

技術開発推進事業報告書

複合梁開発

平成4年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

平成3年度 複合ばり開発委員会の委員構成 (1991年度)

	氏 名	所 属
委員長	平嶋 義彦	静岡大学農学部林産学科助教授
委 員	徳田 迪夫	三重大学農学部生物資源学科教授
〃	宮澤 健二	工学院大学工学部建築学科助教授
〃	佐藤 雅俊	建築研究所第二研究部有機材料研究室主任研究員
〃	井上 明生	森林総合研究所木材化工部接着研究室
〃	川元 紀雄	森林総合研究所木材利用部接合研究室
〃	本田 喜美登	日本木造住宅産業協会 (殖産住宅相互(株)課長)
〃	荒木 五郎	全国LVL協会 (大鹿振興(株)部長)
協力委員	春川 真一	林野庁林政部林産課課長補佐
事務局	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究部長
〃	鴛海 四郎	(財)日本住宅・木材技術センター主任研究員

目 次

はじめに	-----	1
1. 波くぎの接合耐力試験	-----	2
1.1 はじめに	-----	2
1.2 接合部せん断試験	-----	3
1.3 試験結果と検討	-----	3
1.4 おわりに	-----	5
2. スギ接着重ねばりの曲げクリープ性能を向上させる試み	-----	30
2.1 実 験	-----	30
2.2 試 験 方 法	-----	32
2.3 結果と考察	-----	42
2.4 結 論	-----	65
2.5 総 括	-----	66
3. 今後の開発の方向性	-----	69
3.1 住宅メーカーの立場から	-----	69
3.2 LVLの現状と動向	-----	71
3.3 木材接着	-----	74
3.4 構造見地からみた複合ばり	-----	76

はじめに

わが国の森林資源は、戦後造林された人工林の成長にともない、数年後には量的に飛躍的な上昇をし、いわゆる国産材時代を迎えようとしている。

しかし、日本の山林から供給されるであろう国産材が、木材工業や建築等の分野の需要に応えゆくには、いくつかのハードルがあり、何が問題なのか？これは大きなテーマであり、日本の林業を考える場合の1つのキーワードとなろう。特に最近では、日米協議のアメリカ側の要求もあり、集成材やLVL等が海外（北米）でJAS認定工場が出現しており、競争はますます激しさを増してきている。

わが国のこの数年の住宅着工量は、順調な経済成長に支えられてきたにもかかわらず木造率は年々漸減傾向にある。その理由はいくつかあり、はっきりと指摘できないが、その中の一つとして、現在の情報化社会の要求についていくだけの情報量を持っていなかったといえないだろうか。その情報とは、たとえば木造住宅に使用する建築部材の性能に関する問題も含まれるであろう。

今後、ますますユーザーの要求は、多用化、高度化していき、きめ細かい対応が必要であろう。

このようなユーザーの要求に対応するため本委員会では、木質系の横架材で高性能で且つ、経済性のある梁材の技術的な開発を実施してきたが、大きな住空間に使用できる梁材として接着重ね梁や張弦梁の開発を試みている。

今後、わが国の山から供給される木材は、スギ、カラマツが大きなウェイトを占め、断面の大きなものは今後も望めない。従来、柱材として利用されていた国産材も、最近では供給過剰気味である。また、山の問題として俗に云うスギ並材の問題もある。

一方、梁材に使用するような大きな断面の木材は、資源の枯渇により不足気味であり、価格も高価なものとなっている。このような、両者の要求に応えられる技術開発として、柱材を用いた梁材の開発を実施している。

本プロジェクトは、できるだけ低コストで、なおかつ所要の性能をもつ梁材を製造する技術を確立することを目的としている。

従来の柱製材品によって大スパンを架け渡す梁を製造できれば、将来の国産材の供給状況や木造住宅に要求される大空間といった問題に対する一つの解答となり得るであろう。

平成4年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

第1章 波くぎの接合耐力試験

1.1 はじめに

本複合梁委員会では、これまで木材を接着剤を使って複合化する方法について検討してきた。最近の新しい接着剤の開発により、従来の接着工程に比べて格段に緩やかな条件で複合梁を作れるようになり、その性能も確かめられてきた。

しかし、緩やかな条件といっても、いくつかの点ではやはり手間を減ずることはできず、それらの改良が望まれているところでもある。

例えば、接着面の平面性は確保されねばならないこと（曲がりや反りはある限度以内であること）、圧縮が必要であること、養生が必要であることなどなど。これらの点は接着剤を使う限りは、大なり小なりついてまわる条件であり、根本的な改良といったことはまず不可能かと考えられる。

そこで考えられるのは、機械的接合による方法である。機械的接合による複合梁としては、車知、ジベルなどを使うものがいくつか試みられてきたが、いずれも接合効率が低く、またクリープが大きいなどの理由から、広く実用化されるまでにはいたっていない。この欠点を克服するには、接合具の数を増やすことであるが、一般に車知、ジベルは形態的に大きく、また彫り込みなどの加工を要することから、これにも限度がありむずかしいということになる。

これらのことから、機械的接合では加工手間がかからず簡単に多数設置できるものがよいということになり、ここで波釘の可能性が浮かんでくることになる。波釘は鋼製板を波板状に加工し、一端を斜めに削ぎ落として刃とし、木材に打ち込む接合具である。

波釘は現在わが国では、家具製作（フラッシュ止めなど）や梱包用に用いられている。機械によって、仕口部の横面から簡単に打ち込めるので多数打ちも問題ではない。

波釘については、「木造組立柱の曲げ強さ並びに効率に関する実験」（田辺、狩野：建築学会論文集第2号，昭和11年）という研究報告があるが、その後この組立柱がどのように利用されたか詳ではない。

複合梁に用いる波釘は、主として部材どうしの辻りを防ぐ働きが求められる。そこで、本試験では、波釘接合のせん断実験を行い、その使用可能性を検討するための資料を得ることにした。

1.2 接合部せん断試験

試験に用いた波釘は、写真-1に示すような大型及び小型波釘の2種類で、材質はいずれもSPCCである。

小型波釘は、現在一般に使用され機械によって打ち付けるもので、幅25.2mm、長さ12.7mm、波の高さ1.1mm、板厚0.4mmである。大型波釘は特性品で、これを打つ機械は今のところない。寸法は幅43.5mm長さ25.0mm波の高さ1.5mm板厚0.5mmである。

接合試験に供する試験片は、図-1に示すような中心及び側材の3材を表裏一つずつの波釘を用いて接合したものとした。被接合材の寸法は、大型波釘の場合30×55×200mm、小型波釘の場合30×30×200mmである。波釘を接合面に直角に打ち込んだものを主として実験しているが、角度の影響をみるため、接合面に対して45°及び60°のものも行っている。試験片の材種は、ペイマツ、ペイツガ、スギで、それぞれ集成材のブロックからひきだしたものを使用した。試験体数は、1樹種1条件につき12-16体、角度影響をみるものについては、接合面から時計廻り方向に計って45°のもの3体、135°のもの3体、60°のもの1体、120°のもの1体とした。

各樹種で大型波釘と小型波釘の比重がほぼ等しくなるように、試験片部材の比重を小さい順に並べ、それぞれ交互に試験片を割り当てた。比重の範囲、平均値等は、表-4に示すとおりである。

大型波釘は、オイルジャッキを使いガイドを用いて木材の中に押入れた。小型波釘は、釘打ち機を用いて打込んでいる。この際、両者とも、被接合材の間の摩擦を減らすべく、部材相互は軽くおしつけた状態で行っている。

せん断試験は、容量1ト材料試験機を用いて行った。加力は自立した試験片の中心材を押し方法で行い、片側単調増加方式で、接合部が破壊するまで、あるいは変位計の測定限度(20mm程度)まで行った。この際荷重及び中心材-側材の相対じりを測定している(写真-2)。

1.3 試験結果と検討

せん断試験より得た最大荷重及び破壊モードを比重とともに各条件毎に表-1, 2, 3に示す。

荷重-じり曲線を図-2~図-9に示す。接合面に対して45°または60°の角度で打ち込んだ接合部の強度は、90°のものに比べて両者とも低く、平均値の比率でいえば、前者

は $176/318=0.55$ 、後者は $238/318=0.75$ であった。このことから波釘接合のせん断強度は 90° の場合が最も大きいといえよう。

最大荷重と比重の値をみると、両者には相関がありそうである。これを図に示してみると図-10のようになり、大型、小型波釘とも、接合強度は木材の比重に比例して大きくなっていることがわかる。回帰直線をあてはめたものが図-10に示してあるが、決定係数は大型波釘の場合0.52、小型波釘の場合0.71であった。

この図には、破壊モードも同時に示してある。破壊モードは、釘の抜け、釘の切断、釘の伸び、材の割れの四つに分類したが、図-10からもわかるように、釘の抜けは、小型波釘に多く現れ、釘の切断は、大型、小型波釘とも木材の比重の高いところに現れ、釘の伸びは、大型波釘のうちで木材比重の中間あたりに現れ、材の割れは、大型波釘に多く現れている。釘の切断は高比重木材で観察され、波釘強度の限界を示しているようである。

荷重-じり曲線の全体像を捉えるために、全試験片のそれを同一図に描き、これを図11~図18に示した。また図11~図16には、荷重-じりの平均値を求め、これも図示してある。荷重-じりの平均値とは、各試験片の荷重-じりデータから荷重一定間隔（この場合1Kgfとしている）のじりを求め、これを全試験片について平均化したものである。これらを荷重-じり平均曲線としてまとめて図-19に示した。

これらの図から判るように、曲線は最初まず高い角度で立ち上がり、すぐに降伏をして緩い勾配の曲線となり（ここで波釘の波が延びているものと思われる）、その後また勾配が立ち上がり、最後に終局耐力に達している。

最大荷重の時のじり量は、大型波釘で17mm程度、小型波釘で11mm程度である（表-4参照）。かなり粘りのある接合といえよう。

降伏の起きる直前を比例限度と考え、この点の荷重と最大荷重の比を求めてみると、大型波釘で0.09、小型波釘で0.13程度となっている（表-4）。非常に低いところに比例限度があることが判る。ただし、比例限度荷重の値は、バラツキが大きく、大型波釘では変動係数が0.21~0.34、小型波釘では0.26~0.30を示している。

比例限度時のじりは、大型波釘で0.14~0.28、小型波釘で0.12~0.19（いずれも各樹種の平均値の範囲）と、共に小さな値を示した。

比例限度荷重までの、荷重-じり曲線からその傾きを求めると、これが剛性になるが、ベイマツで 212、ベイツガ 158、スギ155Kgf/mmとなった（表-4）。

図-10の比重と最大荷重の關係を用いて、樹種グループJ1, J2, J3（木構造計算基準

・同解説) に対する最大荷重の分布をモンテカルロシミュレーションで求め、次の結果を得た(表-5)。

これをCN釘の耐力と比べてみると、大型波釘はCN90の2倍程度、小型波釘はCN90とCN70の間あたりにあることが判る。

1.4 おわりに

今回の試験から、波釘接合のせん断耐力は、バラツキが小さく比較的安定したものであることが判明した。

この接合が、複合梁に有効かどうかは、接合強度とともに迂り剛性も考慮に入れて判断しなければならない。今後、今回の実験データ等をもとにして、複合梁への適用可能性を検討していく予定である。

表一 1 試験片の比重及び最大荷重 (大型波釘)

樹種	試験片記号	比重	最大荷重(Kgf)	破壊モード
ベイマツ	DB- 1	0.641	364	釘の切断
	DB- 2	0.613	415	釘の切断
	DB- 3	0.499	453	釘の切断
	DB- 4	0.504	456	釘の切断
	DB- 5	0.491	451	釘の切断
	DB- 6	0.495	460	釘の切断
	DB- 7	0.492	413	釘の延び
	DB- 8	0.519	358	釘の切断
	DB- 9	0.533	416	釘の割れ
	DB-10	0.567	396	釘の延び
	DB-11	0.478	399	釘の延び
	DB-12	0.494	427	釘の切断
	DB-13	0.517	428	釘の切断
	DB-14	0.506	414	釘の切断
ベイツガ	HB- 1	0.531	373	釘の切断
	HB- 2	0.501	376	釘の切断
	HB- 3	0.479	393	釘の切断
	HB- 4	0.469	398	釘の切断
	HB- 5	0.465	380	釘の割れ
	HB- 6	0.462	358	釘の抜け
	HB- 7	0.454	414	釘の割れ
	HB- 8	0.455	389	釘の割れ
	HB- 9	0.450	365	釘の切断
	HB-10	0.436	374	釘の割れ
	HB-11	0.442	442	釘の割れ
	HB-12	0.431	422	釘の割れ
スギ	SB- 1	0.453	331	釘の延び
	SB- 2	0.293	228	釘の延び
	SB- 3	0.328	246	釘の延び
	SB- 4	0.336	213	釘の割れ
	SB- 5	0.350	297	釘の割れ
	SB- 6	0.366	267	釘の延び
	SB- 7	0.376	296	釘の抜け
	SB- 8	0.399	335	釘の抜け
	SB- 9	0.407	295	釘の抜け
	SB-10	0.421	374	釘の抜け
	SB-11	0.426	335	釘の抜け
	SB-12	0.435	351	釘の割れ
	SB-13	0.384	308	釘の割れ
	SB-14	0.461	414	釘の抜け
	SB-15	0.507	419	釘の抜け
	SB-16	0.477	383	釘の割れ

表-4 比重、最大荷重等の平均値及び標準偏差

項目	樹種	大型波釘			小型波釘		
		最小-平均-最大	SD*	COV**	最小-平均-最大	SD	COV
A 比重	ベイマツ	0.478-0.525-0.641	0.049	0.09	0.491-0.552-0.651	0.057	0.10
	ベイツガ	0.431-0.465-0.531	0.028	0.06	0.457-0.496-0.566	0.030	0.06
	スギ	0.293-0.401-0.507	0.059	0.15	0.300-0.398-0.509	0.053	0.13
	スギ(45°)	0.341-0.390-0.442	0.039	0.10	0.341-0.390-0.442	0.039	0.10
	スギ(60°)	0.397-0.397-0.397	0.000	0.00	0.397-0.397-0.397	0.000	0.00
B 最大 荷重 (kgf)	ベイマツ	358-418-460	31.9	0.08	172-191-217	17.1	0.09
	ベイツガ	358-390-365	25.1	0.06	163-183-215	12.7	0.07
	スギ	213-318-419	61.7	0.19	94-137-174	30.3	0.22
	スギ(45°)	112-176-198	31.9	0.18			
	スギ(60°)	230-238-247	11.4	0.05			
C 比例限 荷重 (kgf)	ベイマツ	22.5-33.4-63.3	11.3	0.34	18.7-31.6-46.9	9.0	0.29
	ベイツガ	25.0-38.9-70.0	11.8	0.30	11.0-18.1-28.3	5.4	0.30
	スギ	15.7-22.4-33.7	4.8	0.21	10.5-15.6-25.0	4.1	0.26
	スギ(45°)	16.3-26.8-33.3	8.6	0.32			
	スギ(60°)	17.5-25.7-34.0	11.7	0.45			
D C/B	ベイマツ	0.05-0.08-0.16	0.03	0.38	0.11-0.16-0.24	0.04	0.25
	ベイツガ	0.07-0.10-0.18	0.03	0.31	0.06-0.10-0.16	0.03	0.29
	スギ	0.05-0.07-0.11	0.02	0.24	0.07-0.12-0.23	0.04	0.35
	スギ(45°)	0.08-0.15-0.20	0.04	0.29			
	スギ(60°)	0.07-0.11-0.15	0.05	0.50			
E 最大荷 重時ス リップ (mm)	ベイマツ	9.0-16.5-20.4	2.9	0.18	8.8-10.9-12.3	1.3	0.12
	ベイツガ	12.9-17.5-20.5	1.9	0.11	9.7-12.1-13.5	1.2	0.10
	スギ	11.6-17.7-20.7	2.4	0.14	8.6-11.0-12.8	1.4	0.13
	スギ(45°)	7.1-15.0-23.0	7.5	0.50			
	スギ(60°)	8.9-16.8-24.6	11.1	0.66			
F 比例限 荷重時 スリッ ブ(mm)	ベイマツ	0.08-0.19-0.45	0.12	0.66	0.07-0.19-0.48	0.12	0.67
	ベイツガ	0.07-0.28-0.88	0.22	0.76	0.04-0.12-0.28	0.07	0.58
	スギ	0.08-0.14-0.21	0.04	0.30	0.07-0.15-0.37	0.09	0.55
	スギ(45°)	0.03-0.24-0.55	0.18	0.73			
	スギ(60°)	0.15-0.15-0.16	0.01	0.03			
G F/E	ベイマツ	0.005-0.012-0.050	0.012	0.96	0.007-0.017-0.052	0.013	0.76
	ベイツガ	0.004-0.017-0.049	0.012	0.76	0.004-0.009-0.022	0.005	0.54
	スギ	0.004-0.008-0.016	0.004	0.42	0.006-0.015-0.039	0.009	0.64
	スギ(45°)	0.001-0.024-0.053	0.020	0.86			
	スギ(60°)	0.006-0.012-0.017	0.007	0.64			
H 剛性 (kgf/mm)	ベイマツ	97-212-335	68	0.32			
	ベイツガ	89-158-335	70	0.44			
	スギ	86-155-208	41	0.27			

* 標準偏差
** 変動係数

表-3 試験片の比重及び最大荷重 (大型波釘、角度付き)

樹種	試験片記号	比重	最大荷重 (kgf)	破壊モード
スギ	SB45T-1	0.384	198	釘の延び
	SB45T-2	0.383	189	釘の延び
	SB45T-3	0.341	112	釘の延び
	SB45T-4	0.429	189	釘の延び
	SB45T-5	0.442	182	釘の延び
	SB45T-6	0.359	189	釘の延び
スギ	SB60T-1	0.397	246	材の割れ
	SB60T-2	0.397	230	材の割れ

表-2 試験片の比重及び最大荷重 (小型波釘)

樹種	試験片記号	比重	最大荷重(kgf)	破壊モード
ベイマツ	DS-1	0.651	193	釘の延び
	DS-2	0.496	213	釘の抜け
	DS-3	0.491	174	釘の切断
	DS-4	0.515	202	釘の切断
	DS-5	0.503	187	釘の切断
	DS-6	0.630	209	釘の切断
	DS-7	0.611	217	釘の抜け
	DS-8	0.582	204	釘の切断
	DS-9	0.578	181	釘の切断
	DS-10	0.546	172	釘の切断
	DS-11	0.533	173	釘の抜け
	DS-12	0.492	172	釘の抜け
ベイツガ	HS-1	0.457	183	釘の抜け
	HS-2	0.466	182	釘の抜け
	HS-3	0.473	182	釘の抜け
	HS-4	0.476	163	釘の抜け
	HS-5	0.480	189	釘の抜け
	HS-6	0.483	190	釘の抜け
	HS-7	0.488	185	釘の抜け
	HS-8	0.494	177	釘の抜け
	HS-9	0.497	167	釘の抜け
	HS-10	0.501	192	釘の抜け
	HS-11	0.507	191	釘の抜け
	HS-12	0.522	179	釘の抜け
	HS-13	0.541	173	釘の抜け
	HS-14	0.566	215	釘の抜け
スギ	SS-1	0.300	94	釘の抜け
	SS-2	0.342	94	釘の抜け
	SS-3	0.355	102	釘の抜け
	SS-4	0.360	113	釘の抜け
	SS-5	0.374	113	釘の抜け
	SS-6	0.377	148	釘の抜け
	SS-7	0.388	119	釘の抜け
	SS-8	0.403	168	釘の抜け
	SS-9	0.413	170	釘の抜け
	SS-10	0.421	143	釘の抜け
	SS-11	0.430	147	釘の抜け
	SS-12	0.441	167	釘の抜け
	SS-13	0.461	169	釘の抜け
	SS-14	0.509	174	釘の切断

表一5 シミュレーション結果

(k g f)

樹種グループ	大型波釘		小型波釘	
	5%下限値	許容耐力*	5%下限値	許容耐力*
J 1	315	210	141	94
J 2	281	187	121	80
J 3	248	165	104	69

* 安全率を1.5として導いた短期許容耐力

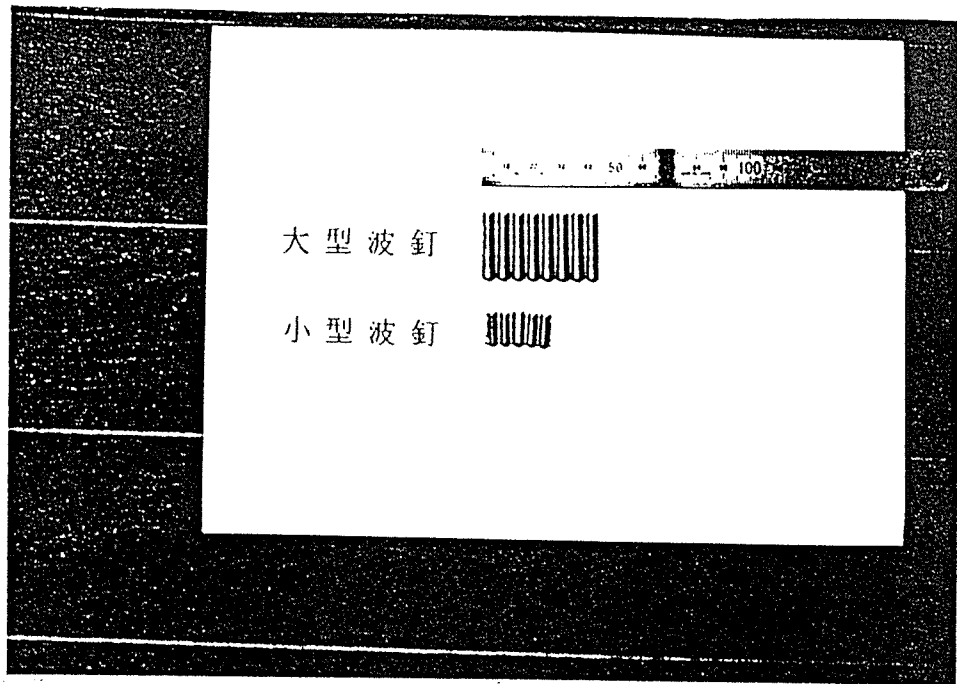


写真 - 1 供試波釘

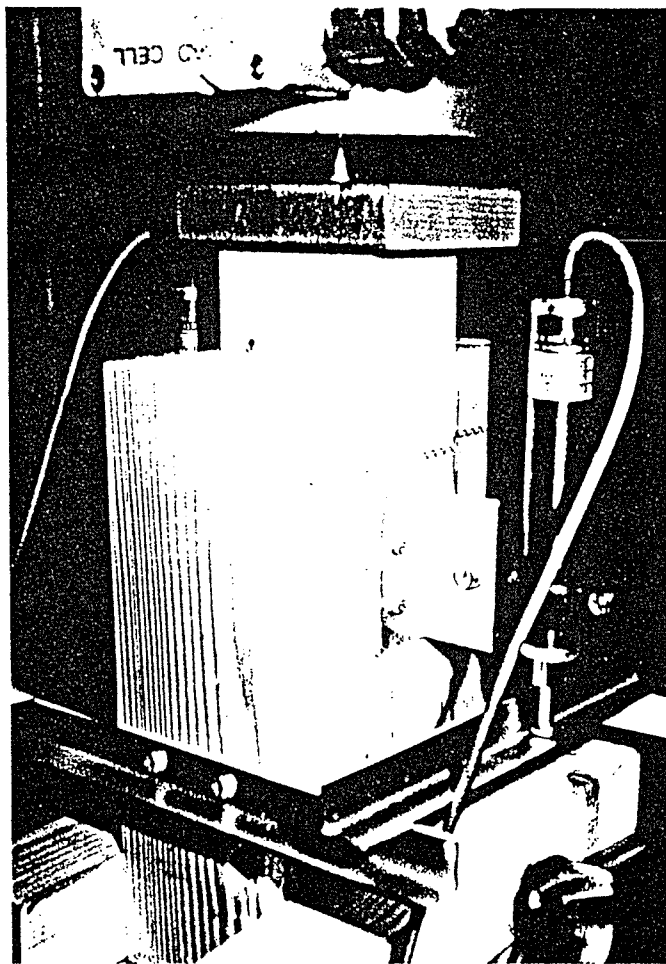
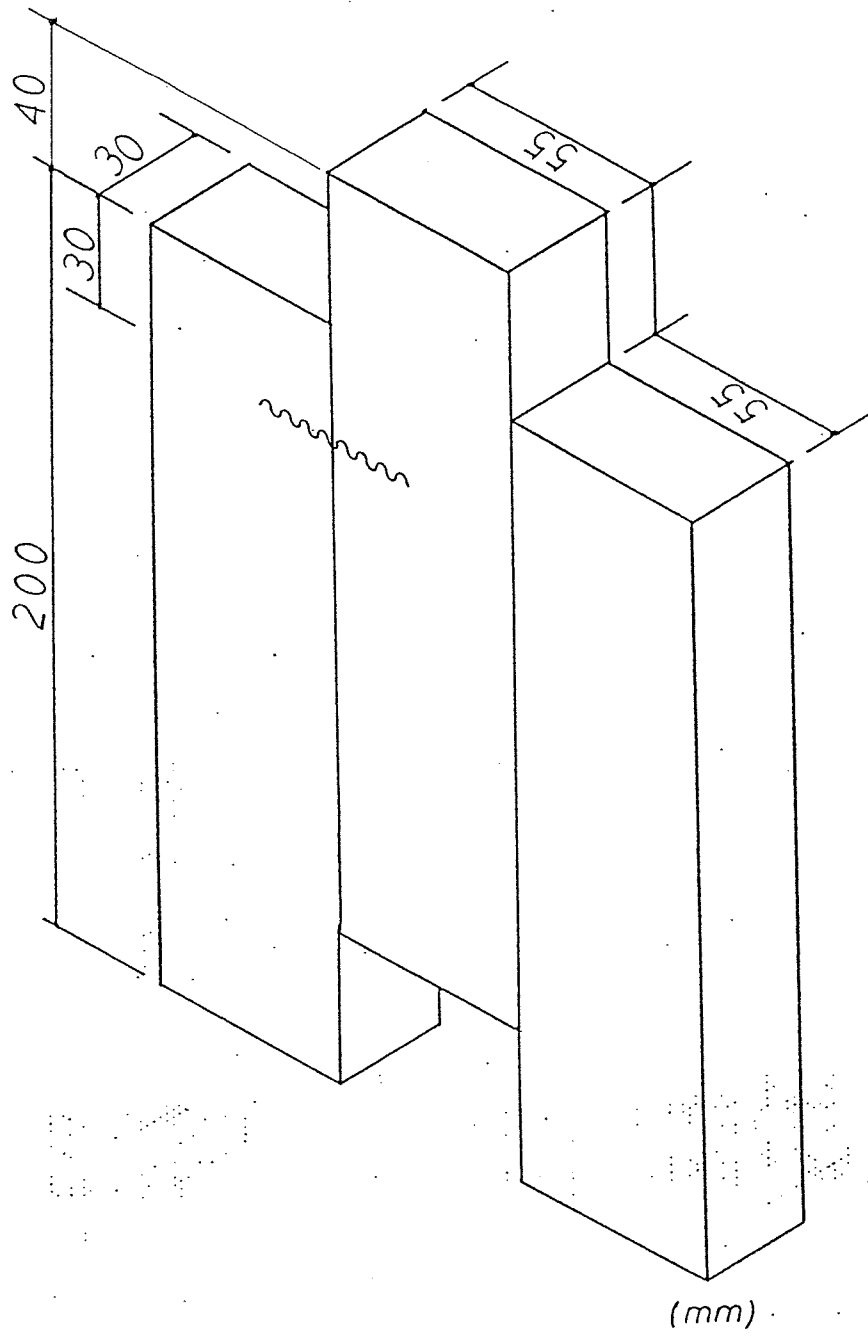


写真 - 2 接合部せん断試験の様様



圖一 1 接合試驗片 (大型波釘用)

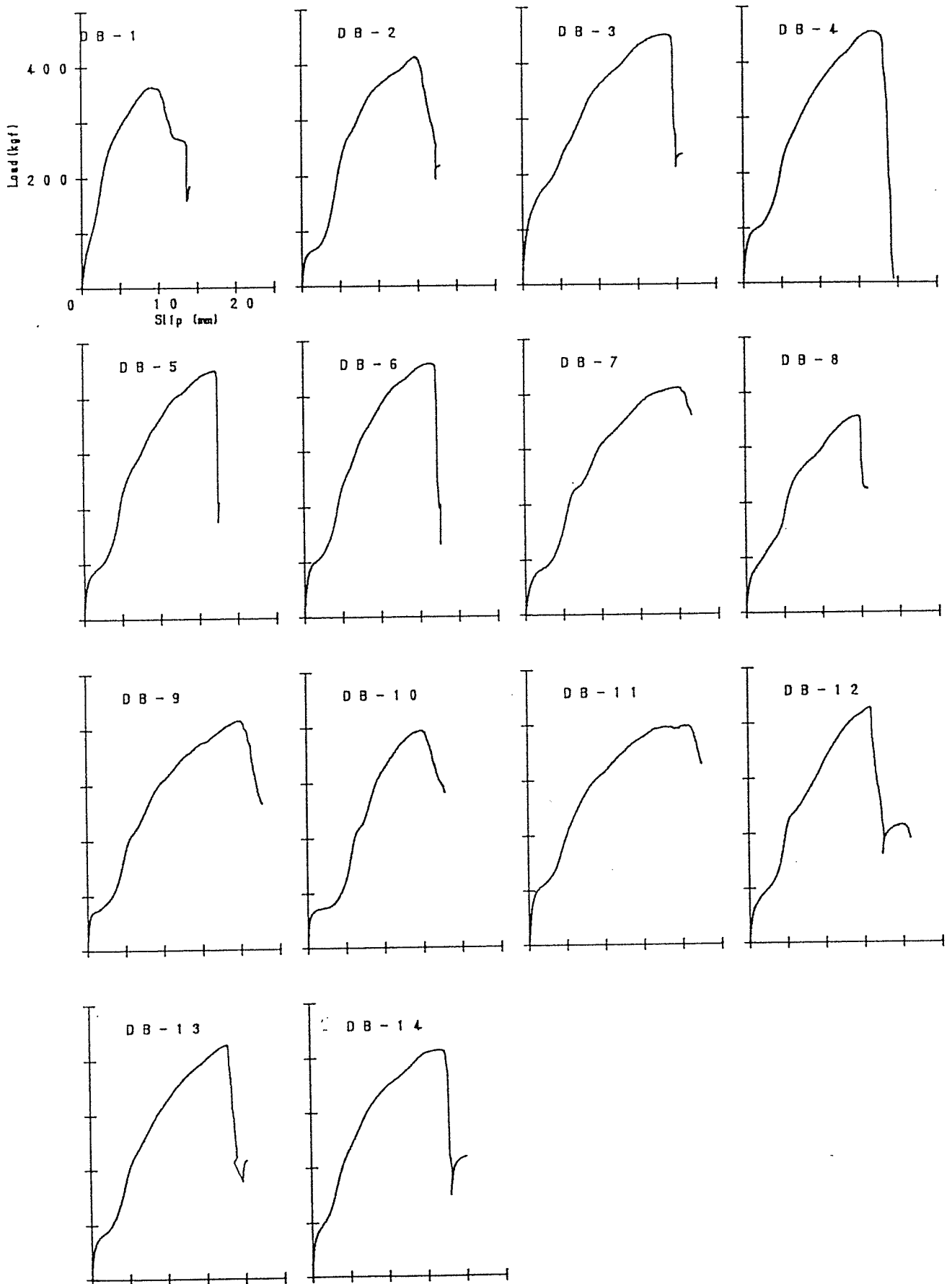


図-2 荷重-すべり曲線 (大型波釘、バイマツ)

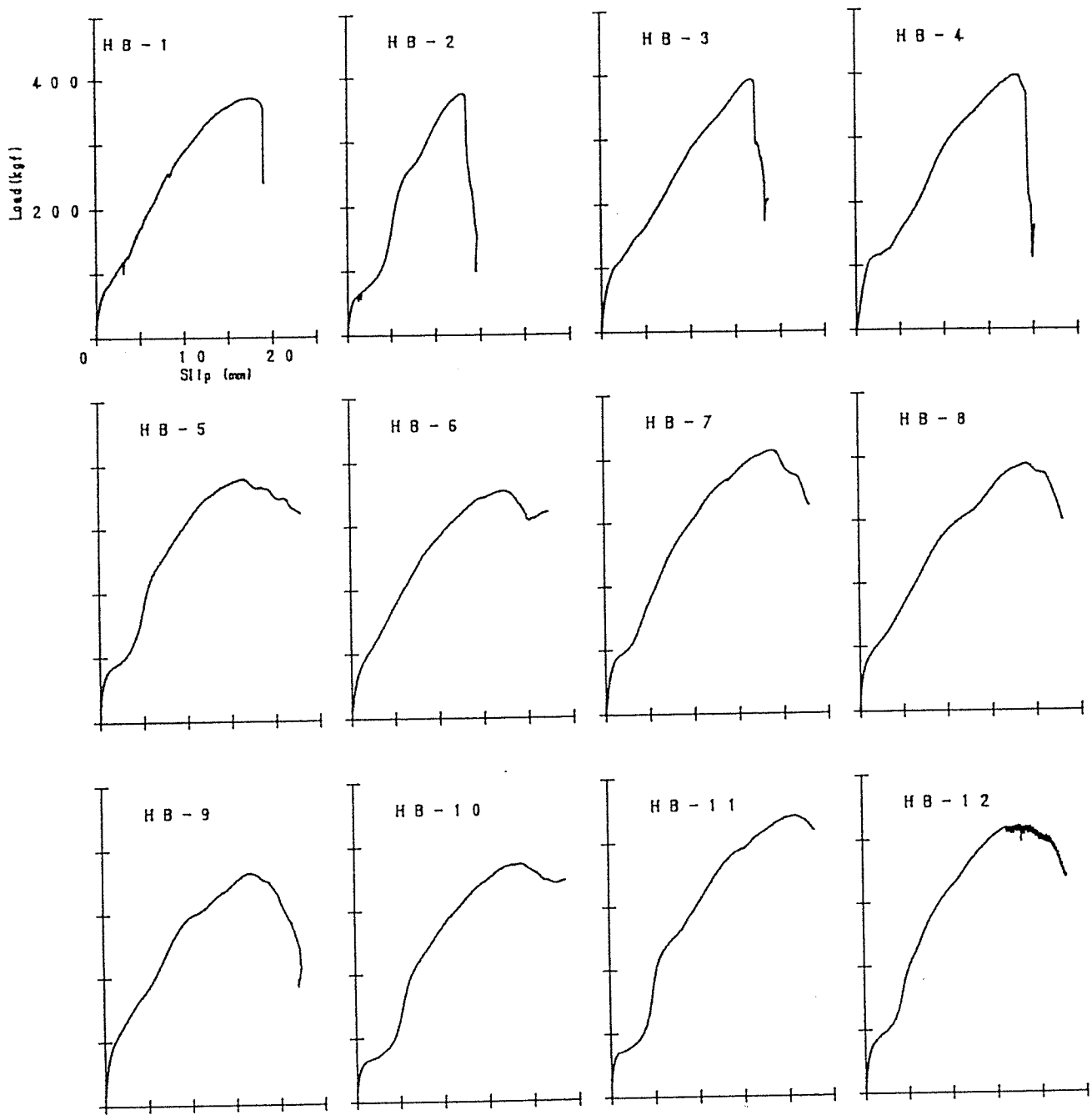
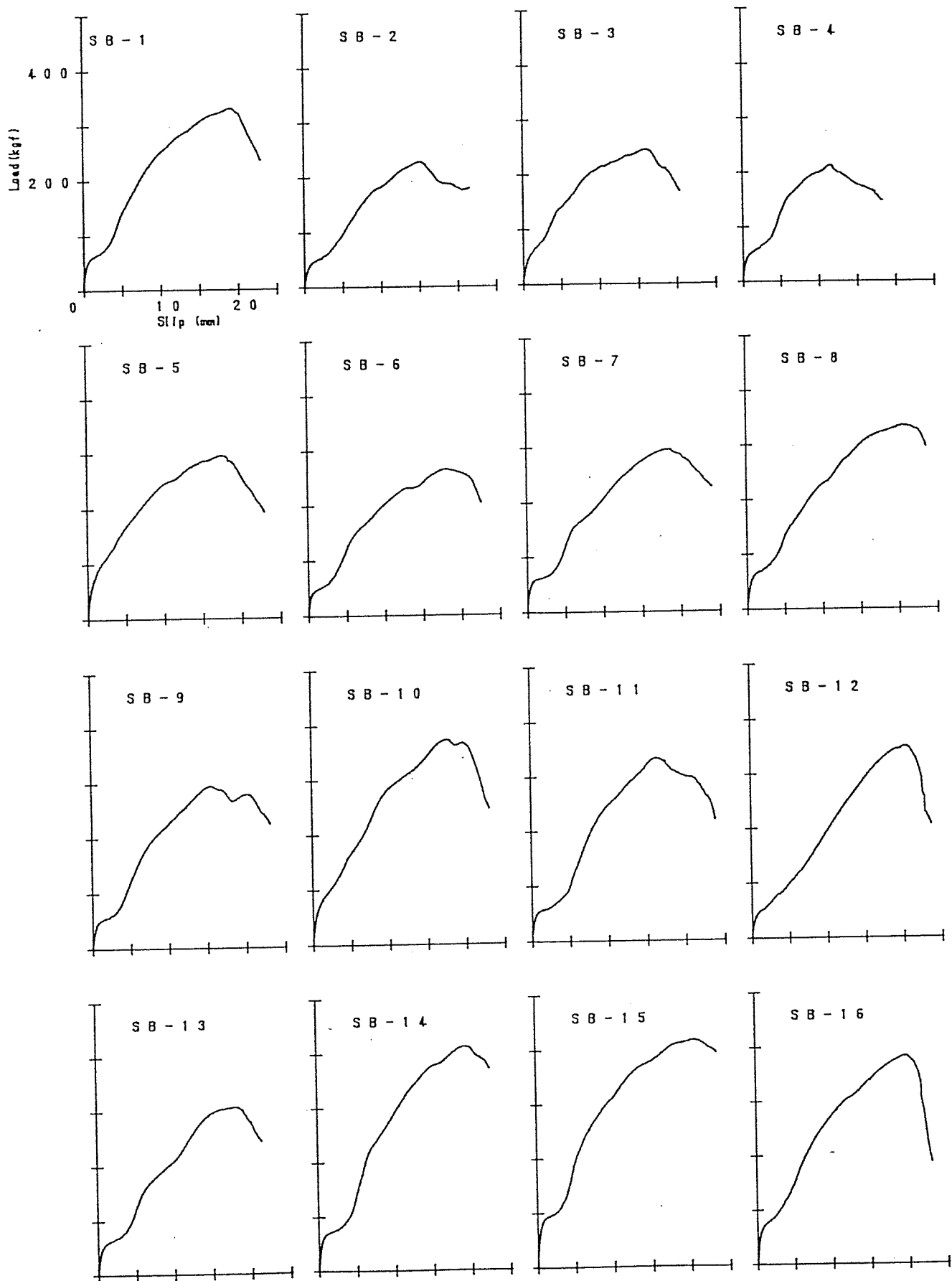


図-3 荷重-すべり曲線 (大型波釘、ベイツガ)



図一(4) 荷重-すべり曲線 (大型波釘、スギ)

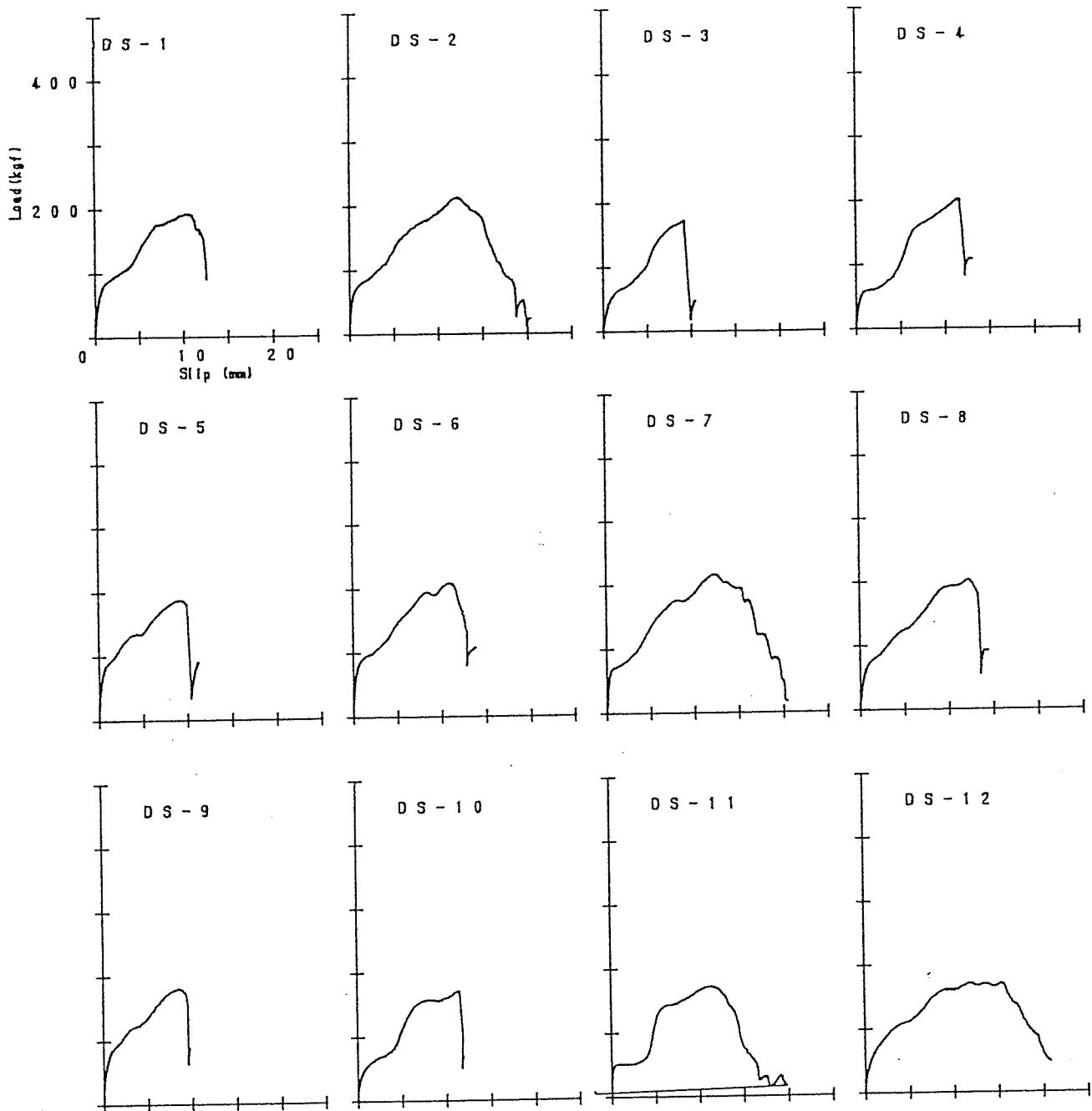


図-5 荷重-すべり曲線 (小型波釘、ベイマツ)

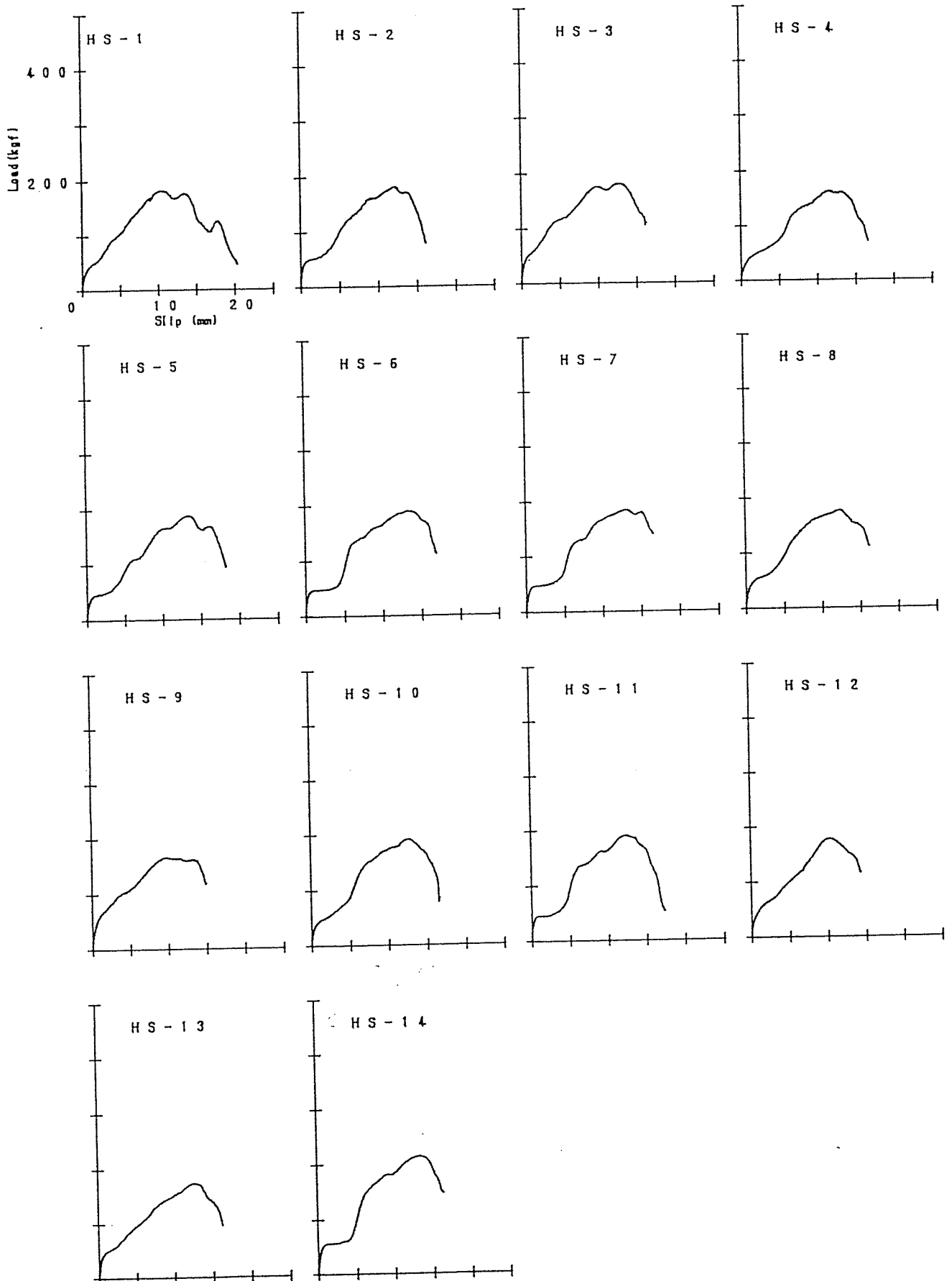


図-6 荷重-すべり曲線 (小型波釘、ベイツガ)

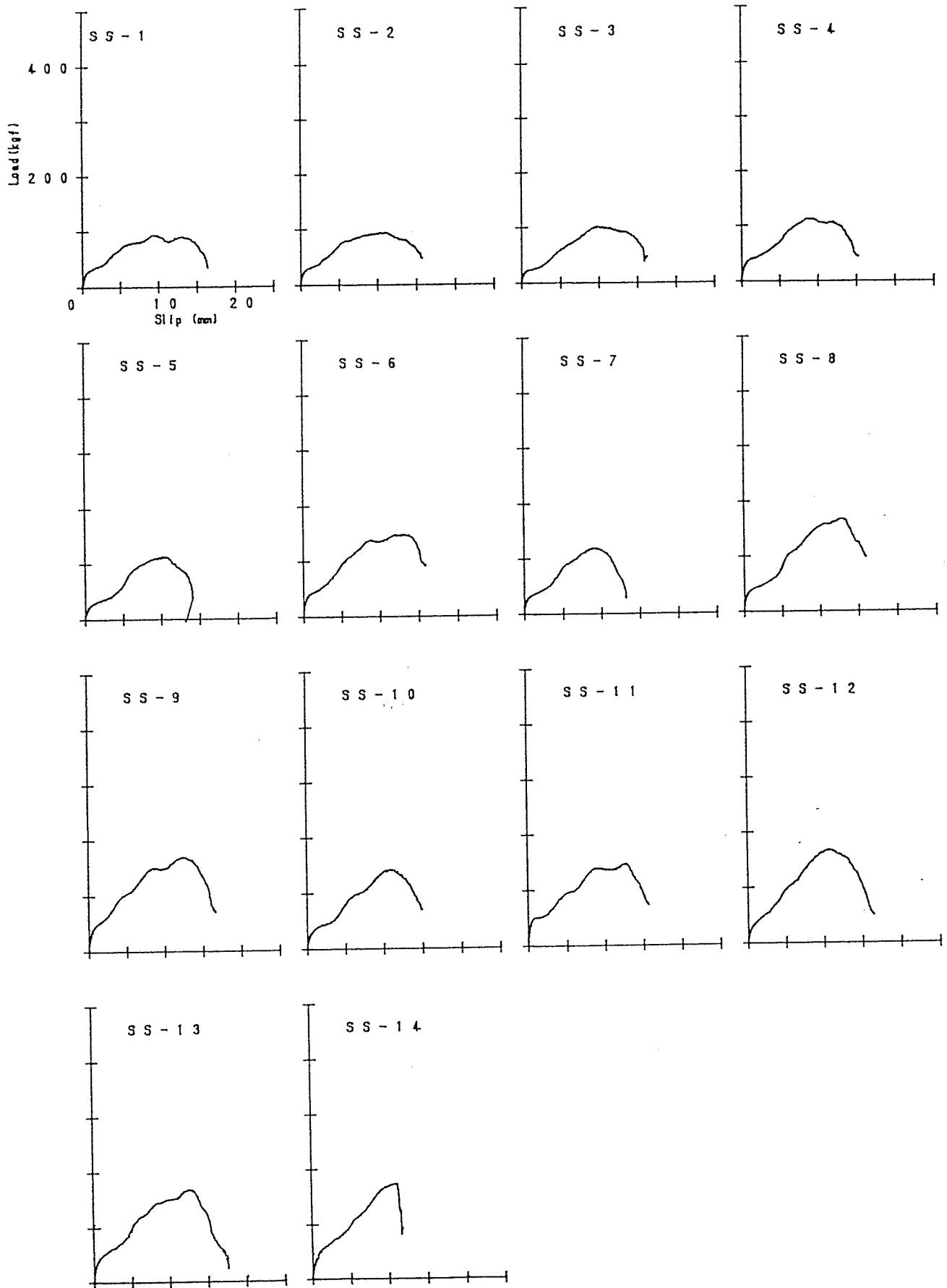
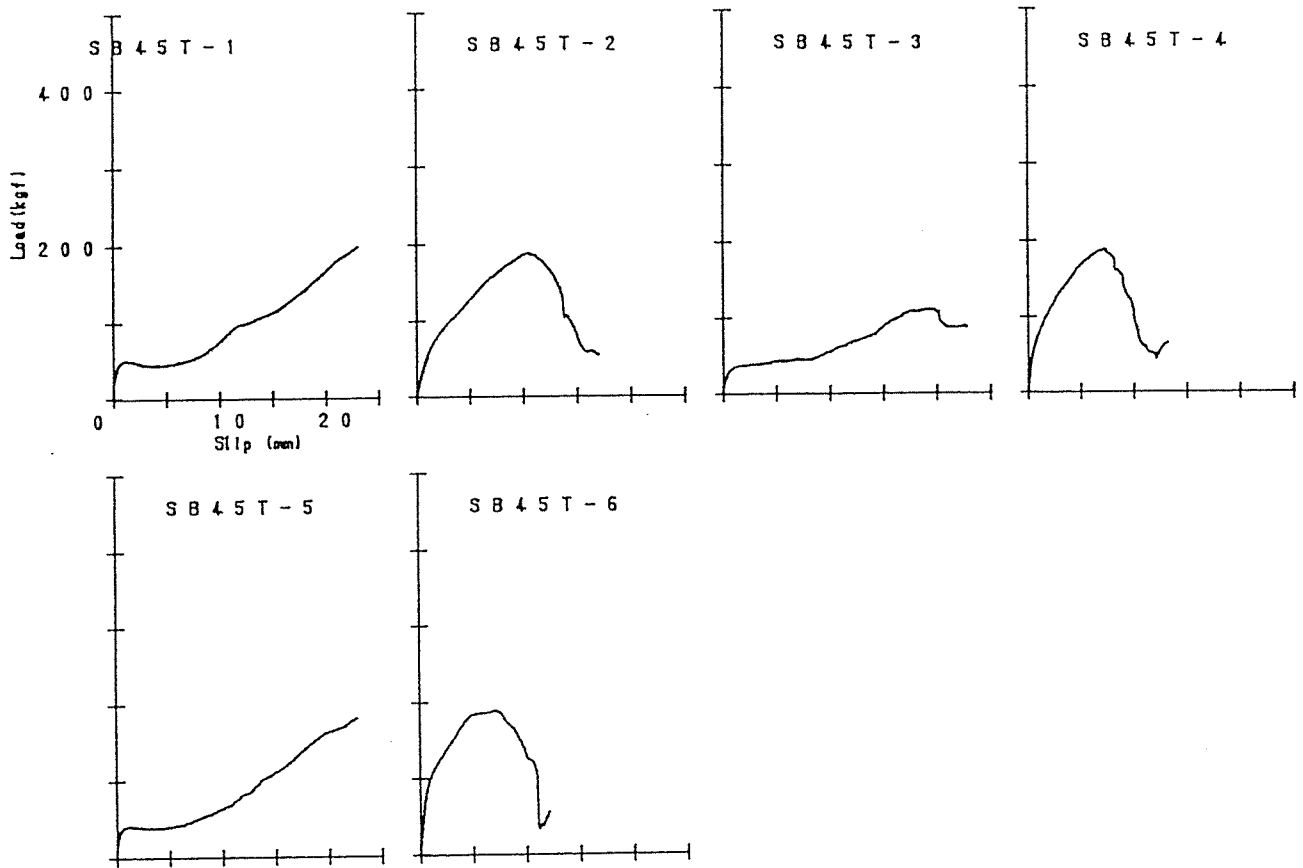
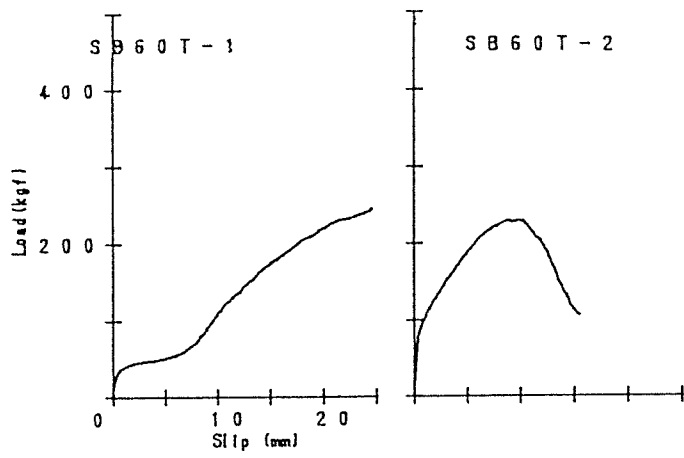


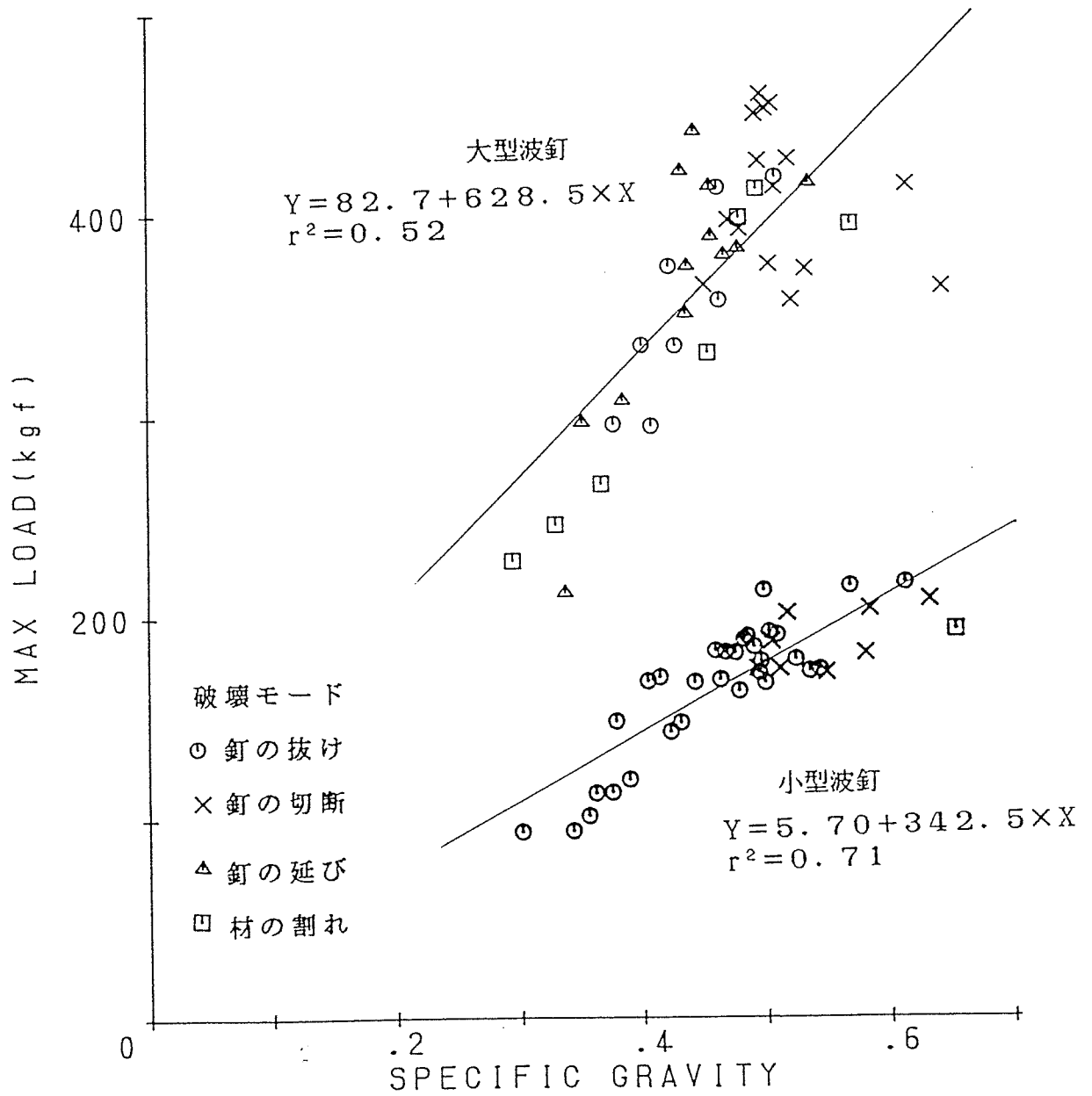
図-7 荷重-すべり曲線 (小型波釘、スギ)



図一 8 荷重-すべり曲線 (大型波釘、スギ、 45°)



図一 9 荷重—すべり曲線（大型波釘、スギ、 60° ）



図一/0 比重と最大荷重の回帰直線

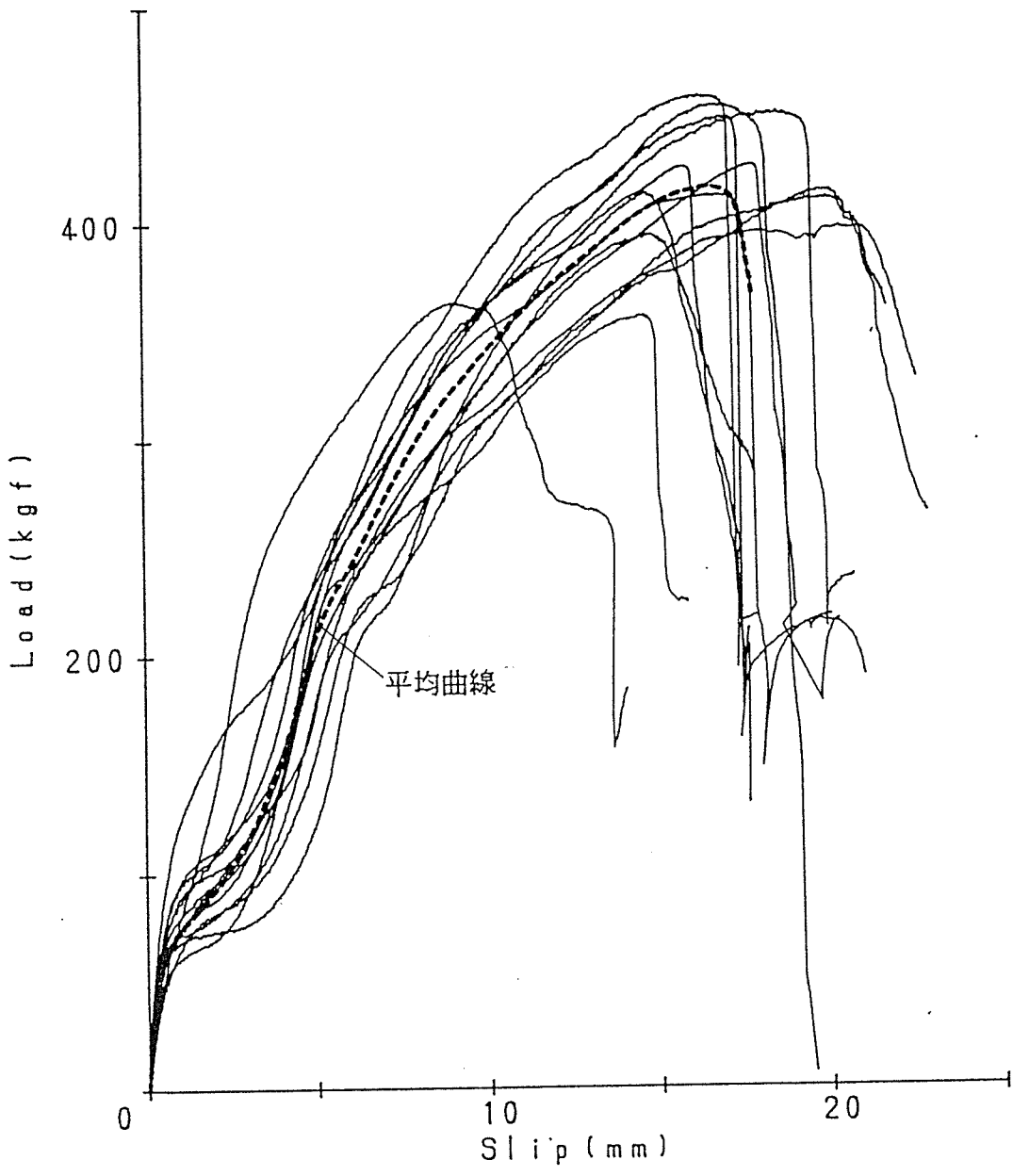


図-11 荷重-たり曲線 (大型波釘、ベイマツ)

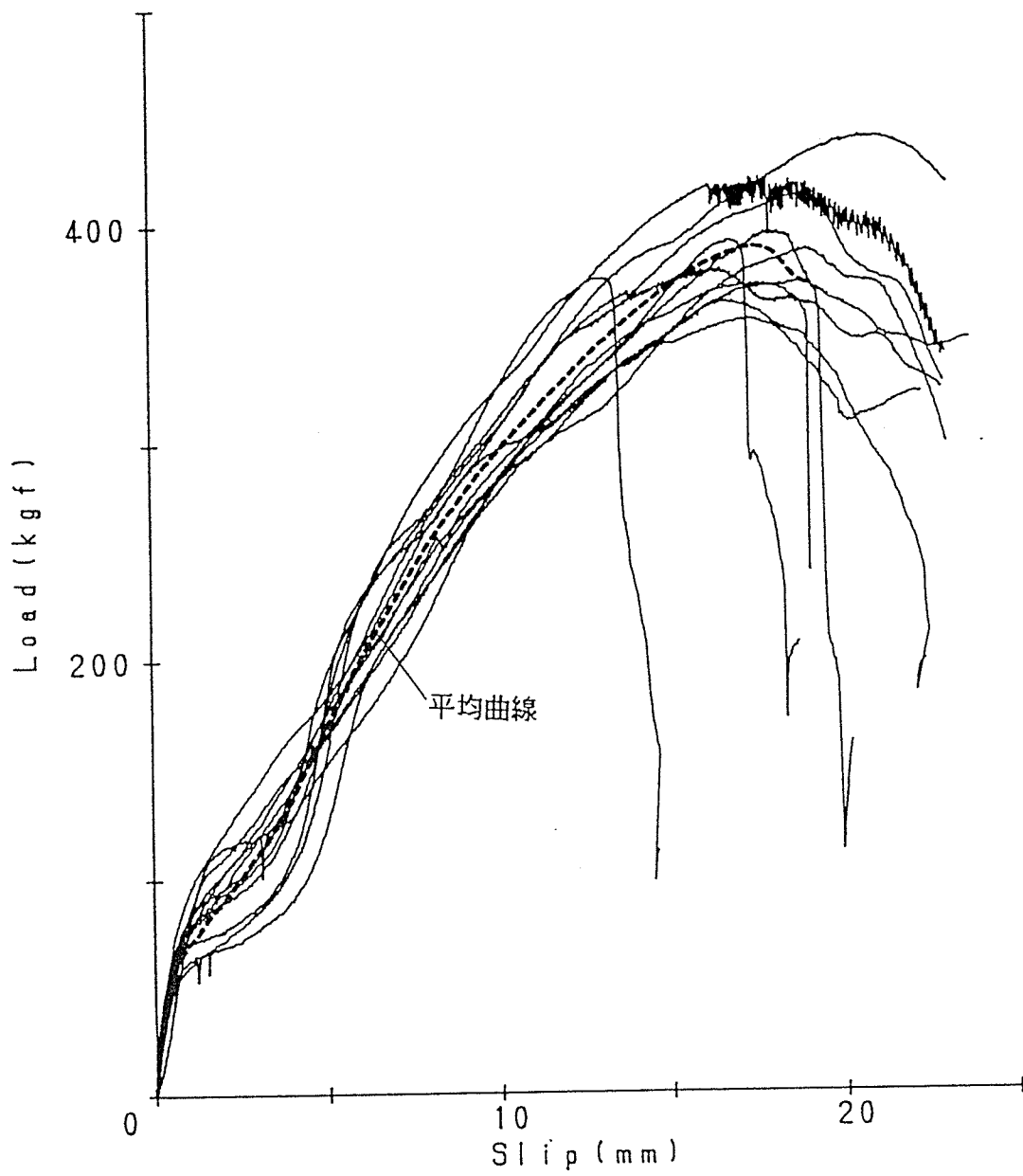


図-12 荷重-たり曲線 (大型波釘、ベイツガ)

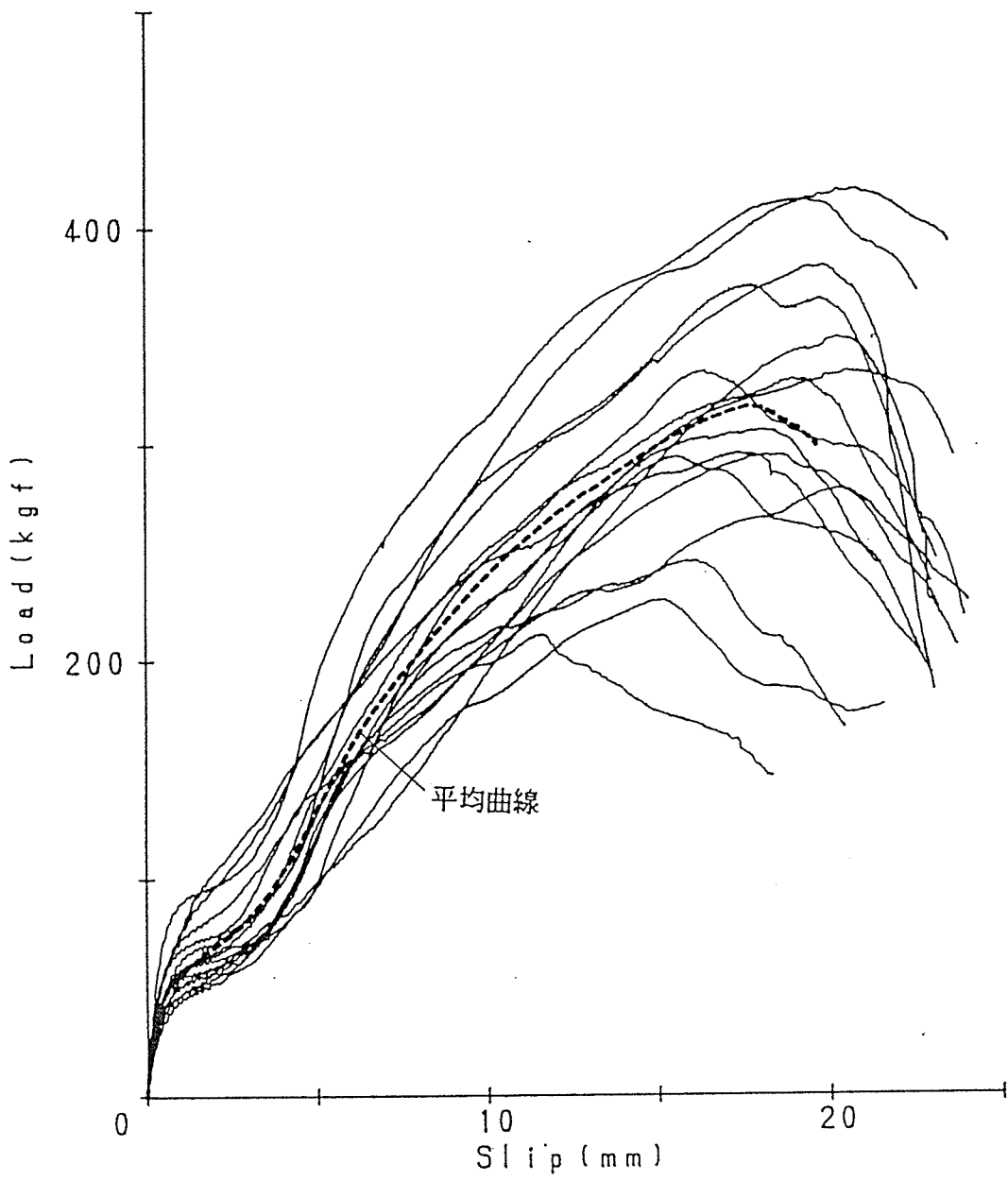


図-13 荷重-たり曲線 (大型波釘、スギ)

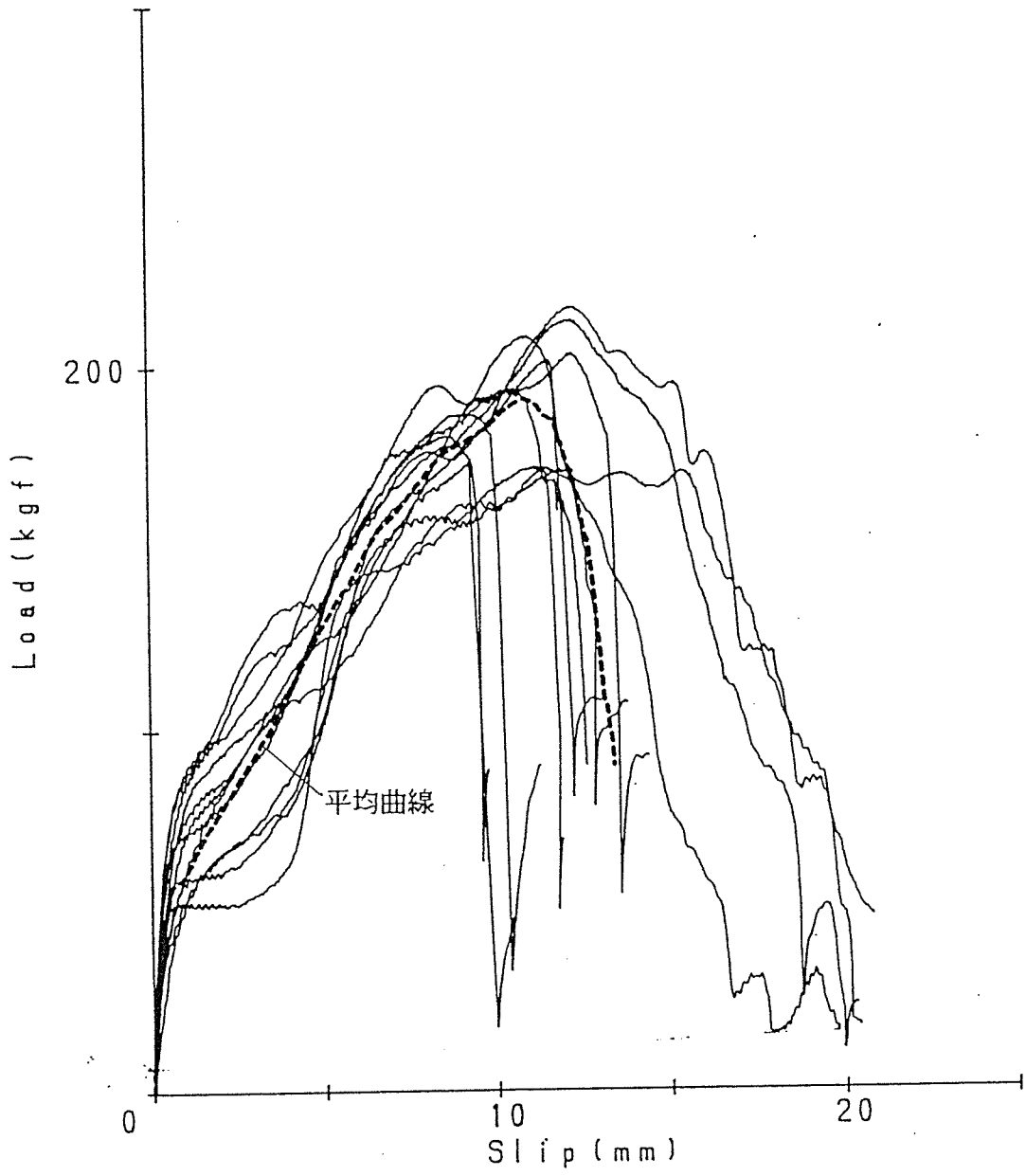


図-14 荷重-たり曲線 (小型波釘、ベイマツ)

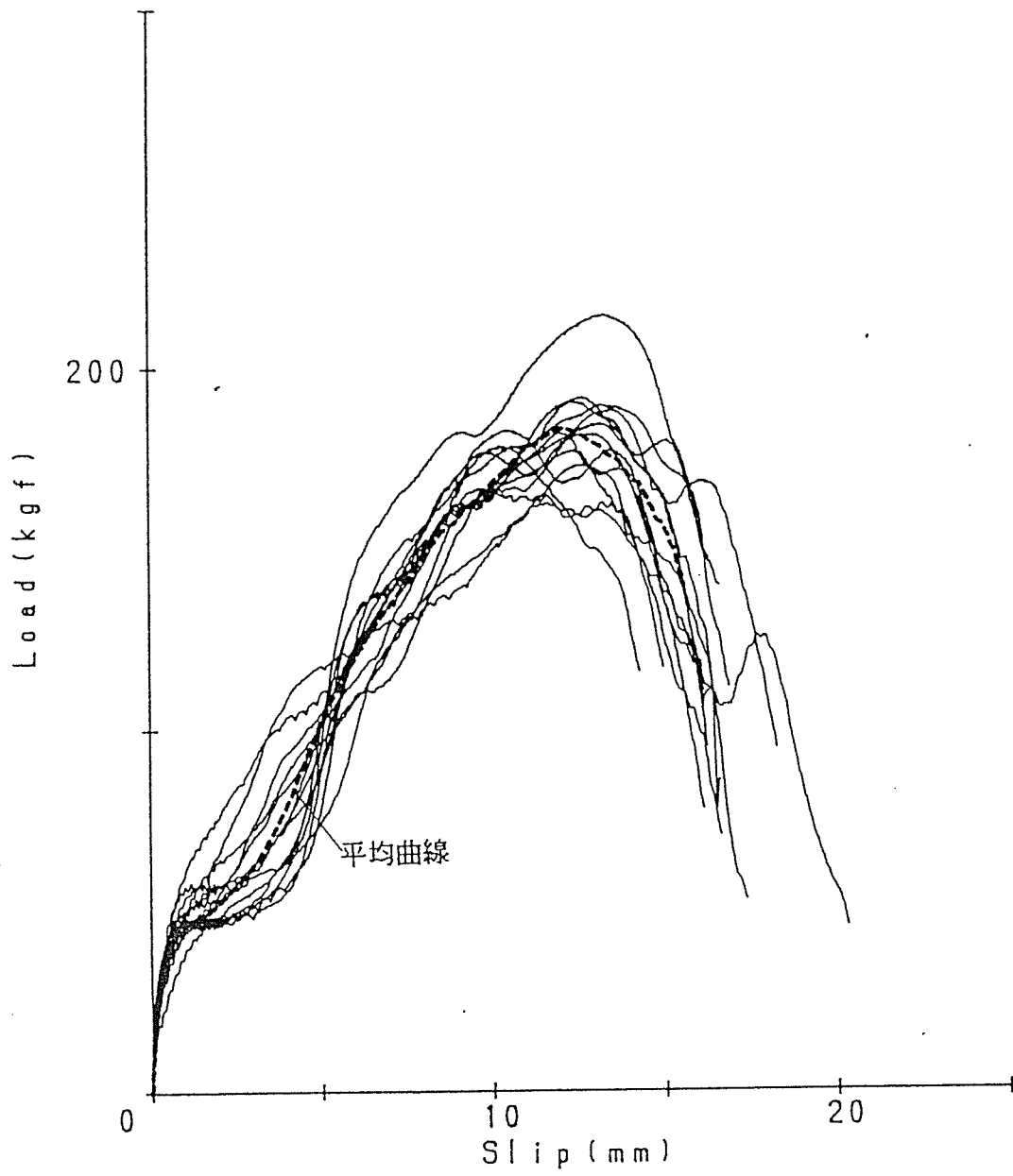


図-15 荷重-たり曲線 (小型波釘、ペイツガ)

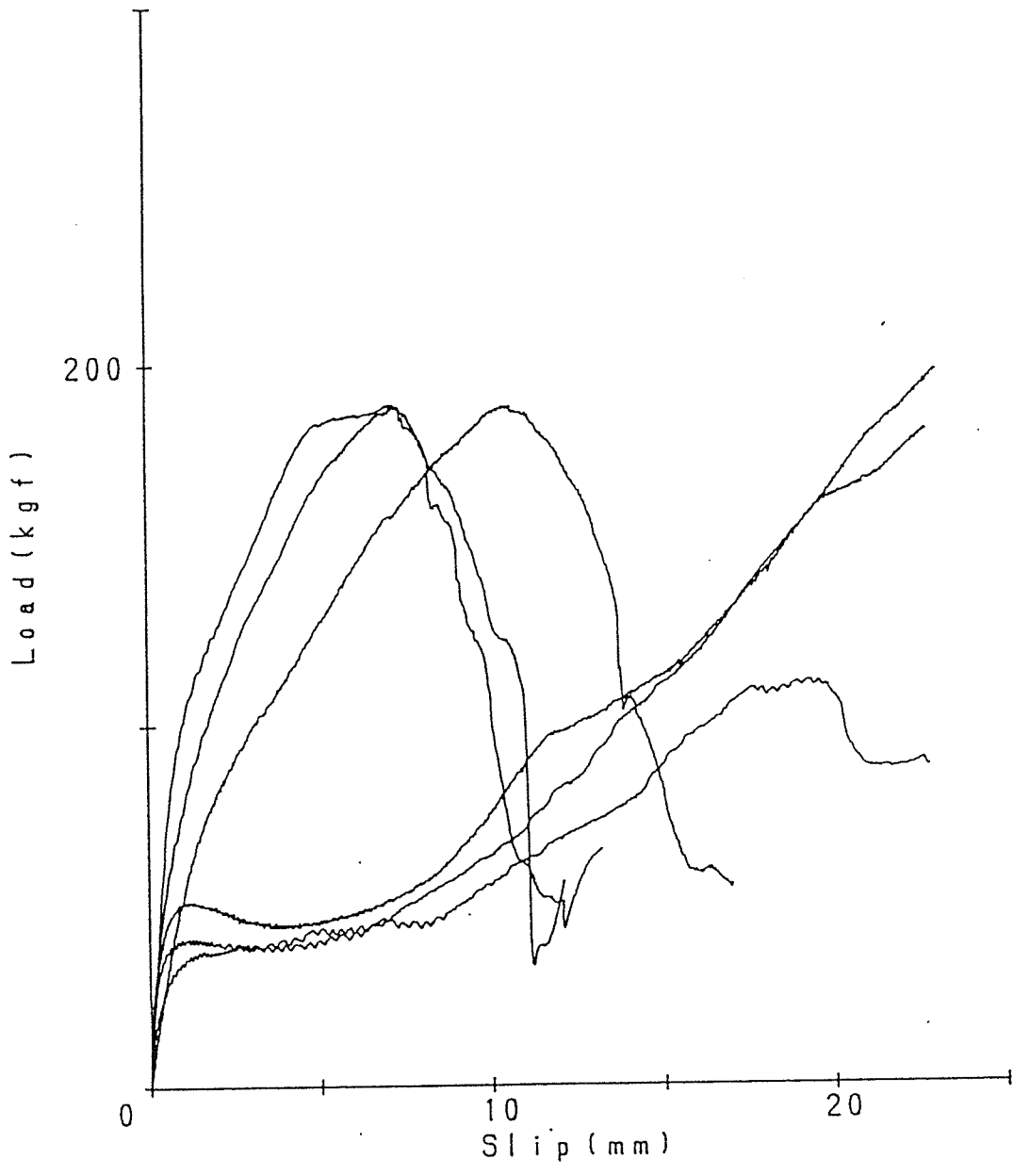


図-17 荷重-たり曲線 (大型波釘、スギ、45°)

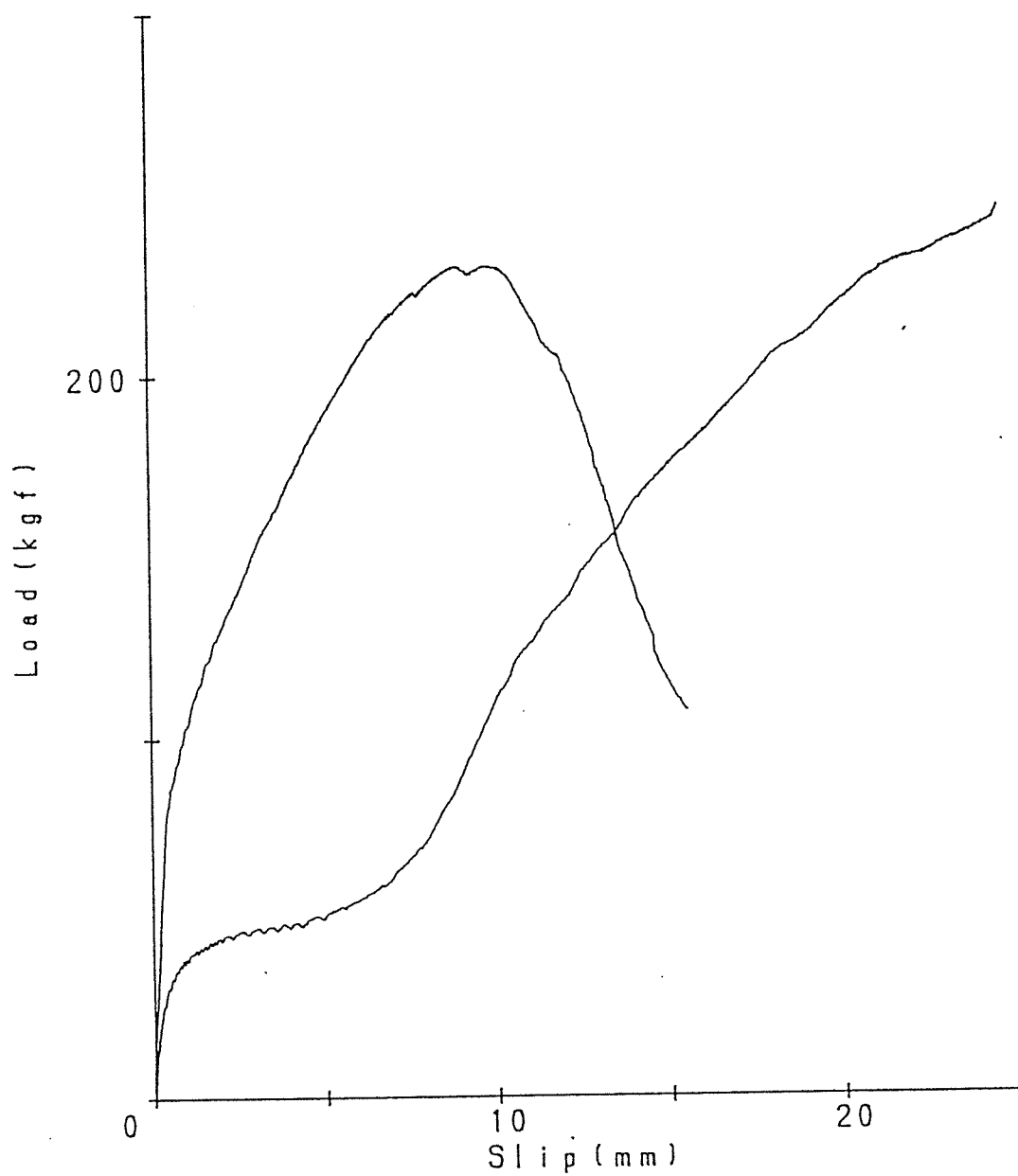


図-18 荷重-たり曲線 (大型波釘、スギ、60°)

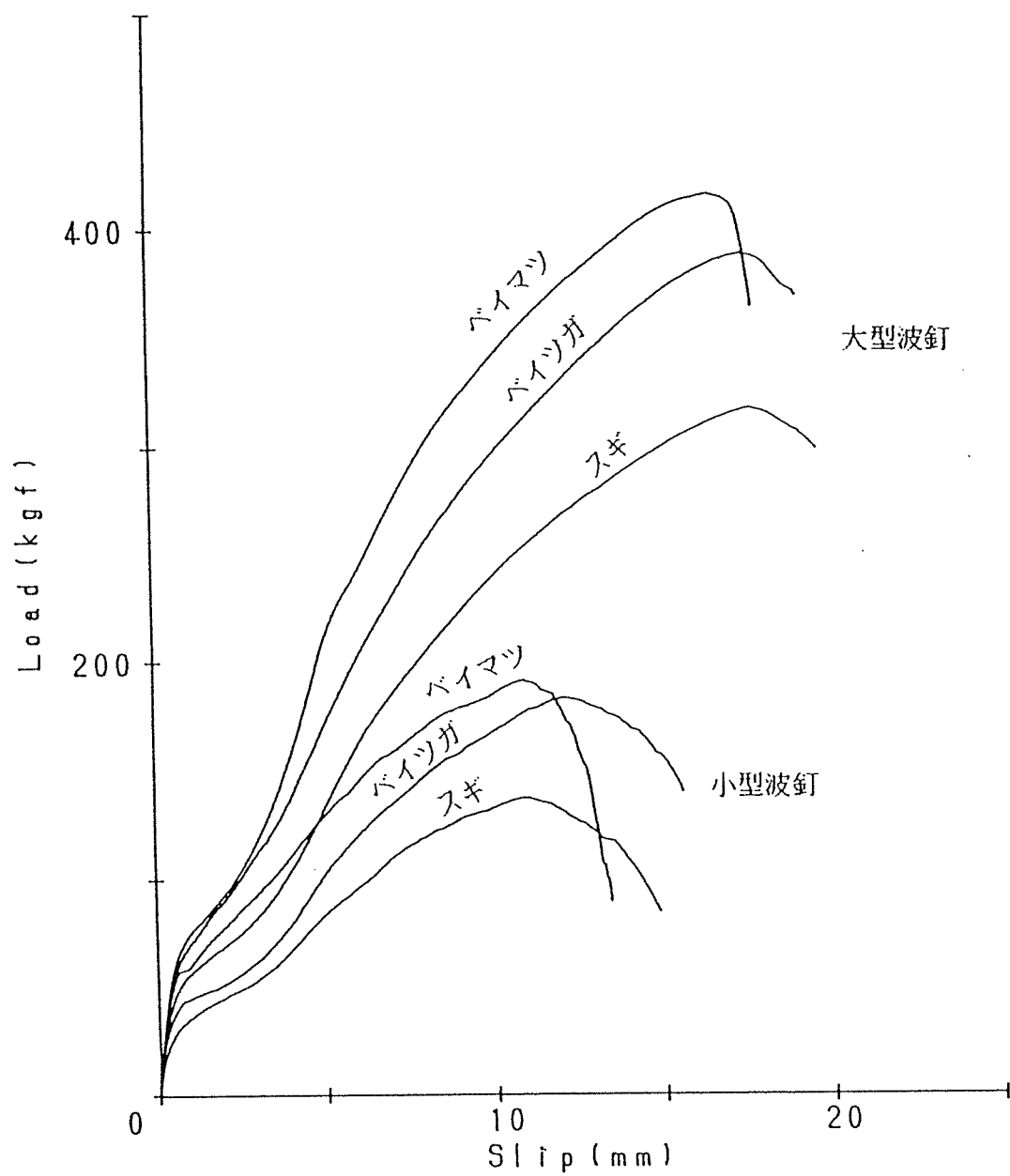


図-19 荷重-びり平均曲線

スギ重ねばりを実用化する際問題となるのは、剛性とクリープ性能である。今までの実験では、スギを除湿乾燥で含水率を20%程度に落としても、10年後の推定たわみは、初期たわみの2-3倍になり、実用上やや問題があった。そこで今回は、このクリープの問題を解決するために、重ねばりの最外層にLVLを配して、剛性とクリープ性能の向上を図ってみた。

その他、中実重ね梁と、透かしばりについても実験を行い、透かしばりの実用可能性も検討した。

2.1 実験

2.1.1 試験体

(1) スギ供試体の選定

スギ正角材(90×90×4000mm)40本について曲げヤング係数を測定した(表1. 図1. .)。測定方法は、スパン3600mmで、中央に重量10kgの円盤を4枚載せ、ダイヤルゲージにて中央の変位を測定して行った。その中から平均値に近いものを、27本選び出した。また、38mm厚のスギ材(38×90×4000mm)6本についても、スパン3600mm、中央集中荷重方式で、中央の変位をダイヤルゲージにて測定し、曲げヤング係数を求めた。この場合は、フラットワイズ方向に約1.5~4kgの重りを3~4回に分けて加え、中央たわみを測定した。

(2) 重ねばりの製造

試験体にはAシリーズとBシリーズ及びクリープ試験体がある。

1) Aシリーズ

スギ90mm正角材を3段に重ねた重ねばりの上下最外層にLVL(商品名マイクロラム:トラスジョイスト(株)製、ベイマツ単板積層材、接着剤:熱硬化型フェノール樹脂、グレード2.0E(MOE=140×10³kgf/cm²)、38×90×4000mm)を接着積層した。Aシリーズ4体のうち3体は、いわゆる透しばり

(別名はしごばり)で、中央の正角材に透しがはいつている。30cmのつなぎブロックが4体入っている試験体をA1、6体入っている試験体をA2、透しが入っていない中実重ねばりをA3、120cmのつなぎブロックが2体入っている試験体をA4とした(図2、図4参照)。

2) Bシリーズ

スギ90mm正角材を2段に重ねた重ねばりの上下最外層にLVL(38×90×4000mm)またはスギ(38×90×4000mm)を接着積層した。Bシリーズ3体のうち最外層にLVLの接着してある試験体をB1、スギの接着してある試験体をB2とした。B3はB1と同じ形態であるが、2段に重ねたスギ90mm正角材のうちの上の正角材が4つに切断されており、バットジョイントの状態になっている。2枚のLVLを引張側に積層した試験体をB4とした(図3、図4参照)。B1、B2、B3は各2体、B4は1体、Bシリーズは計7体であった。

3) クリープ試験

上に述べたBシリーズのうち、B1とB2についてはクリープ試験を行った。

重ねばりの製造方法として、Aシリーズは接着剤を塗布した後、ボルトによって締め付けるので、予めボルトの穴を開けておいた(ボルトの位置は図2参照)。スギ材の接着面はプレーナーを掛け、ほこり等を取り除いてから1液型のポリウレタン樹脂接着剤(商品名ウッドロック:日本ポリウレタン工業(株)製、カートリッジタイプ)を用いて接着した。接着剤の塗布は、接着剤がカートリッジに入っているため、帯状に2本塗布し、積層した際に横から染み出るくらいの量とした。圧縮はA1とA3についてはボルト(M12)7本、A2はボルト6本で行った。Bシリーズはターンバックルで6~7箇所締め付けた。2~7日の養生を行った後、試験を行った。

各試験体に用いられた材の曲げヤング係数と試験時の含水率、および、その重ねた順序を表2に示した。

(3) 剪断試験体

つなぎブロックの必要長さを求めるために、曲げ試験を終了したA3の試

験体の破壊していない部分から剪断試験体を切り出した(図 5)。剪断試験体の接着面の長さは10、15、25 cmの3種類で、圧縮用ボルトの穴を含んでいた。試験体数は各1体であった。

2. 1. 2 試験方法

(1) 曲げ強度試験の試験方法

曲げ強度試験の様子を写真 1 に示した。曲げ強度試験はスパン3600 mm、3等分点2点荷重方式で行った。荷重点と試験体との間にはローラーをはさみ、すべるようにした。変位計は中央と荷重点の3箇所に設置し、また、試験体側面の中央部にはひずみゲージ (TYPE: KFC-5-C1-11, GAGE LENGTH:5mm, GAGE FACTOR:2.10 ±1%, 共和社製) を貼り、ひずみも測定した。ひずみゲージの位置と番号を図 6 に示した。ただし、B1、B2、B3の2体目、および、B4についてはひずみゲージを貼らなかった。試験を行った後、端部から小片を切り出し含水率を測定した。

(2) 剪断試験の試験方法

図 5 に簡単に示したように、中央の材に万能試験機(島津)によって荷重をかけ、最大荷重を測定した。

(3) 曲げクリープ試験の試験方法

曲げクリープ試験は、スパン3600 mm、載荷は5等分点4点荷重方式とし、積載荷重は合計1260 kgf であった(図 7)。想定した載荷荷重条件は床ばりであり、荷重は以下のとおりに算出した。

$$\begin{array}{r} \text{固定荷重} \quad 60 \text{ kgf/m}^2 \\ +) \text{積載荷重} \quad 135 \text{ kgf/m}^2 \\ \hline 195 \text{ kgf/m}^2 \end{array}$$

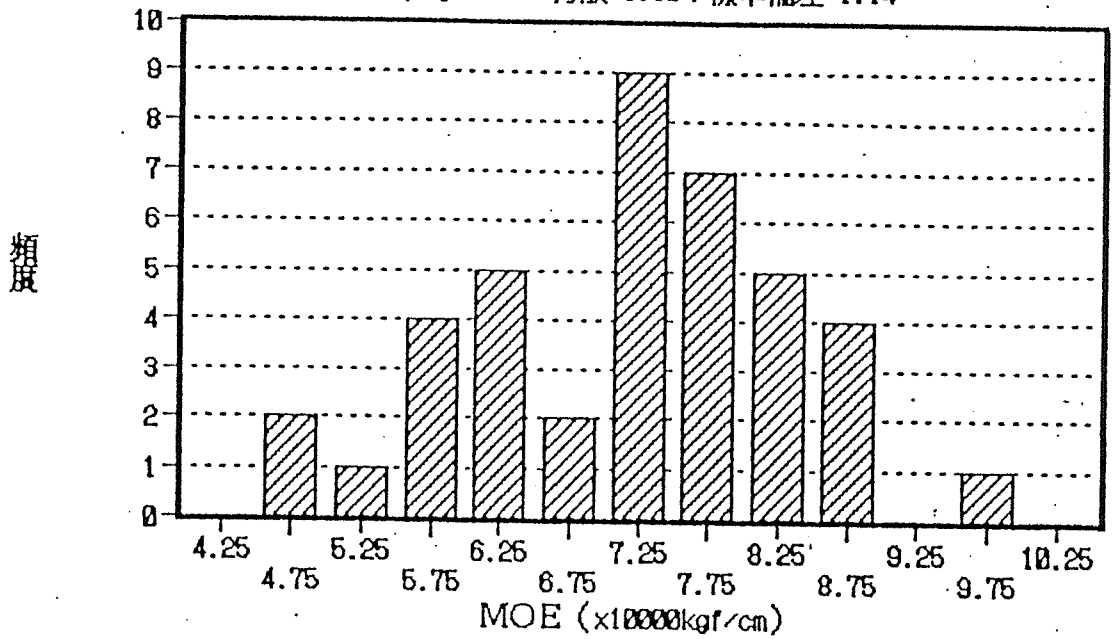
$195 \text{ kgf/m}^2 \times 1.8 \text{ m (負担幅)} \times 3.6 \text{ m (スパン)} = 1264 \text{ kgf}$
重ねばりの平均含水率の変化は、はり端部から予め切り出し、木口面にアルミホイルを貼ったモニター試験体の重量測定による方法と、高周波型含水率計による方法とによって測定した。なお、試験期間は1991年10月からで、継続中である。

表 1 供試スギ正角材の曲げヤング係数 (MOE)

(unit; $\times 10^4$ kgf/cm²)

No.	MOE	使用部位	No.	MOE	使用部位
1	5.96		21	6.62	B1-1 下
2	7.37	B4-1 下	22	6.13	
3	7.61	B3-2 下	23	7.19	B2-1 下
4	8.71		24	8.03	A1-1 下
5	7.24	B4-1 上	25	7.26	B2-1 上
6	6.44	B2-2 上	26	8.28	A1-1 上
7	7.88	B2-2 下	27	6.05	
8	7.90	B1-2 下	28	9.70	
9	8.68		29	8.38	A3-1 下
10	7.08	C-スギ 下	30	6.03	
11	7.16	C-スギ 上	31	8.67	
12	6.76	B3-2 上	32	5.18	
13	7.54	C-LVL 下	33	8.38	A3-1 上
14	7.32	C-LVL 上	34	4.95	A3-1 中
15	7.95		35	8.99	
16	5.87		36	5.68	A2-1 中
17	5.81		37	4.81	A1-1 中
18	8.03	A2-1 下	38	7.84	A2-1 上
19	7.36	B3-1 上	39	7.02	B3-1 下
20	7.66	B1-1 上	40	6.41	B1-2 上
供試体数 : 40		平均 : 7.20			
分散 : 1.30		標準偏差 : 1.14			

供試スギ正角材のMOE分布
 平均 7.20 : 分散 1.30 : 標準偏差 1.14



供試スギ正角材MOEの頻度分布2

階級幅 (MOE)		頻度	
以上	未満		
	~4.5	0	供試体数 40 平均 7.20 分散 1.30 標準偏差 1.14 最大 9.70 最小 4.81
4.5	5.0	2	
5.0	5.5	1	
5.5	6.0	4	
6.0	6.5	5	
6.5	7.0	2	
7.0	7.5	9	
7.5	8.0	7	
8.0	8.5	5	
8.5	9.0	4	
9.0	9.5	0	
9.5	10.0	1	
10.0~		0	

図 1. 供試スギ正角材のMOE分布

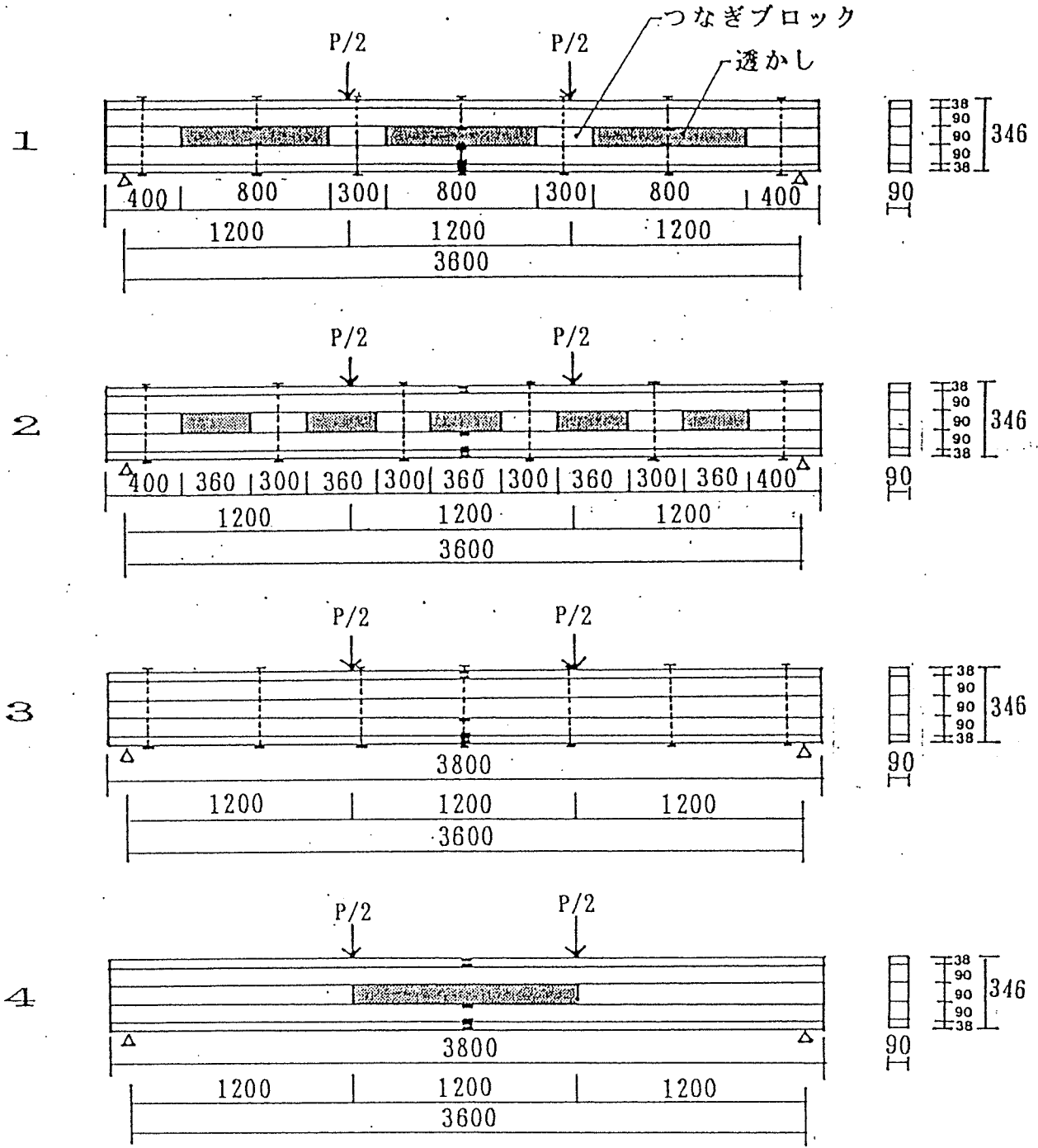


図 2. Aシリーズ試験体

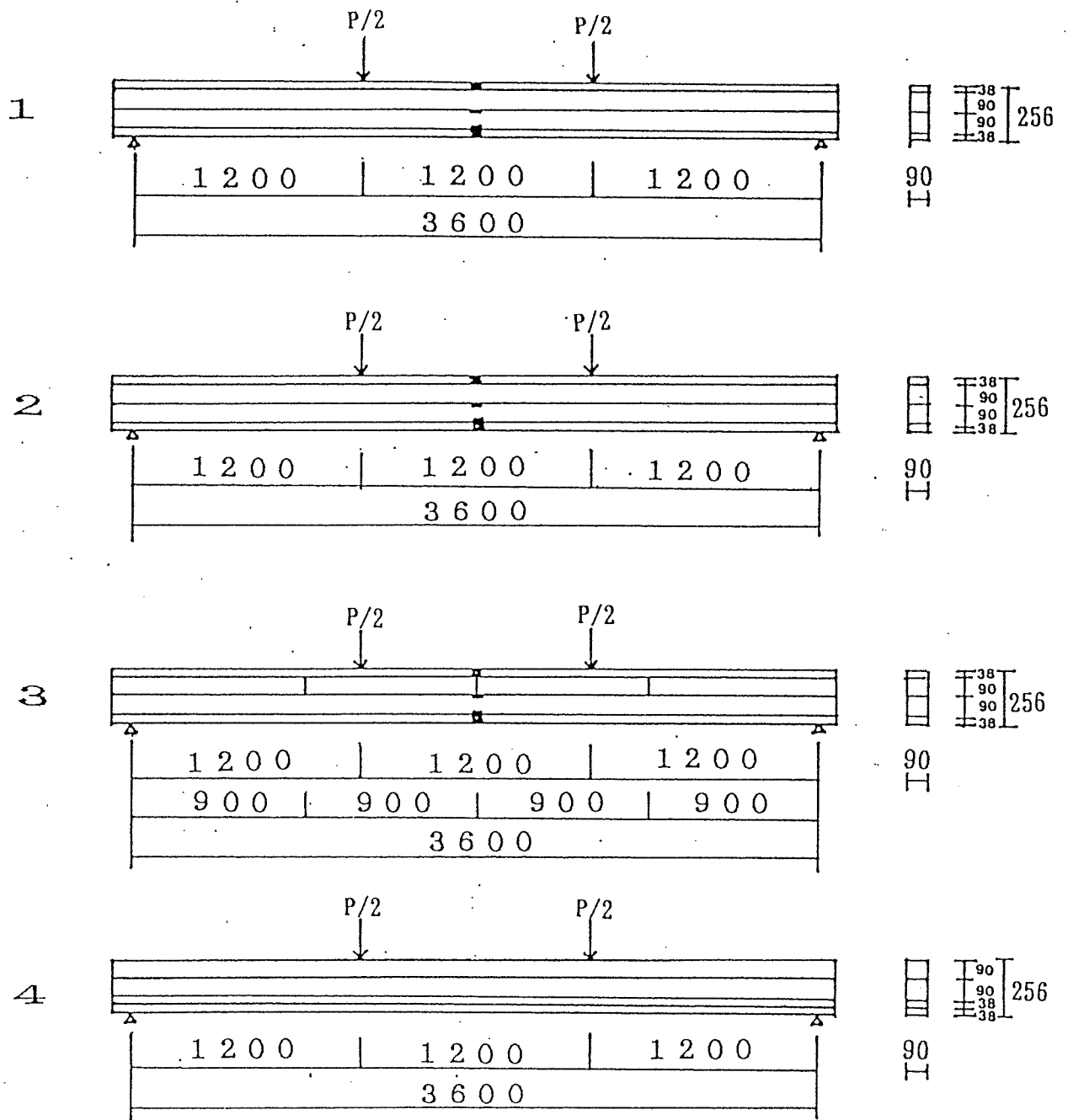
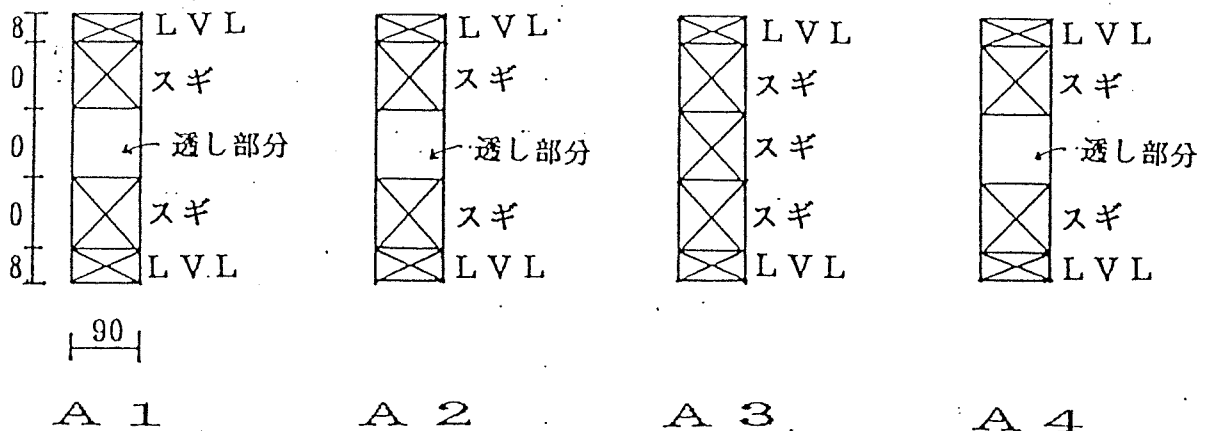
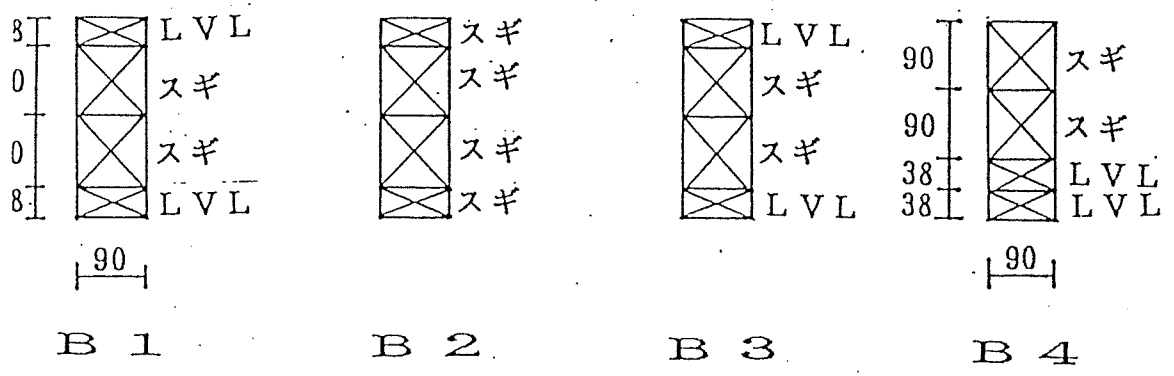


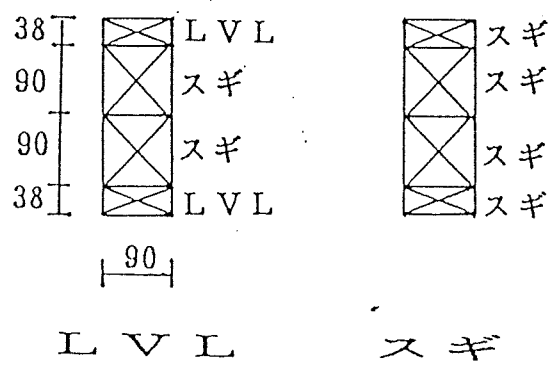
図 3. Bシリーズ試験体



Aシリーズ試験体断面図



Bシリーズ試験体断面図



クリープ試験体断面図

(単位：mm)

図4. 試験体断面図

No.	試験体断面	含水率 %	MOE $\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	No.	試験体断面	含水率 %	MOE $\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$		
A1		LVL	11.0	14.00	A3		LVL	8.4	14.00
		2x2x	20.5	8.28			2x2x	20.8	8.38
		—	—	4.81			2x2x	25.7	4.95
		2x2x	20.4	8.03			2x2x	18.2	8.38
		LVL	10.3	14.00			LVL	9.1	14.00
	平均	20.5	全体	11.28	平均	21.6	全体	11.27	
A2		LVL	11.3	14.00	A4		LVL	11.0	14.00
		2x2x	18.1	7.84			2x2x	20.5	8.28
		—	—	5.68			—	—	8.03
		2x2x	17.3	8.03			2x2x	20.4	8.03
		LVL	10.8	14.00			LVL	10.3	14.00
	平均	17.7	全体	11.17	平均	20.5	全体	11.28	

No.	試験体断面	含水率 %	MOE $\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	No.	試験体断面	含水率 %	MOE $\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$		
B1-1		LVL	12.5	14.00	B1-2		LVL	11.3	14.00
		2x2x	20.4	7.66			2x2x	17.4	6.41
		2x2x	21.2	6.82			2x2x	17.8	7.90
		LVL	12.1	14.00			LVL	11.7	14.00
		平均	20.8	全体			11.81	平均	17.5
B2-1		2x2x	17.2	10.03	B2-2		2x2x	16.9	6.88
		2x2x	19.5	7.28			2x2x	18.2	6.44
		2x2x	21.1	7.19			2x2x	17.6	7.88
		2x2x	16.5	5.39			2x2x	16.1	10.75
		平均	18.6	全体			7.40	平均	17.2
B3-1		LVL	12.0	14.00	B3-2		LVL	11.0	14.00
		2x2x	18.3	7.36			2x2x	16.5	6.76
		2x2x	20.1	7.02			2x2x	16.9	7.61
		LVL	12.4	14.00			LVL	11.6	14.00
		平均	19.2	全体			11.63	平均	16.7
B4-1		2x2x	16.6	7.24	B4-1		2x2x	16.6	7.24
		2x2x	16.5	7.37			2x2x	16.5	7.37
		LVL	11.2	14.00			LVL	11.2	14.00
		LVL	11.1	14.00			LVL	11.1	14.00
		平均	16.6	全体			9.75	平均	16.6

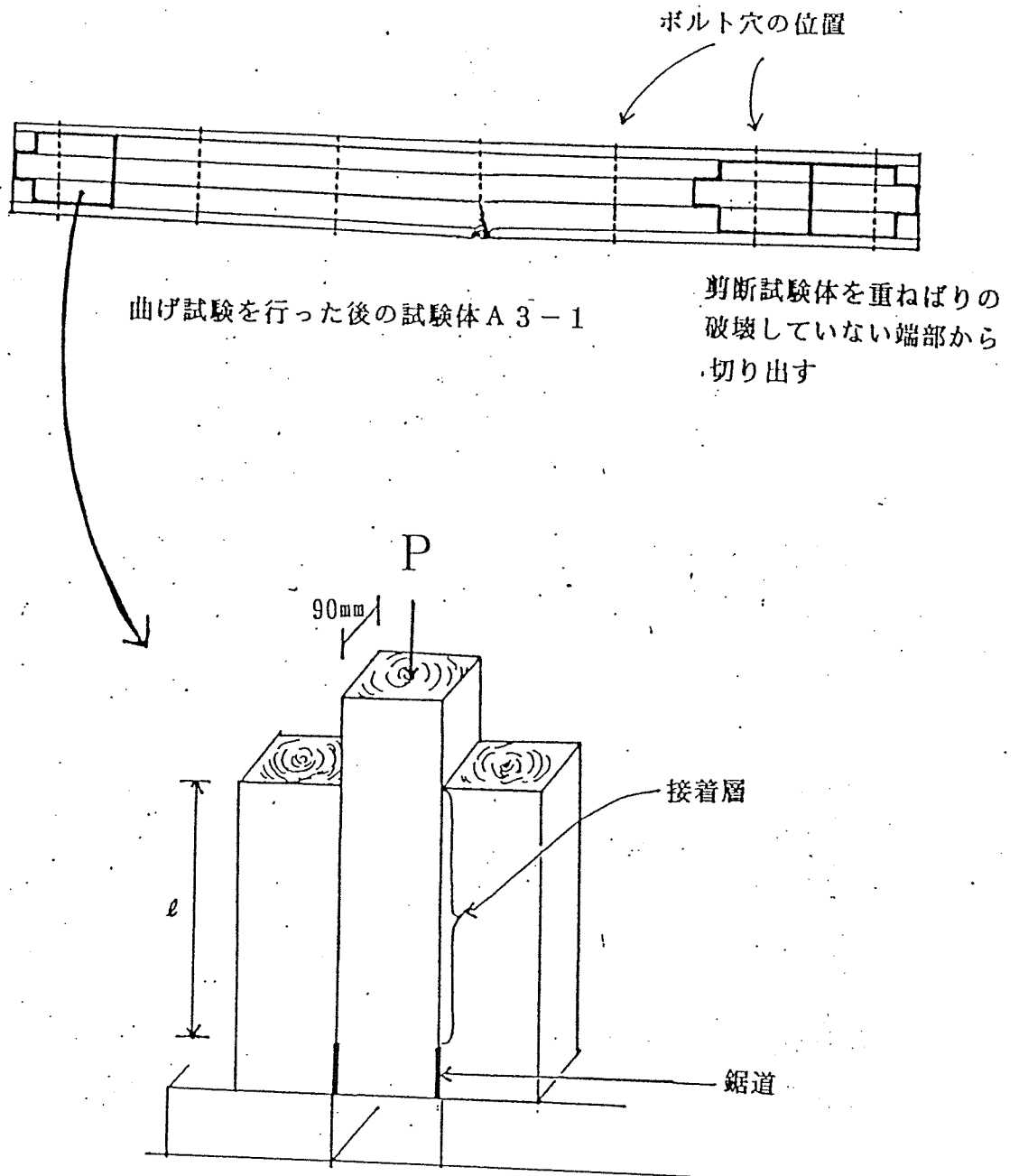
注：含水率平均はLVLの値を除く

No.	試験体断面	含水率 %	MOE $\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	
クリ プ LVL		20.4	LVL	14.00
			2x2x	7.32
			2x2x	7.54
			LVL	14.00
			全体	11.72
クリ プ 2x2x		18.3	2x2x	10.60
			2x2x	7.16
			2x2x	7.08
			2x2x	9.00
			全体	8.85

注：クリープ試験体の含水率はLVLを除いて測定してある。

注：MOEの全体というのは各層のMOEから計算で求めた全体のMOE

表2. 試験体各層の曲げヤング係数と試験時の含水率



$l = 100\text{mm}, 150\text{mm}, 250\text{mm}$ の 3 種類

図5. 剪断試験体の形状

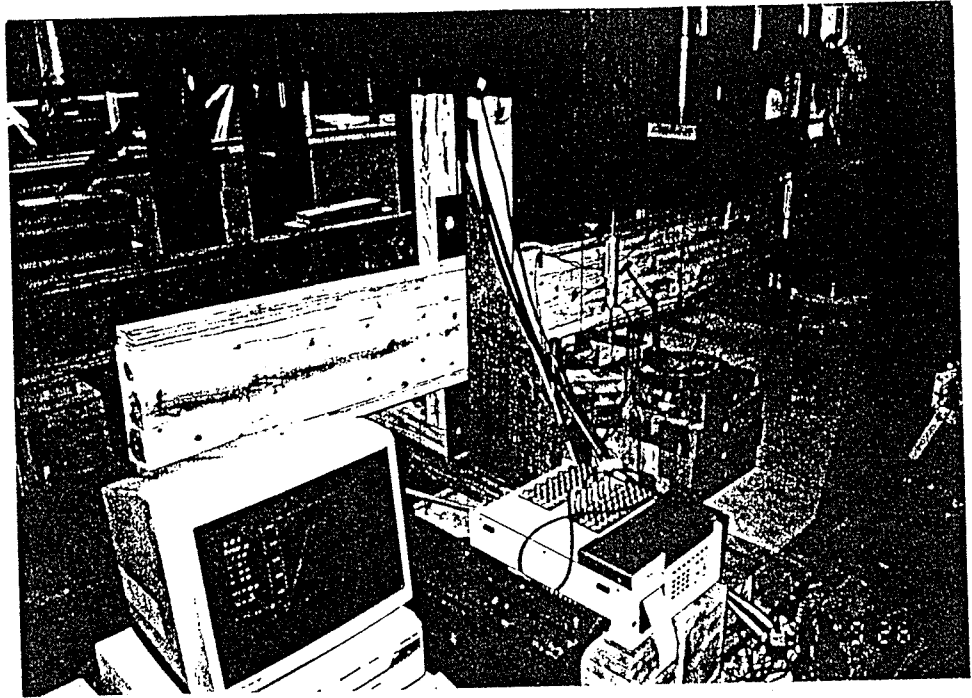
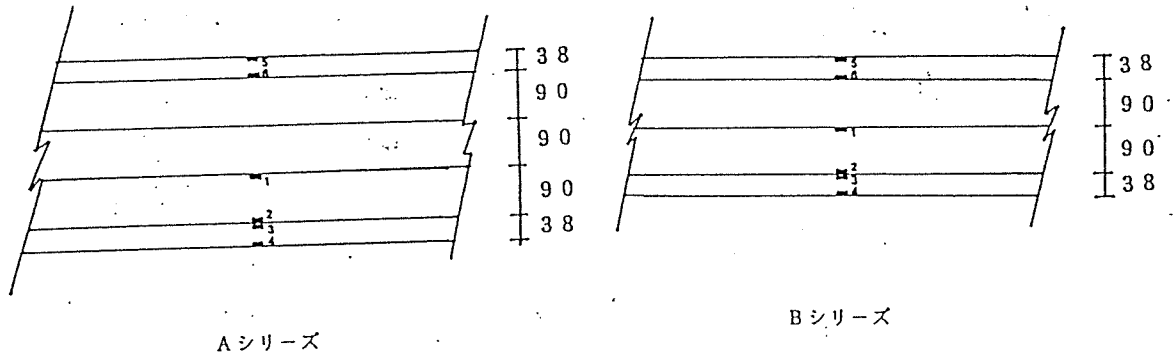


写真 1 重ねばりの曲げ試験

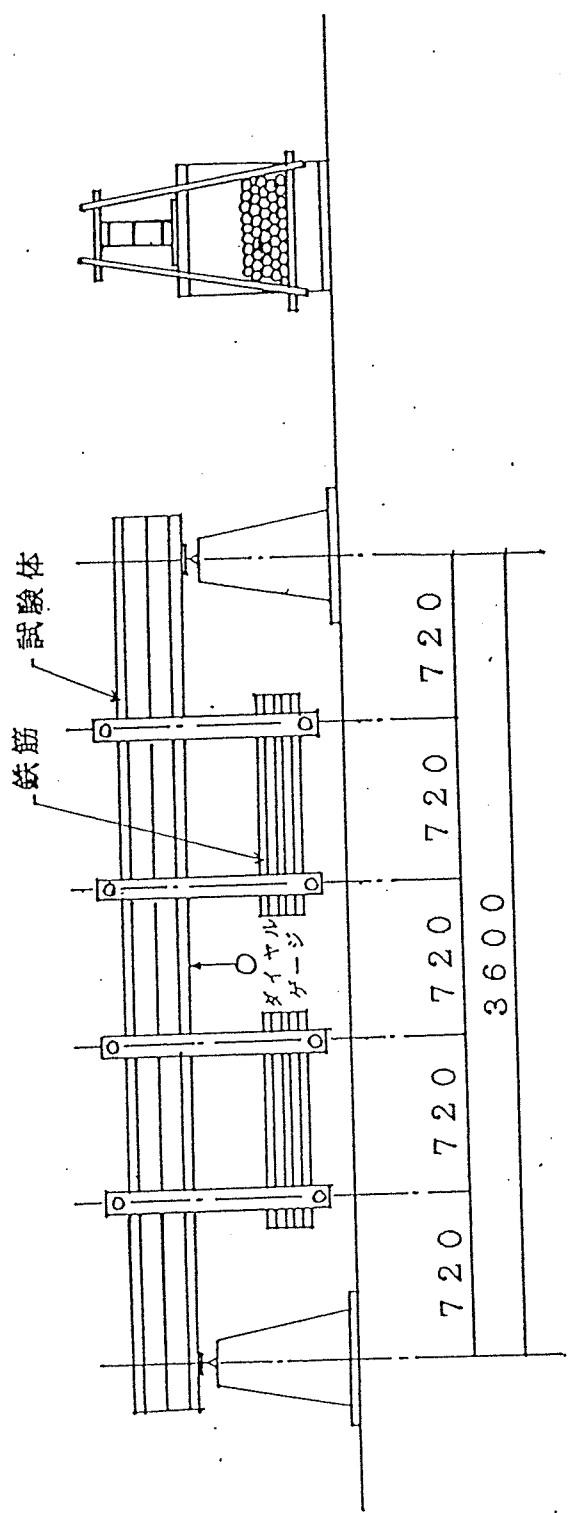


Aシリーズ

Bシリーズ

(単位：mm)

図6. ひずみゲージの位置と番号



(単位：mm)

図7. 重ねばりの曲げクリープ試験方法

2.3 結果と考察

2.3.1 曲げ試験

曲げ強度試験の荷重と変位の関係を図 8 に、荷重とひずみの関係を図 9 に示す。また、各試験体の MOE や MOR などについて表 3 に示す。

(1) A シリーズ

A シリーズでは、A 1 と A 2 がつなぎブロックの上、または、下の接着層で剪断破壊を起こした（写真 2）。これは、つなぎブロックの長さが短く、接着面積が少なかったためと考えられる。接着層の剪断耐力の実験値は

$$\tau_g = P_{\max} / A$$

A : 接着面積

で、表 4 に結果を示した。平均 20 kgf/cm^2 で既存のデータとほぼ一致した⁶⁾。また、 P_{\max} 時につなぎブロックの接着層にかかる剪断応力 (τ_b) は

$$\tau_b = \frac{Q}{2I} \times \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$

$$Q = P / 2$$

ここで、透しばり（はしごばり）が中実重ねばりと同等の耐力を有するための条件は

$$\tau_g \times \ell_c \times b \geq \frac{Q}{2I} \times \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) \times \frac{\ell}{3} \times b$$

と表わせる。（ただし、A 3 の結果より $P = 8420 \text{ kgf}$ とする）

ℓ_c : つなぎブロックの長さ (cm)

ℓ : はりのスパン (cm)

y : 中立軸からつなぎブロックの接着層（中立軸側）までの距離 (cm)

b : はりの幅 (cm)

h : はりせい (cm)

こうして得られたつなぎブロックの必要な長さを表 4 に示した。この結

果より、つなぎブロックの必要な長さを120cm（ただし、重ねばりの右半分、または、左半分で）と考た試験体がA4であった。

試験体の各層の曲げヤング係数より次式を使って全体の曲げヤング係数を推定した。

$$MOE = \frac{\sum (E_i \times I_i)}{I}$$

また、曲げヤング係数の実験値は剪断変形を考慮しないものと考慮したものの2通り求めた。曲げヤング係数の計算値の実験値に対する比は、接着層において剪断破壊を起こしたA1とA2の試験体でBシリーズと比べると大きな値であった。剪断変形を考慮すると曲げヤング係数が大きくなり、この比も小さくなる。

ひずみゲージで測定したひずみ（ ε ）に、材の曲げヤング係数を掛けた $MOR_{\gamma-\gamma}$ （ $E \times \varepsilon$ ）の諸荷重における応力分布を図9に示した。ただし、2つ、または3つあるスギ正角材のうち最上部（重ねばりの2段目）の応力分布図は、上下にある材の曲げヤング係数を掛けた値を直線で結んだものであって、実験値から推定したおおよその応力分布である。

最大荷重時におけるひずみゲージ4の値に最下層の材の曲げヤング係数を掛けた $MOR_{\gamma-\gamma}$ （ $E \times \varepsilon$ ）と破壊荷重から求めた $MOR_{\text{実}}$ はA2とA3においてはよく一致した。しかし、A1とA4は中央部に比較的大きな透しが入っていたので、 $MOR_{\gamma-\gamma}$ の値が低くなった。これは引張側のLVLに引張応力が十分伝わらないうちに剪断破壊を生じたためである。

（2）Bシリーズ

破壊の状況を見てみると、B1、B2、B4は引張破壊を起こしていたが、B3は重ねばりの2段目のパットジョイント付近で剪断破壊を起こしていた（写真3）。

B2はスギ材のみで製造されているので、LVLの接着してある重ねばりよりも曲げヤング係数が低かった。曲げヤング係数の計算値の実験値に対する比は1に近く、計算値の方が常に大きな値をとるものの、計算である程度まで曲

げヤング係数を知る事ができる。

曲げ強さに関しては、やはり B 2 が低い値をとっている。ここで特に気付くことに、B 4 の MOR が高い事である。これは下層に L V L が 2 層あるためだと考えらる。MOR_{ゲ-ジ} の MOR_ス に対する比は B 1、B 2 で 1 に近く、B 3 は 0.78 という低めの値をとっている。B 3 は正角材のうちの上の材にバットジョイントがあり、A 1 のように引張側に応力が集中したためと思われる。

中立軸は計算によって推定することができるが、B 3 については計算式がバットジョイントを考慮していないので、実験値と一致しなかった。A 1 や A 2 についても透しがあるために実験値と計算値の中立軸の位置がずれた。

2. 3. 2 曲げクリープ試験

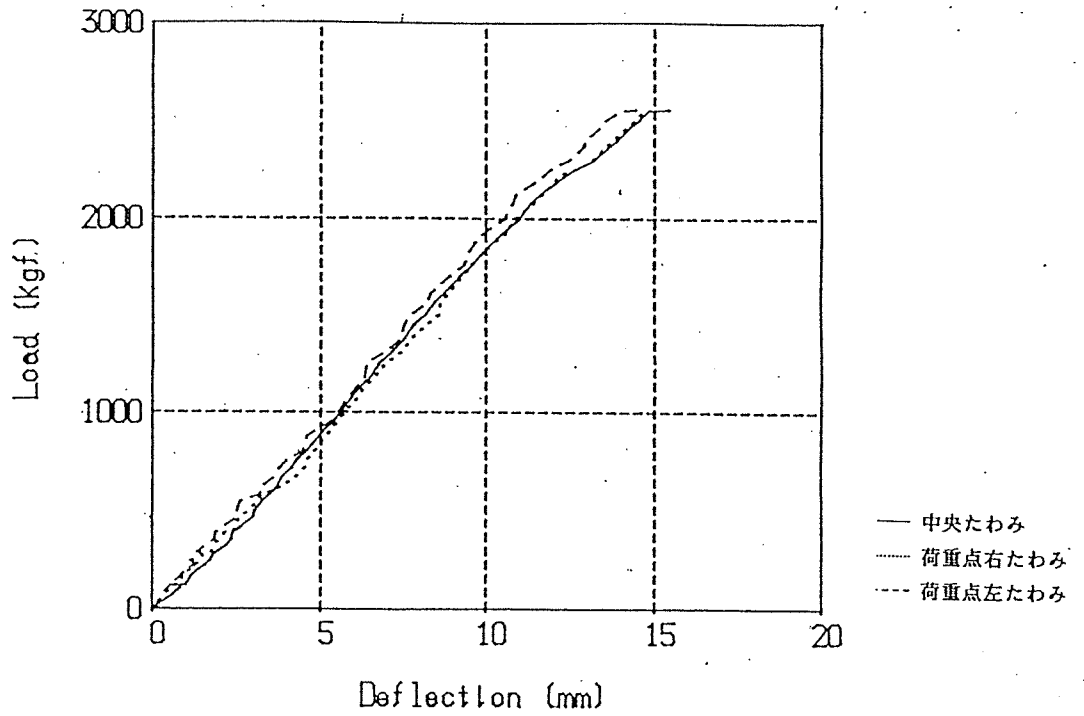
クリープたわみと時間の関係を含水率の変化とともに図 10 に示した。ここでの含水率は含水率モニター試験体の重量測定によるものである。クリープ試験期間としてはまだ短い、クリープたわみは落ち着いてきている。最外層に L V L を接着積層してある試験体は、最外層にスギ材を接着積層してある試験体よりも瞬間たわみが小さく、クリープたわみの増加も多少小さい。

曲げクリープ試験を開始した 1991 年 10 月から 1992 年 1 月までのデータを用いて t^n 則で 10 年後のクリープたわみを推定した (表 5)。その際用いた時間とはりのクリープたわみの関係も両対数のグラフで示した (図 11)。10 年後の推定クリープたわみの瞬間たわみに対する比を見てみると、確かに L V L を最外層に接着した方が全部スギの試験体より低い値を示しているが、両者にあまり差はなく、10 年後のクリープたわみは瞬間たわみの約 1.5 ~ 1.7 倍という結果となっている。この理由としては、最外層に張ったスギ小割材が十分乾燥した材であったため、スギ正角材のみのはりよりクリープたわみが少なくなったと考えられる。この結果は予期しなかったものである。最外層に L V L を張った重ねばりのみならず、十分に乾燥したスギを張ったものも曲げクリープに対して問題ないことが確認された。実用面から言うと、スギを張る方が普及の可能性はある。

A1-1

$P_{max} = 2555 \text{ kgf}$

破壊性状：剪断破壊



A2-1

$P_{max} = 2745 \text{ kgf}$

破壊性状：剪断破壊

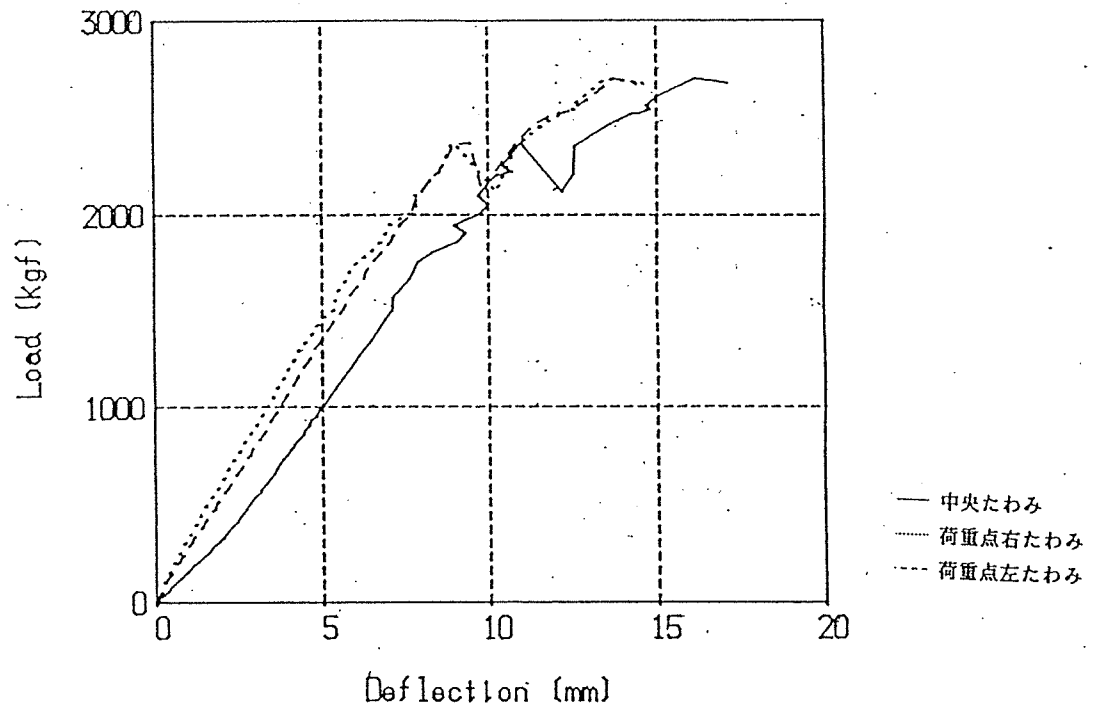
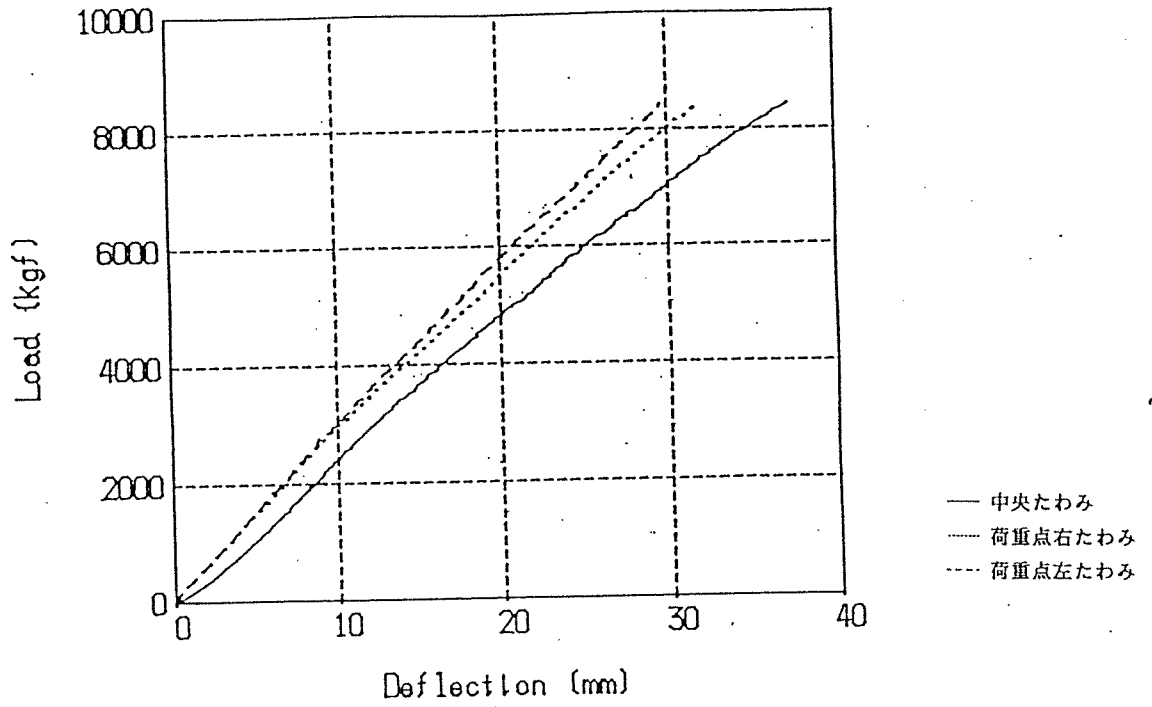


図8. 荷重とたわみの関係

A3-1
 $P_{max} = 8420 \text{ kgf}$

破壊性状：引張破壊



A4-1
 $P_{max} = 6550 \text{ kgf}$

破壊性状：剪断破壊

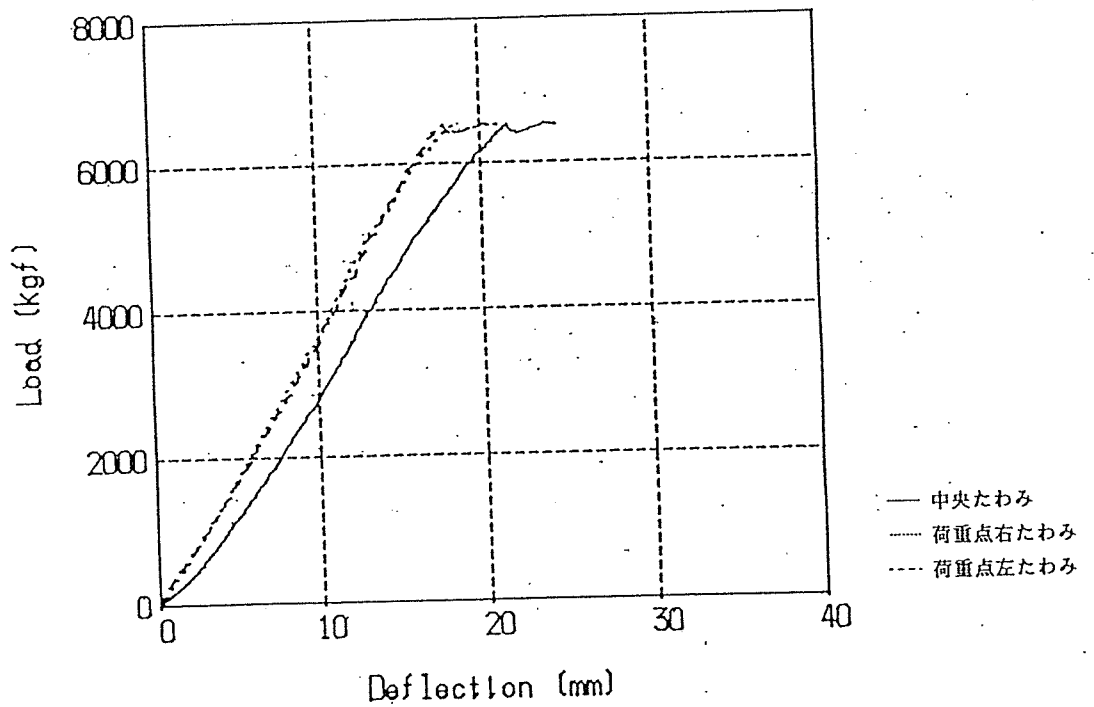
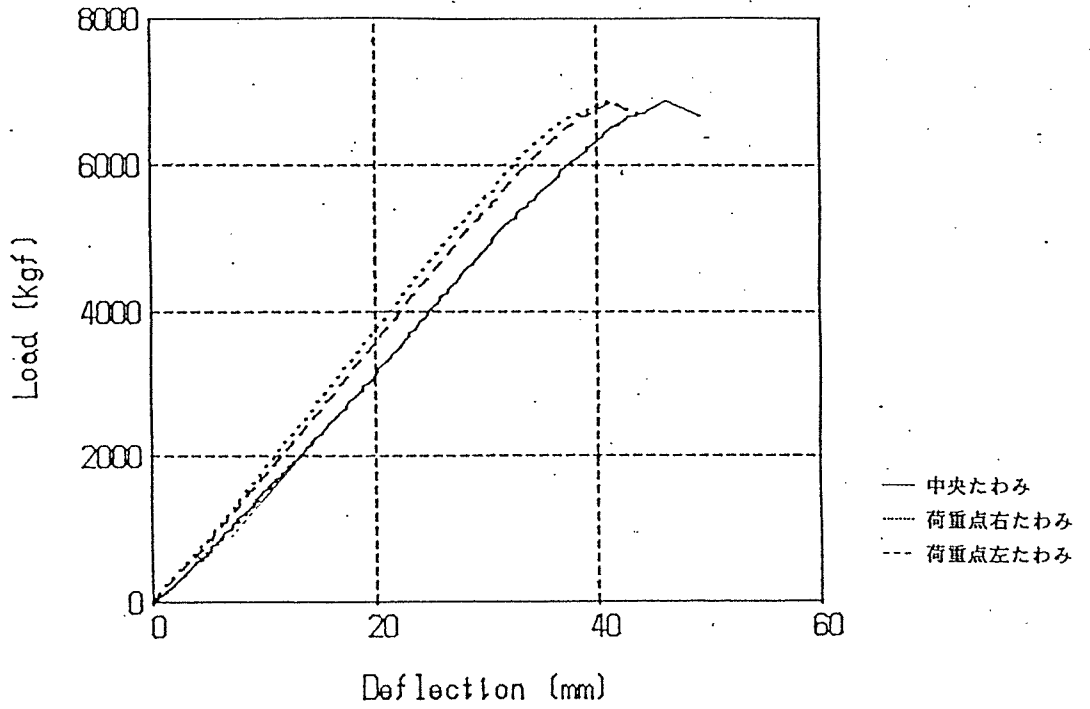


図8. 荷重とたわみの関係

B1-1

$P_{max} = 6870 \text{ kgf}$

破壊性状：引張破壊



B1-2

$P_{max} = 7530 \text{ kgf}$

破壊性状：引張破壊

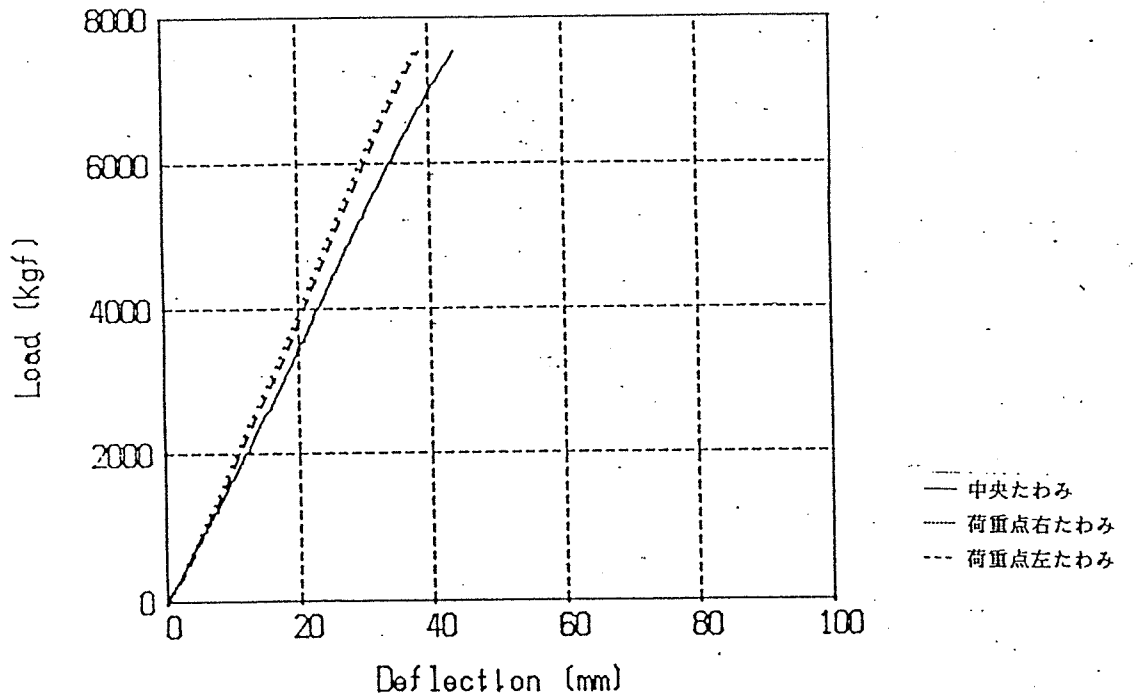
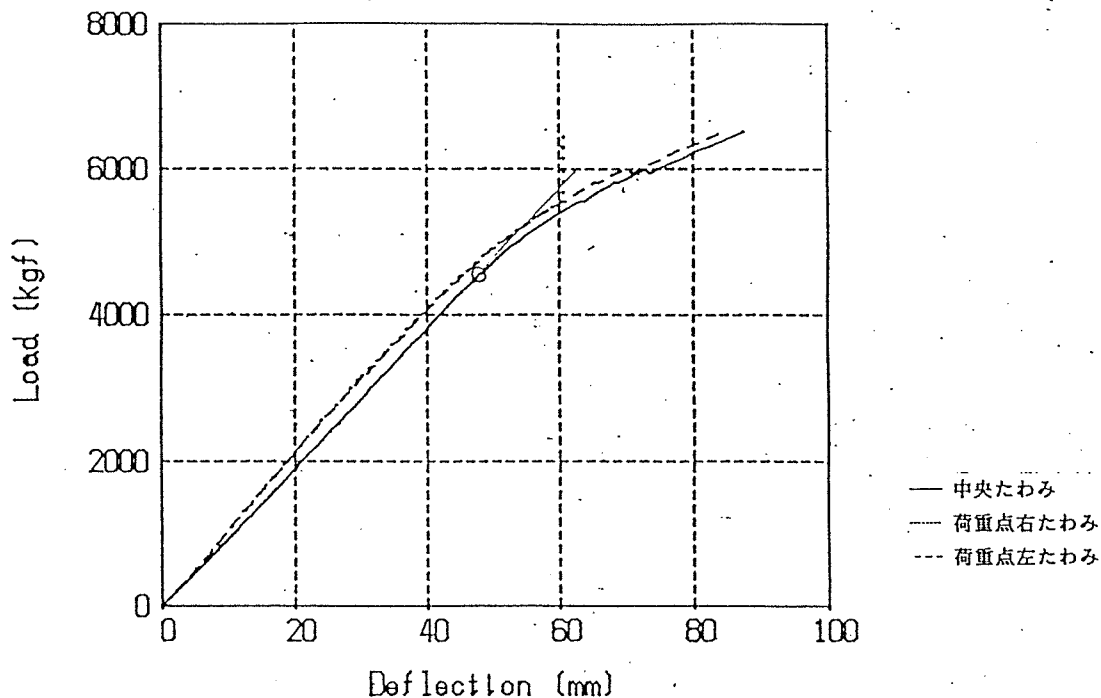


図8. 荷重とたわみの関係

B2-1

$P_{max} = 6515 \text{ kgf}$

破壊性状: 引張破壊



B2-2

$P_{max} = 6600 \text{ kgf}$

破壊性状: 引張破壊

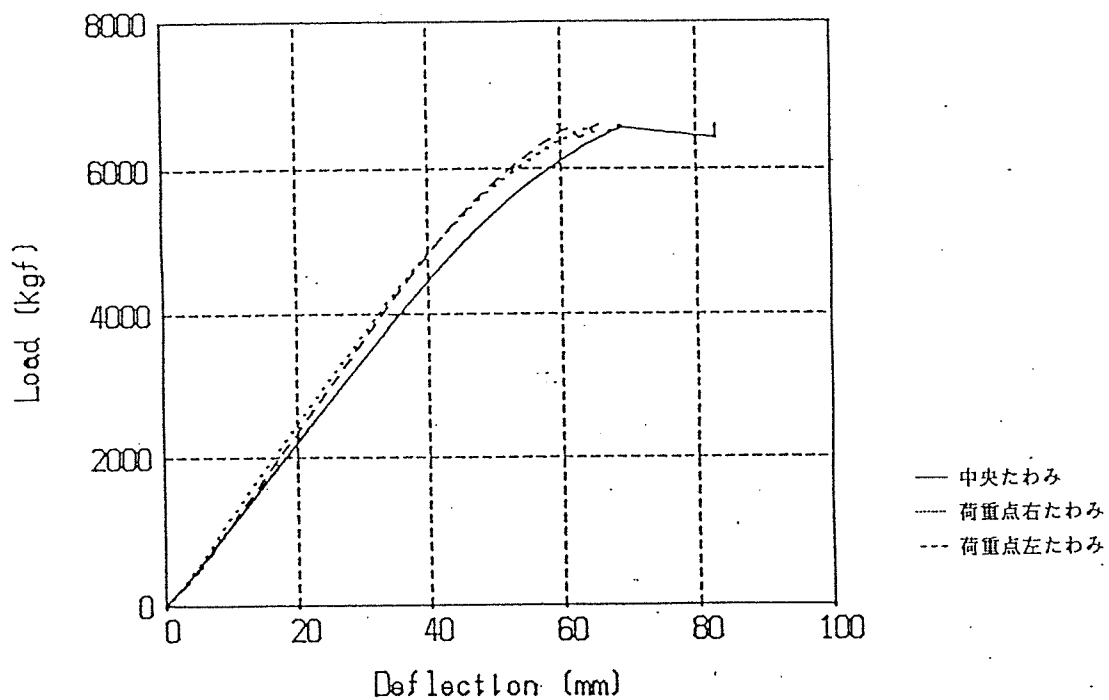
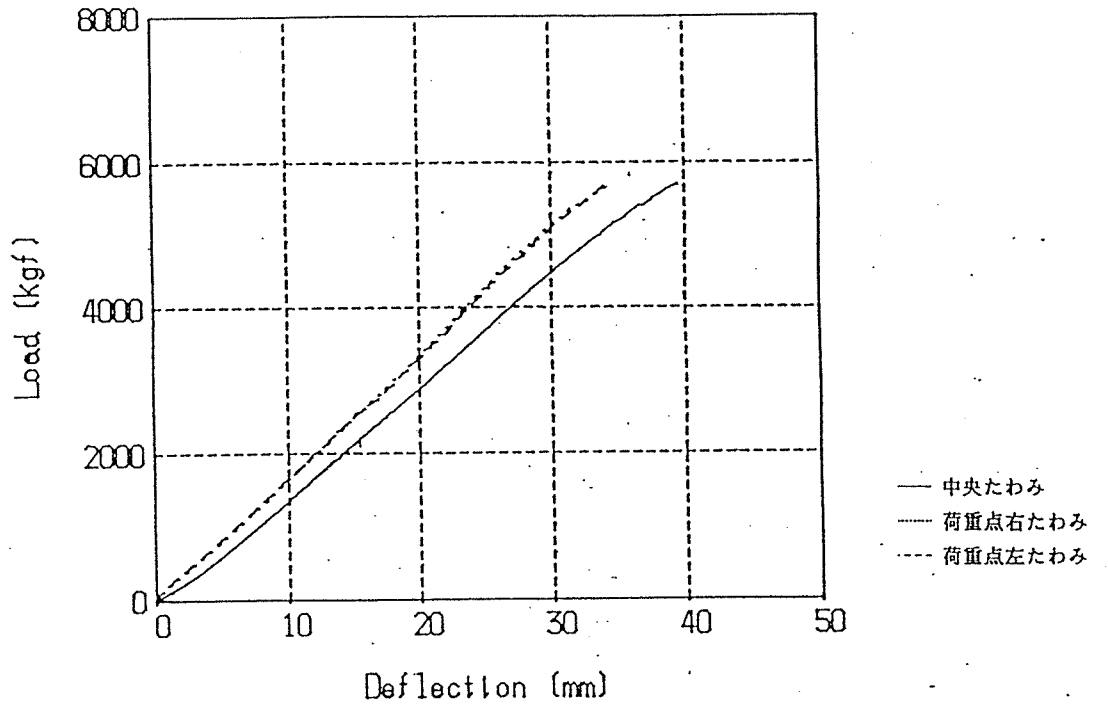


図8. 荷重とたわみの関係

B3-1

$P_{max} = 5695 \text{ kgf}$

破壊性状：剪断破壊



B3-2

$P_{max} = 6805 \text{ kgf}$

破壊性状：剪断破壊

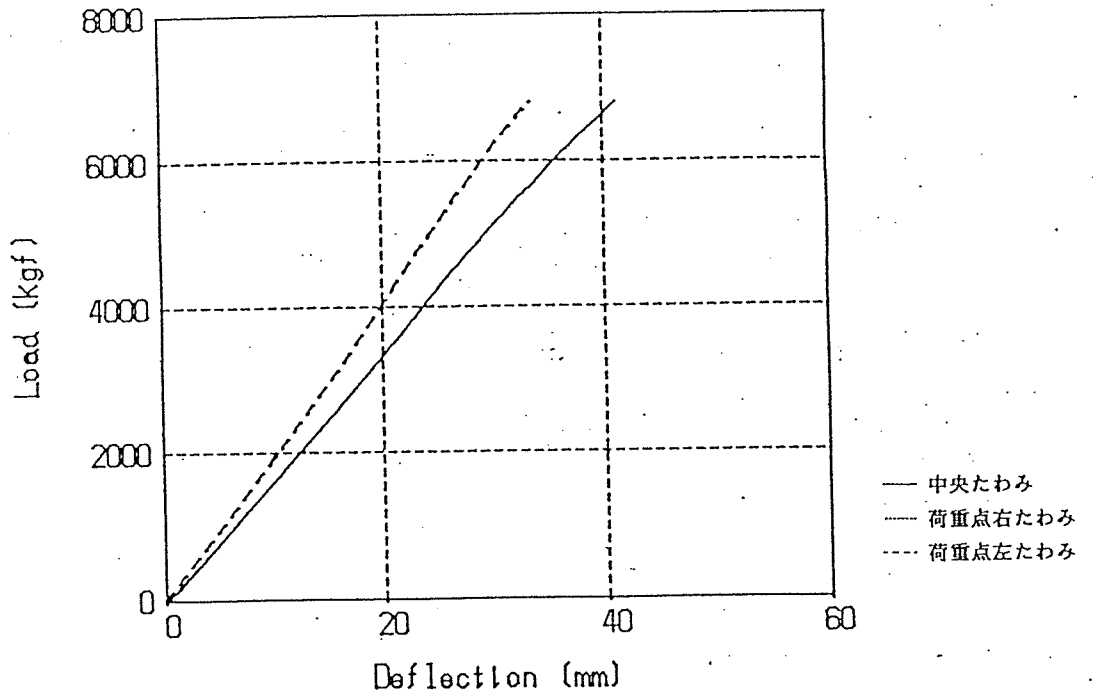


図8. 荷重とたわみの関係

B4-1

$P_{max} = 7545 \text{ kgf}$

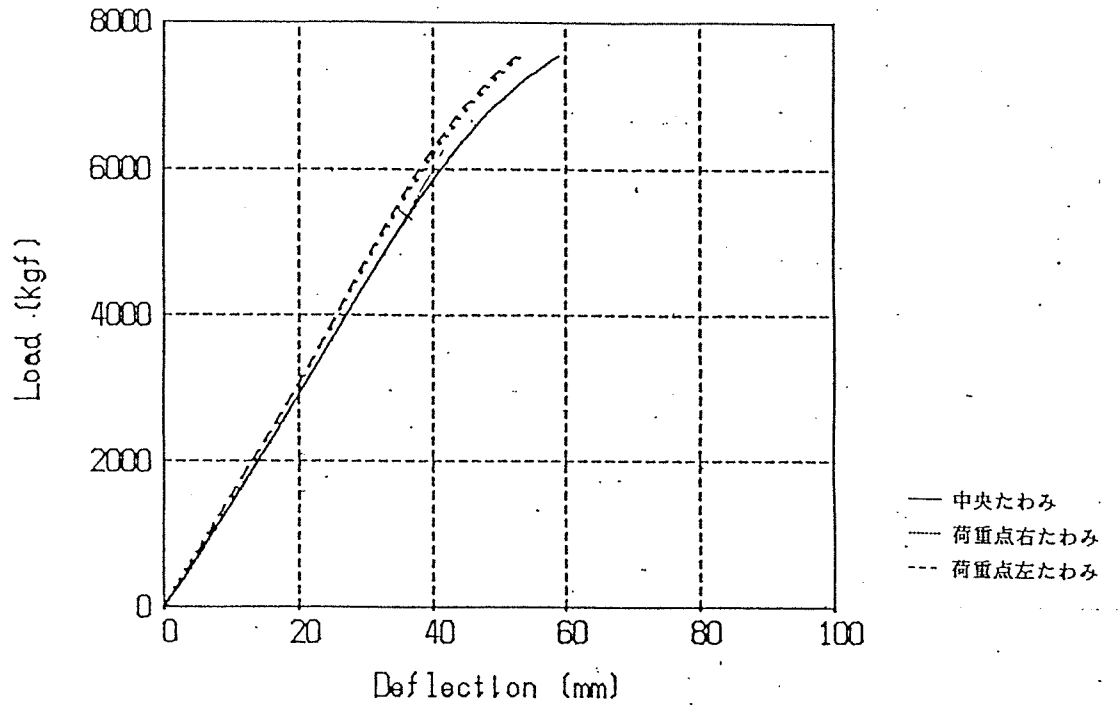


図8. 荷重とたわみの関係

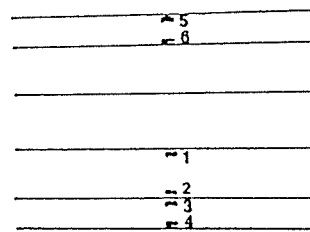
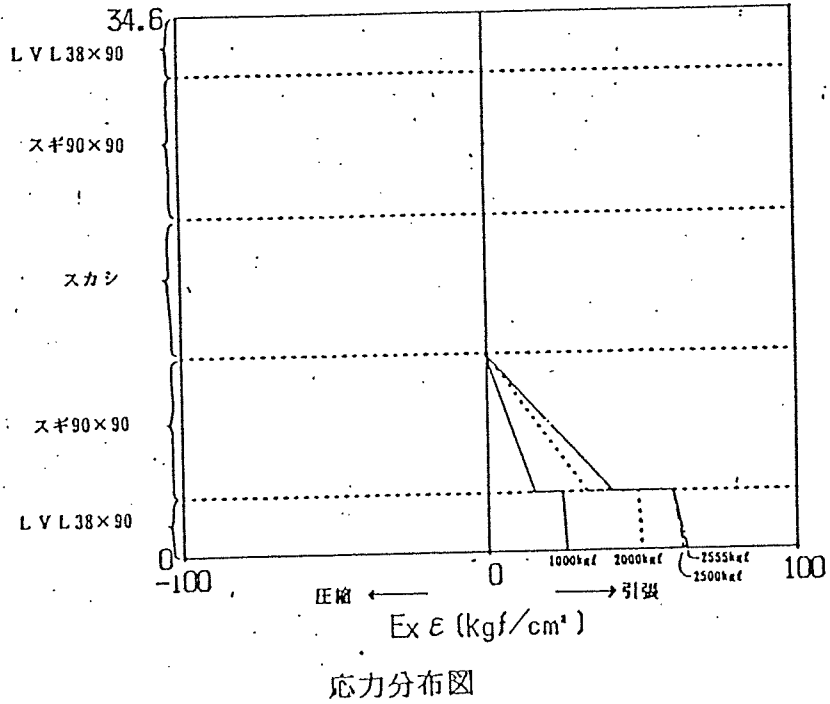
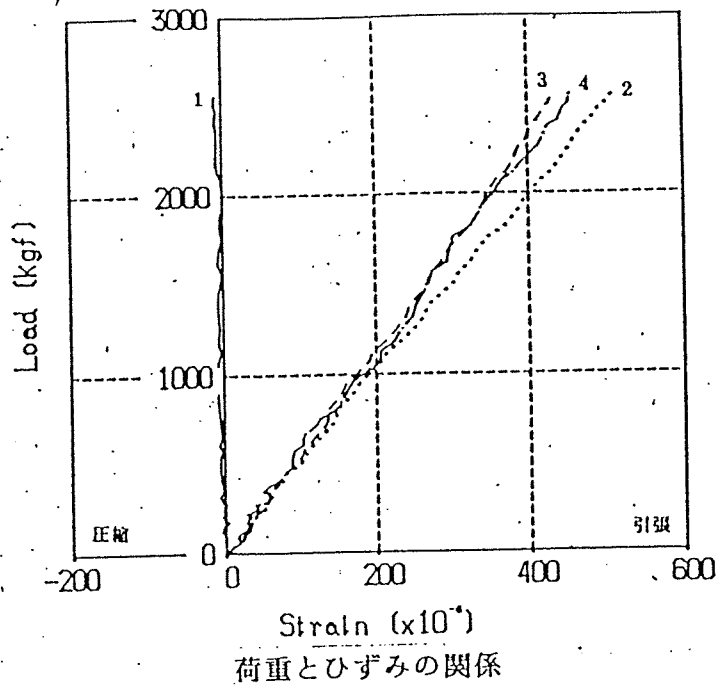
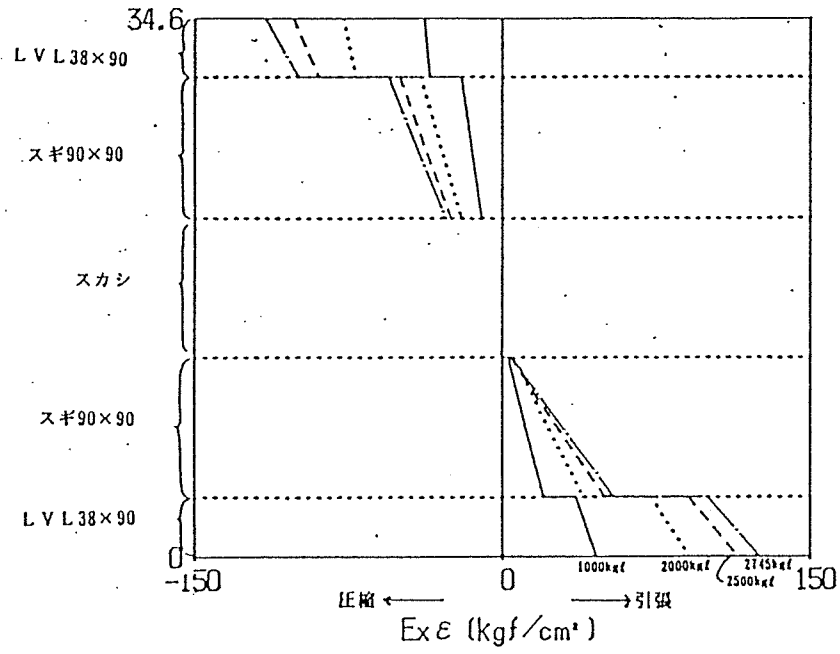
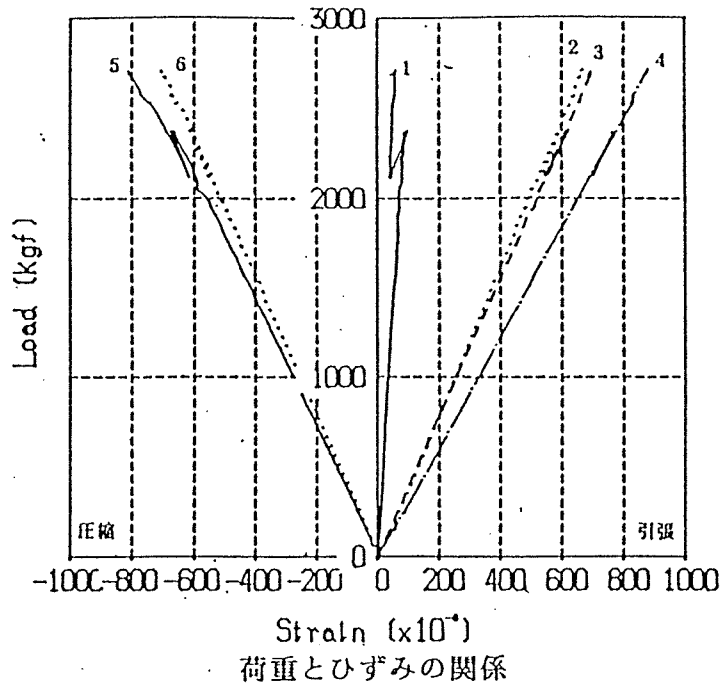
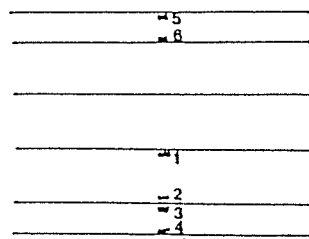


図 9 荷重とひずみの関係および応力分布図 (A 1 - 1)

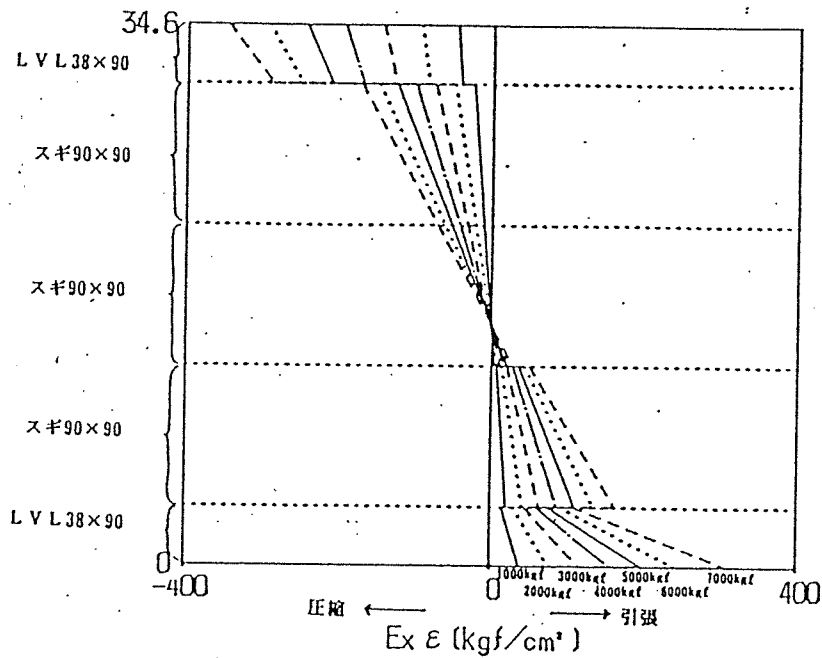
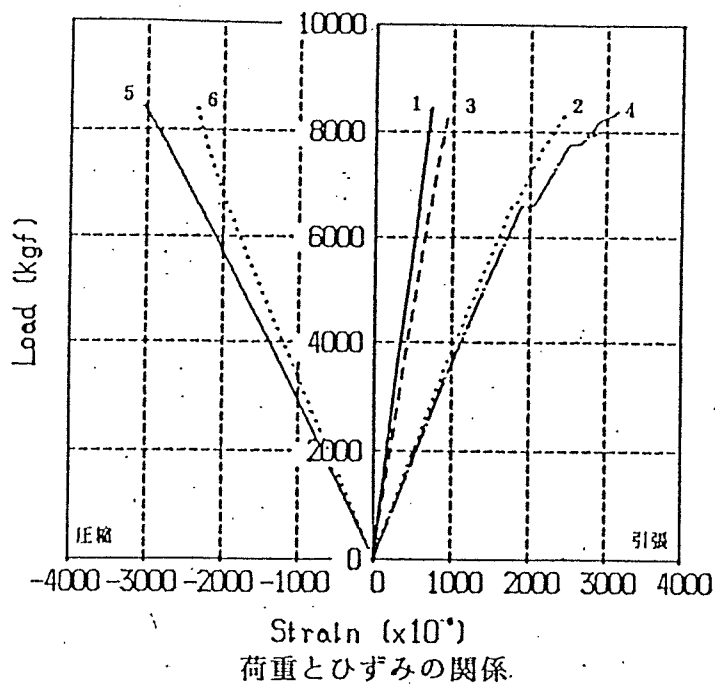


応力分布図

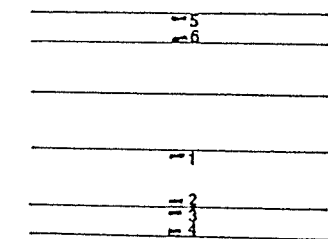


ひずみゲージの位置と番号

図 9 荷重とひずみの関係および応力分布図 (A2-1)



応力分布図



ひずみゲージの位置と番号

図 9 荷重とひずみの関係および応力分布図 (A3-1)

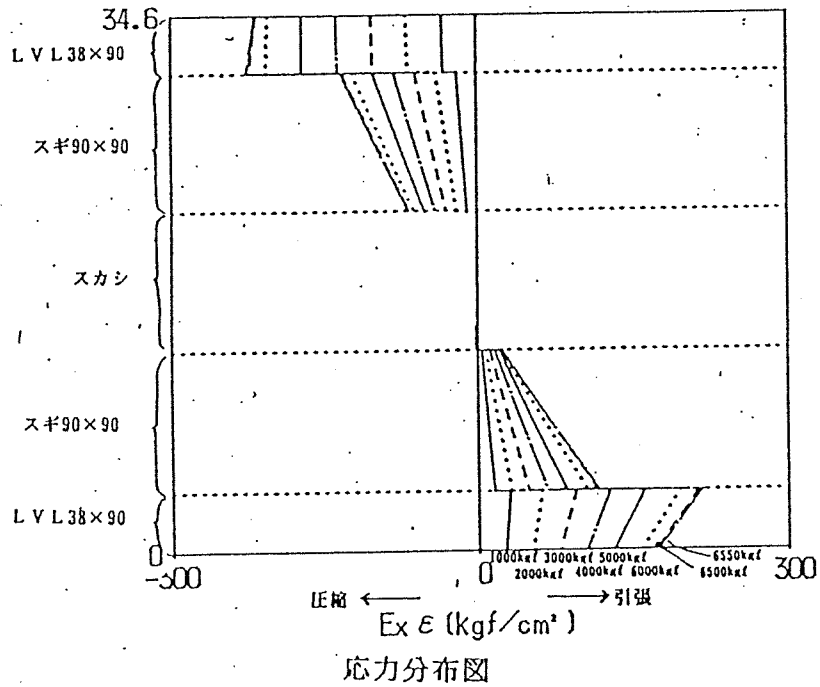
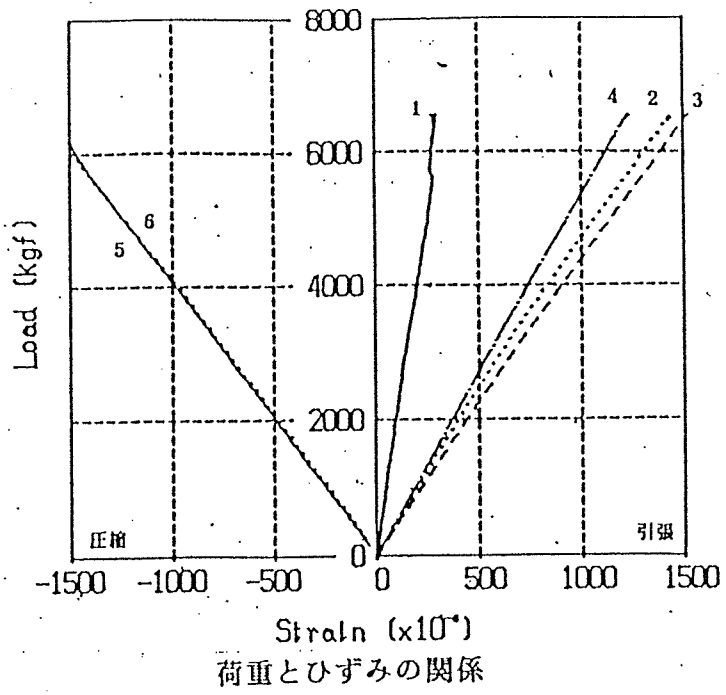


図 9 荷重とひずみの関係および応力分布図 (A 4-1)

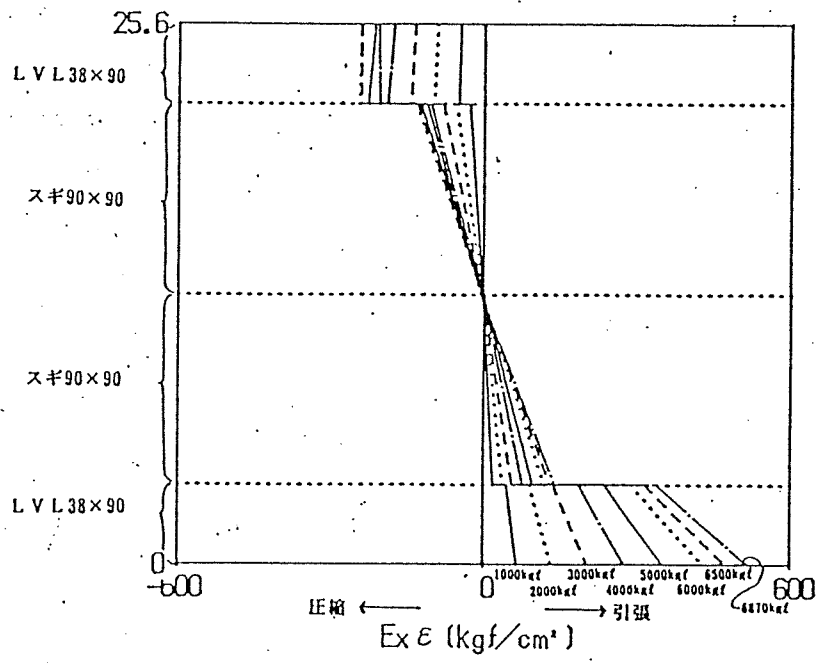
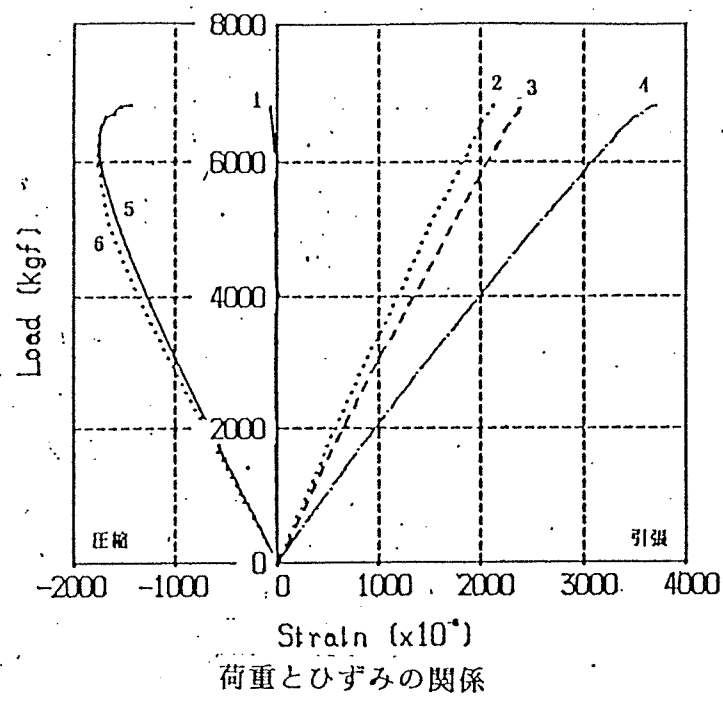
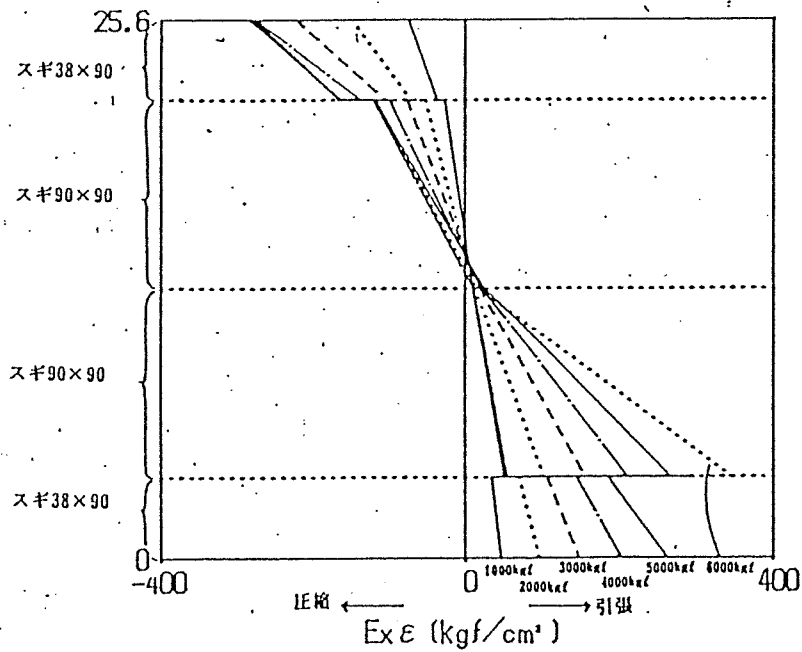
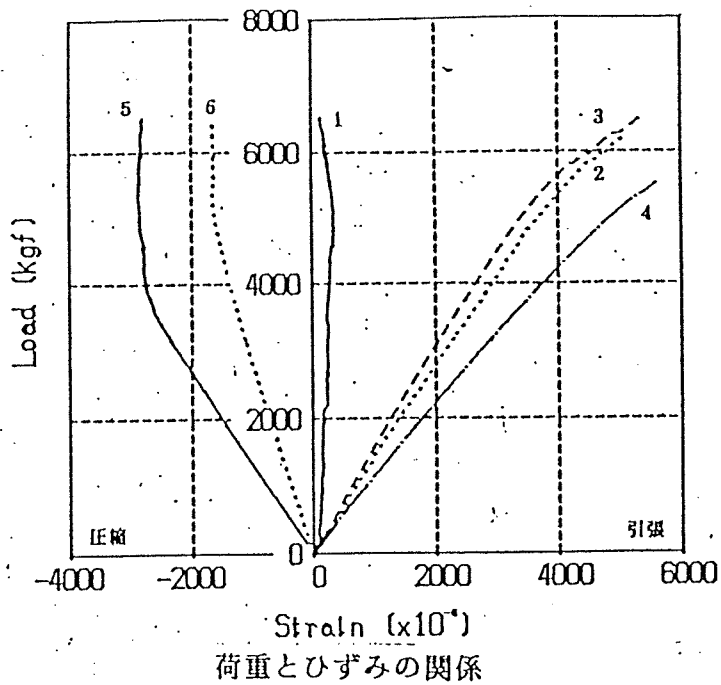
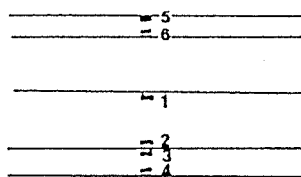


図 9 荷重とひずみの関係および応力分布図 (B 1 - 1)



応力分布図



ひずみゲージの位置と番号

図 9 荷重とひずみの関係および応力分布図 (B2-1)

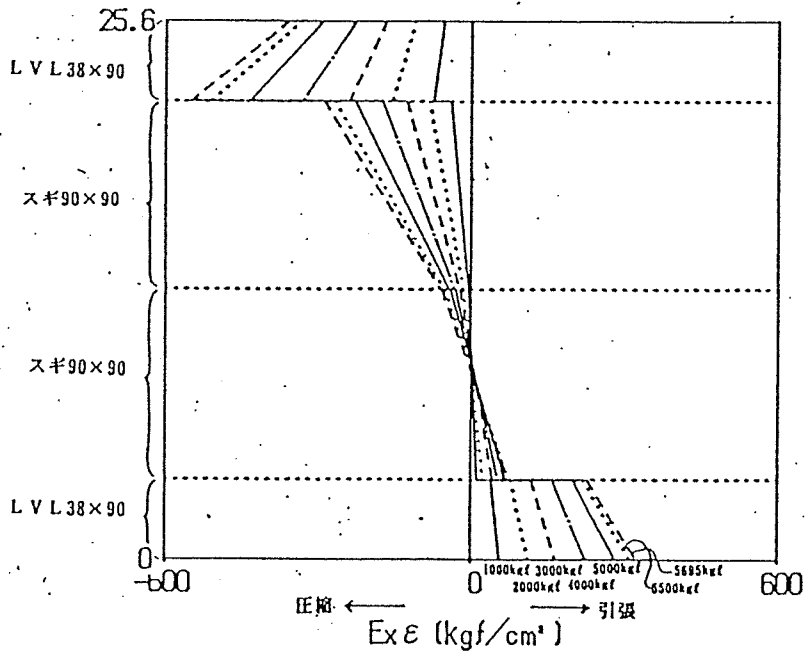
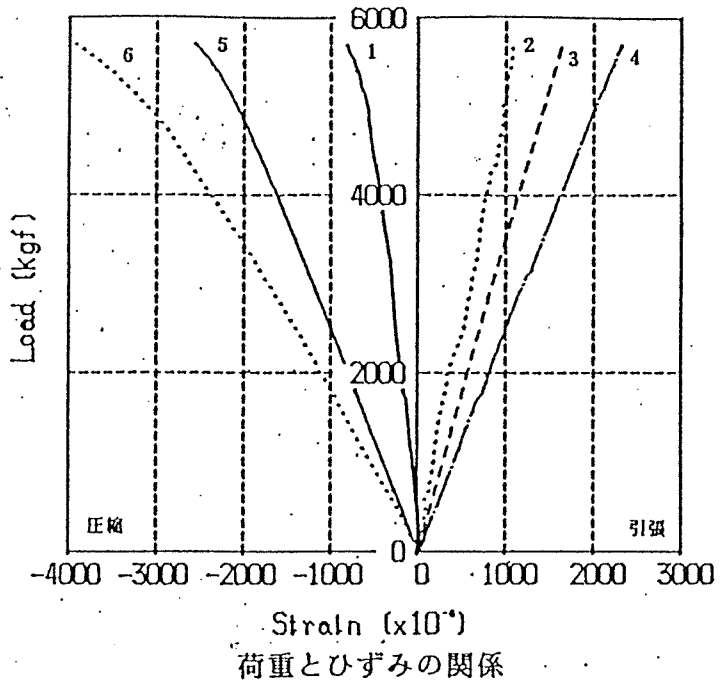


図 9 荷重とひずみの関係および応力分布図 (B3-1)

No.	MOE計算値		MOE実験値		MOR	中立軸 cm	MOE計		MOR計		破壊状況
	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$			MOE計	MOE実	MOR計	MOR実	
			荷重点中央値	実験値	$E \times \epsilon$	計算値	実験値	荷重点中央値			
A1-1	11.28	4.11	5.01	113.3	64.4	17.4	13.2	2.74	2.25	0.57	せん断破壊
A2-1	11.17	6.51	5.51	121.7	125.6	17.2	13.6	1.72	2.03	1.03	せん断破壊
A3-1	11.27	6.81	6.45	369.0	442.5	17.3	17.2	1.65	1.75	1.20	引張破壊
A4-1	11.28	8.03	7.38	290.4	172.9	17.4	15.7	1.40	1.53	0.60	せん断破壊
B1-1	11.61	10.08	10.25	505.6	517.0	13.1	12.8	1.15	1.13	1.02	引張破壊
B2-1	7.40	6.14	6.20	397.6	374.5	14.9	13.5	1.21	1.19	0.94	引張破壊
B3-1	11.63	9.24	9.62	418.3	324.7	12.9	9.1	1.26	1.21	0.78	せん断破壊
B1-2	11.61	12.42	11.00	554.1		12.4		0.93	1.06		引張破壊
B2-2	8.07	6.95	7.27	402.8		11.7		1.16	1.11		引張破壊
B3-2	11.63	11.10	10.96	500.1		12.6		1.05	1.06		せん断破壊
B4-1	9.75	8.71	9.48	615.2		8.8		1.12	1.03		引張破壊

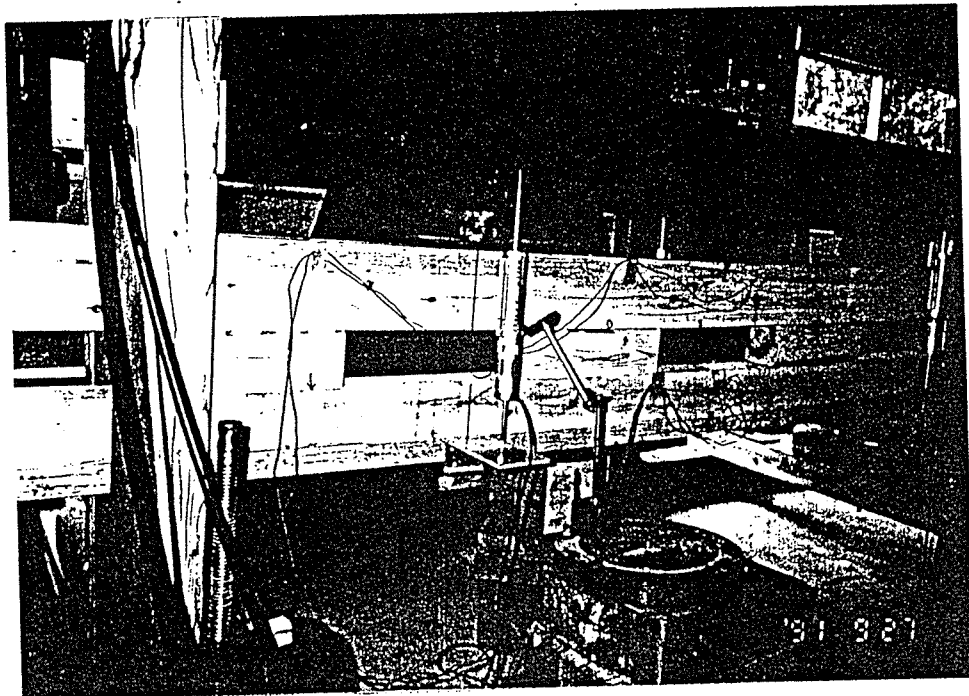
せん断たわみを考慮した場合

No.	MOE計算値		MOE実験値		MOE計	MOE実
	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$	$\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$		
			荷重点中央値	実験値	荷重点中央値	
A1-1	11.28	5.29	5.88	2.13	1.92	
A2-1	11.17	8.06	6.84	1.39	1.63	
A3-1	11.27	8.73	7.34	1.29	1.54	
A4-1	11.28	11.80	9.42	0.96	1.20	
B1-1	11.61	12.18	11.62	0.95	1.00	
B2-1	7.40	6.69	6.85	1.11	1.08	
B3-1	11.63	11.22	10.65	1.04	1.09	
B1-2	11.61	12.58	12.86	0.92	0.90	
B2-2	8.07	7.61	8.02	1.06	1.01	
B3-2	11.63	13.50	12.63	0.86	0.92	
B4-1	9.75	9.98	10.81	0.98	0.90	

注) 中立軸は下面からの距離

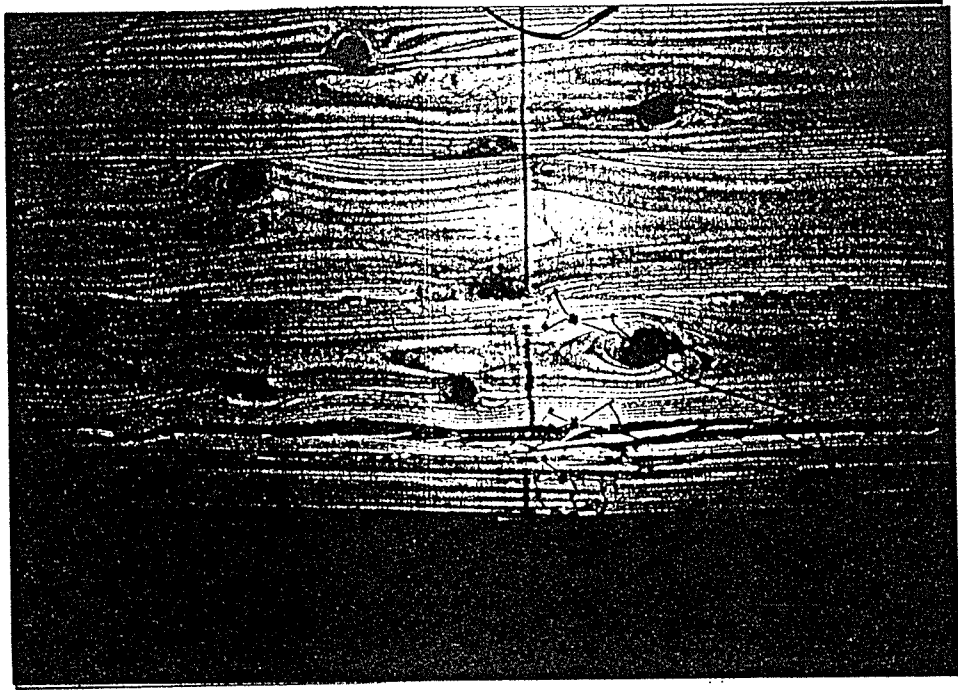
注) $E \times \epsilon$ は最下層の曲げヤング係数に

4番のひずみゲージのひずみ値を掛けたもの

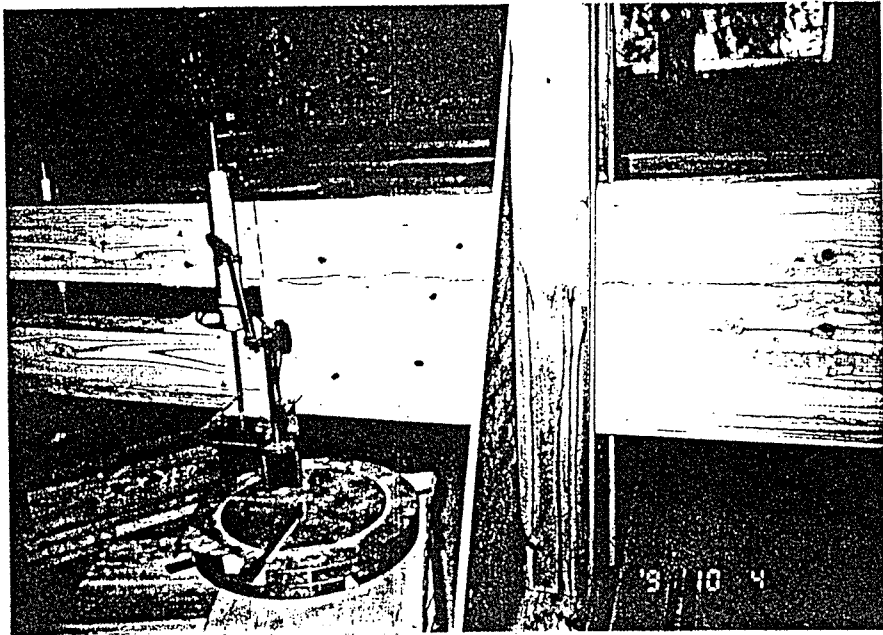


透しぼりA1, A2 つなぎブロック部での剪断破壊

写真 2-1 Aシリーズの破壊状況



A 3 LVLの引張破壊



A 4 つなぎブロック部での剪断破壊

写真 2-2 Aシリーズの破壊状況

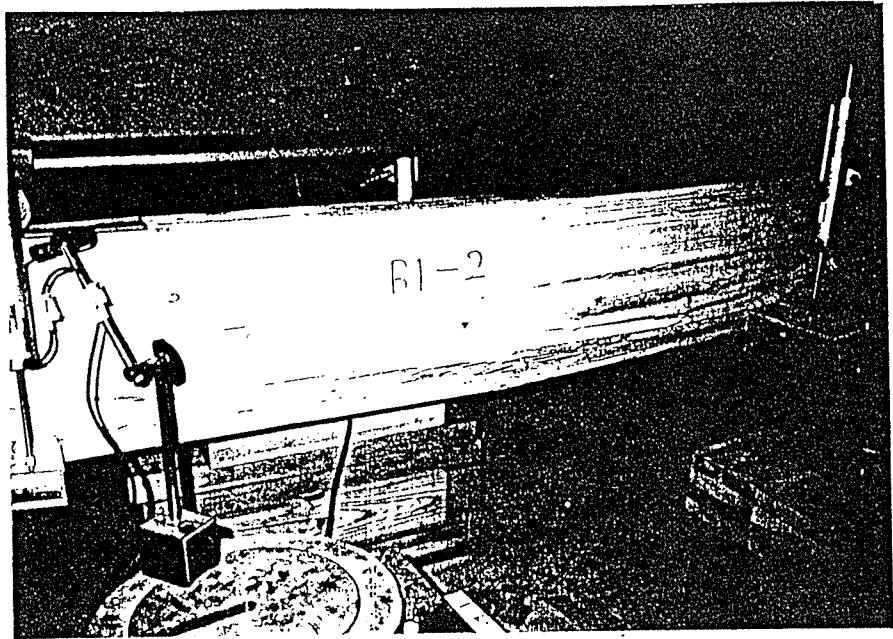
表4 重ねばりの接着層の剪断試験結果

l_a (cm)	P_{max} (kgf)	τ_a (kgf/cm ²)	接着長さ (mm)
10	3550	19.7	115.1
15	5230	19.4	116.9
25	9620	21.4	106.0
平均		20.2	112.7

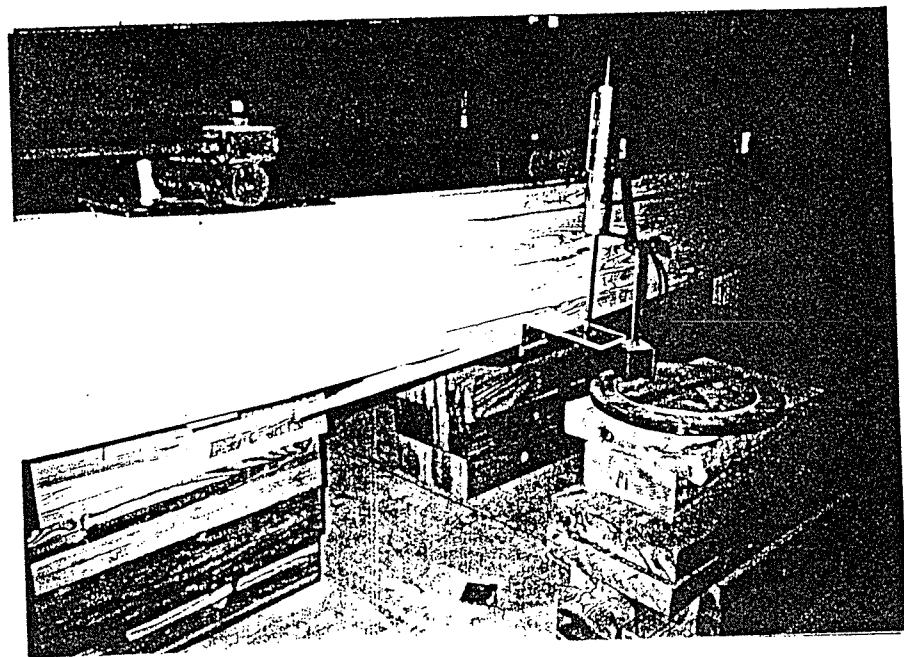
l_a : 試験体の接着層の長さ

τ_a : 接着層の剪断耐力

P_{max} : 最大荷重



B 1 LVLの引張破壊

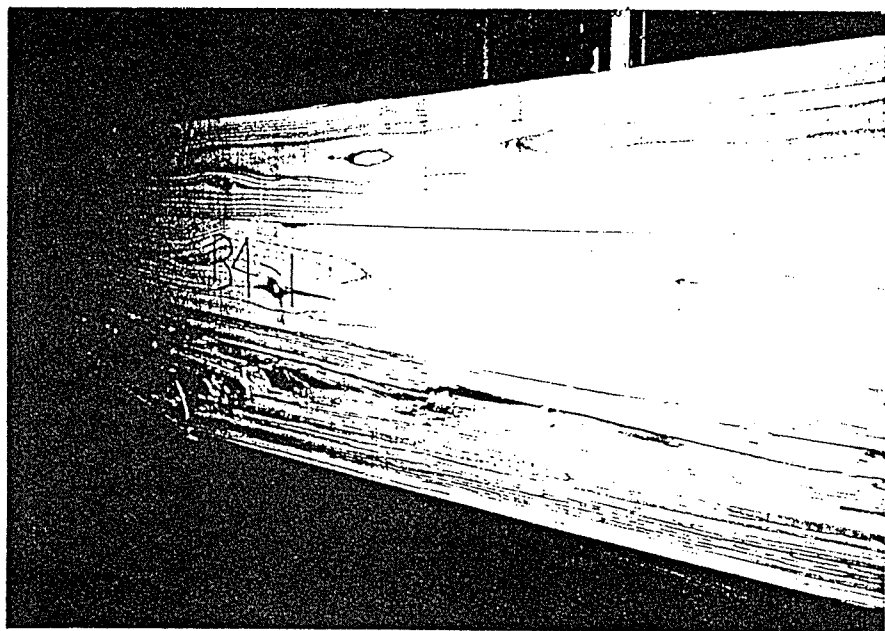


B 2 スギの引張破壊

写真 3-1 B 1 および B 2 試験体の破壊状況



B 3 スギバットジョイント部の剪断破壊



B 4 LVLの引張破壊

写真 3-2 B 3 および B 4 試験体の破壊状況

表5. スギ接着重ねばりにおける10年後の推定クリープたわみとクリープ関数

最外層の 材料	初期含水率 (%)	A	N	δ_0 (mm)	$\delta_{10年}$ (mm)	$\delta_{10年} / \delta_0$
LVL	20.4	0.5007	0.1678	6.675	10.06	1.51
スギ	18.3	0.7377	0.1837	8.960	14.93	1.67

$$\delta_{10年} = \delta_0 + A \times 87600^N$$

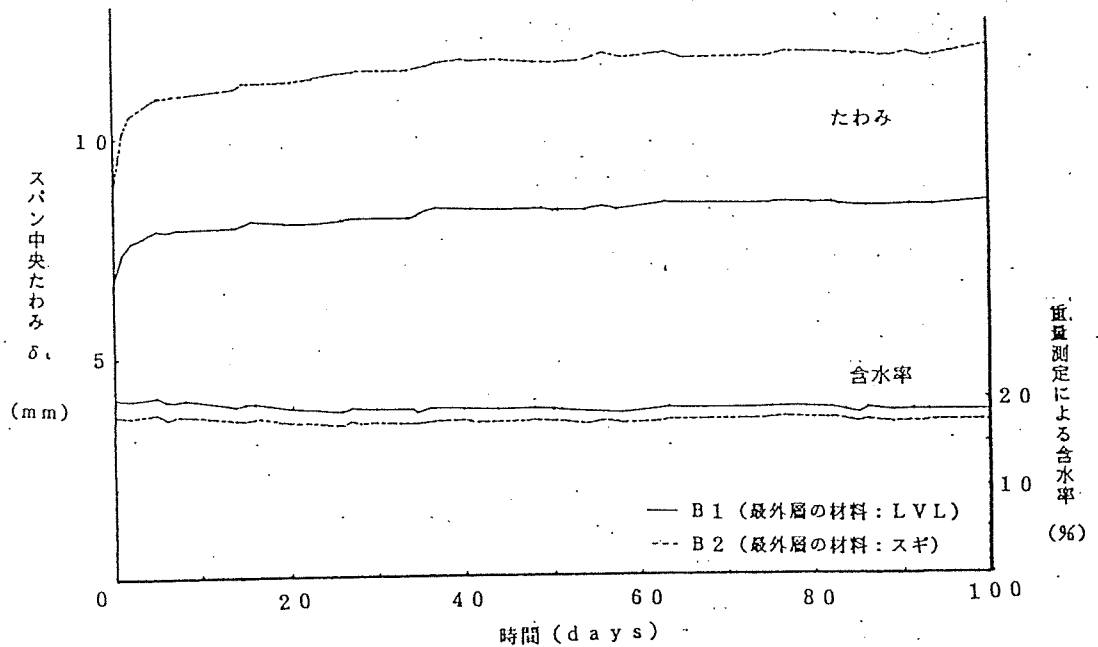


図10. 試験体B1とB2のスパン中央たわみと時間の関係

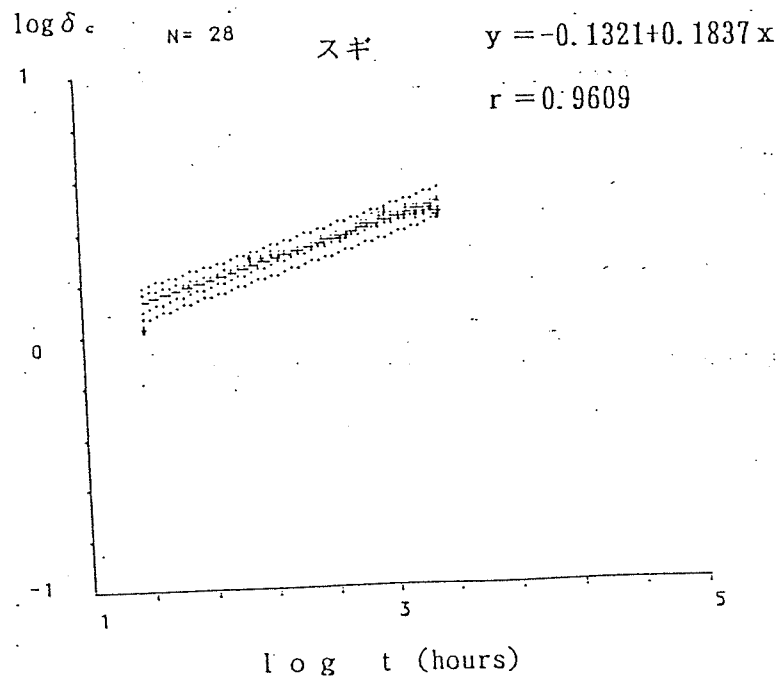
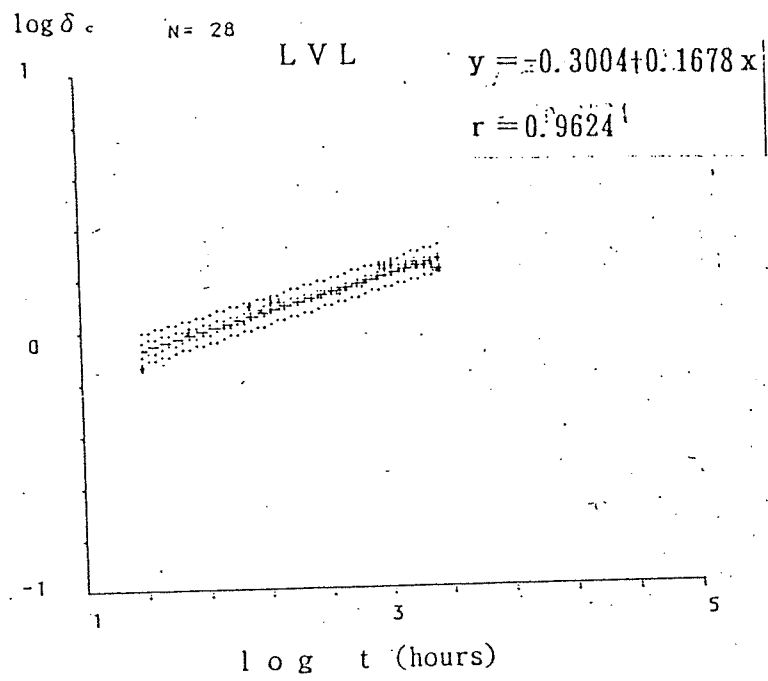


図 1 1 時間とはりのスパン中央たわみの関係 (両対数)

δ_c : クリープたわみ

t : 載荷後の経過時間

2. 4 結論

- 1) 透しばりは計算上剪断力に耐えるだけの材を用いると、中実重ねばりと比べ曲げヤング係数は低下しないものの、曲げ破壊係数は約20%低下した。これは接着層における剪断破壊のためであった。以上のことから透しばりは実用的ではない。
- 2) 10年後の推定クリープたわみの瞬間たわみに対する比率は、最外層にLVLを接着したもので1.51、スギ材を接着したものでも1.67という低い値であり、両者とも実用上、問題がなかった。特に十分乾燥したスギ小割材を最外層に張る方法は、正角材のみの重ねばりよりも大幅にクリープを押さえることができ、コスト面から言っても有効である。

2.5 総括

過去に行った正角材および重ねばりの曲げ試験と曲げクリープ試験の結果を総括すると次のようになる。

- 1) スギ正角材においては、材中心部の含水率が局部的に高くても、材表面が乾燥した状態であれば、曲げヤング係数は乾燥材の約92～95%と見積もることがでる。また、スギ正角材内部の含水率分布から全体の曲げヤング係数は推定できる。
- 2) スギ正角材のクリープ挙動は表面が乾燥した状態であれば乾燥材とほとんど変わりがない。
- 3) 正角材のクリープ試験において、木材の含水率が急激に変化する際（乾燥状態⇔湿潤状態）には、クリープたわみが大きくなる。
- 4) 透しばりは中実重ねばりと比べ曲げヤング係数の低下はないものの、曲げ破壊係数は約20%低下した。これは接着層における剪断破壊のためであり、以上のことから透しばりは実用的ではない。
- 5) 完全に気乾状態に達していないスギ接着重ねばりの10年後のクリープたわみを1年程度の実験データから t^N 則で推定すると、載荷初期（3000時間）の影響が大きくてクリープたわみを過大に評価する恐れがある。この点を考慮すると、載荷3000時間のクリープたわみを基準にして推定するのが実用上適当と考えられる。しかし、この場合でも、実用範囲である瞬間たわみの2倍を越え、実用上支障が出た。
- 6) 材中心部が十分に乾燥していない心持材を重ねばりとして用いる際に、クリープたわみを小さくする方法として、最外層にLVLを張るか、あるいは十分乾燥したスギ小割材を張る方法が有効であった。特に後者はコスト面から言ってもまたスギの有効利用という面からも優れている。

6. 文献

- 1) Aplin, Nicholas他 : The Influence of Moisture Content on the Flexural Properties of Douglas Fir Dimension Lumber, US Dept. of Agri. Forest Products Laboratory, Research Paper FPL 475 (1986)
- 2) 中井 孝 : 国産造林木の材質, 木材工業Vol. 39-11. (1984)
- 3) 有馬 他2名 : 木質材料及び部材の長期耐力評価に関する研究, 建築研究所報告. 第95号 (1981)
- 4) 平嶋 他4名 : 正角材を用いた接着重ね梁の曲げ性能, 木材工業Vol. 43-2 (1988)

- 5) 稲垣 (現、辻) 、徳田 : スギ正角材の含水率と曲げヤング係数の関係, 日本木材学会大会 (1990)
- 6) 稲垣 (現、辻) 、徳田、鷺海 : スギ正角重ねばりの曲げクリープ性状に及ぼす含水率の影響, 日本木材学会大会 (1991)

第3章 今後の開発の方向性

3.1 住宅メーカーの立場から

平成3年度開発の杉 + LVL の接着重ね梁は、杉間伐材の有効活用を図るとともに、性能的には、現在一般に使われている製材梁(米松)を上回り、価格的にも、製材梁(米松)に置き換えうる梁として開発されたものである。

今後は、次のような理由から、集成梁を超えるような剛性の高い木質系の梁の開発が望まれる。

尚、実用化を推進するためには、併せて、梁と他部材(受梁・柱・根太等)との取り合いに関する検討も望まれる。

①通常、梁の断面寸法はたわみ制限で決まることが多いが、たわみを(社)日本建築学会の定めている $l/300$ かつ 2cm 以下で計算するケースは比較的少なく、一般的には、振動障害・歩行感の改善等のため、たわみ制限をもっと小さく抑えている。

製材梁でも成を大きくすることで対応は可能ではあるが、不必要に階高のアップを招くことにもなり、剛性の高い梁が開発されれば具合が良い。

②今後、現場作業の省力化のために、壁のパネル化工法の増加が見込まれるが、パネル化に当たっては、梁成の統一を前提とすることが多い。
梁成の統一とは、基本的には、最大となる梁成に総ての梁成を揃えることであるが、一般に使われている製材梁では、相当大きな成とせざるをえないのに対し、剛性の高い梁が開発されれば、成を小さくすることが可能となり、階高も抑えることができる。

③住宅に対するユーザーニーズが多様化する中で、大きな空間に対する要望も多くなっており、大きなスパンに対応できる、剛性の高い梁が欲しいところである。
剛性が高くとも、例えば鉄梁では木材とのなじみや取り合いが良くないので、木質系の梁が望まれるところである。

以上、住宅メーカーの立場から、今後の開発の方向性についてその背景を述べたが、次を具体的な開発性能目標としたい。

スパン：5,460 mm

梁成：製材梁(米松)と比較して梁成で20%ダウン

(ヤング係数は約1.95倍)

20%ダウンすれば、製材梁より60mm前後梁成を小さくできるわけで、その効果は大きい。

尚、梁の断面性能算定上の条件としては、次を基本としたい。

条件は、各住宅メーカーが各々の判断で設定しているのが実状であるが、これは、(社)日本木造住宅産業協会の作成したパソコンソフト「床梁の断面算定プログラム“HAR2”」で設定されている条件である。

たわみ制限： $l/300$ かつ 1 cm 以下 とする。

ヤング係数：長期荷重によるクリープを考慮して、たわみ計算におけるヤング係数は、(社)日本建築学会編「木構造計算規準・同解説」に準じて低減する。

3.2 LVLの現状と動向

1. はじめに

LVLの歴史はかなり古いですが、家具分野を中心にまとまった量が使用される様になったのは1975年以降である。造作用のLVLのJAS規格は1978年9月に施工されたが、構造用は10年おくれて1988年10月ようやく施工になっている。この構造用のJAS規格は昨年末に大幅な改正があり（平成3年12月27日告示第1494号）、それまでの材料と製造方法によって等級分けする製造規格から、最終性能によって等級分けするいわゆる性能規格へと大幅な脱皮を行なった。これを受けて、本年4月に許容応力度が決定され構造材料としての本格的な展開が始まろうとしている。

2. LVL産業の現状

全国LVL協会で、平成3年におけるLVL産業の実態調査を行なっているので、その結果を報告する。今回調査の対象企業は21企業で、工場数は23工場であった。年間生産量は12万3千 m^3 となっているが、アウトサイダーを含めると20万 m^3 と推定されている。調査結果を表1に示す。

表1・LVL産業実態調査報告（平成3年）

項目	区分		工場数	数量 (m^3)
原木消費量	広葉樹		14	121,158
	針葉樹		6	32,930
	計		15	154,088
項目	区分		工場数	数量 (m^3)
年間生産量	広葉樹		17	96,416
	針葉樹		11	26,765
	計		18	123,181
年間使用量	国内からの購入	広葉樹 LVL	5	5,796
		" 単板	1	2,659
		計	6	8,455
	海外からの購入	広葉樹 単板	6	12,458
		" LVL	-	-
		針葉樹 単板	7	6,306
		計	10	18,764
合計		14	27,219	
年間販売量	国内からの購入	広葉樹 LVL	2	5,359
		針葉樹 -	-	-
		計	2	5,359
	海外からの購入	広葉樹 LVL	2	1,363
		" 単板	1	5,800
		針葉樹 LVL	2	1,216
		" 単板	1	1,350
計	5	9,729		
合計		6	15,088	
製品の用途	造作用		17 工場	・ 1企業
	家具用		15 工場	・ 1企業
	構造用		1 工場	・ 2企業
	その他		6 工場	
	計		23 工場	・ 2企業
製品の寸法	厚さ		4~	950mm
	幅		9~	1,260mm
	長さ		150~	24,365mm

3. 構造用LVLの種類と強度性能

3-1 種類

JAS規格では、構造用LVLはフェノール樹脂又はこれと同等以上の性能を有する接着剤を用いて製造された厚さ25mm以上のLVLとされており、曲げヤング係数によって80E (80 ton/cm²) ~ 180E (180 ton/cm²) まで6段階に区分されている。さらに、それぞれの区分が、単板の積層条件によって特級、1級、2級の3種類に分かれている(表2)。又、曲げヤング係数区分とは別に水平せん断性能によって7段階に分けられている(表3)。現在製造されているのは120E~140Eの特級で、65V-55Hのものが標準となっている。

表2・曲げ性能のJAS規格

曲げヤング係数区分	曲げヤング係数 (10 ³ kgf/cm ²)		曲げ強さ (kgf/cm ²)		
	平均値	最低値	特級	1級	2級
180E	180	155	675	580	485
160E	160	140	600	515	430
140E	140	120	525	450	375
120E	120	105	450	385	320
100E	100	85	375	320	270
80E	80	70	300	255	215

表3・水平せん断性能のJAS規格

水平せん断性能	水平せん断強さ (kgf/cm ²)	
	縦使い方向	平使い方向
65V-55H	65	55
60V-51H	60	51
55V-47H	55	47
50V-43H	50	43
45V-38H	45	38
40V-34H	40	34
35V-30H	35	30

3-2 強度性能

JAS構造用LVLの許容応力度を表4に示す。(建設省住指発第120号 平成4年4月7日)

表4・構造用LVLの許容応力度 (その1)

水平せん断性能	長期応力に対するせん断の許容応力度 (単位 kg/cm ²)	短期応力に対するせん断の許容応力度 (単位 kg/cm ²)
65V-55H	13	長期応力に対するせん断の数値の2倍とする。
60V-51H	12	
55V-47H	11	
50V-43H	10	
45V-38H	9	
40V-34H	8	
35V-30H	7	

(注) 水平せん断性能は構造用単板積層材規格の定めるところによる。

表4・構造用LVLの許容応力度（その2）

曲げヤング 係数区分	等級	長期応力に対する 許容応力度 (単位 kg/cm ²)			短期応力に対する 許容応力度 (単位 kg/cm ²)		
		圧縮	引張り	曲げ	圧縮	引張り	曲げ
180E	特級	155	120	195	長期応力に対する圧縮、 引張り又は曲げのそれぞ れの数値の2倍とする。		
	1級	150	100	170			
	2級	140	85	140			
160E	特級	140	105	175			
	1級	135	90	150			
	2級	125	75	125			
140E	特級	120	90	155			
	1級	120	80	130			
	2級	110	65	110			
120E	特級	105	80	130			
	1級	100	65	110			
	2級	95	55	95			
100E	特級	85	65	110			
	1級	85	55	95			
	2級	80	45	80			
80E	特級	70	50	85			
	1級	65	45	75			
	2級	65	40	65			

(注) 曲げヤング係数区分及び等級は構造用単板積層材規格の定めるところによる。

4. 今後の動向

LVLはその構成を見ても小片から大断面材をつくるという点で集成材より一歩進んだ省資源材料である。又、JASの品等区分をみても、弾性係数が180tonという今までの木質材料では考えられない高性能のものが製造可能であり、低質材料の有効利用という点でも大きな可能性をもった材料であると言える。本年4月に許容応力度が決定され構造用としての展開が始まったわけであるが、当面の残された課題として、大断面木質構造への利用展開がある。大断面木材として使用するには火災時の燃焼性等、確認すべき問題点が残されている。

LVLは製材や集成材より広い面積をもった板を原料としている点で、特徴のある利用方法が開発されるであろうし、継ぎ手等を工夫することにより、独自の構法開発が期待される。現在、LVLの需要はまだ小さなものであるが、今後、製造方法を含めて材料の改良、開発を進めて行けば、木質構造材料の一分野として大きな需要が期待される材料である。

3.3 木材接着

①木材接着の基本的課題

接着接合の最も大きな利点は、釘および接合金物等による接合法に比べて、剛性および強度性能の大きな接合が可能なことである。地球規模で森林破壊が叫ばれる今日において、木材を分割した構成要素を接着によって一体化し、様々な樹種、様々な断面の木材を有効に使っていくことは非常に重要である。接着接合法は、木材を有効利用するための不可欠の加工法として、これからさらに重要性が増すものと考えられる。

しかし、接着接合の優れた構造的性能は、木質材料の製造における場合と比べると、木造建築分野では十分活用されているとはいえない状況である。その理由は、接着接合の接着性能および構造的性能に及ぼす影響因子が多く、しかも複雑に関係するため、接着接合による構造的性能を保証することができないためと考えられる。接着性能に影響を及ぼす因子には、大きく分けて接着剤に関する因子、被着材である木材に関する因子、および接着条件に関する因子がある。接着接合による構造的性能を保証するためには、これらの3因子をコントロールして、信頼性のある接着接合を実現しなければならない。そのためには、例えば、接着剤メーカーが接着の供給だけでなく、接着接合法（システム）全体を供給するといった、接着剤メーカー、木質材料製造者、住宅メーカー、および行機関等接着に関連する組織が一体化して接着接合を実現することが必要であると考えられる。

接着接合の構造的性能を保証できない理由として、特に強調しなければならないことに、接着耐久性の問題があるが、この問題についても接着に関連する組織が一体となって、その保証法を検討していく必要がある。使用環境区分（例えば、温度区分、水の作用する度合いの区分等）、構造的な重要性の区分（例えば、他の接合法のプラスアルファ、剛性だけを期待する、強度も期待するといった区分）、接着剤の耐水性・耐熱性等の接着剤の特性と接着接合部の耐久性の関係、接着耐久性に及ぼす接着条件の影響（製造ミスにより接着耐久性がないと判断される場合もある）といった問題点を接着関連組織が一体となって検討し、接着耐久性の保証方法を模索することが必要であると考えられる。

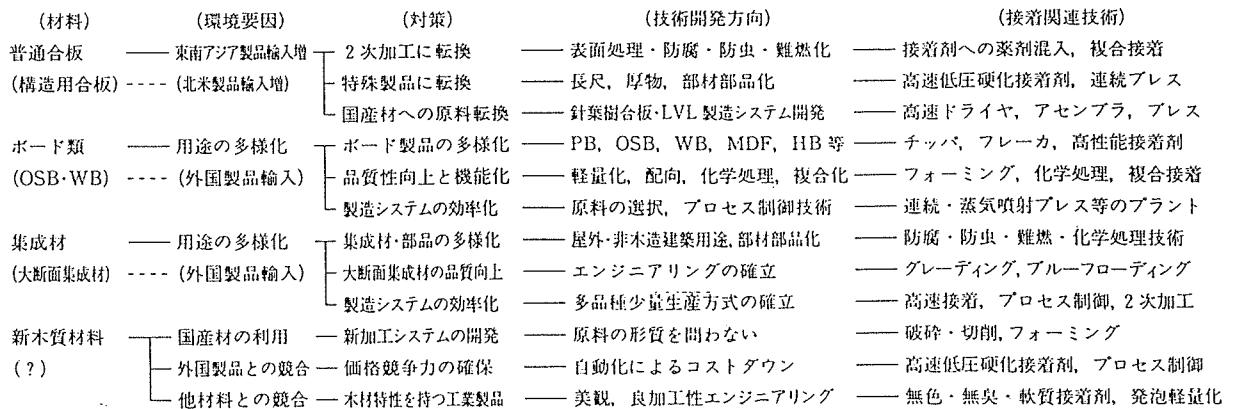
以上の2点は、木材接着における最も基本的かつ重要な課題であると考えられるが、また最も困難な課題であるともいえる。

②木材接着の今後の開発の方向性

木材接着の今後の開発の方向性については文献¹⁻⁴⁾に詳しくまとめられている。富田²⁾は木材工業における接着への課題を第1表のように整理している。また、藤井³⁾は、加工木材を取り巻く環境の変化と接着関連技術開発の方向性を第1図のようにまとめている。詳細については、それらの文献を参照されたい。特に、木造建築分野に関連する課題としては、短時間接着、大断面構造用集成材の縦継ぎ、および現場接着が注目される。

第1表 木材工業における接着への課題

開発目的	技術開発課題	接着技術の開発課題
材料開発	高耐久性製品 機能化・複合化・軽量化 木質材料の連続成型	高耐久性接着剤、保存分野との連携 二次加工接着、他材料との接着 高反応性接着剤
信頼性	接着機構の解明 品質保証 現場施工・構造接着	接着耐久性の体系化、接着系の内部応力および接着層の劣化機構の解明、接着剤の物性と破壊機構 促進劣化試験法の体系化 高反応性接着剤、構造接着技術、非破壊試験法の確立現場における成型・加熱方式、信頼性の評価法の確立
省エネルギー	乾燥エネルギー 熱圧（工程の短縮）	高含水率木材の接着 余熱接着、高反応性接着剤、塗付技術、蒸気噴射・高周波・マイクロ波等の利用
資源利用	未利用材・樹種の多様化 材料としての天然資源 木材成分の化学的利用 木材以外の天然物	接着剤の選択、接着工程、難接着性木材の接着 各種ボード（パーティクルボード、OSB、ウェーハボード等）用接着剤、縦継ぎ接着リグニン・ポリフェノールの接着剤化、炭水化物の接着剤化、木材そのものの接着剤化 蛋白系・炭水化物からの接着剤
脱公害	製造工程 使用環境	低毒性型、非有機溶剤型、水系接着剤 添加剤の開発、二次加工、防火・難燃分野との連携



第1図 加工木材を取り巻く環境の変化と接着関連技術開発の方向

文 献

- 1) 滝 欽二：木材工業、43、531(1988)
- 2) 富田文一郎：木材工業、45、258(1990)
- 3) 藤井 毅：第10回木材接着研究会講演要旨集（日本木材学会）、1(1990)
- 4) 日本住宅・木材技術センター：森林資源有効活用促進調査事業報告書(1989)

3. 4 構造的見地からみた複合ばり

住宅用材は木材の需要の主たる部分を占めており、このうち軸組工法住宅は国産針葉樹の重要な消費先である。しかしながら、この軸組工法住宅において、柱材には国産材が用いられる場合が多いものの、はり材についてはその断面の大きさや、ヤング係数、価格などの要求に国産材は十分に答えられず、主にベイマツ材が用いられている。

国産針葉樹、特にスギをはり材として用いて行くためには、小断面材を積層接着して大断面化するのが一つの方法ではあるが、ベイマツ材に対抗していくためには、同時に高剛性化をはかる必要がある。この高剛性化の一つの方法として、スギ素材とベイマツ LVL の複合ばりは、ベイマツ材なみの剛性を有し、実用性が高いと結論されている。

ここでは国産針葉樹材を用いた複合ばりについて、さらに高剛性化をはかるために、針葉樹材間に鋼材あるいは新素材を併用し複合化したはりの実用可能性について検討した。

5. 4. 1 鋼板と木材の複合化

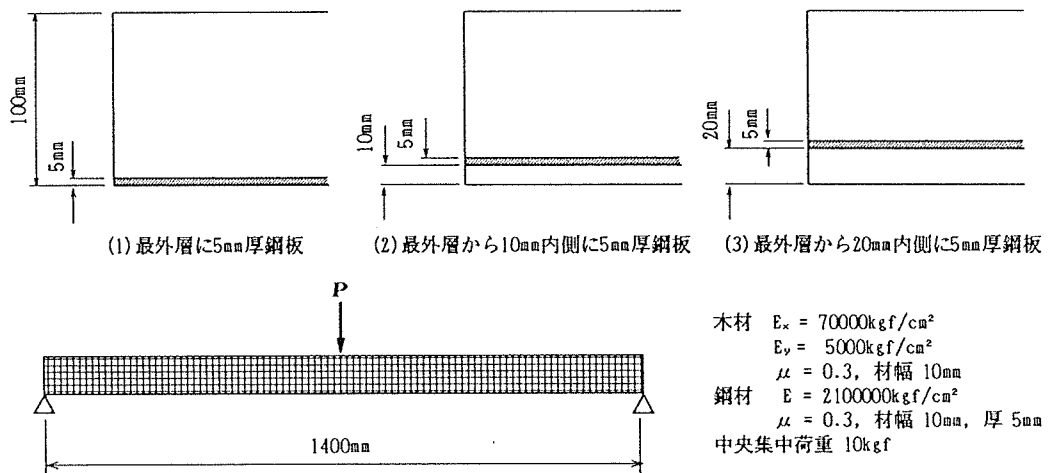


図1. 鋼板併用ばりの曲げ有限要素解析

鋼板を木材と複合化できれば、安価でかつ曲げ剛性の高いはりを得られる。実際には木材と鋼板の間の接着をいかに行うかを接着剤の選択を含めて考えなければならない、また鋼板を木材中にサンドイッチしてしまうとあとで鋸による切断やプレーナーによる表面仕上げができなくなる、という欠点を有しているが、とりあえずここでは、木材の最外層、最外層から 10mm あるいは 20mm の位置に厚さ 5mm の鋼板を挿入すると、材せい 100mm のはりの曲げが木材のみの場合に比べ、どれくらい大きくなるかを有限要素法を用いて計算してみた(図1)。計算は材

せい100mm、幅 10mm、スパン 1400mm の中央に 10kgf の荷重がかかる、という条件で行った。

その結果、木材のみ（ヤング係数 70000kgf/cm²）の場合は最大たわみが 1.01mm だったのに対し、最外層に厚さ 5mm 鋼板を用いた場合のたわみは 0.584mm、最外層から 10mm 内側に鋼板を用いた場合にはたわみが 0.76mm、20mm 内側に鋼板を用いた場合にはたわみが 0.86mm となった。最外層に厚さ 5mm の鋼板を用いただけで、曲げ剛性が木材のみの時の 1.7 倍になり、またあたりまえのことであるが鋼板を引張側の外層にもってくるほどみかけの曲げ剛性が高くなった。

パーティクルボード中に鉄箔を積層してやればボードの曲げ剛性がアップした、という報告¹⁾があったが、鉄箔程度の厚さの鋼であれば切削も普通の木材用鋸で可能であり、もしこの鉄箔でも剛性の向上が認められるなら、鉄箔を複合ばりに用いるのも1つの方法であろう。

また、接着性に問題があったものの広葉樹 L V L にアルミ板を挿入し複合化すれば、曲げ剛性の高い L V L が得られた。薄いアルミであれば丸鋸で切削することも可能であり、アルミと国産材との複合も検討する価値はあろう。

5. 4. 2 新素材と木材の複合化

近年は、ガラス繊維強化プラスチック、炭素繊維強化プラスチックなど、軽量で高強度、そして耐蝕性に優れた新素材が次々と開発されている。これらの新素材を針葉樹複合ばりに併用すれば、軽量でかつ剛性の高いはり材が得られる可能性がある。

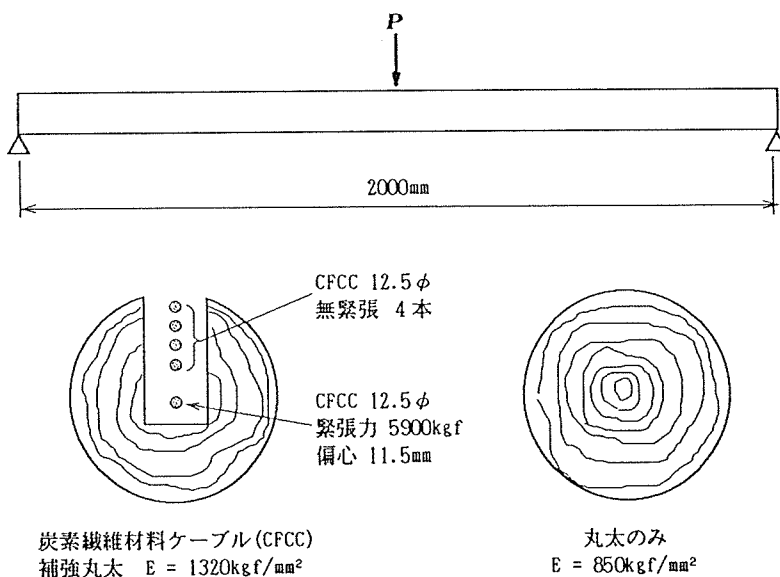


図2. 炭素繊維材料ケーブルで補強したスギ丸太の曲げ試験

図2はPC鋼材とほぼ同等の強度を持ち、重量は鋼材の1/5でしかも耐蝕性にすぐれた炭素繊維複合材料ケーブル(CFCC)を丸太の背割り部に挿入し、エポキシ樹脂を充填して補強した丸太の曲げ試験の例である²⁾。この例では丸太の圧縮側に4本の直径12.5mmのCFCCを無緊張で挿入し、引張側には丸

太中心から 11.5mm の位置に 5900kgf の緊張力を与えた直径 12.5mm の C F C C を挿入することにより丸太に圧縮のプリストレスを与えている。これにより補強丸太では 4mm のむくりが生じ、その曲げヤング係数は丸太のみの場合の 1.55 倍になった。

この例では丸太の圧縮側に C F C C を 4 本も入れているなど、必ずしも効率のよい補強方法とはいえないが、この C F C C をはり材の引張側に挿入し、あらかじめ C F C C に緊張力を加えてエポキシ樹脂を加え硬化させれば木材に圧縮のプリストレスがかかり、しかもむくりが生じるため、結果としてできた複合ばりは木材のみの場合に比べかなり高い曲げ強度、曲げ剛性が期待できる。

図 2 であげた炭素繊維複合材料ケーブルの製品シリーズの中には、直径 3mm の単線もあり、この場合だと丸鋸で木材に溝をつけておけば簡単に木材接着層に挿入でき、軽くて剛性の高い複合ばりが実現するであろう。

また、アラミド繊維強化プラスチックも、上記の C F C C と同様、P C 鋼線とほぼ同等の引張強度を有しており、比重も鉄の 1/5 である。このプラスチックは主にコンクリートにプリテンションを与え、補強する用途に用いられており、これは断面が板状のため、木材との複合化は接着剤の選択を誤らなければ比較的容易であろう。

今のところ新素材は価格が高いため、即実用化の可能性は小さいが、新素材は軽量、高強度で、耐久性に優れるという種々の特徴を持っているので、これらの性能が要求される特殊用途では、これら新素材と木材の複合ばりが今後使われていくであろう。そして新素材の価格が下がれば、一般用途にも広がって行くであろう。

なお、図 2 の C F C C 補強丸太は、茶室の丸太ばりとして実際の建築に用いられており、この補強丸太のおかげで柱の間隔は従来より大きくとれるようになったという。

これまで複合ばり開発委員会で行ってきた張弦ばり、素材と L V L の複合ばり等以外にも、まだまだはりの高剛性化をはかる手法は数多くあり、建築側の要求に十分答えるために、今後も継続的に複合ばりの高剛性化の可能性を検討していく必要があるだろう。

参考文献

- 1) 畑俊充、海老原徹：「鉄箔積層パーティクルボードの製造と性質」、木材工業、46、P. 361～365 (1991)
- 2) 東京製鋼株式会社：「C F C C 技術資料」、1990.1、P. 5-5～5-6