

平成3年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

間伐材等小径材利用住宅工法 開発事業報告書

平成4年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

はじめに

本事業は、かねてより間伐材等小径材の需要拡大を推進するため、「7×7工法住宅（70及び75シリーズ）」並びに「森林の家」等の開発を行い、普及啓発に努めてきた。

本年度は、昨年度に引続き間伐材等の部材化利用の推進を図るため、間伐材等小径材を利用した以下の研究を行った。

- ①ボルトと角ナットを用いた間伐材等小径材の接合部に関する検討。
- ②円環接手を用いて組み立てた間伐材等小径材の立体トラスについての研究。
- ③間伐材等小径材を用いた建物の水平構面の設計法についての研究。

事業実施にあたっては、次の方々の御指導御協力をいただき、厚く御礼申し上げますと共に、実験等に際し便を図っていただいた多くの方々に衷心より感謝の意を表す次第である。

徳田 迪夫 三重大学 生物資源学部 教授

定方 啓 豊橋技術科学大学 建設工学系 教授

神谷 文夫 農林水産省森林総合研究所 構造性能研究室 室長

平成4年3月

(財)日本住宅・木材技術センター
理事長 下川 英雄

目 次

事業要綱	1
1. 事業名	
2. 委員会名	
3. 事業の目的	
4. 平成3年度事業の内容	
5. 委員名簿	
第1章 ボルトと角ナットを用いた木材接合部の設計	3
1. はじめに	3
2. 角ナットボルトを用いた接合の応用例	4
3. 実験	11
3. 1 試験体	11
3. 2 試験方法	18
4. 結果および考察	19
4. 1 荷重-変位曲線	19
4. 2 木材の比重と剛性および強度の関係	32
4. 3 角ナットの対称型と非対称型の剛性および強度比	32
4. 4 設計耐力	32
4. 5 角ナットボルト接合と従来の曲げボルト接合の比較	36
5. まとめ	38
第2章 円環接手で組立てた立体トラス版についての実験的研究	39
(間伐・小径材の建築構造への利用に関する研究)	
1. はじめに	39
2. 実験計画	40
2. 1 試験体(立体トラス版 1/2モデル)	40
2. 2 CRJ(円環接手)金物	41
2. 3 トラス部材(木の棒)→ひれ(鋼プレート)+円環	41
3. 実験装置	41
3. 1 荷重装置および支持装置	41
3. 2 荷重プログラム	42
3. 3 トラス版の変位置およびトラス部材応力の測定	42
3. 4 部材の座屈及び屈伏の問題	42
4. 実験結果	43
4. 1 荷重変形履歴および変形挙動	43
4. 2 部材応力について	44
4. 3 荷重分担について	44

4. 4	繰り返し荷重下の残留変位	45
4. 5	破壊性状	45
5.	実験結果について二三の考察	45
5. 1	縮尺試験体の耐荷力およびたわみ δ について	45
5. 2	部材の屈伏挙動について	46
5. 3	CRJの接合プレート(ひれ)の曲げ・座屈挙動	47
6.	まとめ	47
7.	実用化について	49
8.	図および表、付図および付表	49
第3章	水平構面の設計法について	117
1.	はじめに	117
2.	水平構面の構造形式	117
3.	ブレース・トラスによる水平構面	118
4.	製材板を平行張りする水平構面	119
5.	製材板を斜め張りする水平構面	120
6.	面材張り水平構面(ダイヤフラム)	123
7.	まとめ	127
付録	参考文献及び付図	128

事業要綱

1. 事業名：間伐材等小径材利用住宅開発事業

2. 委員会名：間伐材等小径材利用住宅開発委員会

3. 事業の目的

間伐材等小径材の部材化利用等推進のための技術開発を行うことを目的とする。

4. 平成3年度事業の内容

- ①ボルトと角ナットを用いた間伐材等小径材の接合部に関する検討。
- ②円環接手を用いて組み立てた間伐材等小径材の立体トラスについての研究。
- ③間伐材等小径材を用いた建物の水平構面の設計法についての研究。

5. 委員名簿

徳田迪夫	三重大学 生物資源学部 教授
定方啓	豊橋技術科学大学 建設工学系 教授
神谷文夫	農林水産省森林総合研究所 構造性能研究室 室長

第1章 ボルトと角ナットを用いた 木材接合部の設計

1. はじめに

在来構法を主流とする軸組工法は、部材強度以上に部材同士の接合が構造耐力上重要となる。従来、はりや柱などの接合は木材の欠き込みと羽子板ボルトなどの補助金物を用いてきた。しかし、この構法は、部材寸法が大きく、継手、仕口の加工精度が良い場合には問題がないが、断面の小さな材で、しかも稚拙な加工技術の場合には、建物の剛性を保つことは困難になってきている。プレカット部材はこれらの問題を解決するように思われているが、実際には、現場で部材同士がスムーズに入るように、ゆるめに加工している。これでは、単に現場加工の省力化を計ったにすぎず、構造耐力上は大きな問題を残すことになりかねない。

これを解決するには、2つ以上の部材をしっかりと緊結する必要がある。本研究で取り上げたボルトと角ナットを用いた接合は部材間に引張り力を与えることができ、しかも軸線に沿って力が伝わるために、極めて剛な接合部を形成することが可能である。

一方、間伐材等小径木を有効かつ積極的に利用するには、トラス部材として活用することが最も優れている。その理由としては、心持ち小径材は加工エネルギーと、強度の面から、なるべく加工せずに丸に近い状態での利用が好ましいことがある。トラスで一番問題となるのは、これも接合である。特に、引張りのかかる場合に、その接合がキーポイントとなる。いままでに、ボールジョイントを用いた接合が実用化されているが、これは高価で、重量も大きいため、手軽に使用できない。この点、本接合方式は簡便で、しかも強度信頼性が高いので、トラスの接点としても有効である。

本接合方式は大阪の黒田重義氏の考案によるもので、試験体の作製に御協力いただいた。ここに、謝意を表す。

2・角ナットボルトを用いた接合の応用例

角ナットボルトの応用例としては、2つ以上の部材を緊結する部分に広く応用できる。軸組構法では、従来、羽子板ボルトや平金物を用いていた部分に、はるかに効率よく使用が可能である。また小径の木材を用いた木造骨組においては、力学的に最も効率のよい構造はトラスであろう。トラス部材の接合にこの角ナットボルトは有効である。具体的にその応用例を見てみよう。

(1) 軸組構法における部材の接合

在来構法等の軸組構法では、柱とはりなどの取り合いには、羽子板ボルトや、平金物を用いることが多い。しかし、羽子板ボルトは一本で使うと、非対称であるために、軸方向の引き合う力に対して、モーメントを生じ、補助金物としての役目しかない。2本を対称に使用しても、ボルトが曲げを受けるために、大きな耐力は望めない。また、初期のあそびも大きい。この点に関しては平金物も同様である。

角ナット方式の接合は、肉厚の鋼管を接合部に配し、鋼管に開けた穴にボルトを通し、他方を木材中に埋め込んだ角型のナットに挿入させる方式である。角ナットのネジ穴の入り口は、皿状になっていて、容易にボルトのネジが吸い込まれる仕組みになっている(図1)。軸組構法で本接合を用いると、6部材の取り合いも可能である(図2)。写真1は3-5部材を角ナットボルトで組んだ模型と、2階の管柱と床ばりを角ナットボルトで緊結した現場の写真である。

写真2は実際に大阪で建設された2階建ての住宅である。2階床は平面タイプの立体トラスで、まわりの4辺と十字に走っている部材とが角ナットボルトで止め付けられている。斜材は釘で止めつけられているだけで、圧縮力のみを受け持つ。下屋で組み立てた立体トラスを建物の4隅に組んだたすきすじかいにのせるだけで、床組みができあがる。3階建てに使うと、小径木を使って、現在の仕様よりも、ずっと剛な建物ができる。

(2) トラスの接点

写真3-aは、ボールジョイントをトラス接点に配して、角ナットボルトで接合した構造例である。ボールジョイントは、多方向にトラス部材を接合することができる。

大分県小国町の体育館で用いられているものは、鋼板が挿入され、ボルトがせん断力を受ける形になっているが(写真3-b)、角ナットボルト接合はボルトが引張りを受けるので、より合理的な設計になっている。

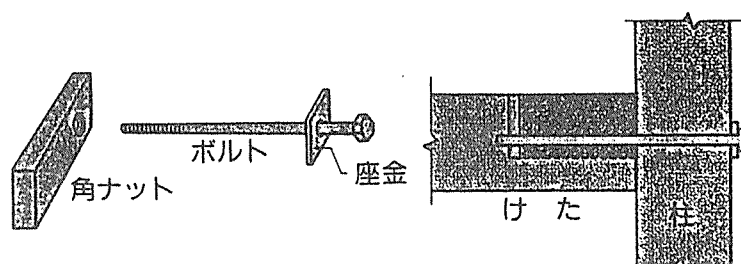
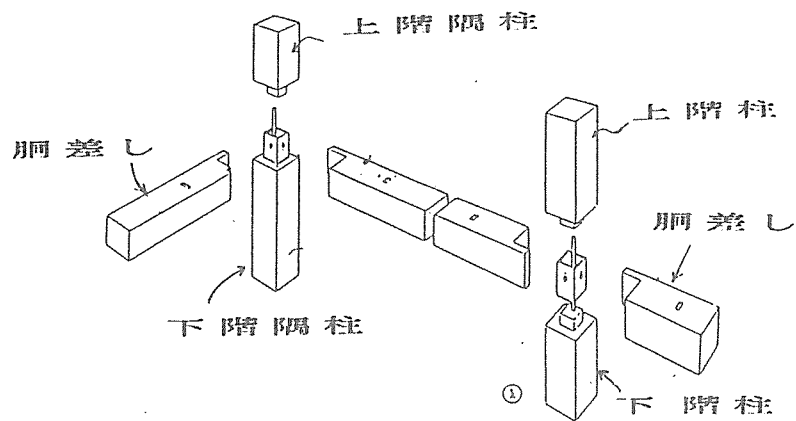
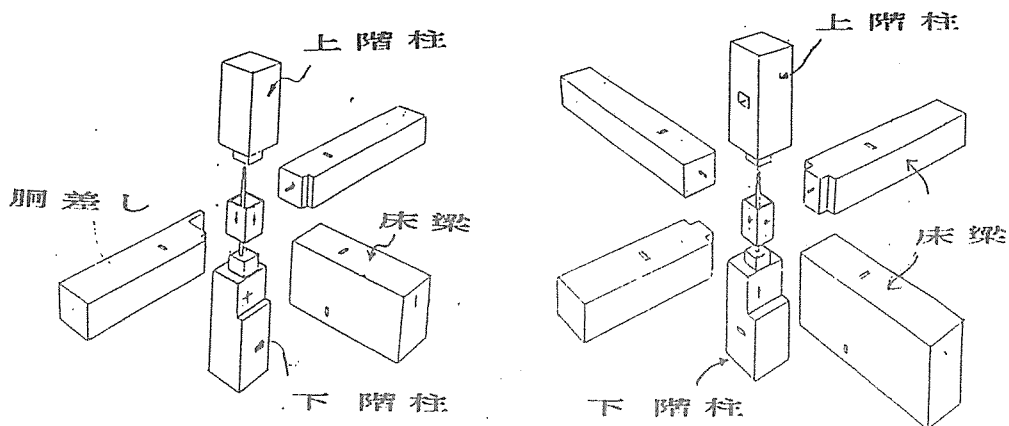


図1. 角ナットボルトとその使い方の一例



二方より梁を受ける場合

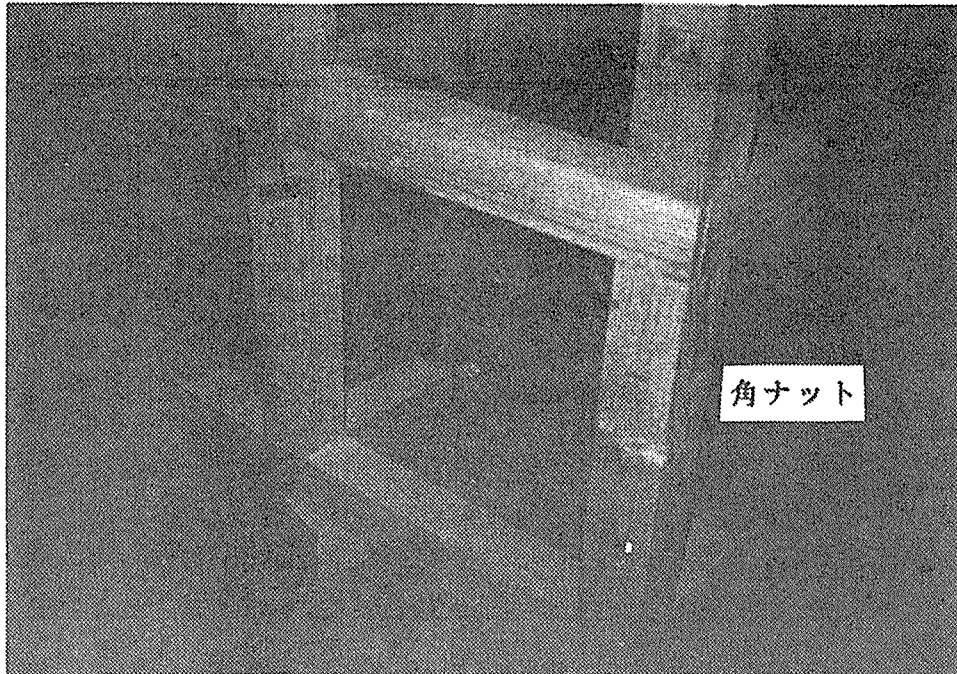
1 個の鋼管で構成する立体軸組接合法



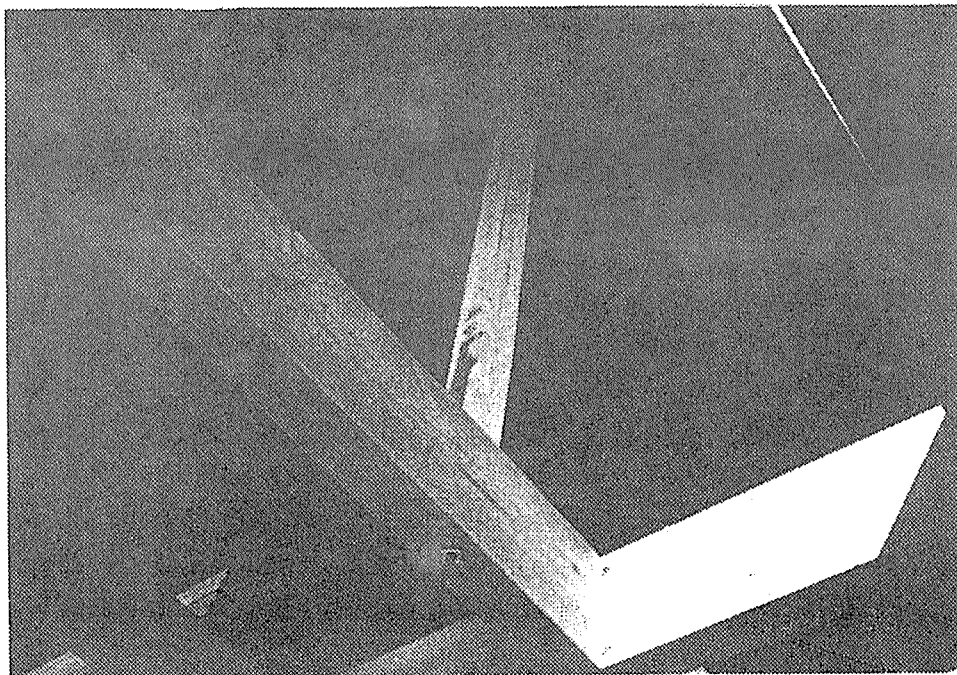
三方より梁を受ける場合

四方より梁を受ける場合

図2. 軸組構法における角ナットボルトの使用例

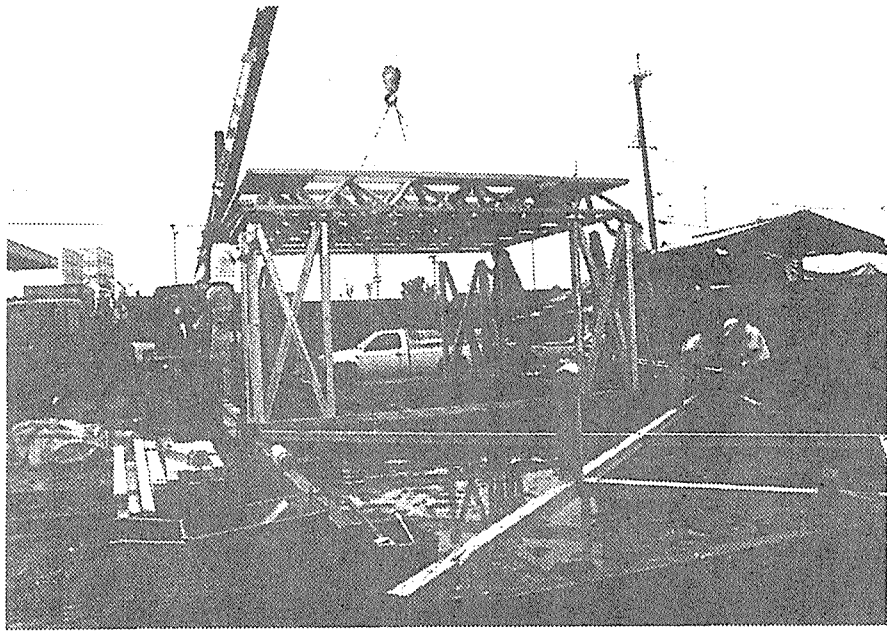


(a) 3 - 5 部材を角ナットボルトで緊結
鋼管は表からは見えない。

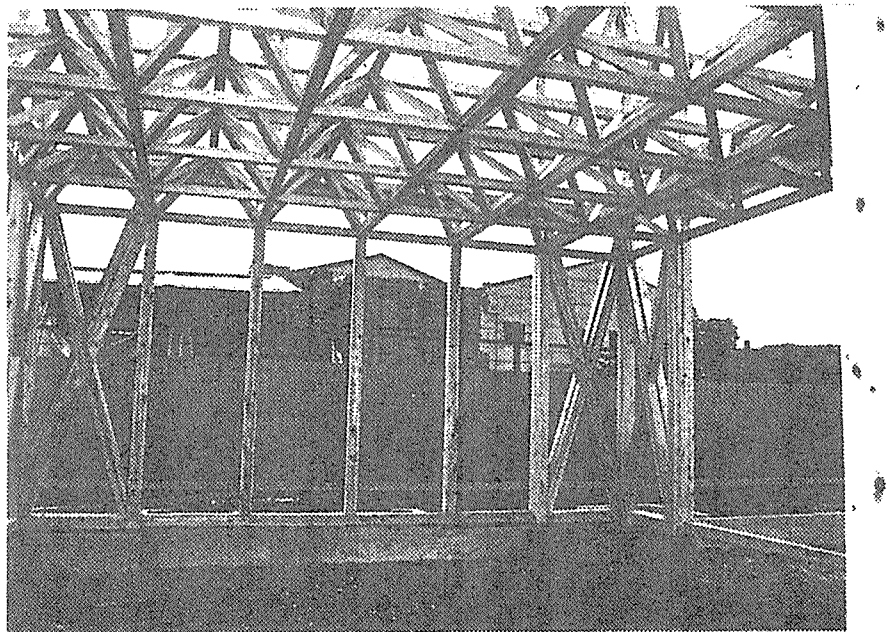


(b) 2 階床ばりと管柱を緊結した例

写真1. 基本的な角ナットボルトの使用例

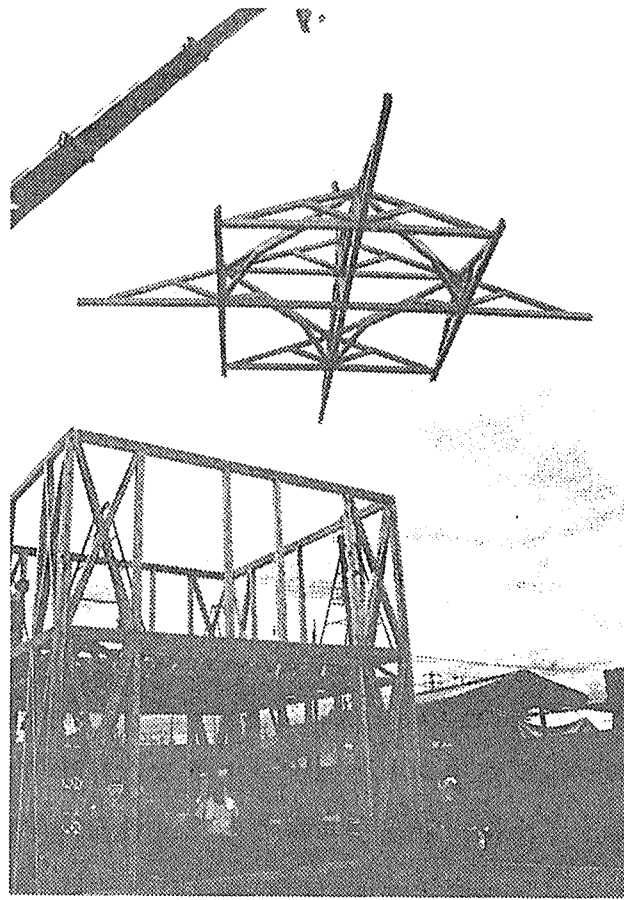


(a) 工場または現場で組んだ立体トラスをクレーンで釣り上げている。

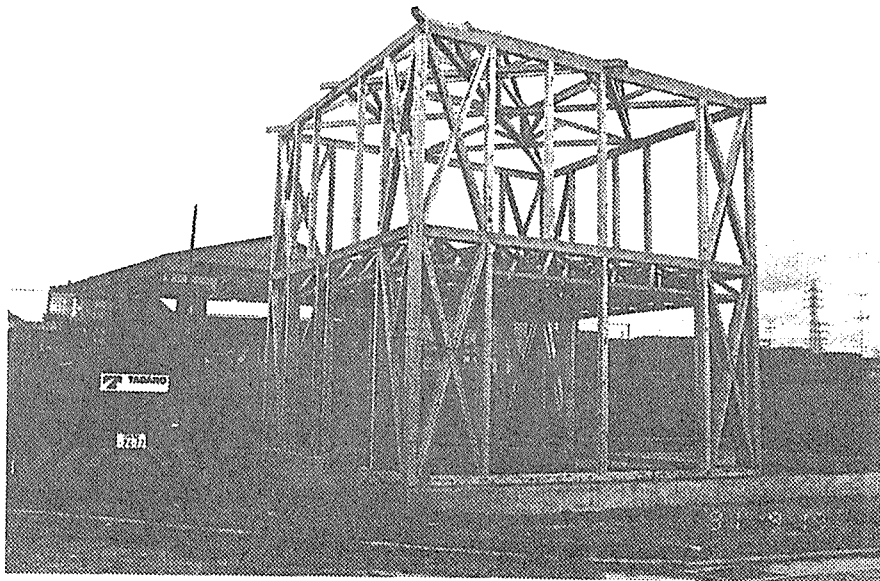


(b) たすき筋かいの上に立体トラスをセットしたところ

写真2. 立体トラスに角ナットボルトを使用した例

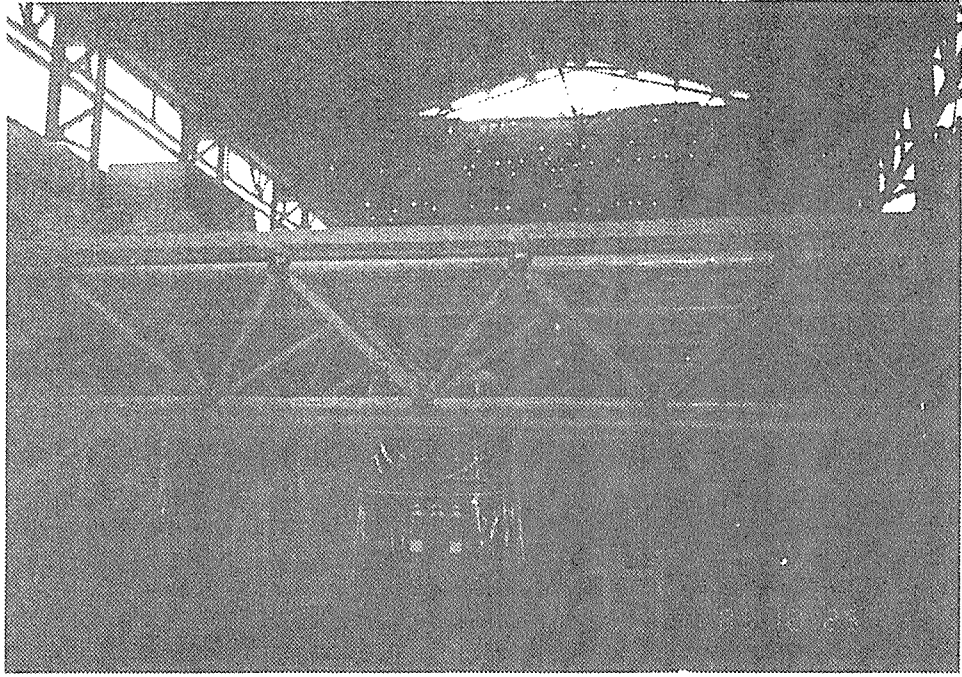


(c) 小屋組も2方向のトラスで組む。

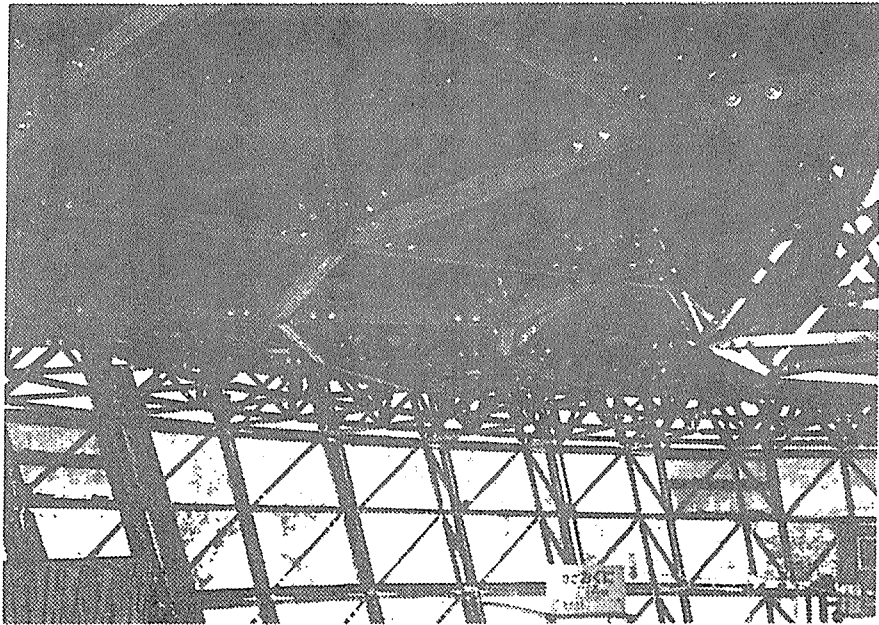


(d) 骨組みの完成

写真2 (続) .



(a) ボールジョイントと角ナットボルトを用いたトラス。
ボルトには引張力がかかるので、せん断がかかる場合
より強い。



(b) 熊本県小国町の立体トラス
ボルトにせん断がかかる。

写真3. 大型の立体トラスへの応用例

3. 実験

3. 1 試験体

3. 1. 1 接合に用いた鉄製品

1) ボルト

軸組構法の部材寸法を105mm角か120mm角と想定し、全ネジのM12とM16の2種類を用いた。

2) 角ナット

形状・寸法を図3に示した。非対称型(1, 3)と対称型(2, 4)がある。角ナットは曲げ変形を受けるため、肉厚になっている。

3) 鋼管

図4に示した3種類の鋼管を実験に用いた。市販品は肉厚が薄いために、特注品である。

3. 1. 2 接合に用いた木材

心持ちスギ(比重0.41-0.56)と心去りのベイマツ(比重0.48-0.70)の2種類を用いた。断面寸法は、M12用が100mm角で、M16用が115mm角である。

3. 1. 3 試験体の種類

接合部試験体には、接合Iと接合IIの2種類がある(図5、6、7)。接合Iは2部材をたてに接合したもので、接合IIはこれに横架材が挿入されている。

これとは別に、接合の部分実験A(図5、8)と部分実験B(図5、図9)を行った。この実験の目的は、角ナットの対称型と非対称型の剛性と強度の比較を行うため、鋼管の肉厚の影響を見るため、および、角ナットのめり込みやボルトの強度を別途調べることである。部分実験Aでは角ナットのめり込みとボルトの強度が分かる。部分実験Bでは、鋼管あるいは、ボルトの強度が分かる。

以上の試験体における各種金物と木材の組合せ、およびその試験体記号の一覧を表1に示した。

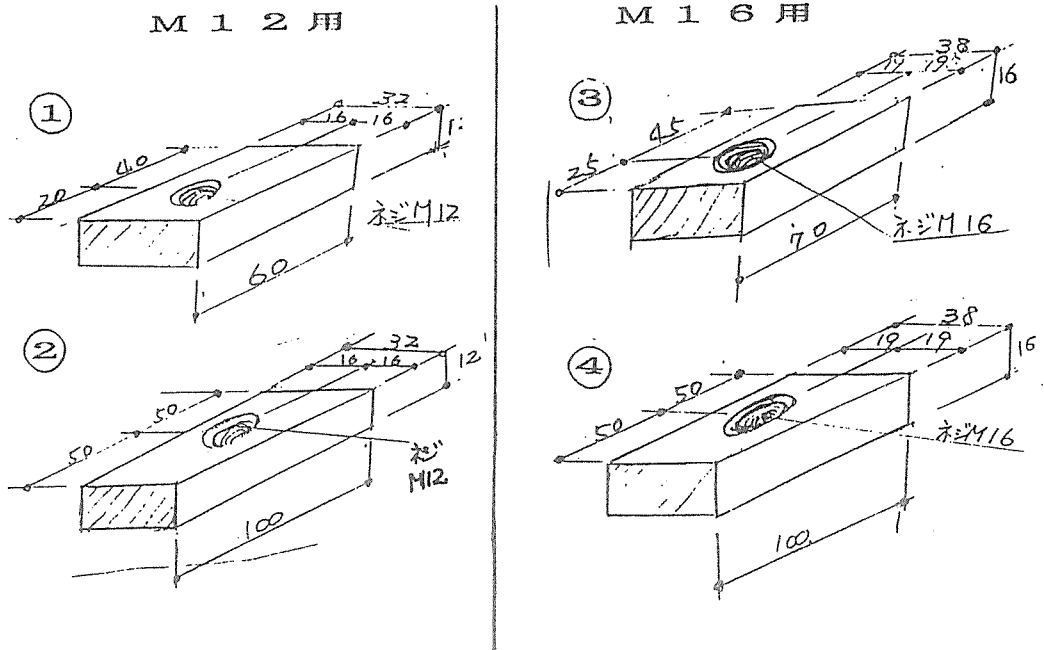
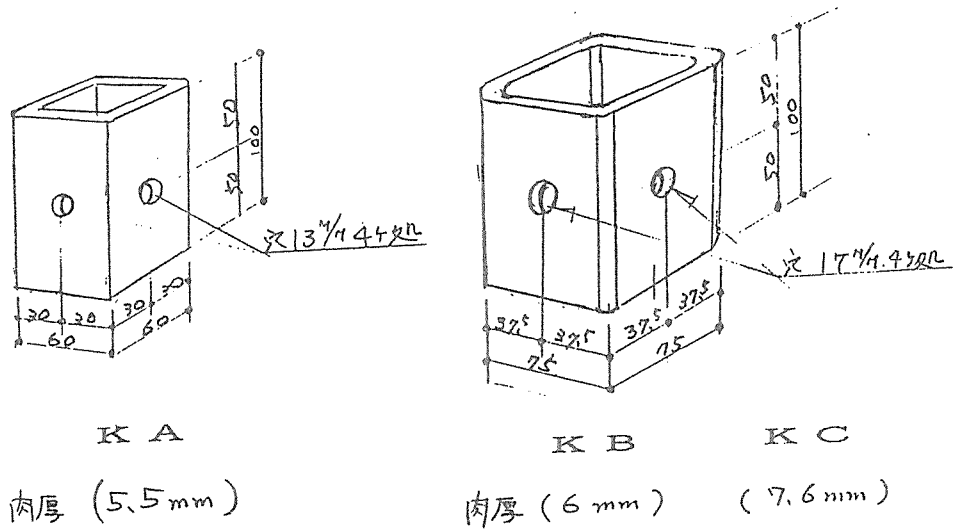


図3. 角ナットの形状・寸法

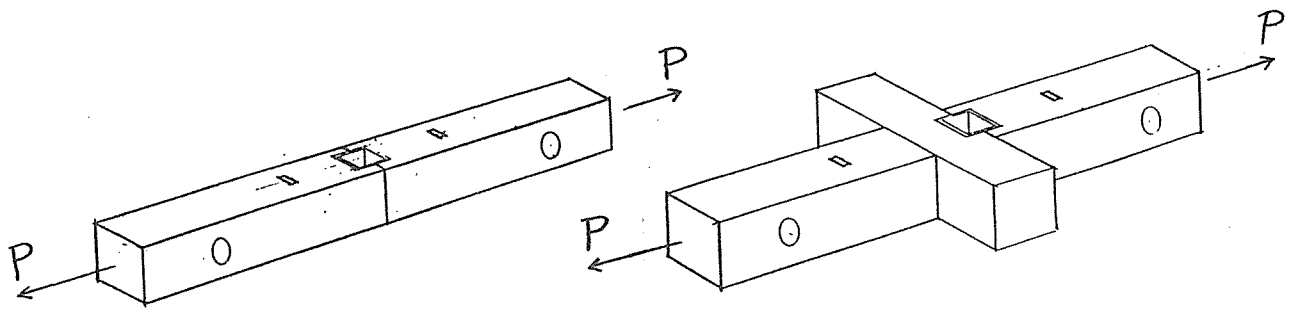
1, 2 : 非対称型
 3, 4 : 対称型



KA
 肉厚 (5.5 mm)

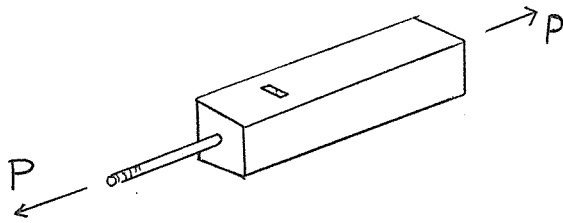
KB KC
 肉厚 (6 mm) (7.6 mm)

図4. 鋼管の形状・寸法



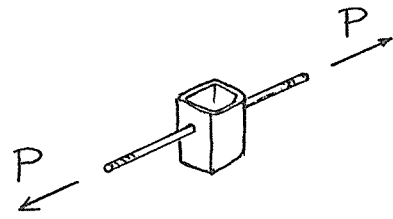
接合 I
鋼管媒介型

接合 II
鋼管媒介、
横架材挿入型



部分実験 A

角ナットのめり込みと
ボルトの強度を調べる



部分実験 B

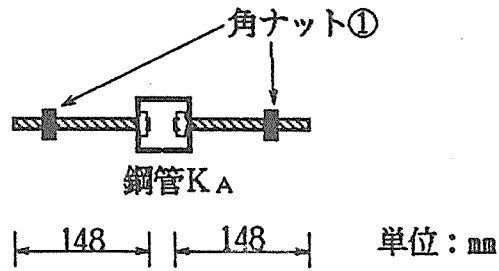
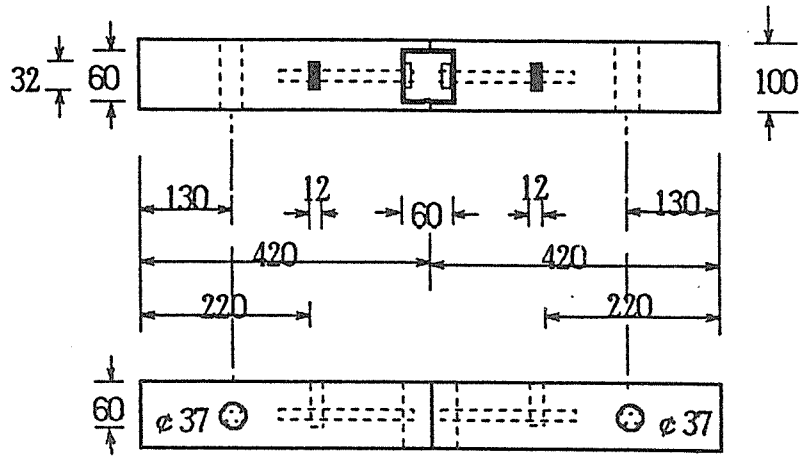
鋼管とボルトの強度
を調べる。

図5. 試験体の種類

表1. 各試験体における金物と木材の組合せおよび試験体記号の一覧

試験の種類	ボルト	鋼管	角ナット	木材	試験体記号
接合 I	M12	K _A	①	ベイマツ スギ	I-12K _A ①-D I-12K _A ①-S
	M16	K _B	③	ベイマツ スギ	I-16K _B ③-D I-16K _B ③-S
接合 I I	M12	K _A	①	ベイマツ スギ	II-12K _A ①-D II-12K _A ①-S
	M16	K _B	③	ベイマツ スギ	II-16K _B ③-D II-16K _B ③-S
部分実験 A	M12	-	①	ベイマツ スギ	A-12 ①-D A-12 ①-S
		-	②	ベイマツ スギ	A-16 ②-D A-16 ②-S
	M16	-	③	ベイマツ スギ	A-12 ③-D A-12 ③-S
		-	④	ベイマツ スギ	A-16 ④-D A-16 ④-S
部分実験 B	M12	K _A	-	-	B-12K _A
	M16	K _B	-	-	B-16K _B
		K _C	-	-	B-16K _C

M 12



M 16

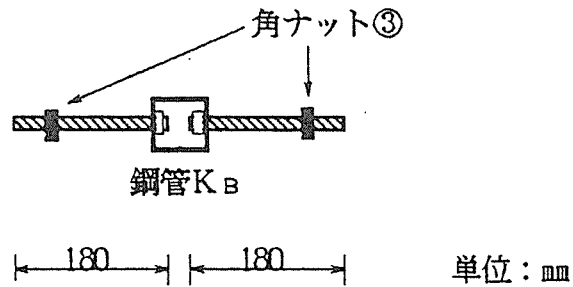
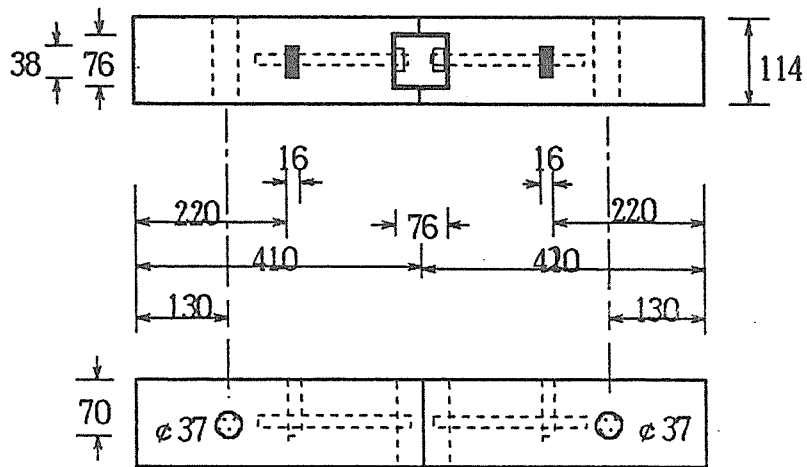
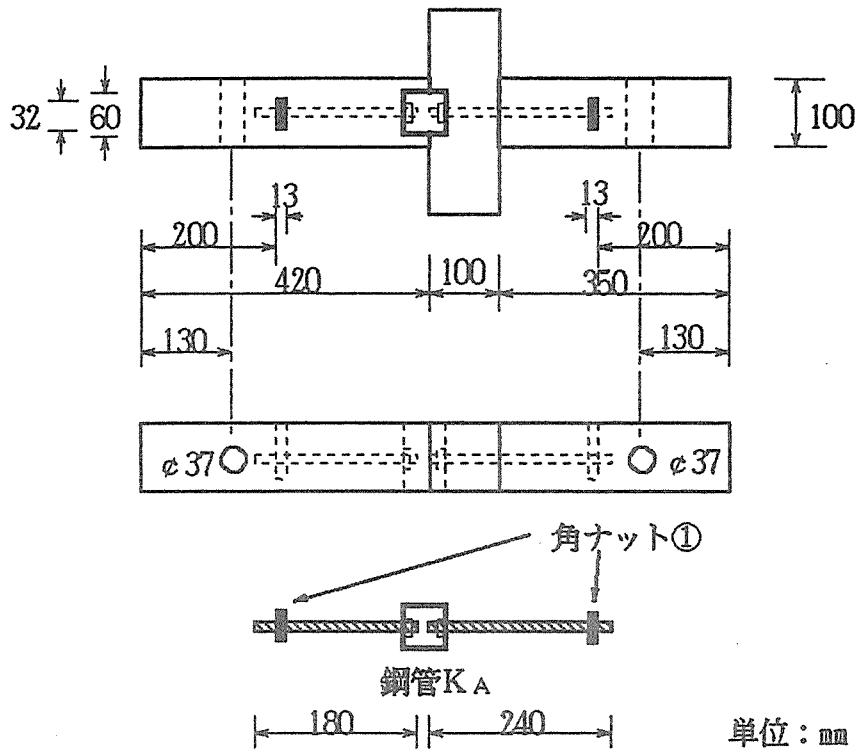


図 6. 接合 I の詳細

M12



M16

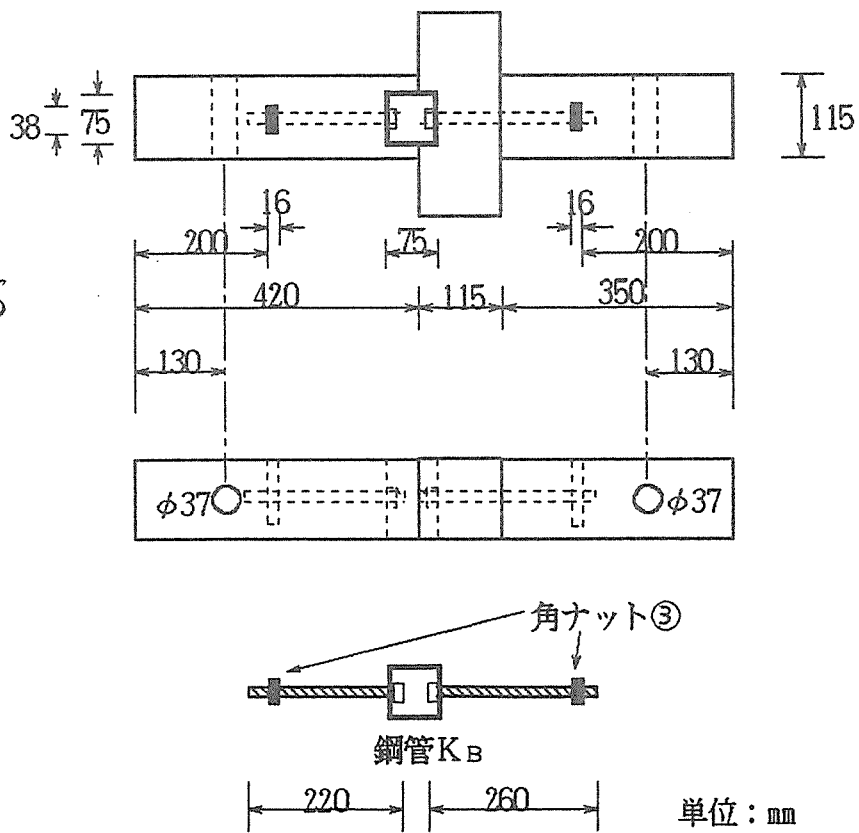


図7. 接合IIの詳細

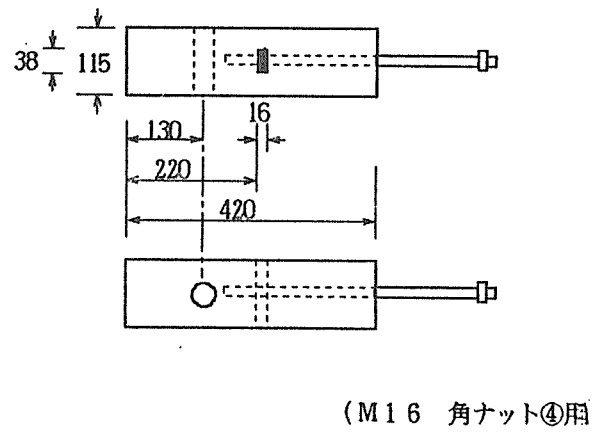
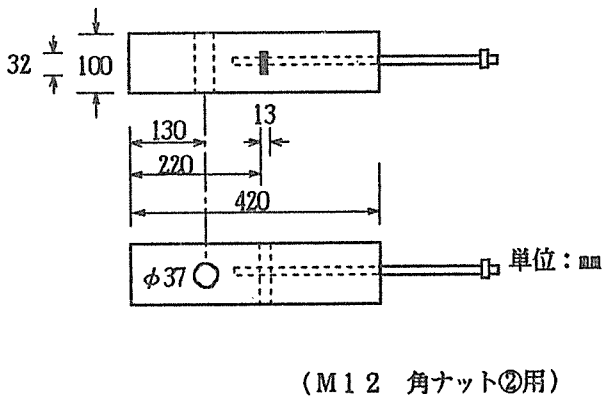
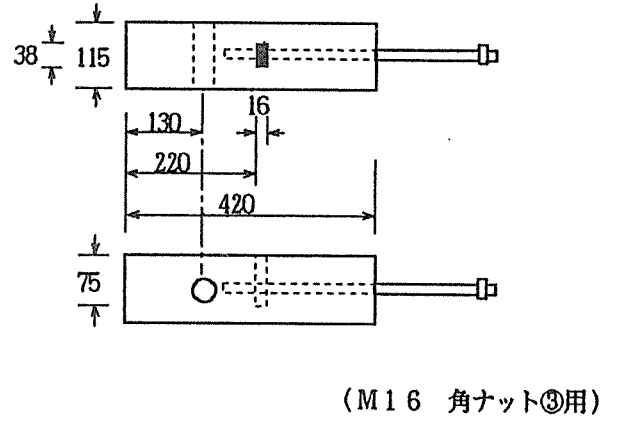
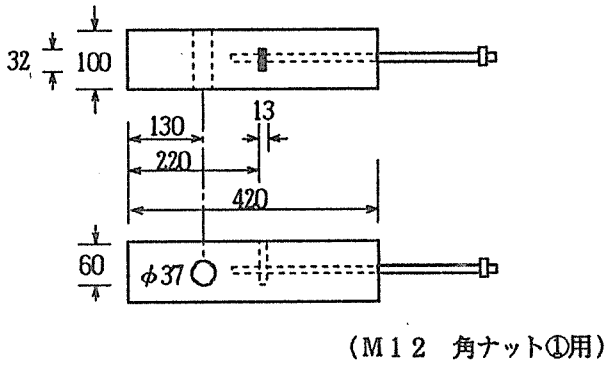


図8. 部分実験Aの詳細

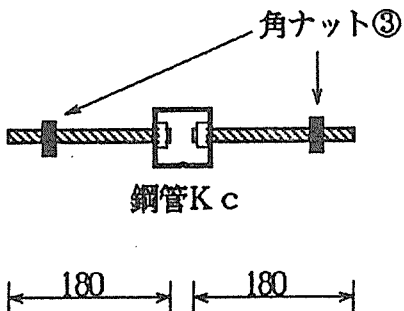
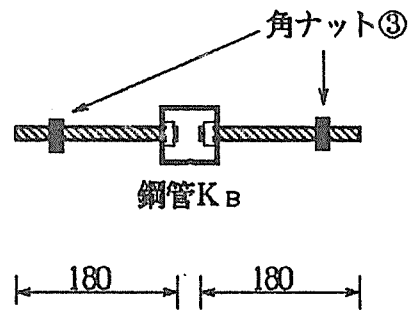
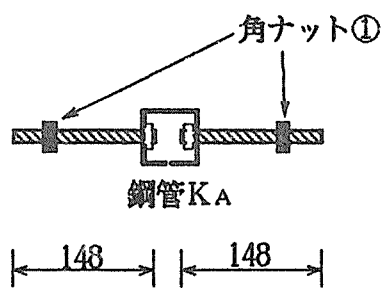


図9. 部分実験Bの詳細

3. 2 試験方法

接合 I と II の試験方法を図 10 に示した。荷重は、手動式の油圧ジャッキを用い、A と B、または、A と C 部材を引張り、A と B 間のギャップを裏表 2 箇所
で測定し、その平均値を取った。

部分実験 A では、ボルト上部をチャックで固定し、引張り力を加えた。変位は試験機のクロスヘッドと、木材間を測定した。部分実験 B では、最大荷重のみを測定した。

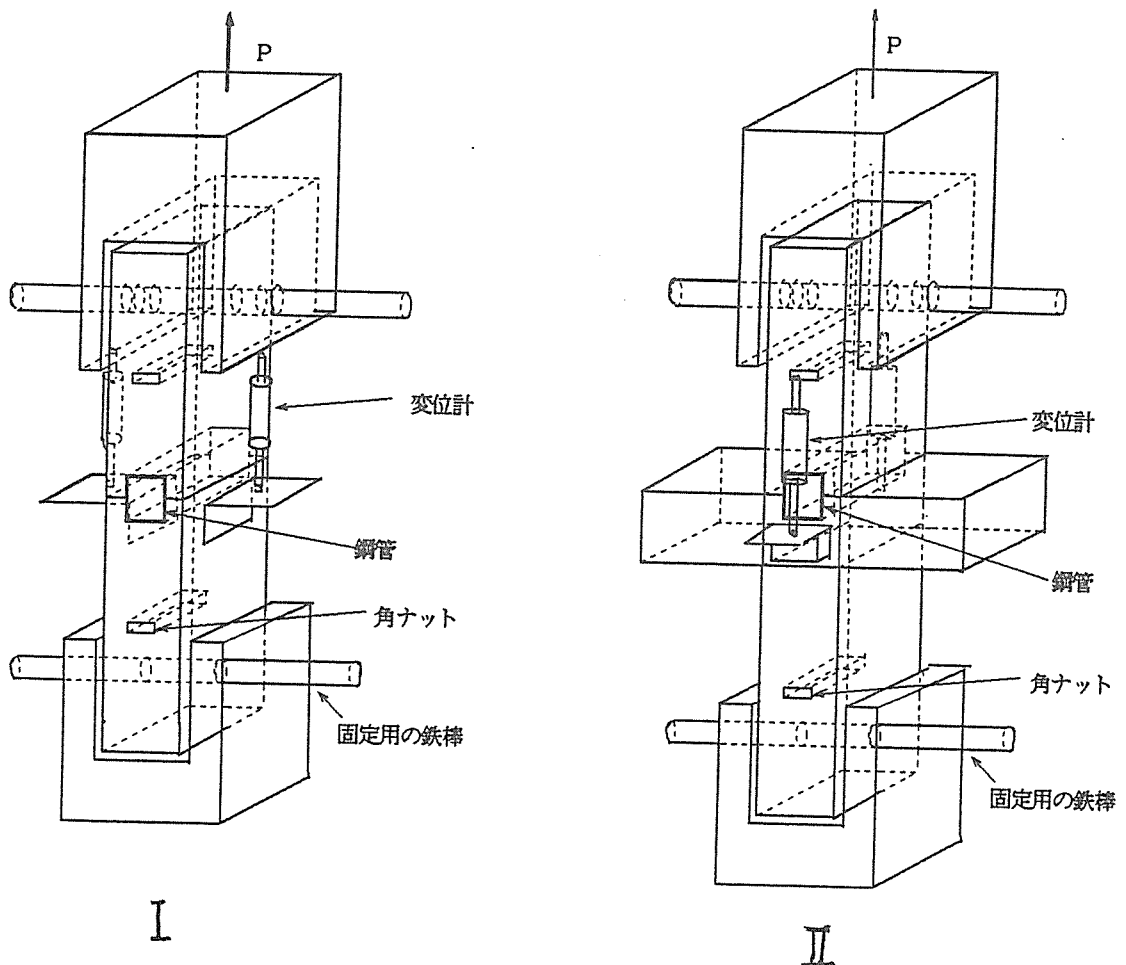


図 10. 接合 I と II の試験方法

4. 結果および考察

4. 1 荷重－変位曲線

図11 に接合 I の、図12 に接合 I I の荷重－ギャップ曲線を示した。ギャップは2つの変位計の平均値である。図中のかっこ内の数値は最大荷重で、次のアルファベットは、破壊形態である。Wは木材のせん断破壊、Bはボルトの破断、Mは角ナットの木材中へのめり込みである。試験体の記号の初めのローマ数字は接合 I または I I を示す。次はボルトの直径、鋼管の種類、角ナットの種類、そして最後は S がスギ、D がベイマツである。

部分実験 A の荷重－変位曲線を図13 に示した。

また、1 mm 変位時、2 mm 変位時、4 mm 変位時の荷重および、最大荷重を表2 から表4 に示した。ここで注意しなければならないのは、部分実験 A の 1 mm 変位は、接合 I と I I の 2 mm 変位に相当する点である。

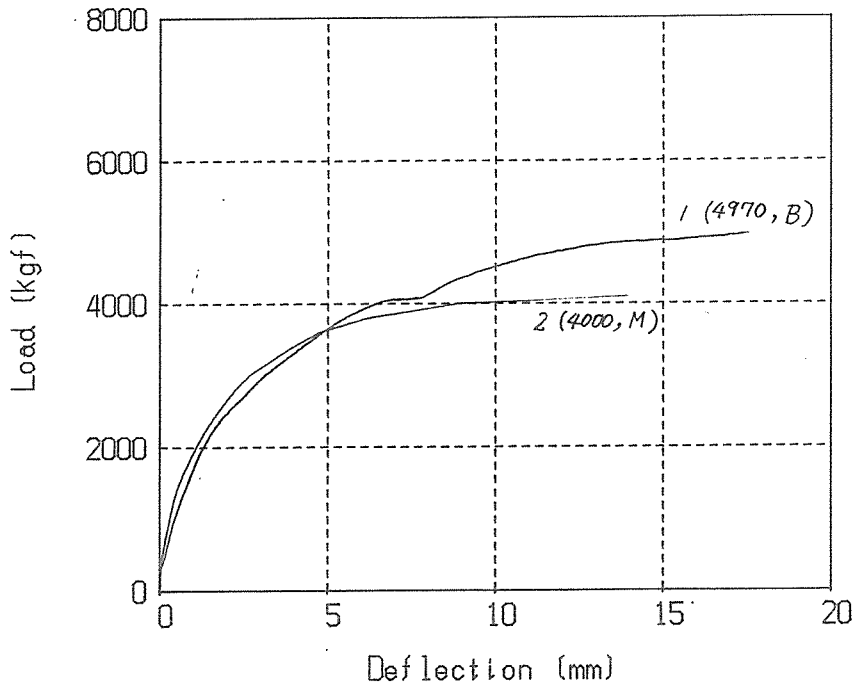
部分実験 B の結果は表5 に示した。

まず、接合 I と I I の曲線を眺めると、立ち上がりがボルト接合に比べると非常にシャープである。破壊は M 1 2 はボルト破断、M 1 6 になると、角ナットのめり込みが主となる。すなわち、M 1 2 は最大耐力はボルトに依存し、M 1 6 は木材に依存すると言える。

主要な破壊形態の写真を写真2 に示した。

接合 I と I I では本質的な相違は見られなかった。

I-12K_A ①-D



I-12K_A ①-S

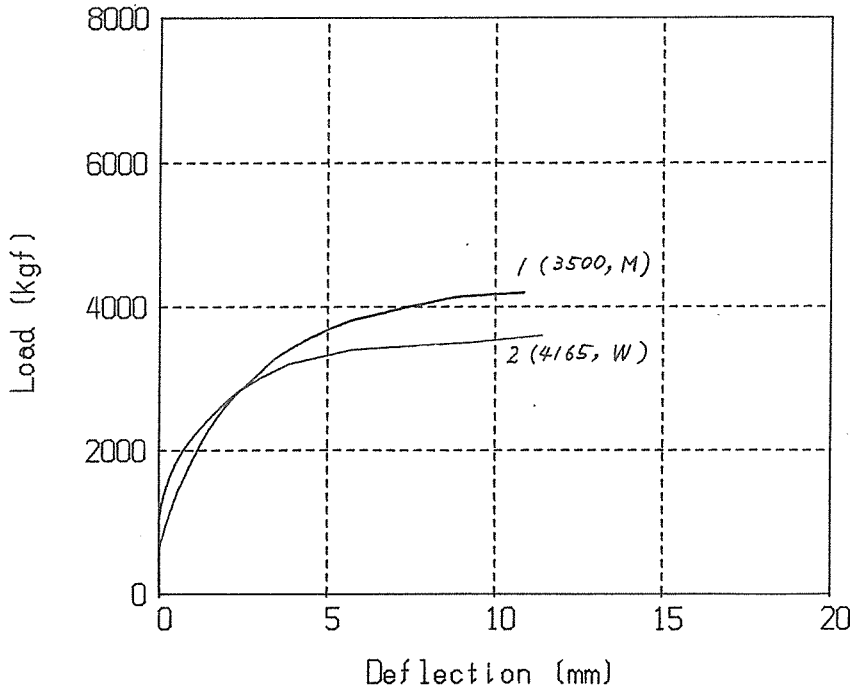
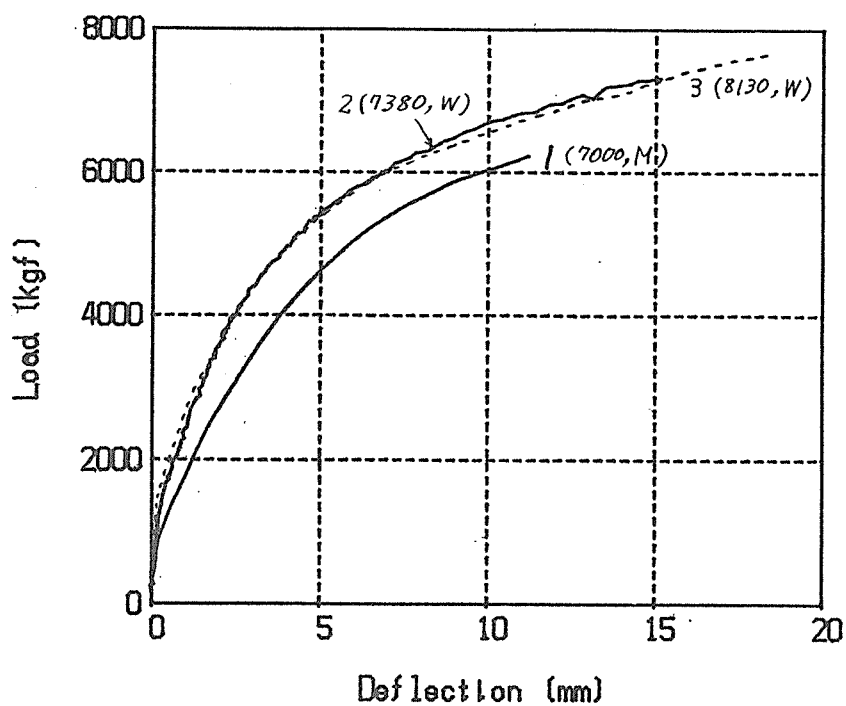


図11. 接合Iにおける荷重-変位曲線

I-16K_B ㊟-D



I-16K_B ㊟-S

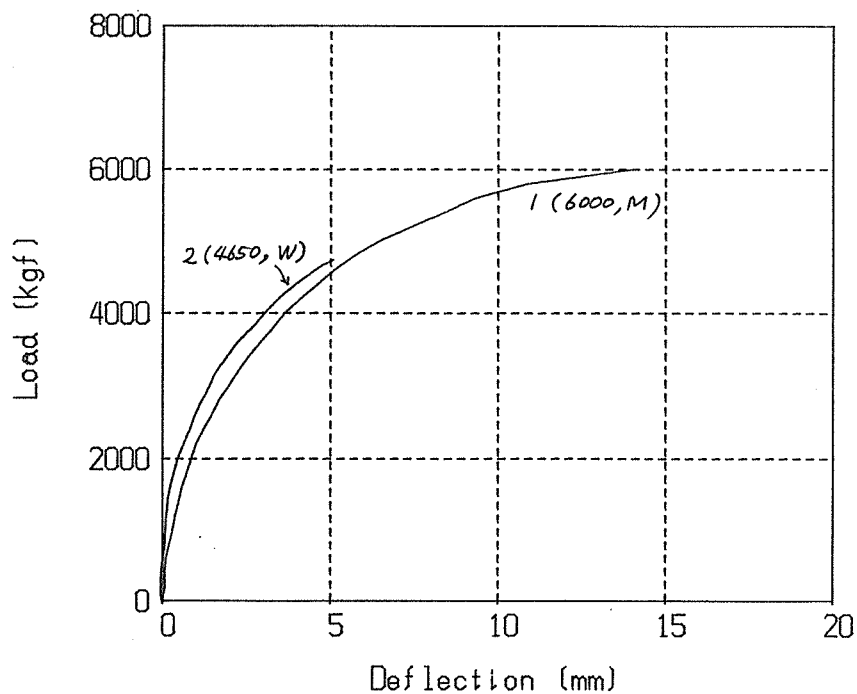
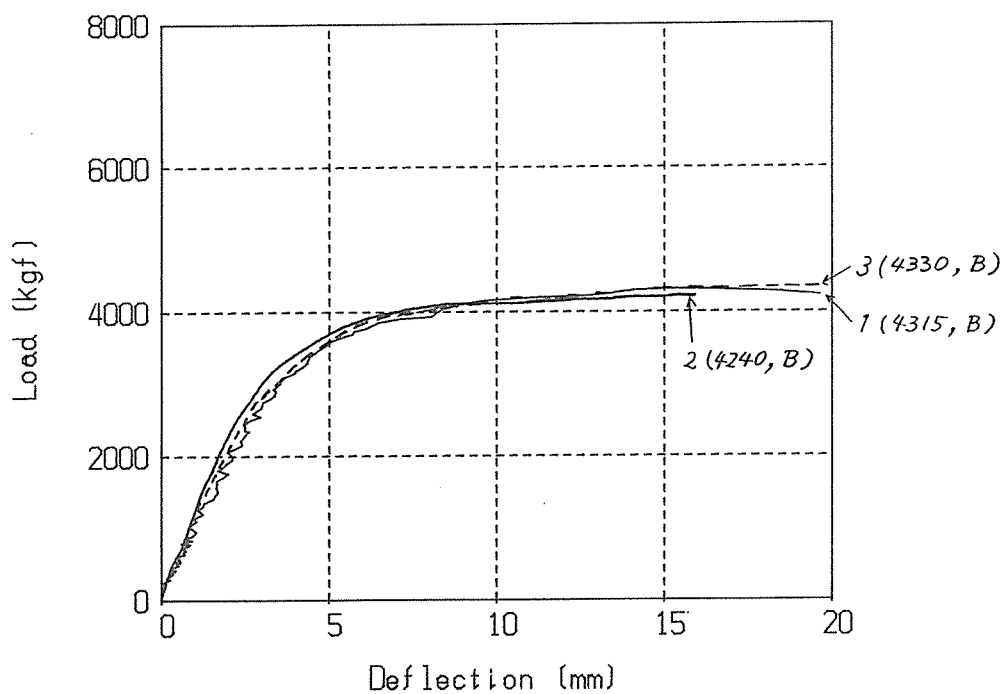


図 11. 接合 I における荷重-変位曲線

II-12K_A ①-D



II-12K_A ①-S

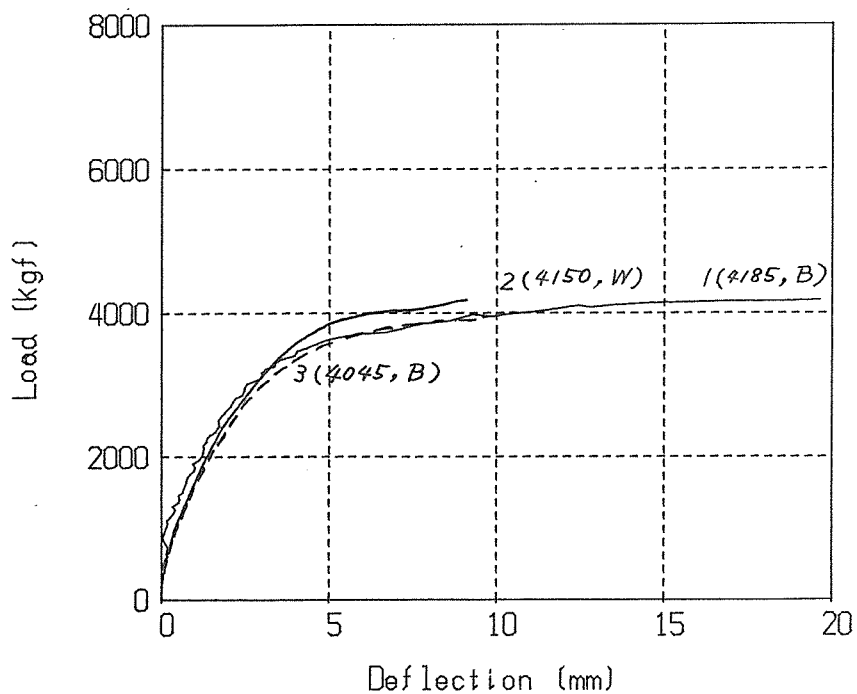
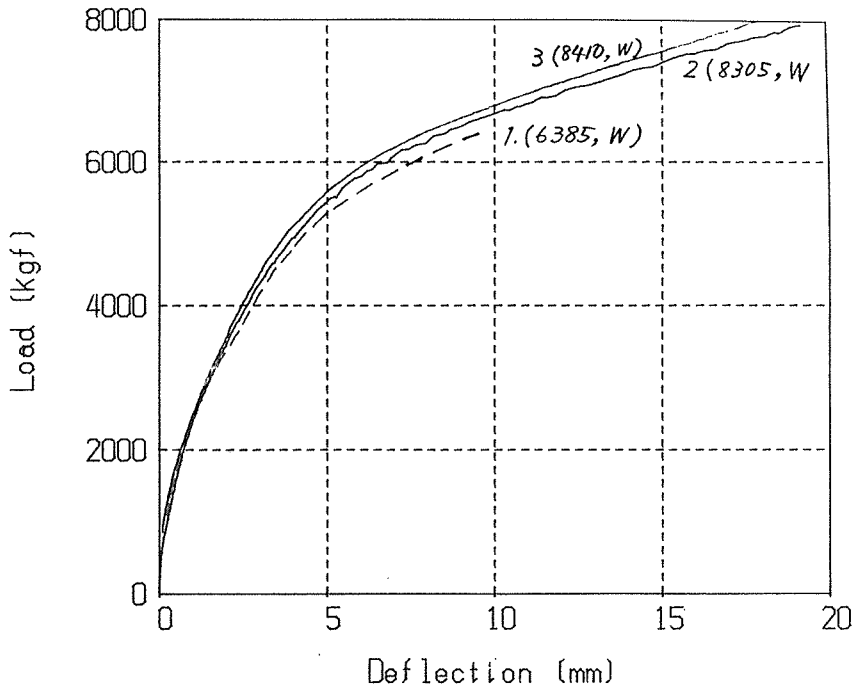


図12. 接合IIにおける荷重-変位曲線

II-16KB ㊟-D



II-16KB ㊟-S

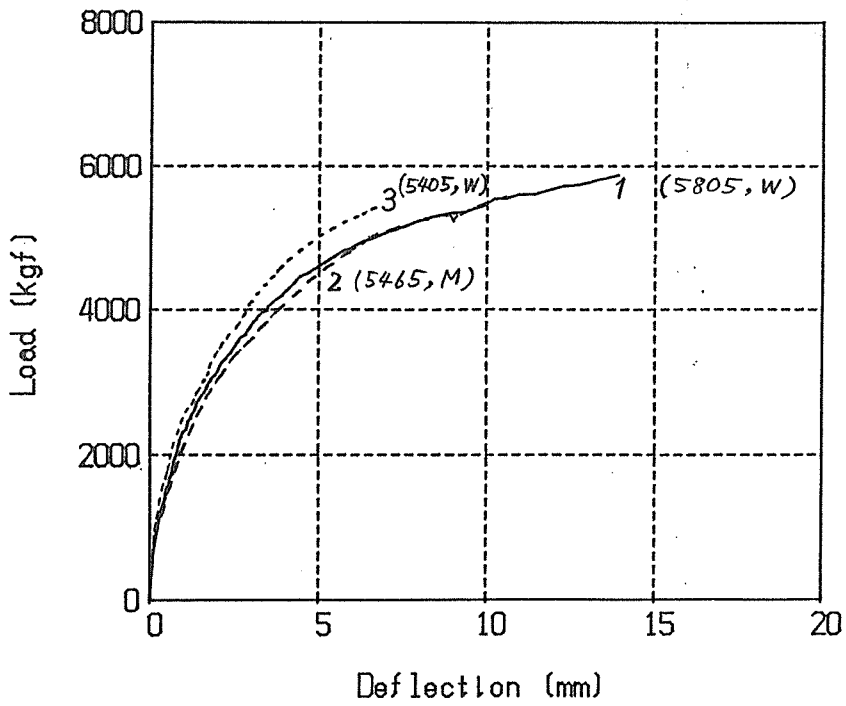
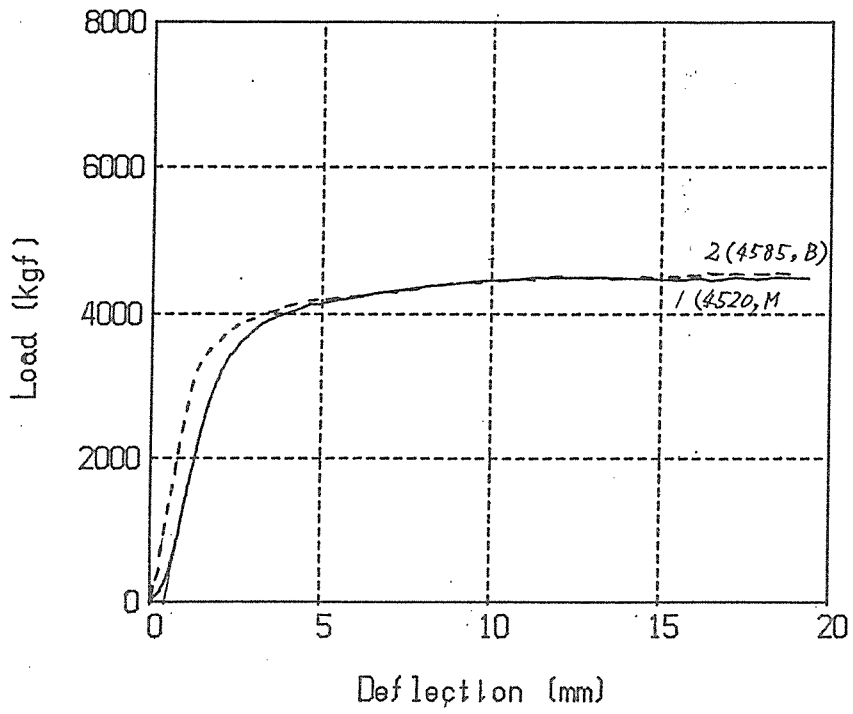


図12. 接合IIにおける荷重-変位曲線

A-12①-D



A-12②-D

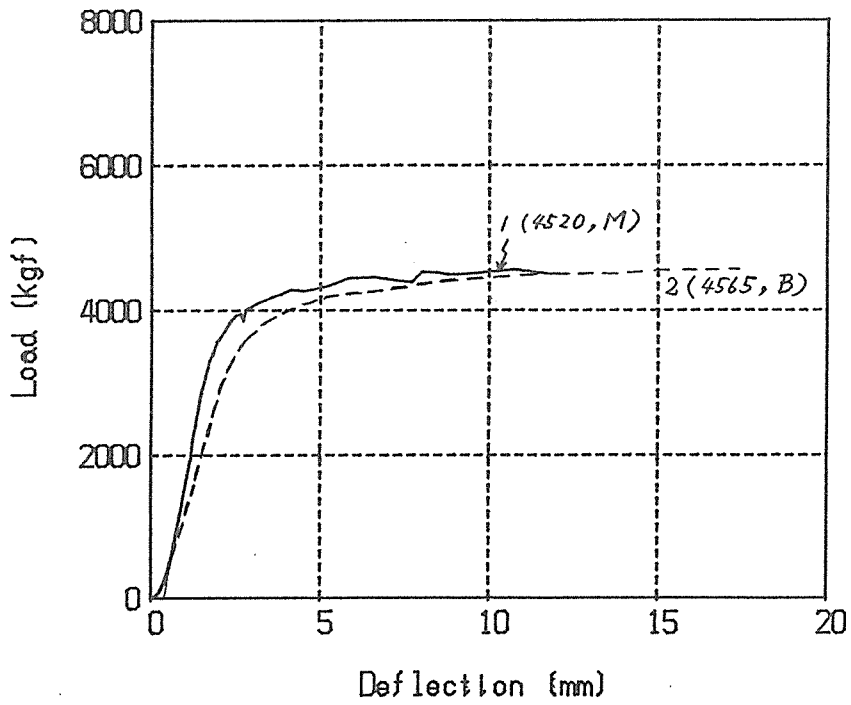
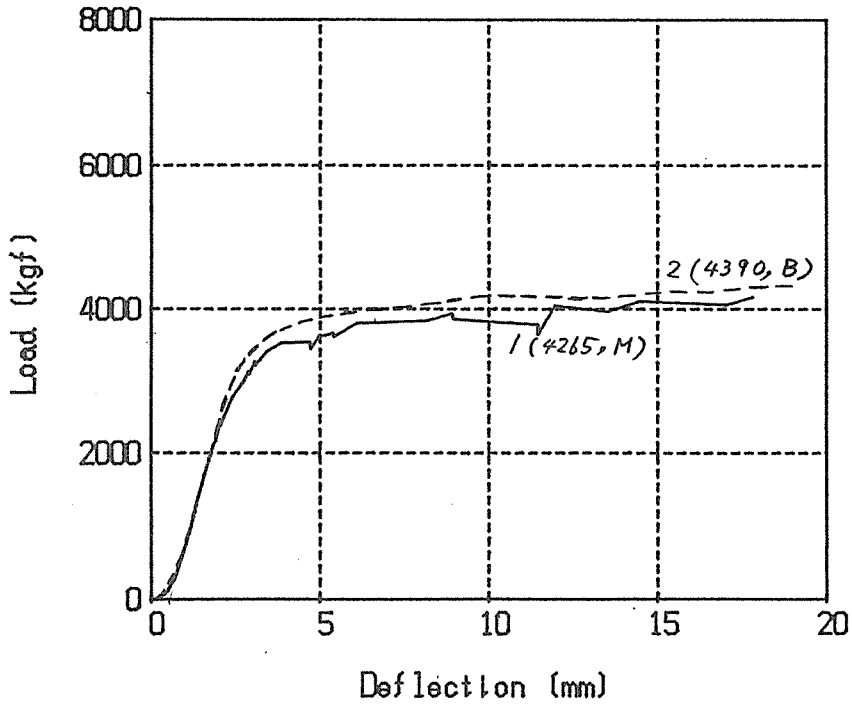


図13. 部分実験Aにおける荷重-変位曲線

A - 12① - S



A - 12② - S

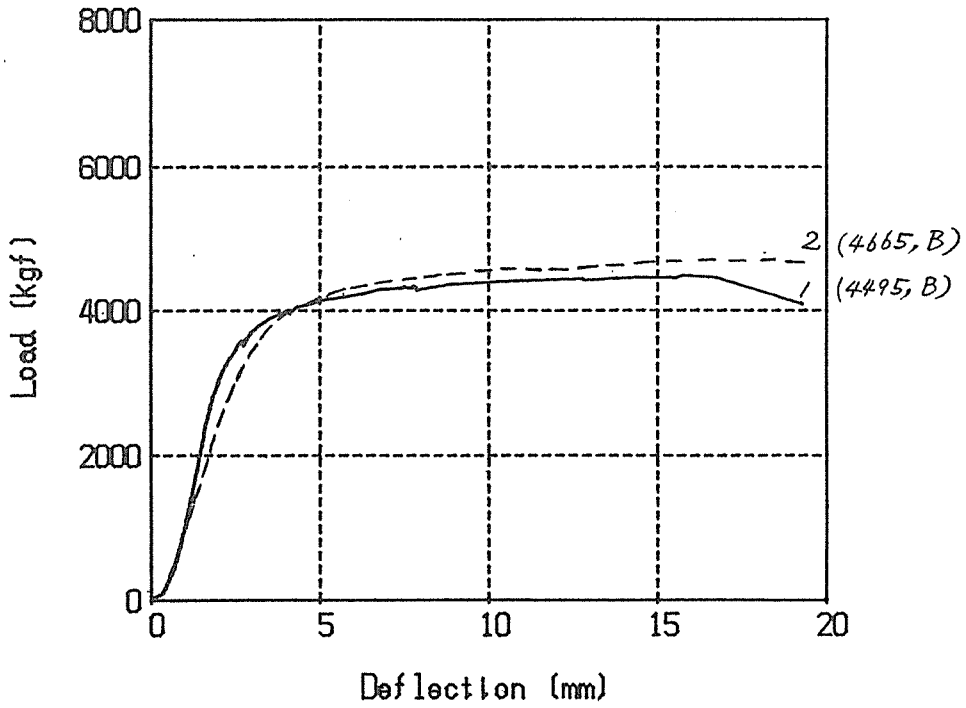
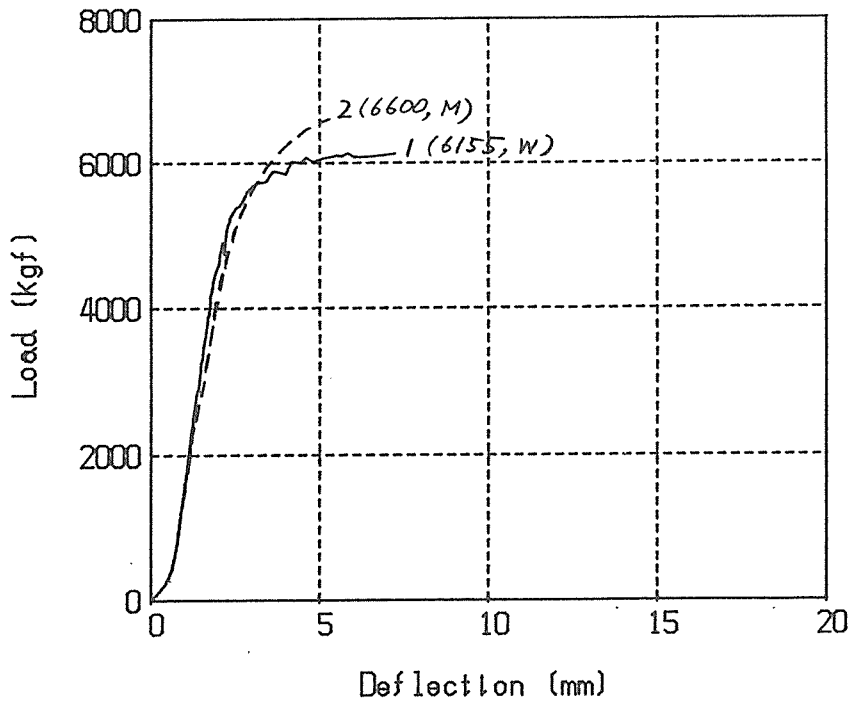


図 13. 部分実験 A における荷重 - 変位曲線

A-16③-D



A-16④-D

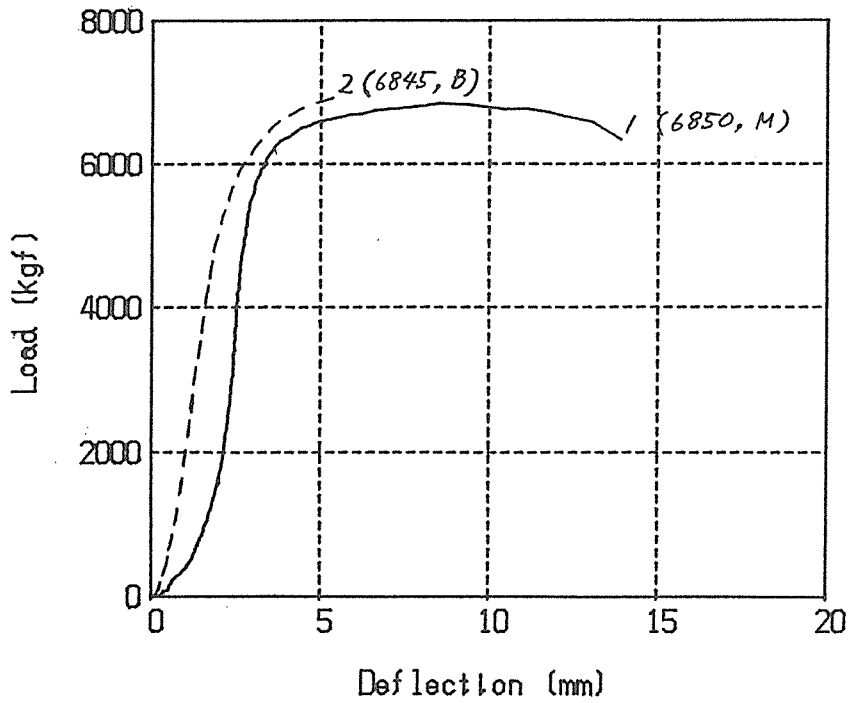
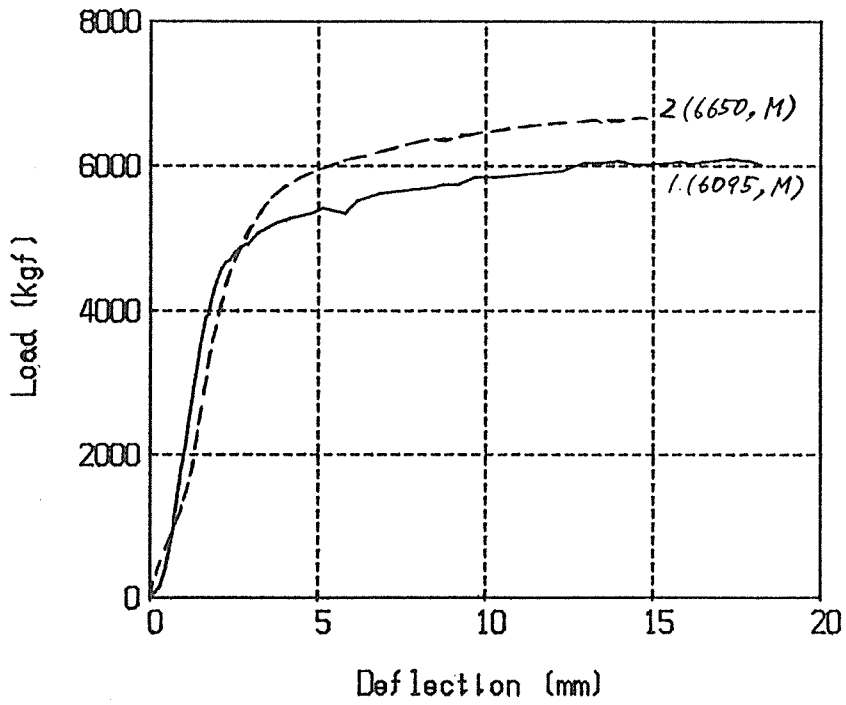


図13. 部分実験Aにおける荷重-変位曲線

A-16③-S



A-16④-S

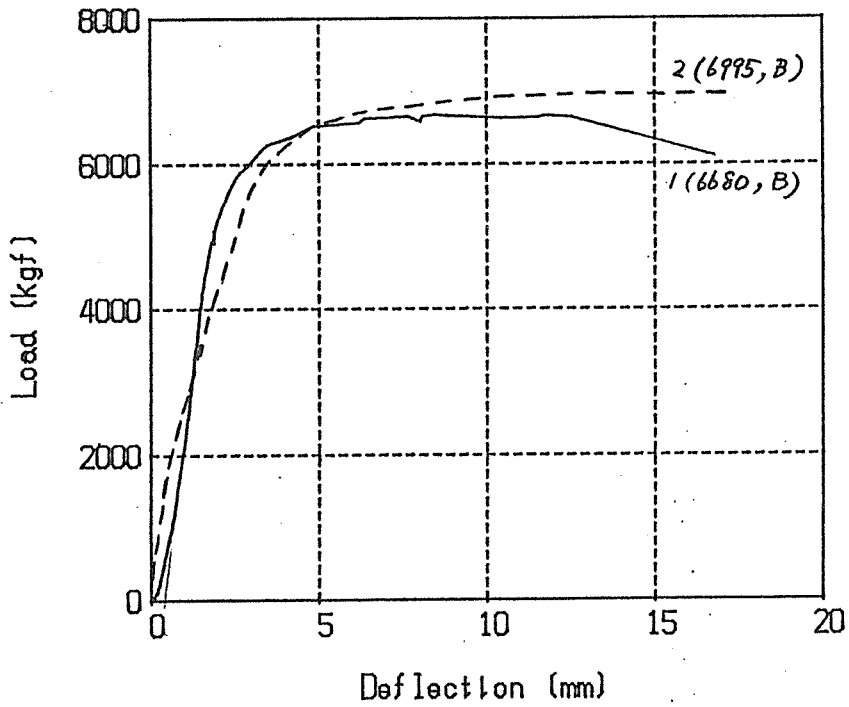


図13. 部分実験Aにおける荷重-変位曲線

表2. 接合 I の結果一覧

試験体記号	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)	P ₄ (kgf)	P _{max} (kgf)	木材の比重	破壊モード
I-12K _A ①-D-1	1905	2645	3411	4000	0.55	角ナットのめり込み
I-12K _A ①-D-2	1654	2473	3306	4970	0.50	ボルト破断
平均	2732	2559	3359	4485	-----	
I-12K _A ①-S-1	2169	2667	3214	3500	0.47	角ナットのめり込み
I-12K _A ①-S-2	1816	2561	3383	4165	0.46	木部破壊
平均	1993	2614	3299	3833	-----	
I-16K _B ③-D-1	2063	3152	4667	7000	0.65	角ナットのめり込み
I-16K _B ③-D-2	2428	3582	4961	7380	0.58	木部破壊
I-16K _B ③-D-3	2488	3580	4918	8130	-----	木部破壊
平均	2326	3438	4849	7170	-----	
I-16K _B ③-S-1	2180	3004	4150	6000	0.41	角ナットのめり込み
I-16K _B ③-S-2	2466	3417	4378	4650	0.42	木部破壊
平均	2323	3211	4264	5225	-----	

表3. 接合 II の結果一覧

試験体記号	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)	P ₄ (kgf)	P _{max} (kgf)	木材の比重	破壊モード
II-12K _A ①-D-1	922	1913	3178	4315	0.56	ボルト破断
II-12K _A ①-D-2	1262	2265	3433	4240	0.49	ボルト破断
II-12K _A ①-D-3	1175	2086	3253	4330	0.56	ボルト破断
平均	1120	2088	3288	4295	-----	
II-12K _A ①-S-1	1831	2667	3414	4185	0.46	ボルト破断
II-12K _A ①-S-2	1584	2472	3554	4150	0.54	木部破壊
II-12K _A ①-S-3	1541	2379	3320	4045	0.42	ボルト破断
平均	1652	2506	3429	4127	-----	
II-16K _B ③-D-1	2378	3370	4770	6385	0.58	木部破壊
II-16K _B ③-D-2	2388	3442	4938	8305	0.68	木部破壊
II-16K _B ③-D-3	2428	3547	5095	8410	0.70	木部破壊
平均	2398	3453	4934	7700	-----	
II-16K _B ③-S-1	2309	3131	4329	5805	0.46	木部破壊
II-16K _B ③-S-2	2086	3013	4063	5465	0.51	木部破壊
II-16K _B ③-S-3	2492	3439	4651	5405	0.47	木部破壊
平均	2296	3194	4348	5558	-----	

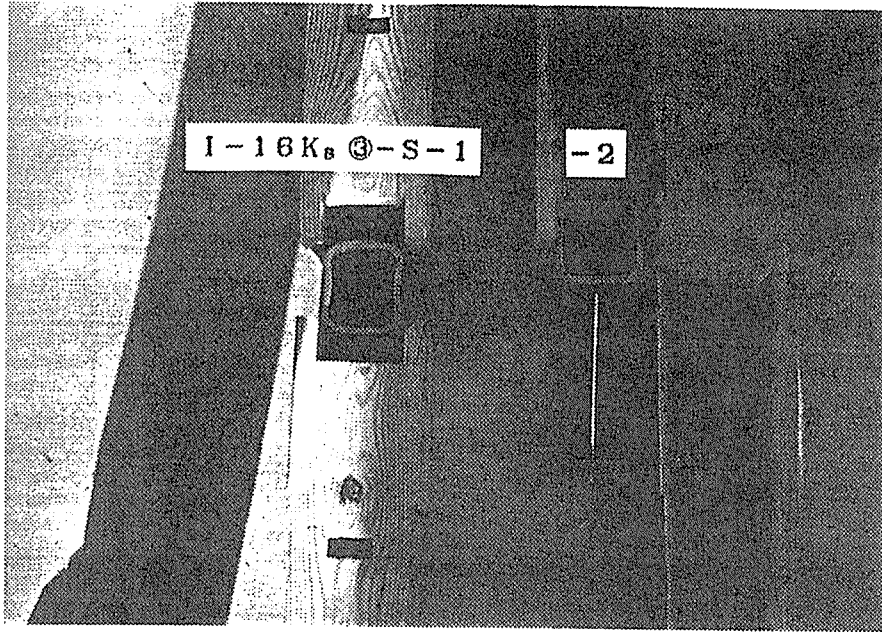
表4. 部分実験Aの結果一覧

試験体記号	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)	P ₄ (kgf)	P _{max} (kgf)	木材の比重	破壊モード
A-12①-D-1	1887	3374	4057	4520	0.56	角ナットのめり込み
A-12①-D-2	2437	3632	4119	4585	0.57	ボルト破断
平均	2162	3503	4088	4553	-----	
A-12②-D-1	2548	3850	4277	4565	0.53	角ナットのめり込み
A-12②-D-2	1712	3233	4043	4565	0.49	ボルト破断
平均	2130	3542	4160	4565	-----	
A-12①-S-1	1342	2720	3536	4265	0.56	角ナットのめり込み
A-12①-S-2	1814	3197	3861	4390	-----	ボルト破断
平均	1578	2959	3699	4328	-----	
A-12②-S-1	1649	3306	4042	4495	0.46	ボルト破断
A-12②-S-2	1456	2879	4066	4665	0.43	ボルト破断
平均	1553	3093	4054	4580	-----	

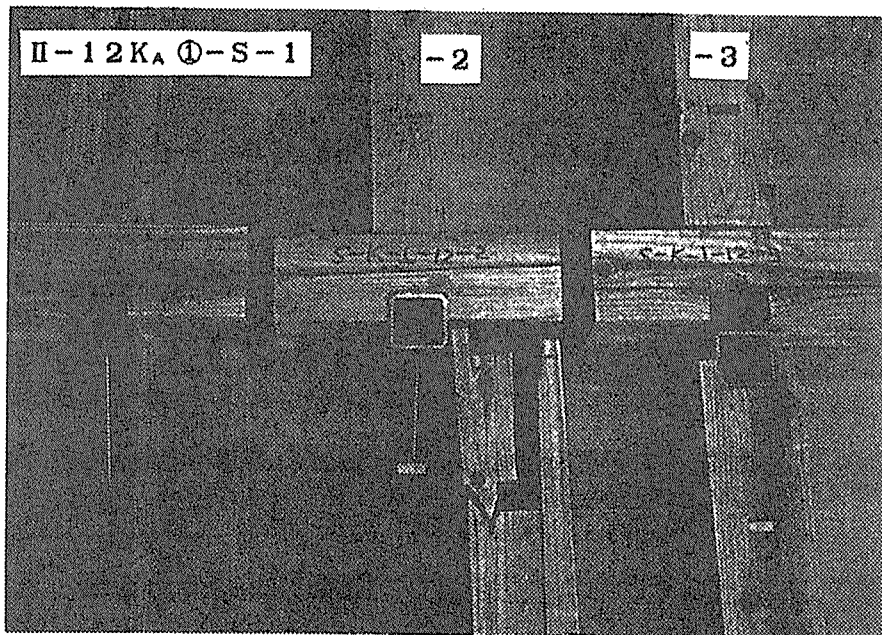
試験体記号	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)	P ₄ (kgf)	P _{max} (kgf)	木材の比重	破壊モード
A-16③-D-1	3057	5323	6009	6155	0.48	木部破壊
A-16③-D-2	2747	5005	6425	6600	0.52	木部破壊
平均	2902	5164	6217	6378	-----	
A-16④-D-1	5127	6321	6687	6850	0.60	ボルトの伸び
A-16④-D-1	3528	5709	6752	6845	0.47	ボルトのネジ山くずれ
平均	4328	6015	6720	6848	-----	
A-16③-S-1	3029	4708	5300	6095	0.56	角ナットのめり込み
A-16③-S-2	2456	4661	5850	6650	0.54	角ナットのめり込み
平均	2743	4685	5575	6373	-----	
A-16④-S-1	3373	5604	6404	6680	0.53	ボルトの伸び
A-16④-S-2	2702	4194	6273	6995	0.54	ボルトの伸び
平均	3038	4899	6339	6838	-----	

表5. 部分実験Bの結果一覧

試験体記号	Pmax (kgf)	破壊モード
B-12K _A -1	4440	ボルト破断
B-12K _A -2	4620	ボルト破断
B-12K _A -3	4620	ボルト破断
平均	4560	
B-16K _B -1	6800	ボルトの伸び 鋼管の降伏
B-16K _B -2	6770	ボルト破断
B-16K _B -3	6990	ボルトのネジ山の破壊
平均	6850	
B-16K _C -1	6280	ボルトのネジ山の破壊
B-16K _C -2	6950	ボルト破断
B-16K _C -3	6440	ボルトのネジ山の破壊
平均	6560	



左：ボルト破壊 右：木材のせん断破壊



左：ボルト破壊
中央：木材のせん断破壊
右：ボルト破壊

写真2. 典型的な破壊形態

4. 2 木材の比重と剛性および強度の関係

図14に接合IとIIにおける木材の比重(2材の平均)と P_4 および P_{max} の関係を示した。接合IとIIで差がなかったので、一枚に同時に表した。

破壊形態から見ても当然ではあるが、M12は木材の比重にあまり関係ないが、M16は、比重との相関が強い。JISと書いた範囲は現行のJISのボルトの強度範囲である。Bは今回用いたボルトの引張り強度である。M16で、 P_{max} がボルトの強度を上回っているものが2、3あるが、これは、終局状態で、偏心が生じたためではないか。

4. 3 角ナットの対称型と非対称型の剛性および強度比

部分実験Aの結果から、対称型角ナットと非対称型角ナットを比較してみた。剛性比を表6に、強度比を表7に示した。これを見ると、対称型と非対称型で実用上、剛性、強度とも、ほとんど差がないと考えてよいだろう。

4. 4 設計耐力

まず、図14から、木材の比重によって決定される角ナットボルトの耐力を表8に示した。ここで、J1、J2、J3は木構造計算規準の樹種グループで、それぞれ、比重0.32、0.37、0.42である。一方、ボルトの最小引張り強度はM12が3100kgf、M16が5300kgfであるから、最終的な設計耐力は、表9のようになる。これを見ると、M16はボルトの強度と木材の強度がほぼ同じで、合理的な設計となっている。M12は、ボルトの強度が木材の強度の70%程度であるので、ボルト径がもう少し太い方がよい。いずれにしても、ボルトの引張強度が木材強度よりもやや低いようにするのが、構造上最も理想的である。

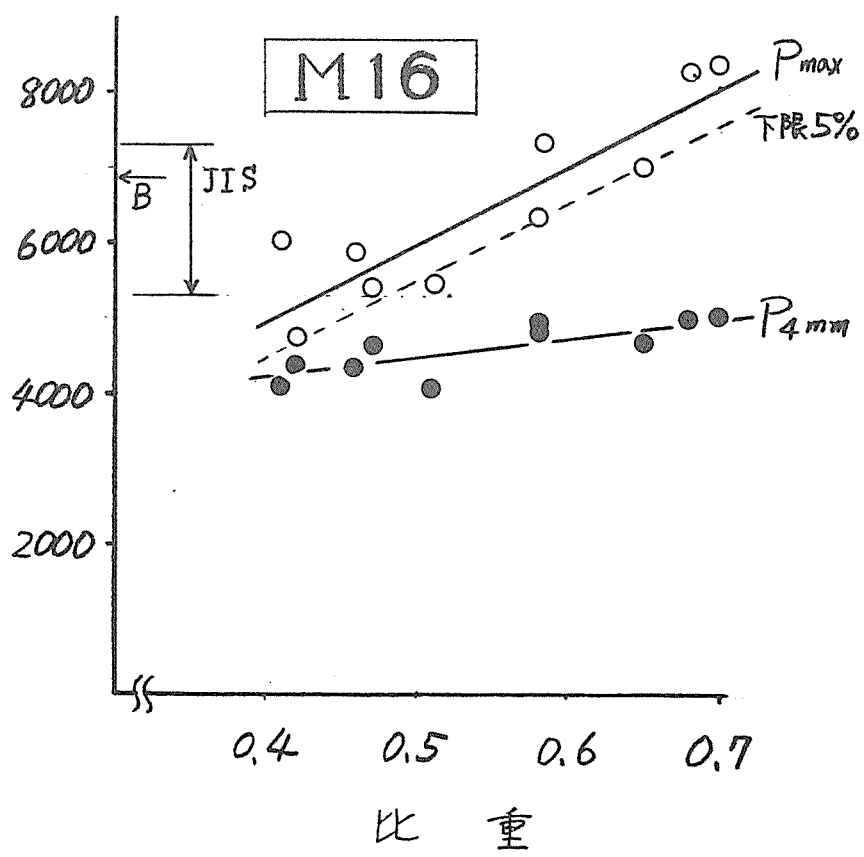
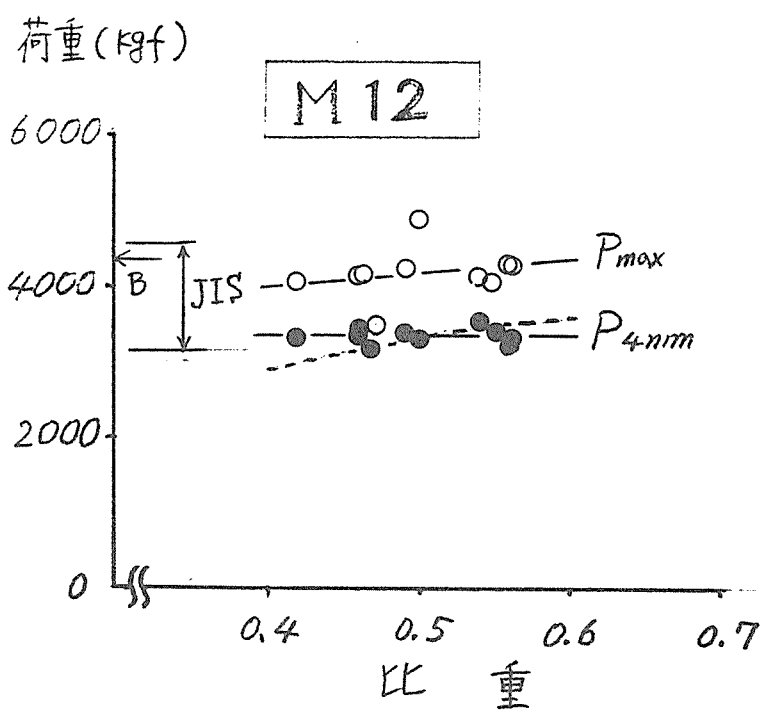


図14. 木材の比重と P_{max} 、 P_4 の関係

表6. 角ナットの対称型と非対称型の剛性比 (部分実験Aより)

	樹種	角ナット	P4(kgf)	非対称/対称
M12	ベイマツ	①	3503	1.00
		②	3542	
	スギ	①	2959	1.05
		②	3093	
M16	ベイマツ	③	5164	1.16
		④	6015	
	スギ	③	4685	1.05
		④	4899	

表7. 角ナットの対称型と非対称型の強度比 (部分実験Aより)

	樹種	角ナット	P _{max} (kgf)	非対称/対称
M12	ベイマツ	①	4550	1.00
		②	4570	
	スギ	①	4330	1.06
		②	4580	
M16	ベイマツ	③	6380	1.07
		④	6850	
	スギ	③	6370	1.07
		④	6840	

註) ①, ③ : 非対称型
 ②, ④ : 対称型

表8. 角ナットボルトの耐力・・・木材で破壊すると仮定した場合

ボルト	樹種グループ		
	J 1	J 2	J 3
M 1 2	4 2 7 0	4 1 3 0	4 0 0 0
M 1 6	5 1 5 0	4 6 2 0	4 0 9 0

表9. M 1 2またはM 1 6を用いた場合の角ナットボルトの耐力

ボルト	樹種グループ		
	J 1	J 2	J 3
M 1 2	3 1 0 0	3 1 0 0	3 1 0 0
M 1 6	5 1 5 0	4 6 2 0	4 0 9 0

註) ボルトの引張強度の最小値

M 1 2 = 3 1 0 0 kgf

M 1 6 = 5 3 0 0 kgf

4. 5 角ナットボルト接合と従来の曲げボルト接合の比較

M16について、従来の曲げボルト接合との比較を試みた。図15は安村氏のデータとの比較である。鋼板側材のボルト接合は初期のあそびが大きく、これを差し引いても、初期剛性強度とも、本接合方式より劣る。この主な原因は、金物のめり込みが角ナットボルトは繊維に平行なことで、ボルトが引張り力を受けることにある。曲げボルトは木材の繊維と垂直な方向にめり込み、しかもボルトが曲げを受けるので、非常に不利である。この差は、径の細いボルトでさらに顕著であると、考えられる。

最後に、両接合の比較を表で示した(表10)。ボルトにかかる力は一般的に曲げまたはせん断であるが、角ナットボルトでは引張りがかかる。ボルトの耐力は曲げよりも引張りの方が強い。また、曲げボルトの場合、先穴径はボルトの径よりも2-3mm程度大きい。このために、接合部のあそびが避けられない。一方、角ナットボルトはスプリングワッシャーを使うため、加力初期のあそびが極めて小さい。角ナットボルトは多数本の部材を一点で接合することが可能である。このように、角ナットボルトの長所は数多く、応用範囲がさらに広がると思われる。

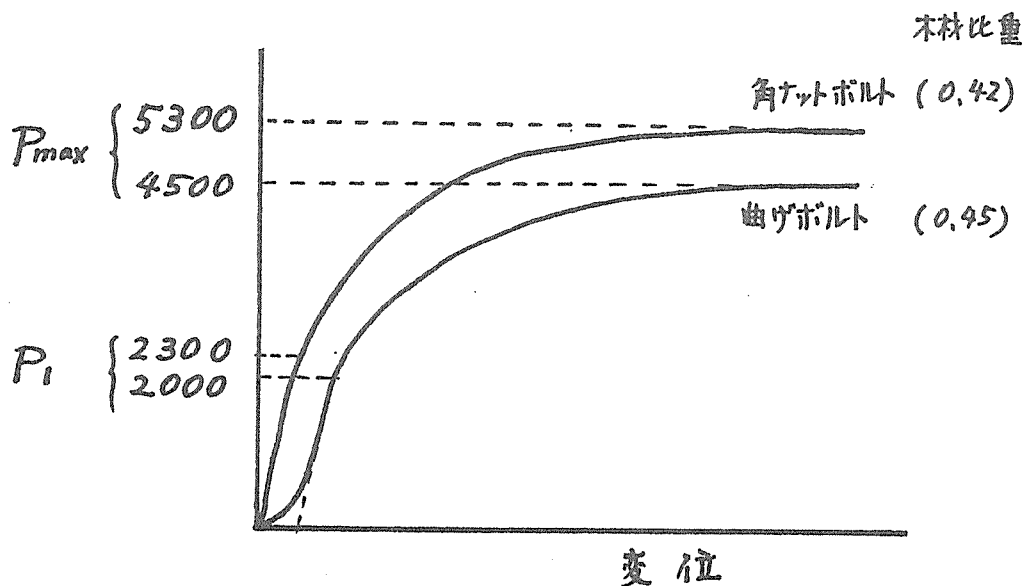


図15. 角ナットボルト接合と曲げボルトの荷重-変位曲線の比較

M16

表10. 角ナットボルト接合と
曲げボルト接合の比較

	角ナットボルト	曲げボルト
ボルトにかかる力	引張り	曲げ
接合部のあそび	小	大
強度信頼性	より高い	より低い
施工後の締め直し	可能	軸方向には不可
2 - 3 軸の取り合い	可能	難しい

5. ま と め

角ナットボルトを用いた木材の接合実験を行い、その合理的な設計指針を示した。以下にそのまとめを示す。

1. 間伐材等小径木を有効かつ積極的に利用するには、木材の繊維方向の強度を活用したトラス部材として活用することが最も有効である。トラスで一番問題となるのは、部材の接合である。従来の軸組構法においては、柱やはりの接合に羽子板ボルト等を利用してきたが、これらの金物はあくまで補助金物で、トラス接点の役割はほとんど果たしていない。これを解決する方法として、今までに、ボールジョイントを用いた接合がいくつか実用化されているが、これは高価で、重量も大きいため、住宅レベルの軽木構造では、手軽に使えない。この点、本接合方式（角ナットボルト方式）は簡便で、しかも強度信頼性が高いので有望である。
2. 2部材を角ナットボルトで接合した試験体の引張強度は、木材の破壊または、ボルトの破断によって決まった。従って、両者の値が、ほぼきっこうするように、ボルト径や、鋼管寸法、木材断面を設計することが、合理的な設計につながる。本実験における、接合要素の選択は、ほぼ理想に近かった。
3. ボルトをせん断力がかかるように用いる場合と、角ナットボルトのように引張り力がかかる場合を比較すると、前者は初期のあそびが大きく、ボルトが曲げを受けるので強度が後者に劣る。強度の差は、径の細いボルトで特に顕著であると、考えられる。
4. 角ナットボルトの応用例として、写真1-3がある。今後、本実験結果を基に、さらに応用範囲を広げることが可能である。

第2章 円環接手で組立てた立体トラス版についての実験的研究

(間伐・小径材の建築構造への利用に関する研究)

1. はじめに

第二次世界大戦終了(1945)後に植栽された人工林の多くが間伐期に達し、さらに主伐期に移行するのも間近い。これらの間伐で生産される小径材、特に杉の小径材を構造材として利用する場合にはつぎのような問題点がある。第一に断面寸法が小さく、若年材なので材料強度が低い。第二に構造材として一定の断面を要求する場合にはその製品の長さが限定される。したがって、いま有効径10~15cm、有効部材長2~3mの小径材を建築物の構造用部材として利用する場合はトラス構造が最も適している。実際のトラス構造では、主として材軸方向の圧縮、引張力のみが作用し、曲げモーメントは接合部付近を除いて無視できる程小さい。これは、曲げ強度の低い間伐材でも有効に活用できることを示す。

トラス構造を構成する手法は

A 1 : 単位立体トラス、すなわち正四面体あるいは四角錐(ピラミット型)のスケルトンユニットを単位の要素として縦、横に連続させて立体トラス版を構成する手法

A 2 : 平面トラス梁を縦、横に交差させて格子を造り立体格子板構造(グリッドスペース構造)を構成する手法。

の二つに分けられる。本実験の対象としての構造はA 1の手法で構築されたものである。

部材長さ2~3mの棒要素を用いて大規模構造物を組立てるには、要素(部材)を互いに接合しなければならない。この場合、手法A 1では三次元接合継手が、A 2では二次元接合継手が必要となる。木質構造では特に接合部の性状が構造システム全体の力学的性状に大きな影響を与える。現在のところは接合部には金物(主として鋼)を使うのが一般的である。鋼と木とでは弾性係数が一桁以上違うので接合部の剛性に連続性が欠ける。さらに木は柔らかくて「めり込み」という性質を持つ。したがって接合部はできるだけ木に近い力学的性質を持つ材料で造るのが理想である。

木構造の接合部(域)は二つの部分に分けられる。すなわち、①部材(木)端と接合プレートあるいはボルト等との接触部分。②そのプレート等を一点に立体的に結び付ける節点金物の二つである。実際に使われている木造立体トラスの三次元接合継手としては、鋼管立体トラス屋根の構成に使用されているボールジョイント方式を転用した継手型式が使用されている。この場合でも上述の①の部分に特別の工夫がある。小国ドームでは鋼プレートを部材端に挿入し、そのプレートに鋼棒(反対側にはボールにねじ込むためのネジが切っている)を溶接したものが①である。部材端に挿入された鋼プレートは、一般にはボルト、ドリフトピン等の剪断ファスナーによって結合

している。また、Dr. P. Huybers は針金で締め付ける手法を用いている。

ボールジョイント方式は曲面鉄骨シェル（単層、複層とも）に開発されたものであり、接合部の接点に鋼球を用いて部材端のボルトの角度を自由に調節できるようになっている。したがって生産コストが高くなる。また中実な鋼球を使用しているため、木構造の場合では構造物全体に占める接合部重量の割合が大きくなる。

Dr. P. Huybers のノードレスジョイントのようなボルトで結合する方式でもボルトの本数が多いのでやはり接合部の重量比が大きくなる。

1・2 実験の目的およびCRJ

この実験・研究は、立体トラス版（平版、曲版）構造のうちの木造トラス平版構造（フラットルーフ）の建築構造物への実用化のための基礎データを得ることを目的としている。木質構造の場合は、特に接合部の性能が構造物全体の強さと靱性に大きな影響を与える。したがって、このピラミット型単位を連続させる工法でも三次元立体接合継手の開発が重要である。従って第一段階は節点の接合システムに、軽くて木材に近い変形追随性を持つ円環継手（Cylindrical Ring Joint）を開発した。この接合方式は円筒形の鋼製リング（円環）を部材の集合点に置き、部材端のプレート（ひれ）をその円環に「渡りあご」式に差し込んで相互に結合する方式である（図2-3参照）。

8本の部材力の中心線は一点に集まるよう設計されている。「ひれ（Fin）」は部材に径6mmのボルト3本で剪断接合されている。予備実験として辺長1200mm、部材断面90×90mmのピラミット型四角錐骨組一単位を製作して構造実験を実施した。図1.2のように、この単位骨組を縦、横に連続してゆけば立体トラス平版が構成される。この構造システムの部品としては木の棒（小径材あるいは小径材の積層材）とCRJの二種類で良い。これらの部品を規格化することによって任意の形態、面積、規模の木造立体版の量産が可能になる。

2. 実験計画

2・1 試験体（立体トラス版 1/2 モデル）

試験体の概観を図2.1に示す。これは前章(1.2)で述べた単位骨組を縦、横（X-Y方向）に3個ずつ連続し、合計9個で構成した立体トラス版（辺長5400×5400mm、版の高さ1280mm）の1/2縮尺モデルである。ただし、CRJの板厚は $t=3.2\text{mm}$ （71%縮尺）である。

本実験の試験体の9個の単位ピラミット骨組の上部頂点はトラス部材と同一寸法の部材でXY両方向に連結してある。CRJ（板厚3.2mm，SS41）は上面9個、下面16個の合計25個を、木の部材（断面寸法45×45mm角、部材長820mm）は72本を使用した。部材の樹種は米桐、圧縮強度348kgf/cm²（平均）、圧縮弾性係数1.2×10⁵ kgf/cm² および含水率18.5%（平均）である。なお、付表1に試験時の各部材の含水率の測定値を載せた。

2・2 CRJ（円環継手）金物

円環継手の特徴は薄肉の円筒状リングを用いることで接合部に柔軟性をもたせ、木のトラス部材との剛性のバランスを考慮したことである。これに加えて「ひれ」差し込み手法によって接合部の金物の軽量化を計ったこと。節点に集まる8本の部材の中心線同志の偏心を無くしたことである。

表2-1 に本試験体の接合金物CRJの全重量および構造体に占める重量比を、図2-2 にCRJの寸法詳細を、図2-3 に組立詳細を、それぞれ示す。

2・3 トラス部材（木の棒）⇨ひれ（鋼プレート）+円環

部材端部にスリットを設け、そこに接合プレート（ひれ）板厚3.2mm を挿入して剪断ボルト（M6-60）3本によつて部材端とプレートとを接合する。次にそのひれプレートのスリット部を円環のスリットに嵌め込み、ずれが生じないようにリングとプレートとの交差部の隅を点溶接する。システムとしてはこうなるけれども、実際の施工では予め円環に「ひれ」プレート嵌め込み、隅を点溶接して完成したCRJに材端を幅3.2mm 長さ70mmのスリット加工した部材を差し込み、径6mmのボルト3本で剪断接合する。なお、プレートと部材との接触部に接着剤は使用していない。

図2-4 にトラス部材単体および部材端接合部の寸法詳細を示す。図2-5 は接合域の組立て模式図である。

3. 実験装置

3・1 載荷装置および支持装置

図3-1 に載荷装置の全景：試験体、支持点および支持方法を示す。

コンクリート製ベースブロックの上にH形鋼を井桁に組み基盤とした。その基盤のベースブロック上に支持装置（図3-2）を設置し、それによって試験体の4つの隅（支点1～4）をピン支持した。

載荷方法は図の点①に手押し式油圧ジャッキを取付けて鉛直下方向へ引っ張ること
で一点集中荷重を加えた。荷重の値は油圧ジャッキに直結した荷重計（容量10tonf）
で測定した。載荷時に試験体の水平移動を防ぐため、4つの支点はともにピン支点と
した。外的には不静定になっているけれども載荷点とジャッキとはピン接合（図2-6
（b）参照）にして試験体の水平方向の変形による影響を除去し水平反力が生じないよ
う考慮した。図3-2 に支点部の詳細を示す。

3・2 載荷プログラム

載荷様式は変位制御の片振り繰り返しであり、載荷方向は鉛直下向きである。制御
変位量は節点①の変位 δ_1 （変位点番号NO.1）がL/720(3.75mm), L/480(5.63 mm),
L/360(7.50 mm), L/240(11.25 mm), L/180(15.00mm) およびL/120(22.50mm)において、
それぞれ、2回の載荷、除荷を行う。L/120点で繰り返した後は試験体が破壊するま
で単調連続載荷した。今回の実験では節点①の局部崩壊荷重が最大値であった。ここ
にLは試験体の支点間距離；2700mmである。

3・3 トラス版の変位量およびトラス部材応力の測定

図3-3 に変位測定点位置および変位番号を、載荷プログラムを図3-4 に、それ
ぞれ示す。測定位置はすべてピラミット骨組の頂点である。変位番号NO:1~NO:9（①
~⑨）はトラス版の上部節点、NO:10 ~NO:21（⑩~⑳）はトラス版の下部節点であ
る。測定値は鉛直下向きを正とする。

節点周囲及びトラス部材の応力の測定には歪みゲージを使用した。歪みゲージは
118個所に設置した。その番号、設置（貼付）位置は図4-3 および付図1参照。

3・4 部材の座屈及び屈伏の問題

このピラミット単位要素を連続した立体トラスはトラス構造としては高次の不静定構
造に属する。したがって、崩壊までに多段階の応力再配分機構を持つと推定される。
崩壊形には(1)部材の座屈あるいは屈伏、(2)節点の回転 および (3)その混合形
が考えられる。座屈は一種の不安定現象（飛び移りSnap throw）なので構造物の脆性
破壊を誘起するので避けたい。平面構造の結果から類推すれば(3)の混合形機構が真
の崩壊荷重の上界値になると思われる。

4. 実験結果

4・1 荷重変形履歴および変形挙動

荷重プログラムによって設定した6つの繰り返し変位点 ($L/480 \sim L/120$) 与えたとき、それに対応する荷重の値および各節点の変位 (鉛直方向) を表4-1, 表4-2 に示す。これらの表の数値はそれぞれ、各設定変位の第一サイクルおよび第二サイクルにおける変位量 (mm) である。繰り返しによる荷重の低下率は、 $L/480$ 返は零に近い、それ以上ではそれぞれ、 $L/360 \Rightarrow 1.1\%$, $L/240 \Rightarrow 2.0\%$, $L/240 \Rightarrow 2.6\%$, $L/180 \Rightarrow 3.6\%$ および $L/120 \Rightarrow 4.7\%$ であった。 $P_1 = 5330\text{kg}$ において節点①に水平面内 ($X-Y$ 平面) の回転変位による局部崩壊が発生して荷重の増加は不可能になった。これを終局段階とした。

図4-1 は荷重-変位曲線 ($P_j \sim \delta_j$) である。ここに δ_j は変位点 j の鉛直方向変位量 (mm) である。図4-1(a) は $P_1 \sim \delta_1$ 曲線、すなわち載荷点①における荷重-変位曲線である。この曲線は初期OA, 中期ABおよび後期BCの3つの部分に分けられる。まず載荷点①を含む単位ピラミット①~⑬⑭⑰⑱がブロック状に剛体として下方に転移する。このとき、版のたわみ曲線から略算すれば実質スパンは約 $2/3$ になるので剛性は約 3.38 倍になる。区間OAがそれに相当する。OA上のA ($\delta_1 = 1\text{mm}$) に到達すれば載荷点①から各節点への力の配分は終了し、前記のピラミット単位①~⑬⑭⑰⑱も相対変形を開始する。区間ABがBCに比べて荷重の上昇率が低いのは、各節点のボルトとボルト穴との隙間によるスリップ変位の累積が原因である。AB上のBを過ぎると部材のボルト穴の側面にボルトが接触するようになり、部材 (木) の繊維方向のめり込み圧縮抵抗によって $P_1 \sim \delta_1$ 曲線の勾配は上昇に転ずる。曲線ABCはBに中弛みはあるものの載荷点①の局部崩壊直前 ($\delta_1 = 35\text{mm}$) まで線型と見なせる。

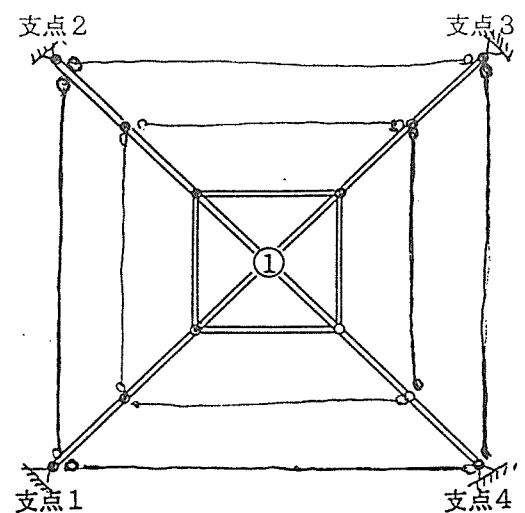


図4-5 トラス版の主耐荷構造
(仮想十字交差梁)

ばね定数は $k_{AB} = 17 \text{ kgf/mm}$, 全体では $k_{AC} = 12 \text{ kgf/mm}$ である。

図4-1(b), (c) は中央ピラミット骨組①～⑬⑭⑰⑱の斜め材と下弦材との交点の節点⑬および⑭の $P_1 \sim \delta_{13}, \delta_{14}$ 曲線を示す。図4-2 は3つの履歴曲線 $P_1 \sim \delta_1, \delta_{13}, \delta_{14}$ のバックボーン曲線であり、ピラミット骨組①～⑬⑭⑰⑱の相対変形挙動を表している。

4・2 部材応力について

トラス部材には軸力 N による応力度 σ_N のほかに初期偏心、元たわみによる曲げ応力度 σ_b が発生する。歪みゲージは部材の表面に貼付してあるので、もし部材が曲げ挙動せず σ_b が生じなければ部材の相対する2つの面に貼った歪みゲージから算出した縁応力の値 (N_1, N_2) は等しくなるはずである。しかし、すべての部材が初期偏心、元たわみを持っているので、荷重の増加につれて $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ の読みは異なってくる。この場合に軸力 N としては N_1 と N_2 との相加平均をとった。図4-3 は歪みゲージの貼付位置を示している。数字はゲージ番号であり、太い線で貼付位置および貼付面を示す。

表4-1 に設定変位値に対応する各トラス部材の縁応力 $N_{i,j}$ (kgf) を示す。たとえば、 $N_{72,73}, N_{85,86}$ などである。表(a) はトラスの上弦材の、表(b) は下弦材の、それぞれ縁応力である。

図4-4 は表4-1を載荷プログラム設定変位 $L/720(3.75\text{mm})$ から $L/120(22.50\text{mm})$) および終局荷重時(39.91mm) の7段階に分類して図化したものである。

4・3 荷重の分担について

*「節点番号は図3-3 参照」

載荷点①に作用した荷重 P_1 は単位ピラミット①～⑬⑭⑰⑱の斜材①⑬、①⑭、①⑰ および①⑱の4本が分担すると考えれば、一本当たり $N_{mn} = \sqrt{2}/4 P_1$ (kgf 圧縮力) となる。すなわち、荷重 P_1 に対する分担率は35.2%(0.352)である。

この軸圧縮力 N_{mn} は、それぞれ隣接する単位ピラミットの斜材、例えば引張力 N_{1-17} ならば、部材⑱⑤、⑱⑦および⑱⑧に伝達される(これは微小変位でトラス部材が剛体として回転すると仮定した場合)。これらの3つの部材のうち版の対角線方向の [①⇔支点1] の部材の分担率をもつとも大きい。このことは支点の対角線仮想格子梁①～支点1, 2, 3, 4から推定できる。実験結果もこれを示している。たとえば、 $L/240(P_1 = 17.35\text{kgf})$ 時において⑱⑦=0.321であり⑱⑤と⑱⑧との和が約0.30(一本について約0.15)である。また $L/120(3275\text{kgf})$ では⑱⑦=0.296であり⑱⑤と⑱

⑧との和が0.322（一本について約0.16であった。）

このことから、このトラス版は図4-5のような十字交差梁が主耐荷構造になっていて終局荷重5330kgfの段階まで連続したトラス版として挙動していると仮定できる。これは図4-6のトラス版たわみ変化図からも判る。

図4-7に各設定変位荷重に対応したトラス各部材の荷重分担率を示す。

4・4 繰り返し荷重下の残留変位

付表2に各設定変位量毎の片振り履歴曲線の除荷時の残留変位量（mm）を掲げた。表（a）は第一サイクル、表（b）は第二サイクル時の残留変位量（mm）である。この表からも中央ピラミット単位①～⑬⑭⑰⑱は繰り返し荷重の下で剛体の骨組み（スケルトン）としての挙動をしめす。

4・5 破壊性状

終局状況は載荷点の節点①のCRJのリングの回転による局部破壊である。この節点①破壊後も構造物全体の耐荷力はやや鈍化するけれども上昇傾向を示し、荷重の低下や不安定挙動を示さない。

終局段階に入って P_1 が4400kgf付近で節点①のCRJのリングに取り付いている部材⑬、⑭、⑰および⑱の接合プレート（ひれ）と部材との取付け時の初期偏心および部材の元たわみが原因の座屈（実際には屈伏）現象が発生する。これが互いに影響し合って「接合リング」を回転させるように作用した。そのリングの回転が上弦材③、⑤、⑥および⑧の接合プレート（ひれ）に波及し、これらプレートに屈伏による曲げ変形を生じさせ、ついに変位量 $\delta_1 \approx 40$ mmに達したとき部材端部の接合プレート挿入ために入れたスリット付近に割裂が発生して接合域（節点①）は局部崩壊する。この時の荷重 P_1 の値が5330kgfである。この屈服現象の状況は付図2の接合リングについての歪みゲージの測定値からも推定できる。

5. 実験結果に対する二三の考察

5・1 縮尺試験体の耐荷力およびたわみ δ について

トラス版の耐力 M_R を上下弦材の軸力による隅力抵抗に等しいと仮定すれば、断面寸法が $1/2$ 、応力中心間距離が $1/2$ のとき M_R は $[L^3] = 1/8$ になる。版に作用す

る外力のモーメントは $[L]$ である。したがって、 $1/2$ 縮尺モデルでは M_R は実大構造物の $[L^2] = 1/4$ で、あるいは $M_R = P_1 [L]$ から P_1 は $[L] = 1/2$ で相当となる。

トラス版をソリッドな厚板と仮定したとき、たわみ δ は $k P l^3 / E I$ から $k (P / E) [L^3 L^{-4}] = [L^{-1}]$ ，したがって $1/2$ モデルの場合には δ は $[L^{-1}]$ で2倍になる。すなわち、実大構造物の $L/360$ に相当する $1/2$ モデルの たわみは $L/180$ である。トラス梁の場合は $I \doteq A y^2 = [L^3]$ なので δ は $[L]$ となって等価である。

5・2 部材の屈伏挙動について

前述の如く節点①に集まる4本の部材が荷重を軸力として分担する値は一本当たり $0.353 P_1$ であり、合計で約 $1.414 P_1$ である。前出の図4-7 荷重分担率において座屈(屈服)の影響が小さいと見られる(元たわみが小さい)部材①⑬、①⑭、①⑰および①⑱の分担率を表5-1 に掲げる。この表から計算値 $0.353 P_1$ 、合力 $1.414 P_1$ の値に近い分担力が各部材に分配されていることが判る。米つがの圧縮試験強度から計算した部材一本当たりの圧縮荷重(短柱)は約 7050kgf 、またヤング係数 $2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}$ として計算したオイラー座屈荷重は 3357kgf (ここに座屈長 $l_k = 82 \times 1.2\text{cm}$ 、 $\lambda = 75$)である。実験において測定した最大軸圧縮力は①⑱材の 2331kgf (2つのゲージの平均値)であり、これは屈伏挙動による値である。節点間でトラス部材は複合部材(木の棒+接合プレート)となっていて棒の元たわみと接合プレートの取付けによる初期偏心が含まれている。このような複合部材に材軸方向の圧縮力が作用した場合は、初期段階から側方変位が生じ軸力の上昇にともなって急増する。そして、部材はオイラー座屈荷重より遥かに小さい値で破損する。この現象を屈伏(Kura nishi)と呼んでいる。①⑱材の屈伏推定曲線を図5-1 に示す。 $\omega = 25.8$ から推定座屈長は $\omega^{1/2} \cdot l = 1.60 \times 82 \text{ cm} = 132\text{cm}$ である。

5・3 CRJの接合プレート（ひれ）の曲げ・座屈挙動

付図1の歪みゲージから算出した縁応力の値から各節点の接合プレート曲げ・屈伏挙動が追跡できる。プレート（ひれ）断面の弱軸方向の曲げ抵抗（IあるいはZ）が小さく、また元たわみと初期偏心とを持っているので低い軸力で座屈（屈伏）する。

ゲージ番号34, 35 および36, 37 の接合プレートの曲げ・座屈挙動を図5-2 に示す。

6. ま と め

(1) 間伐材等の小径材を用いて10m×10m以上の空間を構成するには、曲げモーメント・曲げ応力に比べて軸力が卓越する構造システムである立体トラス構造の屋根版を構成するのが有効な方法である。これらの小径材は若齢材で曲げ強度等が十分に発達していないことからトラス構造システムは適切である。

(2) 立体トラス版の構成方法としては次のようなものがある。

A 1. ピラミット骨組のような立体トラス要素を平面に連続させる方法

A 2. 平面トラス梁要素（平行弦トラス）を十文字に交差させて格子を作り、立体グリット構造を組み立てる方法

本報告はA 1に属する方法で屋根版あるいは床版を構築するのに必要な資料を得るために行った実験的研究の結果と若干の考察である。

(3) 試験体は、実際の建物を建築する場合に供給できる小径材の断面寸法（80～100角）同一断面供給可能長さ（2～3m）を前提にして、その1/2モデルを作成した。その試験体に外力として鉛直方向の片振り繰り返し荷重を加えた。鉛直方向荷重は固定荷重および積雪荷重を想定している。片振り繰り返しは構造物の靱性容量を測定することを目的とした。

(4) 実験結果は次のことを示している。

a) 部材長90cm（実大では180cm、以下同じ）の四角錐骨組（スケルトン）を水平面上に連続させた辺長270×270cm（640×640cm）の四隅支

持版のたわみ剛性は非常に高い。これは立体構造の特質である。

b) 本実験の試験体の終局崩壊モードは節点降伏型であり、部材の座屈あるいは屈伏による構造物の崩壊は生じなかった。木材の座屈・屈伏破壊は脆性的なので崩壊型式としては節点降伏型が望ましい。何故ならば節点を構成している接合金物は鋼製であり木に比べて材料としての靱性が高い、したがって接合域としての靱性容量は高くなる。

実際の構造物においても部材断面と接合部の寸法の比率は本試験体程度のプロポーションが適当である。

c) 鉛直荷重はトラス版の対角線方向のトラス構面が斜め交差十字梁のような挙動をして主耐力架構を構成する。この性状はトラス版をポールから吊り下げるケーブル・ステー構造とするとときに利用できる。

d) 長期荷重時の最大たわみを $L/180$ と仮定すれば、それに相当する実験値の荷重は $P_{180} = 2235 \text{ kgf}$ である。つぎにトラス版の固定荷重 (Dead Load) を 150 kgf/m^2 と仮定すれば屋根面 ($2.7 \times 2.7 \text{ m}$) の固定荷重の総和は約 1100 kgf であり P_{180} の約50%である。縮尺模型による次元効果および集中荷重の等分布化による曲げモーメントの減少を考慮すればこの値は更に小さくなる。

参 考 文 献

- 1). 小国ドーム、建築文化 9月号 P.126/129
- 2). P. Huybers : Proc. of 1991 I T E C. LONDON Vol. 3, P. 2511 /2518
- 3). P. Huybers : Proc. of 1988 I C T E SEATTLE Vol. 1, P. 570/575

7. 実用化について

このことについては日刊工業新聞1991年11月25日(月)「先端技術」欄の記事を参考資料として巻末に掲げる。

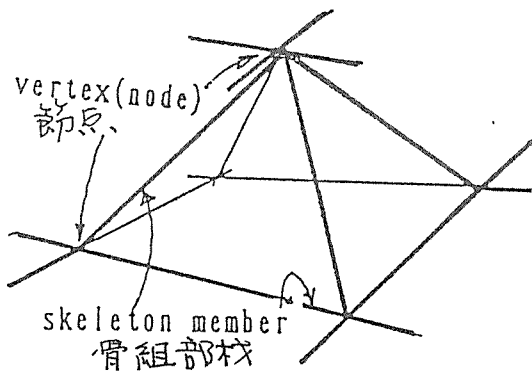


図1-2 ピラミット型スケルトン単位
とその連続

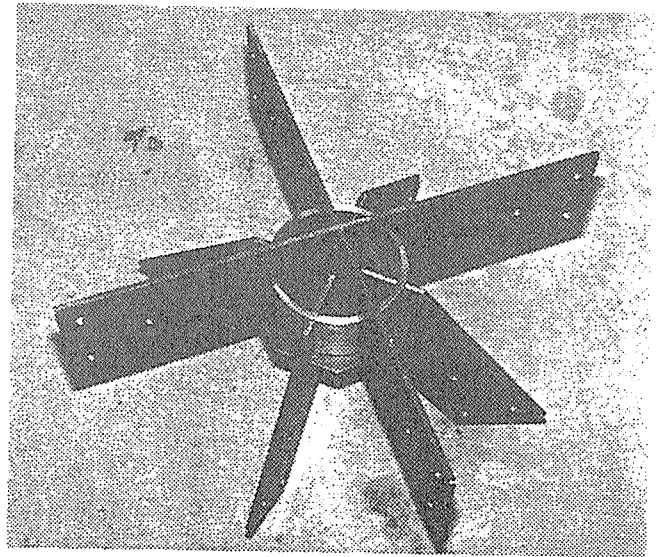


図1-1 CRJ (円環継手)

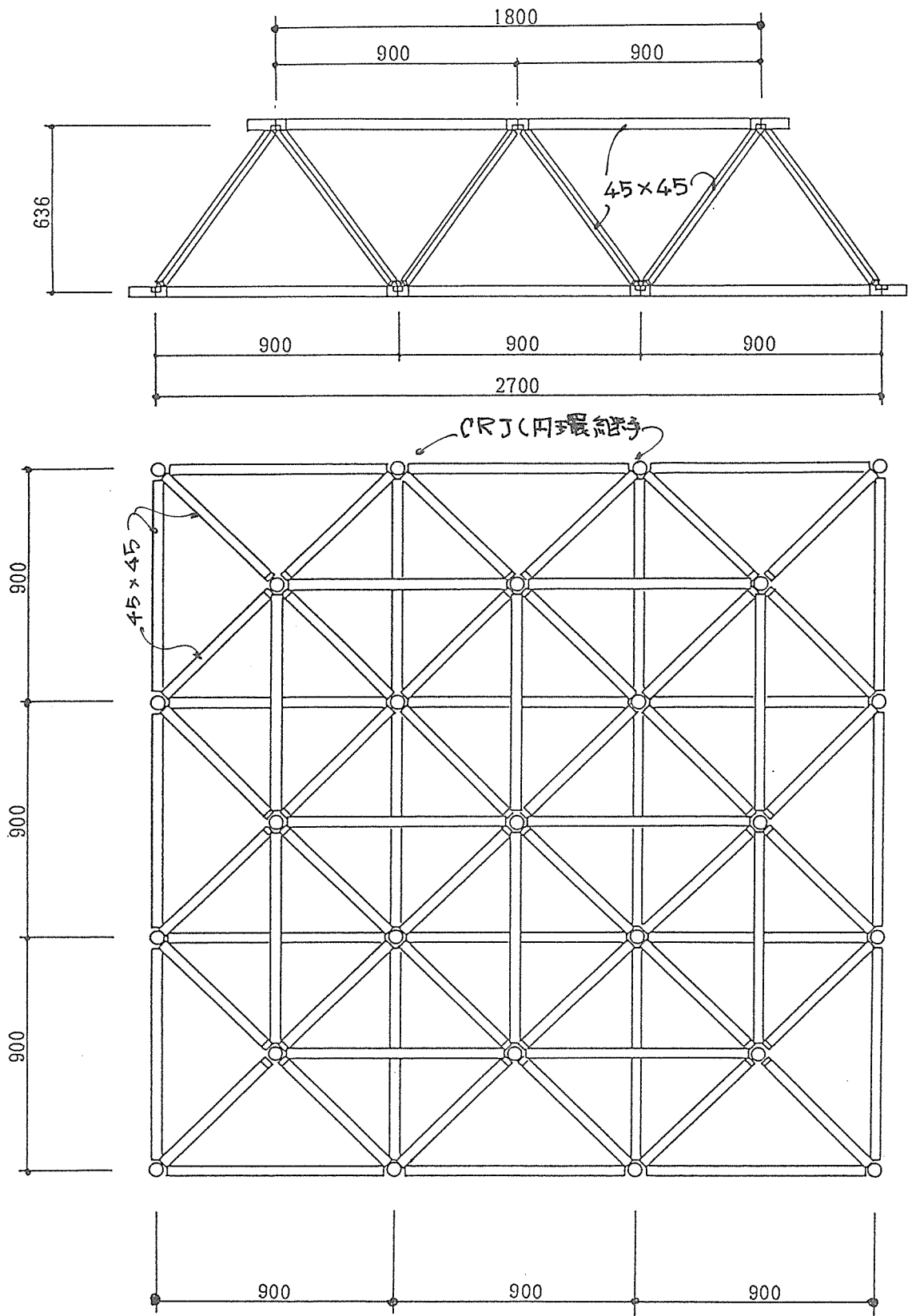


図2-1 試験体概観

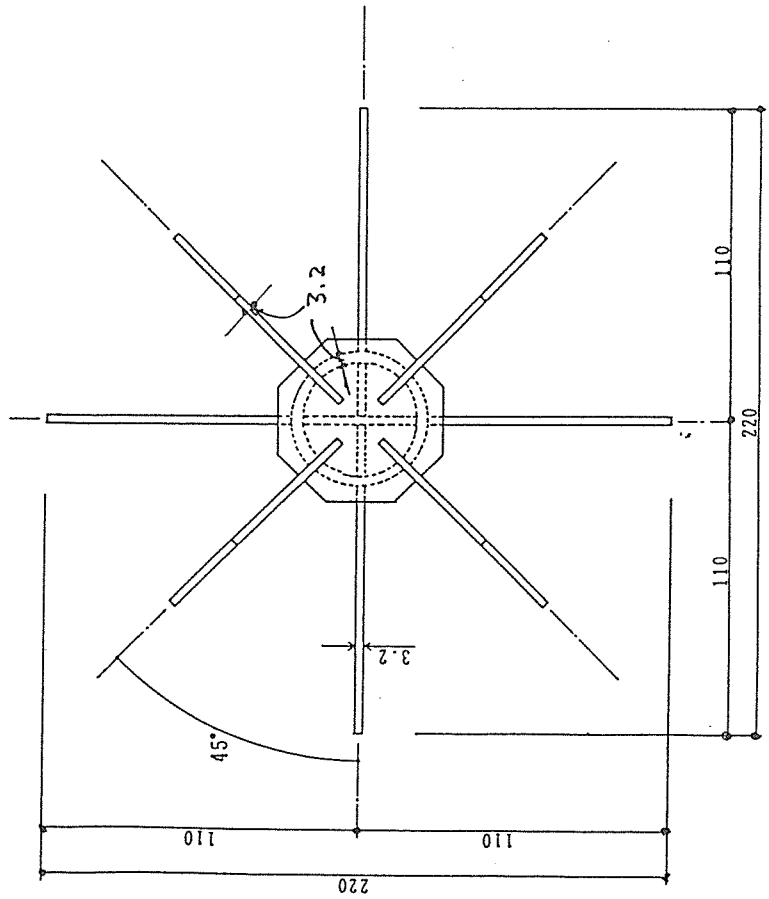
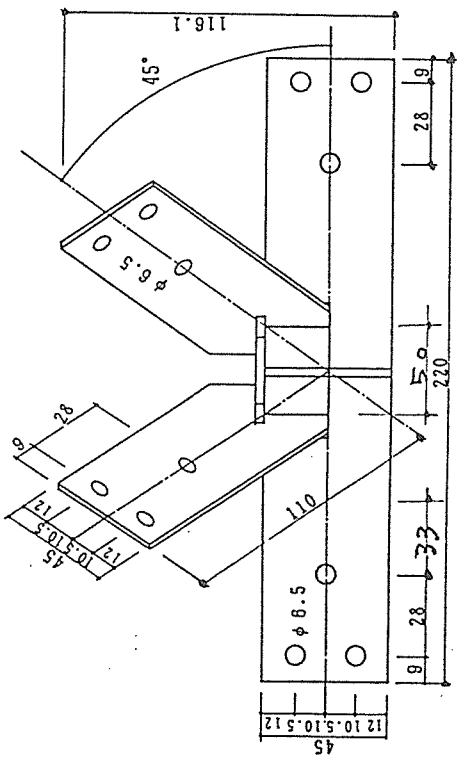


図2-2 CRJの寸法詳細

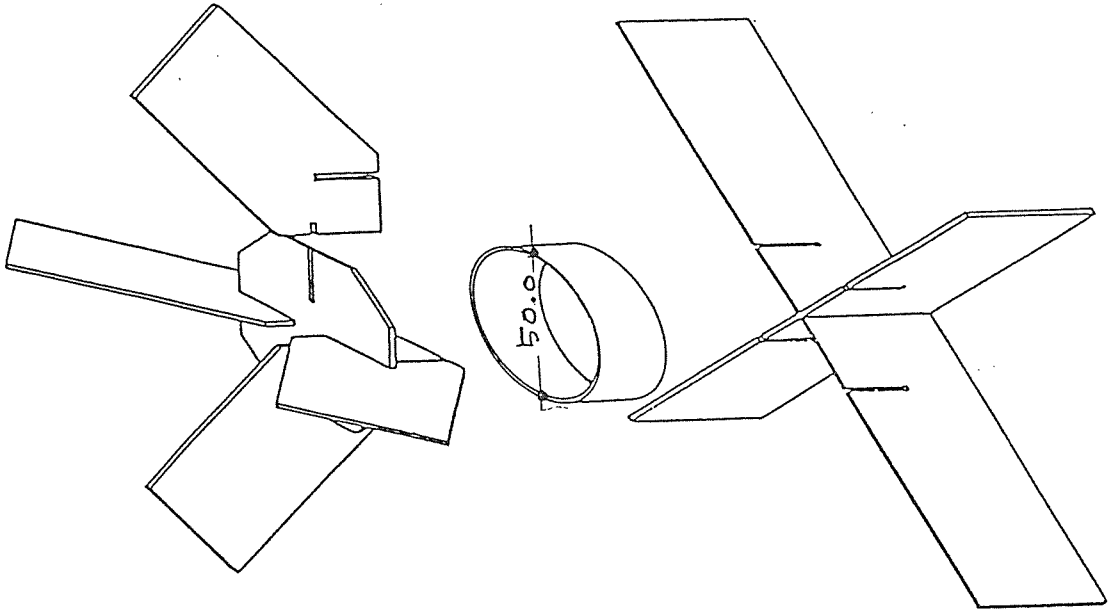
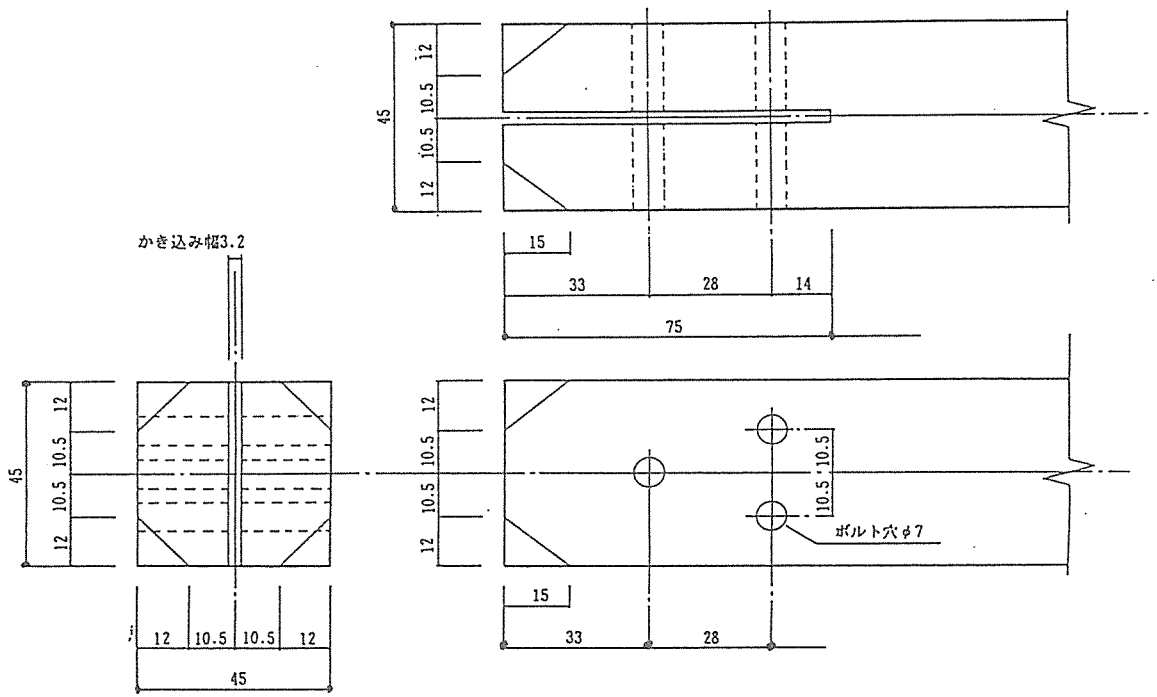
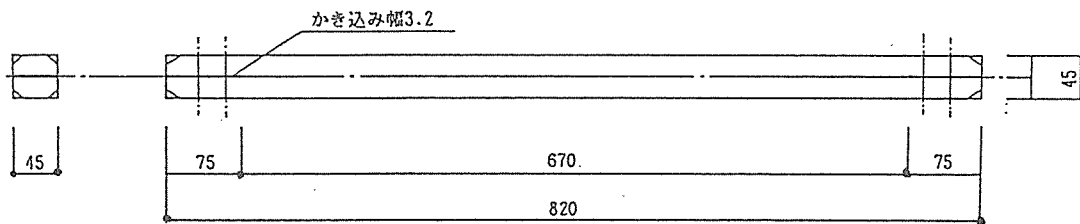
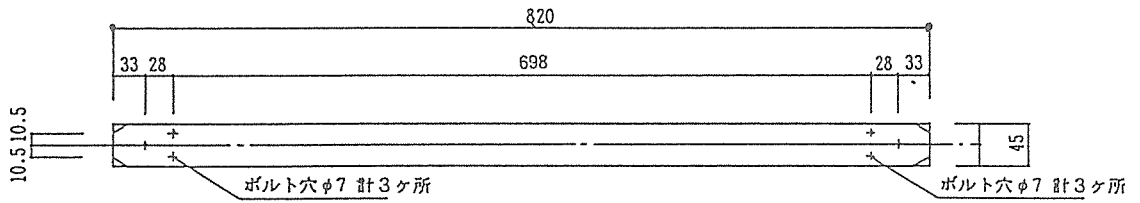


図2-3 CRJの組立図



(b) 端部詳細図



(a) 全体図

図2-4 トラス部材(棒)の寸法詳細
および接合部詳細

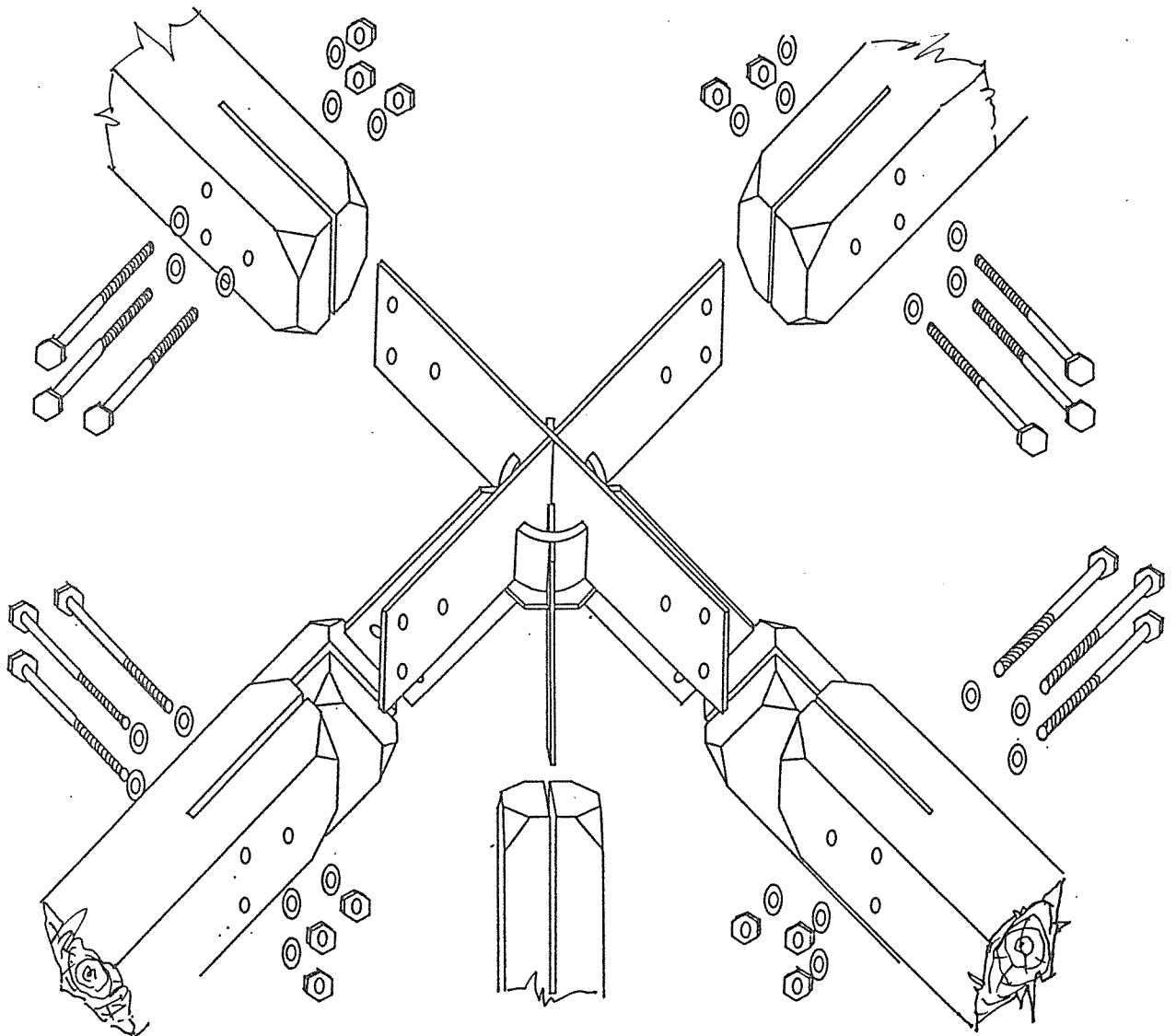
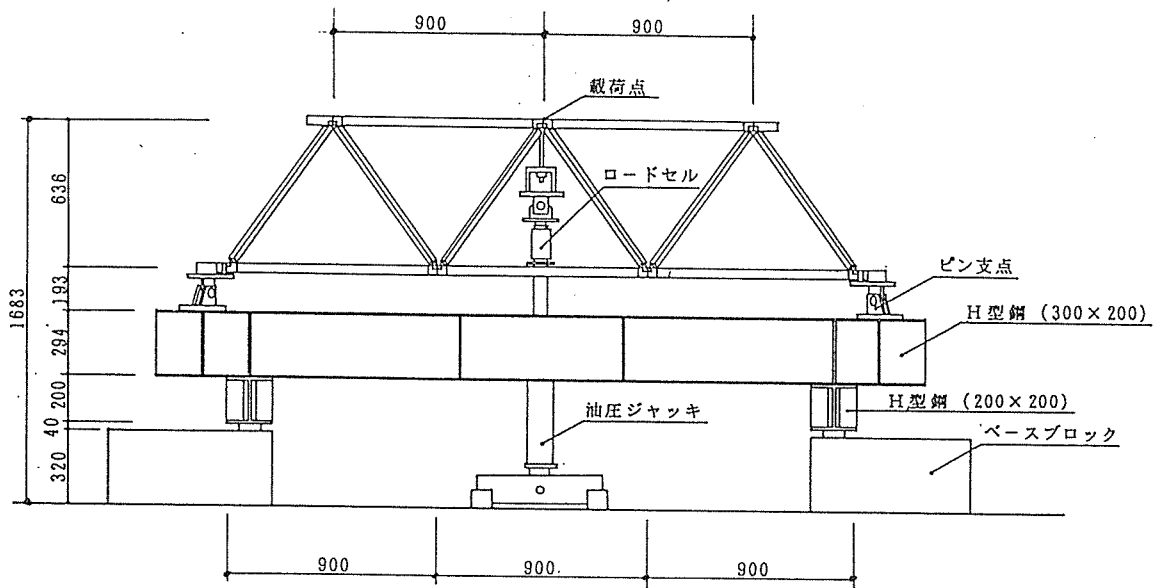


図2-5 接合域の組み立て模式図

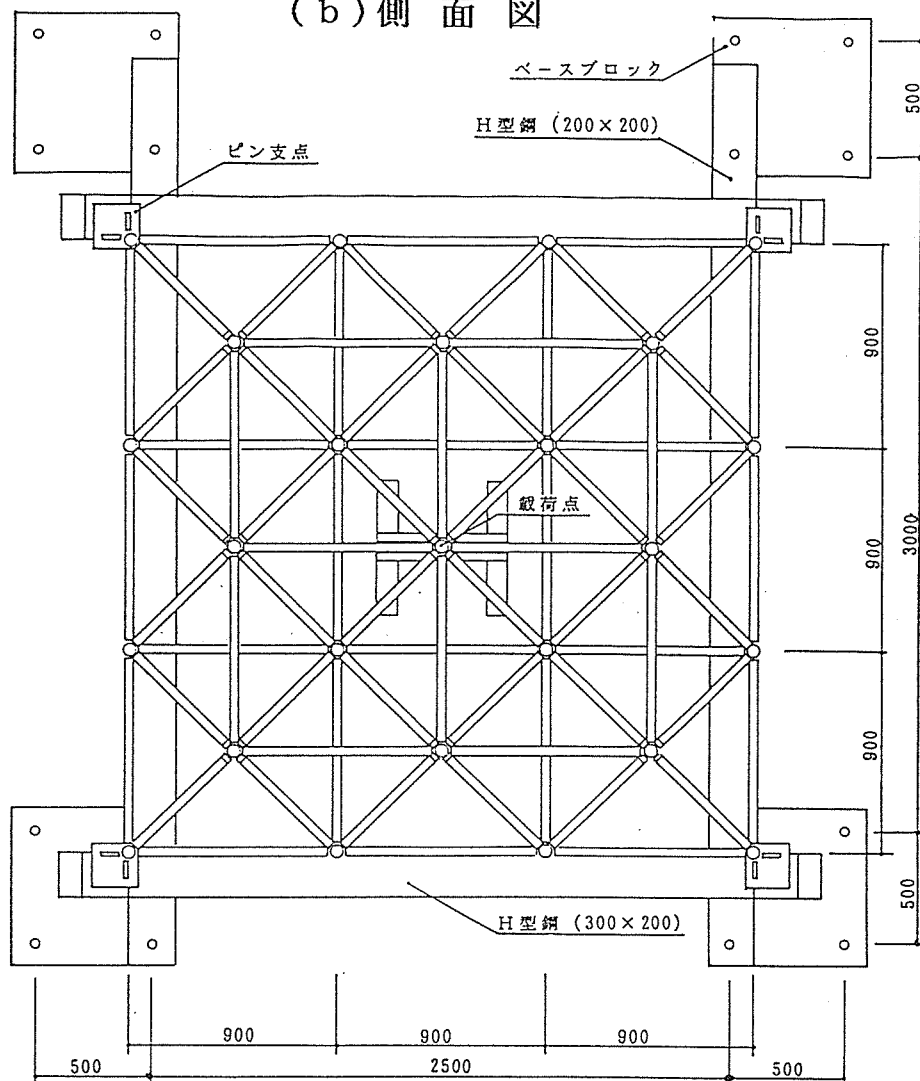
個数	単位重量	リングジョイント 金物総重量	接合用ボルト (含むワッシャー・ナット)	ボルト 総重量	接合部 総重量	木材 総重量
25個	1.0 Kg	25.0 Kg	普通ボルト M6-60×432本	9.44 Kg	34.44 Kg	52.56 Kg

試験体 総重量	接合部総重量／試験体総重量
87 Kg	39.6 %

表2-1 CRJ一個の重量
および構造物に対する比率



(b) 側面図



(a) 平面図

図3-1 実験装置

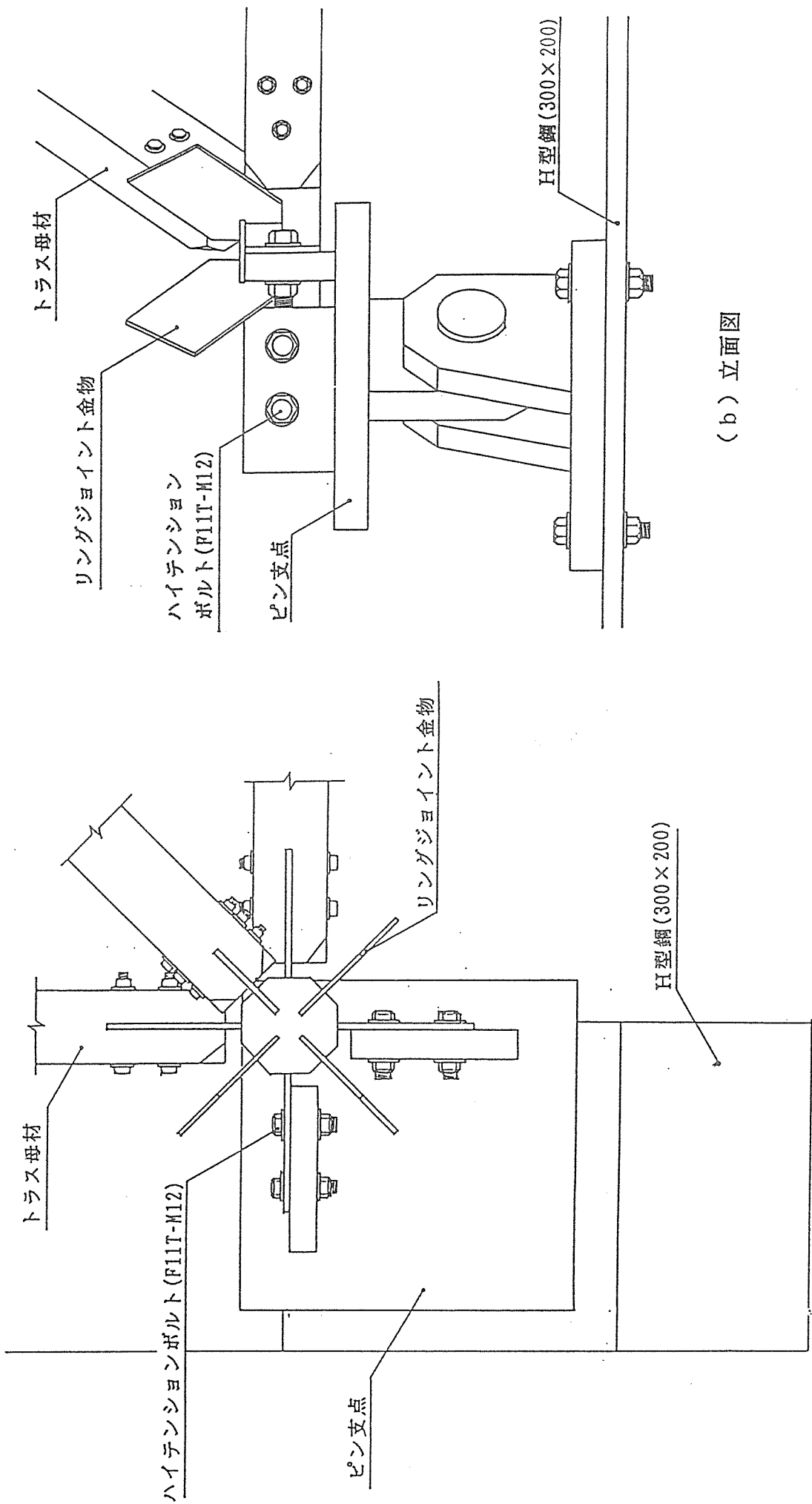


図3-2 支点部(支装置)詳細

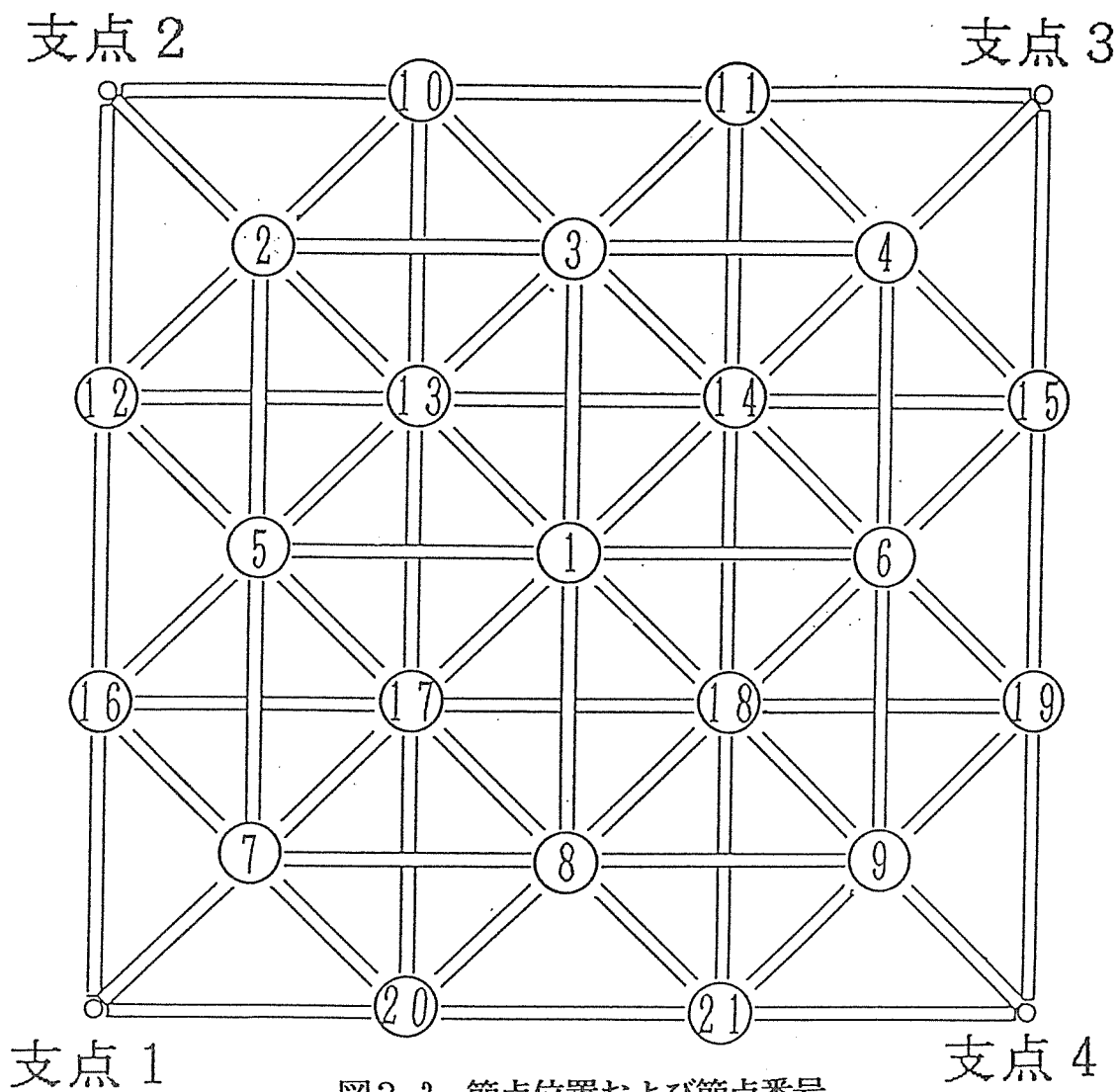


図3-3 節点位置および節点番号

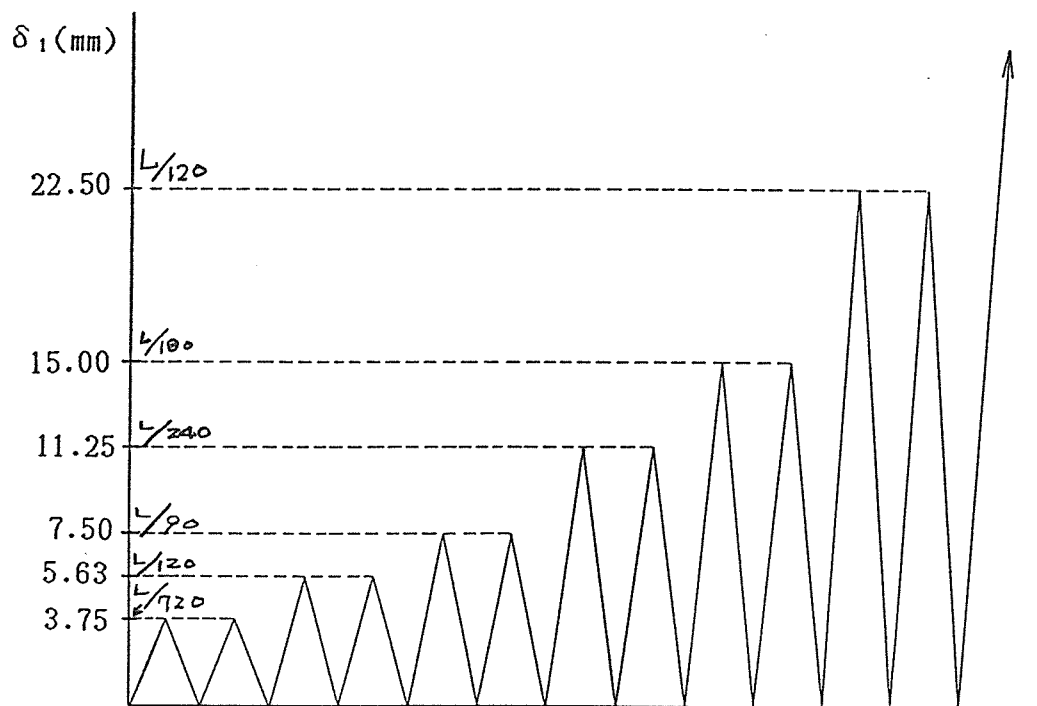


図3-4 載荷プログラム

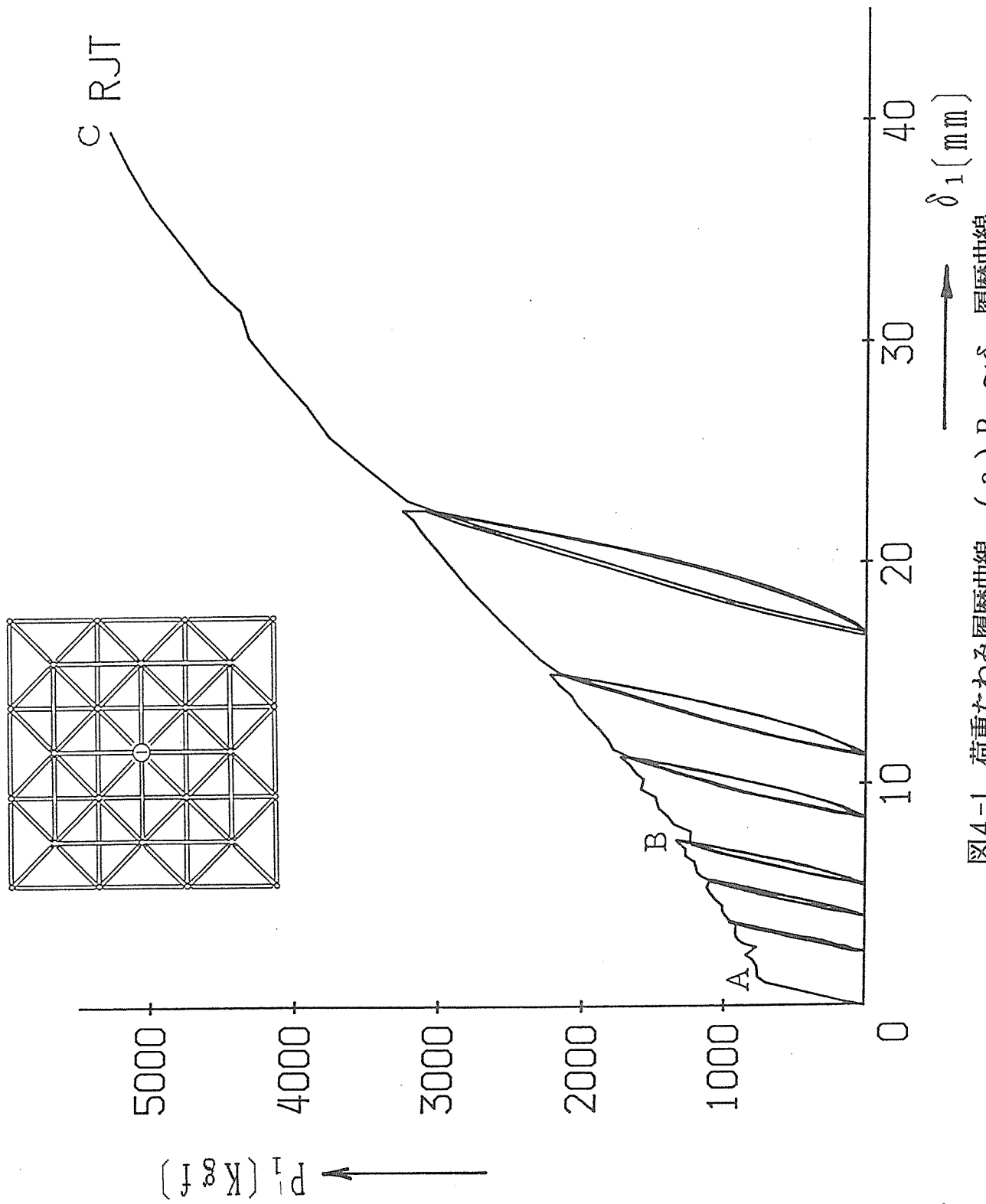
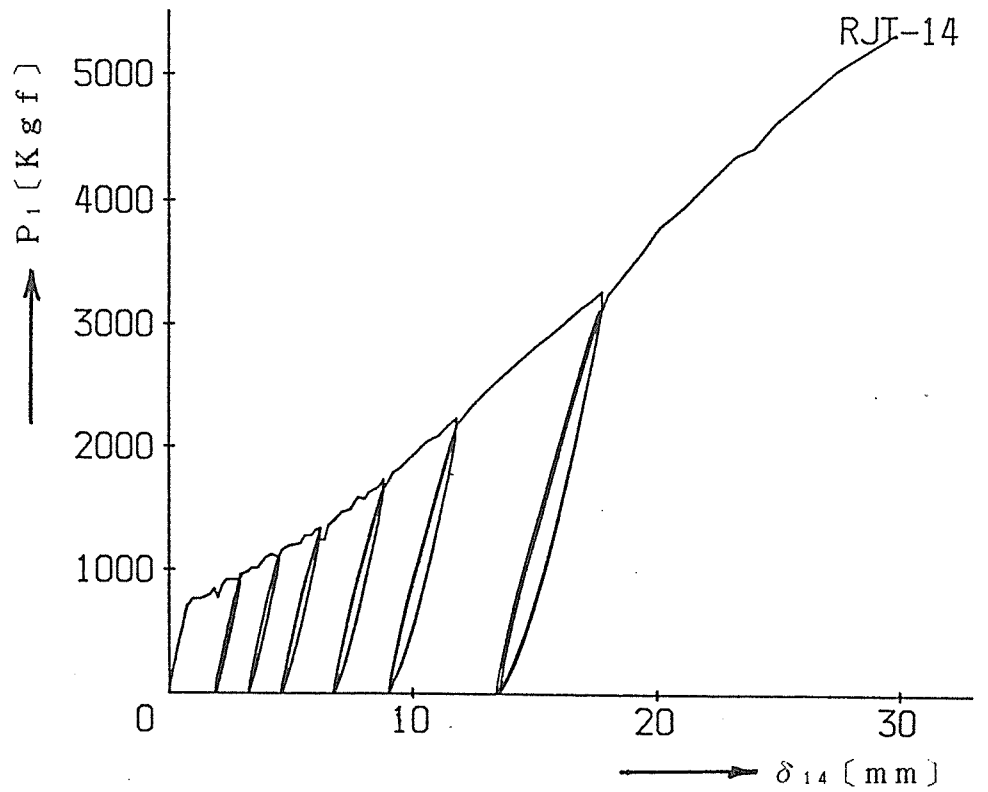
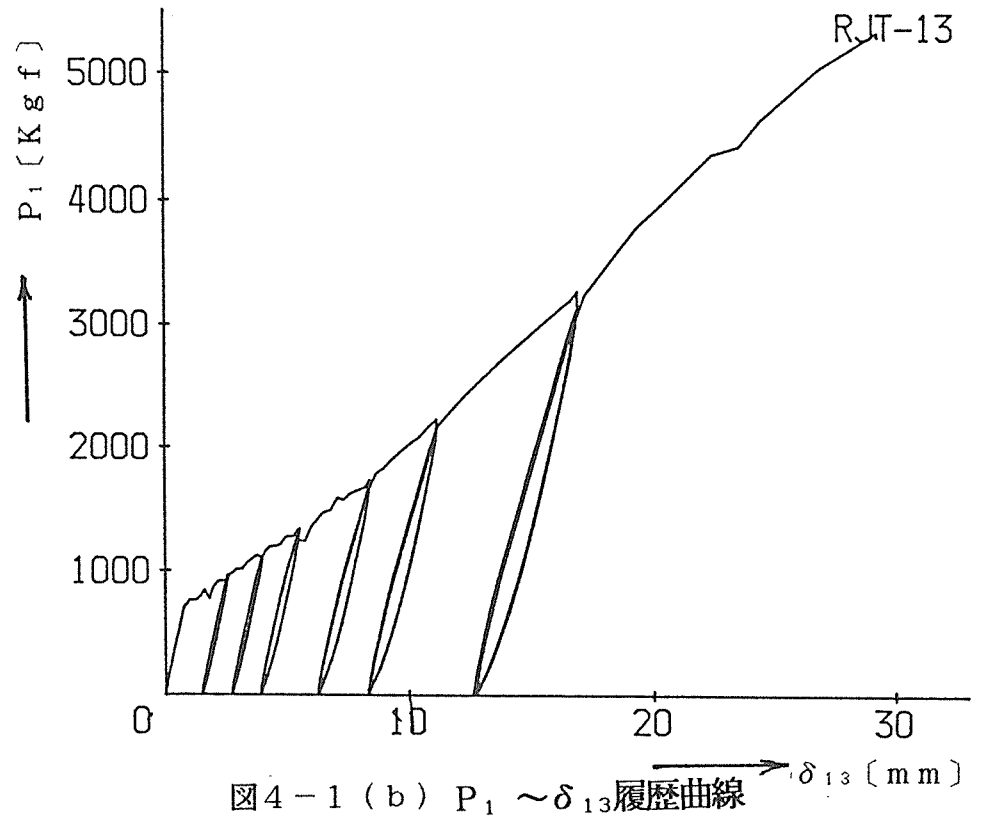
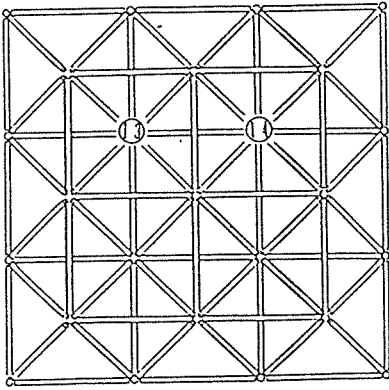


図4-1 荷重たわみ履歴曲線 (a) $P_1 \sim \delta_1$ 履歴曲線



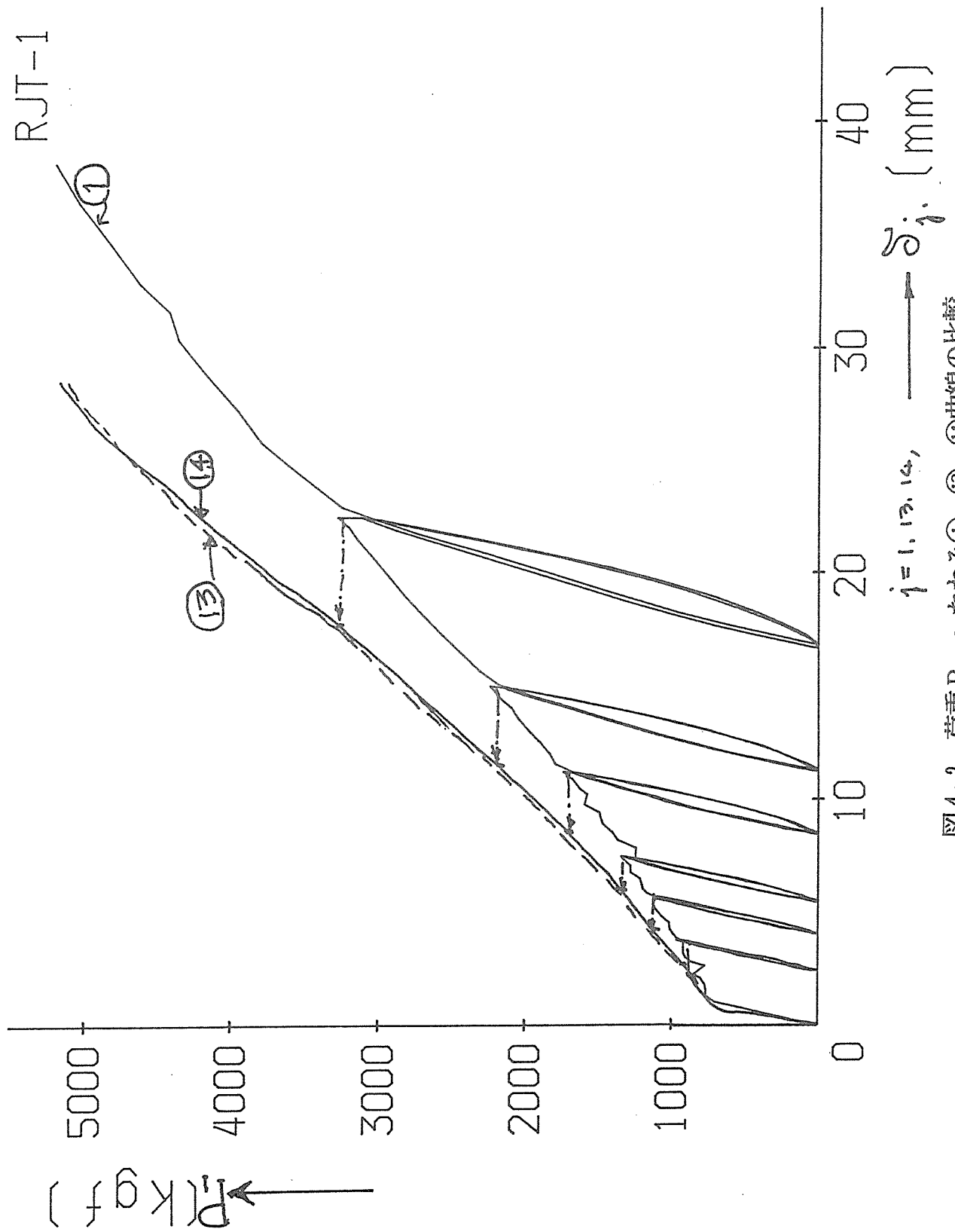
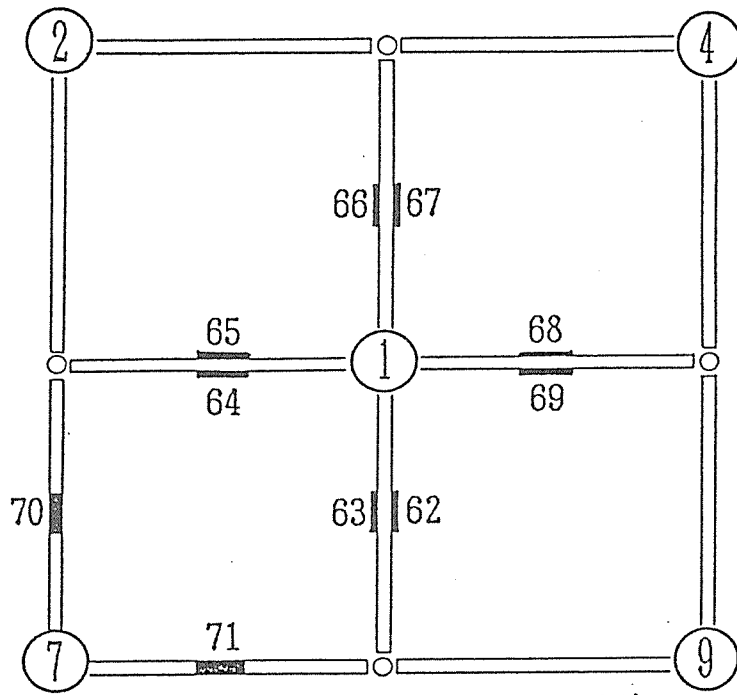
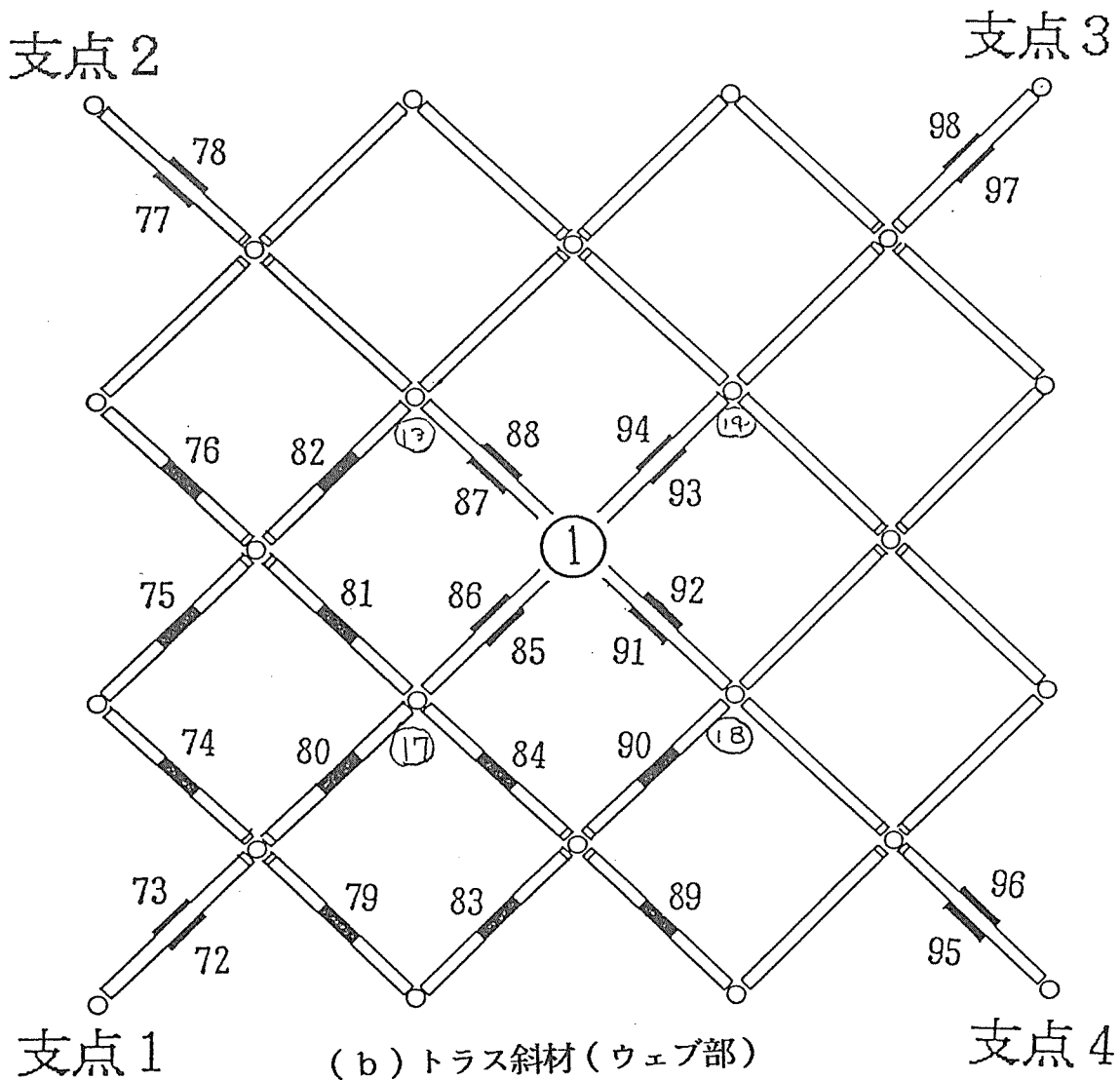


図4-2 荷重 P_1 ~ たわみ①, ⑬, ⑭ 曲線の比較



(a) トラス上弦材 (フランジ部)



(b) トラス斜材 (ウェブ部)

図4-3 歪みゲージ貼付位置

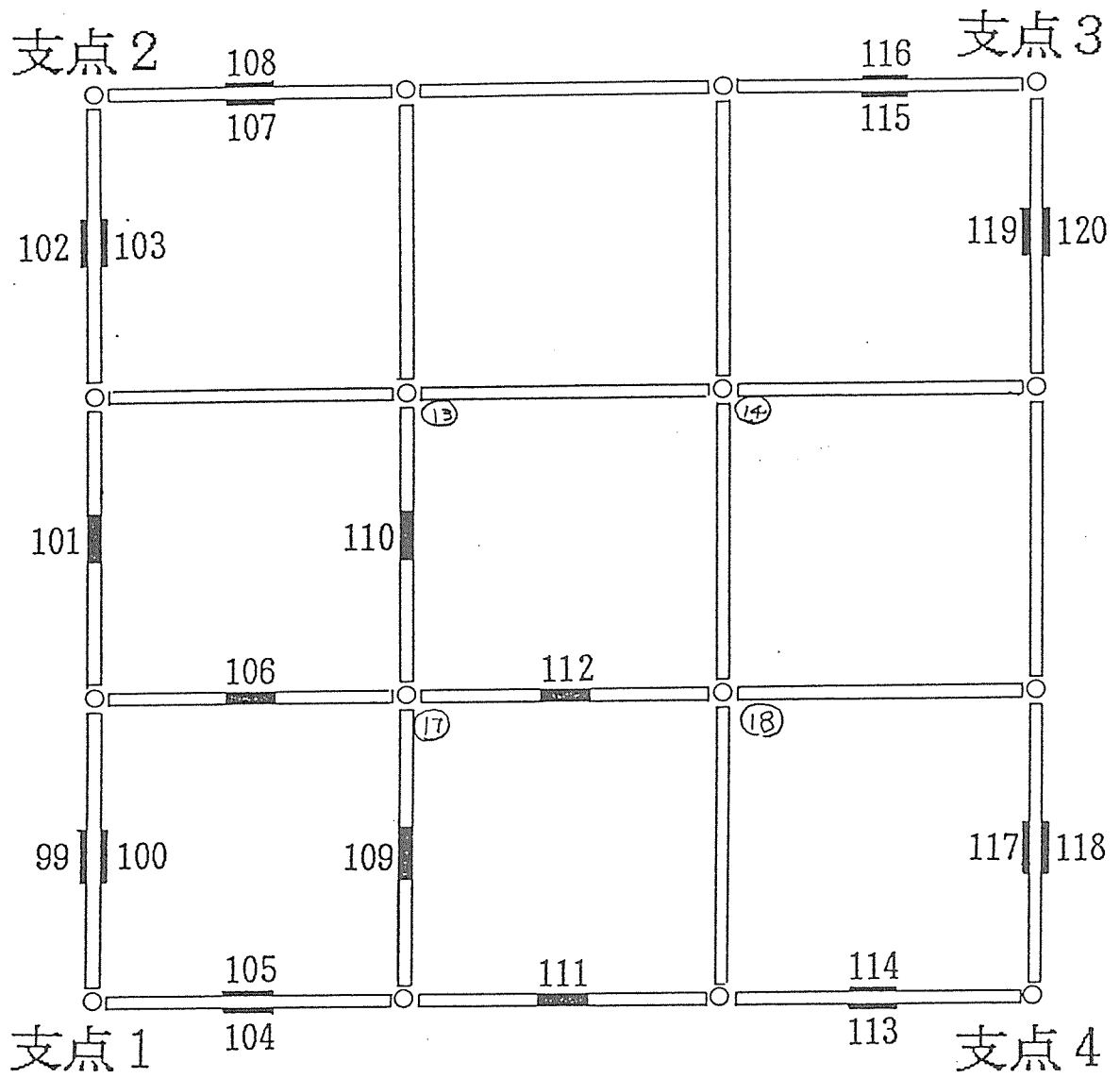


図4-3(c) トラス下弦材(フランジ部)

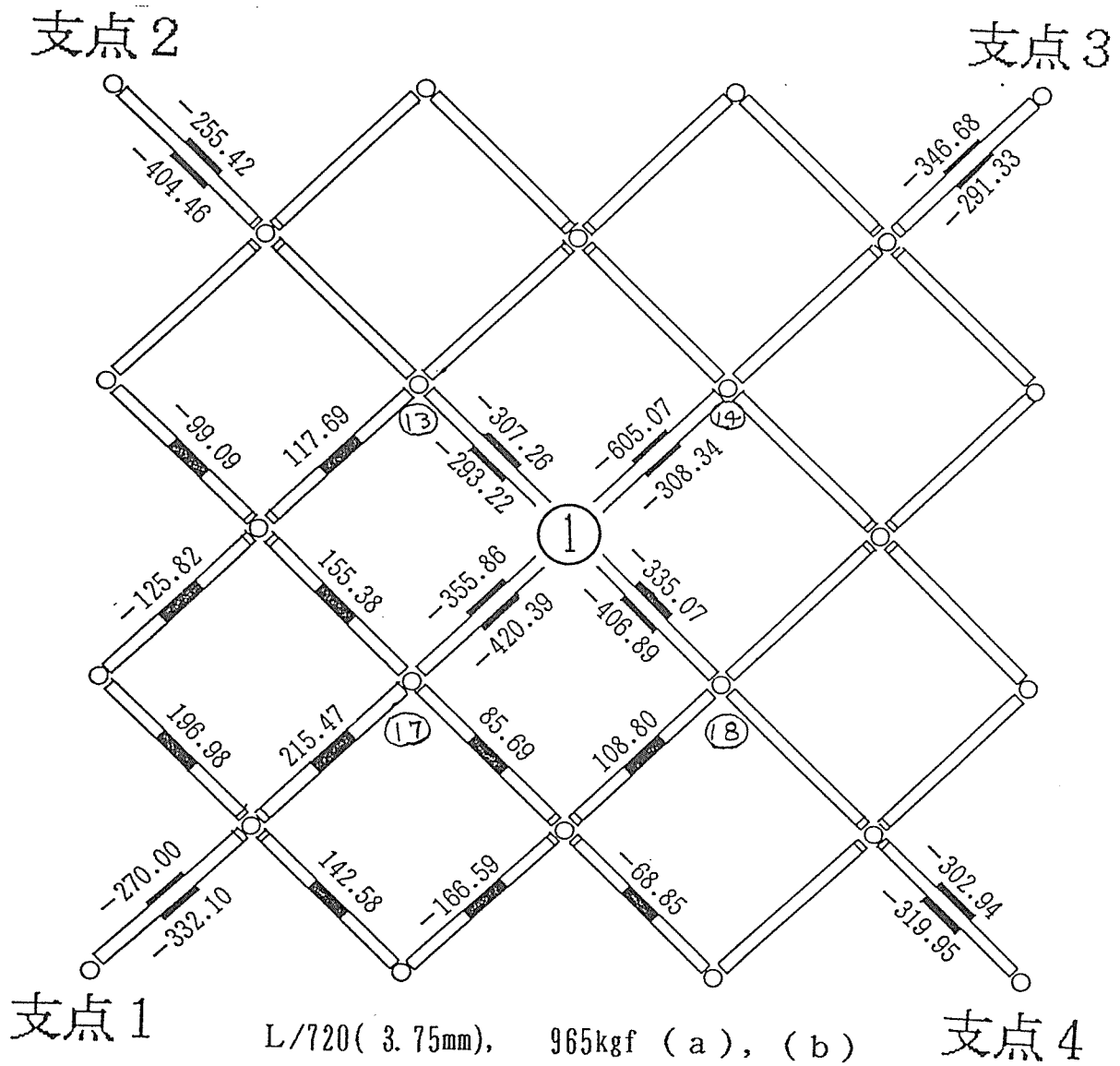
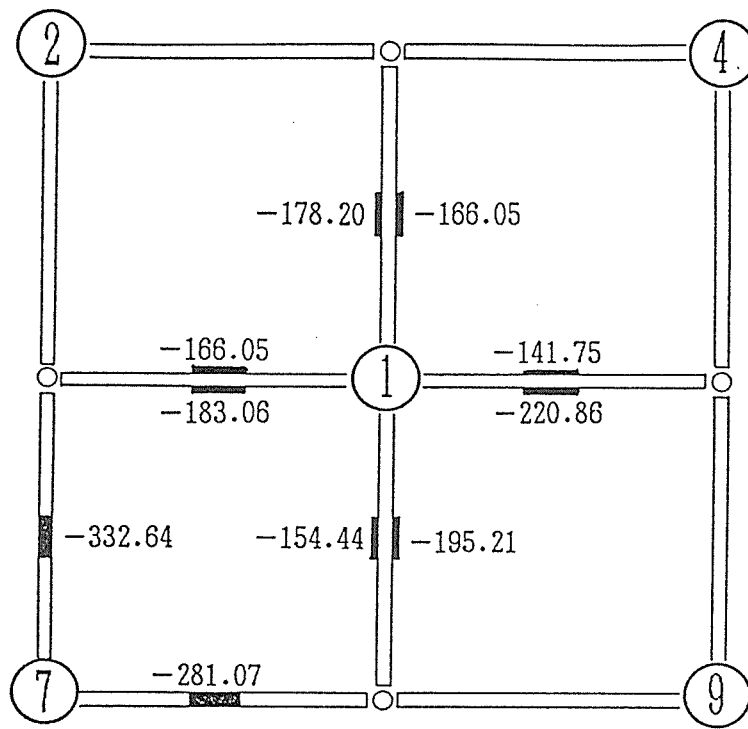


図4-4 トラス部材の縁応力、各設定変位(荷重)に対応する縁応力 N_{ij} の値(kgf)

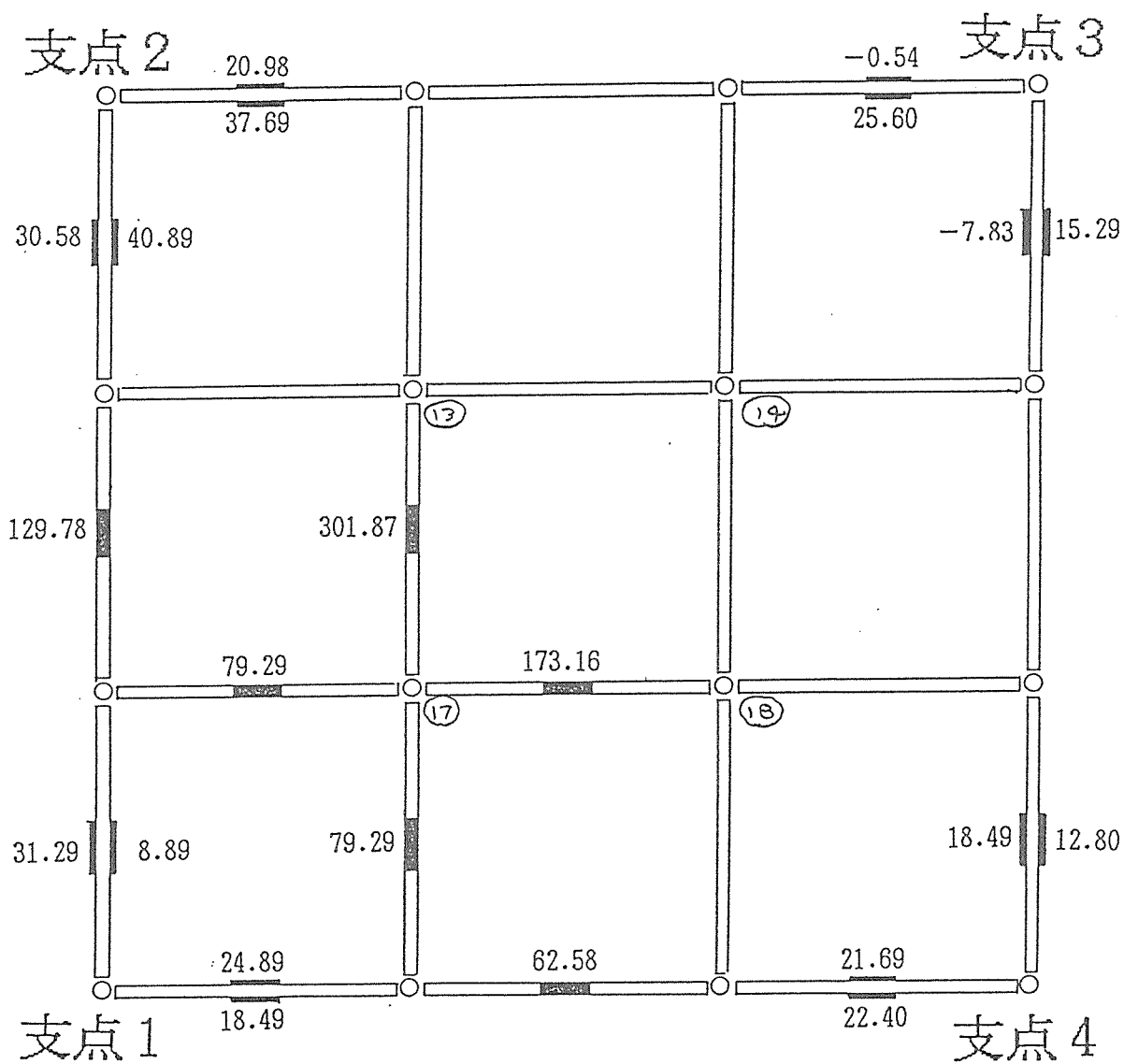
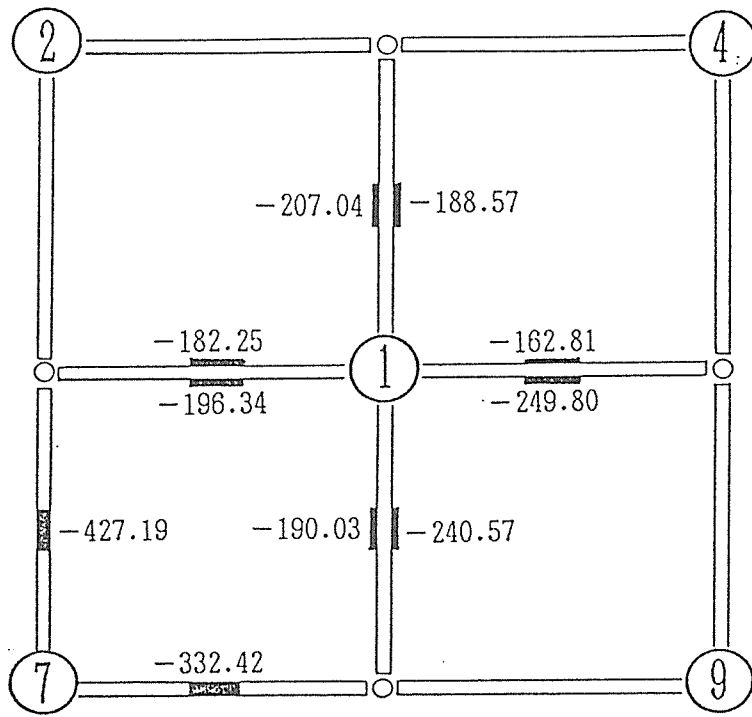


圖4-4(1) L/720(3.75mm), 965kgf (c)



支点 2

支点 3

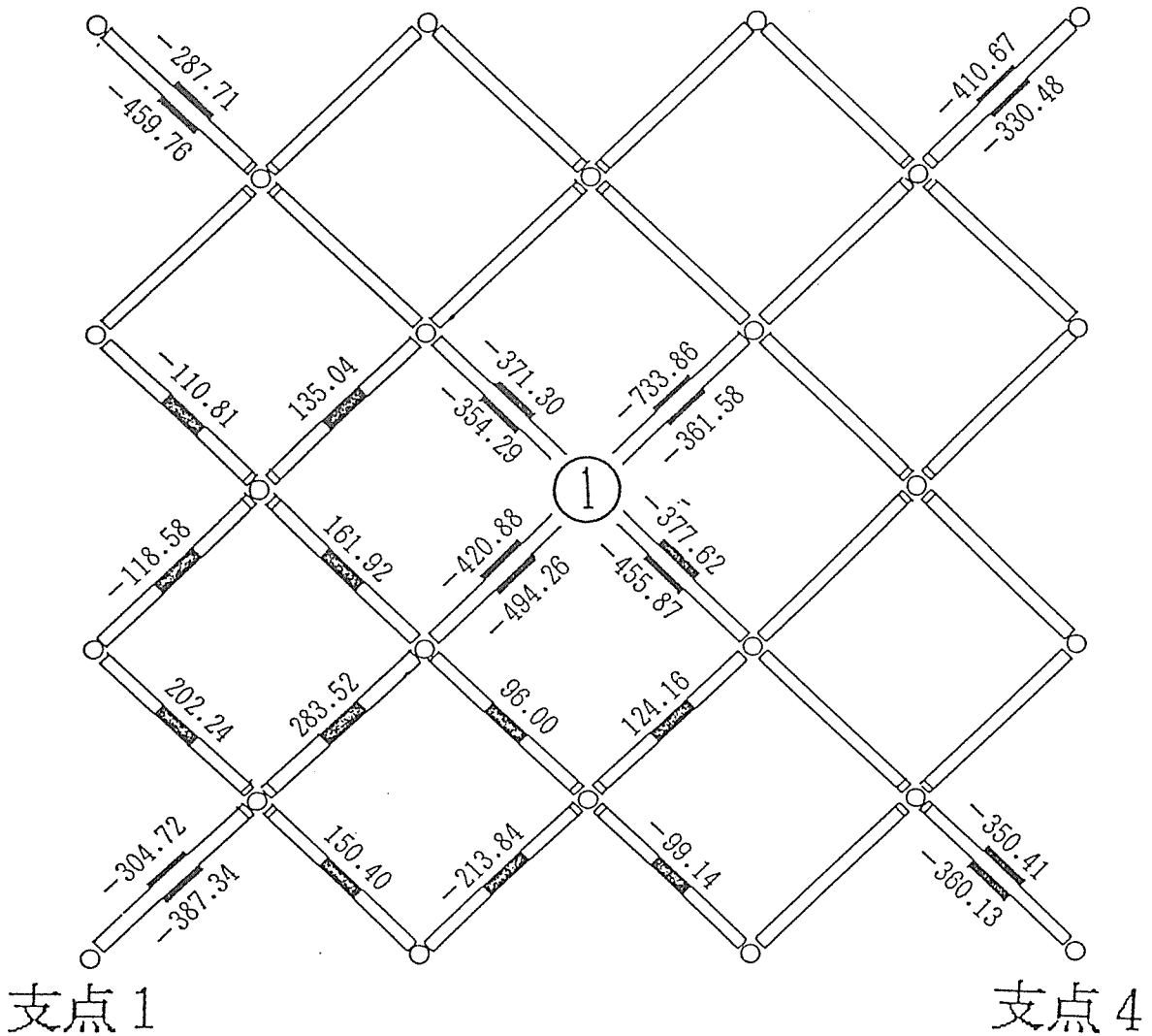


图4-4(2) L/480(5.635mm), 1100kgf (a), (b)

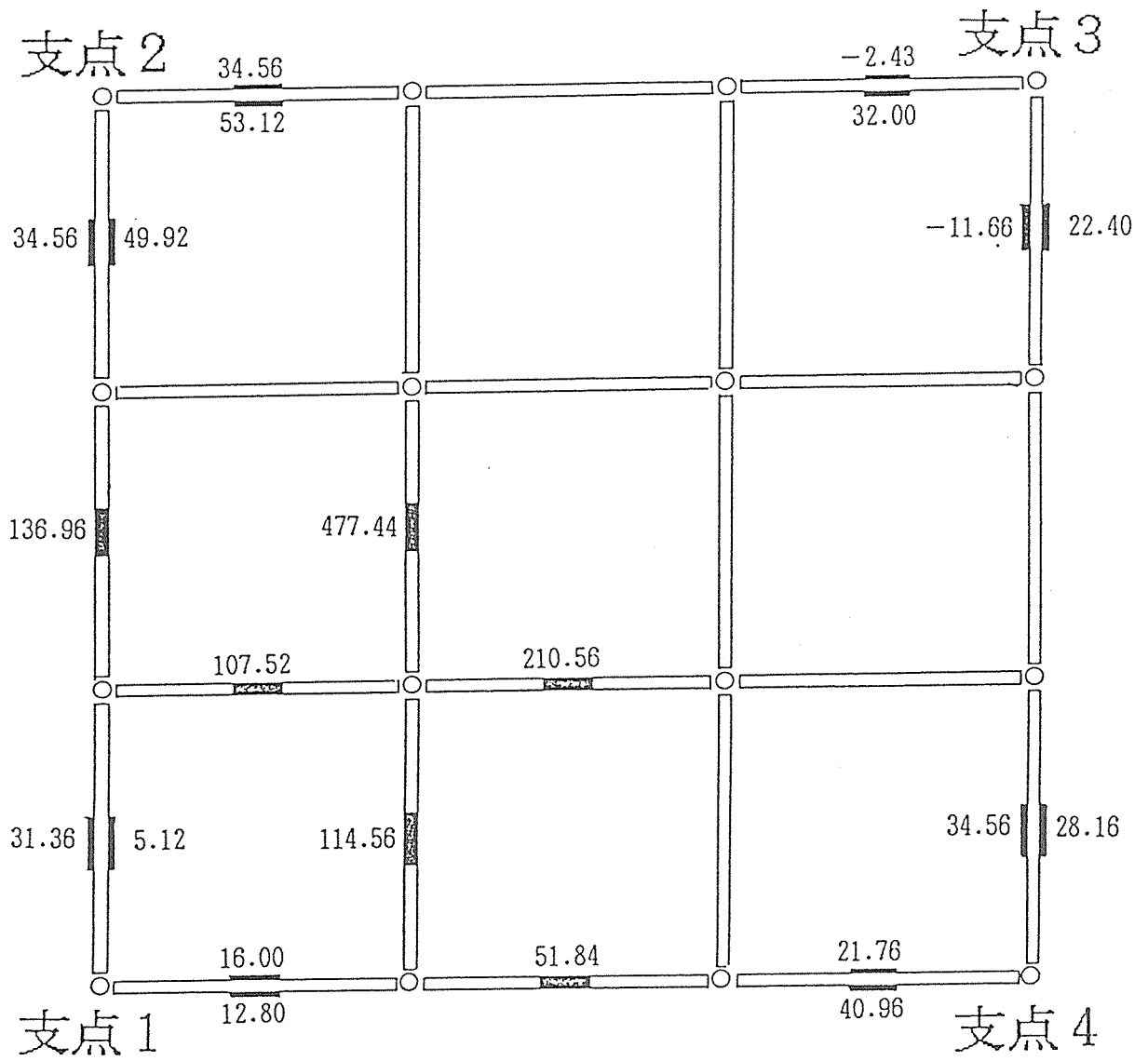
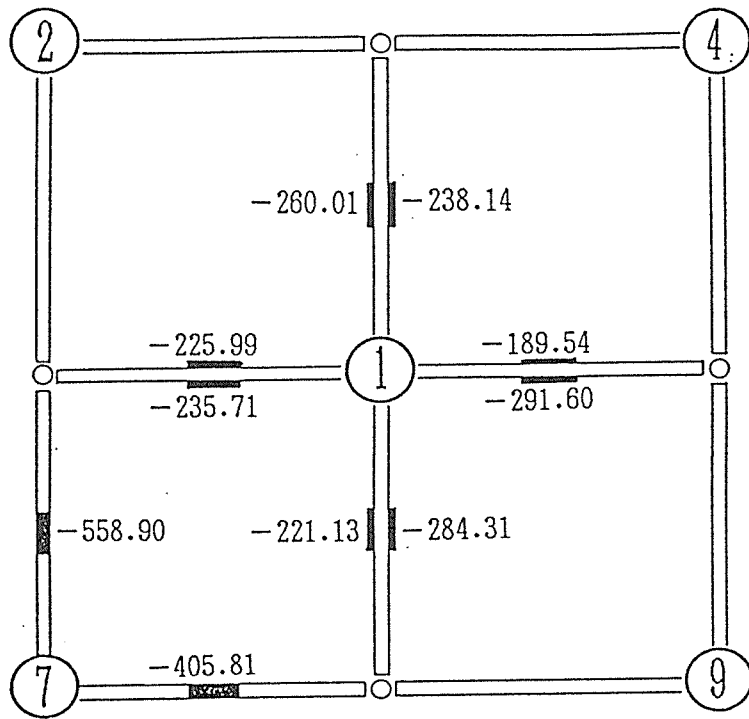
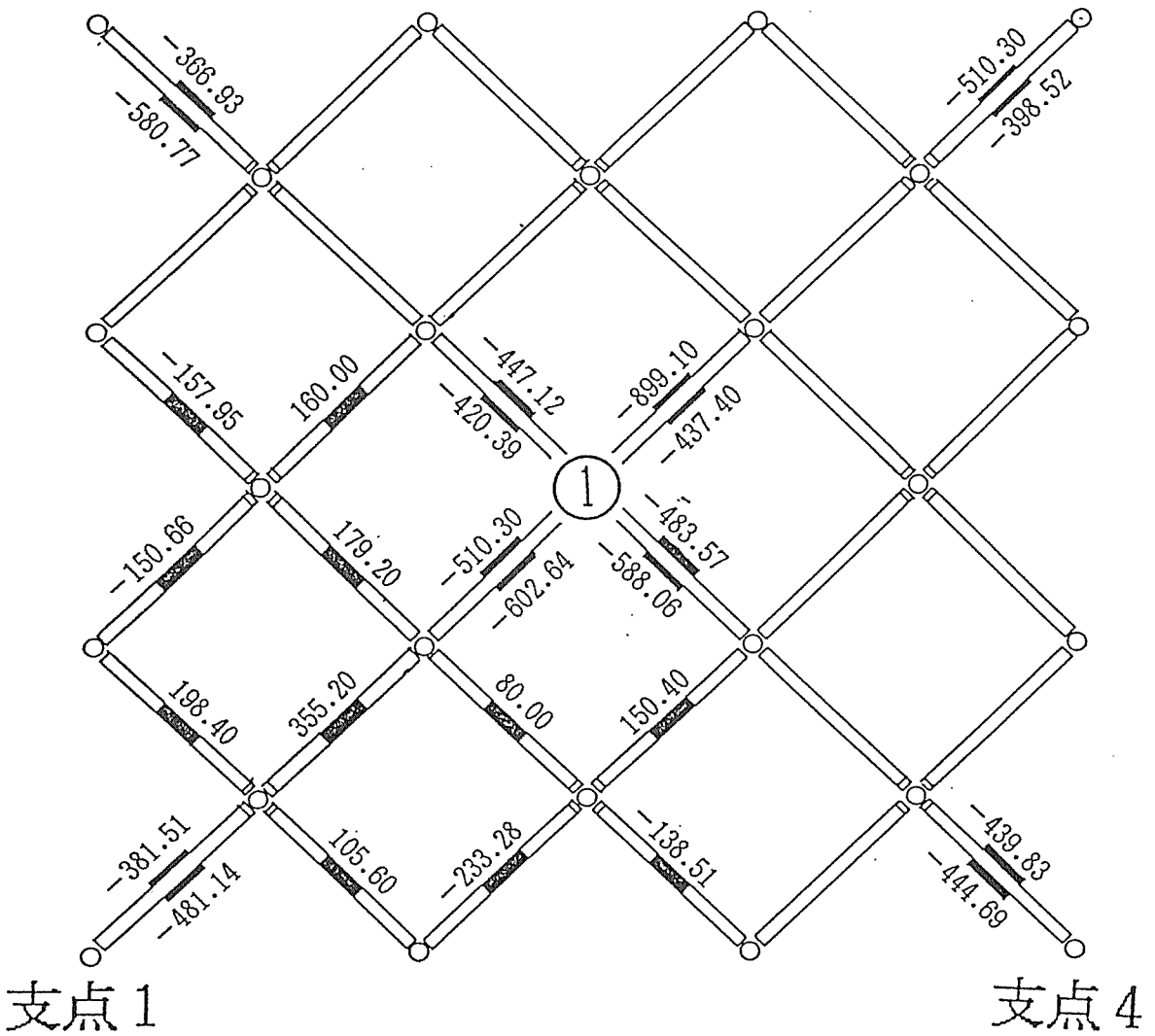


圖 4-4(2) L/480(5. 635mm), 1100kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1

支点 4

图 4-4(3) L/360(7.50mm), 1340kgf (a), (b)

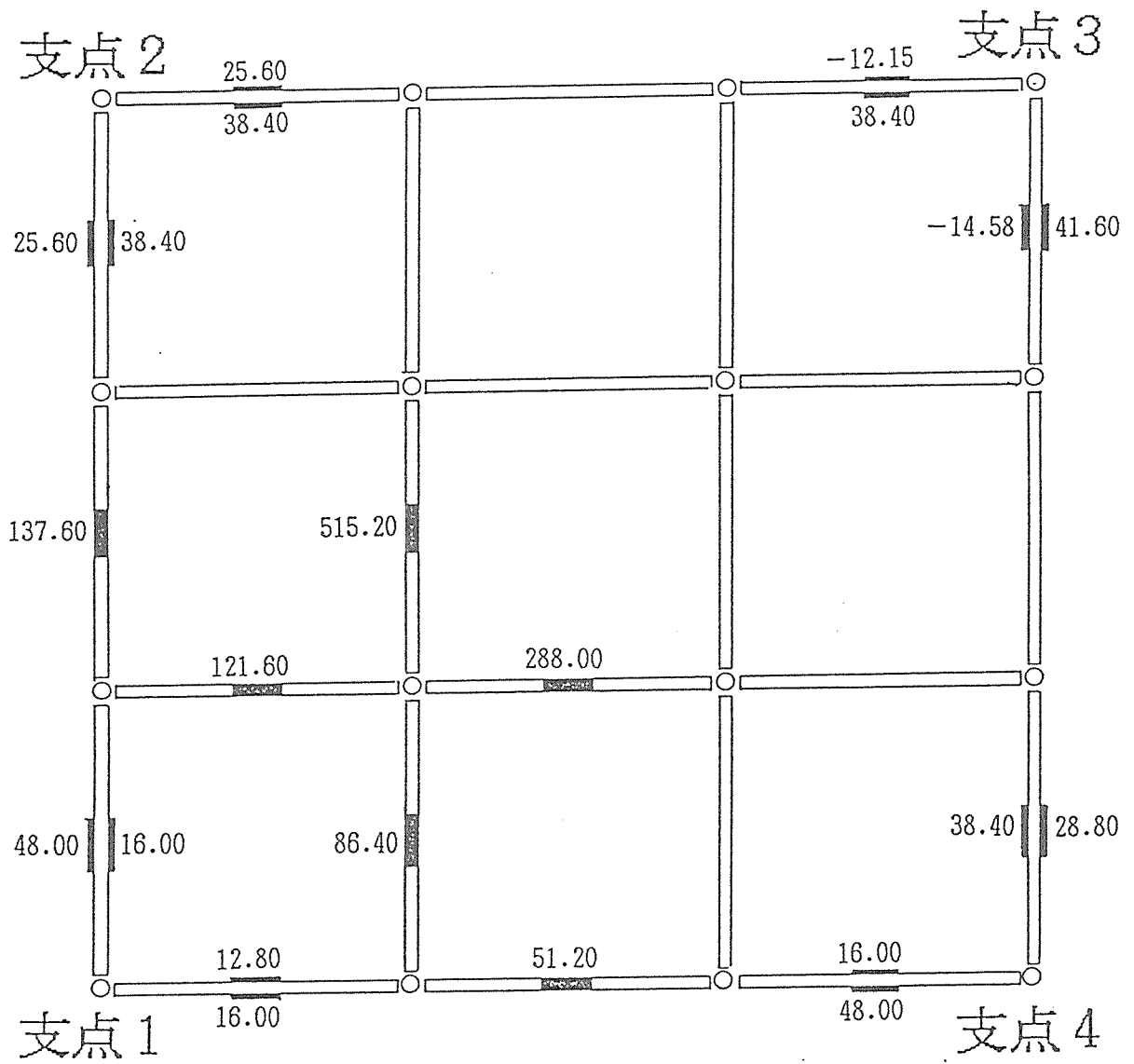
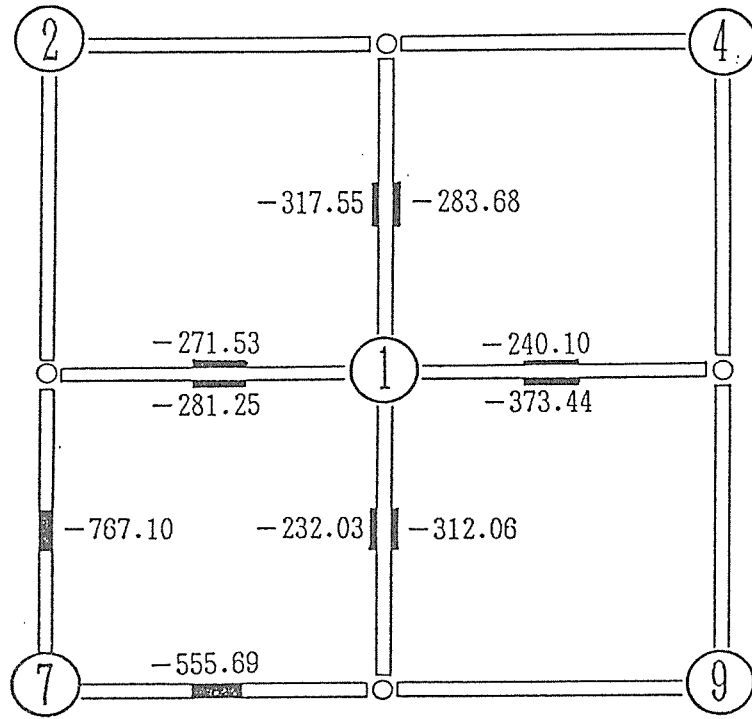
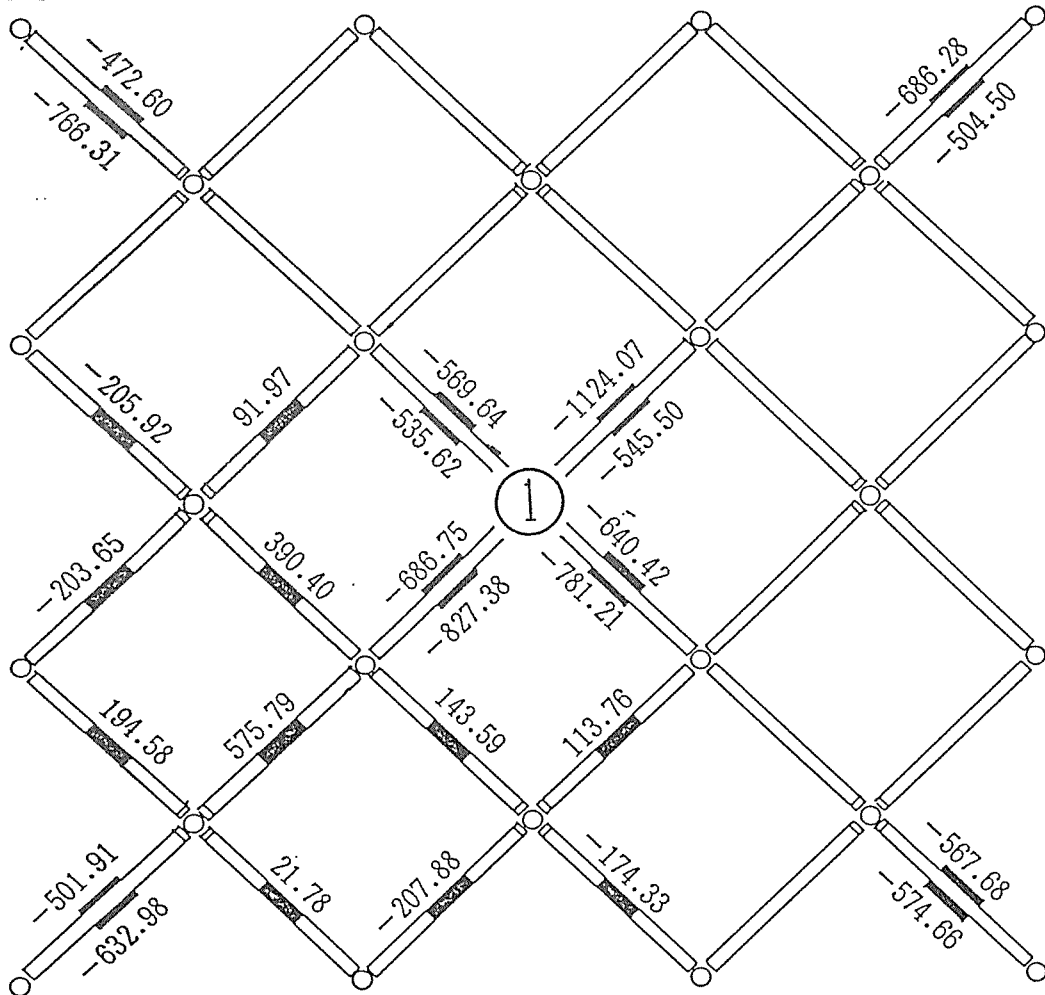


图4-4(3) L/360(7.50mm), 1340kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1

支点 4

图4-4(4) L/240(11.25mm), 1735kgf (a), (b)

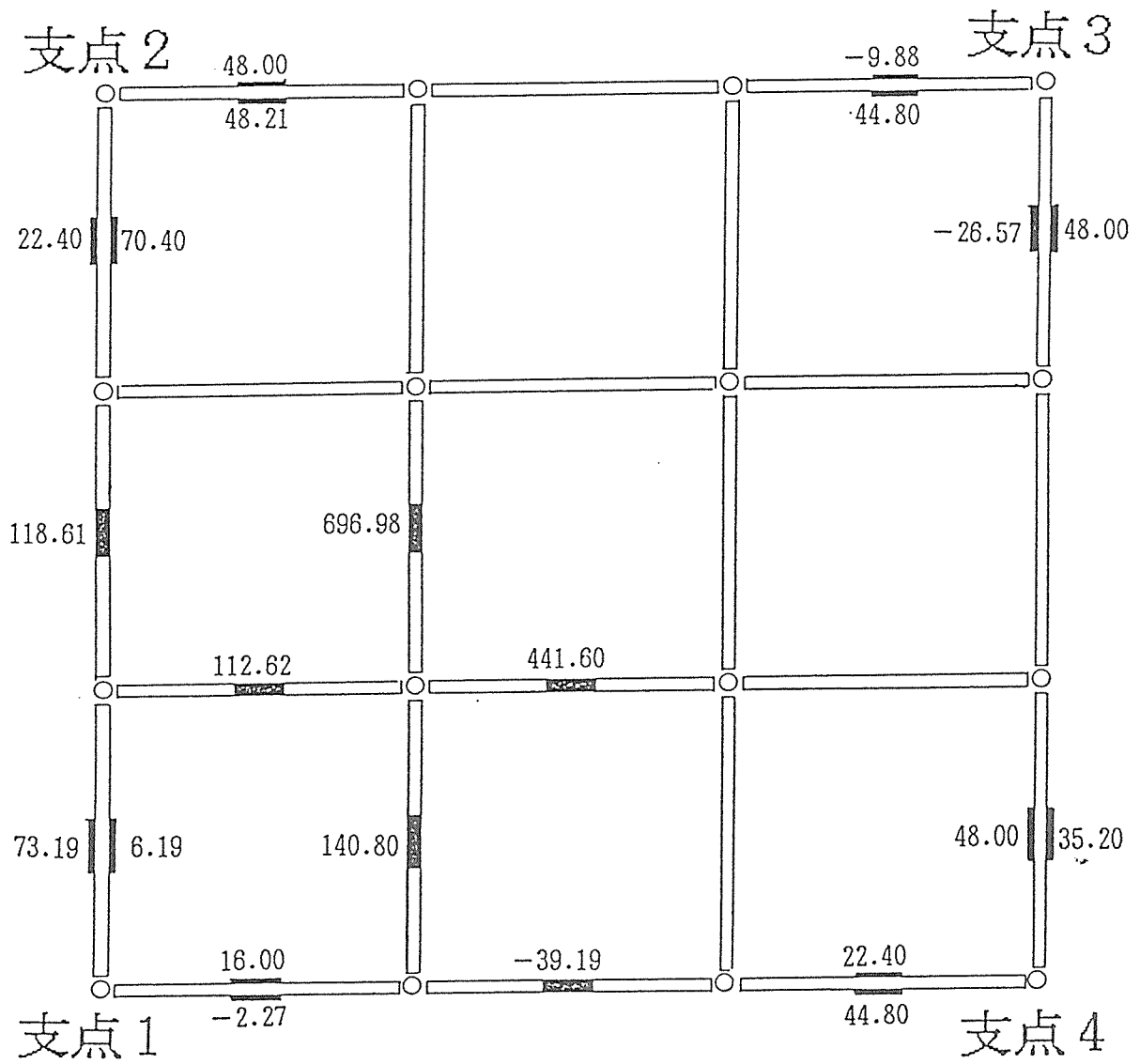
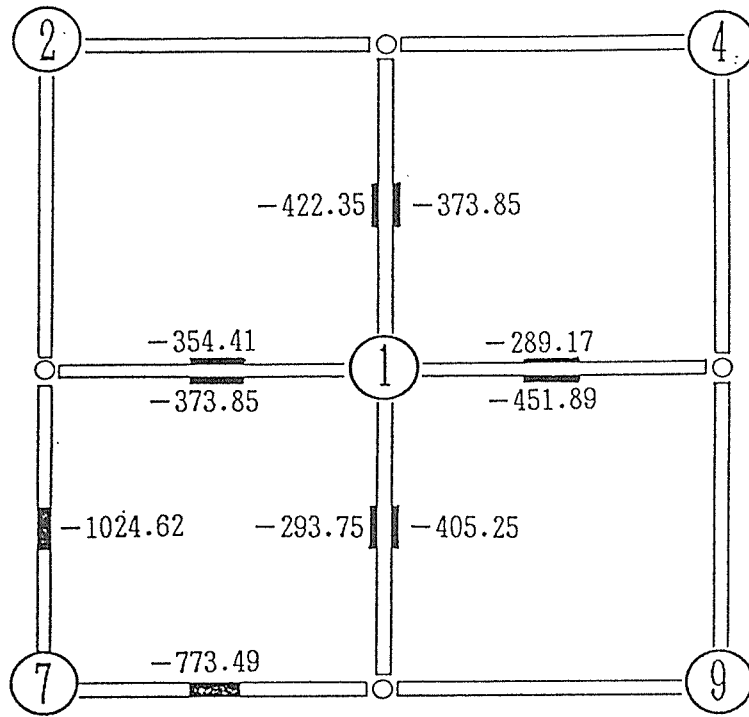
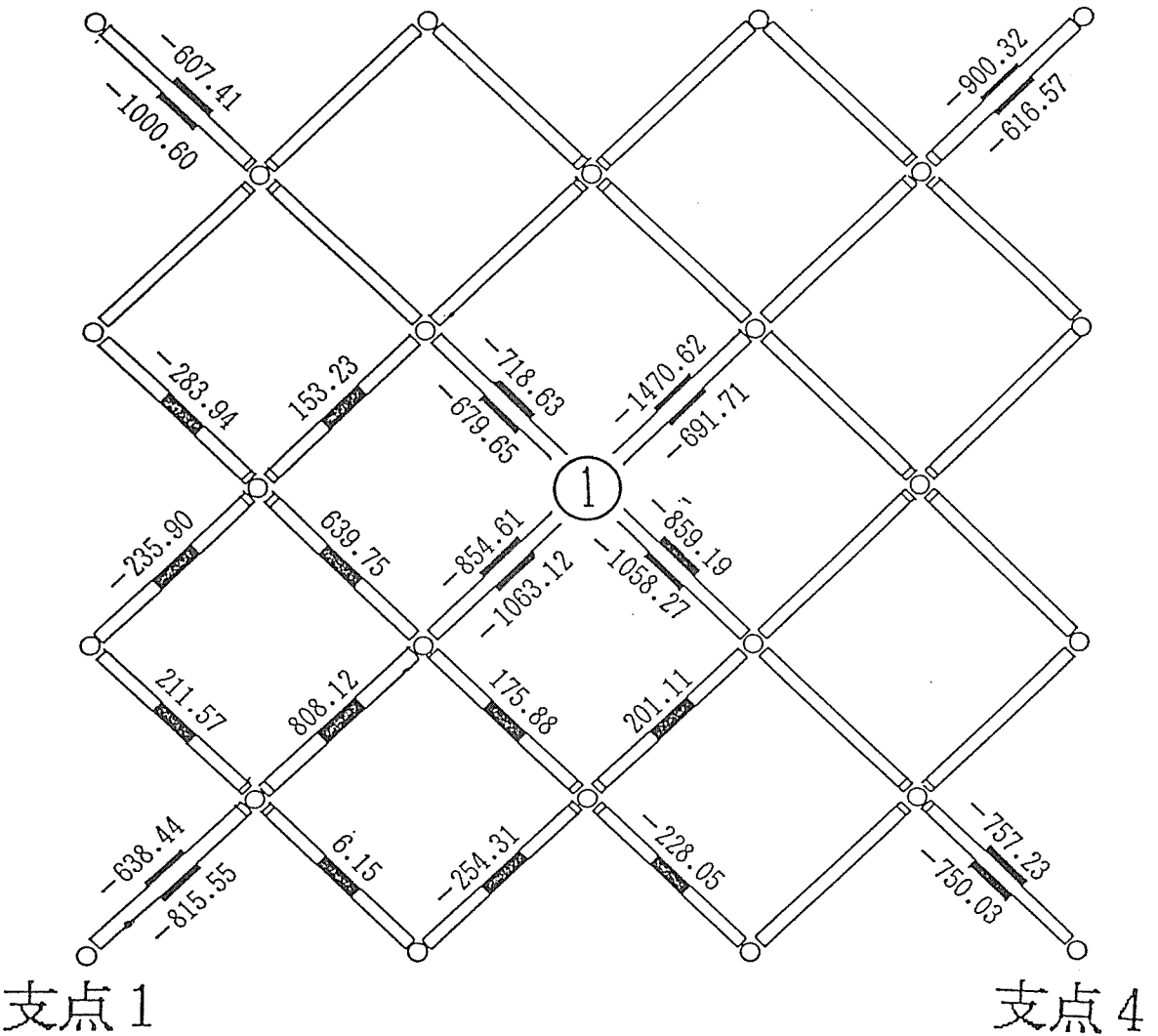


圖4-4(4) L/240(11.25mm), 1735kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1

支点 4

图 4-4(5) L/180(15.00mm), 2235kgf (a), (b)

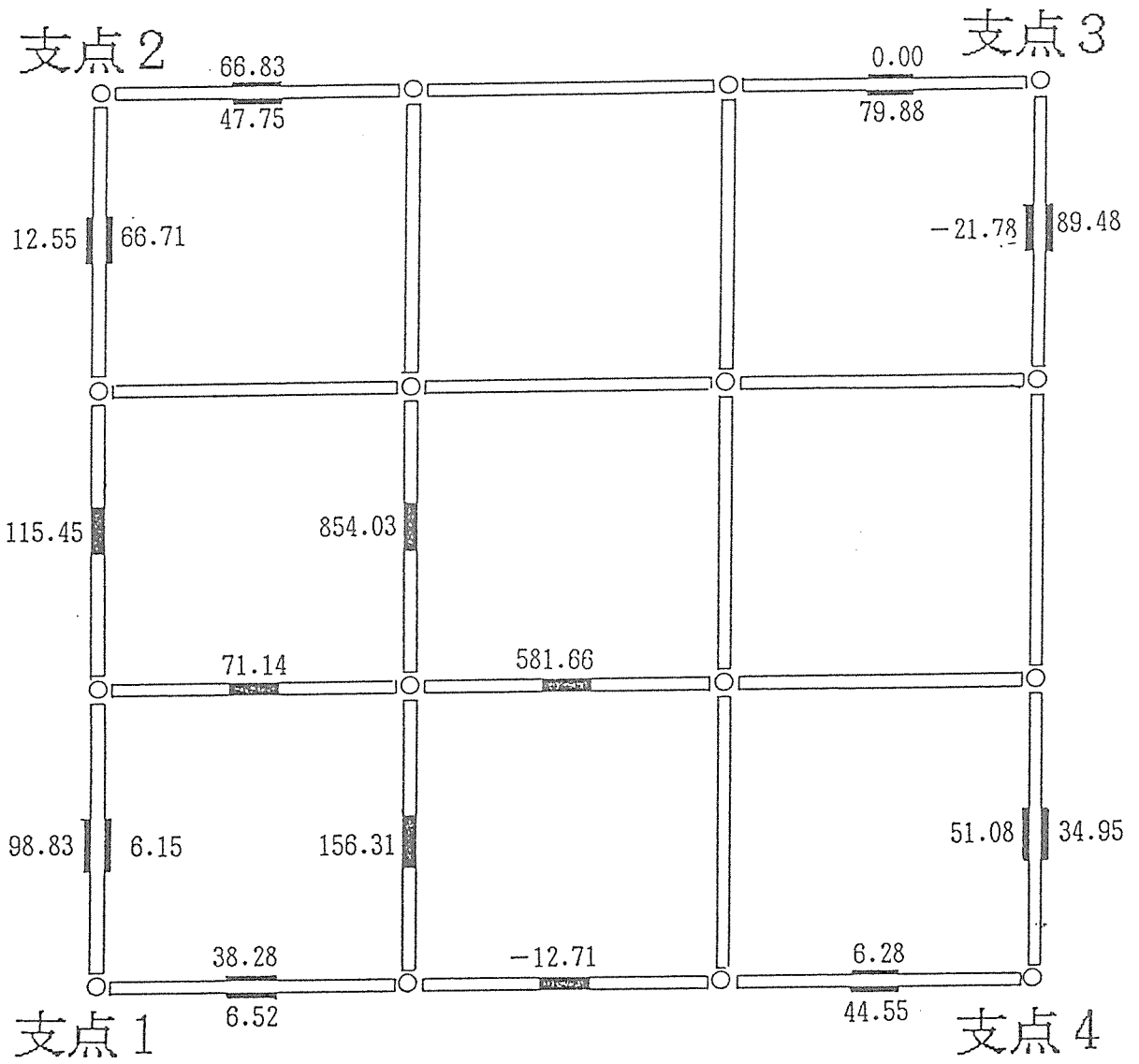
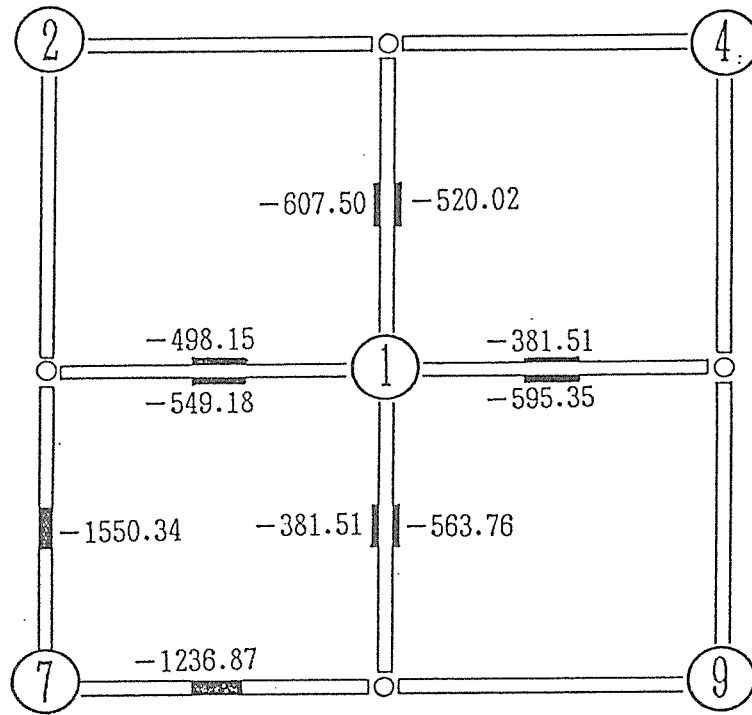
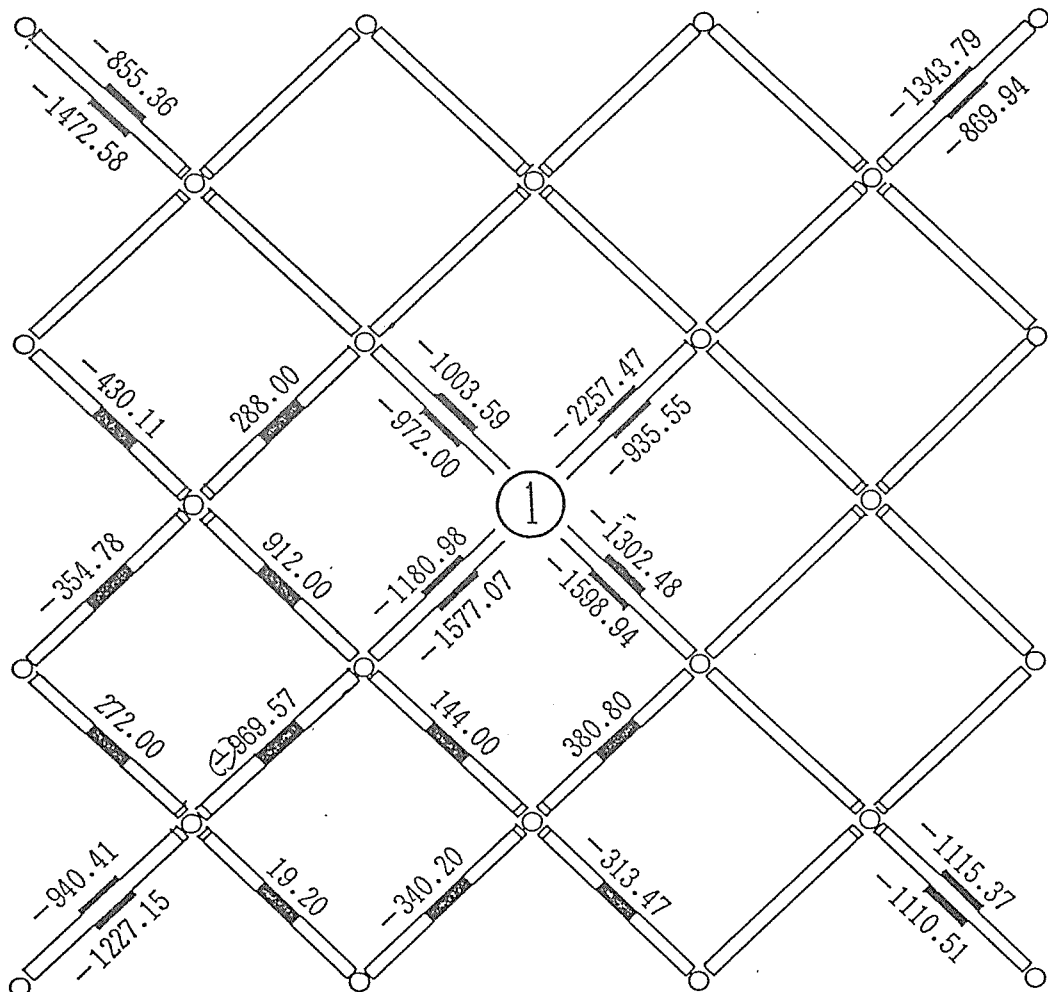


圖4-4(5) L/180(15.00mm), 2235kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1

支点 4

图 4-4(6) L/120(22.50mm), 3275kgf (a), (b)

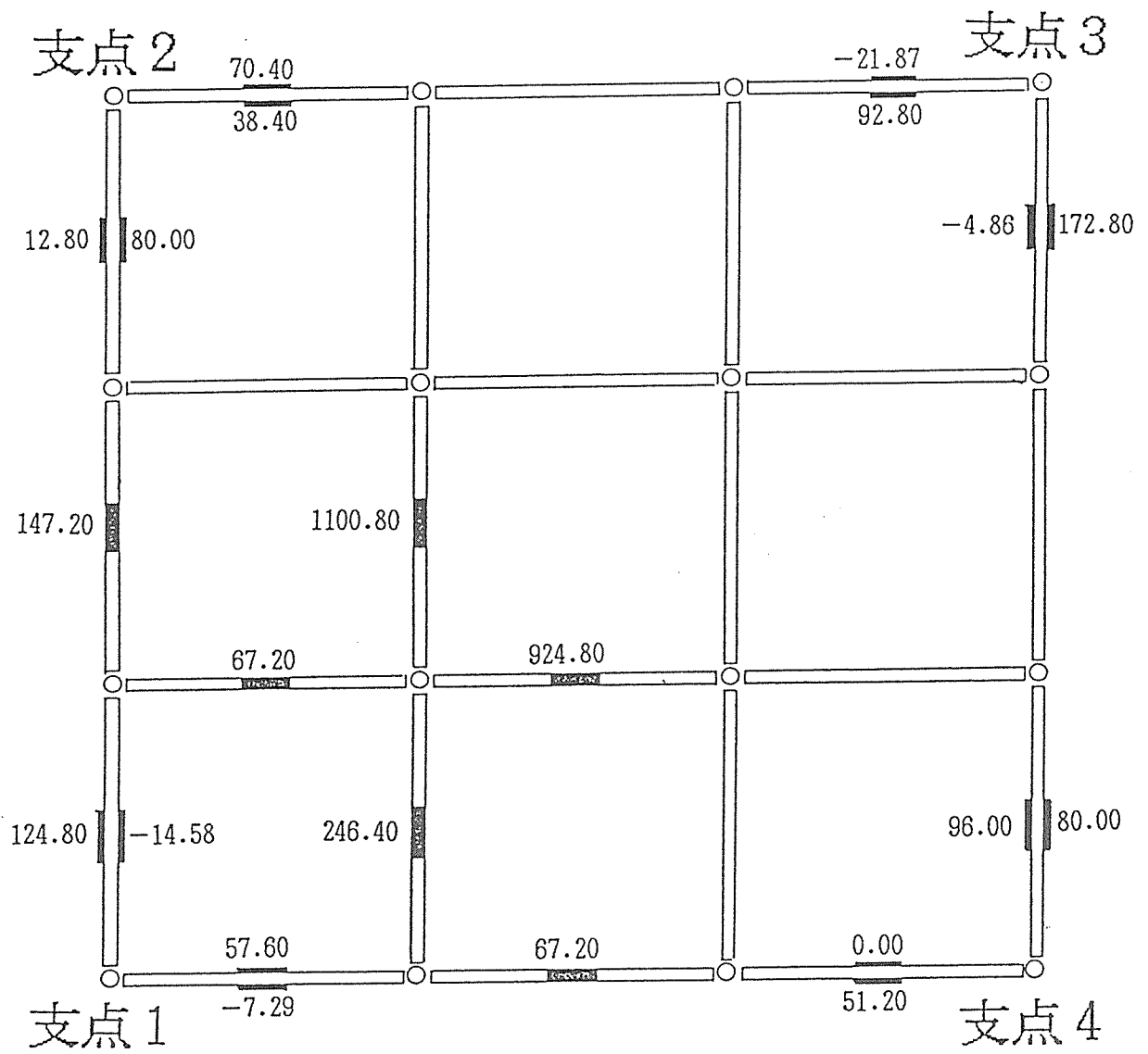
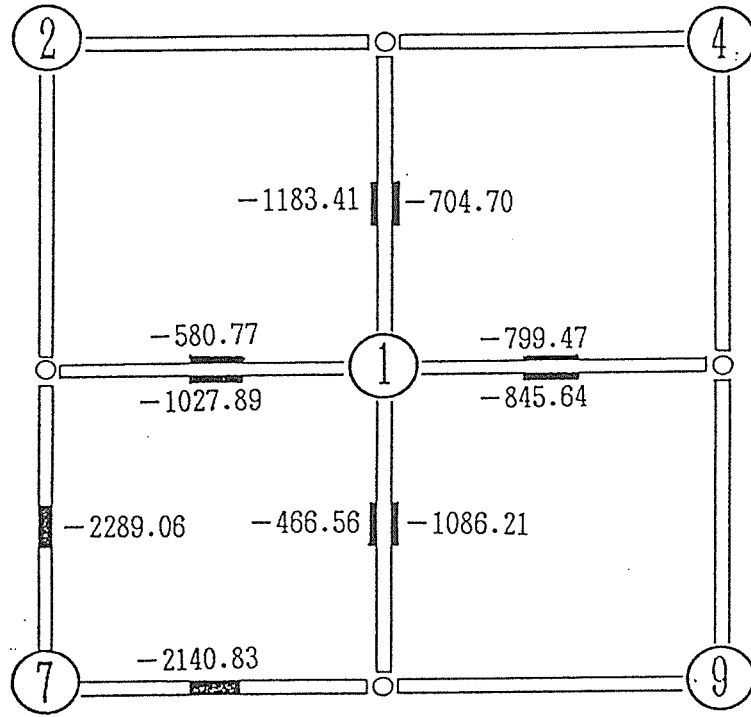
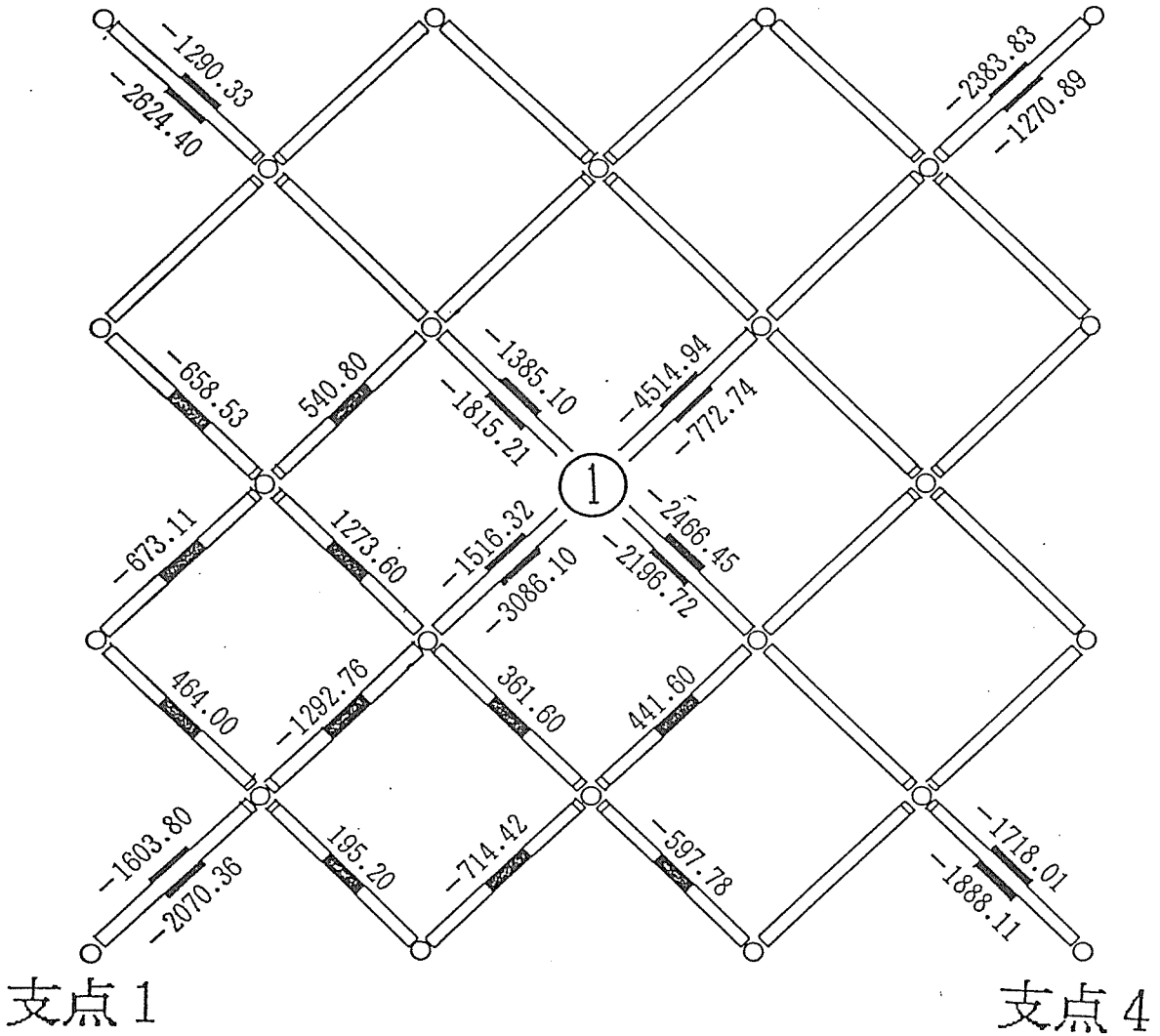


图4-4(6) L/120(22.50mm), 3275kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1

支点 4

图 4-4(7) Final (39.91mm), 5330kgf (a), (b)

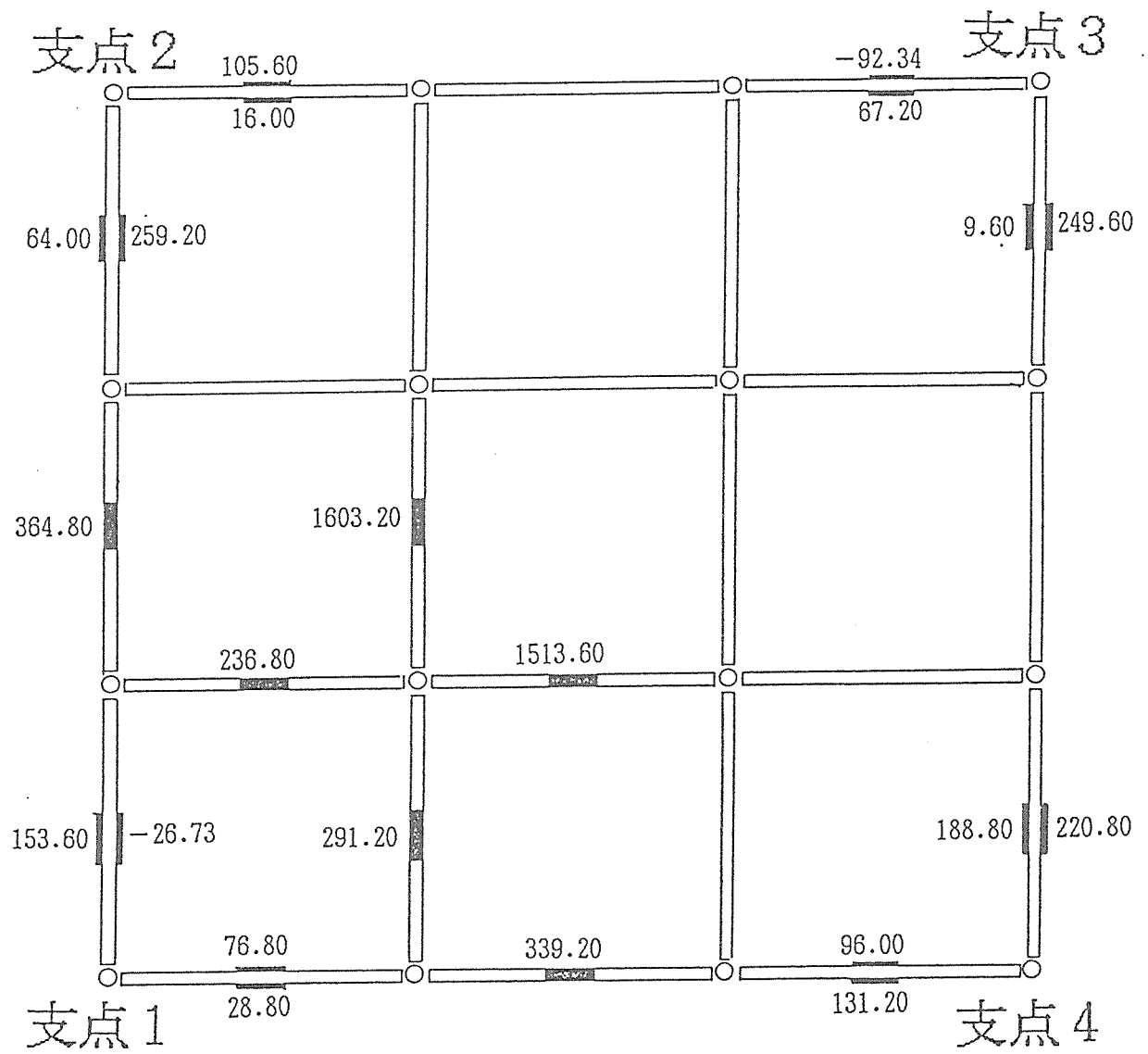


圖4-4(7) Final (39.91mm), 5330kgf (c)

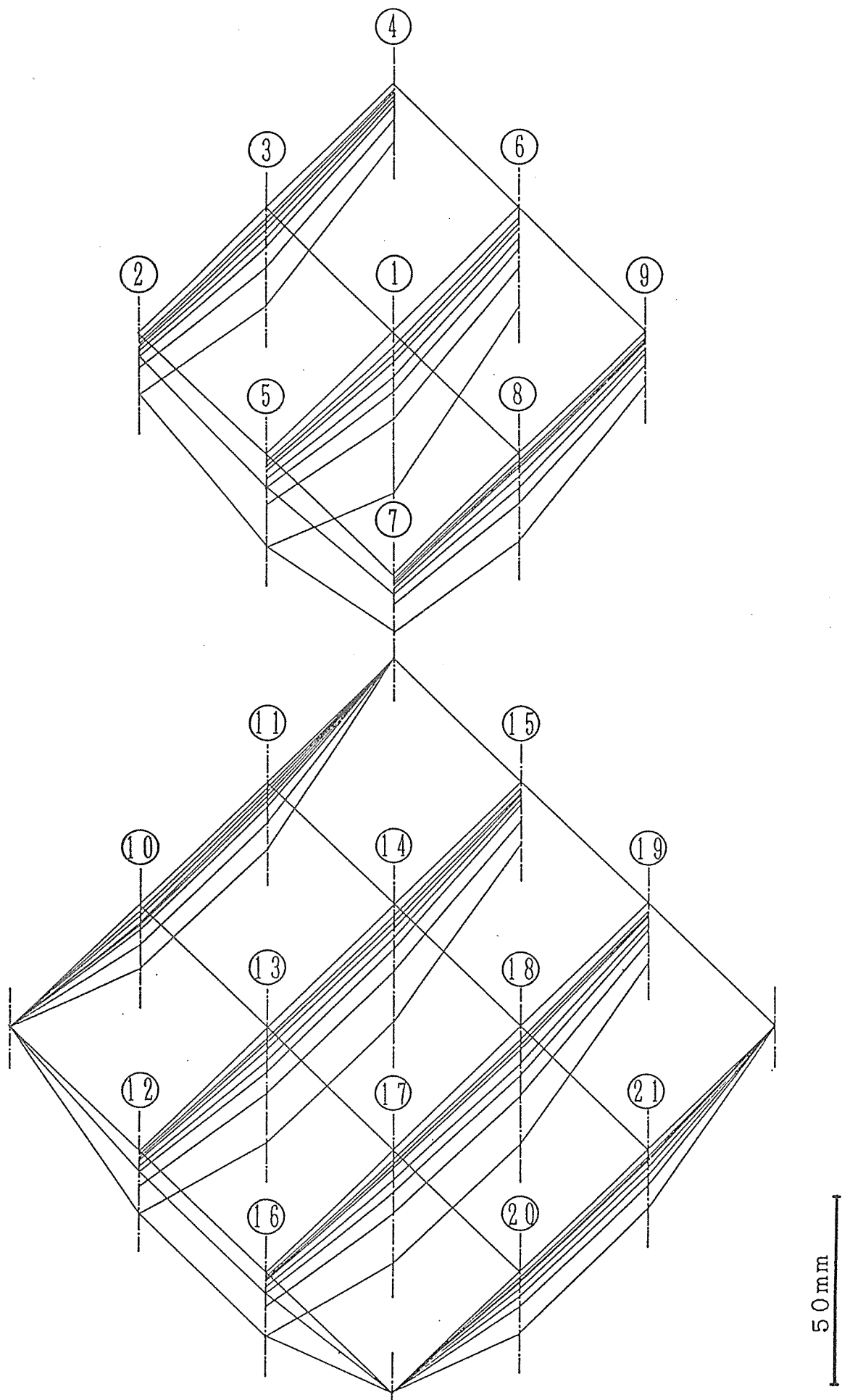


図4-6 トラス版たわみ変形挙動図

(注)図4-5は、4. 実験結果に掲載

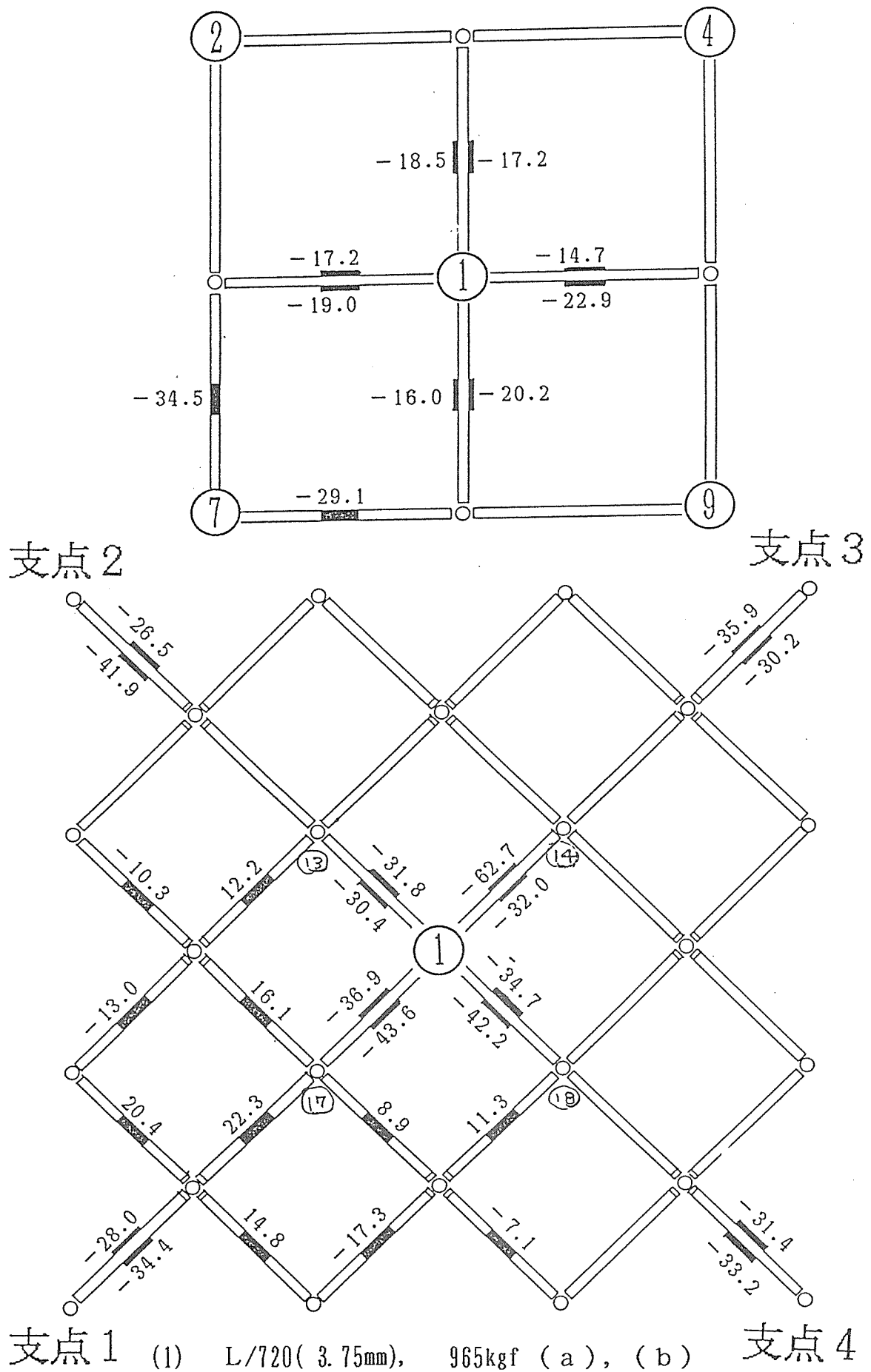


図4-7 各設定変位時におけるトラス部材の荷重分担率

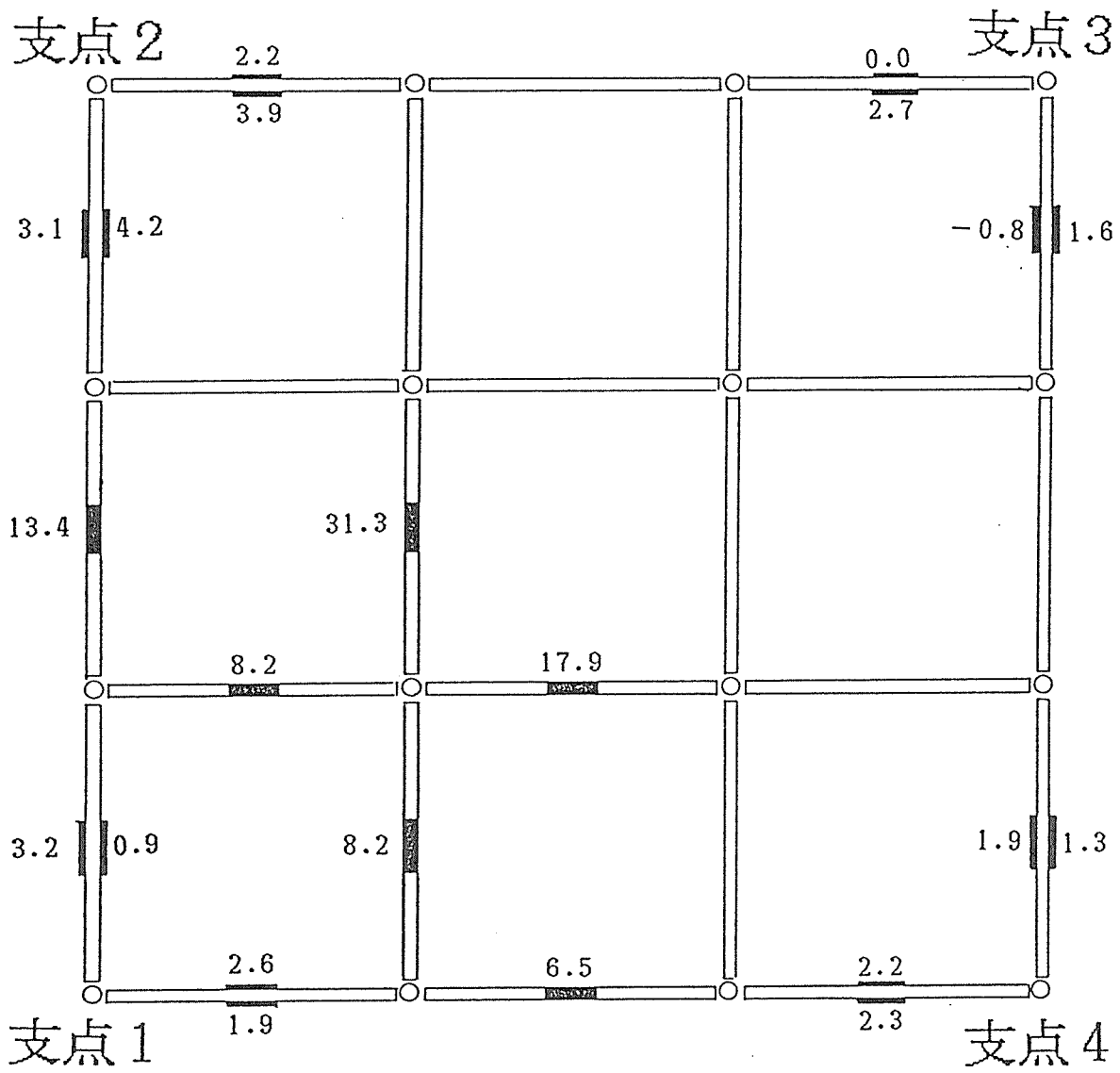


图4-7(1) L/720(3.75mm), 965kgf (c)

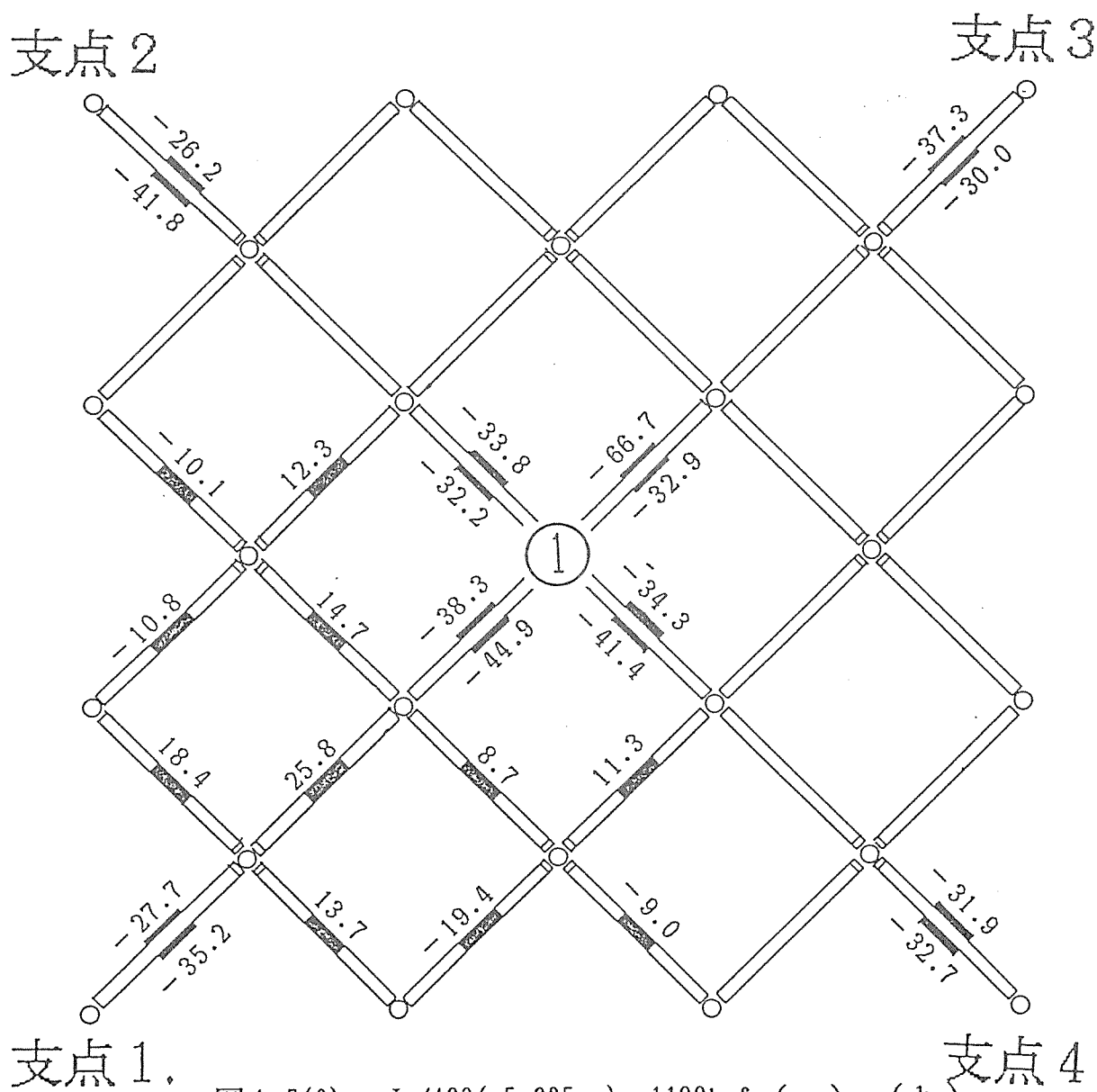
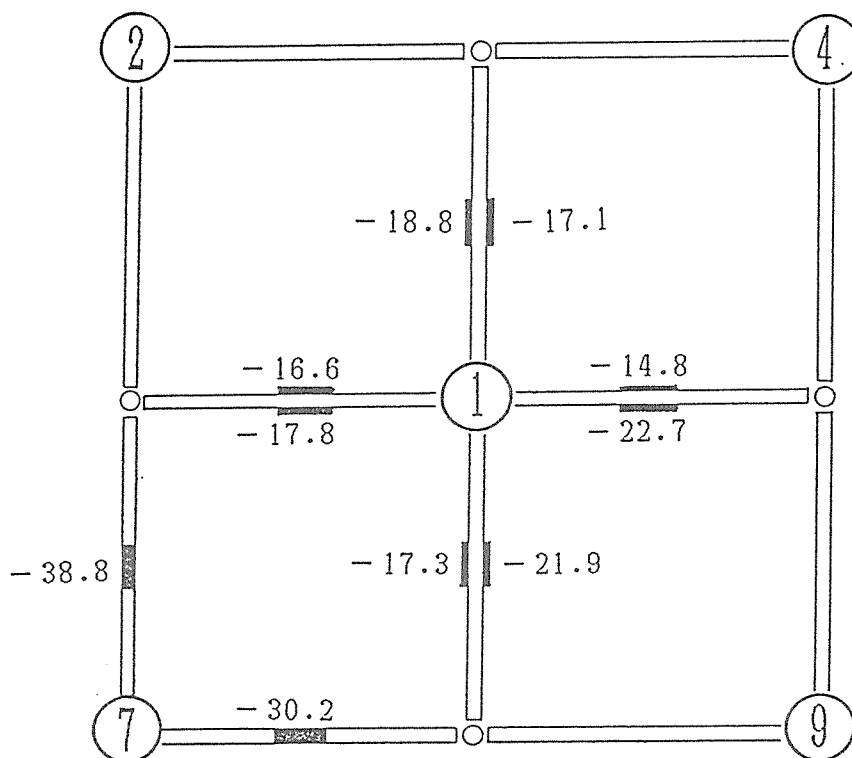


图4-7(2) L/480(5.635mm), 1100kgf (a), (b)

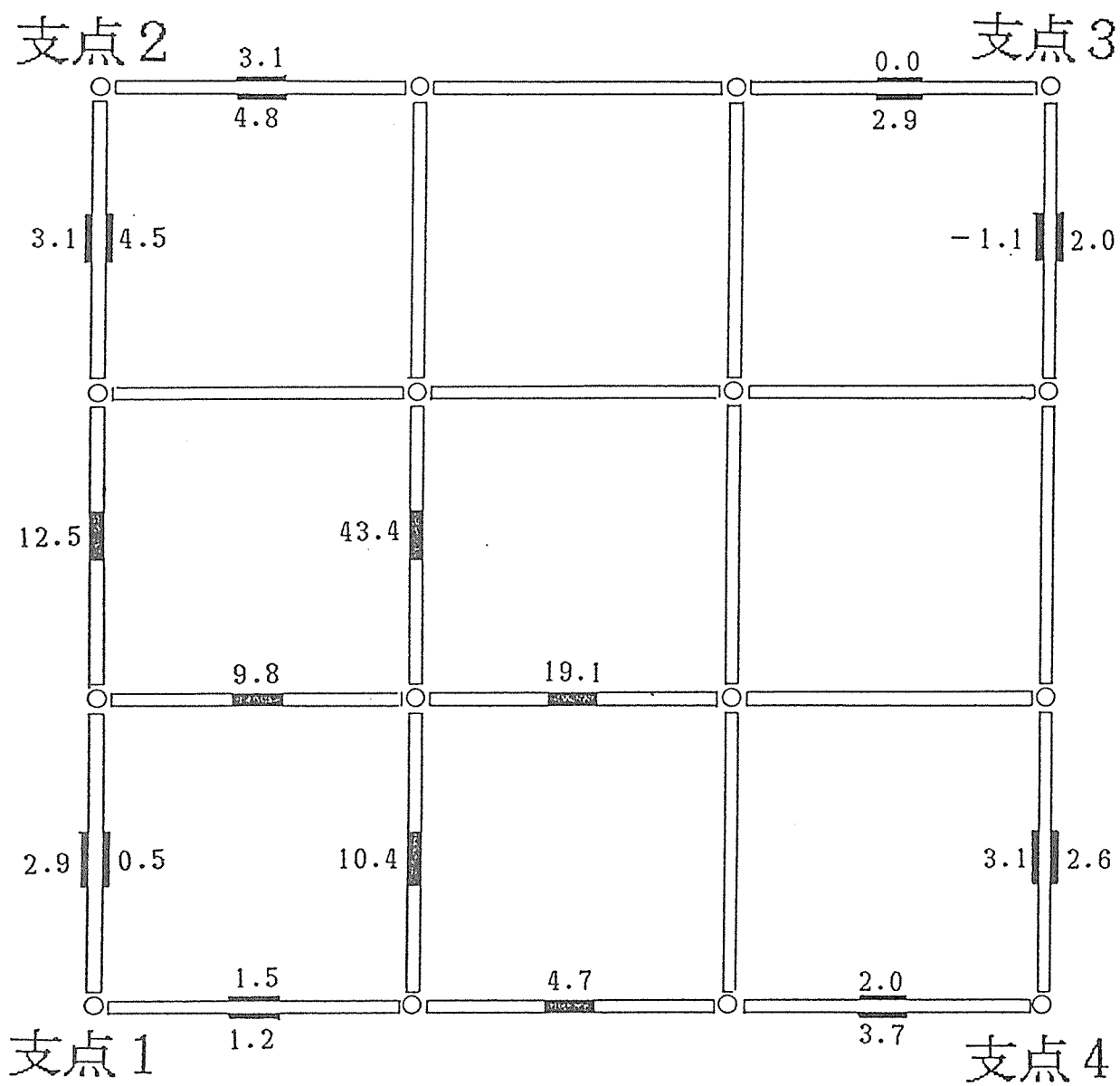
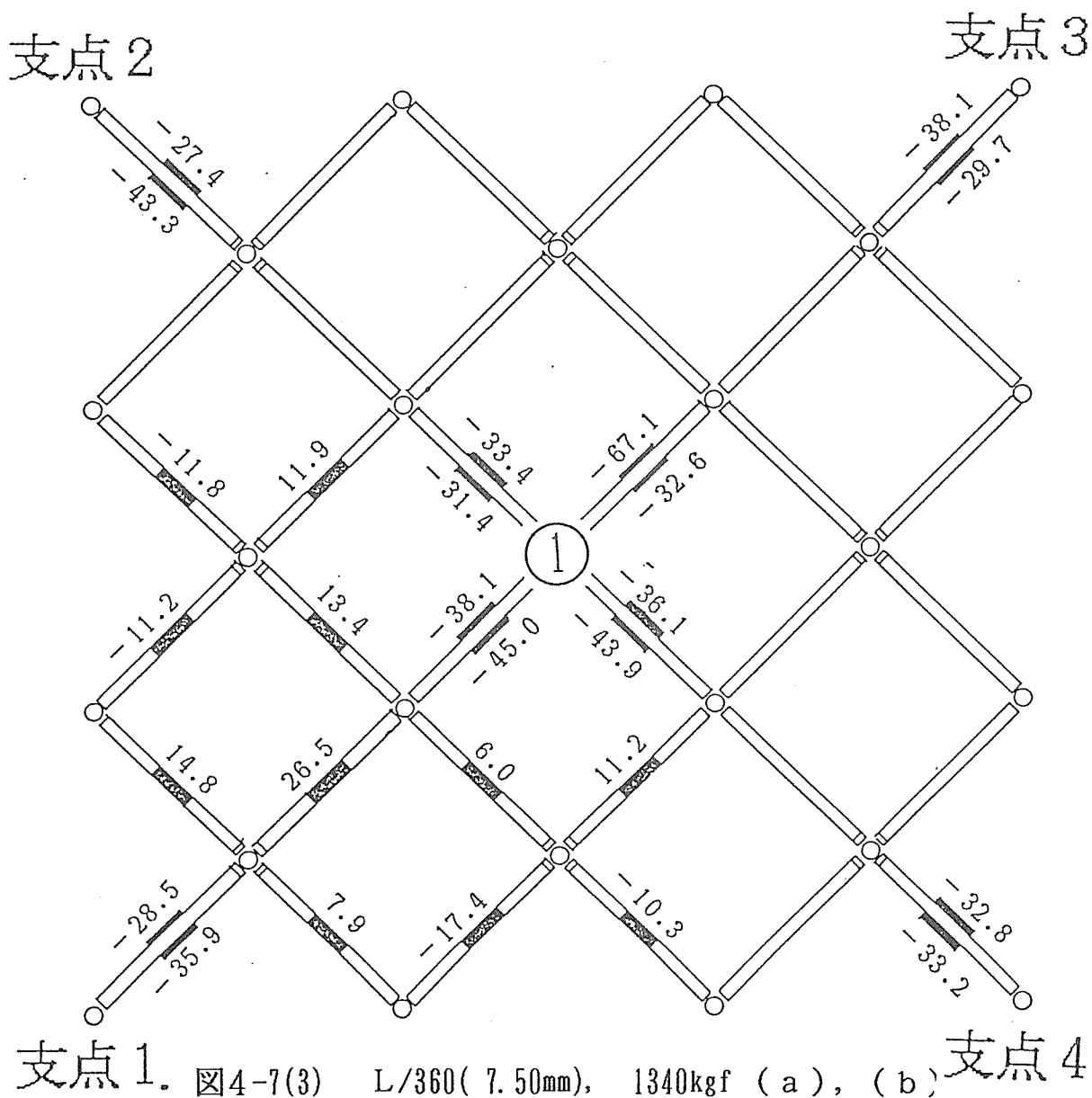
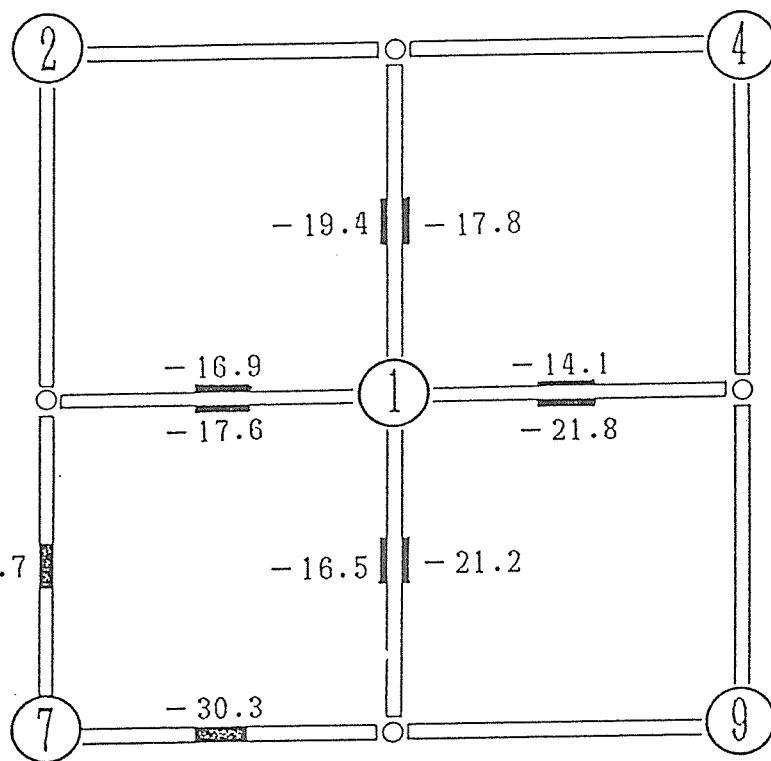


圖4-7(2) L/480(5.635mm), 1100kgf (c)



支点 1. 图 4-7(3) L/360 (7.50mm), 1340kgf (a), (b) 支点 4

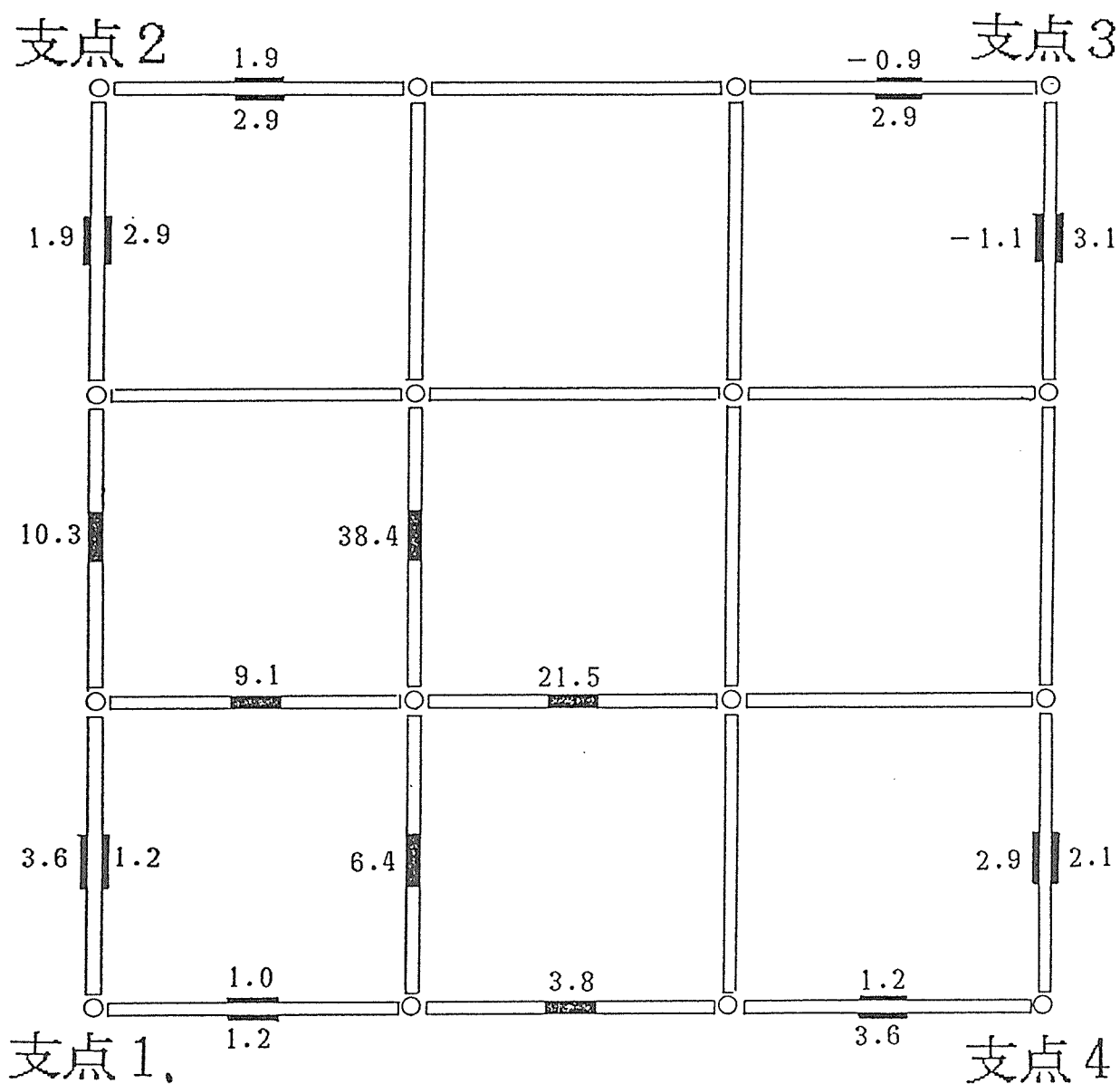
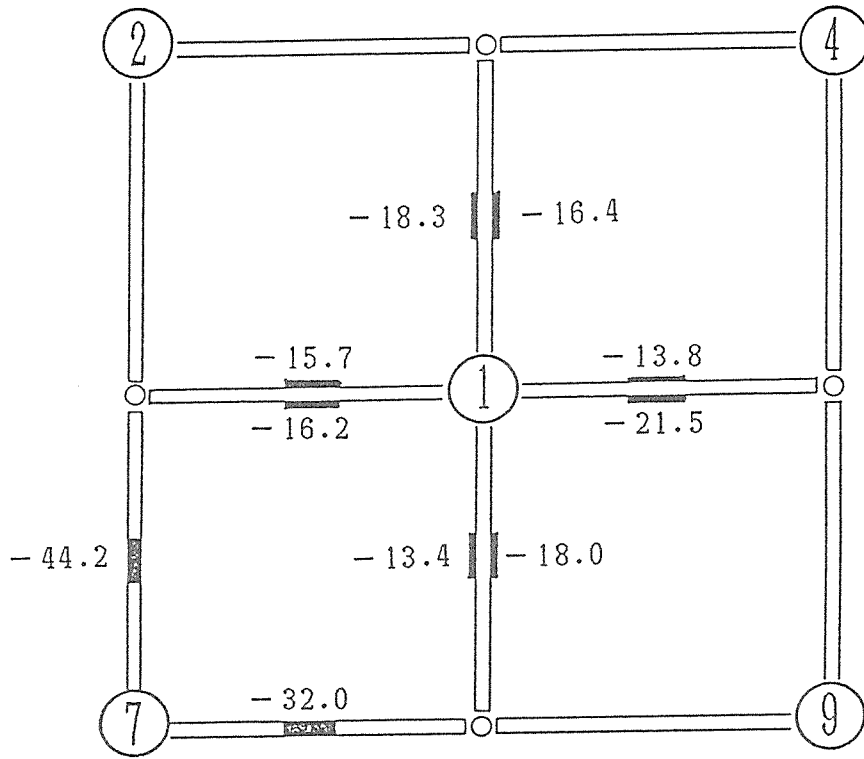
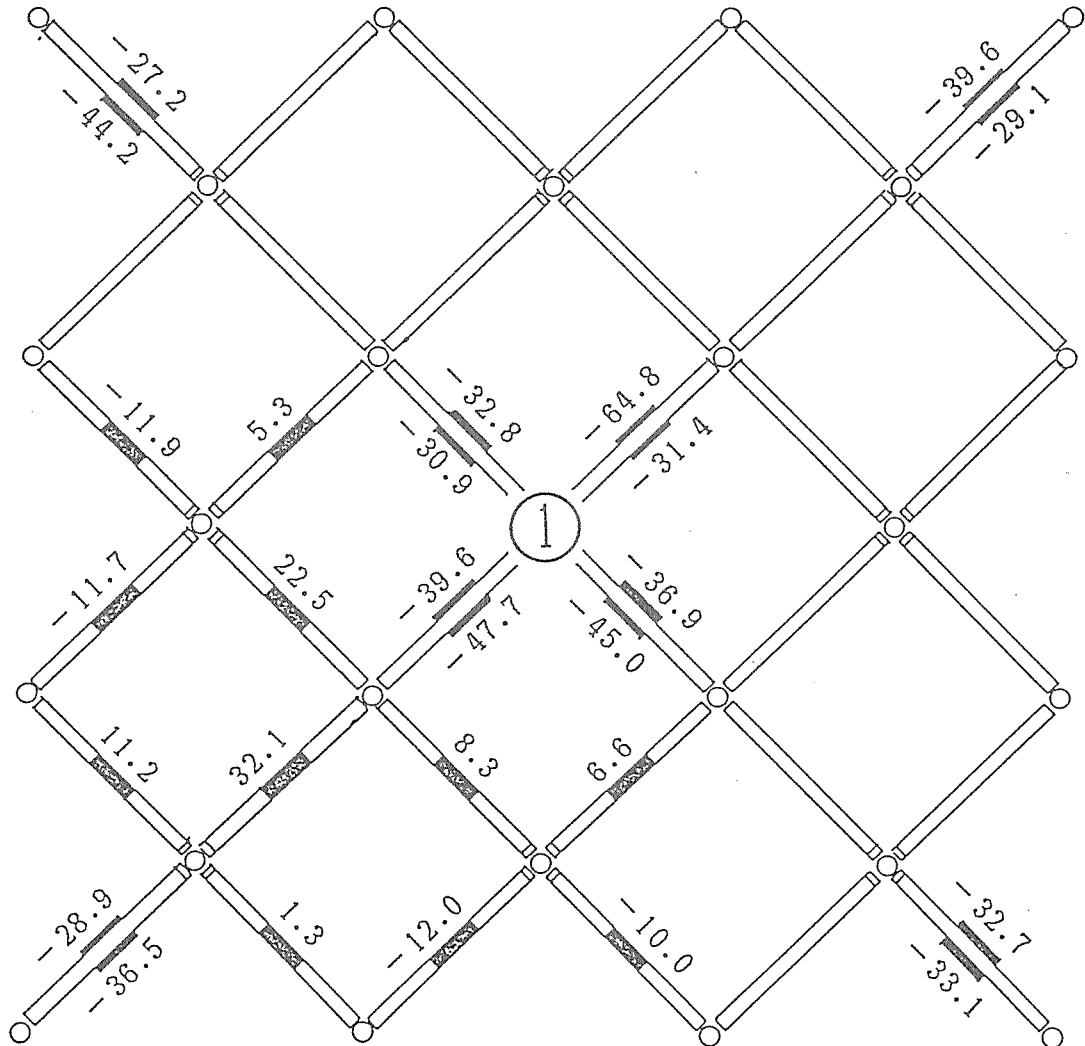


图4-7(3) L/360(7.50mm), 1340kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1, 图4-7(4) L/240(11.25mm), 1735kgf (a), (b) 支点 4

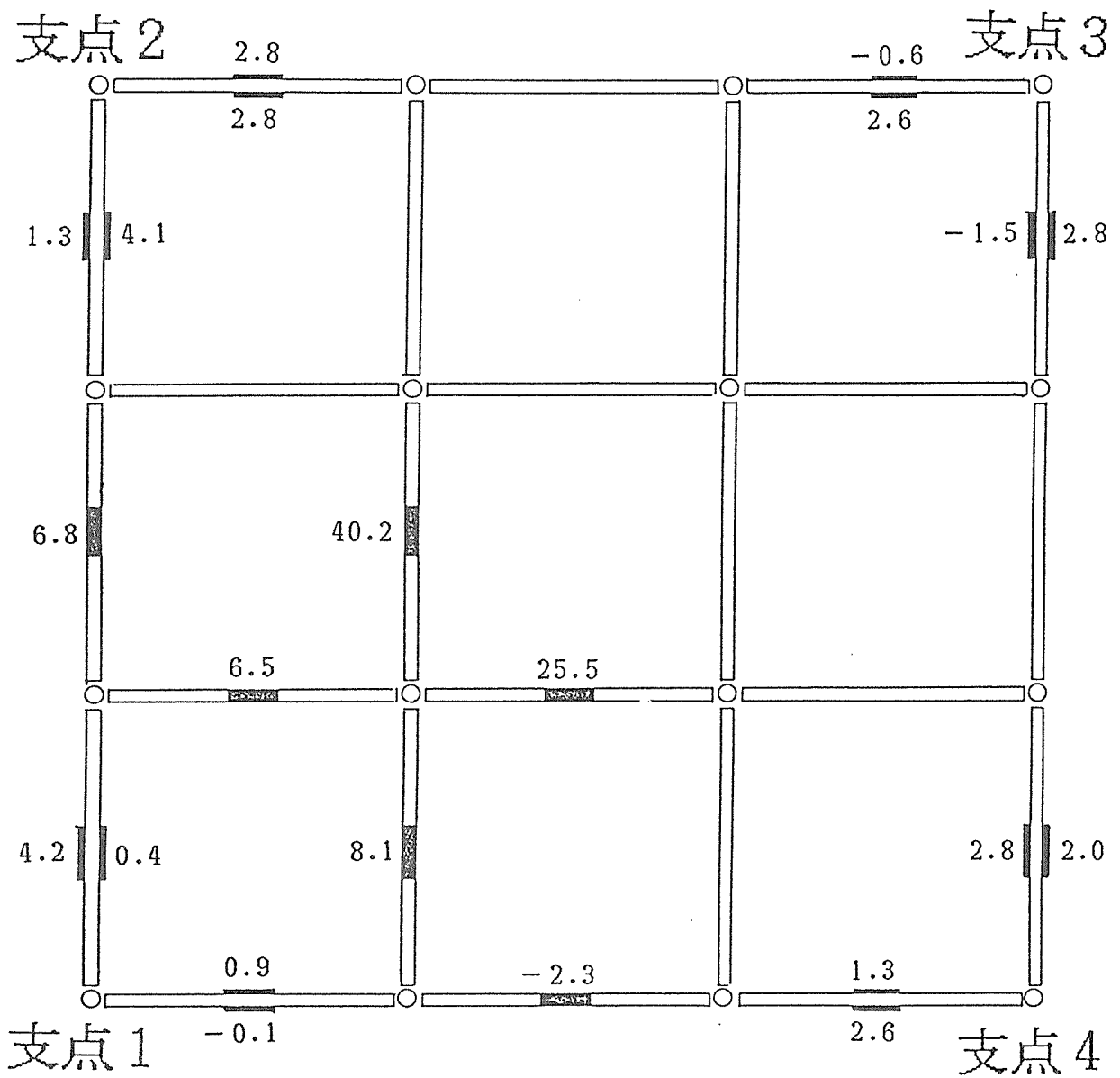
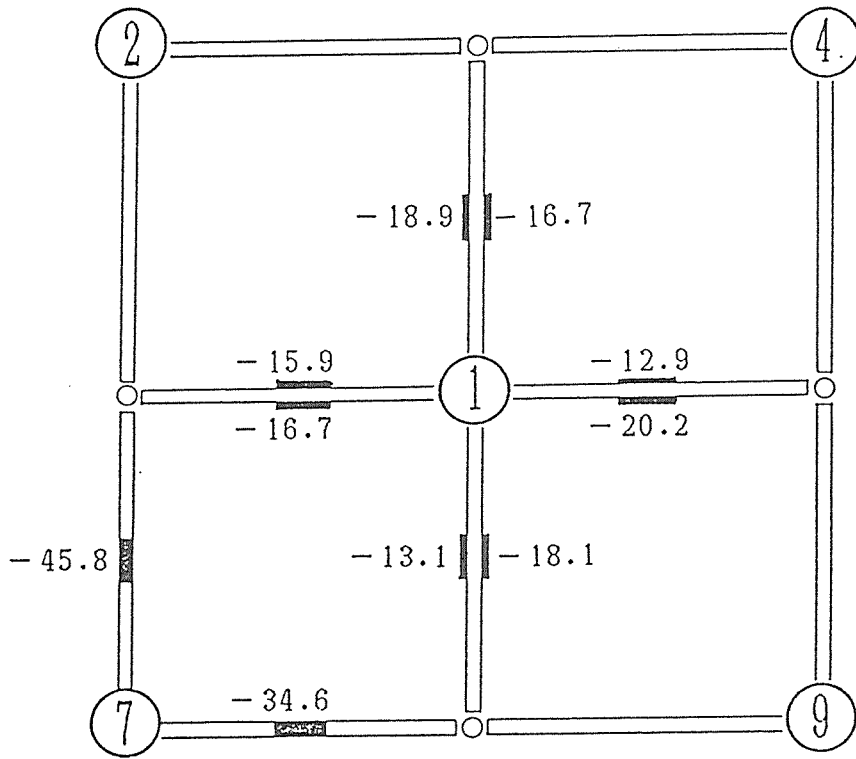
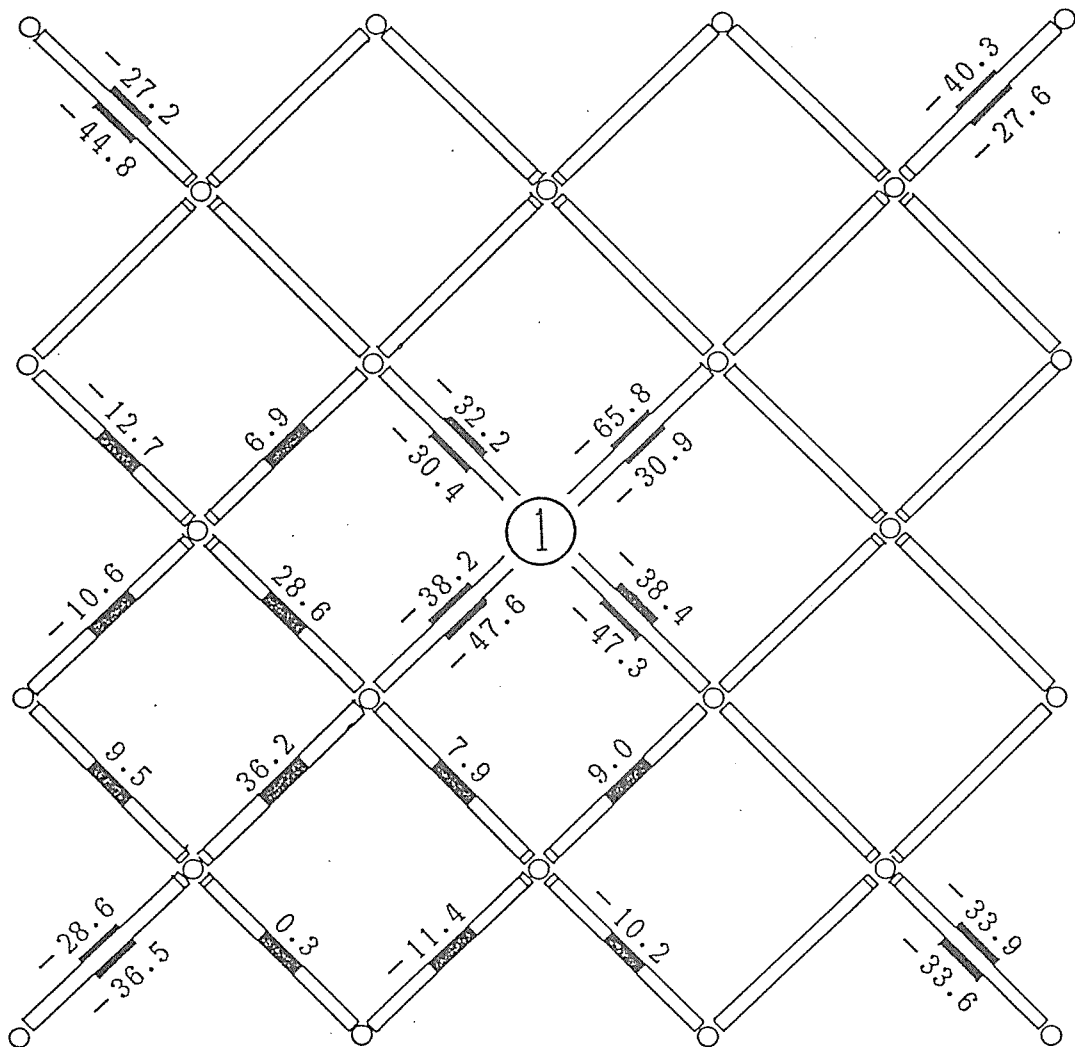


圖4-7(4) L/240(11.25mm), 1735kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1, 图 4-7(5) L/180(15.00mm), 2235kgf (a), (b) 支点 4

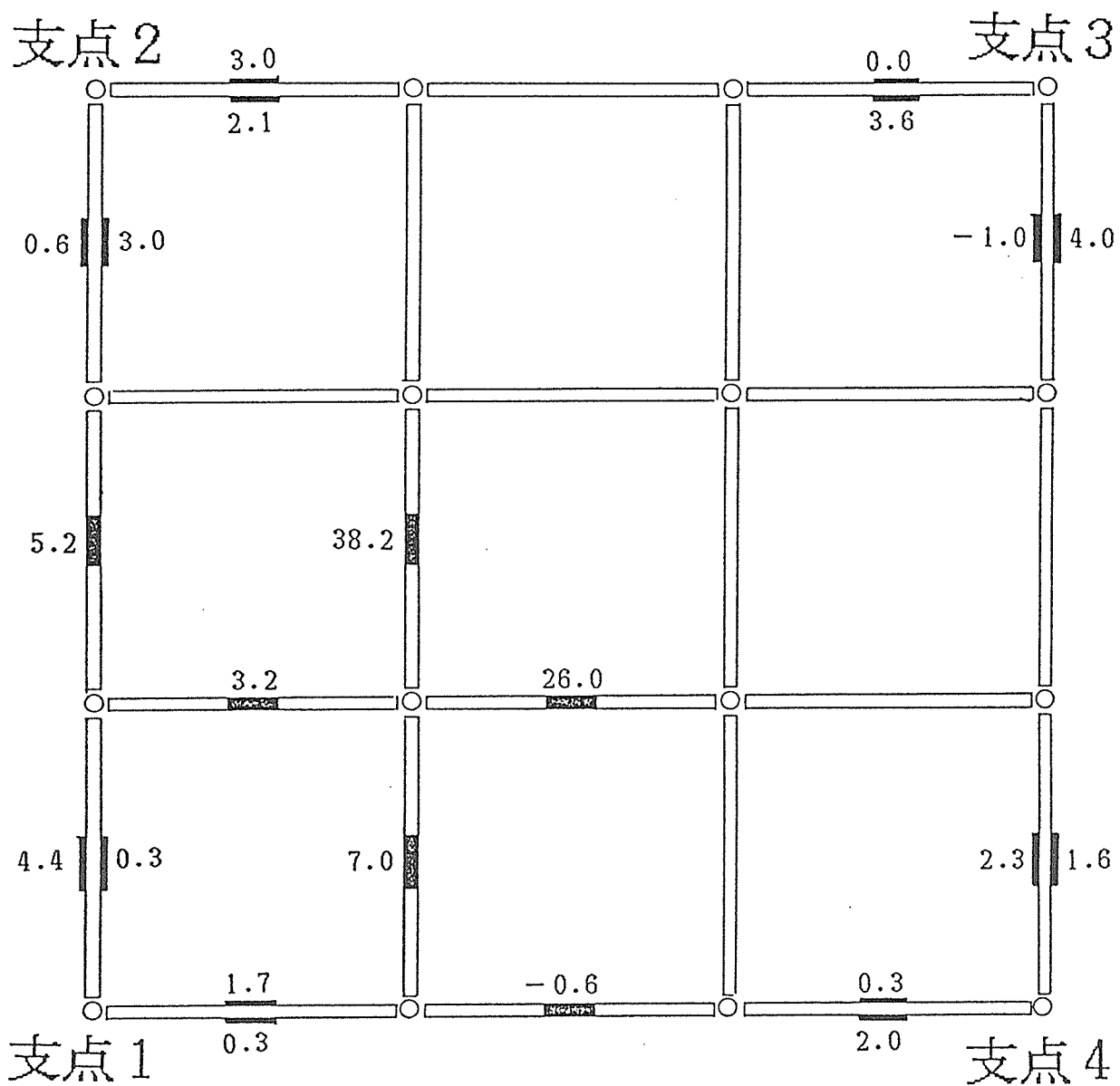
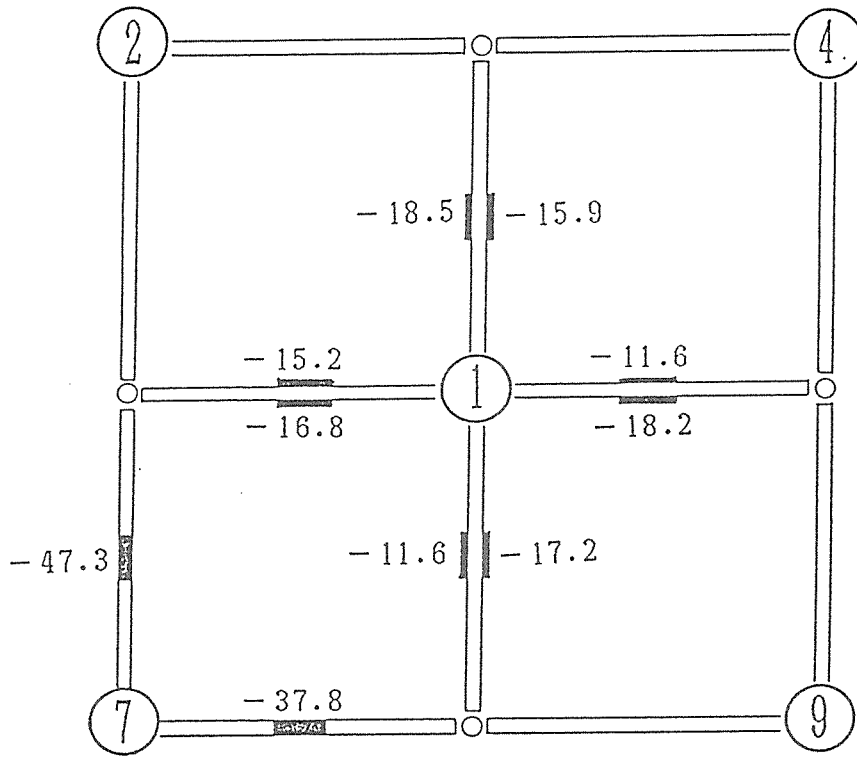
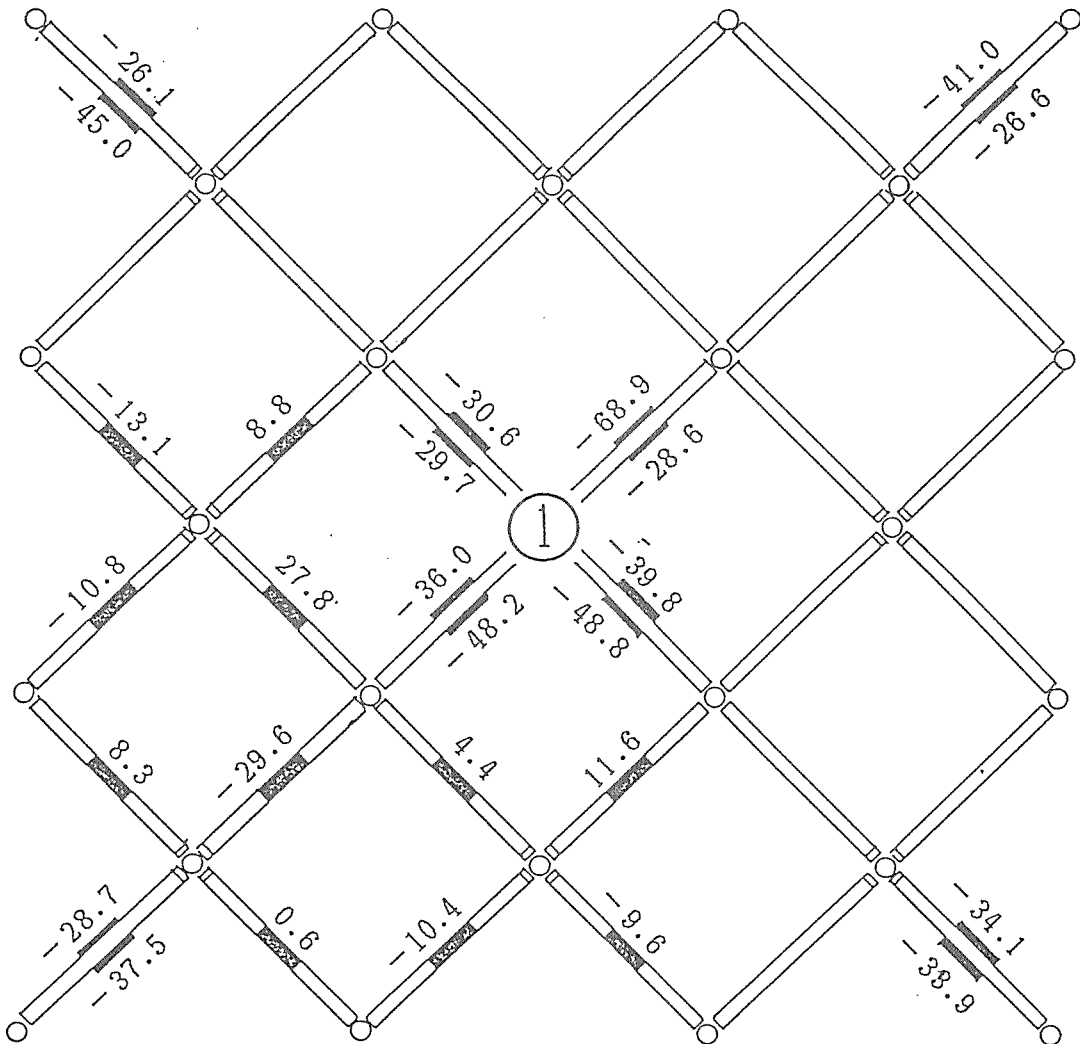


圖4-7(5) L/180(15.00mm), 2235kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1

支点 4

图 4-7(6)

L/120(22.50mm), 3275kgf (a), (b)

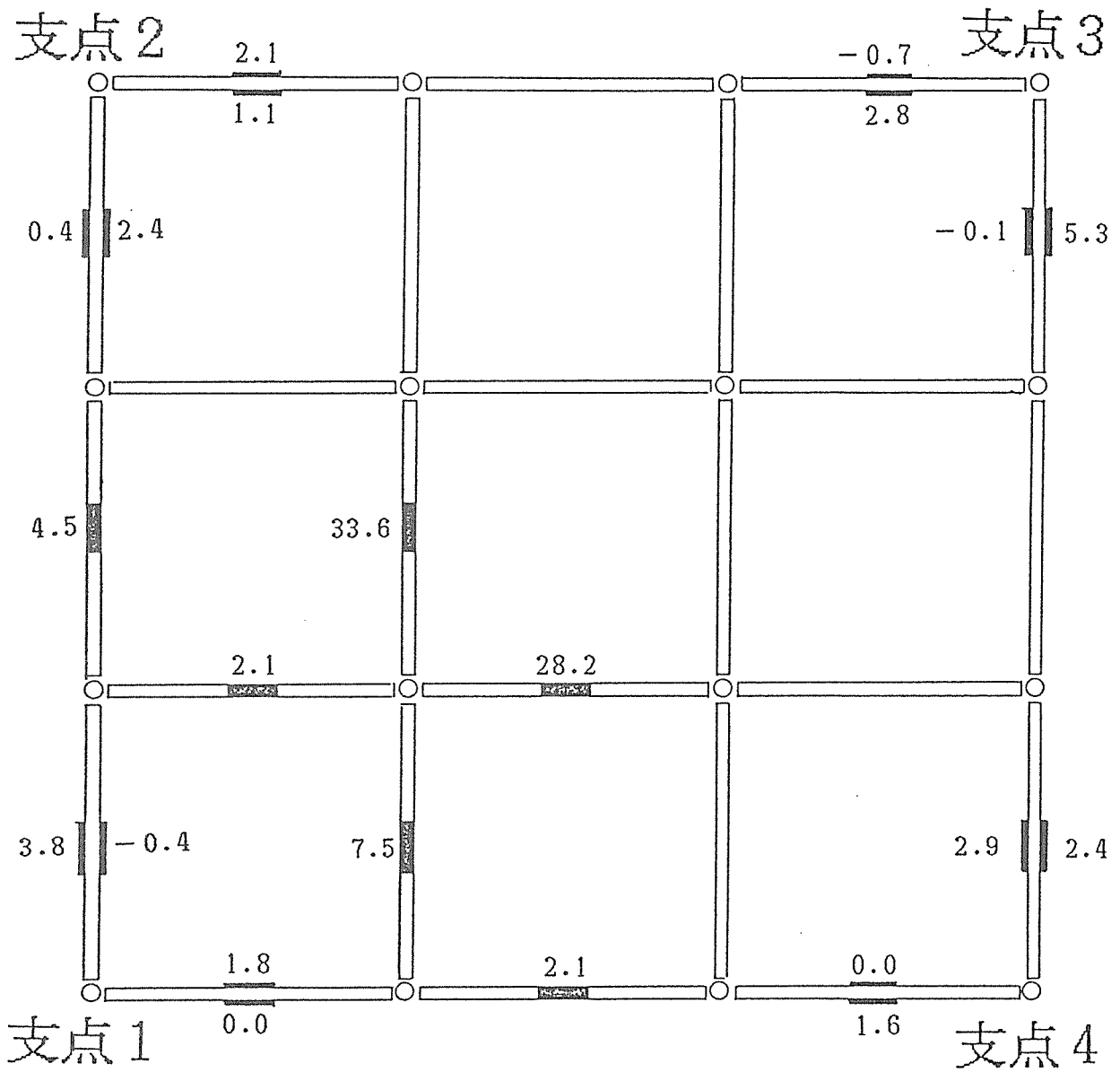
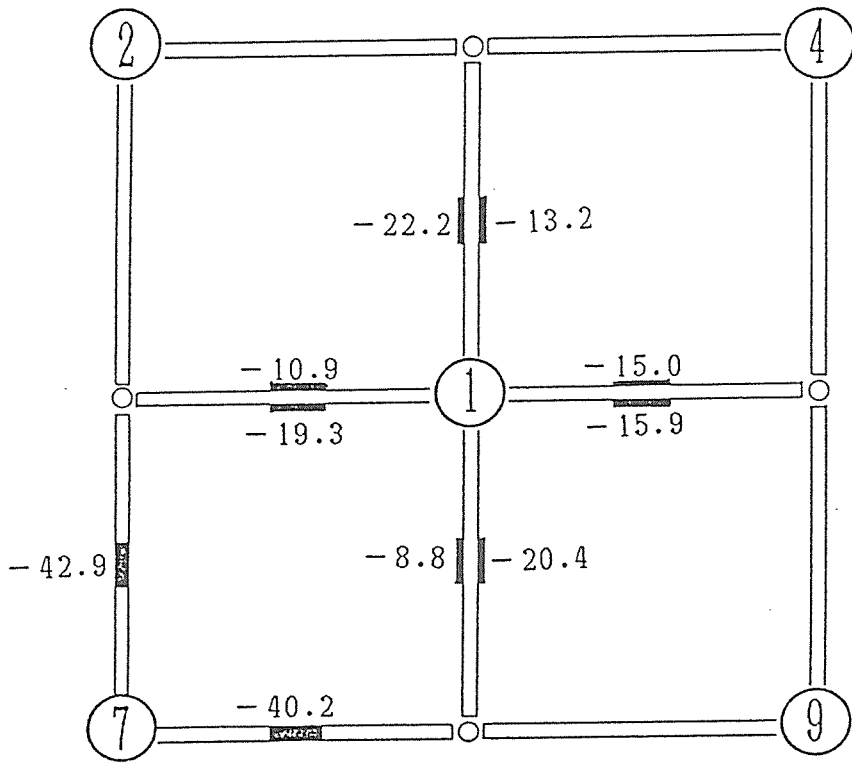
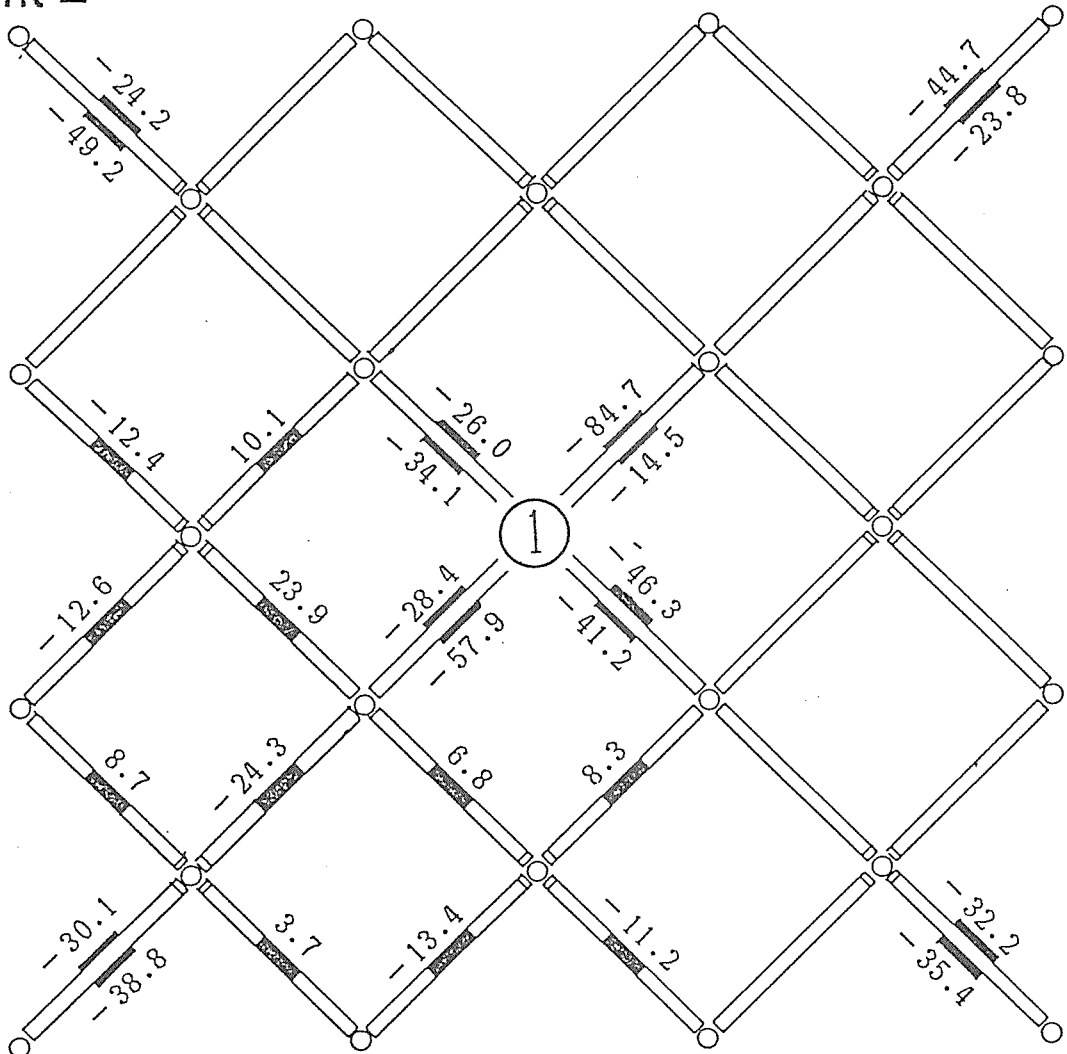


图4-7(6) L/120(22.50mm), 3275kgf (c)



支点 2

支点 3



支点 1. 图 4-7(7) Final (39.91mm), 5330kgf (a), (b) 支点 4

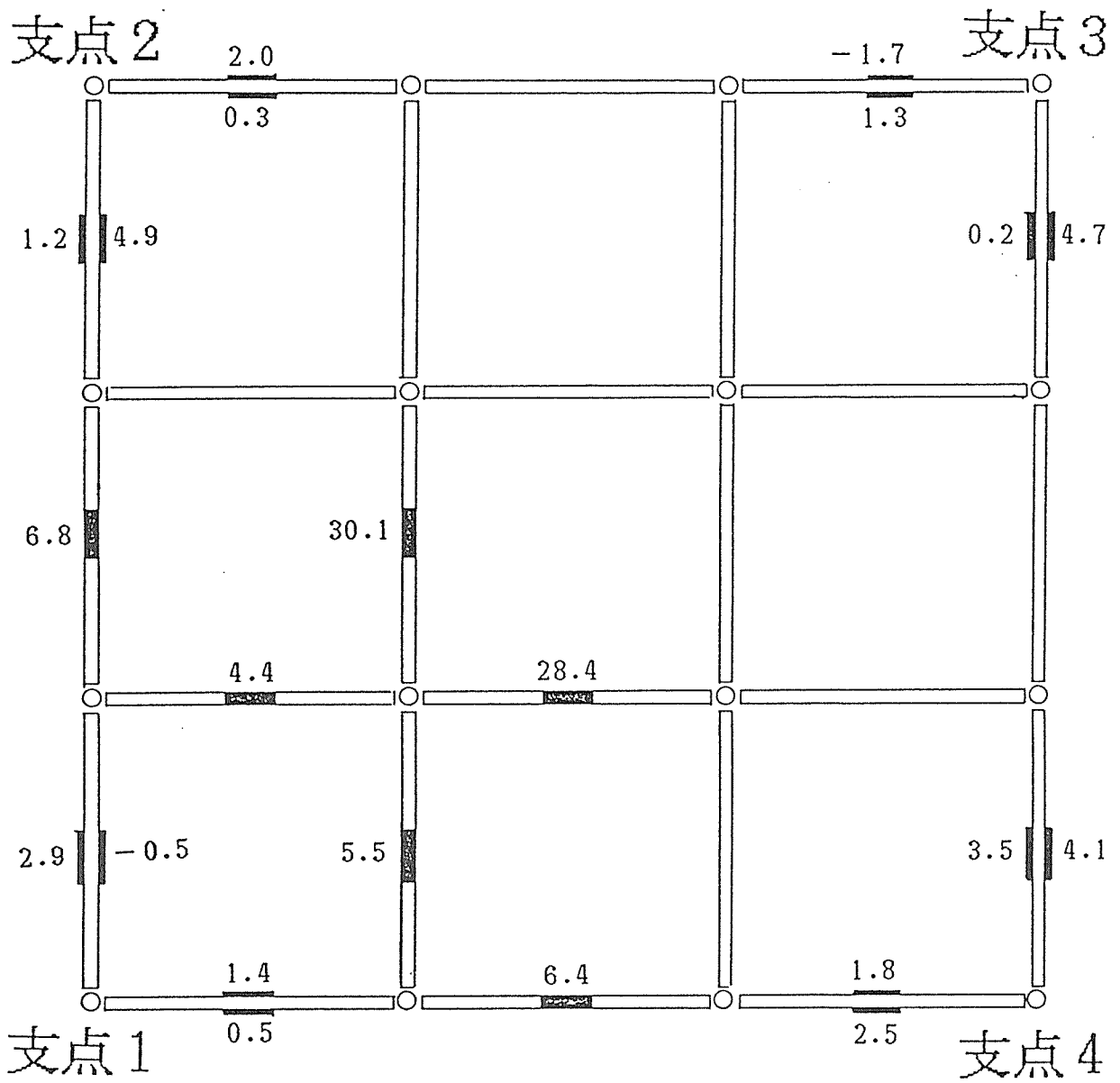


圖4-7(7) Final (39.91mm), 5330kgf (c)

表4-1 設定変位：L/480 ～L/120, Finalに対応する各節点の変位量

(第一サイクル)

単位 (mm) (Kgf)

	載荷荷重	965 Kgf	1100 Kgf	1340 Kgf	1735 Kgf	2235 Kgf	3275 Kgf	5330 Kgf
上 弦 材 変 位	変位No.1	3.75 (L/720)	5.63 (L/480)	7.50 (L/360)	11.25 (L/240)	15.00 (L/180)	22.50 (L/120)	39.91 (L/67.7)
	変位No.2	1.39	2.29	3.20	4.38	5.75	8.83	16.26
	変位No.4	1.45	2.24	3.01	4.18	5.69	9.18	15.46
	変位No.7	1.27	1.95	2.43	3.50	5.05	7.65	15.08
	変位No.9	1.67	2.34	2.89	4.47	5.88	8.37	14.11
	変位No.3	2.40	3.75	5.26	7.52	9.93	14.93	24.96
	変位No.5	2.14	3.40	4.41	6.50	8.93	13.57	24.32
	変位No.6	2.68	4.13	5.65	7.70	10.17	14.84	24.78
下 弦 材 変 位	変位No.8	2.20	3.36	4.32	6.80	9.66	13.45	23.42
	変位No.10	1.71	2.97	4.47	5.34	6.76	10.57	17.79
	変位No.11	1.73	2.69	3.87	5.04	6.57	10.65	18.38
	変位No.12	1.25	2.16	2.79	4.26	5.88	9.27	17.58
	変位No.15	2.11	3.11	3.85	5.07	6.49	10.47	17.52
	変位No.16	1.26	1.98	2.63	4.00	5.85	9.21	17.99
	変位No.19	2.28	3.01	3.71	5.40	7.14	10.27	16.68
	変位No.20	1.57	2.36	2.72	4.54	6.5	9.32	17.17
	変位No.21	1.93	2.15	2.79	4.94	6.71	9.32	16.03
	変位No.13	2.54	3.98	5.51	8.39	11.15	16.90	29.24
	変位No.14	2.95	4.52	6.23	8.83	11.80	17.77	29.83
	変位No.17	2.28	3.58	4.68	7.68	10.93	16.29	28.51
変位No.18	2.92	4.33	5.64	9.15	12.14	17.46	29.37	

表4-2 設定変位：L/480 ～L/120, Finalに対応する各節点の変位量

(第二サイクル)

単位 (mm) (Kgf)

	945 Kgf	1100 Kgf	1325 Kgf	1690 Kgf	2150 Kgf	3120 Kgf	5330 Kgf
上弦材変位	変位No.1 (L/720)	3.75 (L/480)	5.63 (L/360)	7.50 (L/240)	11.25 (L/180)	22.50 (L/120)	39.91
	変位No.2	1.42	2.27	3.21	4.39	5.77	8.86
	変位No.4	1.47	2.21	3.00	4.22	5.71	9.09
	変位No.7	1.19	1.83	2.42	3.46	5.06	7.78
	変位No.9	1.64	2.30	2.87	4.49	5.81	8.36
	変位No.3	2.34	3.73	5.30	7.57	9.96	14.88
	変位No.5	2.14	3.35	4.42	6.48	8.95	13.62
	変位No.6	2.68	4.10	5.64	7.71	10.15	14.76
	変位No.8	2.17	3.30	4.30	6.78	9.63	13.48
下弦材変位	変位No.10	1.76	2.98	4.49	5.39	6.81	10.52
	変位No.11	1.74	2.67	3.84	5.06	6.58	10.54
	変位No.12	1.26	2.12	2.77	4.24	5.83	9.29
	変位No.15	2.11	3.10	3.83	5.11	6.49	10.34
	変位No.16	1.25	1.91	2.62	3.97	5.87	9.34
	変位No.19	2.27	3.01	3.72	5.44	7.09	10.19
	変位No.20	1.52	2.30	2.71	4.51	6.48	9.40
	変位No.21	1.69	2.13	2.79	4.96	6.65	9.34
	変位No.13	2.54	3.95	5.49	8.39	11.13	16.84
	変位No.14	2.95	4.49	6.20	8.85	11.78	17.65
	変位No.17	2.25	3.52	4.65	7.64	10.89	16.29
	変位No.18	2.88	4.28	5.61	9.16	12.09	17.43

表4-3 設定変位：L/480 ～L/120, Finalに対応するトラス部材の縁応力

(a) トラス上弦材の応力

単位 (Kgf)

	965 Kgf (L/720)	1100 Kgf (L/480)	1340 Kgf (L/360)	1735 Kgf (L/240)	2235 Kgf (L/180)	3275 Kgf (L/120)	5330 Kgf 39.91 mm	
載荷点	6 2	-195.21	-240.57	-284.31	-312.06	-405.25	-563.76	-1086.21
	6 3	-154.44	-190.03	-221.13	-232.03	-293.75	-381.51	-466.56
	6 4	-183.06	-196.34	-235.71	-281.25	-373.85	-549.18	-1027.89
	6 5	-166.05	-182.25	-225.99	-271.53	-354.41	-498.15	-580.77
	6 6	-178.20	-207.04	-260.01	-317.55	-422.35	-607.50	-1183.41
	6 7	-166.05	-188.57	-238.14	-283.68	-373.85	-520.02	-704.70
	6 8	-141.75	-162.81	-189.54	-240.10	-289.17	-381.51	-799.47
	6 9	-220.86	-249.80	-291.60	-373.44	-451.89	-595.35	-845.64
その他	7 0	-332.64	-427.19	-558.90	-767.10	-1024.62	-1550.34	-2289.06
	7 1	-281.07	-332.42	-405.81	-555.69	-773.49	-1236.87	-2140.83

表4-3 (b) トラス斜材 応力

単位 (Kgf)

		965 Kgf (L/720)	1100 Kgf (L/480)	1340 Kgf (L/360)	1735 Kgf (L/240)	2235 Kgf (L/180)	3275 Kgf (L/120)	5330 Kgf 39.91mm
支 点 1	7 2	-332.10	-387.34	-481.14	-632.98	-815.55	-1227.15	-2070.36
	7 3	-270.00	-304.72	-381.51	-501.91	-638.44	-940.41	-1603.80
	7 4	196.98	202.24	198.40	194.58	211.57	272.00	464.00
	7 5	-125.82	-118.58	-150.66	-203.65	-235.90	-354.78	-673.11
	7 6	-99.09	-110.81	-157.95	-205.92	-283.94	-430.11	-658.53
支 点 2	7 7	-404.46	-459.76	-580.77	-766.31	-1000.60	-1472.58	-2624.40
	7 8	-255.42	-287.71	-366.93	-472.60	-607.41	-855.36	-1290.33
	7 9	142.58	150.40	105.60	21.78	6.15	19.20	195.20
	8 0	215.47	283.52	355.20	575.79	808.12	-969.57	-1292.76
	8 1	155.38	161.92	179.20	390.40	639.75	912.00	1273.60
	8 2	117.69	135.04	160.00	91.97	153.23	288.00	540.80
	8 3	-166.59	-213.84	-233.28	-207.88	-254.31	-340.20	-714.42
	8 4	85.69	96.00	80.00	143.59	175.88	144.00	361.60
載 荷 点	8 5	-420.39	-494.26	-602.64	-827.38	-1063.12	-1577.07	-3086.10
	8 6	-355.86	-420.88	-510.30	-686.75	-854.61	-1180.98	-1516.32
	8 7	-293.22	-354.29	-420.39	-535.62	-679.65	-972.00	-1815.21
	8 8	-307.26	-371.30	-447.12	-569.64	-718.63	-1003.59	-1385.10
	9 1	-406.89	-455.87	-588.06	-781.21	-1058.27	-1598.94	-2196.72
	9 2	-335.07	-377.62	-483.57	-640.42	-859.19	-1302.48	-2466.45
	9 3	-308.34	-361.58	-437.40	-545.50	-691.71	-935.55	-772.74
	9 4	-605.07	-733.86	-899.10	-1124.07	-1470.62	-2257.47	-4514.94
	8 9	-68.85	-99.14	-138.51	-174.33	-228.05	-313.47	-597.78
	9 0	108.80	124.16	150.40	113.76	201.11	380.80	441.60
支 点 4	9 5	-319.95	-360.13	-444.69	-574.66	-750.03	-1110.51	-1888.11
	9 6	-302.94	-350.41	-439.83	-567.68	-757.23	-1115.37	-1718.01
支 点 3	9 7	-291.33	-330.48	-398.52	-504.50	-616.57	-869.94	-1270.89
	9 8	-346.68	-410.67	-510.30	-686.28	-900.32	-1343.79	-2383.83

表4-3 (c) トラス下弦材の応力

単位 (Kgf)

		965. Kgf (L/720)	1100 Kgf (L/480)	1340 Kgf (L/360)	1735Kgf (L/240)	2235 Kgf (L/180)	3275 Kgf (L/120)	5330 Kgf 39.91 mm
支 点 1	99	31.29	31.36	48.00	73.19	98.83	124.80	153.60
	100	8.89	5.12	16.00	6.19	6.15	-14.58	-26.73
	104	18.49	12.80	16.00	-2.27	6.52	-7.29	28.80
	105	24.89	16.00	12.80	16.00	38.28	57.60	76.80
支 点 2	102	30.58	34.56	25.60	22.40	12.55	12.80	64.00
	103	40.89	49.92	38.40	70.40	66.71	80.00	259.20
	107	37.69	53.12	38.40	48.21	47.75	38.40	16.00
	108	20.98	34.56	25.60	48.00	66.83	70.40	105.60
支 点 4	113	22.40	40.96	48.00	44.80	44.55	51.20	131.20
	114	21.69	21.76	16.00	22.40	6.28	0.00	96.00
	117	18.49	34.56	38.40	48.00	51.08	96.00	188.80
	118	12.80	28.16	28.80	35.20	34.95	80.00	220.80
支 点 3	115	25.60	32.00	38.40	44.80	79.88	92.80	67.20
	116	-0.54	-2.43	-12.15	-9.88	0.00	-21.87	-92.34
	119	-7.83	-11.66	-14.58	-26.57	-21.78	-4.86	9.60
	120	15.29	22.40	41.60	48.00	89.48	172.80	249.60
そ の 他	101	129.78	136.96	137.60	118.61	115.45	147.20	364.80
	106	79.29	107.52	121.60	112.62	71.14	67.20	236.80
	109	79.29	114.56	86.40	140.80	156.31	246.40	291.20
	110	301.87	477.44	515.20	696.98	854.03	1100.80	1603.20
	111	62.58	51.84	51.20	-39.19	-12.71	67.20	339.20
	112	173.16	210.56	288.00	441.60	581.66	924.80	1513.60

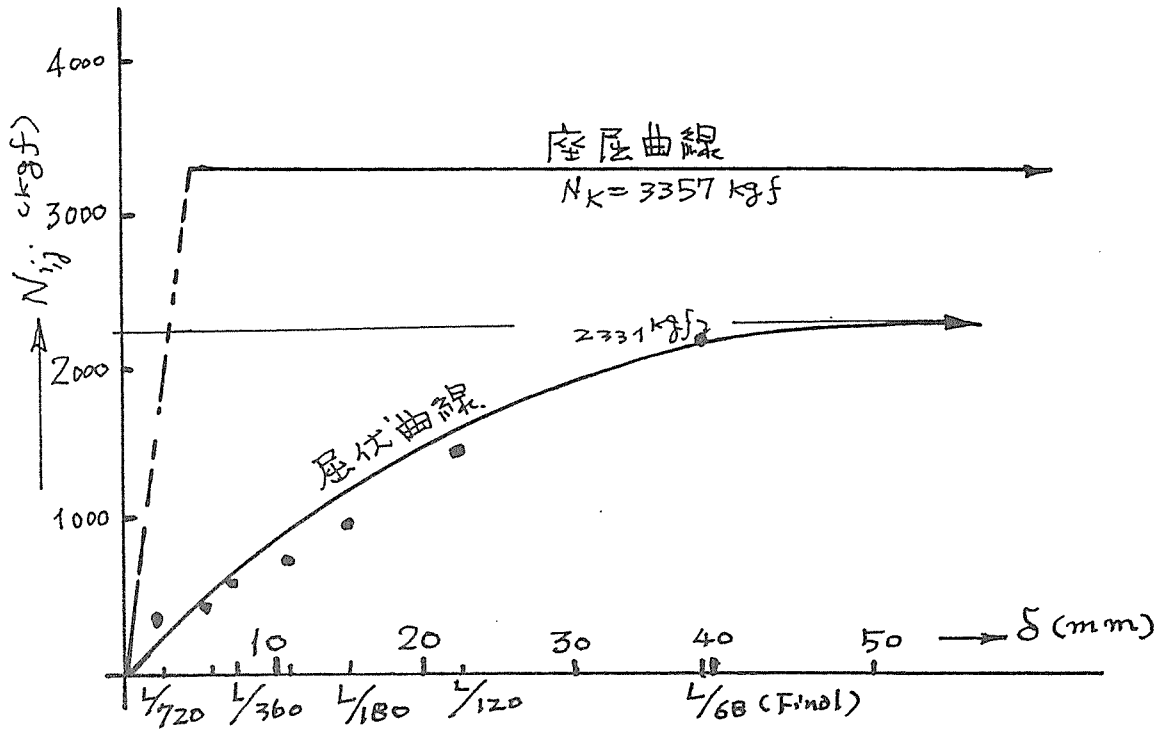


図5-1 トラス部材①⑧の推定屈伏曲線

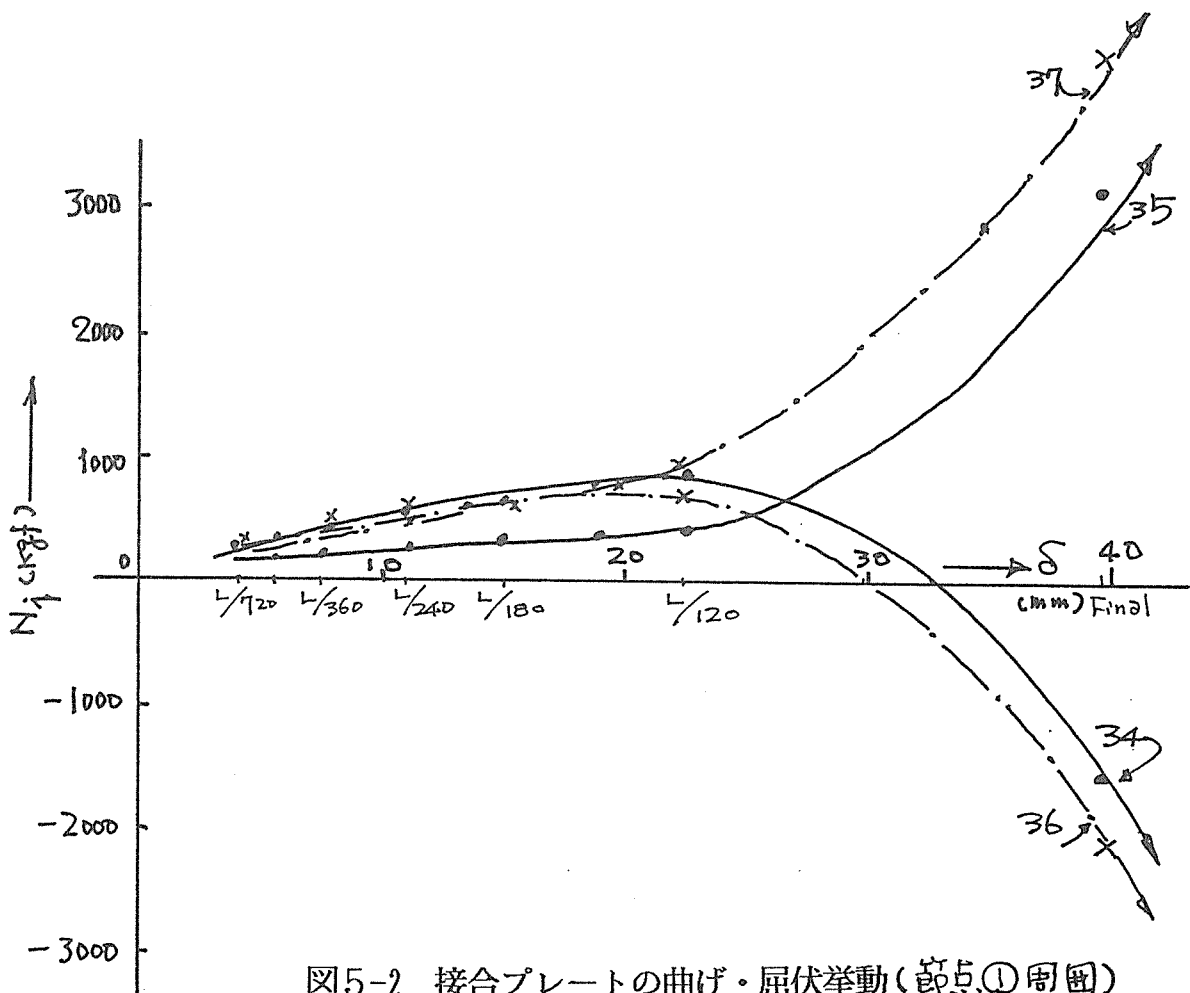
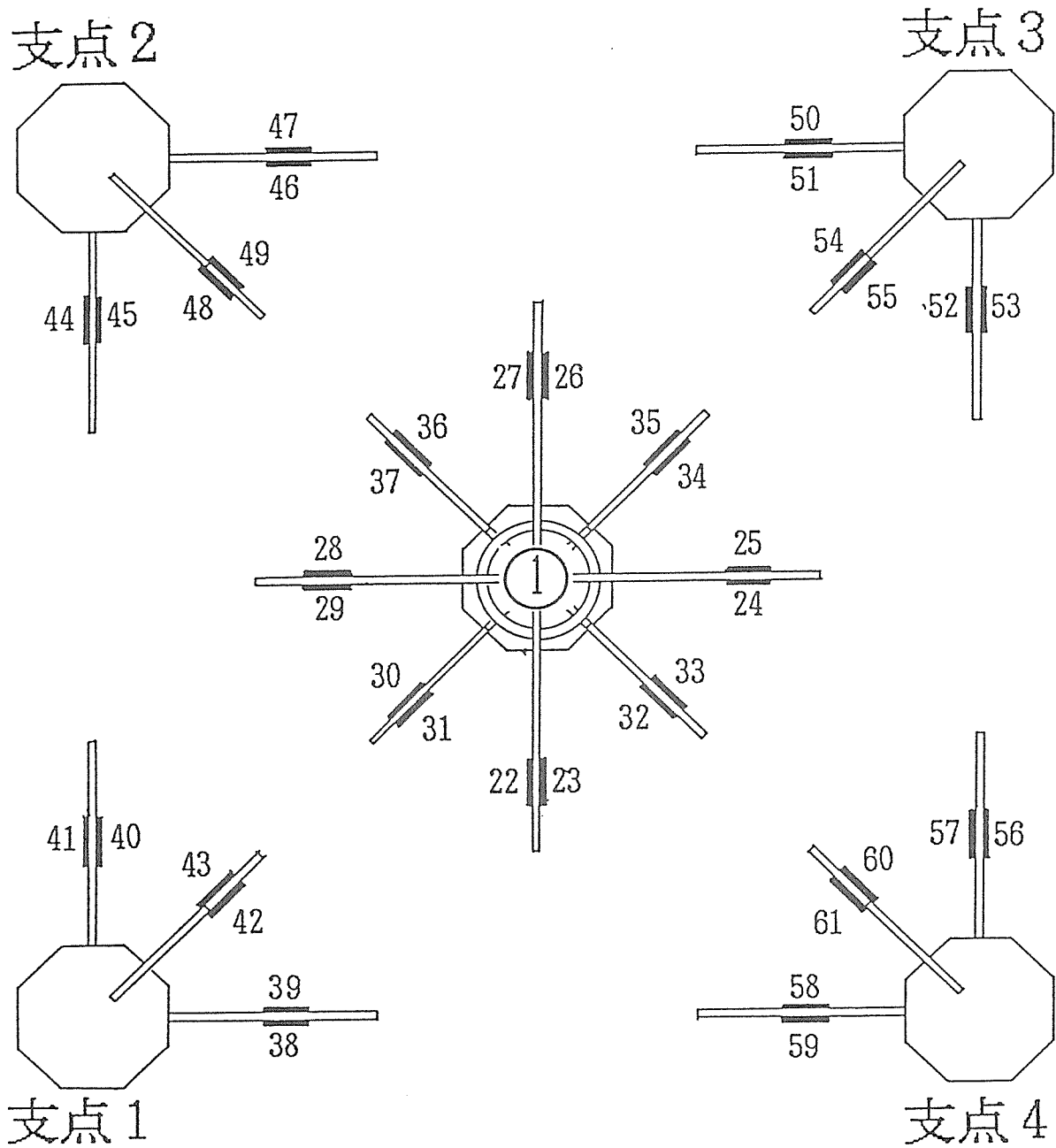
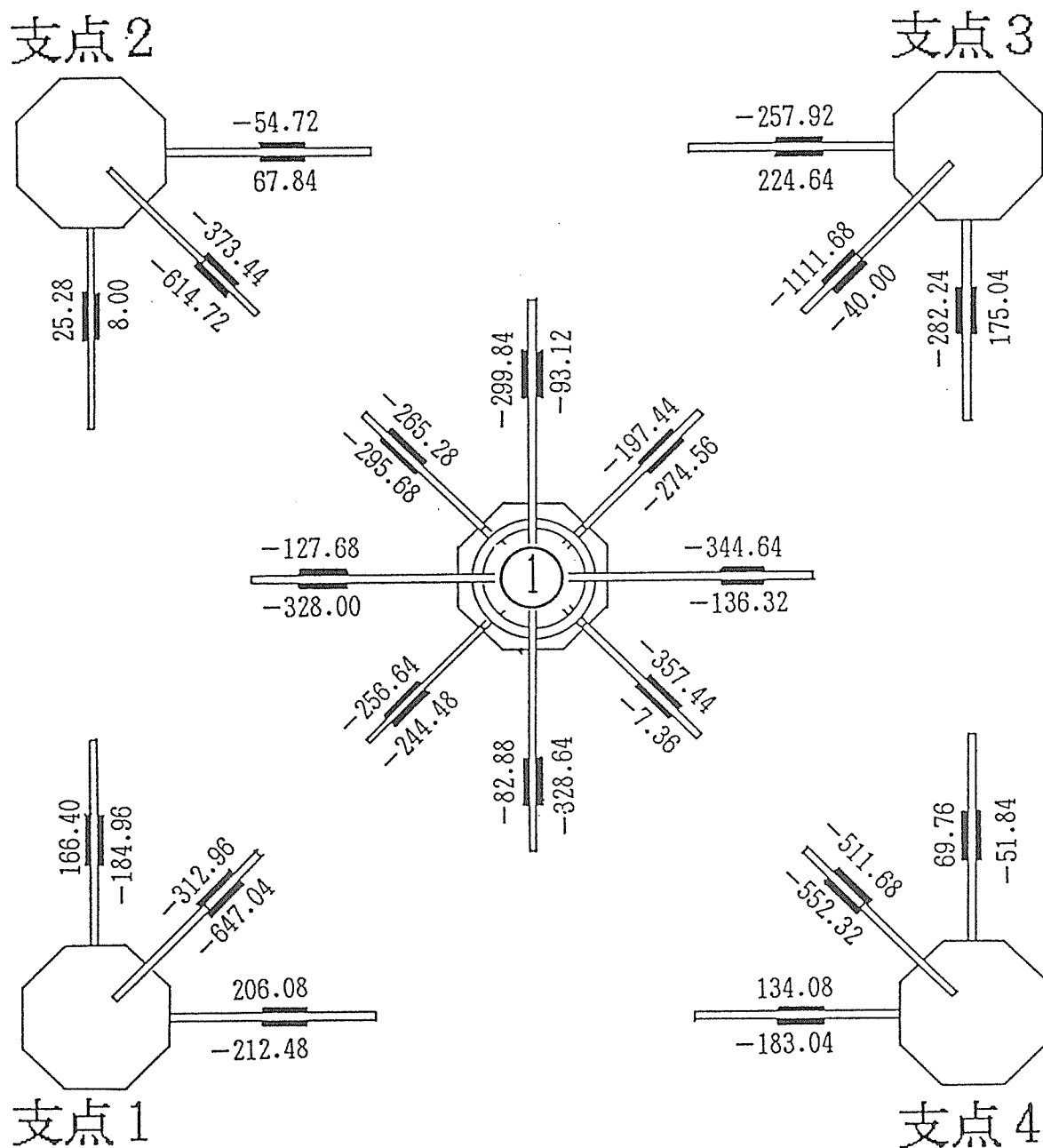


図5-2 接合プレートの曲げ・屈伏挙動(節点①周囲)



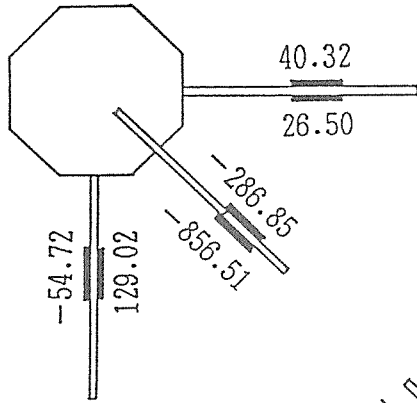
付図1-1, 歪みゲージ貼付位置および番号
 (載荷点①、支点1~4のCRJ節点の接合プレート)



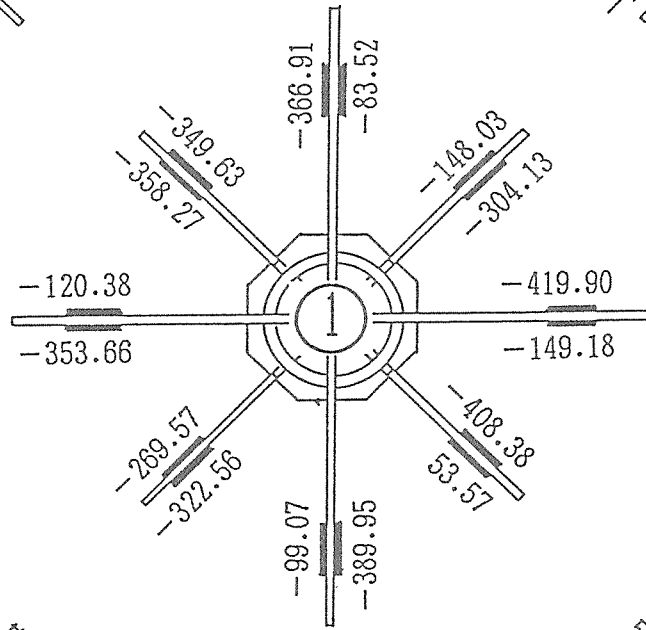
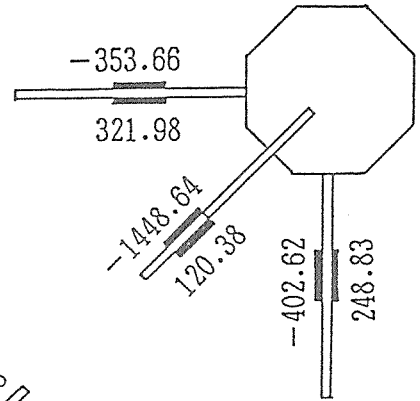
(1) 965 Kg f (L/720)

付図1-2, 載荷点①、支點1~4のCRJ節点の接合プレートの応力(kgf)

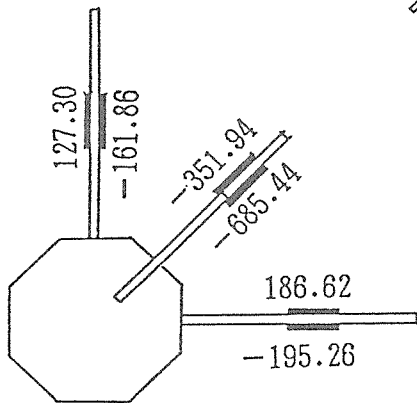
支点 2



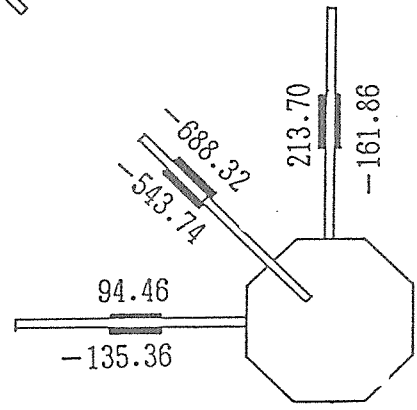
支点 3



支点 1

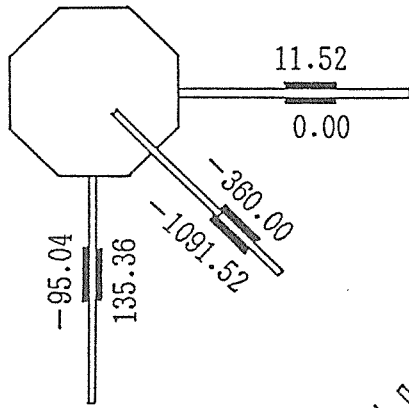


支点 4

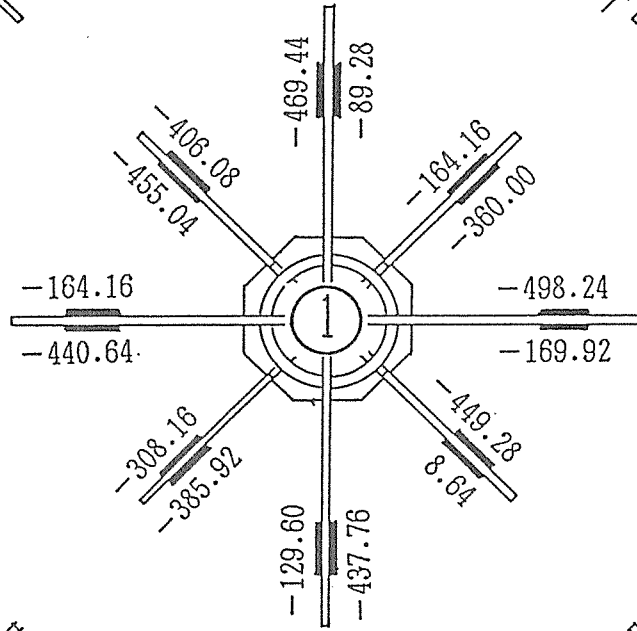
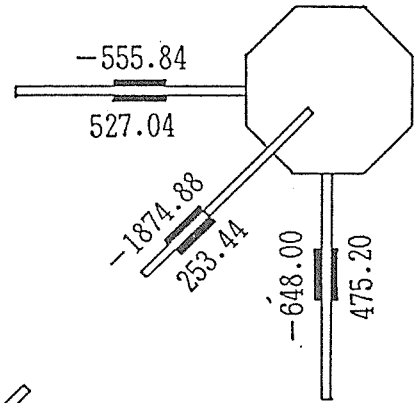


付图 1-2, (2) 1100 Kgf (L/480)

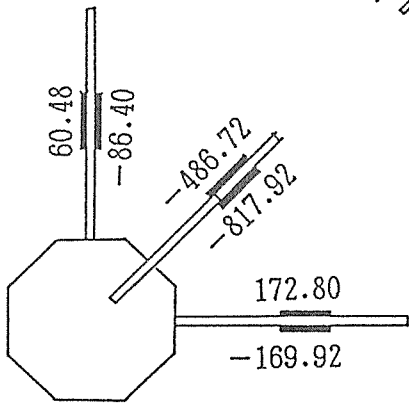
支点 2



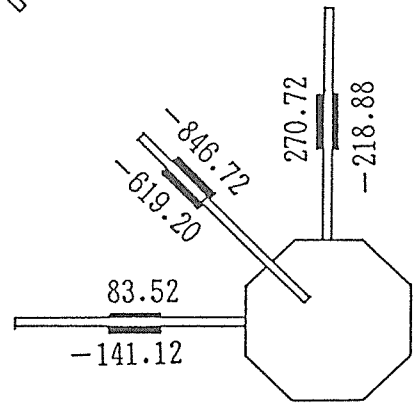
支点 3



支点 1

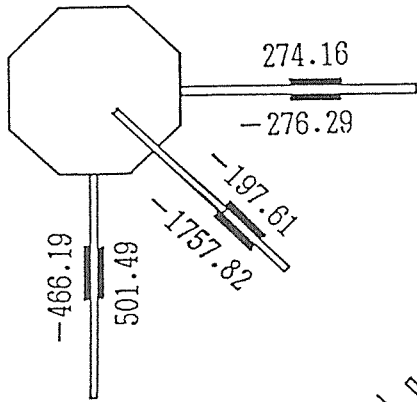


支点 4

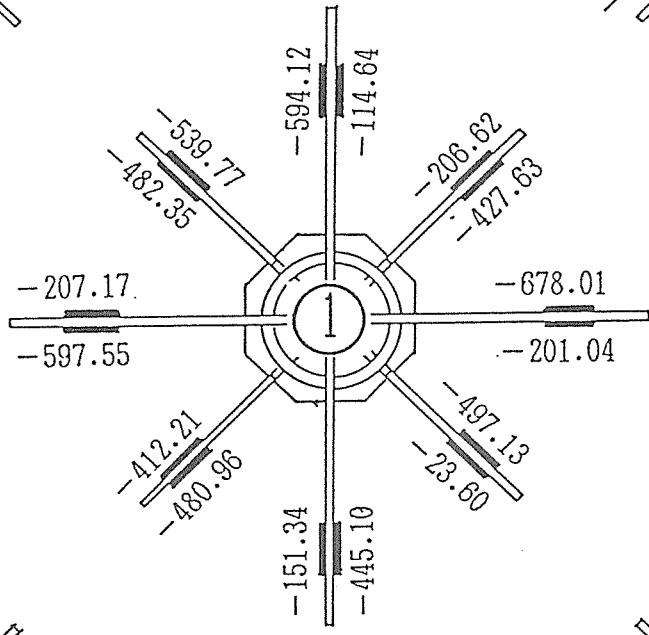
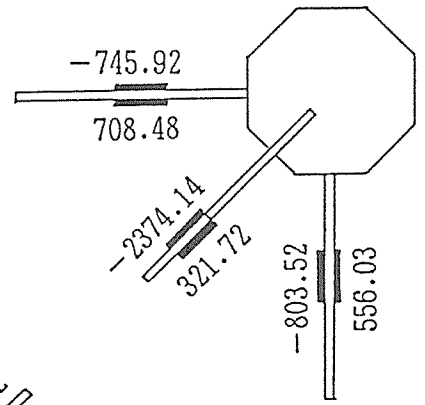


付图 1-2, (3) 1340 Kg (L/360)

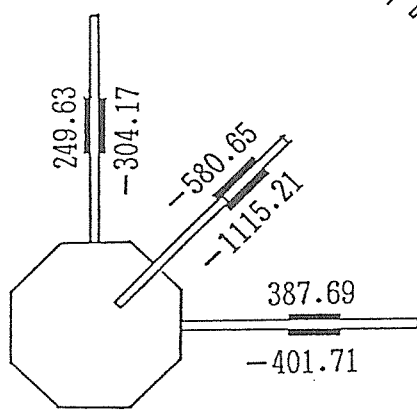
支点 2



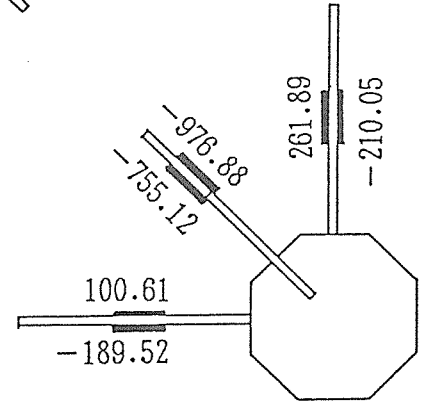
支点 3



支点 1

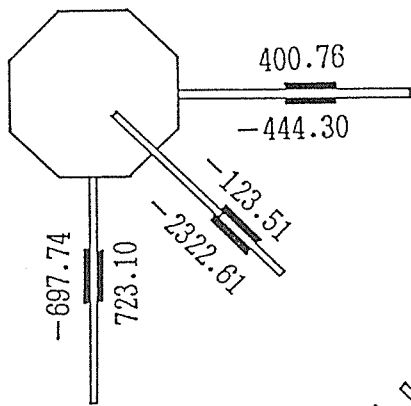


支点 4

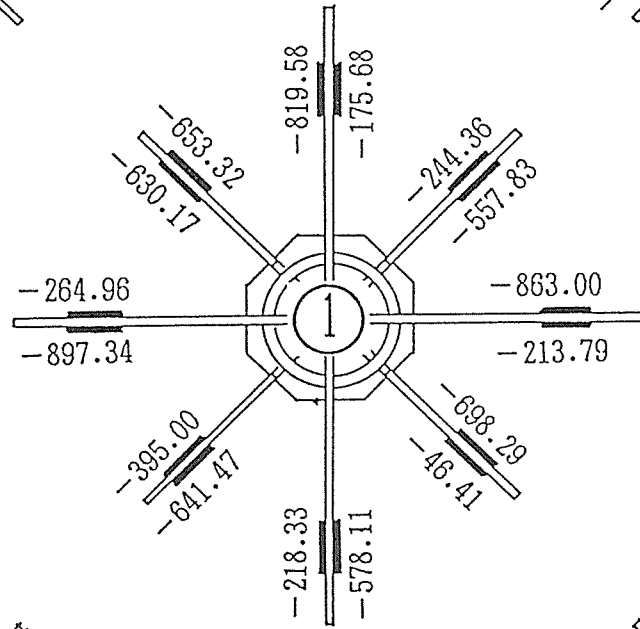
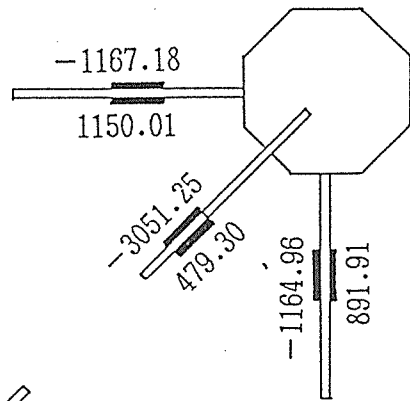


付图 1-2, (4) 1735 Kgf (L/240)

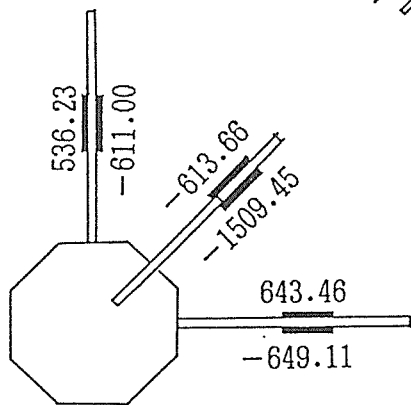
支点 2



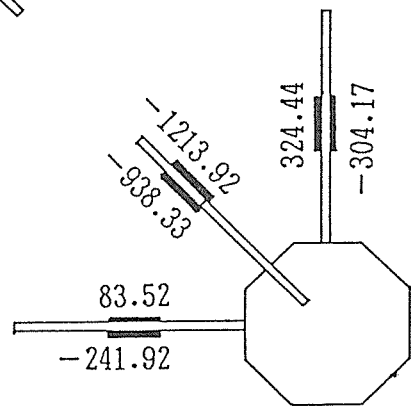
支点 3



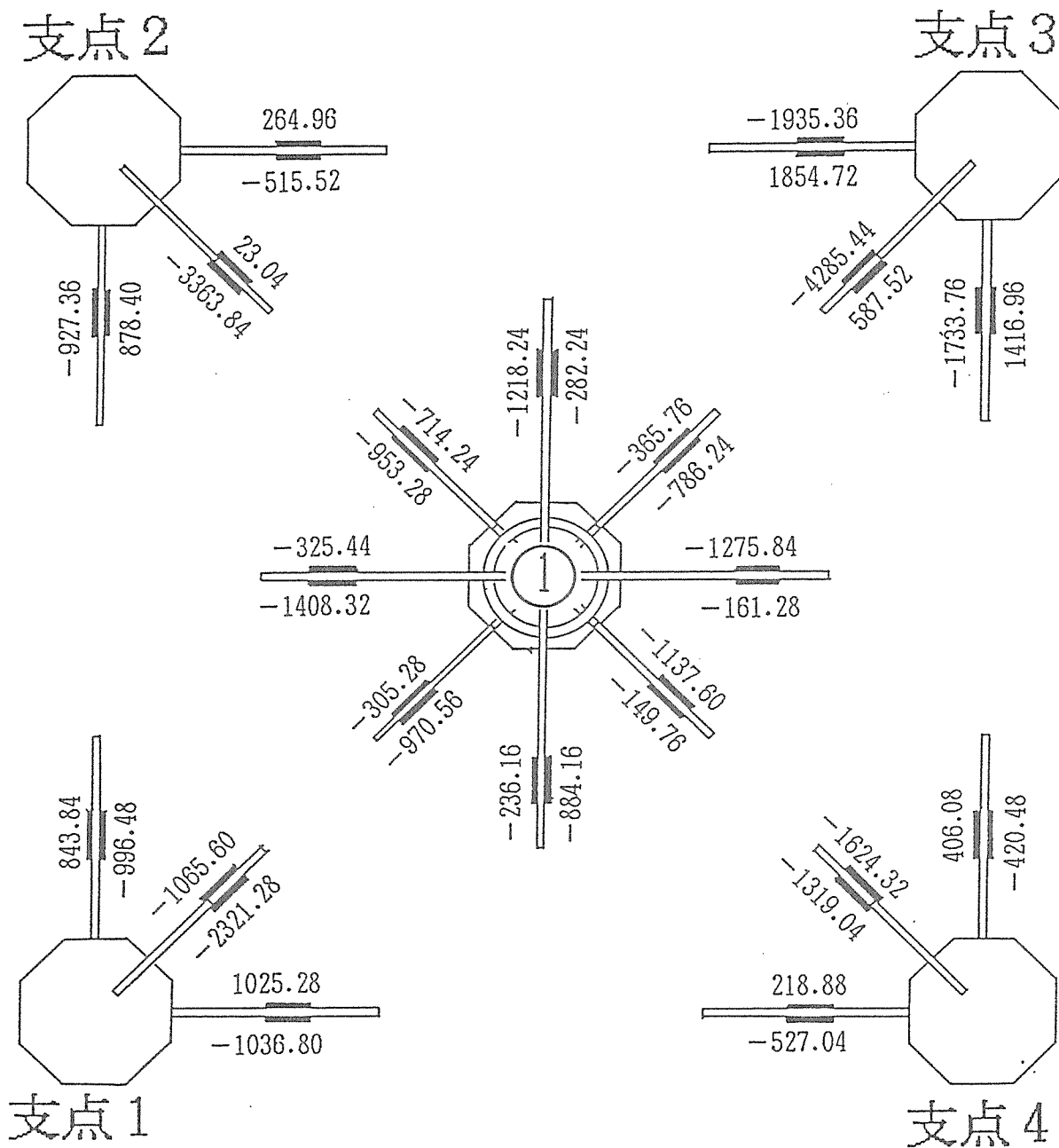
支点 1



支点 4

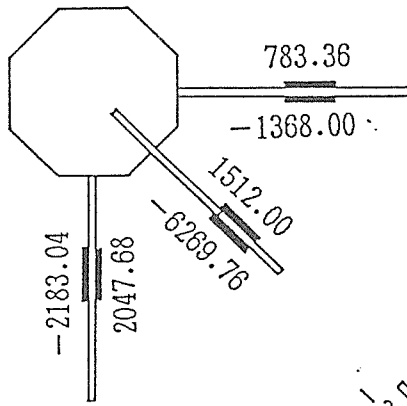


付图 1-2, (5) 2235 Kg (L/180)

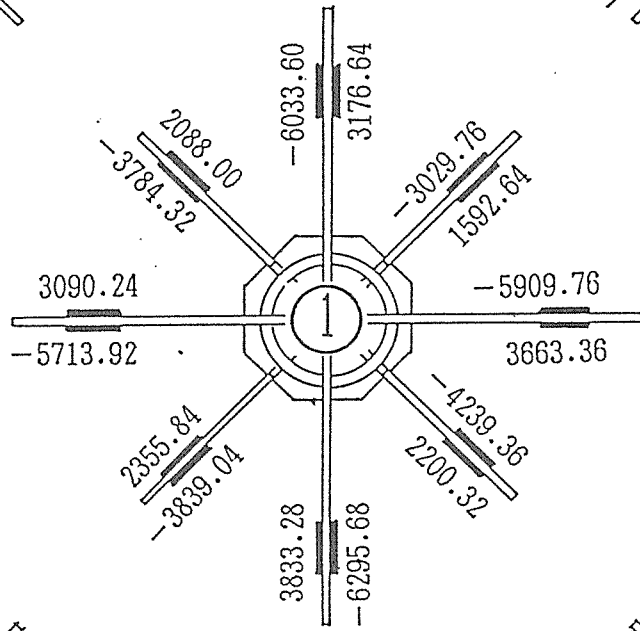
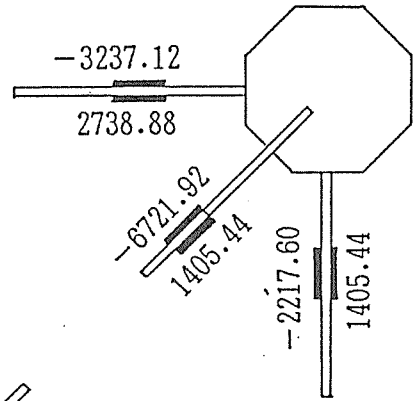


付圖 1 - 2, (6) 3275 Kg (L/120)

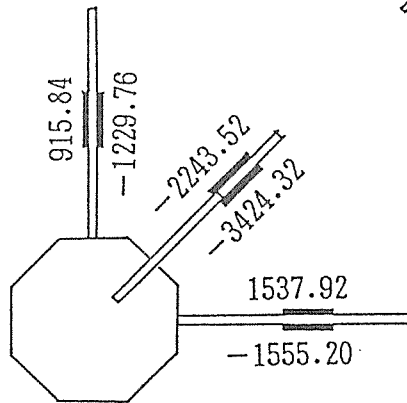
支点2



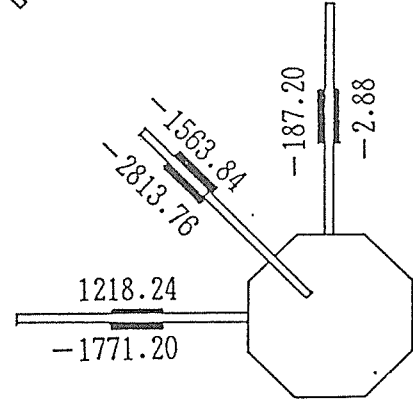
支点3



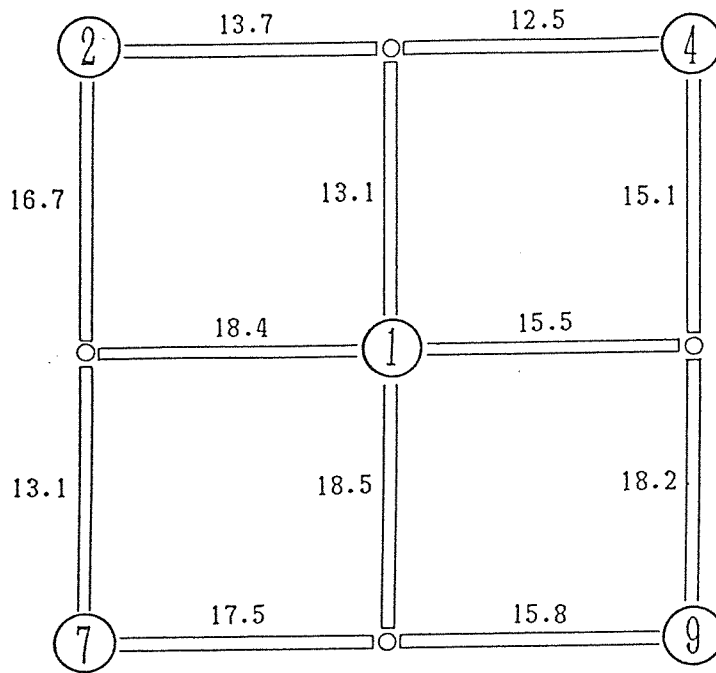
支点1



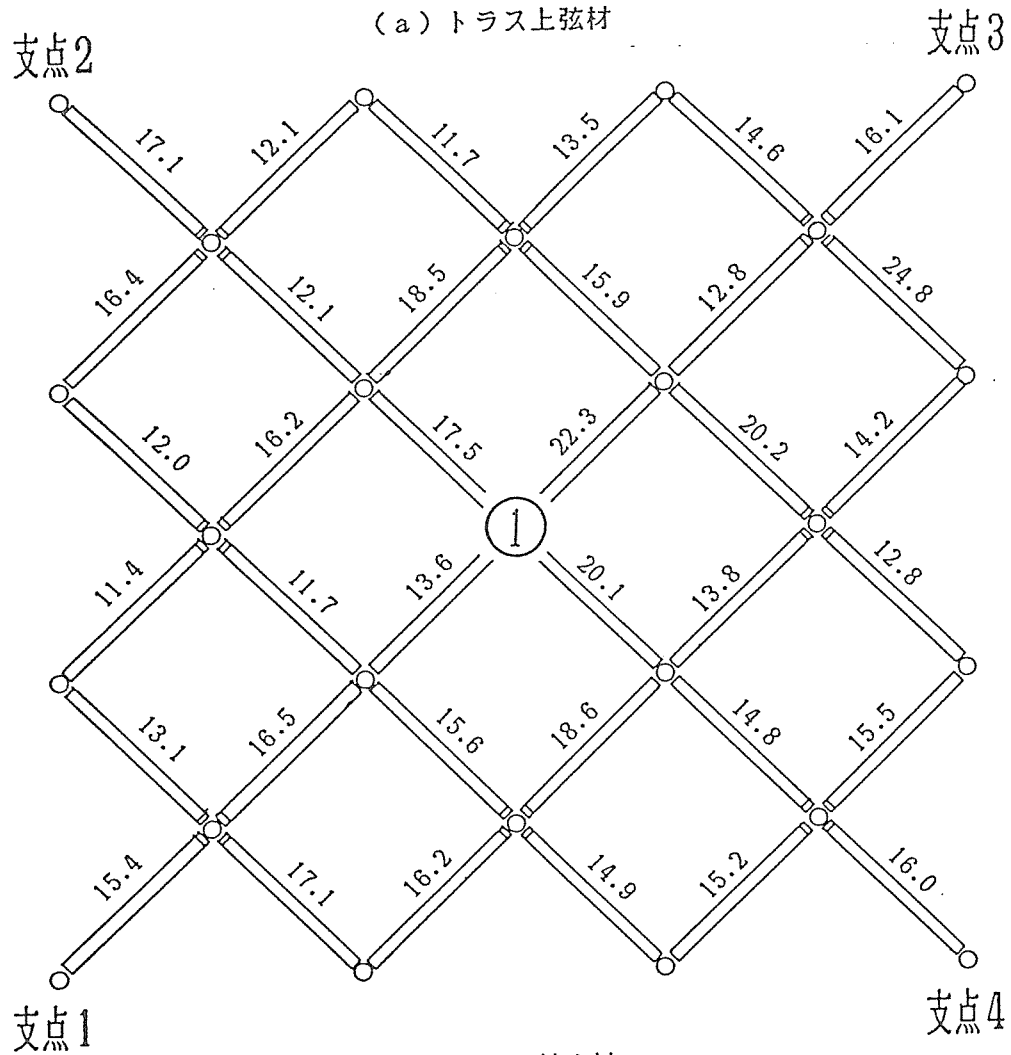
支点4



付图1-2, (7) 5330 Kg 39.91mm

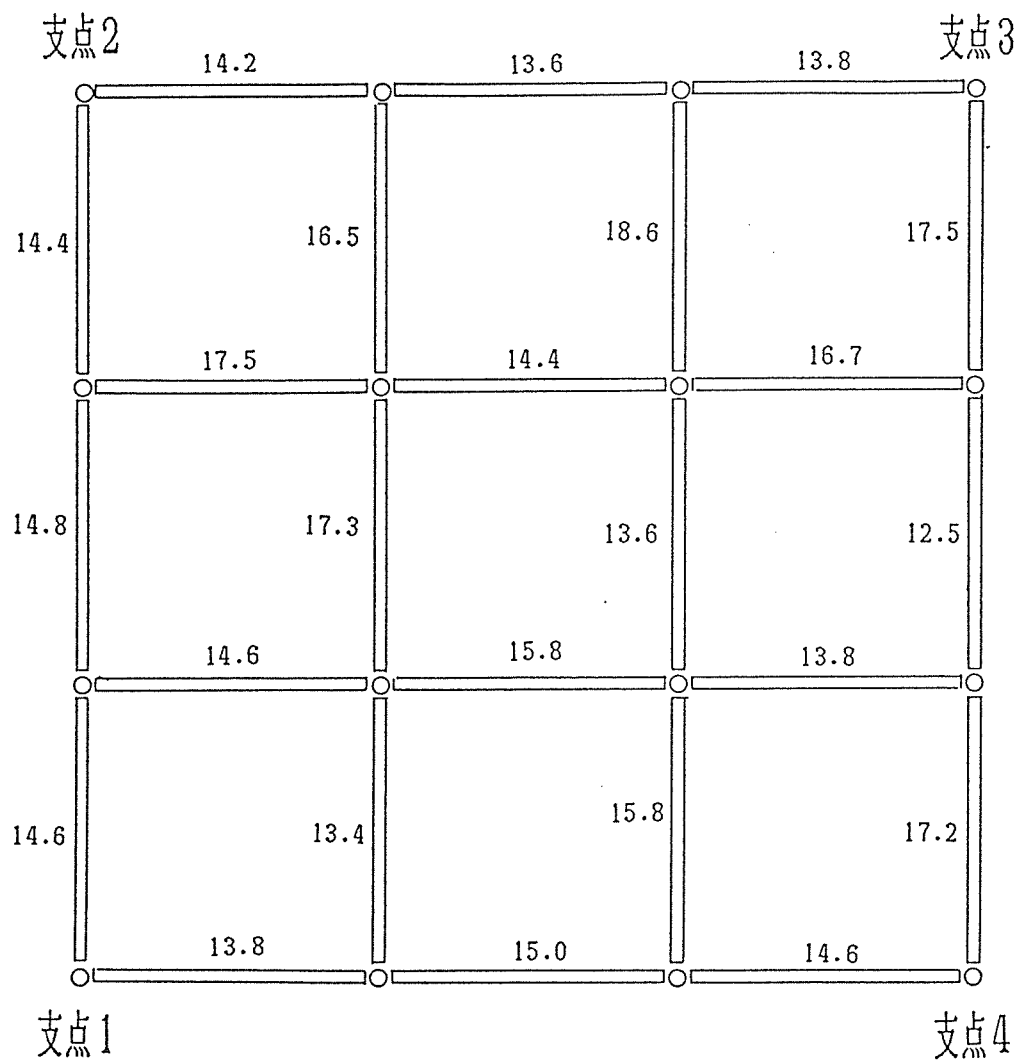


(a) トラス上弦材



(b) トラス斜め材

付図2. 含水率(トラス部材)



(c) トラス下弦材

付図2. 含水率 (トラス部材)

表5-1 代表的部材の荷重分担率(%)

P ₁ (kgf) ⇨		965	1100	1340	1735	2235	3275	5330
部材	ゲージ番号	L/720	L/480	L/360	L/240	L/180	L/120	39.9mm
①⑬	87.88	-31.1	-33.0	-32.4	-31.9	-31.3	-30.15	-30.0
①⑰	85.86	-40.2	-41.6	-41.7	-43.5	-42.9	-42.1	-43.1
①⑱	91.92	-38.5	-37.5	-40.0	-40.9	-42.8	-44.3	-43.7

付 表

付表1 載荷点①、支点1~4のCRJ節点の接合プレートの応力 単位 (Kgf)

		965 Kgf (L/720)	1100 Kgf (L/480)	1340 Kgf (L/360)	1735 Kgf (L/240)	2235 Kgf (L/180)	3275 Kgf (L/120)	5330 Kgf 39.91 mm
水平 プレート	2 2	-82.88	-99.07	-129.60	-151.34	-218.33	-236.16	3833.28
	2 3	-328.64	-389.95	-437.76	-445.10	-578.11	-884.16	-6295.68
	2 4	-136.32	-149.18	-169.92	-201.04	-213.79	-161.28	3663.36
	2 5	-344.64	-419.90	-498.24	-678.01	-863.00	-1275.84	-5909.76
	2 6	-93.12	-83.52	-89.28	-114.64	-175.68	-282.24	3176.64
	2 7	-299.84	-366.91	-469.44	-594.12	-819.58	-1218.24	-6033.60
	2 8	-127.68	-120.38	-164.16	-207.17	-264.96	-325.44	3090.24
	2 9	-328.00	-353.66	-440.64	-597.55	-897.34	-1408.32	-5713.92
	斜め プレート	3 0	-256.64	-269.57	-308.16	-412.21	-395.00	-305.28
3 1		-244.48	-322.56	-385.92	-480.96	-641.47	-970.56	-3839.04
3 2		-7.36	53.57	8.64	-23.60	-46.41	-149.76	2200.32
3 3		-357.44	-408.38	-449.28	-497.13	-698.29	-1137.60	-4239.36
3 4		-274.56	-304.13	-360.00	-427.63	-557.83	-786.24	1592.64
3 5		-197.44	-148.03	-164.16	-206.62	-244.36	-365.76	-3029.76
3 6		-265.28	-349.63	-406.08	-539.77	-653.32	-714.24	2088.00
3 7		-295.68	-358.27	-455.04	-482.35	-630.17	-953.28	-3784.32

付表1 各CRJ節点の接合プレートの応力 (続、支点部)

単位 (Kgf)

		965 Kgf (L/720)	1100 Kgf (L/480)	1340 Kgf (L/360)	1735 Kgf (L/240)	2235 Kgf (L/180)	3275 Kgf (L/120)	5330 Kgf 39.91 mm
支 点 1	38	-212.48	-195.26	-169.92	-401.71	-649.11	-1036.80	-1555.20
	39	206.08	186.62	172.80	387.69	643.46	1025.28	1537.92
	40	-184.96	-161.86	-86.40	-304.17	-611.00	-996.48	-1229.76
	41	166.40	127.30	60.48	249.63	536.23	843.84	915.84
	42	-647.04	-685.44	-817.92	-1115.21	-1509.45	-2321.28	-3424.32
	43	-312.96	-351.94	-486.72	-580.65	-613.66	-1065.60	-2243.52
支 点 2	44	25.28	-54.72	-95.04	-466.19	-697.74	-927.36	-2183.04
	45	8.00	129.02	135.36	501.49	723.10	878.40	2047.68
	46	67.84	26.50	0.00	-276.29	-444.30	-515.52	-1368.00
	47	-54.72	40.32	11.52	274.16	400.76	264.96	783.36
	48	-614.72	-856.51	-1091.52	-1757.82	-2322.61	-3363.84	-6269.76
	49	-373.44	-286.85	-360.00	-197.61	-123.51	23.04	1512.00
支 点 3	50	-257.92	-353.66	-555.84	-745.92	-1167.18	-1935.36	-3237.12
	51	224.64	321.98	527.04	708.48	1150.01	1854.72	2738.88
	52	-282.24	-402.62	-648.00	-803.52	-1164.96	-1733.76	-2217.60
	53	175.04	248.83	475.20	556.03	891.91	1416.96	1405.44
	54	-1111.68	-1448.64	-1874.88	-2374.14	-3051.25	-4285.44	-6721.92
	55	-40.00	120.38	253.44	321.72	479.30	587.52	1405.44
支 点 4	56	-51.84	-161.86	-218.88	-210.05	-304.17	-420.48	-2.88
	57	69.76	213.70	270.72	261.89	324.44	406.08	-187.20
	58	134.08	94.46	83.52	100.61	83.52	218.88	1218.24
	59	-183.04	-135.36	-141.12	-189.52	-241.92	-527.04	-1771.20
	60	-511.68	-688.32	-846.72	-976.88	-1213.92	-1624.32	-1563.84
	61	-552.32	-543.74	-619.20	-755.12	-938.33	-1319.04	-2813.76

付表2 (a) 設定変位による履歴ループの残留変位
(第一サイクル)

単位 (mm)

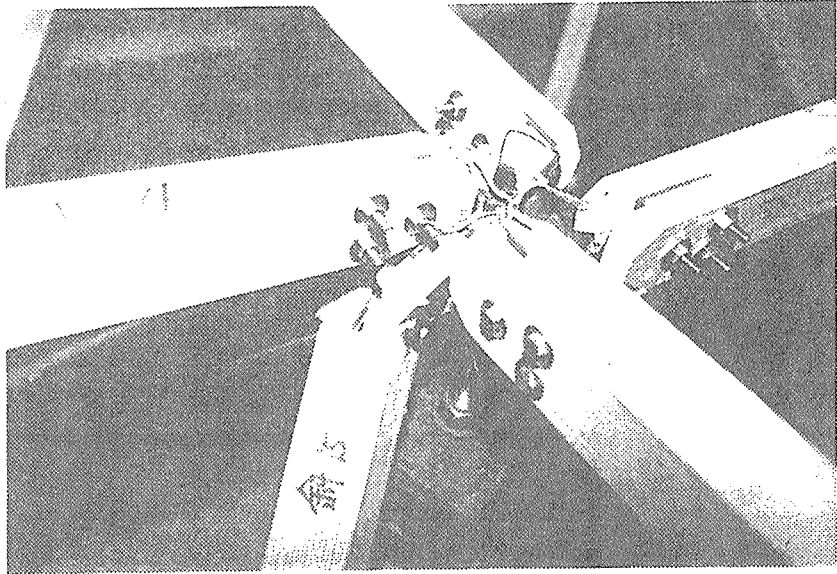
	1 振幅目 (L/720)	2 振幅目 (L/480)	3 振幅目 (L/360)	4 振幅目 (L/240)	5 振幅目 (L/180)	6 振幅目 (L/120)	
上 弦 材 変 位	変位No.1	2.37	3.95	5.37	8.42	11.22	16.63
	変位No.2	0.79	1.51	2.23	3.03	3.95	6.23
	変位No.4	0.76	1.39	1.94	2.83	3.92	6.49
	変位No.7	0.59	1.18	1.50	2.19	3.27	4.90
	変位No.9	1.10	1.68	2.08	3.44	4.36	6.03
	変位No.3	1.45	2.57	3.82	5.60	7.38	11.10
	変位No.5	1.26	2.29	3.07	4.62	6.42	9.74
	変位No.6	1.79	3.05	4.31	5.95	7.79	11.09
下 弦 材 変 位	変位No.8	1.35	2.34	3.09	5.12	7.36	9.84
	変位No.10	0.97	2.06	3.28	3.76	4.73	7.61
	変位No.11	0.89	1.70	2.60	3.43	4.50	7.52
	変位No.12	0.61	1.36	1.77	2.82	3.95	6.41
	変位No.15	1.32	2.21	2.71	3.64	4.58	7.48
	変位No.16	0.53	1.03	1.49	2.39	3.72	6.03
	変位No.19	1.54	2.19	2.69	4.10	5.32	7.40
	変位No.20	0.85	1.50	1.72	3.15	4.62	6.42
	変位No.21	1.04	1.37	1.85	3.69	4.96	6.63
	変位No.13	1.48	2.69	3.86	6.21	8.28	12.57
	変位No.14	1.88	3.24	4.58	6.71	8.99	13.40
	変位No.17	1.24	2.32	3.19	5.58	8.13	11.84
変位No.18	1.86	3.09	4.11	7.15	9.38	13.12	

付表2 (b) 設定変位による履歴ループの残留変位

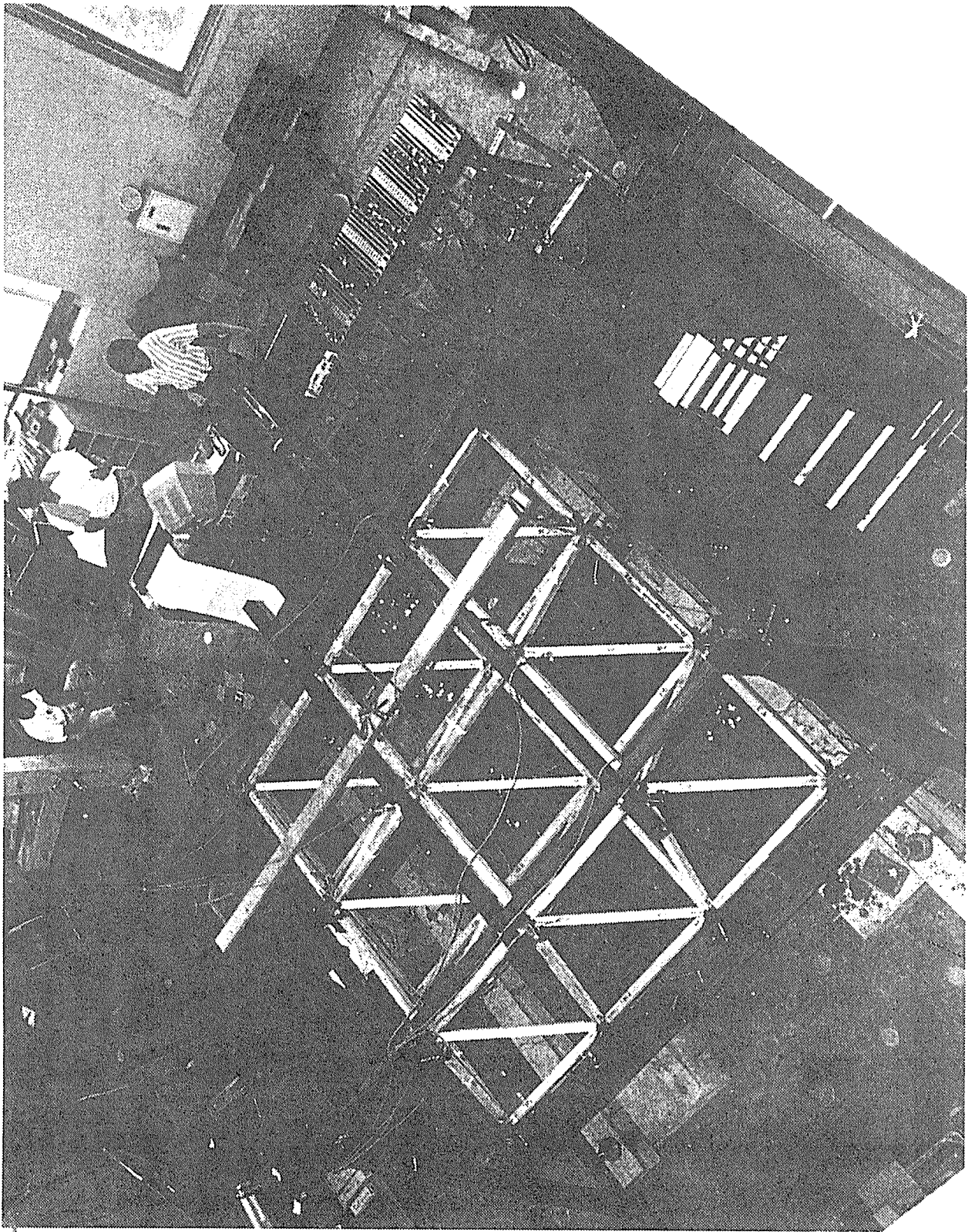
(第二サイクル)

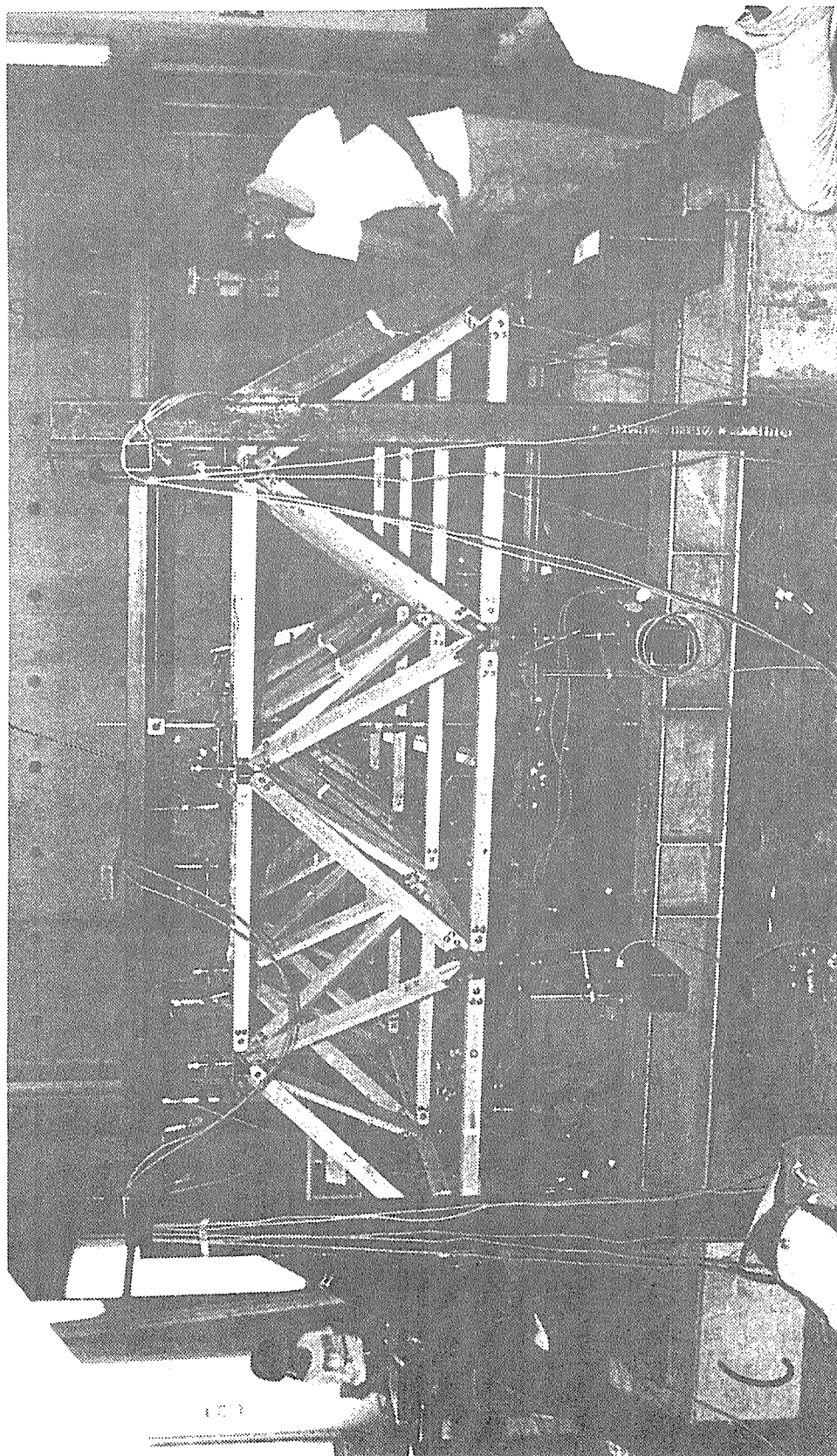
単位 (mm)

	1 振幅目 (L/720)	2 振幅目 (L/480)	3 振幅目 (L/360)	4 振幅目 (L/240)	5 振幅目 (L/180)	6 振幅目 (L/120)	
上 弦 材 変 位	変位No.1	2.37	4.01	5.44	8.47	11.30	16.80
	変位No.2	0.82	1.53	2.23	3.06	3.96	6.31
	変位No.4	0.80	1.42	1.98	2.87	3.98	6.57
	変位No.7	0.59	1.16	1.50	2.18	3.26	4.98
	変位No.9	1.11	1.69	2.09	3.44	4.35	6.11
	変位No.3	1.49	2.60	3.84	5.64	7.43	11.22
	変位No.5	1.28	2.31	3.07	4.64	6.42	9.86
	変位No.6	1.82	3.08	4.35	5.97	7.81	11.19
下 弦 材 変 位	変位No.8	1.37	2.35	3.09	5.13	7.36	9.93
	変位No.10	1.01	2.08	3.29	3.81	4.77	7.70
	変位No.11	0.94	1.72	2.62	3.48	4.55	7.61
	変位No.12	0.63	1.37	1.76	2.85	3.96	6.49
	変位No.15	1.36	2.23	2.74	3.67	4.63	7.56
	変位No.16	0.53	1.05	1.49	2.40	3.72	6.15
	変位No.19	1.56	2.21	2.72	4.11	5.33	7.49
	変位No.20	0.86	1.52	1.72	3.15	4.61	6.47
	変位No.21	1.05	1.39	1.84	3.69	4.95	6.69
	変位No.13	1.50	2.70	3.90	6.25	8.32	12.70
	変位No.14	1.91	3.26	4.61	6.75	9.04	13.54
	変位No.17	1.25	2.34	3.19	5.60	8.12	11.94
変位No.18	1.88	3.11	4.12	7.17	9.37	13.23	



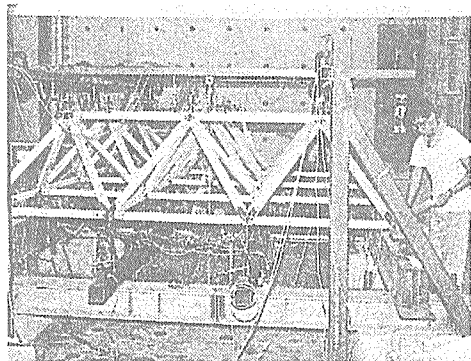
接点①の終局破壊状態





ピラミッド形骨組みと立体格子構造

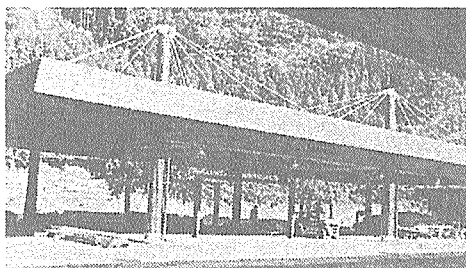
間伐材で「大屋根構築」



ピラミッド形骨組み

を木材に近付けたものだ。
積雪や台風、地震に耐える。
実験に使った部材は長さ四メートル、断面寸法九×九センチの米ツ方材。接合方法は部材地にスリットを入れてそこに接合金員のひねり（厚さ四センチ）の鋼板を挿入し、その箇所を四本のボルト三本で固定（全周接合）した。荷重テストは積雪や台風、地震などに耐える構造であることを確認。定方教授は「体育館のように柱のない構造の大屋根を構築するのは可能」としている。

大黒柱より屋根・木材保管庫



も一つの立体格子構造の屋根は五重塔と斜張橋のアイデア

アイデアは五重の塔

利用スペースは二五十七坪で柱数は八本。製品保管庫は屋根スペース十八坪、利用スペース二十八坪で柱は六本。見学者も訪れており、間伐材の需要喚起と併せて普及が期待されている。

ユニット単位でスペース展開 素材生かす構法に脚光

接合金具・円環継ぎ手利用
この技術は定方教授の「有効径二十センチ、長さ三十三センチ」



定方教授 豊城大工学部

これを元に東海産業技術振興財団や日本住宅木材技術センターの研究助成を受け、接合金具と併せて二種類の長さ八センチ

を取り入れた。五重塔は一本の大黒柱で支えられ、強風や大地震に耐えさせた。斜張橋は「

その梁を格子状に組み立てたものを一本の柱（マス）で斜張橋のようにケーブルで下げたものが一つの単位（ユニット）になっている。ユニットを前後・左右に組み合わせると柱の少ない広いスペースの建物が構築できる。

実用目的で建設された愛知県・東栄町のモデル棟の設計は同大学の遊園地助成教授が協力。モデル棟は林業センター（集会所）展示場と活動拠点施設、製材工場、木材保管庫の三棟で現在使用中。

林業センターは屋根全体のスペースが十八×三十坪あり、軒先三坪をとり、六本の柱で支えている。柱のない利用スペースは十二×二十四坪、製材工場は屋根スペース十八×六十三坪、

【名古屋】昭和二十五年以降に植林したのが国の山林で、とくに杉の間伐材に入っている。森林資源を守るための必要不可欠な手段だが、間伐材の需要喚起が課題。対策の一つは大きな問題になっている。間伐材は小径・短尺という制約がある。使途拡大の方法が模索されている。ところが、そうした折、豊橋技術科学大学の定方教授らの研究グループが開発した大屋根構造が間伐材を構造物として活用する道を開くものとして脚光を浴びている。金具を用いて小径・短尺部材を組み合わせた方法で、ピラミッド形の骨組みを構築したもので、立体格子構造の梁（はり）を二つがすでに研究室レベルの実験をクリア。林野庁の助成で愛知県・東栄町に立体格子構造の架物モデル棟が完成しており、普及が期待されている。

の小径・短尺材を構造物として使えばトラス構造が有効」という考え方を述べている。トラス構造では主として材断面の応力が作用し、曲げモーメントの影響が小さいので節材の低い間伐材が適している。その場合、素材のまま使う方法で、積層材または集成材に加工して使う方法があるが、定方教授らは加工が簡単な素材のまま使う方法を採用。

「これを元に東海産業技術振興財団や日本住宅木材技術センターの研究助成を受け、接合金具と併せて二種類の長さ八センチ

をとり入れた。五重塔は一本の大黒柱で支えられ、強風や大地震に耐えさせた。斜張橋は「

その梁を格子状に組み立てたものを一本の柱（マス）で斜張橋のようにケーブルで下げたものが一つの単位（ユニット）になっている。ユニットを前後・左右に組み合わせると柱の少ない広いスペースの建物が構築できる。

実用目的で建設された愛知県・東栄町のモデル棟の設計は同大学の遊園地助成教授が協力。モデル棟は林業センター（集会所）展示場と活動拠点施設、製材工場、木材保管庫の三棟で現在使用中。

林業センターは屋根全体のスペースが十八×三十坪あり、軒先三坪をとり、六本の柱で支えている。柱のない利用スペースは十二×二十四坪、製材工場は屋根スペース十八×六十三坪、

先端技術

第3章 水平構面の設計法について

1. はじめに

ここ数年来、各地において国産芯持小径材を利用した集会場、多目的ホール、研修所等の木造施設が建設されてきた。これらの建物の大部分は、国産材の利用を推進する事業等の助成金によっており、建物のコストは、意匠に重点を置いていること、経験の少ない構法を採用していること等があって、他材料によった場合と比べて割高となっている。これらの経験と実績を基として、国産材を利用した木造建築の建設が、これから一層進展することが期待されているが、これからの建設に当たっては多くの助成金は望めないで、建築コストを下げるために、構造的・施工的により合理性の高い構法を考える必要がある。

また、これ迄に建てられた公共・福祉施設等は、建築市場全体から見れば非常に小さい市場しかなく、国産材の本格的な利用を図るためには、より市場の大きい商工業用建築等を狙う必要がある。商工業建築の設計では意匠よりも構法が重要である。

これ迄に設計された建物の構造を見ると、地震や風圧力等の水平力に対する抵抗要素としては、トラス、ラーメン、壁式と一応の構造形式が出そろっており、建築用途や意匠に応じた選択がされているように思われるが、水平構面については各種各様で、必ずしも規模や構造に応じて設計されているとは云い難い。ここでは、国産芯持材を利用した木造建築の水平構面を設計する際の一つの指針となるべく、採り得る水平構面の構造形式とそのメカニズムについて整理し、構造計算法を提案した。

2. 水平構面の構造形式

国産芯持材を利用する・しないに拘らず、木構造の水平構面の構造形式として次がある（図1参照）

- (1) 鉄筋ブレース
- (2) 木材ブレース
- (3) 立体トラス
- (4) 製材板平行張り

(5) 製材板斜め張り

(6) 面材張りダイアフラム

以上の中で(1)～(3)はいずれもトラスであり、基本的には同じ構造である。また(1)と(2)の違いは、引張・圧縮に対して利く(木材ブレース)か、引張に対してのみ利く(鉄筋ブレース)かの違いである。これらのトラス構造では屋根・床下地として、さらに製材あるいは面材を張る必要がある。

(4)の製材板平行張りは、強度・剛性が低い。この水平構面の形式は、特に水平構面の耐力がそれほど重要でない小規模の建物か、鉛直構面を密に入れた建物に多く見られる。この形式では、天井を張らずに意匠的に製材を見せる場合が多い。

(5)の製材板斜め張りは、(4)の平行張りと比べて強度的に優れているにも拘らず、日本では見かけることの少ない形式である。意匠的にも優れているので設計法と性能を明らかにすれば、これからもっと利用されるものと考えられる。

(6)の面材張りダイアフラムは、強度的には(1)～(3)の水平構面よりも優れているにも拘らず、採用例が少ない。その原因は、明確な構造設計法が示されているところにあると考えられる。

3. ブレース・トラスによる水平構面

トラスの場合は、平面トラスであれ立体トラスであれ、また、鉄筋ブレースであれ木材ブレースであれ、剛性マトリックス法などの骨組応力解析プログラムを利用して設計することが可能である。したがって、設計上の問題点は接合部のディテール、とりわけ接合金物の設計が全てとなっている。

トラス構造では応力が接合部に集中する。一つの節点には大梁、小梁、根太や垂木、ブレースなどが集まり、それぞれの部材の応力が引張であったり圧縮であったりと複雑である。そのため、接合部はできるだけ靱性を持たせるように設計し、同時に「接合部の破壊＝主要部材の破壊」とならないようにするなどの配慮が必要である。

4. 製材板を平行張りする水平構面

この構法による水平構面は、耐力壁で云えば「木ずり」に相当する。「木ずり」の壁倍率は0.5で最低ランクの耐力壁である。

図2は製材板平行張りの水平構面の変形を模式的に示したものである。この水平構面の抵抗メカニズムは、製材板をとめている釘が製材の回転を阻止しようとするところにあり、図3に示すような釘応力による偶力モーメントが抵抗の基本となる。

製材を板張りした水平構面の研究は、理論的研究・実験的研究を問わず乏しいが、その許容応力度設計を行うとすれば、以下のようになる。

1枚の板の接合部における回転モーメント（釘応力の偶力モーメント）は（図3 a 参照）、

$$M_B = f_N e$$

ここで、 M_B = 釘応力の偶力モーメント（kgf・cm）

f_N = 釘1本の接合許容せん断耐力（kgf/本、短期）

e = 釘間隔（cm）

ただし、図3 bのように3本の釘を打っても、中央の釘は利かないので注意する。

この水平構面の許容せん断力は以下のようになる。

$$Q = \frac{M_B}{S B} = \frac{f_N e}{S B}$$

ここで、 Q = 水平構面の単位長さ当りの許容せん断力（kgf/cm）

S = 根太または垂木の間隔（cm）

B = 板の幅（cm）

計算例を以下に示す。

根太、製材板ともスギを用いる。釘N50（胴部の直径2.75mm）を使用する

とすれば、釘1本の許容耐力は、

$$f_N = 400 \times 0.275^{1.8} = 39.2 \text{ kgf/本}$$

板の幅を150mm、釘間隔を100mm、根太の間隔を455mmとすれば、

$$Q = \frac{39.2 \times 10}{45.5 \times 15} = 0.574 \text{ kgf/cm} = 57.4 \text{ kgf/m}$$

ここで、構面全体では多数の板、多数の釘が使用されるマルチプルメンバーシステムであるので、釘接合許容耐力の誘導の際に考慮された下限品質の調整は不要であると考え、許容耐力の30%割り増しを行う。

$$Q = 1.3 \times 57.4 = 74.6 \text{ kgf/m}$$

このように、製材板張りの水平構面の耐力は低いので、軽微な構造でない限り、別の構法を採用するべきである。

この水平構面の剛性については、今のところ計算する方法はないが、木ずり壁の実験によると、終局時に剛性（接線の傾き）が上昇することが分かっている。これは変形が進むと板と板が接触し、締め付けの効果が現れるためである。したがって、終局耐力は、上記の計算値よりある程度の余裕があるものと考えられる。

5. 製材板を斜め張りする水平構面

この水平構面は、構造的には製材を斜め張りした充腹梁と同じである。充腹梁は、一見するとトラス梁のように見受けられるが、トラスよりもIビームに近い構造である。

図4は製材板を斜め張りした水平構面の変形を模式的に示したものである。この水平構面のメカニズムは、斜め張りの製材がブレースとしてせん断力を負担するところにあるが、トラスのようにブレース端部（節点）での軸力が $\Sigma N = 0$ とならず、不飽和となることである。この結果、後に述べるように、水平構面端部の部材（Iビームで云うなら端部のスチッフナに相当する部材）は、不飽和応力によって曲げを受けることとなる。

この水平構面の許容応力度設計法は以下のようなになる。

製材板が負担できる軸力は、その端部をとめている釘の耐力で決まる（図5参照）。

$$N_B = n f_N$$

ただし、 $N_B = 1$ 枚の板の軸力（kgf/枚）

n = 板の端部を止めている釘の本数（本）

f_N = 釘1本の接合許容せん断耐力（kgf/本、短期）

この板の支点でのせん断力は、

$$Q = \frac{N_B}{\sqrt{2}}$$

この板の幅を B とすると、構面の奥行き方向に測った幅は $\sqrt{2} B$ であるから、結局、水平構面の許容せん断力は、

$$Q = \frac{N_B}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2} B} = \frac{N_B}{2 B} = \frac{n f_N}{2 B}$$

ただし、 Q = 水平構面の長さ当り許容せん断力（kgf/cm）

B = 板の幅（cm）

製材板は圧縮座屈に対して断面が十分であるか否かをチェックする必要がある。このとき、座屈長は $\sqrt{2} S$ （ S は根太または垂木の間隔）である。

フランジに相当する部材の曲げ応力度を次式で求め、許容応力度以下であることを確認する

$$\sigma_F = \frac{M}{d A}$$

ただし、 σ_F = フランジ相当部材の引張および曲げ応力度（kgf/cm²）

M = 水平構面を梁とみなした場合の曲げモーメント（kgf・cm）

d = 上・下フランジ相当部材間の距離（水平構面の奥行き長さ、cm）

A = フランジ相当部材の断面積（cm²）

フランジ相当部材に継手を設ける場合は、次の軸力を伝達できるように設計する。

$$N_J = \frac{M_J}{d}$$

N_J = 継手の軸力 (kgf)

M_J = 継手の位置での曲げモーメント (kgf·cm)

水平構面端部の部材は図6に示すように、不飽和応力（釘応力のX方向成分）によって曲げを受ける。したがって、端部（隅角部）の接合部を存在応力に対して設計するほか、部材の曲げ応力度が許容応力度以下であることを確認する必要がある。

$$F_J = \frac{Q d}{2} = \frac{n f_N d}{4 B}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{Q d^2}{8 Z} = \frac{n f_N d^2}{16 B Z}$$

ただし、 F_J = 部材端部の接合部応力

σ = 部材中央の曲げ応力度

Z = 水平構面端部の部材の断面係数（水平方向）

なお、製材板をクロスさせて2重張りとする場合は、不飽和となる釘応力のX方向成分は、図7に示すようにキャンセルされるので、上記の曲げ応力は発生しない。

これまでに挙げた部材の応力は、それが単独に作用するのではなく、常時荷重による応力等と同時に作用することになるので、複合応力としてチェックが必要である。

計算例を以下に示す。

樹種はスギとする。板の幅を前項の「平行張り」の場合と同じに150mmとする。釘も同じN50を用い、端部に3本打つとすれば

$$Q = \frac{3 \times 39.2}{2 \times 15} = 3.92 \text{kgf/cm} = 392 \text{kgf/m}$$

マルチプルメンバーシステムと見なして許容耐力の30%割り増しを行うと、

$$Q = 1.3 \times 392 = 510 \text{kgf/m}$$

このように、同じ製材板張りであっても、平行張りから斜め張りとする、7倍近くの耐力の上昇となる。さらに、クロスさせて2重張りすると、耐力

はその2倍となる。

6. 面材張り水平構面（ダイアフラム）

面材を張った水平構面はダイアフラムと呼ばれる。ダイアフラムのメカニズムは、前項で述べた製材板を斜めに2重張りした水平構面のメカニズムと良く似ている。ただし、2重板張りの場合は、板の応力が一方では引張、一方では圧縮となるのに対して、面材の場合は、同一部材でこれらの応力を受けるためその応力はせん断となる。また、面材は、一般に釘を打っても割れ難く接合強度に優れるほか、圧縮・引張・曲げ・せん断の力に対してバランスのとれた強度的性質を持っているので、ダイアフラムは、製材板を斜めに2重張りした水平構面より強度・剛性を高くすることができる。

ダイアフラムのメカニズムは、図8に示すように、I型鋼の梁のメカニズムと同じと考える方が分かりやすい。すなわち、曲げ応力に対しては、水平構面の外周の横架材（フランジ）で抵抗し、せん断力に対しては、面材（ウェブ）で抵抗する。ただしI形鋼の梁と異なるところは、ウェブに多数の接合部のあることと、梁せいが長さに対して非常に大きいことである。このことから、ダイアフラムの変形は、せん断変形が主体となる。

ダイアフラムを設計するときに守らなければならない条件は次の2点である。

○面材の目地は同一の横架材、ブロッキング等に釘打ちすることを原則とする。これができない場合は、別個の横架材等に釘打ちし、横架材どうしを存在応力（せん断応力）に抵抗できるように接合する。

○面材の外周の中、ダイアフラムの外周に当たる部分は、できるだけ一本の横架材（フランジ）に釘打ちする。横架材を縦継ぎする場合は、存在応力（曲げモーメントによる引張力又は圧縮力）に抵抗できるように接合する。

ダイアフラムの基本単位である「1枚の面材を張った部分」のメカニズムは、図9のように考えられる。面材をとめている釘の応力の方向は、詳しい解析によると、面材の辺に平行ではなく、やや角度を持っているが、ここでは主応力だけを考えている。

ダイアフラムは、図10に示すようにこの基本単位を並べたもので、ダイア

フラム内部の面材の目地にある横架材やブロッキングは、2枚の面材から釘を介して互いに逆方向の応力を受けるので、横架材等に軸力や曲げ応力は発生しない。すなわち、その役目は単にせん断力を伝達する添木である。一方、ダイアフラムの外周の横架材（フランジ）は、釘を介して受ける力の方向が一方向となるので、引張力または圧縮力が発生する。これがすなわち曲げ応力である。

ダイアフラムのウェブとフランジは釘で接合されスリップを生じるので、せん断応力の分布は、I形鋼のように放物線というより等分布に近い形になる。

以上のモデル化によって、ダイアフラムの構造設計は非常に簡単となり、その方法は以下のようになる。

許容応力度設計

①面材のせん断応力度が許容応力度以下であることの確認

$$\tau = \frac{Q}{t} \leq f_s$$

ただし、 τ = 面材のせん断応力度 (kgf/cm²)

Q = ダイアフラムのせん断応力 (kgf/cm)

t = 面材の厚さ (cm)

f_s = 面材のせん断許容応力度 (kgf/cm²)

②面材をとめている釘の応力が許容耐力以下であることの確認

$$q = \frac{Q a}{n_n} \leq f_n$$

ただし、 q = 釘の応力 (kgf/本)

a = 面材の辺の長さ (cm)

n_n = 長さ a の辺に打たれた釘の本数 (本)

f_n = 釘の許容耐力 (kgf/本)

③フランジ相当部材の応力度が許容応力度以下であることの確認

$$\sigma = \frac{M}{d A} \leq f_t$$

ただし、 σ = フランジの引張・圧縮応力度 (kgf/cm²)

M = ダイアフラムの曲げモーメント (kgf・cm)

d = ダイアフラムの奥行き (cm)

A = フランジの断面積 (cm²)

f_t = フランジの引張許容応力度 (kgf/cm²)

なお、フランジ相当部材には上記応力に加えて、常時荷重による応力も加わるので、複合応力に対する検討が必要である。

④ フランジ相当部材の継手の接合具応力が許容耐力以下であることの確認

$$F = \frac{M}{d n_F} \leq f_F$$

ただし、 F = 接合具 1 本 (個) の応力 (kgf)

M = 継手の位置でのダイアフラムのモーメント (kgf・cm)

d = ダイアフラムの奥行き (cm)

n_F = 接合具の数 (添板形式の場合は片側での数)

f_F = 接合具の許容耐力 (kgf)

なお、継手に常時荷重による応力が加わる場合は、複合応力に対する検討が必要である。

変形計算

ダイアフラム中央における水平方向たわみは、次式に示すように、4種類の変形成分からなる。

$$\delta = \delta_P + \delta_N + \delta_F + \delta_J$$

ただし、 δ = ダイアフラム中央における水平方向たわみ (cm)

δ_P = 面材のせん断歪によるたわみ (cm)

δ_N = 面材を止めている釘のスリップによるたわみ (cm)

δ_F = フランジ相当部材の歪によるたわみ (cm)

δ_J = フランジ相当部材の継手のスリップによるたわみ (cm)

上記たわみのうち、 δ_P と δ_N はせん断たわみ、 δ_F と δ_J は曲げたわみである。各たわみ成分は、次式で求めることができる。

① 面材のせん断歪によるたわみ、 δ_P

$$\delta_p = \frac{w \ell^2}{8 G d t}$$

ただし、 w = ダイアフラムに加わる風圧力又は地震力 (kgf/cm)

G = 面材のせん断弾性定数 (kgf/cm²)

ℓ, d, t = (前出)

② 面材を止めている釘のスリップによるたわみ, δ_N

釘間隔一定の場合:

$$\delta_N = \frac{3 \ell}{2 \ell'} S_0$$

釘間隔を応力に合わせて変えた場合:

$$\delta_N = \frac{3 \ell}{\ell'} S_0$$

ただし、 ℓ' = 面材の長手方向の長さ (cm)

S_0 = ダイアフラム端部における釘のスリップ (cm)

(合板の場合の許容耐力時の S_0 は約 0.04 cm)

ℓ = (前出)

面材寸法は 3×6 または 4×8 とする。

③ フランジ相当部材の歪によるたわみ, δ_F

$$\delta_F = \frac{5 w \ell^4}{384 E_F I_F} = \frac{10 w \ell^4}{384 E_F d^2 A_F}$$

ただし、 E_F = フランジ相当部材のヤング係数 (kgf/cm²)

I_F = ダイアフラムの有効断面 2 次モーメント (cm⁴)

A_F = フランジ相当部材の断面積 (cm²)

w, ℓ, d = (前出)

④ フランジ相当部材の継手のスリップによるたわみ, δ_J

$$\delta_J = \sum S_i x_i$$

ただし、 S_i = 継手 i における接合具と添板との相対スリップ (cm)

x_i = ダイアフラム端部から継手 i までの距離 (cm)

ダイアフラムに開口を設けると、せん断応力が開口の周辺に集中する。この場合の応力・変形の計算法はやや複雑であるが、文献(2)に提案されているので参照されたい。

計算例

スギの骨組に合板を張ったダイアフラムの許容せん断耐力を式①、②より計算した。ここで、合板は板材と違って釘打ちによって割れ難いので、釘としてはN釘より強度的に有利なCN釘を用いた。表はその計算結果を示したもので、横架材の幅が十分にあれば、マルチプルメンバーの考え方を導入して表の耐力を1.3倍に割り増しても良い。この割増しを適用した場合、厚さ9mmの合板を釘CN50で間隔150mmに打ったダイアフラムの許容せん断耐力は、390kgf/mとなる。

表. スギを用いた合板張りダイアフラムの許容せん断耐力 (kgf/m)

釘	合板厚さ (mm)	合板外周の釘打ち間隔 (mm)							
		300	200	150	100	75	50	75 (2列)	75 (3列)
CN50	9, 12	162	231	300	438	577	854	1131	1708
CN65	9	204	291	379	553	728	1077	1427	2155
	12, 15	212	302	393	574	755	1118	1481	2236
CN75	15, 18	265	379	493	720	948	1403	1858	2805

7. まとめ

これ迄に建設されたスギ製材またはスギ集成材を用いた木造建築物では、水平構面として鉄筋ブレース、木材ブレース、立体トラス等が用いられてきたが、これらに代わる構法として、製材板張り水平構面（平行張り、斜め張り、斜めクロス2重張り）と合板張り水平構面（ダイアフラム）の設計法を提案した。

それぞれの代表的な仕様の許容せん断耐力は、75kgf/m（製材板平行張り）、510kgf/m（製材板斜め張り、1020kgf/m（製材板斜めクロス張り）、390kgf/m（合板張り、CN50-@150mm）である。合板張りの場合は、合板の厚さ、釘の太さ、釘の間隔によって2tf/mを超える設計も可能である。

上記の値を比べると、製材板平行張りは軽微な構造に限るとしても、製材板斜め張りのせん断耐力は高い。強度的には合板ダイアフラムが最も安定感があるが、意匠や他の理由で合板を用いたくない場合は、製材板斜め張りを検討してみる価値はある。

付録－参考文献

- 1) 面材を釘打ちした耐力壁の設計法、木構造設計資料、EL-1、日本住宅・木材技術センター
- 2) 水平ダイアフラムの設計法、木構造設計資料、EL-4、日本住宅・木材技術センター
- 3) 合板を側材とする釘接合、木構造設計資料、FA-7、日本住宅・木材技術センター
- 4) "Guidelines For the Design of Horizontal Wood Diaphragms", Applied Technology Council, 1981.
- 5) "APA Design/Construction Guide, Diaphragms", American Plywood Association, 1988.
- 6) "APA Design/Construction Guide, Nonresidential Roof Systems", American Plywood Association, 1988.
- 7) Kamiya F. "Horizontal Plywood Sheathed Diaphragms With Openings-Static Loading Tests and Analysis", Proceedings for the 1990 International Timber Engineering Conference, 1990, Tokyo.
- 8) Adams, N.R., "Plywood Shear Walls", APA Research Rep., 105, APA
- 9) Tissell, J.R., "1966 Horizontal Plywood diaphragm Tests", APA Laboratory Rep., 106, APA
- 10) Tissell, J.R., and Elliott, J.R., "Plywood Diaphragms", APA Research Rep., 138, APA
- 11) 建築研究所、「小規模住宅の新施工法の開発」、37～43、1976
- 12) 平嶋義彦、鴛海四郎、「桝組壁工法住宅床組の構造耐力試験（Ⅰ）」、木材工業、32(9)、396～398、1977
- 13) 平嶋義彦、鴛海四郎、「桝組壁工法住宅床組の構造耐力試験（Ⅱ）」、木材工業、32(12)、552～554、1977
- 14) 平嶋義彦、鴛海四郎、「桝組壁工法住宅床組の構造耐力試験（Ⅲ）」、木材工業、36(2)、67～70、1981
- 15) 平嶋義彦、鴛海四郎、「桝組壁工法住宅床組の構造耐力試験（Ⅳ）」、木材

- 工業、36(3)、118～123、1981
- 16) 平嶋義彦、鴛海四郎、「水平ダイアフラム試験－15mm本ザネ加工合板床組の性能－」、合板工業、95、PP19、1977
 - 17) 佐野弘、「木造床組の面内剛性と支持力配分に関する実験的研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1995～1996、1980
 - 18) 飯塚五郎蔵、田中克章、「木構造における水平構面のせん断耐力」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997～1998、1980
 - 19) 佐野弘、三浦肇、「木造床組の面内剛性と支持力配分に関する実験的研究」、その2」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2257～2258、1981
 - 20) 野口弘行、「有限要素法による枠組壁工法床組の水平力に対する挙動（弾・塑性）の解析－合板配置の差異が水平剛性に与える影響について－」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2259～2260、1981
 - 21) 野口弘行、「木質屋根構造の水平面内剛性に関する模型実験の結果について」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2087～2088、1982
 - 22) 神谷文夫、田代信一、畑山熾男、「12Pのプレファブ工法床と枠組壁工法床の水平加力試験ならびに水平方向振動試験」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2669～2670、1984
 - 23) 平嶋義彦、畑山熾男、「枠組壁工法ダイアフラムの静的水平加力試験と水平方向振動実験」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1241～1242、1985
 - 24) 斉藤元司、岸明、「木質系屋根構造の耐力・剛性に関する実験的研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1243～1244、1985
 - 25) 山口修由、「床剛性と耐力壁間の距離との関係について」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1211～1212、1986
 - 26) 那須秀行、野口弘行、「木質有開口床ダイアフラムの水平力に対する挙動の解析」、日本建築学会大会学術講演梗概集、49～50、1988
 - 27) 渡辺拓文、坂本功、大橋好光、横家尚、「ALCパネルを用いた木造軸組床の面内剛性に関する実験的研究（その1. 構法及び実験の概要）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、51～52、1988
 - 28) 横家尚、坂本功、大橋好光、渡辺拓文、「ALCパネルを用いた木造軸組床の面内剛性に関する実験的研究（その2. 実験結果）」、日本建築学会大会学

- 術講演梗概集、53～54、1988
- 29) 鈴木秀三、「開口を有する枠組壁構法床組模型の水平加力実験」、日本建築学会大会学術講演梗概集、41～42、1989
- 30) 那須秀行、野口弘行、「木質ダイアフラムの水平力に対する挙動の弾塑性的解析」、日本建築学会大会学術講演梗概集、43～44、1989
- 31) 鈴木秀三、「開口を有する枠組壁工法床組模型の水平加力実験(第2報)」、日本建築学会大会学術講演梗概集、161～162、1990
- 32) 神谷文夫、「開口を有するダイアフラムのせん断応力計算法」、日本建築学会大会学術講演梗概集、119～120、1991
- 33) 木上浩、野口弘行、「有限要素法による木質有勾配ダイアフラムの弾塑性解析(その1: 軒の出を有しない切り妻屋根に関して)」、日本建築学会大会学術講演梗概集、121～122、1991
- 34) James, G.W. and Bryant, A.H., "Plywood Diaphragms and Shearwalls", Proc. for the PTEC, 478-485, 1984
- 35) Dean, J.A., Moss, P.J. and Stewart, W., "A Design Procedure for Rectangular Openings in Shearwalls and Diaphragms", Proc. for the PTEC, 513-518, 1984
- 36) Tarpay Jr., T.S., Thomas, D.J. and Soltis, L.A., "Continuous Timber Diaphragms", Proc. for the PTEC, 535-542, 1984
- 37) Walker, G.R. and Conano, D., "Experimental Investigation of the Diaphragms Action of Ceilings in Resisting Lateral Loads on Houses", Proc. for the PTEC, 543-550, 1984
- 38) Falk, R.H. and Itani, R.Y., "Prediction of Diaphragm Displacement", Proc. for the 1988 ICTE(Seattle), 766-773, 1988
- 39) Najdekr, M., "Analysis of the Roof and Floor Structures of OKAL-SYSTEM", Proc. for the 1988 ICTE(Seattle), 19-28, 1988
- 40) Kawai, N., Sugiyama, H. and Matsumoto, T., "The Hand Calculation Method Calculating the Distribution of Horizontal Force to Shear Walls by Considering the Effect of Shear Rigidity of Floor", Proc. for the 1988 ITEC(Tokyo), 510-517, 1988

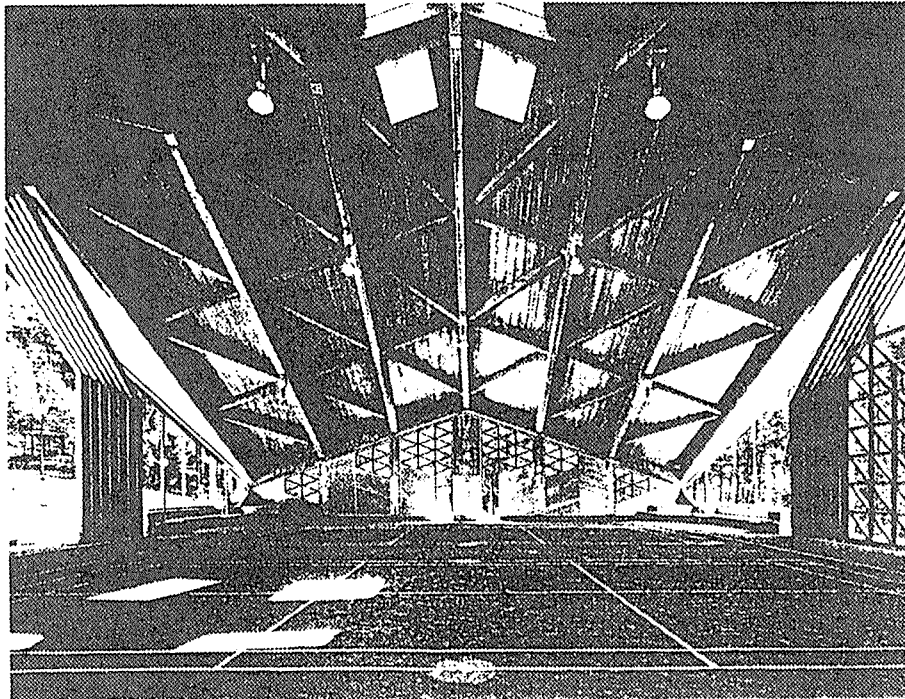
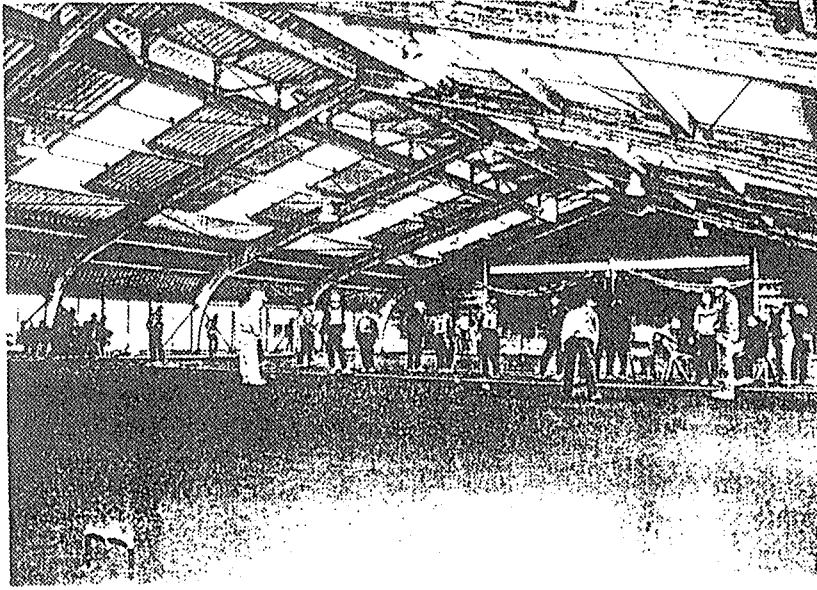


図1. 水平構面の色々
-鉄筋ブレース(上)と木材ブレース(下)

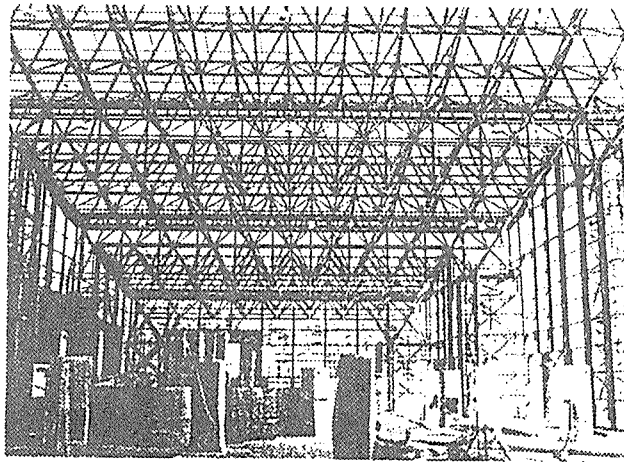
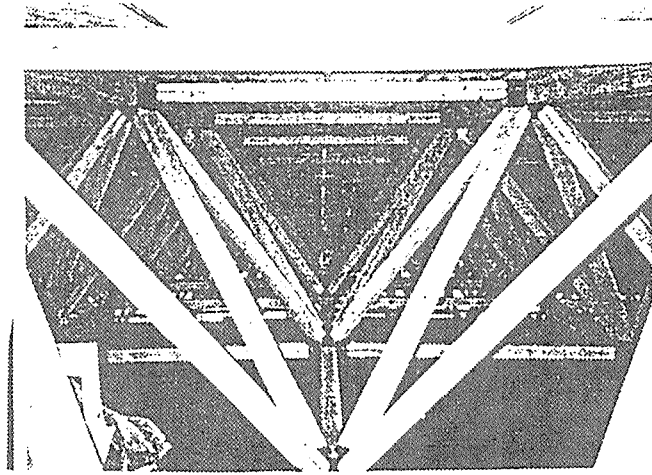


図1. 水平構面の色々（続き）
－立体トラス－

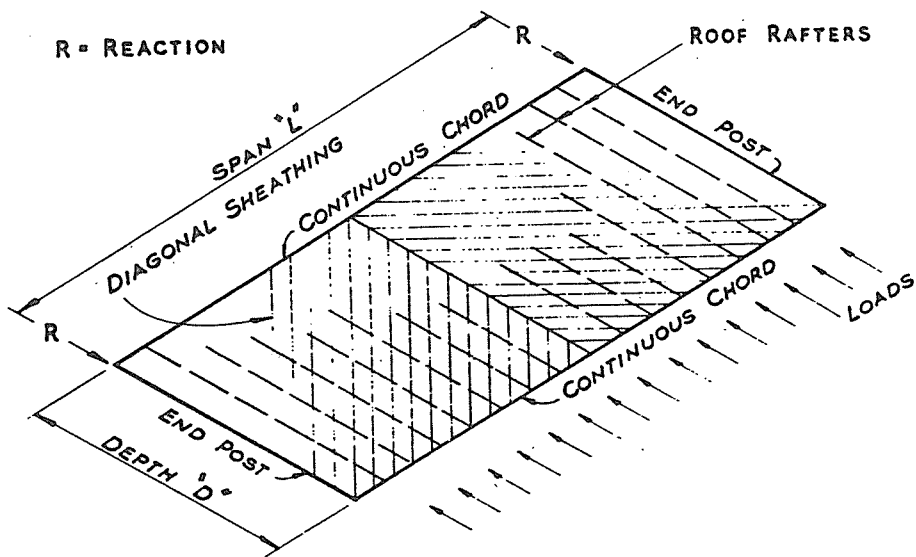
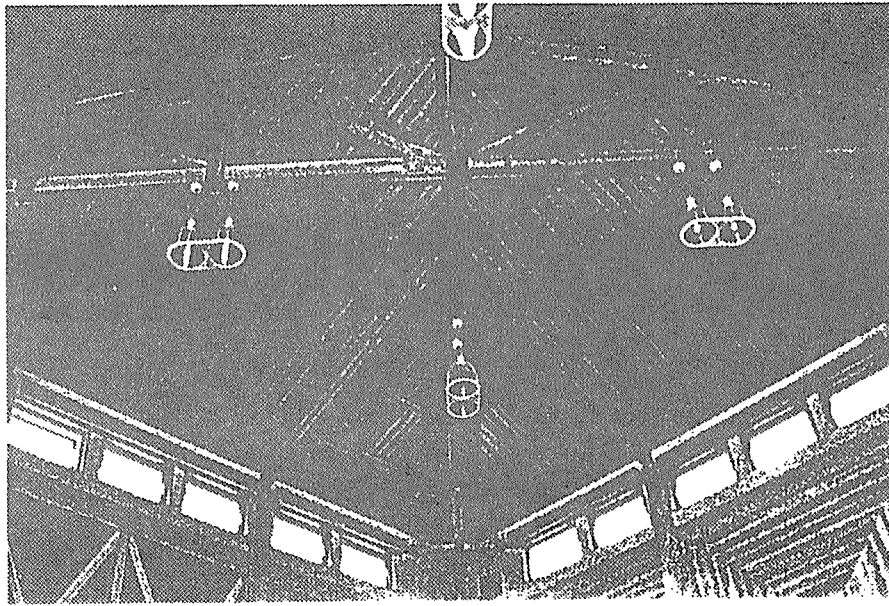
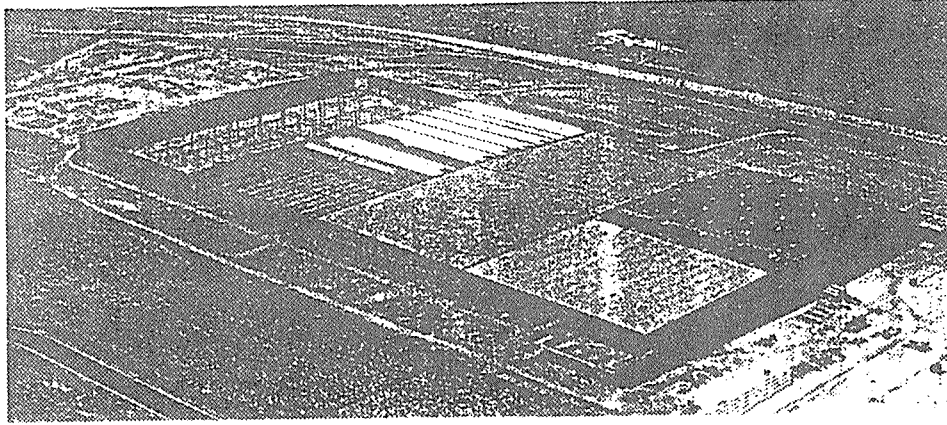


図1. 水平構面の色々(続き)
 -製材板の平行張り(上)と斜め張り(下)-



約7万m²の屋根を合板ダイアフラムで構成した建物。内部に3本の耐力壁線を設けている (AITC提供)

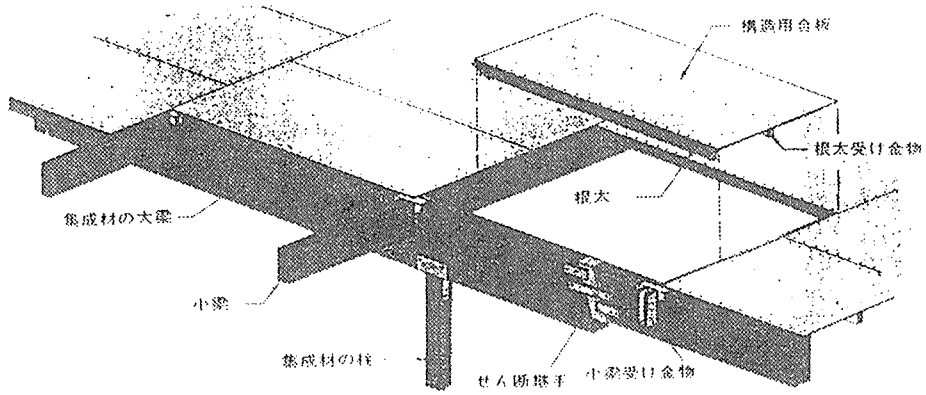


図1. 水平構面の色々(続き)
—面材張りダイアフラム—

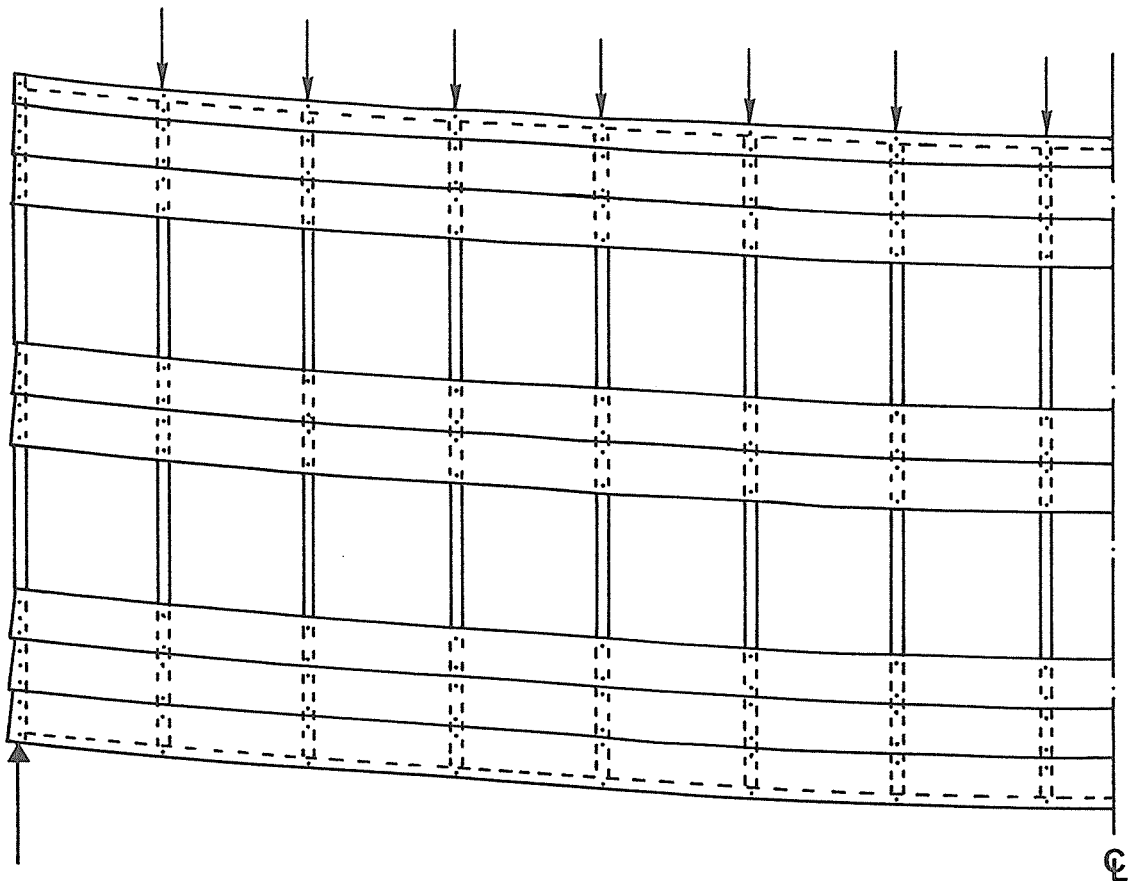
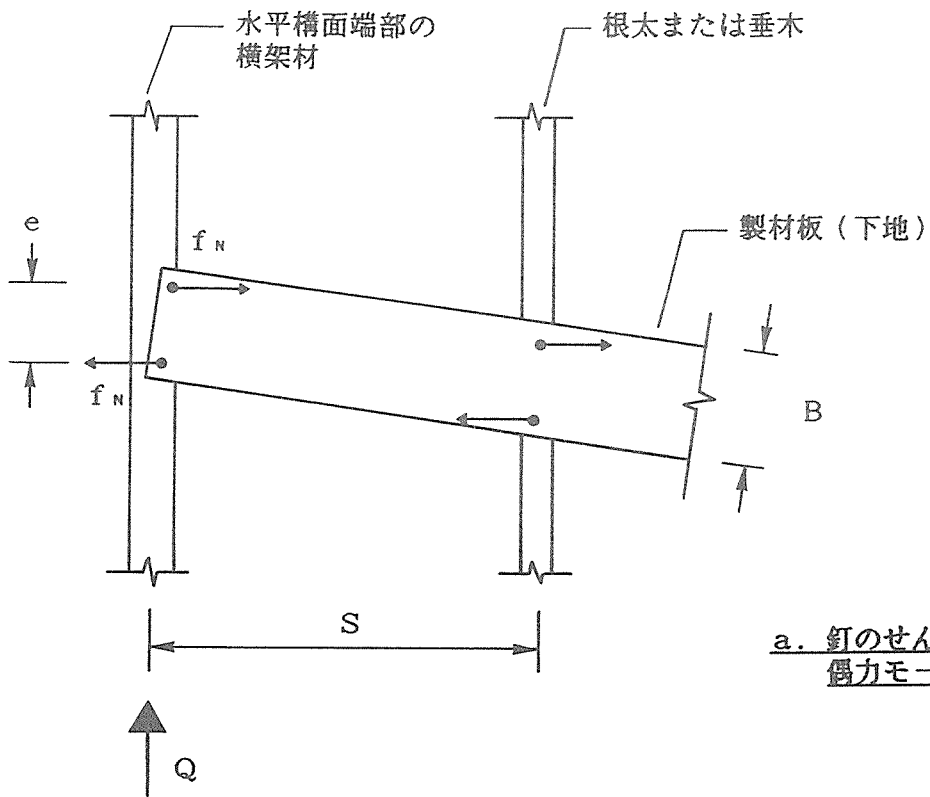
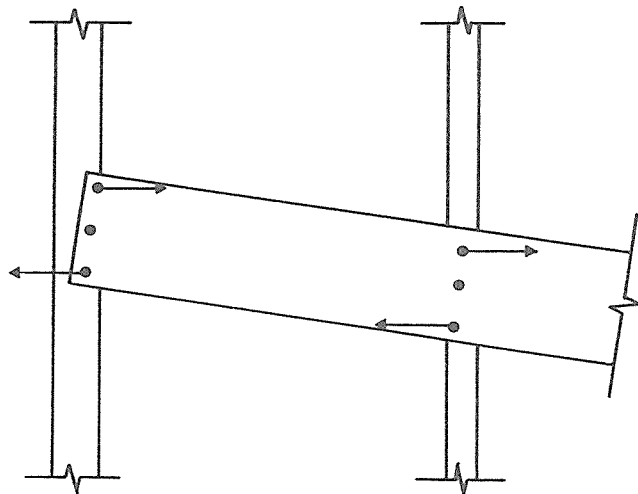


図2. 製材板と平行張りした水平構面の変形



a. 釘のせん断抵抗による
偶力モーメント



b. 釘が3本の場合でも
2本の場合と同じ

図3. 製材板を平行張りした水平構面のメカニズム

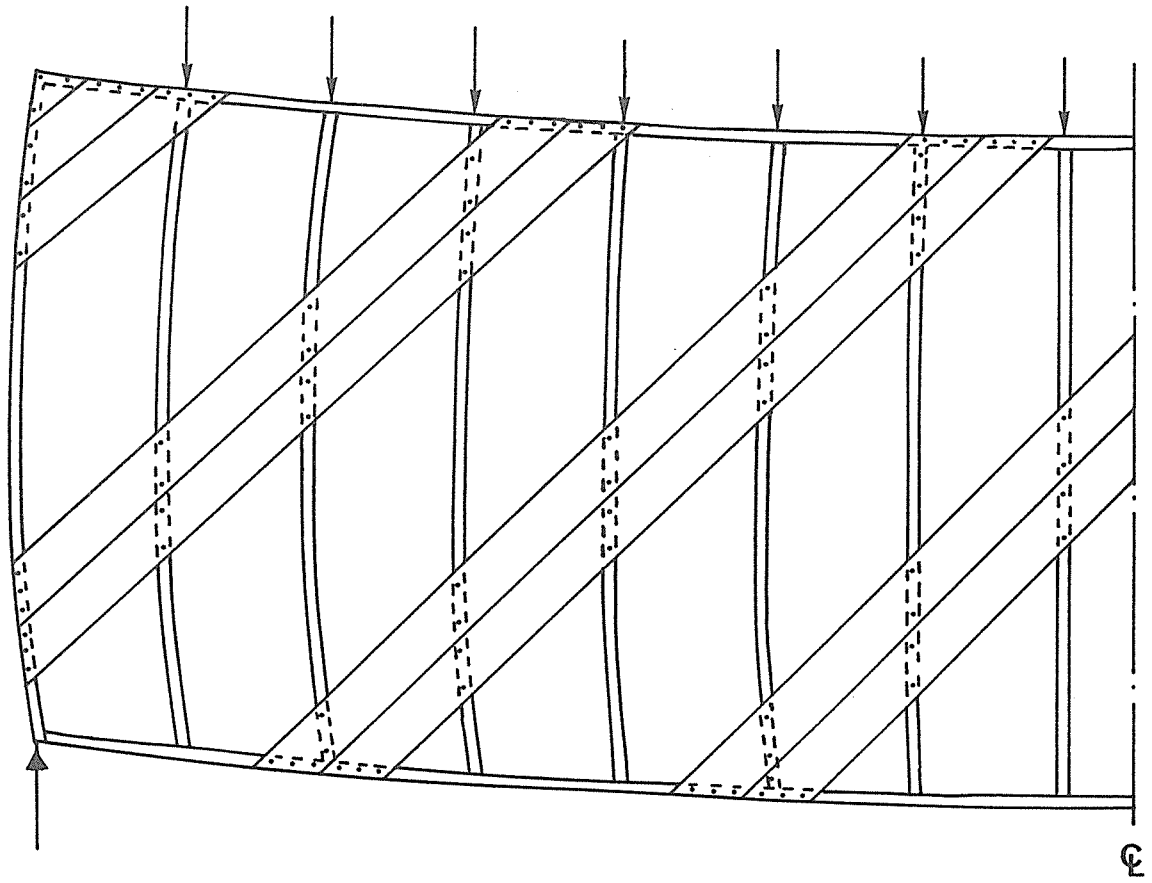


図4. 製材板を斜め張りした水平構面の変形

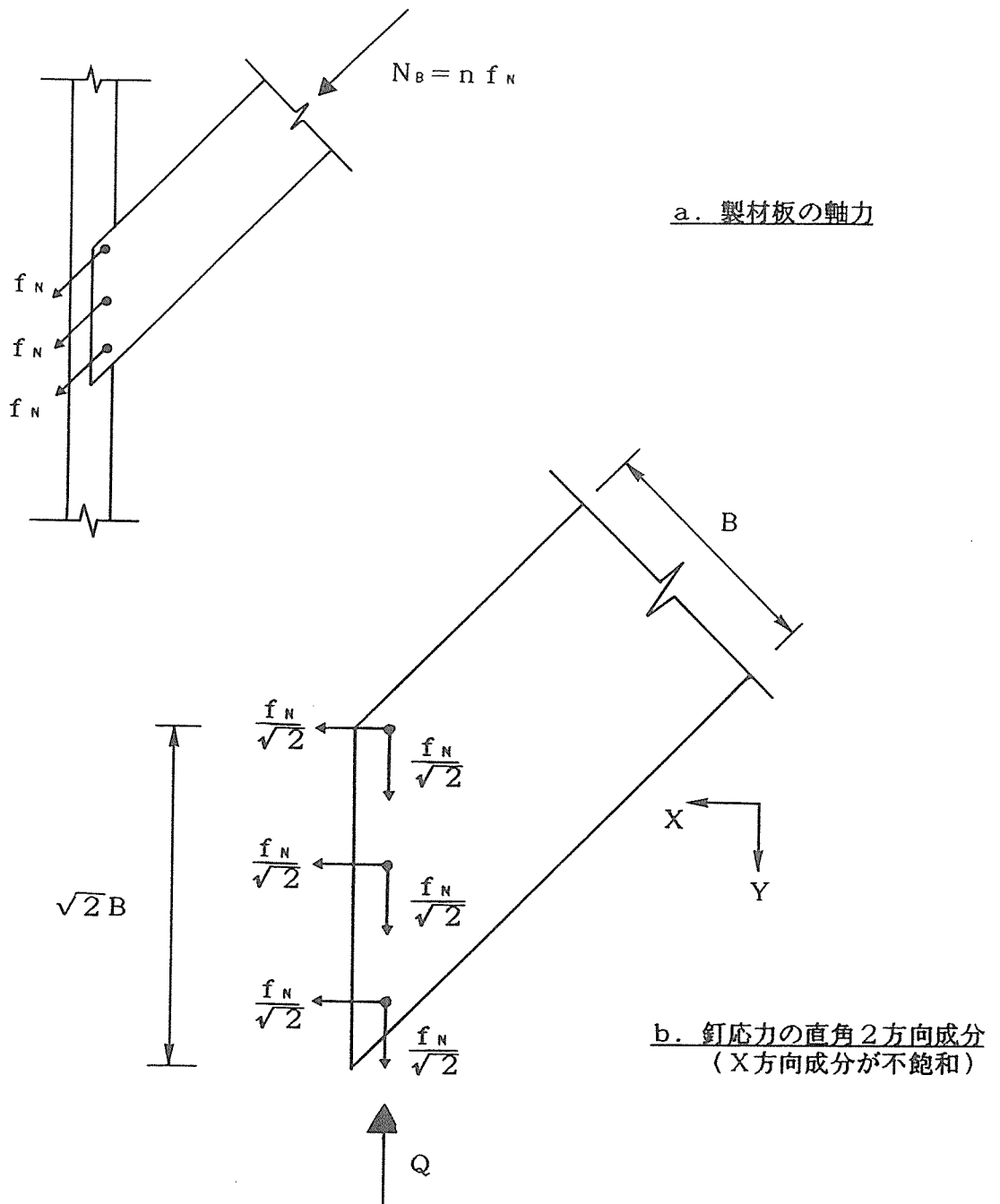


図5. 製材板を斜め張りした水平構面のメカニズム

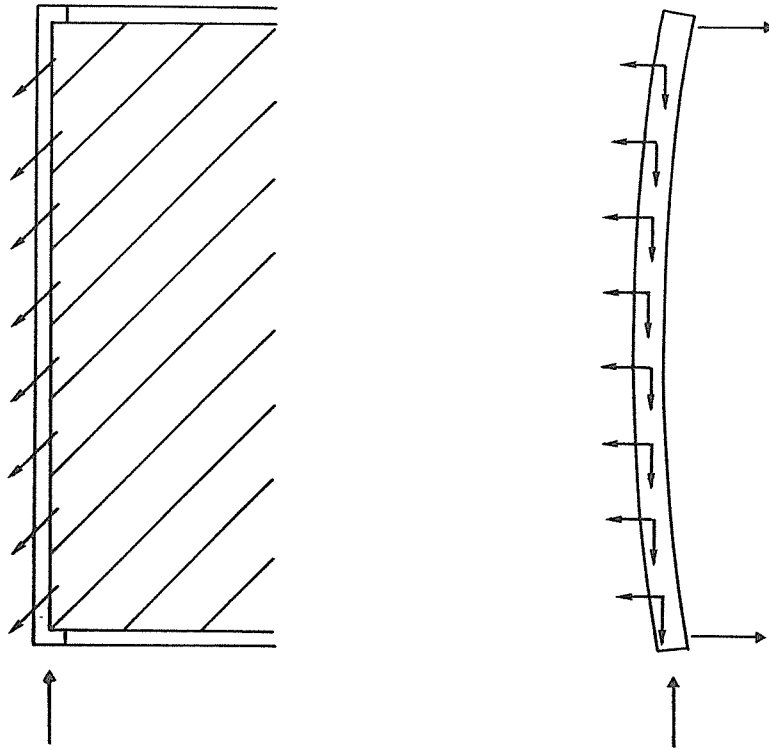


図6. 不飽和のX方向成分応力による
端部部材の曲げ変形
(製材板を斜め張りした水平構面)

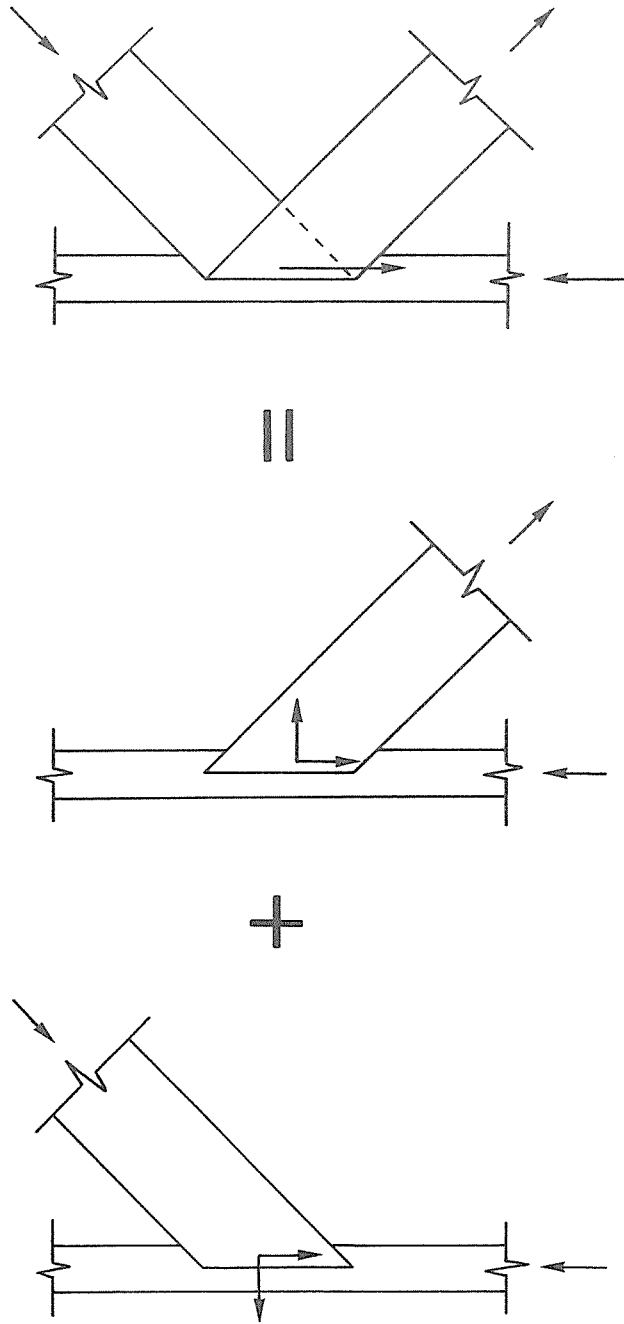


図7. 製材板をクロスに斜め張りした水平構面のメカニクス

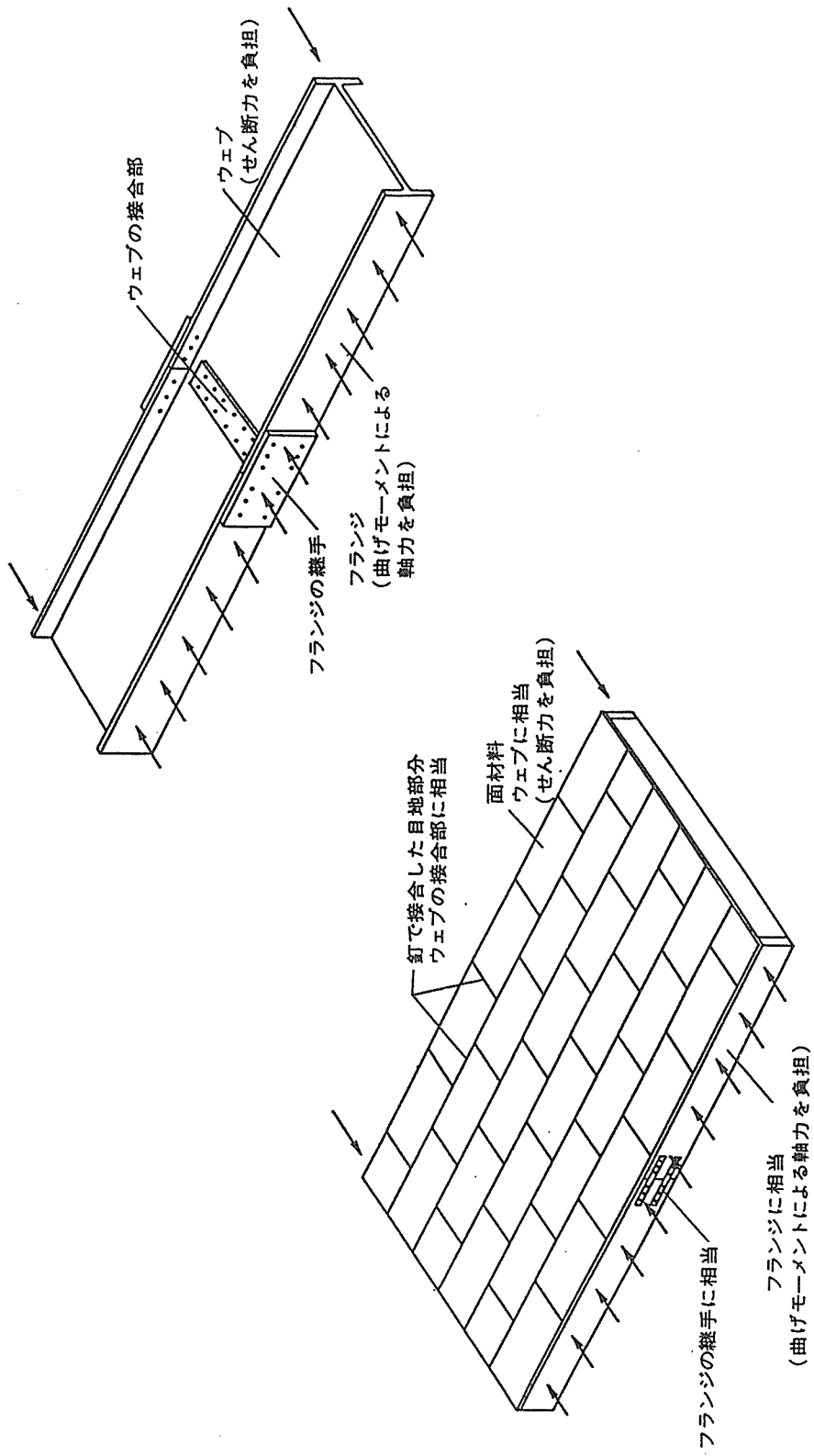


図8. ダイアフラムのメカニズム
(Iビームと同じ)

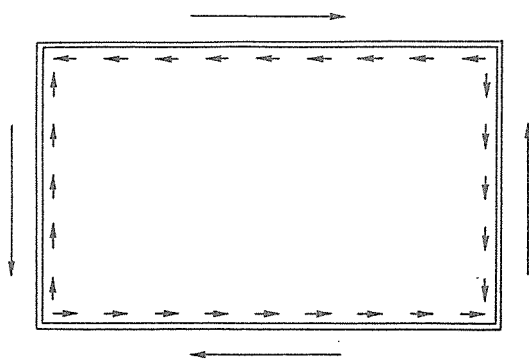


図9. 1枚の面材を張った基本単位の釘応力

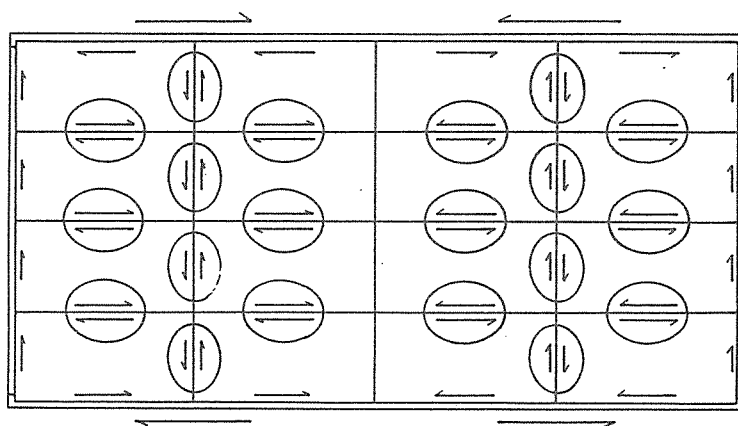


図10. 面材の目地部分におけるせん断力
(受材に軸力は発生しない)