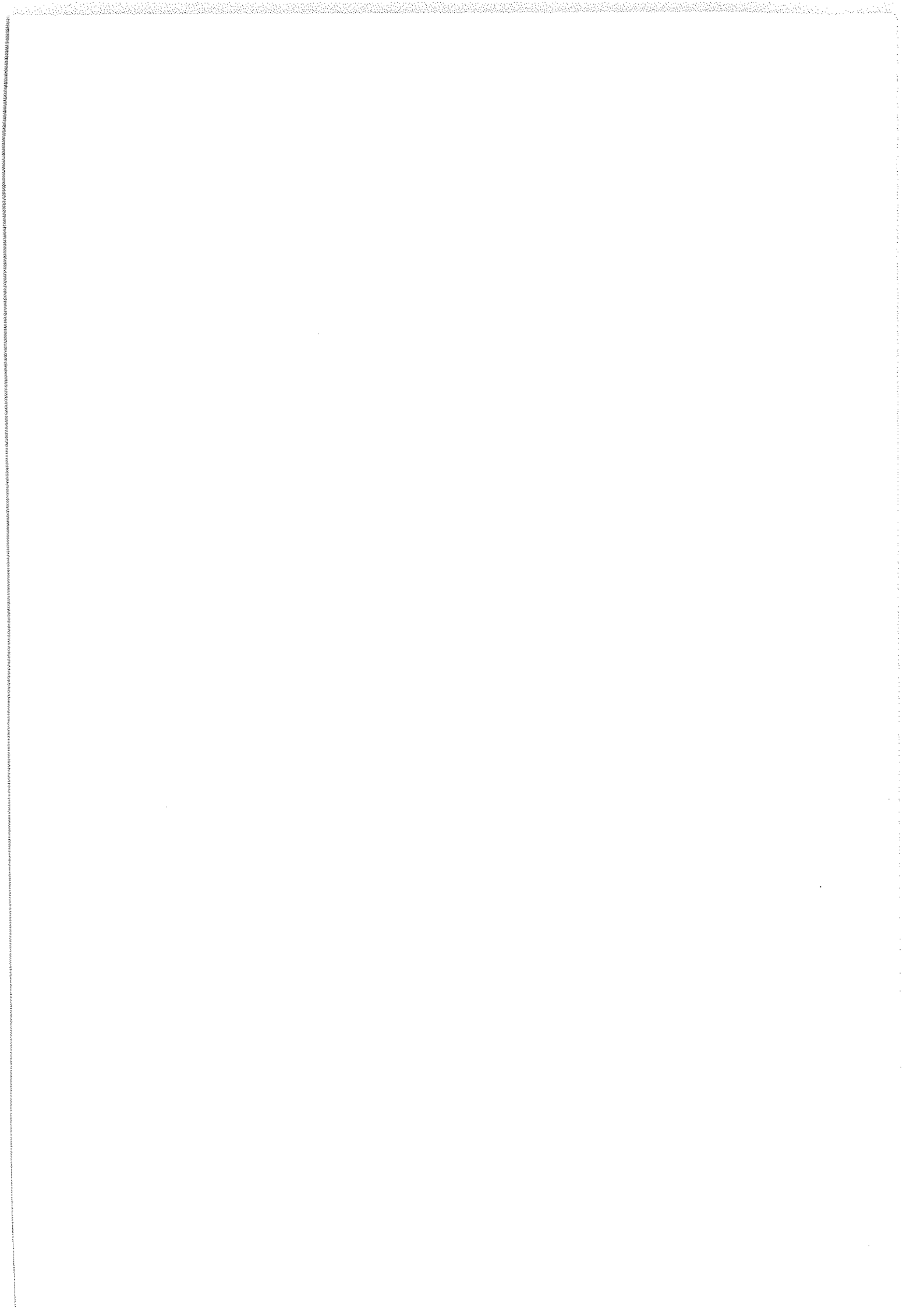


構造用LVLの接合部構造耐力試験報告書

全国LVL協会受託事業

平成6年3月

(財)日本住宅・木材技術センター



はじめに

構造用LVLは、平成3年のJAS規格の改定以降、わが国での生産も本格的になり、また、海外でもアメリカ、フィンランド、ニュージーランドにJASの認定工場が出現している。最近は大断面LVLを使った建築物も数は少ないが建設されつつある。

しかし、LVLを構造用建築材料として本格的に需要拡大するには、まだ幾つかのハードルを越えなければならない。その1つは、接合部の強度特性データの蓄積である。現在はLVLの接合部データが非常に少ないため、集成材の木構造計算規準に準じて、接合部の設計が行われているのが実状である。本格的にLVLが建築用構造材料としての道を開くには、各種の接合具、接合部の性能特性を把握し、十分なデータを蓄える必要がある。

そこで、本事業ではLVLの接合部性能把握の手始めとして、つぎの3タイプの接合部を取り上げ、その性能試験を実施した。すなわち、①鋼板接合—ボルト、ピン：挿入鋼板をボルトまたはドリフトピンで接合②LVL接合—ピン：LVLとLVLをドリフトピンで接合③鋼板接合—ラグスクリュー：鋼板添え板をラグスクリューで接合の3タイプである。LVLは集成材に比べ繊維に直交する方向の性能にやや弱点があると指摘されており、試験では繊維直交方向のデータを重点的に検討を行った。

まだまだ、技術データの蓄積としては、十分でないと思われるが、今回実施された接合部データが今後の構造用LVLの発展に活かされることを期待する。

なお、この事業は全国LVL協会の委託事業として、(財)日本住宅・木材技術センターが行ったもので、委員会のまとめ役の坂本委員長をはじめ委員各位、関係行政各位、全国LVL協会各位に対し、厚く御礼申し上げます。

平成6年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

構造用L V L委員会の構成

委員長	坂本 功	東京大学工学部建築学科教授
委員	有馬 孝礼	東京大学農学部林産学科助教授
同	徳田 迪夫	三重大学生物資源学科森林資源コース教授
同	宮澤 健二	工学院大学工学部建築学科助教授
同	藤井 毅	森林総合研究所木材利用部加工技術科集成加工研究室長
同	小松 公平	森林総合研究所木材利用部構造利用科接合研究室長
同	宮村 雅史	建築研究所第二研究部研究員
同	中島 史郎	建築研究所第二研究部研究員
協力委員	穎川 五郎	全国L V L協会（第一ウッド（株））
同	西田 慎	全国L V L協会（（株）ケーヨー）
同	荒木 五郎	全国L V L協会（大鹿振興（株））
同	アレン・ピーターズ	全国L V L協会（トラスジョイスト社）
事務局	牧 勉	（財）日本住宅・木材技術センター試験研究部長
	秋山 禎孝	全国L V L協会
	鴛海 四郎	（財）日本住宅・木材技術センター主任研究員

なお、委員会の最初の段階ではつぎの方々にも参画していただいた。厚く御礼申し上げます。

安村 基（建築研究所第3研究部主任研究員）

故川元 紀雄（森林総合研究所木材利用部構造利用科接合研究室）

目 次

1. 構造用LVLの鋼板挿入式接合のボルト及びドリフトピンの耐力	1
1. 1 はじめに	1
1. 2 試験材料	1
1. 3 試験方法	8
1. 4 試験結果	11
1. 5 考察	23
1. 6 まとめ	24
2. ドリフトピンを用いたLVL部材の接合性能試験結果	31
2. 1 概要	31
2. 2 実験	31
2. 3 試験結果	35
2. 4 まとめ	70
3. LVLのラグスクリューによる接合	71
3. 1 目的	71
3. 2 実験	71
3. 3 結果及び考察	72
3. 4 まとめ	72

1. 構造用LVLの鋼板挿入式接合のボルト及びドリフトピンの耐力

1.1 はじめに

ボルトなどの接合具による構造用LVL（以下LVLという。）の接合では、必ずしも繊維方向だけで使用されるとは限らないため、繊維直交方向についても検討を加えておく必要がある。とくにLVLは繊維方向と繊維直交方向では強度に大きな差異が認められるため、両方向の性能を十分に把握しておくことが肝要である。本実験では繊維方向も含めて、鋼板挿入式接合の力学的特性を明らかにする。すなわち、端距離、縁距離、 L/d などの因子が接合耐力に及ぼす影響を実験的に確認する。

1.2 試験材料

1.2.1 実験計画及び試験体

試験体は次の実験計画に基づいて作製した。試験に使用した接合具はボルト及びドリフトピンの2種類、挿入鋼板は厚さ6mmである。鋼板及びLVLの接合具の挿入孔直径は接合具直径と同一寸法とした。以下にその詳細を示す。

(1) 繊維方向加力の試験体

繊維方向に平行加力の試験体は、図1.2.1に示す。各因子ごとの試験体をつぎに示す。

1) L/d の影響

端距離およびLVLの材厚を一定にして、接合具(以下ボルト及びドリフトピンをいう。)の直径を変数として、 L/d が接合耐力におよぼす影響を実験的に確認する。接合具直径は8、12、16、20、24mmまでの5段階で、この場合、 L/d は3.17~9.5、供試体幅を90mm一定としたので、縁距離は $5.6d \sim 1.9d$ となる。なお、木構造計算規準で設定している端距離は $7d$ 以上、縁距離は $1.5d$ 以上である。

表1.2.1 L/d (接合具径) を因子とする供試体 (mm)

d	8	12	16	20	24
e=7d	56	84	112	140	168
h=45	5.6d	3.75d	2.8d	2.25d	1.9d
L	38×2=76				
L/d	9.5	6.3	4.75	3.8	3.17
試験体数	5	5	5	5	5
LVL品質等級：140E					
LVL寸法：幅90×厚さ38×長さ600					

d：接合具径 (mm) e：端距離 (mm) h：縁距離 (mm) L：接合具の打ち込み長さ (材厚さmm)

2) 端距離の影響

材厚およびボルト径を $\phi 12\text{ mm}$ と $\phi 20\text{ mm}$ の一定として、端距離を変数として、接合耐力に及ぼす影響を確認する。この場合、材幅を一定としたので縁距離はそれぞれ $3.75d$ 、 $2.25d$ である。

表1. 2. 2 端距離 (e) を因子とする供試体 (mm)

d	12および20			
e	4d	7d	10d	12d
d=12	48	84	120	144
d=20	80	140	200	240
h=45	3.75dおよび2.25d			
L	76×2=152			
L/d	12.7および7.6			
試験体数	各5	各5	各5	各5
LVL品質等級：140E				
LVL寸法：幅90×厚さ76×長さ600				

d：接合具径 e：端距離 h：縁距離 L：接合具の打ち込み長さ（材厚さ）

3) LVLの品質等級の影響

JAS規格では、LVLの品質等級が曲げヤング係数で6つに区分されており、LVLの品質による影響を確認するため、120EのLVLを使用し、材厚、端距離を一定として、接合具直径を変数として、L/dを変化させた。

表1. 2. 3 LVLの品質等級を因子とする供試体 (mm)

d	12	16	20
e=7d	84	112	140
h=45	3.75d	2.8d	2.25d
L	38×2=76		
L/d	6.3	4.75	3.8
試験体数	5	5	5
LVL品質等級：120E			
LVL寸法：幅90×厚さ38×長さ600			

d：接合具径 e：端距離 h：縁距離 L：接合具の打ち込み長さ（材厚さ）

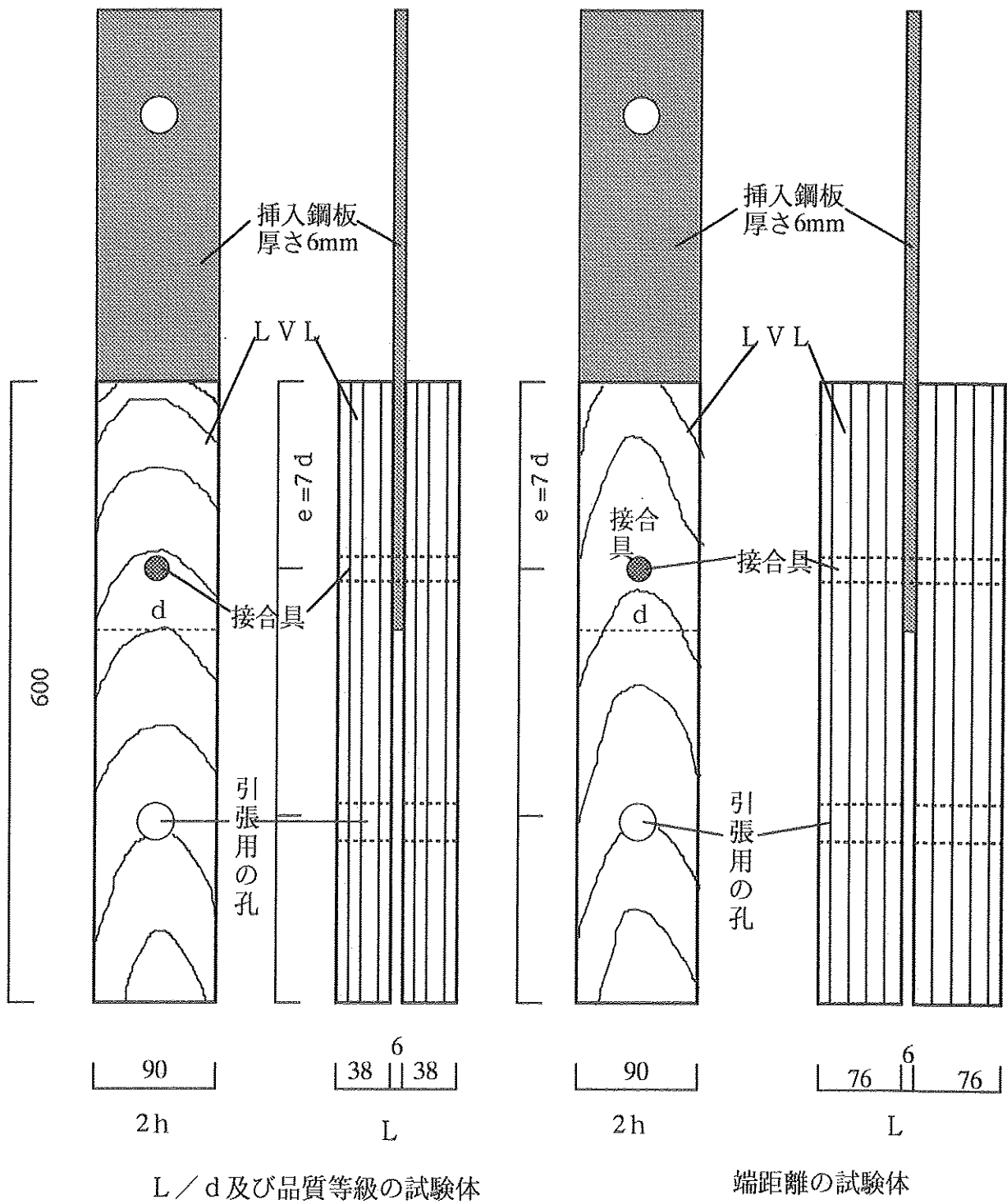


図1. 2. 1 繊維方向平行加力の試験体 (mm)

(2) 繊維直交方向加力の試験体

繊維に直交方向に加力の試験体を図1. 2. 2及び図1. 2. 3に示す。

1) L/dの影響

荷重の加力方向にLVLの繊維方向が直交する場合のL/dの影響を確認する。材厚、端距離を一定として、接合部直径を変数として、L/dの接合耐力に及ぼす影響を確認する。この場合、縁距離は4d一定とした。

表1. 2. 4 繊維直交方向でのL/d（接合具径）を因子とする供試体（mm）

d	8	12	16	20	24
e=7d	56	84	112	140	168
h=4d	32	48	64	80	96
L	38×2=76				
L/d	9.5	6.3	4.75	3.8	3.17
試験体数	5	5	5	5	5
LVL品質等級：140E					
LVL寸法：幅400×厚さ38×長さ336					

d：接合具径 e：端距離 h：縁距離 L：接合具の打ち込み長さ（材厚さ）

2) 端距離の影響

繊維直交方向の端距離変数として、端距離が接合耐力に及ぼす影響を確認する。材厚および、ボルト径をφ12mmとφ20mm、縁距離も4d一定とした。木構造計算規準で規定している端距離は7d以上である。

表1. 2. 5 繊維直交方向の端距離（e）を因子とする供試体（mm）

d	12および20			
e	4d	7d	10d	12d
d=12	48	84	120	144
d=20	80	140	200	240
h=4d	48および80			
L	76×2=152			
L/d	12.7および7.6			
試験体数	各5	各5	各5	各5
LVL品質等級：140E				
LVL寸法：幅400×厚さ76×長さ480				

d：接合具径 e：端距離 h：縁距離 L：接合具の打ち込み長さ（材厚さ）

3) 縁距離の影響

繊維直交方向の端距離が接合耐力に及ぼす影響を確認する。材厚は 38×2 mmおよび 114×2 mmの2種類、接合部直径は $\phi 12$ mm、端距離を $10d$ 一定として、縁距離を $2d$ 、 $4d$ 、 $6d$ 、 $8d$ の4種類の変数とした。木構造計算規準で規定する端距離は $4d$ 以上である。

表1. 2. 6 繊維直交方向の縁距離 (h) を因子とする供試体 (mm)

d	12			
e	10d			
d=12	120			
h	2d 24	4d 48	6d 72	8d 96
L	38×2=76および114×2=228			
L/d	6.3および19			
試験体数	各5	各5	各5	各5
LVL品質等級：140E				
LVL寸法：幅400×厚さ38×長さ240				
LVL寸法：幅400×厚さ114×長さ240				

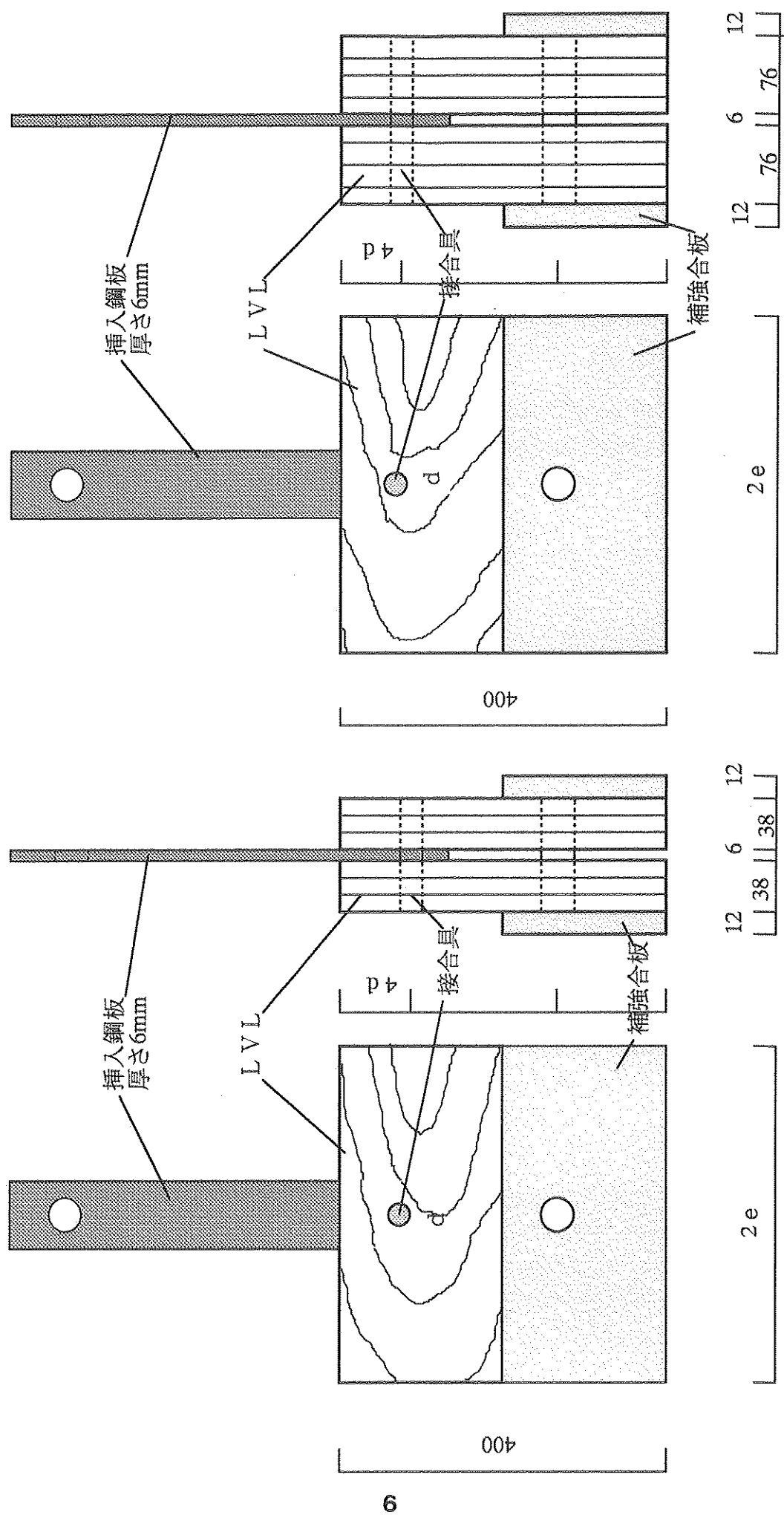
d：接合具径 e：端距離 h：縁距離 L：接合具の打ち込み長さ（材厚さ）

(3) 試験に用いたLVLの諸性能

試験に用いたベイマツLVLの曲げ性能、比重及び含水率は表1. 2. 7に示す。試験体は小断面で各10体の平均値である。

表1. 2. 7 試験に用いたLVLの曲げ性能、比重および含水率

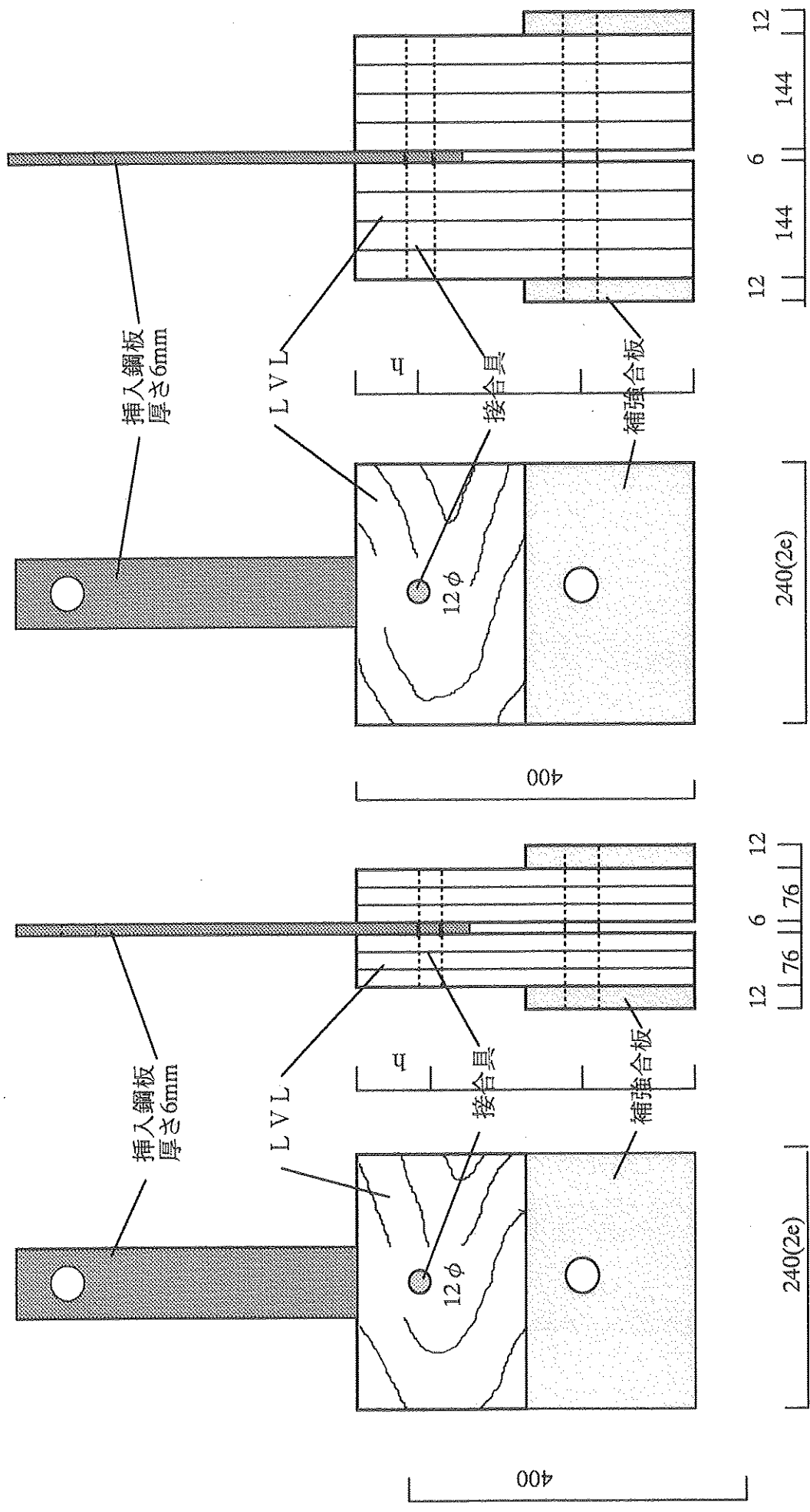
LVL品質等級		140E		120E	
荷重加力面		板目面	積層面	板目面	積層面
ヤング係数 10^3kgf/cm^2	繊維方向	141.0	125.2	126.1	126.2
	直交方向	5.2	4.8		
曲げ強度 kgf/cm^2	繊維方向	837	901	780	916
	直交方向	33	33		
比 重		0.587		0.603	
含水率 (%)		10.3		11.3	



L/dの試験体

端距離の試験体

図1. 2. 2 繊維直交方向加力の試験体 (mm)



縁距離の試験体

図1. 2. 3 繊維直交方向加力の試験体 (mm)

1. 3 試験方法

各接合具のせん断試験は、図1. 3. 1及び図1. 3. 2に示すように引張加力型で行った。荷重の加力には油圧式のジャッキ（容量10 t）及び油圧ポンプを用い、荷重は最大荷重に達するまでの単調増大方式で行った。荷重の検出にはロードセル（容量10 t及び5 t、出力4000 μ /FS）を用い、変位の測定は、挿入鋼板とLVLの相対変位を両側にとり付けた変位計（容量50 mm、200 μ /mm）により動ひずみ計を介してX-Yレコーダに接続し、直接グラフ上にP- δ 曲線を記録した。

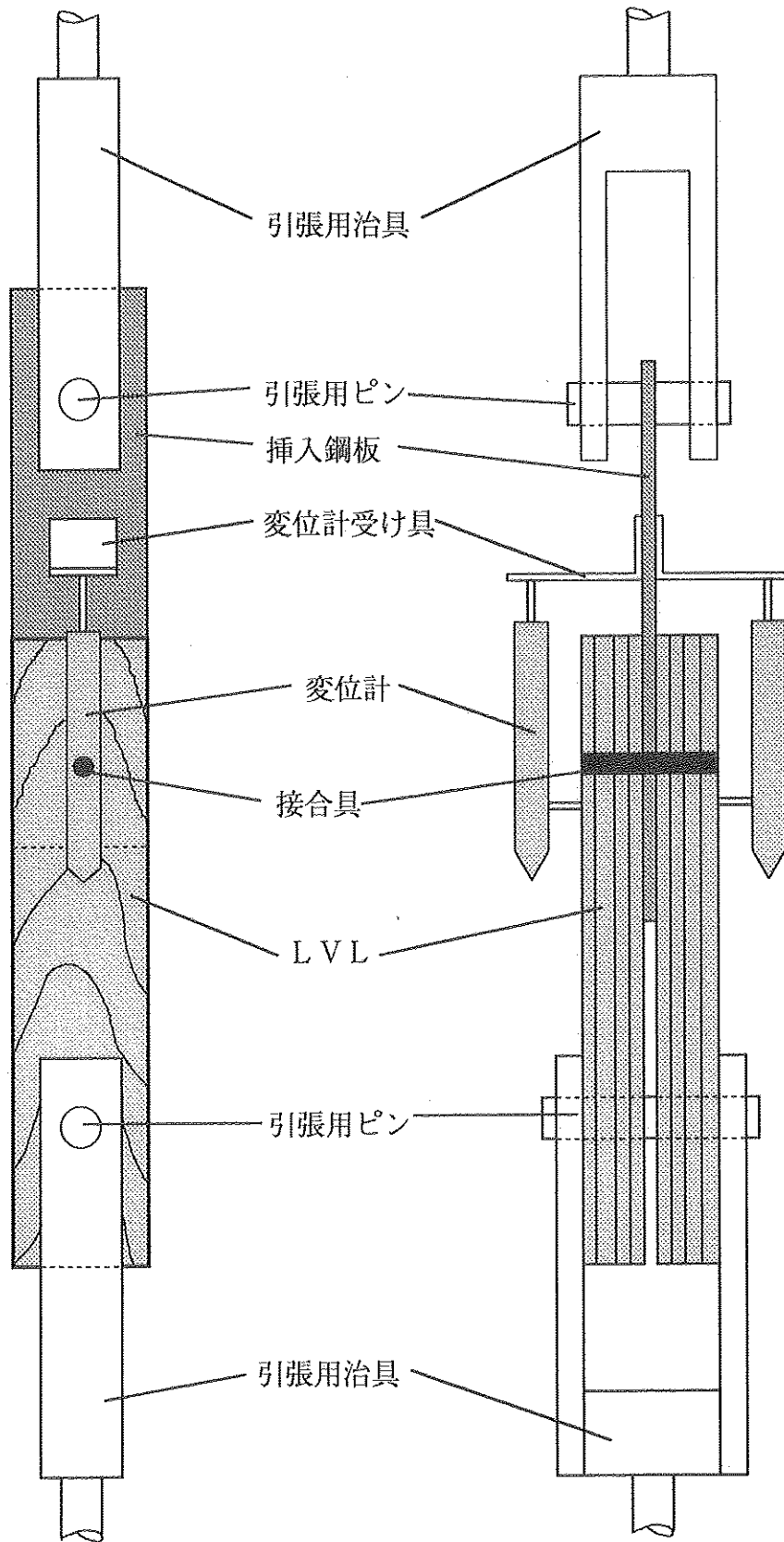


図1. 3. 1 繊維方向加力の引張せん断試験方法 (mm)

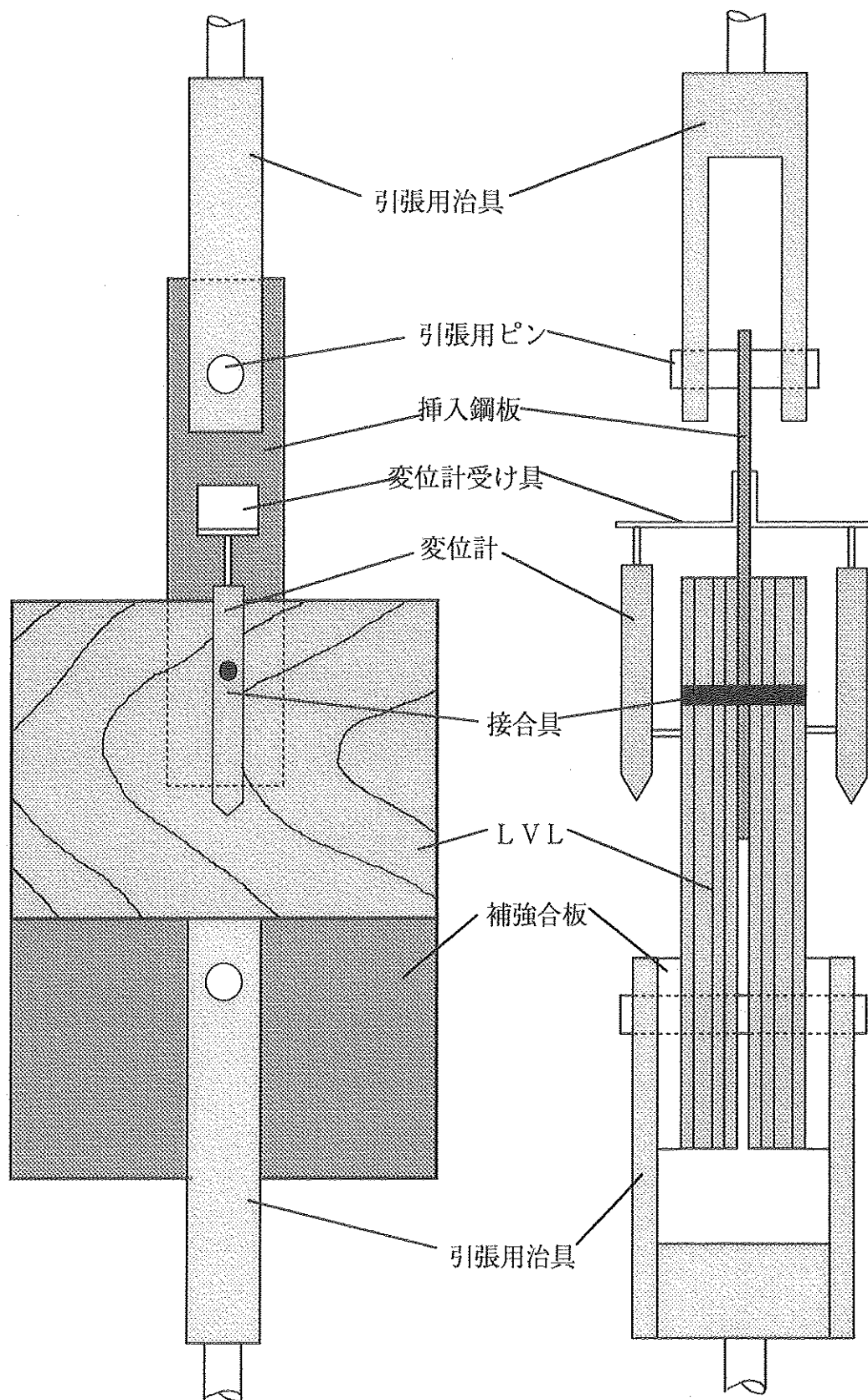


図1. 3. 2 繊維直交方向の引張せん断試験方法

1. 4 試験結果

1. 4. 1 繊維方向平行加力

試験結果は、各影響因子ごとに最大荷重及び最大荷重時の変位等を示す。数値は5体の平均値であるが、試験体数が少ない場合は備考に示す。

(1) L/d (接合具直径)

表1. 4. 1 L/d (接合具直径) を因子とした場合のせん断耐力

直径 d (mm)	8	12	16	20	24
端距離 e	7 d				
縁距離 h	5.6 d	3.75 d	2.8 d	2.25 d	1.9 d
L/d	9.5	6.3	4.75	3.8	3.17
ボルト P max(kgf)	2295	3088	5000	5856	6426
ピン P max(kgf)	1650	2620	5070	6416	6790
ボルト δ max(mm)	14.48	5.48	4.44	3.82	2.24
ピン δ max(mm)	3.98	6.08	5.22	3.54	1.96
備考 (n)	4	5			

1) 直径の増加にともない P max は増加傾向を示し、逆に最大荷重時変位 δ m は少なくなる傾向を示す。そのため破壊は粘りのない脆性的なものとなる。

2) 破壊状況は、d=20 や 24 では L V L の 2 面せん断破壊が確認でき、ピンやボルトの変形が小さいが、直径が 8 d では祖父江等¹⁾が指摘しているように L V L 端部に開先破壊が生じ、割れ、一面せん断破壊へとつながる。そのため、ボルトやピンには挿入鋼板が食い込み漢数字の八字形に変形する。(図 1. 4. 1)

3) ボルト直径が小さく、L/d の大きい場合ピンはボルトより耐力が小さくかつ変形も少ない。

(2) 端距離

端距離は接合具直径が 12 mm 及び 20 mm について行った。

表1. 4. 2 端距離を影響因子とした場合のせん断耐力：接合具直径 12 mm

直径 d (mm)	12			
端距離 e	4 d	7 d	10 d	12 d
縁距離 h	3.75			
L/d	12.7			
ボルト P max(kgf)	2770	3830	5030	5275
ピン P max(kgf)	2590	3720	4030	4070
ボルト δ max(mm)	4.82	10.10	22.04	23.48
ピン δ max(mm)	2.16	10.84	17.00	23.42
備考 (n)	5			

表1. 4. 3 端距離を影響因子とした場合のせん断耐力：接合具直径20mm

直径 d (mm)	20			
端距離 e	4 d	7 d	10 d	12 d
縁距離 h	2.25			
L/d	7.6			
ボルト P max(kgf)	5850	7680	8550	8838
ピン P max(kgf)	5400	7690	7430	8460
ボルト δ max(mm)	3.20	7.40	14.98	10.98
ピン δ max(mm)	2.44	10.88	17.88	11.40
備考 (n)	5			

- 1) P max は端距離の増加にともない増加傾向を示すが、ボルトは10d前後、ピンでは7d前後から増加傾向が鈍化してくる。(図1. 4. 2及び3)
- 2) 端距離の増大にともない δ maxも増加し、接合具の変形も弓形変形から挿入鋼板がめりこむ八字変形に変化する。LVLの破壊は開先破壊からの1面せん断破壊が多い。
- 3) ボルトとピンではあまり大きな差異は認められないが、全体的に耐力はボルトの方が大きめな値を示す。

(3) LVLの品質等級

LVLの品質等級がJAS規格の120Eについて、接合具直径すなわちL/dを影響因子とした。

表1. 4. 4 LVLの品質等級を因子とした場合のせん断耐力

直径 d (mm)	12	16	20
端距離 e	7 d		
縁距離 h	3.75 d	2.8 d	2.25 d
L/d	6.3	4.75	3.8
ボルト P max(kgf)	3080	5520	6456
ピン P max(kgf)	2780	4780	6000
ボルト δ max(mm)	3.88	4.82	3.76
ピン δ max(mm)	4.72	4.10	2.32
備考	5		

- 1) 表1. 2. 7に示すように板目面のヤング係数は140kgf/cm²と126kgf/cm²であるが、比重が0.587と0.603に逆転しているためか、P maxにあまり大きな差異は認められない。

繊維方向

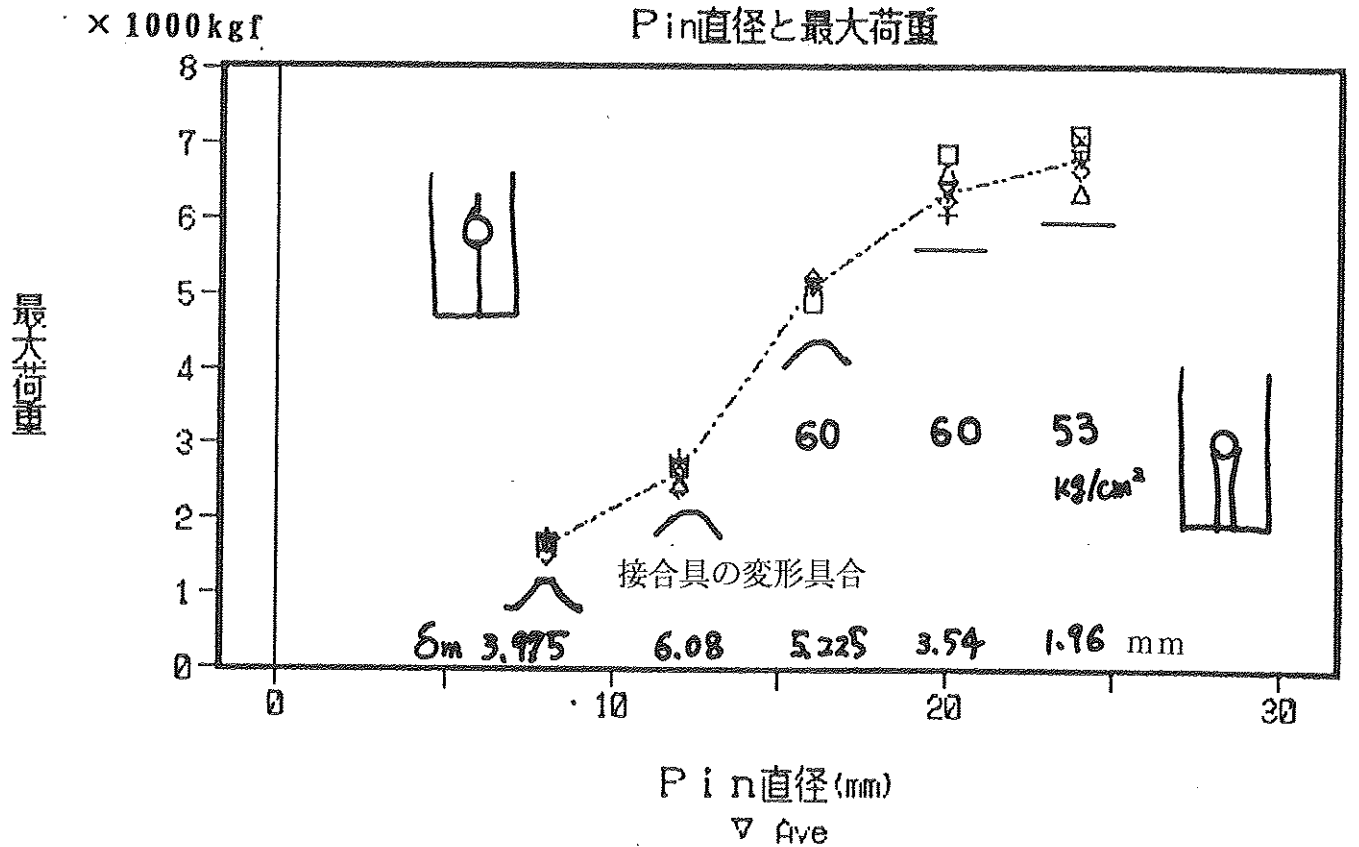
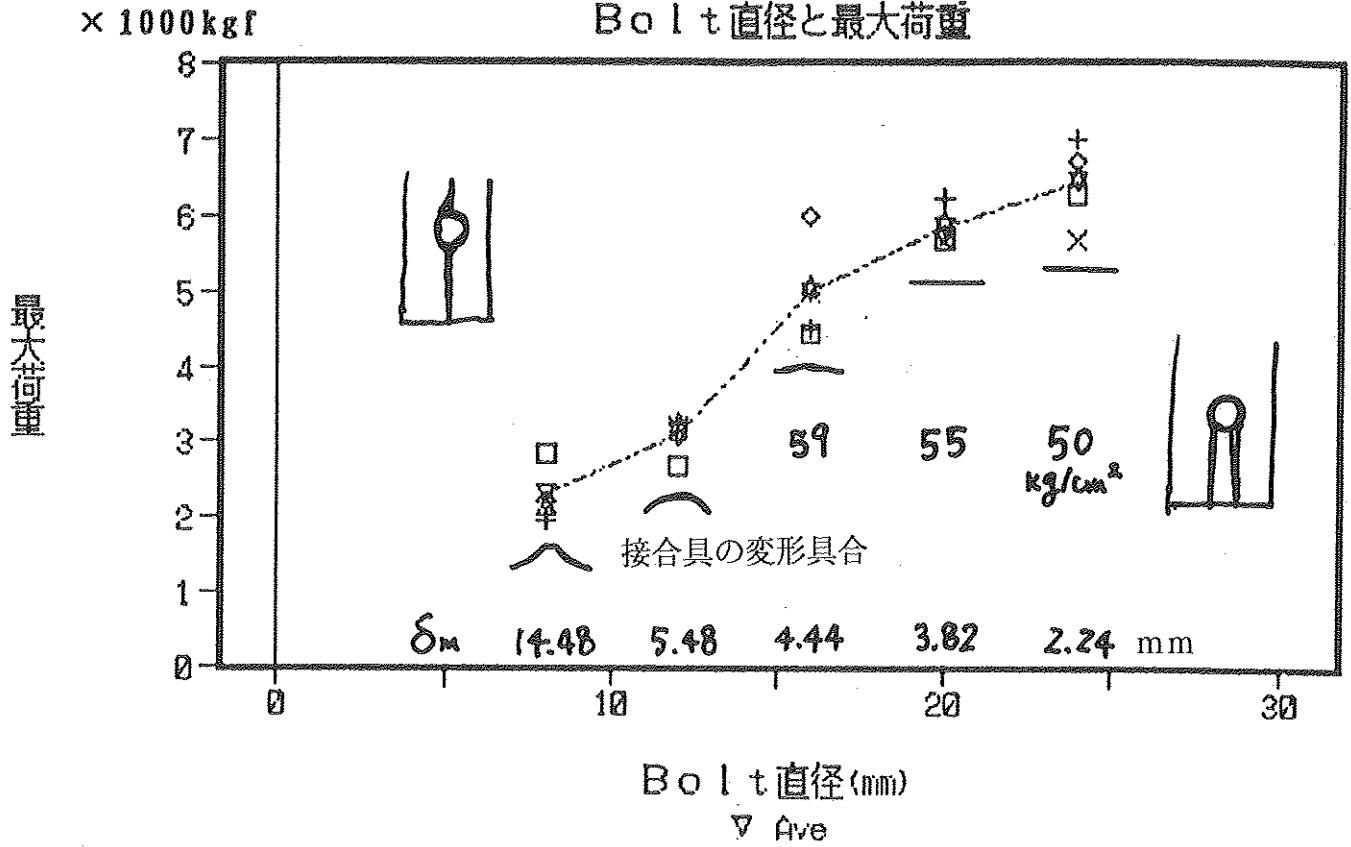
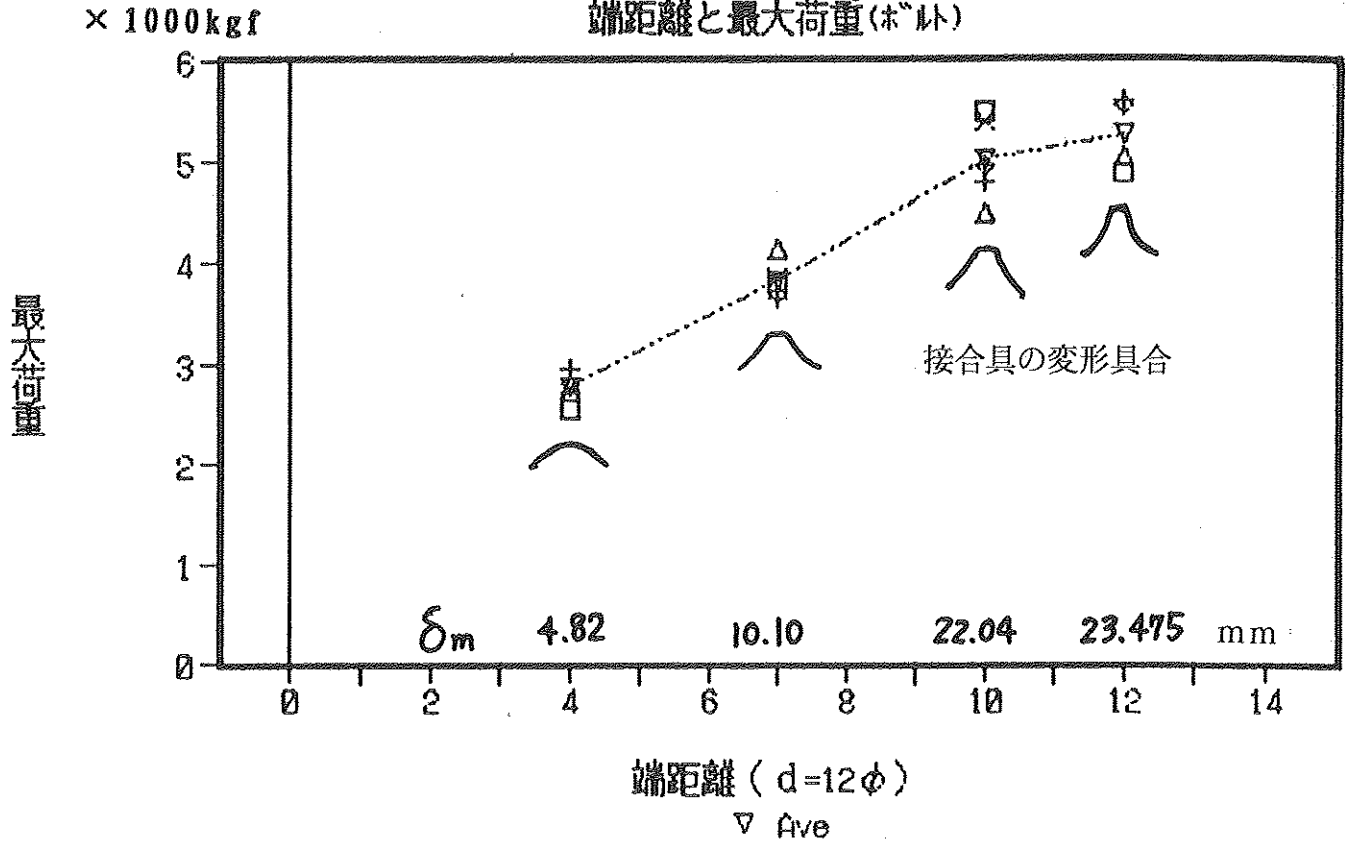


図1. 4. 1 繊維方向の接合具直径とせん断耐力

繊維方向φ12

端距離と最大荷重(ボルト)



端距離と最大荷重(ピン)

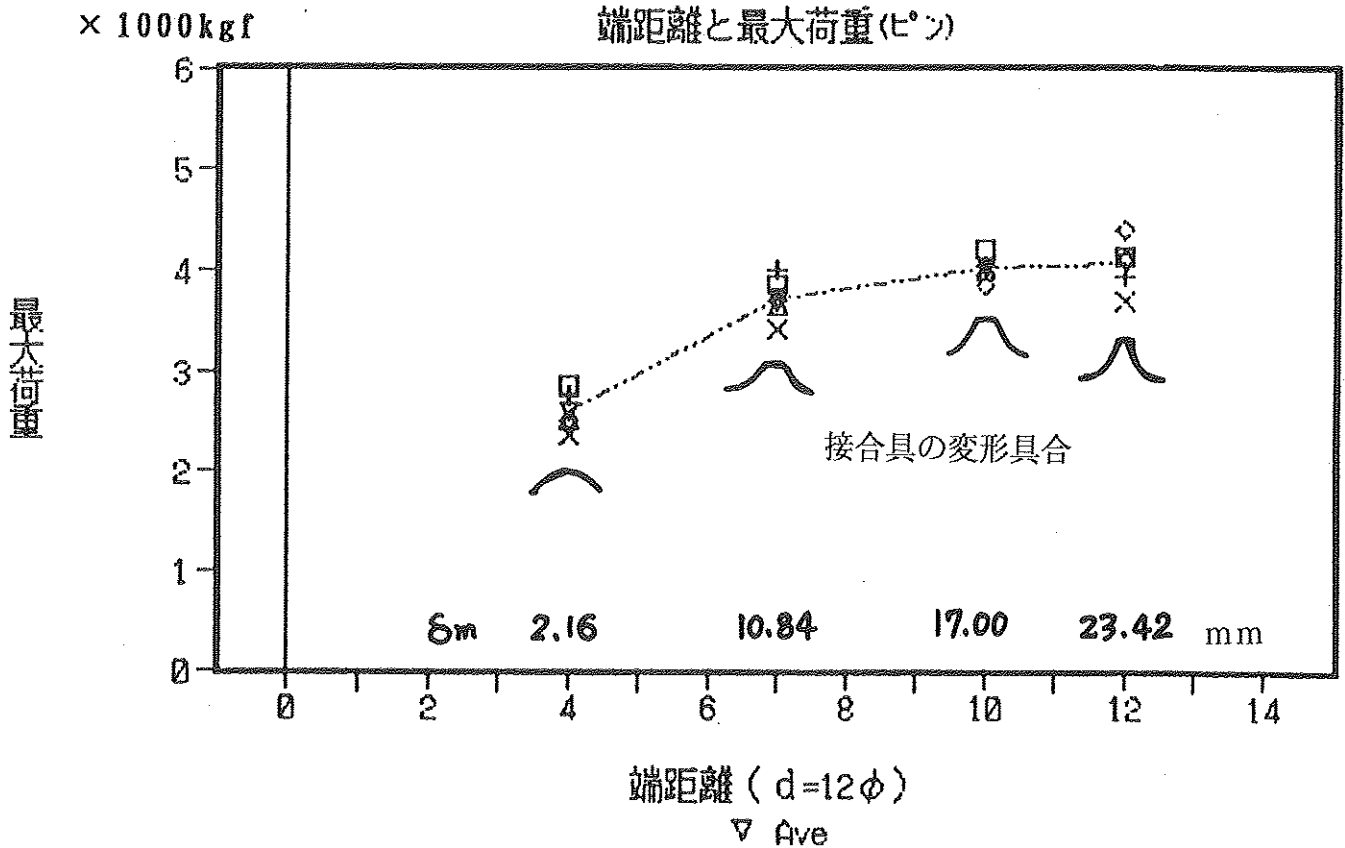


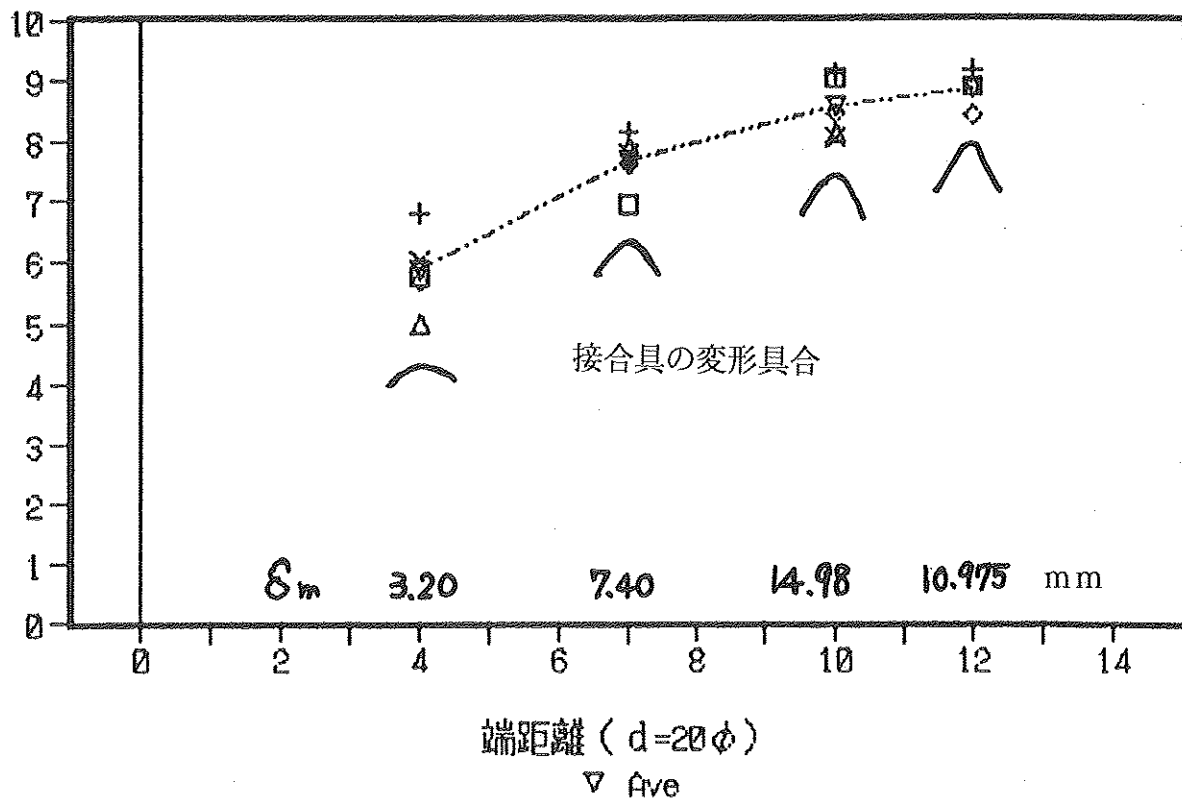
図1. 4. 2 繊維方向の端距離とせん断耐力: d = 12 mm

繊維方向φ20

× 1000kgf

端距離と最大荷重(※ト)

最大荷重



× 1000kgf

端距離と最大荷重(ヒソ)

最大荷重

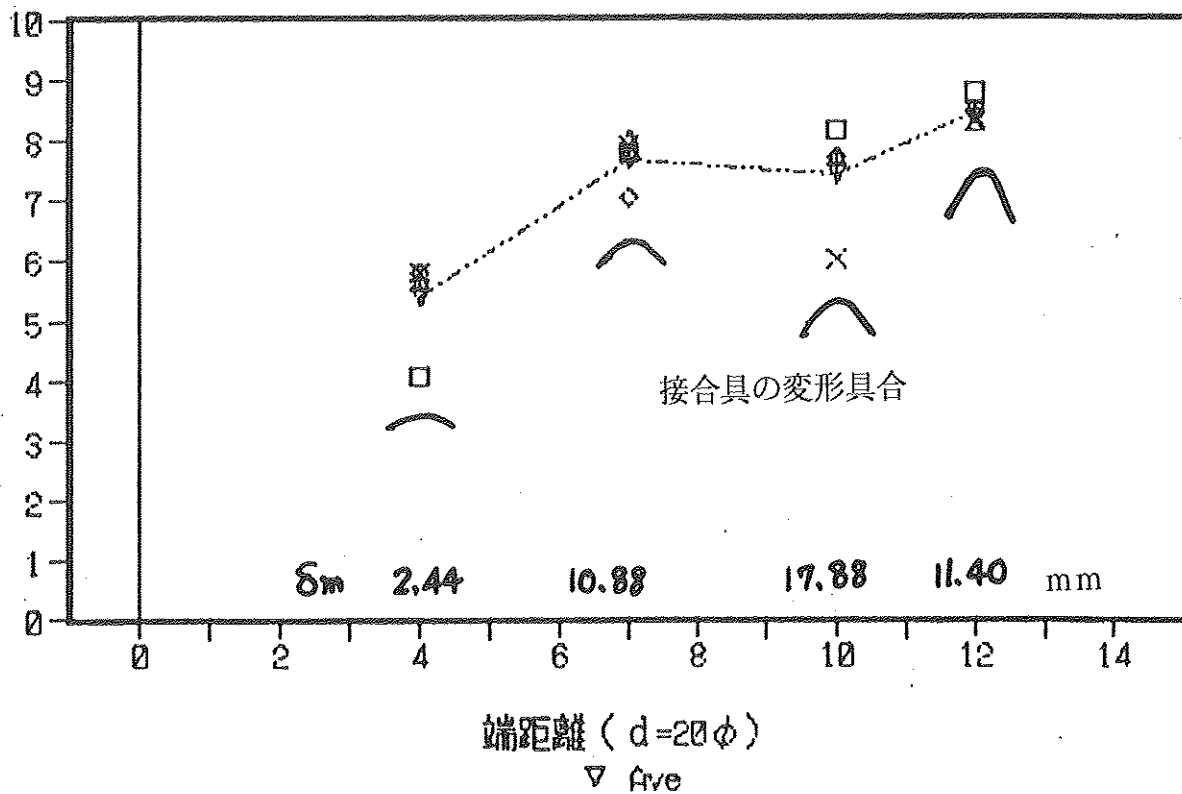


図1. 4. 3 繊維方向の端距離とせん断耐力: d = 20 mm

1. 4. 2 繊維直交方向加力

(1) L/d (接合具直径)

表1. 4. 5 L/dを因子とした場合のせん断耐力

直径 d (mm)	8	12	16	20	24
端距離 e	7 d				
縁距離 h	4 d				
L/d	9.5	6.3	4.75	3.8	3.17
ボルト P max(kgf)	607	1150	1485	2060	2455
ピン P max(kgf)	650	1175	1792	1930	2135
ボルト δ max(mm)	1.33	0.90	0.68	1.15	1.50
ピン δ max(mm)	0.97	0.75	0.85	0.68	0.88
備考 (n)		4	4	2 (4)	4

- 1) ボルトは接合具直径の増大にともないP maxは直線的に増大している。ピンではL/dが5前後あたりで多少鈍化傾向を示す。(図1. 4. 4)
- 2) δ maxは小さく、接合具直径に関係無く概ね同じような値を示すが、ピンはボルトより変位量が多少小さい。
- 3) 破壊性状はかなり脆性的で接合具孔をとる直線的なL V Lの割裂破壊または横引張破壊である。

(2) 端距離

端距離は繊維方向と同様に接合具直径12mmと20mmについて行った。

表1. 4. 6 端距離を影響因子とした場合のせん断耐力：直径12mm

直径 d (mm)	12			
端距離 e	4 d	7 d	10 d	12 d
縁距離 h	4 d			
L/d	12.7			
ボルト P max(kgf)	1000	1615	1960	2345
ピン P max(kgf)	1115	1615	2004	2170
ボルト δ max(mm)	1.08	2.33	2.55	3.48
ピン δ max(mm)	0.95	1.60	1.98	3.70
備考 (n)	4	4	4 (5)	4

表 1. 4. 7 端距離を影響因子とした場合のせん断耐力：直径 12 mm

直径 d (mm)	20			
端距離 e	4 d	7 d	10 d	12 d
縁距離 h	4 d			
L / d	7.6			
ボルト P max(kgf)	2345	3975	3740	4980
ピン P max(kgf)	2005	3588	4653	4930
ボルト δ max(mm)	0.88	1.92	2.52	5.05
ピン δ max(mm)	0.82	1.45	3.40	3.88
備考 (n)	4	4	3	4

1) 20 mm のボルトを除いて端距離の増大にともない、せん断耐力は直線的に増加し、 δ max も増加傾向を示す。

2) 接合具の変形は、10 d あたりから多少確認できる。LVL の破壊は繊維に沿った割裂破壊である。

(3) 縁距離

縁距離の因子は L / d 2 タイプと縁距離 4 種類の合計 8 タイプについて行った。

表 1. 4. 8 縁距離を影響因子とした場合のせん断耐力：L / d = 6.3

直径 d (mm)	12			
端距離 e	10 d			
縁距離 h	2 d	4 d	6 d	8 d
L / d	6.3			
ボルト P max(kgf)	1090	1480	1710	1720
ピン P max(kgf)	1050	1688	1860	1783
ボルト δ max(mm)	0.98	1.40	1.65	1.78
ピン δ max(mm)	0.95	1.12	1.52	1.60
備考 (n)	4	4 (5)	4	4

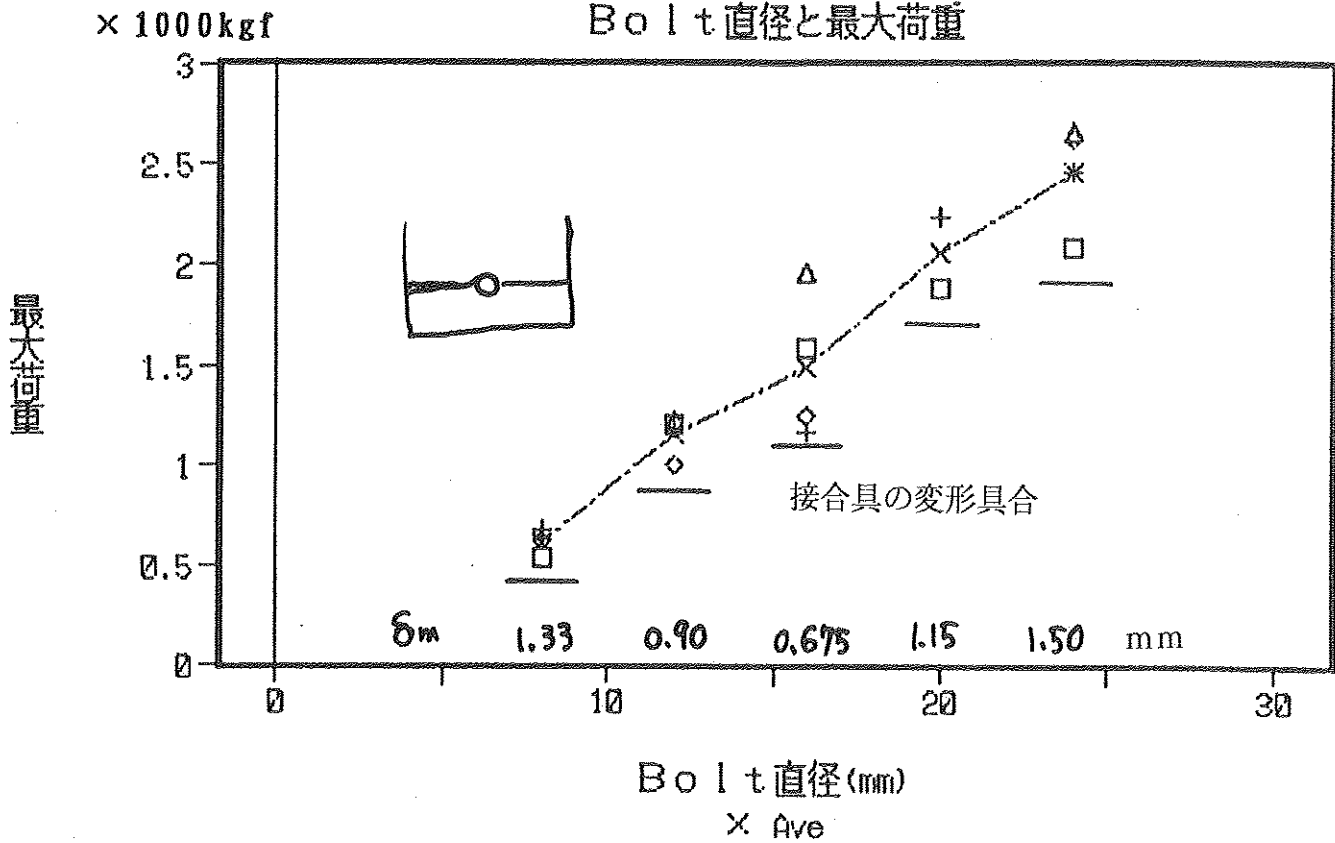
表1. 4. 9 縁距離を影響因子とした場合のせん断耐力：L/d=19

直径 d (mm)	12			
端距離 e	10 d			
縁距離 h	2 d	4 d	6 d	8 d
L/d	19			
ボルト P max(kgf)	1655	2170	2460	2270
ピン P max(kgf)	1528	2128	1955	2628
ボルト δ max(mm)	2.45	2.95	3.50	3.78
ピン δ max(mm)	2.35	2.90	3.18	3.70
備考 (n)	4	4	4	4

- 1) ピンは4 d、ボルトは6 dあたりから増加傾向が鈍化している。
- 2) 破壊はL/dが小さい6.3では接合具孔をとおり直線的に割裂破壊している。それに対してL/d=19では材厚が厚いため、割裂破壊が生じるが材が2つに離れるような破壊はみられず、ボルトの変形も多少確認できる。

直交方向

Bolt 直径と最大荷重



Pin 直径と最大荷重

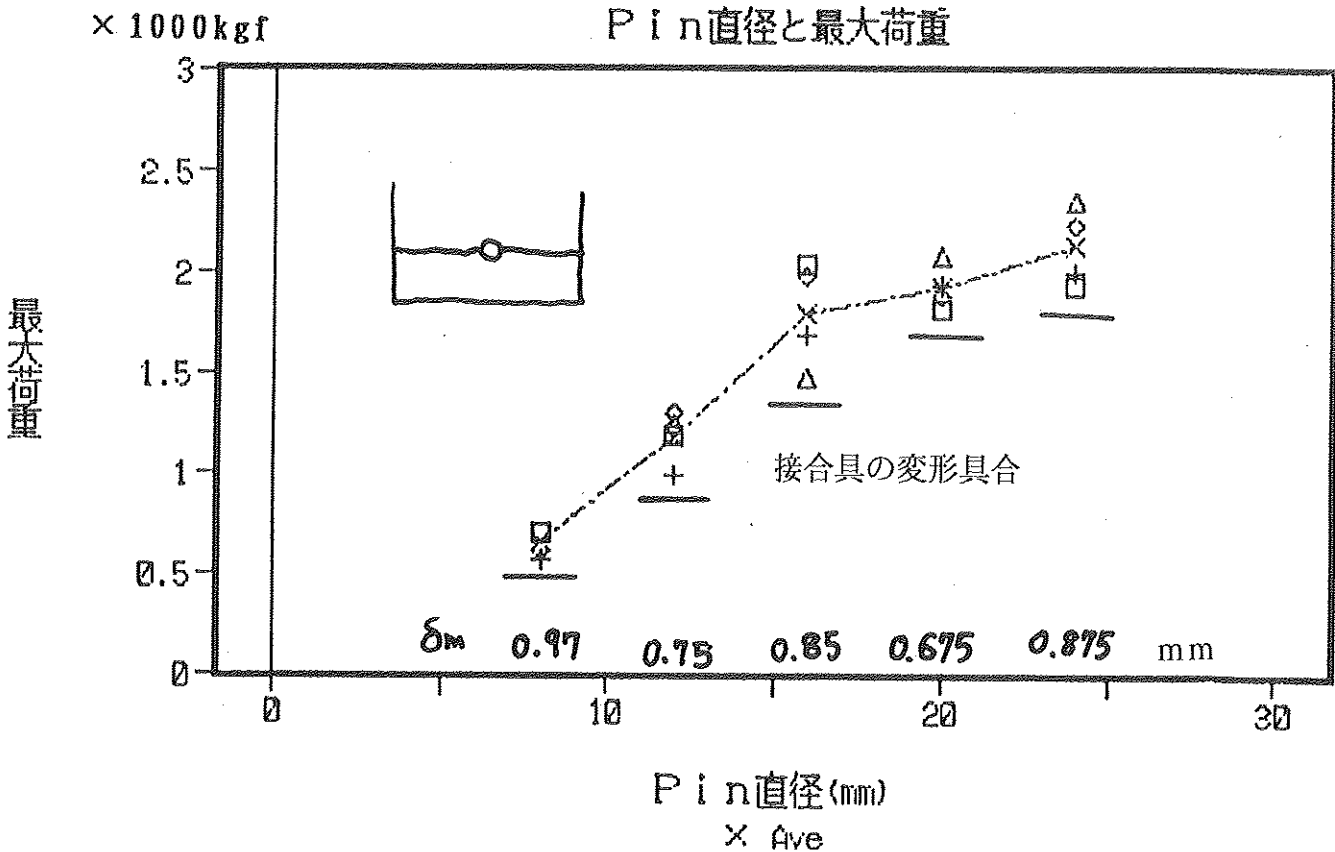
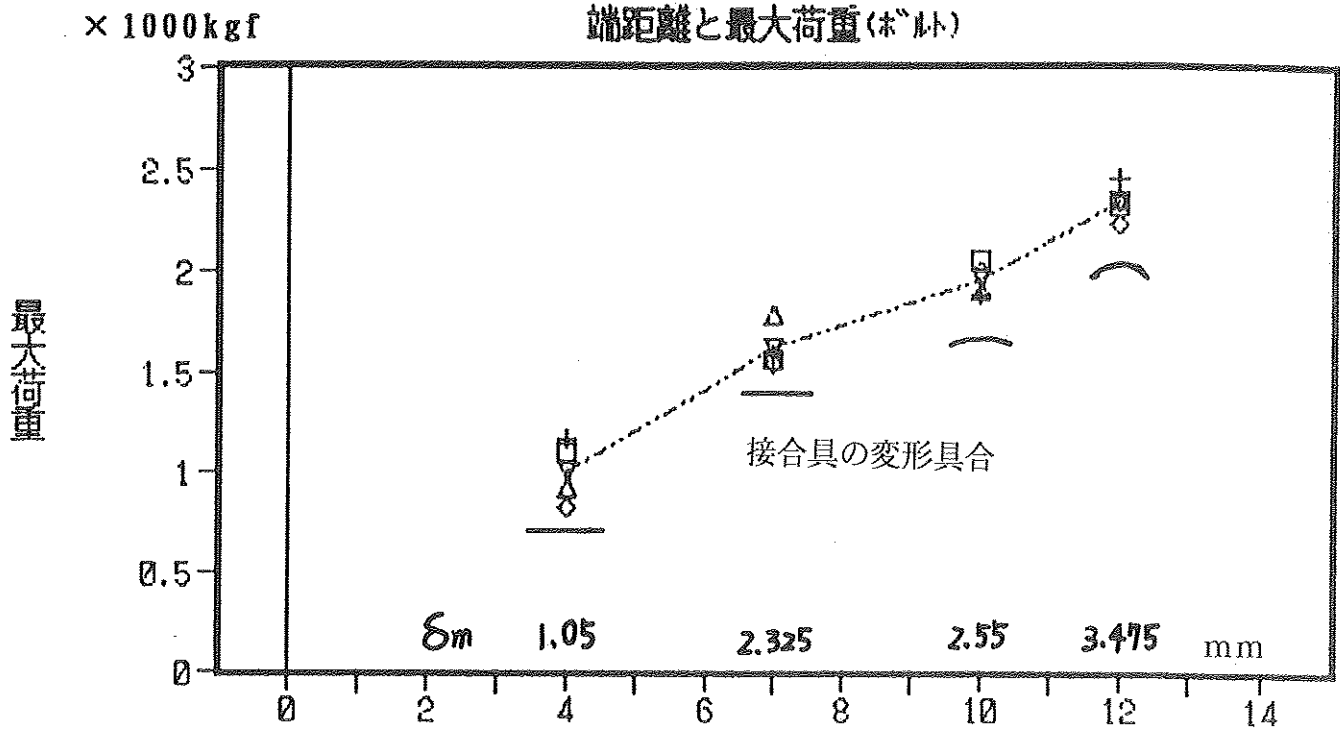


図1. 4. 4 直交方向の接合具直径とせん断耐力

直交方向ボルトφ12
端距離と最大荷重(ボルト)



直交方向ピンφ12
端距離と最大荷重(ピン)

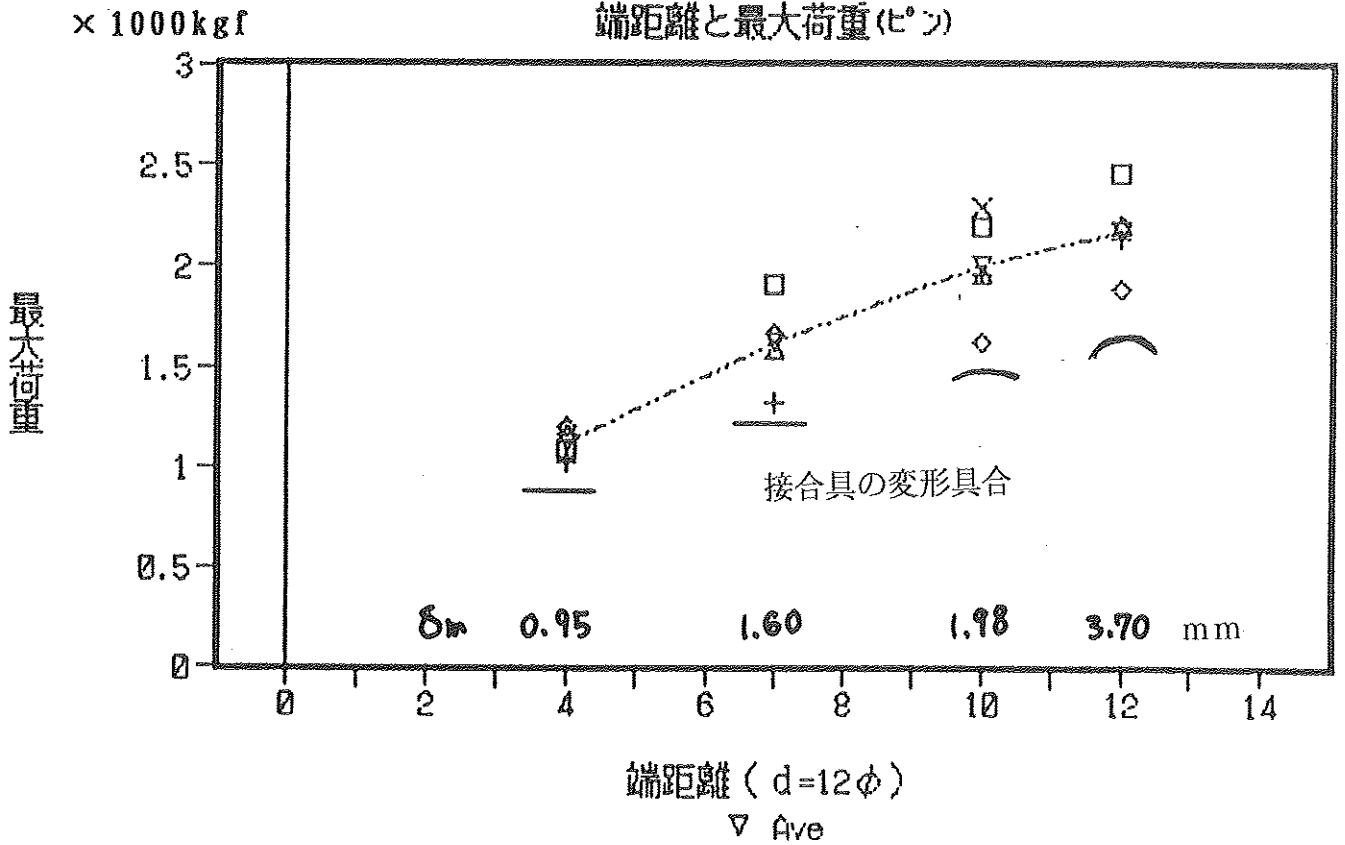


図1. 4. 5 直交方向の端距離とせん断耐力 : d = 12 mm

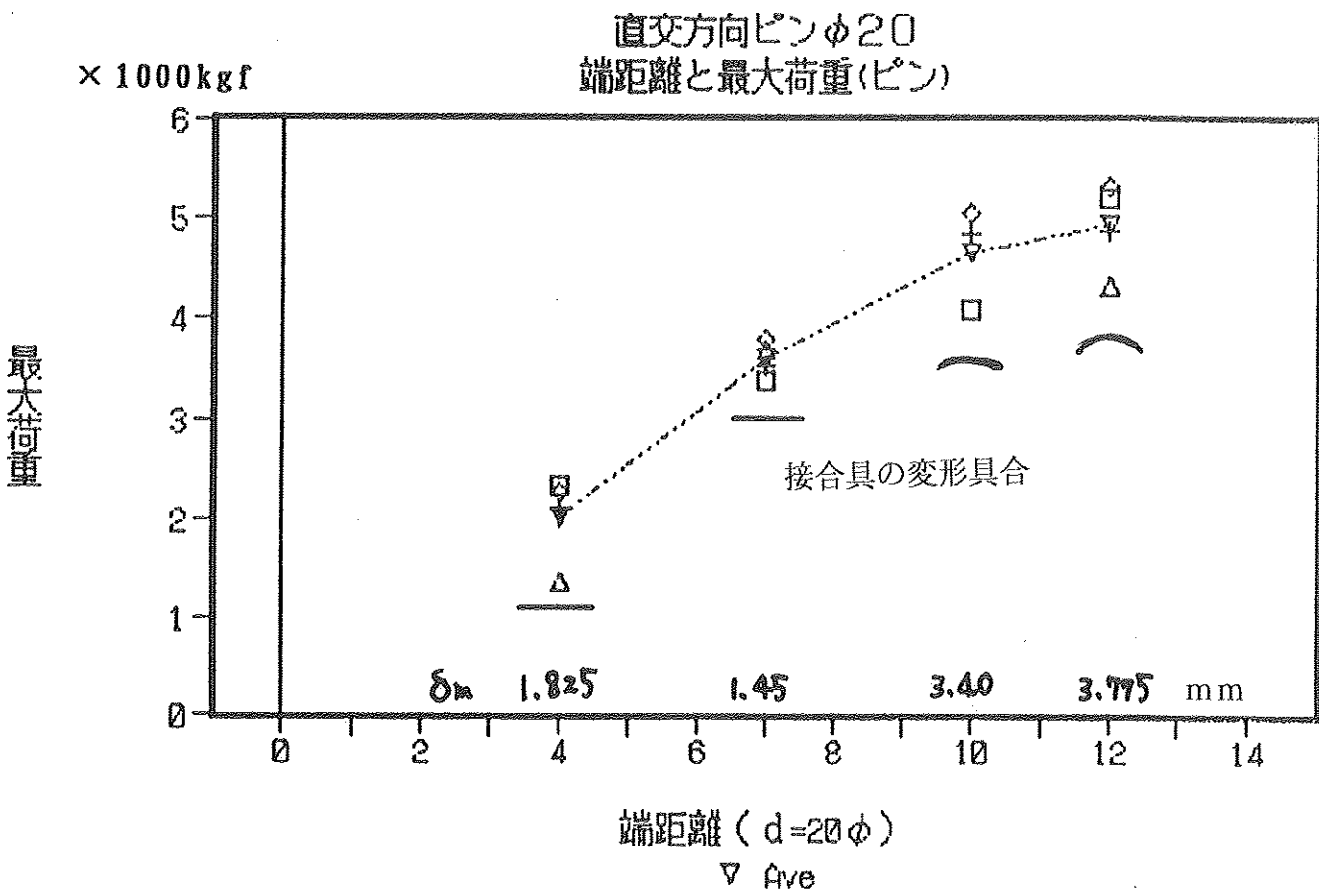
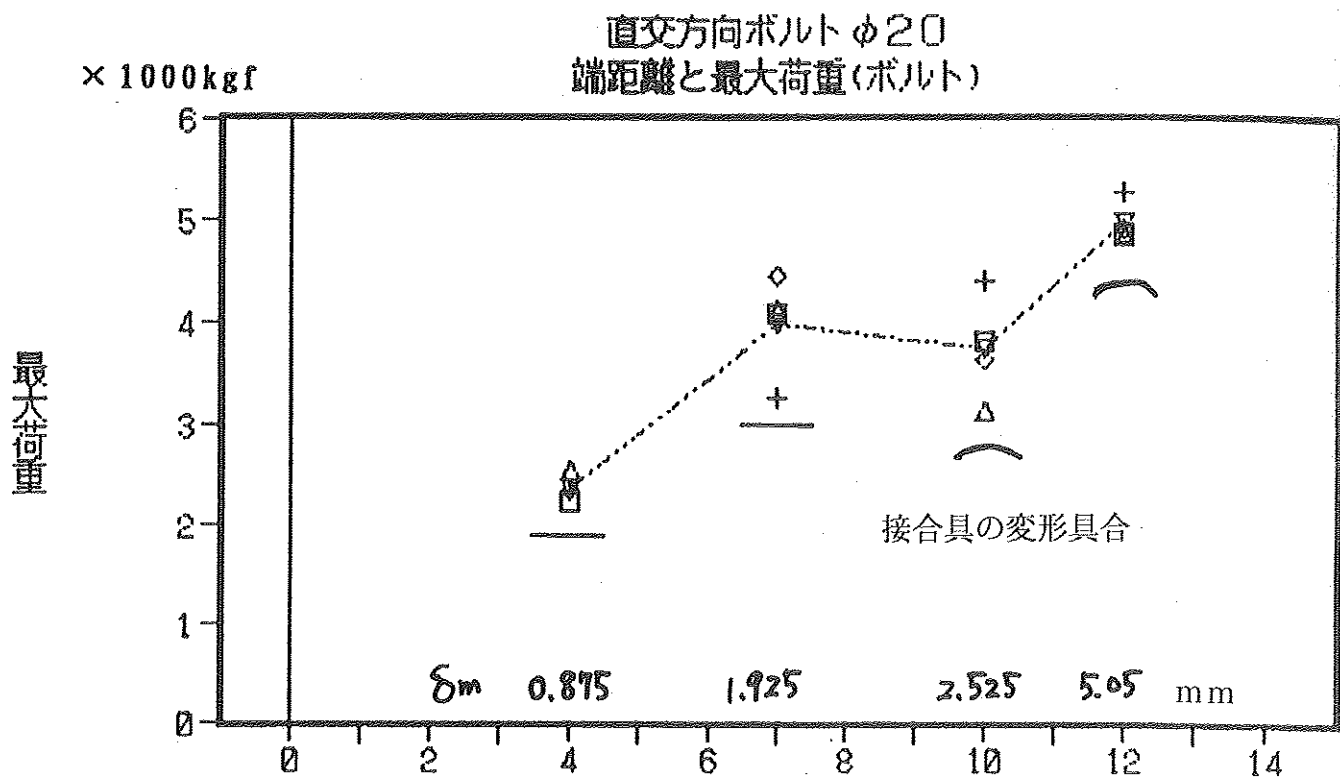


図1. 4. 6 直交方向の端距離とせん断耐力 : d = 20 mm

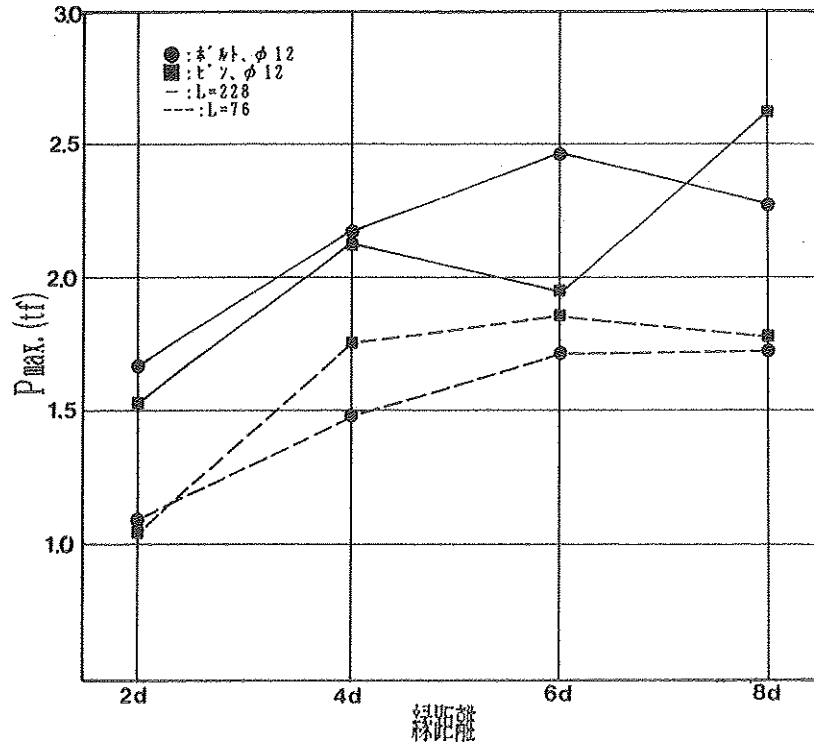


図1. 4. 7 縁距離とせん断耐力

1. 5 考察

(1) 接合具直径と L/d

図1. 5. 1に繊維方向および直交方向の接合具直径と最大荷重の関係を1つにまとめて示す。結果の考察については1. 4及びすでに述べているが、繊維方向では $d = 20$ mmの $L/d = 4$ 前後、直交方向では $d = 16$ mmの $L/d = 5$ 前後がターニングポイントの傾向が確認できる。

(2) L/d と P_{max}/d^2

P_{max}/d^2 と L/d の関係を曲線で示すと図1. 5. 2及び図1. 5. 3のようになる。繊維方向では L/d が5付近までは直線的で概ねラーセンの降伏理論式に従った傾向を示す。それ以降 L/d が8程度までフラットである。直交方向では L/d が8付近までが直線的で繊維方向と異なる傾向である。また、ボルトとピンの比較でもほとんど同じ傾向を示し大きな差異は確認できない。

(3) L/d と割裂強度

直交方向の破壊性状は、接合具孔をとる直線的な割裂破壊または横引張が支配的であった。そこで、接合具をとるLVL断面（接合具孔は除く）で最大荷重を除いた値を割裂強度 (kgf/cm^2) とし、 L/d の関係を図1. 5. 4に示す。 L/d が8あたりまでは、おおむね一定の傾向を示し、割裂強度はほぼ $18 \sim 22 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 程度の値であるが、 L/d が8以降増加すると反対に割裂強度は直線的に低下している。すなわち、 L/d が8付近までは割裂破壊が支配しているが、 L/d の増加にともない変形も増加し、接合具の材へのめりこみや接合具の変形などが加わり、最終的な破壊を生じているためと推測できる。

(4) 繊維方向と直交方向のせん断耐力

図1. 5. 5にせん断耐力の直交方向/繊維方向の比率を示す。ボルト、ピンとも直交方向はせん断耐力が小さく、繊維方向を"1.0"とした場合、ボルトは $0.264 \sim 0.382$ 、ドリフトピンは $0.301 \sim 0.448$ でピンの方が比率が多少高い値を示す。

前田等²⁾の集成材のドリフトピン報告でも $0.224 \sim 0.434$ と同じ傾向を示しており、直交方向加力試験が横引張型であるため、比率が低いと推測できる。

また、これは木材の異方性が改善された材料とはいえない。

(5) 端距離

端距離とせん断耐力の関係を図1. 5. 6に示す。繊維方向ではボルトが $10d$ 、ピンが $7d$ あたりからせん断耐力の増加傾向が鈍化している。しかし、直交方向では増加傾向がゆるやかであるが端距離が $12d$ でも漸増傾向が確認できる。

(6) ボルトとドリフトピンの比較

ボルトとピンの比較を図1. 5. 7および図1. 5. 8に示す。図1. 5. 7では直交方向ではあまり L/d に関係無く破壊がほとんど割裂破壊であるため、ほぼ1に近いが、

繊維方向の接合具直径が小さく L/d の大きいものではボルトの耐力の方が上回っている。これは座金の拘束力が作用している推測される。また、図 1. 5. 8 では多少のバラ付きはあるが概ね 1 に近い値を示している。その中で繊維方向の 12 mm では端距離が 10 d を越え、 L/d が 12 のあたりでは、やはりボルトの方が耐力が勝っている。すなわち、ボルトの座金の拘束力を十分発揮するには端距離 7 d 以上、 L/d は 10 以上をとる必要がある。

(7) 集成材と LVL

LVL とほぼ同じ条件で実験した前田²⁾のベイマツ集成材の結果を比較として表 1. 5. 1 に示す。繊維方向ではほとんど差異がなく比重の影響を除去するとほぼ同じ値を示す。しかし、直交方向では LVL のほうが 50% 程度高い値を示している。

1. 6 まとめ

(1) 端距離は 7 d ~ 10 d あたりで、とくにドリフトピンでは 10 d と多少大きくした方がよい。

(2) 縁距離でもドリフトピンは 5、6 d を考慮した方がよい。

(3) 直交方向は破壊が割裂破壊は支配的で、繊維方向の 5 割以下の耐力しか期待出来ないので、設計の際には十分な配慮が必要である。

(4) L/d および端距離を十分とれば粘りの強い設計も可能である。

(5) 今回の実験の範囲では上記の 4 項目を配慮すれば、LVL は、ほぼ集成材と同じ扱いが可能と推測できる。

文 献

1) 祖父江信夫；化学研究費補助金研究成果報告 S 6 3

2) 前田典明；木造化推進標準設計施工マニュアル作製事業報告書 S 6 2

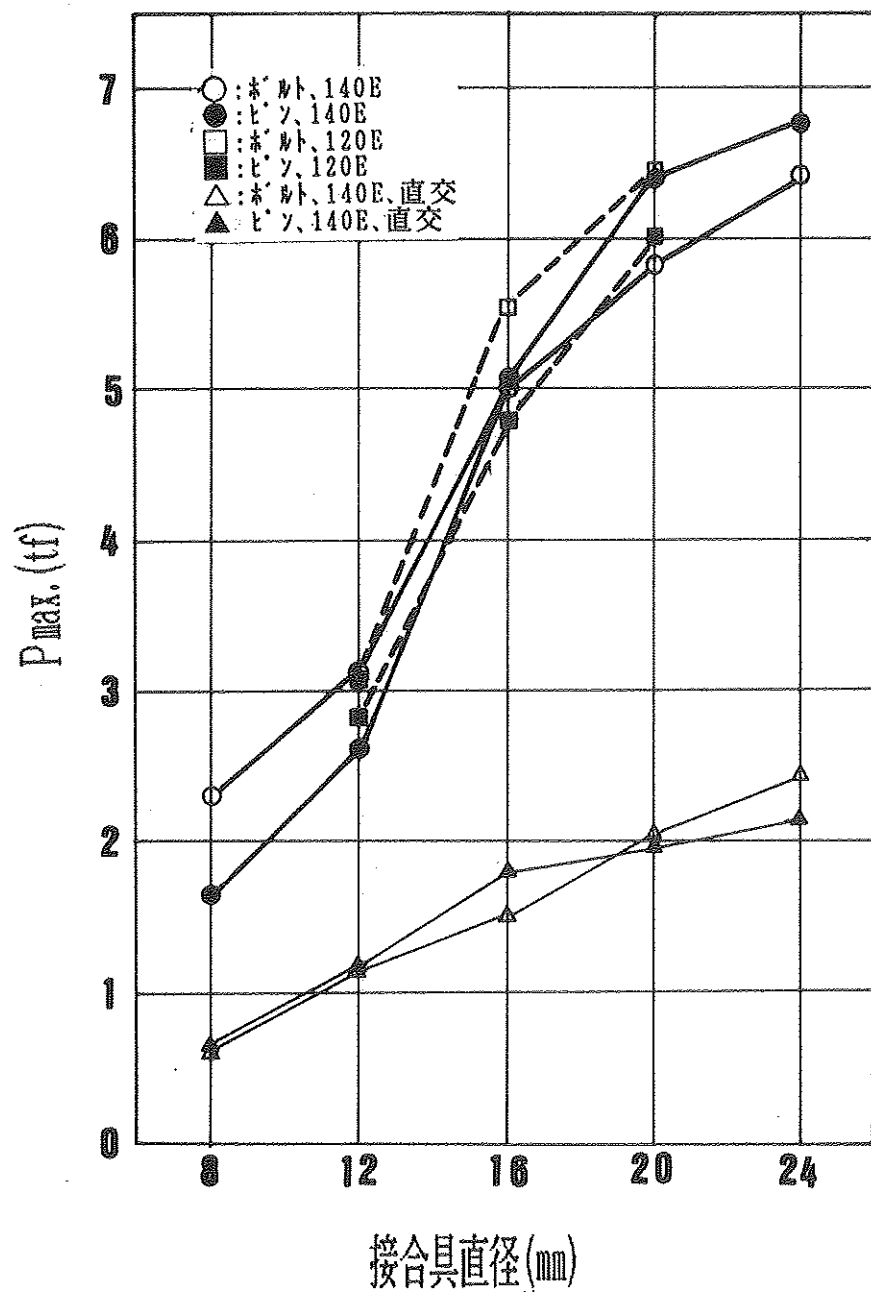


図 1. 5. 1 接合具直径とせん断耐力

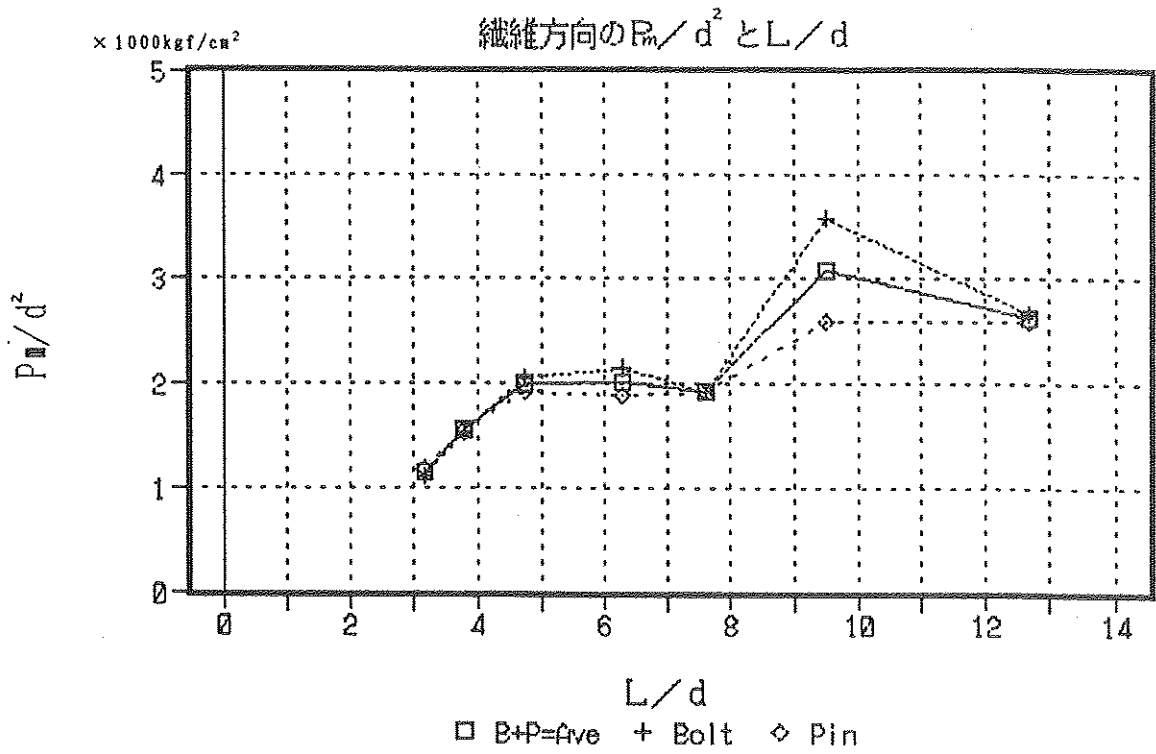


図1. 5. 2 繊維方向の P_{max}/d^2 と L/d の関係

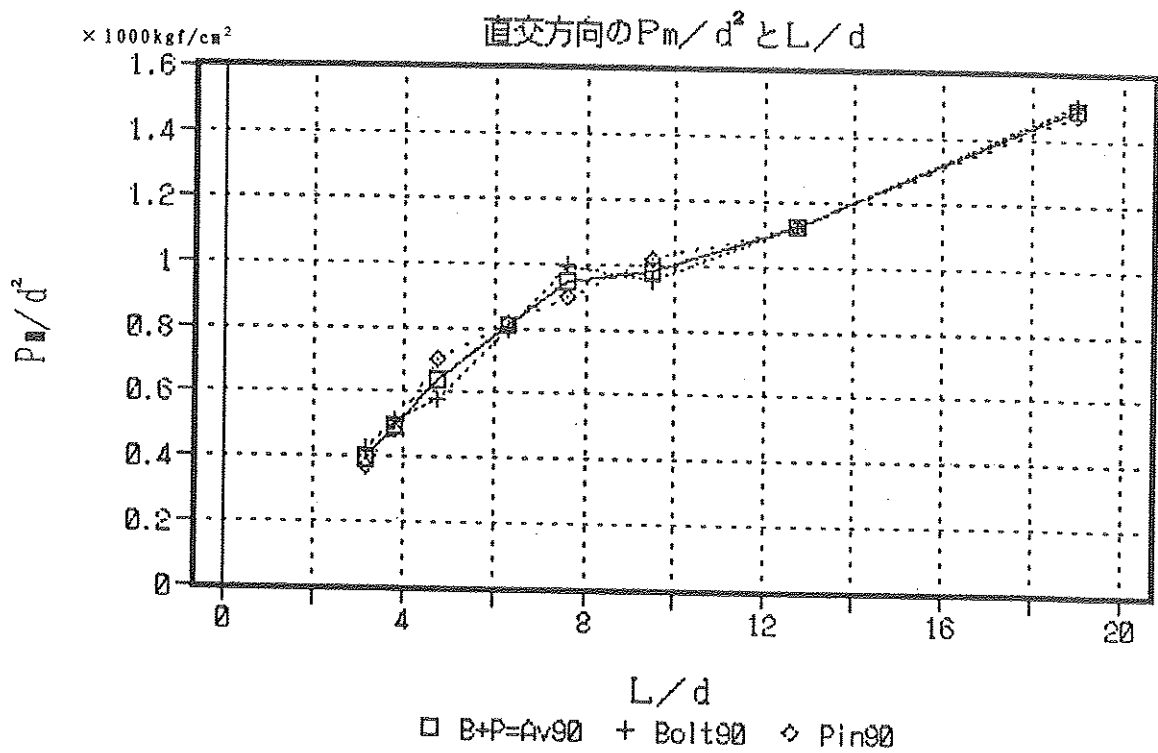


図1. 5. 3 直交方向の P_{max}/d^2 と L/d の関係

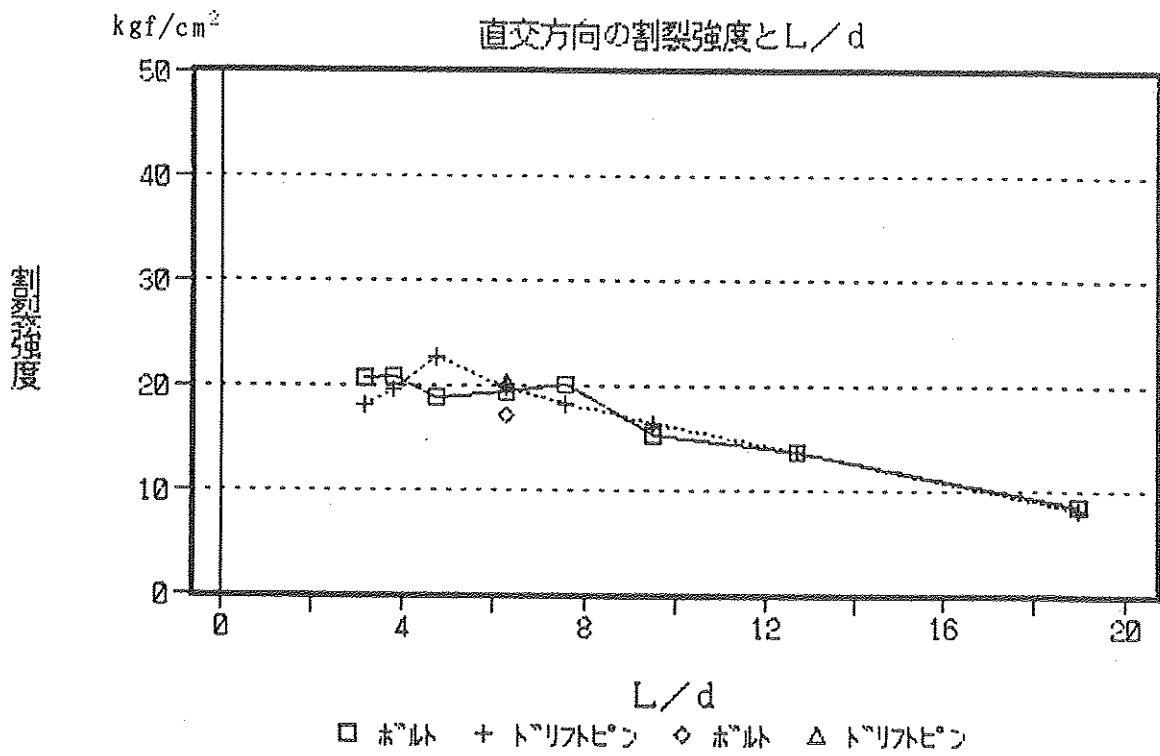


図1. 5. 4 直交方向の割裂強度とL/dの関係

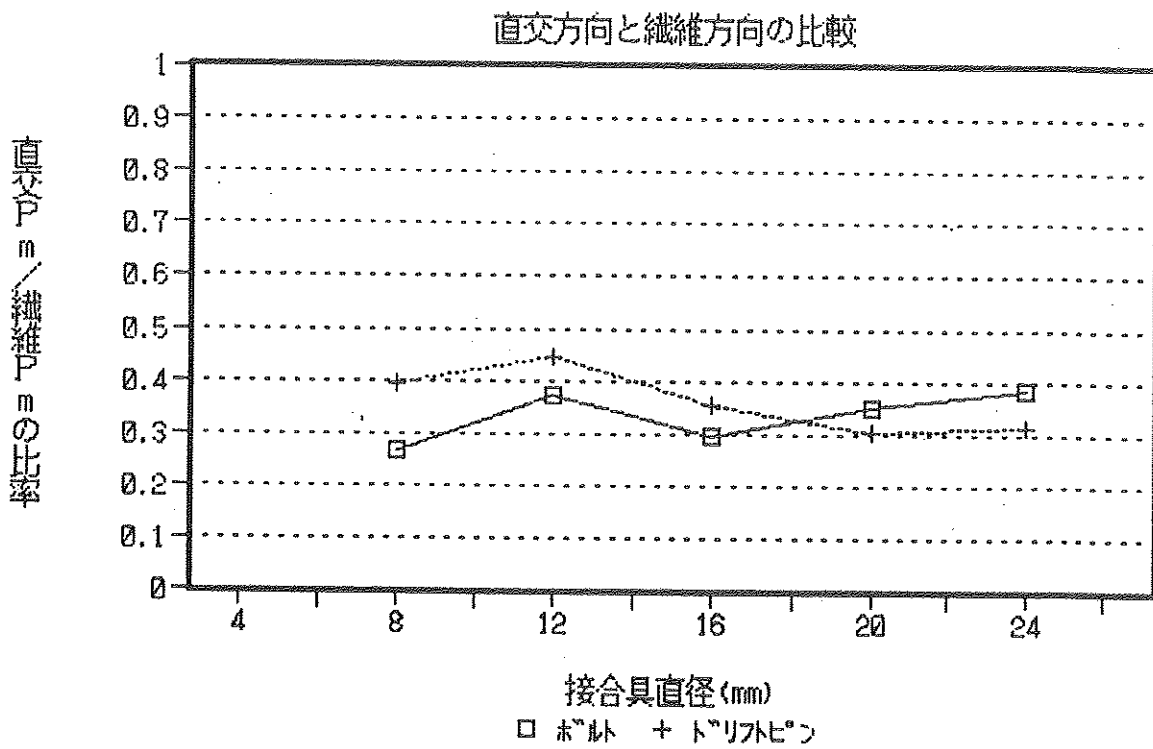


図1. 5. 5 繊維方向と直交方向のせん断耐力の比較

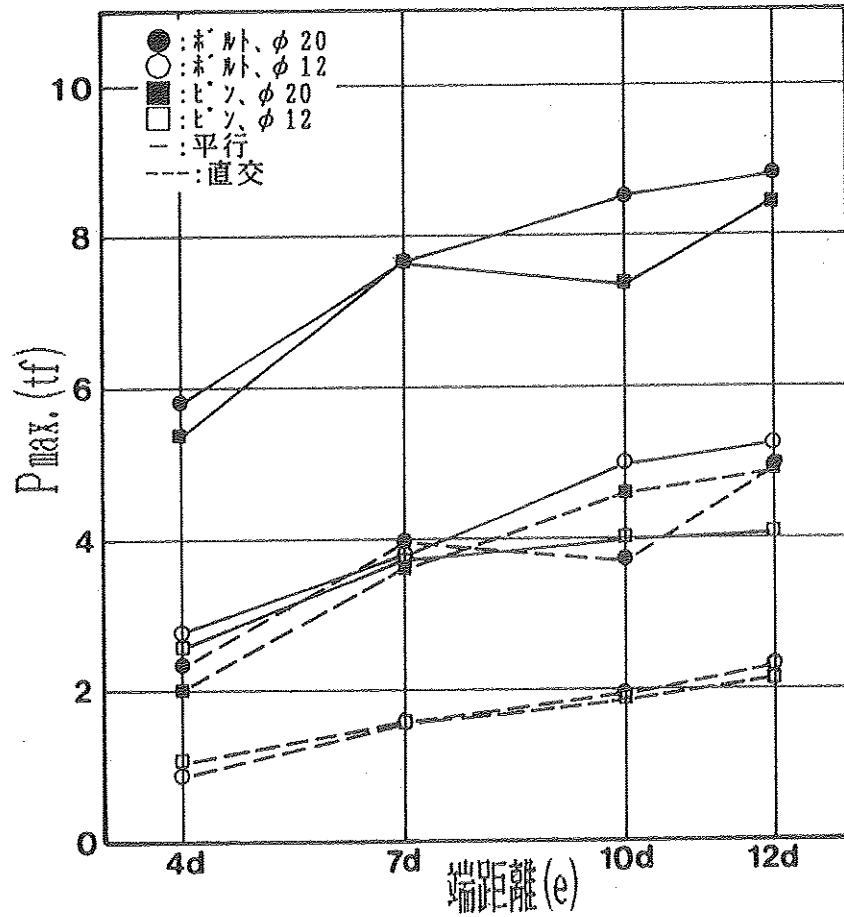


図 1. 5. 6 端距離とせん断耐力の関係

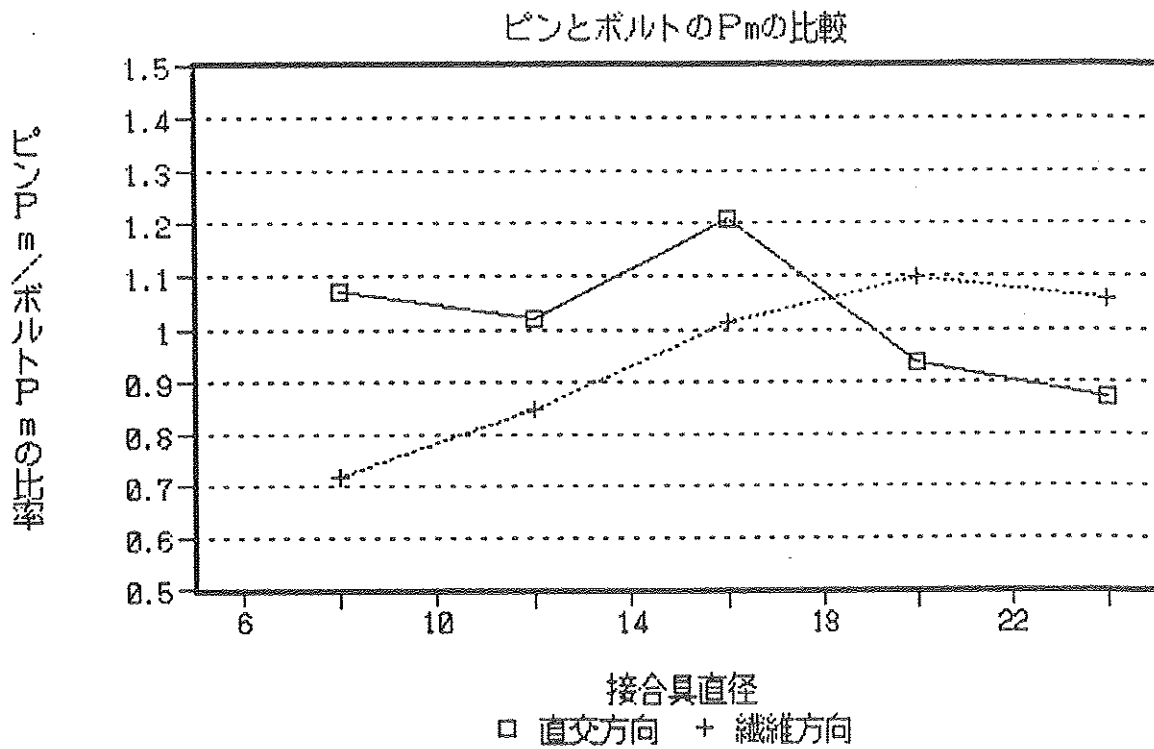


図1. 5. 7 ボルトとピンの比較 (接合具直径)

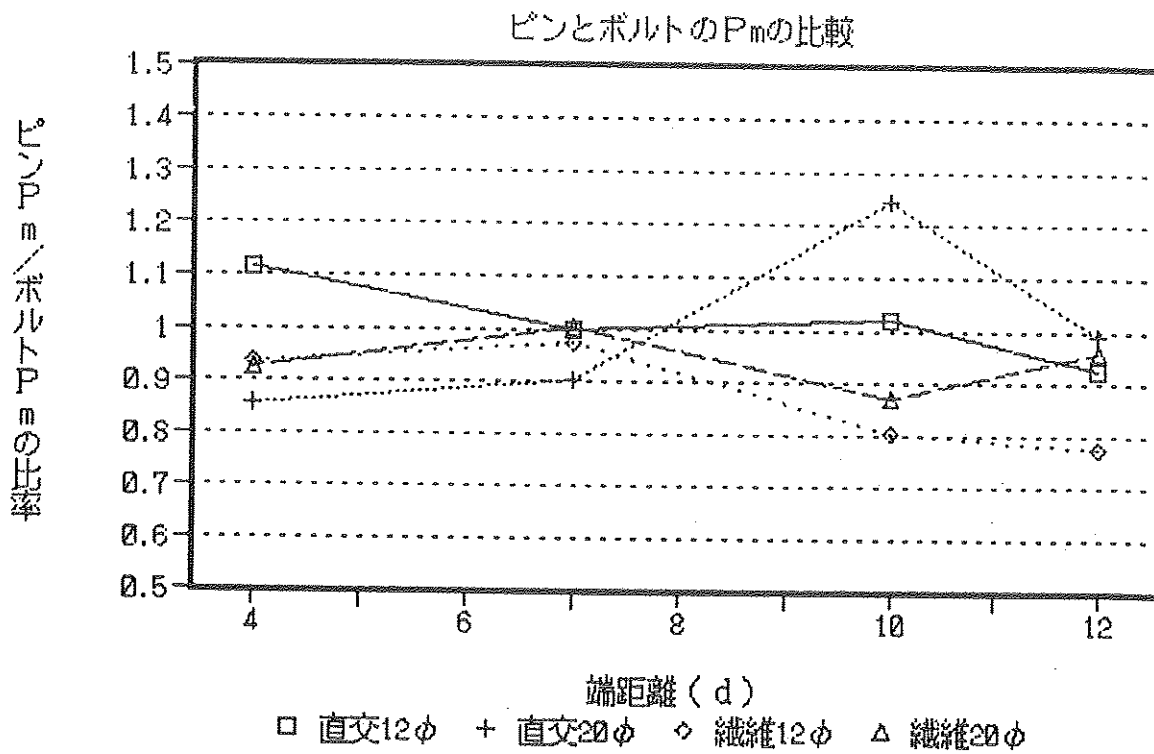


図1. 5. 8 ボルトとピンの比較 (端距離)

表 1. 5. 1 LVLと集成材の比較 LVLと集成材の比較 (べいまつ)

種類	N	繊維方向	L/d	d 直径	端距離	縁距離	比重	P _m 最大荷重	SD 標準偏差	δ _m	P _m LVL/GLT	P _m /比重	LVL/GLT
LVL	5	平行	7.6	20	7d	2.25d	0.587	7690	375	10.88	1.10	12589	1.01
GLT	5		2.5d			0.54 (0.445)	6721	131	4.75	12446 (15103)			
LVL	4	直交	7.6	20	7d	4d	0.587	3588	188	1.45	1.60	6112	1.47 (1.29)
GLT	5		0.54 (0.473)				2242	282	0.65	4152 (4740)			

2. ドリフトピンを用いたLVL部材の接合性能試験結果

2.1 概要

LVL材の接合部のせん断試験を異なる2種類の試験方法（引張試験と曲げ試験）を用いて行った。接合具にはドリフトピンを使用し、接合は木（LVL材）と木を接合する形態とした。LVL材の繊維方向に対する加力方向、ドリフトピンの直径、材厚、材幅等が異なる仕様について実験を行い、各々の実験結果を比較することにより上記の諸因子が接合部のせん断性能に及ぼす影響について検討した。また、試験方法の違いによる影響についても考察した。

2.2 実験

2.2.1 試験体

2.2.1.1 引張型せん断試験

図2-2-1に引張型せん断試験用の試験体の形状を示す。

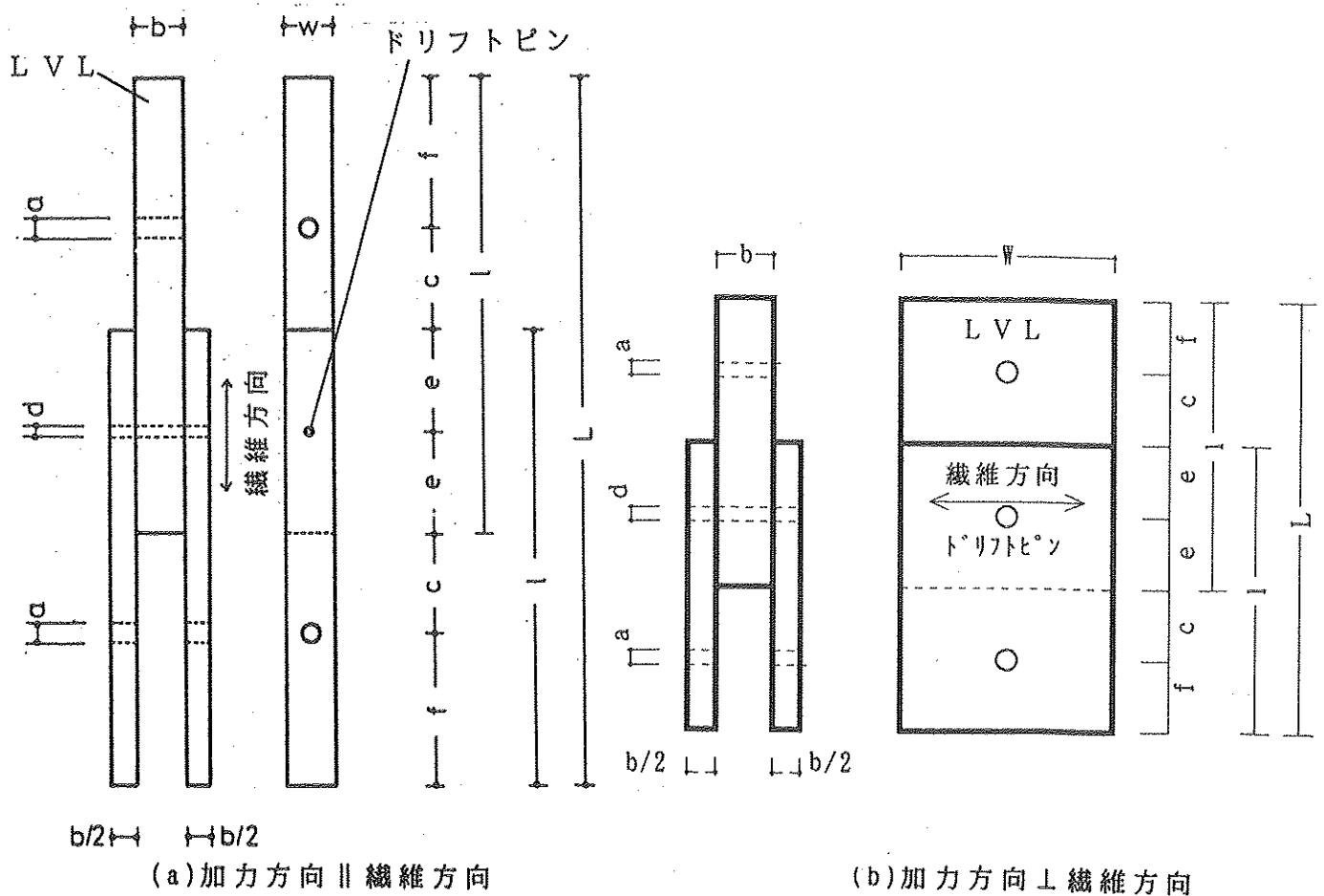


図2-2-1 引張り型せん断試験 試験体図

材の繊維方向に平行に加力するための試験体（図2-2-1(a)）と材の繊維方向に直角に加力するための試験体（図2-2-1(b)）を作製し、さらに両者についてドリフトピンの径、端距離、縁距離が異なる11タイプの試験体について試験を行った。表2-2-1に各試験体の寸法の詳細を示す。

表2-2-1(a) 引張せん断試験用試験体の寸法（加力方向∥繊維方向）

試験名	孔径 d(mm)	材長 l(mm)	材幅 w(mm)	主・側材厚 b・b/2(mm)		端距離 e(mm)	縁距離 w/2(mm)
TP-12-7-1.5	12	408	36	38	19	84(7d)	18(1.5d)
TP-16-4-1.5	16	368	48	38	19	64(4d)	24(1.5d)
TP-16-6-1.5	16	432	48	38	19	96(6d)	24(1.5d)
TP-16-7-1.5	16	464	48	38	19	112(7d)	24(1.5d)
TP-16-8-1.5	16	496	48	38	19	128(8d)	24(1.5d)
TP-16-10-1.5	16	560	48	38	19	160(10d)	24(1.5d)
TP-16-7-1.0	16	464	48	38	19	112(7d)	16(1.0d)
TP-16-7-1.25	16	464	32	38	19	112(7d)	20(1.25)
TP-16-7-1.5	16	464	48	38	19	112(7d)	24(1.5d)
TP-16-7-2.0	16	464	64	38	19	112(7d)	32(2.0d)
TP-16-7-3.0	16	464	96	38	19	112(7d)	48(3.0d)
TP-20-7-1.5	20	520	60	38	19	140(7d)	30(1.5d)

ただし、図2-2-1(a)において $a=d \times 1.25$ (mm)、 $c=40$ (mm)、 $f=200$ (mm)である。

また、表中の網掛け部分は試験体が重複する部分である。

表2-2-1(b) 引張せん断試験用試験体の寸法（加力方向⊥繊維方向）

試験名	孔径 d(mm)	材長 l(mm)	材幅 w(mm)	主・側材厚 b・b/2(mm)		端距離 e(mm)	縁距離 w/2(mm)
TV-12-7-4	12	296	168	38	19	48(4d)	84(7d)
TV-16-3-4	16	328	96	38	19	64(7d)	48(3d)
TV-16-5-4	16	328	160	38	19	64(7d)	80(5d)
TV-16-7-4	16	328	224	38	19	64(7d)	112(7d)
TV-16-9-4	16	328	288	38	19	64(7d)	144(9d)
TV-16-11-4	16	328	352	38	19	64(7d)	176(11d)
TV-16-7-2	16	264	224	38	19	32(2d)	112(7d)
TV-16-7-3	16	296	224	38	19	48(3d)	112(7d)
TV-16-7-4	16	328	224	38	19	64(4d)	112(7d)
TV-16-7-6	16	392	224	38	19	96(6d)	112(7d)
TV-16-7-8	16	456	224	38	19	128(8d)	112(7d)
TV-20-7-4	20	360	280	38	19	80(4d)	140(7d)

ただし、図2-2-1(b)において $a=d \times 1.25$ (mm)、 $c=40$ (mm)、 $f=160$ (mm)である。

また、表中の網掛け部分は試験体が重複する部分である。

2.2.1.2 曲げ型せん断試験

図2-2-2に曲げ型せん断試験用の試験体の形状を示す。主材の繊維方向に平行に加力するための試験体を作製し、ドリフトピンの径、材厚が異なる6タイプの試験体について試験を行った。表2-2-2に各試験体の寸法の詳細を示す。

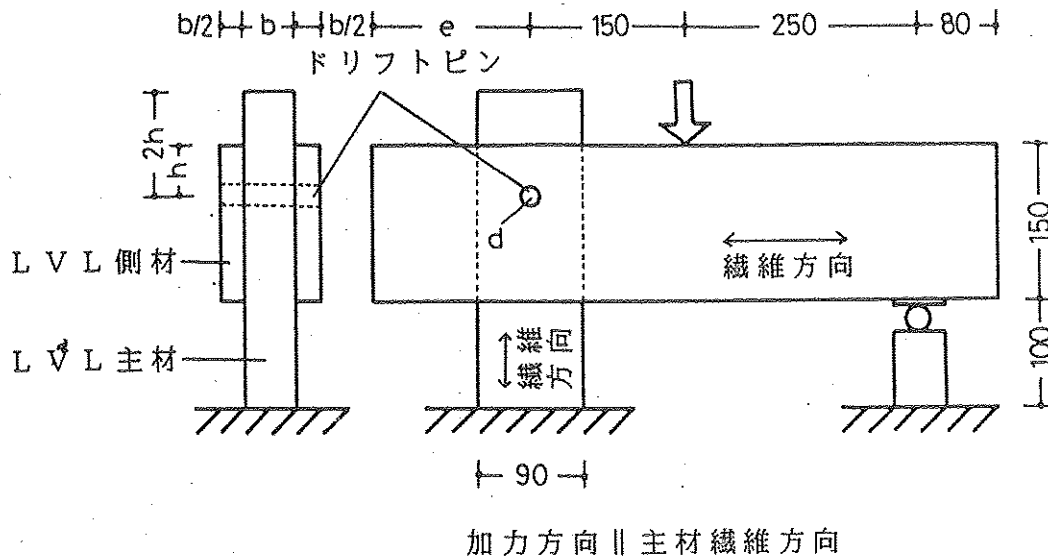


図2-2-2 曲げせん断試験 試験体図

表2-2-2 曲げせん断試験用試験体 (加力方向 || 主材繊維方向)

試験名	ドリフトピン 径 d (mm)	主材長 l (mm)	主・側材厚 $b \cdot b/2$ (mm)	端距離 e (mm)	縁距離 h (mm)
BP12 b38	12	564	38 19	84	48
BP12 b76	12	564	76 45	84	48
BP12 b152	12	564	152 75	84	48
BP16 b38	16	592	38 19	112	64
BP16 b76	16	592	76 45	112	64
BP16 b152	16	592	152 75	112	64

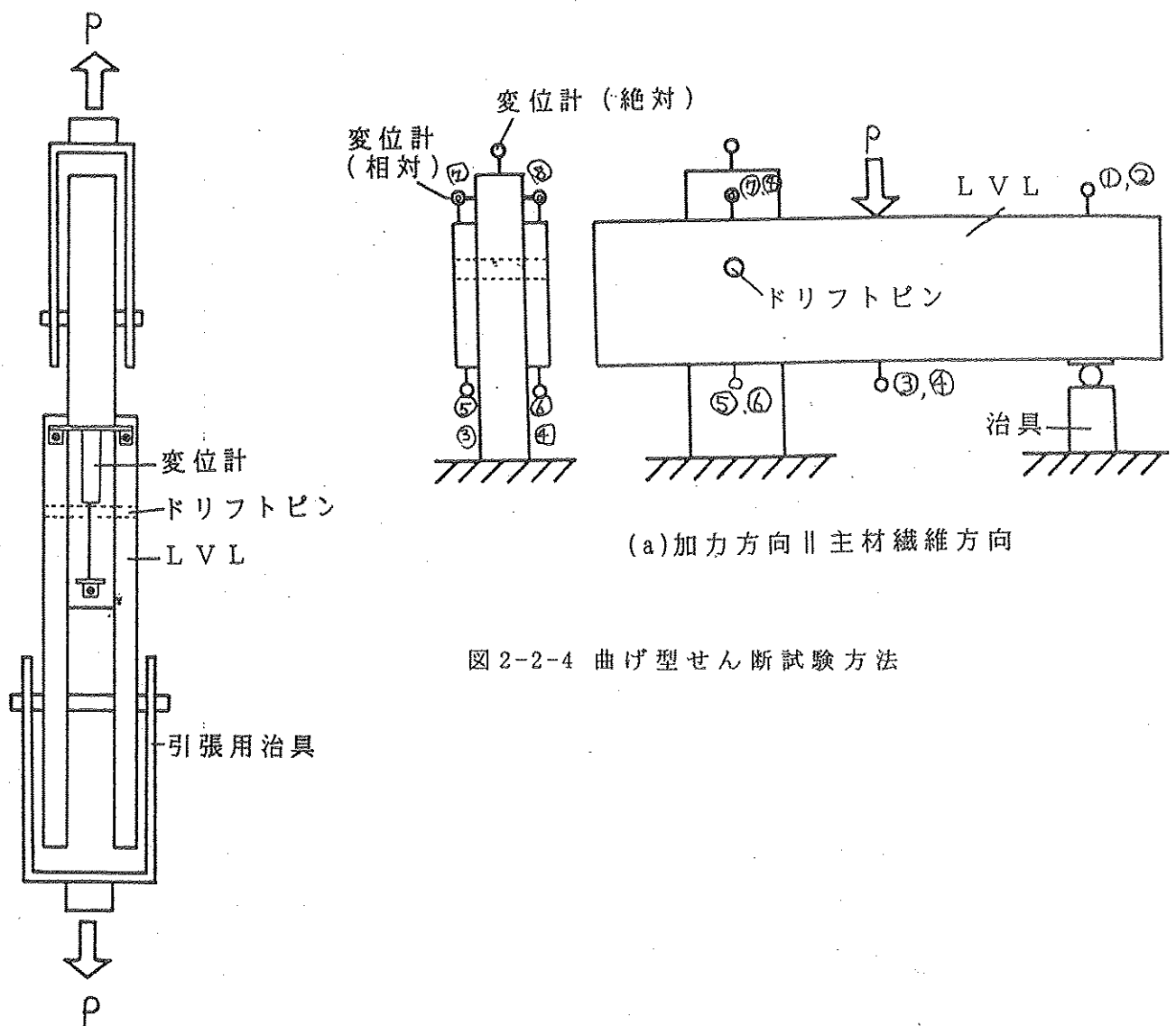
2.2.2 試験方法

2.2.2.1 引張型せん断試験

図2-2-3に引張型のせん断試験方法を示す。オートグラフ（島津製作所社製DSS-5000）を用い加力し、主材と側材の相対変位を変位計を用いて2カ所で測定した。

2.2.2.2 曲げせん断型試験

図2-2-4に側材を加力する曲げ型のせん断型試験方法を示す。加力はジャッキを用いて行い、加力時の主材と側材の各部分の変形を変位計を用いて測定した。



(a) 加力方向 \parallel 主材繊維方向

図2-2-4 曲げ型せん断試験方法

図2-2-3 引張り型せん断試験方法

2.3 試験結果

2.3.1 繊維平行方向による引張型せん断試験

実験結果を図2-3-1-1～8と表2-3-1-1に示す。

(1) 端距離による影響(縁距離：1.5d)

胴径16mmのドリフトピンを使用したLVL接合部は、図2-3-1-1に示すように端距離が増加するに従い、せん断耐力も増加する傾向となった。しかし、端距離及びせん断面積当たりのせん断耐力(せん断耐力が端距離やせん断面積に正比例するとは仮定していない：図2-3-1-3、5参照)は、端距離が7d付近において値が安定する傾向にあるので、端距離は7d程度を確保する必要があるものと思われる。

(2) 縁距離による影響(端距離：7d)

上記と同様のドリフトピンを使用したLVL接合部のせん断耐力は、図2-3-1-2に示すように縁距離が増加するに伴いせん断耐力も二次曲線的に増加する傾向となった。この為、端距離による影響とは異なり、1.5～2.0d付近において、せん断耐力が安定する傾向にあった。さらに、縁距離及び引張り面積当たりのせん断耐力(図2-3-1-4、6参照)は、1.25d付近より縁距離による影響が減少する傾向にあった。特に縁距離が1.0dの場合、耐力が著しく減少することが認められた。このことから、縁距離は、1.5d付近の値を確保するのが妥当であると思われる。

(3) ドリフトピンの胴径による影響

胴径の異なるドリフトピンを使用した場合のせん断耐力への影響を図2-3-1-7、8に示す。16mmのドリフトピンの耐力は、12mmと比較して約1.23倍と幾分増加した。しかし、12mmと16mmのドリフトピンの端距離は、同じ7dであっても胴径が異なる為、各々84mm、112mmとなる。このような端距離による影響を無くす為、せん断耐力を端距離で除算した場合(図2-3-1-8参照)、12mmと16mmの耐力の差は、認められなくなった。よって、このような1/dのドリフトピンを使用した場合においては、胴径によるせん断耐力への影響は、認められなかった。また、実験終了後において、ドリフトピンが曲がっていなかったことから、せん断耐力は、端距離により著しく影響を受けているものと推察された。

(4) 破壊形態

LVLドリフトピン接合部を繊維に対し平行方向に加力した場合、破壊形態は、端距離及び縁距離に関係なく、総ての試験体において、ドリフトピンによる端距離方向のせん断破壊となった。なお、ドリフトピン自身の曲がりは、ほとんど認められなかった。

(5) 強度特性

端距離による強度特性への影響を図2-3-1-9～12に、縁距離による強度特性への影響を図2-3-1-13～17に示す。

本実験に使用されたトリフトビンのL/dは、12mmが3.16、16mmが2.375となる。その為、短期許容せん断耐力は、次式による。

$$P=260 \alpha \cdot \rho \cdot d \cdot l$$

繊維平行方向	$P_{12}=498\text{kgf}$ 、	$P_{16}=664\text{kgf}$
繊維直交方向	$P_{12}=249\text{kgf}$ 、	$P_{16}=332\text{kgf}$

また、許容耐力から強度を算定すると

繊維平行方向	$P_{12} \cdot 4/3 \cdot 2=1,328\text{kgf}$ 、	$P_{16} \cdot 4/3 \cdot 2=1,771\text{kgf}$
繊維直交方向	$P_{12} \cdot 4/3 \cdot 2=664\text{kgf}$ 、	$P_{16} \cdot 4/3 \cdot 2=886\text{kgf}$

となる。

本実験においては、これらの値を殆ど上回った値となったが、縁距離が1.0dの場合(図2-3-1-13参照)においては、下回る結果となった。強度特性は、端距離により大きく影響を受けるが、このように縁距離が少なすぎた場合、耐力が急激に減少することがあるので、注意が必要となる。

初期剛性は、端距離による影響が認められなかったが、縁距離の増加に伴い剛性も向上する傾向が認められた。

繊維平行方向における端・縁距離及び胴径の影響

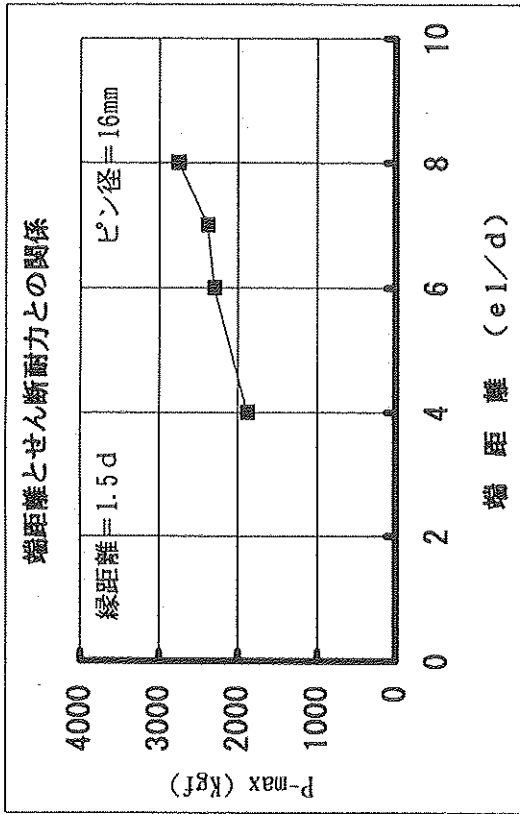


図2-3-1-1

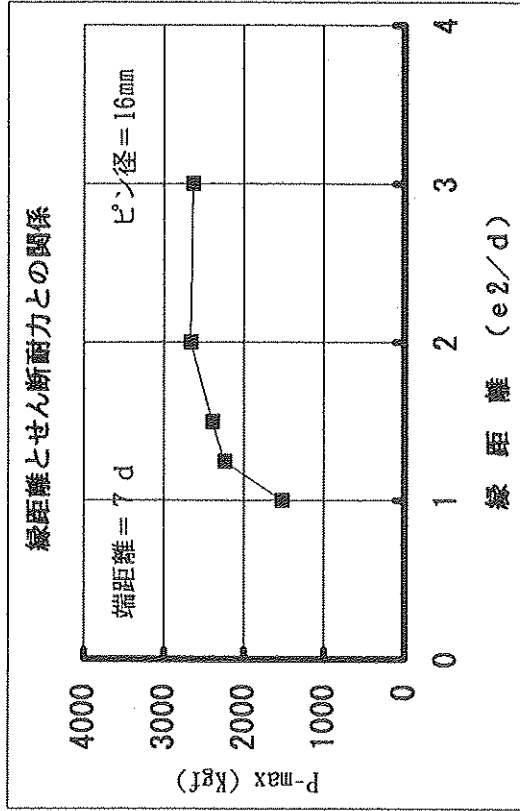


図2-3-1-2

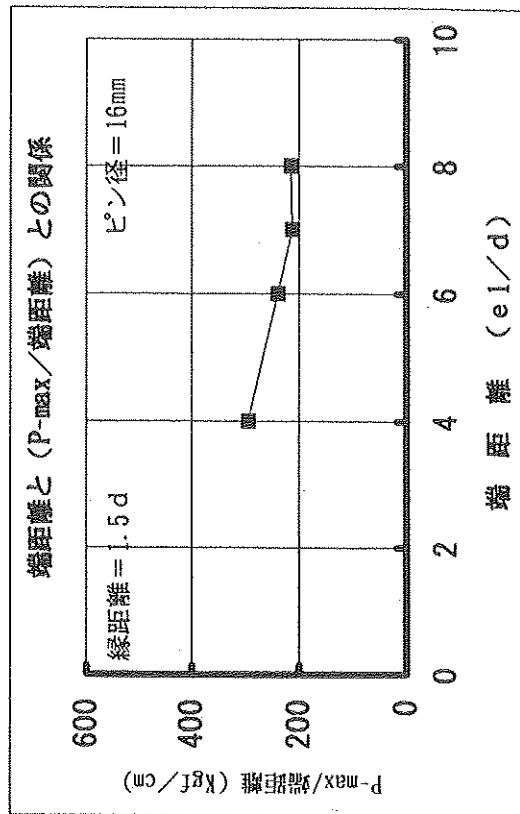


図2-3-1-3

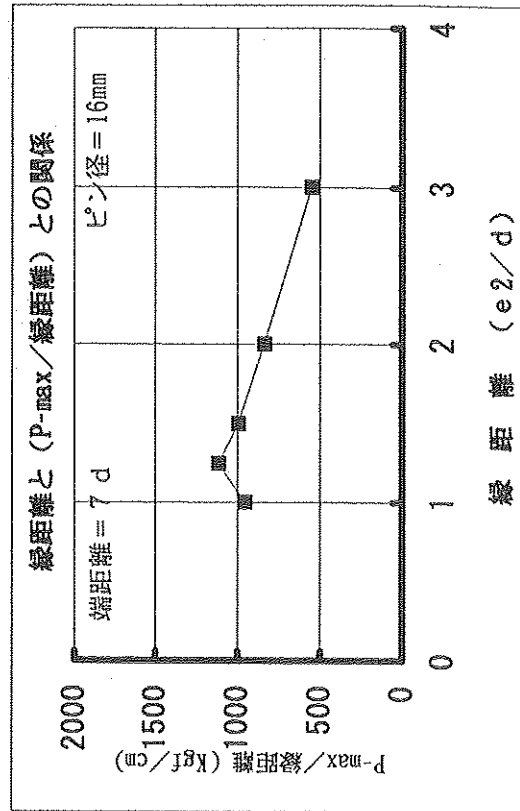


図2-3-1-4

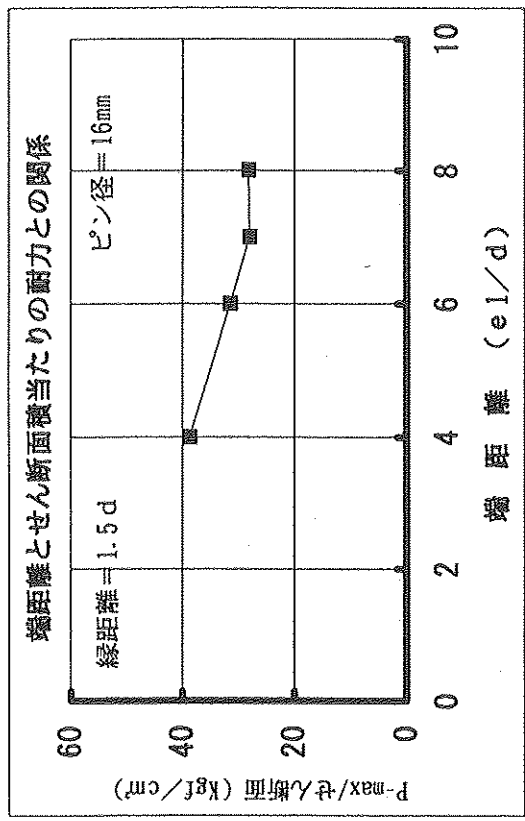


図2-3-1-5

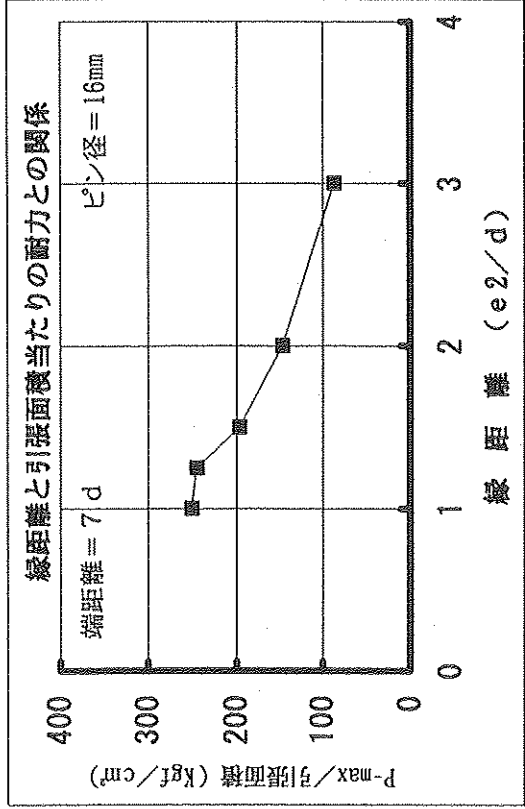


図2-3-1-6

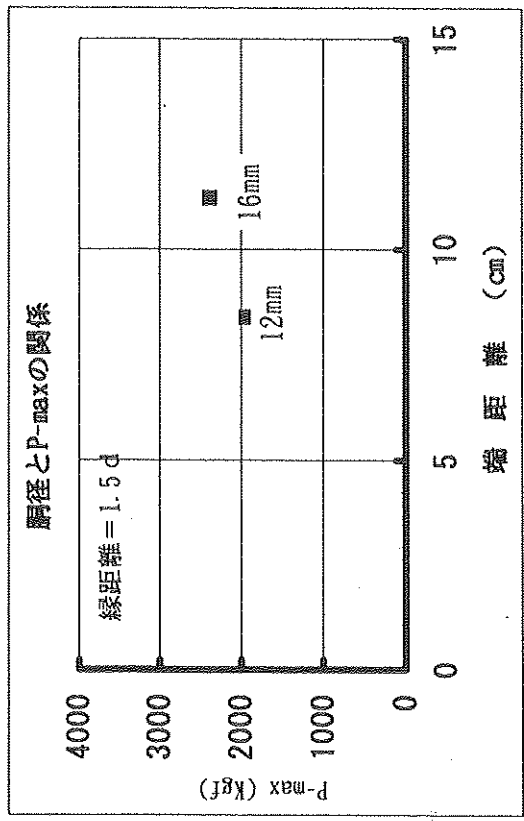


図2-3-1-7

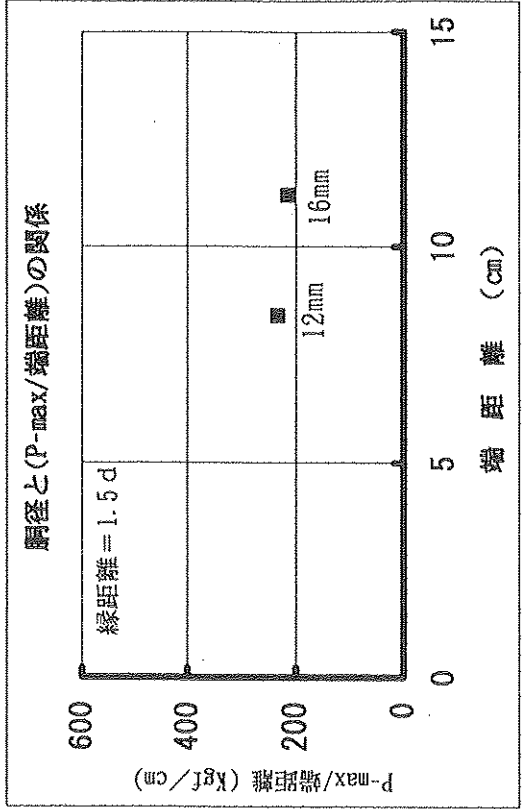


図2-3-1-8

表2-3-1-1 纖維平行方向における実験結果

試験体名 (単位)	φ (cm)	端距離 (d)	端距離 (cm)	縁距離 (d)	縁距離 (cm)	P-max (kgf)	δ pmax (mm)	P-max/端距離 (kgf/cm)	P-max/縁距離 (kgf/cm)	P-max/A (kgf/cm ²)	初期剛性 (kgf/mm)
TP-12-7-1.5	1.2	7	8.4	1.5	1.8	1945	0.98	231.55	1080.56	30.47	4,385
TP-16-4-1.5	1.6	4	6.4	1.5	2.4	1885	0.47	294.53	785.42	38.75	4,222
TP-16-6-1.5	1.6	6	9.6	1.5	2.4	2299	0.78	239.48	957.92	31.51	3,625
TP-16-7-1.5	1.6	7	11.2	1.5	2.4	2390	0.51	213.39	995.83	28.08	4,071
TP-16-8-1.5	1.6	8	12.8	1.5	2.4	2755	1.37	215.23	1147.92	28.32	3,412
TP-16-10-1.5	1.6	10	16	1.5	2.4	実験不可	←	←	←	←	←
TP-16-7-1.0	1.6	7	11.2	1	1.6	1526	0.78	136.25	953.75	250.99	3,000
TP-16-7-1.25	1.6	7	11.2	1.25	2	2237	0.99	199.73	1118.50	245.29	3,563
TP-16-7-1.5	1.6	7	11.2	1.5	2.4	2390	0.51	213.39	995.83	196.55	4,071
TP-16-7-2.0	1.6	7	11.2	2	3.2	2675	1.26	238.84	835.94	146.66	7,125
TP-16-7-3.0	1.6	7	11.2	3	4.8	2642	1.03	235.89	550.42	86.91	3,563
TP-20-7-1.5	2	7	14	1.5	3	実験不可	←	←	←	←	←

(端距離の影響)

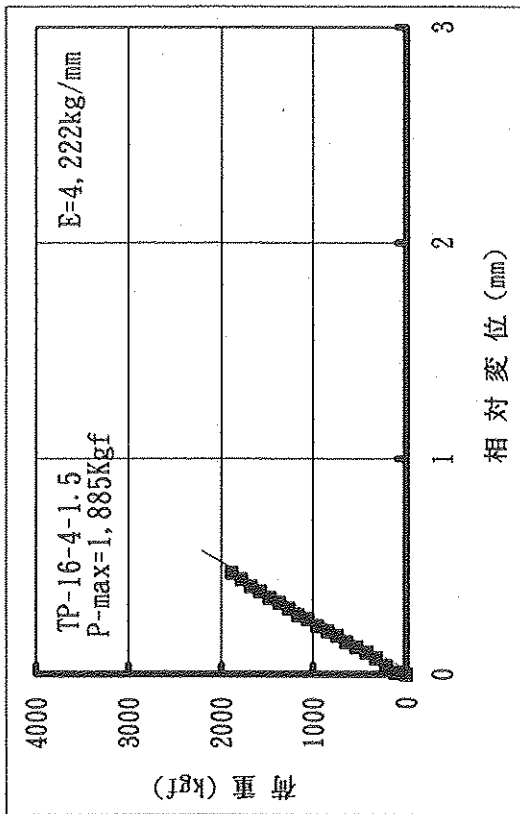


図2-3-1-9

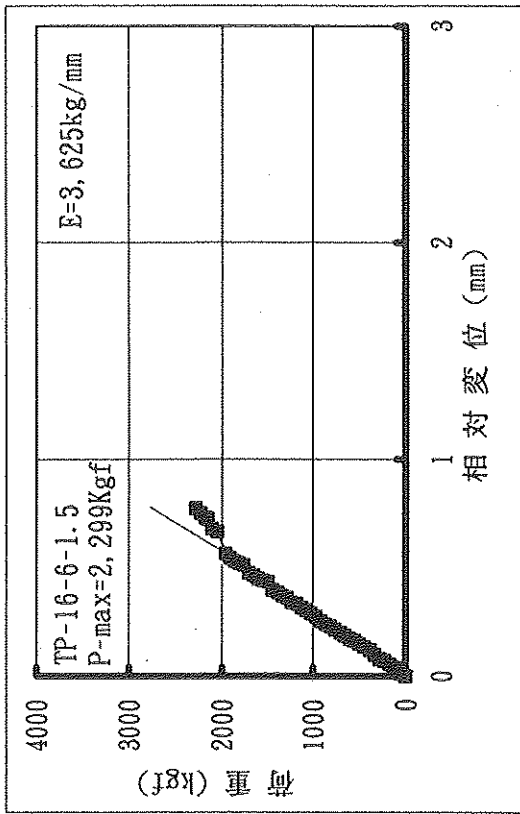


図2-3-1-10

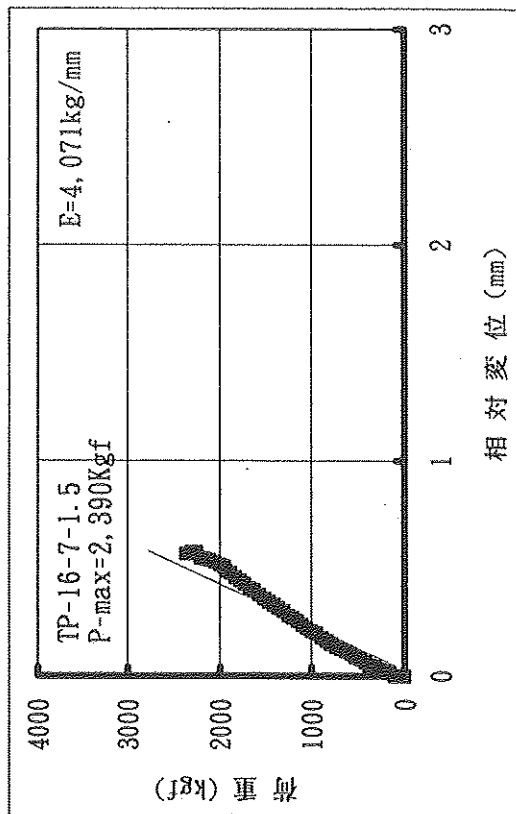


図2-3-1-11

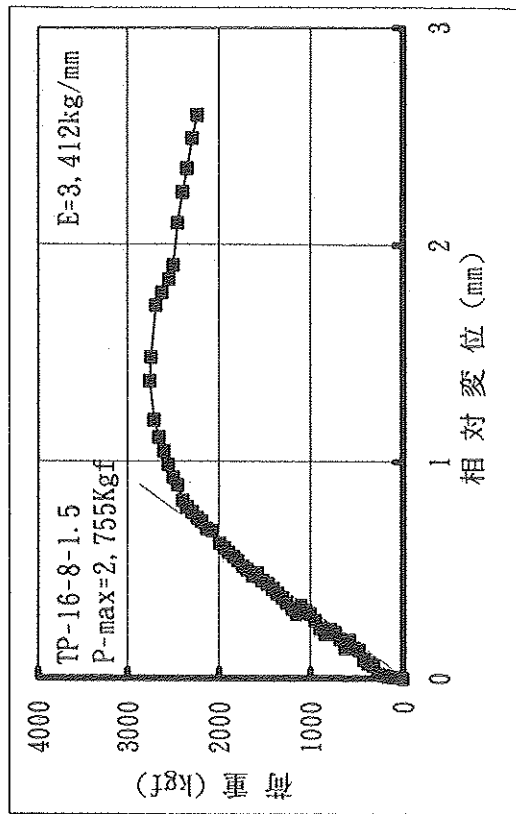


図2-3-1-12

縁距離の影響

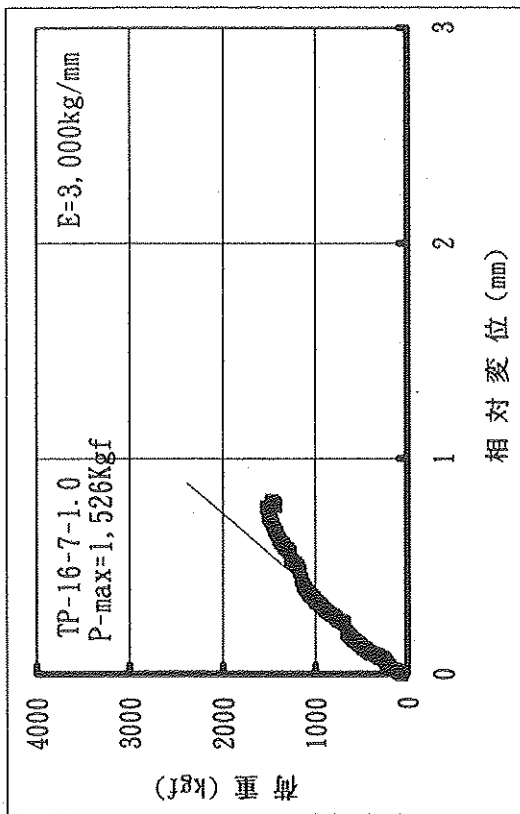


図2-3-1-13

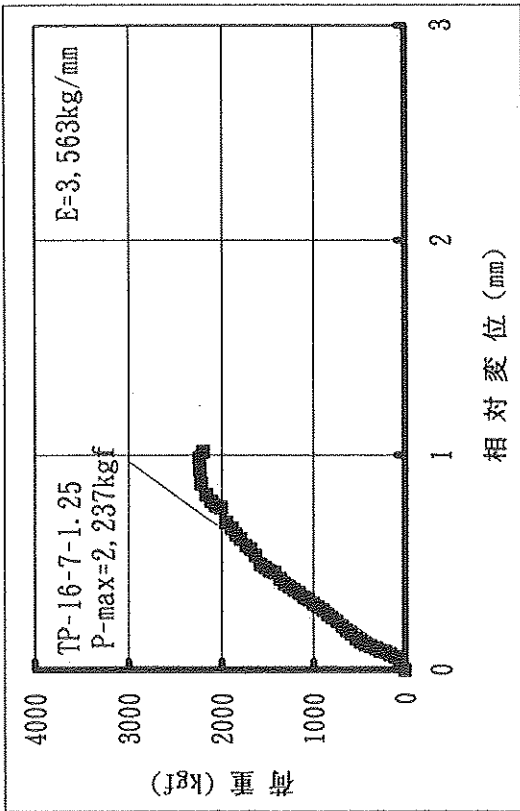


図2-3-1-14

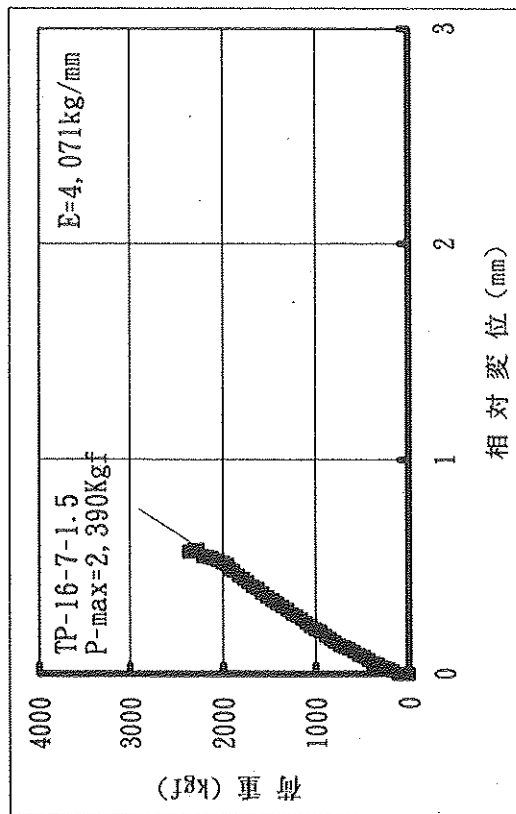


図2-3-1-15

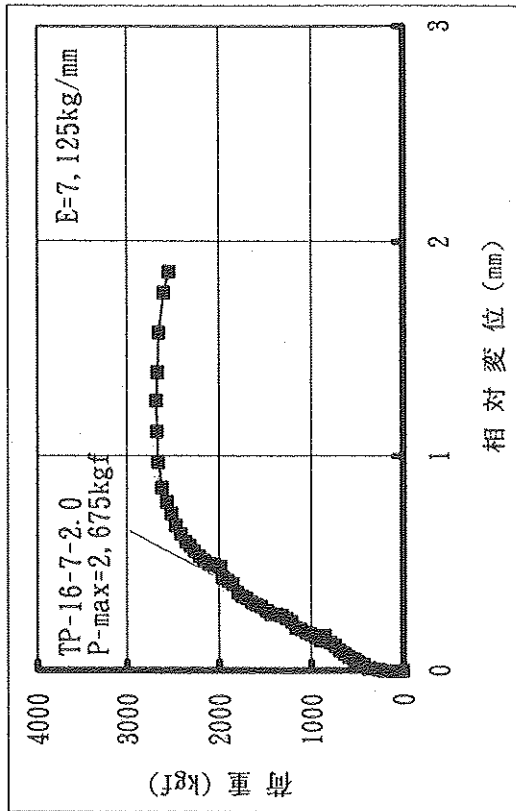


図2-3-1-16

縁距離の影響

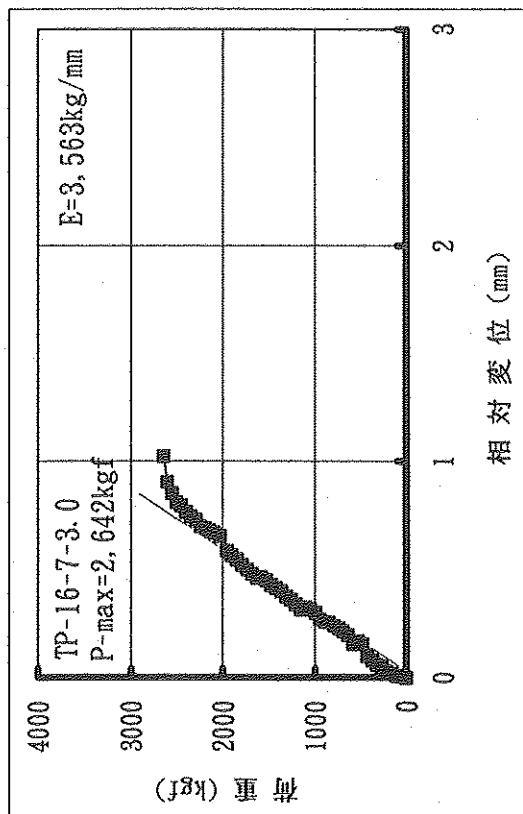


図2-3-1-17

ピン胴径の影響

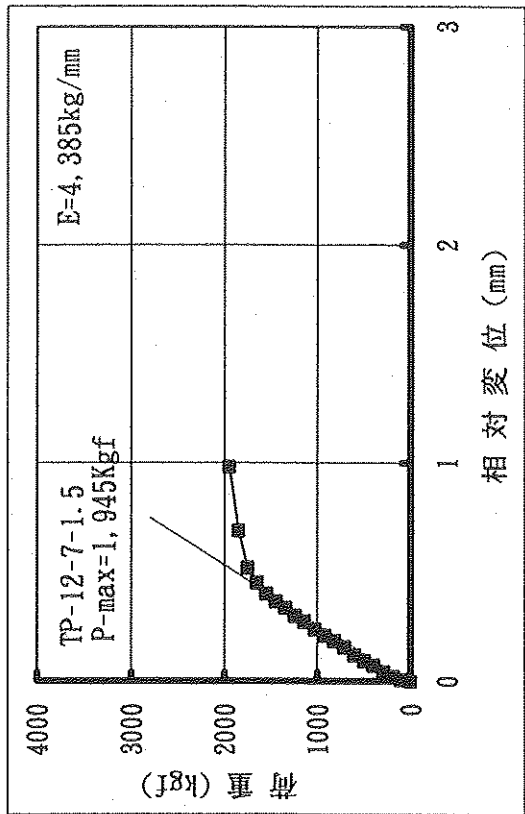


図2-3-1-18

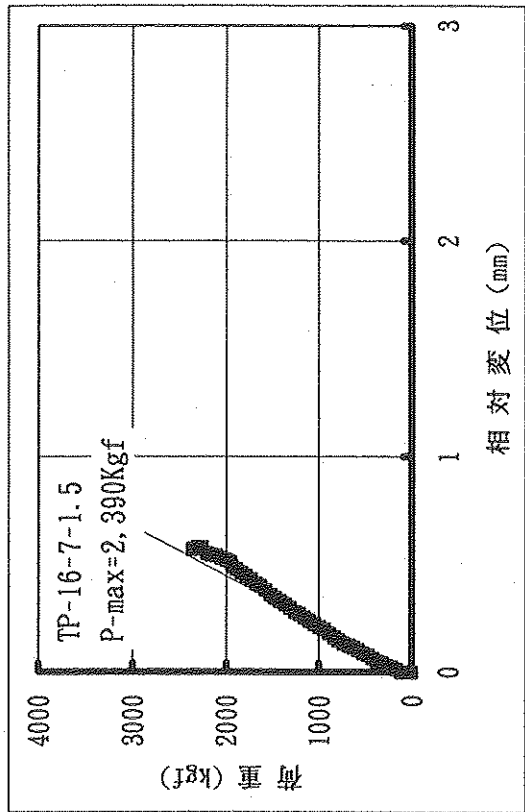


図2-3-1-19

2.3.2 繊維直交方向による引張型せん断試験

実験結果を図2-3-2-1～8と表2-3-2-1に示す。

(1) 端距離による影響(縁距離：1.5d)

胴径16mmのドリフトピンを使用したLVL接合部は、図2-3-2-1に示すように端距離が増加するに伴い、せん断耐力も増加する傾向となった。しかし、端距離及び横引張り面積当たりのせん断耐力(横引張り又は割裂抵抗が端距離に正比例するとは仮定していない：図2-3-2-3、5参照)は、全体的になだらかな山形の曲線を描く安定した特性を示したが、7dが最も高い値となっており、端距離はこの付近の値を確保するのが妥当であることが認められた。

(2) 縁距離による影響(端距離：7d)

端距離を7dに固定し、縁距離を変化させた時のせん断耐力への影響は、図2-3-2-2に示すように、縁距離に影響されず全体的に安定した値となった。しかし、縁距離が3d以下と4以上では、段差があり、縁距離は4d以上を確保するのが適当であることが認められた。さらに、縁距離及びせん断面積当たりのせん断耐力(図2-3-1-4、6参照)は、縁距離の増加に伴い全体的に減少する傾向が認められた。

(3) ドリフトピンの胴径による影響

胴径の異なるドリフトピンを使用した場合のせん断耐力への影響を図2-3-2-7、8に示す。せん断耐力は、胴径の大きさに関係なく、端距離に比例して増加する傾向にあり、端距離当たりのせん断耐力は、一定の値(82～83kgf/cm)を示した。このような特性を示す原因を考察すると、直交方向の耐力は、横引張りにより割裂破壊している為、総じて平行方向の1/2以下となっており、より一層、胴径による影響が小さいと思われる。

(4) 破壊形態

LVLドリフトピン接合部を繊維に対し直交方向に加力した場合、破壊形態は、縁距離に関係なく、総ての試験体において、ドリフトピンによる端距離方向の割裂破壊となった。なお、ドリフトピン自身の曲がりは、ほとんど認められなかった。

(5) 強度特性

端距離による強度特性への影響を図2-3-1-9～13に、縁距離による強度特性への影響を図2-3-1-13～18に示す。

本実験に使用されたドリフトピンのL/dは、12mm→3.16、16mm→2.375、20mm→1.9となる。その為、短期許容せん断耐力は、次式による。

$$P=(260\alpha \cdot \rho \cdot d \cdot l)/2$$

繊維直交方向 P12=249kgf、 P16=332kgf P20=415kgf

また、許容耐力から強度を算定すると

繊維直交方向 $P_{12} \cdot 4/3 \cdot 2 = 664 \text{kgf}$ 、 $P_{16} \cdot 4/3 \cdot 2 = 886 \text{kgf}$ $P_{20} \cdot 4/3 \cdot 2 = 1,107 \text{kgf}$
となる。

本実験においては、これらの値を殆ど上回った値となったが、端距離が 7 d 未満のものと縁距離が 4 d 未満のものは、下回った値(図 2-3-2-9、10及び図 2-3-2-14、15参照)となった。この様に直交方向の耐力は、計算基準から算定した値に近似しており、端距離や縁距離に対し、より一層の注意が必要と思われる。

初期剛性は、端距離による影響が認められなかったが、縁距離が 6 d の試験体において高い剛性が認められた。

繊維直交方向における端・縁距離及びび胴径の影響

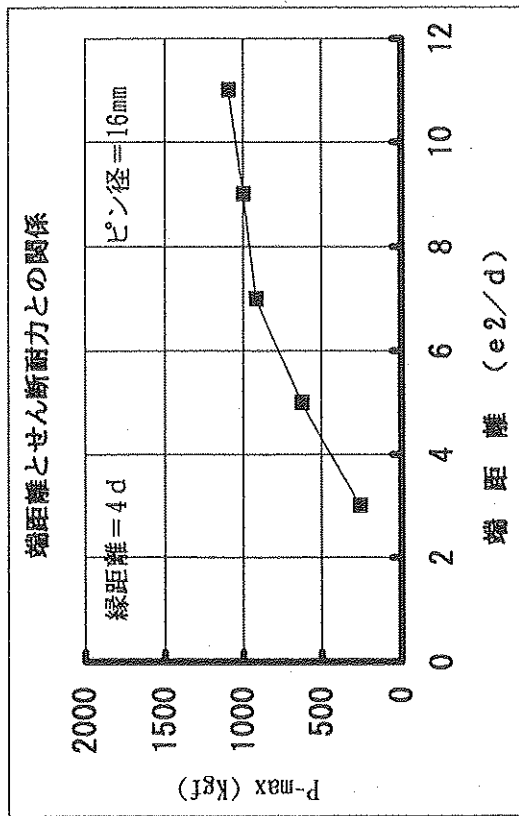


図2-3-2-1

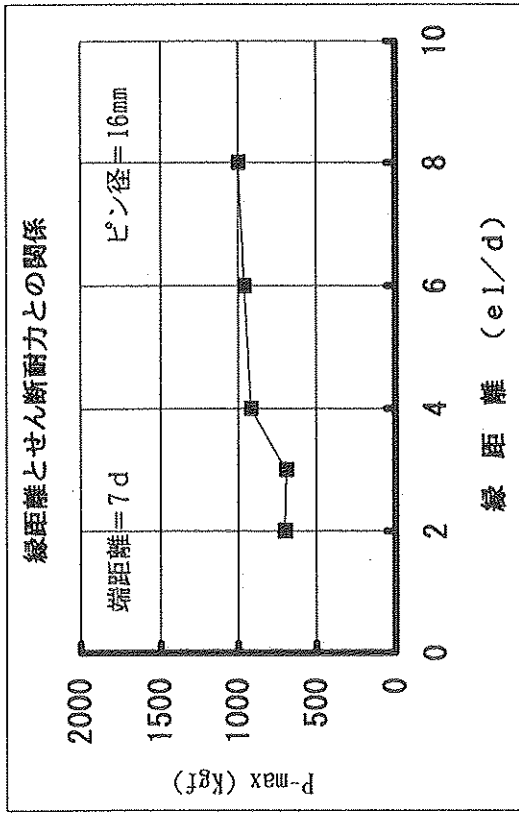


図2-3-2-2

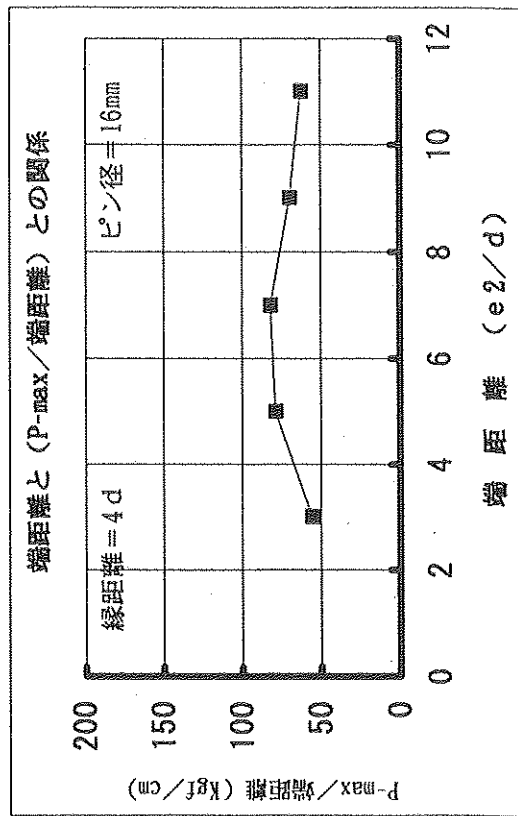


図2-3-2-3

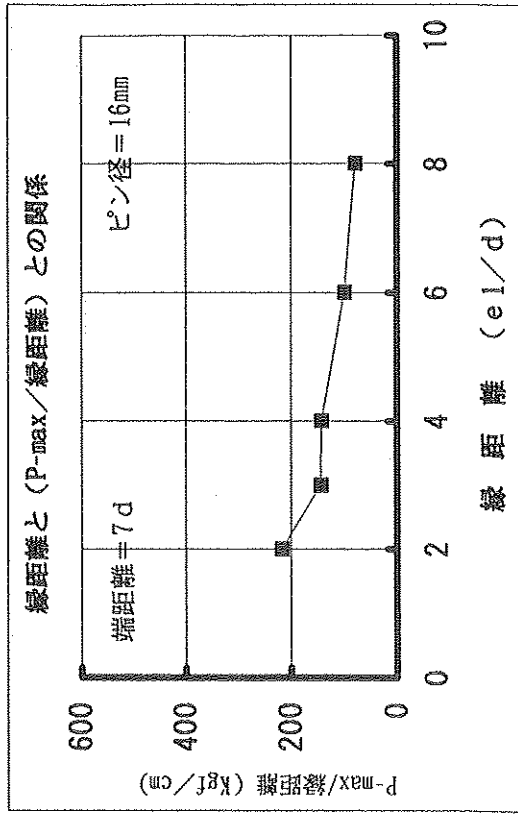


図2-3-2-4

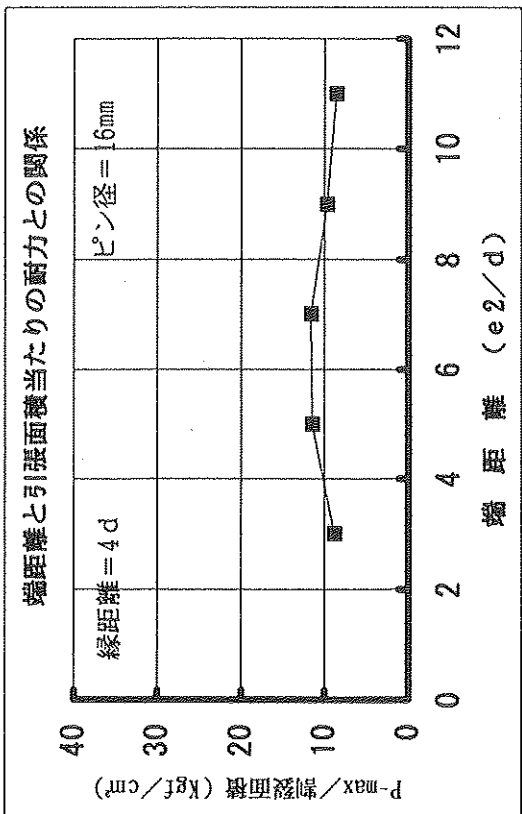


図2-3-2-5

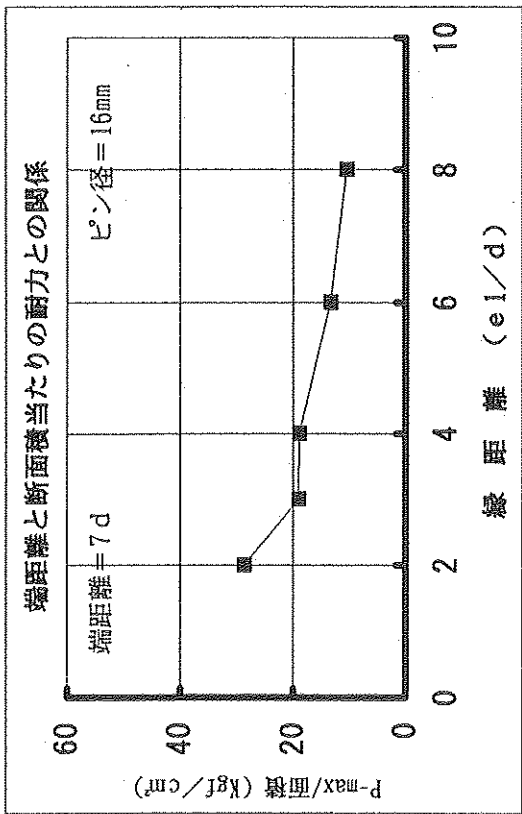


図2-3-2-6

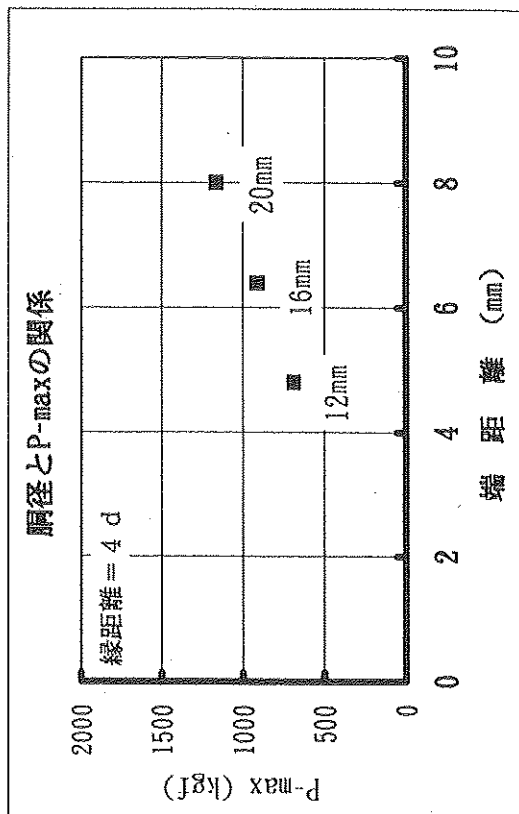


図2-3-2-7

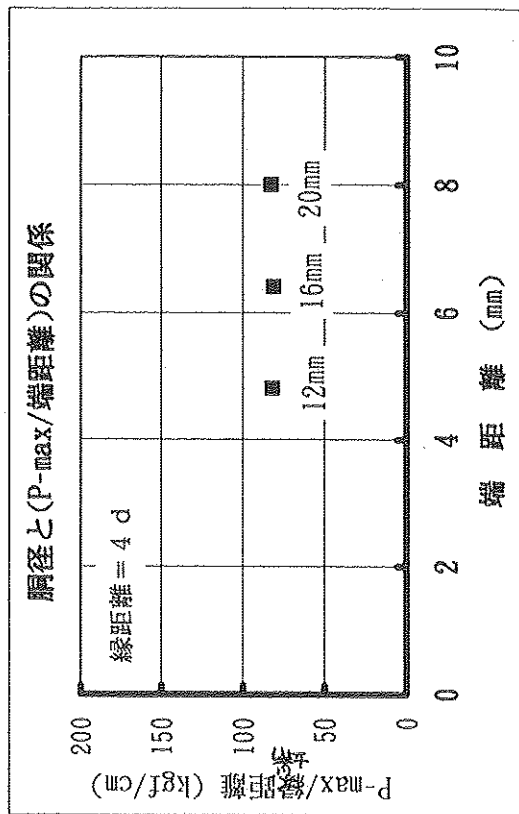


図2-3-2-8

表2-3-2-1 纖維直交方向における実験結果

試験体名 (単位)	h ⁰ 径 (cm)	端距離 (d)	端距離 (cm)	縁距離 (d)	縁距離 (cm)	P-max (kgf)	δ pmax (mm)	P-max/端距離 (kgf/cm)	P-max/縁距離 (kgf/cm)	P-max/A (kgf/cm ²)	初期剛性 (kgf/mm)
TV-12-7-4	1.2	7	8.4	4	4.8	693	0.8	82.50	144.38	11.69	1,077
TV-16-3-4	1.6	3	4.8	4	6.4	266	0.5	55.42	41.56	8.75	718
TV-16-5-4	1.6	5	8	4	6.4	628	0.64	78.50	98.13	11.48	1,676
TV-16-7-4	1.6	7	11.2	4	6.4	916	1.21	81.79	143.13	11.59	1,400
TV-16-9-4	1.6	9	14.4	4	6.4	1000	1.3	69.44	156.25	9.67	1,400
TV-16-11-4	1.6	11	17.6	4	6.4	1094	1.82	62.16	170.94	8.57	1,556
TV-16-7-2	1.6	7	11.2	2	3.2	698	0.83	62.32	218.13	28.70	2,000
TV-16-7-3	1.6	7	11.2	3	4.8	693	0.8	61.88	144.38	19.00	1,060
TV-16-7-4	1.6	7	11.2	4	6.4	916	1.21	81.79	143.13	18.83	1,400
TV-16-7-6	1.6	7	11.2	6	9.6	960	0.85	85.71	100.00	13.16	2,800
TV-16-7-8	1.6	7	11.2	8	12.8	1000	1.35	89.29	78.13	10.28	1,225
TV-20-7-4	2	7	14	4	8	1168	1.28	83.43	146.00	11.82	1,120

端距離の影響

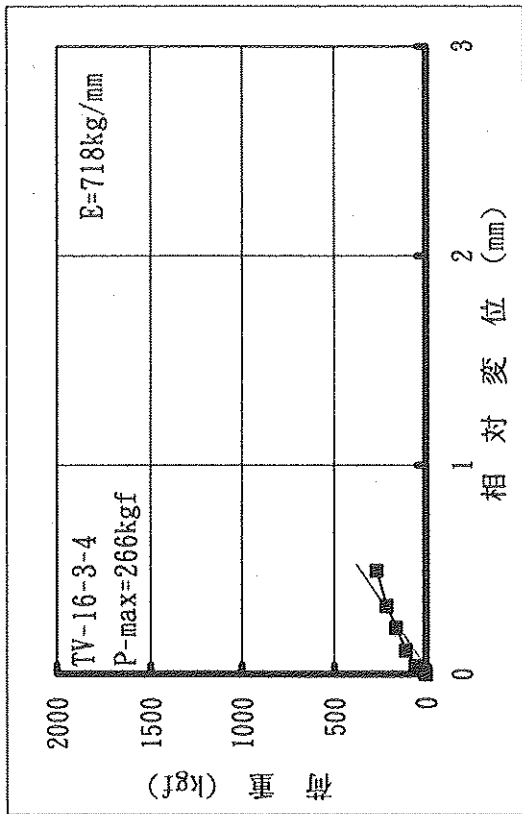


図2-3-2-9

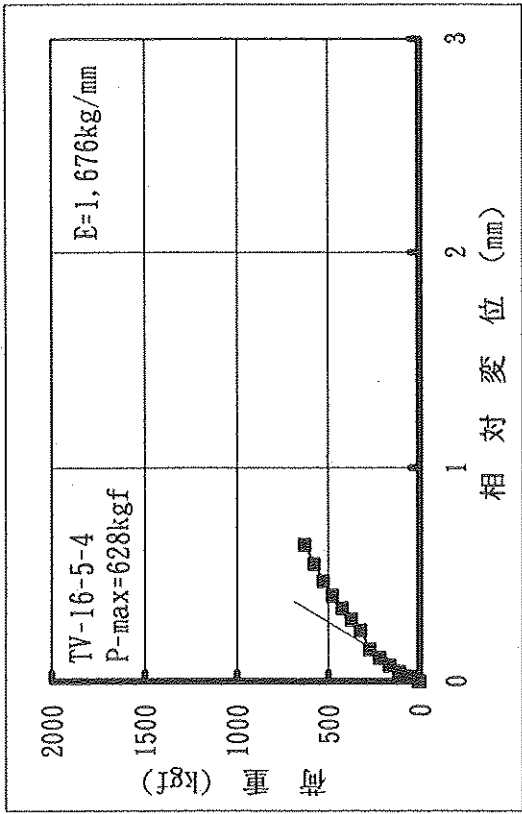


図2-3-2-10

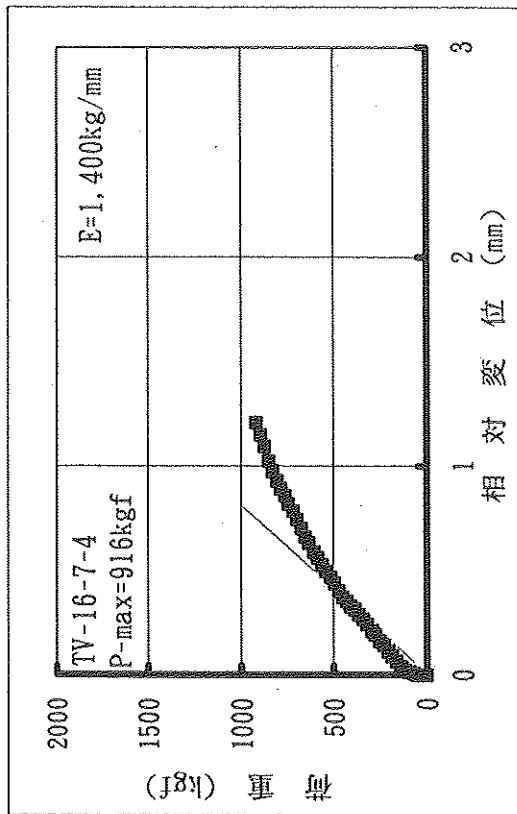


図2-3-2-11

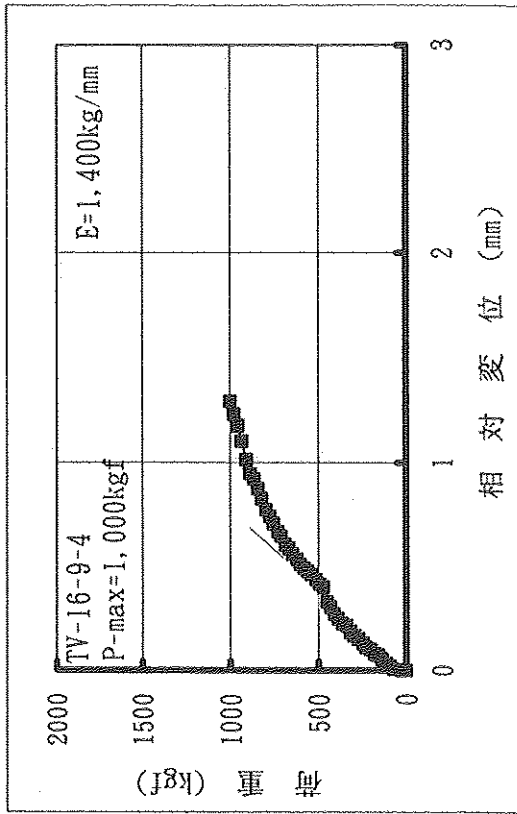


図2-3-2-12

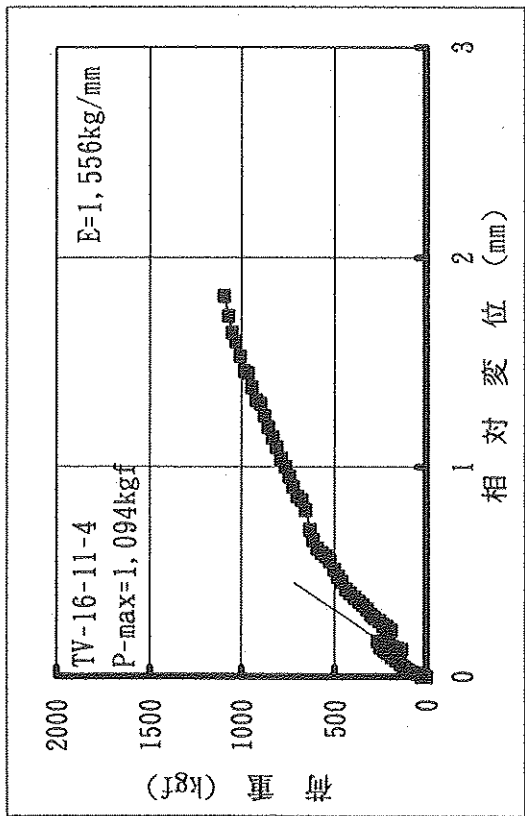


图2-3-2-13

縁距離の影響

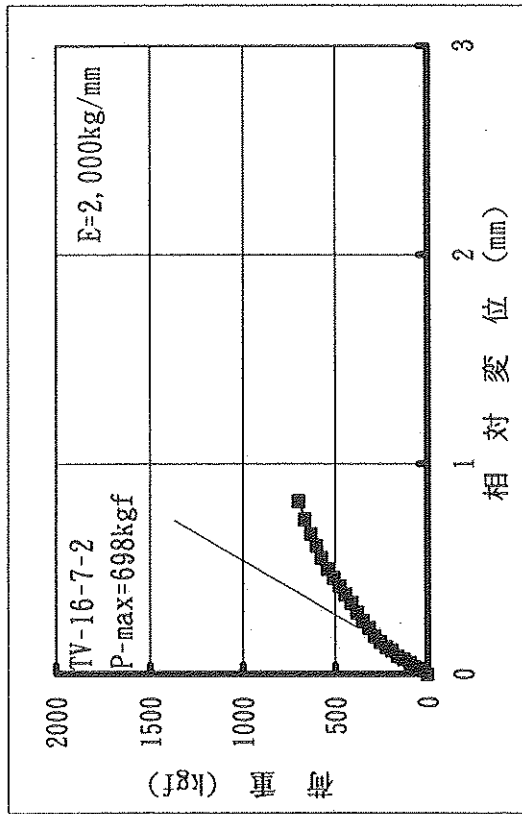


図2-3-2-14

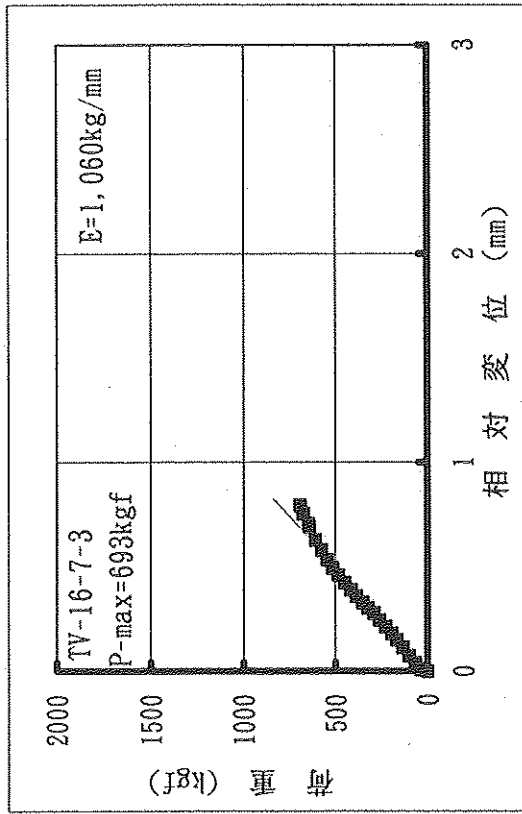


図2-3-2-15

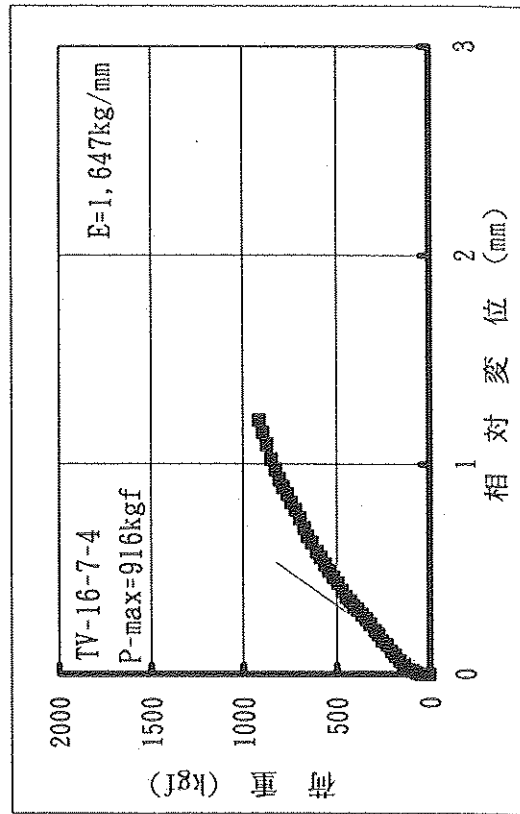


図2-3-2-16

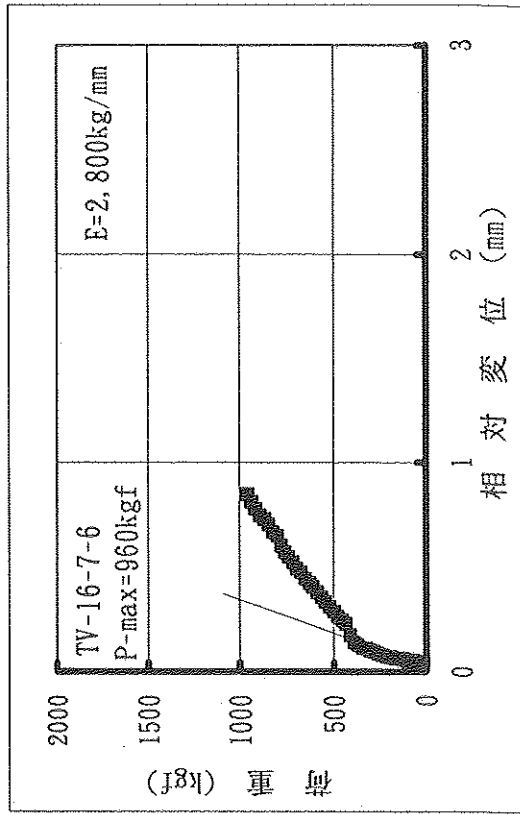


図2-3-2-17

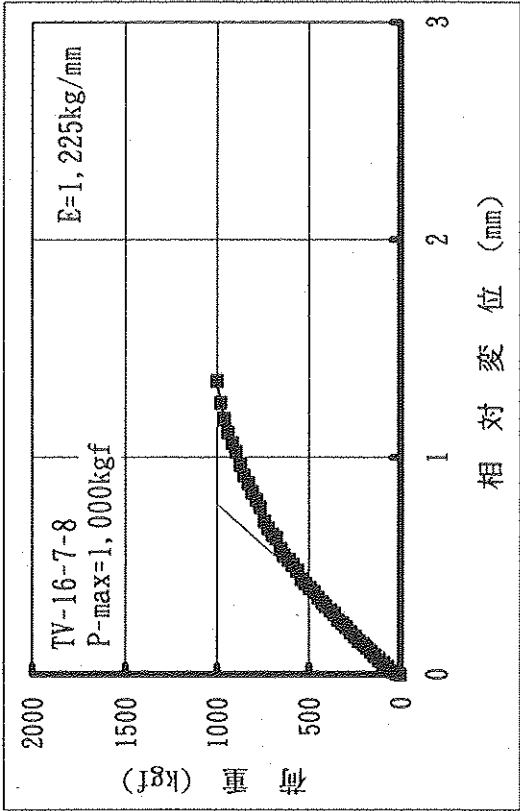


图2-3-2-18

ピン径の影響

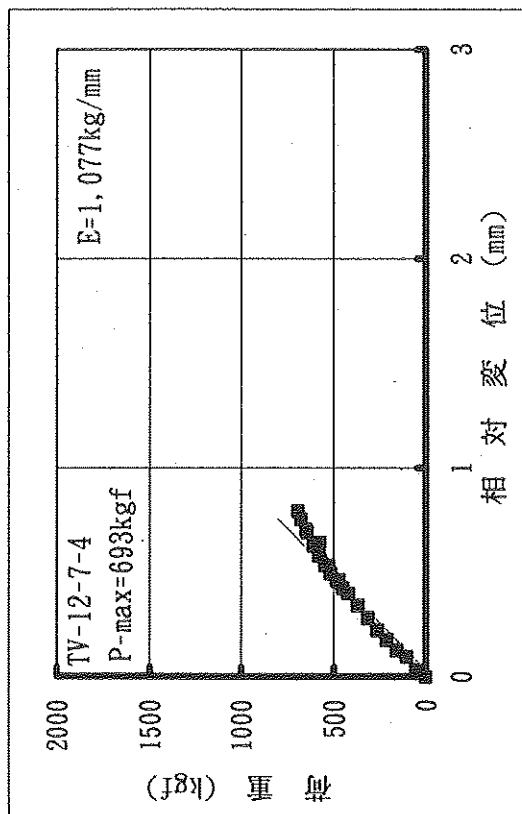


図2-3-2-19

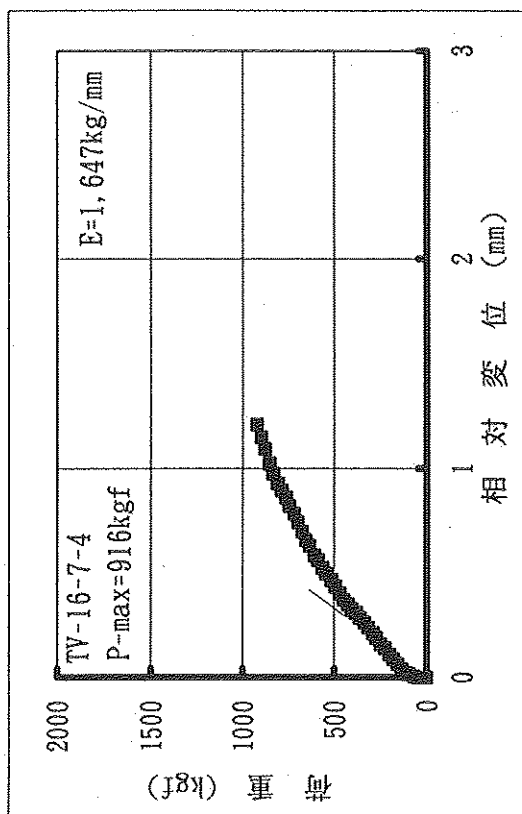


図2-3-2-20

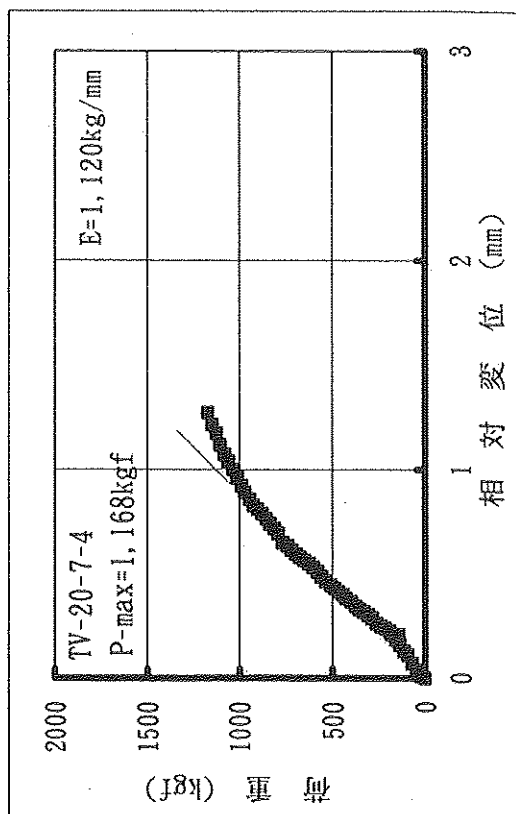


図2-3-2-21

2.3.3 曲げ型せん断試験

実験結果を図2-3-3-1～3と表2-3-3-1に示す。

(1) 主材及び側材厚による影響 (ドリフトピン: 12mm、16mm、端距離 7 d、縁距離 4 d)

胴径12mm及び16mmのドリフトピンを使用したLVL接合部のせん断耐力は、図2-3-3-1に示すように端距離が増加するに伴い、何れも増加する傾向を示した。しかし、せん断耐力と主材厚及び材端までの面積との関係(図2-3-3-2,3参照)は、76mmが最大値を示しており、152mmの材を用いても効果が少ないことが明らかとなった。

(2) ドリフトピンの胴径による影響

胴径の異なるドリフトピンを使用した場合のせん断耐力への影響を図2-3-3-3に示す。12mmと16mmのドリフトピンのせん断耐力を主材厚と端距離による材端までの面積で評価した場合、端距離のみの値と比較して差が著しく少なくなることが認められた。

(3) 破壊形態

曲げ型のドリフトピン接合部を梁材(側材)に対し垂直加力した場合、破壊形態は、縁距離に関係なく、総ての試験体において、ドリフトピン付近からの梁材による割裂破壊となった。なお、柱材(主材)のめり込みはほとんど無く、ドリフトピン自身の曲がり、梁材の厚いものは多少曲がった程度であった。

(4) 試験方法による影響

引張り型せん断試験と曲げ型せん断試験(繊維直交方向、端距離 7 d、縁距離 4 d)の結果を比較(図2-3-3-4参照)すると、曲げ型では1,528kgf、引張り型が916kgfとなり、約1.67倍もの著しい差が生じることが認められた。しかし12mmの試験においては、その差がほとんど無い結果となった。

曲げせん断試験による主材・側材厚及び端距離の影響

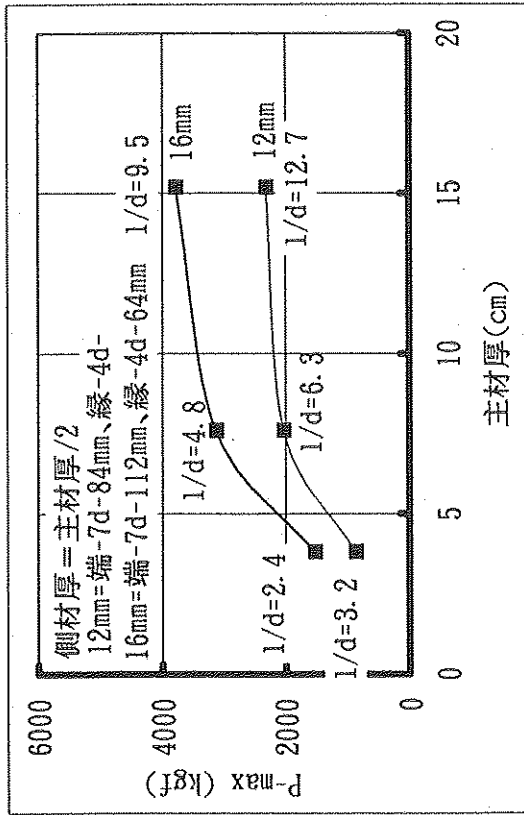


図2-3-3-1

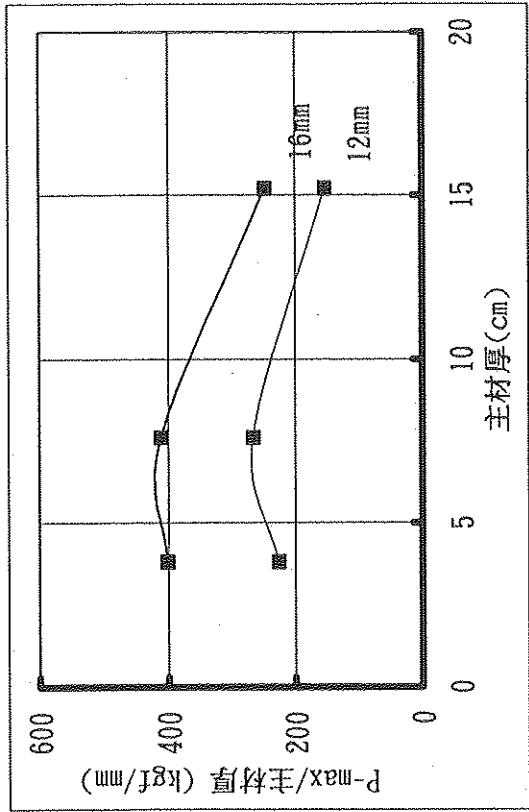


図2-3-3-2

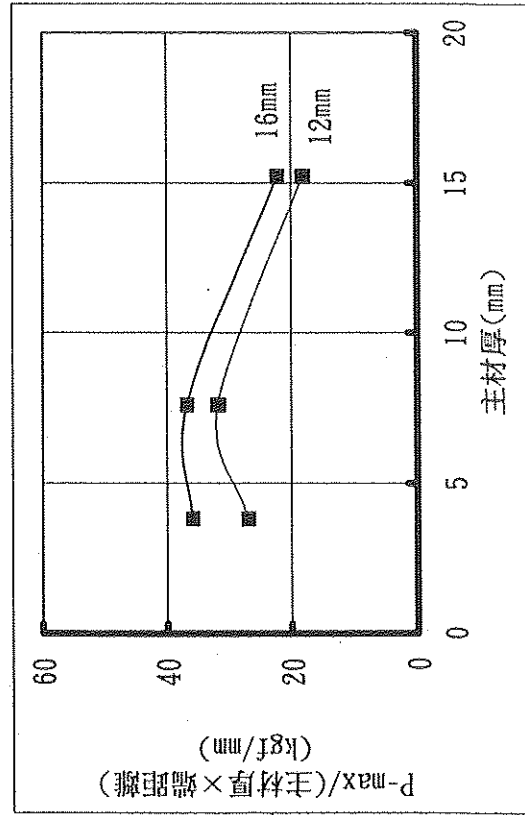


図2-3-3-3

試験方法による影響

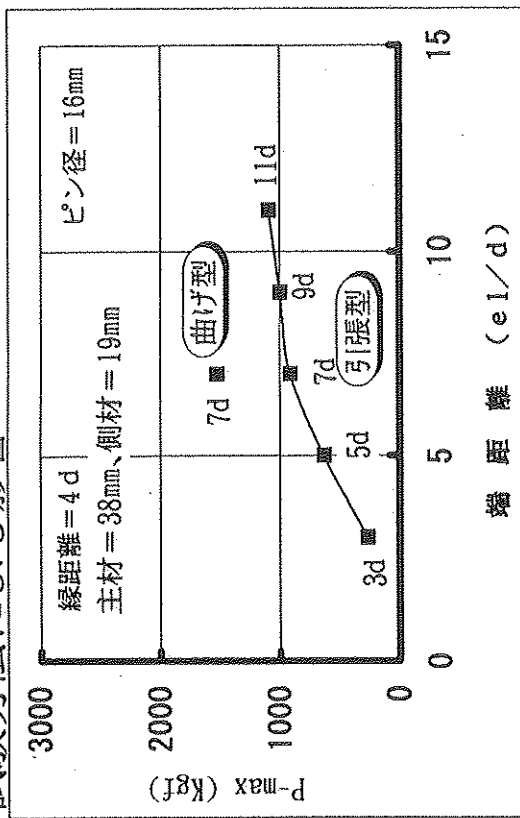


図2-3-3-4

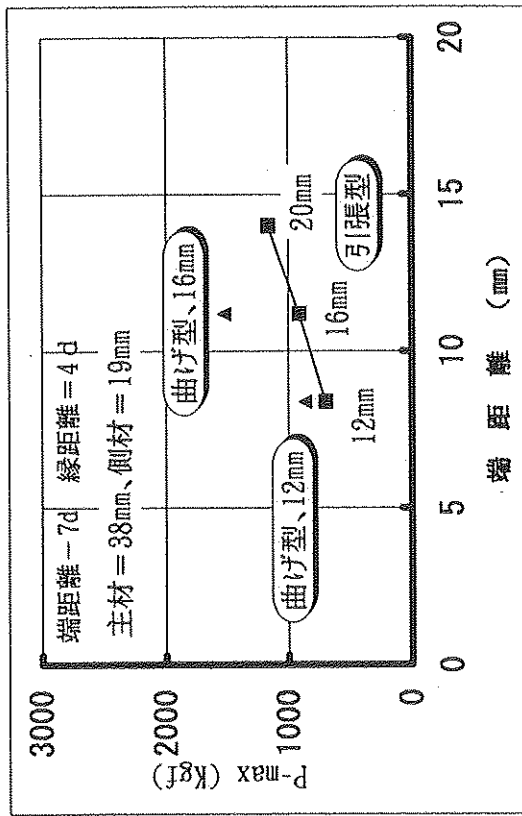


図2-3-3-5

表2-3-3-1 曲げ型せん断試験結果

試験体名 (単位)	ピン径 (cm)	Z_e (cm^3)	1/d (倍)	端距離 (d)	端距離 (cm)	縁距離 (d)	縁距離 (cm)	主材厚 (cm)	側材厚 (cm)	P-max (kgf)	δ pmax (mm)	基準比 (倍)	P-max/ (主材厚)	P-max/(主材厚) /端距離
BP-12-38	1.2	0.17	3.17	7	8.4	4	4.8	3.8	1.9	863	9.59	1.3	227.11	27.04
BP-12-90	1.2	0.17	6.33	7	8.4	4	4.8	7.6	3.8	2034	9.39	2.43	267.60	31.86
BP-12-150	1.2	0.17	12.67	7	8.4	4	4.8	15.2	7.6	2320	12.64	2.77	152.63	18.17
BP-16-38	1.6	0.40	2.38	7	11.2	4	6.4	3.8	1.9	1528	9.05	1.73	402.11	35.90
BP-16-90	1.6	0.40	4.75	7	11.2	4	6.4	7.6	3.8	3133	17.75	2.1	412.24	36.81
BP-16-150	1.6	0.40	9.50	7	11.2	4	6.4	15.2	7.6	3784	10.26	2.54	248.95	22.23

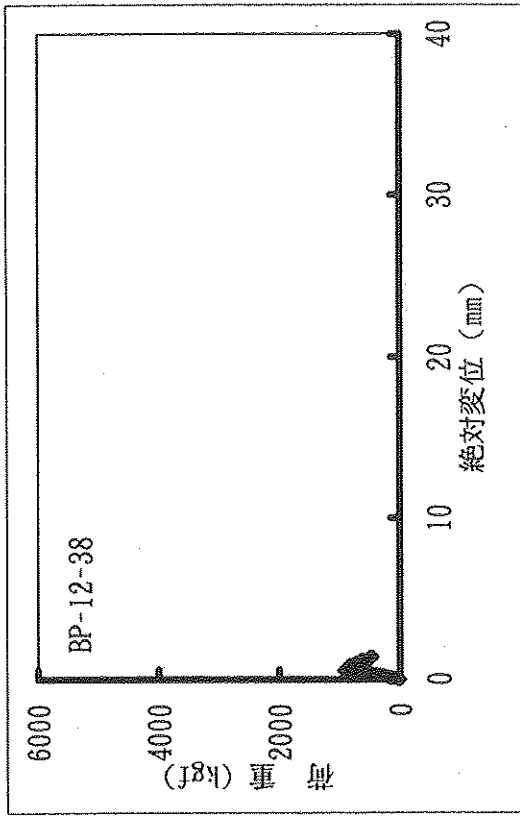


図2-3-3-6 梁支持点の絶対変位 (N01, N02)

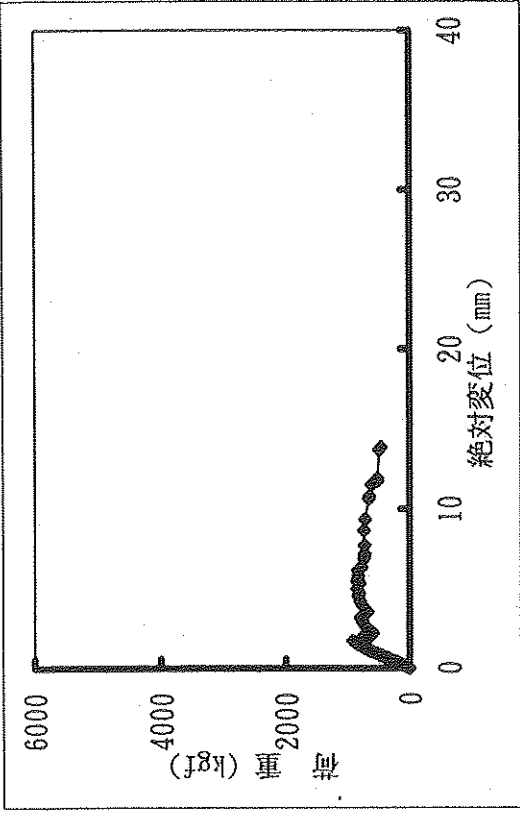


図2-3-3-7 載荷点の絶対変位 (N03, N04)

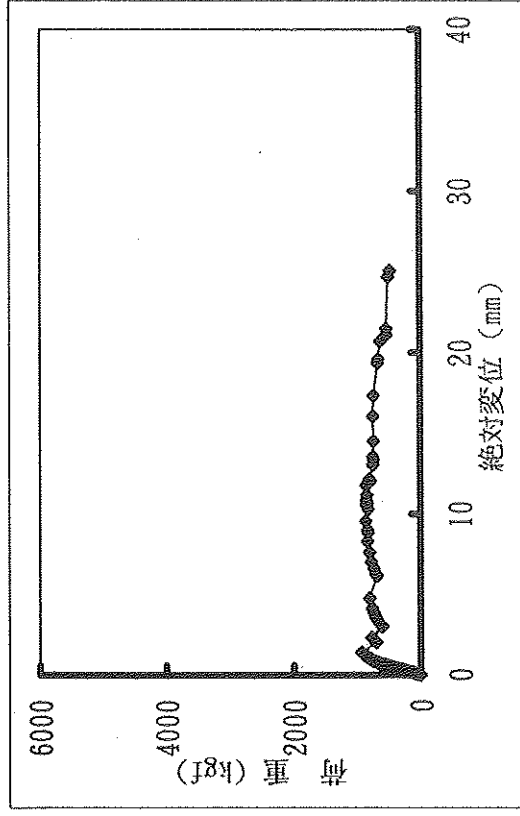


図2-3-3-8 柱-梁交差部 (梁下端) の絶対変位 (N05, N06)

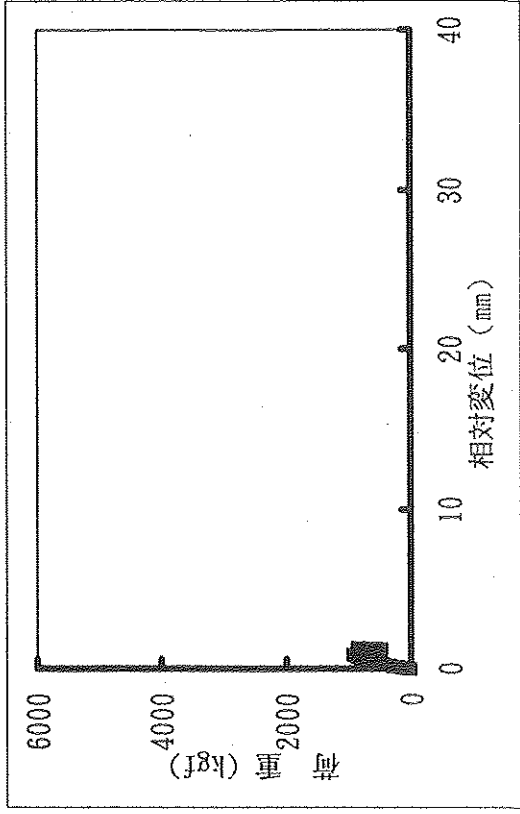


図2-3-3-9 柱-梁交差部 (梁上端) の相対変位 (N07, N08)

試験体名：BP-12-38

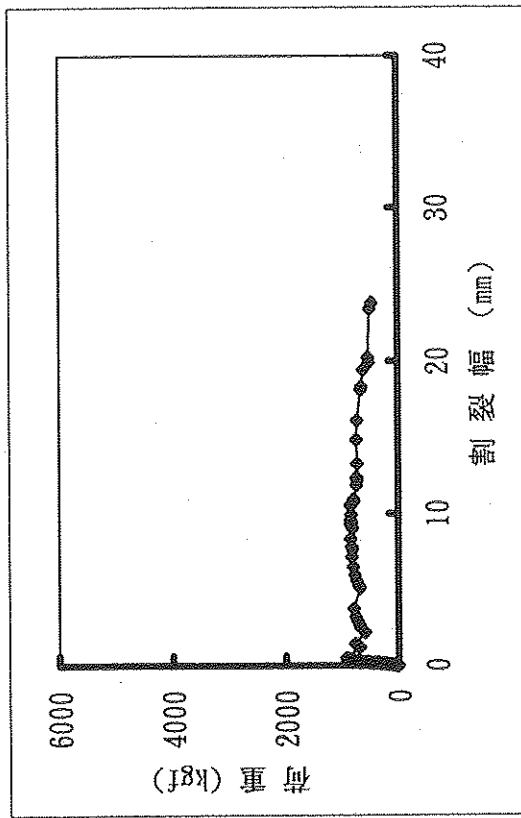


図2-3-3-10 接合部における梁材の割裂幅

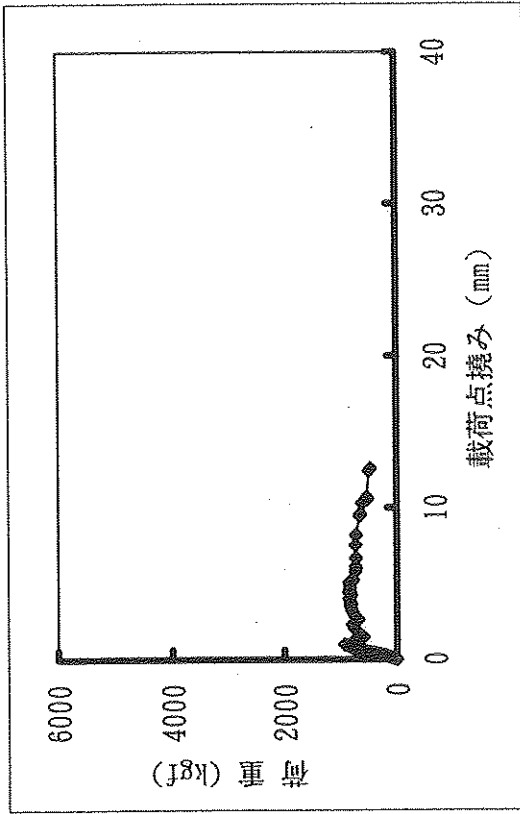


図2-3-3-11 載荷点の曲げ撓み

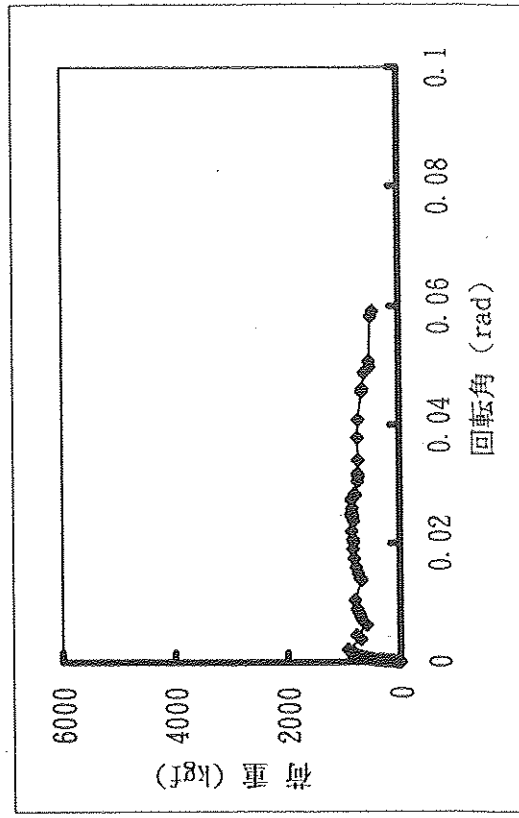


図2-3-3-12 横架材の傾き (N01, 2を基準)

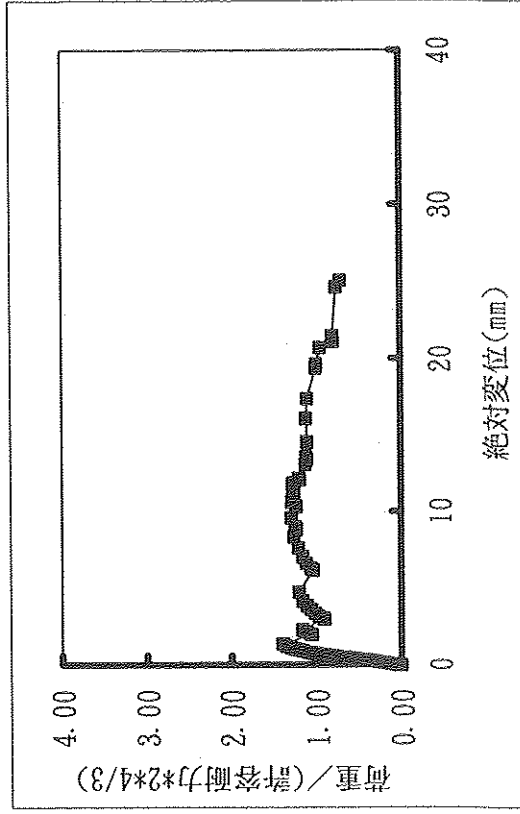


図2-3-3-13 N05, 6の変位と許容応力度による比較値との関係

試験体名：BP-12-90

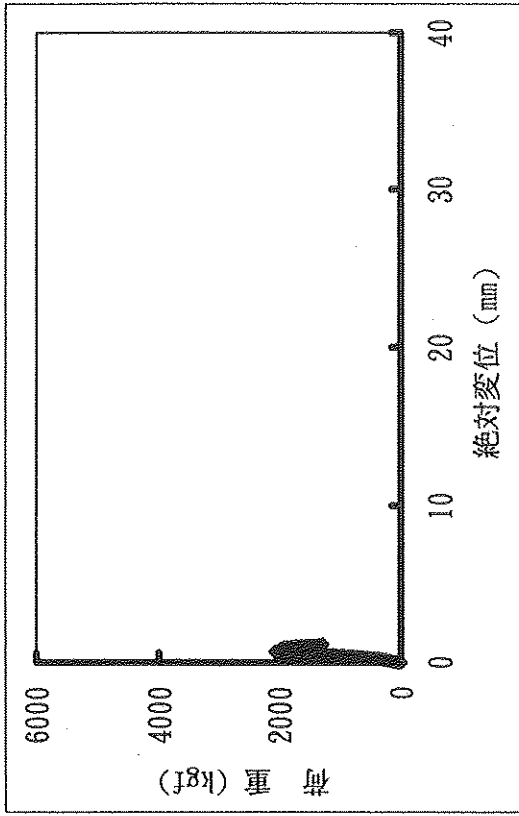


図2-3-3-14 梁支持点の絶対変位 (N01, N02)

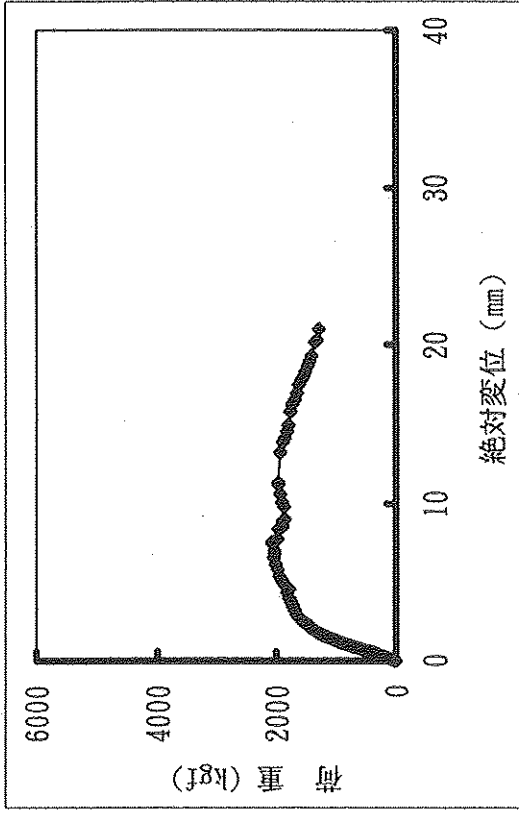


図2-3-3-15 載荷点の絶対変位 (N03, N04)

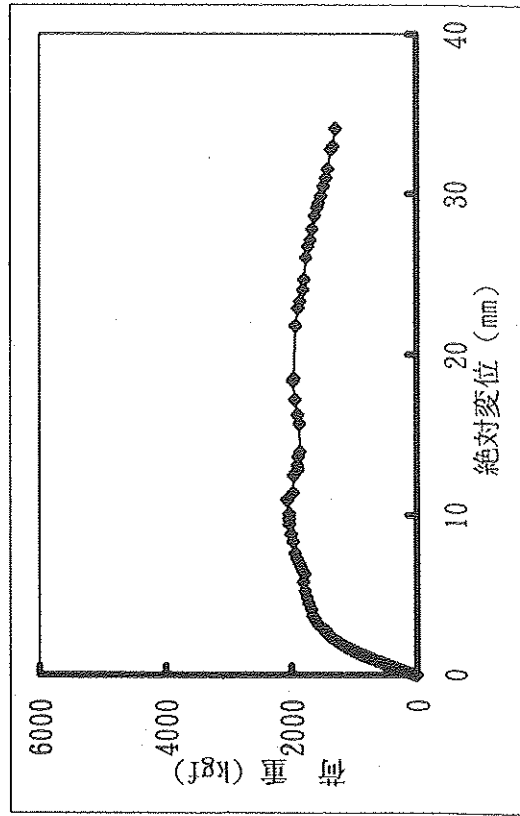


図2-3-3-16 柱-梁交差部 (梁下端) の絶対変位 (N05, N06)

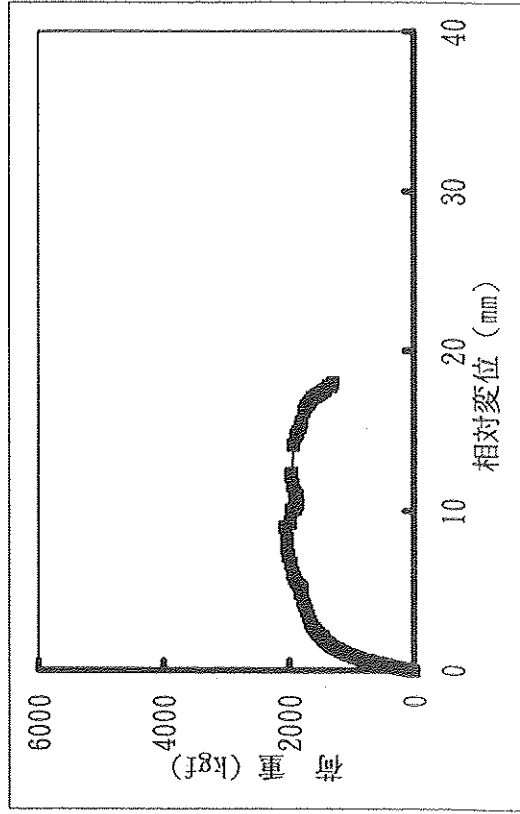


図2-3-3-17 柱-梁交差部 (梁上端) の絶対変位 (N07, N08)

試験体名：BP-12-90

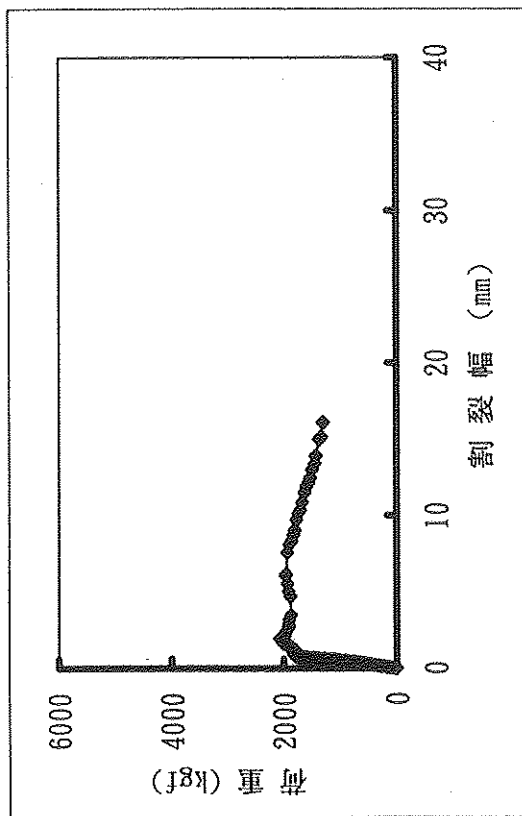


図2-3-3-18 接合部における梁材の割裂幅

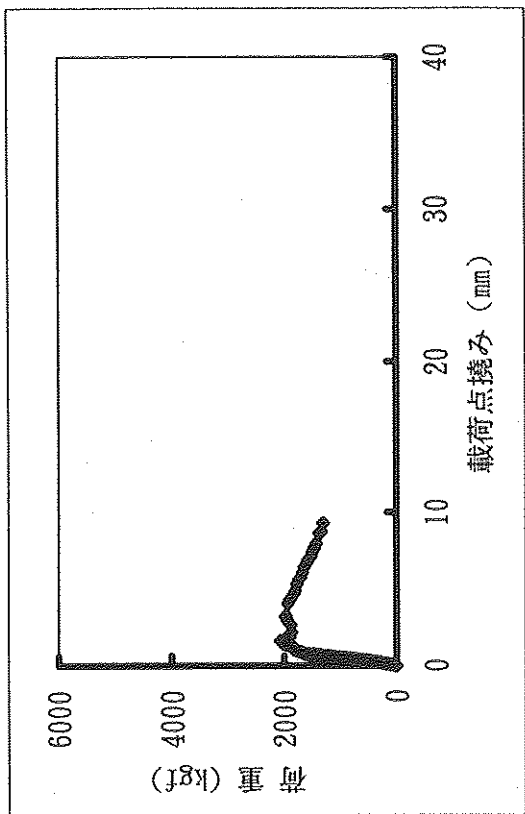


図2-3-3-19 載荷点の曲げ撓み

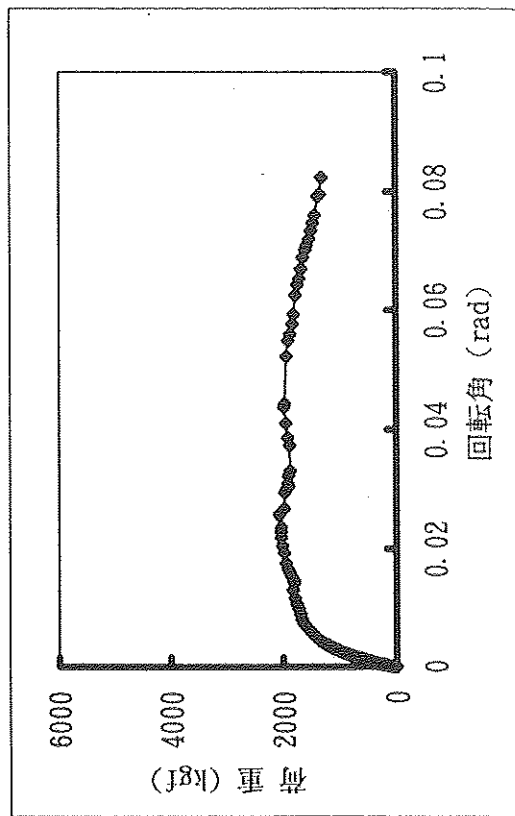


図2-3-3-20 横架材の傾き (N01, 2を基準)

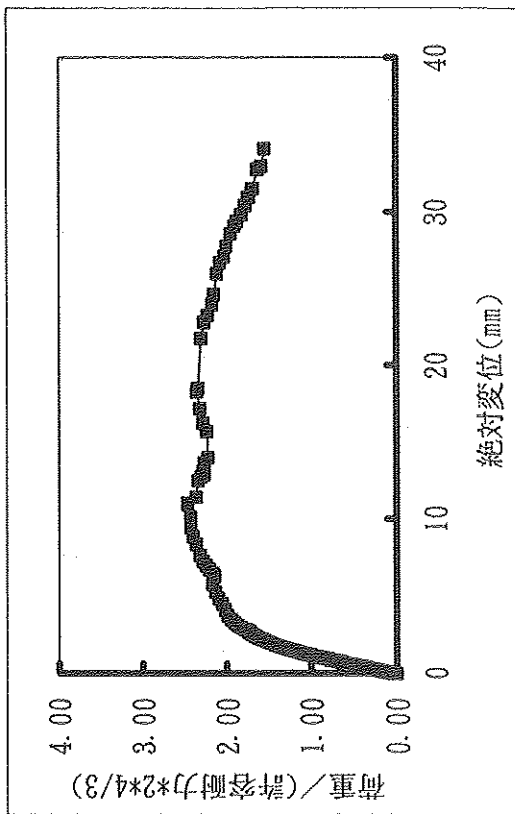


図2-3-3-21 N05, 6の変位と許容応力度による比較値との関係

試験体名：BP-12-150

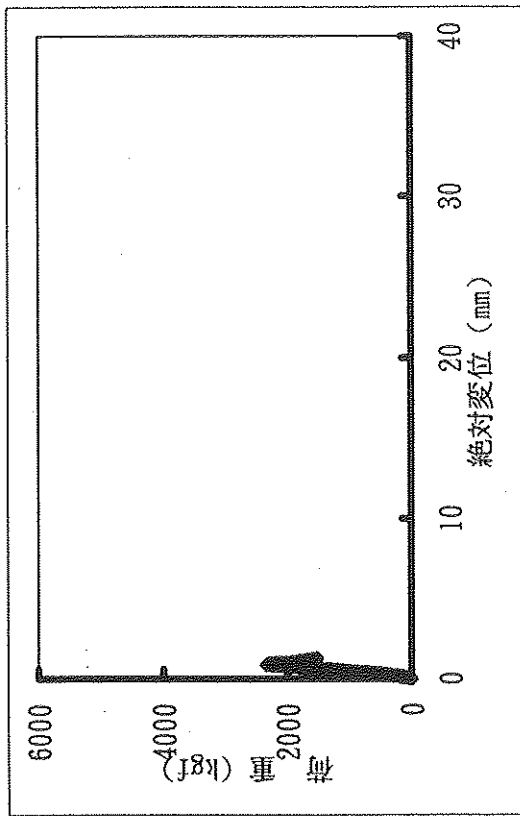


図2-3-3-22 梁支持点の絶対変位 (N01, N02)

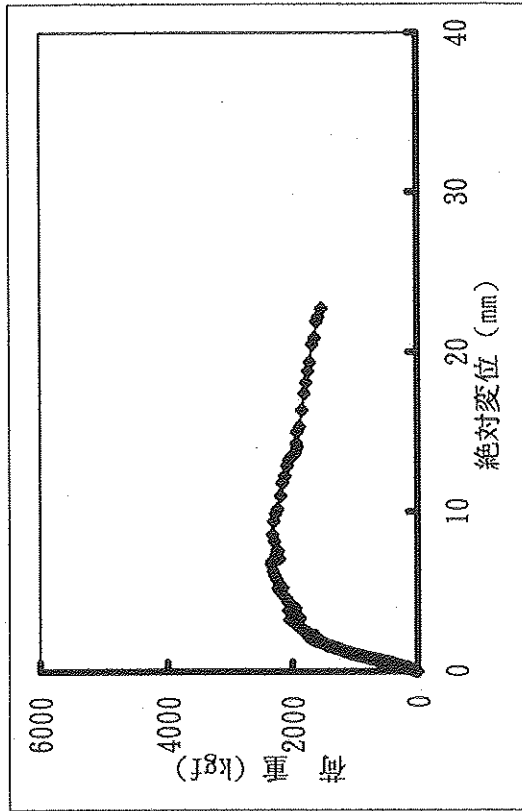


図2-3-3-23 載荷点の絶対変位 (N03, N04)

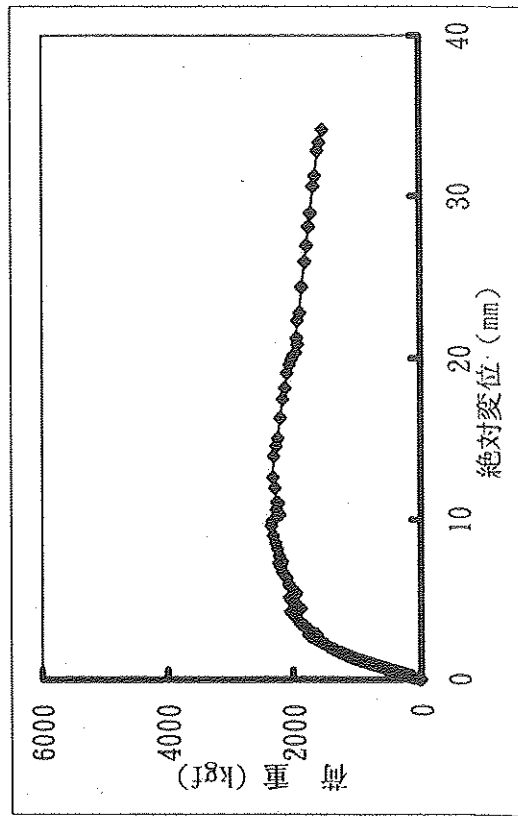


図2-3-3-24 柱-梁交差部 (梁下端) の絶対変位 (N05, N06)

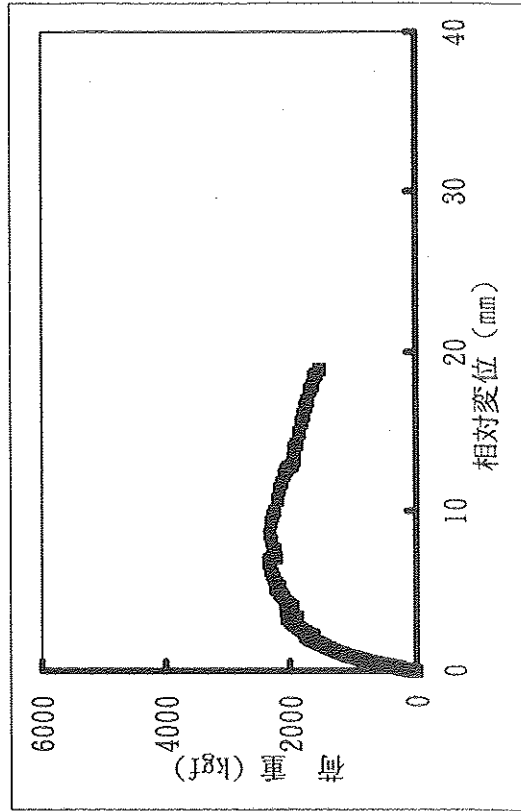


図2-3-3-25 柱-梁交差部 (梁上端) の相対変位 (N07, N08)

試験体名：BP-12-150

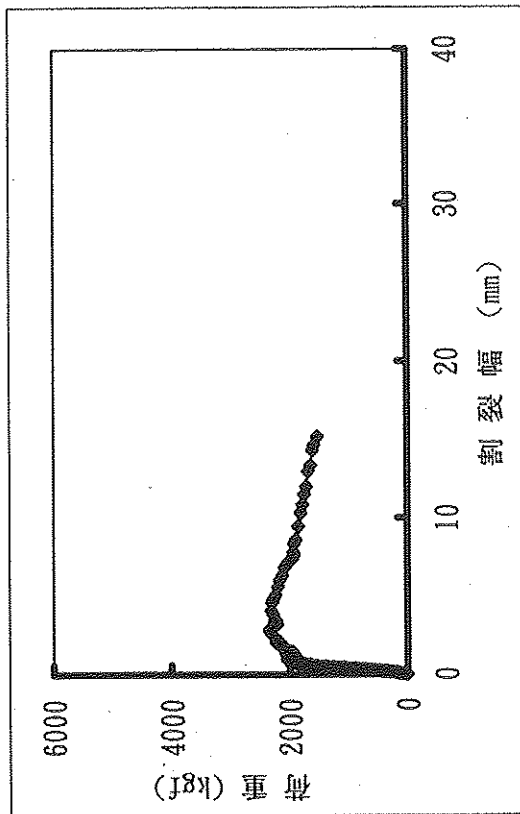


図2-3-3-26 接合部における梁材の割裂幅

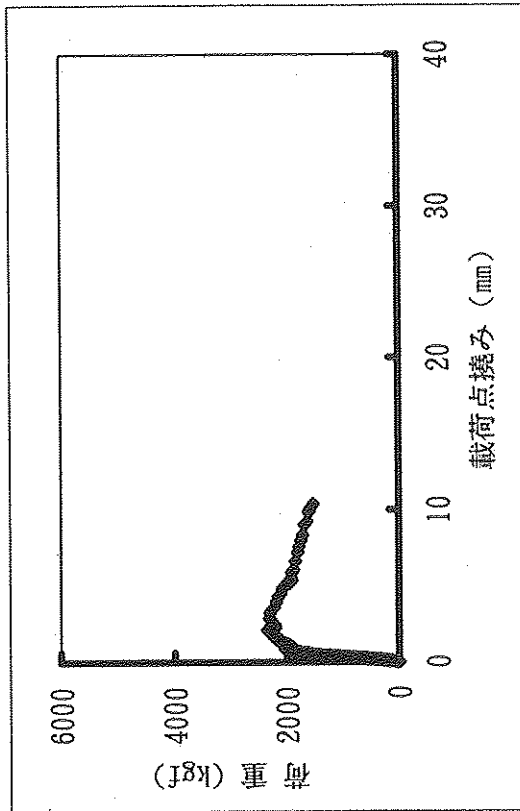


図2-3-3-27 載荷点の曲げ撓み

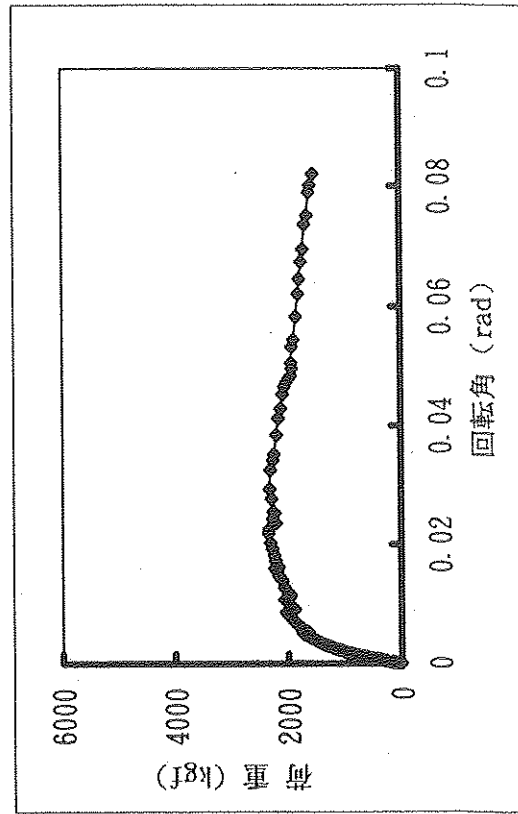


図2-3-3-28 横架材の傾き (N01, 2を基準)

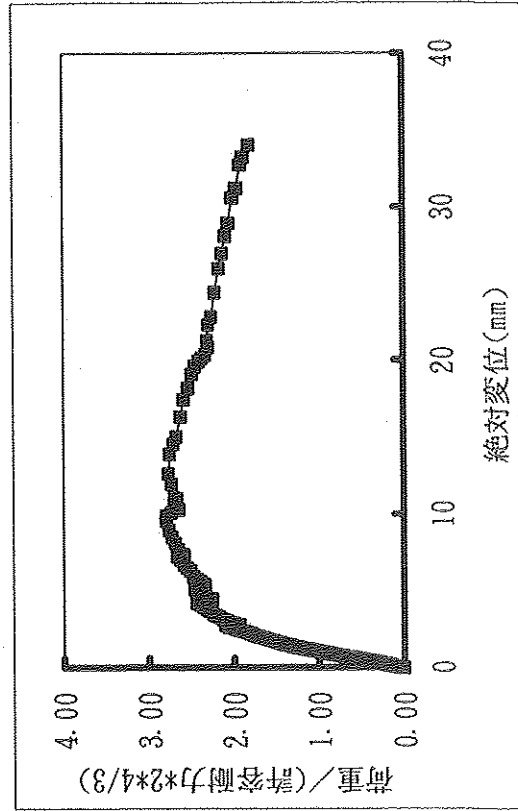


図2-3-3-29 N05, 6の変位と許容応力度による比較値との関係

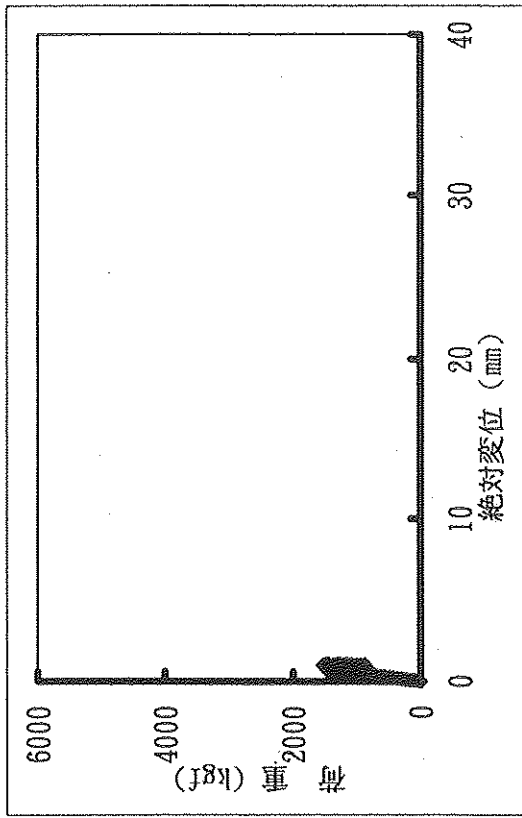


図2-3-3-30 梁支持点の絶対変位 (N01, N02)

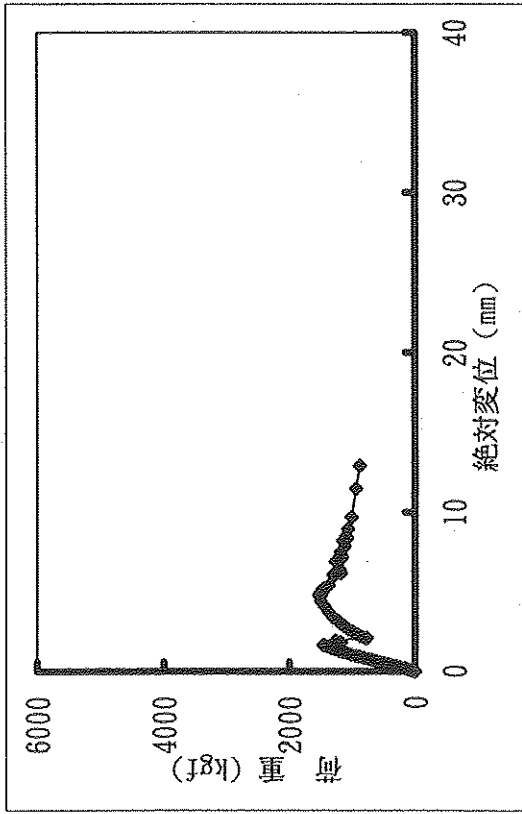


図2-3-3-31 載荷点の絶対変位 (N03, N04)

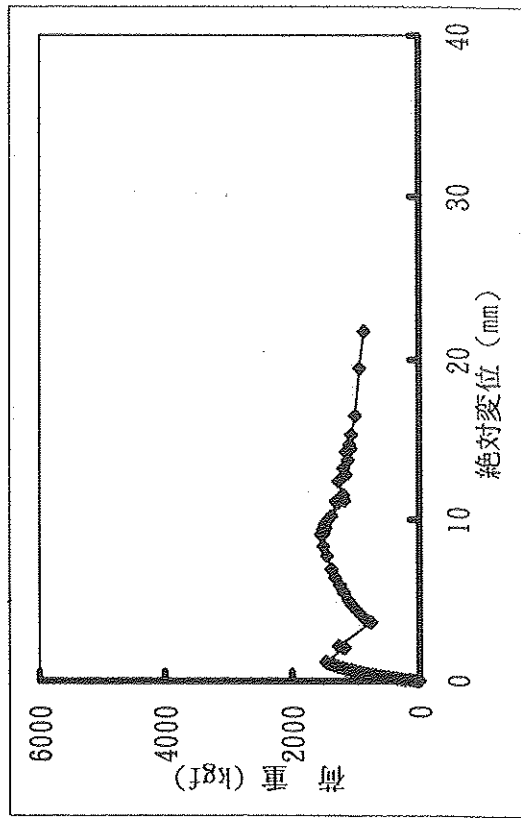


図2-3-3-32 柱-梁交差部 (梁下端) の絶対変位 (N05, N06)

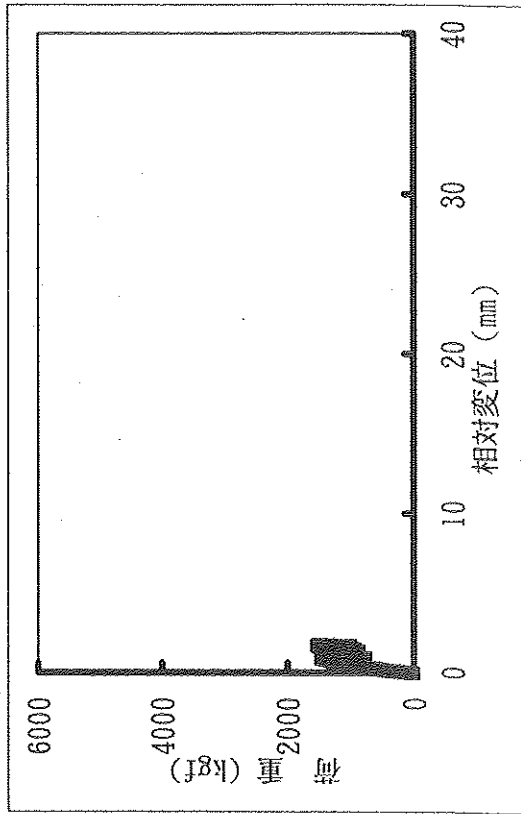


図2-3-3-33 柱-梁交差部 (梁上端) の相対変位 (N07, N08)

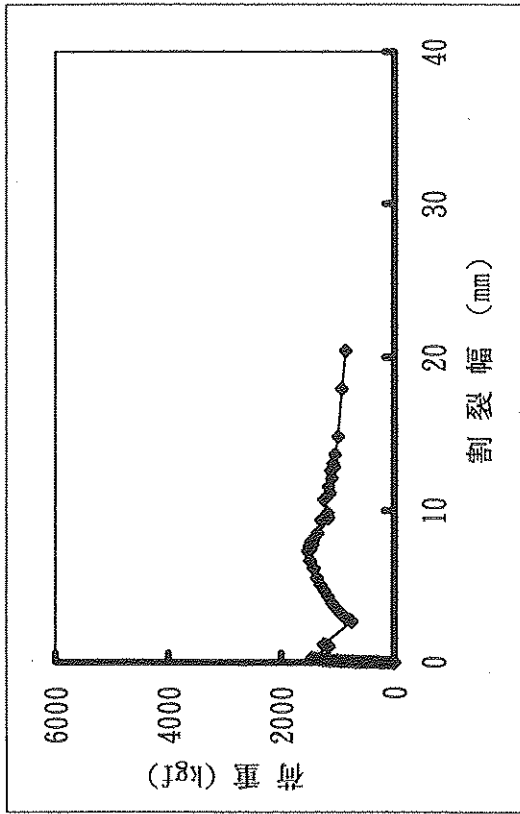


図2-3-3-34 接合部における梁材の割裂幅

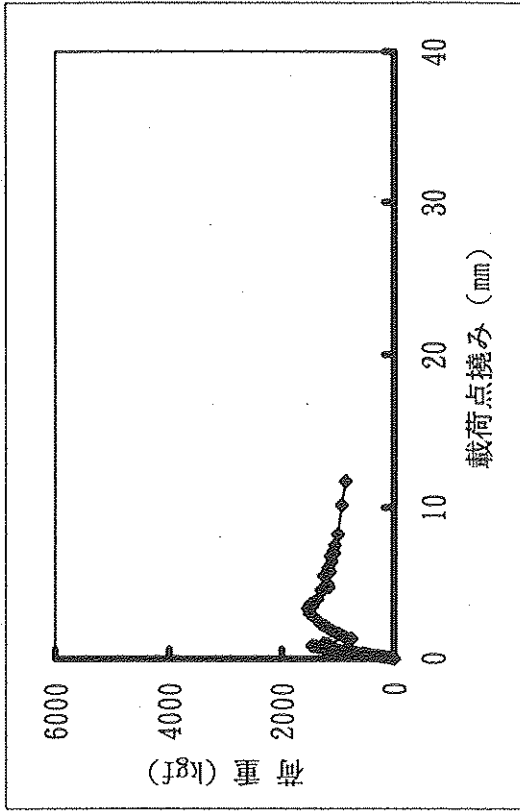


図2-3-3-35 載荷点の曲げ撓み

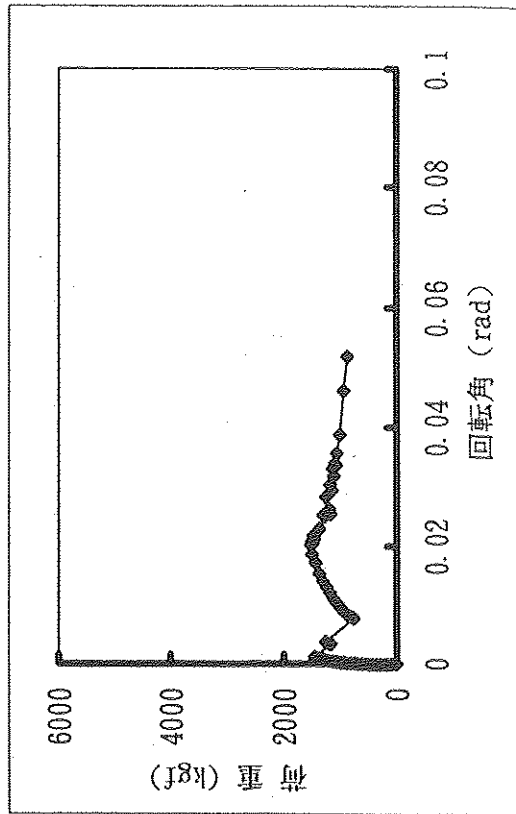


図2-3-3-36 横架材の傾き (NO1, 2を基準)

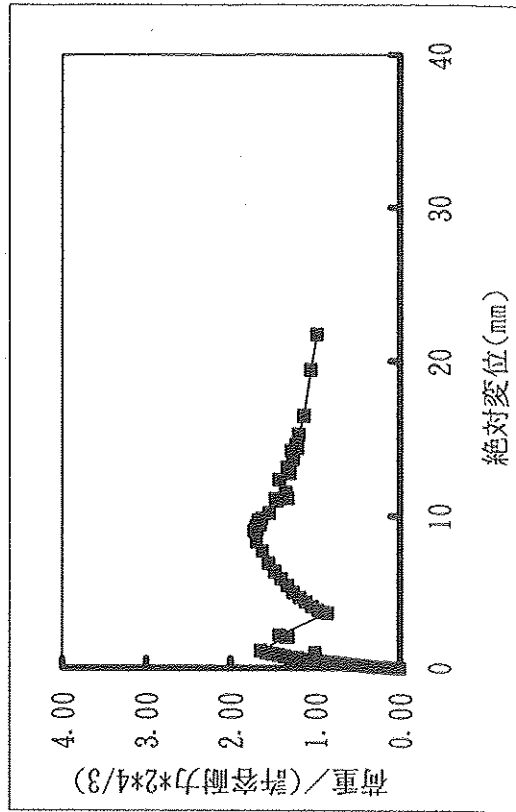


図2-3-3-37 NO5, 6の変位と許容応力度による比較値との関係

試験体名：BP-16-90

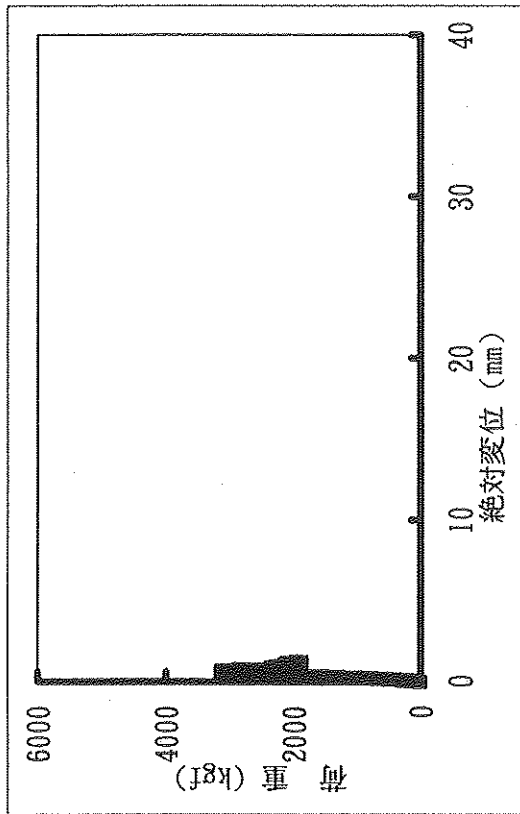


図2-3-3-38 梁支持点の絶対変位 (N01, N02)

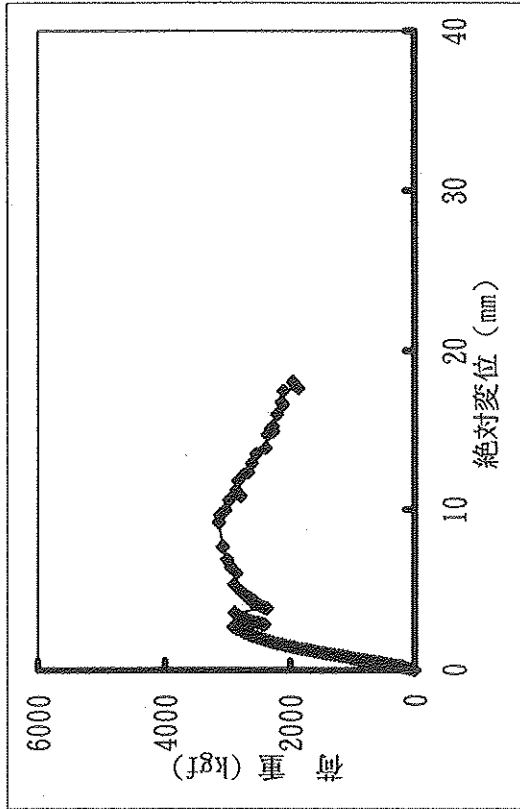


図2-3-3-39 載荷点の絶対変位 (N03, N04)

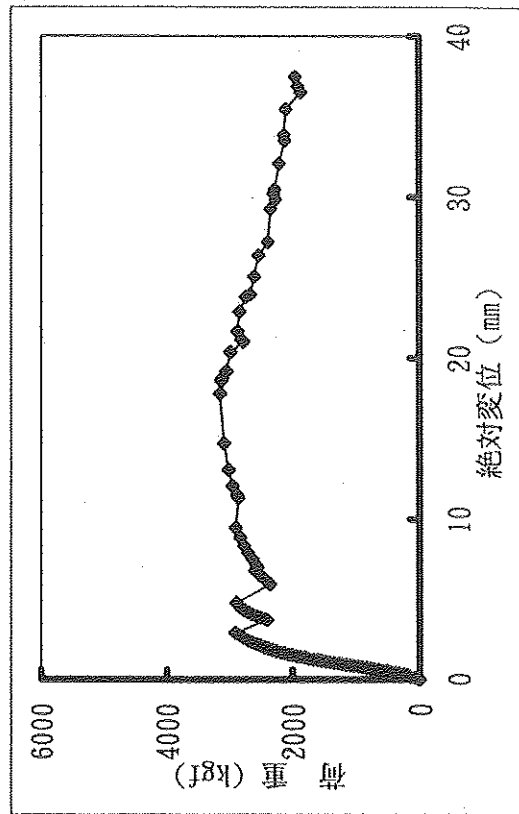


図2-3-3-40 柱-梁交差部 (梁下端) の絶対変位 (N05, N06)

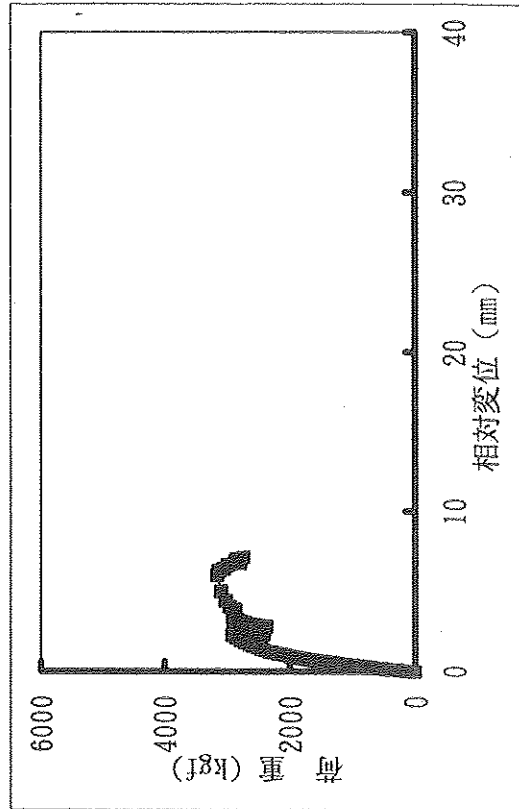


図2-3-3-41 柱-梁交差部 (梁上端) の相対変位 (N07, N08)

試験体名：BP-16-90

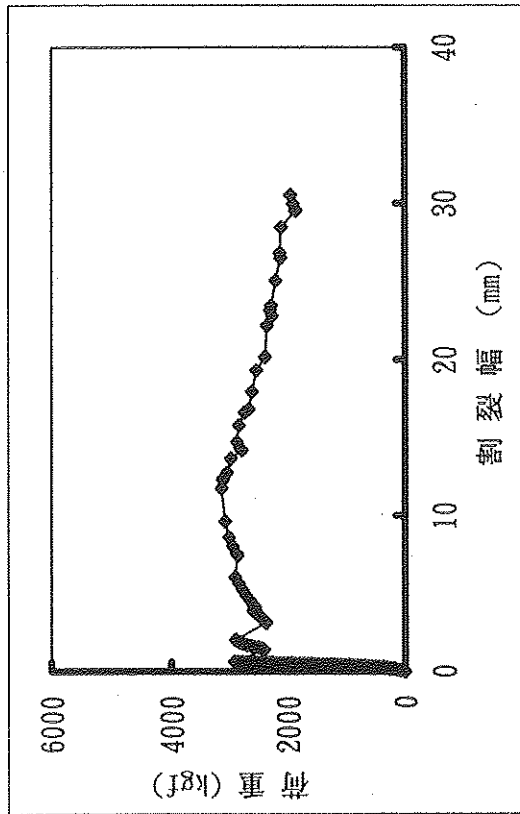


図2-3-3-42 接合部における梁材の割裂幅

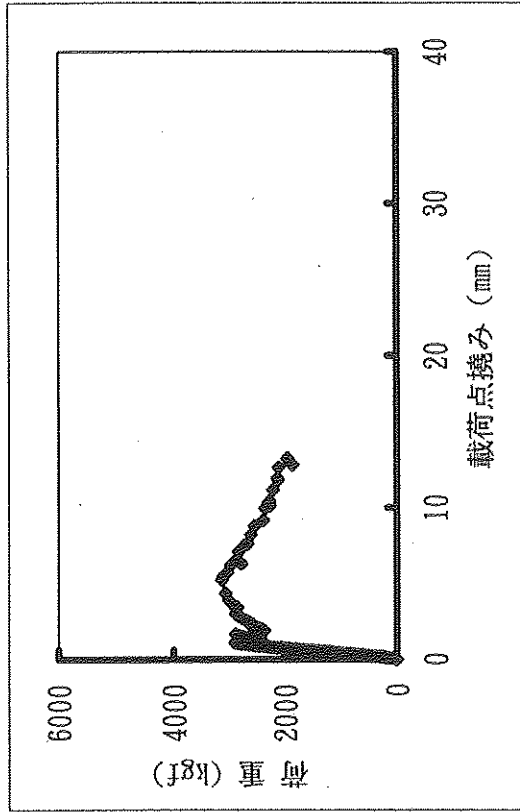


図2-3-3-43 載荷点の曲げ撓み

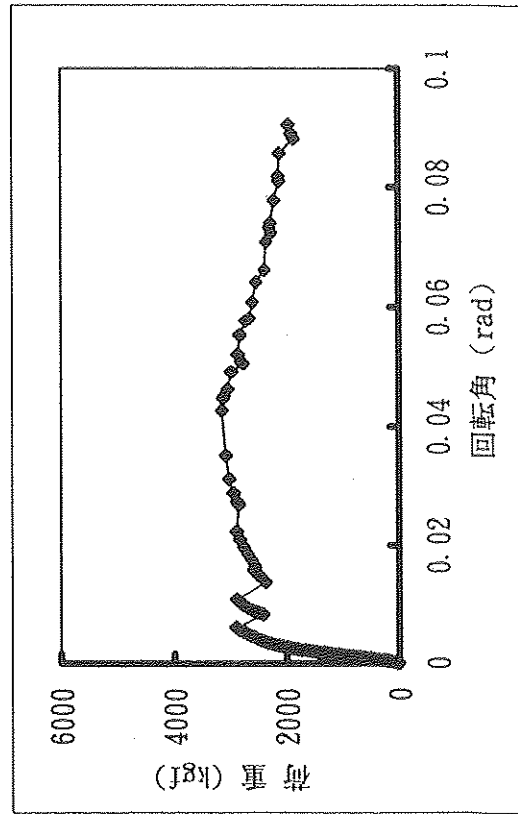


図2-3-3-44 横架材の傾き (NO1, 2を基準)

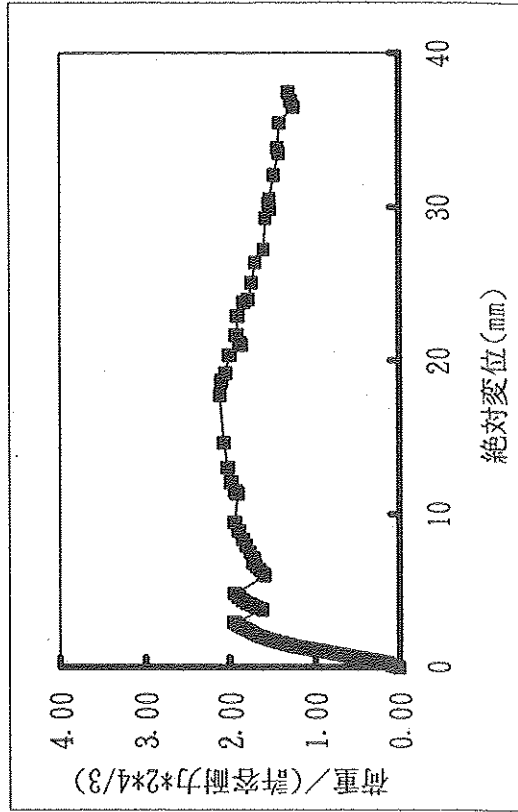


図2-3-3-45 NO5, 6の変位と許容応力度による比較値との関係

試験体名：BP-16-150

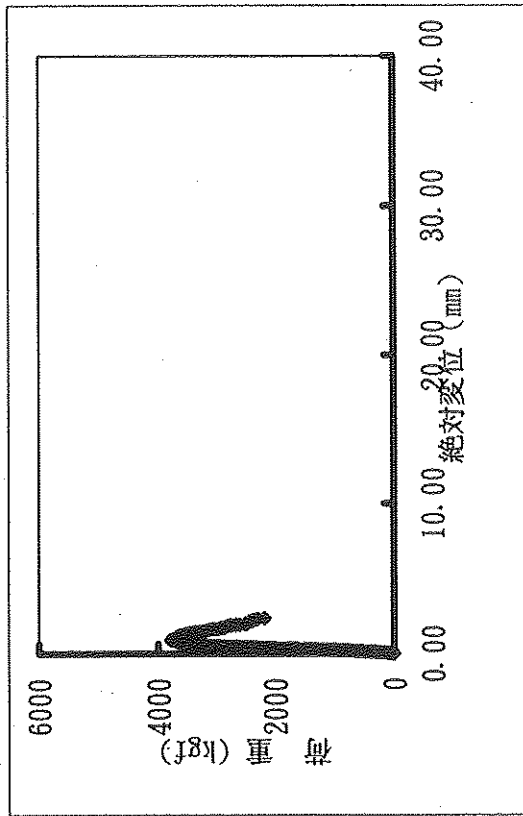


図2-3-3-46 梁支持点の絶対変位 (N01, N02)

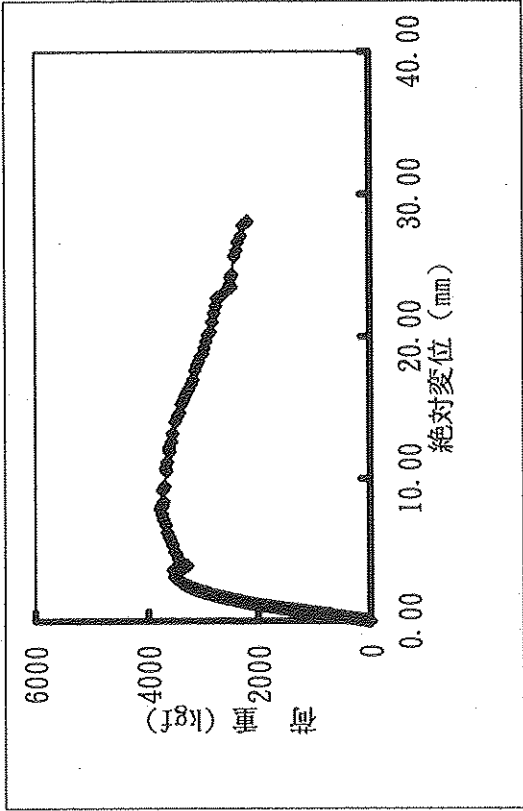


図2-3-3-47 荷点の絶対変位 (N03, N04)

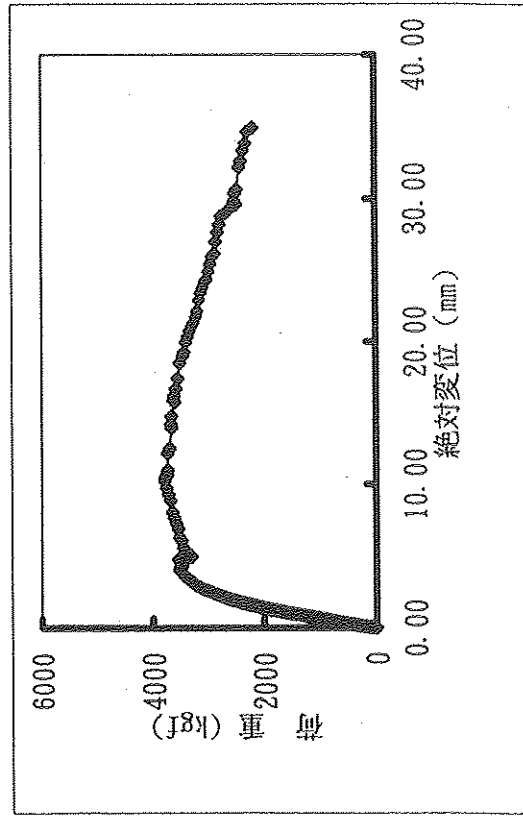


図2-3-3-48 柱-梁交差部 (梁下端) の絶対変位 (N05, N06)

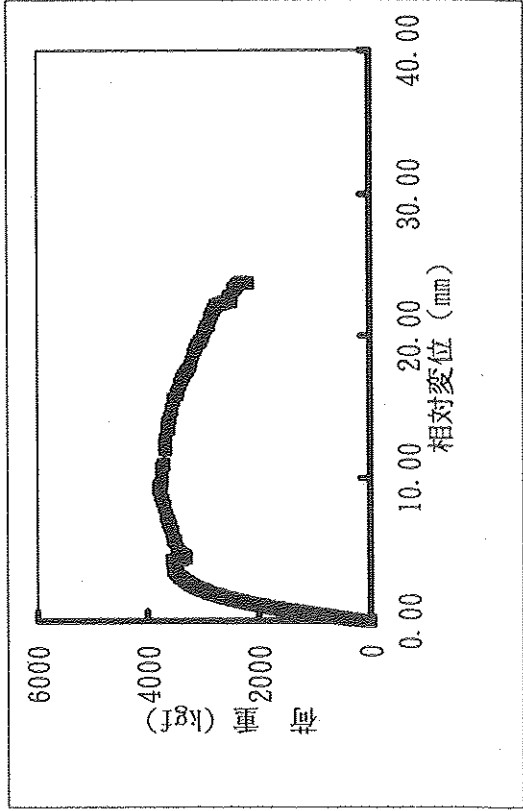


図2-3-3-49 柱-梁交差部 (梁上端) の相対変位 (N07, N08)

試験体名：BP-16-150

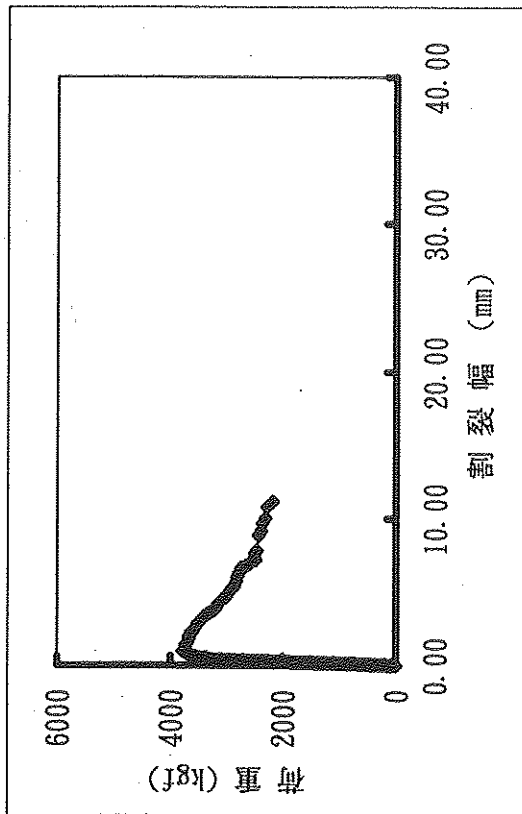


図2-3-3-50 接合部における梁材の割裂幅

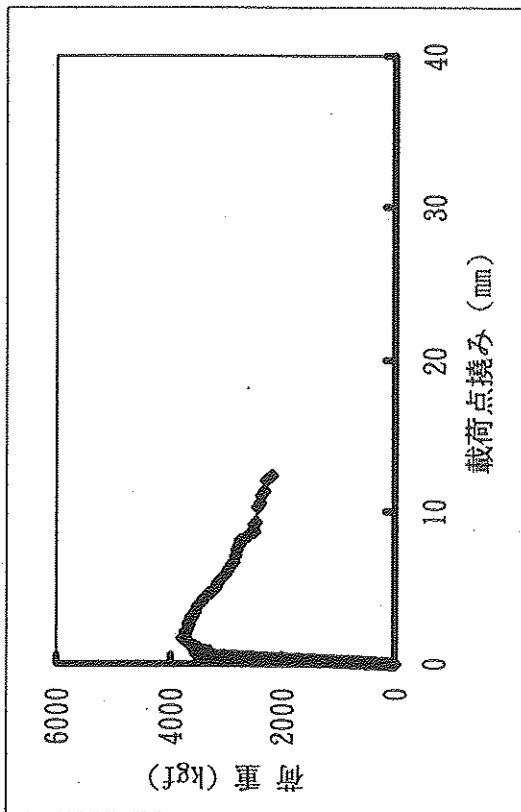


図2-3-3-51 載荷点の曲げ撓み

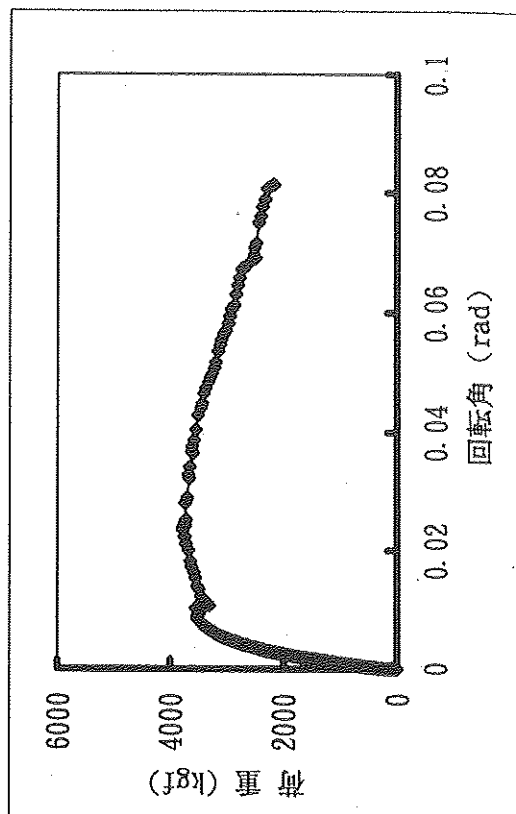


図2-3-3-52 横架材の傾き (NO1, 2を基準)

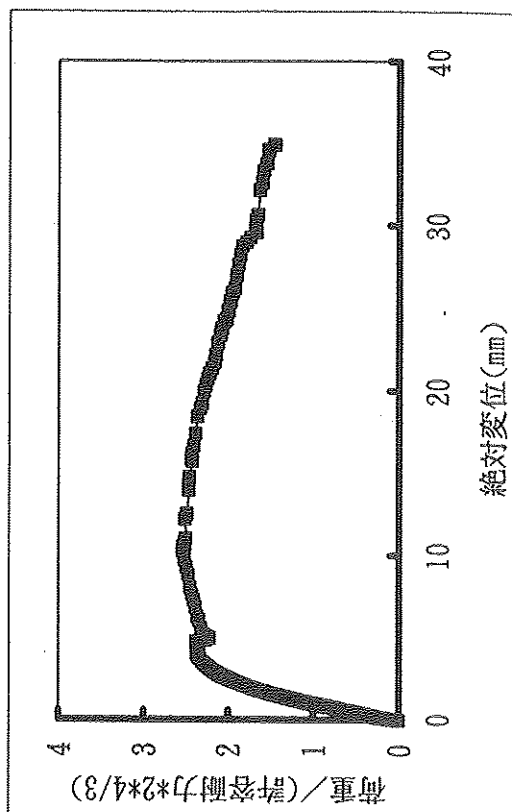


図2-3-3-53 NO5, 6の変位と許容応力度による比較値との関係

2.4 まとめ

構造用LVLとドリフトピンの接合部（木-木）において、引張り型及び曲げ型のせん断試験を行った結果、以下の傾向が認められた。

① 木構造設計基準の端距離及び縁距離に準拠している試験体においては、基準値により算定された値を上回ることが、認められた。

② 破壊形態及び強度特性からの考察

1) 引張り型（平行方向）

破壊形態は、総てせん断により破壊されており、せん断耐力は、端距離の影響を受けていた。縁距離の変化による耐力への影響は、 $1.5d$ 以下の場合、著しく低下する傾向が認められた。

2) 引張り型（直交方向）

破壊形態は、総て横引張りにより破壊されており、せん断耐力は、端距離の影響を著しく受けていた。縁距離の変化による耐力への影響は、 $4d$ 以上の場合、ほとんど受けていないことが明らかとなった。

3) 曲げ型せん断実験

破壊形態は、総て梁の割裂により破壊されており、せん断耐力は、主材厚の影響を受けるが、材幅が 152mm ($12\text{mm}:l/d=12.7$ 、 $16\text{mm}:l/d=9.5$)においては、その影響が少なくなっていた。

③ 16mm のドリフトピンのせん断耐力は、試験方法の差（引張り試験型、曲げ試験型）により、著しく異なった値を示した。その為、せん断耐力に対する的確な判断が必要と思われる。

今回は、特に引張り型せん断試験のドリフトピンの l/d の値が小さい為、ドリフトピン自身の曲げ剛性が勝っていたので、破壊時においてもドリフトピンの曲がりが少ない状態となった。今後においては、ドリフトピンの長い試験体を使用してドリフトピンと l/d に関する資料を追加し、整備する必要があると思われる。

3. LVLのラグスクリューによる接合

3. 1 目的

大規模木構造が数多く建てられるようになり、それに伴って、接合部の種類も多様になってきた。元々、集成材の接合にはボルトが主であったが、最近では、ドリフトピンやラグスクリューも、それぞれの長所を生かして使われるようになってきている。ラグスクリューはドリフトピンほど使用頻度は高くないが、ボルトのように先穴を貫通させる必要がないのと、先穴の加工精度をさほど要求されないため、ボルトの使いづらい部位や、大断面の集成材同士を継ぐ場合などに有効である。

木構造計算規準には集成材に対するラグスクリューの設計耐力があるが、この値をLVLにそのまま当てはめることはLVLの性質上難しい。LVLは単板をエレメントとしているので、繊維直角方向に対する強度が集成材より劣ると考えられる。そこで、本実験ではLVL接合部にラグスクリューを用いた場合の耐力を実験によって求め、また同比重のベイマツ集成材の実験値との比較によって許容耐力設定の際の基礎データとすることを目的とした。

3. 2 実験

3. 2. 1 供試材料

ラグスクリュー： 12φ (l=120mm)、16φ (l=190mm)
LVL： 120Eと140Eの2種類。比重分布を図1に示した。
集成材： ベイマツ、比重0.55-0.57

3. 2. 2 試験体

(1) LVL試験体

加力方向： 繊維平行 (記号A) および直交 (記号B)
打ち込み面： 板目 (積層面に垂直、記号1) および柃目 (積層方向に平行、記号2)
端距離： 繊維平行 --- 7d、10d、13d
 繊維直交 --- 7d、12d
縁距離： 繊維平行 --- 3.5d - 4.75d
 繊維直交 --- 4d

試験体の種類と記号を表1に、また形状・寸法を図2に示した。試験体記号の初めの文字は、Aが平行加力、Bが直交加力で、1は板目打ち、2は柃目打ちである。120と140はLVLのヤング係数で、それぞれ、 $120 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $140 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ を表している。12と16はラグスクリューの直径を、7d、10d等は端距離 (繊維方向に計ったラグから端部までの距離) を示している。

試験体は6mm厚さの鋼板を側板として、ラグを表裏から一本ずつ打ち込んだ。先穴は規準通りに開けた。

(2) 集成材試験体

基本的にはLVLの平行加力と同じであるが、集成材原板の寸法の関係で、ラグ・スクリュー間の寸法がやや短い。

3. 2. 3 試験方法

鋼板とLVLに丸鋼を差し込んで、引張り力を加えた。鋼板とLVLとの相対変位を2本の電気式変位計で測定した。

3. 3 結果および考察

3. 3. 1 LVL

表2に一定スリップ時の荷重、降伏荷重、破壊荷重および破壊形態を示した。ここで、 P_y は降伏荷重で、図3のように、荷重-変位曲線を2直線で近似したときの交点の荷重と定義した。 δ_{max} は P_{max} 時の主材と側材間の相対変位である。破壊形態は大きく分けて、3種類あった(図4)。繊維平行加力の場合は 12ϕ 、 16ϕ ともすべて木口に近い方のラグ・スクリューが降伏し、最終的にはその部分のLVLが割裂をおこした。繊維直交加力の場合は、木口に近いラグ・スクリューがLVLを引きちぎるように破壊するもの(L2)と、LVLが断面全体にわたって引っ張り破壊するもの(L3)があった。

(1) 繊維平行加力

- 1) P_{max} と、 P_y は打込み面(板目、桁目)による影響が大きく、桁目は桁目の約70%であった。この傾向は P_y より P_{max} の方が、また、 12ϕ より 16ϕ の方が顕著だった(図5)。桁目打ちは接合部の破壊がLVL全体に及ぶ恐れがあるので、極力避けたほうがよい。
- 2) P_y と P_{max} の比は 16ϕ 12ϕ とも70%-80%であった(図6)。
- 3) 端距離の影響を見ると、 12ϕ では $10d$ までは P_{max} は増加するが、それ以上ではほぼ一定になった。一方 16ϕ では $13d$ でもまだ増加の傾向にあった。従って、最適端距離は一律に決められないが、実際施工を考えると $10d$ が適当と考えられる。
- 4) $120E$ と $140E$ の間に有意差は見られなかった。この理由としては、 $120E$ のヤング係数が $140E$ に近かったためと考えられる。
- 5) δ_{max} と P_{max} の間には、正の相関があった(図7)。
- 6) 荷重-変位曲線は対数曲線または2直線で近似できた(図8、9、10、表3)。

(2) 繊維直交加力

- 1) P_{max} は繊維平行加力同様、打込み面の影響が大きかった(図11)。
- 2) P_y と P_{max} の比は 16ϕ 12ϕ とも30%-60%で、平行加力よりも低かった(図12)。
- 3) 端距離の影響は平行加力以上に大であった。端距離の P_y に及ぼす影響は、平行加力に比べると少なかった。

- 4) 120Eと140Eの間に有意差は見られない。
- 5) δ_{max} と P_{max} の間には、正の相関があった(図13)。
- 6) 荷重変位曲線は対数曲線で近似できたが、平行加力と違って、2直線近似は難しかった(図14)。
- 7) 板目打ちと桁目打ちの耐力比は割裂強度の比に近かった(図15)。

3. 3. 2 集成材

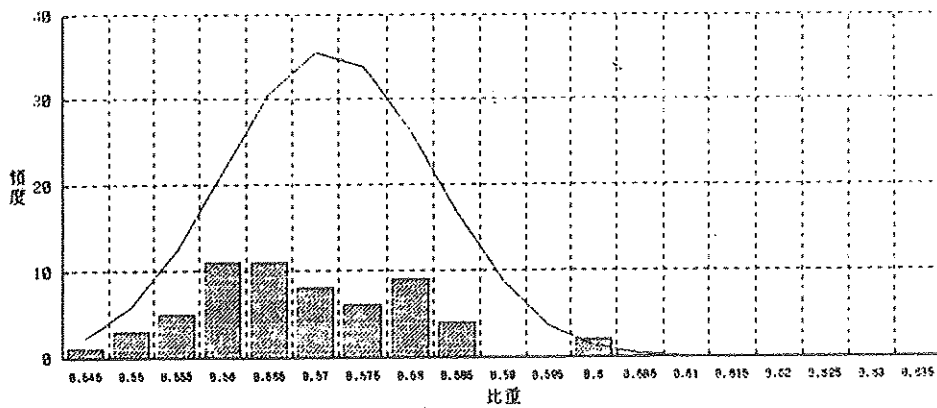
図16にLVLの板目打ちと集成材試験体の荷重-変位曲線の対数曲線近似を示した。これを眺めると、板目打ちの場合には、LVLと集成材との間には比重が同程度ならば、荷重-変位曲線に差がないと言えよう。

3. 4 まとめ

- 1) 繊維平行加力の場合、板目打ちでは比重の同じ集成材と同等の性能である。
- 2) 繊維平行加力で、桁目打ちの場合は板目打ちの70%とする。
- 3) 繊維直交加力の場合、端距離の影響が平行加力以上に大きいので、設計の際注意が必要である。

LVL等級	120E	140E
平均比重	0.571	0.594
最大	0.602	0.636
最小	0.550	0.565
標準偏差	0.0111288	0.0131105
変動係数 (%)	1.949	2.207

LVL等級120E



LVL等級140E

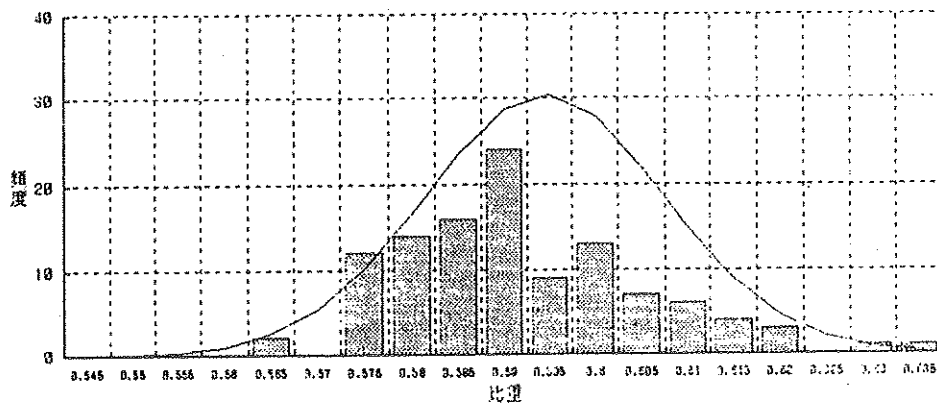


図1. 実験に用いたLVLの比重分布
 図中の実線は正規化したもの

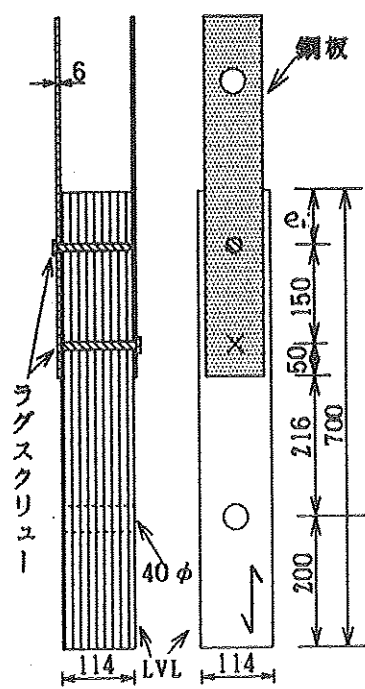
表1. 試験体の種類

1) 繊維平行加力

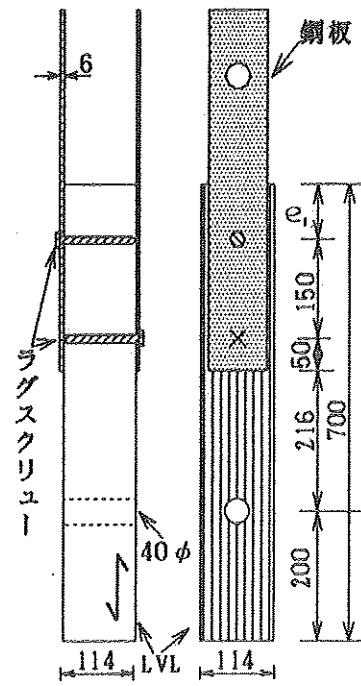
	ガスリュー打ち込み面	LVL等級	端距離	縁距離	試験体記号
			e1	e2	
12Φ	板目	120E	7d	4.75d	A1-120E-12-7d
		140E	7d	4.75d	A1-140E-12-7d
		140E	10d	4.75d	A1-140E-12-10d
		140E	13d	4.75d	A1-140E-12-13d
	桁目	140E	7d	4.75d	A2-140E-12-7d
16Φ	板目	120E	7d	3.56d	A1-120E-16-7d
		140E	7d	3.56d	A1-140E-16-7d
		140E	10d	3.56d	A1-140E-16-10d
		140E	13d	3.56d	A1-140E-16-13d
	桁目	120E	7d	3.56d	A2-140E-16-7d

2) 繊維直交加力

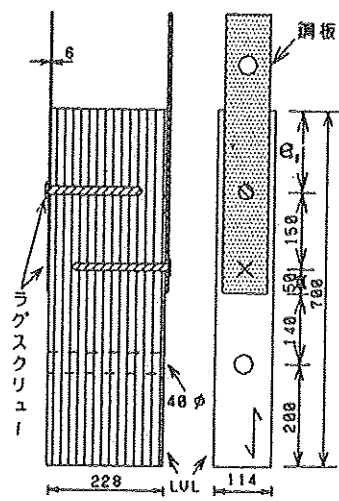
12Φ	板目	120E	7d	4d	B1-120E-12-7d
		120E	12d	4d	B1-120E-12-12d
		140E	7d	4d	B1-140E-12-7d
		140E	12d	4d	B1-140E-12-12d
	桁目	120E	7d	4d	B2-120E-12-7d
		120E	12d	4d	B2-120E-12-12d
		140E	7d	4d	B2-140E-12-7d
		140E	12d	4d	B2-140E-12-12d
16Φ	板目	120E	7d	4d	B1-120E-16-7d
		120E	12d	4d	B1-120E-16-12d
		140E	7d	4d	B1-140E-16-7d
		140E	12d	4d	B1-140E-16-12d
	桁目	120E	7d	4d	B2-120E-16-7d
		120E	12d	4d	B2-120E-16-12d
		140E	7d	4d	B2-140E-16-7d
		140E	12d	4d	B2-140E-16-12d



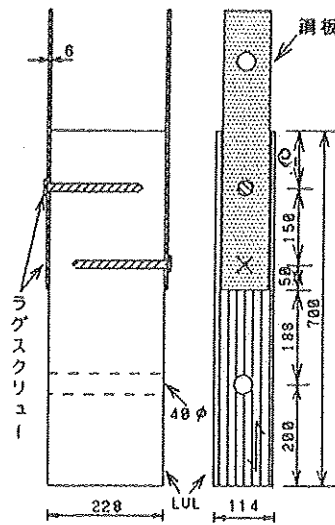
12φ、板目打ち



12φ、柱目打ち



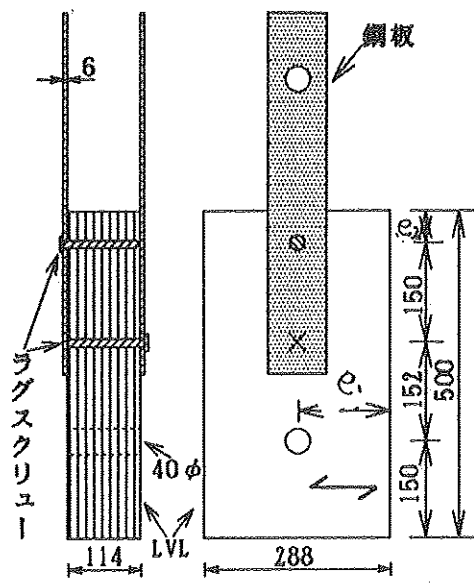
16φ、板目打ち



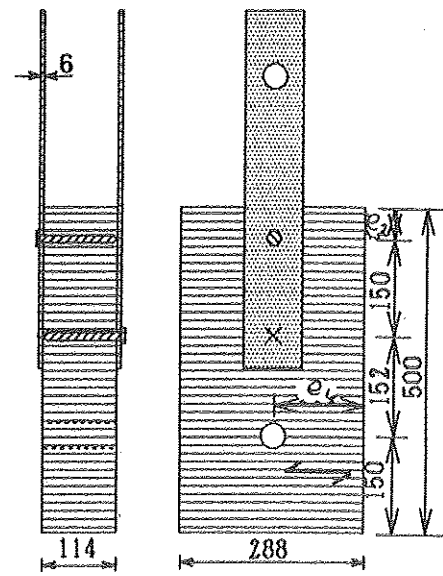
16φ、柱目打ち

図2-1. 試験体の形状・寸法（繊維平行加力）

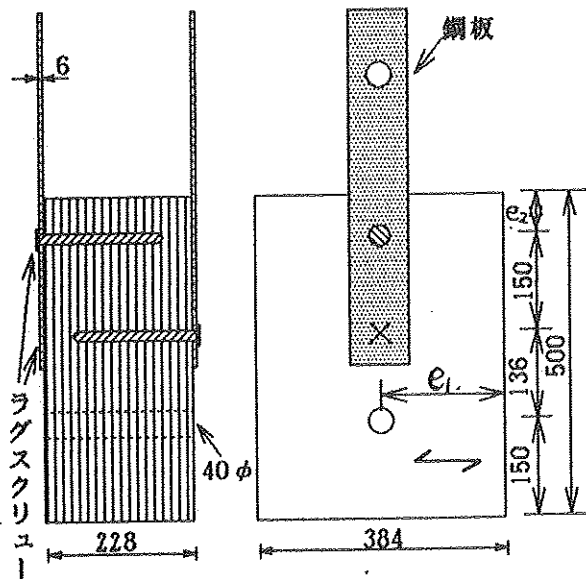
e1: 端距離



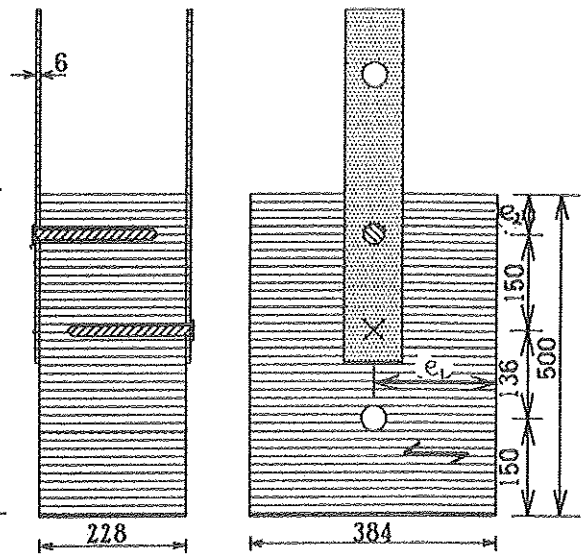
12φ、板目打ち



12φ、柁目打ち



16φ、板目打ち



16φ、柁目打ち

図2-2. 試験体の形状・寸法（繊維直交加力）

e1：端距離

e2：縁距離

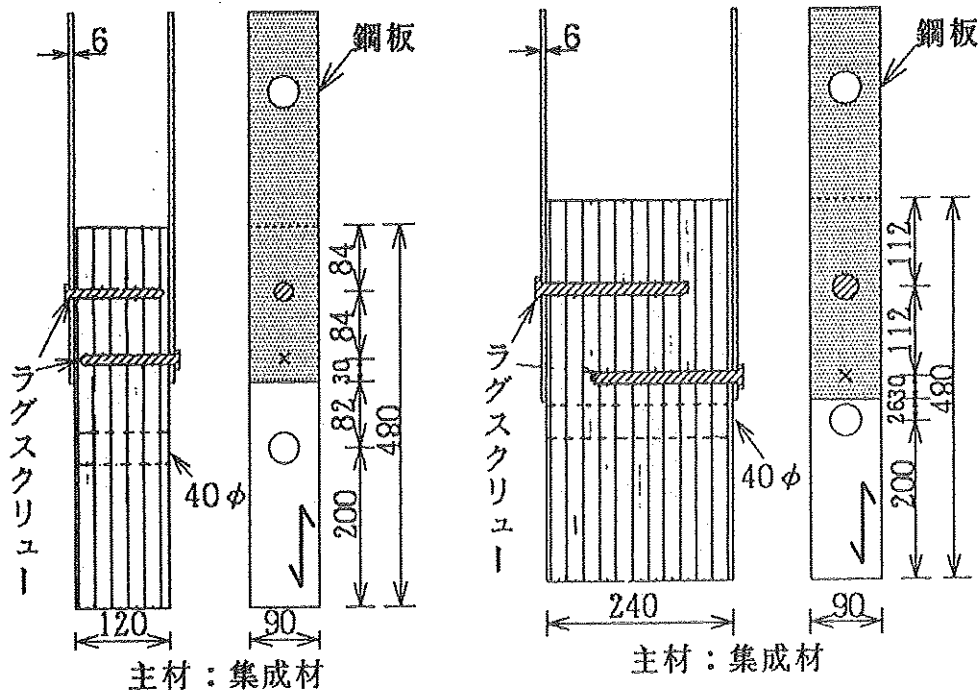


図2-3. 試験体の形状・寸法（集成材）

- | | |
|----------|----------|
| 12φ、板目打ち | 12φ、柃目打ち |
| 16φ、板目打ち | 16φ、柃目打ち |

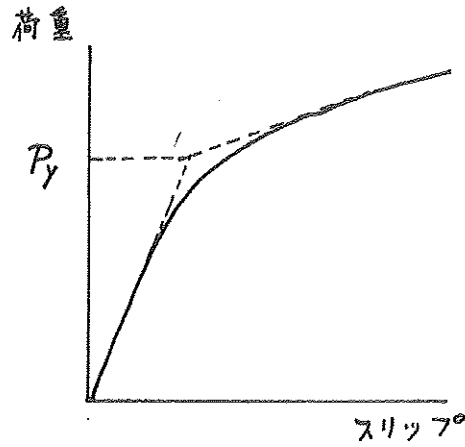


図3. 降伏荷重(P_y)の定義

表2. LVLラグスクリュー接合部のせん断試験結果
繊維平行加力

1) 繊維平行加力・12φ

試験体記号	No.	P1 (kgf)	P2 (kgf)	P4 (kgf)	Py (kgf)	Pmax (kgf)	δ max (mm)	破壊形態
A1-120E-12-7d	1	1065	1885	2215	2075	2930	16.7	L1
	2	965	1395	1810	1820	2730	19	L1
	3	1230	1785	2050	1950	2620	14.3	L1
	平均	1087	1689	2025	1949	2760	16.7	
A1-140E-12-7d	1	1115	1720	2010	1850	2715	18.6	L1
	2	1115	1785	2195	2050	2790	16	L1
	3	1105	1525	2180	2215	3190	15.7	L1
	平均	1112	1677	2129	2039	2899	16.8	
A1-120E-12-10d	1	1065	1650	2050	1950	3820	25	L1
	2	1050	1500	1395	1885	3175	19	L1
	3	960	1510	1625	2035	2955	20	L1
	平均	1025	1554	1690	1957	3317	21.3	
A1-140E-12-13d	1	1395	1885	2285	2130	3495	23	L1
	2	1395	1885	2285	2130	3510	16.5	L1
	3	1395	1885	2130	2060	3093	19	L1
	平均	1395	1885	2234	2107	3366	19.5	
A2-120E-12-7d	1	740	1230	1850	1795	2045	6.7	L1'
	2	860	1350	1745	1640	2075	7.1	L1'
	3	670	1080	1605	1625	1730	5.5	L1'
	平均	757	1220	1734	1685	1950	6.4	

2) 繊維平行加力・16φ

試験体記号	No.	P1 (kgf)	P2 (kgf)	P4 (kgf)	Py (kgf)	Pmax (kgf)	δ max (mm)	破壊形態
A1-120E-12-7d	1	1760	2630	3115	2870	4240	16.7	B,L1
	2	1105	1935	2640	2830	4160	15.5	B,L1
	3	1105	2100	2875	3655	4020	13.8	B,L1
	平均	1324	2222	2877	3119	4140	15.3	
A1-140E-12-7d	1	925	1860	2720	3605	4115	16.2	B,L1
	2	1870	2745		2745	3235	3.6	B,L1
	3	1025	1990	2850	3360	3685	11.9	B,L1
	平均	1274	2199	2785	3237	3679	10.6	
A1-120E-12-10d	1	1130	2040	2920	3490	4785	26.3	B,L1
	2	740	1375	2280	3025	4320	16.9	B,L1
	3	715	1215	2130	3240	4735	23.8	B,L1
	平均	862	1544	2444	3252	4614	22.3	
A1-140E-12-13d	1	1555	1540	2420	3690		-	-
	2	1640	1475	2335	3690		-	-
	3	1640	1475	2375	3525		-	-
	平均	1612	1497	2377	3635		-	-
A2-120E-12-7d	1	810	1125	1690		1885	4.5	L1'
	2	1230	1895	2500	2510	3075	7.6	B,L1'
	3	1025	1665	2285		2545	5.5	B,L1'
	平均	1022	1562	2159	2510	2502	5.9	

註 *1: 測定できず。5500kgf以上

破壊形態

L1, L1': LVLの割裂 (加力方向に平行・端距離の短い側のみ)

Y: ラグスクリューの降伏

表2. LVLラグスクリュー接合部のせん断試験結果
繊維直交加力、12φ

板目

試験体記号	No.	P1 (kgf)	P2 (kgf)	P4 (kgf)	Py (kgf)	Pmax (kgf)	δ max (mm)	破壊形態
B1-120E-12-7d	1	165	285	410	410	1090	3.3	L3-c
	2	165	330	470	535	1150	3	L3-c
	3						-	L3-c
	平均	165	308	440	473	4140	3.2	
B1-140E-12-7d	1	125	245	370	450	890	2.8	L3-b
	2	125	205	250	450	660	2.3	L2
	3	125	155	250	450	820	2.4	L3-c
	平均	125	202	290	450	790	2.5	
B1-120E-12-12d	1	295	455	575	510	1270	2.8	L3-a
	2	255	385	515	460	1390	3.8	L3-a
	3	305	450	500	450	1195	2.9	L3-a
	平均	285	430	530	474	1285	3.2	
B1-140E-12-12d	1	370	490	690	535	1230	2.7	L3-a
	2	285	475	750	564	1380	3.4	L3-a
	3	285	400	595	3525	1270	3.1	L3-a
	平均	314	455	679	3635	1294	3.1	

板目

試験体記号	No.	P1 (kgf)	P2 (kgf)	P4 (kgf)	Py (kgf)	Pmax (kgf)	δ max (mm)	破壊形態
B2-120E-12-7d	1	335	380	-	-	570	0.6	L3'-b
	2	90	180	-	-	425	0.6	L3'-c
	3	75	160	-	-	275	0.4	L3'-b
	平均	167	240	-	-	424	0.5	
B2-140E-12-7d	1	145	320	445	-	500	101	L3'-b
	2	40	245	370	-	410	1	L3'-d
	3	55	250	395	-	525	1.2	L3'-b
	平均	80	272	404	-	479	1.1	
B2-120E-12-12d	1	245	410	640	455	1010	2.3	L3'-a
	2	165	305	490	460	800	2	L3'-a
	3	165	305	780	695	1000	1.7	L3'-b
	平均	192	340	637	537	937	2	
B2-140E-12-12d	1	165	460	565	535	815	2	L3'-b
	2	115	410	575	540	805	2	L3'-b
	3	160	425	615	600	920	2.1	L3'-d
	平均	147	432	585	559	847	2	

破壊形態

L2, L2' : LVLの割裂 (加力方向に直交・端距離の短い側のみ)

L3, L3' : LVLの断裂 (加力方向に直交・a,b,c,dは図参照)

Y : ラグスクリューの降伏

表2. LVLラグスクリュー接合部のせん断試験結果
 繊維直交加力、16φ

板目

試験体記号	No.	P1 (kgf)	P2 (kgf)	P4 (kgf)	Py (kgf)	Pmax (kgf)	δ max (mm)	破壊形態
B1-120E-16-7d	1	450	490	455	-	1575	3.6	
	2	430	490	580	450	1560	3.4	
	3	245	410	625	695	1690	3.7	
	平均	375	464	554	573	1609	3.6	
B1-140E-16-7d	1	335	535	740	-	1665	3	
	2	565	595	690	-	1755	4.4	
	3	225	430	760	860	1835	3.2	
	平均	375	520	730	860	1752	3.5	
B1-120E-16-12d	1	330	600	975	-	2305	4.7	
	2	295	490	715	-	2210	4.8	
	3	365	500	775	-	2110	4.4	
	平均	330	530	822	-	2209	4.6	
B1-140E-16-12d	1	265	495	745	665	2410	4.8	
	2	470	645	860	740	2445	4.1	
	3	165	410	740	945	2350	4.4	
	平均	300	517	782	784	2402	4.4	

縦目

試験体記号	No.	P1 (kgf)	P2 (kgf)	P4 (kgf)	Py (kgf)	Pmax (kgf)	δ max (mm)	破壊形態
B2-120E-16-7d	1	460	655	850	780	1150	1.4	
	2	255	370	490	375	875	1.4	
	3	280	415	580	600	1105	2.5	
	平均	332	480	640	585	1044	1.8	
B2-140E-16-7d	1	215	370	580	660	1640	1.4	
	2	410	550	705	780	1590	1.4	
	3	215	615	615	760	1345	2.4	
	平均	280	512	634	734	1525	1.7	
B2-120E-16-12d	1	330	575	785	740	1985	3.4	
	2	390	615	820	780	1550	2.8	
	3	370	565	800	740	1575	3	
	平均	364	585	802	754	1704	3.1	
B2-140E-16-12d	1	295	520	780	870	1640	3.3	
	2	370	510	615	525	1590	4.4	
	3	350	510	695	840	1345	3.2	
	平均	339	514	697	745	1525	3.6	

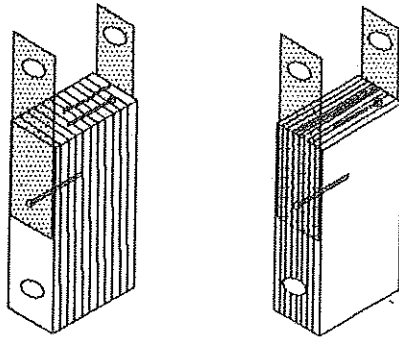
破壊形態

L2、L2' : LVLの割裂 (加力方向に直交・端距離の短い割のみ)

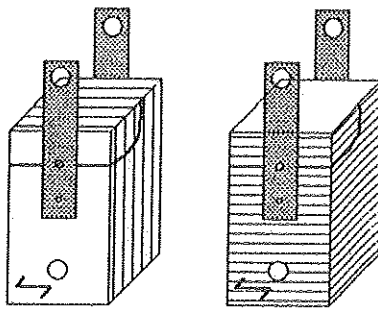
L3、L3' : LVLの断裂 (加力方向に直交・a,b,c,dは図参照)

Y : ラグスクリューの降伏

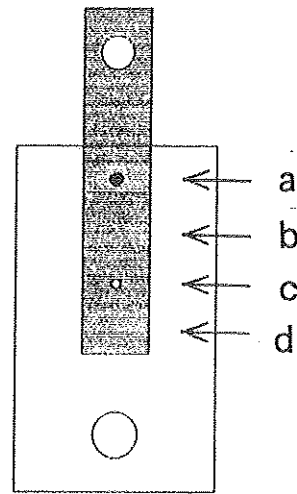
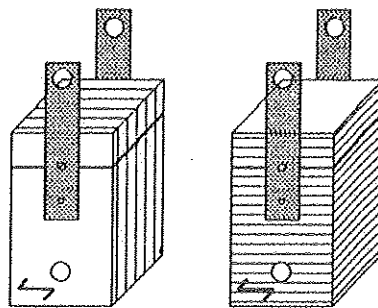
L1



L2



L3



L3型の破壊の発生位置

図4. 破壊のパターン

- L1: 端部に近いラグ・スクリューによるLVLの繊維平行方向の割れ
- L2: 端部に近いラグ・スクリューによるLVLの繊維直交方向の割れ
- L3: LVLの引張り破壊 (破壊の位置はa, b, c, dの4種類)

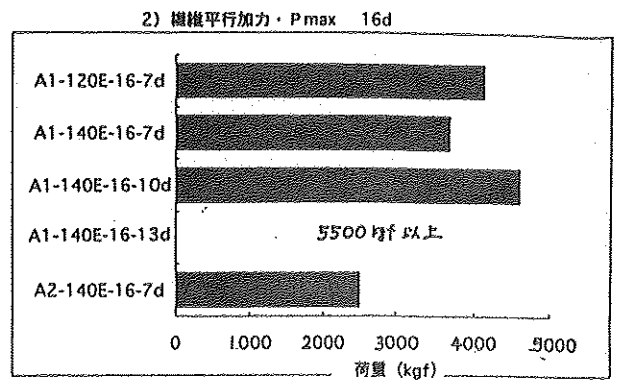
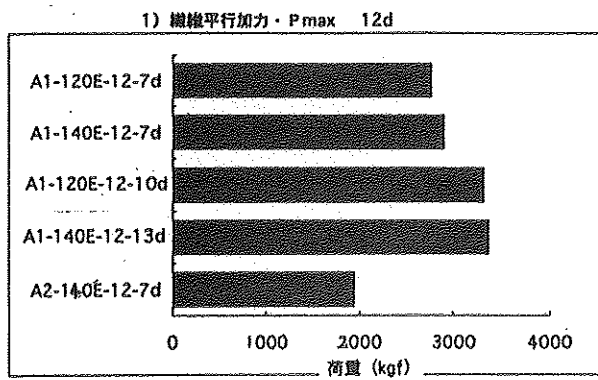


図5-1. 最大荷重 (Pmax) の比較
繊維平行加力

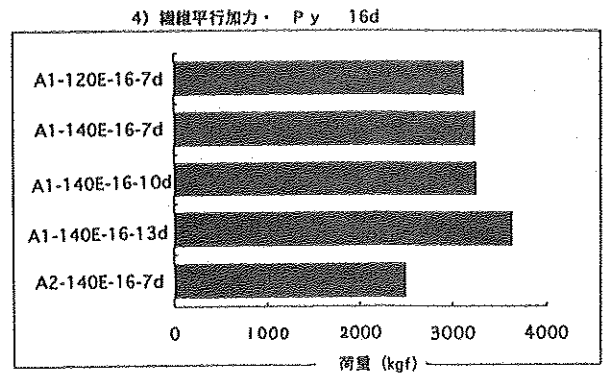
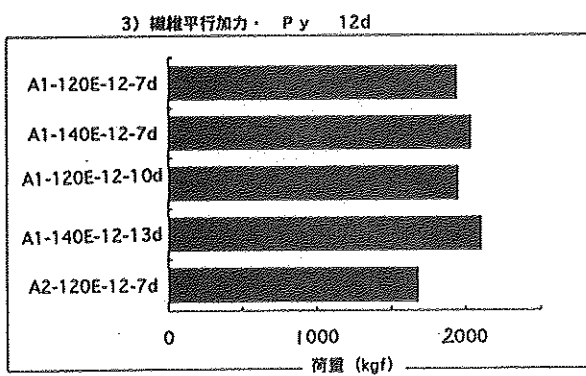


図5-2. 降伏荷重 (Py) の比較
繊維平行加力

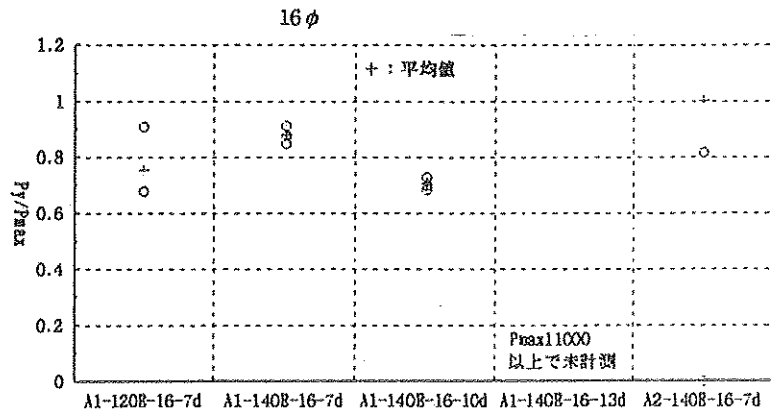
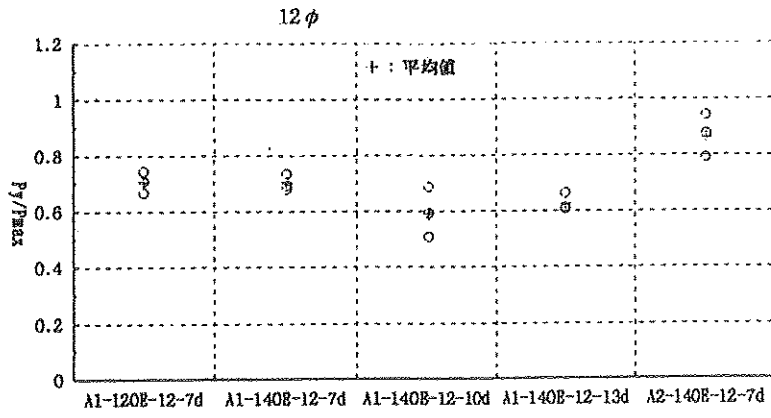


図6. P_y と P_{max} の比 繊維平行加力

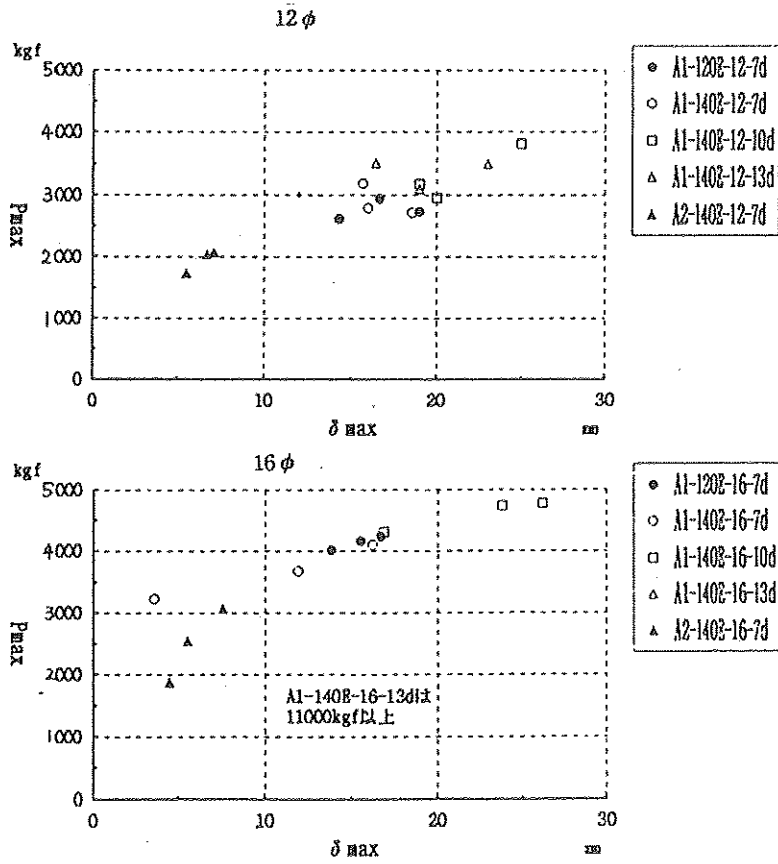


図7. P_{max} と δ_{max} の関係 繊維平行加力

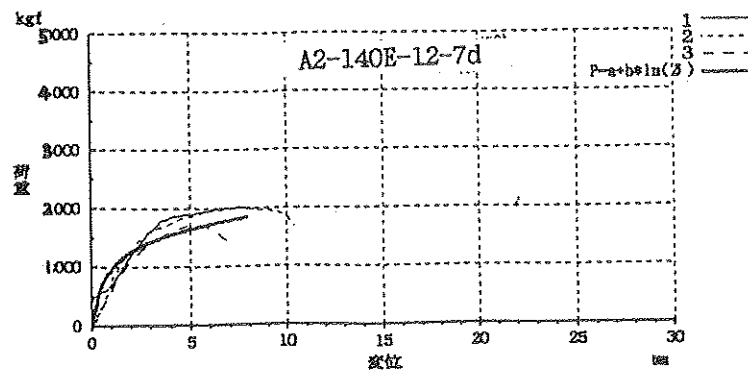
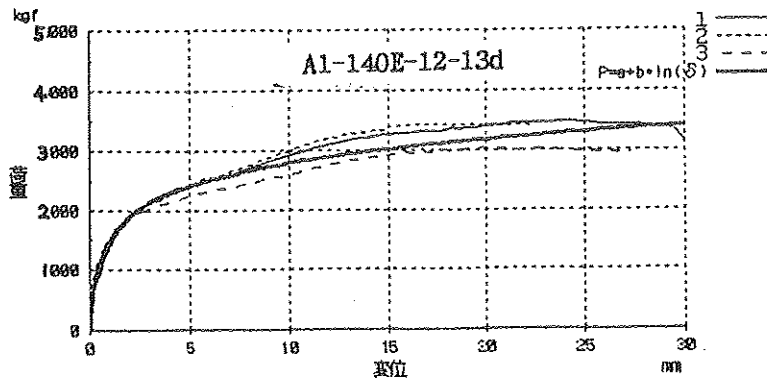
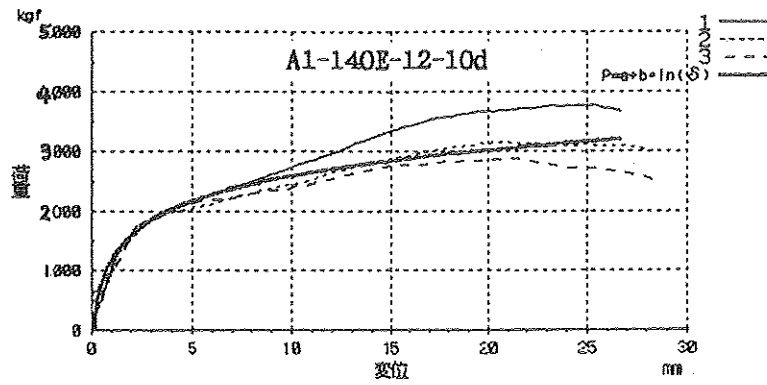
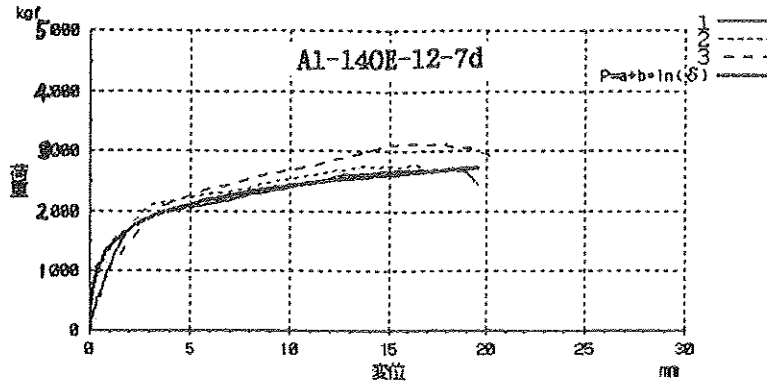
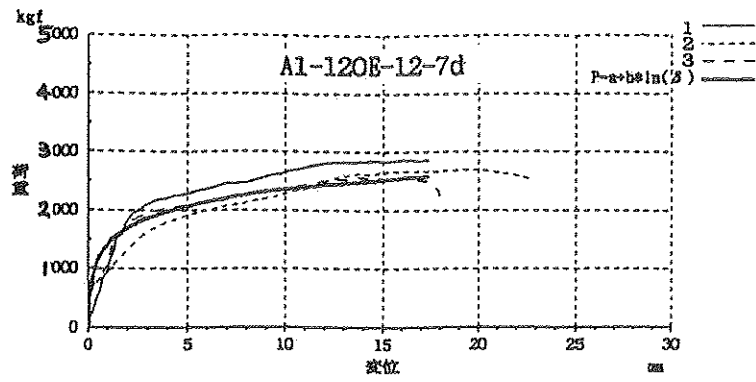


図8-1. 荷重-変位曲線 (12φ、繊維平行加力)
試験体数3 太い実線は近似曲線

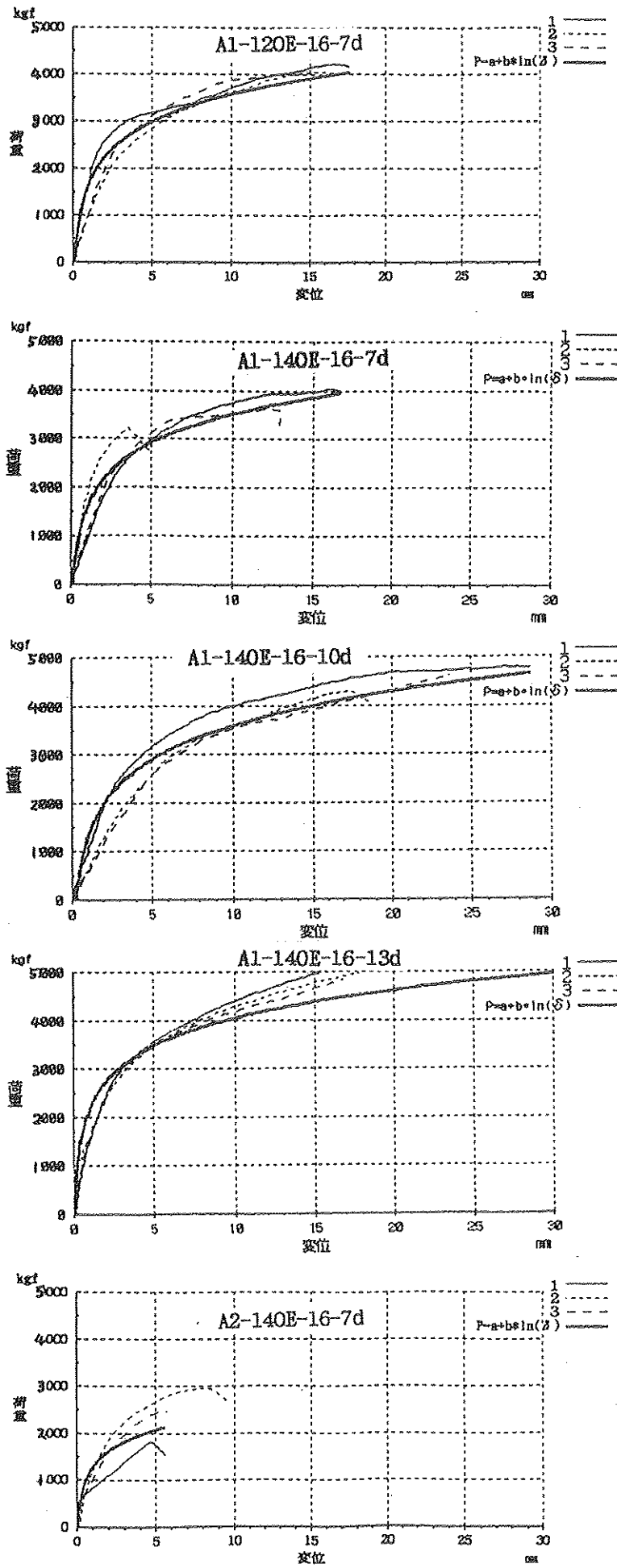


図8-2. 荷重-変位曲線 (16φ、繊維平行加力)
試験体数3 太い実線は近似曲線

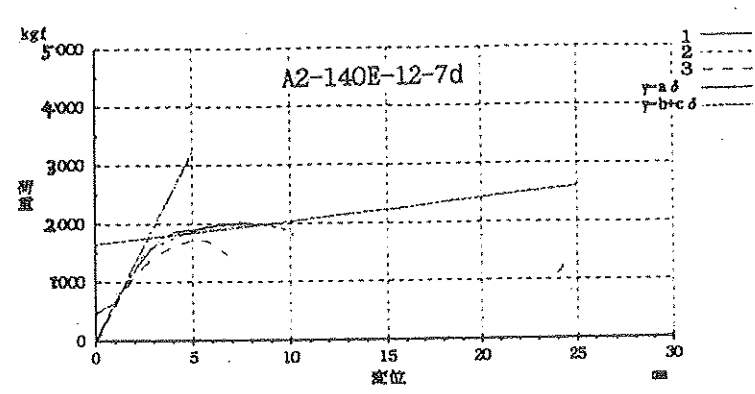
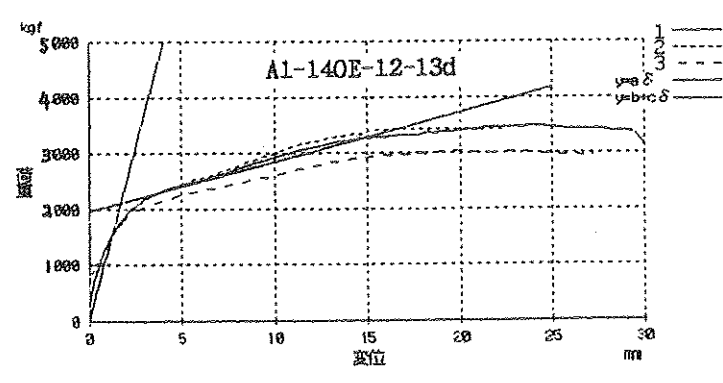
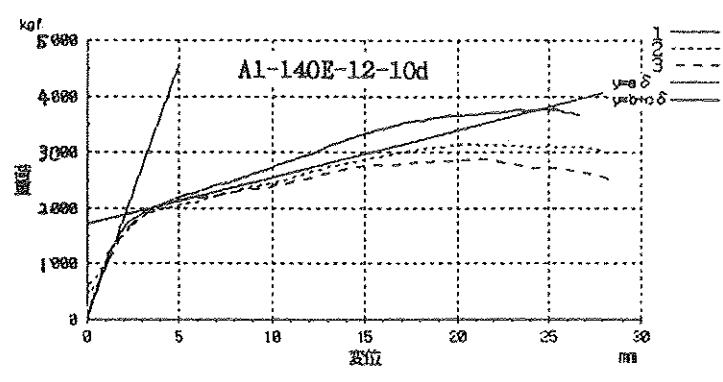
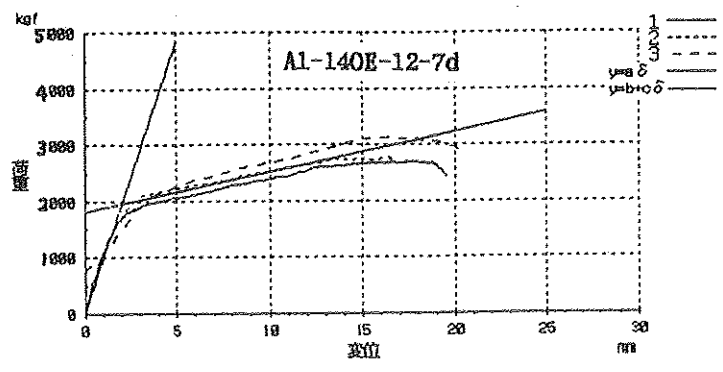
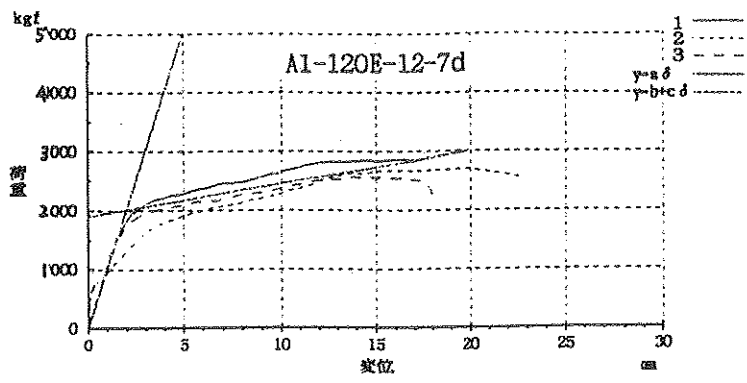


図9-1. 荷重-変位曲線の2直線による近似
繊維平行加力、12φ

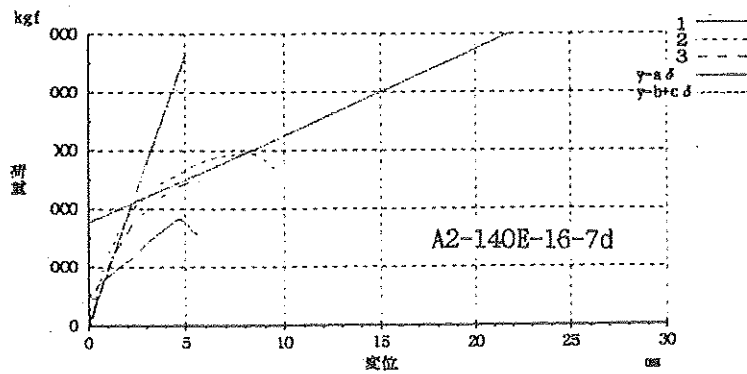
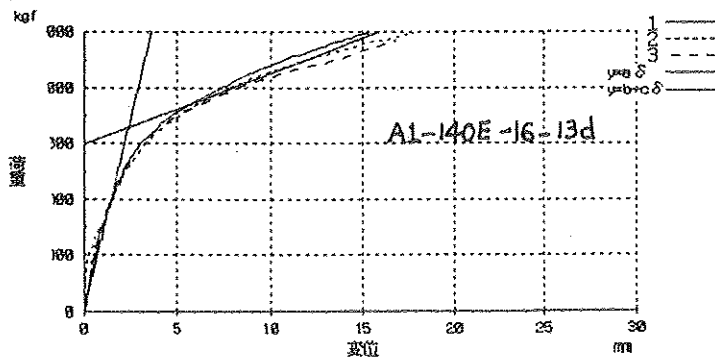
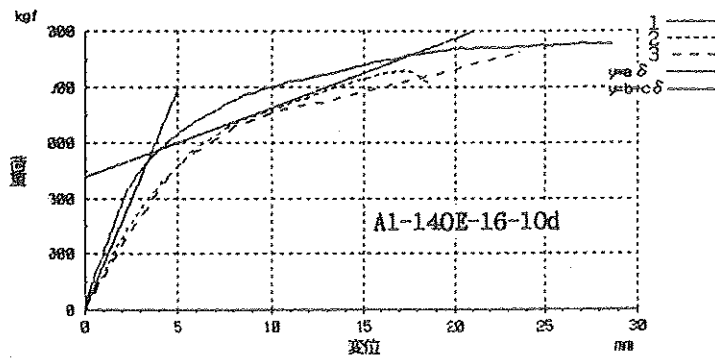
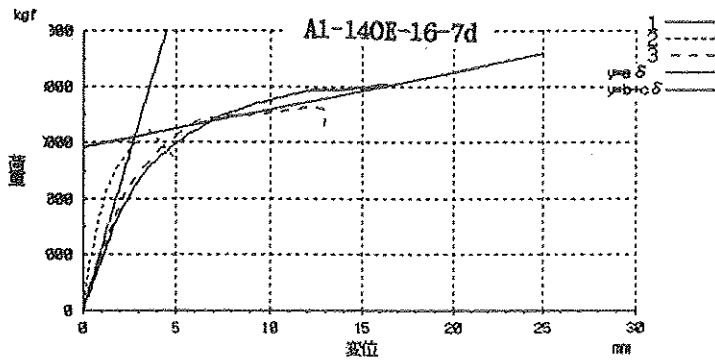
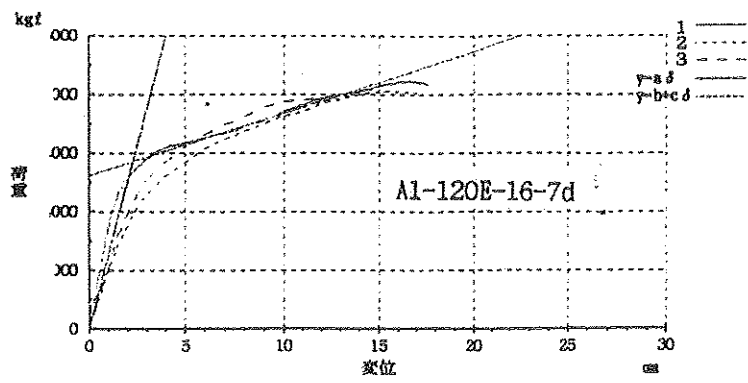
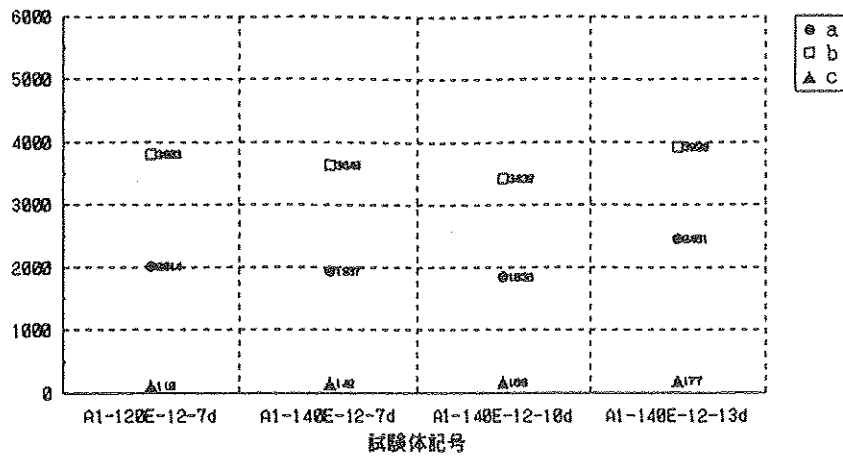
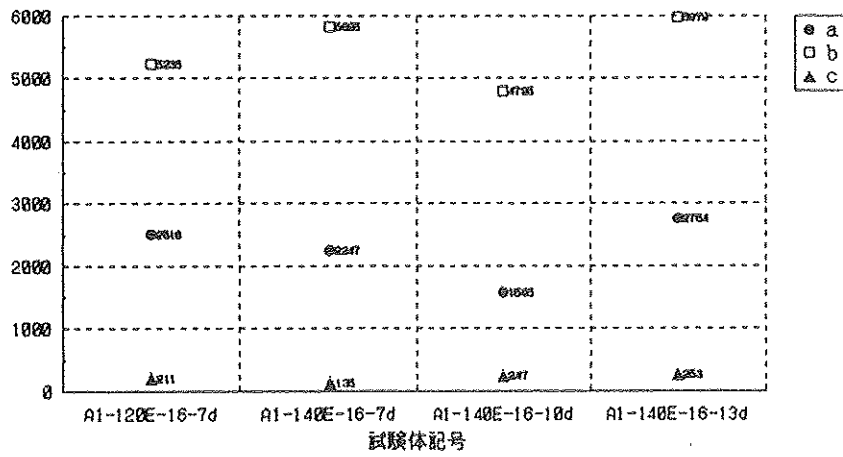


図9-2. 荷重-変位曲線の2直線による近似
繊維平行加力、16φ

二直線化の係数 a, b, c
 繊維平行加力試験板目打ち：12φ



二直線化の係数 a, b, c
 繊維平行加力試験板目打ち：16φ



二直線化の係数 a, b, c
 繊維平行加力試験：柁目目打ち

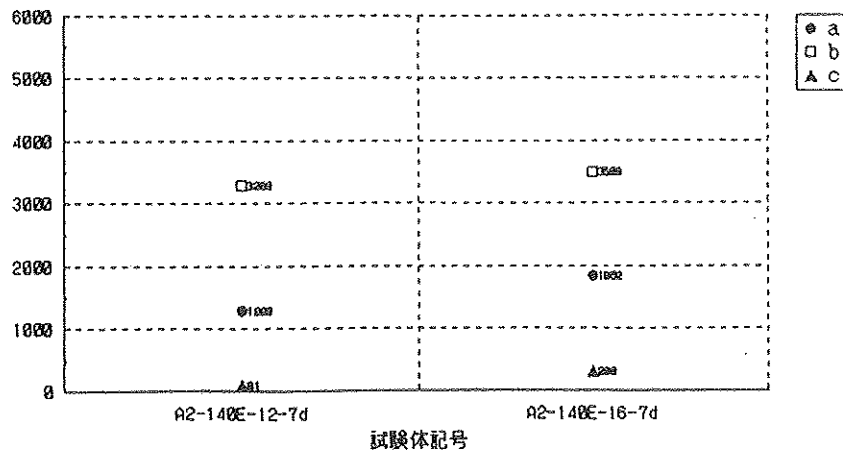


図10. 荷重-変位曲線の2直線近似による各係数の値 (平均値)

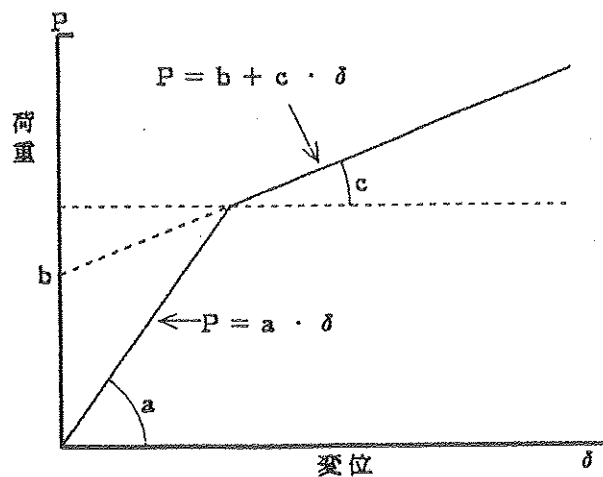
表3. 荷重-変位曲線の2直線近似による各係数の値と相関係数

繊維平行加力試験 板目打ち

試験体記号	P=aδ		P=b+cδ		相関係数	
	a	b	c	a	b, c	
A1-120E-12-7d	2014	3803	110	0.89	0.74	
A1-140E-12-7d	1937	3640	142	0.91	0.85	
A1-140E-12-10d	1836	3432	168	0.91	0.85	
A1-140E-12-13d	2451	3928	177	0.85	0.85	
A1-120E-16-7d	2518	5236	211	0.88	0.94	
A1-140E-16-7d	2247	5825	135	0.87	0.83	
A1-140E-16-10d	1585	4795	247	0.91	0.83	
A1-140E-16-13d	2754	5979	253	0.94	0.96	

繊維平行加力試験 柁目打ち

試験体記号	P=aδ		P=b+cδ		相関係数	
	a	b	c	a	b, c	
A2-140E-12-7d	1290	3289	81	0.90	0.32	
A2-140E-16-7d	1852	3508	298	0.87	0.81	



<荷重-変位曲線の二直線化の係数 a; b, c>

0~2mmをP=aδ, 5~15mmをP=b+cδで直線回帰

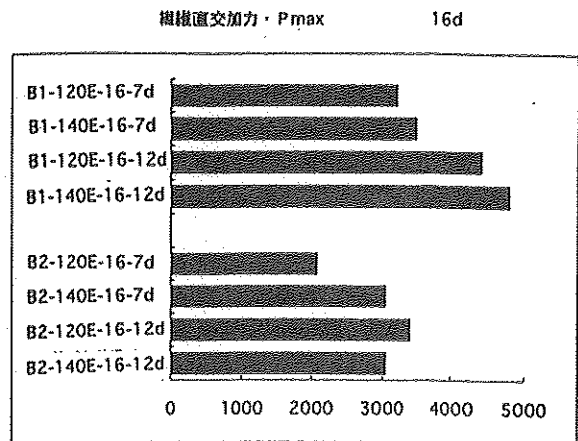
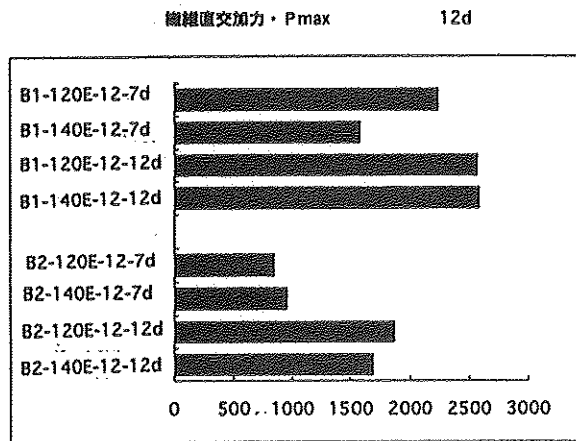


図11-1. 最大荷重(Pmax)の比較

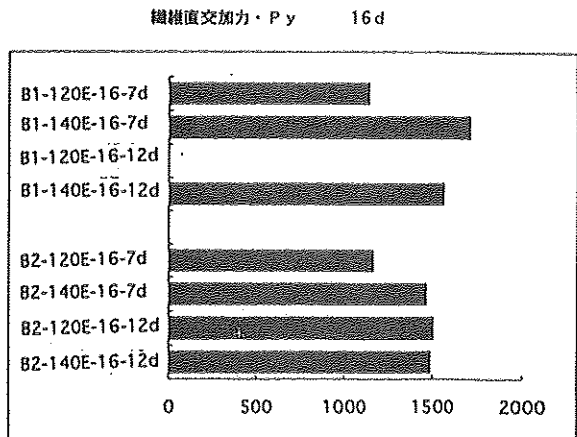
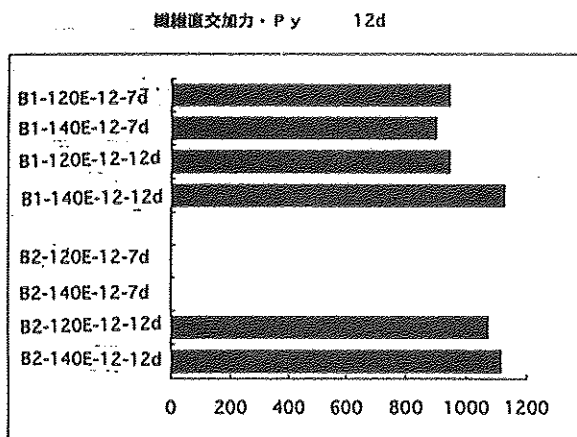
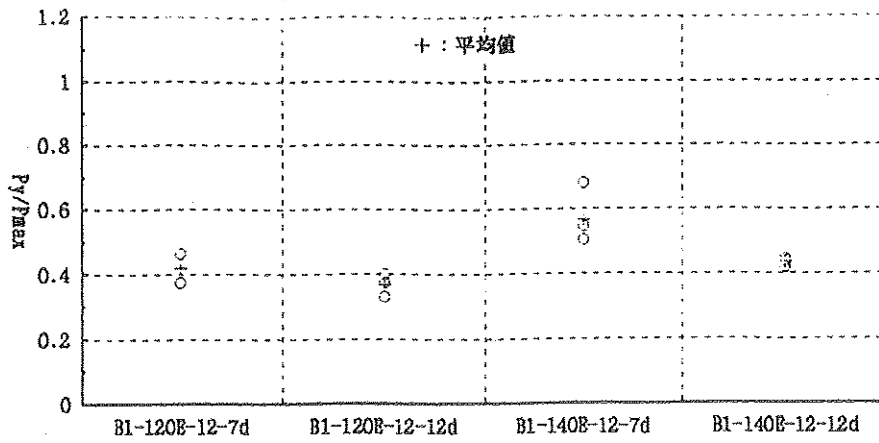
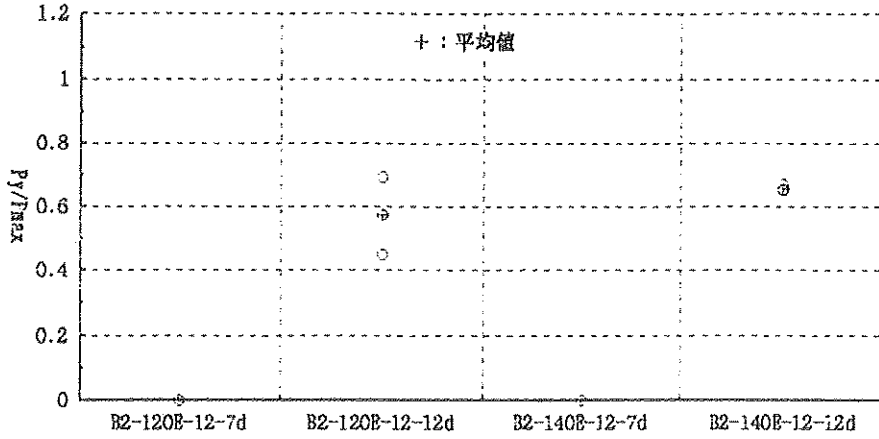


図11-2. 降伏荷重(Py)の比較

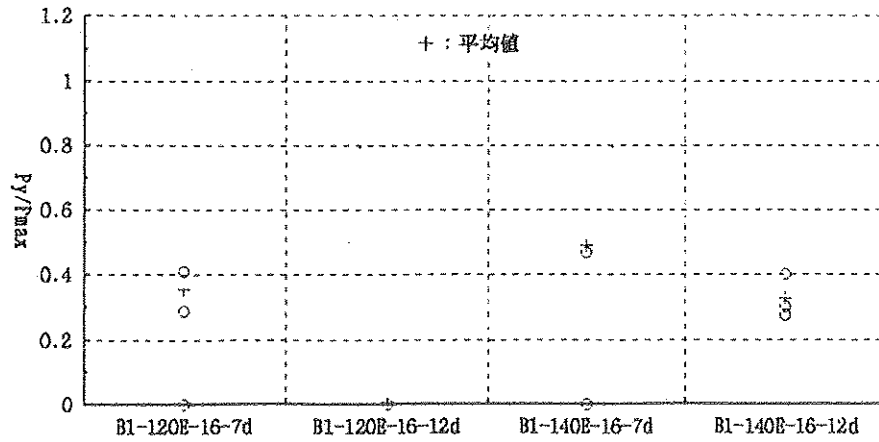
12φ 繊維直交加力試験 板目打ち



12φ 繊維直交加力試験 柱目打ち



16φ 繊維直交加力試験 板目打ち



16φ 繊維直交加力試験 柱目打ち

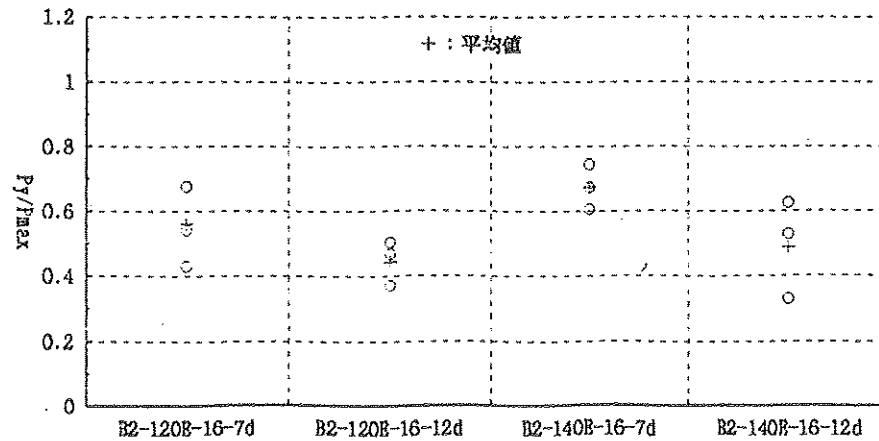


図12. PyとPmaxの比 (繊維直交加力)

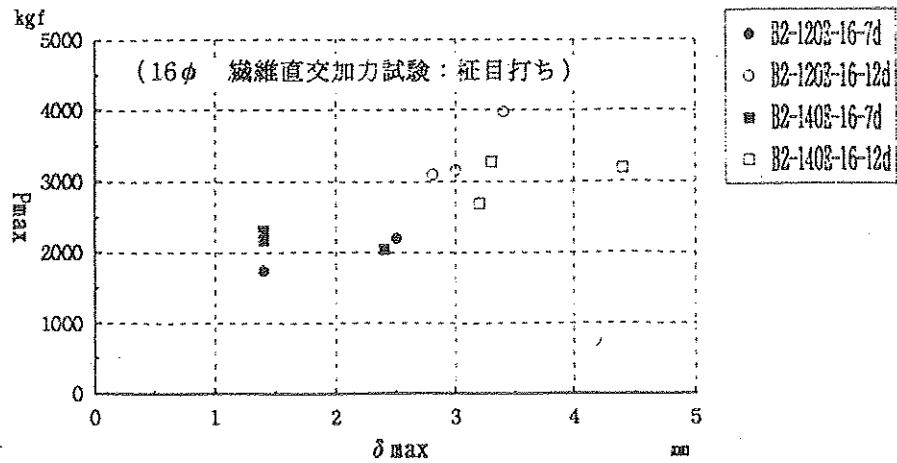
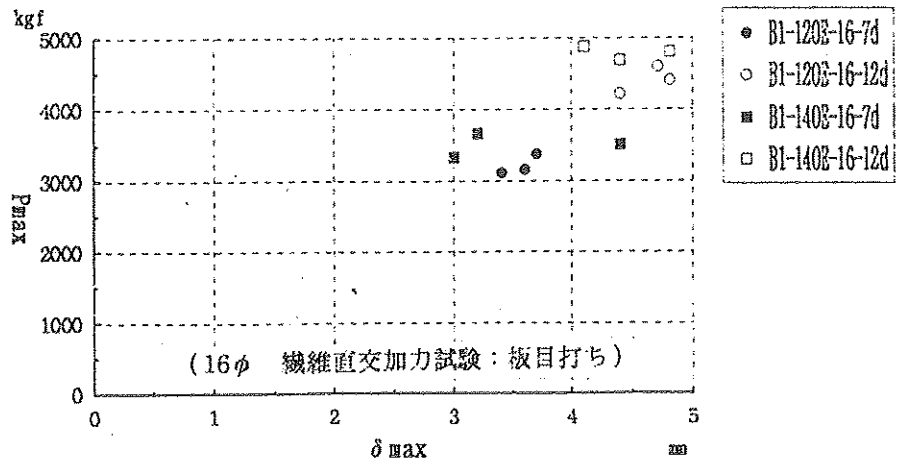
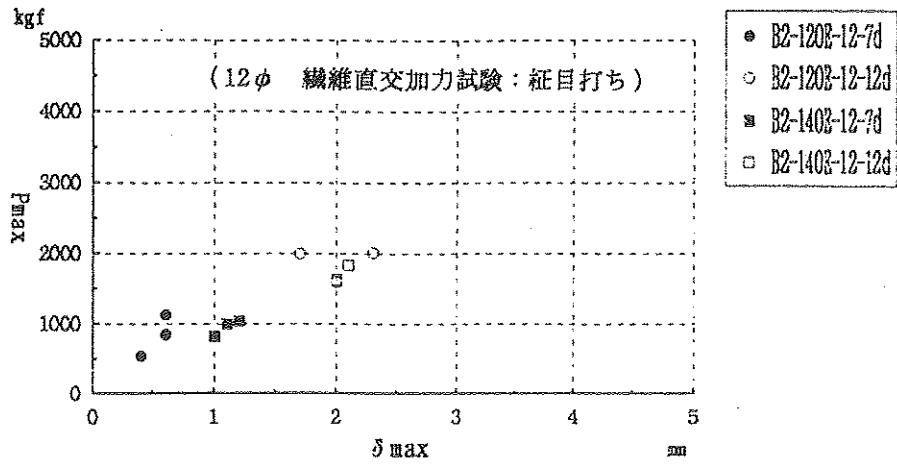
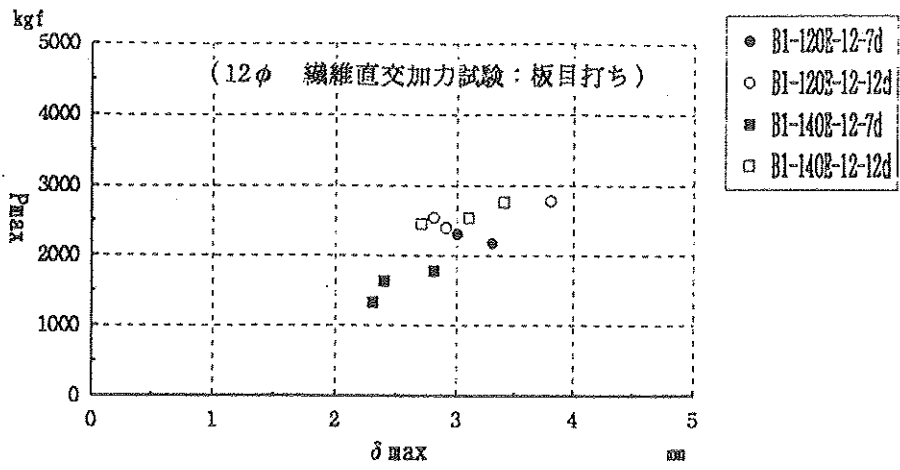


図13. P_{max} と δ_{max} の関係 (繊維直交加力)

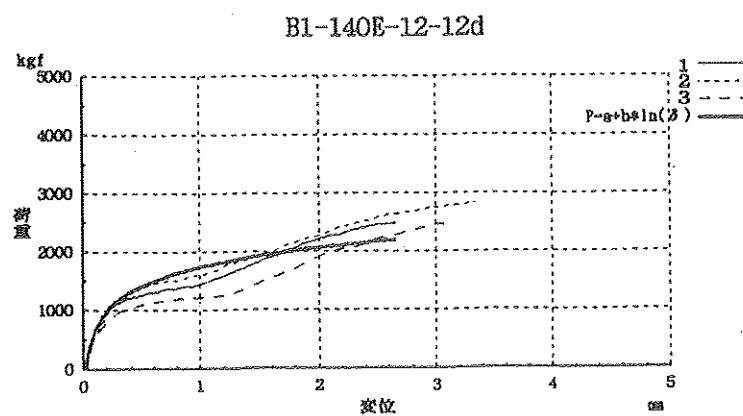
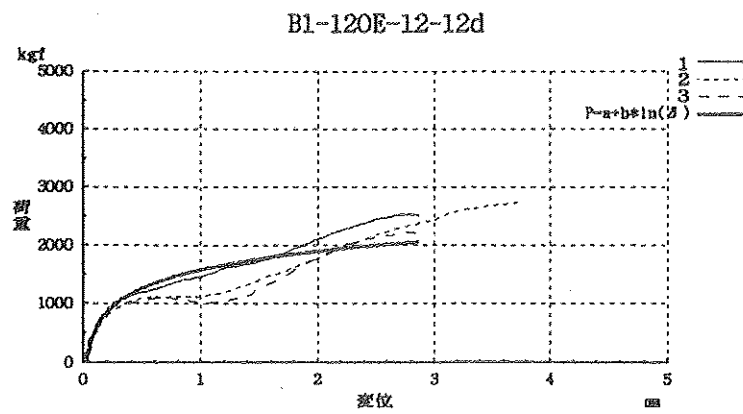
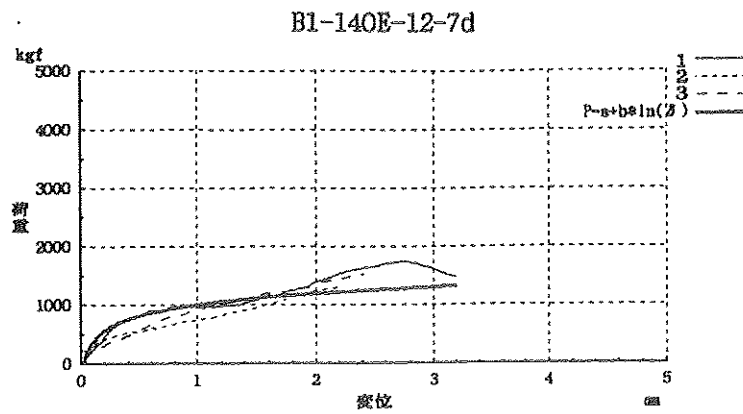
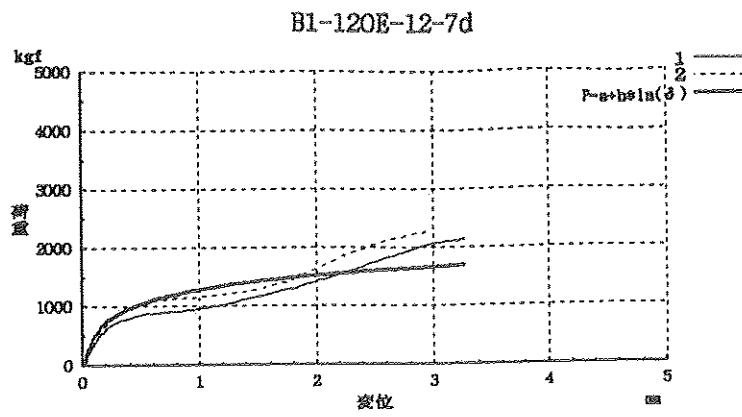


図14. 荷重-変位曲線
 (12φ、繊維直交加力、板目打ち)
 試験体数3
 太い実線は近似曲線

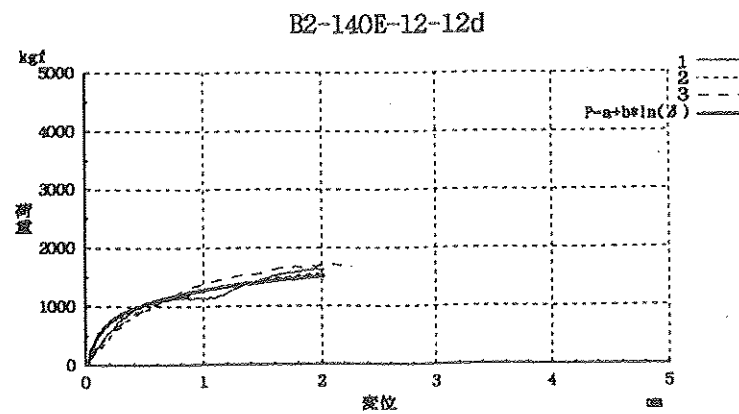
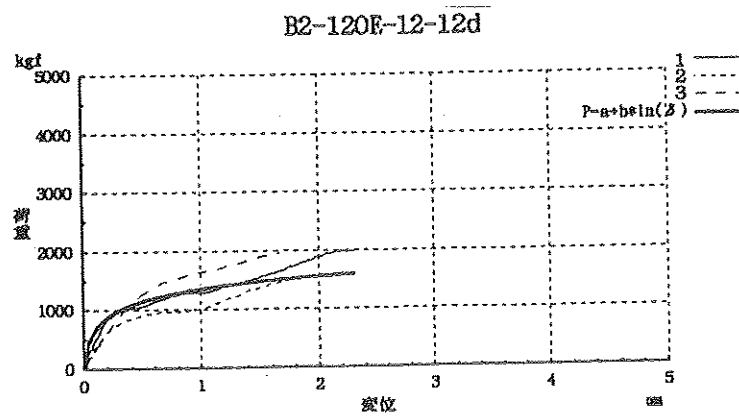
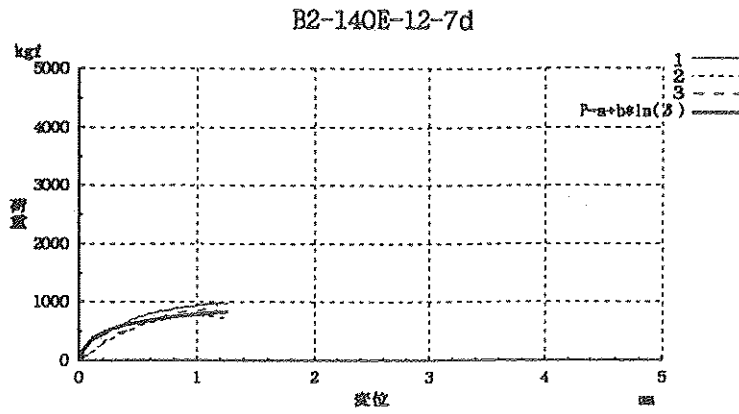
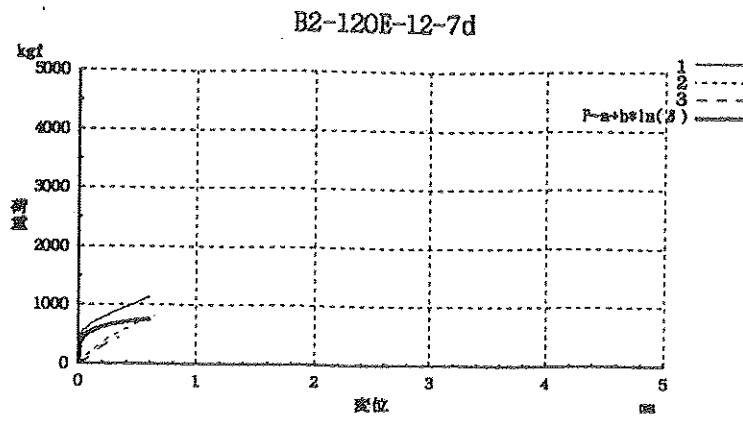


図14. 荷重-変位曲線
 (12φ、繊維直交加力、桎目打ち)
 試験体数3
 太い実線は近似曲線

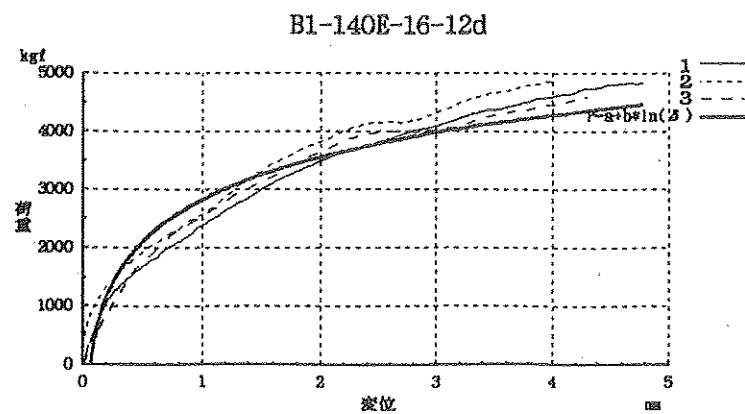
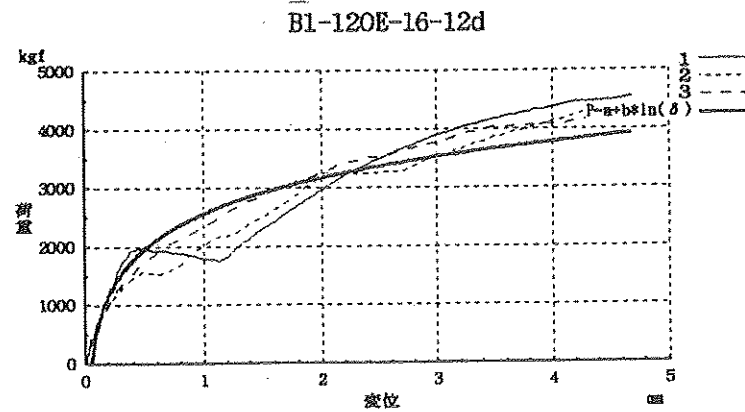
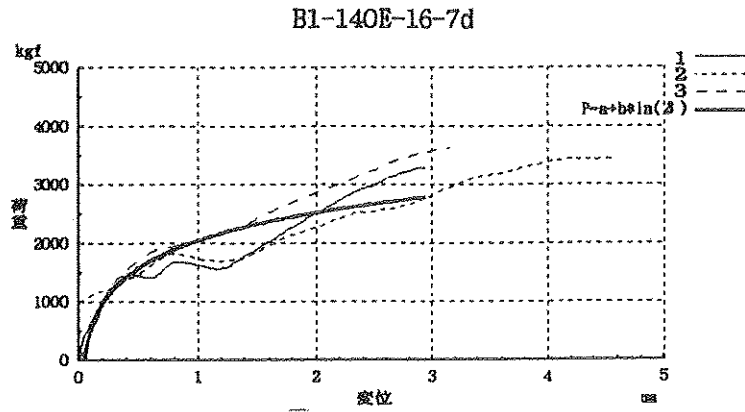
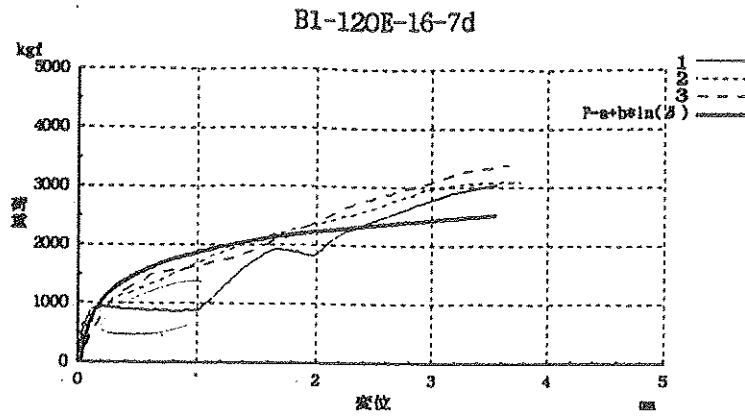


図14. 荷重-変位曲線
 (16φ、繊維直交加力、板目打ち)
 試験体数3
 太い実線は近似曲線

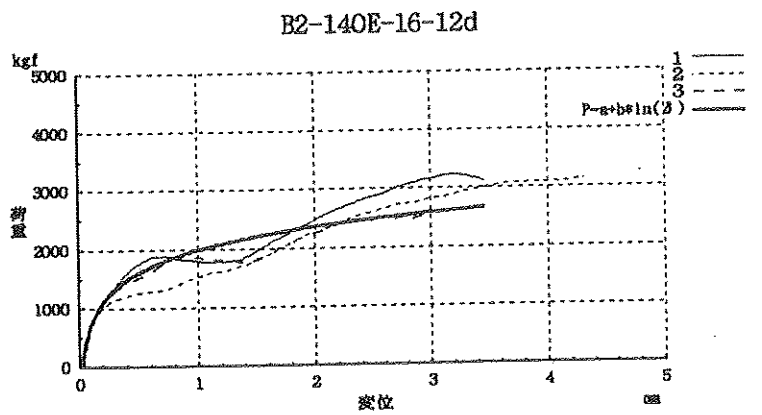
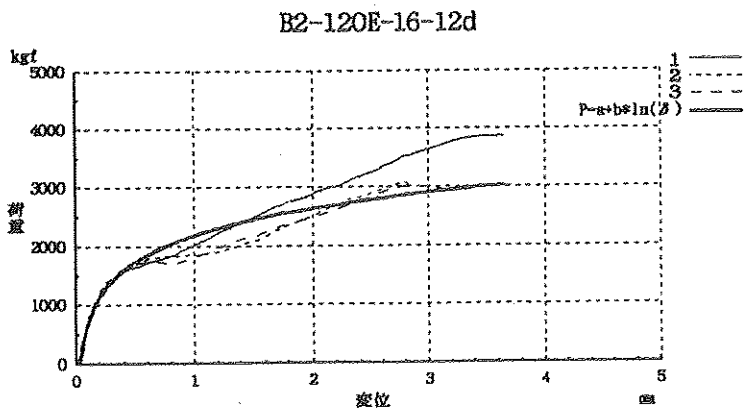
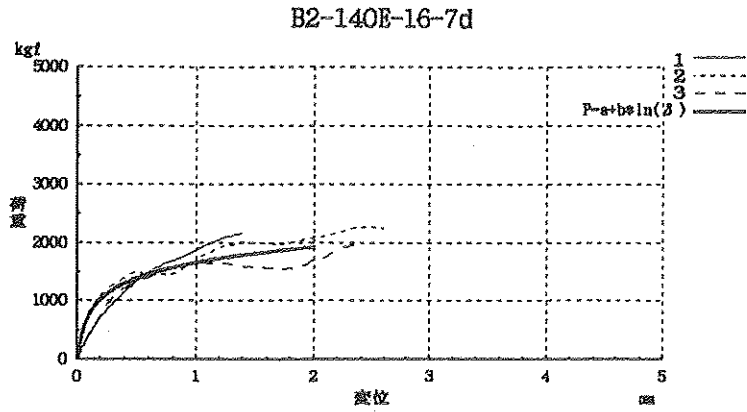
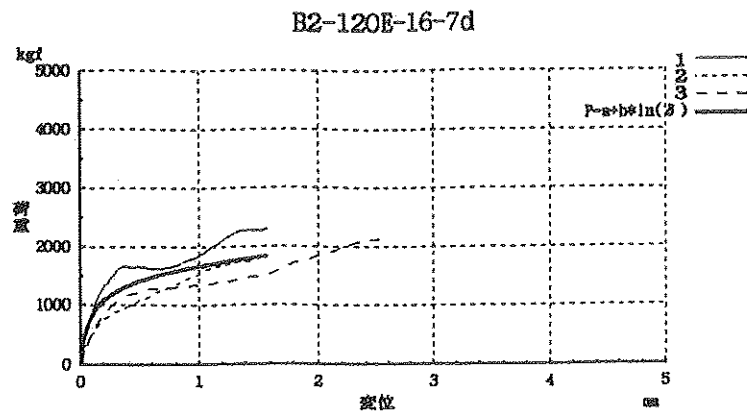
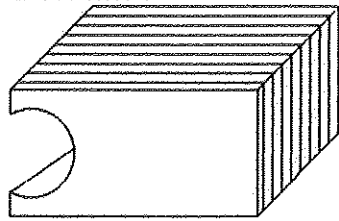


図14. 荷重-変位曲線
 (16φ、繊維直交加力、柁目打ち)
 試験体数3
 太い実線は近似曲線

板目面割裂



柱目面割裂

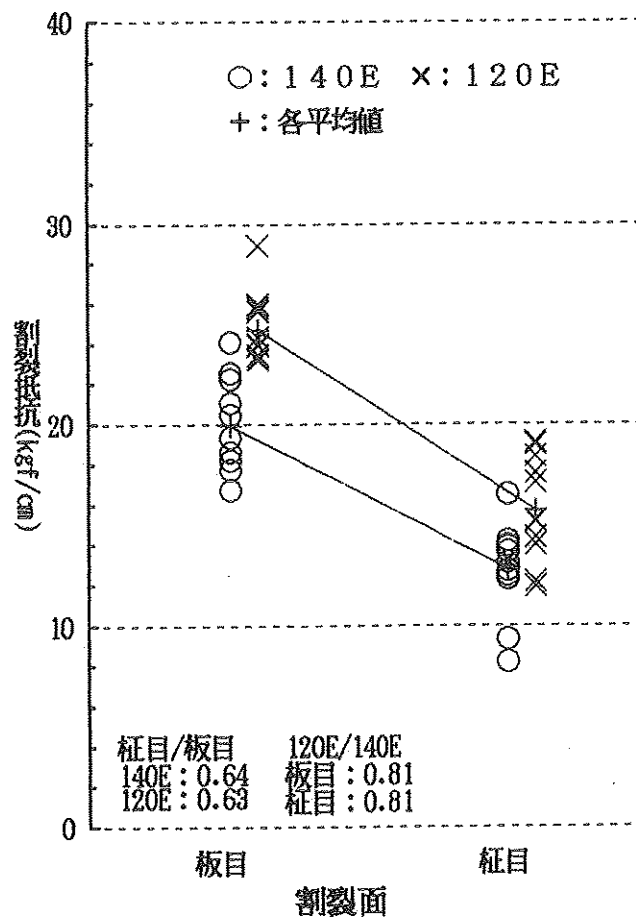
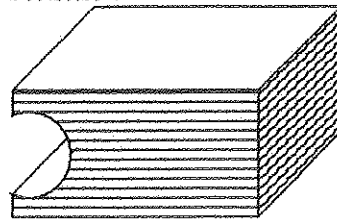


図15. 割裂試験体と試験結果

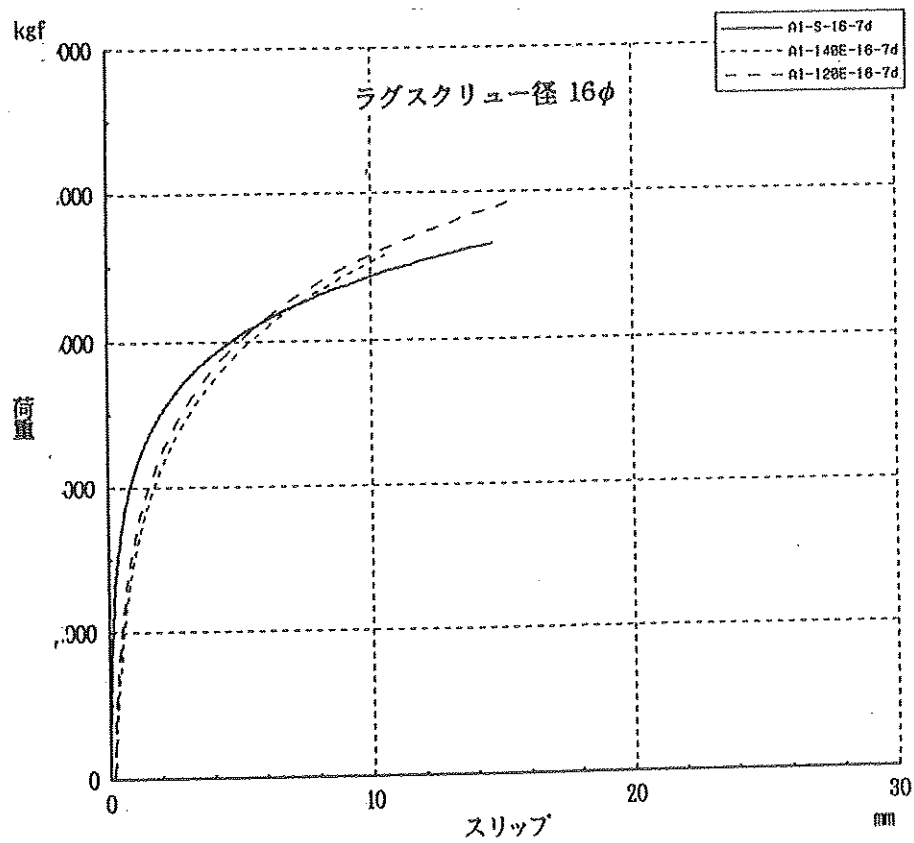
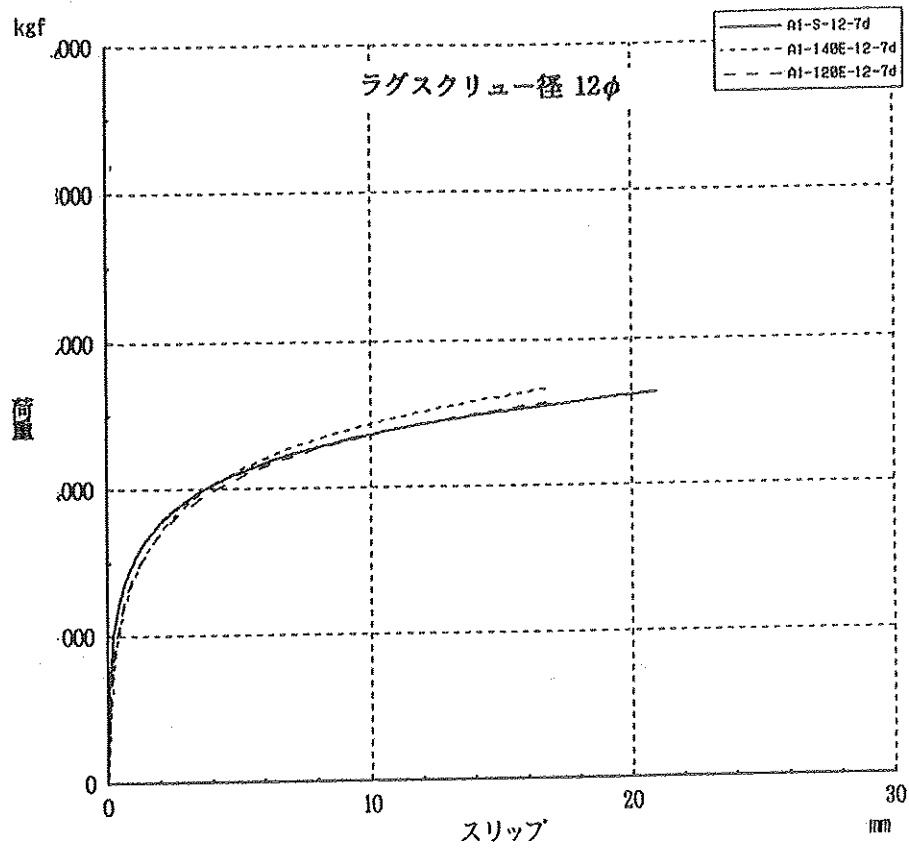


図16. L V L ラグスクリュー接合と集成材接合の荷重-変位曲線の比較
 $P=a+bxLN(\delta)$ による近似曲線

