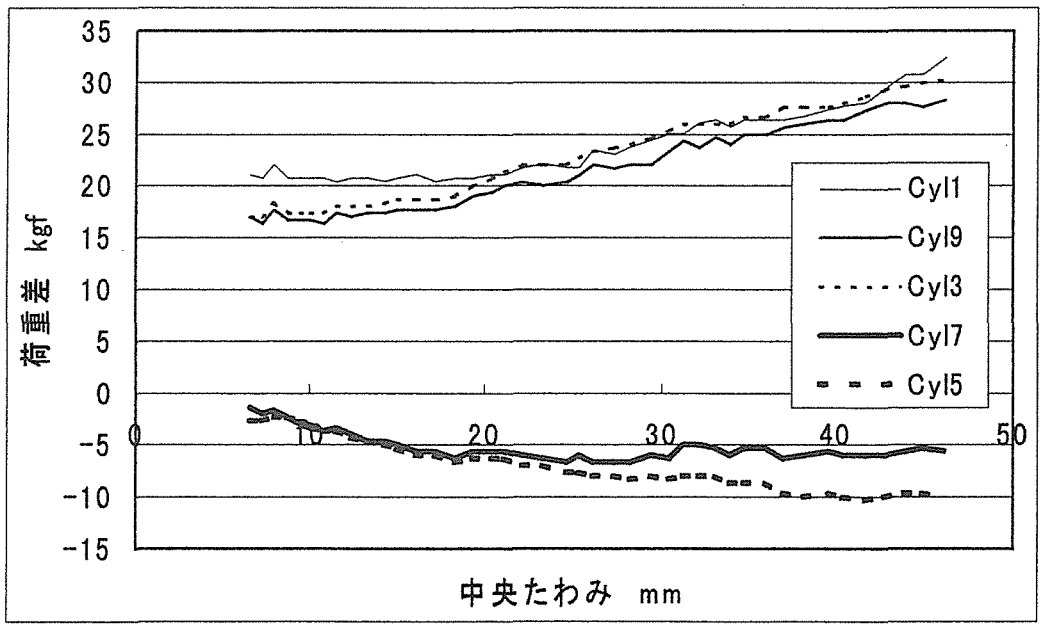


図６　頂部シリンダ（Cyl6）との荷重差

重増加時の各シリンダで測定された荷重を示した。荷重は、シリンダによって一定量の荷重差を示すようである。図６は頂部シリンダ（Cyl ６）とその他のシリンダとの荷重差をトラス中央撓みとの関係で示したものである。図に見られるように、シリンダによって 30kg 程度の差は生じる

ようである。この原因として、一般的にはロードセルに対して多少の偏心を持った負荷となった場合が考えられる。しかし、今回の実験では、他の要因として装置上のことが考えられた。その一つは、復動シリンダと単動シリンダを混在して用いていることがあげられる。図5における Cy5,Cy7 シリンダは復動シリンダであり頂部シリンダ（Cyl6 復動）とほぼ同様の値で最大 10kgf 程度の違いでしかない。この傾向は、他の試験体でも同様であった。したがって、同じ復動シリンダでは、偏心荷重による誤差が生じているのにすぎないようである。Cy1,Cy9,Cy3 シリンダは 15 ～ 30kgf の差を生じており、中央たわみに連動してやや増加する傾向にある。これは、他のシリンダが単動シリンダであり、特に戻りのためのスプリングを内蔵していることが影響しているようである。同一の油圧に対してこのスプリングが抵抗となるため、ロードセルの荷重はスプリングを持たない復動シリンダに比べて小さい荷重となる。全ての単動シリンダで荷重が小さくなっていること、スプリング力がシリンダののびに比例して大きくなることから、中央たわみに対応して荷重差が大きくなっていることもこれによって説明される。

今回の試験体が 11 本のシリンダで総荷重 2 トン以下の荷重で破壊することを考えると、1 本のシリンダ当たり 200kg 以下の荷重となり、30kg 程度の荷重差は、等分布荷重としては問題が残ったと考えられる。

全てのシリンダを復動シリンダで構成することが最も少ない誤差となると考えられるが、シリンダ単価、ホース、分岐等も 2 倍となり価格的な負担が大きくなること、ホース量が 2 倍となり試験装置的には煩雑になる欠点があると考えられる。単動シリンダでは、もちろんスプリングバックの無い物も考えられるが、除荷時の戻しを考えると大変であることから、シリンダ伸びを同程度になるようにしてセットすることで荷重誤差を小さくすることが可能と思われる。もちろん、可能な限りロードセルにより荷重を計測するのが望ましいと思われる。

4.2 トラスの最大耐力

トラスの荷重－中央撓み曲線を図 7 に、結果を表 1 に示す。等分布荷重条件での最大荷重は N1 試験体を除き 1700kg 近くで、比較的ばらつきが小さい。N1 試験体では、上弦材の横座屈が発生して試験を中断した後、

横変形を拘束して再試験したものであり、最初の試験の影響を受けていることが考えられる。

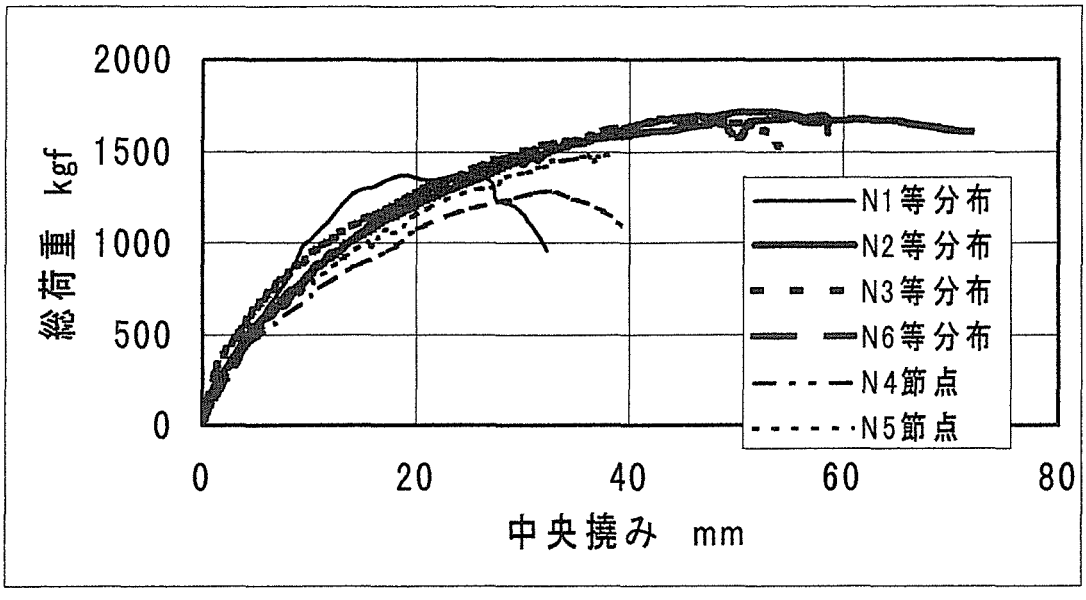


図 7　トラスの荷重－中央たわみ曲線

表 1　トラスの破壊荷重

	試験体	最大荷重 kg	10mm 時荷重 kg	破壊形態
等分布	N1	1380	1009	合掌尻でのせん断
	N2	1719	838	〃
	N3	1684	945	〃
	N6	1687	821	〃
節点	N4	1283	705	合掌尻、下弦材の引張り
	N5	1487	766	〃

* N1 試験体は、一度 1300kg 近くで横座屈を起こし、再度横を拘束して試験

本トラスの設計荷重は、

トラススパン：8.19 m　　トラス間隔：607mm

使用樹種　：スギ（38x89mm）　地域　：一般地　積雪 30cm

屋根勾配　：5 ／ 10　　屋根材　：彩色石綿板

固定荷重

石綿板、構造用合板、釘受け材等　　37kg／m^2

水平面換算　Ws ＝ 37xcos θ x0.607 ＝ 25.1kg／m（等分布荷重）

トラス自重　12kgf／m

積雪荷重

積雪深　　30cm

積雪荷重　ws ＝ 2x30x0.607 ＝ 36.4kgf／m

トラスへの鉛直総荷重は、固定荷重と積雪荷重の場合は

G＋S＝（25.1+36.4+12）x8.19 ＝ 602kg　　となる

これらの荷重に対して、新たに導入された荷重継続時間を考慮した設計許容応力度を超えないことを設計で確認している。寸法調整係数、システム係数が１である今回の条件では

固定荷重G　**≦1.1x長期許容応力度**

固定＋雪（一般地）≦1.55x長期許容応力度

の条件となる。部材応力を計算すると、固定＋積雪荷重時の上弦材下部での曲げを伴う圧縮で最大の応力となり許容値の 91 %の応力となっている。

本試験の結果は、もちろんこの設計荷重 602kg での破壊はなく、最低でも設計荷重の 2.3 倍の強度性能を保持していた。中間期荷重調整は、荷重期間を考慮した長期許容応力の調整であり、実験のような短期荷重の試験と意味合いは異なるが、許容応力の誘導からみると、従来では長期許容設計荷重の３倍（短期の 1.5 倍）が一つの判断基準となっていたことから、今回の中間荷重に対しては設計荷重の３／ 1.55 ＝ 1.935 倍を超えることが一つの目安になるかと考えられる。その点では、今回の試験結果からは、トラスは設計荷重に対して十分な耐力を有していると考えられる。

また、設計時に危惧された、細長比が大きい斜材の座屈については、試験時に拘束することなく、節点中央部での横座屈の様子を測定した。結果を図８に示すが、斜材の座屈が必ずしも発生するわけではなく、

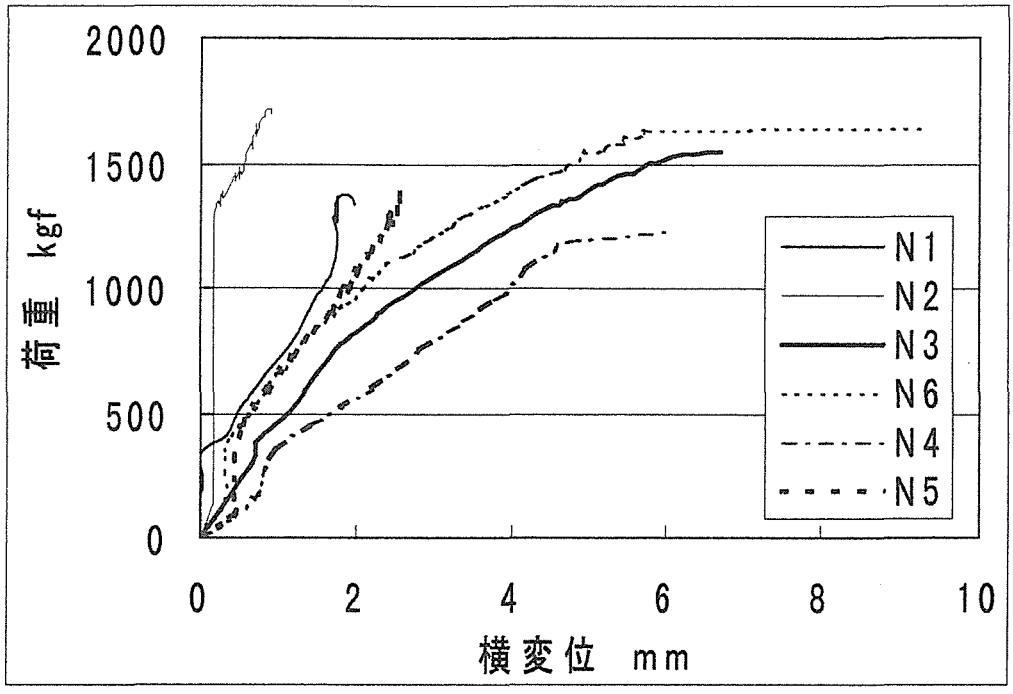


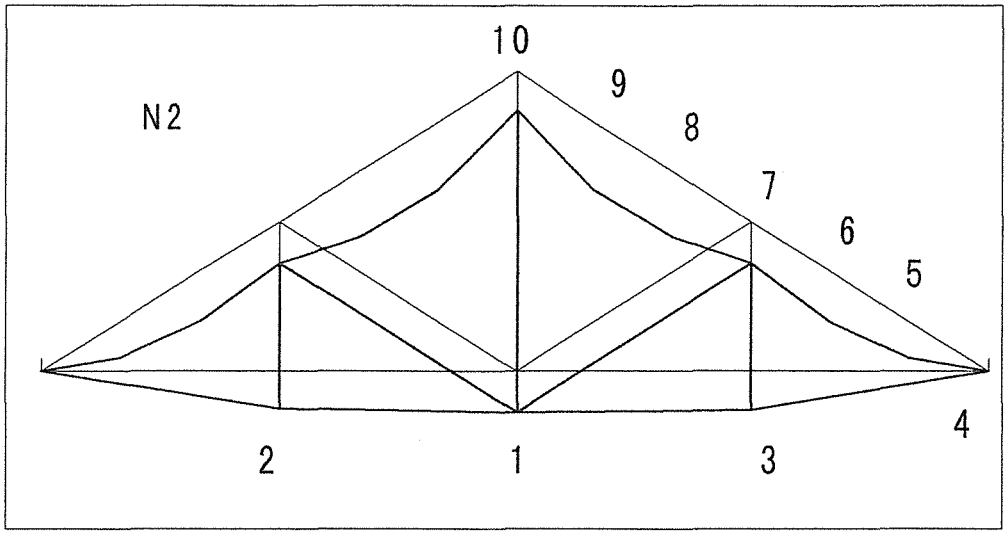
図８　斜材の座屈変形

また発生しても最大荷重時近くでも５ mm程度の極めて小さい値である。雲筋違い等の受け材で十分対応できる程度のものと考えられる。

4.3 トラスの変形

固定荷重と積雪荷重による設計荷重時（総荷重 602kgf）の各トラス部位の変形量を表２に示す。等分布荷重時の中央部で平均 5.2mm であり、スパン（8.19 m）の 1/300 とした場合の許容たわみは 27.3mm であることから、若干のクリープが起きたとしても全く問題のない量と思われる。ただ、設計計算での予想たわみは 3.5mm に比べるとやや大きな値となった。

今回の実験では、等分布荷重の設計に対して、実験的にも等分布荷重を負荷することを目的とした。等分布荷重、節点荷重下でのトラスの変形図を図９に示す。等分布荷重条件では上弦材の節点間での曲げ変形が加わるため、計測点の中では頂点に近い荷重点直下の鉛直移動量が最も大きく中央たわみの 1.6 倍以上に達している。また下弦材の節点はほぼ同程度の撓み量となった。節点荷重の場合は、曲げ変形が無いため、節点の鉛直移動のみの変形となる。同一荷重での変形量は、節点荷重のほ



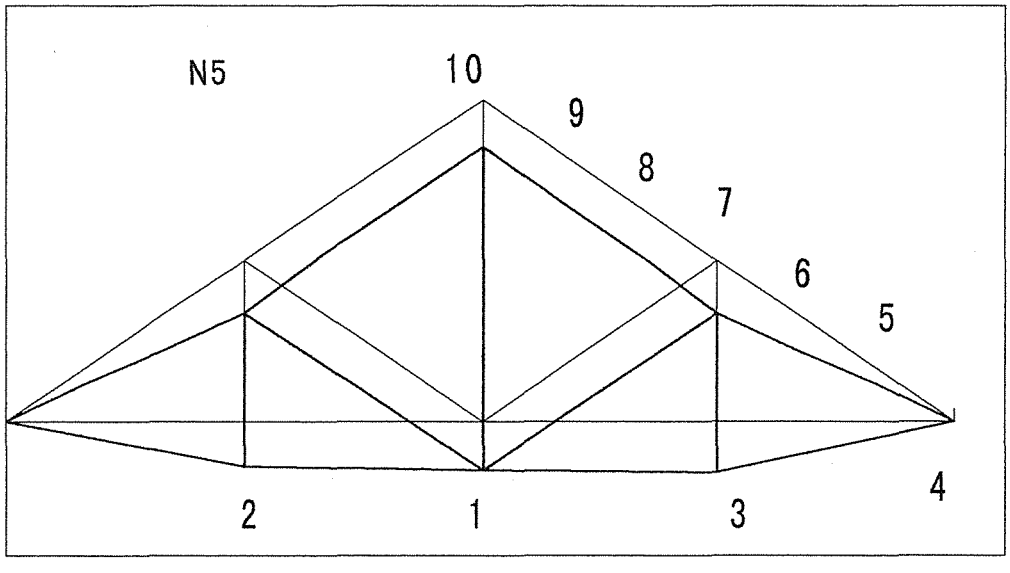


図９　等分布荷重、節点荷重によるトラスの変形

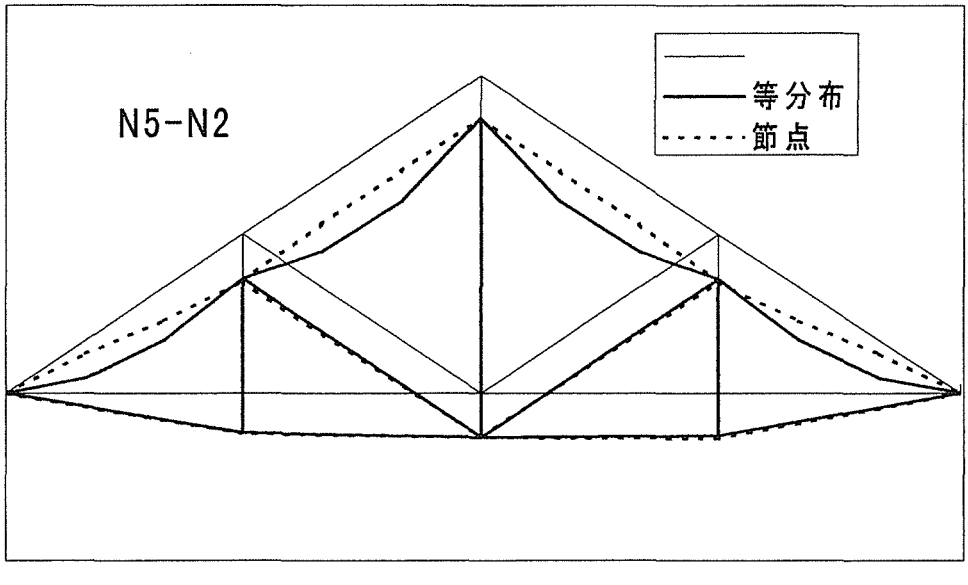
うが大きく、また図７の荷重変形曲線をみても最大耐力がやや小さい傾向にある。等分布荷重条件では、部材の曲げ変形が加わるため、節点負荷よりも変形量が大きめになるかと思われたが、この点は部材による誤差なのか、より詳細な検討が必要と考えられる。中央部の変形を同一量

表２　トラスの変形

設計総鉛直荷重 580kgf 時の各点の撓み　ｍｍ

		下弦中央			支点			節点			頂点
節点番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
等	N1	5.2	4.9	5.4	0	5.0	7.3	5.6	8.3	8.7	5.1
分	N2	5.7	5.0	5.5	0	4.9	6.9	5.7	9.1	9.4	5.5
布	N3	4.1	3.2	4.7	0	3.3	5.0	4.2	7.0	7.2	4.3
	N6	5.7	5.5	6.0	0	6.0	8.4	5.7	8.8	8.6	6.0
節	N4	7.3	6.6	7.4	0	1.6	4.7	7.3	5.6	5.2	7.4
点	N5	6.3	5.7	6.5	0	1.9	4.7	6.8	6.2	6.1	6.1

にそろえて、変形形状のみを比較すると（図 10）、各節点の位置は、両荷重法でほとんど変わっておらず、節点間の部材の曲げ変形のみが、異なるのみであった。



＊中央撓みを同一にした

図 10　荷重法によるトラス変形形状の違い

破壊形態は、等分布荷重では表１に示すように合掌尻のせん断での破壊が中心だが、節点負荷の場合は写真３のように同時に下弦材接合部の引っ張り変形が顕著に現れてくる。おそらく、等分布荷重時には節間における曲げ変形が影響し、合掌尻の破壊を助長しているものと思われる。

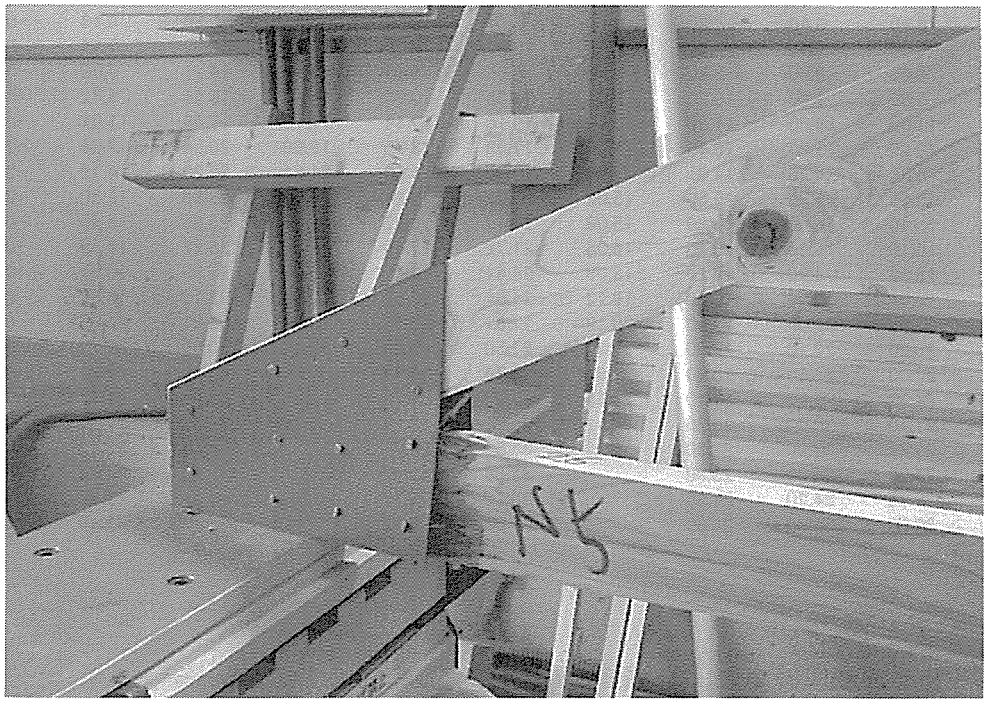


写真３　　下弦材接合部の引張り破壊

５．おわりに

本実験で製作されたスギ間伐材を用いたトラスは、強度、剛性面で十分な性能を有している。また、実験で扱った範囲においても、半トラスであることから運送面はもちろん、１人でも扱える重量であり、実際の施工時にも軽量で扱いやすい特徴が活かされてくるものと思われる。また、等分布荷重試験の方法として、多数のシリンダによる負荷実験を行ったが、反省点も見られたが、基本的な手法としては十分実用に耐えられるものと思われる。

付表　荷重ー節点鉛直変位　試験体 N1　　変位 mm

総荷重 P kg	節点1 S1	節点3 S3	節点2 S2	点5 Cyl1-S4	点6 Cyl2-S5	節点7 Cyl3-S6	点8 Cyl4-S7	点9 Cyl5-S8	節点10 Cyl6-S9	斜材座屈 S10	斜材座屈 S11
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
166	0.90	0.90	0.40	0.65	1.12	1.18	2.13	2.59	1.00	-0.02	-0.01
218	1.70	1.60	1.80	1.11	1.94	1.89	3.08	3.51	1.56	0.00	-0.03
341	2.30	2.20	2.60	2.48	3.70	2.92	4.59	4.97	2.42	-0.01	-0.01
407	3.00	3.10	3.40	3.32	4.84	3.68	5.62	5.97	3.12	-0.02	-0.32
537	4.50	4.30	5.00	4.62	6.68	5.06	7.61	7.97	4.60	-0.01	-0.54
594	5.40	5.10	5.60	5.17	7.50	5.73	8.58	8.90	5.24	0.00	-0.72
715	6.90	6.40	7.20	6.41	9.21	6.95	10.38	10.80	6.46	-0.03	-1.00
818	8.00	7.40	8.40	7.45	10.60	8.02	12.00	12.52	7.52	0.00	-1.26
978	9.30	8.80	9.80	8.96	12.55	9.43	14.10	14.71	9.00	-0.02	-1.52
1008	9.80	9.20	10.20	9.57	13.35	10.08	15.11	15.84	9.72	-0.02	-1.59
1108	11.60	10.50	11.80	10.95	15.10	11.44	17.10	17.89	11.04	-0.04	-1.72
1218	13.20	11.80	13.40	12.76	17.39	13.35	19.68	20.54	12.94	-0.01	-1.74
1279	14.30	14.20	14.60	13.98	19.02	14.80	21.51	22.39	14.18	-0.02	-1.71
1287	15.30	15.30	15.60	15.02	20.38	16.14	23.03	23.86	15.30	-0.01	-1.75
1265	15.40	14.80	15.80	15.08	20.47	16.32	23.17	23.96	15.40	-0.02	-1.74
1313	16.10	16.60	16.40	16.05	21.72	17.45	24.46	25.22	16.38	-0.02	-1.75
1369	18.50	18.90	18.20	18.08	24.41	20.16	27.39	27.99	18.62	-0.02	-1.74
1302	18.50	19.10	18.20	18.22	24.64	20.57	27.69	28.16	18.82	0.00	-1.72
1343	20.90	22.00	19.80	20.19	27.31	23.35	30.60	30.81	21.00	-0.01	-1.73
1308	20.90	22.10	19.80	20.30	27.50	23.68	30.82	30.95	21.18	-0.03	-1.74
1355	22.60	24.60	20.40	21.91	29.74	25.93		33.10	22.92	0.00	-1.75
1380	24.70	26.90	21.40	23.65	32.29	28.70		35.48	24.92	-0.57	-1.88
1332	27.10	30.00	23.20		35.22	32.16			27.38	-0.58	-1.98
1272	27.30	30.80	23.60		35.57	32.71			27.62	-0.58	-1.99
1238	27.50	31.30	23.80		35.86	33.17			27.84	-0.58	-1.98
1197	29.30	34.20	24.60		38.28	36.27			29.96	-0.59	-1.98
1089	30.90	36.80	24.60		39.98	38.82			31.46	-0.57	-1.89

荷重ー節点鉛直変位　試験体 N4　節点負荷　　変位 mm

総荷重 P kg	節点1 S1	節点3 S3	節点2 S2	点5 Cyl1-S4	点6 Cyl2-S5	節点7 Cyl3-S6	点8 Cyl4-S7	点9 Cyl5-S8	節点10 Cyl6-S9	斜材座屈 S10	斜材座屈 S11
0	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
157	0.60	-0.20	0.80	-0.01	0.39	0.91	0.51	0.29	0.56	0.00	-0.01
316	2.40	1.70	2.60	0.41	1.50	2.63	1.79	1.51	2.46	0.21	-0.01
454	4.50	3.90	4.60	0.80	2.77	4.64	3.35	3.01	4.52	0.75	0.00
600	7.70	7.00	7.80	1.78	5.01	7.70	5.97	5.54	7.90	1.53	-0.01
750	11.00	10.10	10.80	2.81	7.34	10.78	8.79	8.08	11.10	2.15	0.00
868	14.10	13.50	13.80	3.97	9.90	14.01	11.89	10.85	14.36	2.73	0.00
955	17.40	16.80	16.80	5.20	12.57	17.50	15.46	14.02	17.70	3.12	-0.01
1077	20.10	19.50	19.00	6.30	14.85	20.33	18.32	16.56	19.82	3.51	-0.09
1148	22.70	22.50	21.80	7.55	17.29	23.38	21.49	19.41	22.34	3.84	-0.13
1190	25.10	25.40	24.20	8.63	19.47	26.20	24.39	22.02	24.74	4.03	-0.13
1228	27.60	28.10	26.40	9.71	21.60	28.93	27.24	24.59	27.14	5.42	-0.13
1250	29.30	30.30	28.20	10.65	23.47	31.35	29.77	26.86	29.24	20.45	-0.14
1277	31.10	32.10	29.40	11.37	24.88	33.15	31.64	28.54	29.34	12.45	-0.12
1283	33.00	34.30	31.00	12.20	26.60	35.47	34.03	30.66	31.14	18.60	-0.13
1241	34.70	36.90	32.40	13.05	28.39	37.90	35.87	32.89	32.98	18.58	-0.12
1199	36.90	39.70	33.80	13.94	30.44	40.93	35.87	35.55	35.10	18.48	-0.14
1083	39.60	44.00	34.80	15.21	33.12	45.03	35.87	39.13	37.52	17.95	-0.07

付表　荷重ー節点鉛直変位　試験体 N2　　変位 mm

総荷重 P kg	節点1 S1	節点3 S3	節点2 S2	点5 Cyl1-S4	点6 Cyl2-S5	節点7 Cyl3-S6	点8 Cyl4-S7	点9 Cyl5-S8	節点10 Cyl6-S9	斜材座屈 S10	斜材座屈 S11
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
122	0.30	0.00	0.40	0.08	0.25	0.41	0.80	1.14	0.18	-0.01	0.15
224	1.10	0.40	1.00	0.86	1.32	1.27	2.51	2.83	1.02	-0.02	0.16
252	1.50	0.80	1.20	1.27	1.78	1.49	2.84	3.15	1.22	-0.02	0.16
284	1.80	0.80	1.40	1.64	2.25	1.78	3.28	3.57	1.50	-0.03	0.16
320	2.20	1.50	2.00	1.96	2.72	2.12	3.82	4.13	1.86	-0.02	0.16
376	2.90	2.30	2.60	2.70	3.76	2.96	5.00	5.27	2.66	-0.01	0.17
444	3.90	3.00	3.60	3.39	4.79	3.87	6.39	6.68	3.68	-0.02	0.17
484	4.40	3.80	4.20	3.80	5.39	4.40	7.18	7.46	4.20	-0.03	0.16
522	5.00	4.10	4.60	4.22	5.96	4.92	7.94	8.21	4.72	-0.02	0.17
560	5.40	4.50	5.20	4.66	6.55	5.45	8.68	8.95	5.20	-0.02	0.17
590	5.80	5.30	5.60	5.02	7.02	5.88	9.31	9.58	5.64	-0.02	0.17
642	6.50	6.00	6.20	5.73	7.96	6.64	10.31	10.56	6.34	-0.02	0.16
675	7.20	6.70	6.80	6.23	8.63	7.25	11.16	11.41	6.94	-0.02	0.17
729	7.90	7.50	7.60	7.01	9.65	8.10	12.29	12.53	7.74	-0.02	0.16
770	8.70	8.20	8.20	7.67	10.51	8.87	13.31	13.55	8.48	-0.02	0.16
763	8.90	8.20	8.20	7.67	10.52	8.94	13.40	13.65	8.54	-0.02	0.16
838	10.00	9.70	9.20	8.72	11.90	10.07	14.92	15.14	9.62	-0.02	0.16
890	10.80	10.50	10.00	9.51	12.93	10.90	16.03	16.25	10.46	-0.02	0.16
940	11.80	11.20	10.80	10.35	14.03	11.85	17.27	17.51	11.42	-0.02	0.16
977	12.80	12.00	11.40	11.00	14.91	12.63	18.27	18.53	12.22	-0.02	0.17
960	12.90	12.30	11.60	11.01	14.92	12.73	18.38	18.68	12.34	-0.02	0.17
1011	13.60	12.80	12.20	11.63	15.78	13.41	19.26	19.56	13.04	-0.02	0.16
1042	14.30	13.40	12.80	12.19	16.53	14.11	20.15	20.48	13.76	-0.02	0.16
1025	14.30	13.70	12.80	12.20	16.54	14.20	20.24	20.60	13.86	-0.02	0.17
1064	15.00	14.20	13.40	12.68	17.19	14.71	20.91	21.27	14.38	-0.02	0.16
1103	15.70	14.90	14.20	13.34	18.09	15.48	21.89	22.27	15.18	-0.02	0.16
1088	15.70	14.90	14.20	13.34	18.09	15.55	21.95	22.36	15.26	-0.02	0.17
1132	16.40	15.70	14.80	13.90	18.86	16.18	22.74	23.16	15.90	-0.02	0.16
1160	17.20	16.40	15.40	14.58	19.73	16.98	23.75	24.20	16.74	-0.02	0.16
1199	18.20	17.20	16.20	15.17	20.55	17.71	24.67	25.15	17.50	-0.02	0.16
1173	18.20	17.10	16.20	15.17	20.55	17.81	24.87	25.46	17.94	-0.02	0.16
1218	19.20	17.90	17.00	15.83	21.42	18.55	25.70	26.25	18.40	-0.02	0.17
1252	20.00	18.60	17.60	16.39	22.22	19.26	26.61	27.20	19.20	-0.02	0.17
1271	20.70	19.40	18.40	16.88	22.86	19.88	27.39	28.03	19.90	-0.02	0.16
1298	21.40	20.10	19.20	17.55	23.79	20.77	28.49	29.18	20.88	-0.02	0.17
1323	22.40	20.80	20.00	18.17	24.65	21.60	29.50	30.26	21.80	-0.02	0.20
1355	23.50	21.80	21.00	18.91	25.65	22.57	30.71	31.51	22.86	-0.02	0.23
1323	23.60	21.90	21.00	18.91	25.65	22.66	30.76	31.58	22.98	-0.02	0.24
1372	24.60	22.60	22.00	19.56	26.56	23.50	31.83	32.68	23.88	-0.02	0.25
1343	24.90	23.10	22.00	19.57	26.56	23.60	31.89	32.74	24.00	-0.02	0.25
1389	25.70	23.50	22.80	20.18	27.42	24.37	32.87	33.75	24.84	-0.02	0.28
1362	25.70	23.80	23.00	20.18	27.41	24.46	32.92	33.81	24.94	-0.02	0.28
1415	26.40	24.60	24.00	20.92	28.44	25.37	34.09	35.02	25.96	-0.02	0.37
1443	27.80	25.30	24.80	21.56	29.33	26.24	35.14	36.11	26.90	-0.02	0.42
1458	28.50	26.30	25.80	22.20	30.23	27.15	36.24	37.26	27.92	-0.03	0.43
1425	28.90	26.40	26.00	22.20	30.23	27.24	36.28	37.31	28.04	-0.02	0.43
1479	30.00	27.60	27.00	22.92	31.25	28.18	37.48	38.54	29.06	-0.02	0.48
1433	30.00	27.50	27.00	22.93	31.25	28.33	37.54	38.61	29.22	-0.02	0.48
1489	31.00	28.30	28.00	23.54	32.13	29.13	38.58	39.69	30.10	-0.02	0.50
1453	31.40	28.30	28.00	23.55	32.12	29.29	38.89	40.13	30.70	-0.02	0.52
1495	32.10	29.00	28.80	24.10	32.91	29.96	39.57	40.70	31.04	-0.03	0.54
1471	32.10	29.10	29.00	24.10	32.91	30.03	39.59	40.73	31.12	-0.02	0.54
1521	33.20	30.10	30.00	24.79	33.87	30.92	40.74	41.91	32.08	-0.02	0.57
1529	34.20	31.30	31.00	25.49	34.85	31.92	41.94	43.16	33.18	-0.02	0.58
1558	35.60	32.10	32.00	26.13	35.76	32.83	43.06	44.31	34.18	-0.02	0.61
1587	37.10	33.00	33.40	27.05	37.04	34.07	44.58	45.88	35.56	-0.03	0.65
1553	37.10	33.10	33.60	27.06	37.03	34.16	44.60	45.91	35.66	-0.03	0.65
1602	38.10	34.20	34.60	27.78	38.05	35.15	45.84	47.17	36.76	-0.07	0.67
1618	39.20	34.90	35.80	28.43	38.97	36.10	46.96	48.28	37.84	-0.15	0.68
1646	40.60	36.00	37.20	29.30	40.16	37.28	47.42	48.77	39.20	-0.23	0.70
1661	42.00	37.20	38.60	29.98	41.11	38.29	47.42	48.77	40.38	-0.34	0.70
1603	42.00	37.20	38.80	29.98	41.11	38.40	47.42	48.77	40.54	-0.34	0.70
1679	43.40	38.20	40.20	30.90	42.43	39.66	47.42	48.77	41.94	-0.37	0.77
1687	44.90	39.40	41.60	31.69	43.54	40.82	47.42	48.77	43.34	-0.37	0.82
1697	46.30	40.50	43.20	32.49	44.68	42.01	47.42	48.77	44.80	-0.37	0.82
1693	47.70	41.70	44.60	33.04	45.48	42.91	47.42	48.77	45.92	-0.37	0.82
1717	50.50	43.50	47.80	34.54	47.36	45.19	47.42	48.77	48.78	-0.38	0.85
1719	52.10	44.70	49.60	35.33	47.36	46.53	47.42	48.77	50.48	-0.37	0.85

付表 荷重ー節点鉛直変位　試験体 N3　　変位 mm

総荷重 P kg	節点1 S1	節点3 S3	節点2 S2	点5 Cyl1-S4	点6 Cyl2-S5	節点7 Cyl3-S6	点8 Cyl4-S7	点9 Cyl5-S8	節点10 Cyl6-S9	斜材座屈 S10	斜材座屈 S11
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
307	1.20	0.20	1.80	-0.16	0.43	1.23	2.57	2.86	1.34	-0.72	0.23
387	1.90	1.00	2.60	0.81	1.69	2.02	3.72	3.90	2.10	-0.70	0.23
455	2.60	1.80	3.40	1.74	2.91	2.75	4.82	4.95	2.78	-0.45	0.24
507	3.40	2.30	3.80	2.40	3.84	3.34	5.75	5.89	3.38	-0.26	0.24
555	3.90	3.10	4.40	2.96	4.61	3.88	6.55	6.69	3.94	-0.11	0.24
607	4.40	3.40	5.00	3.56	5.46	4.51	7.52	7.65	4.60	0.01	0.22
657	5.10	4.10	5.80	4.17	6.34	5.20	8.53	8.66	5.30	0.11	0.24
700	5.80	4.70	6.40	4.75	7.16	5.89	9.48	9.60	6.00	0.22	0.23
751	6.60	5.30	7.00	5.34	7.99	6.60	10.42	10.51	6.70	0.33	0.24
797	7.30	6.20	7.80	5.92	8.86	7.36	11.41	11.50	7.46	0.50	0.23
828	7.90	6.70	8.20	6.36	9.48	7.94	12.17	12.24	8.08	0.62	0.24
874	8.70	7.50	9.00	7.02	10.42	8.80	13.26	13.30	8.90	0.81	0.24
897	9.40	8.20	9.60	7.39	10.96	9.33	13.91	13.94	9.42	0.88	0.24
947	10.30	9.00	10.40	8.14	12.02	10.32	15.13	15.12	10.40	1.09	0.24
985	11.20	10.00	11.20	8.81	12.98	11.25	16.25	16.22	11.30	1.29	0.23
1026	12.20	10.90	12.20	9.55	14.06	12.30	17.51	17.45	12.28	1.48	0.24
1058	12.90	11.90	13.00	10.24	15.06	13.30	18.67	18.59	13.24	1.63	0.23
1093	14.00	13.00	14.00	11.02	16.20	14.43	20.00	19.87	14.32	1.83	0.23
1131	15.10	14.20	15.00	11.73	17.24	15.47	21.19	21.04	15.30	2.02	0.24
1157	16.20	14.90	15.80	12.46	18.31	16.56	22.43	22.26	16.32	2.16	0.23
1188	17.20	16.00	16.80	13.15	19.33	17.59	23.62	23.43	17.34	2.30	0.24
1219	18.30	17.10	17.60	13.91	20.45	18.73	24.93	24.69	18.42	2.49	0.24
1246	19.00	18.00	18.60	14.56	21.41	19.73	26.09	25.80	19.32	2.62	0.24
1274	20.00	19.40	19.40	15.31	22.51	20.88	27.40	27.06	20.34	2.80	0.24
1315	21.20	20.40	20.60	16.20	23.80	22.20	28.91	28.50	21.56	3.02	0.23
1342	22.50	21.70	21.80	17.13	25.15	23.60	30.52	30.02	22.82	3.23	0.24
1353	23.20	22.50	22.60	17.63	25.90	24.41	31.40	30.86	23.56	3.23	0.24
1367	24.00	23.90	23.40	18.36	26.97	25.56	32.67	32.07	24.58	3.47	0.24
1408	25.20	24.80	24.40	19.20	28.15	26.77	34.07	33.41	25.70	3.66	0.24
1421	26.10	26.10	25.60	19.97	29.26	27.95	35.38	34.65	26.78	3.77	0.24
1453	27.30	27.30	26.40	20.82	30.48	29.19	36.77	35.98	27.92	3.97	0.23
1464	28.30	28.40	27.60	21.66	31.69	30.49	38.20	37.34	29.10	4.15	0.24
1473	29.10	29.10	28.20	22.15	32.42	31.28	38.99	38.13	29.80	4.23	0.24
1505	30.00	30.20	29.00	22.85	33.41	32.29	38.99	39.25	30.78	4.39	0.24
1507	31.00	31.30	29.80	23.41	34.23	33.17	38.99	40.15	31.58	4.46	0.24
1534	31.80	32.20	30.80	24.21	35.37	34.33	38.99	41.41	32.68	4.67	0.24
1543	32.60	33.00	31.60	24.83	36.24	35.25	38.99	42.39	33.54	5.30	0.23
1558	33.90	34.20	32.60	25.53	37.26	36.34	38.99	43.54	34.60	37.84	0.23
1559	34.90	35.70	33.80	26.39	38.50	37.69	38.99	44.96	35.86	37.44	0.28
1583	36.10	36.50	34.80	27.18	39.65	38.90	38.99	46.30	37.04	37.43	0.37
1617	37.50	38.00	36.00	28.03	40.93	40.26	38.99	47.76	38.32	37.43	0.41
1628	38.30	39.00	37.00	28.75	41.98	41.43	38.99	49.00	39.44	37.43	0.44
1628	39.60	40.20	38.00	29.49	43.06	42.65	38.99	50.15	40.60	37.43	0.44
1645	40.70	41.70	39.20	30.32	43.17	42.82	38.99	50.17	41.84	37.43	0.46
1662	41.80	42.60	40.20	31.03	43.17	42.82	38.99	50.17	42.98	37.48	0.48
1677	42.80	43.90	41.40	31.78	43.17	42.82	38.99	50.17	43.50	37.44	0.53
1684	44.10	45.40	42.60	32.58	43.17	42.82	38.99	50.17	44.44	37.43	0.53
1670	44.90	46.10	43.40	33.11	43.17	42.82	38.99	50.17	45.38	37.43	0.55
1664	45.80	46.90	44.20	33.55	43.17	42.82	38.99	50.17	44.90	37.43	0.60
1683	46.80	48.30	45.20	34.40	43.17	42.82	38.99	50.17	46.02	37.43	0.65
1670	48.50	49.90	46.40	35.34	43.17	42.82	38.99	50.17	47.46	37.43	0.68
1661	49.60	51.30	47.20	36.19	43.17	42.82	38.99	50.17	48.70	37.43	0.70
1650	51.00	53.50	48.40	37.29	43.17	42.82	38.99	50.17	50.22	37.43	0.86
1618	52.50	55.10	49.40	38.34	43.17	42.82	38.99	50.17	51.70	37.43	0.93
1499	54.50	58.00	50.40	39.58	43.17	42.82	38.99	50.17	53.60	37.43	0.91
1306	56.30	61.70	51.00	40.42	43.17	42.82	38.99	50.18	55.42	37.43	1.92

付表　荷重ー節点鉛直変位　試験体 N5　節点負荷　　変位 mm

総荷重 P kg	節点1 S1	節点3 S3	節点2 S2	点5 Cyl1-S4	点6 Cyl2-S5	節点7 Cyl3-S6	点8 Cyl4-S7	点9 Cyl5-S8	節点10 Cyl6-S9	斜材座屈 S10	斜材座屈 S11
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
89	0.10	0.00	0.40	0.20	0.39	0.51	0.28	0.21	0.00	0.07	0.03
156	0.70	0.30	1.00	0.46	0.92	1.17	0.80	0.68	0.46	0.06	0.03
320	2.50	1.90	2.60	1.00	2.16	2.86	2.41	2.29	2.26	0.06	0.03
450	4.20	3.80	4.40	1.41	3.29	4.59	4.02	3.94	3.94	0.18	0.03
586	6.40	5.80	6.60	1.95	4.80	6.87	6.27	6.20	6.22	0.51	0.03
732	9.30	8.80	9.40	2.62	6.63	9.69	8.94	8.94	8.96	0.83	0.03
828	11.30	10.70	11.40	3.10	7.88	11.59	10.77	10.81	10.80	1.08	0.04
913	13.10	12.60	13.20	3.72	9.21	13.56	12.69	12.77	12.72	1.32	0.03
1004	15.40	14.80	15.60	4.48	10.79	15.83	14.88	15.03	14.96	1.46	0.04
982	15.70	15.20	15.80	4.61	10.97	16.10	15.15	15.29	15.18	1.52	0.03
1078	17.10	16.70	17.60	5.08	12.10	17.78	16.77	16.96	16.88	1.62	0.03
1055	17.80	17.10	17.80	5.20	12.25	18.01	17.03	17.19	17.08	1.64	0.03
1153	19.80	18.90	20.00	5.83	13.68	20.08	19.06	19.23	19.10	1.81	0.03
1198	21.30	21.20	22.00	6.48	14.97	21.86	20.83	20.96	20.84	1.92	0.04
1239	22.70	22.60	23.60	7.04	16.09	23.40	22.37	22.44	22.34	2.00	0.03
1270	24.20	24.30	25.00	7.51	17.03	24.67	23.63	23.67	23.58	2.04	0.03
1296	25.50	25.60	26.40	8.03	18.03	26.04	25.01	25.00	24.92	2.07	0.03
1258	25.60	25.80	26.40	8.13	18.47	26.96	26.10	26.03	26.04	2.09	0.02
1304	27.00	27.30	28.60	8.72	19.59	28.19	27.19	27.09	27.08	2.16	0.03
1325	27.70	27.90	28.80	8.89	19.70	28.29	27.32	27.19	27.10	2.15	0.03
1299	27.60	27.90	28.80	8.93	19.73	28.32	27.35	27.22	27.10	2.15	0.03
1366	28.50	28.90	29.80	9.26	20.50	29.39	28.42	28.24	28.18	2.18	0.03
1384	29.80	30.10	30.80	9.59	21.18	30.33	29.40	29.16	29.08	2.19	0.03
1342	29.70	30.10	30.80	9.66	21.23	30.38	29.46	29.21	29.10	2.19	0.05
1390	30.50	30.90	31.80	9.90	21.83	31.22	30.32	30.03	29.94	2.19	0.03
1362	30.60	31.00	31.80	9.95	21.86	31.25	30.36	30.06	29.96	2.19	0.03
1417	31.30	31.70	32.80	10.26	22.59	32.24	31.37	31.04	30.98	2.19	0.04
1382	31.40	31.80	32.80	10.32	22.63	32.27	31.43	31.10	30.98	2.19	0.03
1419	32.00	32.30	33.60	10.51	23.11	32.93	32.12	31.75	31.64	2.19	0.03
1455	32.70	33.10	34.40	10.73	23.60	33.60	32.80	32.39	32.32	2.19	0.03
1411	32.70	33.10	34.40	10.79	23.63	33.63	32.86	32.45	32.32	2.19	0.03
1449	33.50	34.00	35.20	11.02	24.22	34.44	33.69	33.25	33.14	2.29	0.03
1457	34.20	34.60	36.00	11.25	24.69	35.09	34.36	33.89	33.80	2.29	0.03
1458	34.80	35.30	36.40	11.41	25.04	35.53	34.85	34.35	34.28	2.29	0.03
1473	35.50	36.10	37.00	11.58	25.48	36.18	35.49	34.97	34.90	2.29	0.22
1477	36.10	36.40	37.80	11.77	25.90	36.77	36.16	35.60	35.54	2.28	1.00
1468	36.30	36.80	38.20	11.90	26.18	37.16	36.60	36.03	35.96	2.29	3.57
1447	36.60	36.80	38.40	11.98	26.28	37.31	36.75	36.18	36.12	2.29	4.05
1472	37.00	37.50	39.00	12.12	26.66	37.84	37.34	36.74	36.70	2.29	5.36
1481	37.70	37.80	39.40	12.25	26.99	38.30	37.84	37.23	37.22	2.29	26.94
1487	38.30	38.30	40.20	12.41	27.35	38.80	38.36	37.77	37.80	2.28	26.97
1452	38.30	38.30	40.20	12.46	27.37	38.81	38.39	37.81	37.82	2.29	26.98

付表 荷重ー節点鉛直変位　試験体 N6　　変位 mm

総荷重 P kg	節点1 S1	節点3 S3	節点2 S2	点5 Cyl1-S4	点6 Cyl2-S5	節点7 Cyl3-S6	点8 Cyl4-S7	点9 Cyl5-S8	節点10 Cyl6-S9	斜材座屈 S10	斜材座屈 S11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
153	1.1	0.3	1.2	0.58	0.9	1.07	1.845	2	1.14	-0.02	-0.47
350	3.2	2.3	3.6	2.07	3.235	2.89	4.41	4.47	3.42	-0.01	-2.05
441	3.9	3.3	4	3.855	5.395	3.76	5.975	5.83	4.04	0.16	-2.04
489	4.6	4	4.8	4.635	6.5	4.445	6.955	6.77	4.66	0.29	-2.21
535	5	4.7	5.2	5.275	7.415	5.055	7.81	7.6	5.26	0.4	-2.41
581	5.7	5.5	6	5.97	8.42	5.765	8.795	8.59	6.02	0.49	-2.67
612	6.4	6	6.6	6.445	9.13	6.285	9.51	9.3	6.56	0.57	-2.87
672	7.8	7.5	7.8	7.56	10.775	7.58	11.225	11.07	7.9	0.77	-3.43
712	8.2	7.8	8.4	8.045	11.445	8.095	11.9	11.75	8.44	0.85	-3.65
747	8.7	8.3	8.8	8.605	12.22	8.69	12.68	12.54	9.06	0.89	-3.91
794	9.6	9.2	9.6	9.37	13.265	9.485	13.68	13.56	9.86	1.02	-4.31
821	10	9.7	10.2	9.85	13.93	10.03	14.35	14.24	10.42	1.12	-4.52
861	10.7	10.4	10.8	10.48	14.83	10.72	15.205	15.11	11.12	1.26	-4.86
892	11.4	11.2	11.4	11.115	15.715	11.415	16.075	15.98	11.82	1.38	-5.16
957	12.8	12.6	12.8	12.425	17.535	12.85	17.855	17.77	13.28	1.64	-5.75
996	13.5	13.4	13.8	13.17	18.605	13.705	18.895	18.8	14.16	1.77	-6.1
1032	14.5	14.1	14.6	13.955	19.685	14.555	19.935	19.85	15.04	1.88	-6.44
1063	15.5	15.2	15.4	14.735	20.77	15.45	21.005	20.92	15.96	1.96	-6.81
1099	16.4	16	16.4	15.58	21.955	16.41	22.165	22.08	16.92	2.07	-7.23
1127	17.1	17.1	17	16.29	22.97	17.245	23.17	23.08	17.8	2.27	-7.5
1149	18.1	17.9	18	17.115	24.14	18.21	24.31	24.21	18.8	2.38	-7.82
1185	19.2	18.9	18.8	17.935	25.305	19.18	25.455	25.34	19.78	2.56	-8.11
1238	21	20.9	20.6	19.515	27.595	21.13	27.715	27.59	21.78	2.83	-8.69
1259	22	21.6	21.4	20.18	28.565	21.97	28.685	28.52	22.66	2.91	-8.9
1288	22.8	22.7	22.4	21.01	29.75	22.97	29.85	29.67	23.7	3.05	-9.25
1333	24.8	24.6	24.2	22.615	32.055	25.005	32.14	31.93	25.78	3.36	-9.93
1353	25.7	25.8	25.2	23.55	33.4	26.175	33.45	33.2	27.1	3.5	-10.17
1386	27	26.8	26.4	24.575	34.865	27.425	34.885	34.59	28.14	3.65	-10.56
1415	28.1	28.3	27.6	25.59	36.325	28.705	36.325	35.97	29.28	3.82	-10.94
1460	30.2	30.5	29.6	27.58	39.19	31.205	38.335	38.6	31.76	4.17	-11.4
1474	31.3	32	30.8	28.62	40.63	32.46	38.335	39.85	32.64	4.29	-11.64
1500	32.3	33	31.8	29.605	42.005	33.61	38.335	41.07	33.68	4.4	-11.84
1517	33.3	34.2	33	30.615	43.415	34.78	38.335	42.28	34.74	4.52	-11.94
1548	35.5	36.6	35.2	32.73	45.025	37.275	38.335	44.89	37.08	4.81	-12.35
1570	36.6	37.9	36.4	33.875	45.025	38.565	38.335	46.23	38.26	4.91	-12.51
1584	39.2	40.9	38.8	36.405	45.025	41.52	38.335	49.2	40.98	5.12	-12.9
1596	40.5	41.9	39.8	37.38	45.025	42.69	38.335	49.7	42.08	5.11	-13.04
1611	42.7	44.6	42.2	39.345	45.025	45.23	38.335	49.7	44.42	5.32	-13.12
1619	44.1	45.6	43.2	40.31	45.02	46.305	38.335	49.7	45.58	5.37	-13.33
1631	44.9	46.9	44	41.145	45.02	46.305	38.335	49.7	46.6	5.44	-13.34
1642	47	49.1	46	42.8	45.025	46.305	38.335	49.7	48.76	15.1	-13.55
1659	48.4	50.2	47.2	43.675	45.02	46.3	38.335	49.7	49.98	32.24	-13.59
1659	51.2	53.1	49.6	45.455	45.02	46.305	38.335	49.7	52.8	32.2	-13.53
1670	52.3	54.2	50.6	46.1	45.02	46.305	38.335	49.7	53.82	32.2	-13.67
1675	53.4	55.4	51.4	46.535	45.025	46.305	38.335	49.71	54.84	32.32	-13.73
1617	53.4	55.8	51.6	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	54.96	32.43	-13.5
1677	54.4	56.5	52.4	46.535	45.025	46.305	38.34	49.7	56	32.45	-13.78
1687	55.5	58	53.4	46.535	45.025	46.305	38.335	49.7	57.12	32.42	-13.91
1655	56.9	59.4	54.4	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	58.44	32.42	-13.79
1670	58.4	60.9	55.6	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	59.88	32.41	-13.86
1624	58.4	60.9	55.8	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	59.98	32.42	-13.65
1669	59.8	62.1	56.8	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	61.06	32.42	-12.84
1677	61	63.5	58	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	62.4	32.42	-8.39
1673	62.6	65.4	59.4	46.535	45.02	46.305	38.335	49.71	63.92	32.42	24.45
1671	63.6	66.4	60.2	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	65.14	32.42	24.46
1669	64.8	67.8	61.4	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	66.46	32.42	24.45
1653	66.3	69.3	62.4	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	67.76	32.42	24.45
1637	68.3	71.3	63.8	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	69.42	32.42	24.45
1619	69.9	73.6	65.4	46.535	45.025	46.305	38.335	49.7	71.36	32.42	24.45
1609	71.9	75.1	66.8	46.535	45.02	46.305	38.335	49.7	72.9	32.42	24.45
1578	73.3	76.8	68	46.535	45.025	46.305	38.335	49.7	74.38	32.42	24.47

3章　ポールコンストラクションの耐力性能把握実験

1.　目的

柱脚埋め込み構法（以下，ポールコンストラクション）は，景観を乱すことなく簡易な基礎工事として有効な構法である。なお，ポールコンストラクションは，地震力や風圧力などの水平荷重に対して地盤に埋め込んだ柱の水平方向支持力によって抵抗する構造であり，その技術的問題点は埋め込み部分の設計にあるとされている。また，ニュージーランドなどの諸国においては，そうしたポールコンストラクションによる建築物が多く建てられているが，日本においては設計基準が確立されていない現状がある。

ポールコンストラクションの耐力性能を明らかにすることにより，建築基準法の性能規定化に向けた国内における簡易基礎工事基準の設定を目的とした。

2.　試験体

使用した柱は，スギ丸太およびH形鋼である。図1に試験体の配置図を示す。今回，実験にH形鋼を採用したのは前回の実験ではスギ丸太のみで行ったため，地盤の支持力を確認する前に丸太が破壊してしまったからである。また，多様な地盤条件と建物の設計条件とに対処できるように柱の地中部分はコンクリートによる根巻き（φ 50,65,80cm）を施した。表1に各試験体の詳細を示す。なお，柱の埋め込み深さは 1.2m とした。また，実際に建設される場合は，コンクリート土間が打設されることが多く，土間の効果が期待できるところから，1m × 1m 土間を設けた場合についても実験を行った。土間は鉄筋を入れず，厚さを 10cm とした。また，地盤と土間との摩擦抵抗が等価になるように，80Kg 級のランマーで締め固めた。試験体の詳細図面等は付録を参照のこと。

表1．各試験体の仕様

	ポール	根巻き(cm)	ボイド型枠	土間	地盤攪乱
No.1	丸太	500	—	—	—
No.2	丸太	650	—	—	—
No.3	丸太	500	○	—	○
No.4	H形鋼	-	—	○	—
No.5	H形鋼	500	—	○	—
No.6	H形鋼	500	○	○	○
No.7	丸太	650	○	—	○
No.8	H形鋼	800	—	—	—
No.9	H形鋼	800	○	—	○

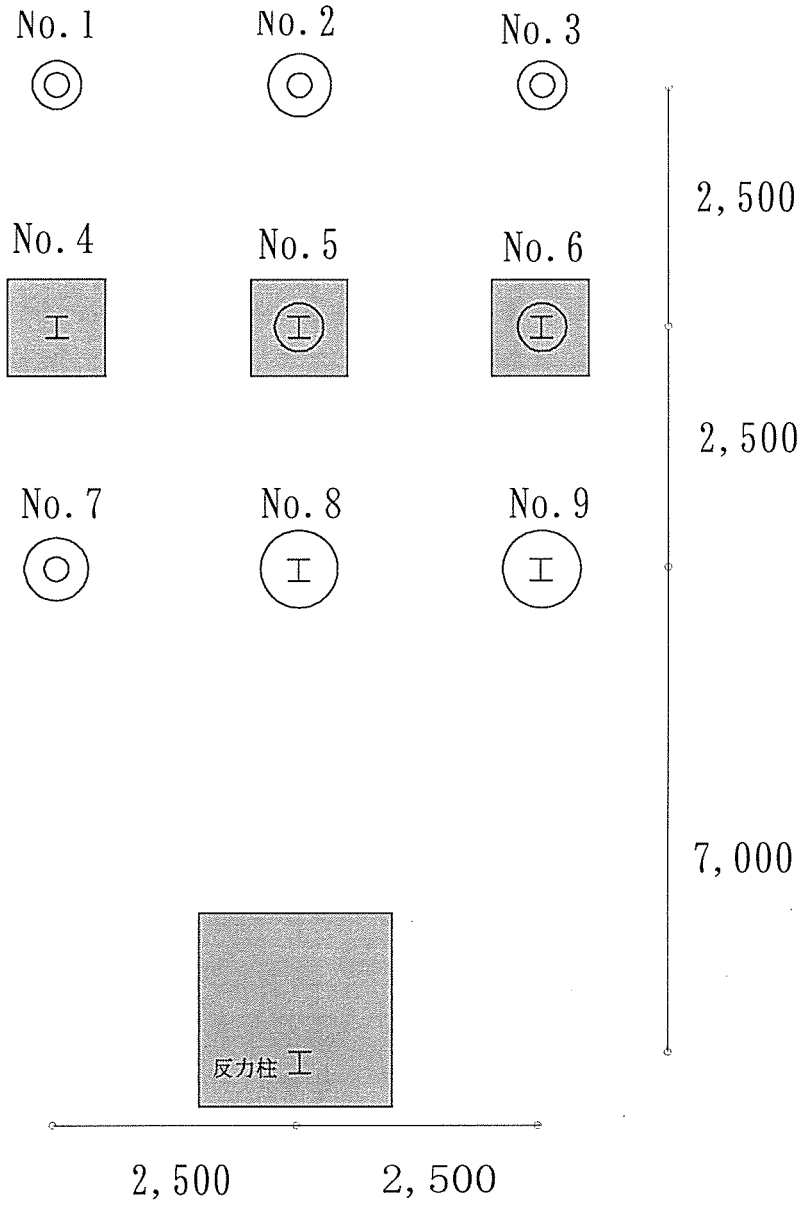


図1. 試験体の配置図

写真　実験風景

2．1　試験地

試験は，鹿児島県国分市上小川字鐘突畑のシラス台地で行った。ここで，シラスとは第四世紀に降った火山灰および火山岩さいが，30mm 以上の厚さでよく固まらないまま台地状となって存在したものである。また，全く有機物を含まず，水を含むとどろ状化し，浸食崩壊を起こしやすいが，レス（黄土）などと同じく鉛直方向の浸透性がよく，雨水浸食に抵抗がないなどの理由で，斜面勾配は急なほど（90°に近いほど）安定度が高いとされている。

このように，特殊土と呼ばれる土の多くは火山灰土であるが，その共通した性質としては，次のようなものが挙げられている。

（a）液性限界が高く，塑性指数が小さい。

（b）微細粒子および有機物の含有度を増すと，締め固めの困難性が増し，その最適含水比も上がってくる。有機物の多いほど収縮限界も増加する。

2．2　使用丸太

本試験に用いた丸太の樹種はスギ材であり，ごく一般的に木材市場に流通している 40 年生前後の中目丸太である。表２は使用した丸太の概要である。また，スギの品種は，南九州で多く流通しているオビスギである。加力実験を行う事前に丸太の径級，および打撃法により動的ヤング係数を測定した。使用した丸太のヤング係数の平均値は 70.3tonf/cm^2 で使用箇所によって大きな差がない丸太を選別して用いた。

表２．丸太の測定結果

NO.	末口	GL	元口（地中）	比重	Ef
（使用箇所）	cm	cm	cm	g/cm^3	tonf/cm^2
1	25	26	28.5	0.835	75.7
2	24	25	26.5	0.767	69.5
3	23	24	26.5	0.794	67.0
7	22	24	25	0.760	68.9

3. 実験方法

加力は，図２に示すように柱のＧＬより 1.40m の位置にスチールワイヤをかけ，チルホールで引張った。反力には試験体より強固な基礎の上に立てた 200 × 200 の H 形鋼を使用した。荷重は容量 20t のロードセルで測定した。加力は単調増加方式とし，地盤が降伏点または，最大耐力を示すまで加えることを目標とした。なお，加力用のワイヤーは自重で垂れ下がることを防ぐために足場用の脚立の中にワイヤーを通した。

変形は，柱の３点の水平方向変位をＧＬから 10cm（CH3）,70cm（CH2）,148cm（CH1）の位置で測定した。変位計を取り付ける不動点として，足場用パイプを使用した。

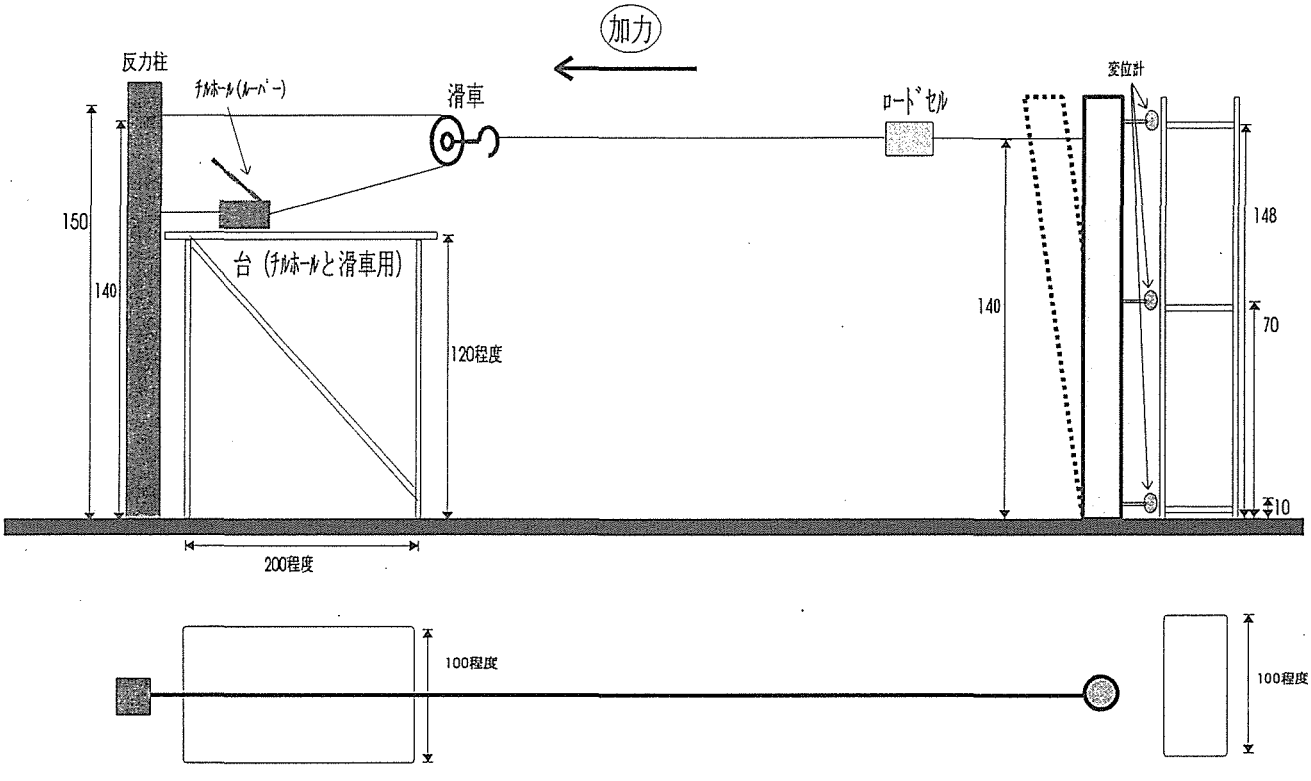


図２．試験方法

4.　実験結果

4．1　各試験体（ポール）の加力結果

表３に，最大荷重，その時の各変位計の水平変位 δ（δstop：加力を中止したときの変位）および残留変位 δ’（加力を０に戻したとき）を示す。また，図３～１１に各試験体の荷重－変形関係を示した。最大荷重時，破壊形態の写真は付録にまとめた。

表3．最大荷重と各変位計の測定変位

		CH1 mm	CH2 mm	CH3 mm	Pmax tonf	備考
No.1	δ	92.6	46.0	13.5	5.31	丸太，根巻500
	δ’	—	11.6	3.3	—	
No.2	δ	123.2	57.6	12.1	4.79	丸太，根巻650
	δ’	16.2	10.0	2.3	—	
No.3	δ	169.8	82.2	21.6	4.08	丸太，根巻500
	δ_{stop}	223.2	109.2	27.9	—	（地盤攪乱）
	δ’	65.4	36.0	11.4	—	
No.4	δ	85.4	47.2	21.4	3.98	H形鋼
	δ’	33.6	20.8	10.9	—	（土間有り）
No.5	δ	62.8	31.0	9.7	6.23	H形鋼，根巻500
	δ’	27.8	15.0	4.3	—	（土間有り）
No.6	δ	97.0	54.6	23.9	4.88	H形鋼，根巻500
	δ_{stop}	157.6	92	41.1	—	（土間有り）
	δ’	106.4	63.2	27.8	—	（地盤攪乱）
No.7	δ	114.8	51.6	12.4	3.88	丸太，根巻650
	δ’	19.6	10.0	3.0	—	（地盤攪乱）
No.8	δ	63.6	30.4	7.7	5.79	H形鋼，根巻800
	δ_{stop}	64.0	30.6	7.8	—	
	δ’	31.4	16.2	3.8	—	
No.9	δ	67.2	31.0	7.0	4.23	H形鋼，根巻800
	δ_{stop}	96.6	44.6	8.7	—	（地盤攪乱）
	δ’	64.0	29.8	5.0	—	

4．2　最大荷重時の性状

1）根巻きを施した丸太試験体（No.1，No.2，No.3，No.7）

No.1，No.2 および No.7 試験体は，変形を加えるほどに荷重が増加し，丸太の破壊（せん断破壊）によって試験体の最大荷重を得るに至り，変位と荷重による包絡線は同様な結果となった。しかしながら，地盤には柱の傾斜によって大きな穴があき，地盤が相当降伏するまでは加力したと云える。No.1 の根巻きは 500mm，No.2 と No.7 の根巻きは 650mm であり，No.2，No.7 の方が大きいのだが最大荷重は No.1 の方が No.2 より 1 割程度大きな値を示した。ここでの原因の一つとして考えられるのは，使用した丸太の性状の違いで No.1 に使用した丸太の径級および動的ヤング係数が No.2 より相対的に大きいものであったためと推察される。また，根巻き 500mm，地盤攪乱の No.3 試験体においては，丸太の破壊により最大荷重を迎えたわけではなく地盤の崩壊（根巻きを囲む地盤のクラック）により破壊した。なお，No.3 試験体は地盤攪乱の影響を受けて，変形を加えても No.1，No.2 試験体ほど荷重が増加せず，地盤の攪乱の境界線にそって地盤の破壊線が見られ，最大荷重は攪乱しないものの 8 割程度の荷重であった。No.7 試験体は，地盤攪乱の影響を受け No.3 試験体と同様の剛性の低くさは確認できたが，降伏点に至るまでに破壊したため最大荷重は低い値となった。なお，加力を中止した時の丸太の曲げ応力を計算すると，332 ～ 429kgf/cm^2，平均で 391kgf/cm^2 となった。ここで，丸太の許容応力度に言及している規準はないので 建築学会の木構造計算規準の上級構造材（製材）の値（スギで 95kgf/cm^2）をよりどころとするのが一つの方法と考えられるが，この値に対する比率は 3.5 ～ 4.5 倍，平均で 4.1 倍となり，十分な安全性が確保されていると云える。

2）コンクリート土間を設けた試験体（No.4，No5，No.6）

今回の実験でコンクリート土間を設けた試験体はＨ形鋼材のもののみである。丸太を用いた試験体とは異なり丸太破壊による影響が無く，純粋な地盤支持力をみることが出来る。No.4 の試験体は土間コンのみで手堀による先孔にＨ形鋼を差し込みコンクリートを打設したのみである。地盤支持力はＨ鋼材の断面積のみと言ってよく，500mm の根巻きのある No.5 と比較すると最大荷重は 6 割程度である。加力初期の頃は，変形を加えるほどに荷重が増加していったが，弾性域ではＨ鋼材の変形とともに土間コンの浮き上がりが確認された。また，降伏点を過ぎたあたり（最大荷重の 3/5）で土間コンの加力方向に対し直角のクラックが生じ破壊した。No.5 は 500mm の根巻きを施した試験体である。No.4 と比較すると約 1.5 倍の最大荷重が確認された。No.4 と同様に変形を加えるほどに荷重が増加していったが，弾性域においてＨ鋼材の変形とともに土間コンの浮き上がりが確認され，降伏点を

過ぎれば荷重の増加はみられなかった。しかしながら，土間コンの浮き上がりはみられたが破壊は確認されなかった。No.6 試験体が No.5 試験体と違うのは地盤攪乱の有無の違いである。変形を加えるほどに荷重が増加してくのだが，他の土間コン試験体ほど変形による加力の増加はみられない。H鋼材の変形とともに土間コンの浮き上がりが確認され，降伏点を過ぎれば荷重の増加はみられなかった。地盤攪乱をした場合，ポールの剛性の低下が前述の丸太試験体同様に確認された。また，最大荷重は攪乱の無いものと比較すると 8 割の値である。

3）H形鋼試験体による地盤攪乱有無の比較（No.8，No.9）

この 2 体の試験体はポールの破壊の影響を受けることなく地盤攪乱の影響をみることが出来る。No.8，No.9 試験体の根巻きはともに 800mm と同じで地盤攪乱の有無の違いのみである。前述までで地盤攪乱のないものはポールの剛性が高く，有るものは低くあらわれるという結果を述べてきた。地盤には柱の傾斜によって大きな穴があき，地盤が相当降伏するまでは加力したと云える。上記試験体においても同様な結果となり，最大荷重においても地盤攪乱の No.9 試験体は攪乱無しの No.8 試験体の 0.73 倍であった。根巻き 650mm，地盤攪乱の No.9 試験体においては，地盤の崩壊（根巻きを囲む地盤のクラック）により破壊した。

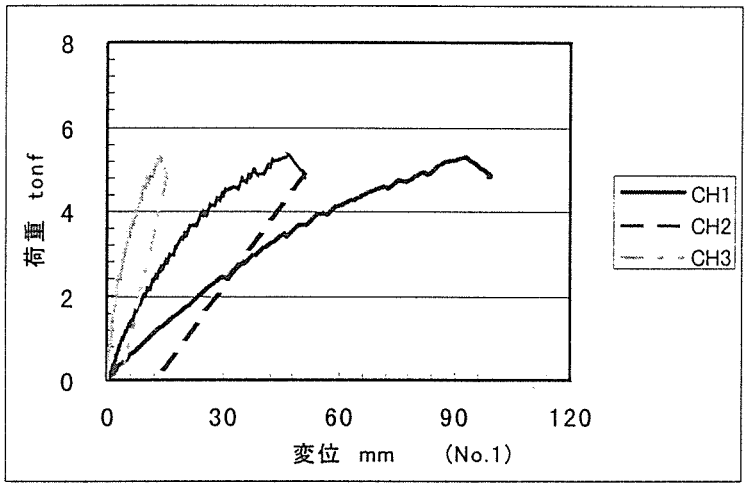


図3. 試験体1の荷重ー変形曲線

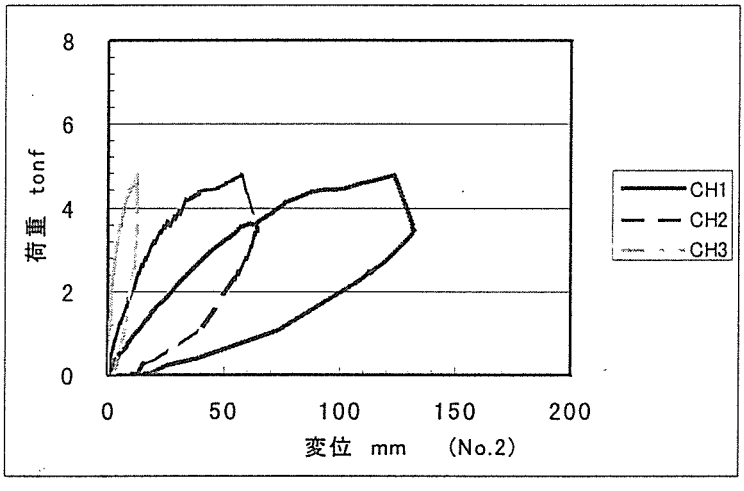


図4. 試験体2の荷重ー変形曲線

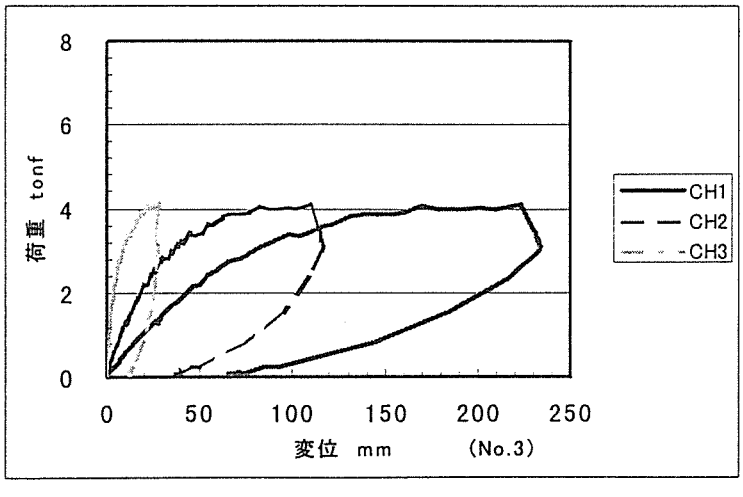


図5. 試験体3の荷重ー変形曲線

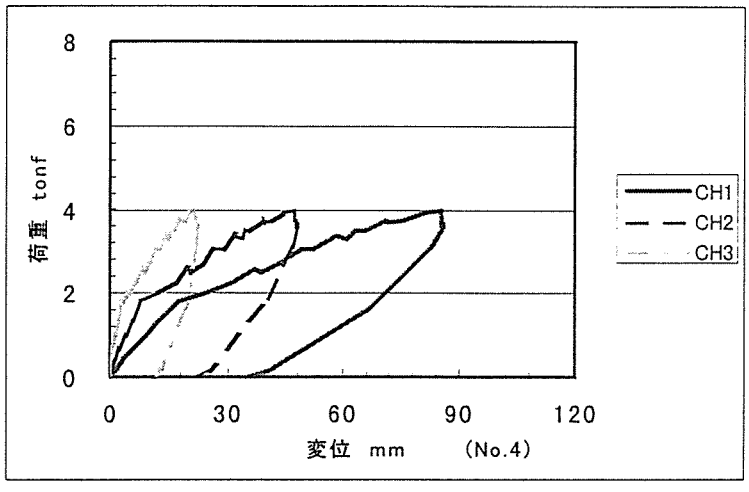


図6. 試験体4の荷重－変形曲線

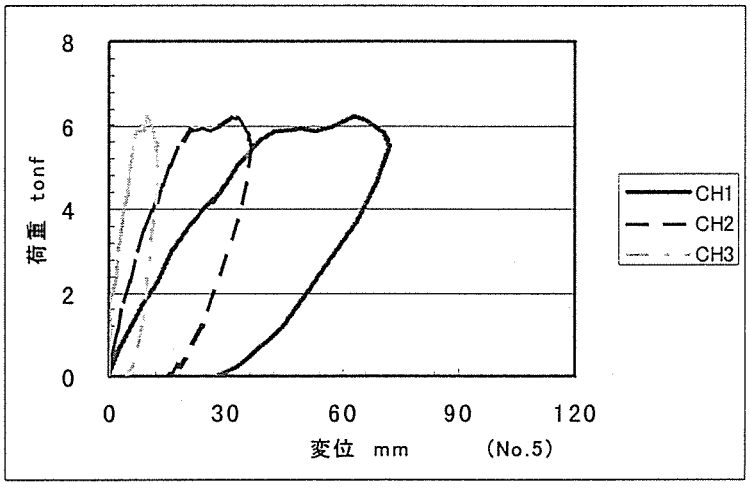


図7. 試験体5の荷重－変形曲線

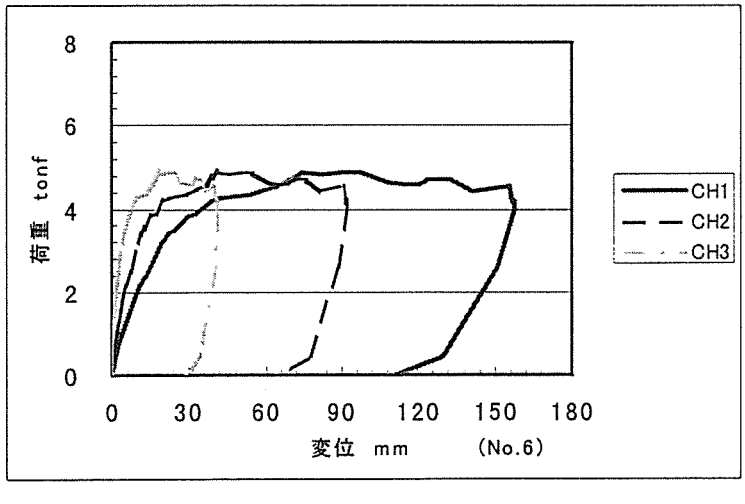


図8. 試験体6の荷重－変形曲線

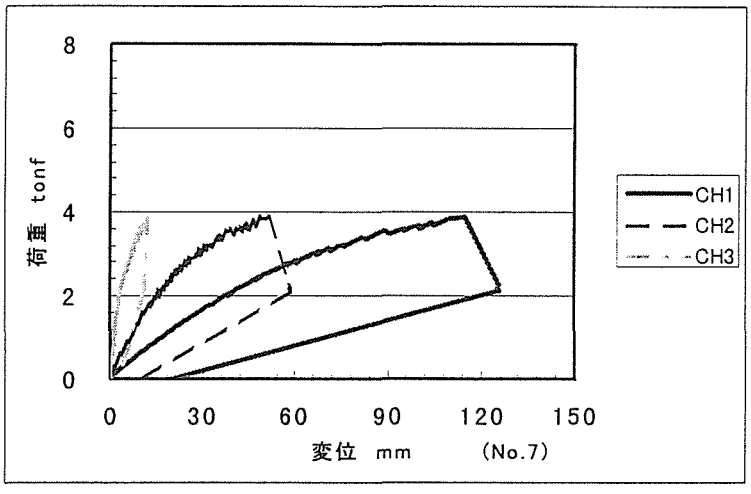


図9. 試験体7の荷重ー変形曲線

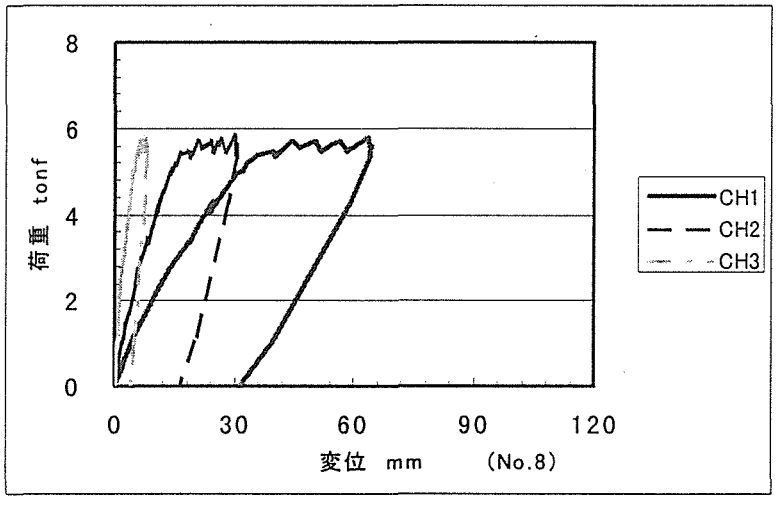


図10. 試験体8の荷重ー変形曲線

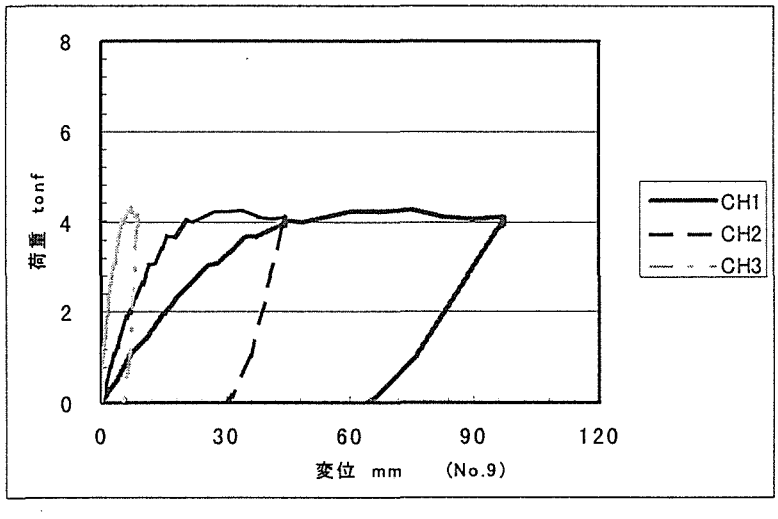


図11. 試験体9の荷重ー変形曲線

4．3　ポールの耐力

地際の変位計(CH3)の測定値で 5mm と 10mm 時の変形時において，各試験体の耐力を比較した。表４に，CH3 の変位が 5mm および 10mm のときの荷重 P_5，P_{10} を示す。表４の No.8,9 において P_{10} の結果が空欄であるのは CH3 の変位量が試験体の破壊に至るまでに 10mm まで変化することがなく計測ができなかったためである。また，図１２は，CH3 の変位量に対する荷重のグラフである。

表４．変位計(CH3)からの耐力

	P_5	P_{10}
	tonf	tonf
No.1	3.3	4.7
No.2	3.5	4.5
No.3	2.4	3.2
No.4	2.0	2.7
No.5	5.0	6.1
No.6	3.5	4.3
No.7	2.7	3.6
No.8	5.2	−
No.9	4.0	−

1)根巻きを施した丸太試験体(No.1, No.2, No.3, No.7)

5mm，10mm 時の耐力は，地盤攪乱の有無の違いで試験体間に差が表れた。地番攪乱を施すと施さない場合の約７割しか耐力が期待できないと云うことが分かった。また，No.1 と No.2 および No.3 と No.7 試験体の違いは根巻きの大きさの違いであるが，両者において地盤攪乱を施さない方の耐力が若干大きい値であったがあまり差がないと云ってよかろう。

2)コンクリート土間を設けた試験体(No.4, No5, No.6)

コンクリート土間を設けた試験体はＨ形鋼材のもののみである。土間コンのみの No.4 試験体の耐力が，P_5，P_{10} とも最も低く，根巻きを施した方が耐力向上を期待できることが確認できる。また，No.6 試験体と No.5 試験体を比較すると地盤攪乱の有無の違いで丸太の試験体と同様に地盤攪乱を施すと耐力は７割に低減した。

3）H形鋼試験体による地盤攪乱有無の比較（No.8, No.9）

この 2 体の試験体はポールの破壊の影響を受けることなく地盤攪乱の影響において耐力を比較することが出来る。P_{10} は，測定できなかったため P_5 のみで比較する。前述と同様に，地盤攪乱により耐力の低減が見られた。

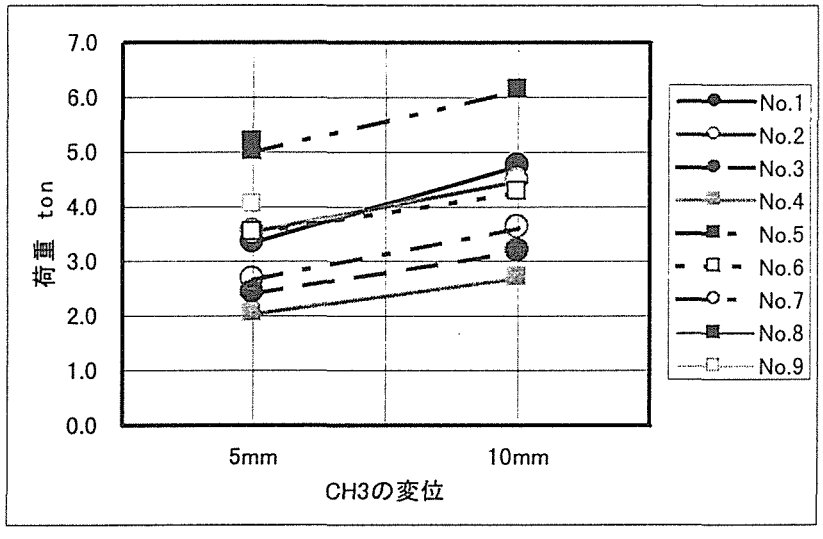


図12．CH3の変位量に対する荷重

4．4　コンクリート試験

試験体に用いたコンクリートの圧縮試験（JIS　A　1108）を行った。表5に根巻き用コンクリートおよび土間用コンクリートの圧縮試験結果を示す。試験のサンプル数は3体ずつとし，1週養生強度と4週養生強度である。

表5．コンクリートの圧縮試験結果

	1週養生		4週養生	
	根巻き用	土間コン用	根巻き用	土間コン用
圧縮強さ kgf/cm^2	160.14	161.62	289.54	235.01

（平均値を示す）

5. まとめ

直径約 25cm のスギ中目丸太を深さ 1.2m に埋め，地上高 1.4m の部分に加力する強度試験を行った。鹿児島県特有のシラス台地で実験を行い，基礎による試験条件は４条件（コンクリートによる根巻き無し，φ 500，φ 650，φ 800 の根巻き有り），コンクリート土間の有無の２条件である。また，地盤を攪乱するかしないかの条件についても試験を行った。

実験結果をまとめると以下のとおりである。

（１）スギを用いた試験体において，地盤攪乱の試験体以外は基礎の耐力がスギの耐力を上回り，基礎の最大荷重を得ることが出来なかった。しかし，Ｈ形鋼を用いた試験体で基礎の耐力を確認でき，根巻きを大きくしても最大荷重の増加は期待できないことが分かった。本実験から根巻きをφ 800 までする必要がなく，φ 500 ～φ 650 程度で充分であり，基礎の耐力が期待できることが推測される。

（２）地盤攪乱を施した試験体は変形を加えても攪乱を施さないものほど荷重が増加せず，地盤の攪乱の境界線にそって地盤の破壊線が見られ，最大荷重および耐力は後者の 7 ～ 8 割程度であった。

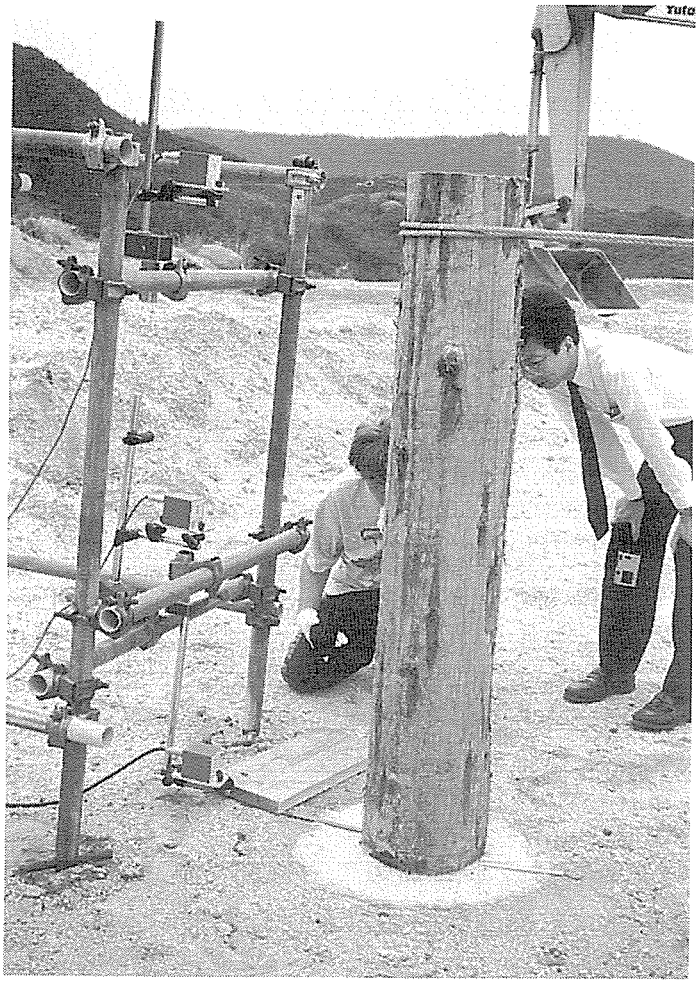
（３）実験でコンクリート土間を設けた試験体はＨ形鋼材のもののみであり，丸太を用いた試験体とは異なり丸太破壊による影響が無く，純粋な地盤支持力をみることが出来た。土間コンの試験体で根巻きのないものは根巻きを施したものと比較すると最大荷重は 6 割程度，耐力は 7 割に低減した。また，攪乱させた土間コン試験体においては，最大荷重，耐力とも低下が見られ無いものと比較すると 8 割の値であった。

（４）今回の実験は砂質土のシラスで行ったものであり，他の地盤に対応できるように更に検討する必要があると思われ，土質調査の必要性が感じられる。

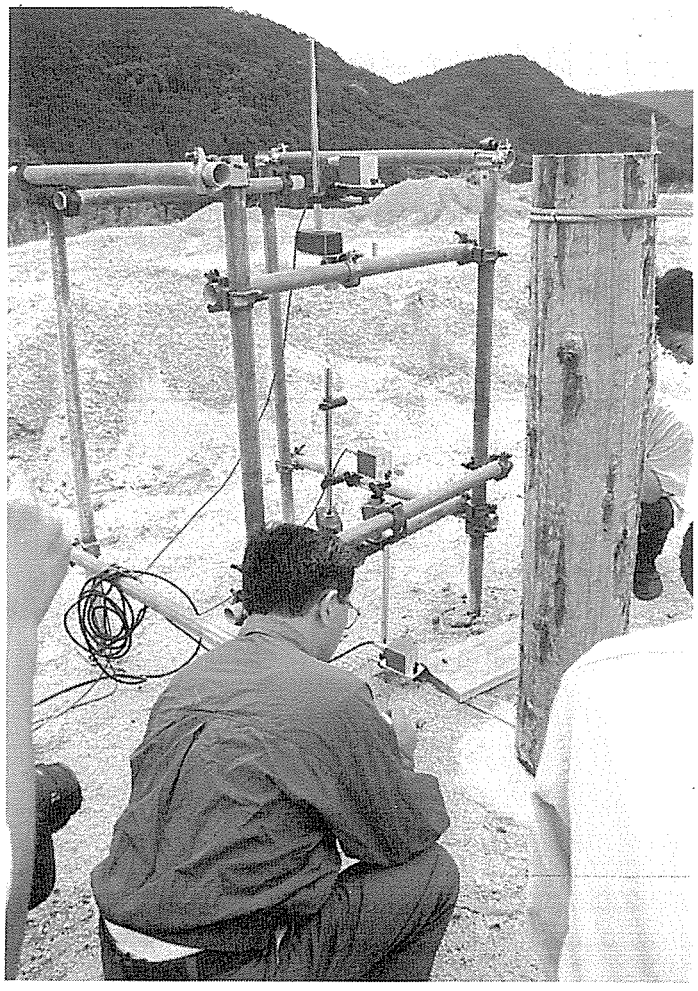
参考文献

1)（財）日本住宅・木材技術センター：低コスト肉用牛畜舎柱脚埋込み工法実験報告書，(1989)

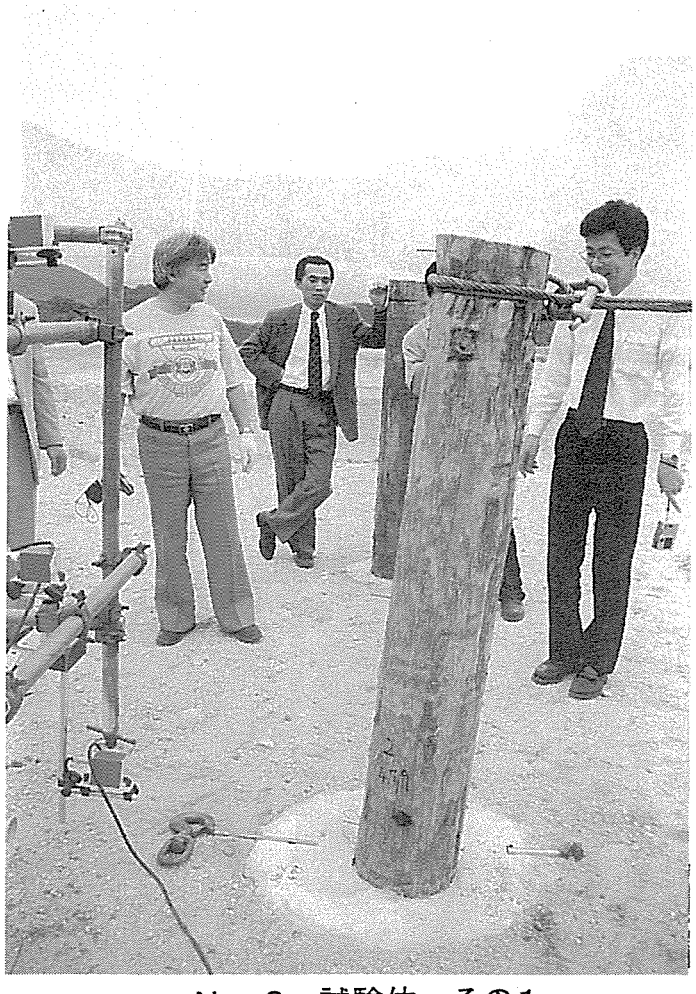
2)箭内寛治，浅川美利：”土質工学”，彰国社刊



No. 1　試験体　その1

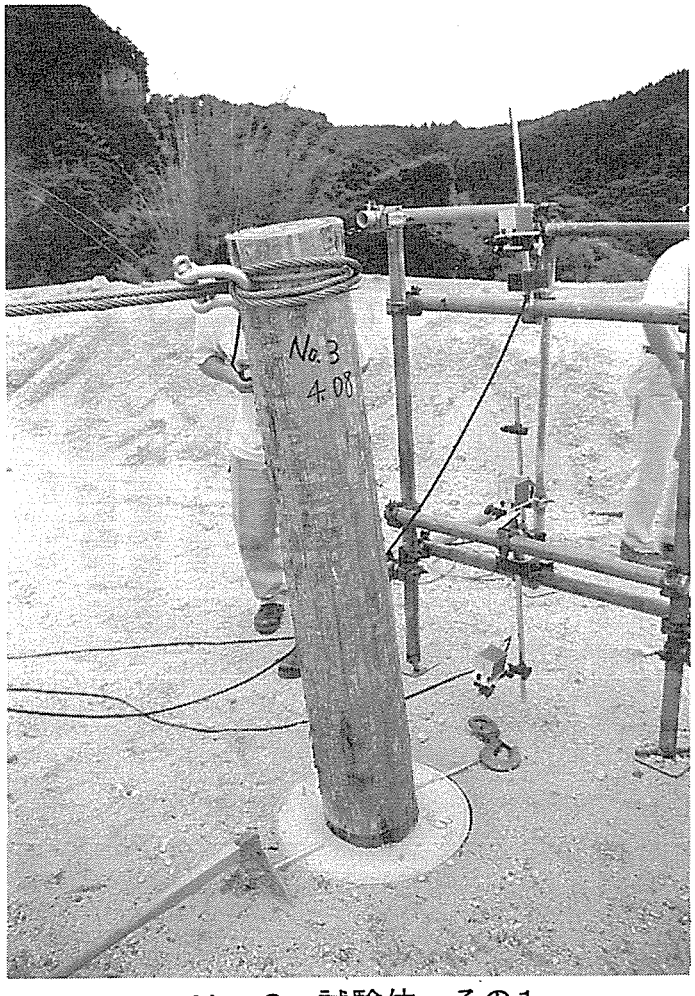


No. 1　試験体　その2

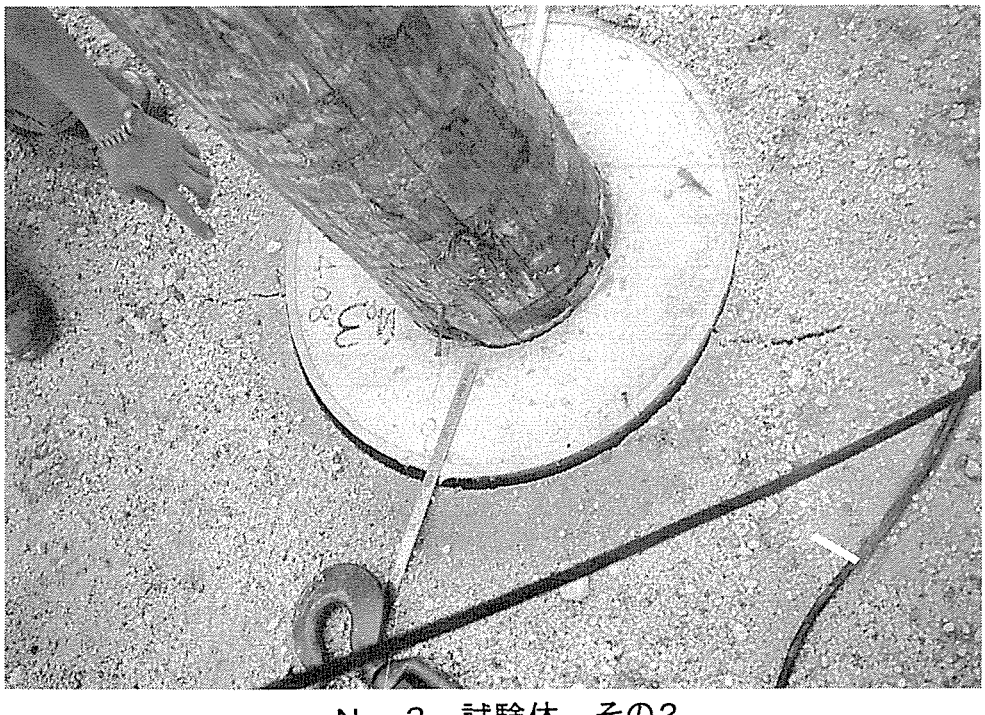


No. 2　試験体　その1

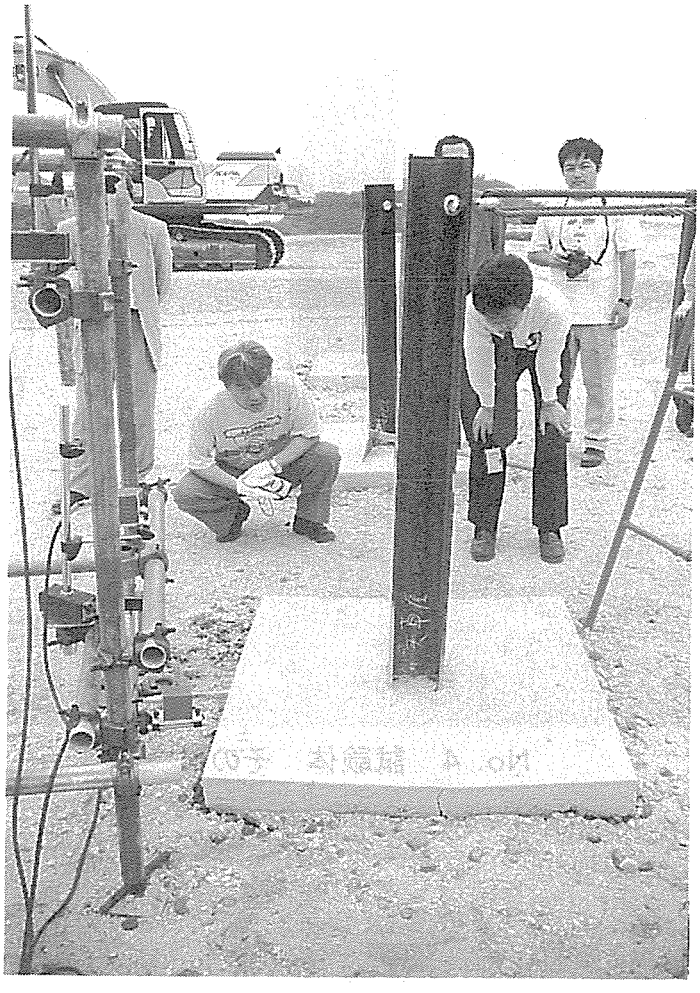
No. 2　試験体　その2



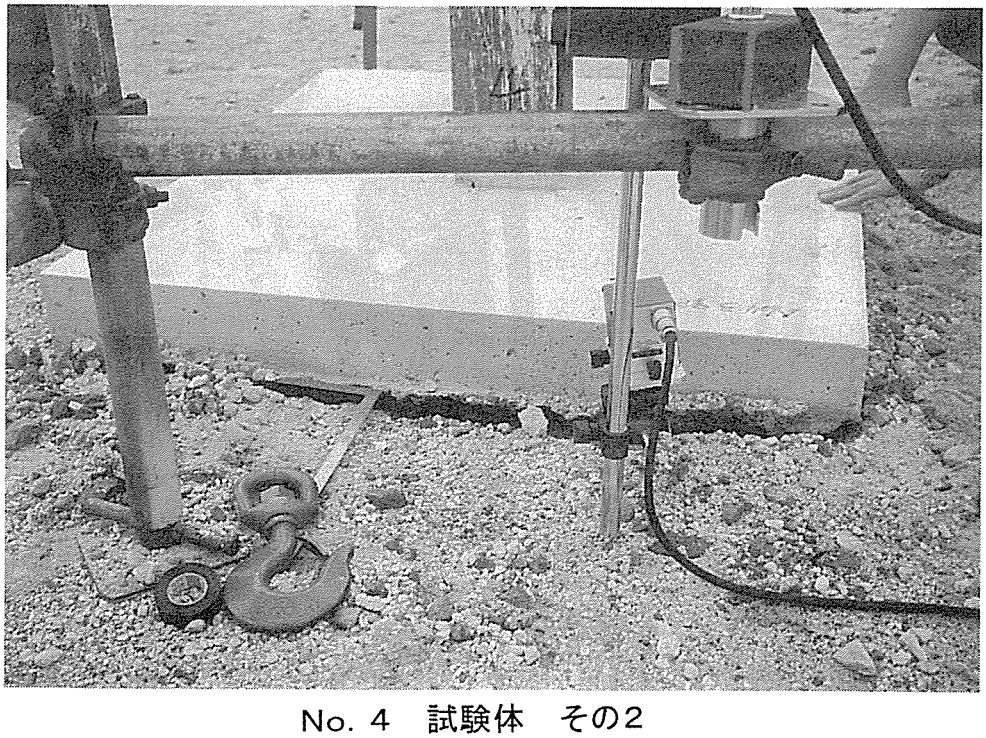
No. 3　試験体　その1



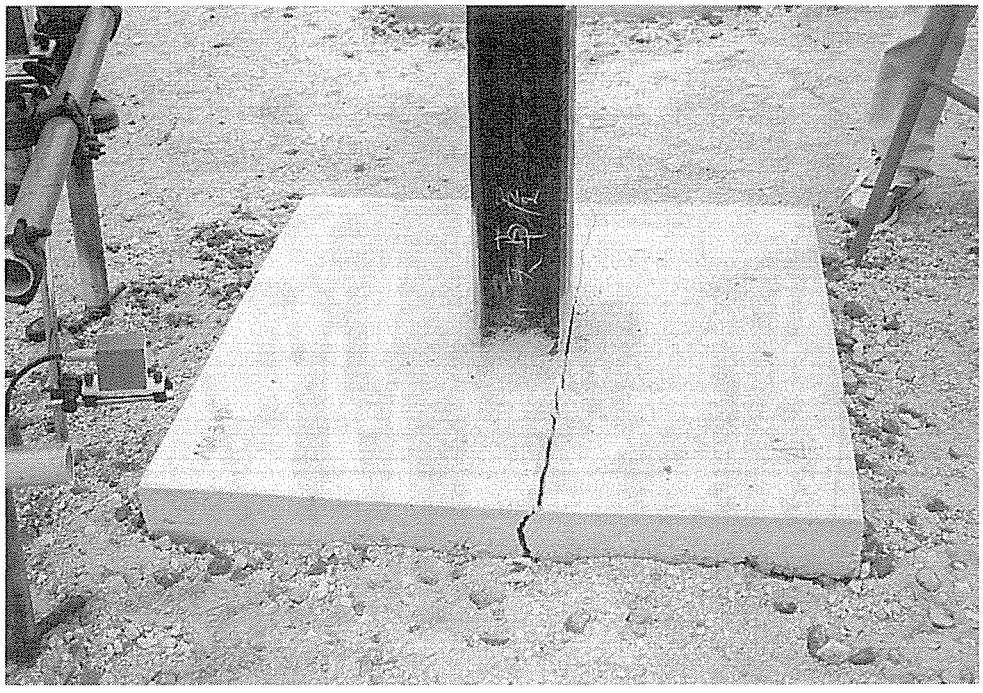
No. 3　試験体　その2



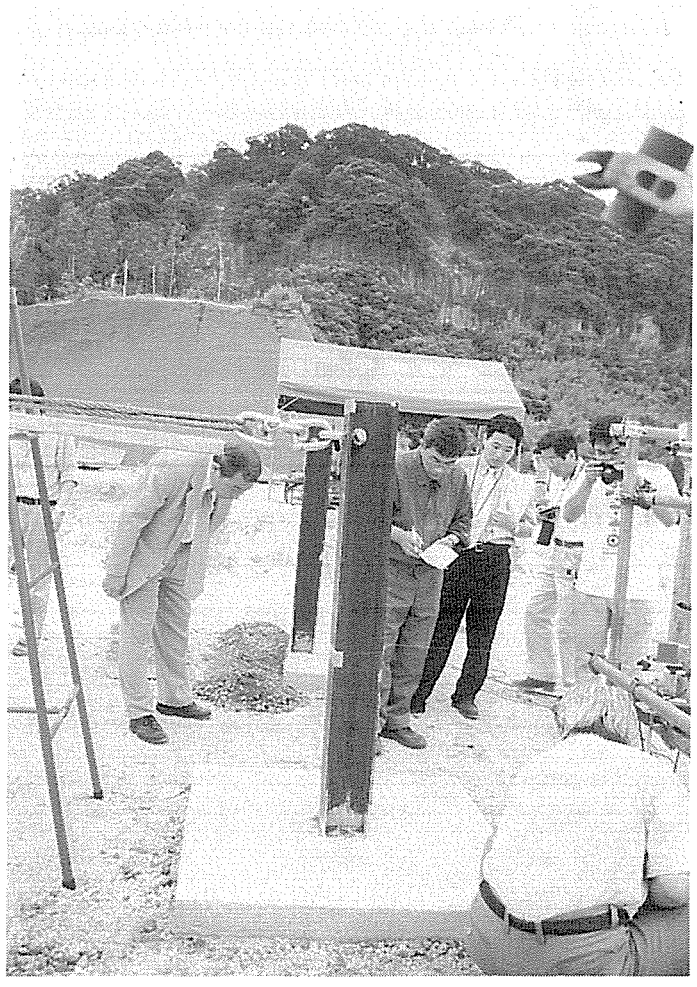
No. 4　試験体　その1



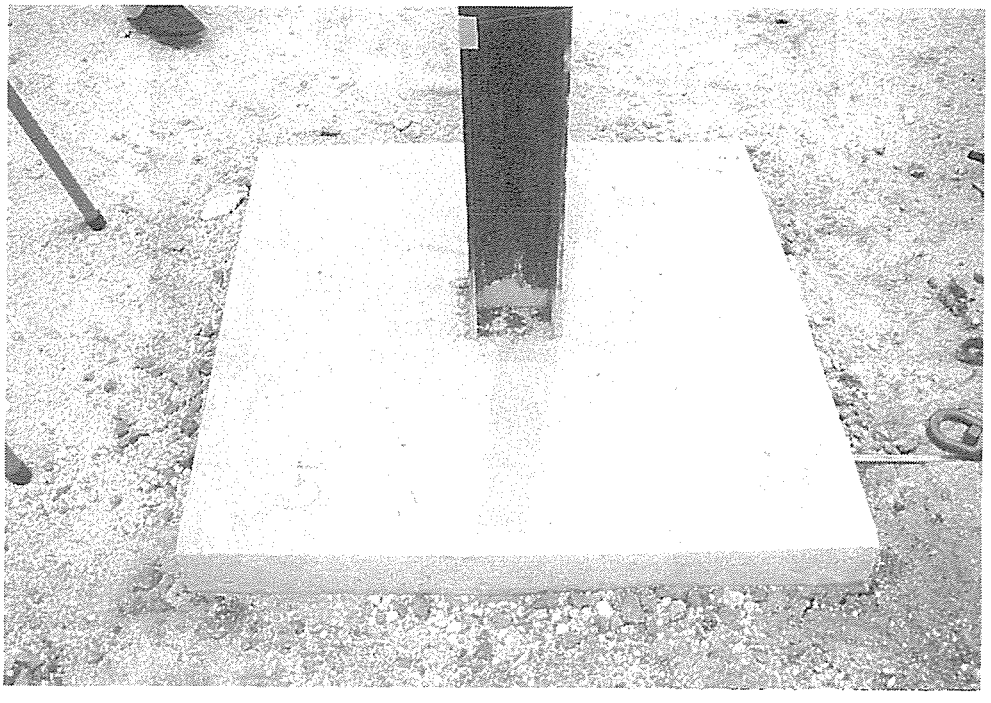
No. 4　試験体　その2



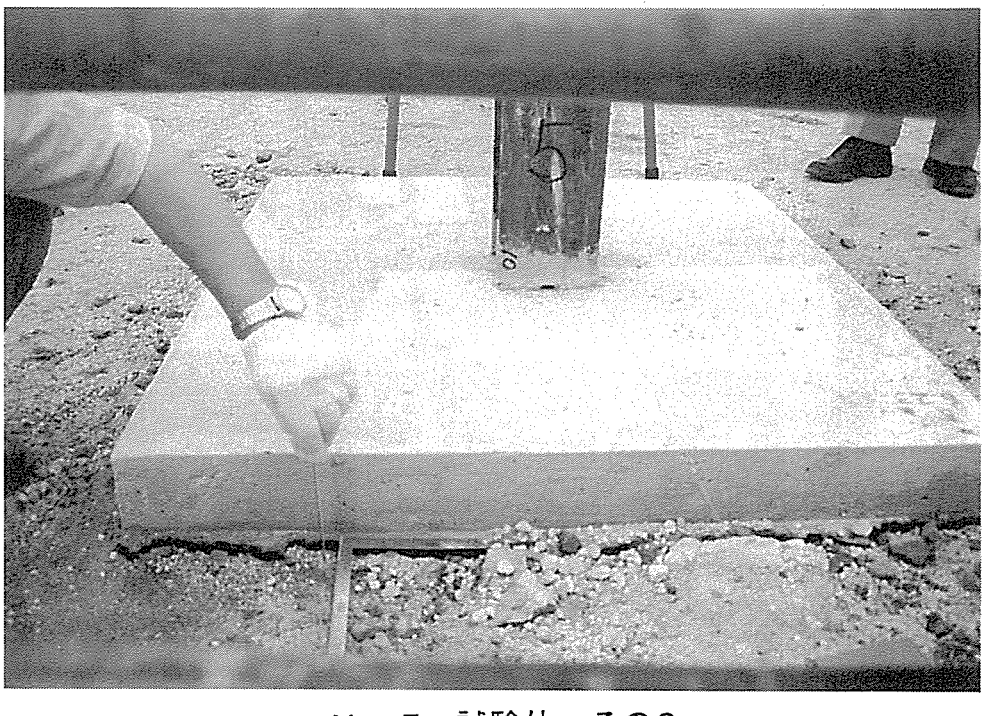
No. 4　試験体　その3



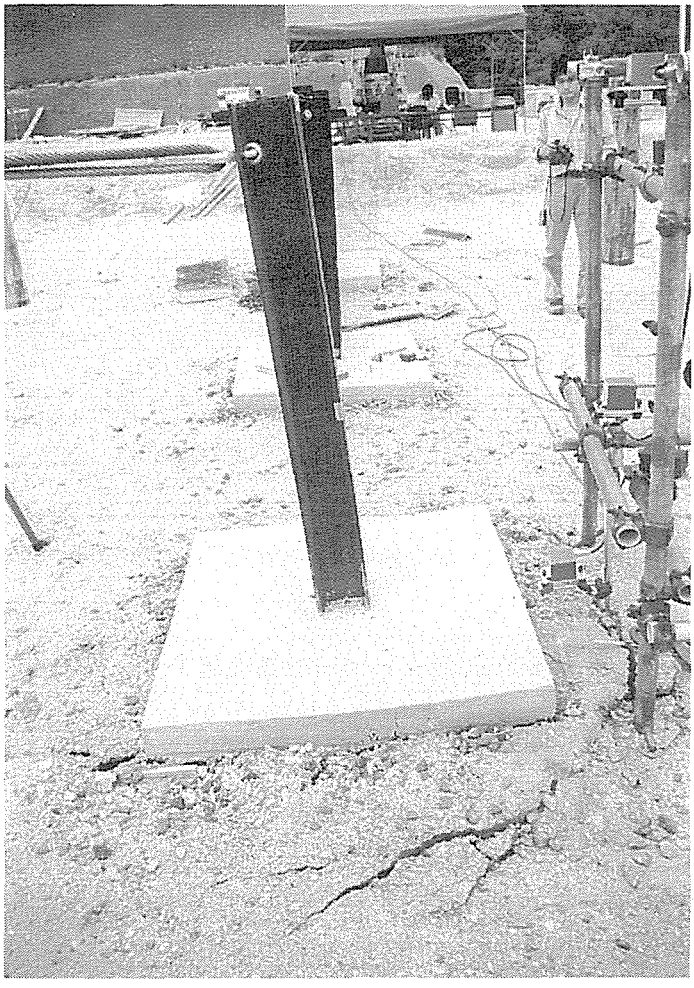
No. 5　試験体　その1



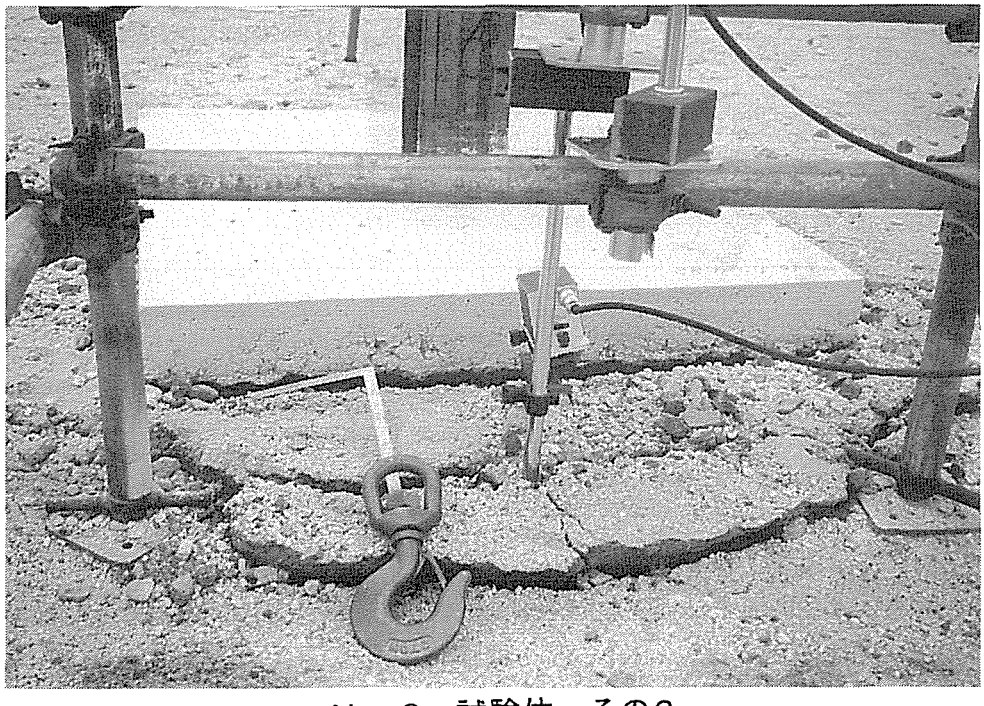
No. 5　試験体　その2



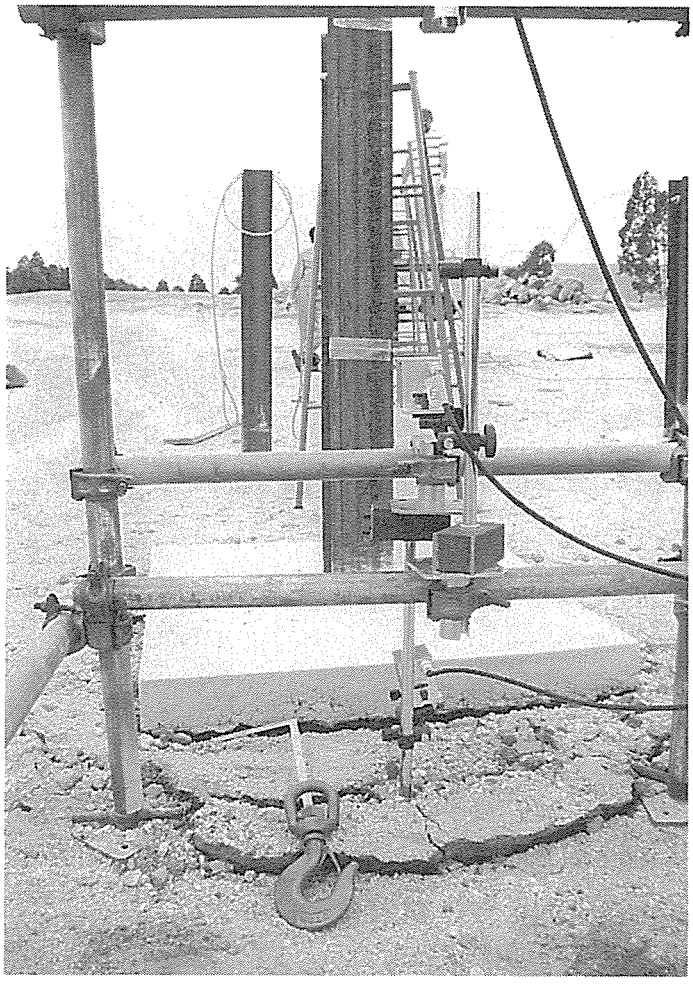
No. 5　試験体　その3



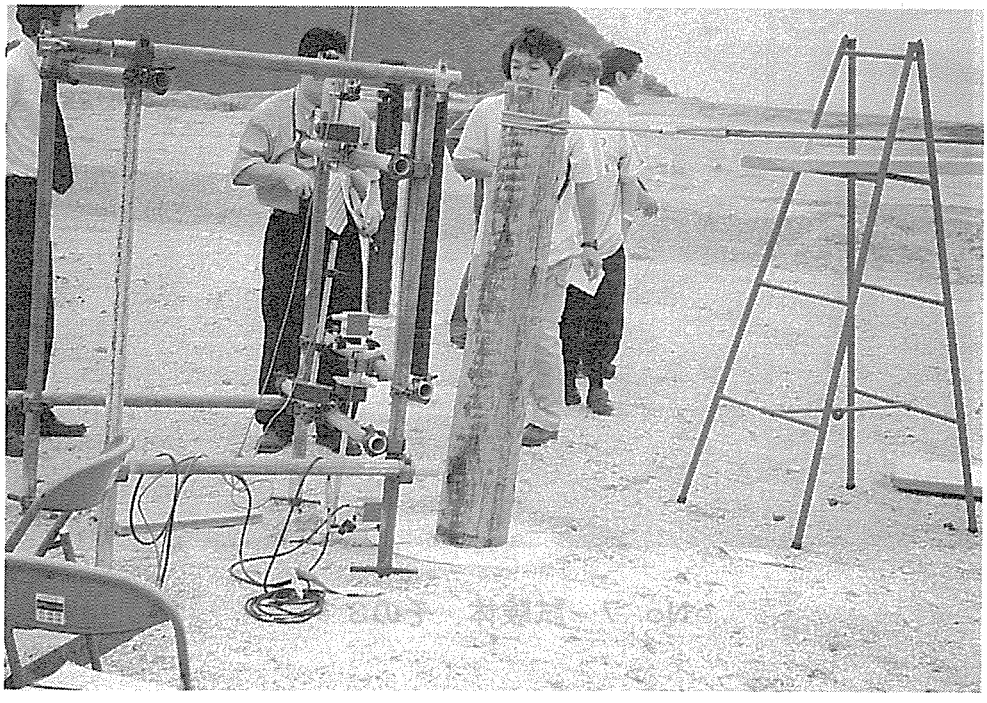
No. 6　試験体　その1



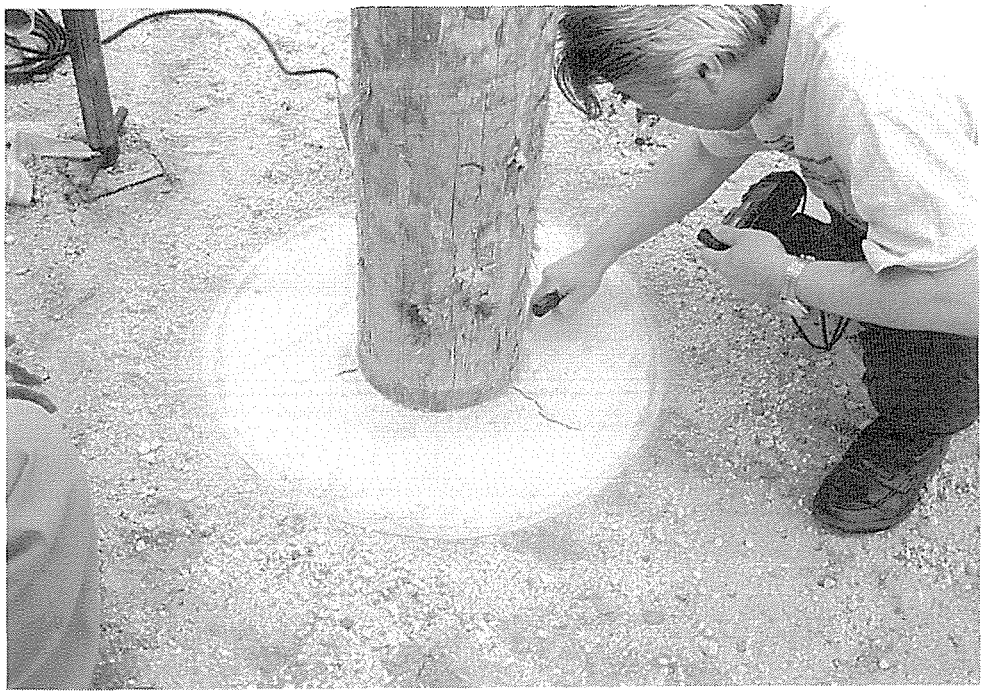
No. 6　試験体　その2



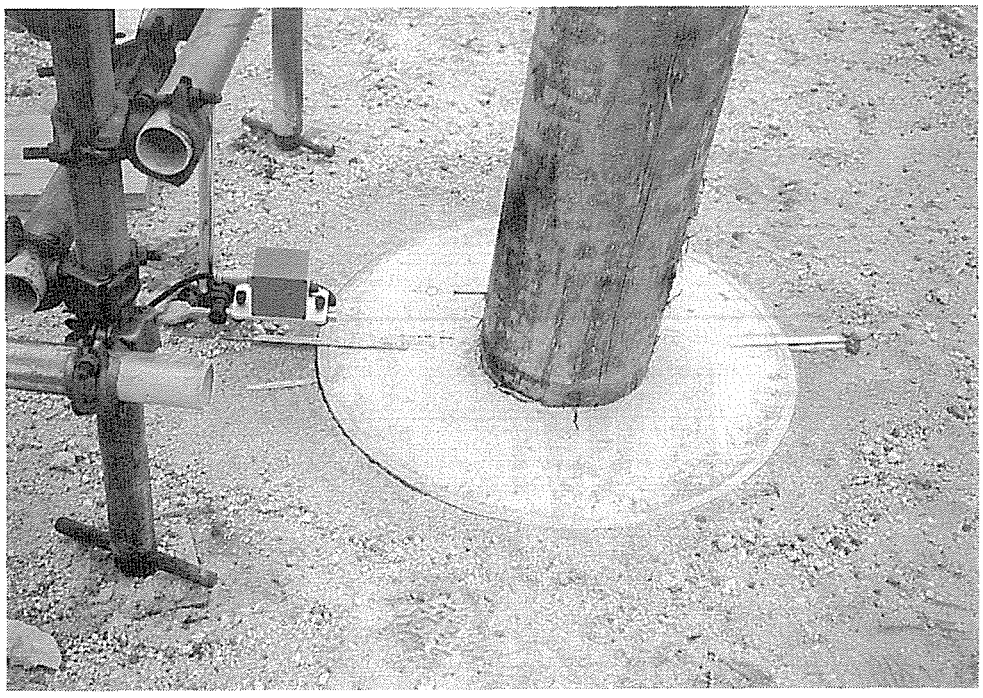
No. 6　試験体　その3



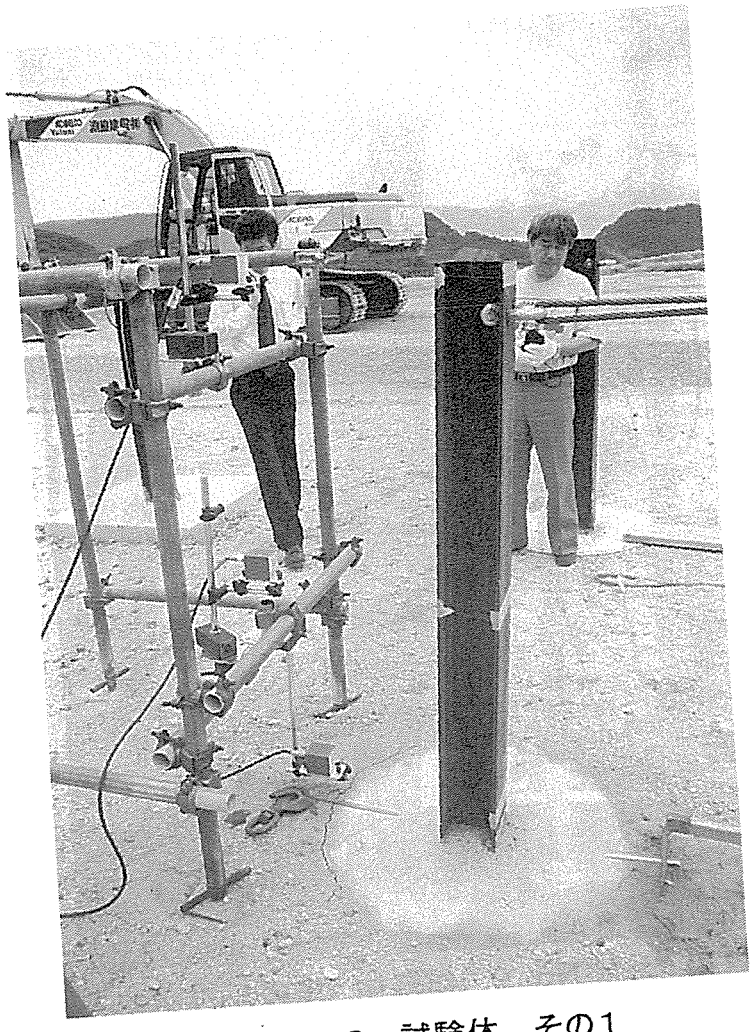
No. 7　試験体　その1



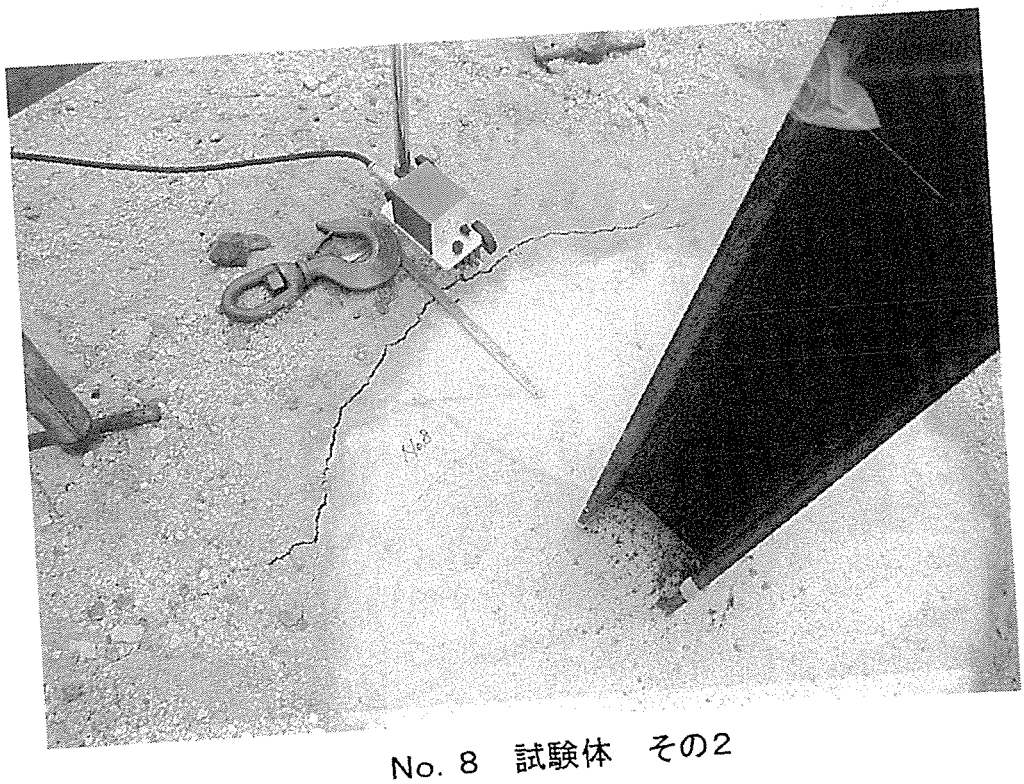
No. 7　試験体　その2



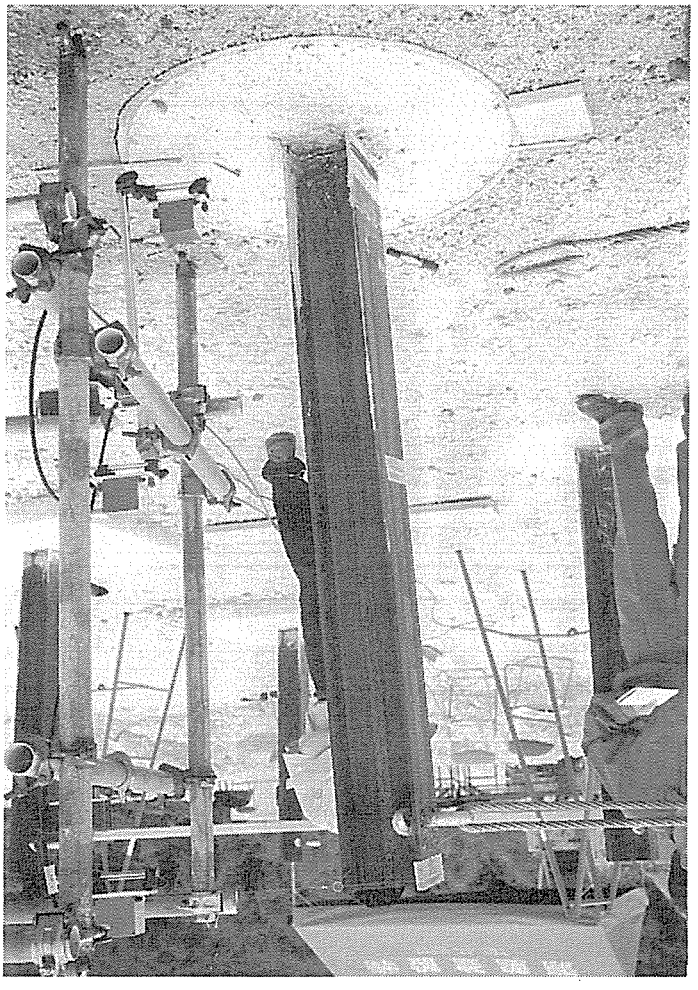
No. 7　試験体　その3



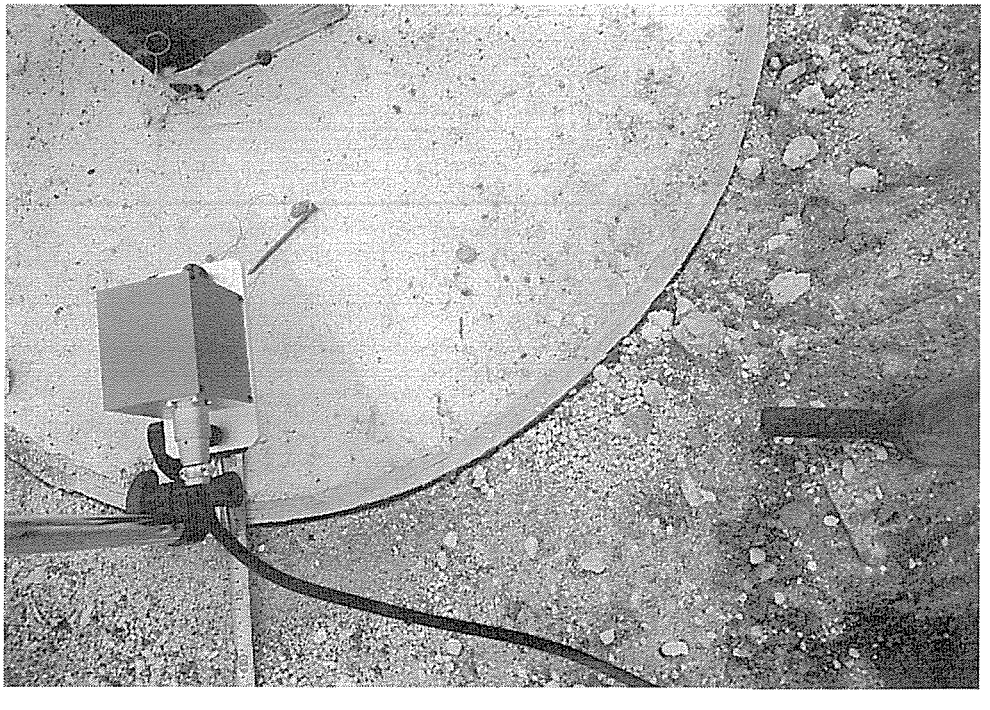
No. 8　試験体　その1



No. 8　試験体　その2

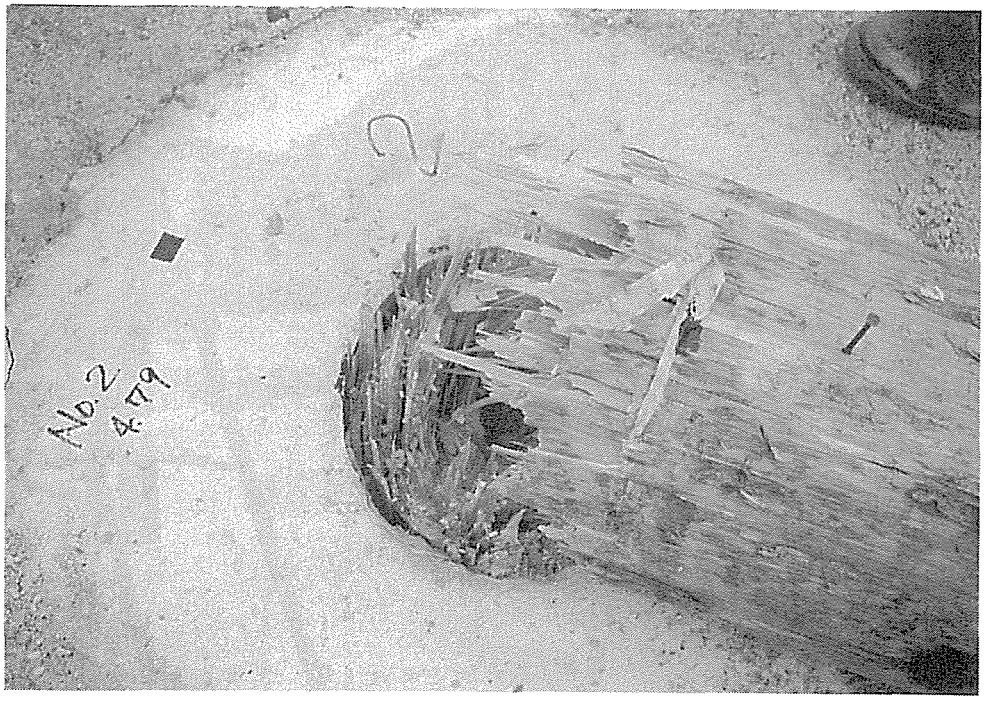


No. 9　試験体　その1



No. 9　試験体　その2

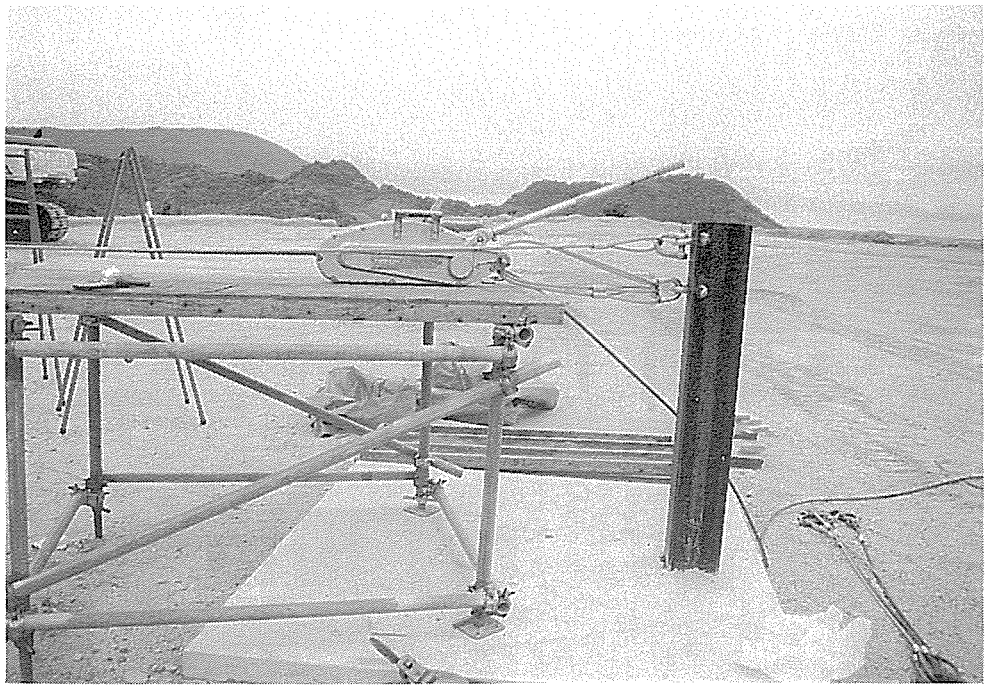
丸太の破壊形態　その1



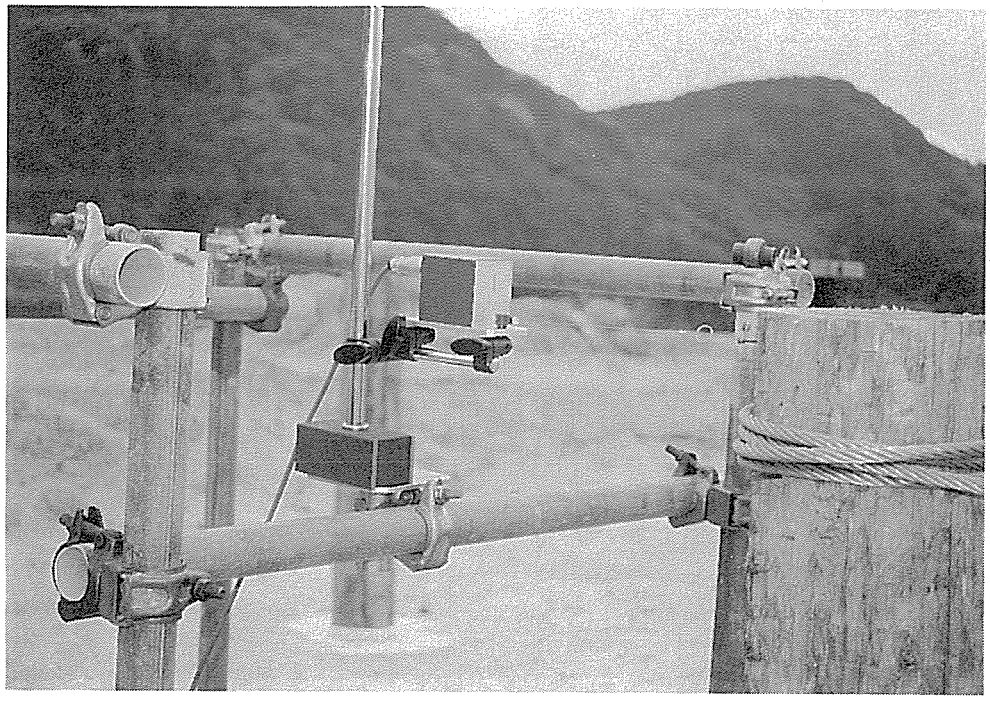
丸太の破壊形態　その2

データロガーおよびパソコン

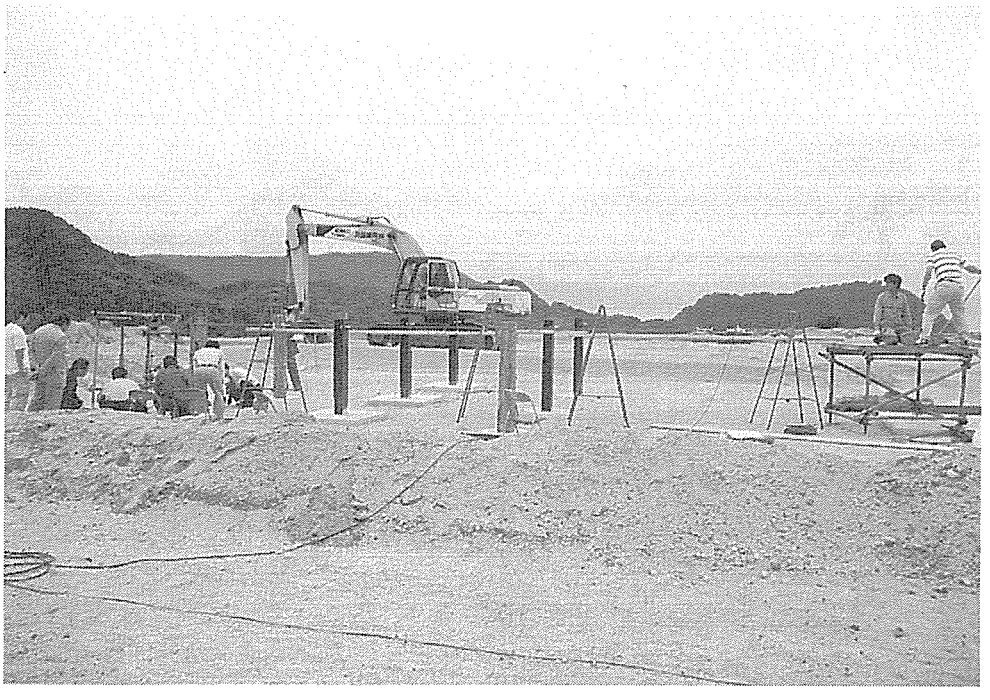
ロードセル



チルホール

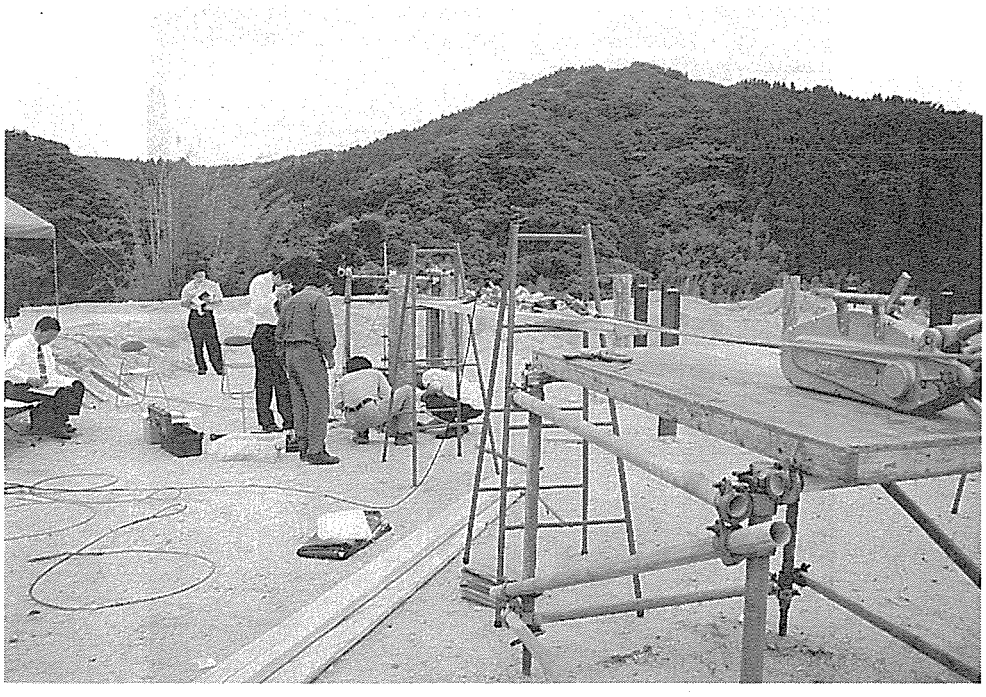


変位計



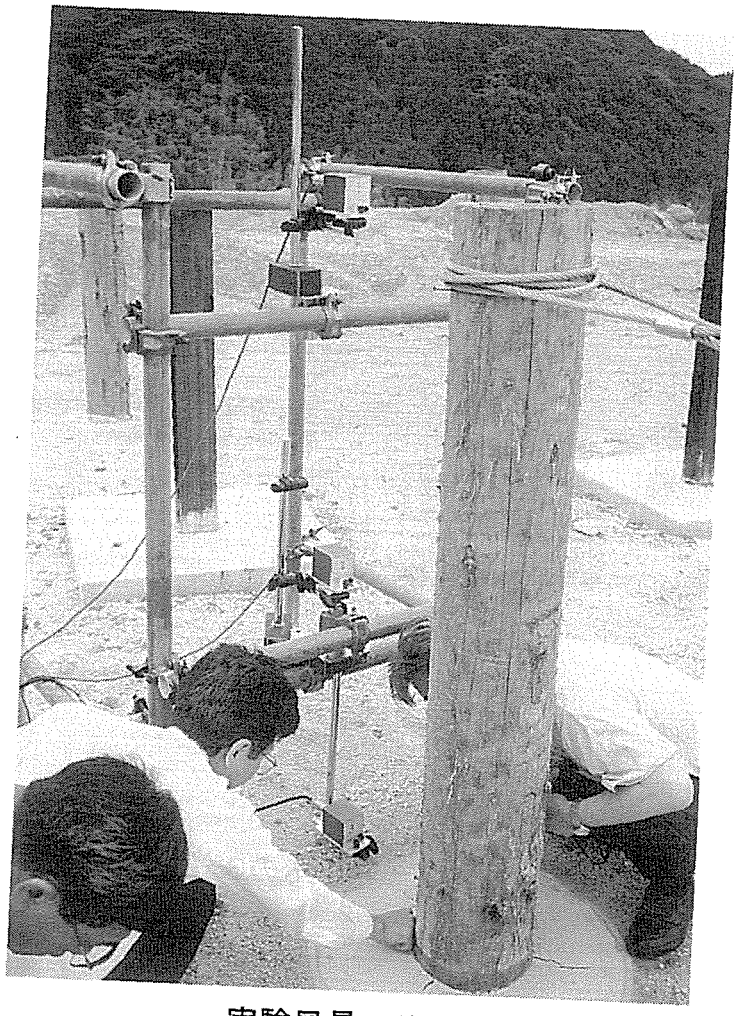
実験風景　その1

実験風景　その2

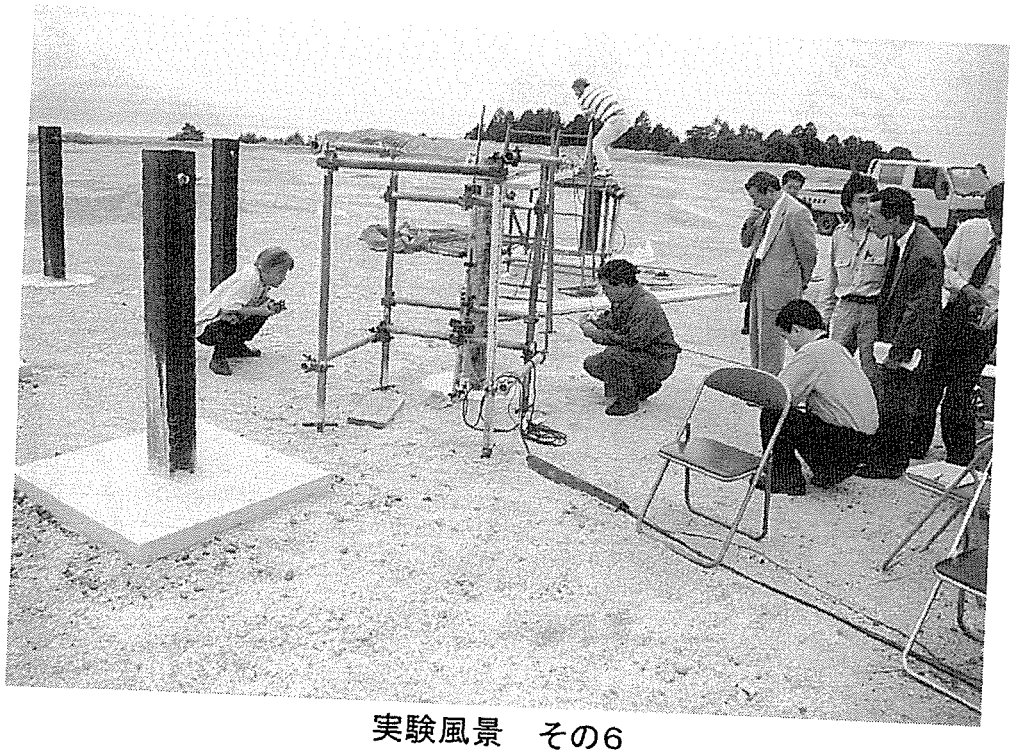


実験風景　その3

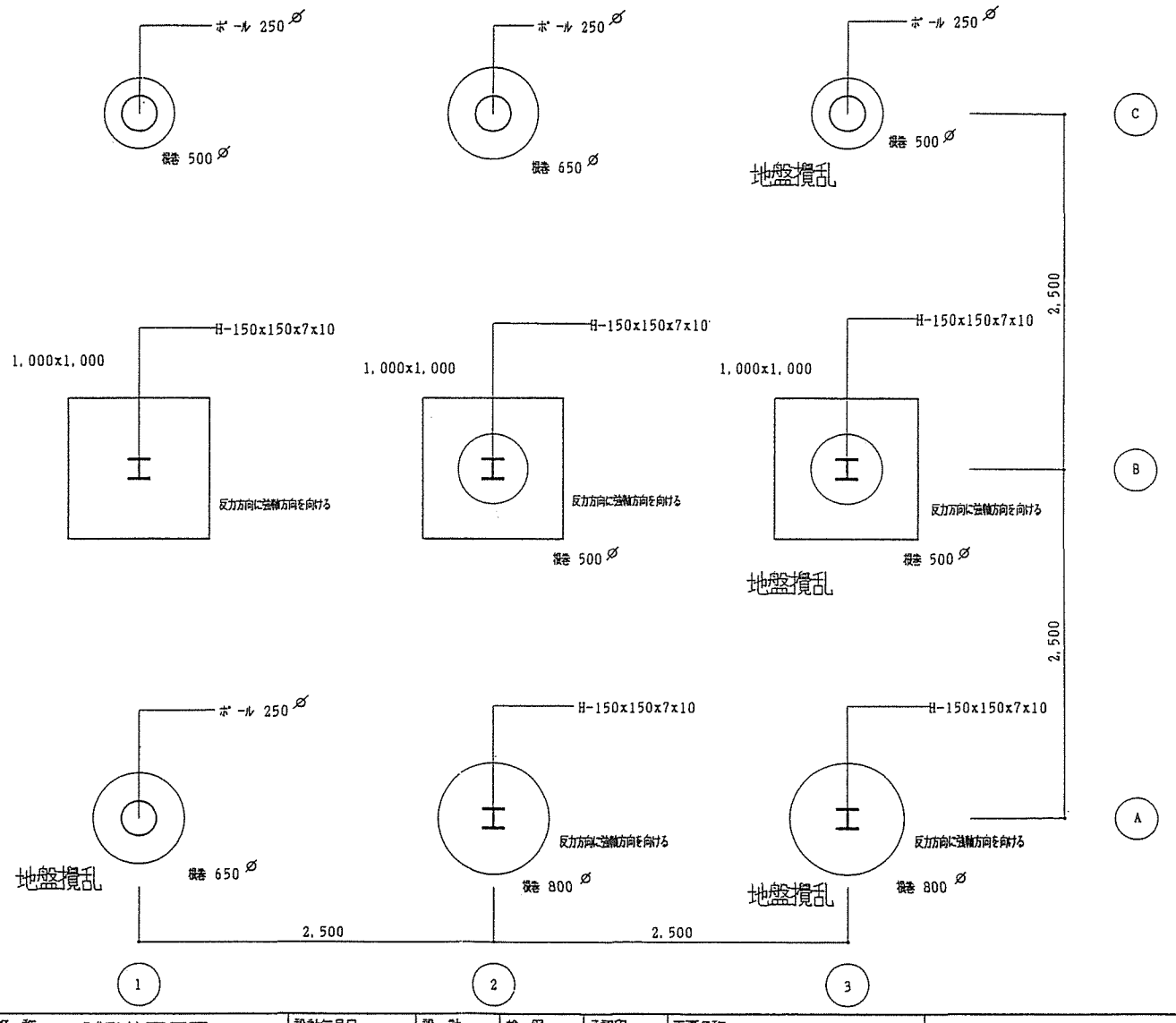
実験風景　その4



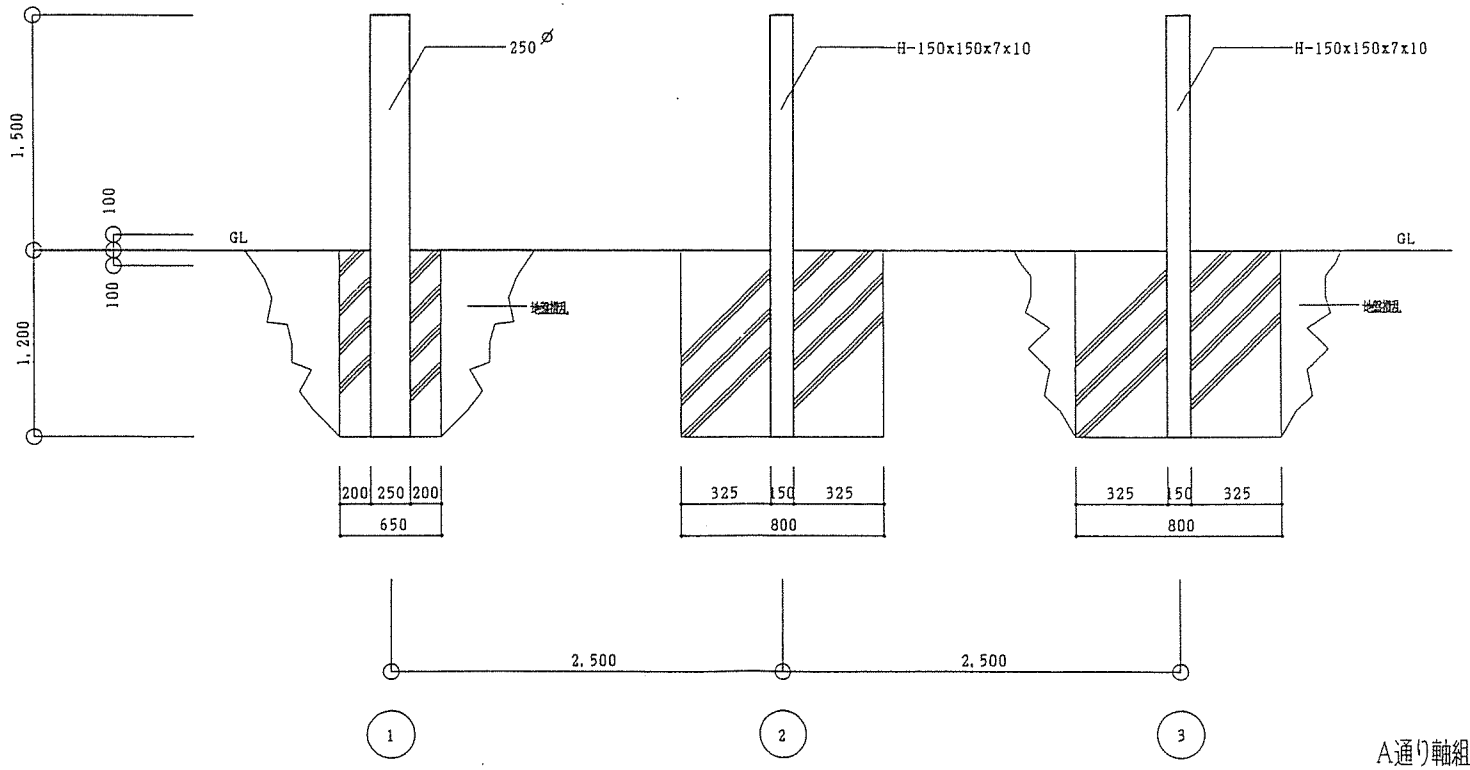
実験風景　その5



実験風景　その6

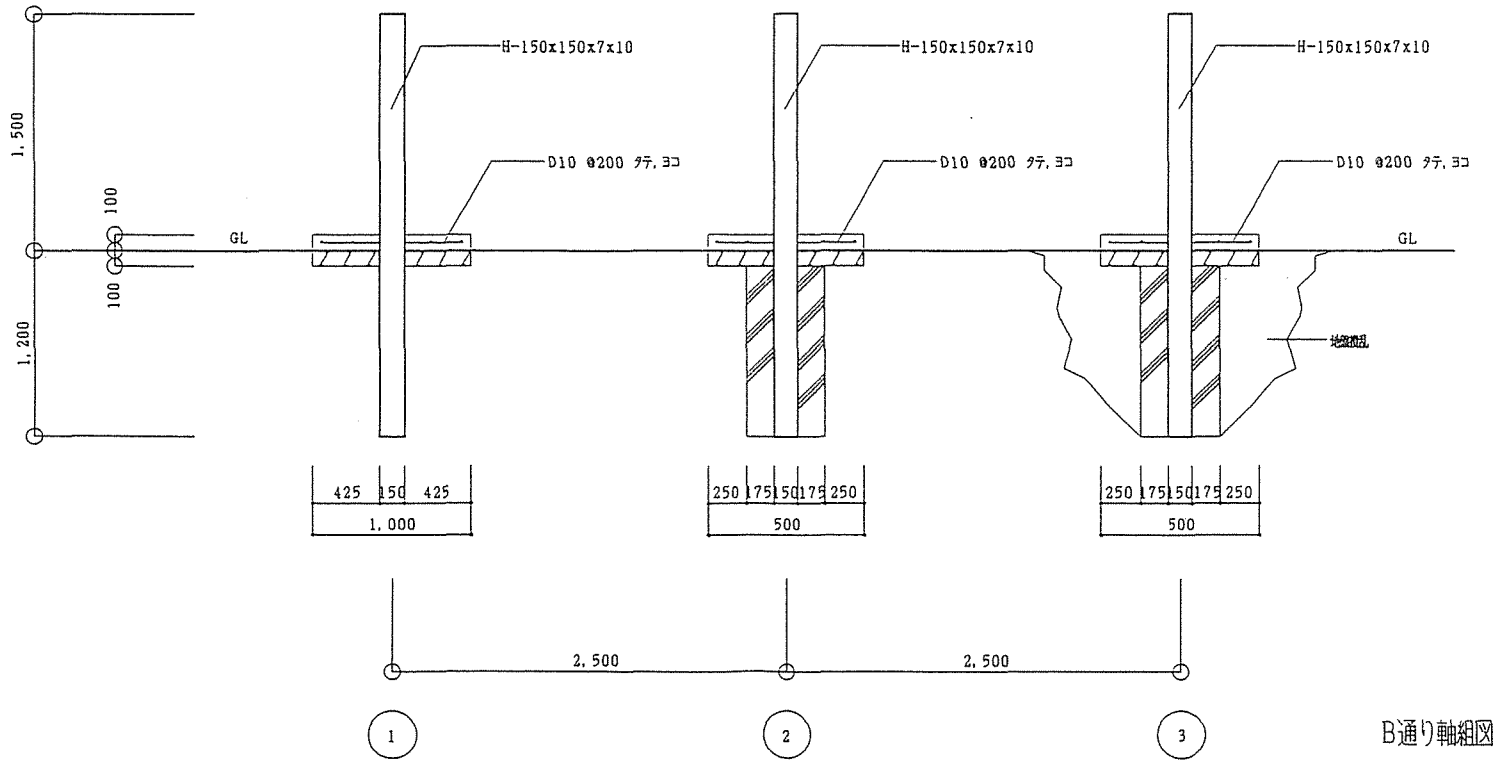


名称	試験体配置図	設計年月日	設計	検図	承認印	工事名称
品番		縮尺 S=1/30	製図	担当	承認年月日	



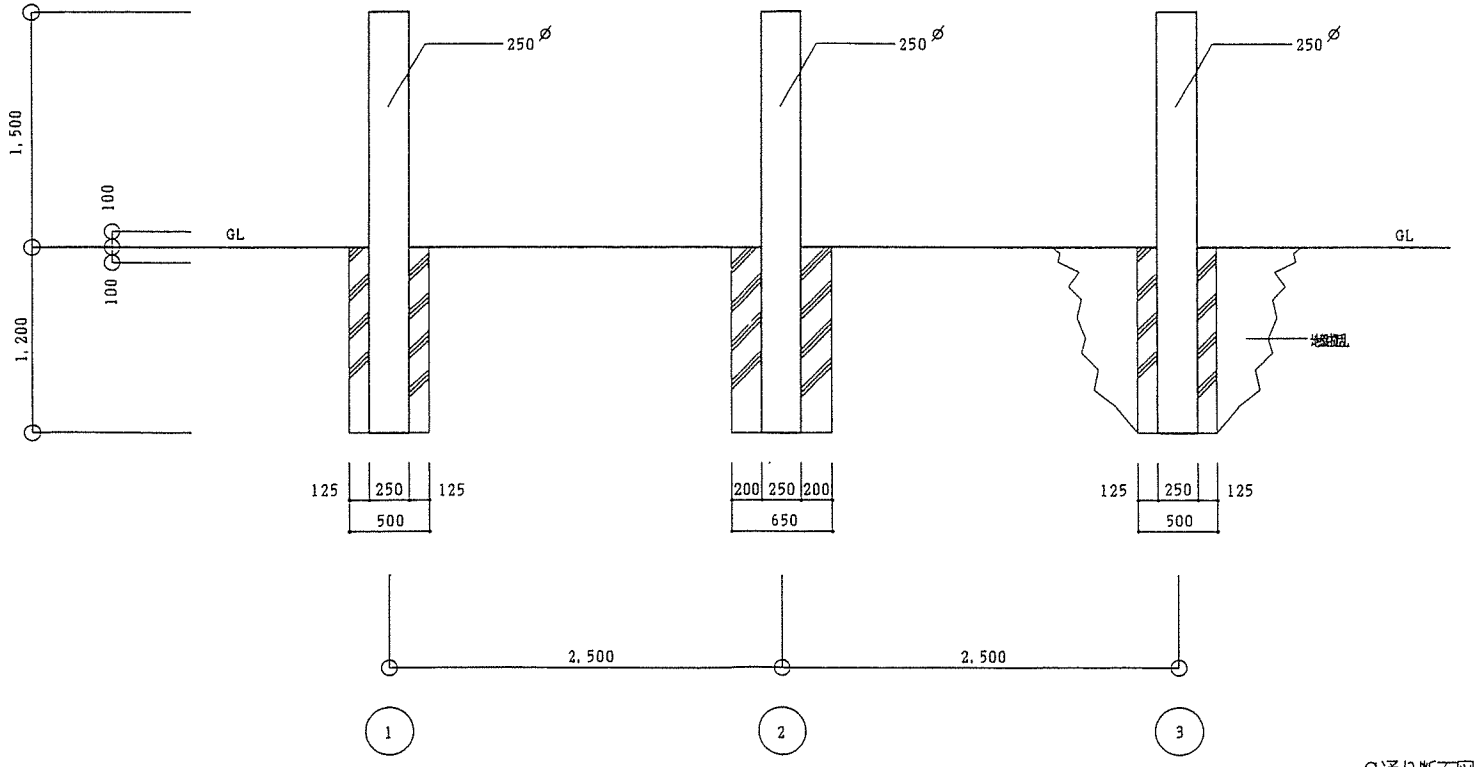
A通り軸組図

名称	試験体断面図	設計年月日	設計	検図	承認印	工事名称
品番		縮尺 S=1/30	製図	担当	承認年月日	



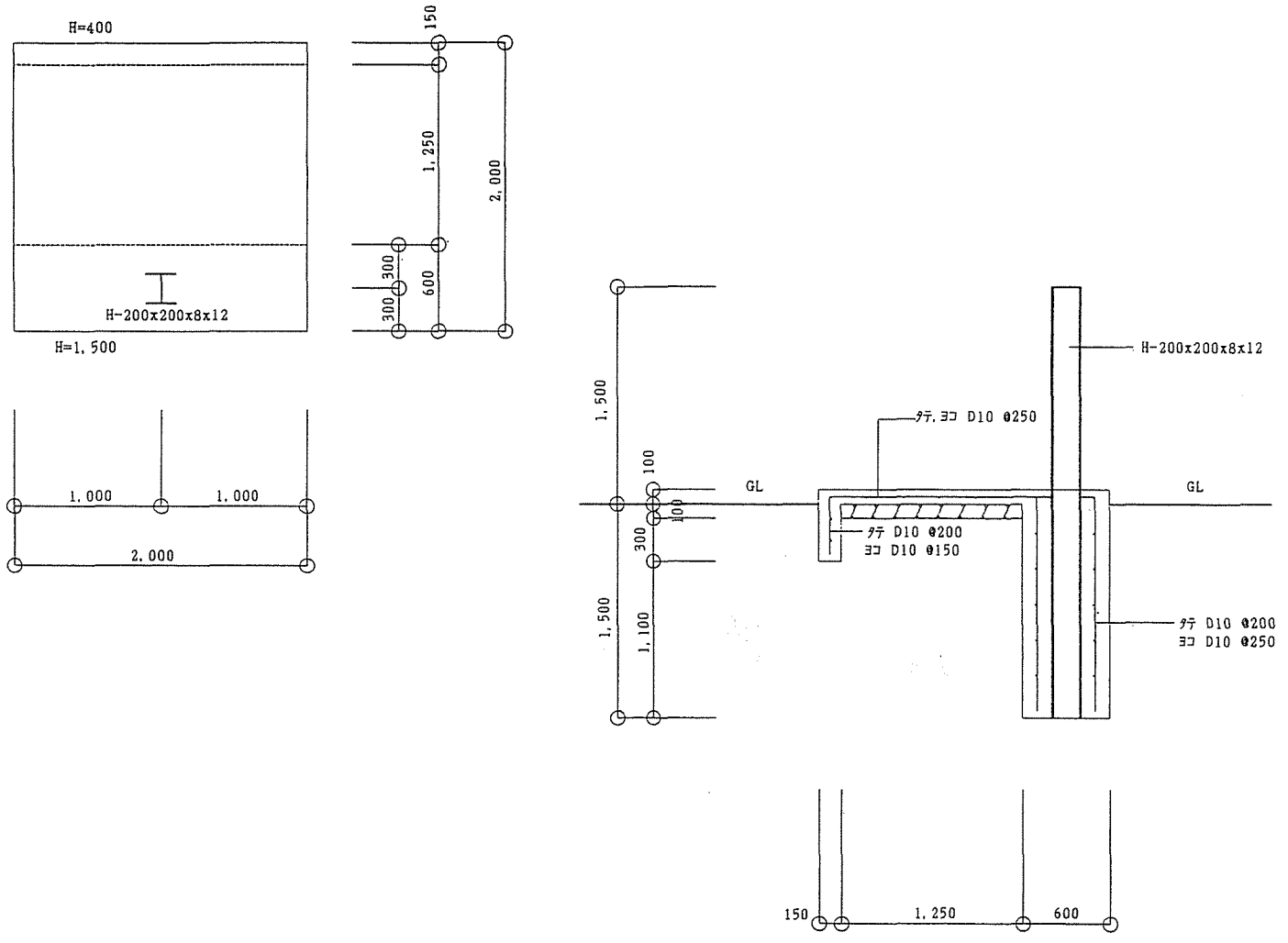
B通り軸組図

名称	試験体断面図	設計年月日	設計	検図	承認印	工事名称
品番		縮尺 S=1/30	製図	担当	承認年月日	



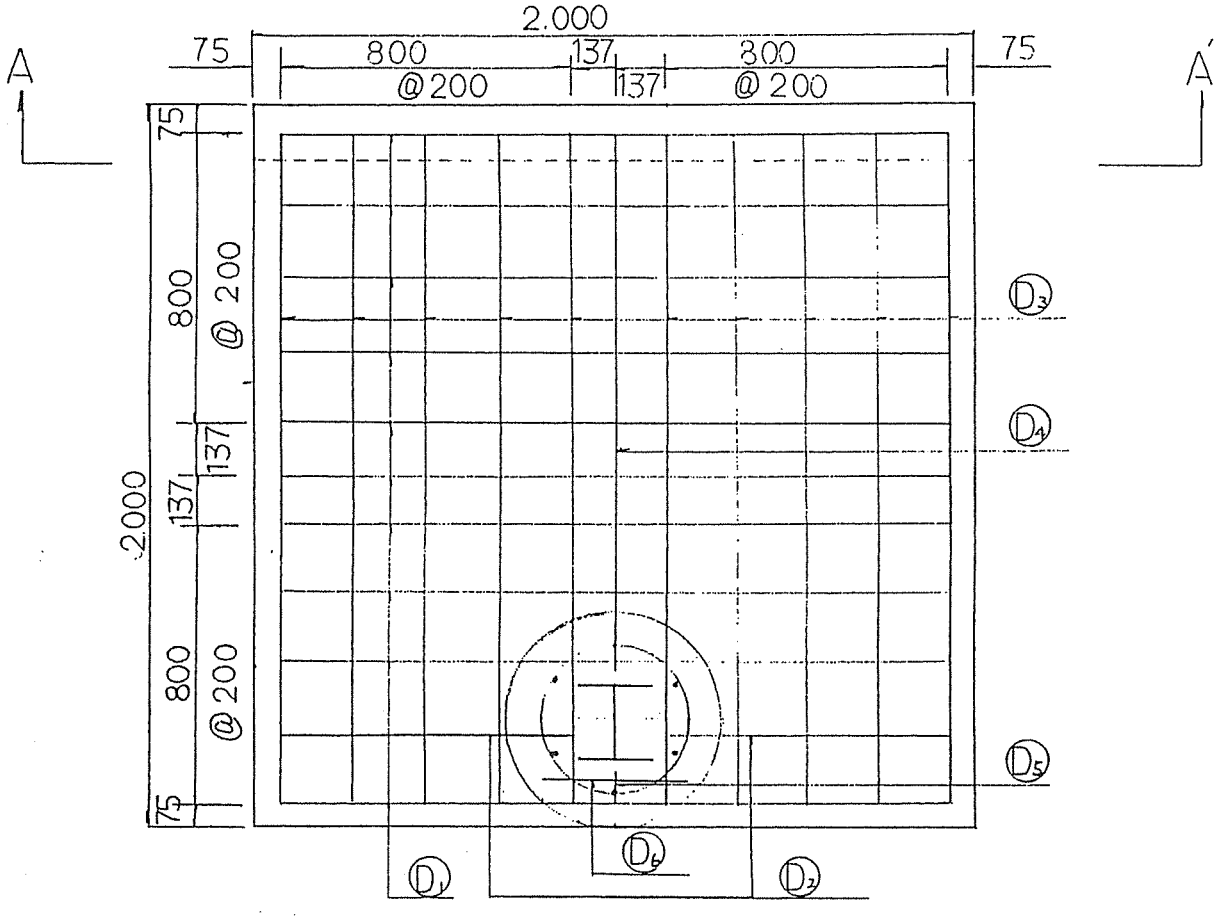
C通り断面図

名称	試験体断面図	設計年月日	設計	検図	承認印	工事名称
品番		縮尺 S=1/30	製図	担当	承認年月日	

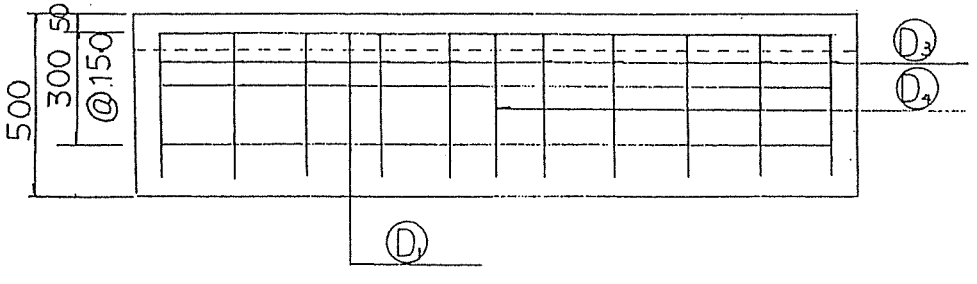


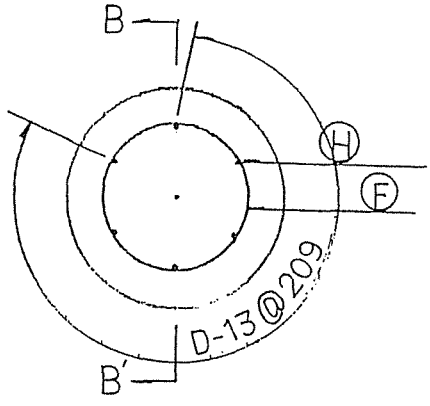
名称	反力試験体図	設計年月日	設計	検図	承認印	工事名称
品番		縮尺 S=1/30	製図	担当	承認年月日	

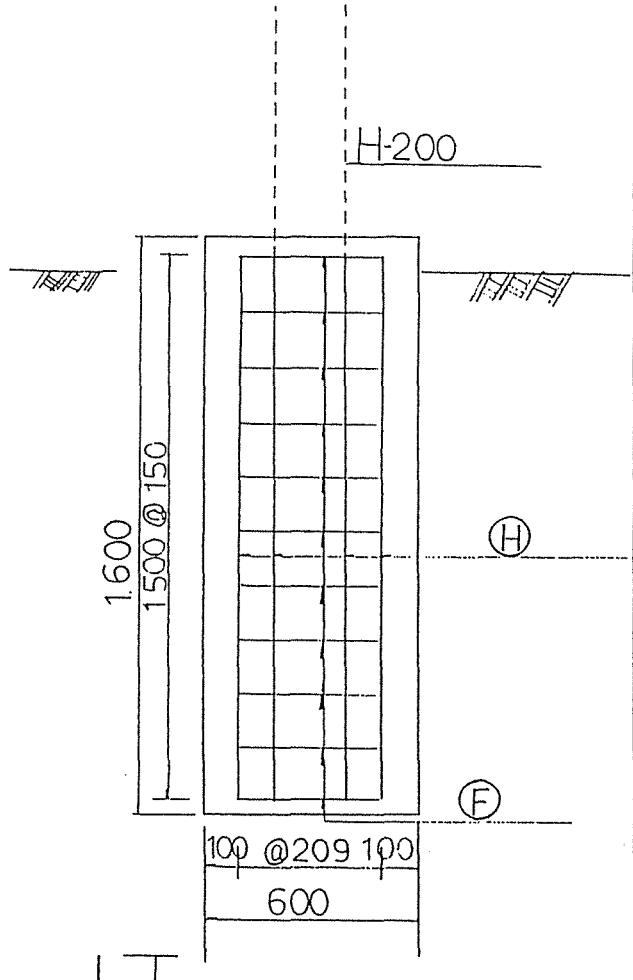
反力柱配筋図　S＝1：20

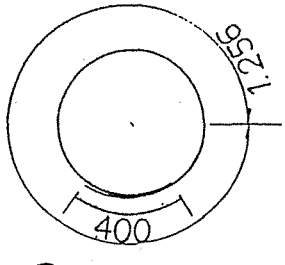


A－A′断面

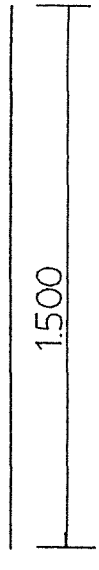








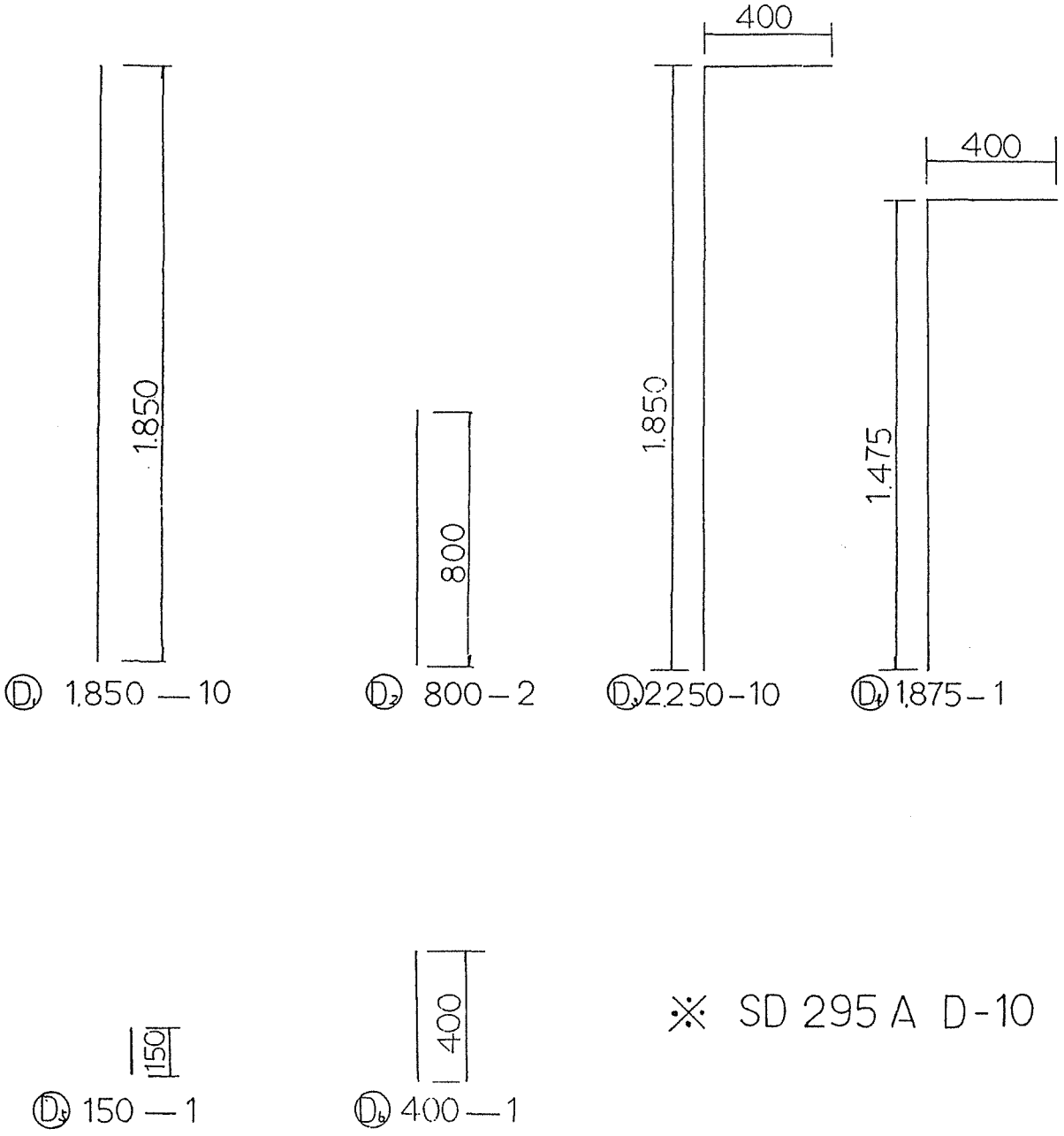
Ⓕ 1,656 − 11 D-10



Ⓗ 1,500 − 6 D-13

※ SD 295A

加　工　図



※ SD 295 A D-10

4章　丸太軸組小規模建築物の試作

1．目的

間伐丸太材を軸組材とする低コストで小規模な木造建築物の開発に当たり、部材加工および建築の方法を明らかにする。

2．試作建築物

2.1 試作の概要

①スギ間伐丸太を軸組部材に利用する。
②部材は、製材工場が特別な設備を持たなくても加工できるものとし、建築現場での施工は、一部の特別な工事を除き、ユーザーによって行うことができる仕様のものとする。
③対象とする建物は、以下の2種類とする。

・物置 1棟
・車庫 1棟（2台用）

2.2 当初設計図の変更内容及び変更理由

「資料３－２」をベースに設計した。変更点は以下の通り。

物置

- FIX 窓の材質をアクリルからガラスに変更（入手しやすいため）
- それに伴い、ガラスの固定枠を作成。
- 側面の羽目板を妻壁まで伸ばした（外観品質・雨仕舞いの向上）。
- 化粧半丸太のクロスをやめ、梁の高さと土台の高さに水平方向の部材を増やした（クロスの端部の納まりが、丸太の場合非常に困難なため）。
- 隅柱の丸太が土台に乗っていたが、柱勝ちにして、丸太柱に土台が入る納まりにした（外観品質の向上）。

車庫

- 変更は無いが、加工・施工を考慮した詳細設計を行った。

2.3 試作建築物の概要

表2.1に、試作を行った物置と車庫の仕様を示す。

表2．1 試作建築物の主な仕様

	物置	車庫
用途	物置	車庫
平面	1.82x2.73=4.97㎡	5.46x5.46=29.81㎡
軒高	2.0m	2.5m
屋根	段差切妻	切妻
フレーム	丸太＋製材	丸太＋製材
外壁	製材＋合板	製材
開口部	板戸＋ガラス板	なし
基礎	束石ブロック	ﾎﾟｰﾙｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ
外構	なし	土間コンクリート

2.3.1 物置

図 2.1～2.8 に物置の図面を示す。丸太を隅柱とし、製材品で土台・桁を構成し、構造用合板にて箱状にしたものに、化粧材として杉の羽目板と半丸太を外側に取付けた。屋根に明かり取り窓を設けている。建物は束石ブロックの上に置き、特に緊結はしない。

2.3.2 車庫

図 2.9～2.16 に車庫の図面を示す。ポール・コンストラクションと呼ばれる基礎で丸太柱を固定し、その上に丸太材で構成したトラスを載せた建物である。柱相互は桁材でつなぎ、羽目板を目透かし縦張りして壁としている。

2.4 試作建築物の問題点と解決方向

物置は、地盤に緊結されていないため、暴風時や大地震時の転倒の危険性が残る。これは、簡単でも良いので、アンカーボルトなどで緊結すべきであろう。

また、スギは乾燥による収縮が大きいので、それを考慮した納まりにすることが重要である。例えば、物置の羽目板は今回、時間がなく突き付けとしたが、乾燥して下地が見えてくる可能性が高い。このような場合は、シャクリを付けて、収縮しても下地が出ない様にするべきであ

る。これは、雨仕舞いの面からも必要。あるいは、車庫の壁のように、はじめから目透かしにする方法も検討されて良い。

3．木質部材の加工方法

3.1 木質材料の乾燥

特に KD 材というわけではなく、通常のグリーン材である。

3.2 木質部材及びその接合資材の種類・量

使用部材のリストを表 3.1 に示す。そして、それをまとめたものを表 3.2 と表 3.3 に示す。

3.2.1 物置

部材数量は少ないが、種類が多く、特に壁・屋根の合板と根太・垂木、化粧半丸太の種類が多い。

表3．2 物置の木質部材の種類と数量

	種類	数量
壁・屋根合板	14	35
根太・垂木	8	37
床	1	21
柱	3	27
羽目板	3	93
化粧半丸太	6	42
土台	2	5
桁	1	4
梁	1	2
合計	39	266

3.2.2 車庫

部材数量は物置の２倍相当あるが、部材種類はほぼ半分である。接合部合板と野地合板の種類が多い。

表3．3 車庫の木質部材・接合金物の種類と数量

	種類	数量
接合部合板	7	294
野地合板	6	32
丸太	4	70
柱	1	8
羽目板	1	90
ボルト	1	8
L型金具	1	36
合計	21	538

3.3 木質部材及びその接合部の加工形状、加工器具・道具の型式、加工の方法

3.3.1 物置

表 3.4 にまとめた。化粧半丸太の R 加工が難しく、NC 加工に頼らざるを得なかった。NC加工機を写真１～２に示す。また、土台・梁桁の継手・仕口加工は通常の NC でも可能であるし、技能者がいれば手加工もできる。

表3．4 物置の木質部材の加工

部材	加工形状	加工機器	加工方法
壁・屋根合板	直線カット 垂木部分欠込み	丸鋸 NC	手加工 NC
根太・垂木	厚さ決め 長さカット 斜めカット	プレーナー 丸鋸 丸鋸	手加工
床	長さカット	丸鋸	手加工
柱	長さカット 化粧材用R加工 土台・梁接合	製材機 NC 手加工	手加工 NC 手加工
羽目板	厚さ決め 長さカット 糸面取り	プレーナー 丸鋸 カンナ	手加工
化粧半丸太	R加工	NC	NC
土台	継手仕口加工	NC	NC
桁	継手仕口加工	NC	NC

3.3.2 車庫

表 3.5 にまとめた。丸太の接合用合板は、形状が手加工向きではなかったことと、同じ形状のものが多数あったので、NC を使って効率化を図った。これは、手加工でも可能である。また、軸組丸太の接合面（接合用合板を打ちつける面）の平面加工は、丸太のねじれなどの問題

表3．5 車庫の木質部材の加工

部材	加工形状	加工機器	加工方法
接合部合板	斜めカット	NC	合板から木取り
野地合板	長さカット	丸鋸	手加工
丸太	長さカット 接合部平面加工	NC	NC
柱	長さカット 土台・梁接合	丸鋸 ノミ	手加工
羽目板	厚さ決め 長さカット 糸面取り	プレーナー 丸鋸 カンナ	手加工

表3．1 使用した木質部材の一覧

物置

部材	巾	高さ	長さ	数量	材積
壁合板	910	12	1730	1	0.0189
	910	12	1730	1	0.0189
	780	12	1730	1	0.0162
	910	12	1730	1	0.0189
	910	12	1730	1	0.0189
	780	12	1730	1	0.0162
	910	12	599	1	0.0065
	910	12	599	1	0.0065
	254	12	599	1	0.0018
	910	12	599	1	0.0065
	910	12	599	1	0.0065
	254	12	599	1	0.0018
	910	12	1775	1	0.0194
	910	12	1775	1	0.0194
	254	12	1775	1	0.0054
	910	12	865	1	0.0094
	910	12	865	1	0.0094
	254	12	865	1	0.0026
	128	12	1365	1	0.0021
野地合板	808	12	1515	1	0.0147
	808	12	1515	1	0.0147
	910	12	1515	1	0.0165
	910	12	1515	1	0.0165
	779	12	1515	1	0.0142
	779	12	1515	1	0.0142
棚板	429	12	1057	2	0.0109
	519	12	949	8	0.0473
小計				35	0.3543
横化粧丸太	120	38	885	16	0.0646
	120	38	895	8	0.0326
	120	38	860	4	0.0157
	120	38	642	8	0.0234
縦化粧丸太	120	38	2483	2	
	120	38	2000	4	
	120	38	1365	1	
小計				43	
土台	90	90	2700	3	0.0656
	90	90	1790	2	0.0290
桁	90	90	2700	4	0.0875
梁	90	90	1790	2	0.0290

部材	巾	高さ	長さ	数量	材積
垂木	90	38	1273	1	0.0044
	90	38	1273	1	0.0044
	90	38	1273	1	0.0044
	90	38	1273	1	0.0044
	90	38	1273	1	0.0044
	90	38	1273	1	0.0044
	90	38	1273	1	0.0044
	90	38	1684	1	0.0058
	90	38	1684	1	0.0058
	90	38	1684	1	0.0058
	90	38	1684	1	0.0058
	90	38	1684	1	0.0058
	90	38	1684	1	0.0058
	90	38	1684	1	0.0058
	90	38	264	1	0.0009
	90	38	264	1	0.0009
	90	38	264	1	0.0009
	90	38	264	1	0.0009
	90	38	264	1	0.0009
	90	38	264	1	0.0009
	90	38	264	1	0.0009
根太	90	38	1910	4	0.0261
	90	38	1872	2	0.0128
	90	38	1797	2	0.0123
	90	38	391	4	0.0053
	90	38	353	4	0.0048
小計				37	0.139
床板	90	38	2820	21	0.2025
柱	180		2000	4	0.2036
間柱	90	38	1840	21	0.1321
管柱	90	90	2213	2	0.0359
小計				27	0.3716
羽目板	90	20	2640	22	0.1045
	90	20	1730	25	0.0779
	90	20	1730	2	0.0062
	90	20	599	44	0.0474
小計				93	0.236
額縁	60	38	1441	1	0.0033
	60	38	1820	2	0.0083
小計				3	0.0116

車庫

部材	巾	高さ	長さ	数量	材積
ｶﾞｾﾞｯﾄ用合板	910	12	1820	15	0.2985
野地合板	910	12	1820	6	0.1194
	910	12	1513	12	0.2388
	910	12	1213	6	0.1194
	650	12	1820	2	0.0398
	650	12	1513	4	0.0796
	650	12	1213	2	0.0398
小計				47	0.9353
ﾄﾗｽ用丸太	120		6360	11	0.9955
	120		3320.6	20	0.904
	120		1046.4	20	0.34
	120		1253.5	20	0.34
	120			10	0.339
小計				81	2.5795
柱丸太	200		3700	8	1.0056
桁丸太	120		5660	6	0.2712
羽目受け	90	90	1701	6	0.1944
羽目板	90	38	1860	45	0.6165

もあり、NC で行った。これを手加工で行うことは、非常に難しい。

3.4 木質部材の加工能率の見込み

今回の部材加工に要した人工を表 3.6 に示す。加工前の実施設計と NC プログラムに時間がかかっている。今後同じ加工であれば、この時間は必要ないが、加工だけ見ても、１５～１７人工と、膨大な時間がかかっている。

表3. 6 加工に要した工数(単位:人工)

	物置	車庫
実施設計	4	3
NCプログラム	2	3
治具作製		3
加工	17	15
合計	23	24

3.5 木質部材加工の問題点と解決方向

3.5.1 物置

生産性を落した要因は、一つには外側の化粧半丸太と丸太柱との納まり部分の R 加工である。これは、丸太柱の面よりも化粧半丸太の方が飛び出していることもあって、納まり的に苦労した。丸太柱の径を大きくするか、丸太柱の芯を外側にずらすかして、柱の中に納まるようにすべきである。

また、柱のほぞ加工は手加工で行ったため、工数が増えている。これは、丸太に R 面があり、通常のプレカットラインに乗せることができないためである。

また、FIX 窓の枠については、NC 加工でつくったが、これも加工にかなり時間がかかった。

3.5.2 車庫

トラスを組むための丸太の平面加工に時間がかかっている。直径約 120mm の丸太を、80mm の厚みまで削るため、40mm（片側 20mm）の削りが必要になる。これが、トラス１つあたり１８ヶ所ある。これを NC で加工するため、どうしても時間がかかる。手加工で行うことも不可能ではないが、通常使用している丸鋸の場合、丸太のために基準となる面が無いこと、丸太のそり・ねじれなどの癖への対応や、削った後の残り厚の精度などを考えると、手加工は非常に難しいといわざるを得ない。

解決の方法として、図 3.1～3.2 に示すような、特殊金物を使った接合方法を提案する。軸材の先端にスリット加工とドリフトピン孔加工をして、金物を固定し、部材と部材の接合にこの金物を利用する。特殊金物なので、金物代が割高にはなるが、木材加工が簡単になり、加工コスト、納期、品質向上というメリットがある。

4．現場での施工方法

4.1 部材の組立の手順・方法

図 4.1～4.2 に組立の手順を、写真３～１８にその様子を示す。物置および車庫のトラスは、当社工場内にて組み立ててから現場に運んだ。

4.1.1 物置

① 土台・柱・梁を組む。
② 間柱・棟木・根太を組む。
③ 外壁の合板を打ち付ける。
④ 垂木をかけ、ハリケンタイで固定する。
⑤ 床を貼る。
⑥ 野地合板を取付ける。
⑦ 外壁の化粧半丸太を取付ける。
⑧ 棚、窓ガラス、ドアの取付け。

4.1.2 車庫

① ポールコンストラクションと呼ばれる、筒型の基礎の穴に柱を挿し込んで、羽目板受け梁をはめ込んだ後、モルタルを注入して固定する。
② 柱同士を桁でつなぎ、固定した。
③ 床面上でトラスを組み立てた。接合部用の平面の高さが揃わなかったので、電動カンナで平らにした。最初に大きな三角形を作るように接合部合板で固定した。固定には CN50 釘を 50 ピッチで２列打ちつけた。
④ トラスを柱の上に設置して、倒れ止めにコーナープレートで固定した。

⑤ 屋根用の合板を打ち付ける。
⑥ 羽目板を打ち付ける。

4.2 組立に要する機器・道具の形式

物置、車庫のどちらも、ハンマー・水糸・脚立などの一般的な大工道具で施工可能であった。ただし、車庫のトラス用丸太の平面部の面が合わなかったため、電動カンナを使って面を合わせた。また、釘打ち機を用いて、施工効率を上げた。

4.3 組立能率

施工に要した実績工数は、物置で５人工、車庫で８人工（トラス組立：３人工、建前：５人工）であった。

4.4 組立の問題点と解決方向

4.4.1 物置

大きな問題はなかった。

4.4.2 車庫

トラスの形状がすべて同じにできるわけではなく、材料によっては、垂れ下がりもあるので、屋根面に凹凸が生じることも考えられる。最終的にきれいに納めるには、調整機能がある方が望ましい。

トラスの地組み作業は一人で可能（裏返す時など）だが、サイズが大きいため、運搬は２人必要になる。建前時、柱の上に載せる時は、ユニックやクレーンなどを使うしかない。DIYのイメージで考えるならば、小型化・軽量化が望まれる。

以上

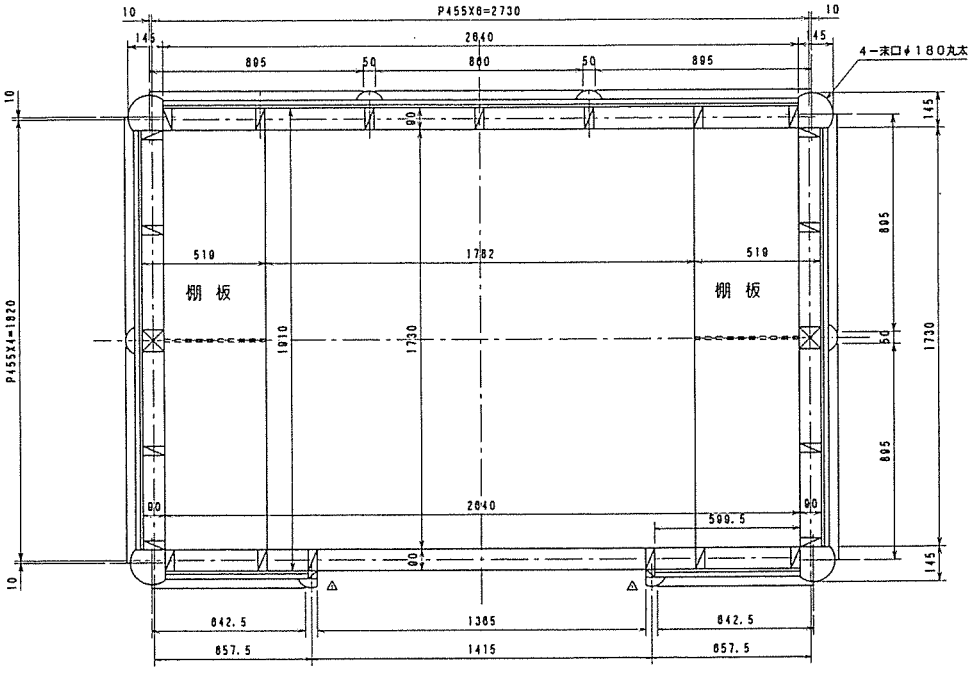


図2. 1 物置 平面図

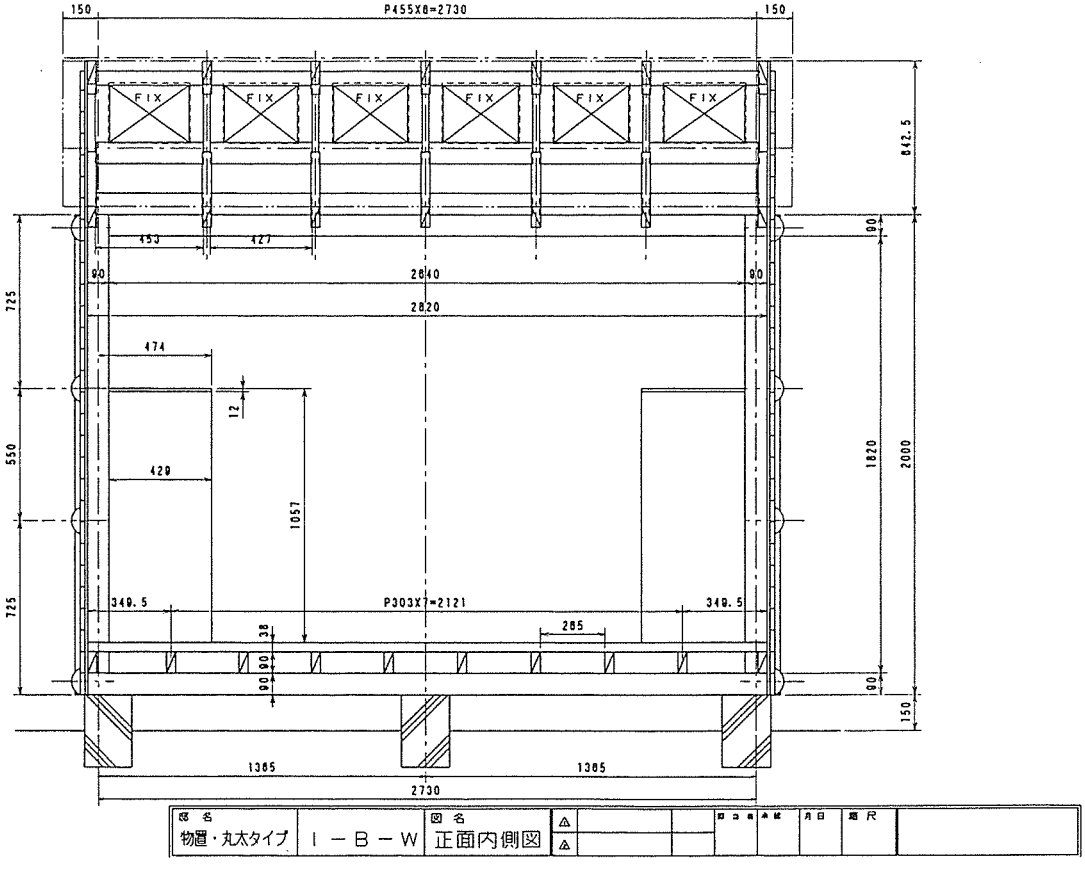


図2. 2 物置 正面断面図

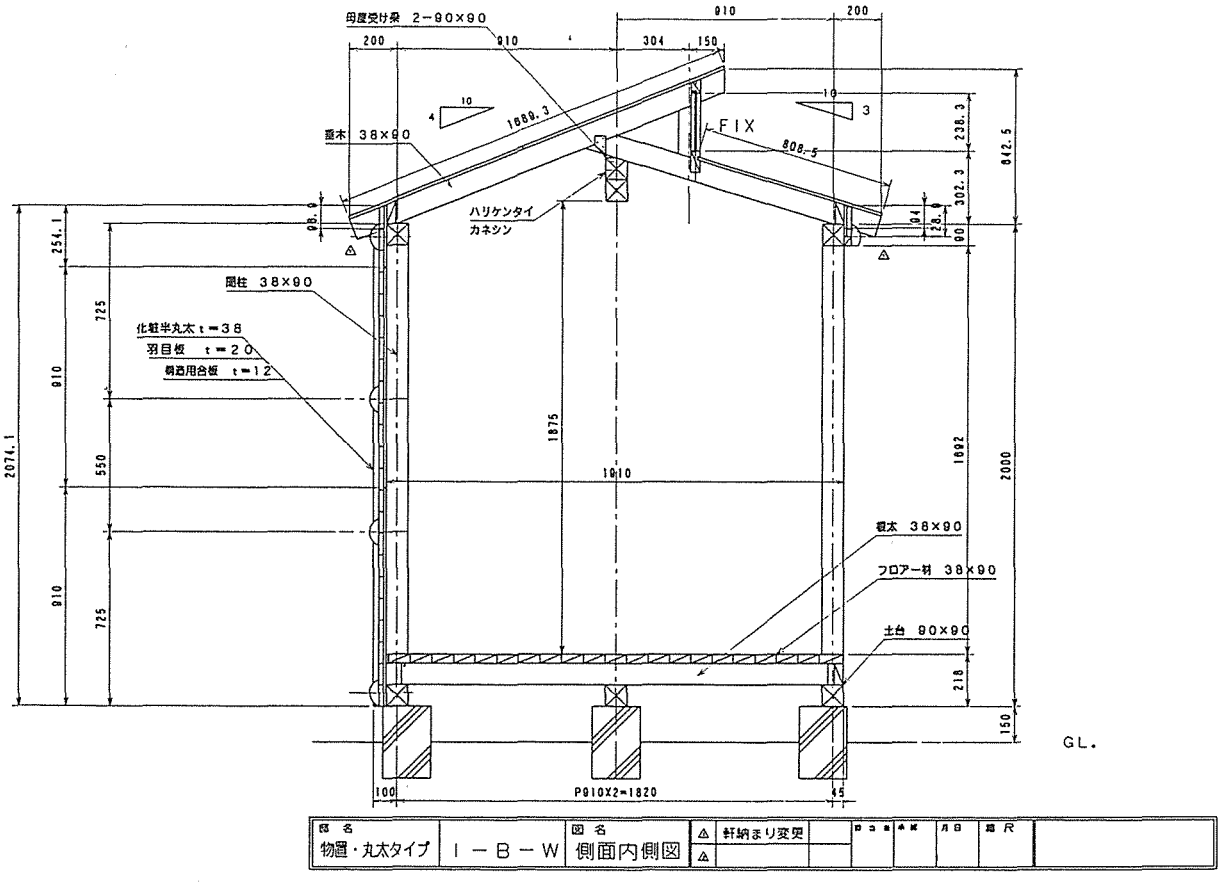


図2. 3 物置 側面断面図

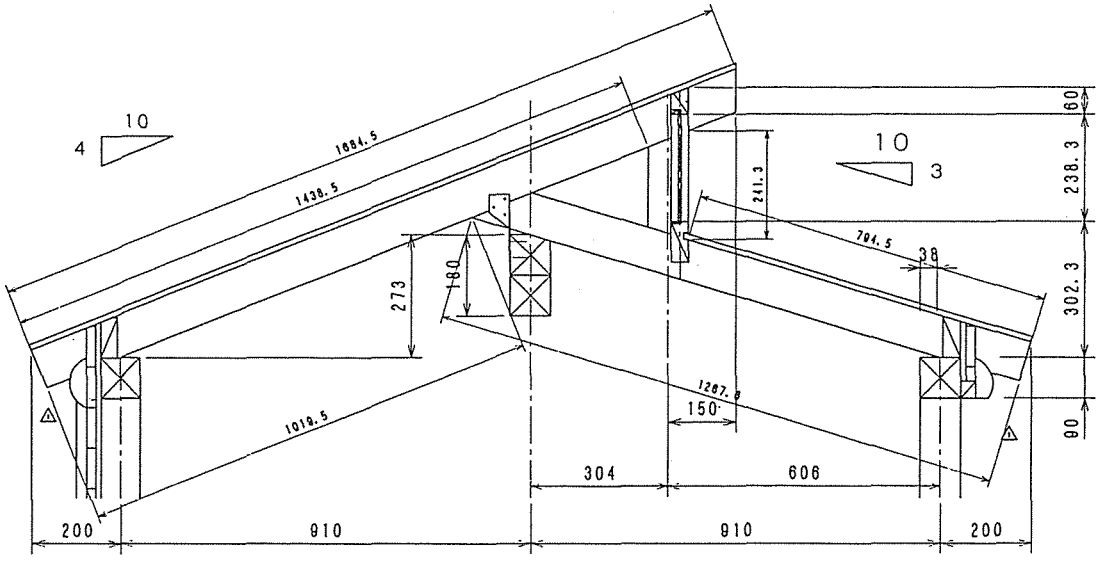


図2. 4 物置 垂木・FIX窓納まり図

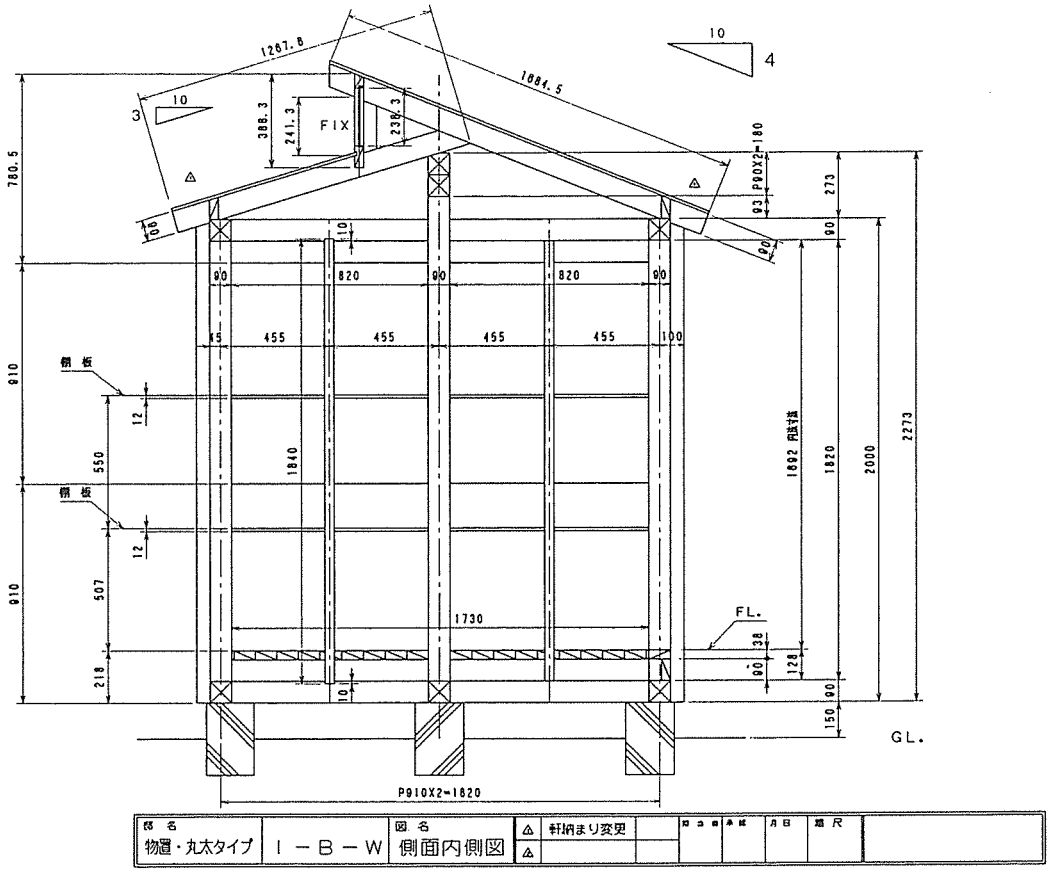


図2．5 物置 側面断面図

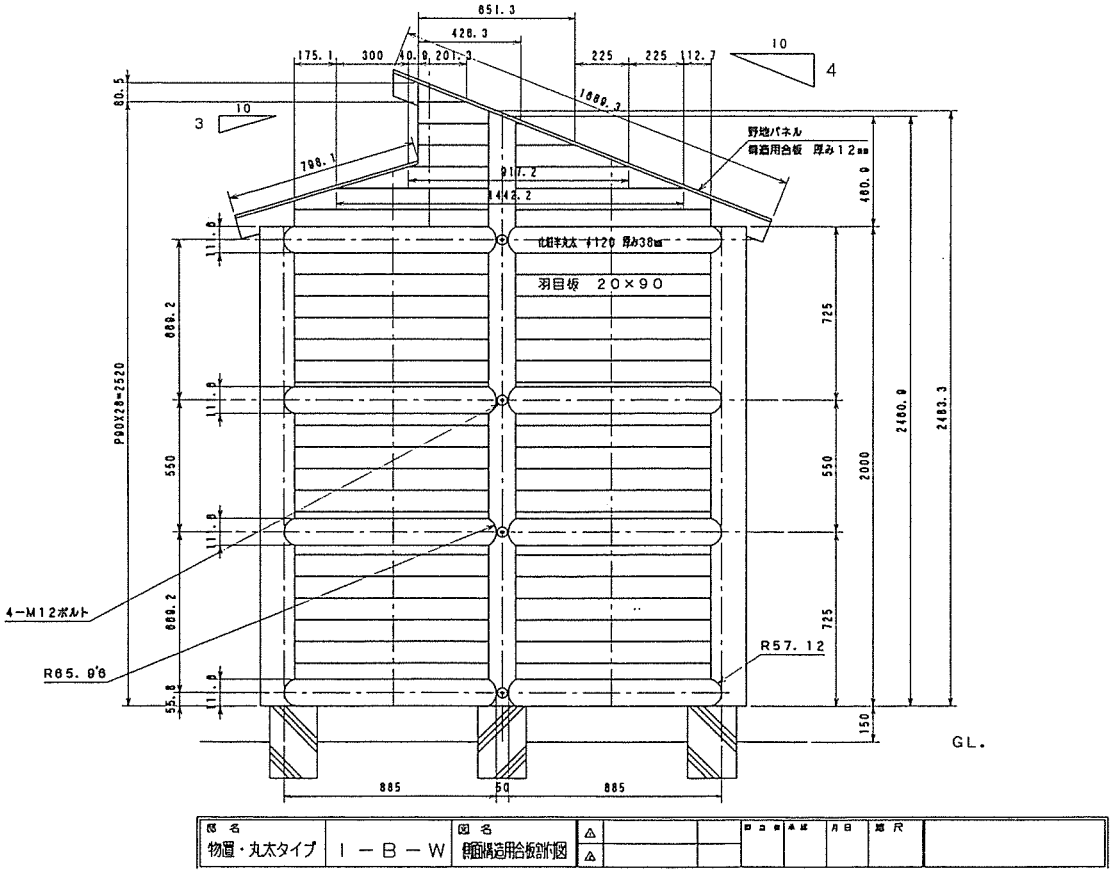


図2．6 物置 側面図

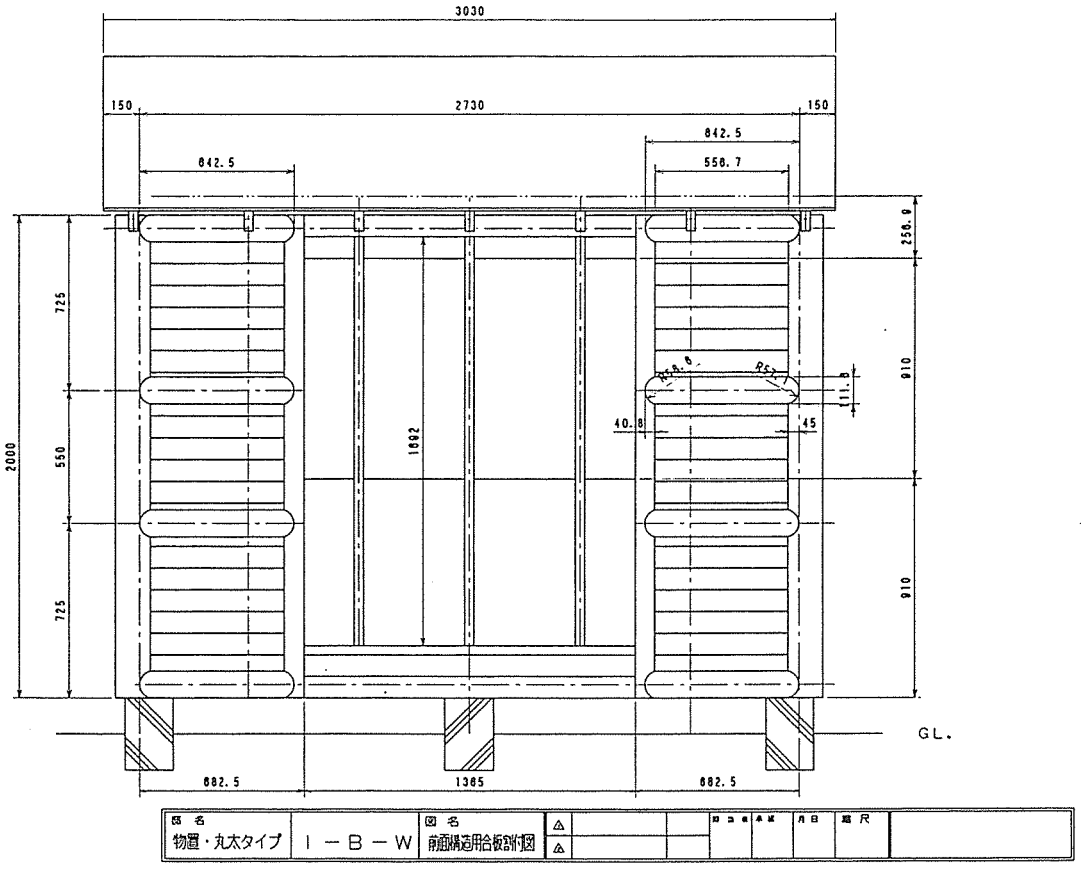


図2. 7 物置 正面図

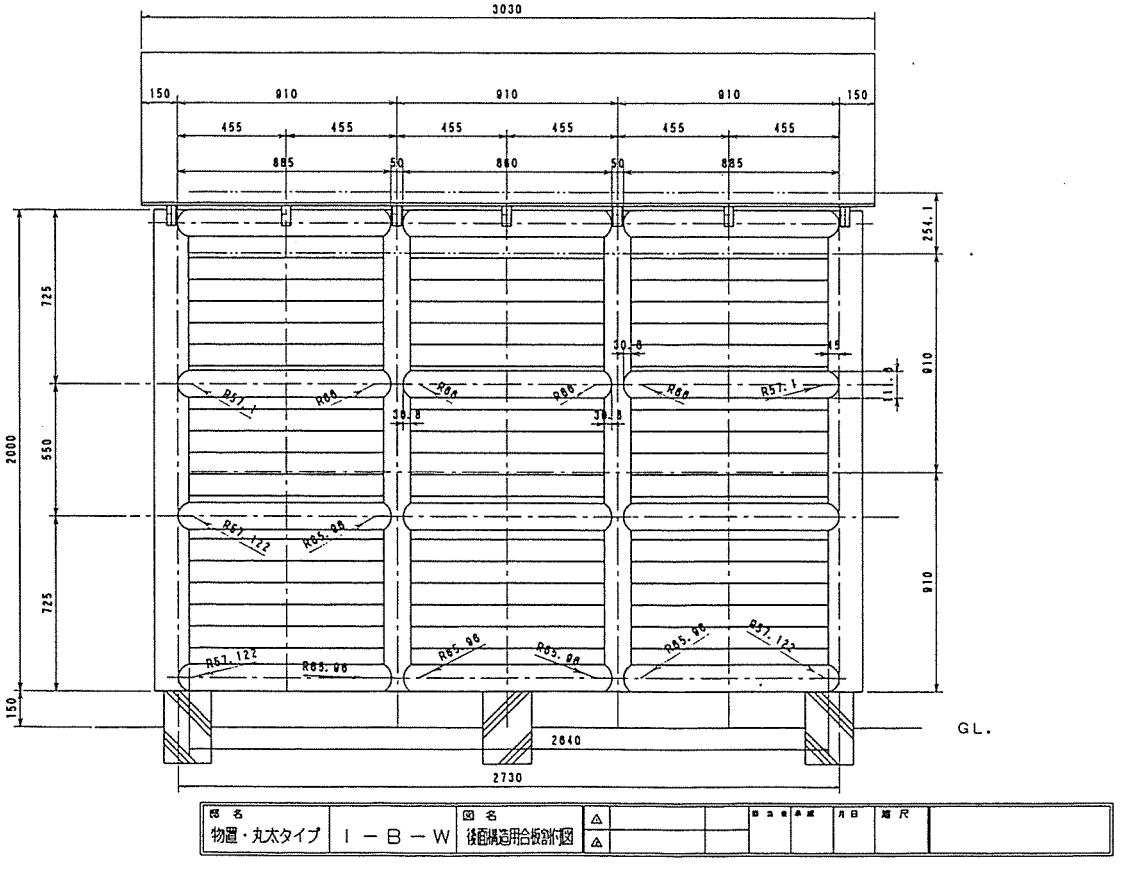


図2. 8 物置 背面図

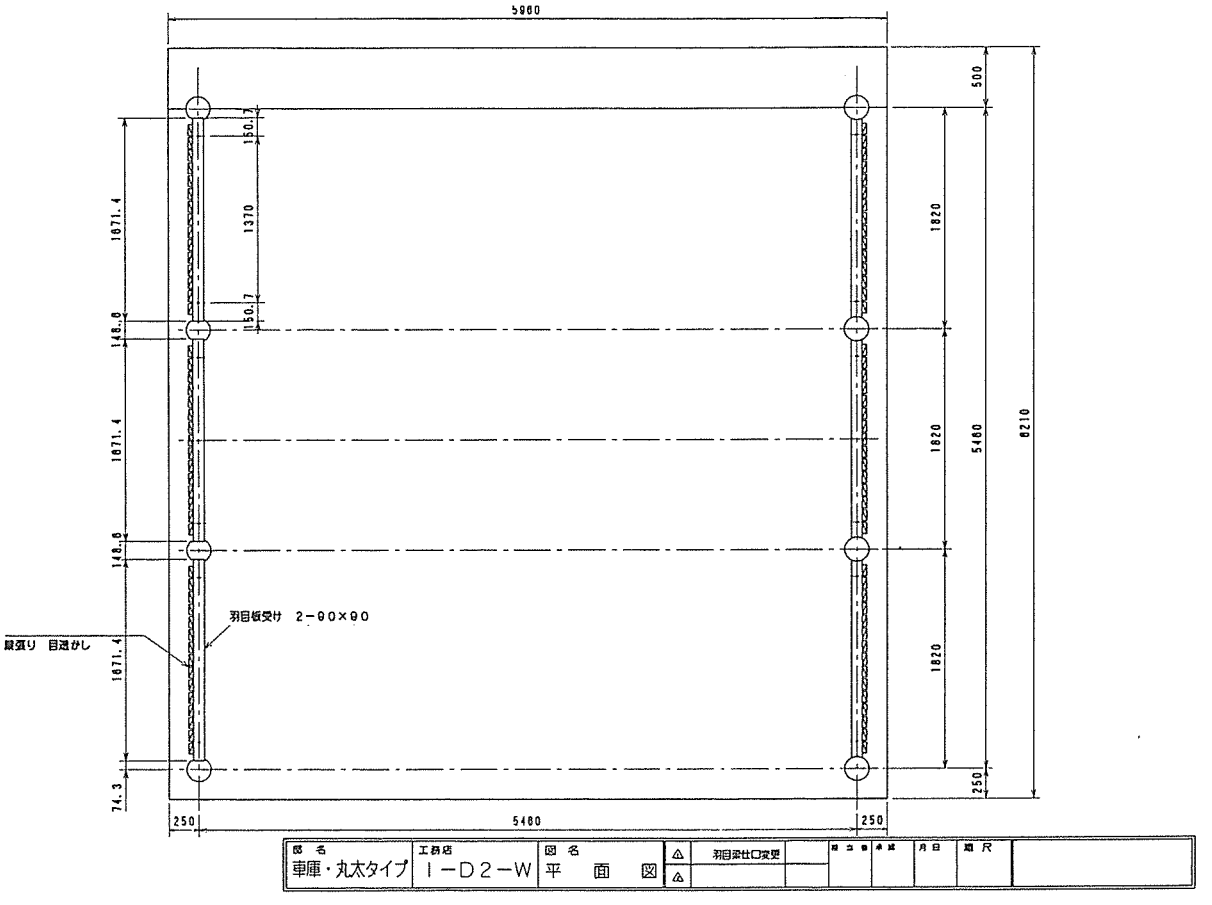


図2. 9 車庫 平面図

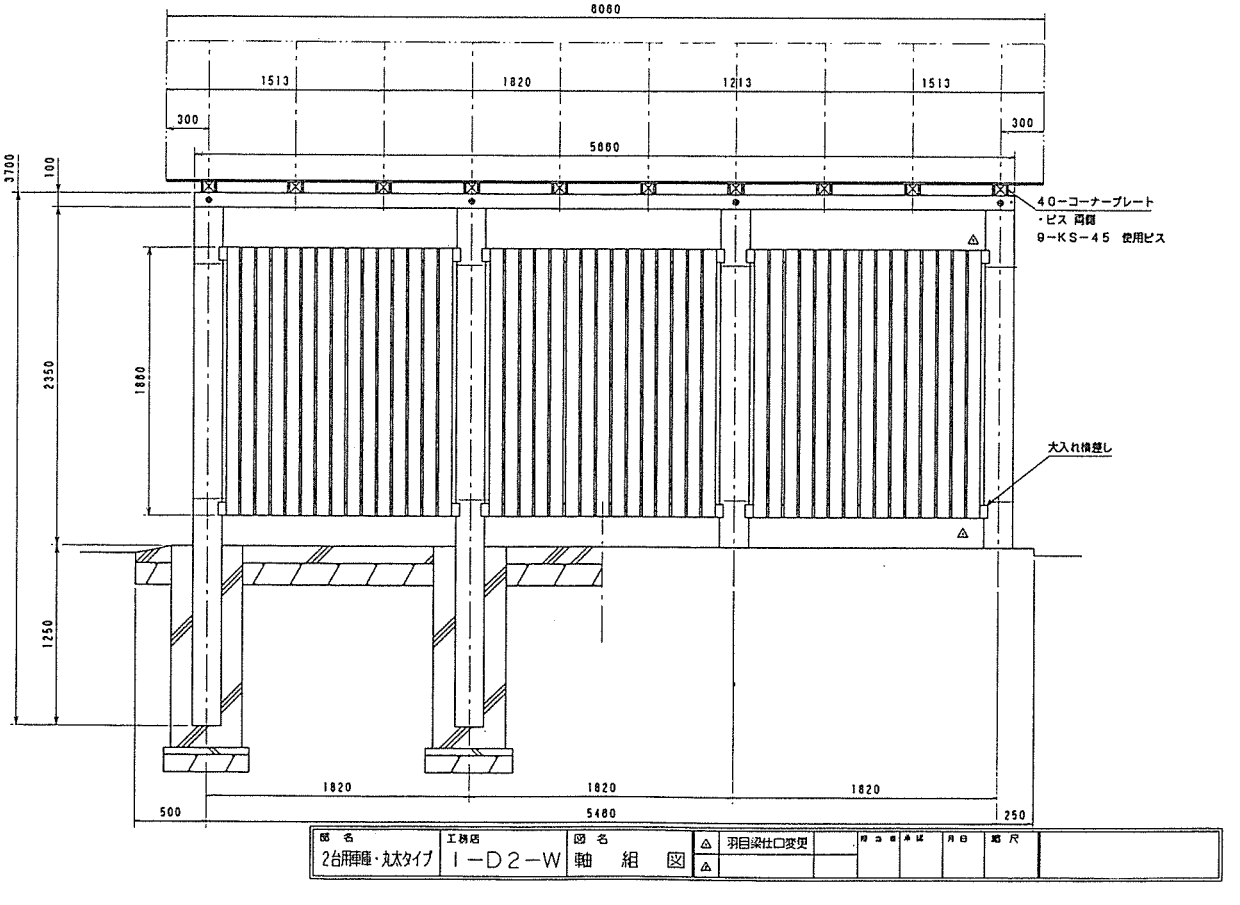


図2. 10 車庫 側面図

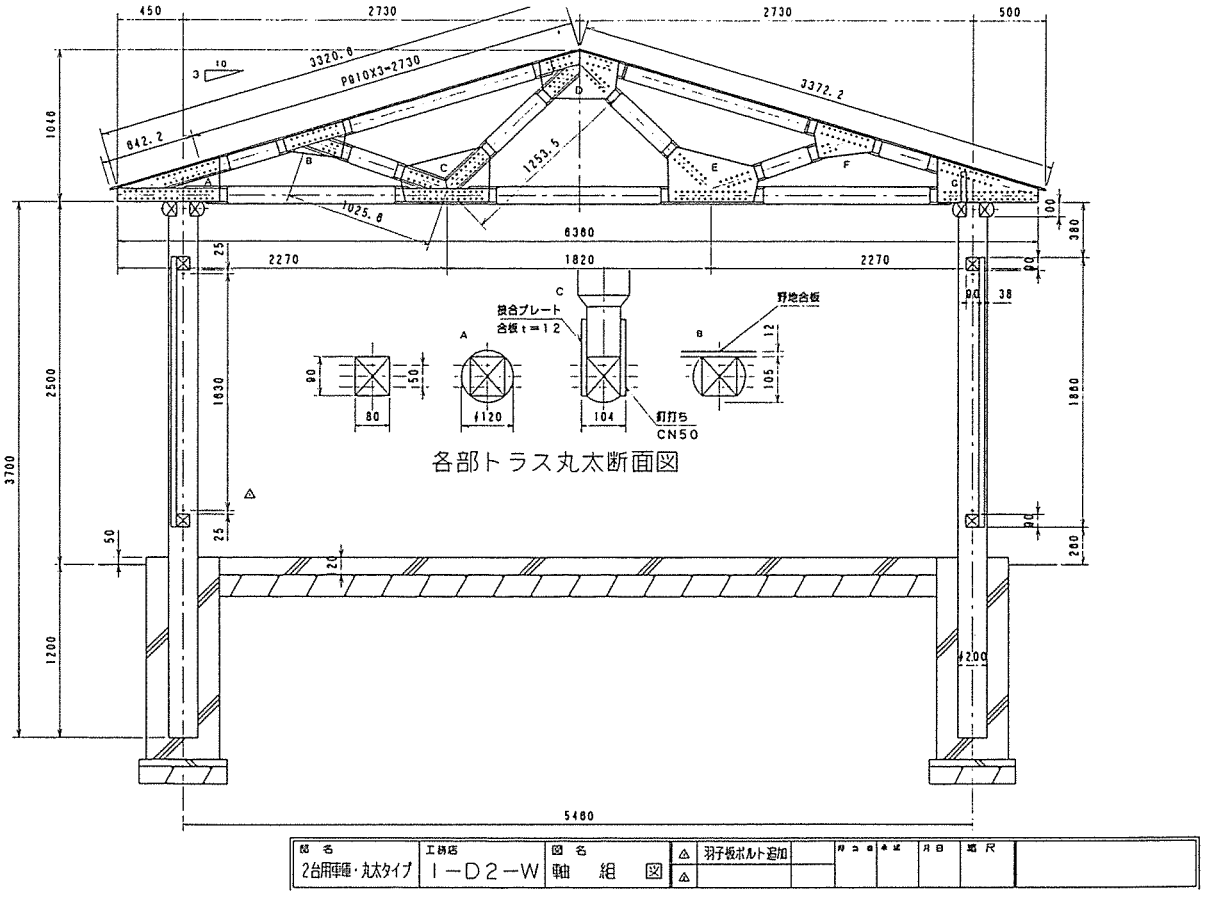


図2. 11 車庫 正面図

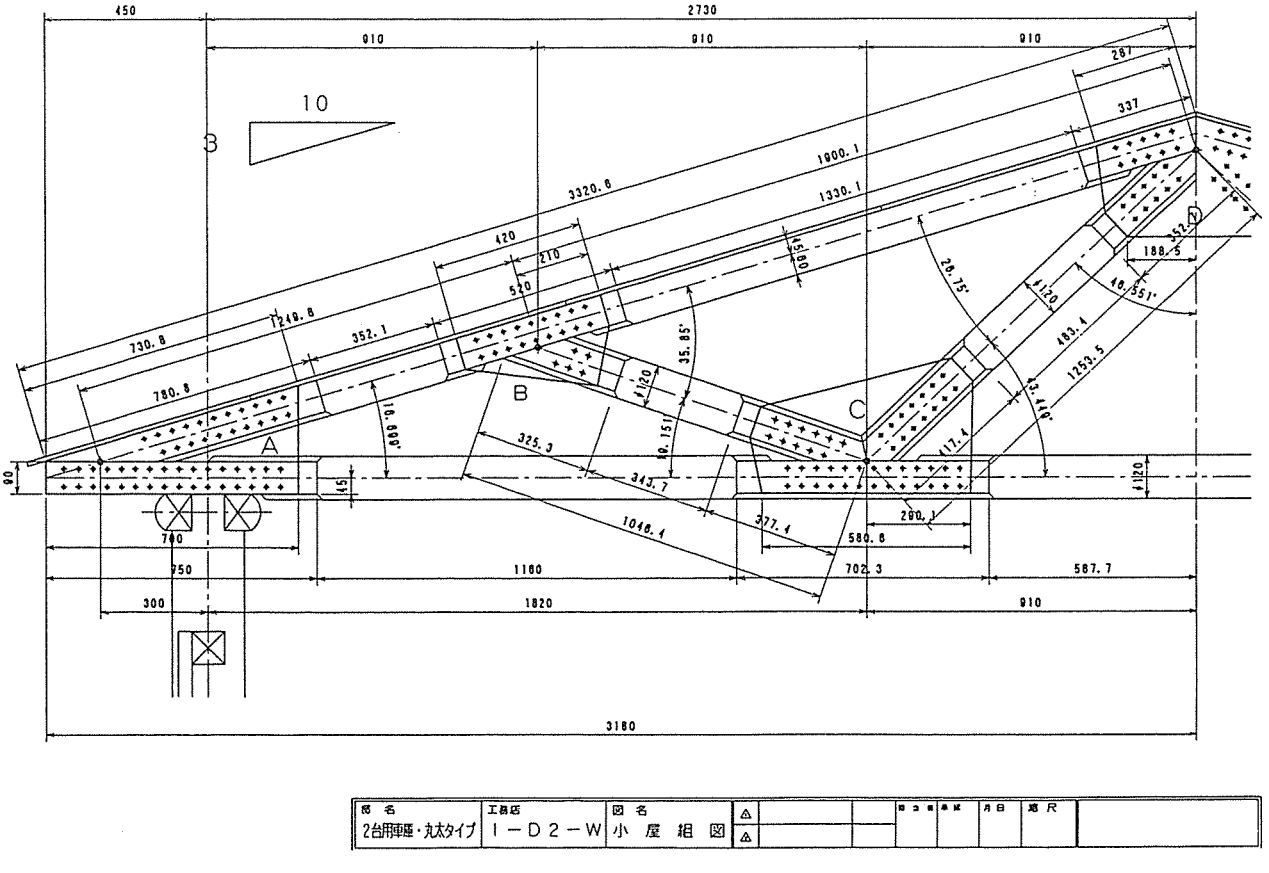


図2. 12 車庫 トラス納まり図

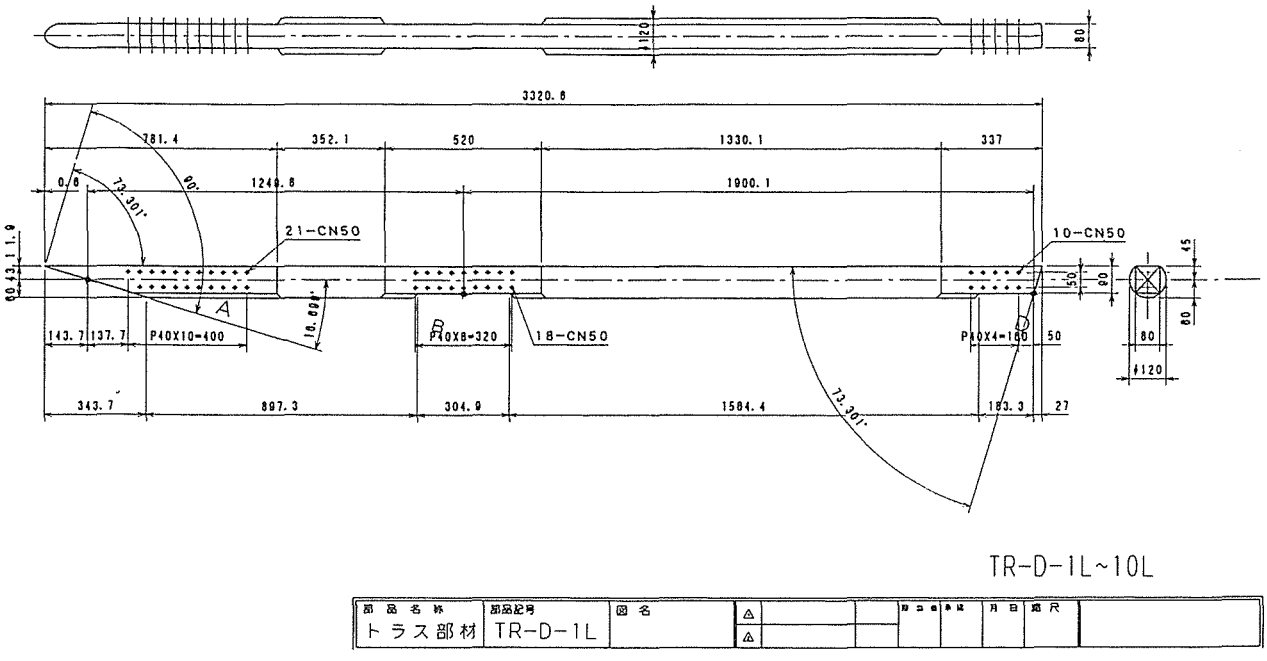


図2．13 車庫 トラス部材部品図(例)

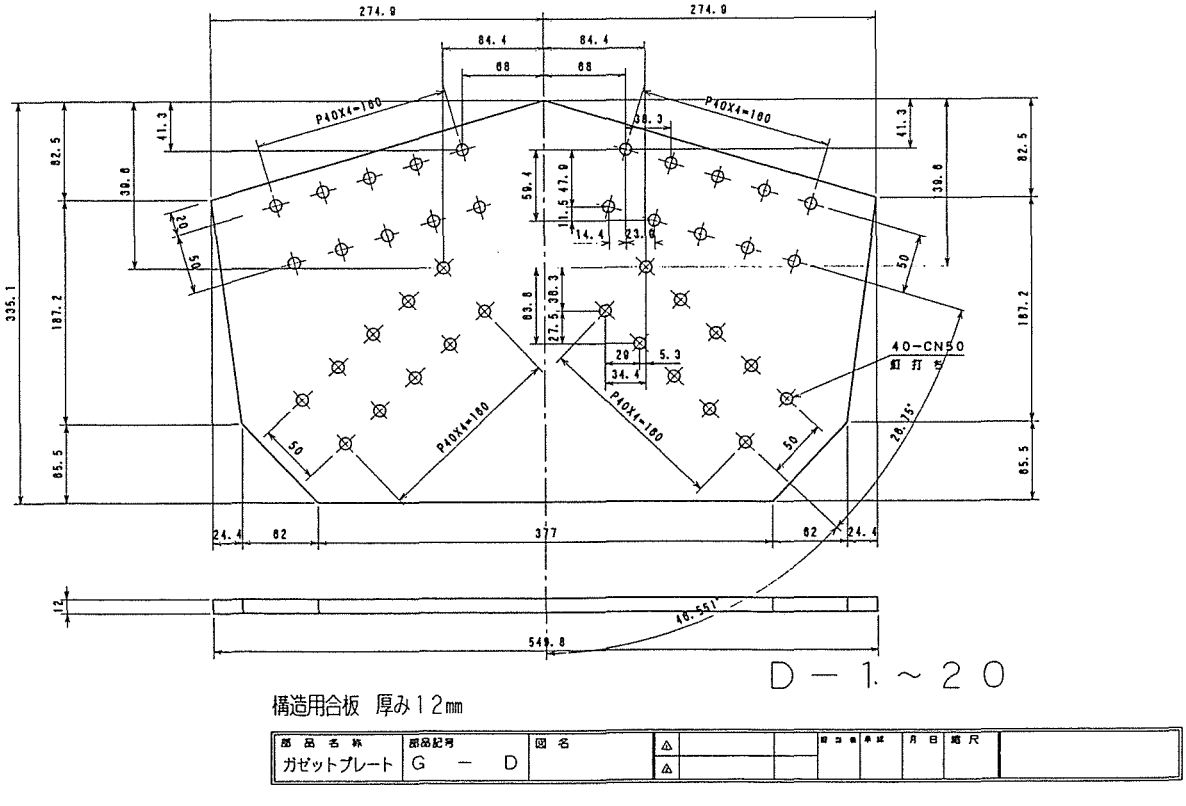


図2．14 車庫 トラス接合部合板(例)

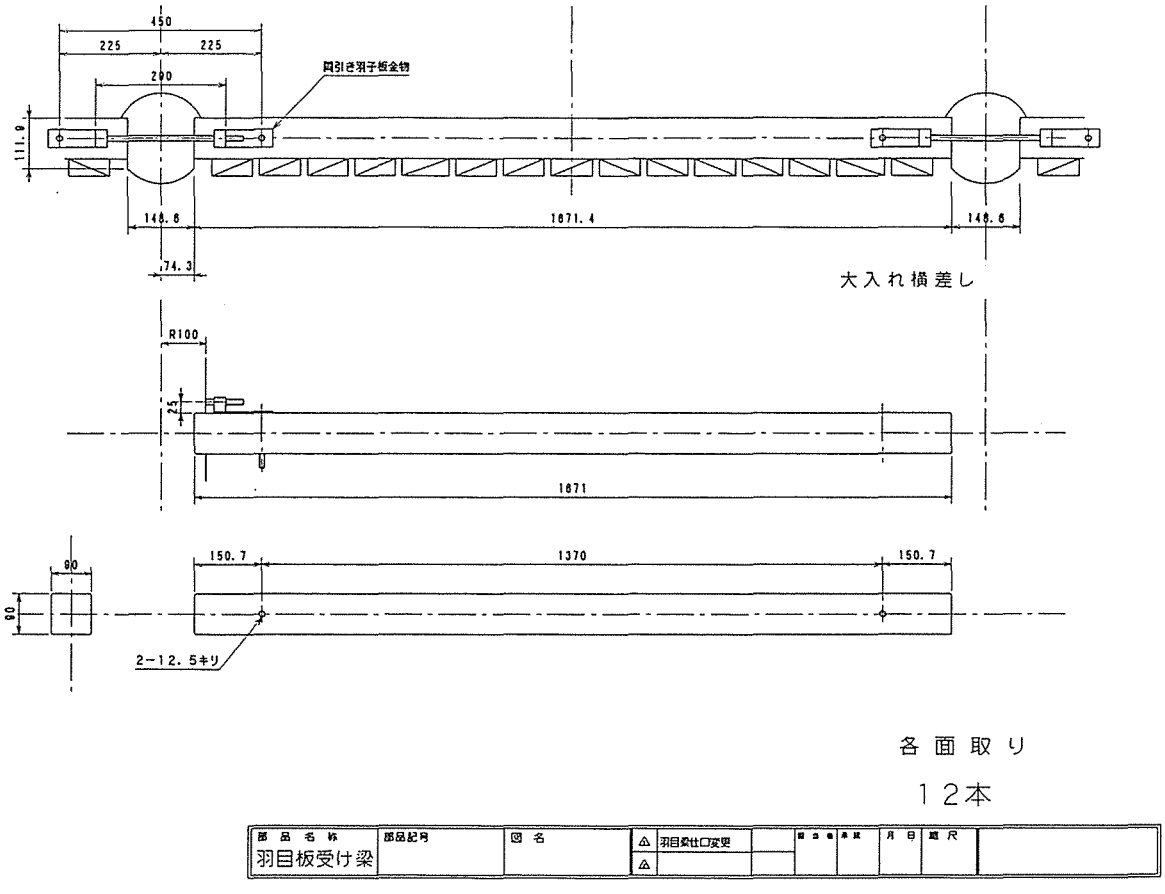


図2. 15 車庫 羽目板受け梁部品図

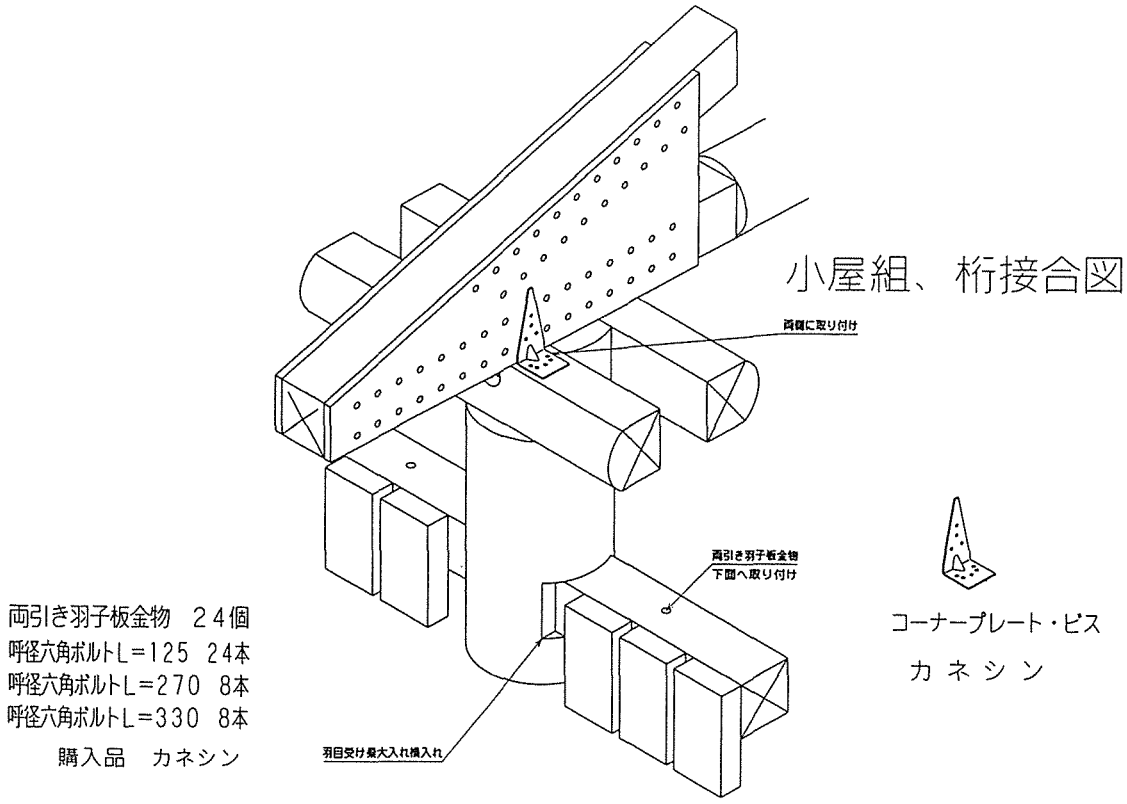


図2. 16 車庫 トラス・桁接合部納まり図

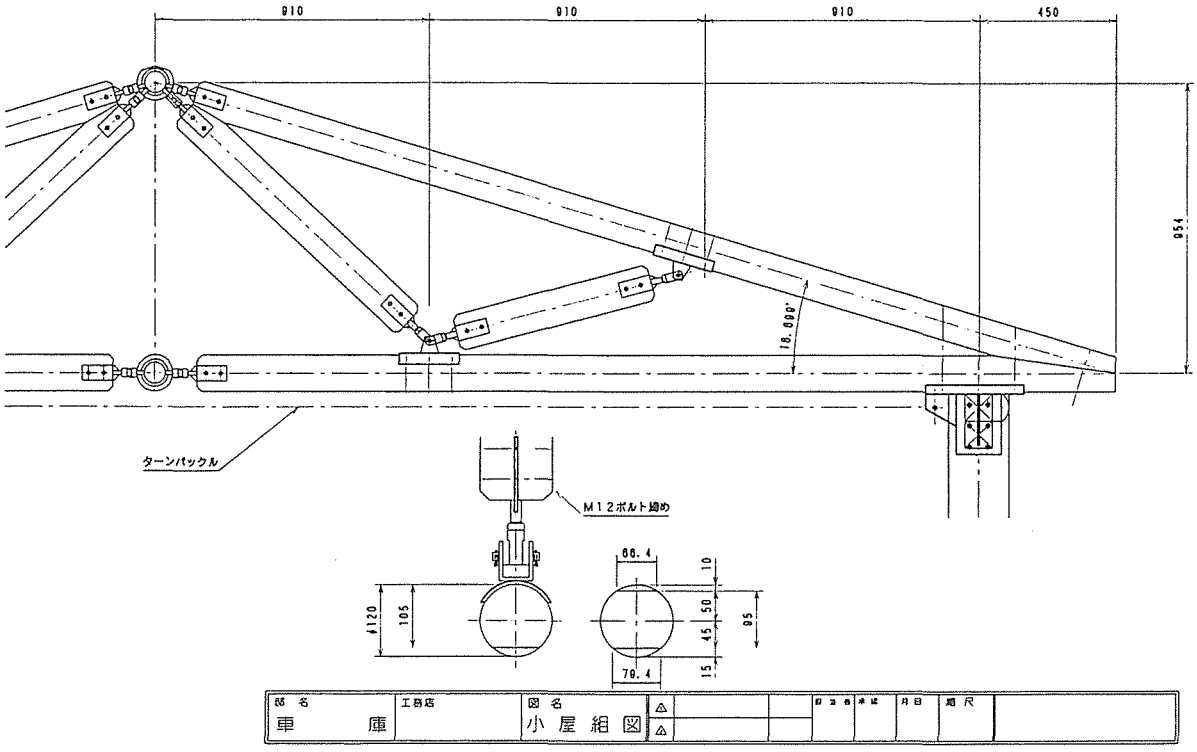


図3．1 車庫 トラス接合部改良案（納まり図）

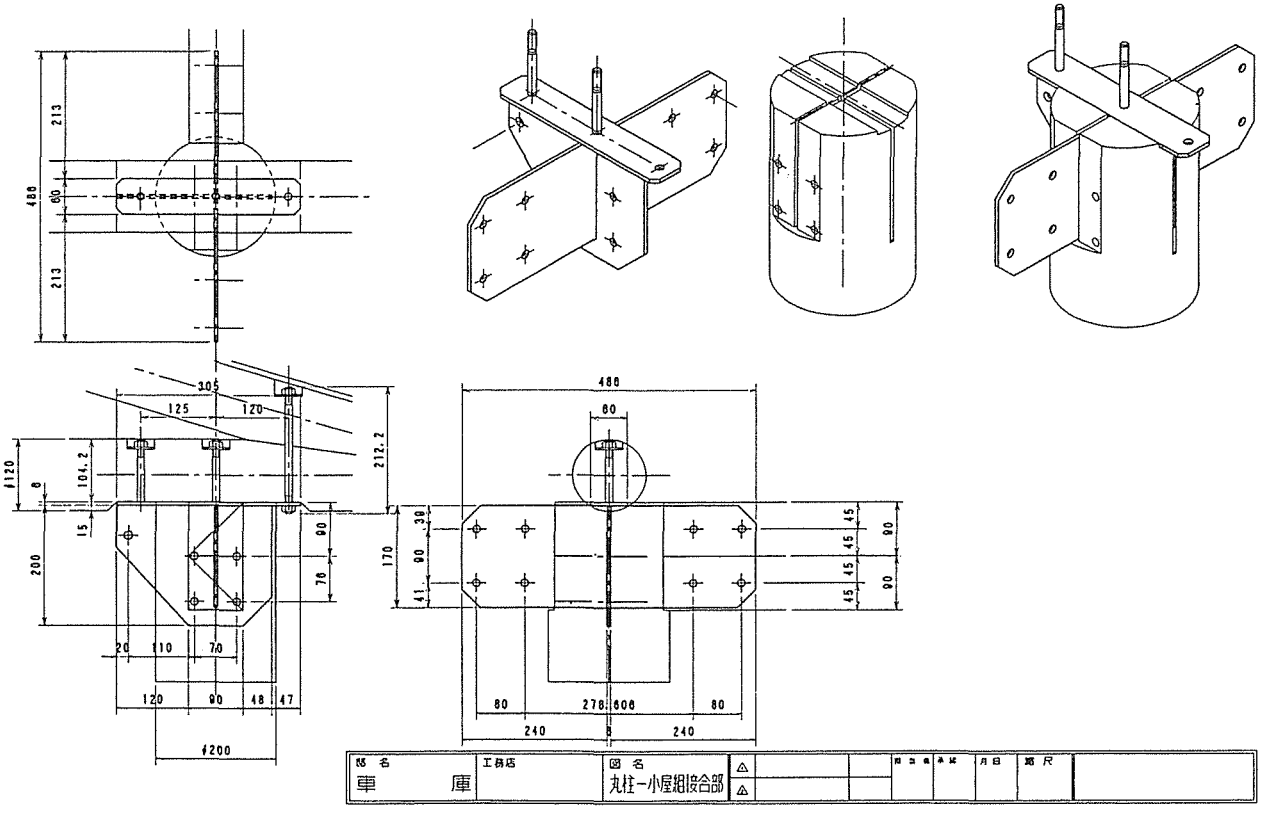
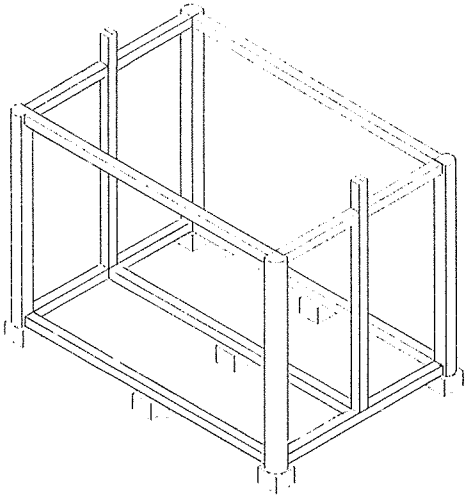
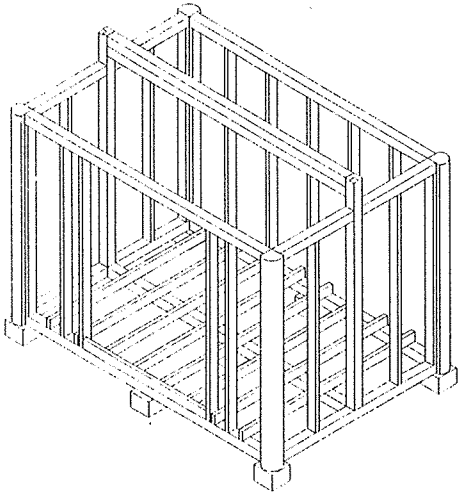


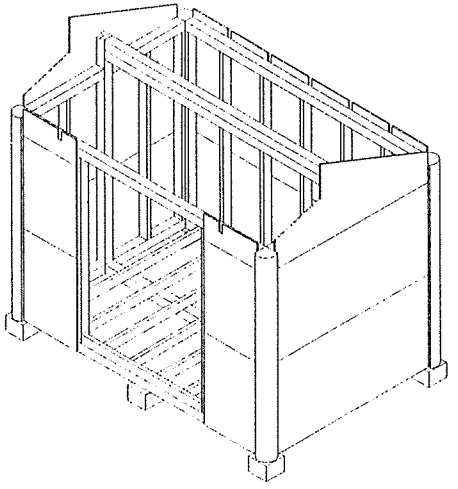
図3．2 車庫 トラス接合部改良案（詳細図）



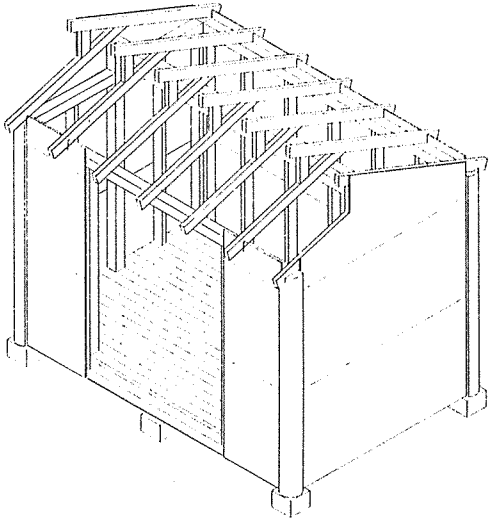
1．土台・柱・梁



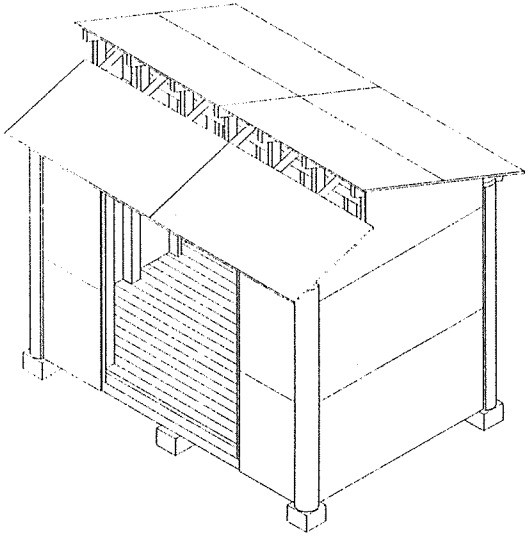
2．間柱・根太・棟木



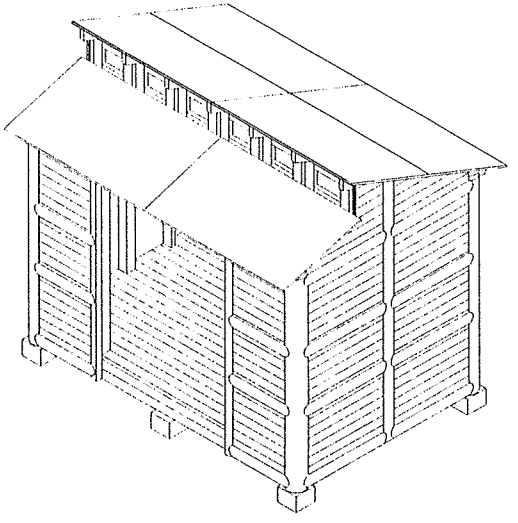
3．壁合板



4．床・垂木



5．野地合板



6．羽目板・化粧半丸太

図4．1 物置の施工手順

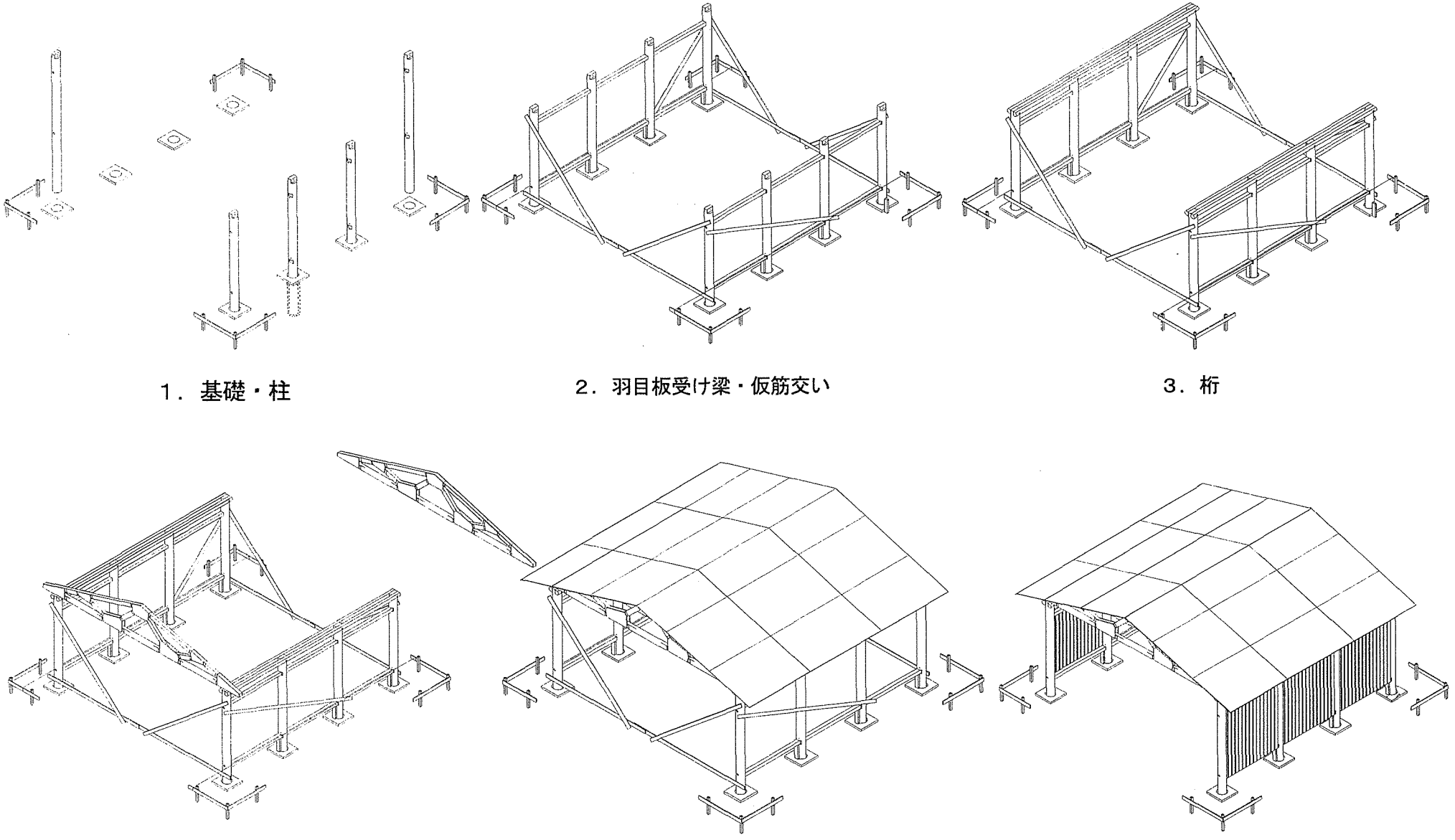
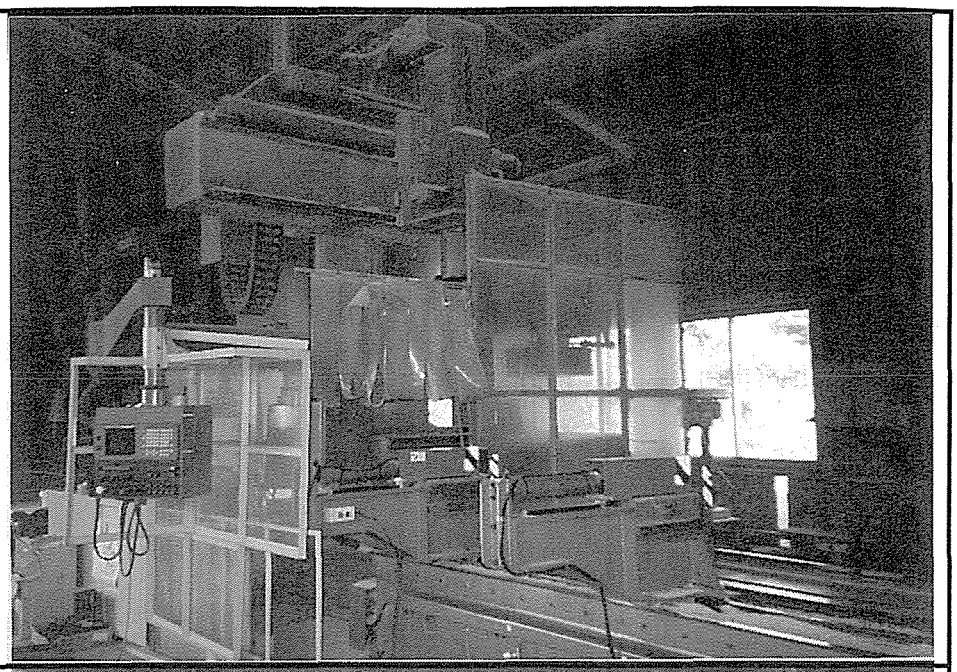
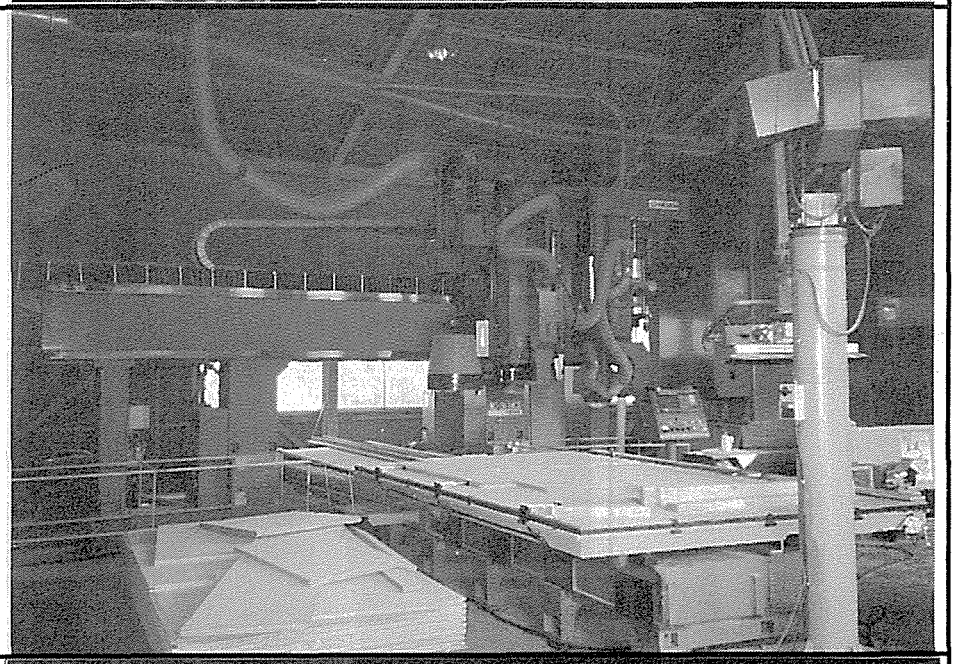


図4．2 車庫の施工手順

写真番号	1
試作品	
状況	加工機
説明	
車庫トラスの軸組丸太の加工などで使用 （3次元NC加工機）	

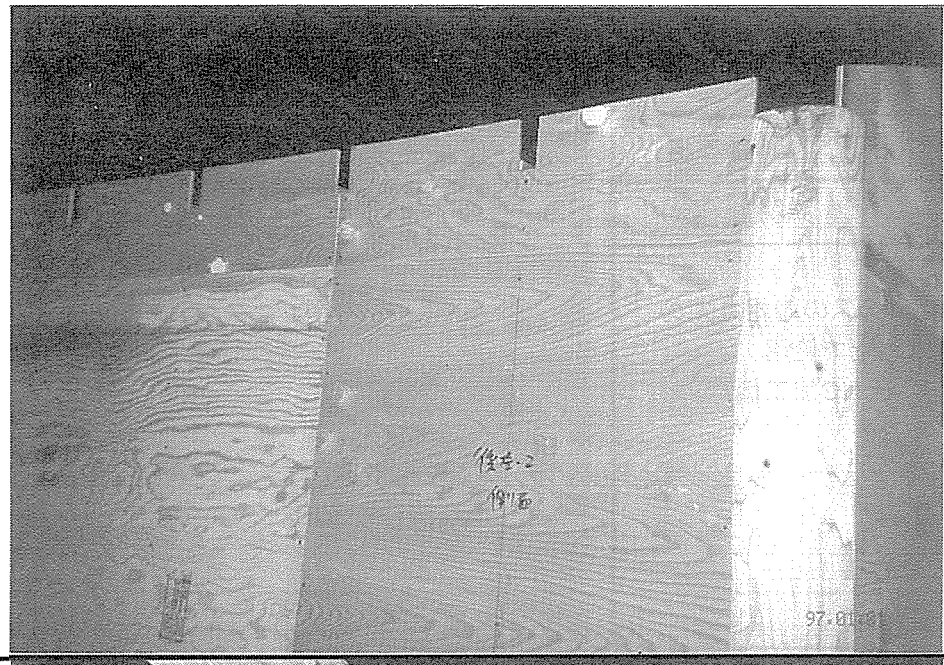


写真番号	2
試作品	
状況	加工機
説明	
車庫トラスの接合部合板の加工などで使用 （平物用NC加工機）	

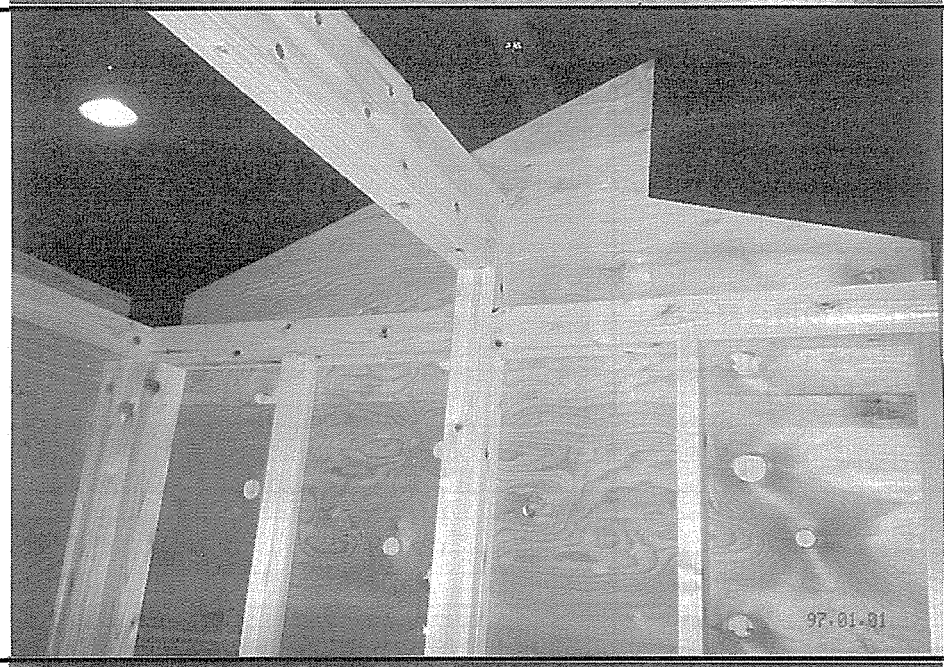


写真番号	3
試作品	物置
状況	壁合板
説明	
壁合板施工中	

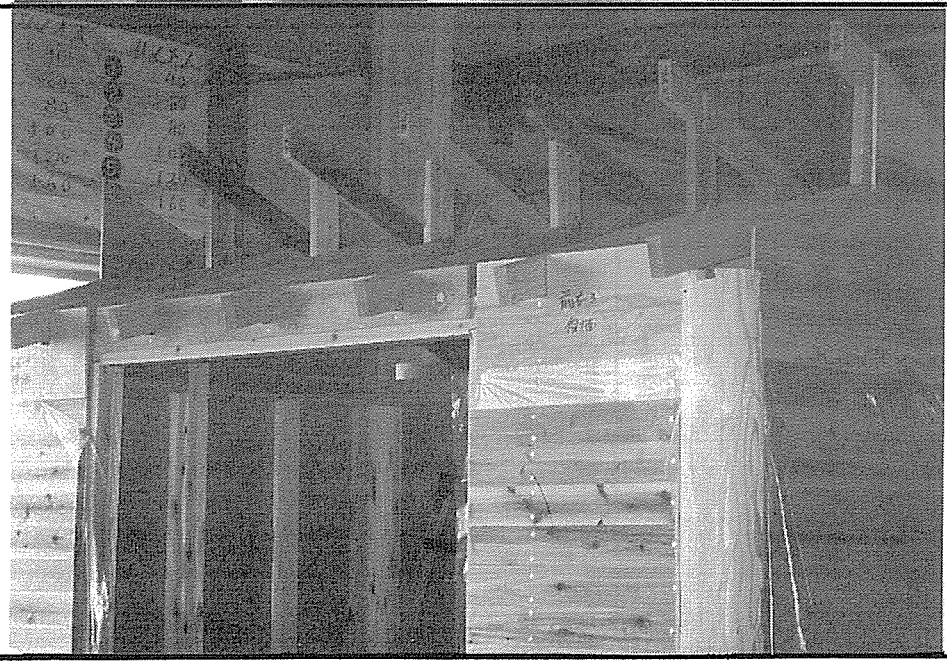
写真番号	4
試作品	物置
状況	壁合板
説明	
背面 上部の欠きは垂木用	



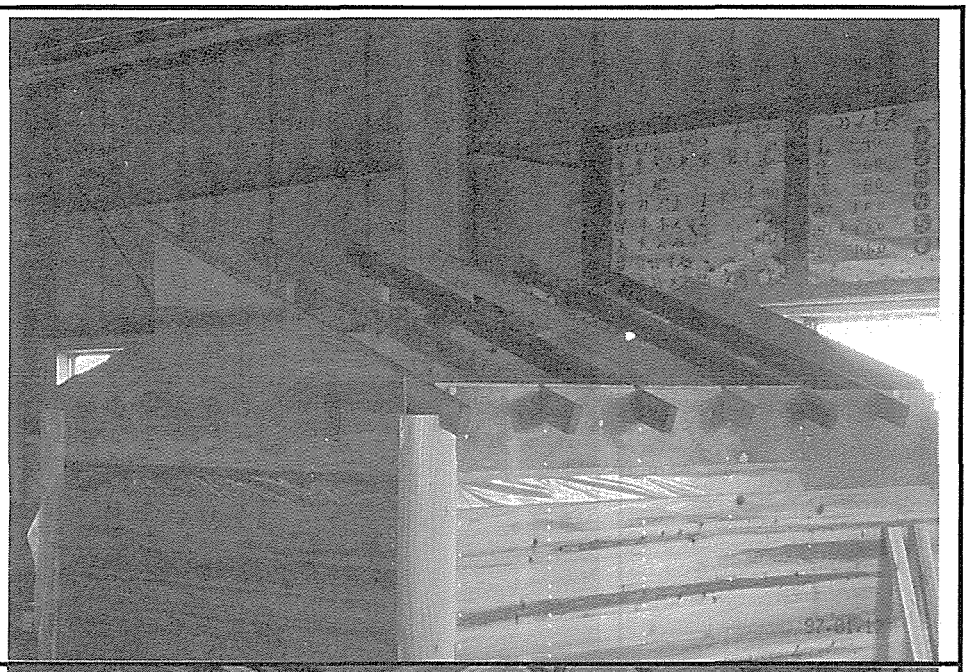
写真番号	5
試作品	物置
状況	壁合板
説明	
側面内側 柱・梁・母屋納まり	



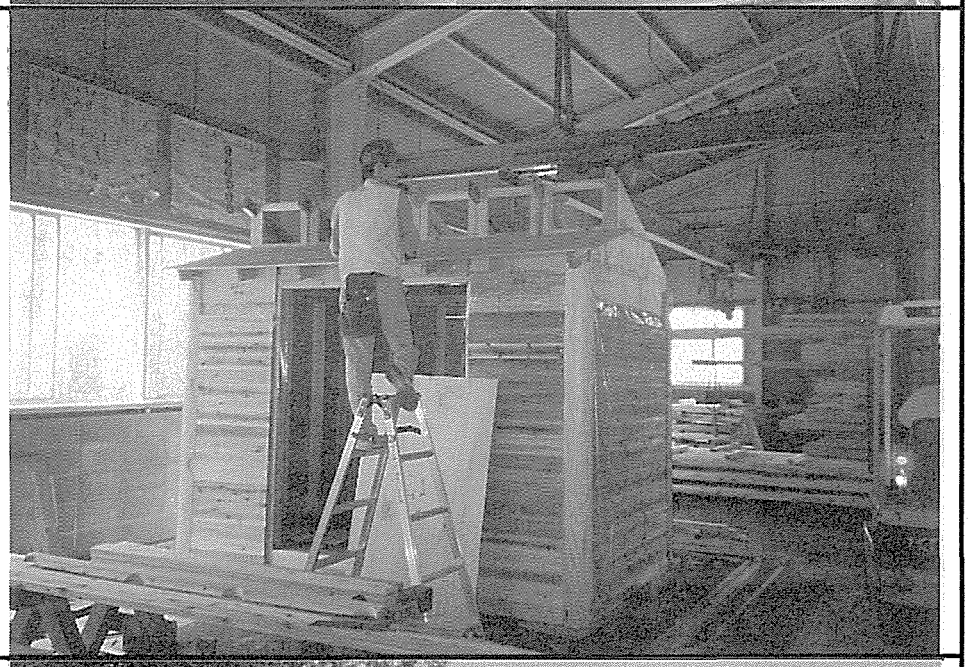
写真番号	6
試作品	物置
状況	垂木納まり
説明	
垂木施工完 外壁羽目板施工途中 羽目板と合板の間に ビニルシート貼り	



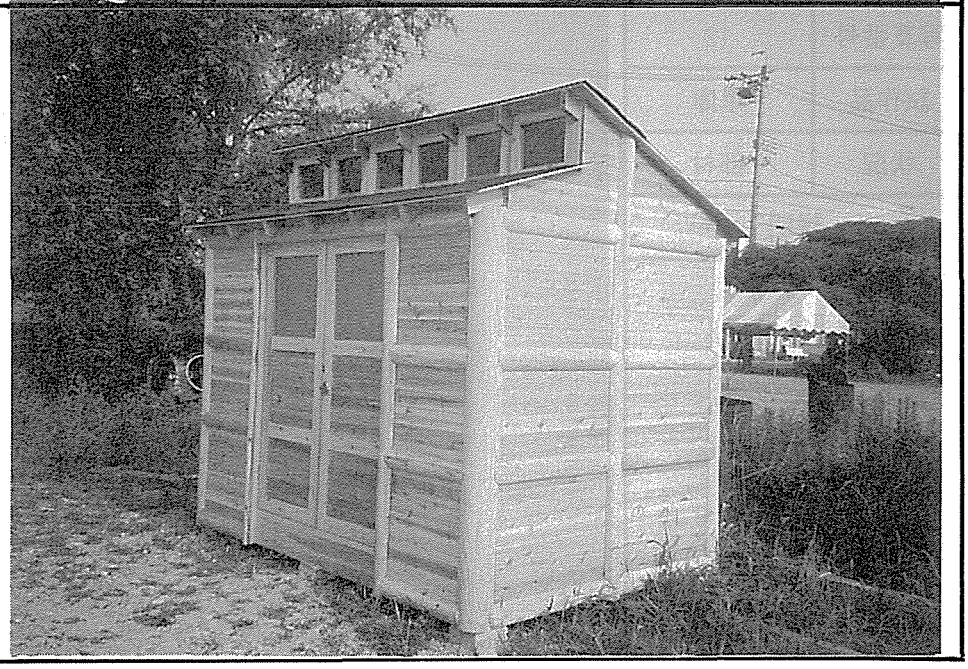
写真番号	7
試作品	物置
状況	垂木納まり
説明	
背面 合板の欠きに垂木を入れる	



写真番号	8
試作品	物置
状況	屋根合板
説明	
FIX窓枠取付完 屋根合板を垂木に固定	



写真番号	9
試作品	物置
状況	建て方
説明	
束石ブロックに置いて完成	

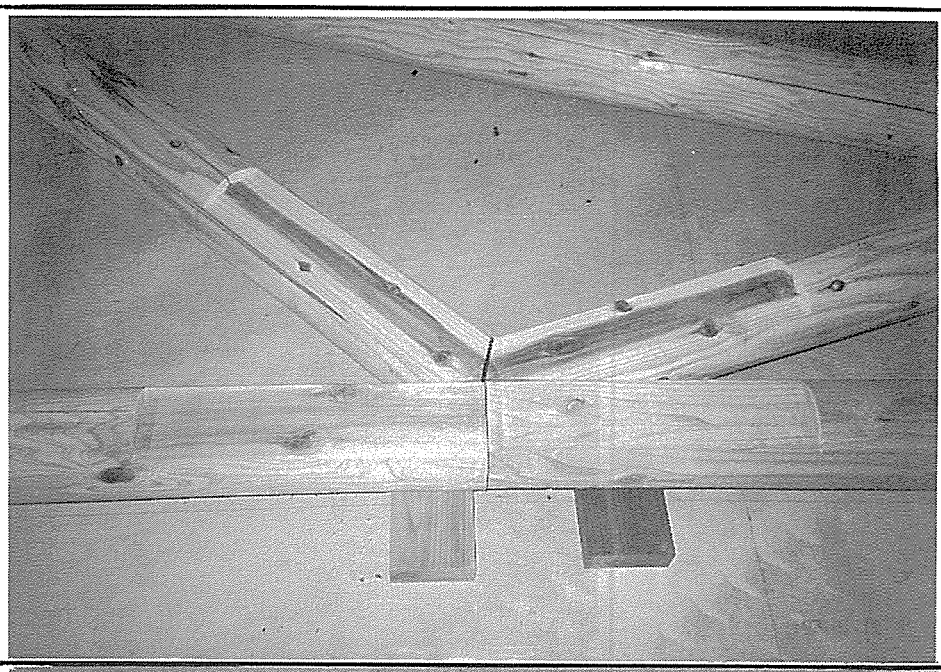


写真番号	10
試作品	車庫
状況	部材
説明	
トラス軸組丸太	

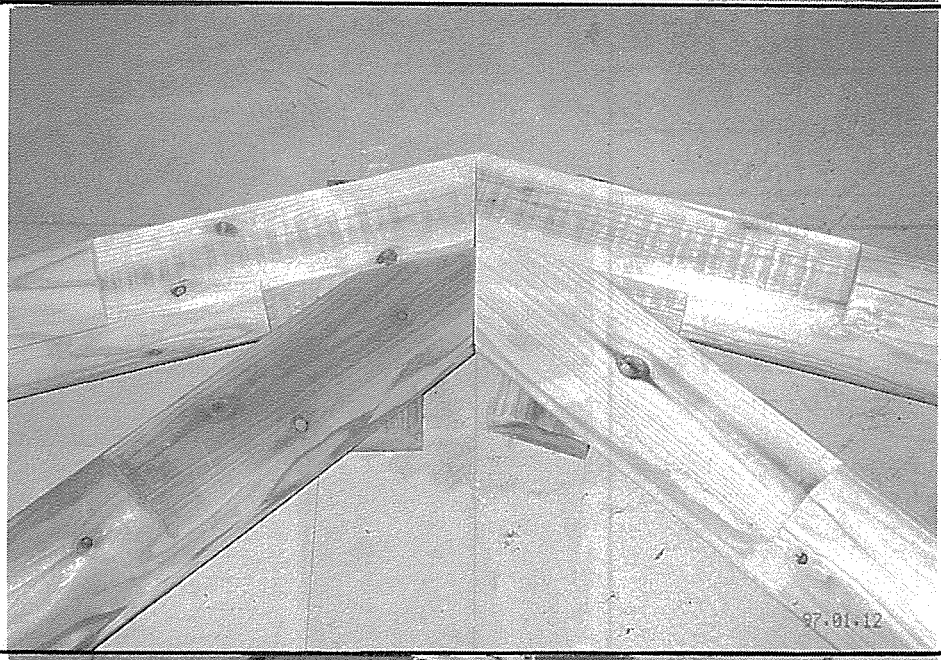
写真番号	11
試作品	車庫
状況	部材
説明	
トラス軸組丸太 接合部分拡大 接合部合板用の平面加工や 斜め加工の組み合せ	

写真番号	12
試作品	車庫
状況	部材
説明	
トラス接合部合板	

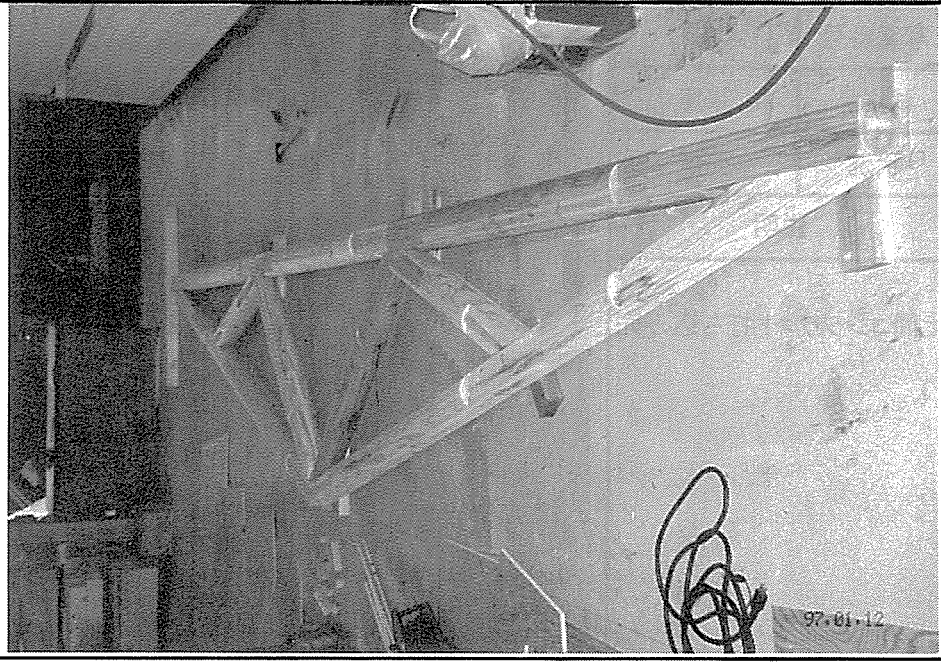
写真番号	13
試作品	車庫
状況	接合部
説明	
トラス接合部E拡大 NCで加工したが それでも段差があった →電動カンナで削った	



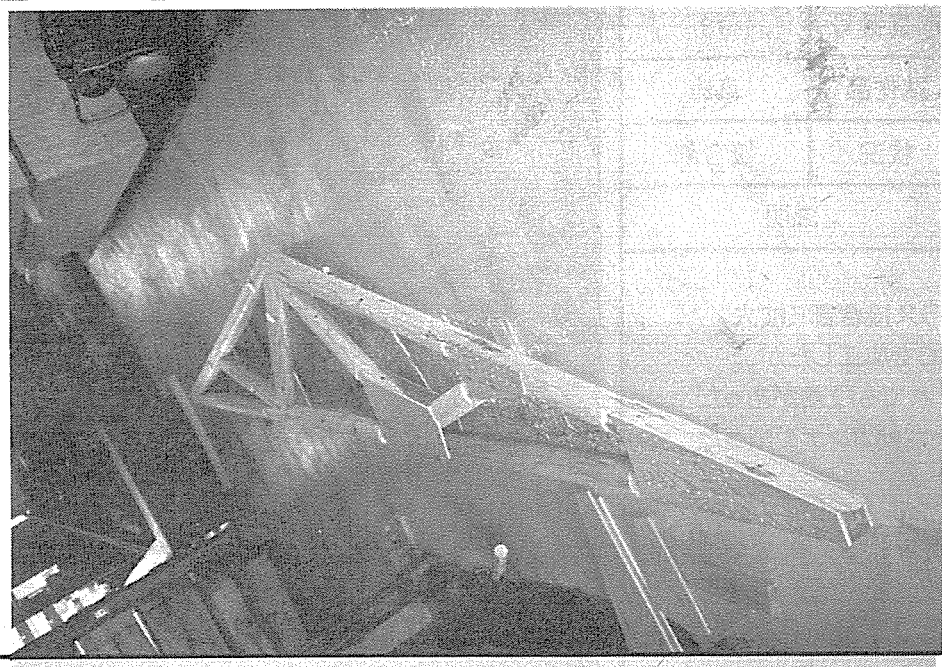
写真番号	14
試作品	車庫
状況	接合部
説明	
トラス接合部D拡大 同様にカンナで削った	



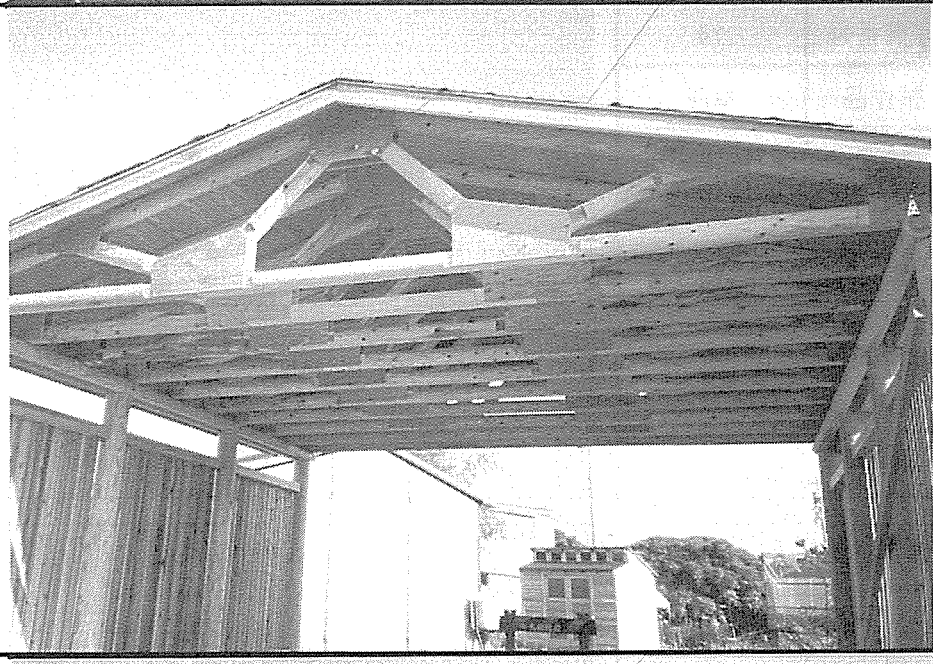
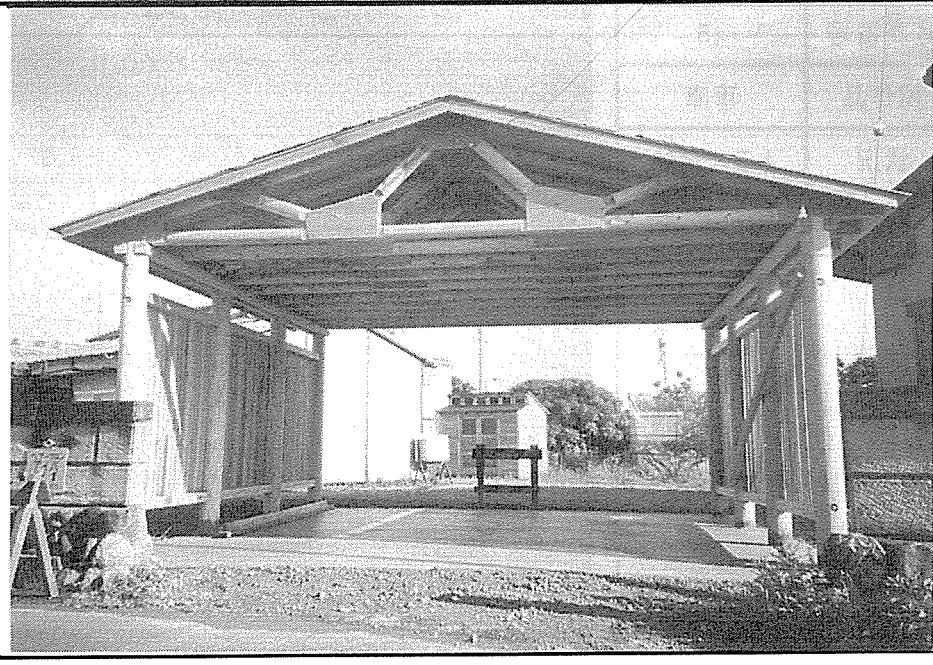
写真番号	15
試作品	車庫
状況	トラス全体
説明	
仮組み	



写真番号	16
試作品	車庫
状況	トラス全体
説明	
裏面の接合部合板は 取付済み	



写真番号	17
試作品	車庫
状況	完成
説明	
トラス拡大 右端にトラスを固定する コーナープレート	



写真番号	18
試作品	車庫
状況	完成
説明	
土間コンクリート打ち込み完