

平成8年度 農林水産省補助事業
木質資源利用分野開発促進事業

ティンバーエンジニア養成事業報告書

平成9年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

目 次

1	事業実施要綱	1
2	大断面構造用集成材現場接着接合規格（マニュアル）	2
3	ティンバーエンジニア養成研修会	201
	付：研修会テキスト	202
1	大規模木造建築物の保守管理マニュアル	203
2	構造用木質建材の設計強度	217
3	構造用合板の手引き	222

1 事業実施要綱

1. 1 目的

大規模な木造建築物の建設が可能となる中で、構造部材と仕手の木質材料に対する強度の信頼性が一層厳密に求められる状況になっている。このような動きに対応するため、部材の設計、品質管理、コスト管理等の製造方法の合理化マニュアルの作成とその知識・技能を有する人材の養成を行なう。

1. 2 事業の内容

- ① 検討委員会を設置し、ティンバーエンジニアの養成及びエンジニアリングウッドの生産合理化マニュアル作成事業の進め方について検討する。
- ② 先端的な構造用建築部材の製造方法の合理化に資するため、部材設計、品質管理等に関する知識・技能を有する人材を養成するために研修を行なう。
- ③ 先進的な構造用建築部材の合理化に資するため、部材設計、品質管理等に関するマニュアルの作成を行なう。

1. 3 事業実施期間

平成7年度～11年度

1. 4 平成7年度事業の概要（要約・キーワード）

- ① 木造で大規模建築物を建造する場合、長大な集成材が必要になるが、このような集成材を製造工場から施工現場まで運搬することは、道路事情が悪いなどのため困難である。そこで一般的には、金物を使用して接合することが行われているが、金物を用いないで、接着剤を使用して接合したいとするニーズが高まっている。

そこで、後者の方法による接合ができるよう設計施工方法の規格・同解説及び関連資料を整備し、マニュアルを作成した。

- ② また、平成8年度に作成した木質材料の許容応力度（構造用木質建材の設計強度）、いい規模木造建築物の保守管理マニュアル等をテキストとして、東京会場及び大阪会場において木材の加工・流通業者をはじめ設計者、ハウジングメーカー等の技術者を対象としたティンバーエンジニア養成研修会を実施した。

<キーワード>

建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント、ボルトクランプ、集中加圧、圧力分布、圧縮せん断接着、接着接合、現場接着、力学特性、集成梁、スカーフジョイント、ティンバーエンジニア、ティンバーエンジニア養成研修会、

2 大断面構造用集成材現場接着接合規格（マニュアル）
（別紙のとおり）

大断面構造用集成材現場接着接合規格（マニュアル）

目 次

第1編	
建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント設計施工規格	13
第2編	
建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント設計施工規格の解説	23
第3編	
建築構造用現場組立ビッグスカーフジョイント設計施工規格	51
第4編	
資料編	61

建築構造用現場組立ビックフィンガージョイント 設計施工規格

目 次

1. 適用範囲	15
2. 引用法令・規格等	15
3. 定義	15
4. 構造設計	15
4.1 安全性の確保	15
4.2 B F J の力学性能	16
4.3 常時荷重に対する安全性の確保	16
4.4 交叉部材の接続の禁止	16
5. 母材の品質	16
6. B F J の形状、加工	16
6.1 各部の名称及び記号	16
6.2 形状	17
6.3 B F J の加工	17
7. B F J の許容耐力	17
7.1 B F J の許容引張耐力	18
7.2 許容圧縮耐力	18
7.3 許容曲げ耐力	18
7.4 許容せん断耐力	19
7.5 軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合の許容耐力	19
8. 現場接着	19
8.1 接着剤	19
8.2 被着材の含水率	19
8.3 被着材の温度	20
8.4 接着剤の塗布	20
8.5 開放堆積時間	20
8.6 圧縮作業	20
8.7 圧縮後の養生	20
8.8 接着作業環境	20
8.9 接着性能の確認	20
8.10 接着管理者	21
8.11 作業管理記録の作成と保管	21
9. 保守点検	21
9.1 保守点検項目	21
9.2 保守点検の時期	22

建築構造用現場組立ビックフィンガージョイント 設計施工規格解説

目 次

1. 適用範囲	25
2. 引用法令・規格等	26
3. 定義	27
4. 構造設計	27
4.1 安全性の確保	27
4.2 B F J の力学性能	27
4.3 常時荷重に対する安全性の確保	28
4.4 交叉部材の接続の禁止	29
5. 母材の品質	29
6. B F J の形状、加工	30
6.1 各部の名称及び記号	30
6.2 形状	31
6.3 B F J の加工	32
7. B F J の許容耐力	33
7.1 B F J の許容引張耐力	33
7.2 許容圧縮耐力	36
7.3 許容曲げ耐力	36
7.4 許容せん断耐力	37
7.5 軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合の許容耐力	38
8. 現場接着	38
8.1 接着剤	38
8.2 被着材の含水率	39
8.3 被着材の温度	39
8.4 接着剤の塗布	40
8.5 開放堆積時間	40
8.6 圧縮作業	41
8.7 圧縮後の養生	42
8.8 接着作業環境	42
8.9 接着性能の確認	43
8.10 接着管理者	45
8.11 作業管理記録の作成と保管	45
9. 保守点検	45
9.1 保守点検項目	45
9.2 保守点検の時期	46
参考文献	47
付録	48

建築構造用現場組立ビックスカーフジョイント

設計施工規格

目 次

1. 適用範囲	53
2. 引用法令・規格等	53
3. 定義	53
4. 構造設計	53
4.1 安全性の確保	53
4.2 S Jの力学性能	53
4.3 常時荷重に対する安全性の確保	54
4.4 交叉部材の接続の禁止	54
5. 母材の品質	54
6. S Jの形状、加工	54
6.1 各部の名称及び記号	54
6.2 形状	55
6.3 S Jの加工	55
7. S Jの許容耐力	55
7.1 S Jの許容引張耐力	55
7.2 許容圧縮耐力	55
7.3 許容曲げ耐力	56
7.4 許容せん断耐力	56
7.5 軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合の許容耐力	56
8. 現場接着	57
8.1 接着剤	57
8.2 被着材の含水率	57
8.3 被着材の温度	57
8.4 接着剤の塗布	57
8.5 開放堆積時間	57
8.6 圧縮作業	57
8.7 圧縮後の養生	57
8.8 接着作業環境	57
8.9 接着性能の確認	57
8.10 接着管理者	58
8.11 作業管理記録の作成と保管	58
9. 保守点検	59
9.1 保守点検項目	59
9.2 保守点検の時期	59

資料編

目次

第1章 ボルトクランプによる圧縮力調整 —トルクレンチのキャリブレーション—

はじめに	66
1. 試験方法	66
1.1 圧縮治具	66
1.2 圧縮する被着材の配置	66
1.3 測定方法	66
2. 試験結果	66

第2章 集中加圧による圧縮時の圧力分布

はじめに	70
1. ボルトクランプ法による2材接着における圧縮圧分布	70
1.1 解析方法及び実験方法	70
1.2 解析及び実験結果と考察	72
1.3 要約	73
2. クランプ圧縮による集成接着における圧縮条件と圧縮圧分布の関係	76
2.1 圧縮系における応力と変位の数値解析法	76
2.2 感圧フィルム実験による解析の妥当性の検討	78
2.3 解析結果と考察	80
2.4 要約	82

第3章 圧縮せん断接着強さに及ぼす試験片の形状・寸法の影響

はじめに	84
1. 木材の接着強さ試験方法	84
2. 試験片の厚さと削り落とし省略の影響	86
2.1 試験片の形状	86
2.2 試験方法と試験治具	87
2.3 結果と考察	87

3. 試験接着面の形状・寸法の影響	89
3.1 試験材料と試験片の形状・寸法	90
3.2 結果と考察	90

第4章 部分的集中加圧による現場接着の接着性能

はじめに	92
1. 試験方法	92
1.1 被着材	92
1.2 接着剤の選定	93
1.3 試験条件	93
1.4 試験体の作製	94
1.5 接着強さ試験方法	95
2. 試験結果	96
2.1 試験結果	96
2.2 評価の基準	97
2.3 評価結果と考察	98
2.4 因子別の評価	99

第5章 接着接合部の耐熱・耐火性

はじめに	126
1. 接着接合試験体の作製	126
2. 試験法	126
3. 結果と考察	128
3.1 試験体及び接着層の温度変化	128
3.2 接着剤の耐熱性	130
3.3 接着層温度と接着強度	132
4. 結論	133

第6章 ビッグフィンガージョイントの力学特性(その1)

はじめに	134
------------	-----

1. 試験体の概要	134
1.1 試験体の形状	134
1.2 継手の形状	134
1.3 圧縮	135
2. 加力・測定法	135
3. 断面欠損を考慮した曲げ耐力 P_{max} の算出	137
4. 試験片抜き取り強度試験の概要	138
5. ラミナのグレーディング結果	139
6. B F J の曲げ試験結果	140
6.1 最大荷重、最大荷重時のたわみ、最大曲げ応力度一覧	140
6.2 接着破断面の状況 (A-2、A-3 試験体)	142
6.3 荷重-変位関係	145
7. まとめ	147

第7章 ビッグフィンガージョイントの力学特性(その2)

はじめに	148
1. 試験体の概要	148
1.1 試験体の形状	148
1.2 継手の形状	148
1.3 圧縮	151
2. 加力・測定法	152
3. 実験結果	154
3.1 最大荷重実験値と計算値との比較	154
3.2 最大曲げ応力度 及び 最大せん断応力度	156
3.3 荷重-変位関係	156
4. まとめ	157

第8章 ビッグフィンガージョイントを有する集成梁の曲げ耐力

はじめに	158
1. ラミナの引張試験	158

1.1 短尺集成材の製造	158
1.2 ラミナの引張試験	158
1.3 引張試験の結果	161
2. B F J で現場接着された集成材梁の曲げ耐力	167
3. 実大集成材梁の実験結果との対比	167
4. 結論	168

第9章 スカーフジョイントの力学特性

はじめに	170
1. 試験体	170
2. 試験方法	170
3. 実験結果	173

第10章 Glued Bolt による集成材の接合に関する基礎実験

はじめに	174
1. 予備実験	174
1.1 予備実験の試験体	174
1.2 試験方法	175
1.3 試験方法	175
1.4 実験結果及び考察	177
2. PCネジを用いたグルードボルトの引張耐力	182
2.1 実験材料及び試験体の作製	182
2.2 試験方法	182
2.3 試験結果と考察	184

第11章 接着接合の非破壊検査と強度評価の基礎実験

はじめに	195
1. 試験方法	195
2. 試験結果	197
3. まとめ	197

第 1 編

建築構造用現場組立ビッグフィガージョイント設計施工規格

建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント 設計施工規格

1. 適用範囲

この規格は、以下に掲げる継手に用いる建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント（以下、BFJという。）に適用する。

- (1) 曲げ材の継手
- (2) 圧縮材の継手
- (3) 引張材の継手
- (4) 曲げ圧縮材の継手
- (5) 曲げ引張材の継手

2. 引用法令・規格等

この規格には法令、JAS、JIS、その他の刊行物が引用されている。これらは該当部分で引用しているが、下に一覧表示する。制定年の無いものに関しては最新の版を適用する。

建築基準法、建築基準法施行令

構造用集成材の日本農林規格

（JAS構造用集成材 平成8年1月29日農林水産省告示 第111号）

JIS K 6802-1995 フェノール樹脂木材接着剤

JIS K 6852-1994 接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法

構造用大断面集成材の製造基準（（社）日本木材加工技術協会 1987）

3. 定義

現場接着：工場等ではなく、建築現場で行う接着作業をいう。接着信頼性を高めるため、仮小屋等で行い、作業環境の温度を調節することもある。

ビッグフィンガージョイント：大断面木質材料を構造材とする建築物において、材料の軸方向を接着接合するフィンガージョイントで、フィンガーの長さが50mm以上のものをいう。以下、BFJと略記する。

4. 構造設計

4.1 安全性の確保

BFJを含む構造部材及び構造架構は、建築基準法施行令第3章の規定に準じた構造計算によって、安全性を確かめなければならない。

4.2 B F J の力学性能

前項の構造計算は、以下による。

- (1) B F J を含む構造部材の曲げ、圧縮、引張、せん断及びねじれに関する剛性は、B F J を含まないものと仮定して算出することができる。
- (2) B F J 部分の曲げ、圧縮、引張及びせん断耐力は 7 項（B F J の許容耐力）の規定により算出する。
- (3) 上記以外の B F J 部分の耐力は、母材のそれと同じとする。

4.3 常時荷重に対する安全性の確保

任意の 1 箇所における B F J の接合耐力が所期の耐力の 1/5 に低下した状態を仮想し、その状態において B F J に常時荷重が作用した場合は、当該 B F J の周辺部の床、屋根または架構に急激な落下や崩壊が予測される場合は、当該 B F J 部分には次式を満足する耐力を有するメカニカルファスナーを併設しなければならない。

$$S_s \geq F_L$$

ここに、

S_s : メカニカルファスナーの短期許容耐力

F_L : B F J 部分に生じる長期の応力

4.4 交叉部材の接続の禁止

B F J 部分には、他の構造部材が交叉するように接続してはならない。

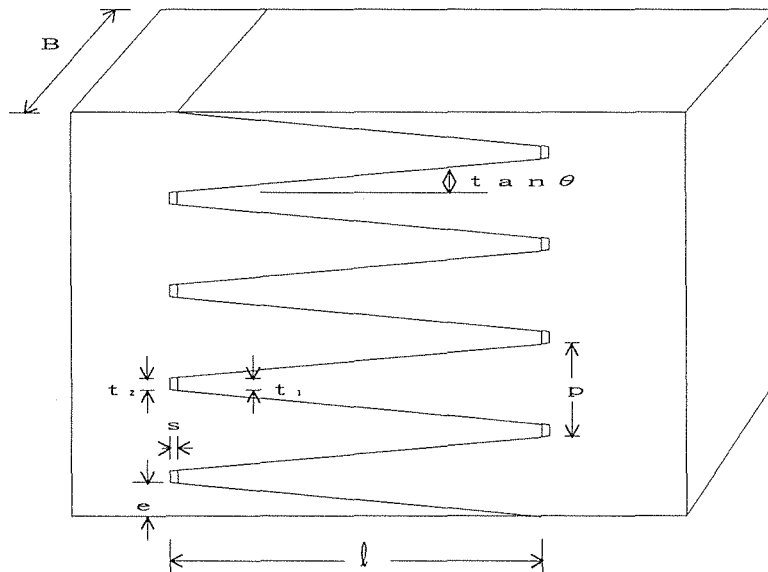
5. 母材の品質

- (1) B F J によって接合される母材の品質は、J A S 構造用集成材に適合するものでなければならない。
- (2) B F J によって接合される集成材の樹種・品質、断面形状・寸法は同一でなければならない。

6. B F J の形状、加工

6.1 各部の名称及び記号

B F J 各部の名称及び記号は次のとおりとする。



B : フィンガーの厚さ	t ₁ : フィンガー先端厚さ
l : フィンガーの長さ	t ₂ : フィンガー底部の幅
p : フィンガーのピッチ	s : のりだめ
tan θ : スカーフ傾斜比	e : のりだめのへりあき

6.2 形状

B F J の形状は下記を満足しなければならない。

- (1) フィンガーの長さ l は、50mm以上であること。
- (2) スカーフ傾斜比 $\tan \theta$ は、1/8以下であること。
- (3) $t_1 > t_2$ であること。
- (4) B F J の最外縁部にはのりだめを設けないこと。
- (5) 曲げ引張側にあるのりだめのへきあき e は、 $(p/2 - t_1)$ を大きく下回らないこと。
($e = (p/2 - t_1)$ は (4) の条件を満たす最大値)

6.3 B F J の加工

- (1) フィンガー各部は、組み上がった状態において、下記の条件を満たすように、精度よく加工しなければならない。
 - 1) フィンガー傾斜面相互のすき間は、1 mm以下であること。
 - 2) フィンガーの先端は、相手側フィンガーの底部に接触しないこと。
- (2) 接着接合面は平滑に加工しなければならない。

7. B F J の許容耐力

B F J の許容耐力は以下の各項による。(記号説明は各項共通)

7.1 B F J の許容引張耐力

B F J の短期許容引張耐力は[1]式により算定する。

長期許容引張耐力はその1/2とする。

$$P_{tj} = \text{Min}(P_{tj1}, P_{tj2}) \quad [1]$$

$$P_{tj1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [2]$$

$$P_{tj2} = 2 \cdot f_t \cdot A_e \quad [3]$$

記号 P_{tj} : 短期許容引張耐力(kgf)

P_{tj1} : 短期接着引張耐力(kgf)

P_{tj2} : 母材の短期許容引張耐力(kgf)

α : 接着部の強度低減係数。実験により求める場合を除き、0.8とする。

σ_{gt} : 接着部の引張の5%下限値(kgf/cm²)。

被着材がベイマツの場合は 50 kgf/cm²とする。

A_b : 接着部の部材断面への投影面積(cm²)

A_e : 継手部の有効断面積(cm²)

θ : 接着面の材軸に対する傾斜角(°)

f_t : 母材の長期許容引張応力度(kgf/cm²)

7.2 許容圧縮耐力

B F J の短期許容圧縮耐力は[4]式により算定する。

長期許容圧縮耐力はその1/2とする。

$$P_{cj} = \text{Min}(P_{cj1}, P_{cj2}) \quad [4]$$

$$P_{cj1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [5]$$

$$P_{cj2} = 2 \cdot f_c \cdot A_e \quad [6]$$

記号 P_{cj} : 短期許容圧縮耐力(kgf)

P_{cj1} : 短期接着圧縮耐力(kgf)

P_{cj2} : 母材の短期許容圧縮耐力(kgf)

f_c : 母材の長期許容圧縮応力度(kgf/cm²)

7.3 許容曲げ耐力

B F J の短期許容曲げ耐力は[7]式により算定する。

長期許容曲げ耐力はその1/2とする。

$$M_j = \text{Min}(M_{j1}, M_{j2}) \quad [7]$$

$$M_{j1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \cdot (Z_e / A_e) \quad [8]$$

$$M_{j2} = 2 \cdot f_b \cdot Z_e \quad [9]$$

記号 M_j : 短期許容曲げ耐力(kgf)

M_{j1} : 短期接着曲げ耐力(kgf)

M_{j2} : 母材の短期許容曲げ耐力(kgf)

f_b : 母材の長期許容曲げ応力度(kgf/cm²)

Z_e : 継手部の有効断面係数(cm³)

7.4 許容せん断耐力

7.4.1 せん断力の作用方向がフィンガーの厚さ方向に直交する場合

B F J の短期許容せん断耐力は[10]式により算定する。

長期許容せん断耐力はその1/2とする。

$$Q_j = 2/\beta \cdot f_s \cdot A_s \quad [10]$$

記号 Q_j : 接着継手の短期許容せん断耐力(kgf)

β : 断面に生ずる最大せん断応力度の平均せん断応力度に対する比
(矩形断面の場合は1.5)

f_s : 母材の長期許容せん断応力度(kgf/cm²)

7.4.2 せん断力の作用方向がフィンガーの厚さ方向に平行する場合

B F J の短期許容せん断耐力は[11]式により算定する。

長期許容せん断耐力はその1/2とする。

$$Q_j = \text{Min}(Q_{j1}, Q_{j2}) \quad [11]$$

$$Q_{j1} = 2/3 \cdot \alpha/\beta \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b/\sin\theta) \quad [12]$$

$$Q_{j2} = 2/\beta \cdot f_s \cdot A_s \quad [13]$$

記号 Q_j : 接着継手の短期許容せん断耐力(kgf)

Q_{j1} : 接着部の短期接着せん断耐力(kgf)

Q_{j2} : 接着部の母材の短期許容せん断耐力(kgf)

7.5 軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合の許容耐力

継手部に軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合は、軸方向力及び曲げモーメントの各々は[14]式を満足しなければならない。

$$|P/P_j| + |M/M_j| \leq 1 \quad [14]$$

記号 P : 継手部に作用する軸方向力(kgf)

M : 継手部に作用する曲げモーメント(kgf・cm)

P_j : [1]式または[4]式により求められる継手部の許容軸方向耐力(kgf)

M_j : [7]式により求められる継手部の許容曲げ耐力(kgf)

8. 現場接着

8.1 接着剤

接着剤は、レゾルシノール樹脂木材接着剤（共縮合の場合はレゾルシノールが7以上、フェノール等共縮合組成物が3以下の割合のもの）とする。

8.2 被着材の含水率

接着作業時の被着材の含水率は、平均値が15%以下であり、かつ被着断面内各位置の含水率のばらつきが5%以下でなければならない。また、接着される2材の平均含水率の差は5%以下でなければならない。

8.3 被着材の温度

接着作業時の継手部及びその周辺部における被着材の温度は20℃以上としなければならない。

8.4 接着剤の塗布

接着剤は、1 接着層あたり200～350g/m²を、接着される2材の各接着面に分けて塗布する。

8.5 開放堆積時間

接着剤塗布後の開放堆積時間は30分以下とする。

8.6 圧縮作業

- (1) 圧縮は予め用意された適切な治具を用いて行う。
- (2) 圧縮圧力は接着面に対し5 kgf/cm²以上とする。
- (3) 圧縮持続時間は6時間以上とする。

8.7 圧縮後の養生

圧縮圧解除後は、20℃以上の温度環境下に24時間以上静置する。

8.8 接着作業環境

被着材の現場搬入から圧縮後の養生終了までの一連の作業は、雨水、埃などがかからず、直射日光に曝されない場所で、20℃以上の温度環境下で行わなければならない。

8.9 接着性能の確認

- (1) 製作された継手部の形状が、6.3項(1)の規定を満たしていることを確認しなければならない。
- (2) 被着材の製造に用いたラミナと同質の材から厚さ10mmの板を採り、それをBFJの接着と同時進行的に、同一条件で2枚合わせの試験体に接着する。BFJの養生終了後速やかに、その試験体からBFJ継手1箇所につき10個の圧縮せん断試験片を切り出してJISK 6852に定める圧縮せん断接着強さ試験を行い、試験結果が次の基準を満たすことを確認しなければならない。
 - 1) 圧縮せん断接着強さ及び木部破断率の平均値が次表の数値以上であること。
 - 2) 圧縮せん断接着強さ試験値の変動係数が30%以下であること。

圧縮せん断接着強さ基準値 (J A S 構造用集成材 引用)

樹種区分 の番号	樹 種 区 分	圧縮せん断 接着強さ (kgf/cm ²)	木部 破断率 (%)
1	イタヤカエデ、カバ、ブナ、ミズナラ、ケヤキ、アピトン (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	9 6	6 0
2	タモ、シオジ、ニレ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	8 4	
3	ヒノキ、ヒバ、カラマツ、アカマツ、クロマツ、ベイヒ、ダフリカカラマツ、サザンパイン、ベイマツ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	7 2	6 5
4	ツガ、アラスカイエローシダー、ベニマツ、ラジアタパイン、ベイツガ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	6 6	
5	モミ、トドマツ、エゾマツ、ベイモミ、スプルース、ロジポールパイン、ポンドローサパイン、オウシュウアカマツ、ラワン (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	6 0	
6	スギ、ベイスギ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	5 4	7 0

8.10 接着管理者

接着作業は、接着管理者の資格を持つ者が管理しなければならない。

8.11 作業管理記録の作成と保管

接着管理者は、B F J の施工に関する作業管理記録を作成し、建物管理者はそれを保管しなければならない。

9. 保守点検

9.1 保守点検項目

保守点検作業は次に述べる4項目について行う。点検の結果、不具合が発見された場合、係員は速やかに設計者、発注者及び施工業者と協議し、必要な対策を講じなければならない。

(1) 接着面の剥離

継手の接着部及び継手近辺のラミナの接着面における接着剥離の有無

(2) 継手部分の割れ

継手近辺のラミナにおけるひび割れの有無

(3) 部材のたわみ

- B F Jを含む部材のたわみに関する異常の有無
- (4) 継手部分の音
- 接着継手部分における異常音の発生の有無

9.2 保守点検の時期

保守点検は以下の各時期に行わなければならない。

- (1) 竣工後1年を経過したとき
- (2) 次の自然現象のうち、最初のものを経験したとき
- 1) 震度5以上の地震
 - 2) 平均風速20m/sec以上の強風
 - 3) 設計積雪深の35%以上の深さの積雪
- (3) 建物管理者から異常の発生が伝えられたとき

第 2 編

建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント設計施工規格の解説

建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント 設計施工規格解説

1. 適用範囲

この規格は、以下に掲げる継手に用いる建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント（以下、BFJという。）に適用する。

- (1) 曲げ材の継手
- (2) 圧縮材の継手
- (3) 引張材の継手
- (4) 曲げ圧縮材の継手
- (5) 曲げ引張材の継手

本規格でいうビッグフィンガージョイント（以下、BFJという）とは、図1に示すようなフィンガージョイントのうち、フィンガーの長さ l が50mm以上のものを指す。本規格はこの継手が図2に示すような各種応力を受ける場合に適用する。

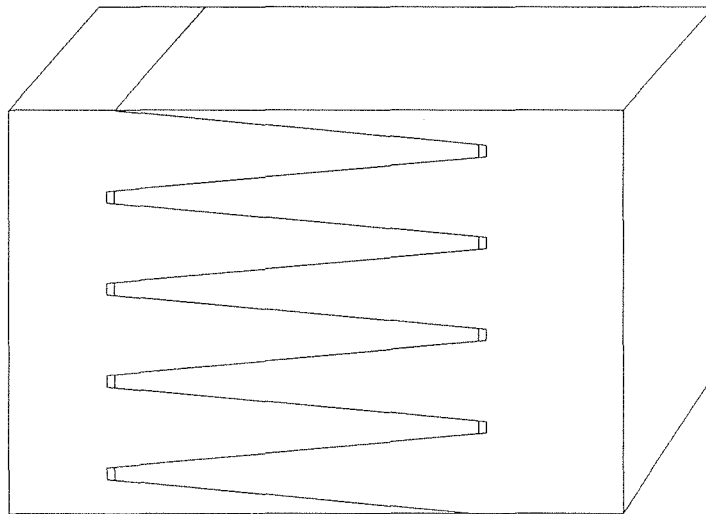


図1 ビッグフィンガージョイント

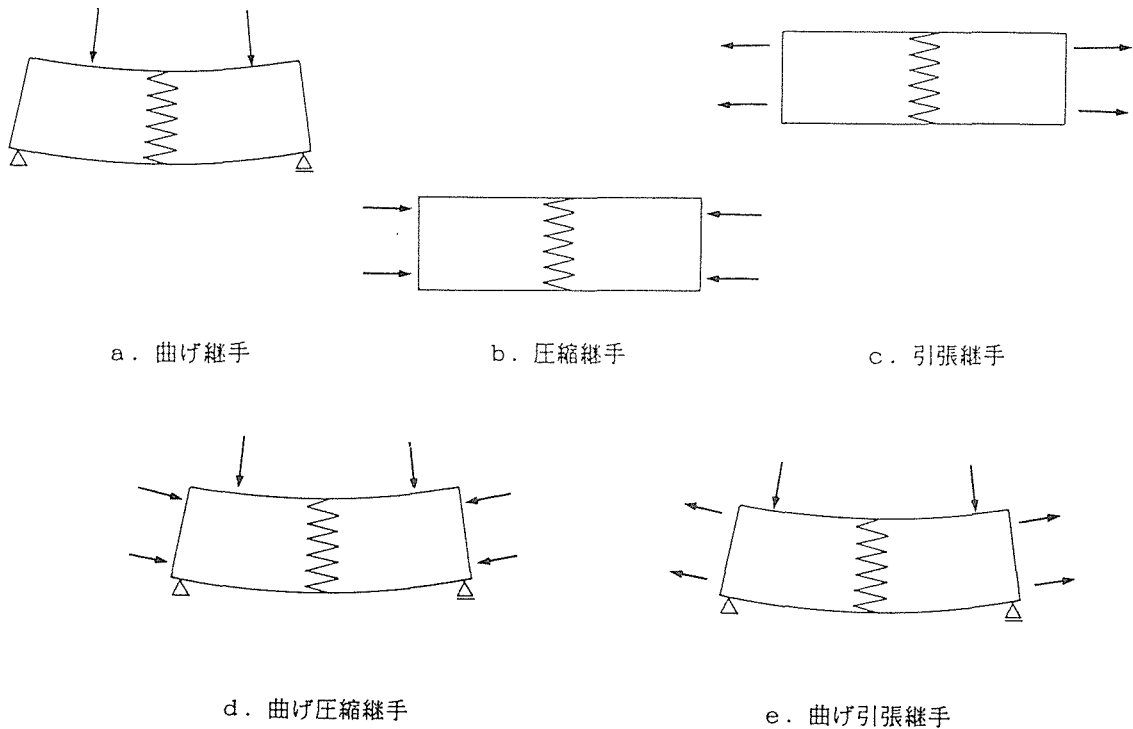


図2 BFJに作用する力

2. 引用法令・規格等

この規格には法令、JAS、JIS、その他の刊行物が引用されている。これらは該当部分で引用しているが、下に一覧表示する。制定年の無いものに関しては最新の版を適用する。

建築基準法、建築基準法施行令

構造用集成材の日本農林規格

(JAS構造用集成材 平成8年1月29日農林水産省告 第111号)

JIS K 6802-1995 フェノール樹脂木材接着剤

JIS K 6852-1994 接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法

構造用大断面集成材の製造基準 ((社)日本木材加工技術協会 1987)

「構造用大断面集成材の製造基準-1987」は、「JAS構造用大断面集成材」の廃止及び「JAS構造用集成材」の制定に伴い改訂が予想されるが、それまでの間現行のものを引用する。新しく「構造用集成材製造基準」が策定された場合には、新規のものに読み替えて参考とする。

3. 定義

現場接着：工場等ではなく、建築現場で行う接着作業をいう。接着信頼性を高めるため、仮小屋等で行い、作業環境の温度を調節することもある。

ビッグフィンガージョイント：大断面木質材料を構造材とする建築物において、材料の軸方向を接着接合するフィンガージョイントで、フィンガースの長さが50mm以上のものをいう。以下、BFJと略記する。

(1) 現場接着：集成材を使った木造建築物において、道路交通法上輸送が許される長さの範囲内の短い通直材等によって、大スパン建築物や剛接架構などを建築するには、梁の継手、柱・梁の仕口を建築現場で組み立てることが必要になる。この手段として接着の手法を用いる場合を特に現場接着という。作業環境・作業条件が管理できる工場とは異なる条件の下で、信頼性のある接着接合を完成させるためには、接着作業時のみならずその前後においても細心の注意が必要である。

(2) ビッグフィンガージョイント：フィンガージョイントのうち、集成材ラミナの縦継ぎ等に利用されるミニフィンガージョイントに対し、フィンガースの長さが50mm以上のものをここではビッグフィンガージョイントという。

4. 構造設計

4.1 安全性の確保

BFJを含む構造部材及び構造架構は、建築基準法施行令第3章の規定に準じた構造計算によって、安全性を確かめなければならない。

建築基準法施行令第3章は、建築物及びその部分が満足しなければならない構造耐力性能を規定している。本項はこの規定に適合するような建築物を設計するために、同規定に準じた構造計算を建築物全体について行い、その結果からBFJ部分に生じる応力を計算し、それに対するBFJの安全性を確かめることを要求している。

4.2 BFJの力学性能

前項の構造計算は、以下による。

- (1) BFJを含む構造部材の曲げ、圧縮、引張、せん断及びねじれに関する剛性は、BFJを含まないものと仮定して算出することができる。
- (2) BFJ部分の曲げ、圧縮、引張及びせん断耐力は7項（BFJの許容耐力）の規定により算出する。
- (3) 上記以外のBFJ部分の耐力は、母材のそれと同じとする。

B F J を含む架構の構造計算を行うにあたっては、B F J を含む構造部材の荷重－変形関係を知ることが必要になる。本項はこの点に関して以下のように規定している。

(1) B F J を含む構造部材の曲げ剛性、圧縮剛性、引張剛性、せん断剛性及びねじれ剛性は、母材のそれらと同じであると仮定してよい。

(2) B F J 部分の曲げ、圧縮、引張及びせん断耐力は、母材と同等あるいはそれ以下であるので、4 項に定める耐力によらねばならない。

(3) 座屈耐力、めり込み耐力等は B F J を含まない母材と等しいと仮定することができる。

4.3 常時荷重に対する安全性の確保

任意の 1 箇所における B F J の接合耐力が所期の耐力の 1/5 に低下した状態を仮想しその状態において B F J に常時荷重が作用した場合、当該 B F J の周辺部の床、屋根または架構に急激な落下や崩壊が予測されるときは、当該 B F J 部分には次式を満足する耐力を有するメカニカルファスナーを併設しなければならない。

$$S_s \geq F_L$$

ここに、

S_s : メカニカルファスナーの短期許容耐力

F_L : B F J 部分に生じる長期の応力

(1) B F J の完成状態の構造耐力性能を非破壊で検査することは、現状の技術では不可能である。従って 6.3 項の規定に適合するようにフィンガー各部を精度よく加工すること及び 5 項の規定に準じてフィンガーの接着を入念に行うことが、十分な構造耐力性能を確保する上で不可欠なことである。このような入念な加工や施工をしても、非破壊検査の方法がない限り十分な接着性能が得られたという保証はない。

本規格ではこの問題に対して次の二つの対策を講じることとしている。

1) B F J 部に接着不良が発生した場合であっても、それによって日常的な状態において屋根や床が突然崩落したり、架構が倒壊したりすることがないことを設計によって保証する。

2) 地震、強風あるいは積雪に対しては、構造設計において想定されるこれら荷重外力の 1/3 程度の大きさのものを最初に経験したときに B F J 部分における異常の発生の有無を点検し、必要があれば事故の発生を未然に防止する処置を講じる。

前者の対策に関する具体化の規定が本項であり、後者に関する規定が 9 項である。

(2) 本項においては、接着不良という状態を、接着強度が予定した強度の 1/5 以下に低下した状態であるとしている。本規格に準じて加工した B F J は、そのすべてが同時にこのような接着不良を生じることはないので、ここではある 1 箇所の B F J にのみ接着不良が発生し、その他の B F J は健全であるような状態を仮想することとしている（図 3 参照）。

この状態で常時荷重（固定荷重、積載荷重及び多雪区域にあっては常時積雪荷重の和）によって屋根や床が落下したり、架構が倒壊したりすることが予測される場合には、[1]

式を満足するような接合金物をBFJ部に併設しなければならない。

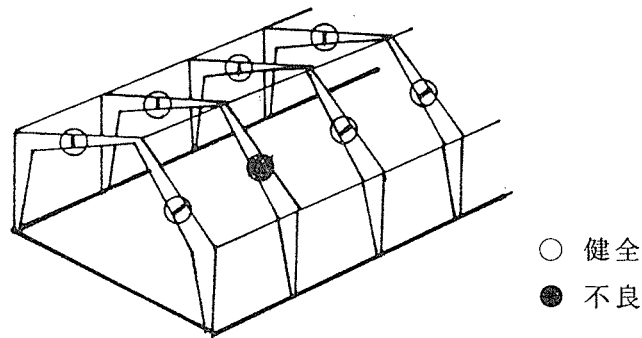


図3 仮想する状態の例

(3) 屋根や床が落下するか否か、あるいは架構が崩壊するか否かは、図3の例では次のようにして判定する。

1) 4項に規定するBFJの許容耐力の算定において、 σ_{gt} が1/5になったものとしてBFJの短期許容耐力を算出する。BFJ部に生じる長期の応力が、この短期許容耐力を超えない場合は架構の崩壊等は生じない。

2) 上記を満足できない場合であっても、接着不良のBFJを含む架構の両側に隣接する架構に母屋が架け渡してあって、その母屋が接着不良のBFJを含む架構が負担すべき常時荷重を代わりに負担できる場合（母屋に生じる曲げ応力が短期許容曲げ耐力を超えない場合）は、架構の崩壊等は生じない。

(4) メカニカルファスナーを設ける場合は、BFJの接着部に断面欠損を生じないように計画しなければならない。

4.4 交叉部材の接続の禁止

BFJ部分には、他の構造部材が交叉するように接続してはならない。

BFJ部分を他の部材が交叉すると、部材の緊結に伴ってBFJ部に断面欠損が生じたり、またBFJ部の異常を点検し難くなるので、交叉部材はBFJ部を避けて設けなければならない。

5. 母材の品質

(1) BFJによって接合される母材の品質は、JAS構造用集成材に適合するものでなければならない。

(2) BFJによって接合される集成材の樹種・品質、断面形状・寸法は同一でなければならない。

(1) 現場組立BFJは、大断面木造建築物に使用されることを想定しているので、建設省告示第1898号に準じた材料を使用する。

(注：JAS構造用集成材 平成8年1月29日農林水産省告示 第111号 制定に伴う告示改正を待つ)

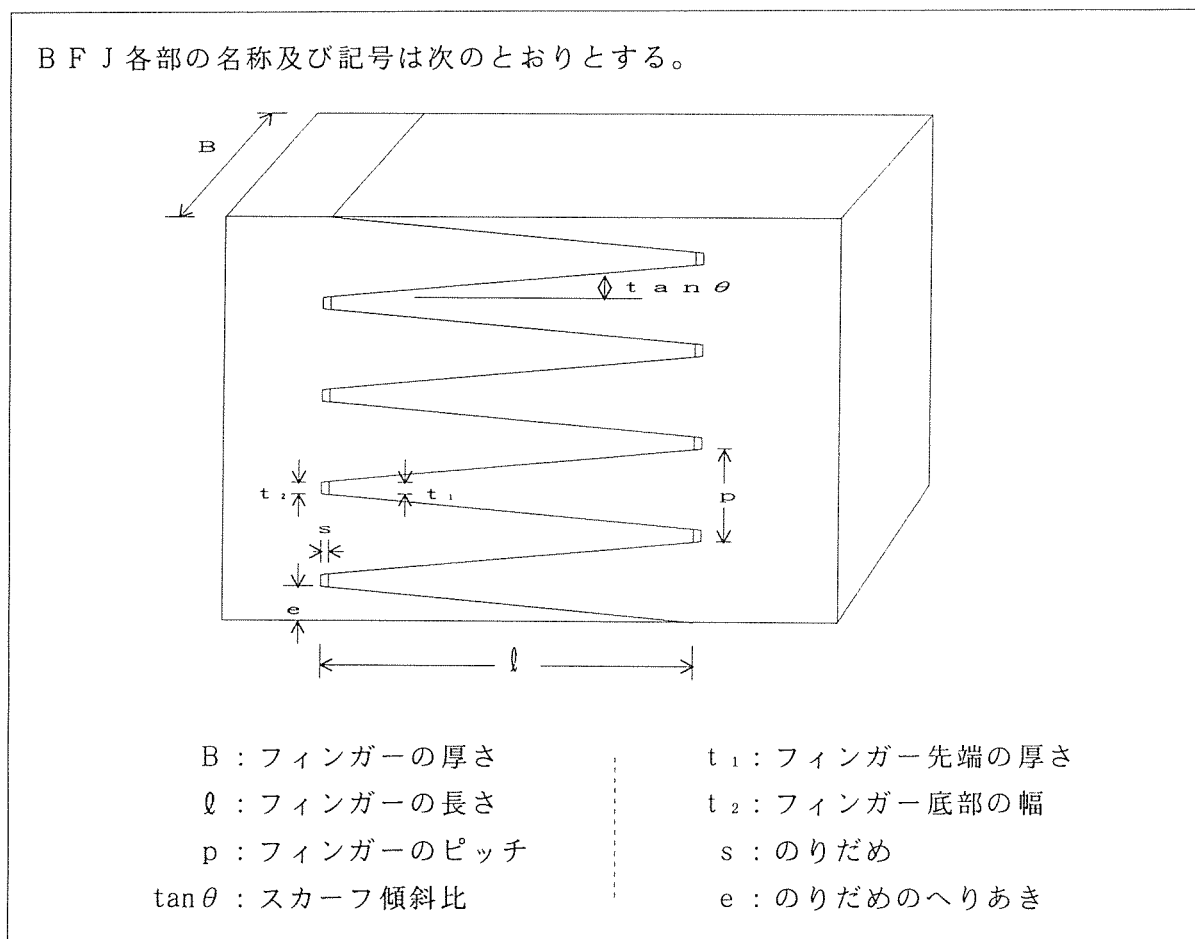
(2) BFJによって結合される2材の間には大きな品質の差があってはならない。これは接着の信頼性を高めるためと異種材を接合したBFJの力学的挙動に関する技術データがないためである。

従って、本規格においては接着される二つの材は次の条件を満足することを前提とする。

- ①被着材の樹種は同一であること。
- ②被着材の品質を規定する規格及び等級区分は同一であること。
- ③被着材のBFJ部分の断面形状及び寸法は同一であること。

6. BFJの形状、加工

6.1 各部の名称及び記号



BFJの表示記号は「構造用大断面集成材の製造基準」におけるラミナのフィンガージョイントの技術基準に準じている。

(注：JAS構造用集成材では「ラミナ」の語は使用せず、「ひき板」といっている)

6.2 形状

B F J の形状は下記を満足しなければならない。

- (1) フィンガーの長さ l は、50mm以上であること。
- (2) スカーフ傾斜比 $\tan \theta$ は、1/8以下であること。
- (3) $t_1 > t_2$ であること。
- (4) B F J の最外縁部にはのりだめを設けないこと。
- (5) 曲げ引張側にあるのりだめのへきあき e は、 $(p/2 - t_1)$ を大きく下回らないこと。
($e = (p/2 - t_1)$ は (4) の条件を満たす最大値)

B F J は、原理的には材軸に対して一定の角度をもつスカーフ面の接着接合である。フィンガー先端部にはバットジョイントがあり、この部分には接着耐力を期待できない。B F J に安定した耐力を期待するためには、このスカーフ面の接着が確実に行われることが必要であり、本項の規定はこの観点から定められている。

- (1) フィンガーの長さ l は、50mm以上であること。

フィンガーの長さ l は、B F J の曲げ試験結果から、 l が小さくても加工精度が良好なものは十分高い耐力が得られることが確認できている。しかし、集成材ラミナなどの縦接合に使用されているフィンガージョイントと区別するために、フィンガー長さの下限を定めている。D I N 68140では縦継材のフィンガーの長さの最小値を50mmとしており、本規格ではそれに合わせて50mmを採用した。

- (2) スカーフ傾斜比 $\tan \theta$ は、1/8以下であること。

スカーフ傾斜比はその値が小さいほど高い接着耐力が期待できるが、現場等における取り扱いの容易さ及び加工の容易さを考慮して、本規格ではD I N 68140に規定する傾斜比 1 : 8 ($\tan \theta = 1/8$ 、 $\theta = 7.1^\circ$) 以下を採用した。

- (3) フィンガーの先端厚さ $t_1 >$ フィンガーの底部の幅 t_2

フィンガーのスカーフ面を互いに密着させるためには、山側フィンガーを谷側フィンガーよりわずかに大きくする必要がある。J A S規格のラミナでは、フィンガーの長さが20mm程度で、 $t_1 - t_2 > 0.1\text{mm}$ (t_1 が t_2 より0.1mm以上大きい) であることがよいとされている。山側フィンガーが谷側フィンガー底部に接触した場合、接着剤を溜める部分がなくて接着剤の排出が悪くなったり、フィンガー先端が底部にめり込み割裂を生じる可能性が大きく、結果的にはそれらが接合部の耐力低下の原因となる。そのため $t_1 > t_2$ とし、スカーフ面が十分密着する程度まで押し込み、先端にのりだめが確保できる程度が最もよい接合である。

- (4) B F J の最外縁部にはのりだめを設けないこと。

図4のような状態で接着すると、外縁部ののりだめがノッチとなって、その部分が引張られたときに脆性的な破壊を起こして不都合である。

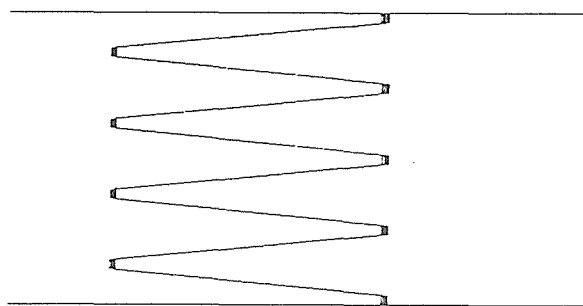


図4 外縁部ののりだめ

(5) 曲げ引張側にあるのりだめのへりあき e は、 $(p/2 - t_1)$ を大きく下回らないこと。

前述のように、外縁部にはのりだめを作らないようにすることが必要であるが、そのために外縁部を削り過ぎると「のりだめのへりあき」が小さくなり過ぎて好ましくない。本規定の数値 $(p - 2t_1)/2 = (p/2 - t_1)$ は外縁の切削をのりだめが丁度なくなる程度に止めることを要求している。ちなみに、側面に現れる接合部の線がフィンガーの中央にくる e の値は $(p/2 - t_1)/2$ となる。

6.3 B F J の加工

(1) フィンガー各部分は、組み上がった状態において、下記の条件を満たすように、精度よく加工しなければならない。

- 1) フィンガー傾斜面相互のすき間は、1 mm 以下であること。
- 2) フィンガーの先端は、相手側フィンガーの底部に接触しないこと。

(2) 接着接合面は平滑に加工しなければならない。

(1) フィンガー傾斜面相互のすき間は、1 mm 以下であること。

接着面であるスカーフ面は、組み上がった状態において互いに密着するように加工することが望ましい。しかし接着剤にはすき間充填性があるので、ある程度のすき間があっても接着強度を期待することができる。本規格においては 1 mm 以下のすき間は許容することとした。

(2) フィンガーの先端は、相手側フィンガーの底部に接触しないこと。

6.2 において $t_1 > t_2$ であることを要求した。この要求を満たしていても、左右のフィンガーを組み合わせた状態で圧縮圧を加えるとフィンガー先端部が相手方のフィンガー底部に接触することがあり得る。フィンガーの先端と底部が接触すると、圧縮圧がスカーフ面に作用しなくなり、それにより接着不良が発生しやすくなる。本規定はそのようなことがないように t_1 と t_2 の差を適切に設定することを要求している。

(3) スカーフ面の加工

接着接合面であるスカーフ面の表面に鋸目などの凹凸があると、スカーフ面相互のすき間が局部的に 1 mm を超えることがあり得る。従ってスカーフ面はできるだけ平滑に（少な

くとも0.5mm以下の誤差にすることが必要)仕上げるのが大切である。スカーフ面の平滑度の管理にあたっては、原寸のフィンガージョイントの型板を作製し、それをフィンガーに当てて加工精度、すなわち加工寸法誤差を測定する。型板に使用する材料は加工がし易く温湿度による伸縮が少ないものがよく、例えば合板や合成樹脂板のように比較的厚みのあるものがよい。型板の加工精度は、寸法誤差測定に大きな影響を及ぼすので、±0に仕上げる必要がある。

一般に、スカーフ面の加工の平滑性は切削時の毛羽などのないマイタソー切断表面程度以上であればよい。サンダーで接着面を加工した場合にはサンダー切削屑が残らないように特に入念に清掃する。汚染、水濡れ等はあってはならない。また、加工したフィンガーは、損傷しないように運搬、移動、保管し、作業時に適切な養生をしなければならない。

(4) フィンガー加工部の最外層ラミナには節や目切れがあってはならない。

7. B F J の許容耐力

B F J の許容耐力は以下の各項による。(記号説明は各項共通)

本項ではB F J の各種応力に対する許容耐力を規定している。許容耐力を与える式中の記号の意味は、それが最初に出てくる箇所で説明してある。2 度目以降は説明を省略してあるので、初出の箇所の説明を参照されたい。

7.1 B F J の許容引張耐力

B F J の短期許容引張耐力は[1]式により算定する。

長期許容引張耐力はその1/2とする。

$$P_{tj} = \text{Min}(P_{tj1}, P_{tj2}) \quad [1]$$

$$P_{tj1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [2]$$

$$P_{tj2} = 2 \cdot f_t \cdot A_e \quad [3]$$

記号 P_{tj} : 短期許容引張耐力(kgf)

P_{tj1} : 短期接着引張耐力(kgf)

P_{tj2} : 母材の短期許容引張耐力(kgf)

α : 接着部の強度低減係数。実験により求める場合を除き、0.8とする。

σ_{gt} : 接着部の引張の5%下限値(kgf/cm²)。

被着材がベイマツの場合は 50 kgf/cm²とする。

A_b : 接着部の部材断面への投影面積(cm²)

A_e : 継手部の有効断面積(cm²)

θ : 接着面の材軸に対する傾斜角(°)

f_t : 母材の長期許容引張応力度(kgf/cm²)

(1) 算定式中、接着部の引張強度 σ_{gt} とは、引張方向に対する実接着面の単位接着面積当たりの引張耐力を指す。接着部の引張強度と接着面の引張方向に対する傾斜角との関係をベイマツの小試験体を用いて調べた実験（文献1参照）がある。この実験は接着面傾斜角をパラメータとし、3種類の接着剤を用いて接着部断面が $5 \times 20\text{mm}$ の試験体を作り、引張耐力実験を行ったものである。図5はその結果である。これによれば、被着材がベイマツで接着剤がレゾルシノール樹脂の場合、傾斜角 θ に関係なく引張方向の強度は 50 kgf/cm^2 の下限値が得られ、しかもほぼ一定であることが分かる。このことは上記の被着材と接着剤との組み合わせの場合、接着面傾斜角とは無関係に接着接合部の引張耐力が評価できることを示している。すなわち、接着面積に一定の値 σ_{gt} （接着部の引張強度）を乗じることにより接着引張耐力が求められるわけである。 σ_{gt} は接着剤または被着材の違いによって値が異なると考えられるため、原則として対象とする接着継手と同じ素材、同じ接着剤、同じ接着面傾斜角での小試験体による引張耐力実験を行い、その結果を基に適切に値を定めるものとする。

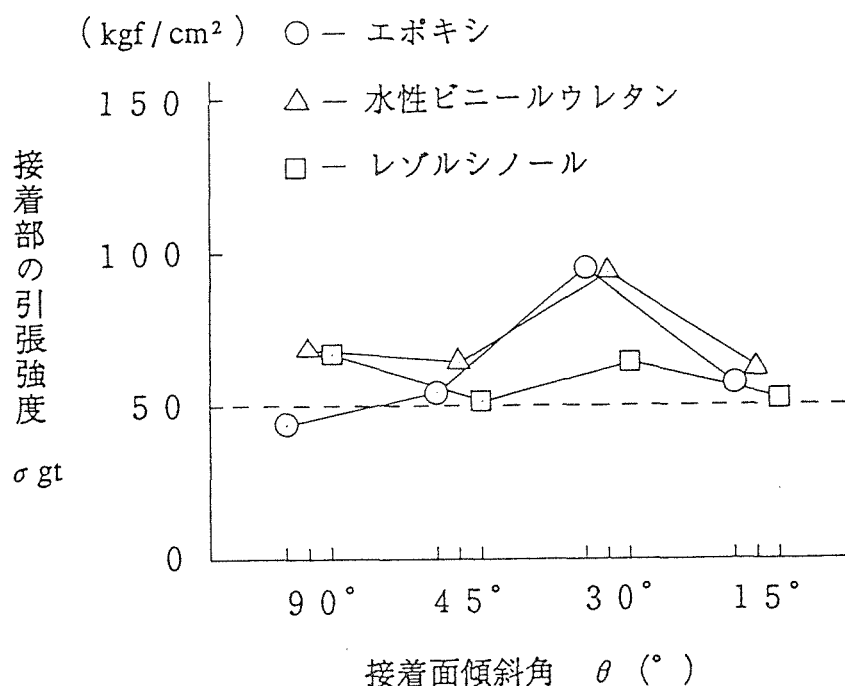


図5 接着面傾斜角と引張強度との関係

(2) 算定式中、 A_0 とは非接着部分を除いた実接着部分の部材断面上への投影面積である。BFJ接合の場合、 A_0 は図7に示すようにフィンガー部左右両端の欠損部分を除いた投影面積ということになる。 A_0 は部材自身の耐力算定のために必要な断面積であり、同一断面上最小断面積となる部分の断面積を与えればよく、図6ではフィンガー片側の欠損部分を除いた断面積である。

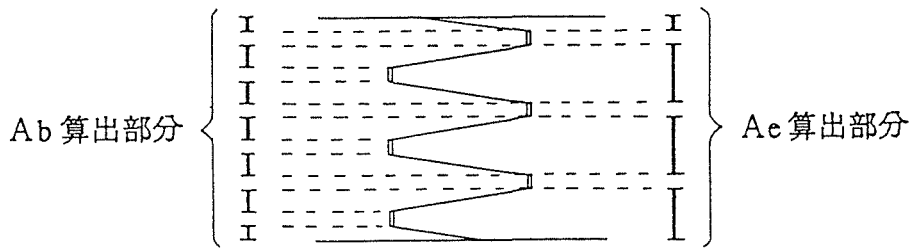


図6 BFJ接合における A_b と A_e

一方、種々の状況により施工方法に差が生じ、引張耐力が低下することが十分予想される。更に、木材そのものに存在する節や割れなどの欠陥によっても引張耐力は低下する。これらの不確定要素により、実際の引張耐力が計算値を下回る場合もあり得る。そこで、これらの欠陥が原因となって生じる接着部の引張強度の低下を見込んだ低減係数、すなわち強度低減係数 α を設けることとした。接着強度は、特に継手部分の加工精度、すなわち形状精度に左右される。本算定方法では十分な形状精度が得られておれば、施工方法の違い、節、割れなどを考慮した強度の低減を20%とみればよいこととした。ただし、引張実験によりこの接着効率の確認が可能である場合には、実験結果を基に接着効率を求めるものとする。特に加工精度が良くない場合には、引張実験を実施して適切な接着効率を求めることが必要である。

(3) 小松、室田らは、BFJ接合部を設けたベイマツの大断面集成材梁から、積層接着層に沿ってBFJ接合部を含むラミナを再度切り出し、接着部の引張強度を求めるための実験(文献2参照)を行っている。試験体はスカーフの長さが60、120、200、480mmの4種類のBFJ接合部を設けた集成材から切り出されたものであるが、480mmのものを除いてBFJ部分の接着時の圧縮を油圧ジャッキによる機械締めと、人力によるボルト締めの2通りの方法で行っている(480mmのものは油圧ジャッキによる機械締めのみ)。

図7に実験結果を示す。

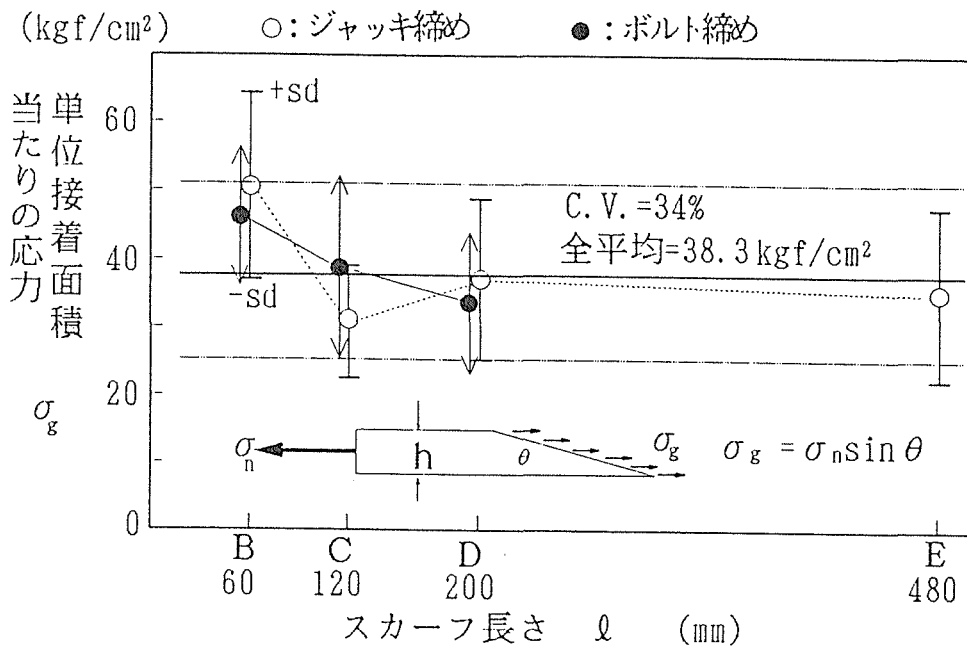


図7 ラミナ接着部強度とスカーフ長さとの関係

本算定方法によれば、接着部引張強度 σ_{gt} は、単位面積当たり50 kgf/cm²の引張強度に低減率 0.8を乗じて40 kgf/cm²となるが、この実験では図7に示すようにスカーフの長さや圧縮方法によらず σ_{gt} はおおむね一定であることが分かる。ただし、いずれの試験体もフィンガーの加工精度があまり良くなく、Bタイプ以外の試験体では引張強度が上記の計算値を若干下回っている。6.3項「BFJの加工」に準じた精度を条件にすれば、強度低減率0.8の値は妥当であろう。

(文献1) 木村、渡辺ら：集成材の継手に関する研究（その1 接着強度について）
昭和63年度 日本建築学会大会梗概集
(文献2) 小松、室田ら：Big Finger Joint による大断面集成材の現場接着に関する研究
第42回日本木材学会大会研究発表要旨集(1992)

7.2 許容圧縮耐力

BFJの短期許容圧縮耐力は[4]式により算定する。

長期許容圧縮耐力はその1/2とする。

$$P_{c,j} = \text{Min}(P_{c,j1}, P_{c,j2}) \quad [4]$$

$$P_{c,j1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [5]$$

$$P_{c,j2} = 2 \cdot f_c \cdot A_c \quad [6]$$

記号 $P_{c,j}$: 短期許容圧縮耐力(kgf)
 $P_{c,j1}$: 短期接着圧縮耐力(kgf)
 $P_{c,j2}$: 母材の短期許容圧縮耐力(kgf)
 f_c : 母材の長期許容圧縮応力度(kgf/cm²)

圧縮耐力の算定方法は引張耐力の算定方法と基本的には同じである。すなわち、接着面積に一定の値（接着部の圧縮強度）を乗じることにより接着圧縮耐力を求めるというものである。耐力算定上、接着部の圧縮耐力は引張強度 σ_{gt} と同値とした。

加工精度が良くない場合には、圧縮破壊実験を実施して圧縮に対する強度低減率を求めることが必要である。

7.3 許容曲げ耐力

BFJの短期許容曲げ耐力は[7]式により算定する。長期許容曲げ耐力はその1/2とする。

$$M_j = \text{Min}(M_{j1}, M_{j2}) \quad [7]$$

$$M_{j1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \cdot (Z_e / A_c) \quad [8]$$

$$M_{j2} = 2 \cdot f_b \cdot Z_e \quad [9]$$

記号 M_j : 短期許容曲げ耐力(kgf)
 M_{j1} : 短期接着曲げ耐力(kgf)
 M_{j2} : 母材の短期許容曲げ耐力(kgf)
 f_b : 母材の長期許容曲げ応力度(kgf/cm²)
 Z_e : 継手部の有効断面係数(cm³)

曲げ耐力の算定方法は引張耐力の算定方法に準じている。曲げ破壊は一般に引張側最外縁部分の引張破断によって生じるが、ここでは接着部の曲げ強度を引張強度 σ_{gt} と同値として継手部の曲げ耐力を算定することとした。

加工精度が良くない場合には、曲げ破壊実験を実施して曲げに対する強度低減率を求めることが必要である。

7.4 許容せん断耐力

7.4.1 せん断力の作用方向がフィンガーの厚さ方向に直交する場合

B F J の短期許容せん断耐力は[10]式により算定する。

長期許容せん断耐力はその1/2とする。

$$Q_j = 2/\beta \cdot f_s \cdot A. \quad [10]$$

記号 Q_j : 接着継手の短期許容せん断耐力(kgf)

β : 断面に生ずる最大せん断応力度の平均せん断応力度に対する比
(矩形断面の場合は1.5)

f_s : 母材の長期許容せん断応力度(kgf/cm²)

7.4.2 せん断力の作用方向がフィンガーの厚さ方向に平行する場合

B F J の短期許容せん断耐力は[11]式により算定する。

長期許容せん断耐力はその1/2とする。

$$Q_j = \text{Min}(Q_{j1}, Q_{j2}) \quad [11]$$

$$Q_{j1} = 2/3 \cdot \alpha / \beta \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [12]$$

$$Q_{j2} = 2/\beta \cdot f_s \cdot A. \quad [13]$$

記号 Q_j : 接着継手の短期許容せん断耐力(kgf)

Q_{j1} : 接着部の短期接着せん断耐力(kgf)

Q_{j2} : 接着部の母材の短期許容せん断耐力(kgf)

7.4.1項に示す許容せん断耐力は図8の(a)の場合に適用し、7.4.2項に示す許容せん断耐力は同図(b)の場合に適用する。

せん断耐力の算定方法も引張耐力の算定方法に準じている。この場合も接着部のせん断強度は、引張強度 σ_{gt} と同値として継手部のせん断耐力を算定する。

加工精度が良くない場合には、せん断破壊実験を実施してせん断に対する強度低減率を求めることが必要である。

7.4.1項の場合(図8の(a))の許容せん断耐力に接着部のせん断強度が関与しないのは、母材のせん断強度に比べて $\sigma_{gt}/\sin \theta$ の値が十分大きいからである。

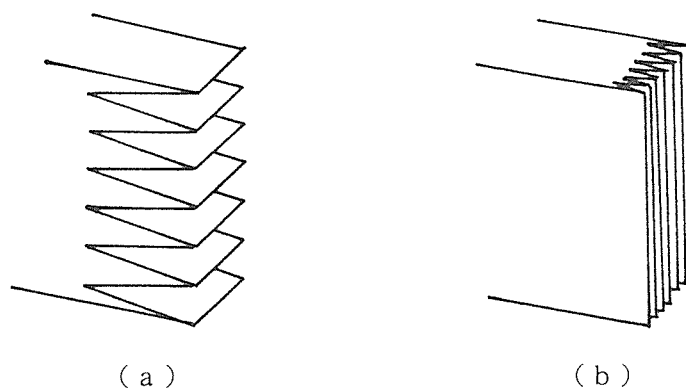


図8 BFJの形状とせん断力の作用方向

7.5 軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合の許容耐力

継手部に軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合は、軸方向力及び曲げモーメントの各々は[14]式を満足しなければならない。

$$|P/P_j| + |M/M_j| \leq 1 \quad [14]$$

記号 P : 継手部に作用する軸方向力(kgf)

M : 継手部に作用する曲げモーメント(kgf・cm)

P_j : [1]式または[4]式により求められる継手部の許容軸方向耐力(kgf)

M_j : [7]式により求められる継手部の許容曲げ耐力(kgf)

継手部に作用する荷重の組み合わせとしては、一般には軸力と曲げが考えられる。ここでは軸力と曲げの破壊相関関係が線形であると仮定して[14]式のような耐力算定式とした。詳細な実験によって実際の破壊相関関係が得られた場合には、それに基づいて変更することができる。

8. 現場接着

従来建築構造用組立接着接合が認められなかったのは、接着操作や環境などに影響されやすい建築現場での接着に信頼性の点で問題があったためである。近年、現場施工用の構造用接着剤が出現してその実現が可能になった。しかしながら、建築現場において接着接合を実施するに当たっては、被着材や接着剤の品質、調製または接着作業、接着環境、接着の検査などを適切に管理しなければ接合部の耐力は確保できない。特に接着接合性能を非破壊試験で確認する手段・方法がない現状では、以下に述べる条件や基準が厳密に守られることが信頼性の高い現場接着接合を得るための必須条件である。

8.1 接着剤

接着剤は、レゾルシノール樹脂木材接着剤（共縮合の場合はレゾルシノールが7以上、フェノール等共縮合組成物が3以下の割合のもの）とする。

(1) 現場接着接合は工場内での接着接合とは異なり、接着時の圧縮に十分な設備が使用できないなど、接着操作に種々の制約を受けることから、使用接着剤は低圧力での接着性、空隙充填性が要求される。この性能を期待できる接着剤としてはレゾルシノール樹脂木材接着剤、エポキシ樹脂接着剤、水性高分子イソシアネート系木材接着剤などがあるが、接着性能、常温硬化性、高温下クリープ耐性などを総合的に検討した結果、当面レゾルシノール樹脂木材接着剤が最適である。しかし、市販のレゾルシノール樹脂接着剤にはフェノール等を共縮合したものがあり、この共縮合率が高くなるほど常温硬化性が劣るので、現場の環境下では完全硬化に不安が残る。これを避けるために本規格では共縮合率を制限した。

(2) 現在、レゾルシノール樹脂木材接着剤についての J I S 等の規格はないが、レゾルシノール-フェノール共縮合樹脂木材接着剤については「J I S K 6802 フェノール樹脂木材接着剤」でカバーされている。接着剤の役割の重大性を考慮し、接着剤メーカーと十分検討協議の上、使用条件に適した品質のものを選定することが重要である。

(3) 接着剤は高温を避け、密閉して保管する。長期保管によって性状が変化するので、製造後 6 か月以内の、なるべく新しいものを使用するように心掛ける。

8.2 被着材の含水率

接着作業時の被着材の含水率は、平均値が15%以下であり、かつ被着断面内各位置の含水率のばらつきが5%以下でなければならない。また、接着される2材の平均含水率の差は5%以下でなければならない。

(1) 被着材の含水率の制限は、J A S 構造用集成材の基準に準じて、平均含水率で15%以下とするように規定している。一つの被着材の平均含水率が基準内であっても、測定位置によって含水率のばらつきが5%以上あるものは20%以上の含水率部分を含んでいる可能性があり、それによって竣工後に乾燥による剥離や材の割れ、狂い、変形等の発生が懸念される。従って含水率のばらつきが5%以上あるものは使用してはならない。

また、基準内といえども接着する2材の含水率の差が5%を超えてはならない。

(2) 加工済みの被着材は手順よく速やかに接着接合作業に移す。加工後長期にわたって接着作業に着手しないで放置することのないように工程を計画する。

8.3 被着材の温度

接着作業時の継手部及びその周辺部における被着材の温度は20℃以上としなければならない。

レゾルシノール樹脂木材接着剤は常温硬化接着剤というよりも、むしろ中間温硬化接着剤という方が適切である。この接着剤は硬化時の温度が20℃を下回ると急激に硬化速度が

遅くなり、相当の時間を経過しても十分に硬化しない。レゾルシノールにフェノールを共縮合させたものはこの傾向が更に強くなる。従って適切な接着剤を採用した場合でも、環境温度が20℃以下の現場では保温養生に特に慎重な配慮が必要である。保温養生は接着作業の間だけでは不十分で、硬化反応の間、すなわち圧縮、養生の全期間にわたって必要である。更に、被着材の断面積が大きい場合は、それが低温に長時間置かれていたものであれば、保温養生をしても接着層の内部まで材温を20℃以上にすることは極めて難しい。従ってこのような場合には、待機の時点から接着部分及びその周辺部を広く保温養生して被着材を適温に保っておくことが必要である。設備がある場合は接着層を選択加熱できる高周波加熱法を採用すれば、この問題は解消され、接着の信頼性は高くなる。

8.4 接着剤の塗布

接着剤は、1接着層当たり200～350g/m²を、接着される2材の各接着面に分けて塗布する。

(1) 「構造用大断面集成材製造基準」ではラミナ接着における塗布量は、1接着層当たり200～300g/m²を標準としている。多孔質の樹種るとき、被着面の面粗さが大きいとき、堆積時間が長いとき、塗布面が複雑で面積が広いときなどには、標準塗布量の範囲で多めに塗布するのがよい。

(2) フィンガーやスカーフの接着面には木材の導管が多数露出しているため、ここへ接着剤が十分に浸透することが必要であるが、過度な浸透で接着層の接着剤が不足することがないように配慮しなければならない。被着材の含水率が高い場合、あるいは低粘度接着剤を使用してスプレー塗布する場合などには特に注意が必要である。

(3) また、B F Jの接着面は複雑で面積も広いので、欠膠部を発生しないように被着材の両面に塗布することとする。従って塗布作業を行うときの各塗布面では、上記の構造用大断面集成材の製造基準におけるラミナ接着の基準塗布量、1接着層当たり200～300g/m²の半分、100～150g/m²ずつよりも若干多めの量を両接着面にそれぞれ塗布することになるが、少ない塗布量を均一に塗布することは難しいので、実際の塗布量は1接着層当たり両面合わせて200～350g/m²となる。実際の塗布量は測定できないことが多いから、予め別の同樹種の板などで計量塗布を試み、視覚的に塗布量を推定できるようにする。

圧縮した際に接着剤が側面に若干はみ出す程度が適量である。

8.5 開放堆積時間

接着剤塗布後の開放堆積時間は30分以下とする。

塗布後30分以内に被着体の接合部を合わせて閉鎖堆積状態にする。薄く延展された接着剤の表面は乾きやすく接着不良の原因となるので、開放堆積時間を極力短縮する段取りと工夫が必要である。塗布接着作業の環境が乾燥していたり、風があるときなどやむを得な

いときは塗布量を標準より多くして対応する。また、気温の高いときは接着剤の可使用時間が短くなるので、配合接着剤の作業温度でのゲル化時間を承知した上で作業管理をしなければならない。

8.6 圧縮作業

- (1) 圧縮は予め用意された適切な治具を用いて行う。
- (2) 圧縮圧力は接着面に対し 5 kgf/cm^2 以上とする。
- (3) 圧縮持続時間は6時間以上とする。

(1) 圧縮作業はスカーフ面に偏りなく一様に圧力がかかるようにすることが必要である。限られた開放時間内に滞りなく圧縮圧を加えるためには、適切な圧縮治具と圧縮方法を前もって準備しておかなければならない。BFJは形状が複雑であるので、本番の前に加圧テストをして、採用する方法の妥当性を確認するとよい。なお、圧縮治具の一部を母材に緊結固定する場合、それに伴って母材の断面を欠損することがある。断面欠損による母材の断面耐力の低下は必ず計算によって推定し、構造耐力上支障がないことを確かめねばならない。また、この断面欠損部がBFJに近すぎるとBFJの強度に悪影響を与えることがあるので、断面欠損部はBFJから十分離れた位置に設けることが必要である。

圧縮は油圧ジャッキによる場合とボルト締めによる場合が考えられるが、ボルトによる圧縮装置の1例を図9に示す。

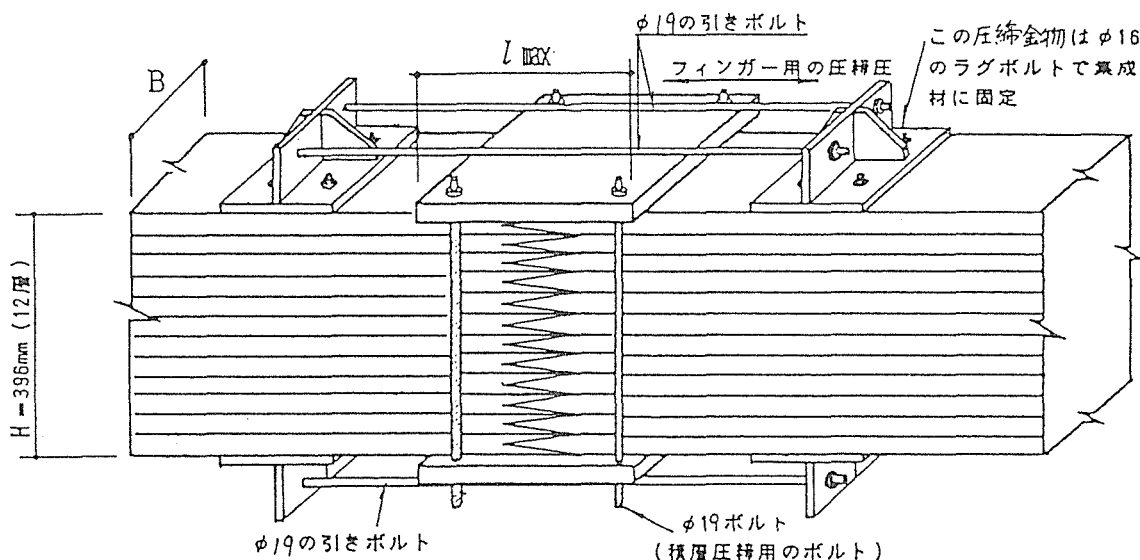


図9 ボルトによる圧縮装置の1例

(2) レゾルシノール樹脂で接着する場合は、接着面に 5 kgf/cm^2 以上の圧力を加えれば十分な接着強度が得られる。従ってスカーフ面にそれだけの圧力が確実に加わるように圧縮力の大きさを管理しなければならない。

圧縮力の管理に当たっては次のことが必要である。

- 1) 圧縮力と圧縮圧の関係を求めておく。
- 2) 圧縮力は数段階に分けて徐々に加える。
- 3) 加圧中は接着されるスカーフ面の全体にわたって均等に圧力が加わるように注意する。

(3) 圧縮は、ある程度接着剤の硬化が進行し、圧力を解除しても自重や被着材の内部応力等による接着面の剥離が起こらず、かつ接着強度の増大が損なわれることがない状態になるまで、持続しなければならない。

本規格においては、圧縮持続時間を6時間としている。これは、20℃以上の環境下での接着剤のゲル化時間が2時間程度であり、その3倍程度の時間を経過すると接着強度がほぼ最終値に達するからである。

圧縮持続時間を経過すれば圧縮治具は取り外してよいことになるが、作業環境の温度条件や接着時の被着材の温度条件が十分でない場合には、この時間は当然長引くから、万全を期するためにはより長い圧縮時間が望まれる。一方、接着状態において生じる被着材の内部応力が平衡して安定するまでは圧縮を続けることが好ましい。内部応力が安定するに要する時間は確実に把握することが難しいので、圧縮持続時間は許せる限り十分長くとるように配慮すべきである。

なお、接着剤の硬化が十分でないと思われる場合には、6時間を経過していても圧縮を解除してはならない。

8.7 圧縮後の養生

圧縮圧解除後は、20℃以上の温度環境下に24時間以上静置すること。

十分な圧縮時間を経過すれば圧縮治具を取り外すことができる。しかし接合した被着構造材を動かすことは、接着接合した継手に大きな集中応力がかかって接合を破壊したり弱めたるするから、環境温度が20℃以上の場合は48～72時間静置して、十分な硬化と内部応力の平衡を待つ。養生中は環境温度が20℃以下にならないように適当な保温を行う必要がある。養生は雨水等がかからず、直射日光に曝されない場所で行う。

8.8 接着作業環境

被着材の現場搬入から圧縮後の養生終了までの一連の作業は、雨水、埃などがかからず、直射日光に曝されない場所で、20℃以上の温度環境下で行わなければならない。

- (1) 埃や雨水等のかかる環境は接着作業すべてに不適當な環境である。直射日光は薄く塗布された接着剤を乾燥させ、硬化を早めて接着不良を起こす危険があるので遮光対策が必要である。
- (2) 外気温が0℃以下になる場合には、特別な保温加熱ができない限り接着作業を行ってはならない。接着作業にあたってはテント、シートなどによって接着部を保温すると共に、電気毛布、電子線加熱、高周波加熱などで保温加熱を行う。

(3) 通風も接着剤の表面を乾燥させるため、それが著しい場合は接着不良の原因になる。

8.9 接着性能の確認

(1) 製作された継手部の形状が、6.3項(1)の規定を満たしていることを確認しなければならない。

(2) 被着材の製造に用いたラミナと同質の材から厚さ10mmの板を採り、それをBFJの接着と同時進行的に、同一条件で2枚合わせの試験体に接着する。BFJの養生終了後速やかに、その試験体からBFJ継手1箇所につき10個の圧縮せん断試験片を切り出してJISK 6852に定める圧縮せん断接着強さ試験を行い、試験結果が次の基準を満たすことを確認しなければならない。

1) 圧縮せん断接着強さ及び木部破断率の平均値が次表の数値以上であること。

2) 圧縮せん断接着強さ試験値の変動係数が30%以下であること。

圧縮せん断接着強さ基準値 (JAS構造用集成材 引用)

樹種区分 の番号	樹 種 区 分	圧縮せん断 接着強さ (kgf/cm ²)	木部 破断率 (%)
1	イタヤカエデ、カバ、ブナ、ミズナラ、ケヤキ、アピトン（これらと同等の強度を有する樹種を含む）	96	60
2	タモ、シオジ、ニレ（これらと同等の強度を有する樹種を含む）	84	
3	ヒノキ、ヒバ、カラマツ、アカマツ、クロマツ、ベイヒ、ダフリカカラマツ、サザンパイン、ベイマツ（これらと同等の強度を有する樹種を含む）	72	65
4	ツガ、アラスカイエローシダー、ベニマツ、ラジアタパイン、ベイツガ（これらと同等の強度を有する樹種を含む）	66	
5	モミ、トドマツ、エゾマツ、ベイモミ、スプルース、ロッジポールパイン、ポンデローサパイン、オウシュウアカマツ、ラワン（これらと同等の強度を有する樹種を含む）	60	
6	スギ、ベイスギ（これらと同等の強度を有する樹種を含む）	54	70

(1) 第1項は接着完了後のBFJが所期の形状に仕上がっているかどうかを目視で点検することを要求している。すなわち本規格の6.3項(1)の要求が満たされていることの確認である。

確認事項の第1はスカーフ面の密着度合いである。これはスカーフ面の間に挟まれている接着層の厚さを側面から測定すればよい。厚さが1mmを超えている場合は加工精度の不良、圧縮圧の不均一などの不具合があったと考えられるので、不合格とする。

第2はのりだめが適正に保持されたか否かの確認である。フィンガーの底部と先端部が接触し、のりだめがつぶれてしまっているような状態が見られる場合は、加工精度の不良あるいは圧縮圧不足などの不具合があったと考えられるので、不合格とする。

なお、不合格となったBFJに短期許容曲げ耐力の1/2相当の正及び負の曲げモーメントを加え（プルーフローディング）、異常が観察されないときは合格としてよい。

(2) 第2項の試験は現場組立の接着接合部が適切な水準の接合強度を保持しているか否かを検証する手段である。従って、施工される全接着接合部の各々について接着試験片を作製する。試験片の作製及び試験は以下のように行う。

1) 接着試験用の被着材は本体被着材（集成材）と同じ品質のものとする。これは本体の製造時に工場で採取しておけば容易に調達できる。この接着試験用被着材は、本体と同一の環境暴露履歴をもつように本体被着材のBFJ部分にくくりつけておく。

2) 本試験は、現場接着接合部のレプリカとしてBFJの接着の程度を確認するのであるから、試験材調製のために特別な作業をしてはならない。あくまで現場作業の一環として本体に関する作業と同時進行で、現場作業を写し取りながら行う必要がある。

3) 接着試験用被着材は、本体（集成材）製造時に採取しておいた本体と同一の材料から挽き出す。両面をプレーナ掛けして厚さ10mm、幅10cm、長さ20cmの板状に加工する。個数は継手1箇所当たり4枚とする。

4) 試験用被着材の接着は、BFJの現場接着接合作業と同じ場所で、同じ時刻に、同じ作業者が行う。接着剤はそのBFJの接着に使用した接着剤の一部を用いる。塗布量、開放堆積時間、圧縮圧力、圧縮持続時間及び養生時間は本体のそれと同じとする。接着試験体は継手1箇所当たり2枚合わせのものを2組ずつ作製する。

5) 2組の接着試験体は、圧縮持続時間中及び静置養生時間中は本体と同じ温度環境下に置く必要があり、そのため本体のごく近傍で、温度の最も低くなる場所に置く。

6) 接着された試験体は静置養生時間を経過した後、直ちに各試験体からJIS K 6852の圧縮せん断接着強さ試験片5個ずつを切り出す。

7) 試験片の作製と圧縮せん断試験が現場近傍で手早くできるときは、むしろこの接着試験を先に行って、その結果によって本体の養生終了時期や吊り込み開始時期を判断する方がよい。

8) 試験は継手1箇所当たり10個の試験片の常態圧縮せん断接着強さを測定する。

9) 判定の基準は10個の試験片の圧縮せん断接着強さと木部破断率の平均値が構造用集成材のJASに定めるブロックせん断試験の適合基準の数値以上であり、10個の試験片のせん断強さの変動係数が30%以下であることである。10個の試験片の平均値のほかに変動係数の値を制限しているのは、平均値の信頼性を確認するためである。

8.10 接着管理者

接着作業は、接着管理者の資格を持つ者が管理しなければならない。

現場接着接合の作業は定められた接着管理者の資格を持った者の指揮、監督、管理の下に行わなければならない。その場合、接着管理者は現場接着接合の作業全般について唯一の決定権を持ち、全責任をもつ。

接着管理者とは、(社)日本木材加工技術協会が監理する「木材接着士」及び「大断面集成材管理士」の有資格者のうち、(財)日本住宅・木材技術センターが行う「現場接着接合技術研修」を修了した者である。

8.11 作業管理記録の作成と保管

接着管理者は、BFJの施工に関する作業管理記録を作成し、建物管理者はそれを保管しなければならない。

現場接着によるBFJは、非破壊でその構造耐力性能を検査する方法がないため、その品質信頼性を確実に知ることができない。本規格では、品質信頼性の不確実性を、設計上の配慮によって補っている(4.3項の解説参照)。BFJの品質不良の主原因は、フィンガーの加工精度の不良と接着作業の不良である。前者は加工機械の開発によって解決できる。後者は接着作業を慎重に管理して、品質の適正を期すこと以外に解決の方法はない。

接着作業において管理すべき要素は多数あり、それらをどのように管理すべきであるかが分からなければ適正な管理は望むべくもない。本規格ではこの点について一応の基準を定めているが、その必要十分性に関しては未だ多くの検討の余地を残している。従って、現場接着によるBFJ技術の将来の発展のためには、接着管理の方法をより合理化することが必要である。そのような観点から、本規格では接着管理の記録を残し、将来の検討に役立てることとした。

なお、接着の施工及び管理は一定の基準によって行うことが必要である。本規格の付録はその見本であり、それはスカーフジョイントの施工にも適用できる。

9. 保守点検

9.1 保守点検項目

保守点検作業は次に述べる4項目について行う。点検の結果、不具合が発見された場合、係員は速やかに設計者、発注者及び施工業者と協議し、必要な対策を講じなければならない。

(1) 接着面の剥離

継手の接着部及び継手近辺のラミナの接着面における接着剥離の有無。

(2) 継手部分の割れ

継手近辺のラミナにおけるひび割れの有無。

(3) 部材のたわみ

B F Jを含む部材のたわみに関する異常の有無。

(4) 継手部分の音

接着継手部分における異常音の発生の有無。

点検作業は主に次に述べる4点について行う。点検によって不具合が発見された場合、係員は速やかに設計者、発注者及び製造業者と協議し、その善後策を講じるものとする。

(1) 接着面の剥離

ここでいう接着面とはB F Jの接着部及び継手付近のラミナの接着面をいう。集成材を構成するラミナは、吸湿して含水率が増すと膨張し、放湿して含水率が減少すると収縮する。この際、隣接するラミナの膨張・収縮量が異なると継手接着面に応力が生じ、これが局部的に大きくなったときに継手接着面の剥離が生じる場合がある。引張力が作用する継手、曲げが作用する継手の引張側最外縁部などでこのような接着剥離が生じている場合には、B F Jの急激な破断を引き起こす危険性があるため、早急に適切な処置（エポキシ樹脂の注入など）を講じる必要がある。

(2) 継手部分の割れ

集成材は乾燥材であるラミナを集成接着したものであるため、木材単材にありがちな干割れ、ひずみ、狂いなどが少ないとされているが、含水率の変動等により局所的に割れが発生することはある。この局所的な割れが継手部に生じた場合、近傍の接着面の剥離につながる可能性が高いため、注意が必要である。

(3) 部材のたわみ

B F Jを含む部材に設計時に予測した量を超えるたわみが生じた場合は、何らかの不具合が発生しつつある可能性がある。

(4) 継手部の音

建物の管理者から継手部分などに異常音の発生があることが報告されている場合は、その原因を調べる必要がある。

9.2 保守点検の時期

保守点検は以下の各時期に行わなければならない。

(1) 竣工後1年を経過したとき

(2) 次の自然現象のうち、最初のものを経験したとき

1) 震度5以上の地震

2) 平均風速20m/sec以上の強風

3) 設計積雪深の35%以上の深さの積雪

(3) 建物管理者から異常の発生が伝えられたとき

(1) 本規格では保守点検を行うべき時期を指定している。第1は竣工後1年目、第2は相当の大きさの地震、風、雪などの自然現象を経験したとき、第3は建物管理者から何らかの異常の発生が報告されたときである。

(2) 最初に経験する自然現象としては 1)震度5以上の地震 2)平均風速 20m/sec以上の強風 3)設計積雪深の35%以上の深さの積雪のいずれかとしている。これらはいずれもB F J部分に相当大きな応力を発生させる程度のものであり、この程度の外力を経験すれば接合不良等の存在の有無を確かめることが十分できると考えられる。ただし、多雪区域に指定されていない地域、いわゆる一般地域に建つ建物の場合、設計積雪深の35%の積雪があっても、それほど大きな応力の発生はない場合が多いので、震度5以上の地震、あるいは平均風速20m/sec以上の強風を経験した場合に点検することが必要である。

なお、気象関係官署の発表する風速が 20m/sec以上であっても、風速計の設置高度が高い場合には、地上付近の風速はそれをはるかに下回ることがある。従って、最寄りの気象関係官署の風速と建物近傍の地上風速の関係を前もって調査し、建物が十分に大きな風圧を受けたことを確認した上で、点検することが必要である。

(3) 建物管理者からの異常の発生の報告とは、継手部分の接着剥離や割れの発生、異常なたわみの発生、異常音の発生などの報告である。このような報告に対しては、迅速に対応することが必要である。

参考文献

(財)日本住宅・木材技術センター：

木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書 3

「現場接着による集成材梁継手の開発報告書」

(平成4年3月)

付録(1)

建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント
作業管理記録 (例)

接着管理者氏名	
作業従事者氏名	
B F J 部の 記号・番号	
作業日 開始・終了時刻	年 月 日 開始時刻 : 終了時刻 :
作業環境条件 天候	晴れ 曇り 雨 雪
外気温度	℃
作業場内温度	℃
母材の品質、形状	樹 種 : J A S の強度等級 : E - F 積層数 : 枚 寸法 : 短辺 mm × 長辺 mm
含水率	部材1 %、部材2 % (測定器)
フィンガーの形状 B : フィンガーの厚さ (mm) ℓ : フィンガーの長さ (mm) p : フィンガーのピッチ (mm) tan θ : スカーフ傾斜比 (:) t ₁ : フィンガー先端の厚さ (mm) t ₂ : フィンガー底部の幅 (mm) s : のりだめ (mm) e : のりだめのへりあき (mm)	
接着操作 接着剤品名・記号 処方	主剤 g 硬化剤 g その他() g
塗布量	部材1 約 g (約 g/m ² 相当) 部材2 約 g (約 g/m ² 相当) 合計約 g/m ²
圧縮方法	油圧ジャッキ ボルト締め (圧縮方法を示す図面等を準備する)
圧縮力	加力装置の読み (スカーフ面に対し kgf/cm ² 相当)
圧縮時間	: ~ : 延べ約 時間
養生期間、延べ時間	月 日 : ~ 日 : 延べ約 時間
接着作業・養生中の 保温方法	接着作業 : 養生中 :
接着性能の確認	圧縮せん断接着強さ平均値 kgf/cm ² 、変動係数 % 木部破断率平均値 %

付録(2)

**建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント
保守点検記録 (例)**

保守点検者氏名	
点検日	年 月 日
B F J 部の建物・部位	BFJの作業管理記録の番号：
点検の動機	<input type="checkbox"/> (1) 竣工後1年を経過した (2) 次の自然現象のうち、最初のものを経験した <input type="checkbox"/> 1) 震度5以上の地震 <input type="checkbox"/> 2) 平均風速20m/sec以上の強風 <input type="checkbox"/> 3) 設計積雪深の35%以上の深さの積雪 <input type="checkbox"/> (3) 建物管理者から異常の発生が伝えられた
点検の結果	(「有」の場合は内容も記載する)
(1) 接着面の剥離	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 ()
(2) 継手部分の割れ	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 ()
(3) 部材のたわみ	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 ()
(4) 継手部分の音	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 ()
事後処理(必要な場合) 協議者	<input type="checkbox"/> 設計者 <input type="checkbox"/> 発注者 <input type="checkbox"/> 施工業者
講じた対策	(具体的に記載)

その他参考事項

第 3 編

建築構造用現場組立ビッグスカーフジョイント設計施工規格

建築構造用現場組立スカーフジョイント 設計施工規格

1. 適用範囲

この規格は、以下に掲げる継手に用いる建築構造用現場組立スカーフジョイント（以下、S Jという。）に適用する。

- (1) 曲げ材の継手
- (2) 圧縮材の継手
- (3) 引張材の継手
- (4) 曲げ圧縮材の継手
- (5) 曲げ引張材の継手

2. 引用法令・規格等

この規格には法令、J A S、J I S、その他の刊行物が引用されている。これらは該当部分で引用しているが、下に一覧表示する。制定年の無いものに関しては最新の版を適用する。

建築基準法、建築基準法施行令
構造用集成材の日本農林規格

（J A S 構造用集成材 平成 8 年 1 月 29 日農林水産省告示 第 111 号）

J I S K 6 8 0 2 -1995 フェノール樹脂木材接着剤

J I S K 6 8 5 2 -1994 接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法

構造用大断面集成材の製造基準（（社）日本木材加工技術協会 1987）

3. 定義

現場接着：工場等ではなく、建築現場で行う接着作業をいう。接着信頼性を高めるため、仮小屋等で行い、作業環境の温度を調節することもある。

スカーフジョイント：大断面木質材料を構造材とする建築物において、材料の軸方向を接着接合するジョイントで、スカーフの長さが50mm以上のものをいう。以下、S Jと略記する。

4. 構造設計

4.1 安全性の確保

S Jを含む構造部材及び構造架構は、建築基準法施行令第 3 章の規定に準じた構造計算によって、安全性を確かめなければならない。

4.2 S Jの力学性能

前項の構造計算は、以下による。

- (1) S Jを含む構造部材の曲げ、圧縮、引張、せん断及びねじれに関する剛性は、S Jを含まないものと仮定して算出することができる。
- (2) S J部分の曲げ、圧縮、引張及びせん断耐力は7項（S Jの許容耐力）の規定により算出する。
- (3) 上記以外のS J部分の耐力は、母材のそれと同じとする。

4.3 常時荷重に対する安全性の確保

任意の1箇所におけるS Jの接合耐力が所期の耐力の1/5に低下した状態を仮想し、その状態においてS Jに常時荷重が作用した場合、当該S Jの周辺部の床、屋根または架構に急激な落下や崩壊が予測される場合は、当該S J部分には次式を満足する耐力を有するメカニカルファスナーを併設しなければならない。

$$S_s \geq F_L$$

ここに、

S_s : メカニカルファスナーの短期許容耐力

F_L : S J部分に生じる長期の応力

4.4 交叉部材の接続の禁止

S J部分には、他の構造部材が交叉するように接続してはならない。

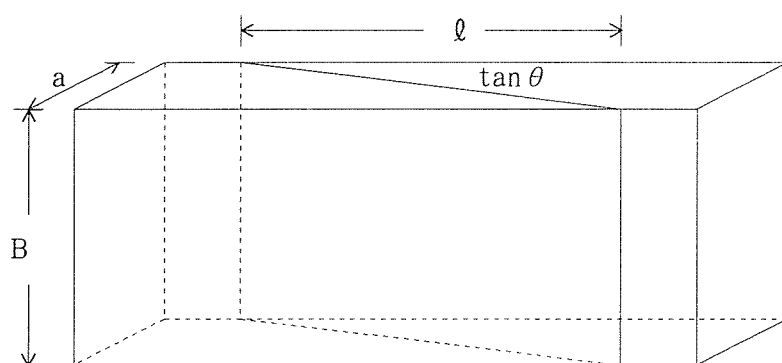
5. 母材の品質

- (1) S Jによって接合される母材の品質は、J A S構造用集成材に適合するものでなければならない。
- (2) S Jによって接合される集成材の樹種・品質、断面形状・寸法は同一でなければならない。

6. S Jの形状、加工

6.1 各部の名称及び記号

S J各部の名称及び記号は下記のとおりとする。



B : スカーフの厚さ
ℓ : スカーフの長さ
tan θ : スカーフの傾斜比
= a / ℓ

6.2 形状

S Jの形状は下記を満足しなければならない。

- (1) スカーフの長さ l は、50mm以上であること。
- (2) スカーフ傾斜比 $\tan \theta$ は、1/8以下であること。

6.3 S Jの加工

- (1) スカーフ各部分は、組み上がった状態においてスカーフ傾斜面相互のすき間が1mm以下となるように、精度よく加工しなければならない。
- (2) 接着接合面は平滑に加工しなければならない。

7. S Jの許容耐力

S Jの許容耐力は以下の各項による。(記号説明は各項共通)

7.1 S Jの許容引張耐力

S Jの短期許容引張耐力は[1]式により算定する。

長期許容引張耐力はその1/2とする。

$$P_{tj} = \text{Min}(P_{tj1}, P_{tj2}) \quad [1]$$

$$P_{tj1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [2]$$

$$P_{tj2} = 2 \cdot f_t \cdot A \quad [3]$$

記号 P_{tj} : 短期許容引張耐力(kgf)

P_{tj1} : 短期接着引張耐力(kgf)

P_{tj2} : 母材の短期許容引張耐力(kgf)

α : 接着部の強度低減係数。実験により求める場合を除き、0.8とする。

σ_{gt} : 接着部の引張の5%下限値(kgf/cm²)。

被着材がベイマツの場合は 50 kgf/cm²とする。

A_b : 接着部の部材断面への投影面積(cm²)

A : 継手部の断面積(cm²)

θ : 接着面の材軸に対する傾斜角(°)

f_t : 母材の長期許容引張応力度(kgf/cm²)

7.2 許容圧縮耐力

S Jの短期許容圧縮耐力は[4]式により算定する。

長期許容圧縮耐力はその1/2とする。

$$P_{cj} = \text{Min}(P_{cj1}, P_{cj2}) \quad [4]$$

$$P_{cj1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [5]$$

$$P_{cj2} = 2 \cdot f_c \cdot A \quad [6]$$

記号 P_{cj} : 短期許容圧縮耐力(kgf)

P_{cj1} : 短期接着圧縮耐力(kgf)

P_{cj2} : 母材の短期許容圧縮耐力(kgf)

f_c : 母材の長期許容圧縮応力度(kgf/cm²)

7.3 許容曲げ耐力

S J の短期許容曲げ耐力は[7]式により算定する。

長期許容曲げ耐力はその1/2とする。

$$M_j = \text{Min}(M_{j1}, M_{j2}) \quad [7]$$

$$M_{j1} = 2/3 \cdot \alpha \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \cdot (Z / A) \quad [8]$$

$$M_{j2} = 2 \cdot f_b \cdot Z \quad [9]$$

記号 M_j : 短期許容曲げ耐力(kgf)

M_{j1} : 短期接着曲げ耐力(kgf)

M_{j2} : 母材の短期許容曲げ耐力(kgf)

f_b : 母材の長期許容曲げ応力度(kgf/cm²)

Z : 継手部の有効断面係数(cm³)

7.4 許容せん断耐力

7.4.1 せん断力の作用方向がスカーフの厚さ方向に直交する場合

S J の短期許容せん断耐力は[10]式により算定する。

長期許容せん断耐力はその1/2とする。

$$Q_j = 2 / \beta \cdot f_s \cdot A \quad [10]$$

記号 Q_j : 接着継手の短期許容せん断耐力(kgf)

β : 断面に生ずる最大せん断応力度の平均せん断応力度に対する比
(矩形断面の場合は1.5)

f_s : 母材の長期許容せん断応力度(kgf/cm²)

7.4.2 せん断力の作用方向がスカーフの厚さ方向に平行する場合

S J の短期許容せん断耐力は[11]式により算定する。

長期許容せん断耐力はその1/2とする。

$$Q_j = \text{Min}(Q_{j1}, Q_{j2}) \quad [11]$$

$$Q_{j1} = 2/3 \cdot \alpha / \beta \cdot \sigma_{gt} \cdot (A_b / \sin \theta) \quad [12]$$

$$Q_{j2} = 2 / \beta \cdot f_s \cdot A \quad [13]$$

記号 Q_j : 接着継手の短期許容せん断耐力(kgf)

Q_{j1} : 接着部の短期接着せん断耐力(kgf)

Q_{j2} : 接着部の母材の短期許容せん断耐力(kgf)

7.5 軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合の許容耐力

継手部に軸方向力と曲げモーメントが同時に作用する場合は、軸方向力及び曲げモーメントの各々は[14]式を満足しなければならない。

$$| P / P_j | + | M / M_j | \leq 1 \quad [14]$$

記号 P : 継手部に作用する軸方向力(kgf)

M : 継手部に作用する曲げモーメント(kgf・cm)

P_j : [1]式または[4]式により求められる継手部の許容軸方向耐力(kgf)

M_j : [7]式により求められる継手部の許容曲げ耐力(kgf)

8. 現場接着

8.1 接着剤

接着剤は、レゾルシノール樹脂木材接着剤（共縮合の場合はレゾルシノールが7以上、フェノール等共縮合組成物が3以下の割合のもの）とする。

8.2 被着材の含水率

接着作業時の被着材の含水率は、平均値が15%以下であり、かつ被着断面内各位置の含水率のばらつきが5%以下でなければならない。また、接着される2材の平均含水率の差は5%以下でなければならない。

8.3 被着材の温度

接着作業時の継手部及びその周辺部における被着材の温度は20℃以上としなければならない。

8.4 接着剤の塗布

接着剤は、1接着層あたり200～350g/m²を、接着される2材の各接着面に分けて塗布する。

8.5 開放堆積時間

接着剤塗布後の開放堆積時間は30分以下とする。

8.6 圧縮作業

- (1) 圧縮は予め用意された適切な治具を用いて行う。
- (2) 圧縮圧力は接着面に対し5 kgf/cm²以上とする。
- (3) 圧縮持続時間は6時間以上とする。

8.7 圧縮後の養生

圧縮圧解除後は、20℃以上の温度環境下に24時間以上静置する。

8.8 接着作業環境

被着材の現場搬入から圧縮後の養生終了までの一連の作業は、雨水、埃などがかからず、直射日光に曝されない場所で、20℃以上の温度環境下で行わなければならない。

8.9 接着性能の確認

- (1) 製作された継手部の形状が、6.3項(1)の規定を満たしていることを確認しなければならない。

(2) 被着材の製造に用いたラミナと同質の材から厚さ10mmの板を採り、それをS Jの接着と同時進行的に、同一条件で2枚合わせの試験体に接着する。S Jの養生終了後速やかに、その試験体からS J継手1箇所につき10個の圧縮せん断試験片を切り出してJ I S K 6852に定める圧縮せん断接着強さ試験を行い、試験結果が次の基準を満たすことを確認しなければならない。

- 1) 圧縮せん断接着強さ及び木部破断率の平均値が次表の数値以上であること。
- 2) 圧縮せん断接着強さ試験値の変動係数が30%以下であること。

圧縮せん断接着強さ基準値 (J A S 構造用集成材 引用)

樹種区分の番号	樹種区分	圧縮せん断接着強さ (kgf/cm ²)	木部破断率 (%)
1	イタヤカエデ、カバ、ブナ、ミズナラ、ケヤキ、アピトン (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	9 6	6 0
2	タモ、シオジ、ニレ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	8 4	
3	ヒノキ、ヒバ、カラマツ、アカマツ、クロマツ、ベイヒ、ダフリカカラマツ、サザンパイン、ベイマツ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	7 2	6 5
4	ツガ、アラスカイエローシダー、ベニマツ、ラジアタパイン、ベイツガ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	6 6	
5	モミ、トドマツ、エゾマツ、ベイモミ、スプルース、ロッジポールパイン、ポンドローサパイン、オウシュウアカマツ、ラワン (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	6 0	
6	スギ、ベイスギ (これらと同等の強度を有する樹種を含む)	5 4	7 0

8.10 接着管理者

接着作業は、接着管理者の資格を持つ者が管理しなければならない。

8.11 作業管理記録の作成と保管

接着管理者は、S Jの施工に関する作業管理記録を作成し、建物管理者はそれを保管しなければならない。

9. 保守点検

9.1 保守点検項目

保守点検作業は次に述べる4項目について行う。点検の結果、不具合が発見された場合、係員は速やかに設計者、発注者及び施工業者と協議し、必要な対策を講じなければならない。

(1) 接着面の剥離

継手の接着部及び継手近辺のラミナの接着面における接着剥離の有無

(2) 継手部分の割れ

継手近辺のラミナにおけるひび割れの有無

(3) 部材のたわみ

S Jを含む部材のたわみに関する異常の有無

(4) 継手部分の音

接着継手部分における異常音の発生の有無

9.2 保守点検の時期

保守点検は以下の各時期に行わなければならない。

(1) 竣工後1年を経過したとき

(2) 次の自然現象のうち、最初のものを経験したとき

1) 震度5以上の地震

2) 平均風速20m/sec以上の強風

3) 設計積雪深の35%以上の深さの積雪

(3) 建物管理者から異常の発生が伝えられたとき

第 4 編

資 料 編

ま え が き

集成材を使った木造建築物において、梁の継手及び柱・梁仕口を現場接着によって作ることができれば、道路交通法上、輸送が許される範囲の短い通直材等によって大スパン建築物や剛接架構などを建築することが可能になり、集成材建築物の普及発展に寄与することができる。継手や仕口は構造耐力上極めて重要な部分であるから、それを現場接着で作るにはその構造耐力性能が確実に得られることが保証されなければならない。

鉄骨の現場溶接等とは異なり、集成材の現場接着に関しては確実な非破壊検査法が未だ知られておらず、そのため現場接着接合部の構造耐力性能を100%保証することは現在の技術では不可能である。従って当面の策としては、確実でなくても100%近い確率で所期の性能を期待できるような接合部の加工方法及び現場接着方法を開発すること、更に万一不良接着があった場合でも建物の急激な倒壊、屋根の突然の落下などの危険を招かないような架構計画の義務づけを検討することが適切であろう。

急激な破壊を生じないような架構を計画することは、既往技術の応用によって解決可能な問題であり、従って研究開発の焦点は高い信頼性をもつ現場接着工法の開発に向けられるべきである。

このような観点から、高い信頼性をもつ現場接着工法を創出するための開発研究を実施し、その集大成として次の2規格を策定した。

- (1) 建築構造用現場組立ビッグフィンガージョイント設計施工規格
- (2) 建築構造用現場組立スカーフガージョイント設計施工規格

また、上記の2規格制定の基礎資料となったものを「資料編」として添付したので、規格の趣旨を理解する上で、参考にさせていただければ幸いである。

なお、本資料は下記の報告書を基に作成したものである。

木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書 3

「現場接着による集成材梁継手の開発報告書」

平成4年3月（財）日本住宅・木材技術センター）

この研究の実施に当たっては(財)日本住宅・木材技術センターに「現場接着接合研究開発委員会」を組織して実施した。委員会の構成は下記のとおり。

現場接着接合研究開発委員会の構成

(所属・肩書きは事業実施当時)

委員長	室田 達郎	建設省建築研究所 第三研究部長
委員	佐々木 光	京都大学木質科学研究所 教授
委員	有馬 孝礼	東京大学農学部 林産学科 助教授
委員	小松 幸平	農林水産省森林総合研究所 木材利用部 接合研究室長
委員	本橋 健司	建設省建築研究所 第二研究部 主任研究員
委員	安村 基	建設省建築研究所 第三研究部 主任研究員
委員	小西 信	小西技術士事務所長(元 大鹿振興(株))
委員	木村 衛	(株)竹中工務店 技術研究所 主任研究員
委員	杉田 恵資	大成建設(株) 設計本部第三部 設計室長
委員	山田 利行	清水建設(株) 設計本部構造設計第二部 副部長
委員	楠 寿博	(株)竹中工務店 技術研究所
委員	池田 則正	日立造船(株) 防衛事業本部神奈川艦船工場設計課 (S63, H1年度)
協力委員	帆立 透	林野庁林政部 林産課 課長補佐 (S63年度)
	春川 真一	林野庁林政部 林産課 課長補佐 (H1～H3年度)
事務局	小倉 高規	(財)日本住宅・木材技術センター 試験研究部長 (S63年度)
	倉田 久敬	(財)日本住宅・木材技術センター 試験研究部長 (H1～2年度)
	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター 試験研究部長 (H3年度)
	駕海 四郎	(財)日本住宅・木材技術センター 主任研究員

現場接着による集成材梁継手の開発 **資料編** の構成と研究担当者

- 第1章 ボルトクランプによる圧縮力調整 —トルクレンチのキャリブレーション—
研究担当者：小西 信
- 第2章 集中加圧による圧縮時の圧力分布
研究担当者：佐々木光
- 第3章 圧縮せん断接着強さに及ぼす試験片の形状・寸法の影響
研究担当者：小西 信
- 第4章 部分的集中加圧による現場接着の接着性能
研究担当者：小西 信
- 第5章 接着接合部の耐熱・耐火性
研究担当者：佐々木光
- 第6章 ビッグフィンガージョイントの力学特性（その1）
研究担当者：木村 衛、楠 博寿
- 第7章 ビッグフィンガージョイントの力学特性（その2）
研究担当者：木村 衛、楠 博寿
- 第8章 ビッグフィンガージョイントを有する集成梁の曲げ耐力
研究担当者：小松幸平
- 第9章 スカーフジョイントの力学特性
研究担当者：安村 基
- 第10章 Glued Bolt による集成材の接合に関する基礎実験
研究担当者：鴛海四郎
- 第11章 接着接合の非破壊検査と強度評価の基礎実験
研究担当者：有馬孝礼

第1章 ボルトクランプによる圧縮力調整

－トルクレンチのキャリブレーション－

はじめに

大型の集成材や湾曲集成材の製造、現場接着接合等においてはボルトクランプによる圧縮が行われるが、その際、圧縮力の調整はトルクレンチによって行われる。トルクレンチはネジの回転力の測定具で、アームの長さ L (cm)とその端にかかる荷重 F (kgf)の積 FL (kgf-cm)を読みとるようになっている。これを使用して圧縮力を調整するには、使用するボルトクランプのネジの回転力 FL と締め付け力の関係をあらかじめ求めておき、接着に際してはボルトの締め付け力をトルクレンチの目盛りで調整し、圧縮力をチェックすることができる。

ここでは実際にトルクレンチの読み(FL)と圧縮力の関係を求めた具体的な例を示す。この関係はネジの平均直径(内径と外径の平均)、ネジのピッチ、摩擦係数等によって異なるので、実際に用いるクランプを使って測定する必要がある。

1. 試験方法

1.1 圧縮治具

コ型鋼材2本を背中合わせに溶接した押さえ材と角型ネジ溝をもつ直径1インチの加圧用ネジ棒を用いた。

1.2 圧縮する被着材の配置

厚さ20mmのベイマツ材(比重0.53~0.56、含水率9~10%)を、厚さ9mm、10cm×12cmの鋼板製の当て板で挟んでクランプした。このとき表1のタイプA-1のように加圧試験体が1組の場合、タイプA-2のように当て板をそれぞれの間を介した3組の場合、また、表2に示すタイプBの如くベイマツ材3枚を重ね、当て板は上下1組のみの場合の3種類を試みた。

1.3 測定方法

トルクレンチは最大1,800kgf-cm(最小400kgf-cm)の「東日1800CL」を用いた。

圧縮力は当て板とクランプ押さえ材の間に5トンのロードセルを挿入して締めつけ時の力を測定した(図1参照)。

測定例のうち、A-1タイプ及びA-2タイプは比重の異なる材を使用して各3回、Bタイプは同じ材を使用して5回測定した。

2. 試験結果

試験結果を表1、表2に示す。いずれの場合もトルクレンチの読みと圧縮力の大きさ

(ロードセルの読み) は比例関係にある。

加圧試験体が1組の場合(A-1タイプ)と3組の場合(A-2タイプ)を比較してみると、測定バラツキを考慮すれば両者はほとんど同じと考えて差し支えなく、実用的には比重の異なる木材を用いたそれぞれ3回の試験の双方を合わせて平均した値を使用すればよい。

3枚の木材の間に当て板を入れない場合(Bタイプ)もやはり比例関係にあるが、各木材の間に当て板を入れた場合(A-2タイプ)より僅かではあるが直線関係の傾斜が緩やかであった。

表1 トルレンチの読みと荷重の関係例(1)

タイプ	A-1 タイプ			A-2 タイプ				
模式図								
木材 m. c. 比重	9~10% 0.53 0.55 0.56			9~10% 0.53 0.55 0.56				
ロードセルの読み (kgf)								
トル値 (kgf-cm)	繰り返し (1) (2) (3)			繰り返し (1) (2) (3)			平均 (kgf)	S. D. (kgf)
200	489	572	480	544	492	494	513	37
250	610	648	632	576	582	590	606	29
300	644	716	796	714	714	670	709	52
350	764	832	871	846	870	832	836	39
400	844	1072	1074	1096	1024	972	1014	94
450	892	1232	1262	1268	1164	1100	1153	143
500	1206	1396	1342	1452	1292	1274	1327	89
550	1292	1628	1532	1564	1472	1414	1484	119
600	1330	1716	1772	1812	1614	1506	1625	182
650	1572	2014	1846	1946	1734	1724	1806	162
700	1770	2118	2114	2118	1964	1812	1983	160
750	1970	2324	2176	2202	2192	2084	2158	120
800	2321	2582	2380	2520	2406	2262	2412	120

ボルトクランプによる圧縮力調整

これらの結果をトルクレンチの読みと圧縮力(ロードセルの読み)の関係として図2に示す。いずれもほぼ近い直線で表すことができることが確認され、次章以降の一連の試験における試験体の接着にはこのグラフから読みとったトルクで圧縮力を調整した。

表2 トルクレンチの読みと圧縮力の関係例(2)

タイプ	Bタイプ						
模式図							
木材 m. c. 比重	9.1~10% 0.55						
	ロードセルの読み (kgf)						
トルク値 (kgf-cm)	繰り返し					平均	S. D.
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(kgf)	(kgf)
200	472	506	632	606	552	554	67
250	556	529	764	786	652	657	117
300	678	734	902	854	816	797	91
350	842	902	986	1050	930	942	80
400	964	1026	1130	1094	1024	1048	65
450	1092	1294	1144	1354	1190	1215	108
500	1130	1302	1190	1444	1392	1292	132
550	1460	1384	1466	1660	1552	1504	105
600	1530	1424	1610	1804	1670	1608	143
650	1616	1920	1802	1872	1792	1800	116
700	1660	1974	1844	1960	1844	1856	126
750	1904	2074	2036	2236	2168	1970	169
800	2266	2180	2456	2310	2416	2326	122

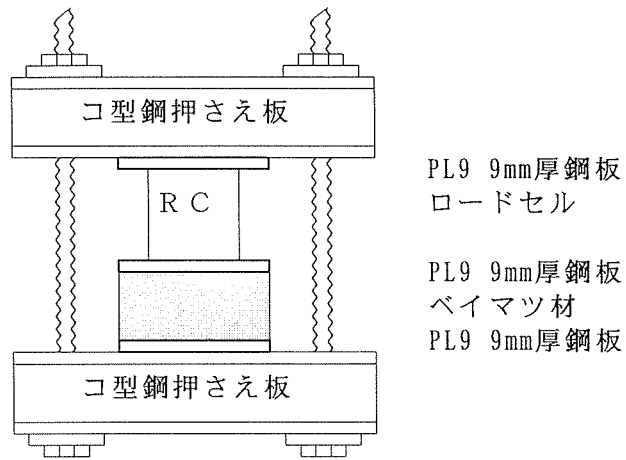


図1 ネジクランプのトルクから圧縮力を測定する方法

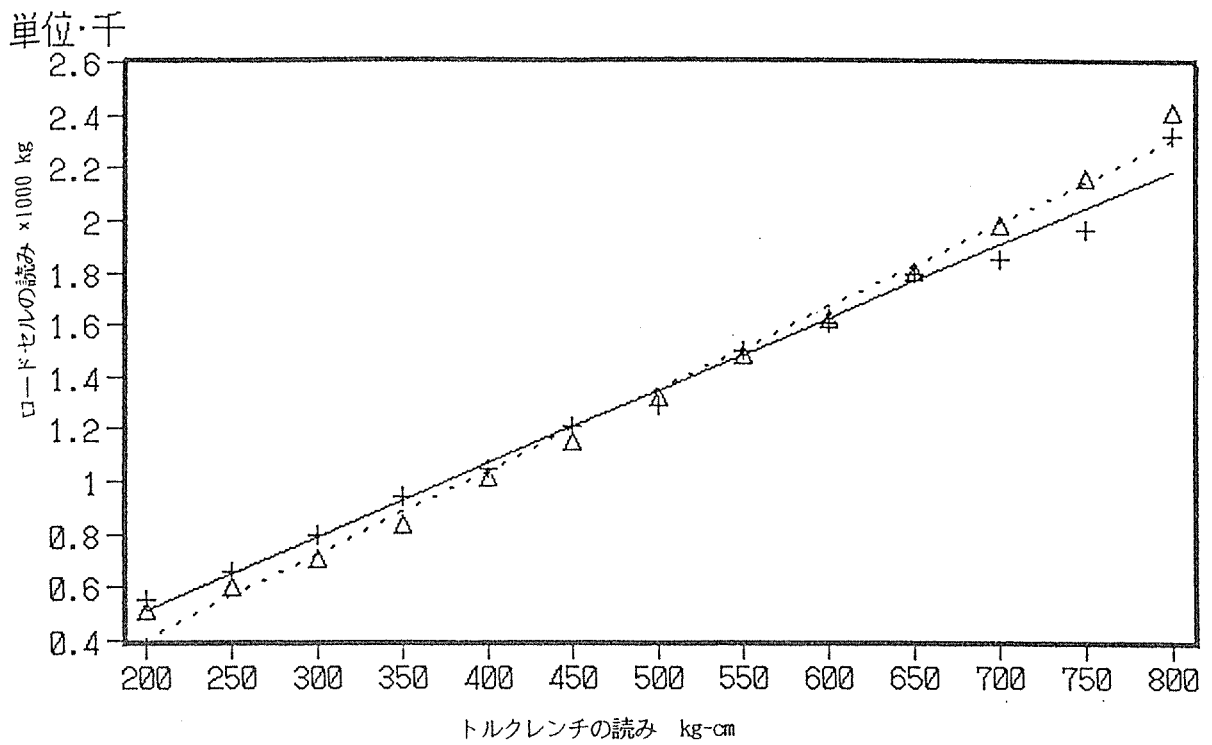


図2 ボルトクランプにおけるトルクレンチの読みと圧縮力の関係例

△ : Aタイプのトルクレンチの読みとロードセルの読み
 + : Bタイプのトルクレンチの読みとロードセルの読み

第2章 集中加圧による圧縮時の圧力分布

はじめに

本章では現場接着における圧縮圧の分布に注目し、先ず基本になる2枚の被着材をボルトクランプで圧縮接着する場合について、被着材の厚さと圧縮圧分布の関係を明らかにした。次いで集成材をボルトクランプ法で圧縮する方法を検討した。

1. ボルトクランプ法による2材接着における圧縮圧分布

現場接着における圧縮方法として最も現実的なボルトクランプ圧縮について、その機構を有限要素法を用いてモデル化し、コンピューターにより接着面の圧縮圧分布を数値的に解析した。またこの結果を実験的に検証するために、感圧フィルムを用いて接着面の圧力分布を測定し、その結果と対比した上で解析法の有効性を評価した。

1.1 解析方法及び実験方法

1.1.1 圧縮面の圧力分布の数値解析法

問題を単純化するために、図1に示すように当て板を用いないで2枚の被着材を2箇所ボルトクランプによって圧縮接着する場合を取り上げた。

先ず、接着面の圧縮圧分布と変形状態、接着層の開口状態などをコンピューターを用いて数値解析で求めた。ここでは被着材である木材を直交異方性弾性体と考え、接着層は極めて薄く、接着系全体の力学的挙動に影響しないと仮定し、試験条件の対称性を利用して2次元直交異方性弾性問題として解いた。

解析面は試験体の接着層に垂直で試験体の長軸を含む面のうち、図1の左上1/4の部分(斜線部)とした。図2はその部分を三角形平面要素に分割したもので、節点総数は505、要素総数は800である。

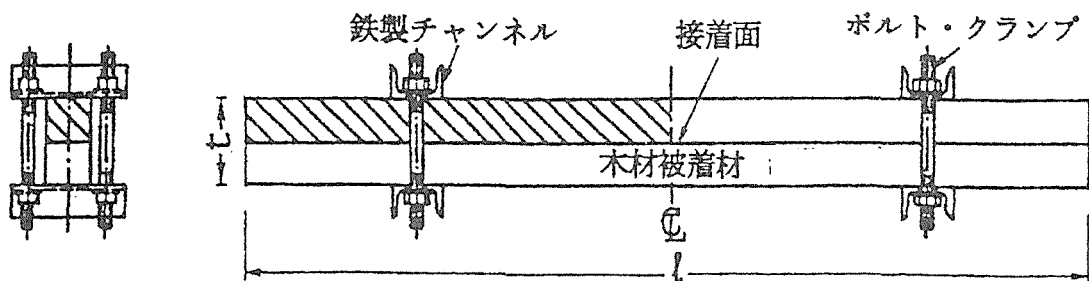


図1 ボルトクランプによる2枚の被着材の圧縮

t : 試験体の厚さ t/2 : 被着材の厚さ
l : 試験体の長さ
斜線部分が有限要素法による応力解析部分

圧縮治具と被着材が接する部分にはしばしばクッション材が挿入されるので、ここでは簡単にするために被着面への荷重条件は等分布荷重 P とし、 5 、 10 、 15kgf/cm^2 の3段階で計算した。また、右端は被着材の長さ方向 (x) の中央部で、被着材の厚さ ($t/2$) の方向 (y) のみ自由に動くことができる滑接の条件を与えた。

図2の下辺は接着層で、計算の初期には上下の被着材の対称性から平面に保たれているものとし、 x 方向 (図の左右方向) のみ自由に動くことができる滑接の条件を与えた。しかし、この条件では接着層に圧縮圧が存在する点では上下の被着材同士が密着しているから問題はないが、圧縮圧がゼロより小さくなった点での被着材の y 方向の変位 (浮き上がり、すなわち接着層の開口) を抑止していることになる。このことを考慮して、平面構造解析の計算を繰り返し行うことにし、1回ごとに底辺の滑接点の支点反力が正 (圧縮) かどうかを検定し、正以外の点 (ゼロまたは負の点) では次の回の計算でその点の拘束を開放し、フリーの支点として扱うことにした。計算の終了はこの繰り返し計算で開放されずに残った底辺の拘束点々が次の計算ですべて正の支点反力を持つようになる時点とした。

計算に用いた条件はつぎのとおり。

被着材：ベイマツ (Douglas-fir)

繊維方向のヤング係数 $E_L = 160 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

繊維直交方向のヤング係数 $E_T = 8.0 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

剛性率 $G_{LT} = 9.9 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

ポアソン比 $\mu_{LT} = 0.45$

被着材の厚さ ($t/2$)：20、40、60、80、100mm の5段階

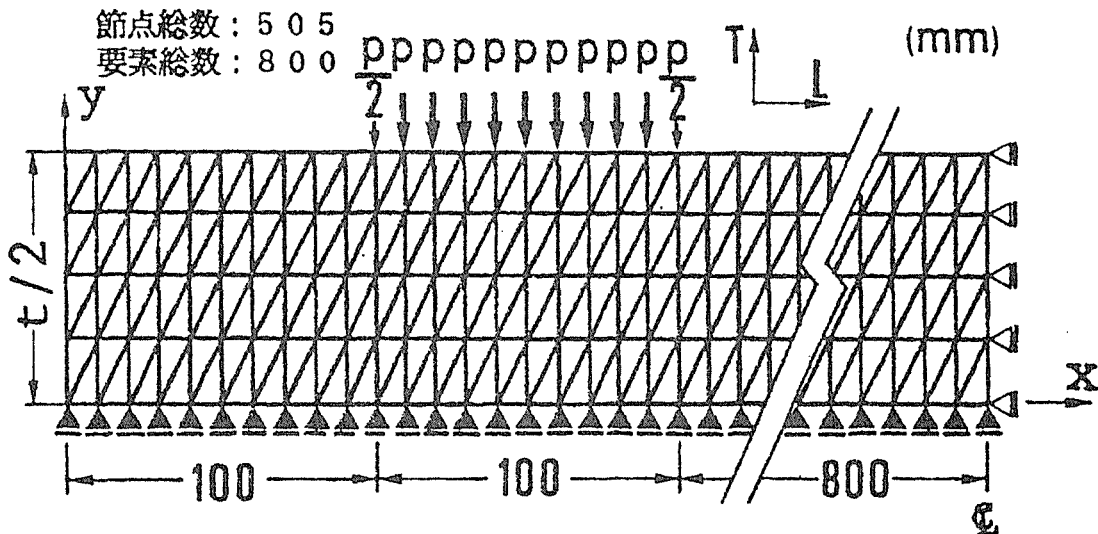


図2 応力解析部分 (圧縮系の1/4の部分) の要素分割

p : 分布荷重 $t/2$: 被着材の厚さ

1.1.2 接着面の圧縮圧分布の測定

前項の数値計算の妥当性を検証するために、接着面における圧縮圧分布を感圧フィルムで測定した。感圧フィルムは富士写真フィルム (株) 製の富士フィルムプレスケール (超低圧用、圧力の測定範囲： $5 \sim 30\text{kgf/cm}^2$) を採用した。プレスケールはマイクロカプセル化

した発色剤が塗布されたAフィルムと顕色剤が塗布されたCフィルムを積層した複合シートで、圧力によってマイクロカプセルが破壊し、化学反応によって発色する。発色剤のマイクロカプセルの破壊応力は種々の段階に調整されたものが正確な比率で混合されているため、圧力分布に応じた色濃度分布が得られる。この色濃度をプレスケール専用濃度計(FPD101)を用いて測定し、標準色見本と比較して圧力を求めることができる。

実験では厚さ20mm、幅30mm、長さ600mmのベイマツの板10枚を重ね、上から5層の接触面の全面に感圧フィルムを挿入し、インストロンタイプの試験機でその中央の長さ100mm、幅30mmの部分に圧縮治具(木材)を介して5秒で1,800kgf(接着面の平均圧縮圧は10kgf/cm²となる)まで加圧し、5秒間圧力を保持した後、赤変したフィルムを取り出し、その色濃度を専用濃度計で測定して圧縮圧分布を調べた。濃度計の検出面積は直径3mmの円形であるので、誤差を小さくするために幅方向の3箇所測定して平均を求めた。実験環境は18℃、72%RHであった。

1.2 解析及び実験結果と考察

1.2.1 被着材の厚さと接着面の圧縮圧分布の関係

図5はボルトクランプ方式によって10kgf/cm²の圧縮を行った場合の、荷重位置からの距離の違いによる圧縮圧分布を、被着材の厚さ別に示したものである。この図には数値解析の方法で算出した結果(曲線)と感圧フィルムによる測定値(プロット)を併記してある。ただし、前者は各厚さの被着材の2層圧縮の場合の接着面の圧縮圧分布であり、後者は厚さ20mmのラミナを10枚重ねた場合の各接着面(各ラミナの接触面)における圧縮圧分布で、荷重点からの深さが同じでも両者の応力分布は厳密には異なる。しかし、応力分布の傾向には両者の間に類似性があると考えられるので、その分布の形を比較することによって、計算方法の妥当性を推定することには役立つものと思われる。

この結果から次のことが分かる。

①被着材が薄いほど、クランプ直下に高い圧力が集中し、この位置から離れるに従い急激に低下する。すなわち圧縮力の広がり幅が狭くなり、不均一になる傾向が見られる。

②実験値と計算値は定性的に似た結果を示しており、この解析方法が接着面の圧縮圧分布の推定に妥当性をもつものと考えられる。しかし、高い圧力が分布する辺りでは計算値より実験値の方がかなり低くなっている。この原因としては木材表面の平滑度の影響及び感圧フィルムの測定信頼範囲の上限が30kgf/cm²程度であることなどが考えられる。

③当て板の右端の点(図5では横軸の0から右へ50mmの点)を基準にとると、接着面の圧縮圧は遠ざかるに従って低下し、遂に0になっている。基準点からこの0になるまでの距離を ℓ_0 とすると、 ℓ_0 は被着材の厚さが増すほど大きくなっている。その値は被着材の厚さ($t/2$)の1.2~1.5倍となっている。この傾向は当然であるが弾性解析の範囲では荷重Pを変えても変わらない。

図5より ℓ_0 が被着材とこのような関係をもつことから、2個の相隣り合う圧縮治具の間隔は、大きくても ℓ_0 の2倍(すなわち被着材の厚さの2.4~3倍)以下にとらなければ圧縮圧0の点が生じることが予測される。接着剤の種類によっては圧縮圧を要しないものや、高い圧縮圧を要するものがあるので、接着剤ごとに許容クランプ間隔が被着材の厚さの何倍程度であるかを実験で明らかにする必要がある。

1.2.2 被着材の変形と応力分布

図6は被着材の厚さが20mmと100mmの場合の荷重点付近の被着材の変形の計算結果を100倍に拡大したものである。この図からクランプ圧縮による変形量は被着材が厚いほど大きいことが分かる。これらに対し、図7は被着材内部の圧縮応力の分布を等高線で示したものである。この図から薄い被着材ほど圧縮応力が狭い範囲に大きく集中していることが分かる。

図8はクランプ間隔が1,700mmの場合において圧縮時に被着材の中央部(圧縮治具から最も遠い位置)で接着面にどの程度のギャップが生じているかを示したものである。この図から被着材が極端に薄い場合を除き被着材の曲げ剛性が大きくなると、圧縮クランプ間の中央の接着層の開口が小さくなる傾向を伺うことができる。

1.3 要約

当て板を用いずに2枚の板を重ねて接着する場合、ボルトクランプの間隔が極端に大きいと、接着面の圧縮圧が非常に不均一になる。その圧縮圧分布を数値解析と感圧フィルムによる実験で明らかにした。また、実際にペイマツを用いて板の厚さ、接着剤の種類を変えて接着試験を行い、クランプ位置からの距離と接着強さの関係を調べた。その結果は次のとおり。

- ①感圧フィルムで測定された圧縮圧分布は数値解析の結果と定性的に良い一致を示した。
- ②水分による反り応力が存在しない状態では、接着面の圧縮圧はクランプ位置からの距離とともに低下し、被着材の厚さの1.2~1.5倍程度離れると圧縮圧はほとんど存在しなくなる。
- ③水分による反り応力が存在しない状態では、クランプ間隔が極端に大きいとその中央点近傍の接着層は開口する。その大きさは被着材の曲げ剛性とクランプ間隔に関係する。

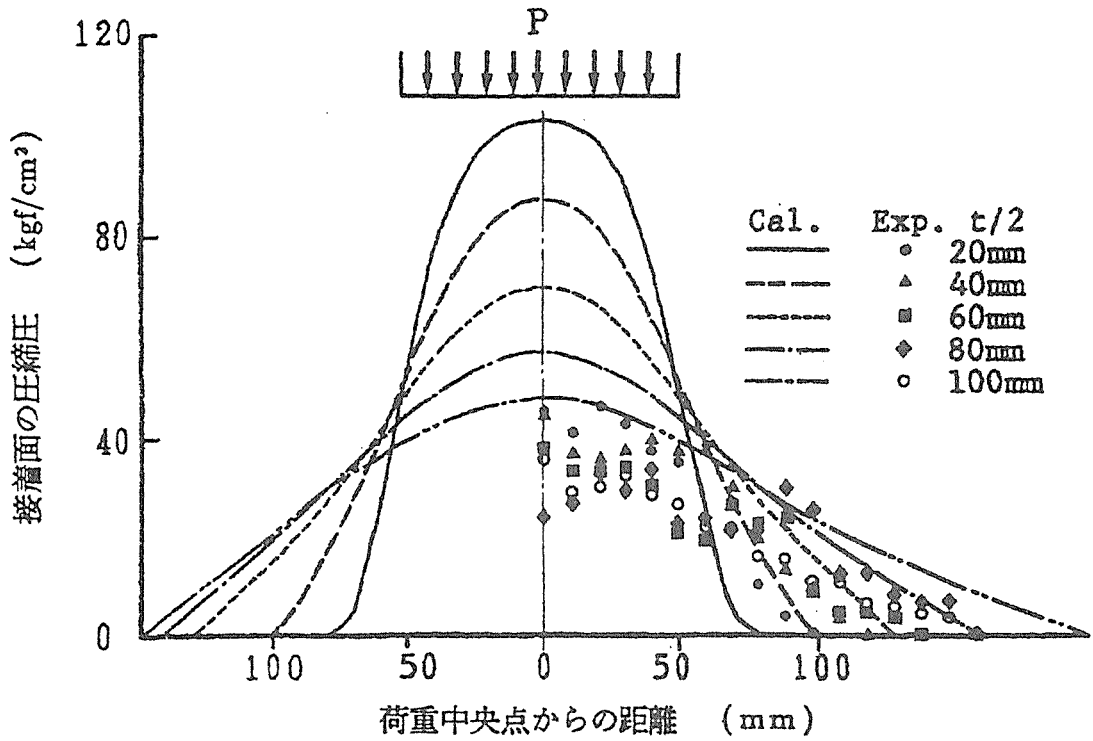


図5 接着面の圧縮圧の計算結果と実験結果の比較

Cal. : 計算値 Exp. : 実験値 $t/2$: 被着材の厚さ
 P : 平均圧縮圧を 10kgf/cm^2 にするための所要荷重

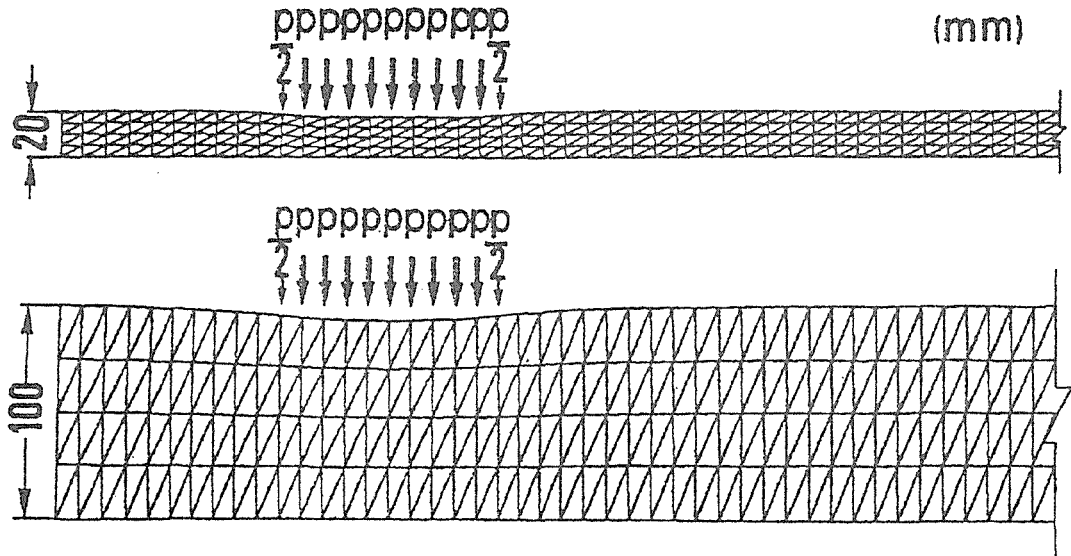


図6 荷重点付近の被着材の変形

線分布荷重 $p = 10\text{kgf/cm}$
 すべての節点変位は100倍に拡大した

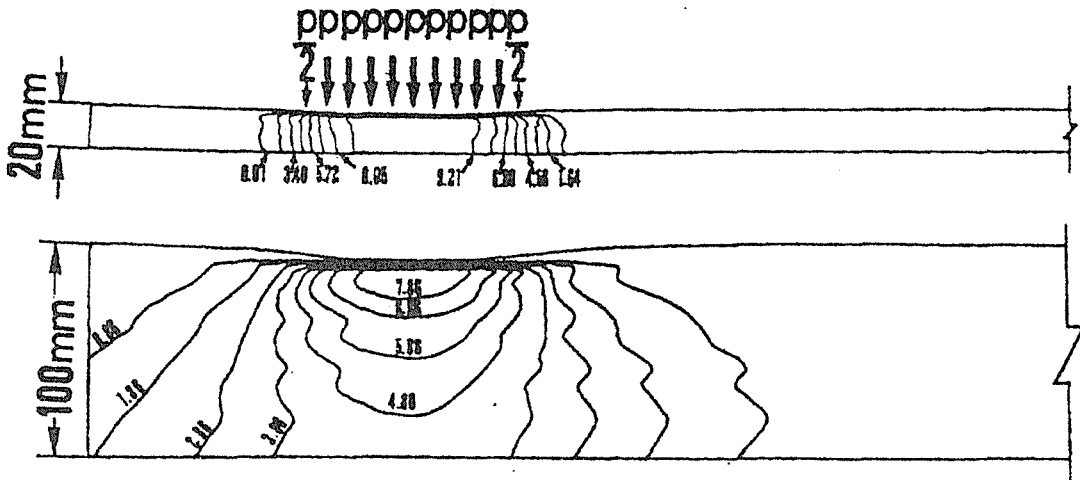


図7 被着材内部の垂直応力の等高線図
線分布荷重 $p = 10 \text{ kgf/cm}$ 応力単位: kgf/cm^2

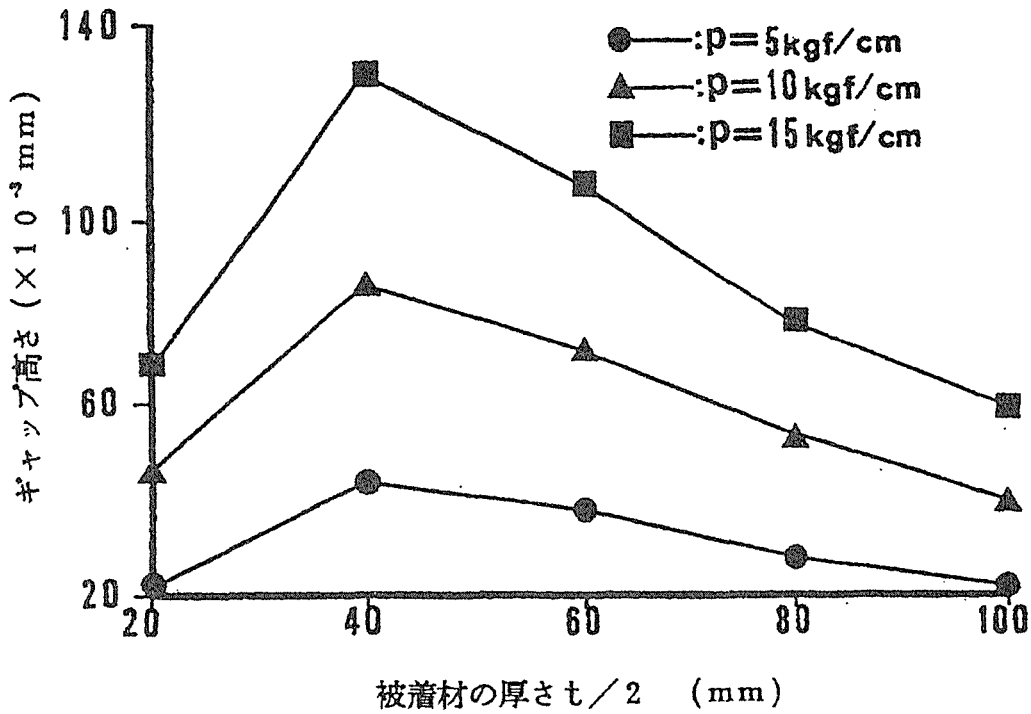


図8 クランプ間の中央点の被着材間のギャップ

2. クランプ圧縮による集成接着における圧縮条件と圧縮圧分布の関係

集成材の製造に従来から行われてきたボルトクランプによる圧縮接着工程に関しては、ラミナの力学的挙動や接着面における圧縮圧分布などを検討した研究はほとんど行われていない。生産現場における圧縮条件の選択も経験に頼るところが多く、圧縮も全圧力を調整することによって行われている。もちろん、接着剤の種類、被着面の性質によって異なるが、一般に7～18 kgf/cm²程度の平均圧縮圧が望まれている。しかし圧縮システムによって各接着面の圧縮圧分布はさまざまになり、たとえ全圧力あるいは平均圧縮力が一定になるように操作しても、接着面のある部分では圧縮圧は要求されるものよりも低くて接着不良を起こし、また高すぎる圧力を受けている部分は材質が破壊される可能性もある。

本項では、集成材生産で広く用いられ、現場接着にも適用する可能性が高いと考えられるボルトクランプによる集成材接着に関し、圧縮システムを提示することを目的に、実験に基づいて圧縮条件と圧縮圧分布の関係を明らかにする。すなわち、クランプ間隔、当て板の厚さ、クッション材ゴムシートの弾性等を変えた場合に、そのことが集成材の各接着面の圧縮圧分布にどのような影響を及ぼすかを数値解析と感圧フィルムにより究明する。

2.1 圧縮系における応力と変位の数値解析法

最も一般的な場合として、図9に示すようなボルトナット形式のクランプを用いて、集成材を圧縮接着する場合を取り上げた。図9に示すとおり、等厚の16枚の被着材から構成される集成材の上部と下部に、対向して同じ寸法の鉄製当て板を置き、当て板の両側にボルトを立て、チャンネルを渡してそれにボルトを通した。加圧力はスパナーでボルトクランプを締めることにより与えたが、最終的には一定の圧縮力が加わるようにトルクレンチで調整した。

解析には2次元有限要素法を用い、平面数値解析を行った。図9の正面図に示すように、上下、左右とも対称であるため、その1/4の部分(斜線部)だけを取り上げ、三角形有限要素に分割し、図10のようにモデル化した。節点総数は527、要素総数は960である。

境界条件は左右対称軸(センターライン)上にある節点はy方向(図の上下方向)に自由に動けるsliding hingeの支点とし、x方向(図の左右方向)の変位を拘束した。

上下対称面(中央接着層)の節点は計算の初期段階ではx方向のみ自由なsliding hingeの支点とし、y方向の変位を拘束しておく。しかし、実際には荷重点から離れた点では圧縮に伴ってラミナが浮き上がり、接着層が開く可能性がある。この点を考慮して繰り返し計算し、その過程でこれらの点の支点反力 R_y の正負をチェックして、 $R_y < 0$ (引張)となった点は次の計算段階で支持条件を開放し、自由とした。このような操作を繰り返し、 $R_y < 0$ の節点が現れなくなったとき、計算を終了した。なお、いずれの接着層も開口するような応力は生じなかった。

計算に用いた条件は次のとおり。

被着材：ベイマツ柾目板(厚さ20mm、気乾比重0.52)

繊維方向のヤング係数 $E_L = 160 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$

繊維直交方向のヤング係数 $E_T = 8.0 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$

剛性率 $G_{LT} = 9.9 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$

ポアソン比 $\mu_{LT} = 0.45$

圧縮条件に関するファクターを、接着される集成材の厚さ(t)の倍数n(クランプ間隔係数)、及びm(当て板寸法係数)で表現した。

クランプ間隔を4段階に変化させ、間隔係数nをそれぞれに、0.81、1.69、2.56、3.44とした。

当て板はI型鋼を想定し、各部の弾性定数については次の値を用いた。ウェブの部分は等断面として計算し、ヤング係数を幅の比率で低下させた。厚さは寸法係数mを0(当て板なし)、0.11及び0.44の3段階に変化させた。

$$\text{ヤング係数 } E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{ポアソン比 } \mu = 0.3$$

クッション材ゴムシートの硬度は、主にヤング係数 E_R で代表される。ここでは次の値で計算した。

$$\text{ヤング係数 } E_R = 20, 200, 2000, 20000 \text{ kgf/cm}^2 \text{ の4段階}$$

$$\text{ポアソン比 } \mu = 0.5$$

計算ではこの圧縮系の平均圧縮圧 σ_p を10 kgf/cm²となるように圧力Pを与えた。

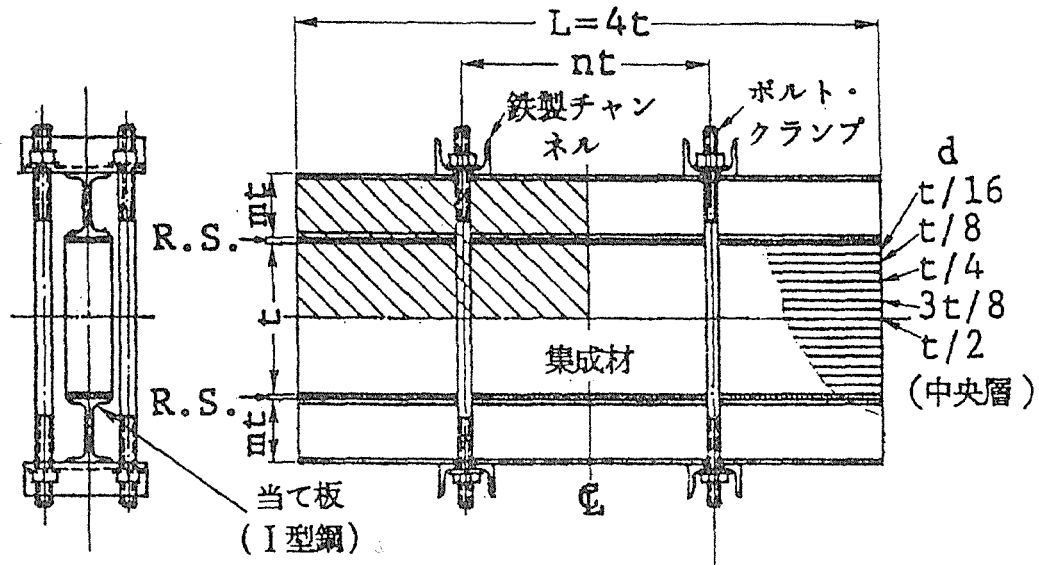


図9 集成材(16層)の圧縮接着システム

斜線部分が応力解析部分

d : 集成材表面からの深さ

t : 集成材の厚さ 320mm

L : 集成材の長さ

R. S. : クッション材ゴムシート (厚さ t/32)

n : 集成材の厚さ t の倍数で表現するクランプ間隔係数

m : 集成材の厚さ t の倍数で表現する当て板寸法係数

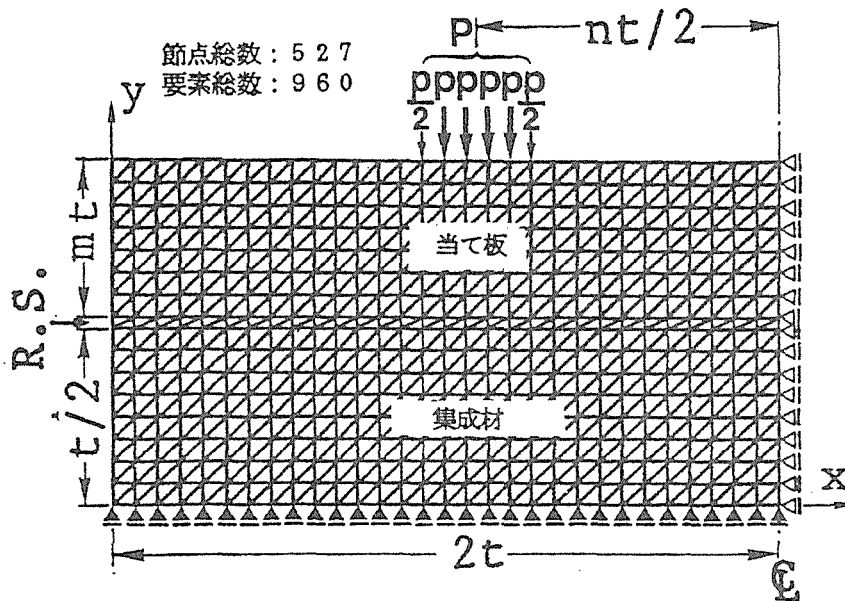


図10 応力解析部分（圧縮系の1/4）の要素分割

P：接着面の平均圧縮圧が 10kgf/cm^2 になるように加えた荷重
 他は図9参照

2.2 感圧フィルム実験による解析の妥当性の検討

2.2.1 測定の方法

厚さ20mmのベイマツ（気乾比重0.52、含水率12.7%）のラミナ16枚を図9の圧縮システムに相当する実験装置で積層圧縮し、各接着面の圧縮圧分布を1.1.2項同様に感圧フィルムで測定した。平均圧縮圧 10kgf/cm^2 、ラミナは長さ1,000mm、幅50mmとしたので、全荷重は5,000kgfとなった。インストロンタイプの試験機で5秒間加圧後、感圧フィルムから圧縮面にかかった圧力を求めた。圧力の数値化にあたっては、富士プレスケール用濃度計FPD101を用い、スパン中央から10mmごとに幅方向5箇所について測定した濃度値を平均し、標準色見本と比較して圧力値を求め、接着面内の長さ方向の圧縮圧分布を求めた。実験環境は 20°C 、72%RHであった。

当て板の厚さの影響を比較するため、①当て板なし（寸法係数 $m=0$ ）、②溝型鋼（寸法係数 $m=0.11$ ）、③I型鋼（寸法係数 $m=0.44$ ）の3種、クランプ間隔は一定（間隔係数 $n=2$ ）、クッション材ゴムシートは使用しなかった。

2.2.2 実験結果と計算結果の比較

解析方法が妥当かどうかを検討するために、当て板寸法が異なる場合の集成材の最外接着面（表面から $t/16$ の層、この層の圧縮圧分布は最大の幅をもっている）内の圧縮圧分布を図11に示した。計算結果と実験結果とを比較すると、次のことが分かる。

① $m=0$ 、すなわち当て板なしの場合では、計算結果、実験結果とも高い圧力が荷重点に集中し、圧縮圧力の波及範囲はおよそ $0.5t$ （集成材の全体厚さ t の半分の距離）程度と

なっている。ただ、実験値の最大圧力 35kgf/cm^2 が計算値の最大値 52kgf/cm^2 に比べてかなり低かった。これは感圧フィルムの測定信頼範囲が 30kgf/cm^2 程度であるため、それ以上の圧力の測定が不正確で、常に低く現れたためと考えられる。

② $m=0.11$ の場合は、実験値は計算値より少し低い傾向がうかがえるが、両者の傾向はかなりよく一致しており、当て板の効果が明確に表れている。この場合、圧縮圧力の波及範囲は $2t$ 程度に広がっている。

③ $m=0.44$ の場合、実験値と計算値は加圧点を離れると多少ずれているが、両者とも圧縮圧分布が接着面全長にわたってなだらかになっている様子を示している。特に最大値は実験値も計算値もともに約 12kgf/cm^2 となっており、よい一致が見られる。

これらの結果によって、有限要素法によるこの計算方法が接着面の圧縮圧分布の算出に実用性のあることが検証できたと考えられる。従って以下の部分では更にこの計算方法を用いて、各接着面の圧縮圧の分布状況におよぼすクランプ間隔の影響及びクッション材ゴムシートの効果などについて考察を進める。

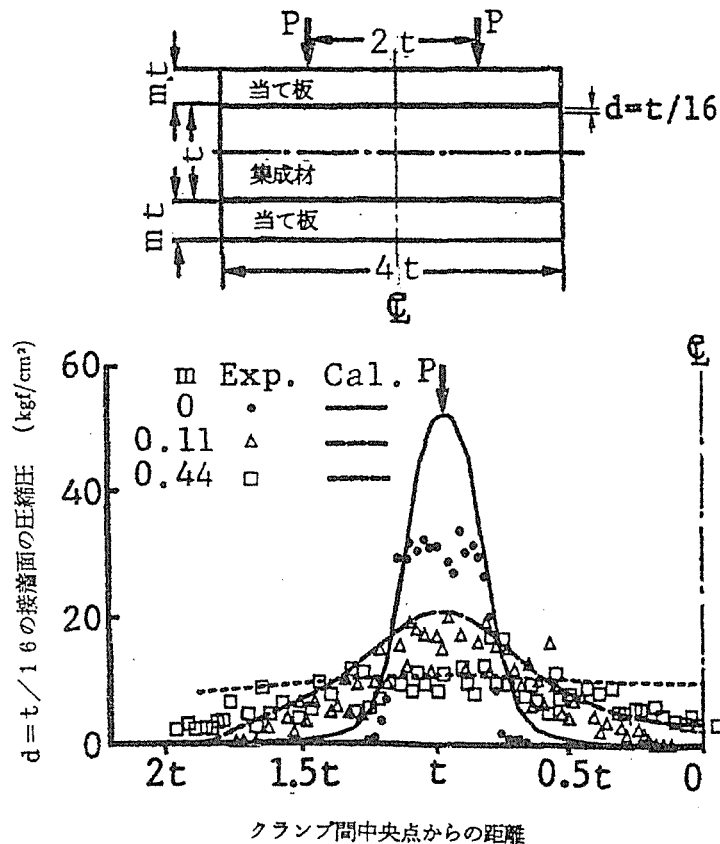


図11 当て板の寸法が異なる場合の接着面の圧縮圧分布
(クッション材ゴムシートなし、 $d = t/16$ の接着面)

- d : 集成材表面からの深さ
- t : 集成材の厚さ 320mm
- m : 当て板寸法係数、 $[m \times t]$ が当て板の厚さ
- Cal. : 計算値 Exp. : 実験値

2.3 解析結果と考察

2.3.1 圧縮圧分布に及ぼす加圧クランプ間隔の影響

図12はゴムシートの弾性を20000kgf/cm²に、当て板の厚さを0.44 t に、平均圧縮圧 σ_c を10kgf/cm²にそれぞれ一定とし、クランプ間隔を変えた場合の各接着面における圧縮圧分布を比較したものである。図から分かるように圧縮表面から離れるほど、圧縮圧の変動範囲が幾分狭く、均一化される傾向が見られる。また小さいクランプ間隔をとると、クランプ間の圧力はクランプより外側の圧力よりも高く、クランプ間隔を広くとるとその逆になる。ここでは当然のことながら、 $n=2$ 、つまり4分点を圧縮すると接着面の圧力は均一化されることが分かる。

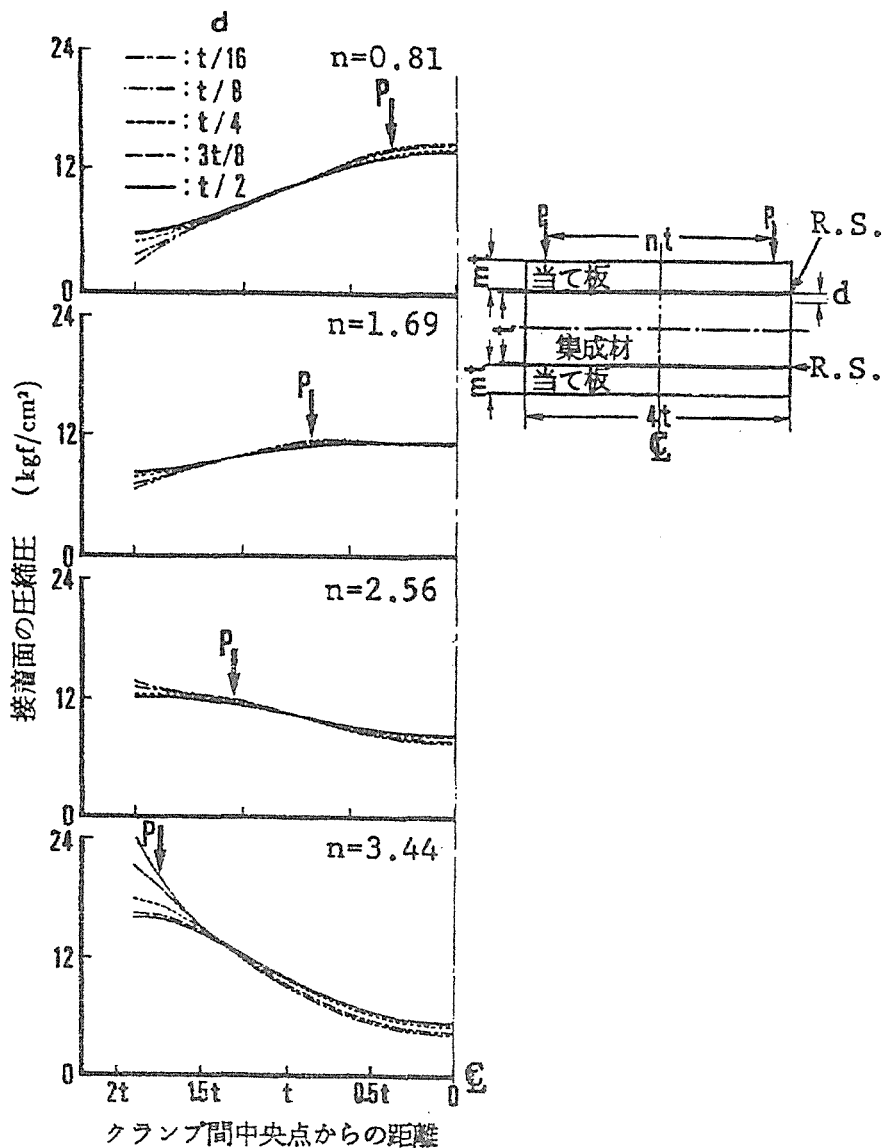


図12 クランプ間隔が異なる場合の各接着面の圧縮圧分布

m (当て板寸法係数) = 0.44

クッション材ゴムシートR.S.のヤング係数： $E_R=20000\text{kgf/cm}^2$

d : 集成材表面からの深さ

t : 集成材の厚さ 320mm

n : クランプ間隔係数、 $[n \times t]$ がクランプ間隔

2.3.2 クッション材ゴムシートのヤング係数及び当て板寸法が圧縮圧分布に及ぼす効果

図13は厚さを異にする2種類の当て板 ($m=0.11$ 及び 0.44)を用い、同じ平均圧縮圧を加えた場合のクッション材ゴムシートの硬度が圧縮圧分布に及ぼす影響を比較したものである。集成材表面から $t/16$ 離れている接着面内の圧縮圧分布は、当て板と集成材との間に柔らかいクッション材ゴムシートを敷くと、加圧力点近傍の高圧力集中がやわらぎ、圧縮圧分布がより均一になっている。これに反して、硬いクッション材ゴムシートを使うと、圧縮圧分布の均一化が起こらない。また、柔らかいクッション材ゴムシートを使うと、大きいクランプ間隔で加圧しても当て板の剛性がある程度高ければ比較的均等な圧縮圧分布を得ることができる。しかし、当て板が薄くなる(剛性が小さくなる)と、柔らかいクッション材ゴムシートを敷いても、もはやその効果はほとんど見られなくなってしまう。

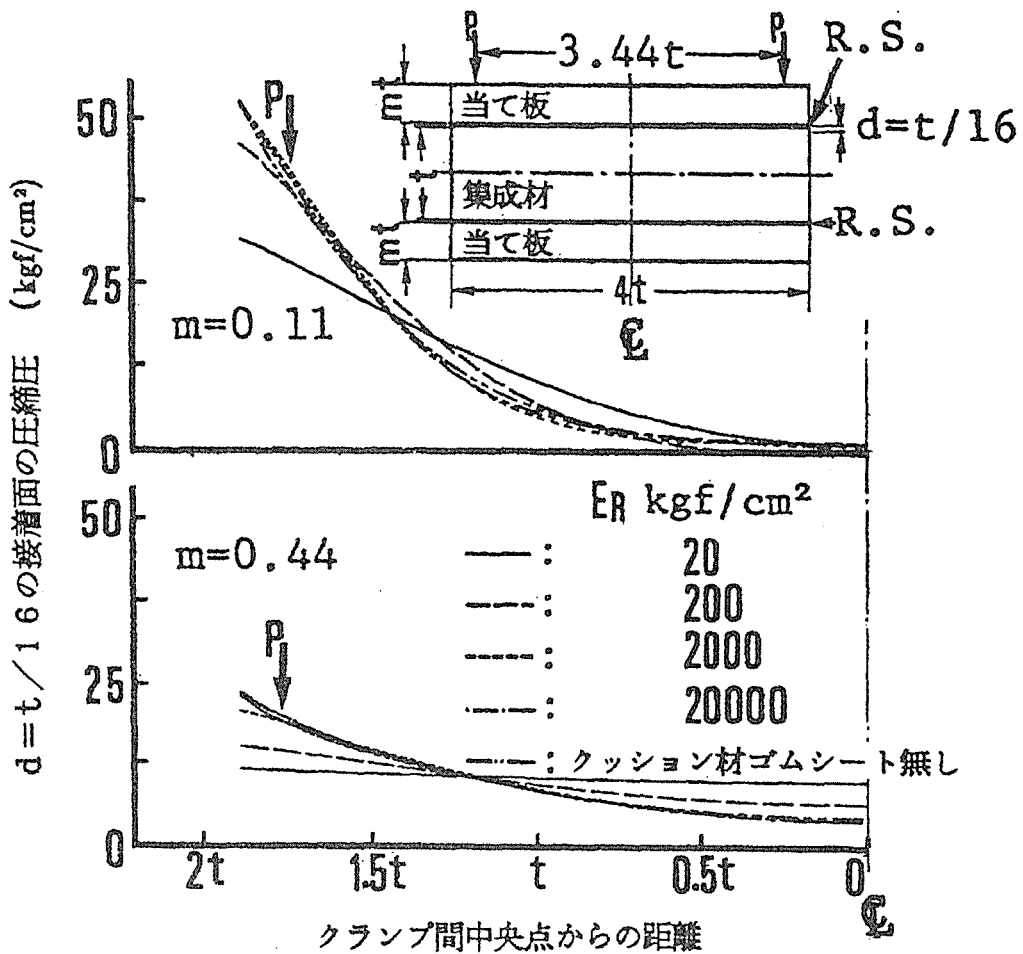


図13 当て板の寸法及びクッション材ゴムシートのヤング係数が異なる場合の接着面の圧縮圧分布 ($d = t/16$ の接着面)

- m : 当て板寸法係数、 $[m \times t]$ が当て板の厚さ
- E_R : クッション材ゴムシートR. S.のヤング係数 (kgf/cm^2)
- d : 集成材表面からの深さ
- t : 集成材の厚さ 320mm
- P : 接着面の平均圧縮圧を 10kgf/cm^2 になるように加えた荷重

2.3.3 クランプ間中央点の圧縮圧に及ぼすクランプ間隔の影響

図14に示すように、集成材表面に近い接着層ほど、クランプ間隔の影響が大きくなっており、また、クランプ間隔係数 $n=1.4$ 辺りでは加圧クランプ間中央部における各接着面の圧縮圧が同じになり、適切な圧縮条件を選ぶうえで参考にできると思われる。一方、 n が1.4より小さければ集成材表面に近い接着面ほど圧縮圧が大きい、1.4より大きくなると集成材表面に近い接着層ほど圧縮圧が小さくなることが明らかになった。

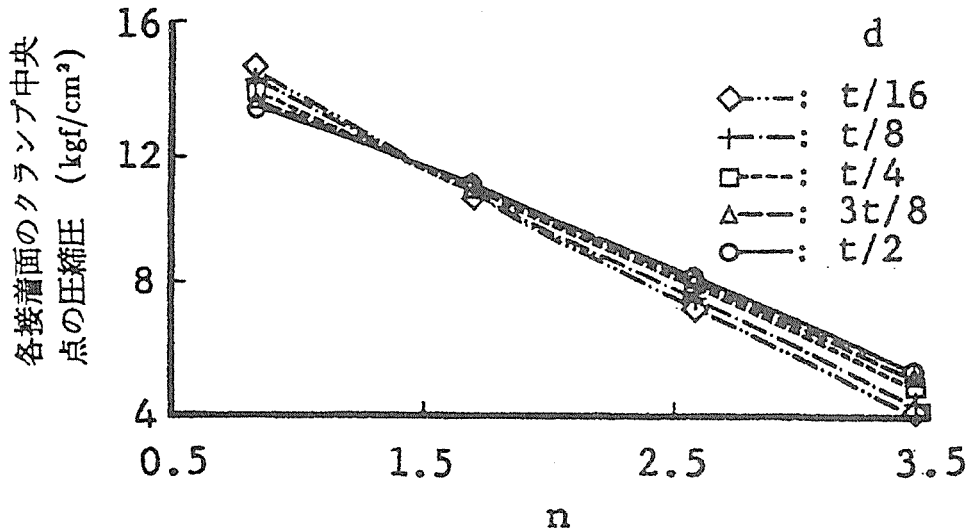


図14 クランプとクランプの間の中央点における各接着面の圧縮圧の比較

d : 集成材表面からの深さ

t : 集成材の厚さ 320mm

n : クランプ間隔係数、 $[n \times t]$ がクランプ間隔

2.4 要約

集成材の接着工程をボルトクランプで行う場合について、まず接着面内の圧縮圧分布を数値的に解析する方法の妥当性を実験により検討し、次いでクランプ間隔、当て板の厚さ、クッション材ゴムシートの弾性等を変えて集成材を圧縮接着する際の各接着面の圧縮圧分布を計算し、適正な圧縮システムを究明した。主な結果は次のとおり。

① 当て板が厚い場合は、当て板の曲げ剛性が高いので、圧縮圧が広範囲に伝達され、クランプ間隔が広くても接着面全長に圧縮圧力が平均的に分布している。

② 集成材の表面から離れた層ほど、接着面内の圧縮圧力の変動範囲が狭く、圧縮圧分布が均一になっている。

③ クランプ間隔が小さいほど、クランプとクランプの間の圧縮圧はクランプの外側のそれより高く、クランプ間隔が大きいとその逆になり、丁度4分点をクランプすると均一な圧縮圧分布が得られる。

④ 集成材の接着圧縮系の当て板と集成材との間に柔らかいクッション材ゴムシートを敷くと、圧縮圧の集中が軽減され、接着面の圧縮圧分布が均一となる。特に大きいクランプ間隔の場合にはその効果が顕著であった。

⑤集成材の表面に近い接着層ほど、クランプ間隔の影響が大きくなっているが、平均加圧力が一定の場合にはクランプ間隔係数 $n = 1.4$ の近傍でクランプ間中央点における各接着面の圧縮圧力が同じになることが分かった。これは適切な圧縮条件を選ぶ際に参考になるであろう。

第3章 圧縮せん断接着強さに及ぼす試験片の形状・寸法の影響

はじめに

木材接着の条件因子は、被着材である木材そのものの性質・状態にかかわる因子、接着剤の種類やそれに起因する性能・性状にかかわる因子、接着作業における装置・設備や工程にかかわる各種因子の三つに大別される。これらのうち被着材と接着剤は接着製品の要求性能から所与の因子として決まっていることが多い。それに反して第三の因子である接着作業の条件は人為的に選定できるものであり、適切に整えられるのが普通である。

しかるにここで取り上げているビッグフィンガージョイントは現場接着作業であるうえ、想定される主な被着材は大型であり、かつ接着面の形状も複雑で、設備の整った工場内の作業に比べて接着時の圧縮が不十分になることが考えられる。接着時の圧縮を部分的な集中加圧で行わざるをえない場合、その圧縮効果が圧縮力、被着材の曲げ剛性の違いで長さ方向にどのように変化するか、また接着剤の種類でどこまで不利な条件を補うことが期待できるかなどを次章で実験により検討した。

この章では、接着性能を評価する方法として圧縮せん断接着強さ試験法を取りあげ、年輪内で部分的な密度差が大きい針葉樹の場合、試験接着面が25×25mmと小さいJ I S型試験片では年輪密度のバラツキが接着性能の評価に影響しないかどうかについて、試験片の作製法に由来する形状、接着試験面の寸法について予備的に試験した。

1. 木材の接着強さ試験方法

接着によって製造された木材製品の接着強さの測定方法には種々あるが、被着材の厚さが5mm以上ある場合は2枚合わせの木材引張りせん断接着強さ試験方法(J I S K 6851)か、圧縮せん断接着強さ試験方法(J I S K 6852)に拠るのが常法である。特に圧縮せん断法は試験時の荷重応力が試験目的のせん断強さとして得やすいことから多用されている。例えば次の規格などで採用されている。

J I S K 6801 ユリア樹脂木材接着剤 その他の木材用接着剤の試験法
構造用集成材のJ A S (平成8年1月29日農林水産省告示 第111号)

参考規格

J I S K 6851 接着剤の木材引張りせん断接着強さ試験方法

J I S K 6852 接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法

J I S K 6801 ユリア樹脂木材接着剤

J I S K 6802 フェノール樹脂木材接着剤

J I S K 6804 酢酸ビニル樹脂エマルジョン木材接着剤

J I S K 6806 水性高分子-イソシアネート系木材接着剤

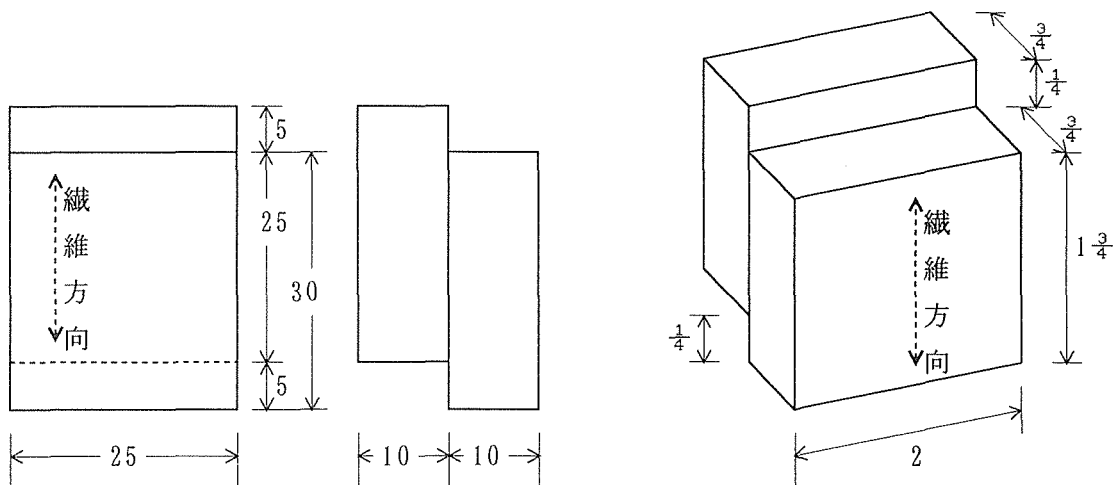
構造用集成材の日本農林規格(J A S) 平成8年1月29日農林水産省告示第111号

A S T M D 905 Standard Method of Test for Strength Properties of Adhesive Bonds
in Shear by Compression Loading

I S O 6238 Adhesives—Wood to Wood Adhesives. Determination of Bond Shear Strength
by Compression Loading

これらの規格が採用している圧縮せん断接着強さ試験の試験片はその形状から椅子型とか腰掛け型と呼ばれているが、その寸法は J I S、J A S で規定されているものと、A S T M の規定、I S O の規定とは異なっている。すなわち図 1 の J I S 法のものでは試験される接着面が 25mm×25mm であるのに対し、A S T M D 905 では幅 2 インチ (50.8mm) × 高さ 1 ½ インチ (38.1mm)、I S O 6238 では幅 50mm × 高さ 40mm で、ともに J I S 法より大きい試験片である。これは J I S が木材用接着剤の品質試験のために被着材を限定して行うことから始まったのに対し、集成材のような木材接着製品の接着性能試験法としてスタートした A S T M 法との違いと言えよう。I S O 6238 も J I S 同様に木材用接着剤の品質試験法として制定されたものであるが、欧米で行われている大型のサイズが採用されている。ただ検討段階で日本の I S O 対応団体から、被着材を限定して行う接着剤の評価試験では試験面積が 25mm×25mm でも信頼性のある結果が得られることを実験結果*を付して提案した結果、当事者間で合意すれば試験面積 25mm×25mm の J I S 型でも許容されることになっている。

集成材のような工業製品で樹種が針葉樹となると、早材部と晩材部の密度差が大きく、また年輪密度が大径木と中小径木、または天然木と植林木で大きく異なり、繊維の走行方向、材の欠点など種々の条件に個々の試験片が影響を受けやすくなるので、J I S 法の小試験面の試験片ではバラツキが大きくなる例が出てくることが考えられる。



JIS型試験片 (単位: mm)
試験面積 A = 25 × 25mm

ASTM型試験片 (単位: インチ)
試験面積 A = 2 × 1 ½ インチ
≒ 50.8 × 38.1mm

図 1 JIS及びASTMの圧縮せん断接着強さ試験片

* (参考文献) 松本: 圧縮せん断接着強さに及ぼす試験片形状と荷重速度の影響、木材工業、34 (7)、298 (1979)

本資料編にまとめられた一連の試験の目的は、接着のための圧縮箇所と圧力が、接着された材料の接着強さにどのように影響するかを求めることにあるので、小試験面での試験からくる結果のバラツキを抑える趣旨で、大きな試験面を採用することを前提とした。

そこで一連の試験の被着材の寸法が幅120mm、長さ2mであることから、種々検討の結果、試験片は椅子型ではない図2に示すような形状・寸法とした。すなわち、試験片のサイズは100mm×35mmとし、上下の中央部分に材軸方向30mm、直交方向（幅方向）35mmの試験接着面をとるように、図2の左図のごとく被着材の左右から接着層に達するまで鋸目を入れることとした。

このような試験片を採用した主な理由は次のようなものである。

- ①試験面積を少しでも大きくしてベイマツ被着材のバラツキの影響を極力少なくすること。
- ②被着材の寸法からできるだけ効率よく試験片を採取すること。
- ③試験片寸法が従来型とは異なるので、椅子型試験片の治具を作りにくかったこと。

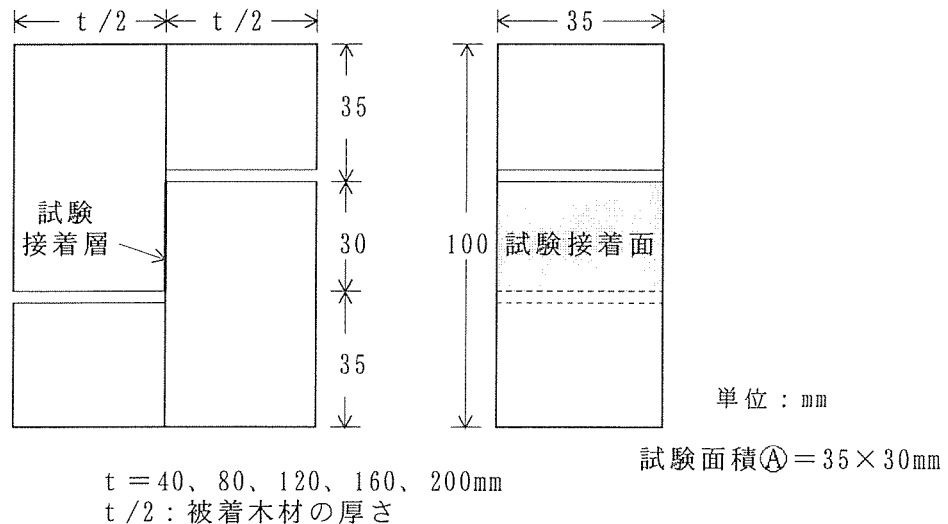


図2 テストした圧縮せん断接着強さ試験片の形状・寸法

2. 試験片の厚さと削り落とし省略の影響

2.1 試験片の形状

試験片の形状は図2のとおりで、試験接着面は35mm×30mm、両端部を35mm×35mmとして端部の削り落としを省略したが、鋸目を入れることにより試験接着部が最弱層になるようにした。しかし試験片の厚さは被着材の厚さ(20、40、60、80、100mm)の2倍ある。試験ではこれにそのまま上方から荷重をかけるので、試験片厚さが大きいものでは表層側にモーメントが働いてしまう恐れがある。またこの方法では試験片の厚さが薄いと転倒することになるので、適当な厚さが必要になるとも考えられる。そこで厚いものでは、試験片の厚さを削り落としてから切り込み加工をした試験片についても別途に圧縮せん断試験を行い、厚さの影響を確認しておくことにした。ここで行った試験片の形状・寸法は表1のとおり。

表1 削り落としの有無による試験片の厚さ

試験時の厚さ(削り落とし) 試験体の厚さ(2t)	削り落とし後の厚さ					
	20mm	40mm	80mm	120mm	160mm	200mm
40 mm	○	◎				
80	○	○	◎			
120	○	○	○	◎		
160	○	○	○	○	◎	
200	○	○	○	○	○	◎

◎：接着試験体そのままの厚さで試験
○：厚みを削り落としてそれぞれの厚さにした試験片で実施

2.2 試験方法と試験治具

試験片の形状・寸法は前項のとおりであるが、切り込みが接着層に到達していない試験片は、接着層のせん断ではなく例外なく図3のように被着材の接着層に近い部分で木材がせん断を起こすことが試行試験で確認された。従って切り込み加工は十分注意して確実に接着層まで切り込んだ。

試験はすべて常態接着強さとした。せん断試験にはこの試験のために作製した図4のような治具を使用した。

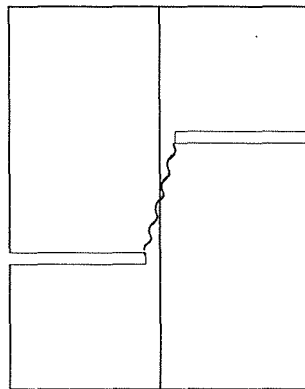


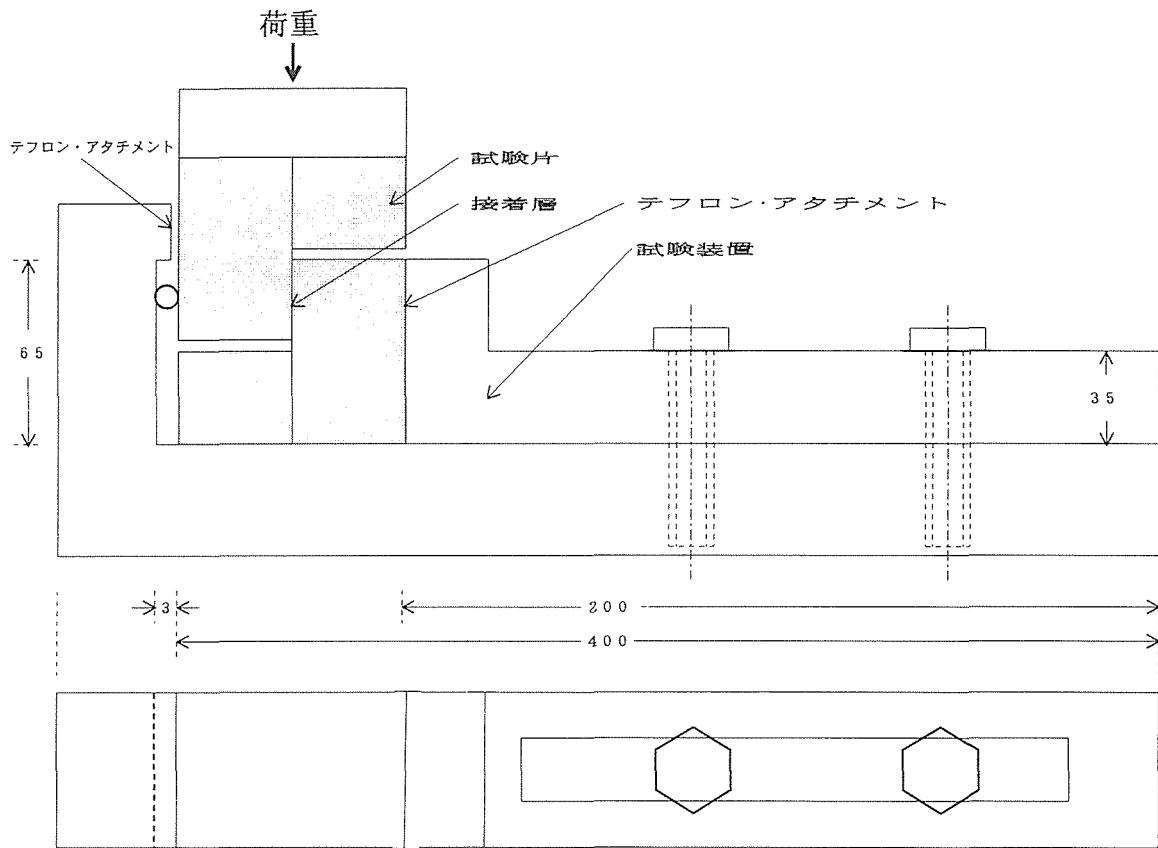
図3 切り込み不足の試験片の破断

2.3 結果と考察

試験接着面の大きさは幅35mm、高さ(繊維方向)30mmで一定とし、厚さが種々な試験片の圧縮せん断接着強さ試験の結果を一括して表2、表3に示す。各数値は試験片20個の平均値、標準偏差・変動係数である。

これらの結果から、厚い試験片でも削り落としを行わなくてもよいと判断した。

圧縮せん断接着強さに及ぼす試験片の形状・寸法の影響



単位：mm

図4 試作した治具

表2 削り落としで厚さを異にする試験片の圧縮せん断接着強さ (kgf/cm²)

試験時の厚さ(削り落とし) 試験体の厚さ(2t)	削り落とし後の厚さ						平均
	20mm	40mm	80mm	120mm	160mm	200mm	
40 mm	74.4	90.7					82.6
80	76.5	106.1	86.9				89.8
120	81.9	108.8	93.6	100.7			96.3
160	90.9	109.7	90.7	89.7	87.3		93.7
200	92.5	96.0	77.2	92.3	101.3	101.8	93.5
平均	83.2	102.2	87.1	94.2	94.3	101.8	92.4

□内の数値は、削り落としをせず試験体そのままの厚さの値で、それらのみの平均=93.5

表3 削り落としで厚さを異にする試験片の
圧縮せん断接着強さの標準偏差(σ)と変動係数(CV)

試験体の 厚さ(2t)	試験時の厚 さ(削り 落とし)	削り落とし後の厚さ					
		20mm	40mm	80mm	120mm	160mm	200mm
40 mm	(σ)	4.7	8.4				
	(CV)	6.4	9.2				
80 mm	(σ)	2.8	10.8	9.7			
	(CV)	3.6	10.2	11.2			
120 mm	(σ)	10.4	8.0	23.0	9.1		
	(CV)	12.7	7.7	25.8	9.0		
160 mm	(σ)	6.5	9.9	12.1	22.0	22.1	
	(CV)	7.1	9.0	13.4	24.6	25.4	
200 mm	(σ)	7.7	8.6	10.8	12.9	10.7	11.3
	(CV)	8.3	8.9	14.0	14.0	10.5	11.1

3. 試験接着面の形状・寸法の影響

今回の試験では被着材の寸法等から、試験接着面の形状・寸法を図2のごとく幅35mm、高さ(材軸方向)30mm(Ⓐ=35×30mm)としたが、JISの方法ではそれぞれ25mm、25mmであり(Ⓐ=25×25mm)、ISOの方法ではⒶ=50×40mm、ASTMの方法ではⒶ=50.8×38.1mmである。

この試験では、試験接着面の幅と高さの寸法に従来の試験法にある最小25mmから最大50mmまでに6水準、すなわち25、30、35、40、45、50mmを選び、この組み合わせの各種寸法の試験接着面36種類のうち、表4の○印の形状・寸法のものについてその影響を調べた。

表4 試験片の試験接着面の寸法

試験接着 面の高さ(h)	試験接着 面の幅(w)	25mm	30mm	35mm	40mm	45mm	50mm
	JIS法* (25mm)		○				
	25mm	○	○	○	○	○	○
	30	○	○	○		○	
	35		○	○	○		
	40			○	○	○	○
	45		○		○	○	○
	50	○	○	○	○	○	○
ISO法* (40mm)							○

* 椅子形の試験片

ISOの寸法はASTMの寸法に近似している。

3.1 試験材料と試験片の形状・寸法

試験片を切り出した試験材料はすべてベイマツ集成材で、ラミナの厚さは20mm、従って試験材料の厚さは40mm、幅120mm、長さ2mのものである。レゾルシノール樹脂接着剤を使用して構造用集成材メーカーのS社で製造した。

試験片の形状は図5で、試験接着面の幅 w と高さ h が表4の寸法になるように、1条件当たり各20個を試験材料から採取し、切り込みを入れて試験片とした。このほかに椅子型でJISの寸法、ISOの寸法（ASTMの寸法に近似）のものも作製した。

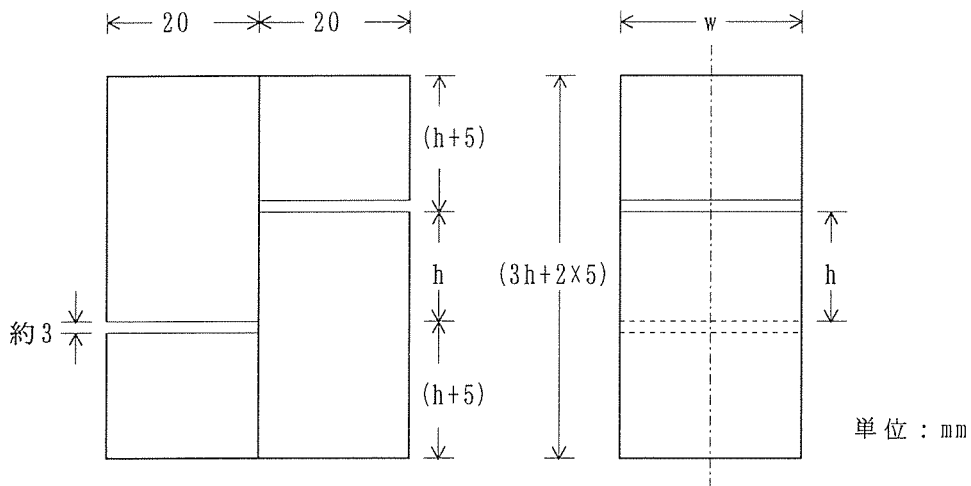


図5 試験接着面の寸法を変えた圧縮せん断接着強さ試験片の形状

3.2 結果と考察

試験接着面の幅と高さとしてそれぞれ25mmから50mmまでの6通りを設定し、そのうちの27通りの組み合わせ寸法の試験片と、JISとISOの椅子型試験片を加えて合計29通りの寸法・形状の異なる試験片について、圧縮せん断接着強さを比較した。その結果を表6、表7に示す。各数値は各20試験片についてのものである。

圧縮せん断試験を行った時の応力分布は、荷重を受けた試験片の試験接着面の材軸方向の上下辺縁部に大きく、中央部に小さくなる。このため、大きな応力を受ける上下辺縁部から破壊が順次起こり、破断する。このように試験接着面の辺縁部の応力集中が考えられるから、「単位面積当たりの破断荷重」で表現される接着強さは試験接着面の高さ寸法によって異なることになる。そのためJIS、ISO、ASTM等の規格ではそれぞれ試験片形状を定めて数値の比較ができるようにしている。

本実験の結果から次のようなことが分かる。

(1) 椅子型の試験片であるJIS法とISO法＝ASTM法は、試験接着面の大きさに大差はあるが「接着強さ」の値はかなり似ており、数値のバラツキも比較的少ない。

(2) 一連の試験の都合で本章で試みた特殊なせん断試験法では；

①試験接着面の高さが45mm以上になると測定値のバラツキが大きくなる(表7)。

②試験接着面の高さが25mmの場合は、幅の寸法の違い(25~50mm)によって測定値に大きい違いが現れる(表6)。

③試験接着面の高さが30~40mmの場合は、幅の寸法が30~50mmの間で異なっても測定値の違いは②ほど大きくはない(表6)。試験値のバラツキも①場合よりはるかに小さい。

これらの結果から、今後の一連の試験で圧縮せん断試験によって接着強さを評価する場合、試験接着面のサイズは幅30~40mm、高さ30~40mmが適当と判断した。また、2項の実験から試験片の厚さの削り落としは必要ないことが判明した。これらのことから今後の実験における試験片の標準サイズとして図2の形状・寸法(幅35mm、高さ30mm)を決定した。

表6 試験接着面の寸法・形状と圧縮せん断接着強さ(kgf/cm²)

試験接着面の幅 試験接着面の高さ	25mm	30mm	35mm	40mm	45mm	50mm	平均
JIS法* (25mm)	115.4						115.4
25mm	100.0	90.0	103.7	104.2	98.1	80.3	96.1
30	92.6	85.6	85.2		84.5		87.0
35		90.8	88.0	86.6			88.5
40			83.6	82.8	92.7	89.5	87.2
45		79.7		75.7	96.1	82.3	83.5
50	85.6	116.5	121.8	122.4	102.0	122.7	112.0
ISO法* (40mm)						109.3	109.3
平均	98.4	92.5	96.5	94.3	94.7	97.0	95.5

*椅子形の試験片

表7 試験接着面の寸法・形状と圧縮せん断接着強さの標準偏差

試験接着面の幅 試験接着面の高さ	25mm	30mm	35mm	40mm	45mm	50mm	平均
JIS法* (25mm)	8.5						8.5
25mm	8.3	6.8	9.0	13.6	7.4	10.8	9.3
30	6.1	9.0	8.1		11.7		8.7
35		10.4	18.9	5.8			11.7
40			6.4	5.4	8.6	10.9	7.8
45		25.7		38.4	42.7	38.3	36.2
50	26.9	47.4	63.4	61.2	41.5	70.4	51.8
ISO法* (40mm)						12.5	12.5
平均	12.5	19.9	21.2	24.9	22.4	28.6	

*椅子形の試験片

第4章 部分的集中加圧による現場接着の接着性能

はじめに

現場接着接合は工場での作業と異なり、接着作業としては様々な不利な条件の下で実施することになる。なかでも圧縮方法・圧縮装置・治具には制約があり、工場内でのような十分な加圧は期待できない。

そこで、本章では現場接着接合で十分な接着を確保しうる圧縮とはどの程度の圧力とその均一性が要求されるかを検討する。具体的には2mの被着材の接着にあたり、通常の接着のように被着材全表面に均一に圧力をかけるのではなく、1箇所ないし2箇所を部分的に圧縮した場合、この被着材の各部分の接着性能が材軸方向でどのように異なっているかを、圧力と接着強さの分布状態を測定することによって明らかにし、信頼性が期待できるのはどの条件のどの部分までであるかを推定する資料とする。

1. 試験方法

1.1 被着材

部分的集中加圧による圧縮で全体の圧縮効果の分布を見ようとするとき、圧縮効果に直接影響するのは被着材の曲げ剛性EIである。そこで、被着材として厚さ(t)を20、40、60、80、100mmの5水準とし、ベイマツの板(20mmの場合)または集成材(40mm以上の場合)を各厚さにプレーナー仕上げした幅120mm、長さ2mの板状材を使用した。含水率許容範囲は高周波式含水率計により $10 \pm 5\%$ とした。これらのヤング係数、密度は表1のとおり。

接着される1組、2本の被着材は曲げ剛性のほぼ等しいものを組み合わせ、接着する面は事前の曲げ剛性試験で引張り側(下側)にした面とする。

表1 被着材のヤング係数及び密度

被着材の厚さ(mm)		20	40	60	80	100
材 料	ひき板	○				
	集成材		2層	3層	4層	5層
試験本数		84	99	86	87	87
ヤ ン グ 係 数	平均値 (10^3kgf/cm^2)	110	124	122	122	122
	最大値	159	154	154	160	148
	最小値	70	91	79	95	99
	下限5%値(正規分布で算出)	80	102	94	105	104
	標準偏差	18	14	16	10	11
	C. V. (%)	16.3	10.9	13.5	8.5	8.6
密 度	平均値 (kg/m^3)	521	549	546	544	549
	最大値	580	646	609	602	624
	最小値	392	487	504	509	507

被着材の幅：120mm、長さ：2m

ヤング係数はスパン1,600mmの中央集中荷重法で測定

密度＝試験時重量／試験時体積

1.2 接着剤の選定

接着剤は構造用木材接着剤の性能をもつもので、将来現場接着接合用として使用できると思われる表2の3種類を選定し、比較のためユリア樹脂接着剤を加えた。

表2 選定した接着剤の種類

		空隙充填性	硬化の温度依存性	不揮発分
接着剤	レゾルシノール樹脂接着剤	良い	15℃以上	65%
	エポキシ樹脂接着剤	最も良い	20℃以上	100%
	水性高分子-イソシアネート系接着剤	良い	10℃以上	50%
	塗布量 塗布方法 堆積時間 圧縮時間	1 接着層あたり 300g/m ² ハンドローラで接着面の片面のみに塗布 20分以内 8時間以上/15~20℃		

接着剤の配合：

- ①レゾルシノール樹脂接着剤(RF)
 - 商品名「ディアノール35」 不揮発分65%
 - (主剤 100 + 硬化剤 パラホルムアルデヒド15 + 充填剤 ヤシ殻粉5)
- ②エポキシ樹脂接着剤(EP)
 - 商品名「オーシカダインTE-126」 不揮発分100%
 - (主剤 ビスフェノール型エポキシ樹脂100 + 硬化剤 変性ポリアミドアミン50)
- ③水性高分子-イソシアネート系接着剤(VU)
 - 商品名「PIボンド120」 不揮発分50%
 - (主剤 ポリビニールアルコールエマルジョン100 + 硬化剤 ジイソシアネート15)
- ④ユリア樹脂接着剤(UF)
 - 商品名「大鹿レジン105」 不揮発分65%
 - (主剤 100 + 硬化剤 20%塩化アンモン5 + 充填剤 小麦粉5)

1.3 試験条件

(1) 圧縮圧力

木材接着の一般的な値である10kgf/cm²を中心に5kgf/cm²、15kgf/cm²の3水準とした。これらの圧縮はクランプ締めで行うが、クランプの圧縮力を決められた大きさに正しく調整するために、あらかじめトルクレンチの読みと真の圧縮力の関係求めた(第1章参照)。

(2) 追い締め圧縮

圧縮初期に所定圧力をかけても、長時間の圧縮中に木材の応力緩和で加圧力の低下が起こる。常法ではこれを自然のままに任せるが、ここでは集成材の厚さが40mmの場合のみ、30分ごとにトルクレンチで確認して追い締めを行った。

(3) クランプの位置と数

2mの被着材の中央の1点加圧と両端の2点加圧を検討したが、次の四つの理由で図1に示すような2点加圧とした。具体的には、両端 200mmの点を中心として、厚さ9mm、材軸方向100mm、材軸に直交する方向は被着材の幅に合わせて120mmとした鋼板製当て板を介して圧力をかけた。従って、2加圧点間の心心距離は1,600mmとなる。

- ①中央1点加圧の場合、被着材の通直度によっては密着しない部分が出る可能性がある。
- ②中央1点加圧の場合、水系接着剤から持ち込まれる水分によって接着層付近の被着材の含水率が増加し、接着面を凸にした反りが起こり、両端の密着に不安がある。
- ③両端2点加圧としても加圧点間の距離が1,600mmあれば、圧縮圧分布の影響を見るという本課題の目的を満たすことができる。
- ④構造用集成材の製造基準によれば、クランプ圧縮で製造する場合のクランプ間隔は圧縮ブロック、当て板及び外側ラミナの各厚さの合計の2倍を越えないこととしている。これから推定すると、加圧当て板と被着材の厚さの合計の2倍以上加圧点が離れていると、圧力が十分行きわたらず接着に影響が現れると考えてよい。このような経験によれば、心寸1,600mmという距離は、最も厚い100mmの被着材の場合でも、加圧効果が及ぶ範囲をみるという本研究には十分な距離と考えられる。

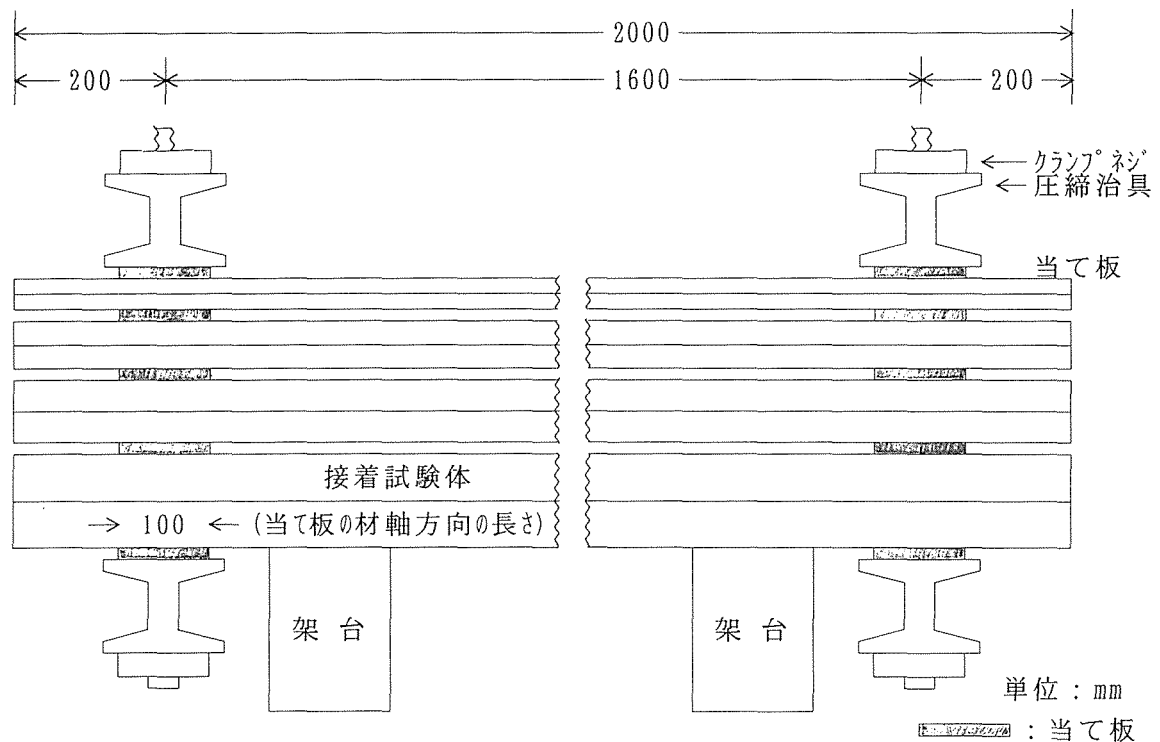


図1 クランプによる被着材の部分的加圧法

1.4 試験体の作製

1.4.1 クランプ圧縮

圧縮圧力、接着剤、及び厚さが同一条件の試験体3体を3列に並べ、厚さを異にする試験体、すなわち厚さが100mm×2、80mm×2、60mm×2、40mm×2、20mm×2の試験体各3体の列を、所定の位置に設置された鋼板当て板を介して厚さごとに積み重ね(図2)、同時に圧縮した。圧縮時の圧力はコ型鋼を2本溶接した一对の圧縮バーを角ネジをもった大型ボルト・ナットで所定位置の2箇所をクランプした。

1.4.2 圧縮圧力

第1章で求めたナットを締めるトルクレンチの読みと圧縮力の関係図から、所定の単位圧力 5kgf/cm^2 、 10kgf/cm^2 、 15kgf/cm^2 を加えた(表3参照)。この圧力は前述のように圧縮される被着材の全面積に対応するものではなく、材軸方向の長さ 10cm 、幅方向は $12\text{cm}\times 3$ 列の鋼板当て板の面積に対応するものであり、当て板以外の部分は被着材の剛性により当て板部分の加圧力が分散されるものである。

表3 所定加圧力となるトルクレンチの読み

加圧当て板面積	単位圧力	全加圧力	ボルト1本分荷重	トルクレンチの読み*
$10\text{cm}\times 12\text{cm}\times 3$	5kgf/cm^2	1800 kgf	900 gf	400 kgf-cm
$10\text{cm}\times 12\text{cm}\times 3$	10kgf/cm^2	3600 kgf	1800 kgf	650 kgf-cm
$10\text{cm}\times 12\text{cm}\times 3$	15kgf/cm^2	5400 kgf	2700 kgf	900 kgf-cm

*第1章の表1及び図2参照

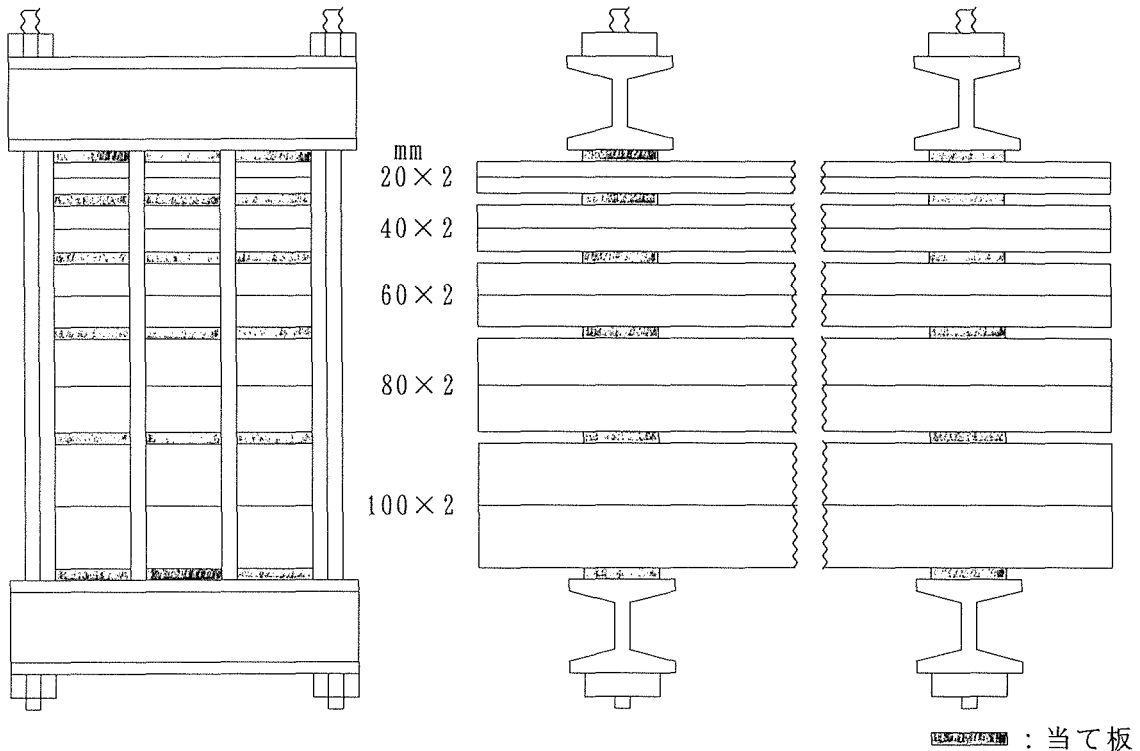


図2 試験体のクランプ圧縮の仕方

1.5 接着強さ試験方法

1.5.1 圧縮せん断接着強さ試験片の形状

第3章の結果から試験片の形状は第3章の図2とし、接着した試験体の厚さはそのまま、せん断面積(試験接着面)が 35mm (幅) $\times 30\text{mm}$ (軸方向)となるように切り込みを入れた。

1.5.2 試験片の採取

製作された各種接着試験体から圧縮せん断接着強さ試験片を図3のように採取した。試験片の因子・水準、繰り返し数を表4に記す。

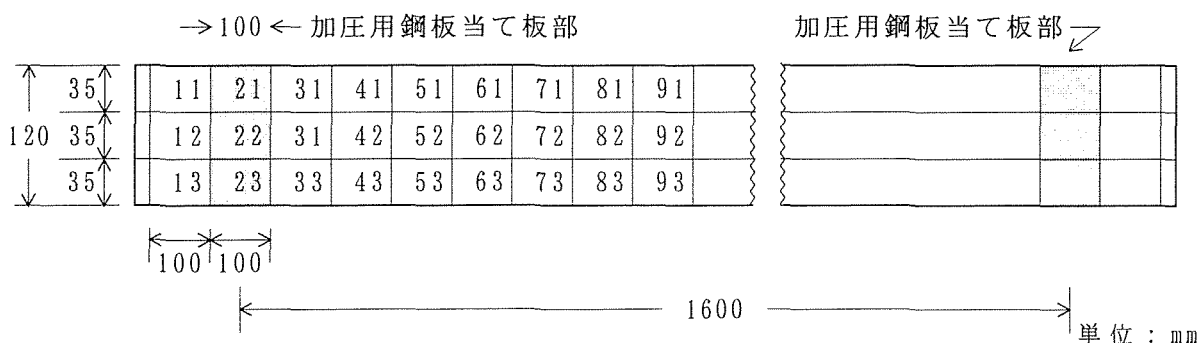


図3 1本の試験体から接着強さ試験片を採取する方法とその位置番号

表4 接着試験の因子と水準及び試験体・試験片の繰り返し数

被着材の厚さ	接着剤	圧縮圧力 (当て板部の面積あたり)	試験体本数	1試験体からの試験片採取列	加圧点からの相対位置
5水準	3水準	3水準	3体	3列	9箇所
20、40、60、80、100 mm	レゾルシノール樹脂接着剤 エポキシ樹脂接着剤 水性高分子-イソシアネート系	5 kgf/cm ² 10 15		1試験体から幅方向に3個の試験片採取	図3参照

1.5.3 接着強さ試験

圧縮せん断接着強さ試験は、第3章同様に特製の治具(第3章図4参照)を用いて行った。試験はすべて常態試験とし、破壊荷重からせん断接着強さと木部破断率を測定した。また、接着強さの変動係数を算出した。

2. 試験結果

2.1 試験結果

試験結果は接着条件の3因子の組み合わせで得られる。すなわち①被着材の厚さ20mm、40mm、60mm、80mm、100mmの5水準、②接着剤の種類はレゾルシノール樹脂接着剤、エポキシ樹脂接着剤、水性高分子-イソシアネート系接着剤の3水準のほかに、参考としてユリア樹脂接着剤を加え、③圧縮は部分的集中加圧で鋼板当て板部に加えられた圧縮力5kgf/cm²、10kgf/cm²、15kgf/cm²の3水準の組み合わせである。

被着材の厚さ、接着剤、部分的加圧力の三者が同じ条件の試験体各3体について、加圧点からの相対位置を同じくする位置から一体あたり3列ずつ採取した試験片3片、合計9試験片の値を平均して一つの測定値とした。測定値としては①接着強さ、②木部破断率、③接着強さの変動係数の三つである。

これらの結果を付図1-1~12-2に示す。付図中、 内の数字・記号は次のことを表している。

最初の2桁の数字：被着材の厚さ

記号	01	02	03	04	05
厚さ(mm)	20	40	60	80	100

3桁目のアルファベット：接着剤の種類

記号	R	E	U	N
接着剤	ポリシノール樹脂接着剤	エポキシ樹脂接着剤	水性高分子-イソシアネート系接着剤	ユリア樹脂接着剤

後の2桁の数字：部分的集中加圧の圧力

記号	05	10	15
圧力 (kgf/cm ²)	5	10	15

また、変動係数が150%を超えるものについては図の目盛り部分より大きいため、記入を省略してある。

2.2 評価の基準

大量の試験結果を評価するために、測定値とした①接着強さ、②木部破断率、③接着強さの変動係数の三つの値を大別して5種(A, B, C, D, E)、部分的に細分して全10種類(A: 2細分、B及びC: 3細分)の評価基準を設定して評価した。その10種類の評価基準を表5に示す。また、この評価体系を理解しやすくするために、この体系と接着強さ及と木部破断率との関係を図4に示す。

表5 接着性能の評価基準

評価基準の番号	接着強さの範囲 (kgf/cm ²)	木部破断率の範囲 (%)	変動係数の範囲 (%)			
			20未満	20以上 30未満	30以上 50未満	50以上
1	80以上	70以上	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
2		70未満 50以上	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
3		50未満 30以上	A ₂	B ₁	B ₂	B ₃
4		30未満	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂
5	80未満 50以上	70以上	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
6		70未満 50以上	A ₂	B ₁	B ₂	B ₃
7		50未満 30以上	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁
8		30未満	C ₂	C ₃	D	E
9	50未満 40以上	70以上	A ₂	B ₁	B ₂	B ₃
10		70未満 50以上	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂
11		50未満 30以上	C ₁	C ₂	C ₃	D
12		30未満	D	D	E	E
13	40未満 20以上	70以上	B	B	C	C
14		70未満 50以上	C	C	C	D
15	20未満	70以上	C	C	D	E
16		70未満 50以上	D	D	E	E
17	40未満	50未満 30以上	D	D	E	E
18		30未満	E	E	E	E

これらの評価基準は、次のような評価を示している。

A 評価群：十分な性能で接着は信頼できるもの。

A₁：接着強さ、木部破断率とも十分である。

A₂：A₁に比べて多少劣るが、問題にはならない。

B 評価群：A 評価群ほどではないが大断面構造用集成材の接着の水準内にあり、実用上問題は無い。

従ってA、Bの評価を得たものは合格水準に達しているもの。

B₁、B₂、B₃：接着強さあるいは木部破断率が小さくなるに従い、また変動係数が大きくなるに従い、下付き数字を大きくして信頼度の低下を表している。

C 評価群：評価因子の少なくとも一つが信頼性を欠く水準なので、このままでは容認できないもの。

C₁、C₂、C₃：木部破断率が高いが接着強さの値が小さい等、実用上、構造部材としての性能が不十分なもの、または変動係数が大きく、接着強さの平均値は大きくても信頼性に問題があるもの等で、下付き数字の大きいものほど信頼度が劣る。

D 評価：接着性能が大断面構造用集成材の基準に達しないもの。

E 評価：接着接合として期待できない水準のもの。

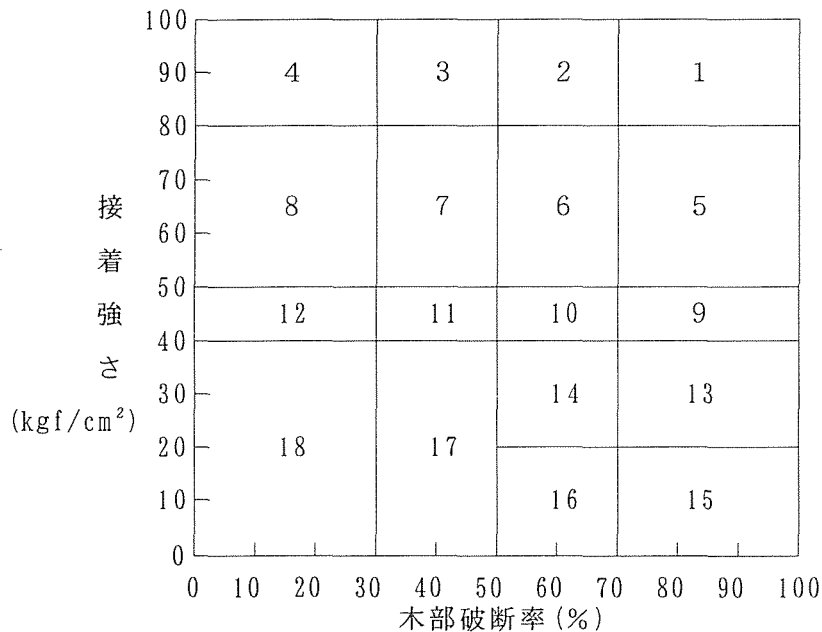


図4 接着性能評価基準の概念図

(接着強さと木部破断率からの評価。図内の数字は表5の評価基準の番号)

2.3 評価結果と考察

第2章においては集中加圧位置と他の位置の圧縮圧分布との関係、被着材の剛性との関係についてまとめられている。ここでは部分的集中加圧重圧縮による接着試験の結果について考察する。

表5の評価基準による評価結果を表6に示す。この結果を概観して次のことが言える。

①接着性能ありと評価されるAとBの評価を得た部位(位置)はレゾルシノール樹脂接着剤とエポキシ樹脂接着剤はほぼ同じ範囲で広がり、水性高分子-イソシアネート系接着剤はそれよりも加圧部側に狭く、ユリア樹脂接着剤のA、B評価部位はごく狭い。

②ユリア樹脂接着剤を使用した試験を除き、被着材の厚さが60～80mmの場合が最も遠くまで圧縮の効果が到達していてピークを示しており、被着材の厚さがそれより厚くても、薄くても接着性能は低下する山形の分布をする。

③ユリア樹脂接着剤の場合を除き、他の接着剤では加圧点である位置番号2とその両側の位置番号1、3では十分な接着性能が得られる。

④レゾルシノール樹脂接着剤、エポキシ樹脂接着剤では、条件により差はあるが、おおむね位置番号4までは実用できる。

⑤加圧位置外側のオーバーハング部(位置番号1)は、水性接着剤の場合は接着層に近い部分の吸水膨張で被着材が接着層を凸に反ることにより、内側の位置番号3より接着性能は小さい。溶剤をほとんど含まないエポキシ樹脂接着剤ではこの傾向はない。

⑥被着材厚さが薄い場合は、圧縮力は被着材が薄いほど(被着材の剛性が小さいほど)加圧点近くに集中するから、加圧力が大きいと加圧点の内側の中央部の接着層に圧力がからなくなり、接着性能は急激に低下する。

⑦被着材厚さが100mmの場合は剛性が大きいため、被着材が接着作業前に長期間放置されると含水率の変動による少しの狂いも接着圧縮には大きな障害となる。

2.4 因子別の評価

(1) 接着剤について

1) レゾルシノール樹脂接着剤

- ①材厚60mm以上で良い性能を示した。80mmで最も高い。
- ②圧縮効果の遠距離到達性は他の接着剤に比し最も安定している。
- ③圧縮圧力の大きさの影響は、この試験の範囲内で小さい。
- ④オーバーハング部の低下が大きい。
- ⑤耐熱性、耐久性に定評があり、信頼できる。

2) エポキシ樹脂接着剤

- ①平均的に高水準の接着性が得られる。
- ②被着材厚さ、圧縮圧力の大きさに影響されにくい。
- ③遠距離到達性は位置番号4までで、それを越えると急激に低下する。
- ④荷重部の外側オーバーハング部の影響はほとんど無い。
- ⑤火災時を想定する高温下での荷重耐力が劣ることで使用に躊躇するところがある。
これを改善しようとする、低温硬化性が更に悪くなることが予想される。

3) 水性高分子-イソシアネート系接着剤

- ①試験の範囲内で、圧縮圧力が大きいほど接着性能は良い。
- ②遠距離到達性は、位置番号4の20cmであり、高い圧縮圧15kgf/cm²の場合は30cm。
- ③総体的にレゾルシノール樹脂接着剤、エポキシ樹脂接着剤には及ばないが、低温硬化性に優れているので、現場接着接合には棄て難い。

4) ユリア樹脂接着剤

- ① 総体的に現場接着接合には期待できない。
- ② 遠距離到達性、接着強さともに低く、湿潤の恐れがない部位といえども使用しないこと。

(2) 圧縮力について

- ① 水性高分子-イソシアネート系接着剤を除き、 $5\sim 10\text{kgf/cm}^2$ で十分である。(この数値は接着面当たりのものではなく、鋼板当て板部の面積当たりの数値であるので、木材接着の常識的な値より非常に小さい圧力である。)
- ② 被着材が薄く、また剛性が小さいときには、圧縮圧力が大き過ぎると被着材の離れた部分に跳ね上がり現象が起き、接着には有害である。接着剤の性能も含めて適切な圧力を選ぶ必要がある。

(3) 被着材について

- ① 木材の厚さが80mmの場合があらゆる条件で安定して良い接着性能を示す。
- ② 被着材の厚さが20mmのように薄い場合には、このような圧縮法は注意が必要である。
- ③ 被着材として集成材を用いた場合、乾燥・吸湿で日時の経過による反り等の狂いが発生する。
- ④ 100mm厚の被着材の場合は全般的に結果が良くなかった。部材の剛性が高いために③の狂いが圧縮で矯正できなかったためと考えられる。
- ⑤ 圧縮による跳ね上がりが最も大きいのは40mm厚の場合である。

(4) 部分的加圧部からの距離と圧縮効果

- ① 位置番号4の20cmまでを可能範囲とすると、圧縮治具は心車で50cmまで離れてよいので、十分実用性が確認できた。
- ② 治具下の当て板に適切な材料・大きさを選べば、圧力不足の心配はない。
- ③ オーバーハングは避けたほうがよい。

表6 部分的な集中圧縮による接着試験体の部位ごとの接着強さの評価

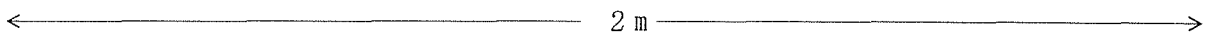
圧縮力		5 kgf/cm ²			10 kgf/cm ²			15 kgf/cm ²		
		1 2 3	4 5 6	7 8 9	1 2 3	4 5 6	7 8 9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
接着剤	位置番号*									
	被着材の厚さ (mm)									
レゾルシ ノール樹 脂接着剤	20	A ₁ A ₁ A ₁	B ₃ E E E	E E E	B ₂ A ₂ B ₂	D E D	E E E	B ₁ A ₁ A ₂	E E E	E E E
	40	B ₁ B ₂ B ₂	D D E	E E E	E B ₁ B ₂	B ₂ D C ₂	C ₂ D C ₁	E B ₃ C ₁	C ₂ E E	E E E
	60	B ₁ A ₁ B ₁	B ₁ B ₂ B ₃	D E E	C ₂ A ₁ B ₁	B ₁ B ₃ B ₃	E E E	A ₁ B ₁ A ₂	B ₃ B ₃ E	E E E
	80	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₁ B ₂	E A ₂ A ₂	A ₁ A ₁ A ₁	A ₂ B ₃ D	B ₃ A ₁ A ₁	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ A ₂ B ₃
	100	A ₁ A ₁ A ₁	B ₂ C ₂ E	E E E	C ₁ B ₁ B ₂	B ₃ D E	C ₁ C ₁ E	C ₂ A ₂ A ₁	A ₂ B ₁ A ₁	B ₂ D D
エポキシ 樹脂接着 剤	20	A ₁ A ₁ A ₁	B ₂ E E E	E E E	A ₂ A ₁ A ₂	D E E	E E E	A ₂ A ₁ A ₁	E E E	E E E
	40	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₂ D	D D E	A ₂ A ₁ A ₁	B ₁ B ₃ B ₃	B ₂ B ₃ B ₂	A ₁ A ₁ A ₁	B ₁ C ₁ E	E E E
	60	A ₁ A ₁ A ₁	A ₂ A ₂ B ₂	B ₂ D B ₃	A ₁ A ₁ A ₁	A ₂ E E	E E E	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₂ B ₂	D C ₁ B ₃
	80	A ₁ A ₁ A ₁	B ₁ B ₃ C ₁	E E E	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₁ B ₂	E E E	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₃ B ₂	E D D
	100	A ₂ A ₁ B ₃	B ₁ D B ₃	B ₃ E D	A ₂ A ₂ B ₁	B ₂ B ₃ B ₃	E E E	E B ₂ B ₂	B ₃ B ₂ A ₂	B ₁ B ₂ B ₁
水性高分 子- イソ シアネー ト系接着 剤	20	B ₂ A ₂ B ₂	E E E	E E E	B ₂ A ₁ C ₁	E E E	E E E	B ₁ A ₁ A ₂	E E E	E E E
	40	A ₂ A ₂ B ₁	E E E	E E E	A ₂ A ₁ A ₁	B ₃ E E	E E E	A ₁ A ₁ A ₂	B ₂ E E	E E E
	60	A ₂ A ₂ B ₁	C ₁ E E	E E E	A ₂ A ₂ B ₁	B ₃ D E	E E E	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₃ E	E E E
	80	A ₂ B ₁ A ₂	B ₂ E C ₁	D B ₃ C ₃	A ₁ A ₁ A ₂	A ₁ B ₁ B ₁	C ₃ C ₂ E	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ A ₂ D	E E E
	100	E E E	E E E	E E E	A ₁ B ₂ B ₃	C ₁ E E	E E E	A ₁ A ₂ A ₂	B ₁ E E	E E E
ユリア樹 脂接着剤	20	D A ₁ C ₃	D E E	E E E	A ₁ A ₁ B ₁	C ₂ E E	E E E	B ₃ B ₁ B ₂	E E E	E E E
	40	B ₁ A ₁ B ₂	C ₃ D E	E E E	B ₁ A ₁ C ₂	C ₂ D E	E E E	D A ₂ B ₃	D D D	E E E
	60	D B ₁ D	E E E	E E E	C ₁ A ₂ C ₂	E E E	E E E	A ₂ A ₁ B ₂	B ₂ B ₂ C ₂	C ₂ C ₂ C ₂
	80				D C ₂ C ₂	D D D	E E E	B ₃ B ₂ A ₂	D E E	D E E
	100	E B ₃ B ₂	B ₃ B ₂ E	E E E	E C ₃ D	E E E	E E E	B ₂ A ₁ B ₁	C ₂ B ₃ E	E E E

評価は「表5 接着性能の評価基準」のランクづけによる。
 圧縮力は鋼板当て板の面積に対しての値。

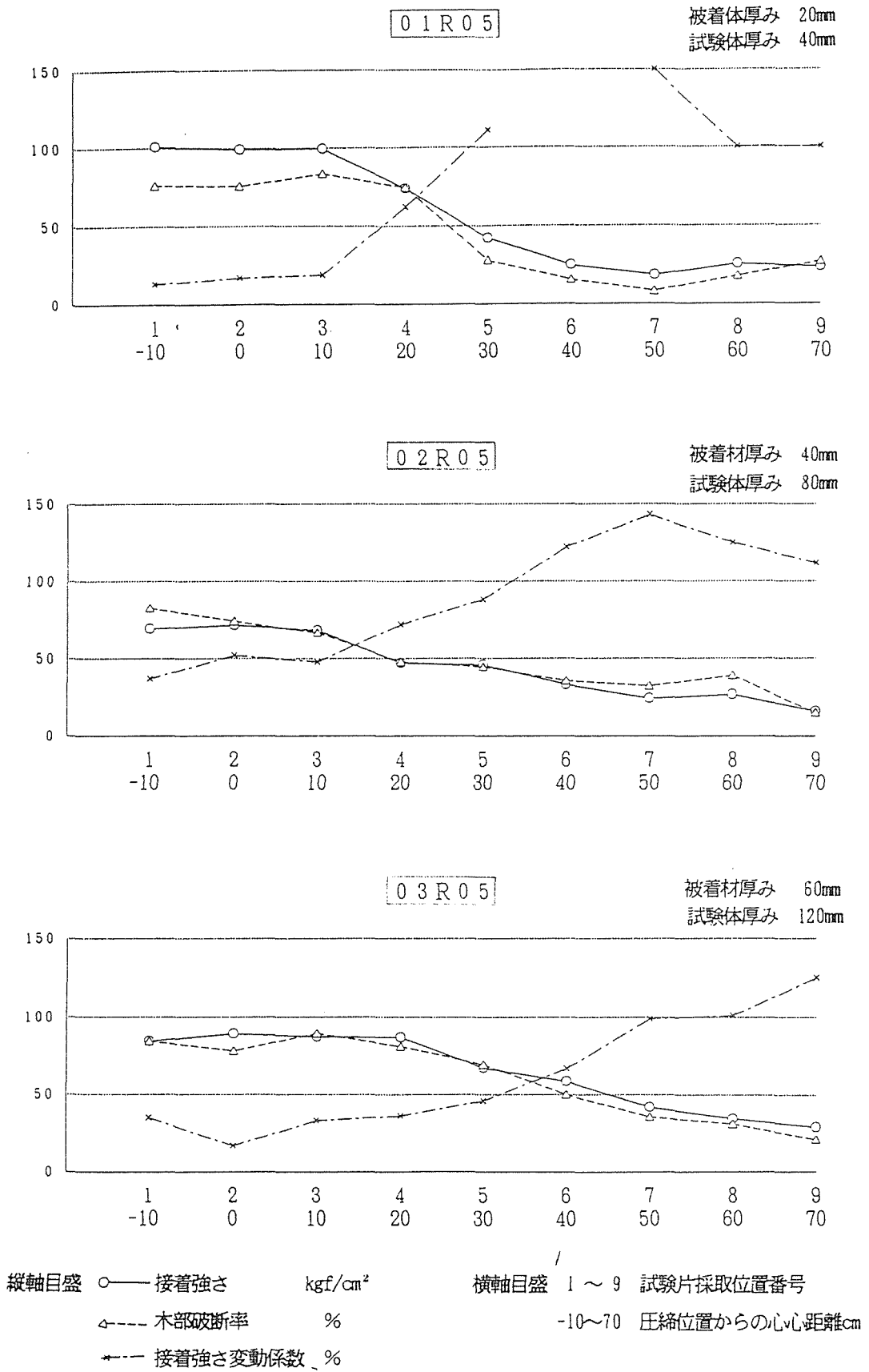
*位置番号：



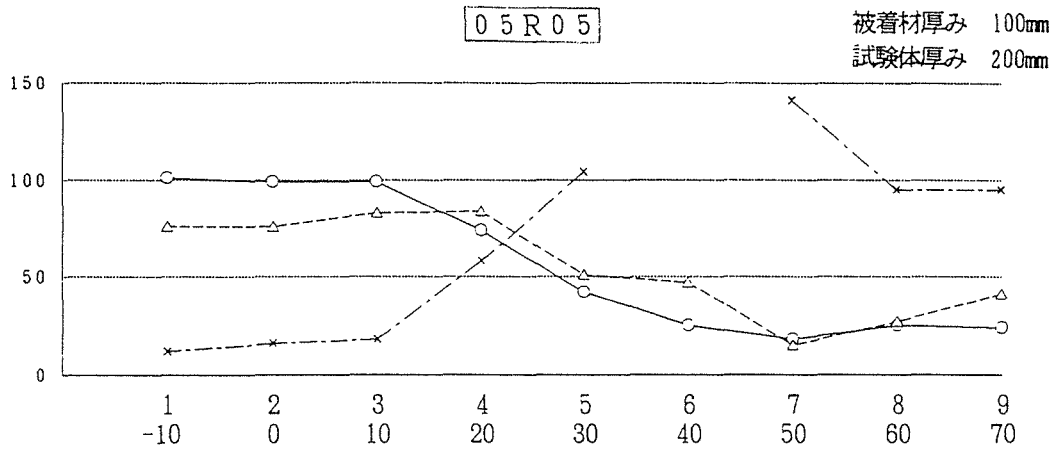
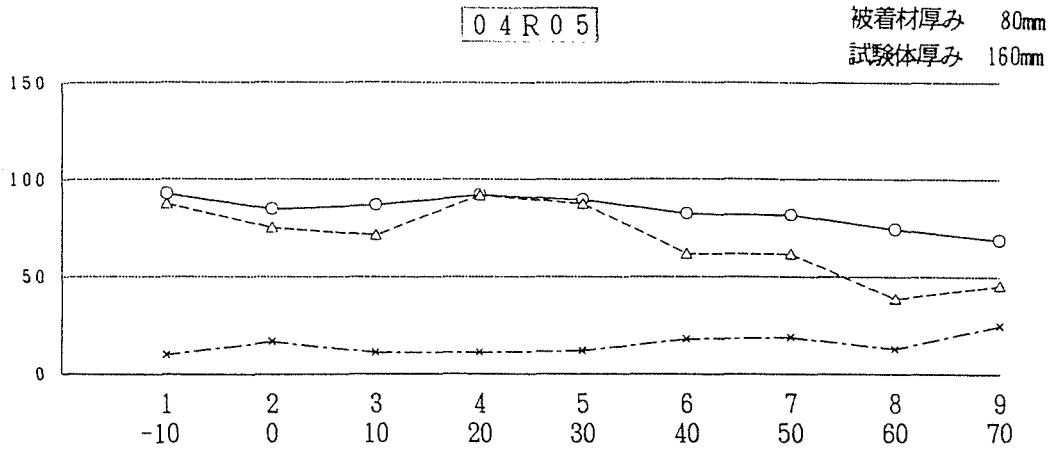
→100← 鋼板当て板部の材軸方向の長さ (mm)



部分的集中加圧による現場接着の接着性能



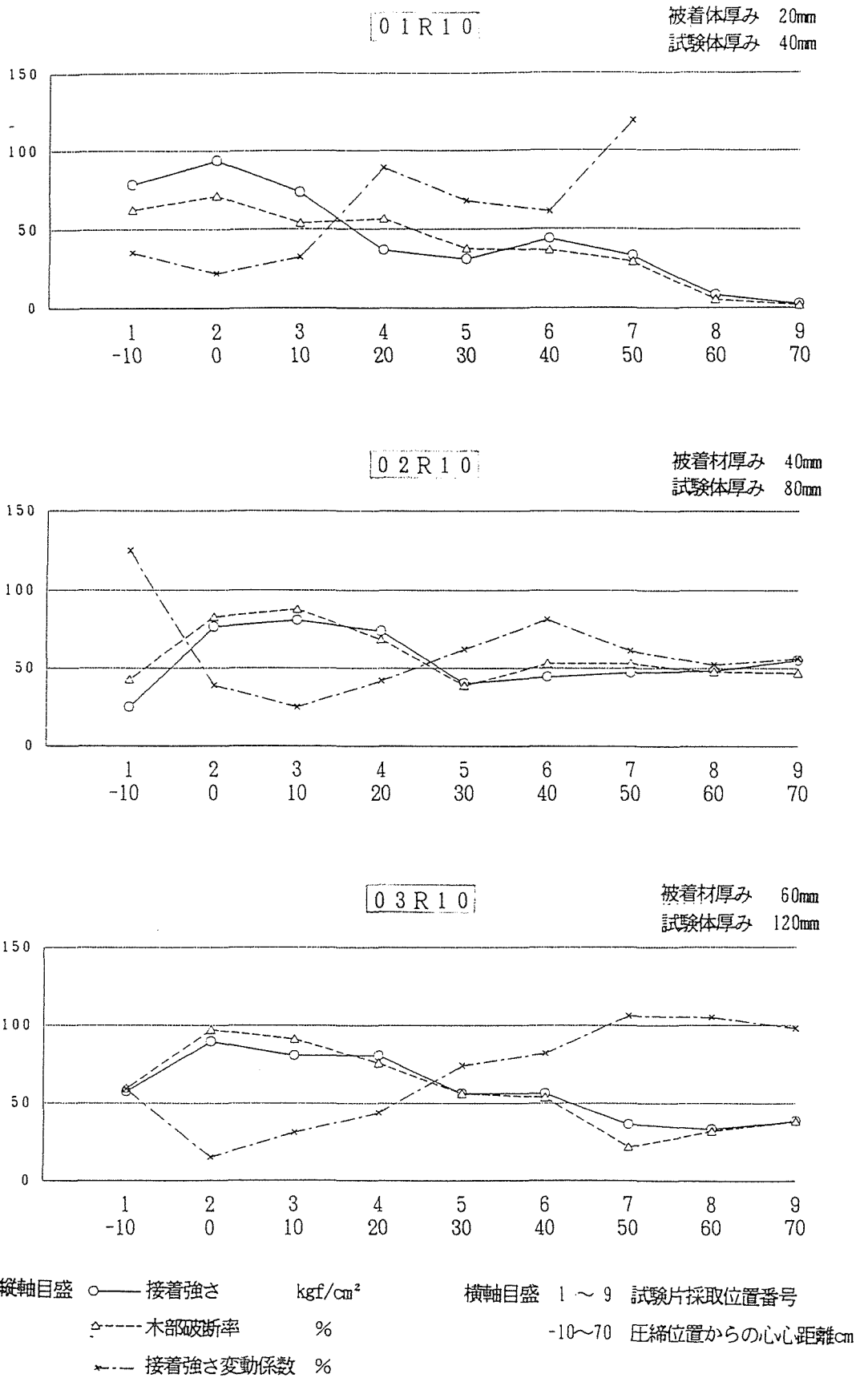
付図 1-1 レゾルソール樹脂接着剤-集中加圧 5 kgf/cm² の場合 (その 1)



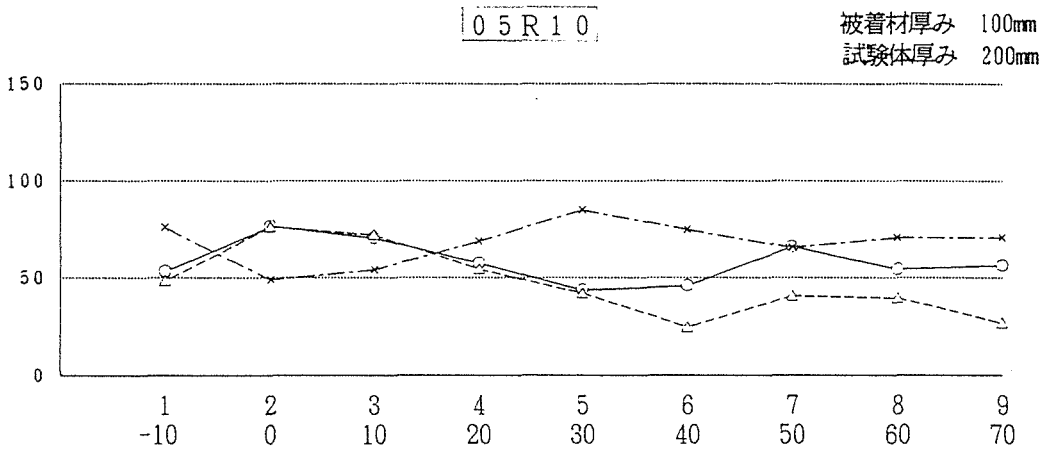
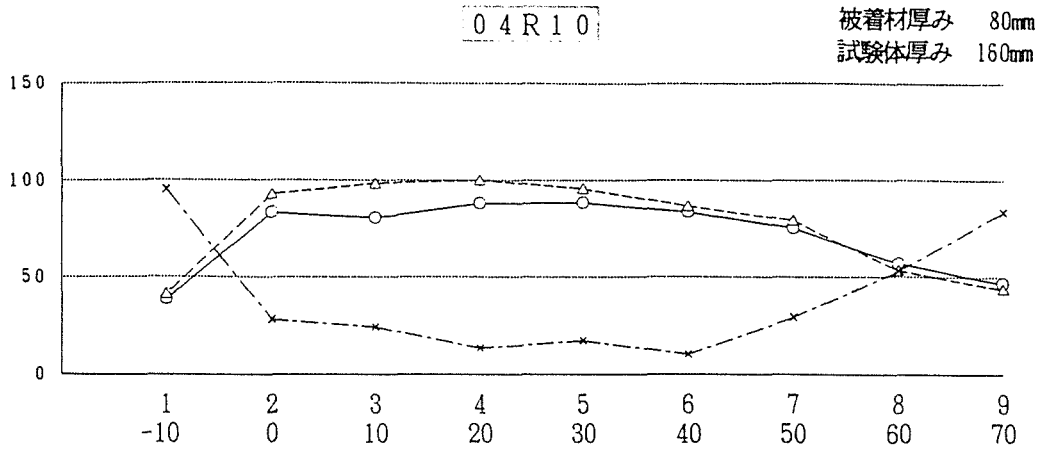
縦軸目盛 ○ — 接着強さ kgf/cm² 横軸目盛 1 ~ 9 試験片採取位置番号
 △ - - 木部破断率 % -10 ~ 70 圧締位置からの心臓距離cm
 × - - 接着強さ変動係数 %

付図 1-2 レゾルシン樹脂接着剤-集中加圧 5 kgf/cm² の場合 (その 2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能



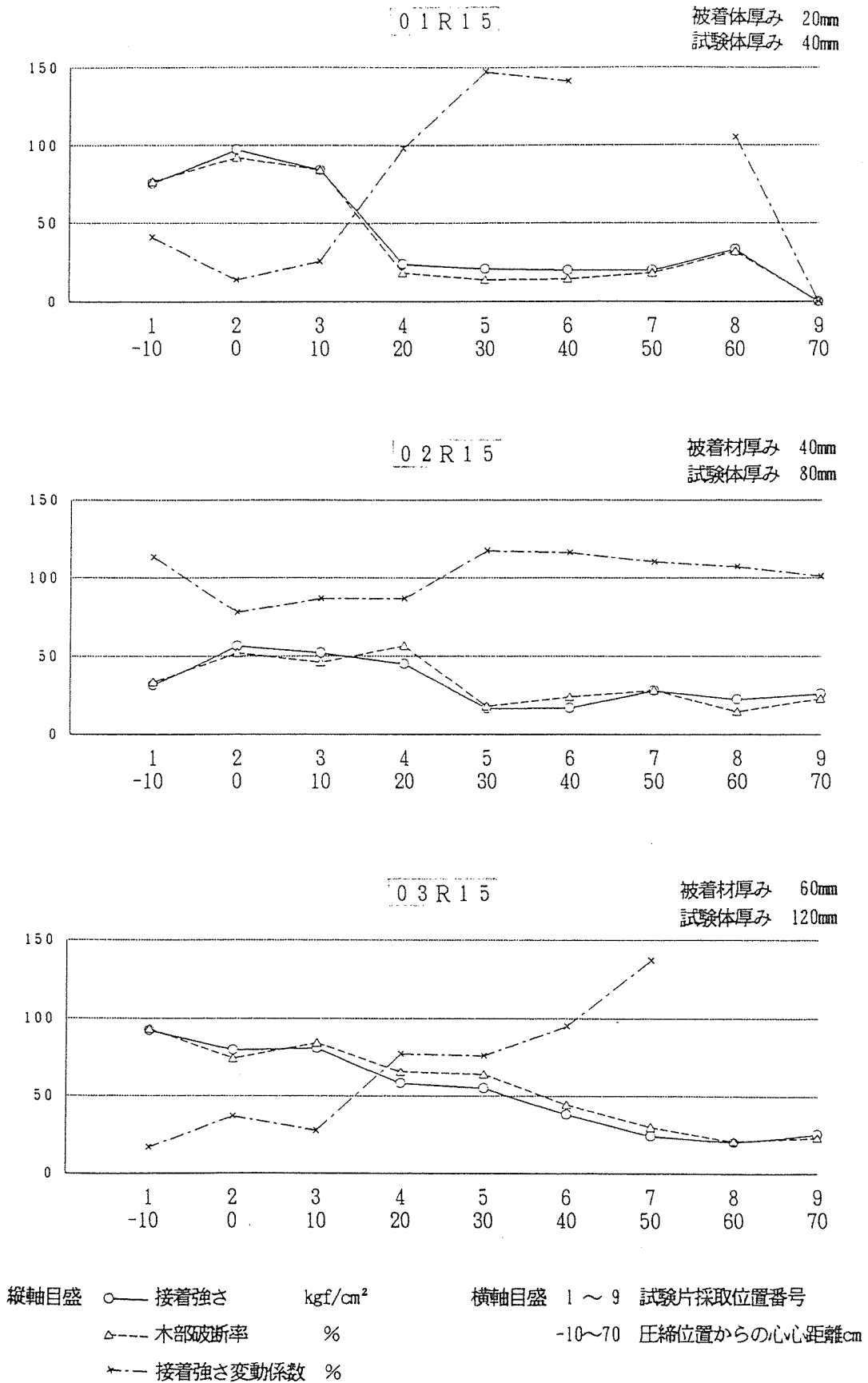
付図 2-1 レゾルソール樹脂接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その1)



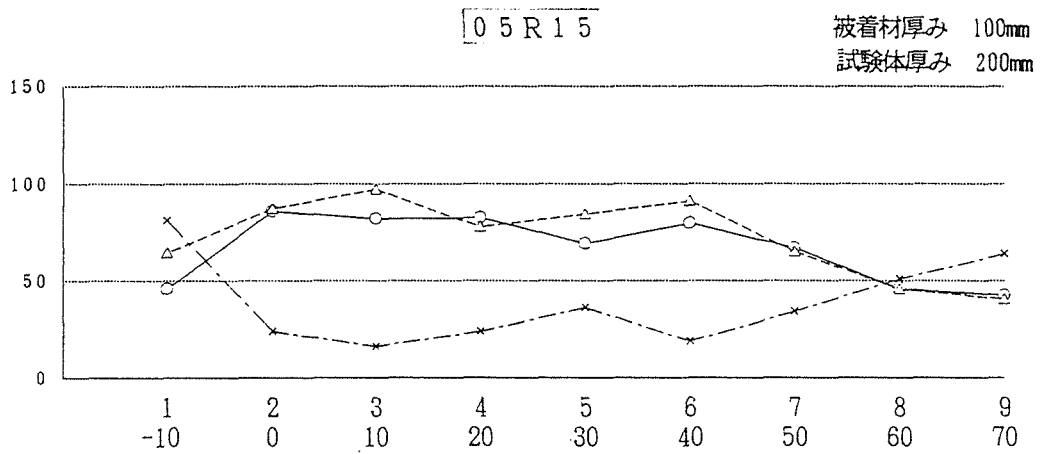
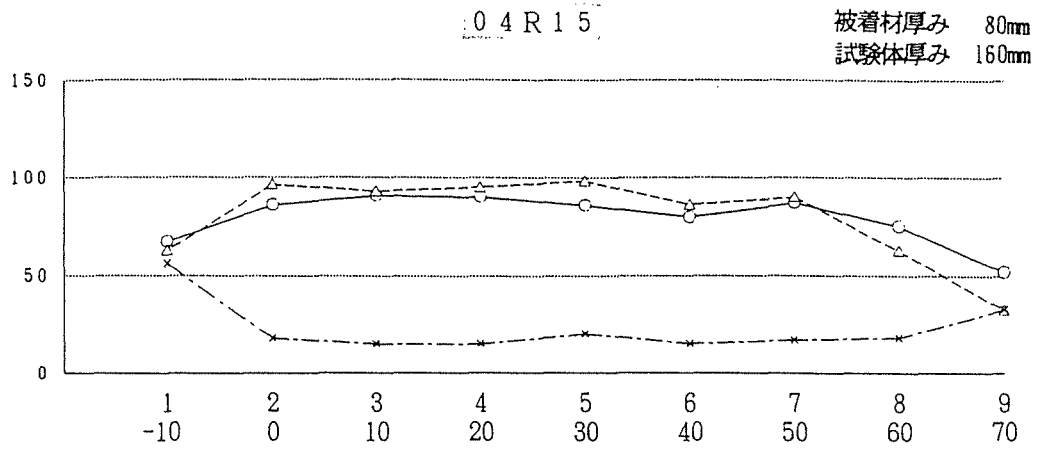
縦軸目盛 ○—— 接着強さ kgf/cm² 横軸目盛 1～9 試験片採取位置番号
 △--- 木部破断率 % -10～70 圧縮位置からの中心距離cm
 ×--- 接着強さ変動係数 %

付図 2-2 ヴィルソール樹脂接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能



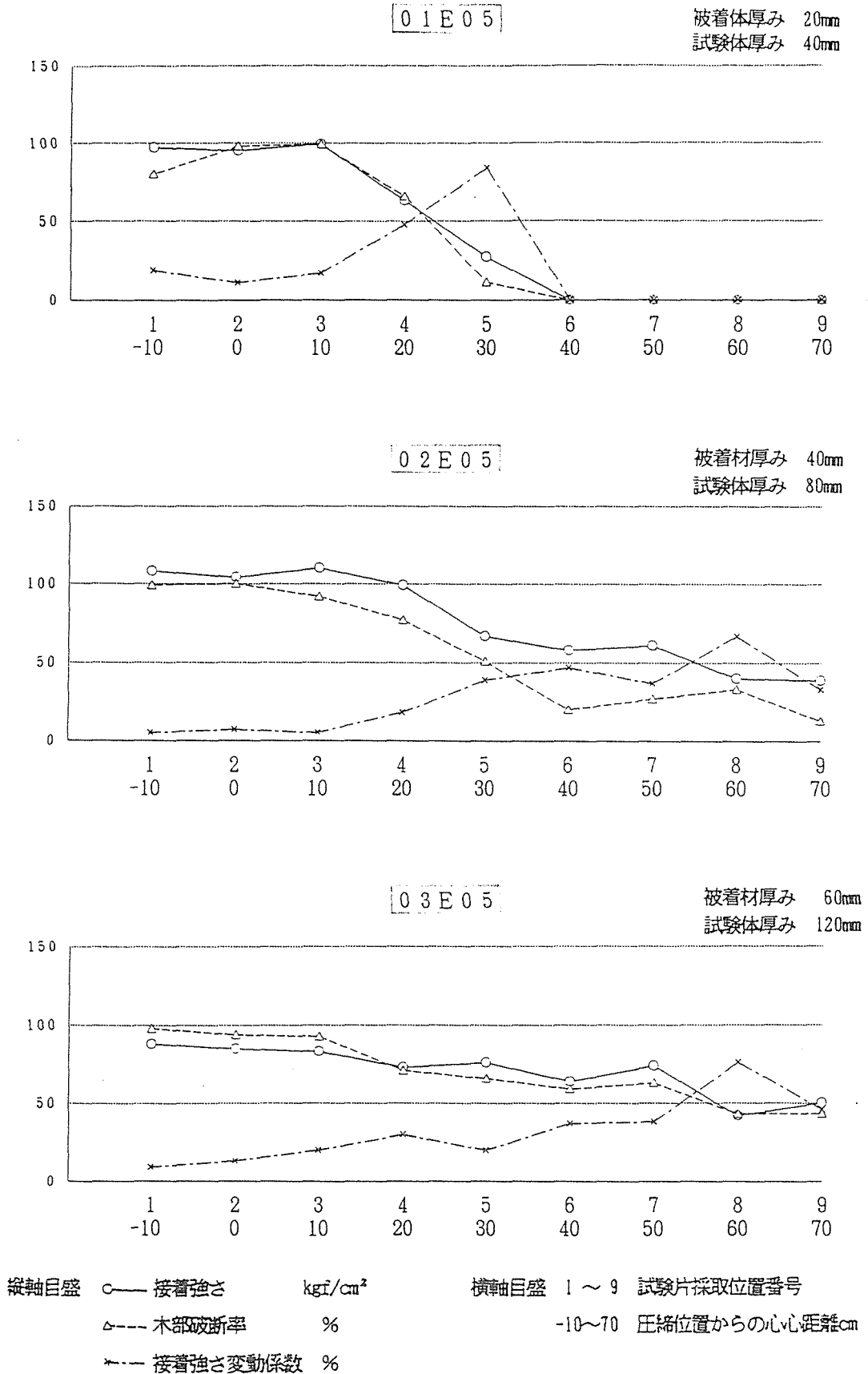
付図 3-1 レゾルソール樹脂接着剤-集中加圧15kgf/cm²の場合 (その1)



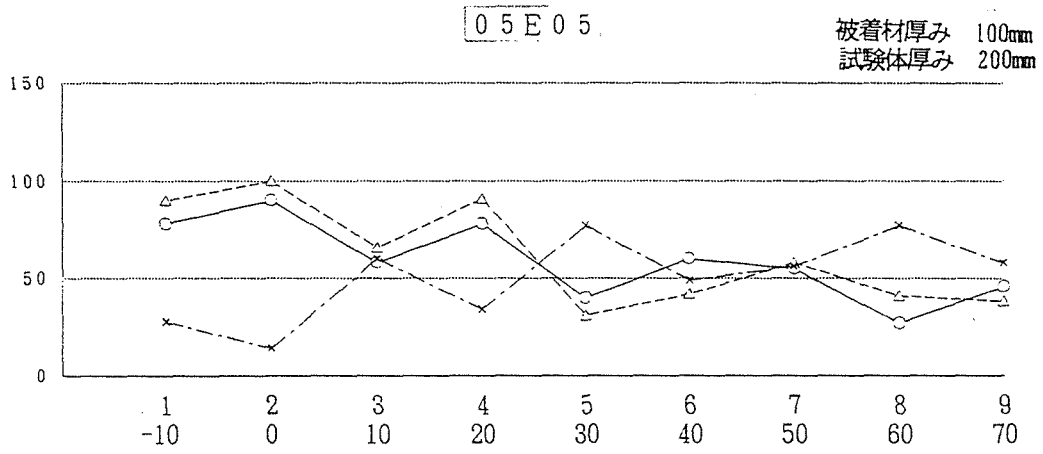
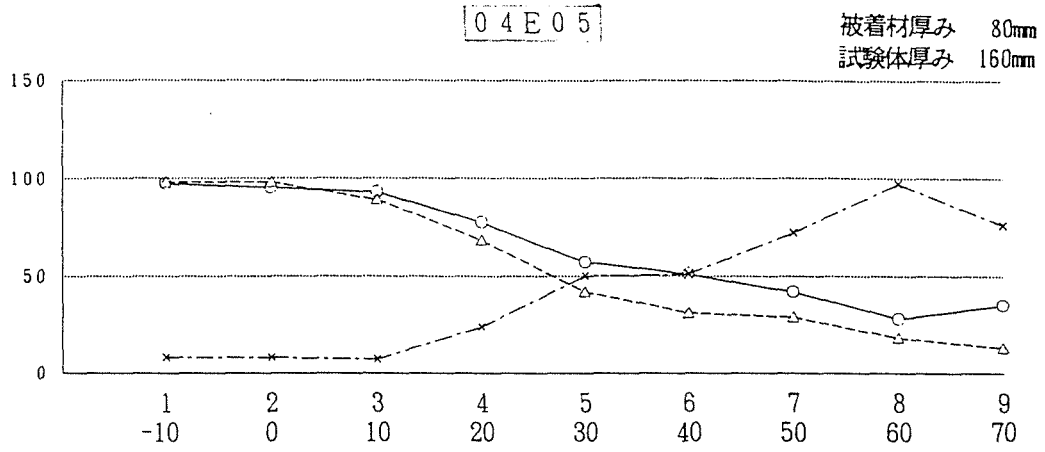
縦軸目盛 ○—接着強さ kgf/cm² 横軸目盛 1～9 試験片採取位置番号
 △---木部破断率 % -10～70 圧縮位置からの心距離cm
 ×---接着強さ変動係数 %

付図 3-2 レゾルノール樹脂接着剤-集中加圧15kgf/cm²の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能



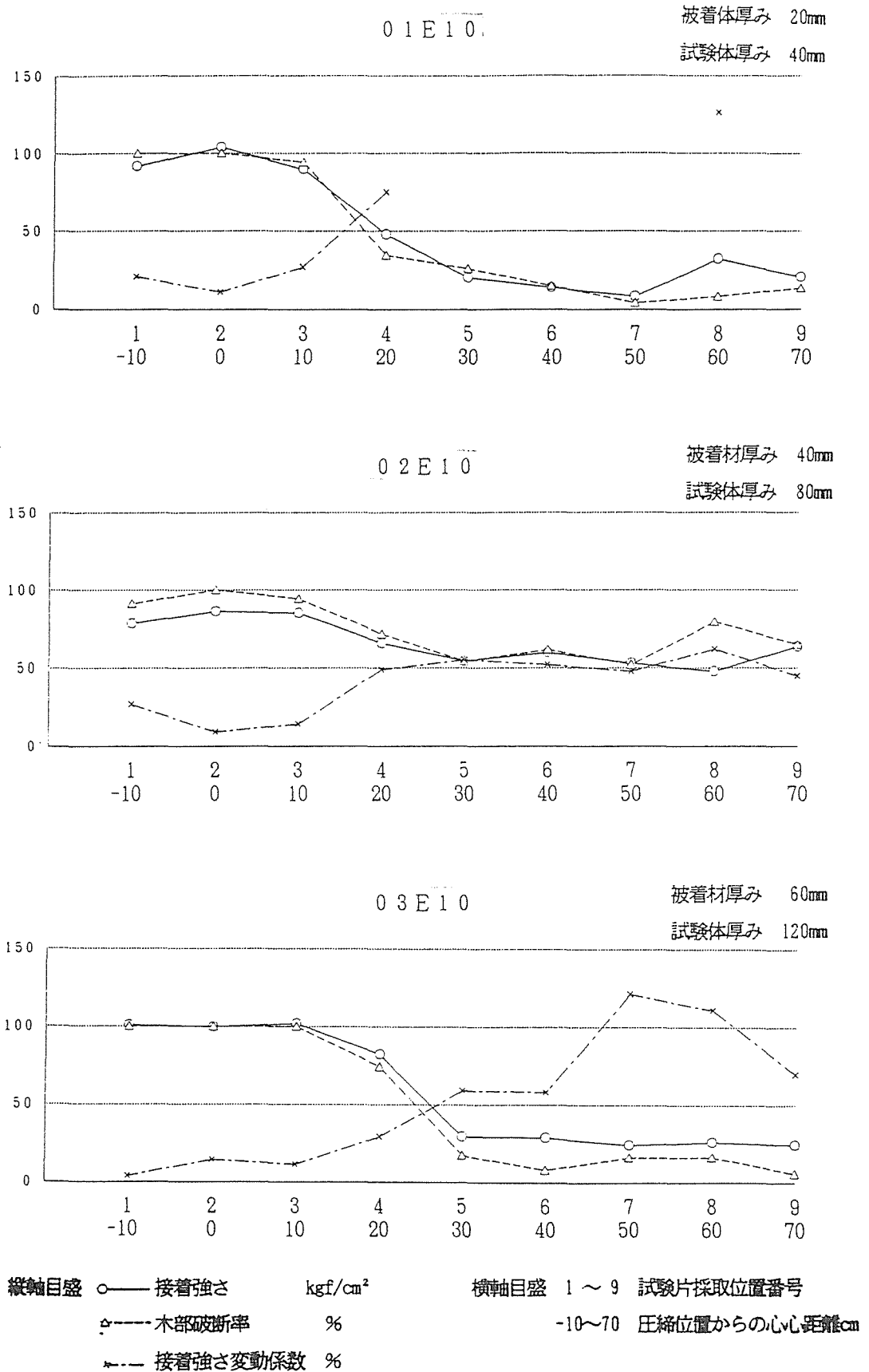
付図 4-1 エポキシ樹脂接着剤-集中加圧 5 kgf/cm² の場合 (その 1)



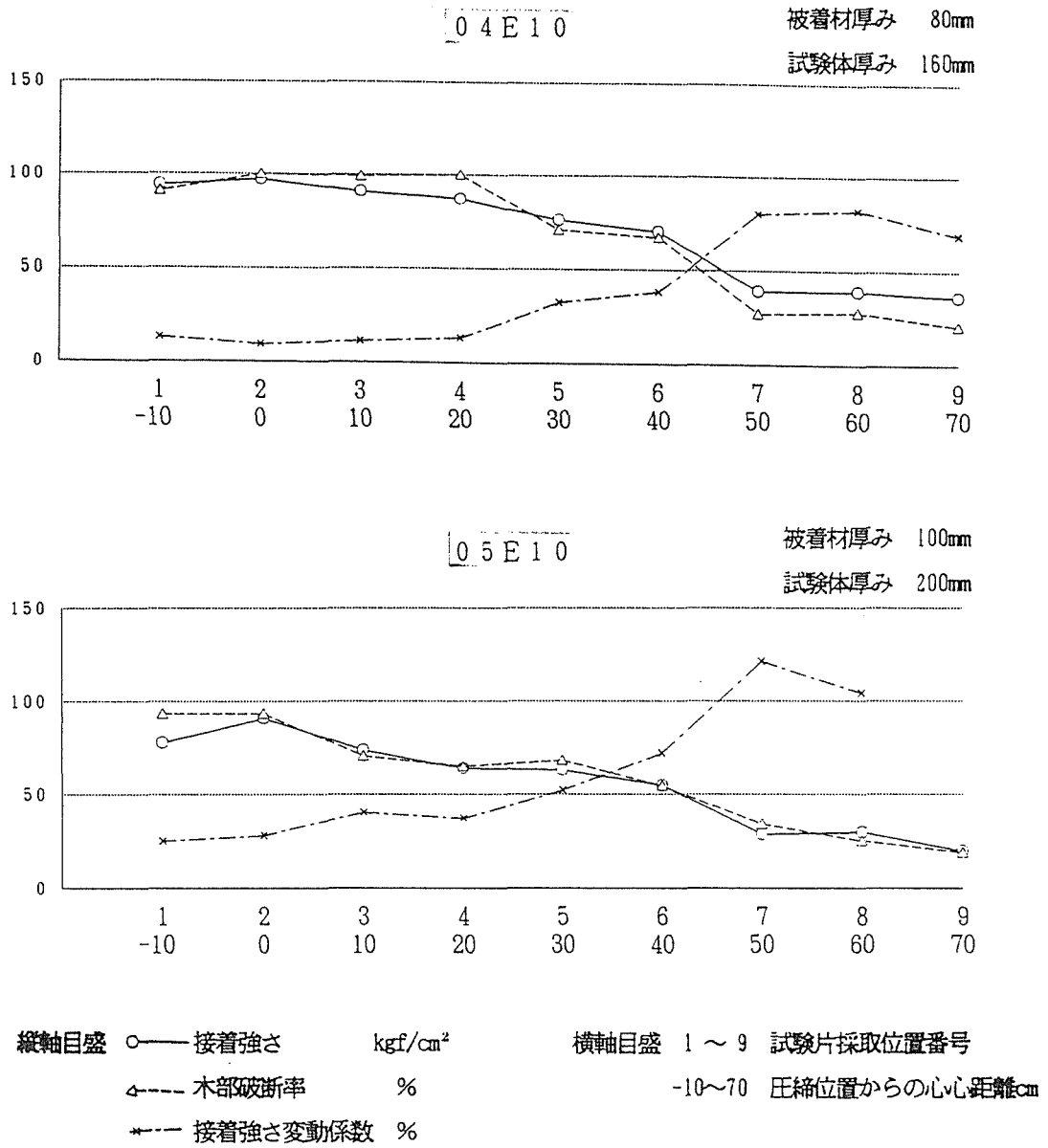
縦軸目盛 ○—接着強さ kgf/cm² 横軸目盛 1～9 試験片採取位置番号
 △---木部破断率 % -10～70 圧縮位置からの中心距離cm
 ×---接着強さ変動係数 %

付図4-2 エポキシ樹脂接着剤-集中加圧5 kgf/cm²の場合(その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能

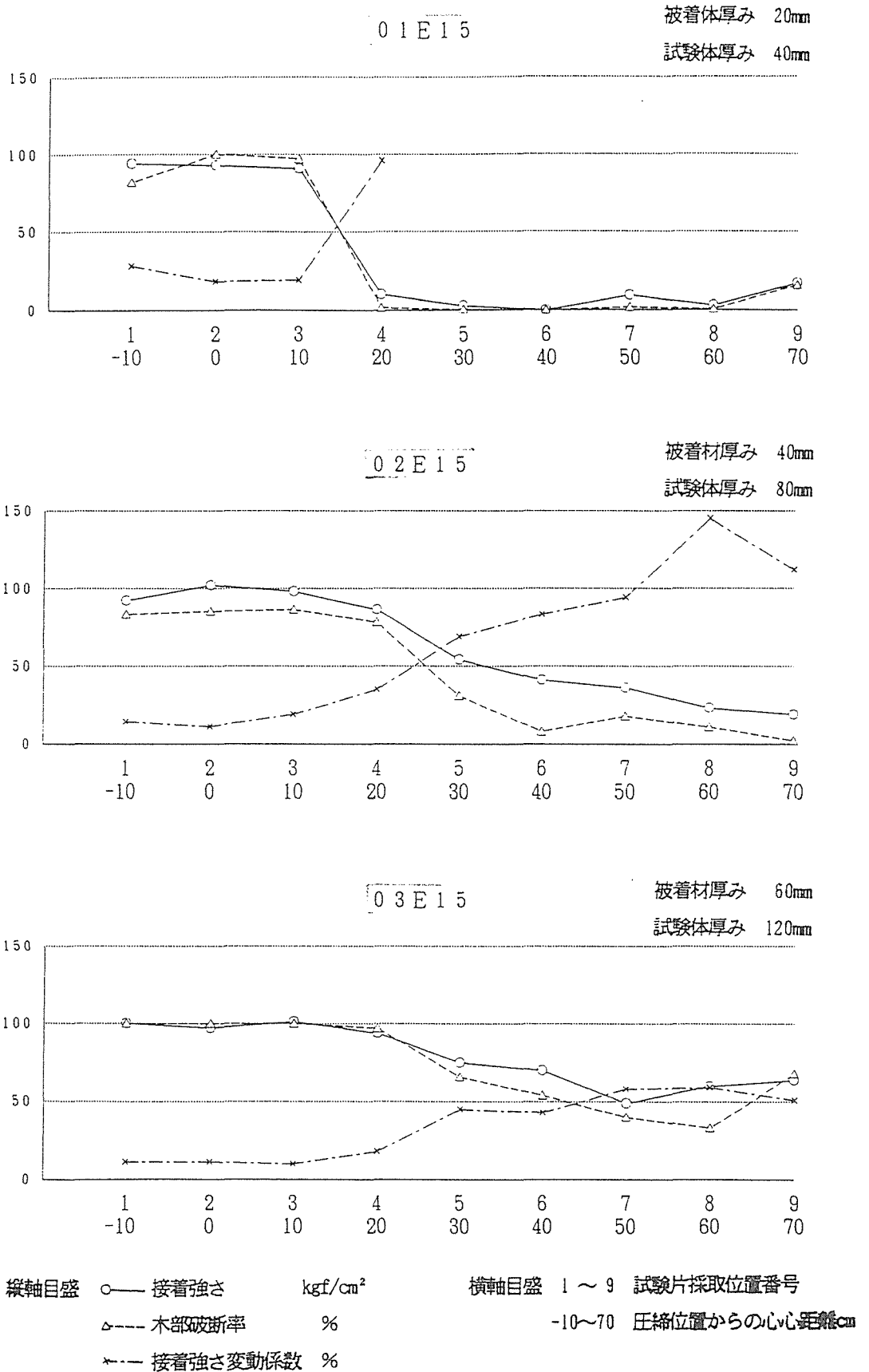


付図 5-1 エポキシ樹脂接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その1)

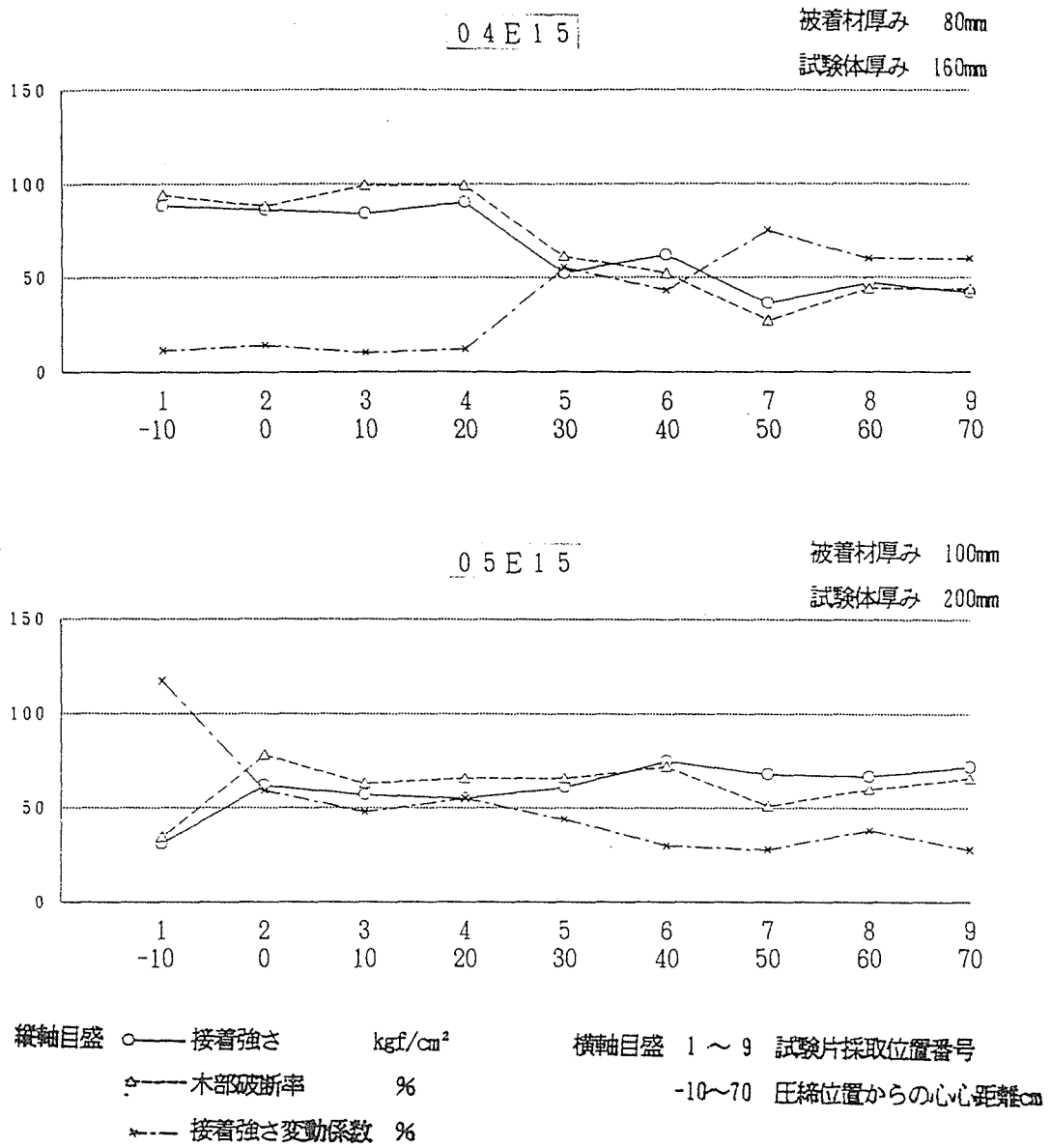


付図5-2 エポキシ樹脂接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能

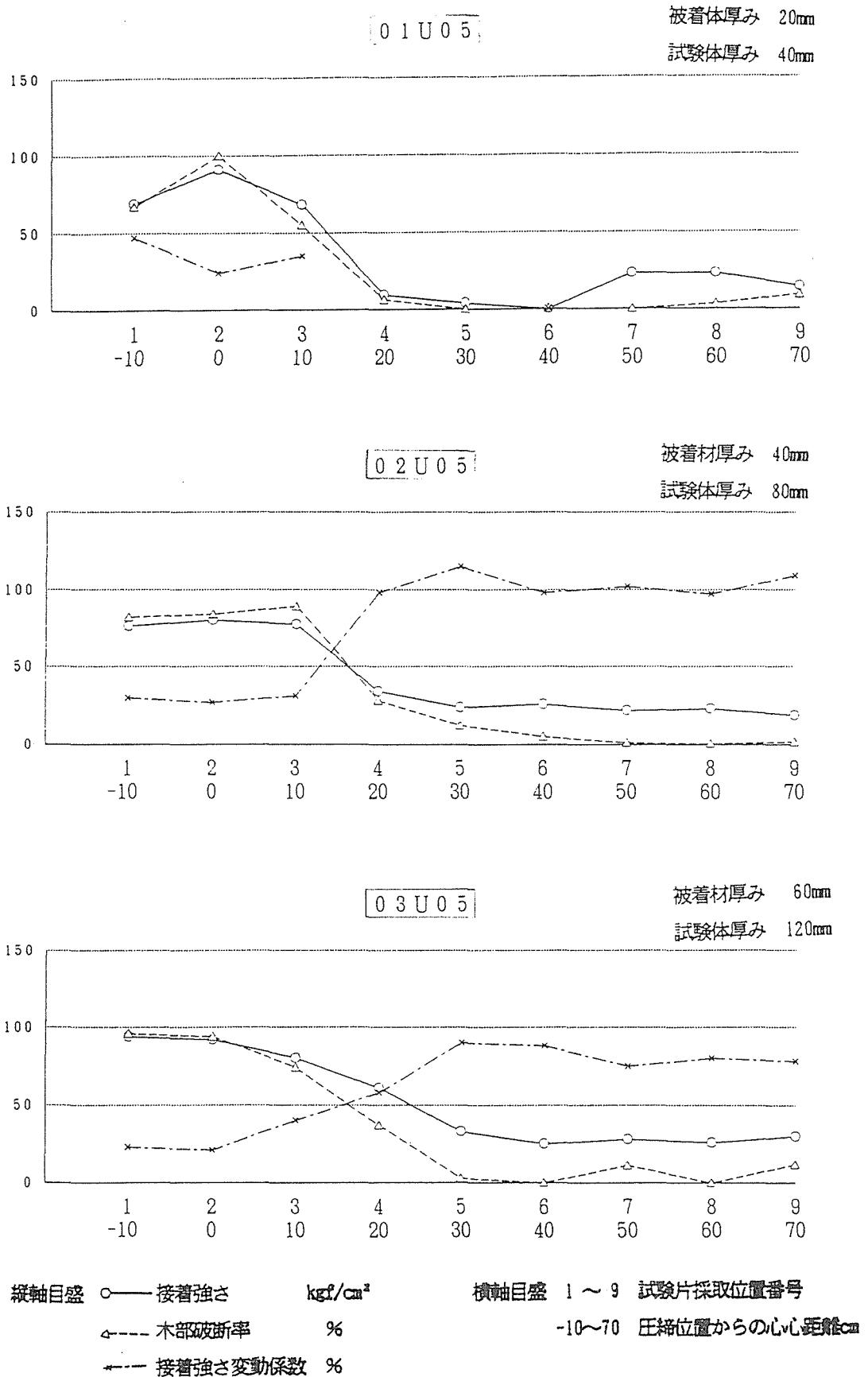


付図6-1 エポキシ樹脂接着剤-集中加圧15kgf/cm²の場合(その1)

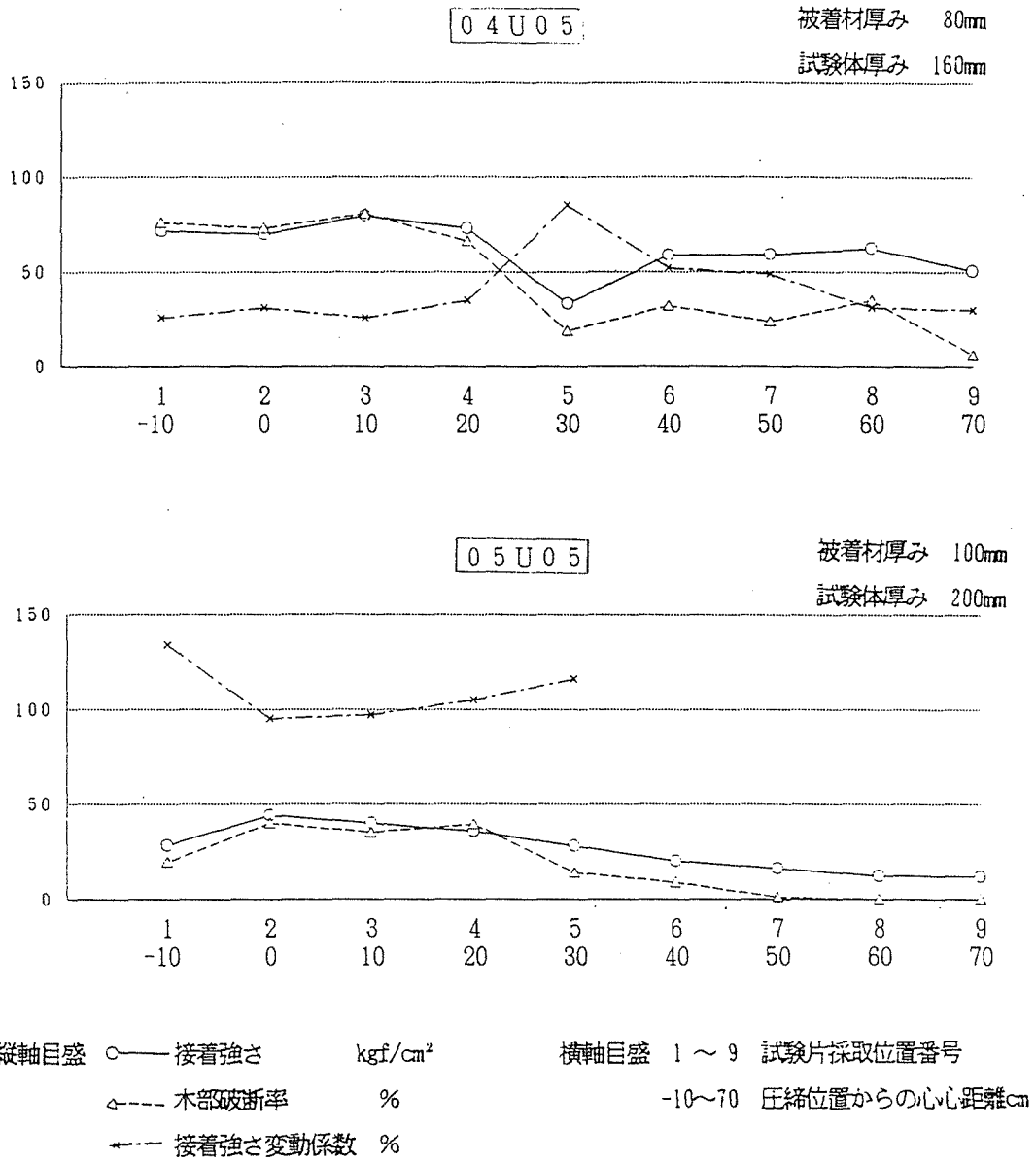


付図 6-2 エポキシ樹脂接着剤-集中加圧 15kgf/cm^2 の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能

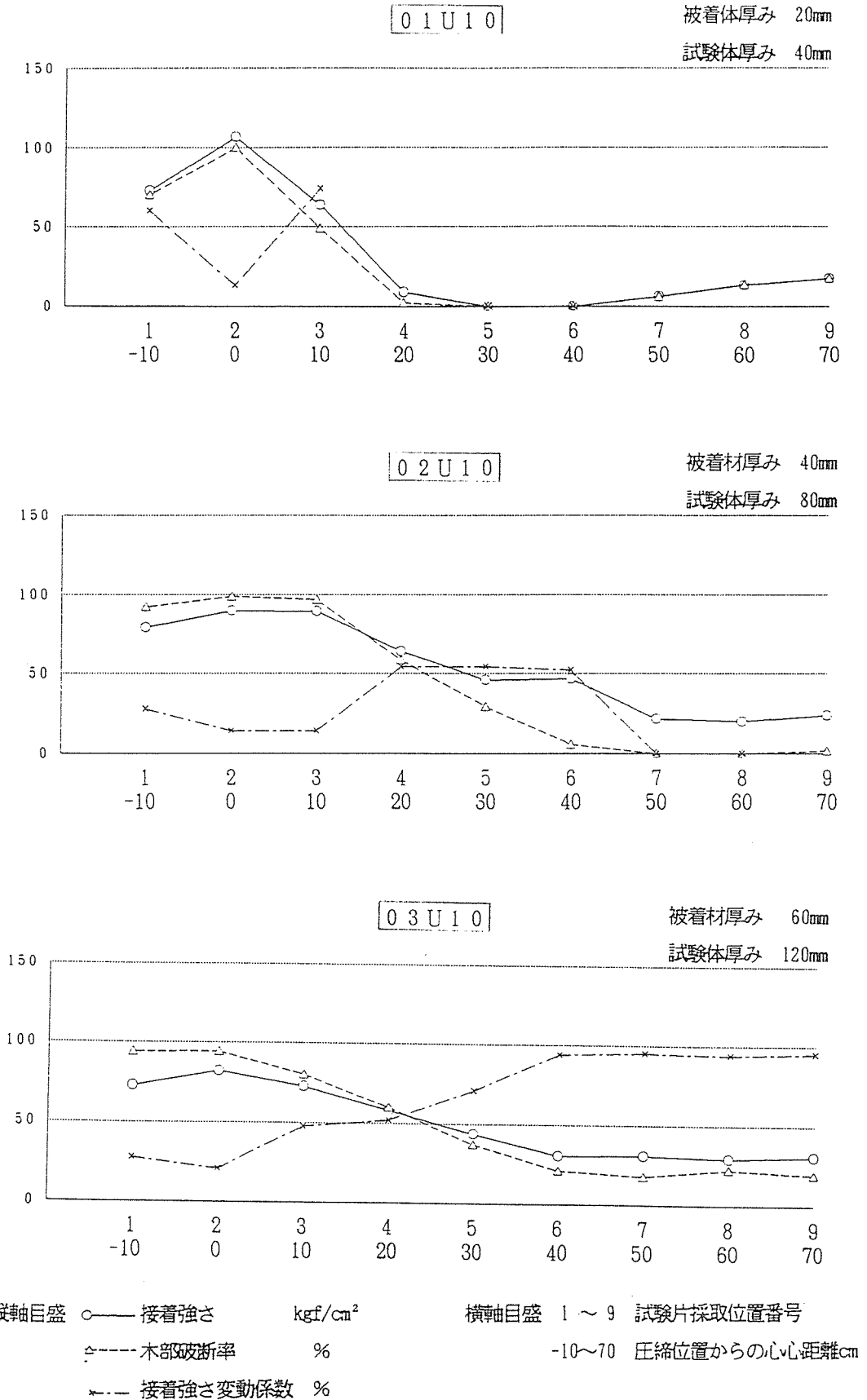


付図 7-1 水性高分子-イソシアネート系接着剤-集中加圧 5 kgf/cm² の場合 (その 1)

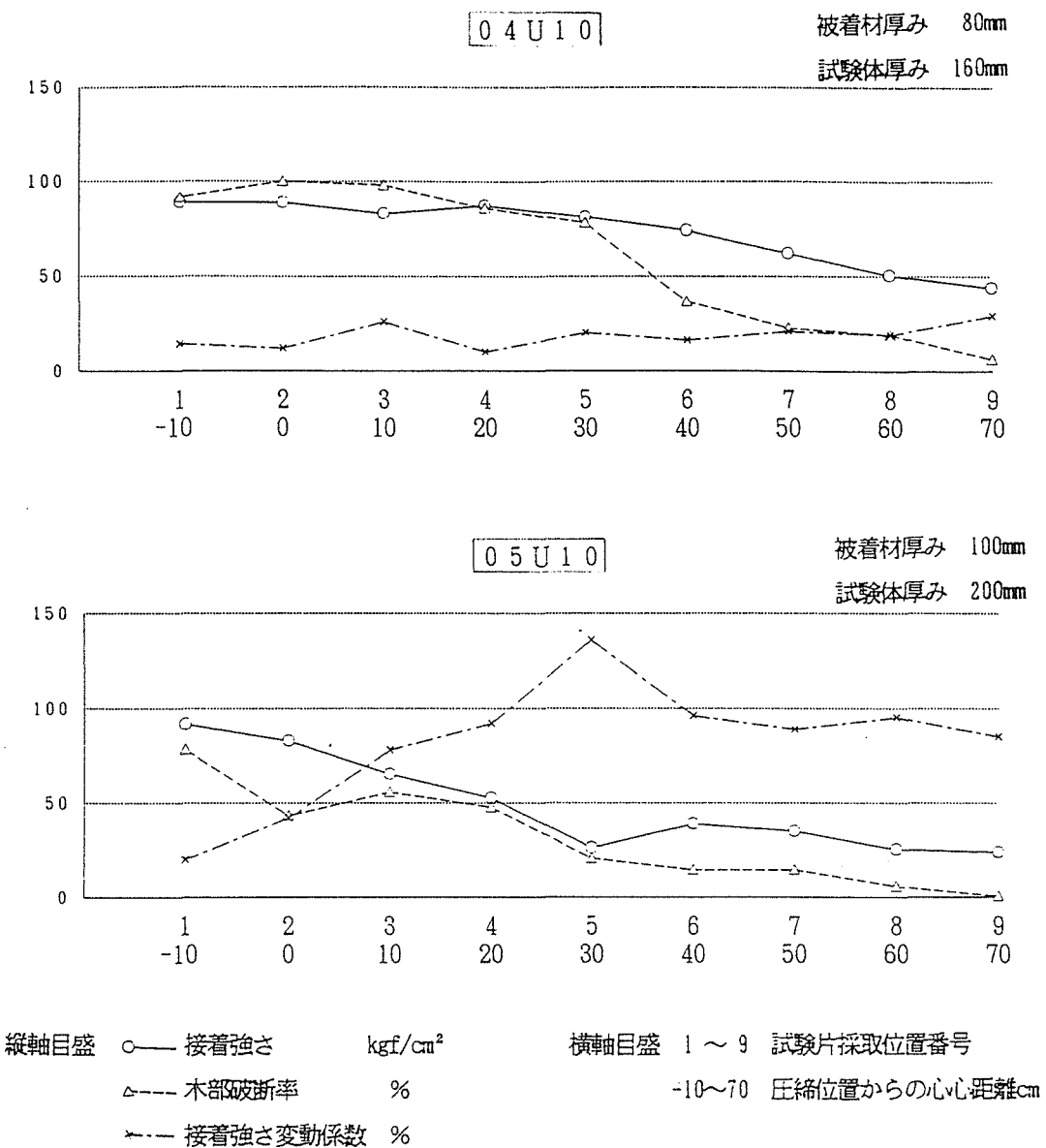


付図 7-2 水性高分子-イソシアネート系接着剤-集中加圧 5 kgf/cm² の場合 (その 2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能

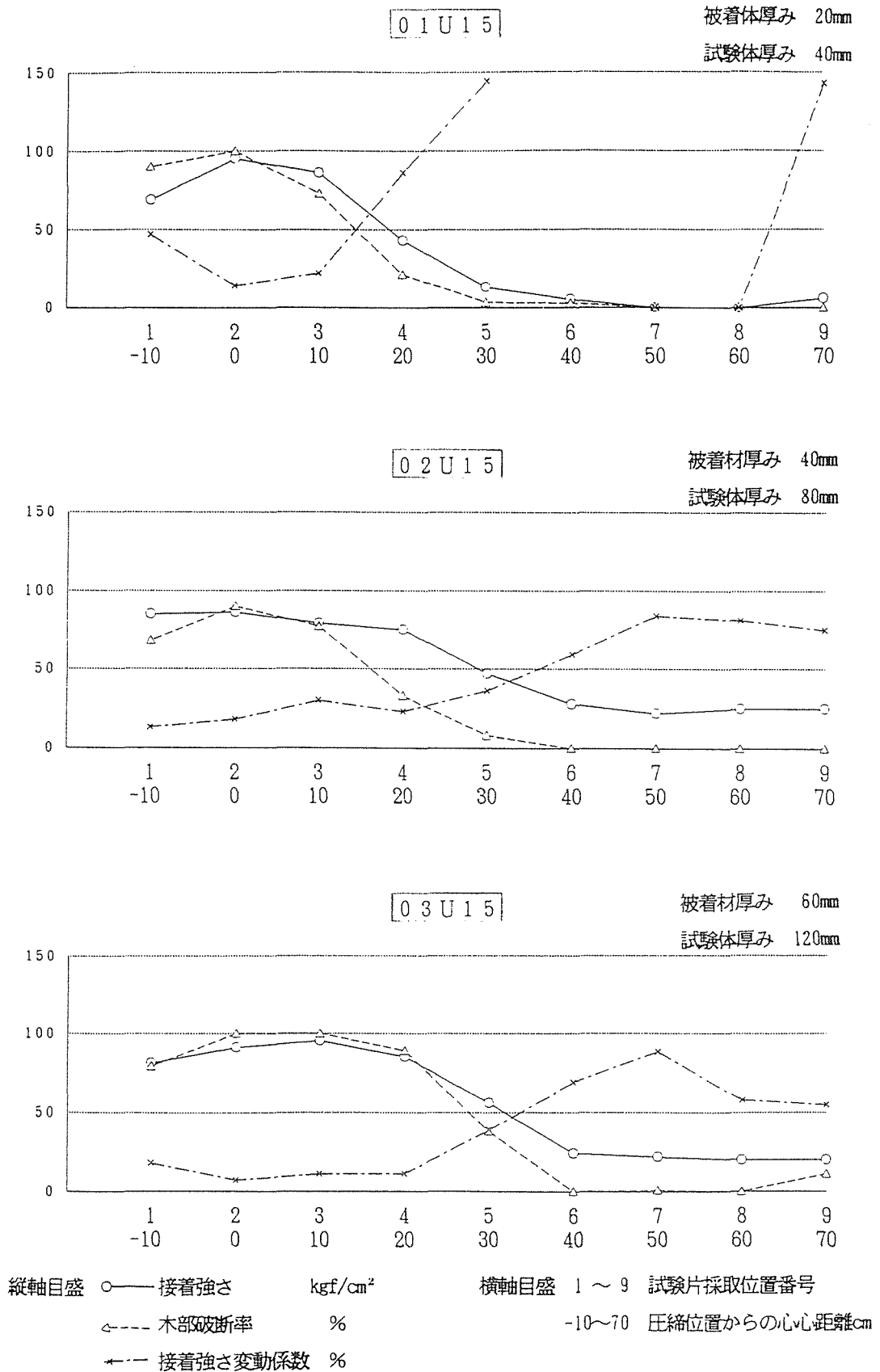


付図 8-1 水性高分子-イソシアネート系接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その1)

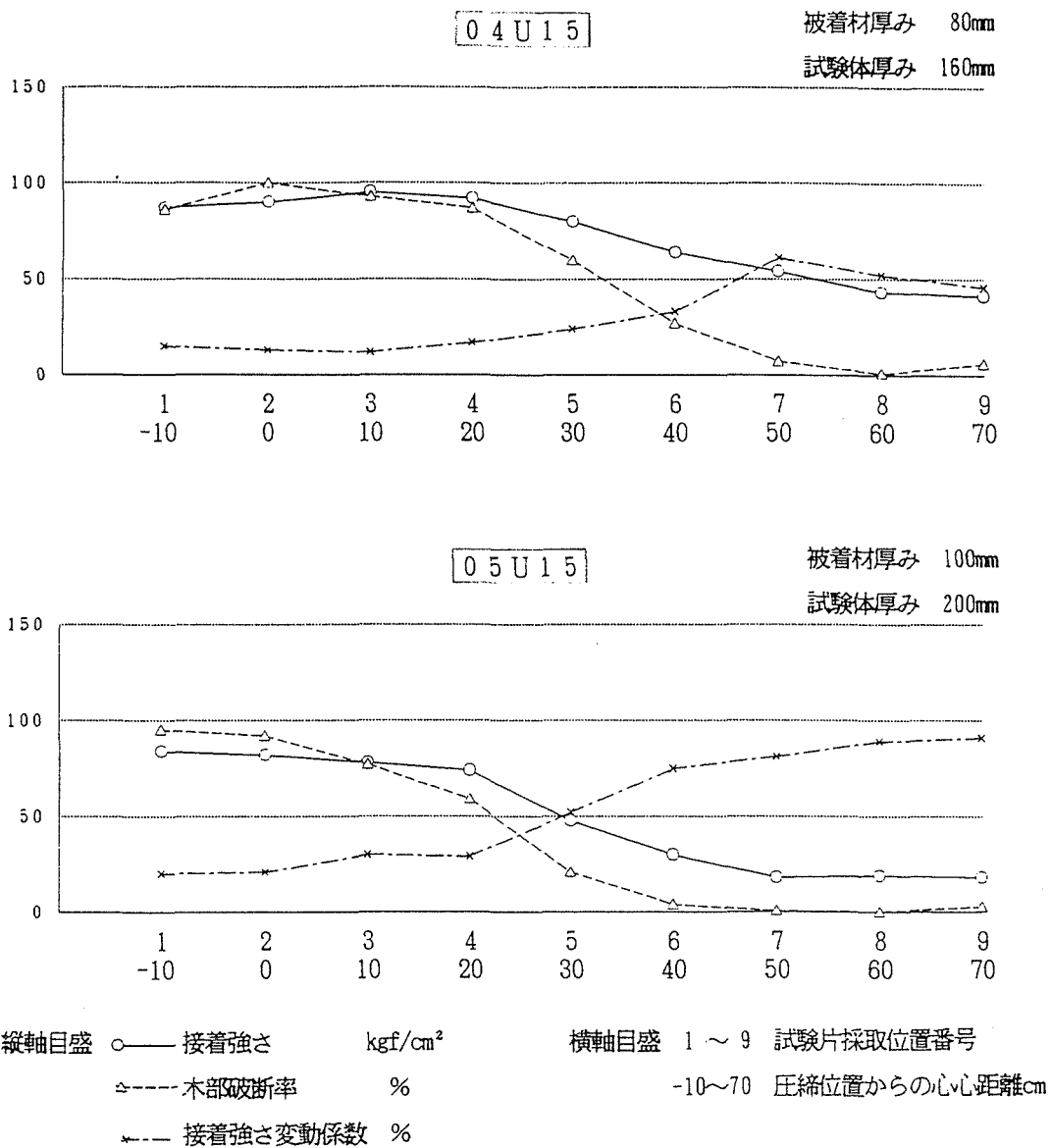


付図 8-2 水性高分子-イソシアネート系接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能

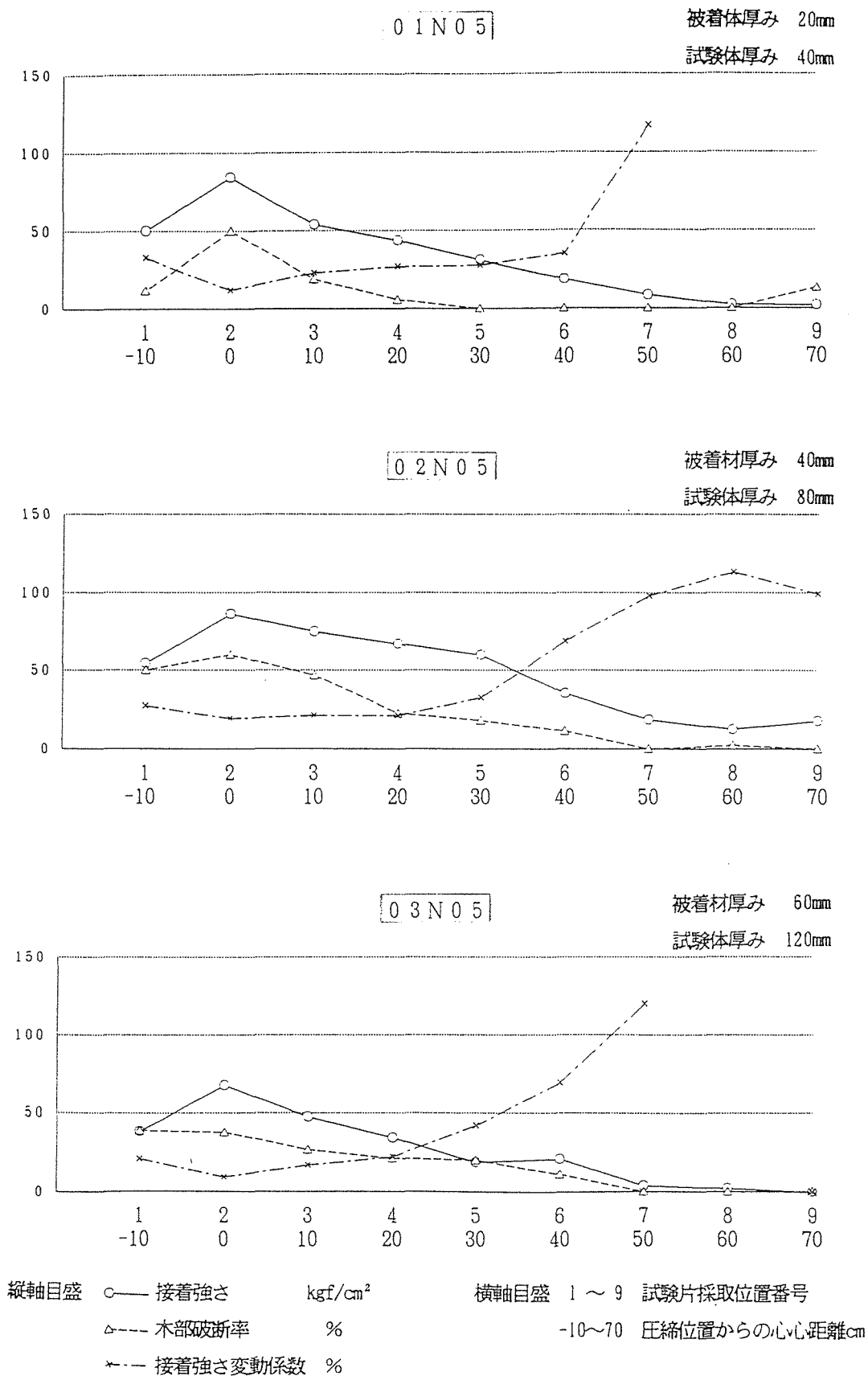


付図 9-1 水性高分子-イソシアネート系接着剤-集中加圧15kgf/cm²の場合 (その1)

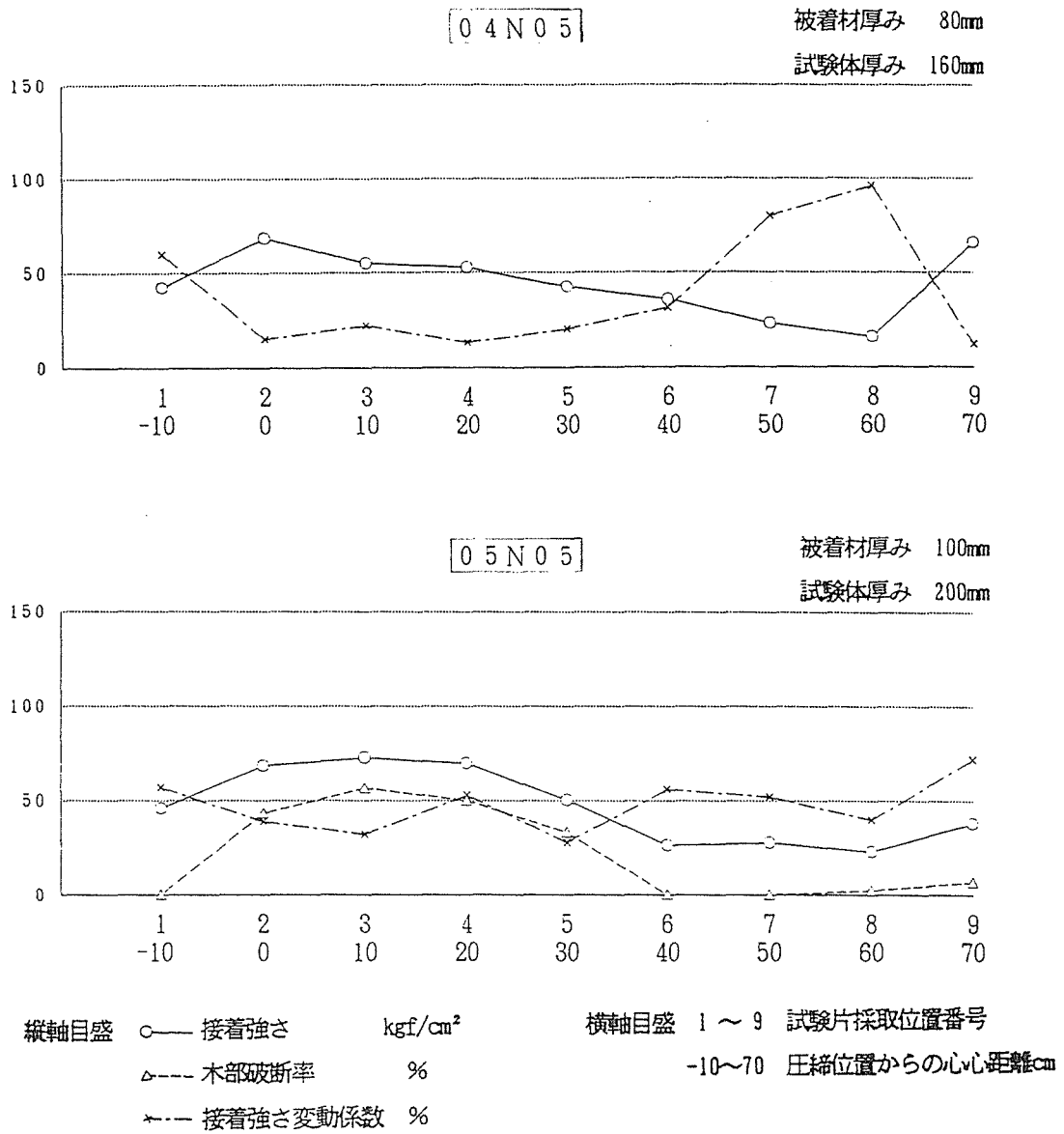


付図 9-2 水性高分子-イソシアネート系接着剤-集中加圧15kgf/cm²の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能

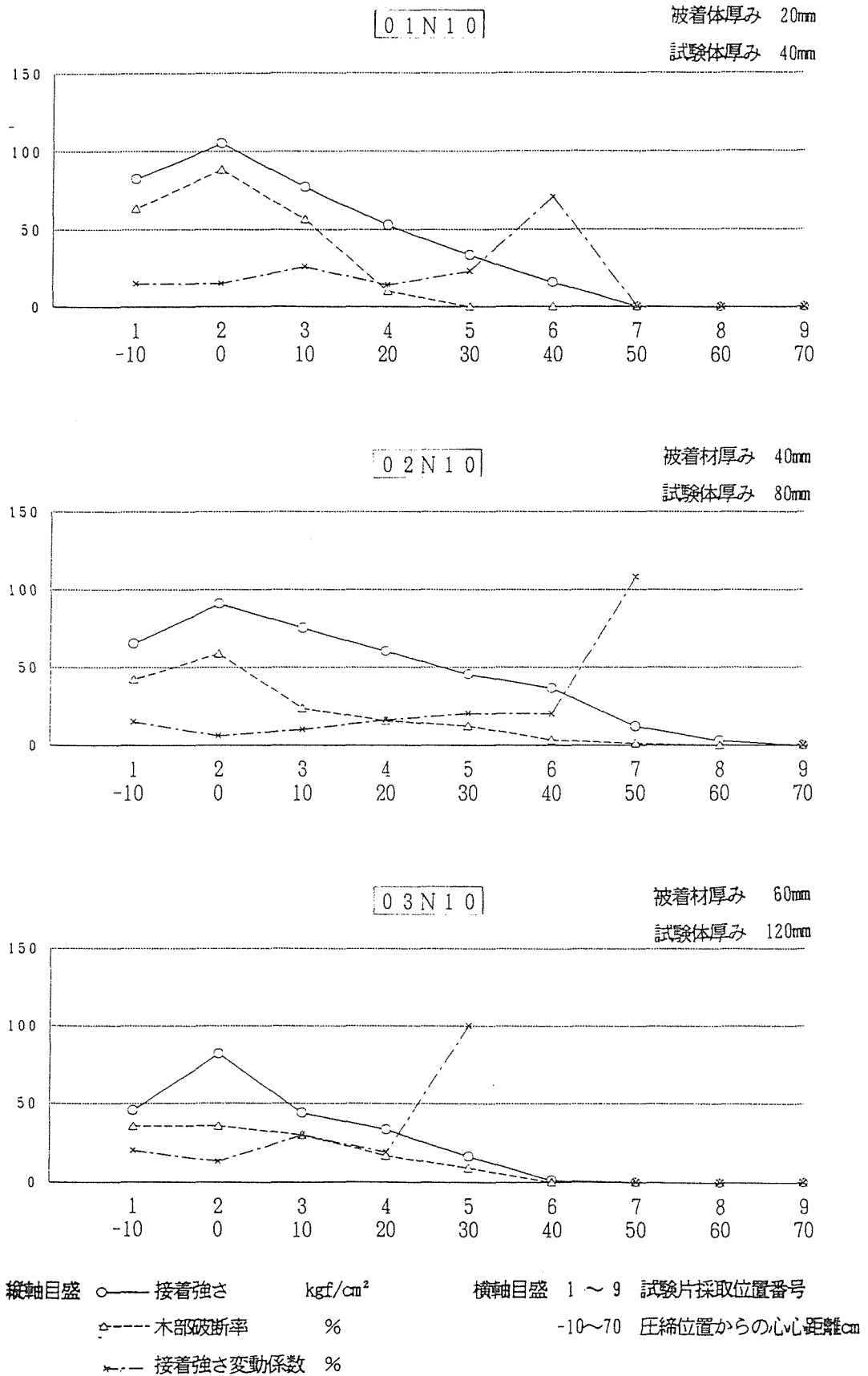


付図10-1 ユリア樹脂接着剤-集中加圧 5 kgf/cm² の場合 (その1)

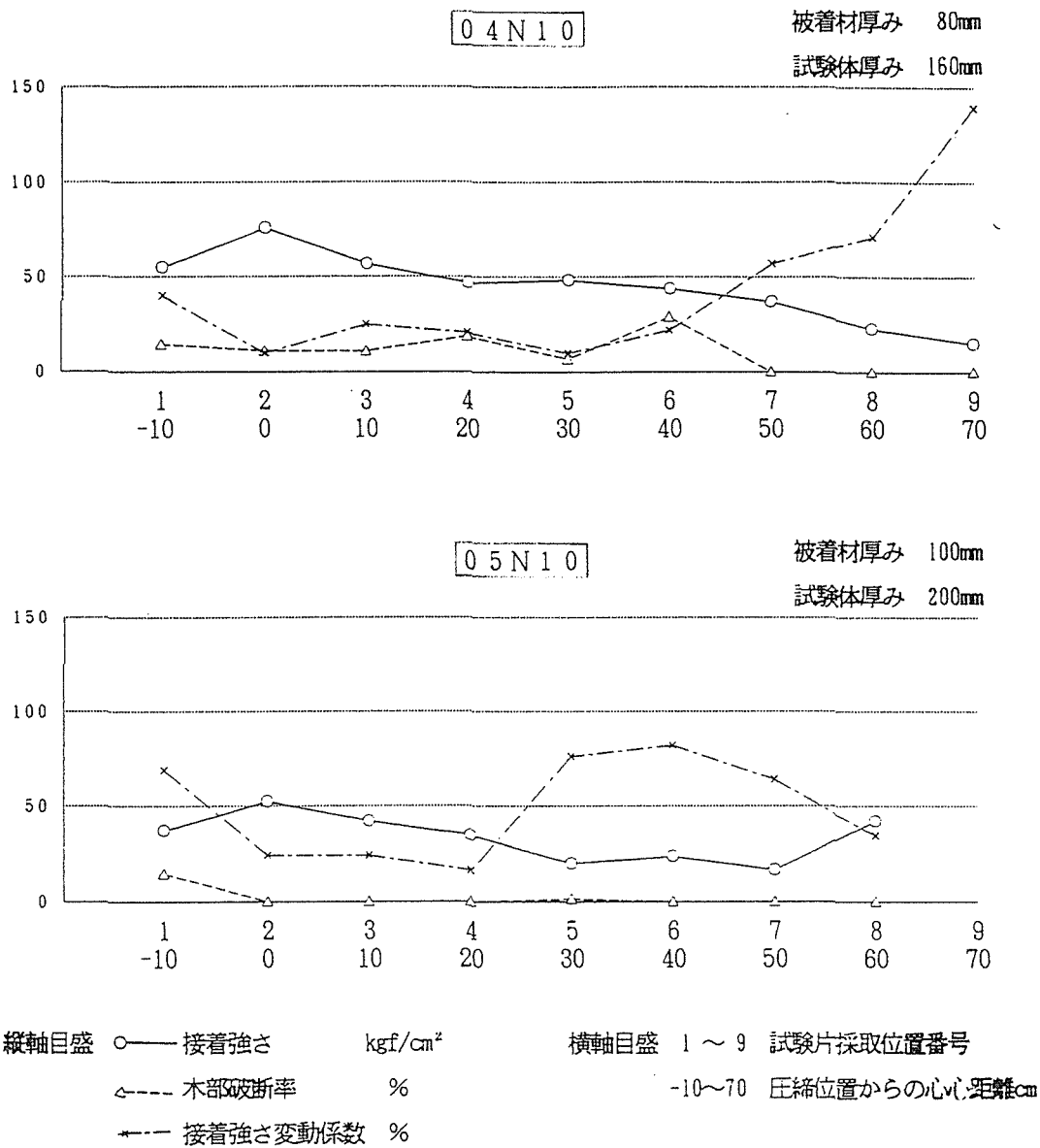


付図10-2 ユリア樹脂接着剤-集中加圧 5 kgf/cm²の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能

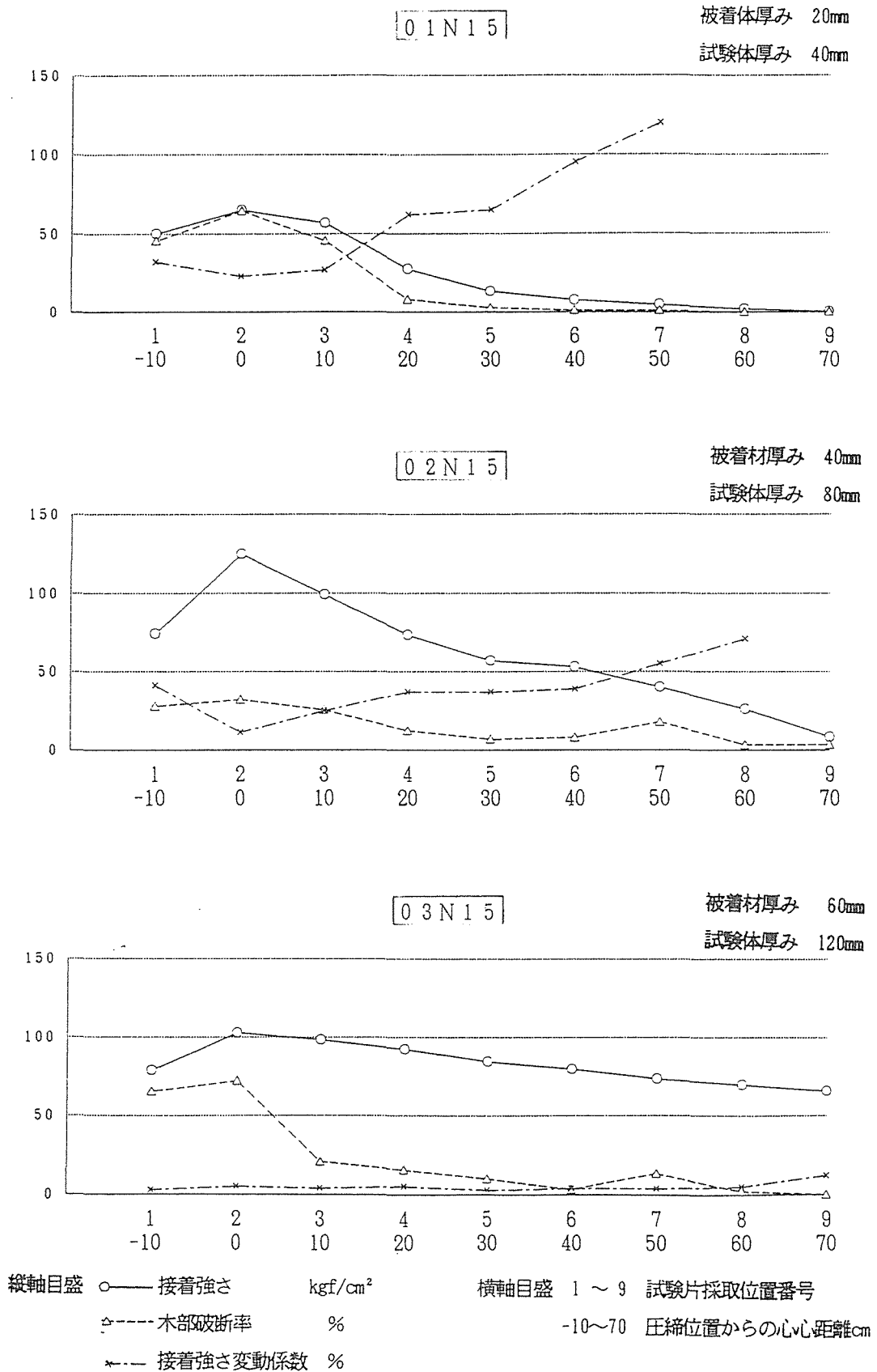


付図11-1 ユリア樹脂接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その1)

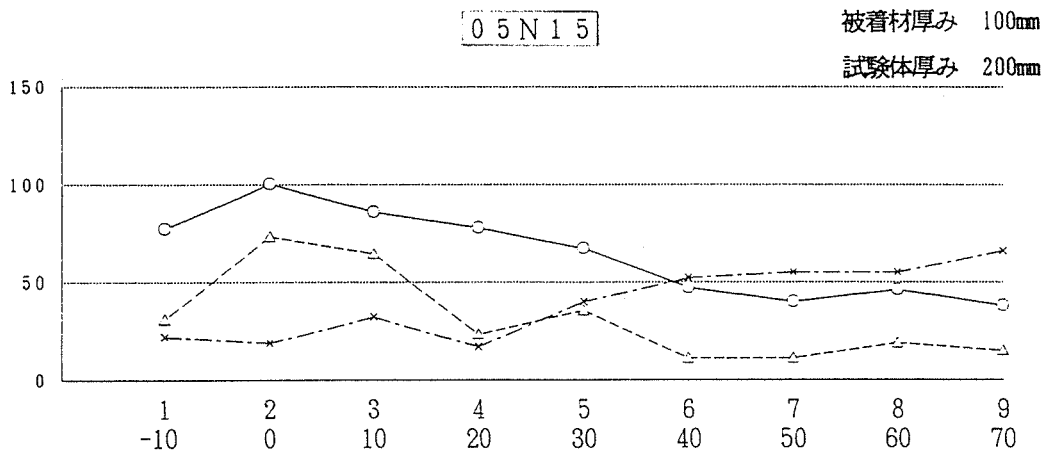
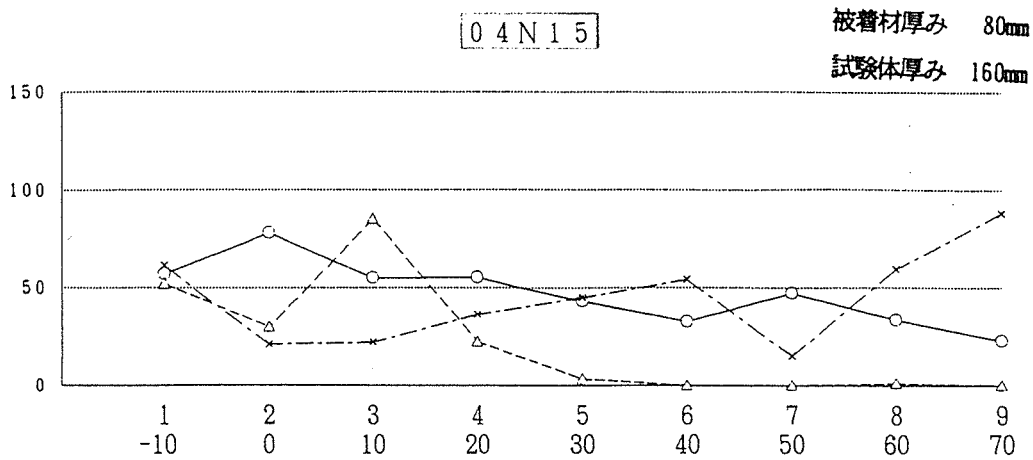


付図11-2 ユリア樹脂接着剤-集中加圧10kgf/cm²の場合 (その2)

部分的集中加圧による現場接着の接着性能



付図12-1 ユリア樹脂接着剤-集中加圧15kgf/cm²の場合 (その1)



縦軸目盛 ○ — 接着強さ kgf/cm² 横軸目盛 1 ~ 9 試験片採取位置番号
△ — 木部破断率 % -10~70 圧縮位置からの心距離cm
× — 接着強さ変動係数 %

付図12-2 ユリア樹脂接着剤-集中加圧15kgf/cm²の場合(その2)

第5章 接着接合部の耐熱・耐火性

はじめに

本章では火災下における現場接着接合部の耐力についての検討結果を示す。

常温硬化型接着剤として ①レゾルシノール樹脂接着剤、②水性高分子-イソシアネート系接着剤、③エポキシ樹脂接着剤の3種を用い、接着接合試験体を作製し、その火災下における接着層の耐力継続時間を調べた。

1. 接着接合試験体の作製

構造用集成材から積層方向の厚さが20、40、60、80及び100mmの5段階で、幅120mm、長さ（繊維方向）290mmの被着材ブロックを切り出した。これらから同じ厚さのもの各2枚を長さ方向を10mmずらして接着し、椅子型接着試験片を作製した。この際、接着面の中央部40mmのみを残してサランラップで覆い、残った40mmの部分だけ接着剤を塗布した（図1）。接着条件は次のとおりで、作業は室温（約25℃）で行った。

接着剤塗布量：1接着層当たり約200g/m²

圧縮圧力：約10kgf/cm²

圧縮時間：24時間

被着材の厚さと接着剤の各組み合わせについて2試験体ずつ作製した。

2. 試験法

試験体の接着部（4cm×12cm＝48cm²）にせん断許容応力度（10.5kgf/cm²）より約20%大きい12.5kgf/cm²のせん断応力がかかるように、上から600kgfの荷重をかけた（図2参照）。正面（接着層が見える側）とその反対側から複数のガスバーナーで火炎を噴射し、試験体の両側面を炎が包むような形で燃焼試験を行った。試験体を下から支持するための鉄板と、側面から転びを支えるためのローラー付きの支持鉄板を一体になるように固く固定し、クロスバーの上にセットした。また、試験体の周辺と接着層内に熱電対を配置して環境温度と接着層内の温度分布を経時的に測定すると同時に、せん断破壊が起こるまでの時間、すなわち耐火時間を測定した。

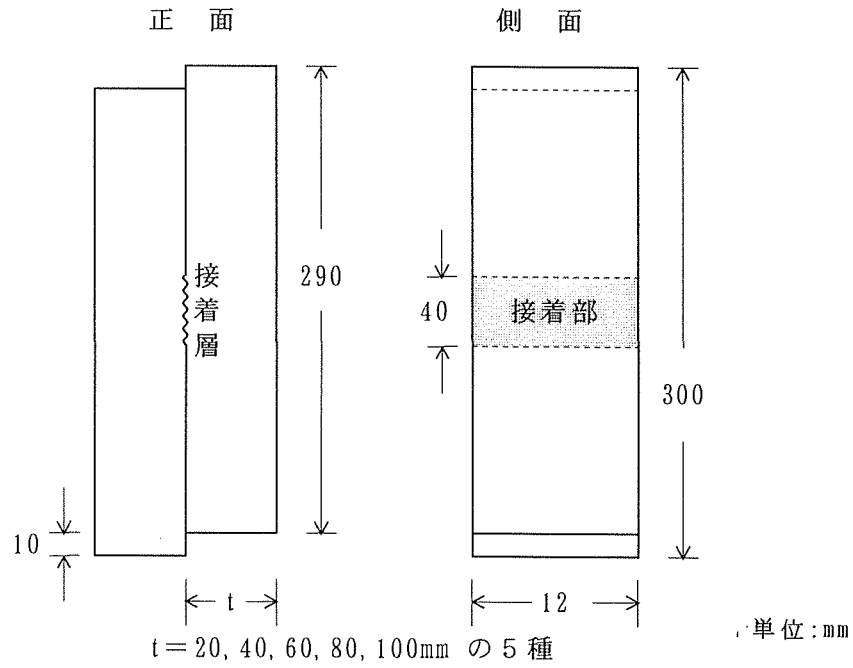


図1 接着接合部耐火試験の試験体

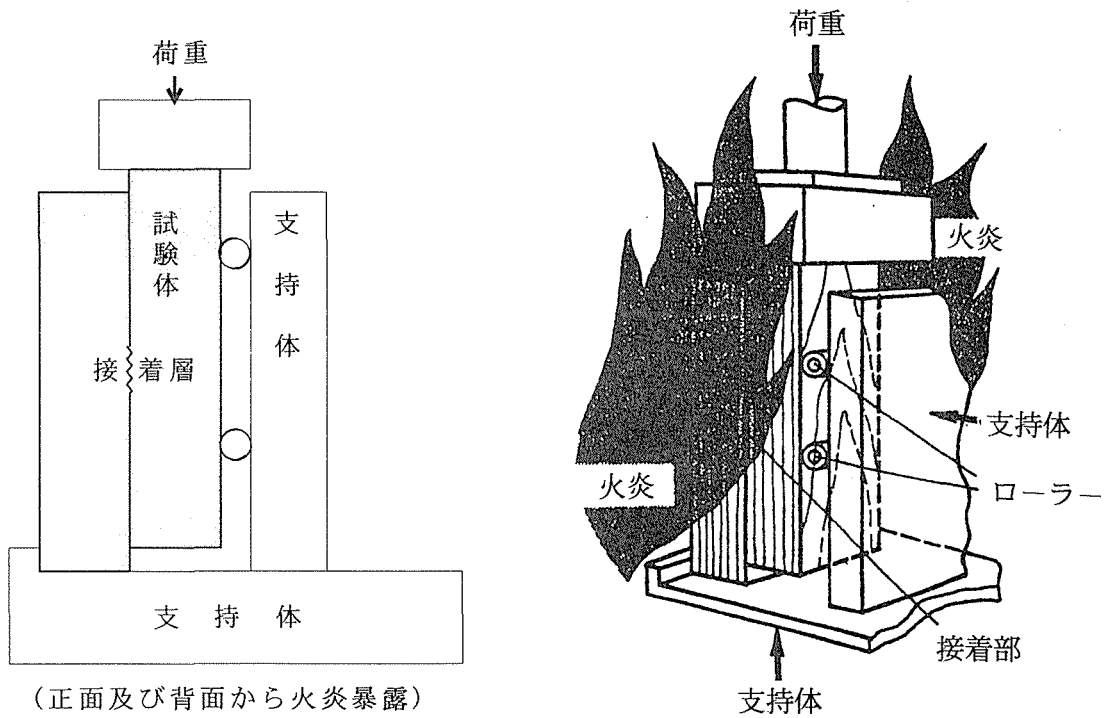


図2 荷重耐火実験のイラスト

3. 結果と考察

3.1 試験体及び接着層の温度変化

図3に1例として被着材の厚さ（すなわち試験体側面から接着層までの長さ）60mmの場合を示す。これによると、

- ①試験体の正面（火炎の噴射側）は加熱開始間もなく1000℃近くに達している。
- ②試験体の両側面は最初の10分程度で着火により400℃まで上昇するが、それ以後上昇速度は緩やかになり、60分程度で正面温度に近いレベルの800～900℃になる。
- ③接着層中央部の温度は、図4に水性高分子-イソシアネート系接着剤での例を示すように被着材が薄い試験体(20mm)では着火数分後から急上昇するが、被着材が厚くなるにしたがって温度の立ち上がりがだんだん遅くなる。

接着層中央部の温度上昇の経過は、上記のように試験体の厚さにより違いがあるが、被着材の厚さ60mmの場合は図5に示すように60分後でも80～85℃であり、これは接着剤の種類が異なってもあまり変わらない。

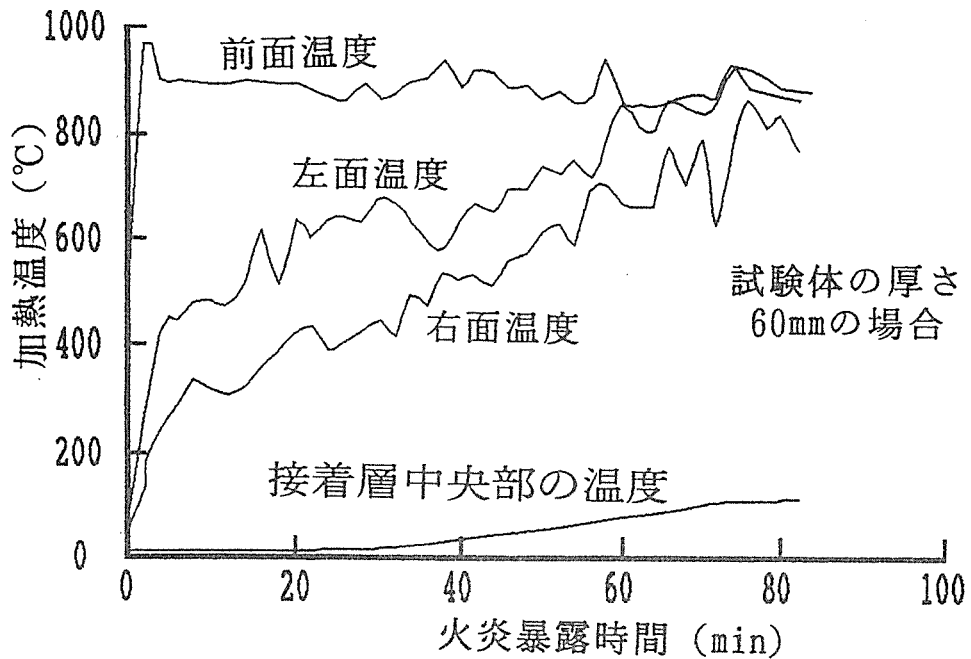


図3 燃焼時の加熱温度変化の1例

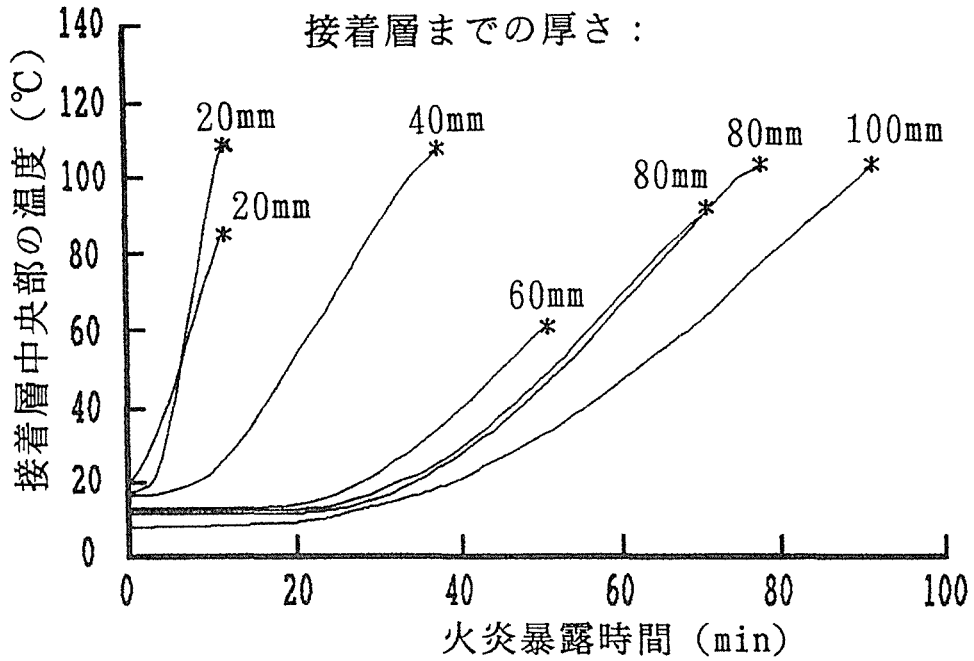


図4 水性高分子-イソシアネート系接着剤を用いた試験体の火炎暴露時間と接着層中央部の温度との関係
(図中の*印は試験体の破断を示す。)

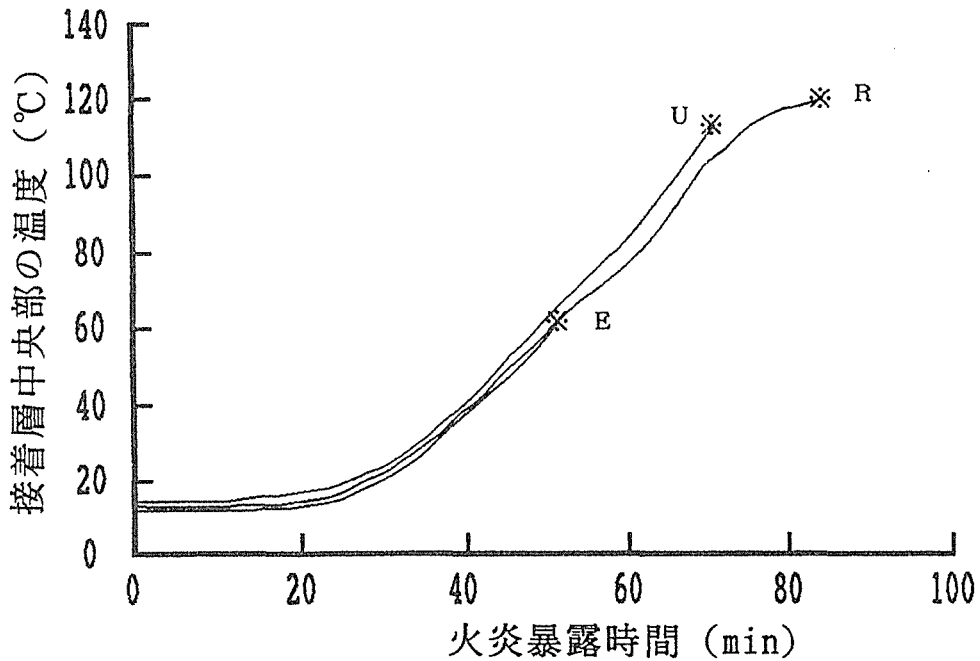


図5 接着層までの厚さ60mmの試験体における火炎暴露時間と接着層中央部の温度との関係 (図中の*印は試験体の破断を示す)
R：レゾルシノール樹脂接着剤
U：水性高分子-イソシアネート系接着剤
E：エポキシ樹脂接着剤

3.2 接着剤の耐熱性

接着層中央部の温度は 3.1 で述べたように接着剤の種類と関係なく火炎暴露時間とともにほぼ同じ推移で上昇する。

試験体が破断するときの接着層中央部の温度は、接着剤の種類によりほぼ次のような値であった（図 5、図 6 参照）。

レゾルシノール樹脂接着剤：120℃

水性高分子-イソシアネート系接着剤：100～110℃

エポキシ樹脂接着剤：60℃

被着材の厚さ（接着層までの厚さ）の差は破断までの時間の差となって現れる（図 7 参照）。

図 8 は試験体の幅方向における接着層の温度分布を示したものである。横軸の試験体幅方向は中央を 0 点として示している。時間の経過とともに熱が試験体の中央部へ伝わっていく様子が分かる。

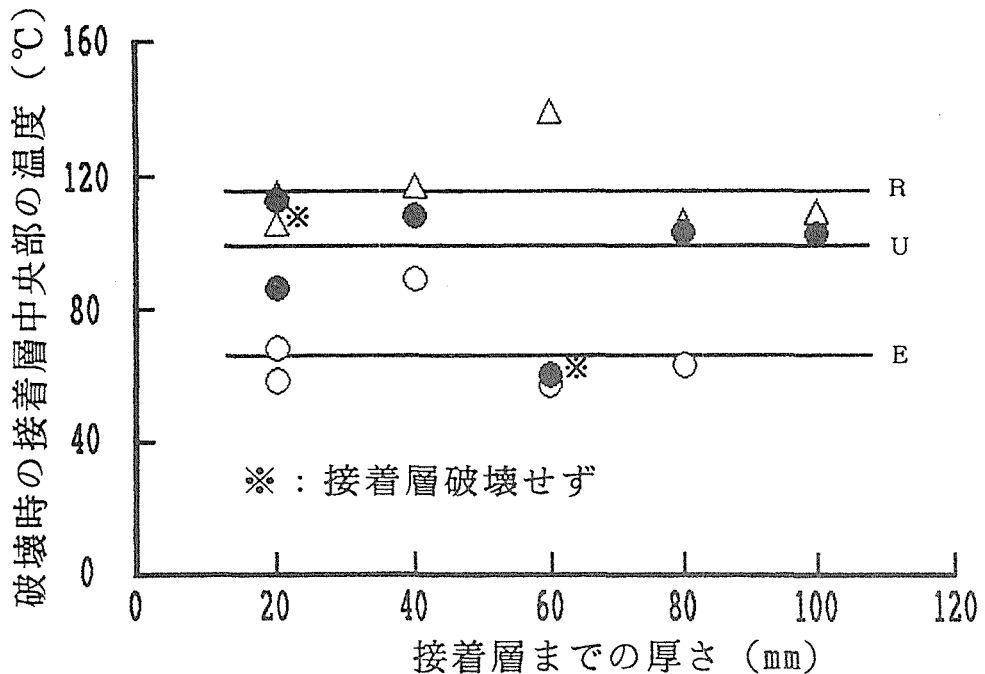


図 6 試験体の接着層までの厚さと破壊時の接着層中央部の温度との関係
 (図中の※印は荷重点が先に破壊して接着層の破壊に至らなかった試験体)
 R：レゾルシノール樹脂接着剤
 U：水性高分子-イソシアネート系接着剤
 E：エポキシ樹脂接着剤

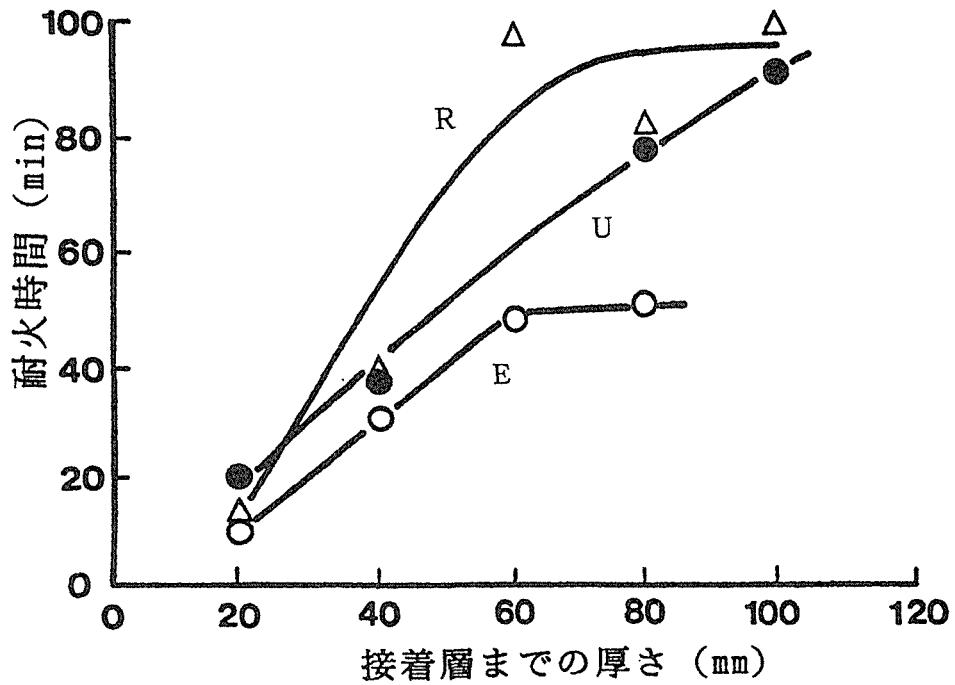


図7 試験体の接着層までの厚さと破壊時の接着層中央部の温度との関係
 R : レゾルシノール樹脂接着剤 (△)
 U : 水性高分子-イソシアネート系接着剤 (●)
 E : エポキシ樹脂接着剤 (○)

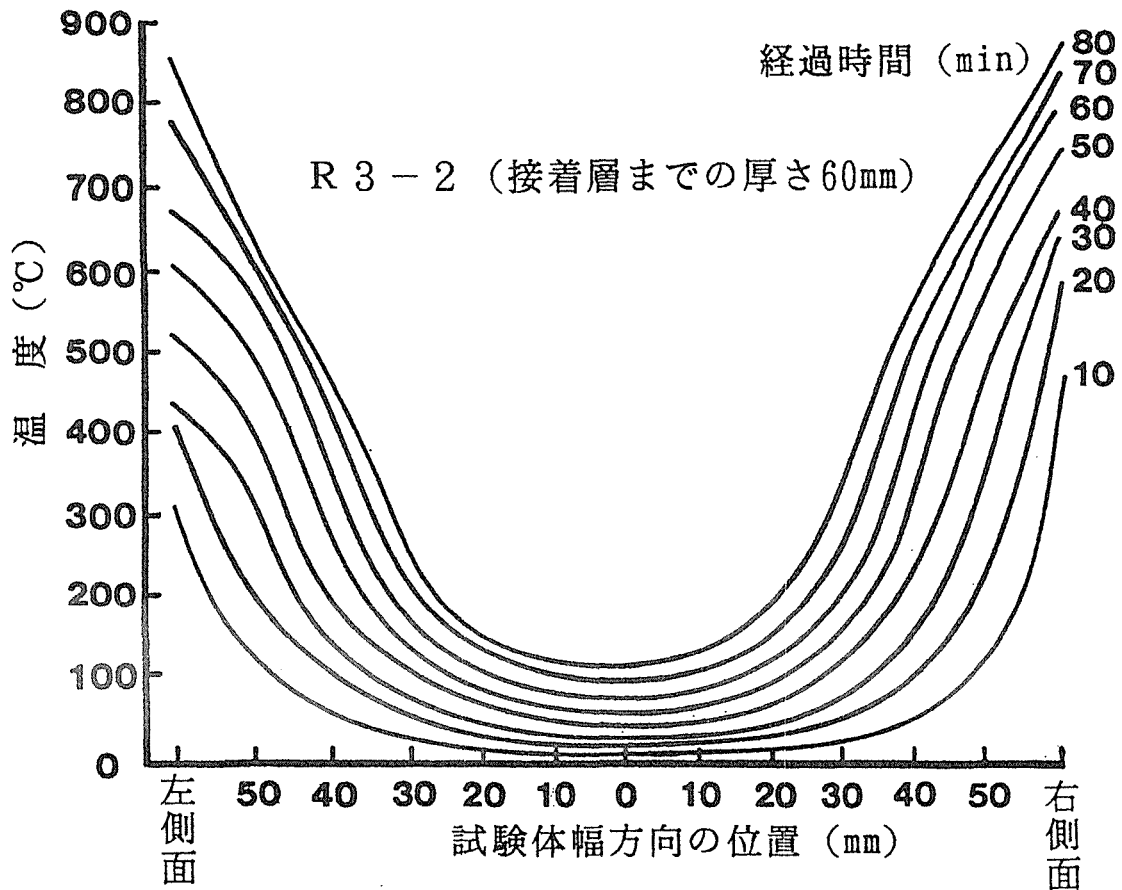


図8 経過時間別の試験体幅方向の接着層温度の分布例
 (レゾルシノール樹脂接着剤、接着層までの厚さ60mm)

3.3 接着層温度と接着強度

接着剤の耐熱性に関する上記の傾向を傍証するために、これら3種類の接着剤の接着強度と温度との関係を調べた。

(1) 試験片の作製

長さ150mm、幅10mm、厚さ1mmのベイマツソーン単板を被着材とし、3種類の接着剤でラップ長10mm（接着面積 1cm^2 ）のラップジョイント試験片各10片を作製した。

(2) 試験法

加熱箱の壁面に貼られた面状発熱体で加熱し、ファンで温度を均一に保った。試験片は加熱箱の中央、上方から差し込み、箱の外で上下をチャックで固定した。

試験片表面に熱電対をつけて試験片の表面温度を測定し、予め求めておいた試験片表面温度と接着層温度の関係から試験時の接着層温度を推定した。接着層が設定温度に達したら引張りせん断試験を行い、異なる温度における接着強さを測定した。

(3) 結果

結果を図9に示す。室温ではレゾルシノール樹脂接着剤よりも水性高分子-イソシアネート系接着剤及びエポキシ樹脂接着剤の接着強度が高い値を示しているが、 50°C を越えるとエポキシ樹脂接着剤の強度は急激に下がり、 100°C 以上になると室温の $1/4$ 程度まで低下してしまう。これはおそらくこの接着剤がその軟化点に達したことによるものと思われる。

レゾルシノール樹脂接着剤と水性高分子-イソシアネート系接着剤は 100°C 以下では傾向がやや異なるが、 100°C 以上ではともに温度の上昇に伴って接着強度は徐々に低下しており、エポキシ樹脂接着剤の急激な低下とは異なる。強度変化の傾向はレゾルシノール樹脂接着剤の方が水性高分子-イソシアネート系接着剤よりも幾分高い値を保っているが、接着層の温度が 250°C を越えても両者とも $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上の接着強度を維持している。

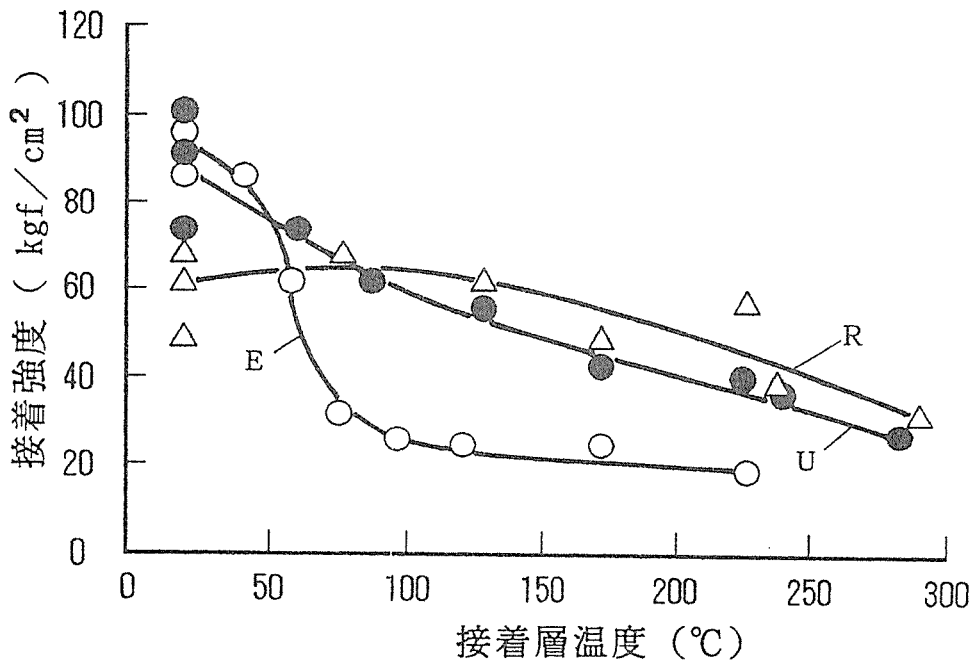


図9 小試験片における接着強さと接着層温度との関係

R: レゾルシノール樹脂接着剤 (△)

U: 水性高分子-イソシアネート系接着剤 (●)

E: エポキシ樹脂接着剤 (○)

4. 結論

(1) 破壊時の接着層中央部の温度は被着材の厚さとはほとんど関係なく、各接着剤で固有の値を示す。また、幅方向の接着層の温度分布曲線は火炎暴露初期にU字形をしているが、側面からの燃焼が進むので次第にV字形に変化してゆく。

(2) 同じ厚さの被着材で比較すると、レゾルシノール樹脂接着剤及び水性高分子-イソシアネート系接着剤を用いた接着層の耐火時間は、ほぼ同レベルの値を示す。これに対しエポキシ樹脂接着剤のそれは約半分の値を示すに過ぎない。

(3) 室温におけるレゾルシノール樹脂接着剤の接着強さは、水性高分子-イソシアネート系接着剤やエポキシ樹脂接着剤のそれより低いが、130℃程度までは接着強さの変化が見られない。しかしエポキシ樹脂接着剤の接着強さは50～70℃で急激な低下を示す。これに対しレゾルシノール樹脂接着剤と水性高分子-イソシアネート系接着剤はこのような急激な接着強さの低下は見られず、双方とも温度上昇に伴いゆるやかな強度低下をたどるため、250℃を越えても、なお30kgf/cm²程度の接着強度を維持している。

第6章 ビッグフィンガージョイントの力学特性(その1)

はじめに

集成材継手として接着によるビッグフィンガージョイント（以下BFJと記す）を採用した場合の継手部分の力学特性を調べるため、実大集成材試験体を用いた曲げ破壊実験を行い、現場接着接合工法確立のための基礎資料とした。

1. 試験体の概要

1.1 試験体の形状

試験体の形状を図1に示す。

集成材は「構造用大断面集成材の日本農林規格(JAS)」(昭和61年12月25日農林水産省告示第2054号)のベイマツ1級とする。

ラミナの厚さは33mmを目途とし、積層数は12とする。梁せいは396mm。

ラミナのMOEは製造前に全数測定するものとする。

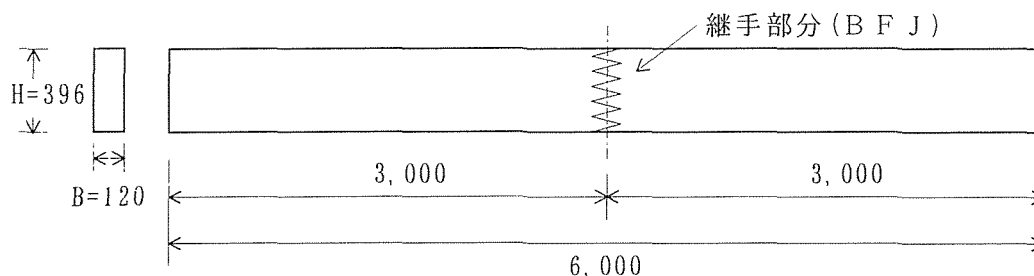


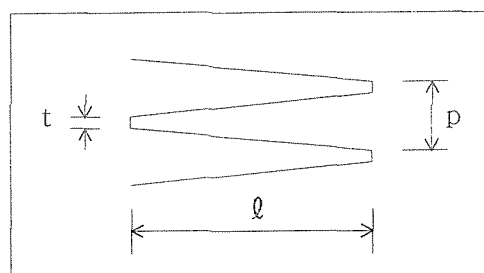
図1 試験体の形状 (単位:mm)

1.2 継手の形状

フィンガージョイントの形状は、表1に示す3タイプとする。ここで、フィンガー部の傾斜が1/15~1/8となるように形状を設定した。

表1 フィンガージョイントの形状

タイプ	p	ℓ	t	(p-2t)/2 : ℓ
A	15mm	60mm	3mm	1 : 13.3
B	30	120	3	1 : 10
C	60	240	3	1 : 8.9



試験体はA~Cの各タイプごとに3体ずつとし、継手のない試験体1体を加えて合計10体とする。

フィンガージョイントの接着にはレゾルシノール樹脂接着剤を用いる。

1.3 圧縮

圧縮は図2に示すような装置構成で行った。

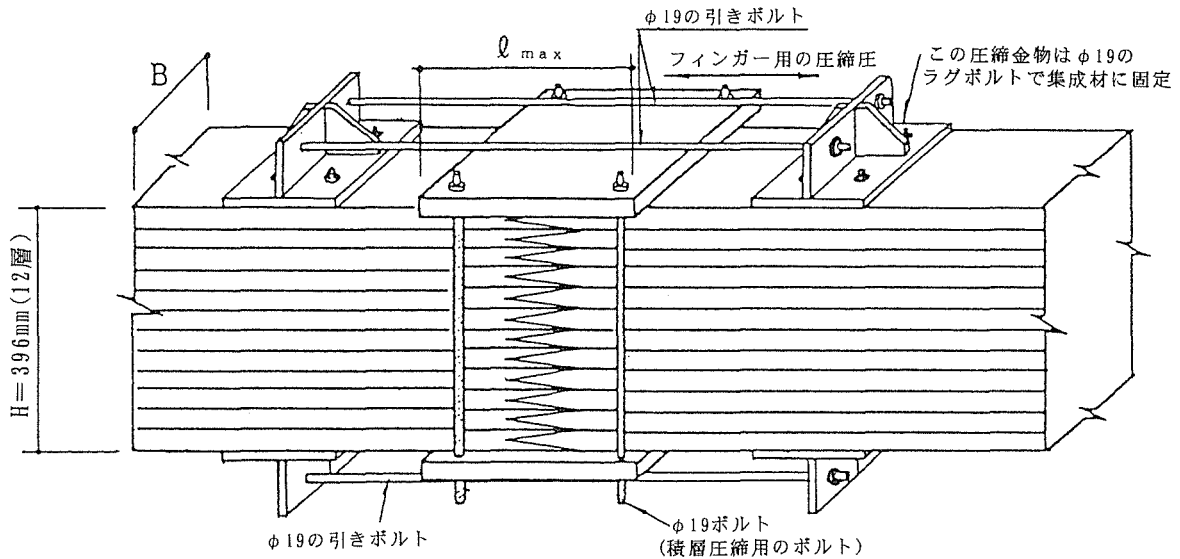


図2 圧縮装置

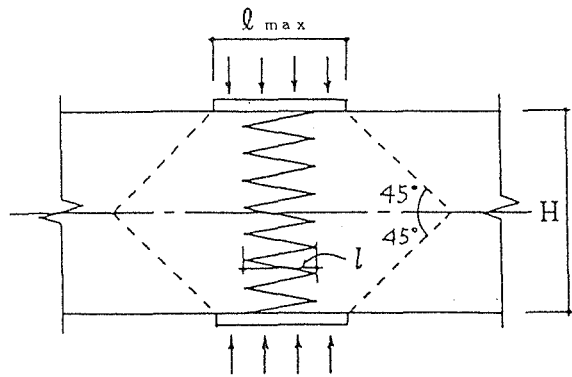
(ボルト耐力のチェック)

$$4-M18: P_y = 6.0 \times 4 = 24.0 \text{ tf}$$

圧縮力 f は

$$\begin{aligned} f &= P_y / [B \cdot (\ell_{max} + H)] \\ &= 24,000 / [12.0 \times (24.0 + 39.6)] \\ &= 31.4 \text{ kgf/cm}^2 > 10 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

よって、圧縮力を 10 kgf/cm^2 とした場合、ボルト応力は $1/3 \sigma_y$ 程度である。



(圧縮力の算出)

2. 加力・測定法

加力は1000トン万能試験機を使用し、図3のような装置構成とした。

測定は、荷重については試験機のヘッドと加力ビームの間にセットしたロードセルにより検出する。変形は試験体中央部（梁せい中央①と下面②）及び加力点のたわみ③④と継手部分の局部変形⑤⑥について行う。変位形⑦⑧は反力位置の支圧に伴う変形に対する補正として用いる。変位計②以外は試験体片側にのみ取り付け。

加力点と継手部間中央に、縦に4箇所（試験体片側のみ）ゲージを貼付し、梁の曲げ性状を調べる。

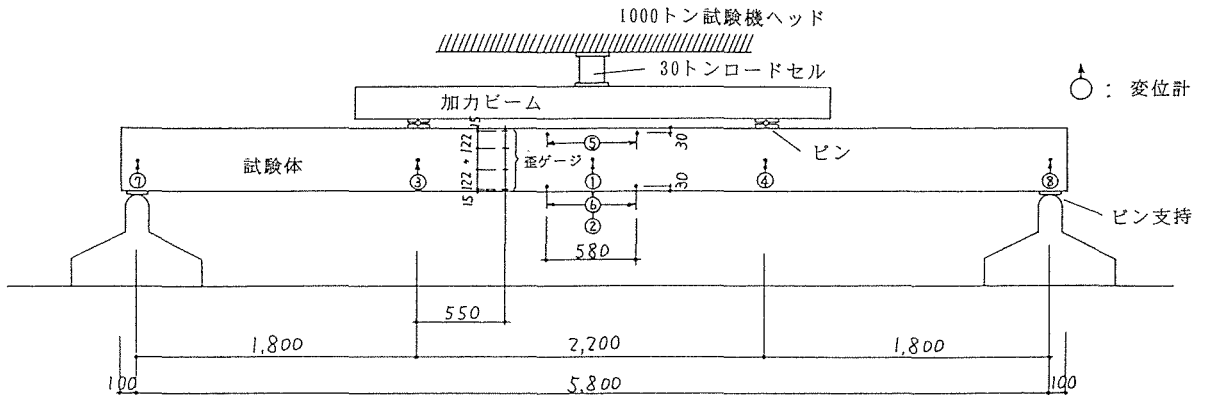


図 3 装置構成

継手なしの試験体では、図 4 のような荷重 - 変位関係となる。

(ヤング係数 $E = 110 \text{ tf/cm}^2$: ベイマツ 1 級)

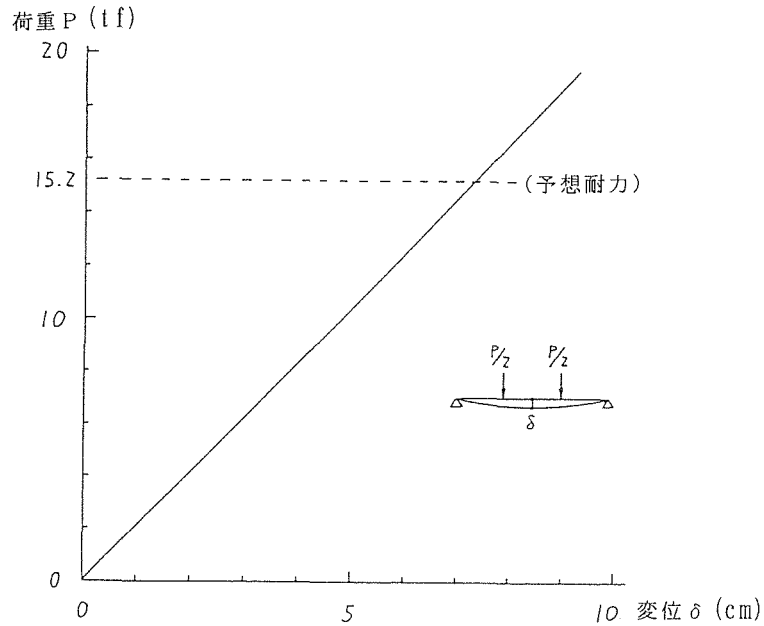


図 4 荷重 - 変位関係 (継手なしの試験体)

いま、長期許容応力度の 3 倍の値を強度とすると、曲げ耐力 P_{max} は次式により求められる。

$$f_b \times 3 = M_{max} / Z = 180 \times P_{max} / (Z \times 2)$$

ここで $f_b = 145 \text{ kgf/cm}^2$ (ベイマツ 1 級)、 $Z = 3136.3 \text{ cm}^3$ であるから

$$P_{max} = 15.2 \text{ tf}$$

となる (図 4 中に点線で示した)。

このとき、最大せん断応力度 τ は 24.0 kgf/cm^2 となるが、せん断強度 $\tau_u = 36.0 \text{ kgf/cm}^2$ 以下である。

接着継手部分の曲げ強度 σ_u は、断面最外縁近傍の接着角度を θ 、単位面積当たりの強

度を50kgf/cm²として次式で与えられる¹⁾。

$$\sigma_u = 50 / \sin \theta \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

本実験の試験体では

タイプA : $\sigma_u = 503 \text{ kgf/cm}^2$ ($\theta = 5.7^\circ$)

タイプB : $\sigma_u = 447 \text{ kgf/cm}^2$ ($\theta = 6.4^\circ$)

タイプC : $\sigma_u = 424 \text{ kgf/cm}^2$ ($\theta = 6.8^\circ$)

曲げ耐力 P_{max} は次式により求められる。

$$\sigma_u \times 0.8^* = 180 \times P_{max} / (Z \times 2)$$

* 接着に伴う強度の低下を一律20%とする。

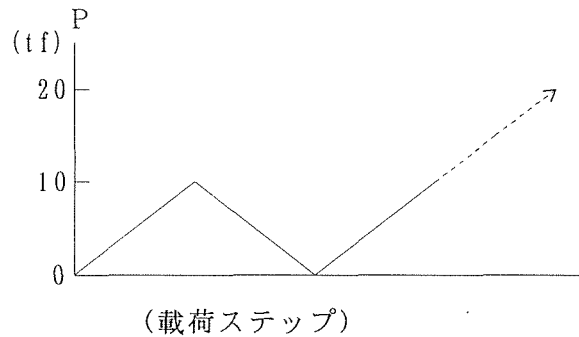
よって、接着継手部破断時の耐力 P_{max} は次のごとく求められる。

タイプA : $P_{max} = 14.0 \text{ tf}$ (17.5 tf) ()内は強度低下を無視した場合

タイプB : $P_{max} = 12.5 \text{ tf}$ (15.6 tf)

タイプC : $P_{max} = 11.8 \text{ tf}$ (14.8 tf)

加力は単調荷形式とし、短期許容応力度レベルである10tfまで1tfピッチで行い、ここで一度除荷する。次のステップとして同様に10tfまで1tfピッチで加力し、その後破壊に至るまで0.5tfピッチで加力する。



3. 断面欠損を考慮した曲げ耐力 P_{max} の算出

右図において断面欠損部を除いた有効断面2次モーメント I_e は、

$$I_e = 62,099.1 - 8,022.1 \times 2 = 46,054.9 \text{ cm}^4$$

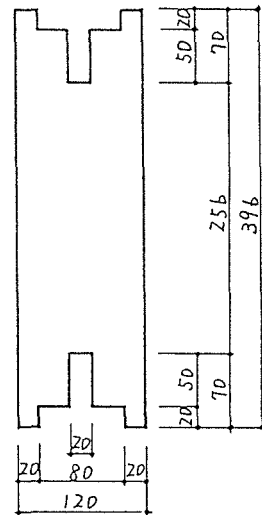
断面係数 Z_e は、

$$Z_e = 46,054.9 / 19.8 = 2,326.0 \text{ cm}^3$$

これより曲げ耐力 P_{max} は、次のごとく求められる。

$$\begin{aligned} P_{max} &= (M_{max} / l) \times 2 = (\sigma_{cr} \times Z_e / l) \times 2 \\ &= (435.0 \times 2,326.0 / 180.0) \times 2 = 11,242 \text{ kgf} \\ &\approx 11.2 \text{ tf} \end{aligned}$$

(注)本欠損部はせん断スパン部内にあるが、純曲げ部分に近いいため、あえて曲げ耐力算出のために考慮した。



次項 4. で述べる抜き取り試験片加力試験によれば、ラミナの最大圧縮応力度 σ_{cmax} 及び最大引張応力度 σ_{tmax} は次の値となる。

$$\sigma_{cmax} = 366.5 \text{ kgf/cm}^2 \quad (19 \text{ 体の平均})$$

$$\sigma_{tmax} = 459.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad (9 \text{ 体の平均})$$

これらを上記の式の σ_{cr} に代入して P_{max} を求めると、次のごとくなる。

$$\begin{aligned} P_{max} &= 9.5 \text{ tf} (\sigma_{cmax} \text{ より}) \\ &= 11.9 \text{ tf} (\sigma_{tmax} \text{ より}) \end{aligned}$$

[荷重点変更後] (試験体 A-2、A-3 の場合)

(1) 曲げ耐力 P_{max} の算出

後記のごとく、試験体 A-2、A-3 の 2 体については、せん断スパンを 1800mm から 2400mm に変えたので、

$$\begin{aligned} P_{max} &= 2\sigma_{cr}Z / \ell = 2 \times 435.0 \times 3,136.3 / 240.0 \\ &= 11,369 \text{ kgf} \approx 11.4 \text{ tf} < \text{接着継手部耐力 } P_{max}' = 13.1 \text{ tf}^{*1} \end{aligned}$$

*1: 接着に伴う強度低下 (耐力 $\times 0.8$) を考慮すると $P_{max}' = 13.1 \times 0.8 = 10.5 \text{ tf}$ となり、 P_{max} を下回るため、F. J. (フィンガージョイント) 部の破断となる。

一方、圧縮治具取り付け穴位置における曲げモーメント M は、

$$M = (11,369 / 2) \times 170.0 = 966,365 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

圧縮治具取り付け穴位置における曲げ応力度 σ は、

$$\sigma = M / Z_e = 966,365 / 2,326 = 415 \text{ kgf/cm}^2 < f_b \times 3 = 435 \quad \text{OK}$$

(2) 最大たわみ δ_{max} の算出

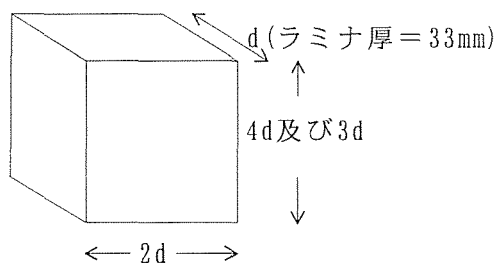
梁中央における最大たわみ δ_{max} は、

$$\begin{aligned} \delta_{max} &= (P a / 24 E I) \times (3L^2 - 4a^2) \\ &= 5.68 \times 240.0 / (24 \times 110.0 \times 62,099) \times (3 \times 580^2 - 4 \times 240^2) = 6.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

4. 試験片抜き取り強度試験の概要

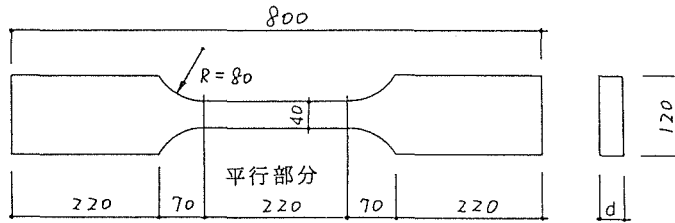
ラミナのヤング係数と強度の対応を確認するため、次に示す試験片による強度実験を実施した。

(圧縮試験片)

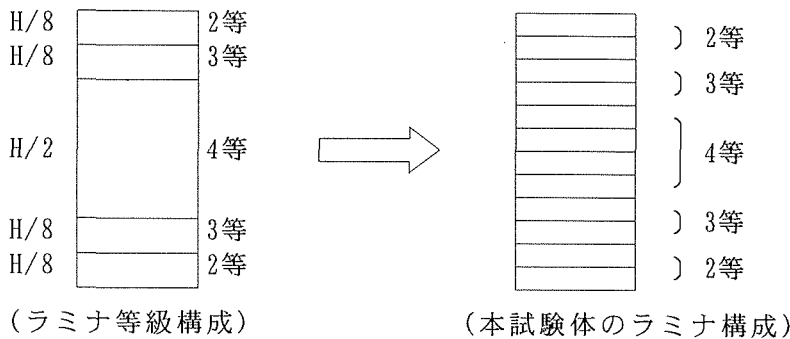


試験片と加力ビームまたは台盤との間の間隙 (ガタ) を埋めるためにゾーストンを充填するものとする。

(引張り試験片)



上記試験片は、ヤング係数を測定したラミナと対応させ、2等、3等、4等の3種類のものを作製する。バラツキを考慮し、圧縮、引張り試験片ともに各等級ごとに5個ずつ試験片を作製する（圧縮、引張り試験片ともに合計15個）。



5. ラミナのグレーディング結果

図5はラミナのグレーディングの結果である。このグレーディングは切り出したすべてのラミナについて実施したもので、この結果から集成材の製作に使用する2等から4等までのラミナを選定した。

図6は選定したラミナの等級別度数分布である。

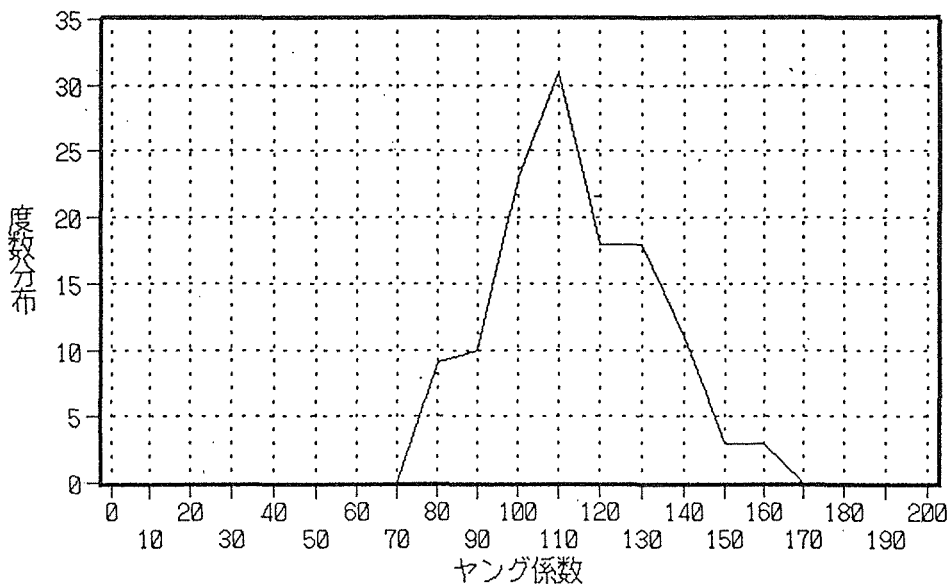


図5 ラミナのグレーディングデータ

(本図は切り出したすべてのラミナの結果であり、不採用のものも含まれている。)

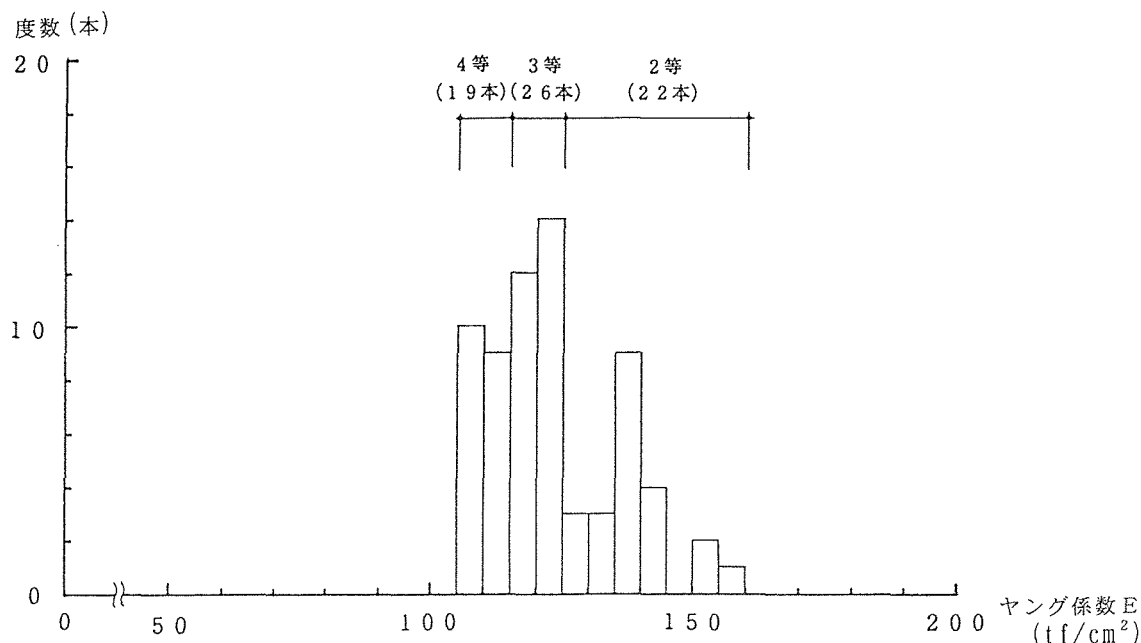


図 6 集成材接着接合試験体ラミナのグレーディングデータ (等級別)

6. B F J の曲げ試験結果

6.1 最大荷重、最大荷重時のたわみ、最大曲げ応力度一覧

実験結果を表 2 に示す。最大荷重時の試験体中央のたわみと、最大曲げ応力度及び破壊状況を併せて示した。

圧縮治具のうち、ラグボルトで取り付ける金物の底板の裏側には、滑り防止のための円筒状リングが付いており、これと噛み合わせるため、集成材の取り付け位置には断面にして約 20cm^2 の欠き込みが設けてある。9体の B F J 試験体中、5体がこの位置に生じた亀裂により破壊した。A-2、A-3 の 2 試験体については、この欠き込み部分からの破壊を避けるため、載荷点を 60cm ずつ中央側にずらし、せん断スパンを 1800mm から 2400mm に変更した。

図 7 は、各試験体の最大曲げ応力度をまとめて示したものである。併せて素材(ラミナ)の引張り及び圧縮強度試験結果の平均値を示し、両者間を斜線部で示した。圧縮治具取り付け位置から破壊したものは、B F J 強度がその破壊点よりも高いことを示しており、素材強度試験の結果から得られる破壊強度に近い値となることが分かる。載荷点位置を変更した 2 体のタイプ A 試験体については、B F J 曲げ強度算定値に実験後の調査から得られた接着有効部分 (6.2 にデータ掲載) の比率を乗じた値を示した。これは実験結果にほぼ等しい値となった。また、タイプ別に平均値を見ると、加工精度に優れるタイプ C が最も高い強度を示し、この曲げ強度は継手の無い試験体に近い値となることが分かる。

表2 集成材BFJ曲げ破壊試験の結果一覧

タイプ°	No.	最大荷重 (tf)	最大荷重時 たわみ (mm)	最大曲げ応力度 (kgf/cm ²)	備 考
A	1	8.6	47.8	332.8	圧縮治具取り付け穴位置からのひび割れ破壊
	2	8.7 * ¹ (6.5)	45.9 * ¹ (38.9)	248.7	F. J. 破断による曲げ破壊 (加力位置変更)
	3	9.2 * ¹ (6.9)	49.6 * ¹ (42.0)	264.0	F. J. 破断による曲げ破壊 (加力位置変更)
	平均	8.8			
B	1	9.6	50.1	371.5	圧縮治具取り付け穴位置からのひび割れ破壊
	2	7.5	39.1	215.2	最下端ラミナの節からのひび割れ曲げ破壊
	3	9.0	48.0	348.2	圧縮治具取り付け穴位置からのひび割れ破壊
	平均	8.7			
C	1	10.4	52.5	298.4	最下端ラミナF. J. 破断による曲げ破壊
	2	9.7	49.6	375.3	圧縮治具取り付け穴位置からのひび割れ破壊
	3	10.5	52.5	406.3	圧縮治具取り付け穴位置からのひび割れ破壊
	平均	10.2			
継手なし		15.5	78.3	444.8	最大荷重はほぼ計算値と一致 最下端ラミナはF. J. 破断による曲げ破壊

*¹ せん断スパンを変更前の1800mmとしたときの換算値

()内はせん断スパンを2400mmに変更したときの実験値

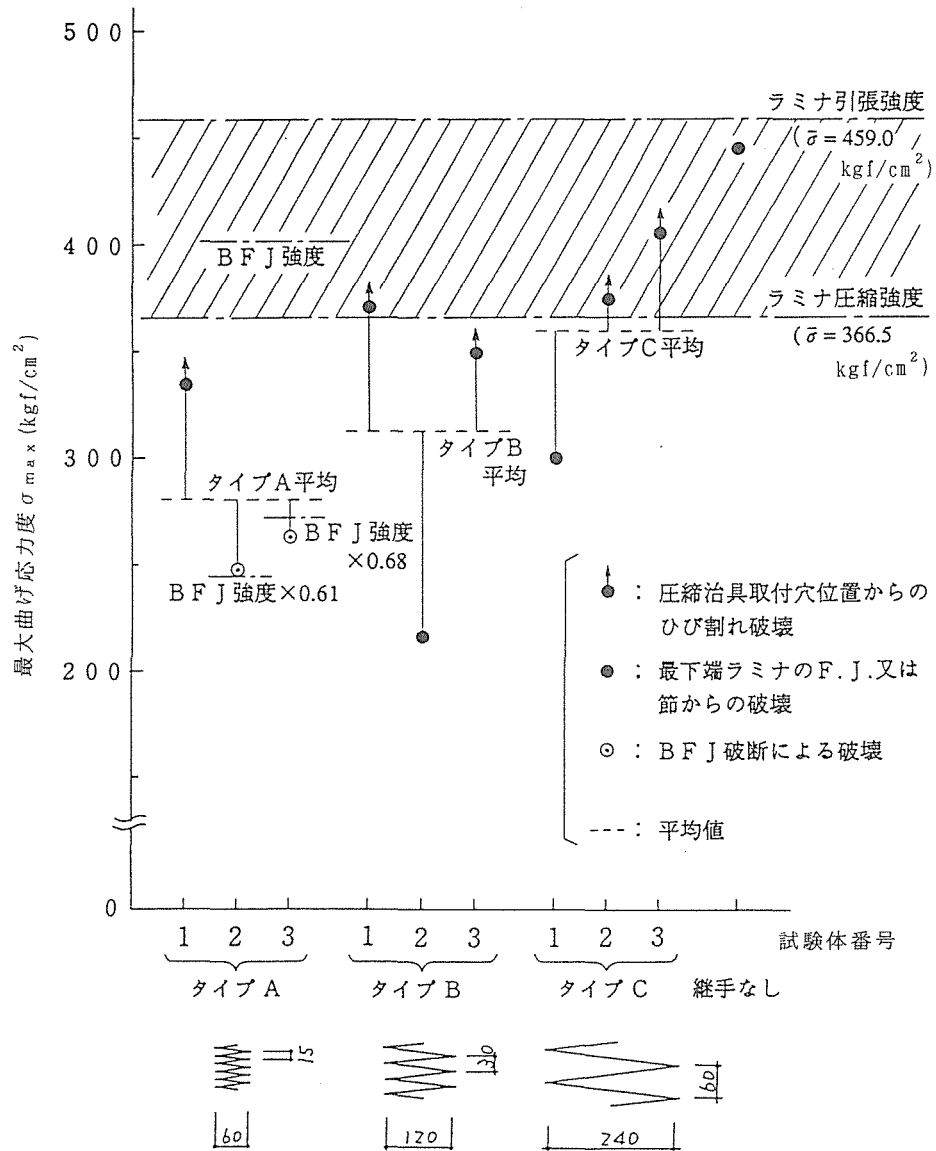


図7 集成材BFJ曲げ破壊試験の結果

6.2 接着破断面の状況 (A-2、A-3 試験体)

BFJ部分で破壊するように载荷点を変更したA-2、A-3の2試験体について、実験後接着部分を調査し、接着が不完全であった部分の全接着面に対する面積比率を求めた。

表3にA-2試験体の、表4にA-3試験体の調査結果を示す。表中、フィンガー番号とは下図に示すように試験体下端(引張り側)のフィンガーから順に付けた番号で、上面・下面とは各々のフィンガーの下側の接着面及び上側の接着面を指す。

不完全接着部分の面積比率はA-2試験体で39%、A-3試験体で32%に達した。

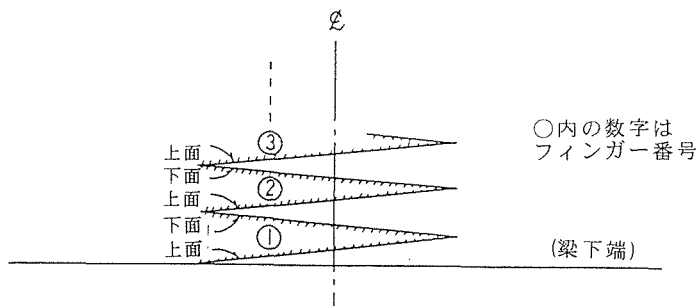


表3 A-2試験体のFJ部破断面の状況

フィンガ 番号	面	接着面積 S (cm ²)	破片残存部 A (接着有効部) (cm ²)	木部破断部 B (cm ²)	非接合部 C * ¹ (cm ²)	(A + B)	備 考
						S (%)	
1	上	72.0	25	8	39	45.8	
	下	72.0	15	20	37	48.6	
2	上	72.0	0	23	49	31.9	
	下	72.0	0	19	53	26.4	
3	上	72.0	16	10	46	36.1	
	下	72.0	22	28	22	69.4	
4	上	72.0	18	15	39	45.8	
	下	72.0	20	4	48	33.3	
5	上	72.0	18	12	42	41.7	
	下	72.0	22	35	15	79.2	
6	上	72.0	0	24	48	33.3	
	下	72.0	0	42	30	58.3	
7	上	72.0	13	24	35	51.4	
	下	72.0	18	1	53	26.3	
8	上	72.0	0	16	56	22.2	
	下	72.0	0	25	47	34.7	
9	上	72.0	0	51	21	70.8	
	下	72.0	17	48	7	90.3	
10	上	72.0	11	53	8	88.9	
	下	72.0	9	58	5	93.1	
11	上	72.0	4	51	17	76.4	
	下	72.0	5	43	24	66.7	
12	上	72.0	12	50	10	86.1	
	下	72.0	0	55	17	76.4	
13	上	72.0	0	13	59	18.1	
	下	72.0	0	25	47	34.7	
14	上	72.0	0	36	36	50.0	
	下	72.0	0	47	25	65.3	
15	上	72.0	7	60	5	93.1	
	下	72.0	20	48	4	94.4	
16	上	72.0	20	42	10	86.1	
	下	72.0	21	48	3	95.8	
17	上	72.0	3	31	38	47.2	
	下	72.0	5	42	25	65.3	
18	上	72.0	7	45	20	72.2	
	下	72.0	24	30	18	75.0	
19	上	72.0	27	29	16	77.8	
	下	72.0	39	12	21	70.8	
20	上	72.0	41	7	24	66.7	
	下	72.0	43	15	14	80.6	
21	上						以下26までF.J.は 非破壊
22	上						
23	上						
24	上						
25	上						
26	上						
合計		2880.0 (100%)	502 (18%)	1245 (43%)	1133 (39%)	60.7	

*¹ ここでは(A+B)以外はすべて非接着部とした。すなわち $C = S - (A + B)$

表 4 A-3 試験体の F J 部破断面の状況

フィンガ - 番号	面	接着面積 S (cm^2)	破片残存部 A (接着有効部) (cm^2)	木部破断部 B (cm^2)	非接合部 C * ¹ (cm^2)	(A + B)	備 考
						S (%)	
1	上	72.0	24	43	5	93.1	梁下端部 F. J.
	下	72.0	18	46	8	88.9	
2	上	72.0	0	22	50	30.6	
	下	72.0	0	29	43	40.3	
3	上	72.0	43	12	17	76.4	
	下	72.0	50	11	11	84.7	
4	上	72.0	2	28	42	41.7	
	下	72.0	0	25	47	34.7	
5	上	72.0	0	20	52	27.8	
	下	72.0	0	6	66	8.3	
6	上	72.0	30	11	31	56.9	
	下	72.0	33	31	8	88.9	
7	上	72.0	36	18	18	75.0	
	下	72.0	36	9	27	62.5	
8	上	72.0	25	28	19	73.6	
	下	72.0	24	19	29	59.7	
9	上	72.0	0	36	36	50.0	
	下	72.0	0	22	50	30.6	
10	上	72.0	38	22	12	83.3	
	下	72.0	28	7	37	48.6	
11	上	72.0	0	36	36	50.0	外見上、破壊時の 破断部はここまで
	下	72.0	0	47	25	65.3	
12	上	72.0	0	50	22	69.4	
	下	72.0	0	58	14	80.6	
13	上	72.0	0	29	43	40.3	
	下	72.0	0	65	7	90.3	
14	上	72.0	0	64	8	88.9	
	下	72.0	0	65	7	90.3	
15	上	72.0	3	66	3	95.8	
	下	72.0	2	25	45	37.5	
16	上	72.0	12	18	42	41.7	
	下	72.0	12	42	18	75.0	
17	上	72.0	33	33	6	91.7	
	下	72.0	30	25	17	76.4	
18	上	72.0	10	50	12	83.3	
	下	72.0	1	25	46	36.1	
19	上	72.0	0	61	11	84.7	
	下	72.0	0	58	14	80.6	
20	上	72.0	0	68	4	94.4	
	下	72.0	0	61	11	84.7	
21	上		32	24	16	77.8	
	下		29	37	6	91.7	
22	上		18	30	24	66.7	
	下		18	32	22	69.4	
23	上		0	58	14	80.6	
	下		0	32	40	44.4	
24	上		0	25	47	34.7	
	下		0	43	29	59.7	
25	上		2	63	7	90.3	
	下		2	67	3	95.8	
26	上		12	57	3	95.8	
	下		11	58	3	95.8	
合 計		3774.0 (100%)	614 (17%)	1917 (51%)	1213 (32%)	67.6	

*¹ ここでは(A + B)以外はすべて非接着部とした。すなわち $C = S - (A + B)$

6.3 荷重－変位関係

荷重－変位の関係について、図8にBFJ試験体(A-1)の例を、図9に継手のない通直試験体の場合を示す。また、全試験体の曲げ耐力 P_{max} とその点でのたわみ δ を表5に示す。

図8、図9の左脇に斜線で示した範囲は、ラミナの強度試験により得られた引張り強度及び圧縮強度(平均値)を用いて算出した断面欠損の無い場合の曲げ耐力である。一点鎖線は、圧縮治具取り付けのための欠き込みを考慮した断面係数を用いて算出した曲げ耐力である。圧縮治具取り付け位置における断面係数は完全断面より約25%小さくなる。なお、試験体(ベイマツ1級)のヤング係数公称値 110 tf/cm^2 を用いた場合の計算値を併せて示してある。

表5のA-2及びA-3の2試験体については、BFJ部分の曲げ耐力計算値と、それに接着破断面の調査から得られた接着有効面積比率を乗じた値の両方を示した。

表5 試験体の曲げ耐力(P_{max})とその点でのたわみ(δ)

試験体	ラミナ引張り強度から算出した最大荷重(tf)	ラミナ圧縮強度から算出した最大荷重(tf)	実験値 曲げ耐力 P_{max} (tf)	実験値 最大耐力時のたわみ δ (mm)	欠き込みを考慮した集成材の曲げ耐力計算値* ¹ (tf)	BFJ 曲げ耐力 計算値 (tf)	有効接着面積による最大荷重計算値 (tf)
A-1	16.0	12.8	8.6	48	11.9	14.0	
A-2	16.0	12.8	6.5	39	12.0	10.5	6.4* ²
A-3	16.0	12.8	6.9	42	12.0	10.5	7.1* ³
B-1	16.0	12.8	9.6	50	11.9	12.5	
B-2	16.0	12.8	7.5	39	11.9	12.5	
B-3	16.0	12.8	9.0	48	11.9	12.5	
C-1	16.0	12.8	10.4	53	11.9	11.8	
C-2	16.0	12.8	9.7	50	11.9	11.8	
C-3	16.0	12.8	10.2	53	11.9	11.8	
継手なし	16.0	12.8	15.5	78	—	集成材曲げ耐力 15.2	

(この表は報告書原本²⁾の「荷重－変位関係」図から作成した。)

*¹ 抜き取り試験片引張加力試験結果の平均値を用いて求めた値

*² 10.5×0.607 (6.2参照)

*³ 10.5×0.676 (6.2参照)

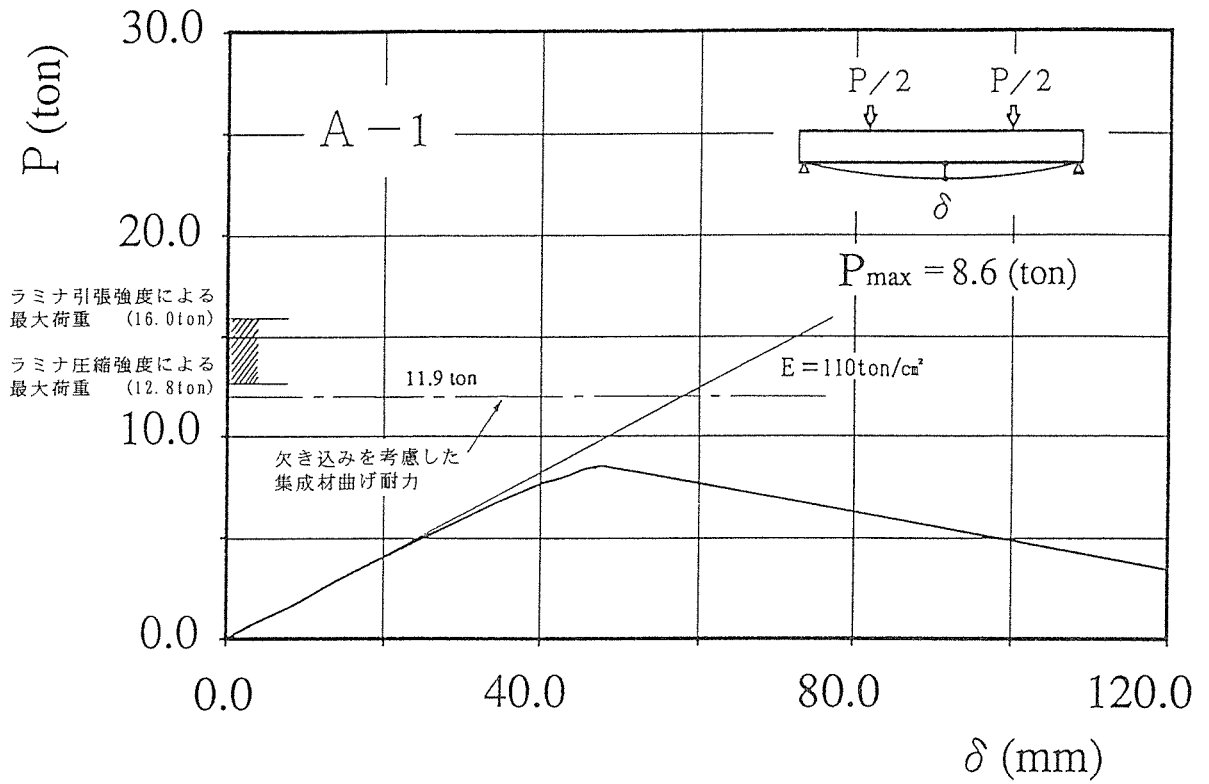


図 8 荷重-変位関係 (A-1)

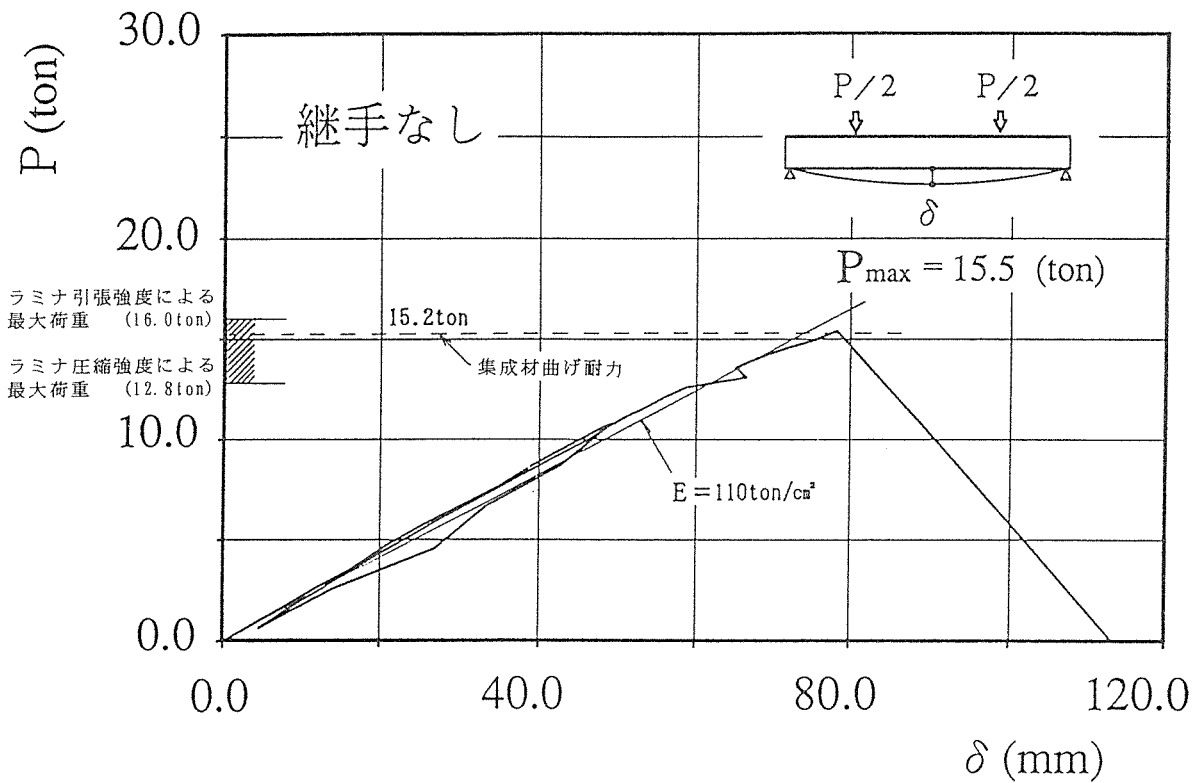


図 9 荷重-変位関係 (継手なし)

7. まとめ

試験体作製の際、圧縮治具を取り付ける位置に断面にして約 20cm^2 の欠き込みを設けた。これは圧縮治具の底板の裏側にある滑り防止のための円筒状リングと噛み合わせるためのものである。結果は9体のBFJ試験体中、5体がこの欠き込み部分に生じた亀裂によって破壊した。ただし、9体のうち、2体(いずれも最も形状の小さいAタイプ)は欠き込み部分からの破壊を避けるため、載荷点を中央側にずらし、せん断スパンを1800mmから2400mmに変更した。

圧縮治具取り付け位置から破壊したものは、BFJの曲げ強度はその破壊点よりも高いことになるが、実験結果から最大曲げ応力度を求めてみると、ラミナの強度試験(引張り及び圧縮試験)の結果から得られる破壊強度に近い値になることが確認された。また、試験体のタイプ別に最大曲げ応力度の平均値を見ると、施工精度に優れるタイプC(最も形状が大きいもの)が最も高い強度を示し、この曲げ強度は継手のない通直試験体に近い値となることが分かった。

BFJの曲げ耐力の算定では、接着継手部分の曲げ強度 σ_u を断面最外縁近傍の接着角度 θ をもとに算出し、これに施工のばらつきによる強度低下20%を見込んで評価した。

BFJの接着部分の破断により破壊した2体のタイプA試験体について、実験後、接着面部分の接着が不完全であった部分の全接着面積にたいする面積比率を求めた。この不完全部分の比率はいずれも30%を超えたが、BFJの計算曲げ耐力にこの比率を乗じたところ、2体ともほぼ実験値に等しい値となった。

以上、本実験により集成材のBFJ接合法は、母材に近い曲げ強度を期待できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 木村・渡辺 ほか：「集成材の継手に関する研究」(その1：接着強度について)
昭和63年度 日本建築学会大会梗概集
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター：木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書 3
「現場接着による集成材梁継手の開発報告書」 (平成4年3月)

第7章 ビッグフィンガージョイントの力学特性(その2)

はじめに

集成材継手の一つである接着によるビッグフィンガージョイント(以下BFJと記す)の基本的な強度性能を把握し、BFJによって現場接着された大断面集成材梁($H \geq 300\text{mm}$)の曲げ終局耐力がBFJ各部の強度に基づいて推定できるか否かを検討する。

最終的にはBFJ現場接着集成材の曲げ許容耐力の誘導を目指した。

1. 試験体の概要

1.1 試験体の形状

試験体の形状を図1に示す。

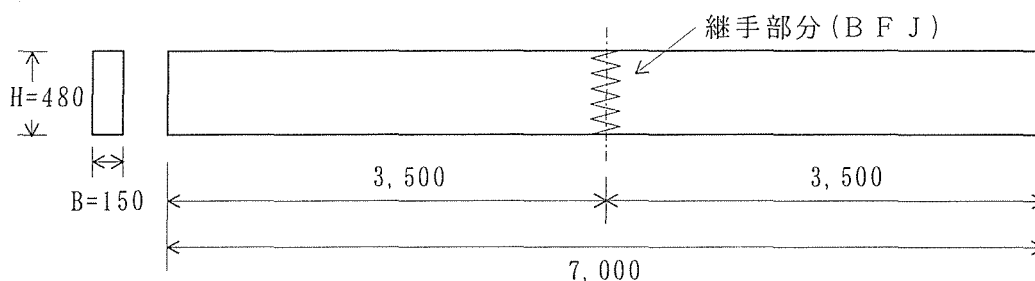


図1 試験体の形状(単位:mm)

集成材は「構造用大断面集成材の日本農林規格(JAS)」(昭和61年12月25日農林水産省告示第2054号)のベイマツ1級とする。

ラミナの厚さは20mmを目途とし、積層数は24とする。梁せいは480mm。

ラミナのMOEは集成材製造前に全数測定する。

ラミナの等級構成は図2に示すとおり。

BFJの接着にはレゾルシノール樹脂接着剤を用いる。

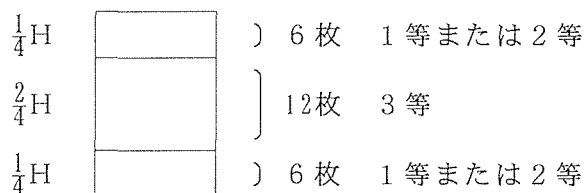


図2 ラミナ等級構成

1.2 継手の形状

BFJの形状及び各試験体数を、表1に示す。

また、図3にビッグフィンガージョイント部の記号を、図4、図5、図6にC、D、Eタイプ試験体のBFJ部詳細を示す。

表1 試験体一覧

BFJのタイプ	間隔 p (mm)	FJ長さ ℓ (mm)	先端幅 t ₁ (mm)	傾斜比 (p-2t ₁)/2:ℓ	圧縮圧 (kgf/cm ²)	圧縮方法	加工法	試験体数
A	ジョイントなしの通直							3
B 1	25	60	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	3
B 2	25	60	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
C 1	40	120	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	3
C 2	40	120	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
D 1	60	200	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	3
D 2	60	200	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
E	130	480	5	1:8	10	ジャッキ	帯鋸	3

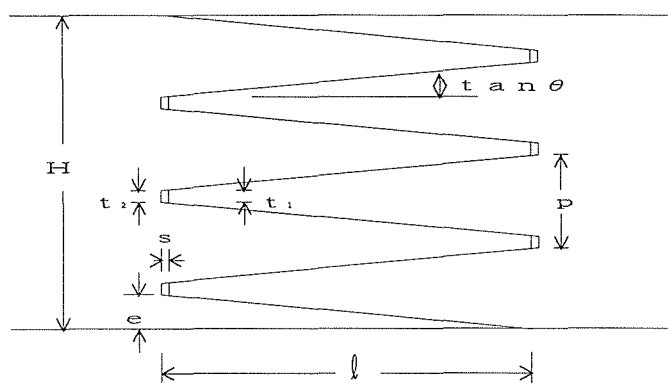


図3 ビッグフィンガージョイント部記号
(p及びt₁は歯の先端側の寸法)

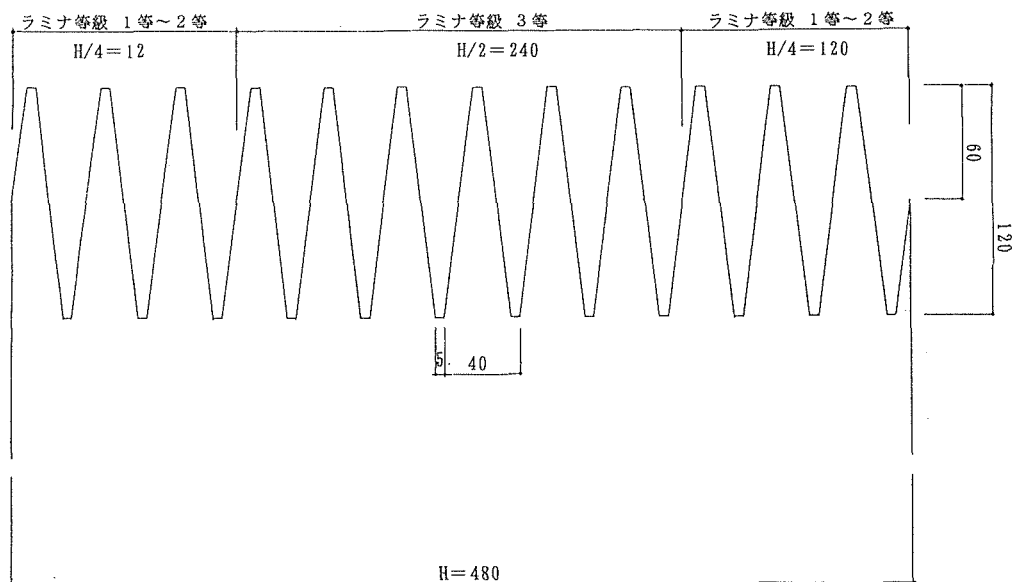


図4 Cタイプ試験体のBFJ部詳細

B F J の力学特性 (その 2)

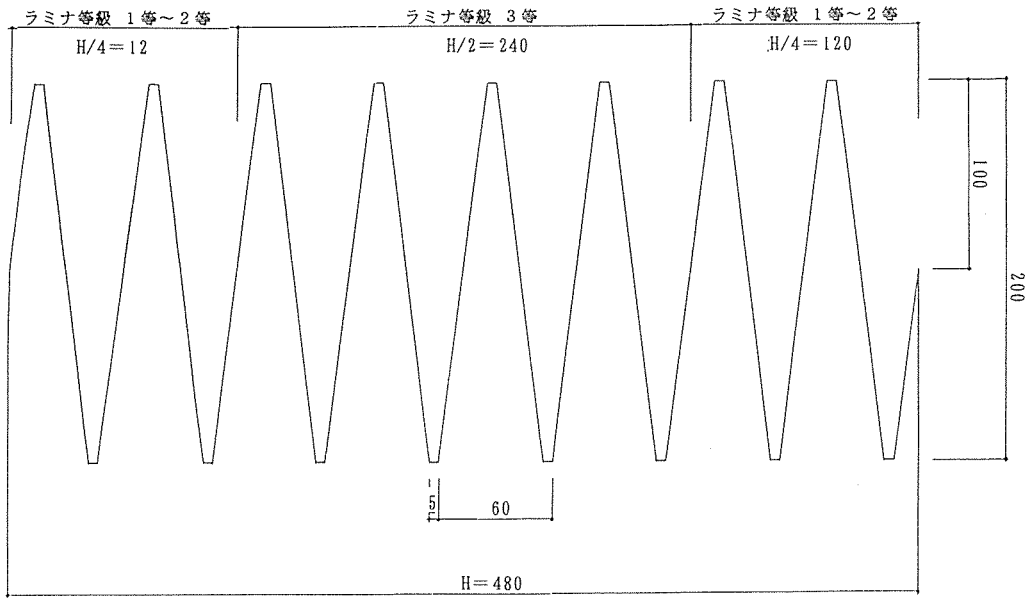


図 5 Dタイプ試験体のBFJ部詳細

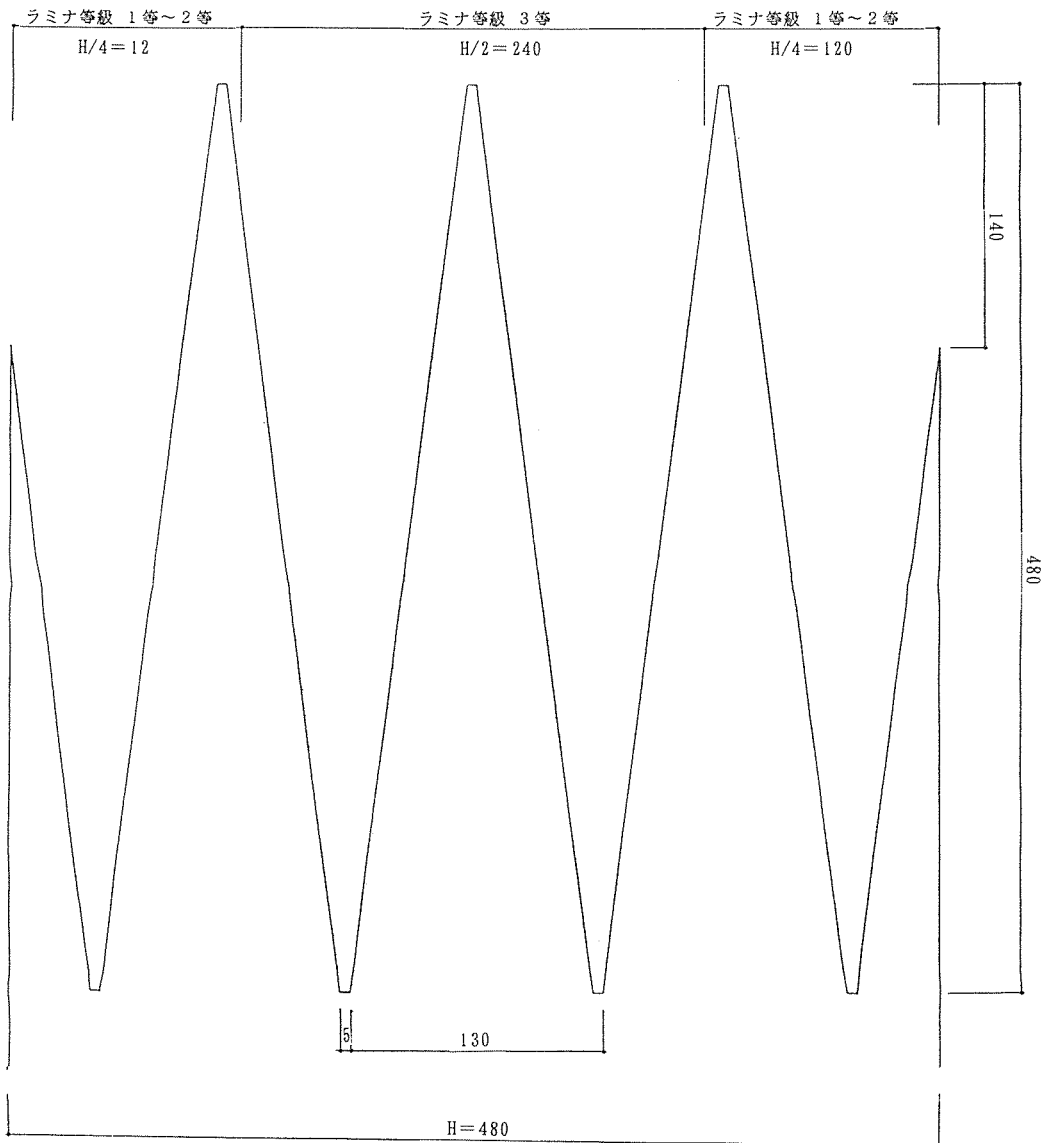


図 6 Eタイプ試験体のBFJ部詳細

1.3 圧縮

B F Jの圧縮は、工場生産を想定した油圧ジャッキによる方法と、現場施工を想定したボルト締め込みによる方法の二通りで行った。

ボルトによる圧縮は、図7に示すように歯形（ビッグフィンガー）加工した試験材料のフィンガー中央より40cmの位置の上・下面にブロック（集成材）を接着し、この後でB F J接着接合を行う。この際、ブロックにひきボルト（M20）を通し、所定の圧縮力を加える。

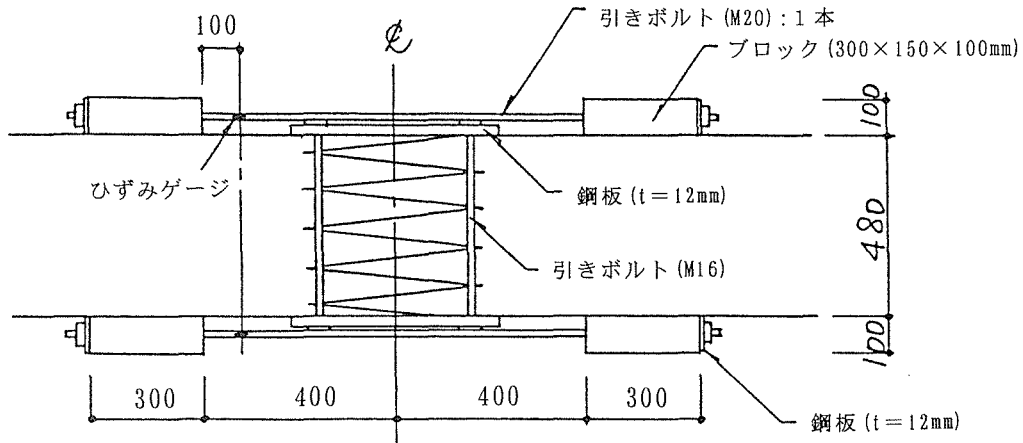


図7 ボルト締めによる圧縮

引きボルト端部には2枚のゲージを対に貼り、圧縮力をチェックする。圧縮する際、図8に示すように各々のゲージを水平にしてひずみを計測する。

拘束金物（鋼板及び引きボルト）は、圧縮時に最外縁切片が破断するのを防止するために取り付けるもので、圧縮直前に軽く手締めする。

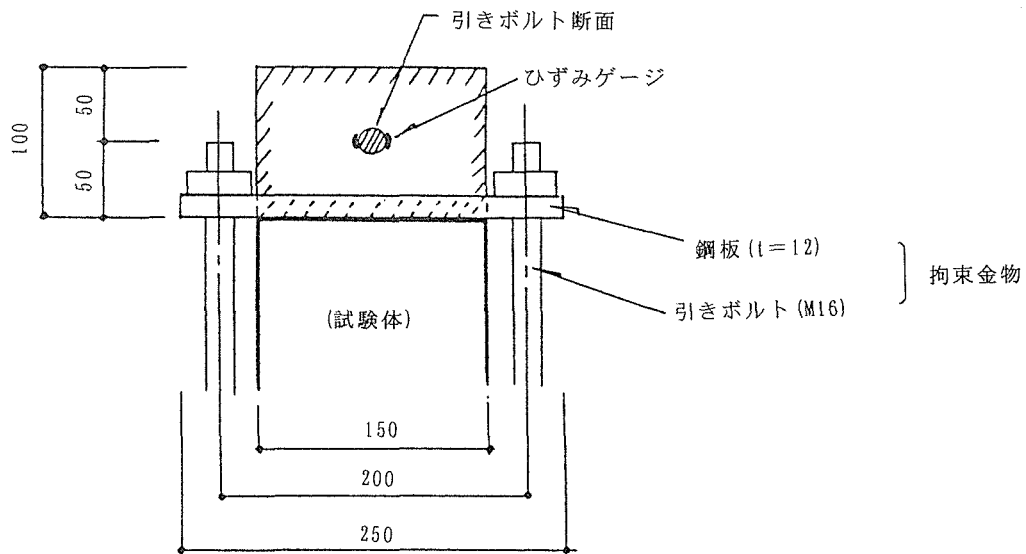
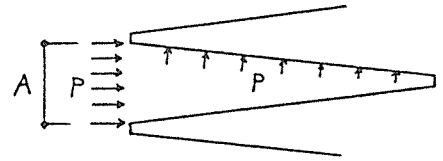


図8 ブロック及び拘束金物

(必要圧縮力の計算)

力の釣り合いより、A部に P (kgf/cm^2) の圧力が作用していれば、フィンガー面にも同じ P (kgf/cm^2) の圧力が作用する。



必要圧縮圧を $10\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした場合、各試験体の必要圧縮力 F は次のようになる。

$$F \approx 10.0\text{kgf}/\text{cm}^2 \times 48.0\text{cm} \times 15.0\text{cm} = 7,200\text{kgf} (7.2\text{tf})$$

上下 2 本の引きボルトで圧縮するため、1 本当たり 3.6tf となる。M20 のボルトを使用すると、 $P_v = 7.5\text{tf}$ より、

$$3.6 / 7.5 = 0.48 < 2/3 = 0.67 \quad \text{OK}$$

このときの引きボルトのひずみ ϵ は

$$\sigma = P / E = 3,600 / 3.14 = 1,146.5 \text{ kgf}/\text{cm}^2 \quad \text{より、}$$

$$\epsilon = \sigma / E = 1,146.5 / (2.1 \times 10^6) = 546 \mu$$

(ボルト圧縮における集成材ブロックのせん断耐力のチェック)

ブロックの長期せん断許容応力度は、 $12\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、ブロックに作用するせん断力は 3.6tf であるから、

$$3,600 / (15 \times 30) = 8.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2 < 12 \quad \text{OK}$$

2. 加力・測定法

加力は1000トン万能試験機を使用し、図9のような装置構成とした。

測定は、荷重については試験機のヘッドと加力ビームの間にセットしたロードセルにより検出する。変形は試験体中央部(梁せい中央①と下面②)及び加力点位置でのたわみ③④について行う。変位計⑤⑥は支持点部分の支圧に伴う変形に対する補正のためにセットする。変位計②以外は試験体片側側面に取り付ける。

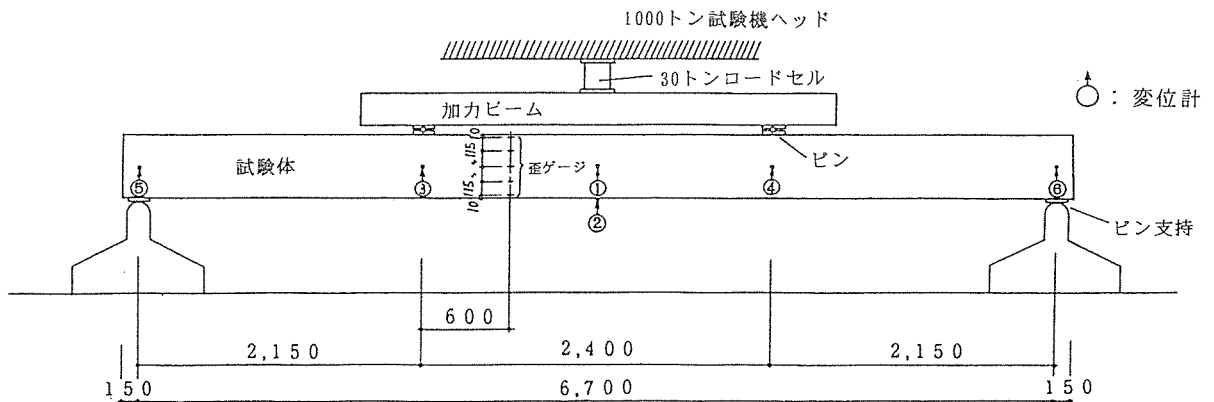


図9 装置構成

加力点と継手部間中央に、縦に5箇所（試験体片側のみ）ゲージを貼付し、梁の曲げ性状を調べる（図9参照）。

継手なしの試験体では、図10のような荷重－変位関係となる。

（ヤング係数 $E = 110 \text{ tf/cm}^2$: ベイマツ1級）

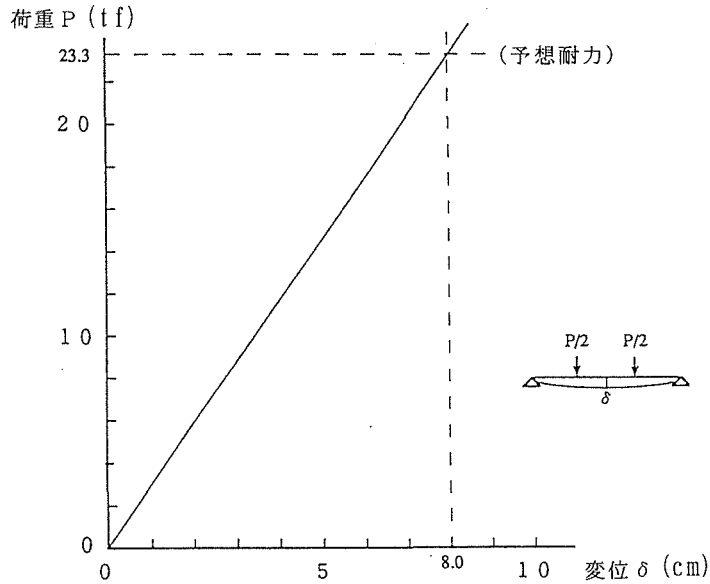


図10 荷重－変位関係（継手なしの試験体）

いま、長期許容応力度の3倍の値を強度とすると、曲げ耐力 P_{max} は次式により求められる。

$$f_b \times 3 = M_{max} / Z = 215 \times P_{max} / (Z \times 2)$$

ここで $f_b = 145 \text{ kgf/cm}^2$ （ベイマツ1級）、 $Z = 5760.0 \text{ cm}^3$ であるから、

$$P_{max} = 23.3 \text{ tf}$$

となる（図10中に点線で示した）。

このとき、最大せん断応力度 τ は 24.3 kgf/cm^2 となるが、せん断強度 $\tau_u = 36.0 \text{ kgf/cm}^2$ 以下である。

接着継手部分の曲げ強度 σ_u は、断面最外縁近傍の接着角度を θ 、単位面積当たりの強度を 50 kgf/cm^2 として次式で与えられる¹⁾。

$$\sigma_u = 50 / \sin \theta \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

本実験の試験体では、

$$\text{タイプB} : \sigma_u = 405 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\theta = 7.1^\circ)$$

$$\text{タイプC} : \sigma_u = 405 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\theta = 7.1^\circ)$$

$$\text{タイプD} : \sigma_u = 405 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\theta = 7.1^\circ)$$

曲げ耐力 P_{max} は次式により求められる。

$$\sigma_u \times 0.8^* = 215 \times P_{max} / (Z \times 2)$$

(* 接着に伴う強度の低下を一律20%とする。)

よって、接着継手部破断時の耐力 P_{max} は次のごとく求められる。

タイプ B : $P_{max} = 14.0 \text{ tf}$ (17.5 tf) ()内は強度低下を無視した場合

タイプ C : $P_{max} = 15.2 \text{ tf}$ (19.0 tf)

タイプ D : $P_{max} = 15.9 \text{ tf}$ (19.9 tf)

タイプ E : $P_{max} = 16.6 \text{ tf}$ (20.8 tf)

加力は単調载荷形式とし、短期許容応力度レベルである 15tf まで 1tf ピッチで行い、ここで一度除荷する。次のステップとして同様に 15tf まで 1tf ピッチで加力し、その後破壊に至るまで 0.5tf ピッチで加力する。

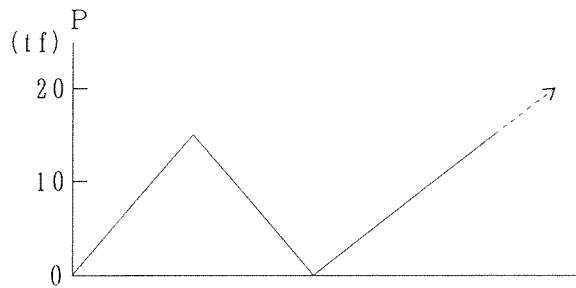


図11 载荷ステップ

3. 実験結果

3.1 最大荷重実験値と計算値との比較

各試験体の最大荷重実験値と計算値を表 2 に示す。B F J の耐力は、集成材の引張り破壊等の母材部分の破断により決まる P_{om} と、接着剝離等の接着部分の破断により決まる P_{oj} のうち、小さい方の値で与えられる。

ここで P_{om} は、木質構造設計規準によるベイマツの長期許容応力度の 3 倍を曲げ強度として求めた曲げ耐力であり、B F J 試験体の場合、断面欠損を考慮した断面係数を用いて算出した。表中には寸法調整係数（本試験体の場合、0.94）を乗じた値を併せて示した。

一方、B F J 接着部耐力 P_{oj} は、接着面傾斜角をパラメーターとしたベイマツ接着試験体を用いた引張り接着強度試験の結果¹⁾をもとに算出した。この実験では、レゾルシノール樹脂接着剤を用いた場合、傾斜角の違いにかかわらず引張り方向の強度として単位接着面積当たり 50kgf/cm^2 の強度下限値が得られ、しかもほぼ一定であることが確認されている。 P_{oj} 算出の際、加工精度の違いや、母材の節や割れなどの欠点によって生じると予想される接着部強度低下を 20% 見込み、低減率として 0.8 を強度に乗じた。

表中、備考欄に破壊性状を簡単に示したが、B F J 試験体の破壊性状はいずれの試験体もほぼ同じで、引張り側の接着面が破断して破壊に至っており、加工精度の劣るタイプ E 試験体を除き、耐力は計算値におおむね近い値となっている。

表2 最大荷重実験値と計算値との比較

試験体	最大荷重 実験値 P_{max} (tf)	最大荷重計算値 ^{*1}		$\frac{P_{max}}{P_{om}}$	$\frac{P_{max}}{P_{oj}}$	備 考
		母材 P_{om} ^{*2} (tf)	接着部 P_{oj} (tf)			
A-1	18.5	23.3 (21.9)	-	0.79 (0.84)	-	ラミナF.J.破断
A-2	23.1	23.3 (21.9)	-	0.99 (1.05)	-	ラミナF.J.破断
A-3	18.8	23.3 (21.9)	-	0.81 (0.86)	-	ラミナF.J.破断
平均	20.1			0.86 (0.92)		
B1-1	16.5	18.8 (17.6)	14.0	0.88 (0.94)	1.18	B F J 破断
B1-2	15.4	18.8 (17.6)	14.0	0.82 (0.88)	1.10	ラミナF.J.破断→B F J 破断
B1-3	12.2	18.8 (17.6)	14.0	0.65 (0.69)	0.87	下端より20cm位置に水平ひび割れ発生→ B F J 破断
平均	14.7			0.78 (0.84)	1.05	
B2-1	15.5	18.8 (17.6)	14.0	0.82 (0.88)	1.11	B F J 破断
B2-2	15.9	18.8 (17.6)	14.0	0.85 (0.90)	1.14	B F J 破断
平均	15.7			0.84 (0.89)	1.13	
C1-1	11.1	20.4 (19.2)	15.2	0.54 (0.58)	0.73	B F J 破断(最外部接着面すき間あり)
C1-2	14.9	20.4 (19.2)	15.2	0.73 (0.78)	0.98	ラミナF.J.破断→B F J 破断
C1-3	(データなし)					試験機故障により試験体破損
平均	13.0			0.64 (0.68)	0.86	
C2-1	11.3	20.4 (19.2)	15.2	0.55 (0.59)	0.74	下端より15cm位置に水平ひび割れ発生→ B F J 破断
C2-2	17.7	20.4 (19.2)	15.2	0.87 (0.92)	1.16	ラミナF.J.破断→B F J 破断
平均	14.5			0.71 (0.76)	0.95	
D1-1	22.6	21.4 (20.1)	15.9	1.06 (1.12)	1.42	B F J 破断
D1-2	15.5	21.4 (20.1)	15.9	0.72 (0.77)	0.97	B F J 破断
D1-3	14.4	21.4 (20.1)	15.9	0.67 (0.72)	0.91	ラミナF.J.破断→B F J 破断
平均	17.5			0.82 (0.87)	1.10	
D2-1	12.9	21.4 (20.1)	15.9	0.60 (0.64)	0.81	B F J 破断
D2-2	17.5	21.4 (20.1)	15.9	0.82 (0.87)	1.10	B F J 破断
平均	15.2			0.71 (0.76)	0.96	
E-1	13.5	22.3 (20.9)	16.6	0.61 (0.65)	0.81	B F J 破断(最外部接着面すき間あり)
E-2	11.3	22.3 (20.9)	16.6	0.51 (0.54)	0.68	B F J 破断
E-3	11.5	22.3 (20.9)	16.6	0.52 (0.55)	0.69	B F J 破断(最外部接着面に欠膠部分あり)
平均	12.1			0.55 (0.58)	0.73	

*1 Aタイプの試験体では全断面による断面係数を、B～Eタイプの試験体ではB F J先端の断面欠損を考慮した断面係数を用いた。

*2 ()内は寸法調整係数(本実験の場合、0.94)を乗じた値。

3.2 最大曲げ応力度 及び 最大せん断応力度

表 3 に各試験体の最大荷重時の最大曲げ応力度と、最大せん断応力度を示す。B F J 試験体については、全断面による断面係数を用いてそれぞれの最大応力度を求めた。

表 3 最大曲げ応力度及び最大せん断応力度 並びに 最大荷重時の変位一覽

試験体	最大荷重 P_{max} (tf)	最大曲げ 応力度* ¹ σ_{bmax} (kgf/cm ²)	最大せん断 応力度* ¹ τ_{max} (kgf/cm ²)	最大荷重 P_{max} 時の変位 δ (試験体中央のたわみ)	
				実測値 (mm)	計算値* ²
A -1	18.5	345.3	19.3	50	45
A -2	23.1	431.1	24.1	71	56
A -3	18.8	350.9	19.6	55	47
平均		375.8	21.0		
B 1 -1	16.5	307.9	17.2	47	44
B 1 -2	15.4	287.4	16.0	43	40
B 1 -3	12.2	227.7	12.7	34	33
B 2 -1	15.5	289.3	16.1	41	40
B 2 -2	15.9	296.7	16.6	43	42
平均		281.8	15.7		
C 1 -1	11.1	207.2	11.6	30	29
C 1 -2	14.9	278.1	15.5	39	38
C 1 -3	(τ^* -タなし)	(τ^* -タなし)	(τ^* -タなし)		
C 2 -1	11.3	210.9	11.8	32	29
C 2 -2	17.7	330.3	18.4	47	47
平均		256.6	14.3		
D 1 -1	22.6	421.8	23.5	65	57
D 1 -2	15.5	289.3	16.1	44	41
D 1 -3	14.4	268.8	15.0	39	37
D 2 -1	12.9	240.8	13.4	34	33
D 2 -2	17.5	326.6	18.2	47	45
平均		309.5	17.2		
E 1 -1	13.5	252.0	14.1	36	35
E 1 -2	11.3	210.9	11.8	31	28
E 1 -3	11.5	214.6	12.0	33	30
平均		225.8	12.6		

*¹ $\sigma_{bmax} = P_{max} \times Q_s / (2Z)$
 $\tau_{max} = 1.5 \times P_{max} / (2A)$
 $Q_s = 215 \text{ cm} \quad Z = 5760 \text{ cm}^3 \quad A = 720 \text{ cm}^2$

*² ラミナのヤング係数の平均値を試験体のヤング係数として計算した荷重-変位関係から求めた値。(計算の際、せん断変形も求め、曲げ変形に加えている) 実測値とともに、報告書原本²⁾の「荷重-変位関係」図から読みとった。

3.3 荷重-変位関係

各試験体の最大荷重時の変位(試験体中央のたわみ)を表 3 に併せて示した。個々の試験体の作製に使用したラミナのヤング係数の平均値を求め、これを試験体のヤング係数と

して計算（計算の際、せん断変形も求め、曲げ変形に加えている。）した荷重－変位関係から求めた値（計算値）と比較すると、通直材のタイプA試験体が計算値よりたわみがやや大きいことを除き、実験結果は計算値にほぼ近いことが分かる。

4. まとめ

第6章の実験では、実大試験体を用いてBFJの曲げ耐力を調べ、ほぼ母材に近い曲げ耐力が得られることを確認した。本章では前章に続いて実施した曲げ破壊実験（試験体数20）の結果をもとに、BFJの強度評価手法の策定を試みた。

本章では、BFJの曲げ耐力は集成材引張り破壊等の母材部分の破断により決まる P_{om} と、接着面剝離等の接着部分の破断により決まる P_{oj} のうち、小さい方の値で与えられるとした。ここで P_{om} は、木質構造設計規準によるベイマツの長期許容曲げ応力度の3倍を母材曲げ強度として求めた曲げ耐力に、寸法調整係数（この研究の試験体の場合、0.94）を乗じた値であり、BFJののりだめ部分の断面欠損を考慮した断面係数を用いて算出した。一方、BFJ接着部耐力 P_{oj} は、接着面傾斜角をパラメータとしたベイマツ接着試験体を用いた引張り接着強度試験¹⁾の結果をもとに算出した値である。この実験では、レゾルシノール樹脂接着剤を用いた場合、接着面傾斜角の違いにかかわらず引張り方向の強度として単位接着面積当たり50kgfの強度下限値が得られ、しかもほぼ一定であることが確認されている。 P_{oj} 算出の際、施工方法の違いや、母材の節や割れなどの欠点により生じると予想される接着部強度低下を20%見込み、強度低減率として0.8を強度に乗じることとした。

試験体の破壊状況はいずれの試験体もほぼ同様で、引張り側の接着面が破断して破壊に至っており、BFJ形状が最も大きく、帯鋸を用いたために加工精度が劣るタイプE試験体を除き、曲げ耐力は計算値にほぼ近い値（対計算値比で0.92～1.08）となることが分かった。

以上、本章の実験により、BFJ作製の際、丸鋸を使用すること等によって加工精度をある程度確保できれば、本研究で試みた評価手法によりBFJの強度算定が可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 木村・渡辺 ほか：「集成材の継手に関する研究」（その1：接着強度について）
昭和63年度 日本建築学会大会梗概集
- 2) （財）日本住宅・木材技術センター：木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書 3
「現場接着による集成材梁継手の開発報告書」（平成4年3月）

第8章 ビッグフィンガージョイントを有する集成梁の曲げ耐力

— ラミナの引張強度に基づいた試算 —

はじめに

ビッグフィンガージョイント(以下BFJと記す)は、大断面構造用集成材を建設現場で接着し、強度性能の安定した、審美性の高い継手を実現することを可能にさせる工法である。この場合、ビッグフィンガー(B.F.)は比較的厚みのある丸鋸で加工される場合が多い。このためBFJの先端には鋸の厚みに起因する公称5mm幅(厚)のバットジョイントが規則的に出現し、これが応力集中源となって集成材の曲げ耐力を低減させる懸念がある。従って、BFJで現場接合された大断面集成材の曲げ許容耐力は、この耐力低減を定量的に考慮に入れた算定式によって評価する必要がある。

大断面集成材の曲げ耐力はラミナの引張強度及び曲げ強度とその断面内配置から力学計算によって推定し得るものであるが、例えばラミナにバットジョイントのような欠点が含まれていても、欠点を含むラミナの引張強度分布が実験的に十分把握されておれば、同様に大断面集成材の曲げ耐力の推定は可能である。

そこで本章では、BFJで接着された大断面集成材から積層接着層に沿って再度ラミナを切り出し、引張強度試験を行ってバットジョイントを含むラミナの強度を求め、BFJ接合によって大断面集成材を現場接着する場合のラミナの引張許容応力度を、バットジョイントによる耐力低減を考慮に入れた形で誘導した。最終的にバットジョイントを含むラミナから構成される大断面集成材梁の許容曲げ耐力を計算する手順を示し、既往の実大BFJ継手試験の結果との比較を通じて計算法の妥当性を検証した。

1. ラミナの引張試験

1.1 短尺集成材の製造

表1に示す7種類の仕様で、ベイマツ集成材JAS1級(「構造用大断面集成材の日本農林規格(JAS)」(昭和61年12月25日農林水産省告示第2054号のベイマツ1級)をBFJによって現場接着し、長さ2mの短尺集成材を製作した。

1.2 ラミナの引張試験

1.2.1 有効接着面積当たりの引張強度

図1に示した4種のBFJ仕様で接合された集成材(長さ2m、断面150mm×480mm)から、接着層に沿って元のラミナとほぼ同じ厚さの引張試験体(仕上がり厚さ:18mm)を採取した。すると、試験体の側面には図2に示す5種類のいずれかのバットジョイントのパターンが出現した。

引張試験の結果、引張強度は当然このバットジョイントの形状に左右される。一般的にはバットジョイントの先端(幅: t)が1本の試験体中に多く出現するほど引張強度は低下し、その影響を厳密に評価するには、破壊力学によって実験結果を解析すべきである。し

かしここでは、実務計算を考慮して、このバットジョイントのパターンに左右されず、接着層の真の強度を普遍的に評価できる指標として、(1)式で定義されるバットジョイント部の面積を差し引いた「有効接着面積当たりの強度 σ_e 」に着目し、これによって接着ラミナの強度を評価した。

表1 B F Jで接着された短尺集成材の仕様

B F J のタイプ	F J 幅 p (mm)	F J 長さ l (mm)	圧縮方法	F J 加工法	試験体数	共通事項
B 1 B 2	25 25	60 60	ジャッキ ボルト	丸鋸 丸鋸	1 1	フィンガー底部の幅 (t) = 5mm (公称値) スカーフ傾斜角 (θ) = 1:8 現場接着圧縮圧: 10kgf/cm ² 接着剤: エポキシ樹脂接着剤
C 1 C 2	40 40	120 120	ジャッキ ボルト	丸鋸 丸鋸	2 2	
D 1 D 2	60 60	200 200	ジャッキ ボルト	丸鋸 丸鋸	2 2	
E	130	480	ジャッキ	帯鋸	2	

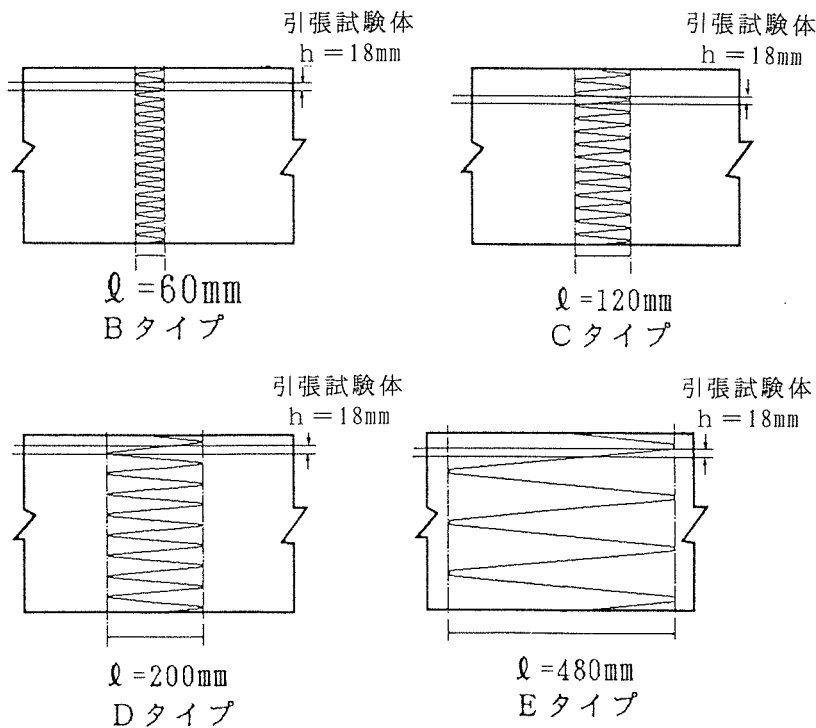
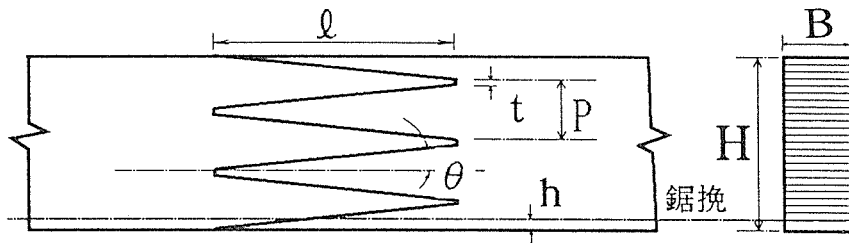


図1 4種のビッグフィンガージョイント仕様

$$\sigma_g = P_{\max} \cdot \sin \theta / \{ A_o (1 - \Sigma t_i / h) \} \quad (1)$$

ただし、

P_{\max} : 最大引張荷重 (kgf)

A_o : 引張試験体の公称断面積 ($B \cdot h$)

Σt_i : 厚さ h の試験体中に含まれるバットジョイントの総長さ

h : B F J パターン出現面の材厚 (図 2 参照)

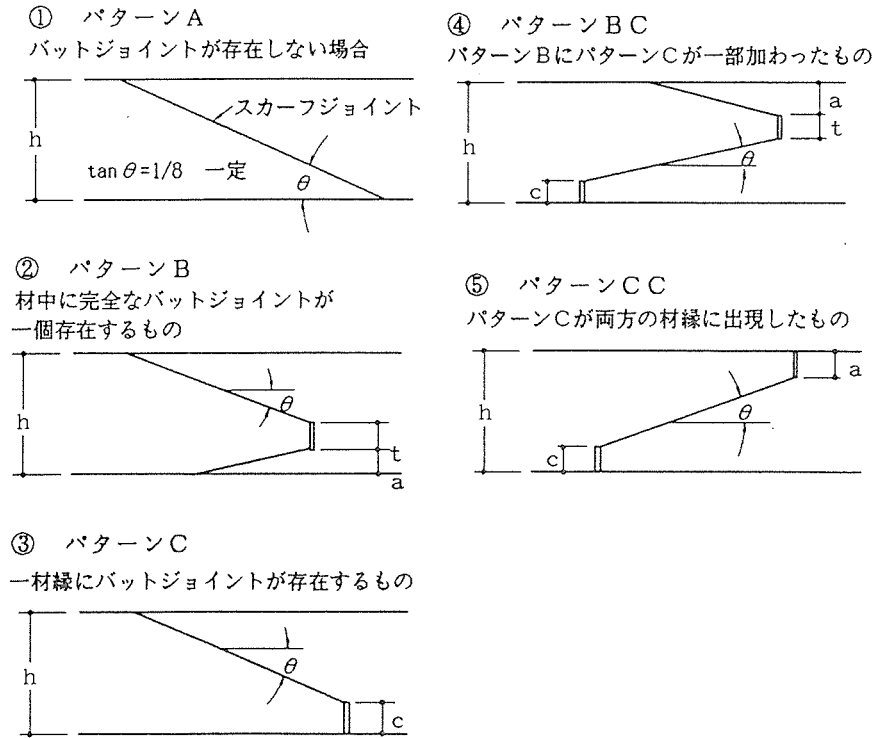


図 2 引張試験体中出现するバットジョイントのパターンとその定義

1.2.2 引張試験法

図 3 に示す方法で、最大容量 40tf の引張保証荷重試験装置を用いて、ラミナの引張試験を行った。バットジョイントによる局所的な剛性の低下を調べるために、すべての試験体の B F J 部に、ゲージ長 12cm の高精度伸び計を試験体の両面に取り付け、静的単調増加型の引張力と伸びの関係をデータロガーに収録した。

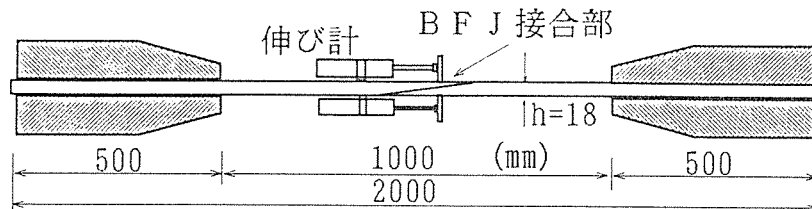


図 3 引張試験体と引張試験方法

1.3 引張試験の結果

1.3.1 引張応力(σ)－ひずみ(ϵ)関係

図4-a～図4-gに7種類のブロック別(表1のBFJのタイプ別)の σ - ϵ 関係図を示す。

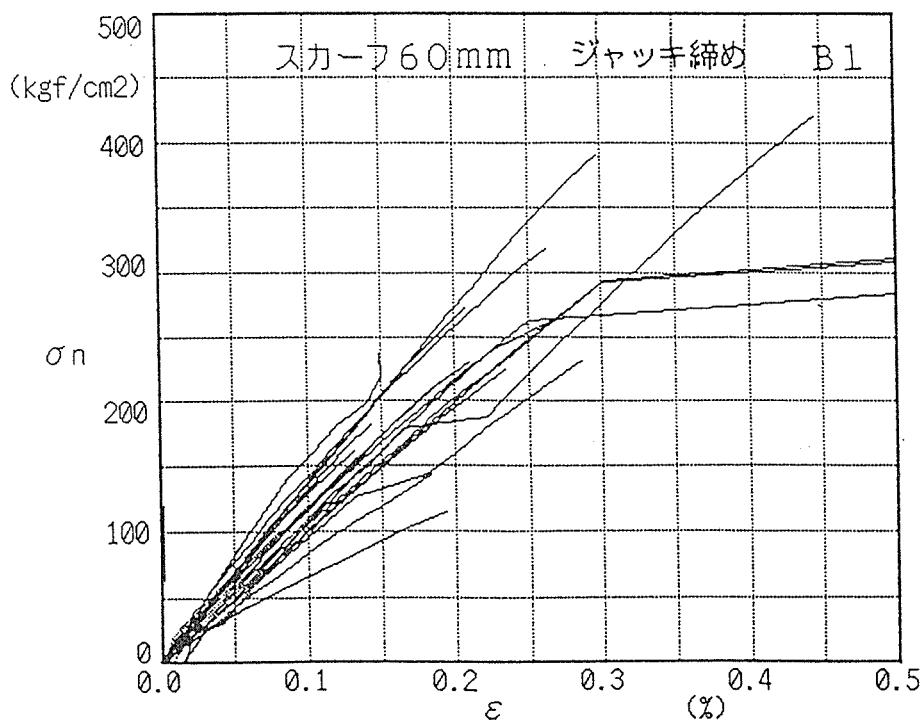


図4-a ブロックB1から採材したラミナの応力(σ)－ひずみ(ϵ)関係

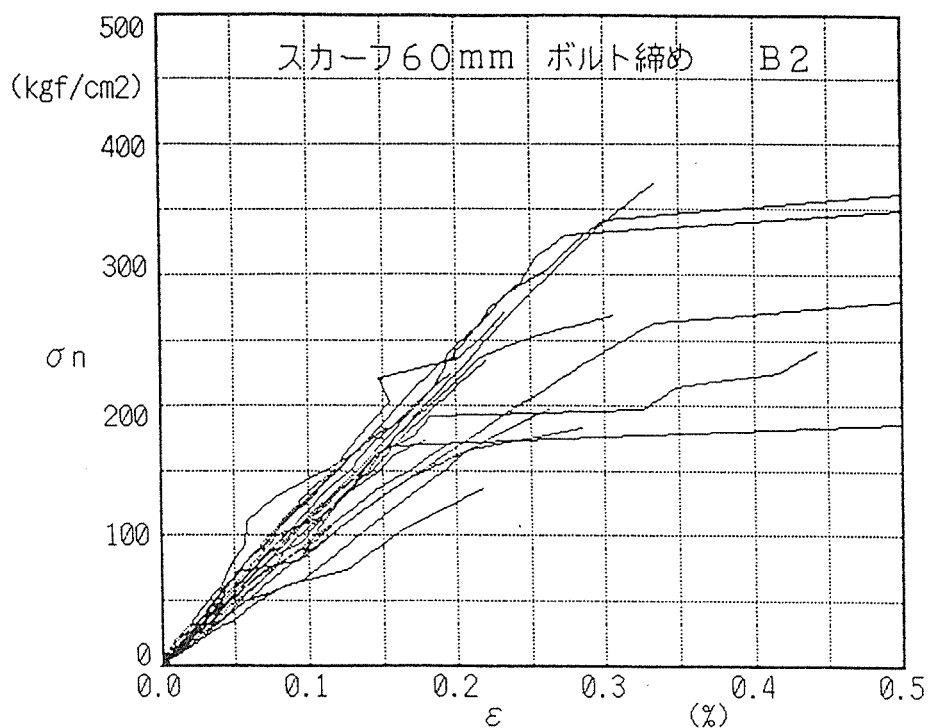


図4-b ブロックB2から採材したラミナの応力(σ)－ひずみ(ϵ)関係

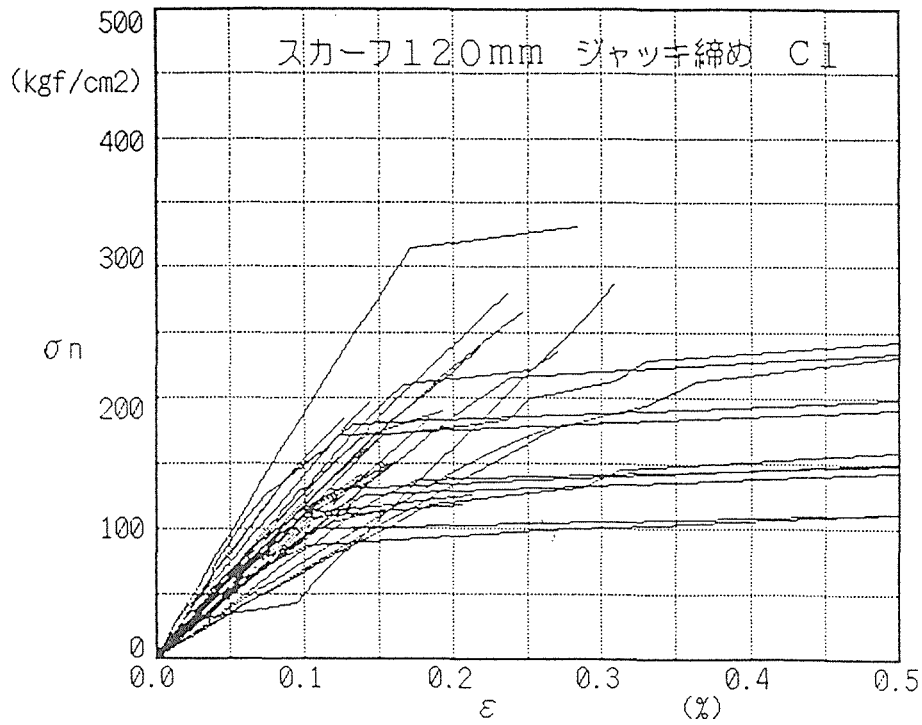


図4-c ブロックC1から採材したラミナの応力(σ)—ひずみ(ε)関係

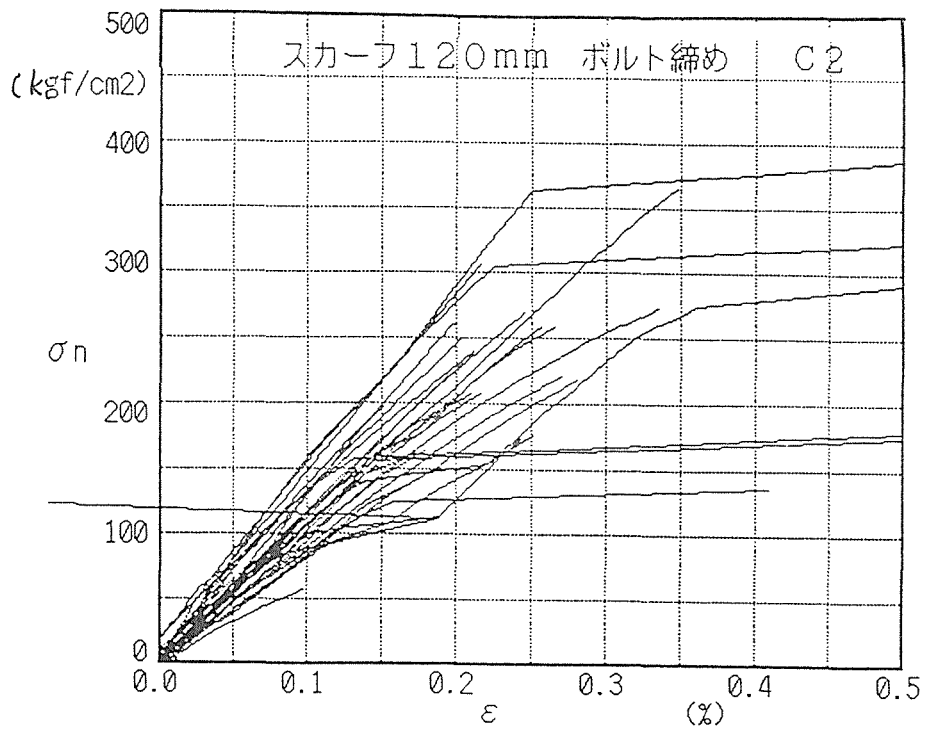


図4-d ブロックC2から採材したラミナの応力(σ)—ひずみ(ε)関係

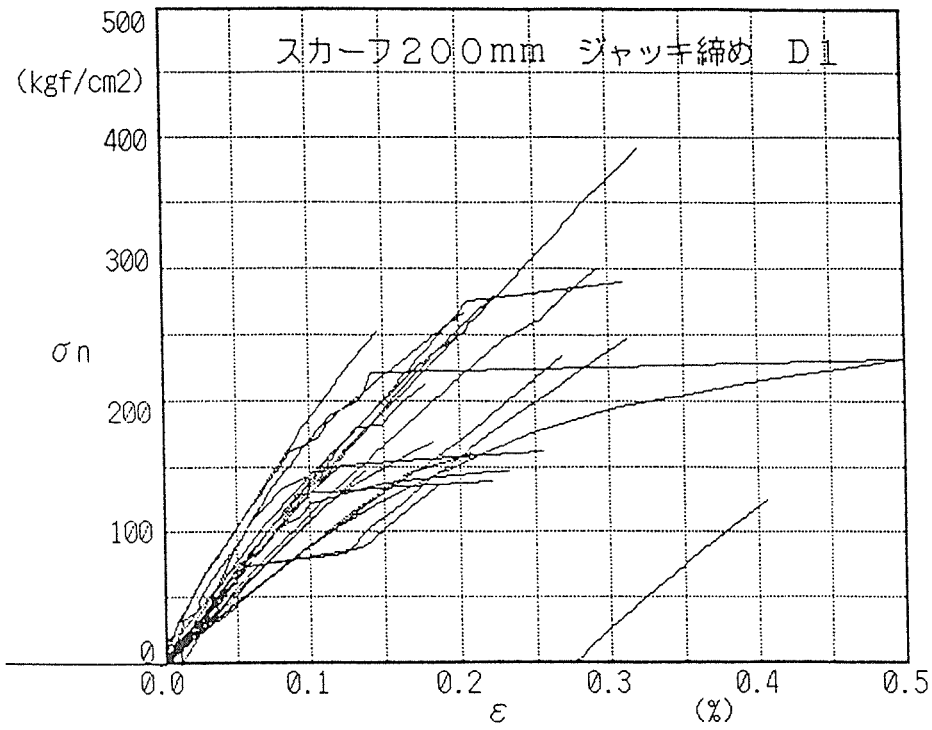


図4-e ブロックD1から採材したラミナの応力(σ)－ひずみ(ϵ)関係

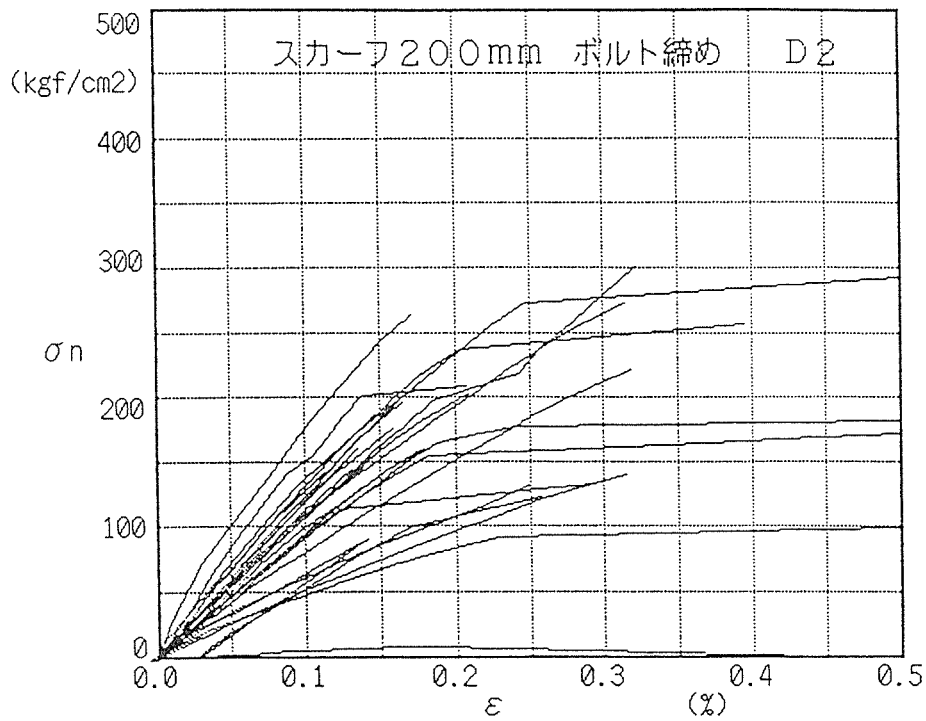


図4-f ブロックD2から採材したラミナの応力(σ)－ひずみ(ϵ)関係

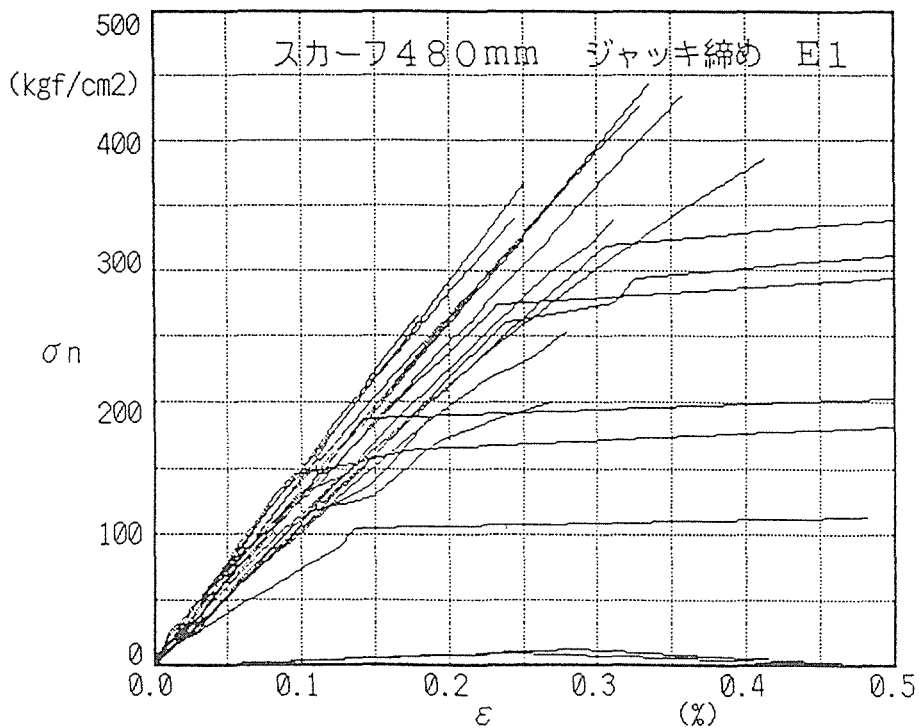


図4-g ブロックEから採材したラミナの応力(σ)—ひずみ(ε)関係

1.3.2 引張試験結果の統計処理

図5にB F J仕様別の引張強度 σ_s の平均値と標準偏差の範囲を示す。バットジョイントの出現確率の高い仕様-B ($\varnothing = 60\text{mm}$)で σ_s はやや過大評価気味であるが、他の仕様ではスカーフ長さや圧縮方法にかかわり無くおおむね一定であると見なすことができる。なお、仕様-Bで σ_s がやや過大評価気味であった理由は、バットジョイントの先端幅 t_i を0.5mmきざみの物差しで測定したため、切り上げ誤差が集積して、(1)式の中の $\sum t_i$ が過大評価され、逆に有効接着面積が過小評価となったためと考えられる。

他方、バットジョイントの出現頻度の少なかった他の仕様ではこの測定誤差が少なかったため、 σ_s の値はB F Jの仕様に関係なく、ほぼ一定値になったと考えられる。

仕様-Bの σ_s が、上述の理由から実際よりやや過大評価であったと考えれば、有効接着面積当たりの強度 σ_s はB F Jの仕様に関係なくほぼ一定の値を取ると見なすことができ、強度特性値はB F Jの仕様に関係なく全データを込みにして決定することが妥当であると考えられる。

図6はB F Jの仕様に関係なく、すべてのデータを込みにして σ_s の分布形と特性値を示したものであり、また図7は圧縮法を区別せず、B F Jの仕様別に集計した「有効接着面積当たりの引張強度 σ_s 」のヒストグラムと特性値を示したものである。これらのヒストグラムを見ると、 σ_s の分布形は正規分布とは言い難く、下限5%値等の特性値は「ノンパラメトリックな順位法」によって評価するのが妥当であることが分かる。

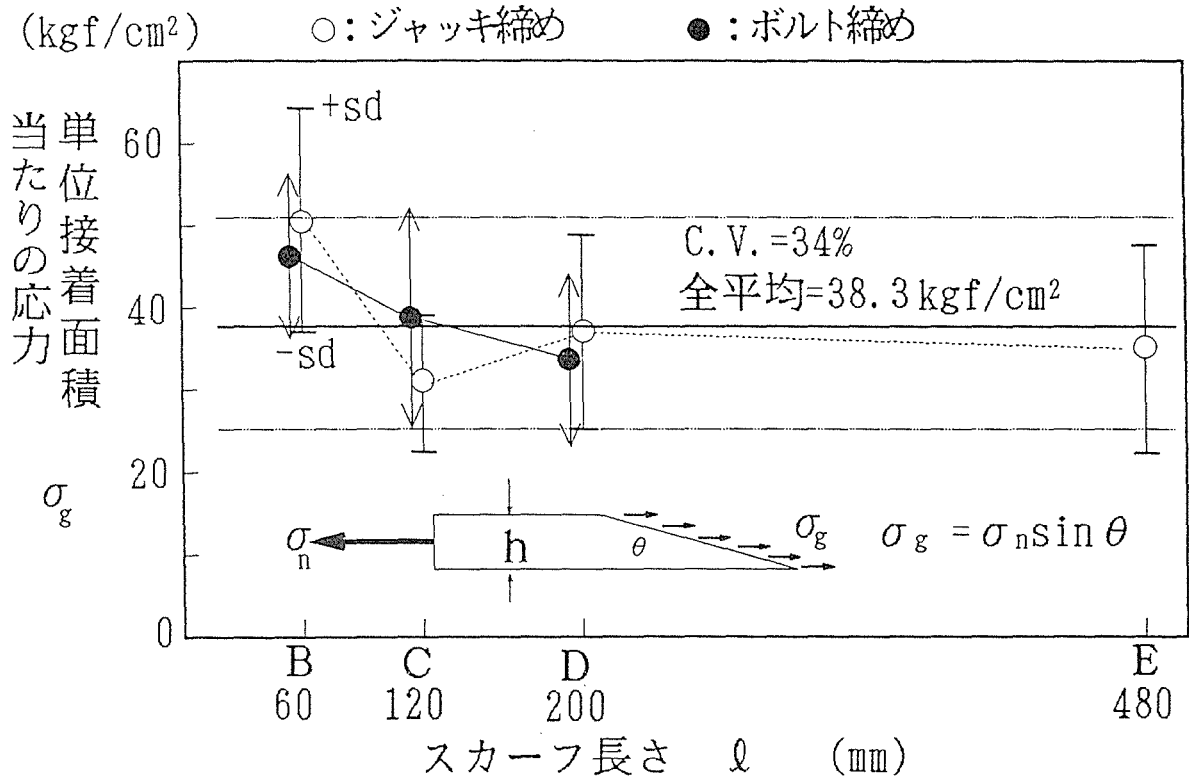


図5 BFJ仕様と σ_g の関係

以上、今回のBFJを有するベイマツ集成材から採材したラミナ（有効試験体数：178）の引張試験結果から、BFJラミナの有効接着面積当たりの引張強度 σ_g として、平均値：38.3kgf/cm²、標準偏差：13.1kgf/cm²、下限5%値：20kgf/cm²という統計値が得られた。次項においてはこれらの統計値に基づいて、BFJで現場接着された大断面集成材の曲げ耐力の推定法について述べる。

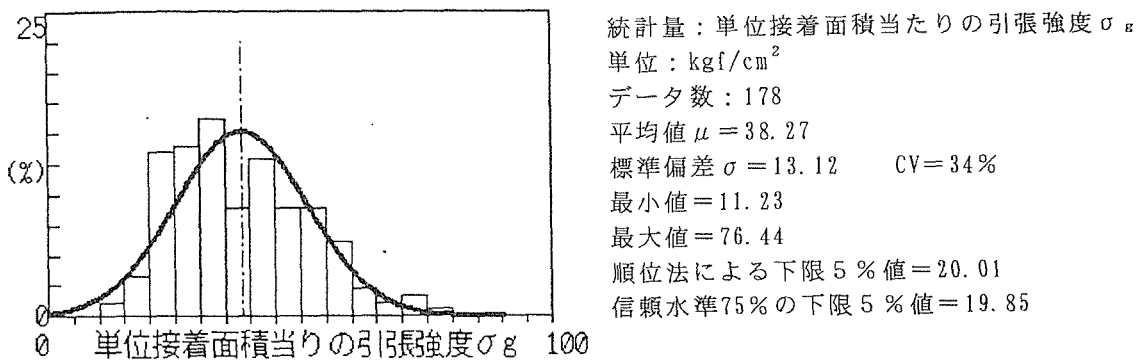


図6 全データ込みの σ_g 分布

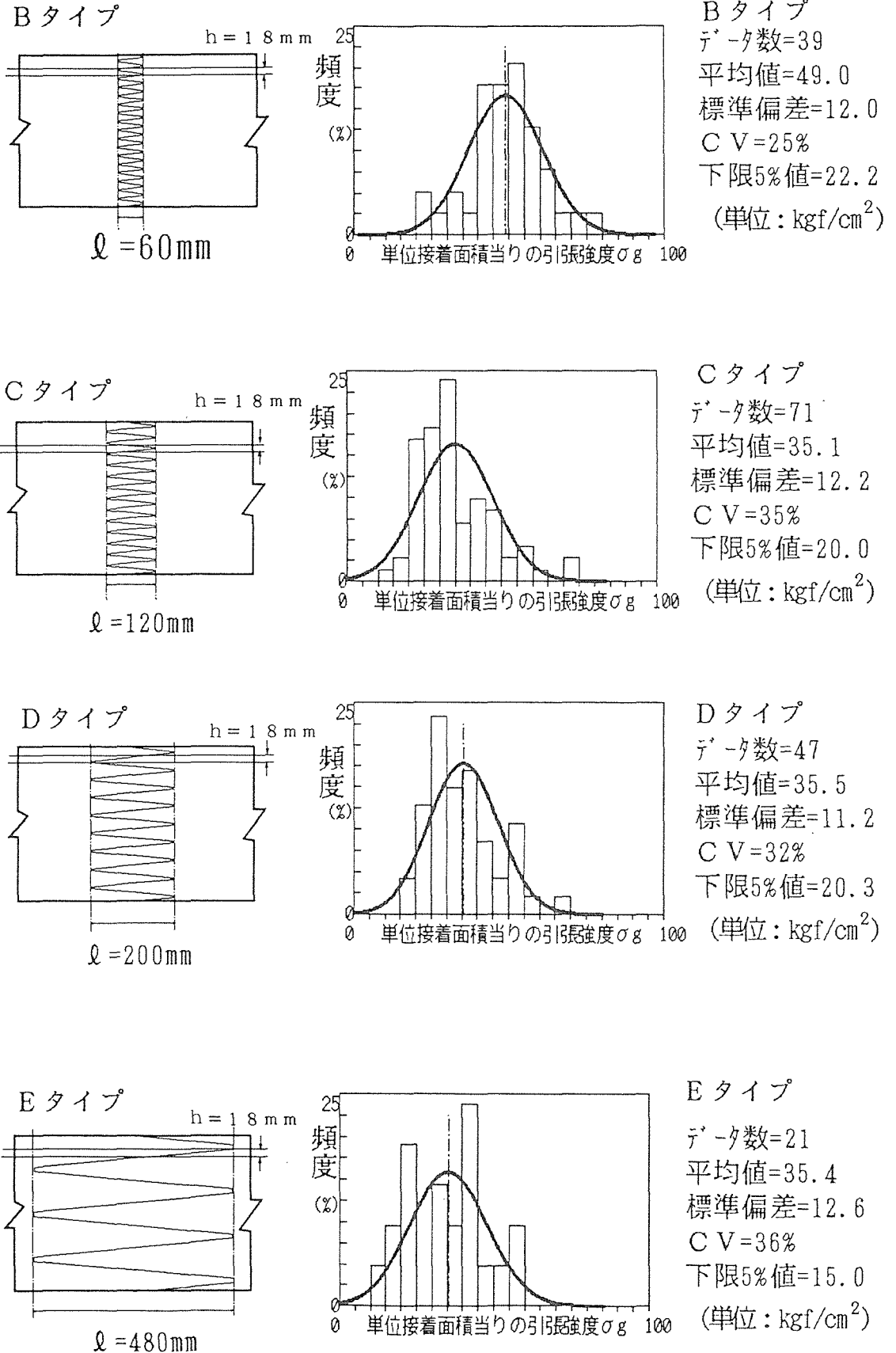


図7 B F J の σ_g の分布形の比較

2. B F Jで現場接着された集成材梁の曲げ耐力

B F Jで現場接着された大断面集成材の最大モーメント M_{max} を次式で算出することを提案する。

$$M_{max} = Z_e \cdot \sigma_g / \sin \theta \quad (2)$$

ただし、

Z_e : B F J 接合された集成材の有効断面係数

$$Z_e = (I_o - \sum I_{BJ}) \times (2/H) \quad (\text{BJはバットジョイントの意味})$$

I_o : 集成材の見かけの断面2次モーメント

$$I_o = BH^3/12$$

$\sum I_{BJ}$: 集成材の中立軸に関する各バットジョイントの断面2次モーメントの和

$$\sum I_{BJ} = \sum_{i=1}^{j_{BJ}} \{ g_i^2 t B + B t^3/12 \}$$

g_i : 集成材の中立軸から i 番目のバットジョイントの中心線までの距離

$$g_i = H/2 - \{ i \ell \tan \theta + (2i-1)t/2 \}$$

σ_g : 有効接着面積当たりの引張強度

θ : B F J のスカーフ傾斜角

t : バットジョイント先端の幅 (公称5mm)

B : 集成材の幅

H : 集成材のせい

ℓ : スカーフ長さ

p : スカーフピッチ

(各部詳細は表1の付図、及び図8を参照)

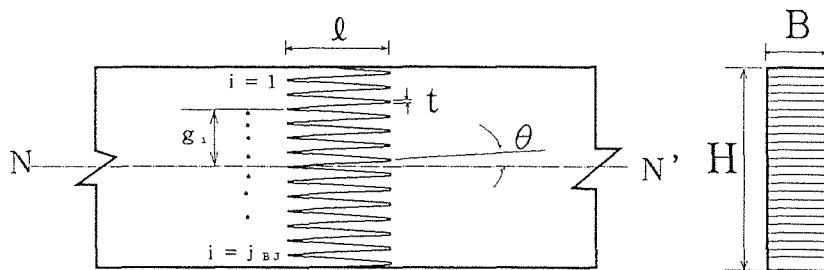


図8 B F Jを有する集成材の有効断面係数 Z_e を計算するための参考図

3. 実大集成材梁の実験結果との対比

B F J ラミナの引張試験で得られた「有効接着面積当たりの強度 σ_g 」を(2)式に代入して予測される実大集成材梁(図9参照)の計算最大荷重 P_{cal} と第7章の実験値 P_{obs} (試験体数は各3体、詳しくは第7章参照)との対比を表2に示す。

計算予測と実験値との適合度は P_{cal}/P_{obs} (平均値同士) $=0.88\sim 1.33$ となった。材料のばらつきを考慮すれば、ラミナの引張試験のデータからでもある程度の耐力予測は可能であることが分かる。

表 2 実大 B F J 梁の実験値と計算予測値との対比

B F J 仕様				計算予測 ③					実験値			比 $\frac{P_{cal}}{P_{obs}}$
タイプ	\varnothing (mm)	p (mm)	j_{BFJ} ①	Z_e ② (cm^3)	Z_e/Z_o 有効率 ②	P_{cal} (tf)			P_{obs} (tf)			
						(平均-sd)	平均	(平均+sd)	最小	平均	最大	
B	60	25	19	4662	0.81	9.2	13.4	17.6	12.2	15.1	16.5	0.88
C	120	40	12	5107	0.89	10.1	14.7	19.3	11.1	13.8	17.7	1.06
D	200	60	8	5353	0.93	10.6	15.4	20.2	12.9	16.6	22.6	0.92
E	480	130	4	5615	0.97	11.1	16.1	21.2	11.3	12.1	13.5	1.33

①：集成材接合断面に存在するバットジョイントの数(片側一列について)

②：有効断面係数 $Z_e = (I_o - \sum I_{BFJ}) \times (2/H)$ $Z_o = BH^2/6$
 B：集成材の幅(公称 150mm)
 H：集成材のせい(公称 480mm)
 I_o ：集成材の見かけの断面 2 次モーメント $I_o = BH^3/12$
 t：バットジョイント先端の幅(公称 5mm)

③： $P_{cal} = 2M_{cal}/L_s$
 L_s ：せん断半スパン(公称 2,150mm)
 M_{cal} ：(2)式による

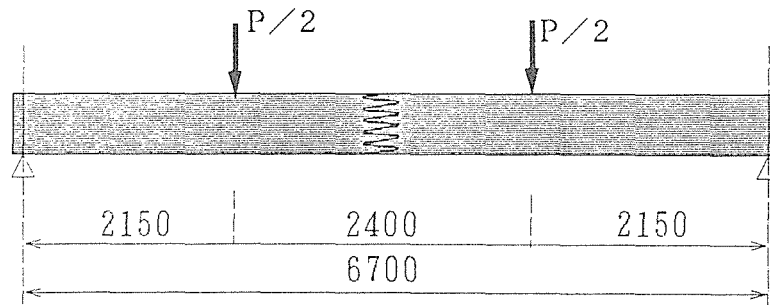


図 9 実大集成材梁(実験は第 7 章)参考図

4. 結論

すべてのデータ(n=178)込みで、順位法により σ_g の下限 5% 値を求めると、次の結果が得られた。

$$\sigma_{g-0.05} = 20 \text{ kgf/cm}^2 \tag{3}$$

長期許容応力度は下限 5% 値の 1/3 であると仮定すれば、

$$L f_g = 20/3 \approx 7 \text{ kgf/cm}^2 \tag{4}$$

これをスカーフ角度 θ の B F J で現場接着された集成材の引張側最外層ラミナの許容応力度 $L f_{t-BFJ}$ に換算すると、

$$L f_{t-BFJ} = L f_g / \sin \theta = 7 / \sin \theta \text{ (kgf/cm}^2) \tag{5}$$

$\tan \theta = 1/8$ の本実験の場合、 $L f_{t-BFJ} = 57 \text{ kgf/cm}^2$ が得られた。

以上により、この章では次のことが結論される。

ベイマツ集成材の許容応力度 σ_f は1級で105kgf/cm²であるから、強度接合効率は約0.54となる。一般に機械的接合法の強度接合効率は0.5に達しないことが多いことを考慮すれば、BFJ接合法は剛性接合効率が1.0であることと合わせて、初期剛性と審美性、防耐火性が特に要求される箇所には十分実用可能であると考えられる。

第9章 スカーフジョイントの力学特性

はじめに

スカーフジョイントにより接着接合した集成材の梁継手について曲げ試験を行い、スカーフ接着時の圧縮圧が継手の強度特性に及ぼす影響を調べ、現場接着接合工法確立のための基礎資料とする。

1. 試験体

試験体は幅150mm、せい900mmのベイマツ集成材J A S 1級（「構造用大断面集成材の日本農林規格（J A S）」（昭和61年12月25日農林水産省告示第2054号のベイマツ1級）の梁を、傾斜比1/10のスカーフジョイントにより接着接合したもの、及びこれを長さ方向に切断したもので、試験体の形状及び圧縮条件により次の種類に分類した。

試験体A：幅150mm、せい900mmで中央部をスカーフジョイントした長さ6.5mの梁を、せいが300mmになるように三つに切断したもので、各試験体の寸法は幅145mm、せい285mmを目標に仕上げ、長さは6.5mとした（図1参照）。

切断前の梁継手のスカーフ接着時の圧縮圧は、 5kgf/cm^2 、 10kgf/cm^2 及び 15kgf/cm^2 の3種類とした。試験体記号のCは切断前のスカーフジョイント試験体の中央部、L及びRはCの左右（上下）の部分を目指す。試験体記号はAの後に圧縮圧、L・C・Rの区別を連記する。

試験体B：試験体Aと同様、幅150mm、せい900mmで、中央部をスカーフジョイントした長さ6.5mの梁の両端に、図2に示すように長さ2.65mの鋼材を縦継ぎした曲げ試験体で、スカーフ接着時の平均圧縮圧は、試験体記号B05は 5kgf/cm^2 、試験体記号B10は 10kgf/cm^2 の2種類とした。試験体記号はBの後に圧縮圧を連記する。

2. 試験方法

試験体A及びBにおける試験方法を図3及び図4に示す。試験体Aでは図3に示すように3等分点に載荷し、荷重を単調に増加して破壊に至らしめた。試験体Bでは部材の長期許容応力時及び短期許容応力時に一旦除荷し、3回目の加力で破壊に至らしめた。

変位の測定位置を図5、図6に示す。

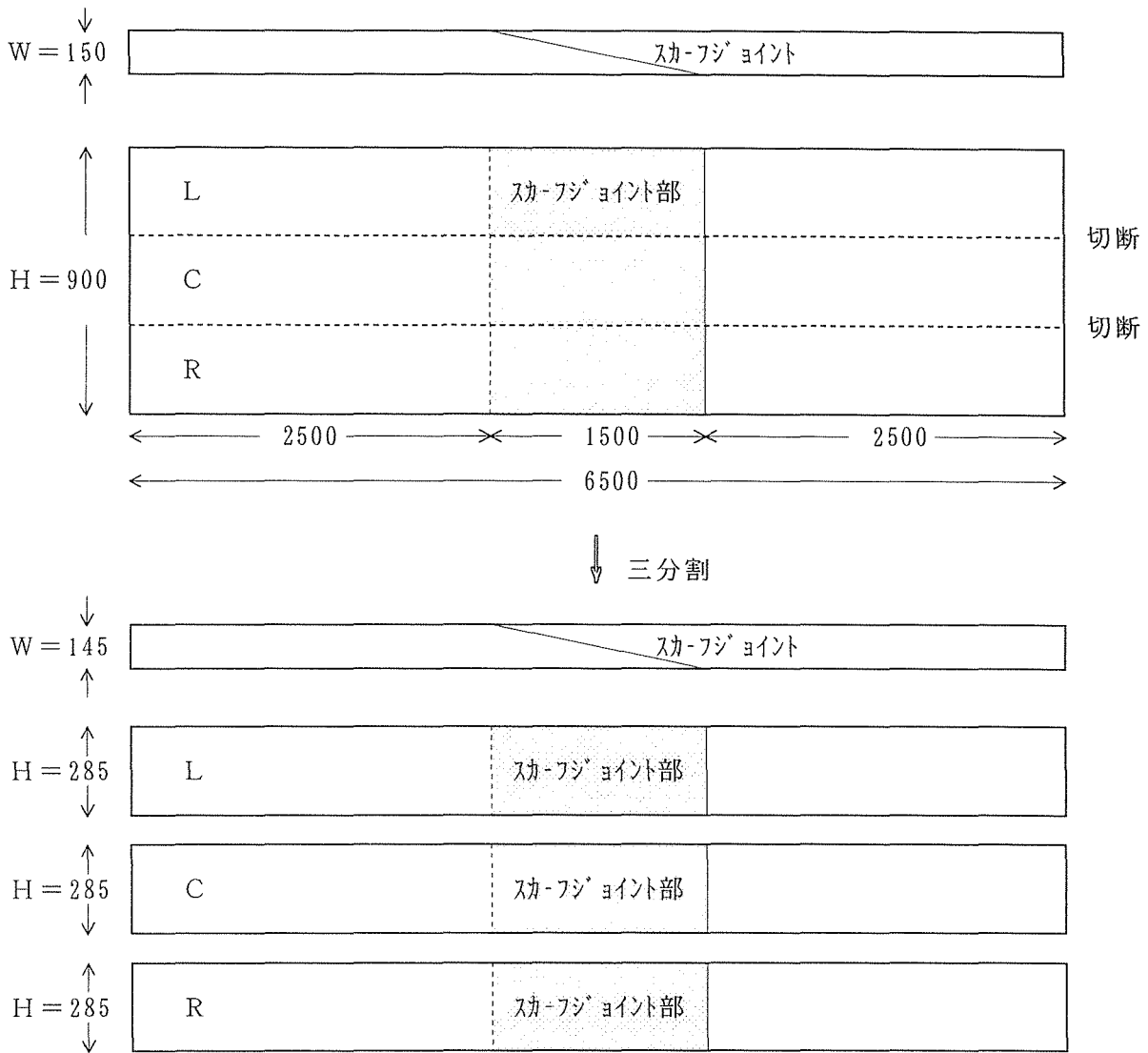


図1 試験体Aの作製手順とサイズ

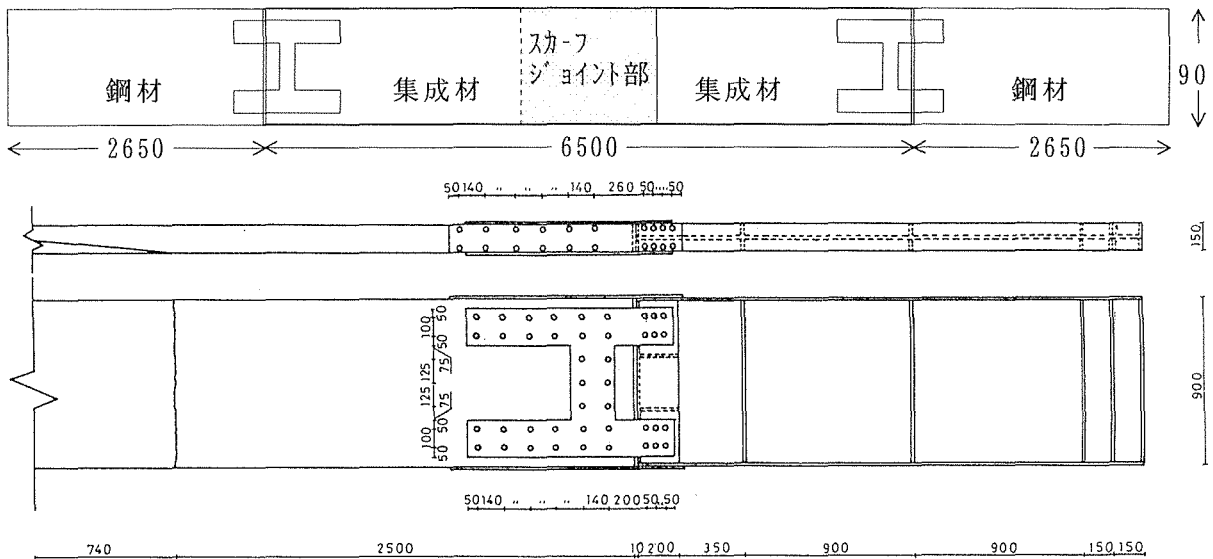


図2 試験体Bの模式図と詳細図

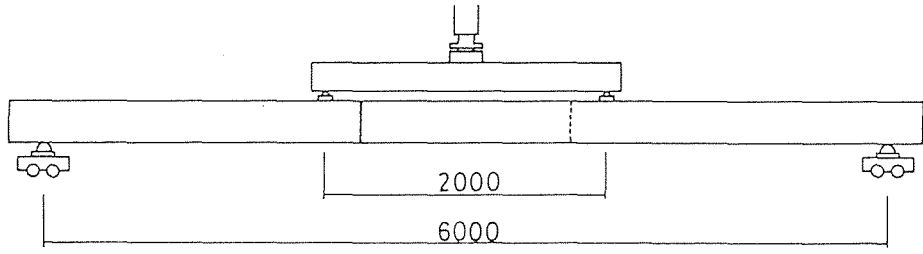


図3 試験体Aの試験方法

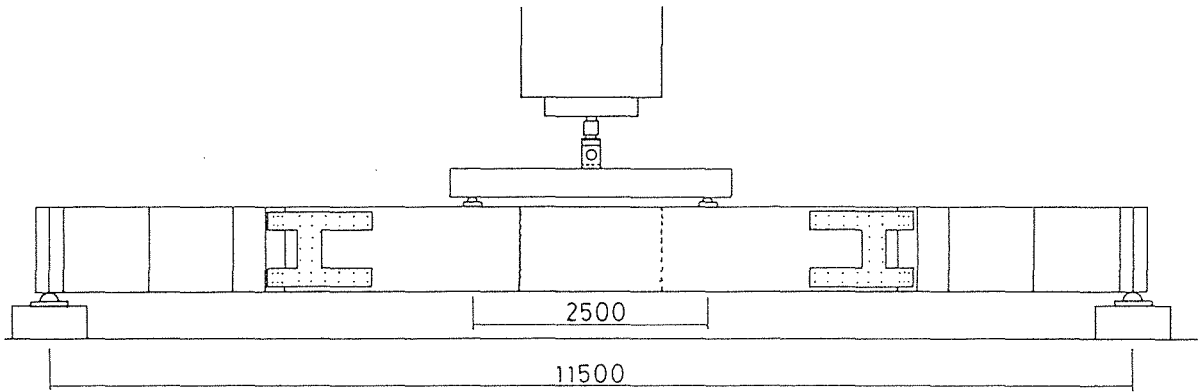


図4 試験体Bの試験方法

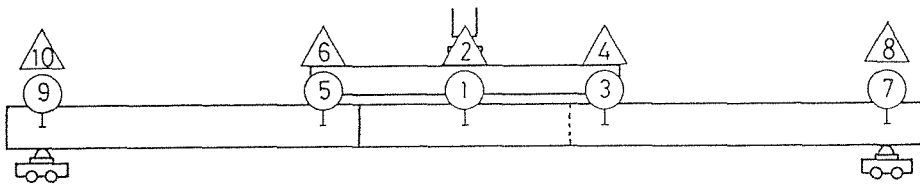


図5 試験体Aの変位測定位置

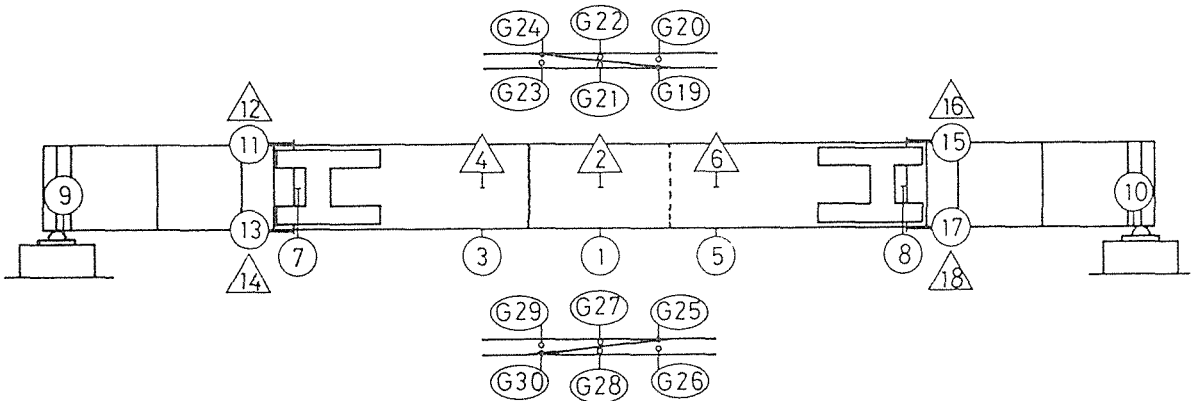


図6 試験体Bの変位測定位置

3. 実験結果

試験体A及び試験体Bにおける最大荷重、曲げ強度及び見かけの曲げヤング係数を表1に示す。ここに、試験体Aにおける見かけの曲げヤング係数は試験体の全スパンより、試験体Bにおける見かけの曲げヤング係数はスパン中央部の曲げモーメント一定区間の歪みより算出した。試験体AではA10Rを除き部材が節またはフィンガージョイントの存在により曲げ破壊した。試験体A10Rはフィンガージョイントの引張破断により破壊したが、割れが接着層に沿って走り、接着層における剥離が一部で見られた。試験体BではB05、B10ともにフィンガージョイントの引張破断がもとで破壊したが、曲げ区間全面でせん断亀裂が見られた。試験体Aにおける曲げ強度は材料強度の67~104%で、平均81%であったが、これは切断前の集成材がJAS（「構造用大断面集成材の日本農林規格」昭和61年12月25日農林水産省告示第2054号）によるひき板構成を取っているため、低い等級のひき板が引張り側に配置されたものでは曲げ強度が低下したものと考えられる。また、試験体B05及びB10における曲げ強度は、材料強度（材料強度に、曲げによる低減係数0.89を乗じたもの）の86%及び89%であった。

表1 試験結果

試験体 記号	幅 w (mm)	せい H (mm)	最大荷重 P (kgf)	曲げヤング係数 E (tf/cm ²)	曲げ強度 σ (kgf/cm ²)	強度比 $\frac{\sigma}{\sigma_a} * 1$
A 05 R	144	285	8060	120	413	0.95
A 05 C	145	285	6564	113	334	0.77
A 05 L	145	285	6608	111	337	0.77
A 10 R	145	283	6512	119	336	0.77
A 10 C	145	284	5704	113	293	0.67
A 10 L	145	284	6196	115	318	0.73
A 15 R	145	284	8804	111	452	1.04
A 15 C	145	284	6196	107	318	0.73
A 15 L	145	284	7108	114	365	0.84
B 05	150	900	30032	113	334	0.86
B 10	150	902	31006	124	343	0.89

*1 σ_a : 試験体Aの場合 $\sigma_a=435$ (材料強度)
試験体Bの場合 $\sigma_a=435 \times 0.89$ (曲げによる低減係数)

第10章 Glued Bolt による集成材の接合に関する基礎実験

はじめに

木材に孔加工を施し、それにネジボルトまたは異形鉄筋を挿入し、接着剤で固定する接合方法を、本章ではGlued Bolt（以下、グルードボルトという。）接合という。この接合方法の特徴は、構造的には初期変形が非常に小さく、初期剛性が高いことである。また、接合部は木材中に隠蔽されるために防火性やデザインの的にも優れている。デンマークやニュージーランドではすでに研究が行われ、一部ではこの工法による建築物も建てられている。わが国でも建設省のコンペで、新都市型ハウジングシステムの中で提案されているが、基礎的なデータが不足しているのが実状である。本章ではこららの基礎データを蓄積するため、グルードボルト接合の基礎実験を行った。

1. 予備実験

木材と接着剤の仲介材であるロッドの材質や形状が接合耐力に与える影響を確認するために予備実験を行った。ロッドの材質は鋼材系（普通鋼、PC鋼）と、新素材系（アラミド繊維、カーボン繊維、ガラス繊維）とし、ロッドの断面は円形とした。また、ロッドの表面の状態（平滑、凹凸：ネジ、異形）、埋め込み長さ等を対象因子とし、引張耐力試験を行った。

1.2 予備実験の試験体

1.2.1 材料

試験体の材料構成を表1に、接着剤の性質を表2に示す。ロッドの直径は異形鉄筋では有効径、全ネジボルトでは外径を、また、備考欄のAは各ロッドの断面積を示す。

1.2.2 試験体の作製

試験体は、集成材の木口断面の中央に木工用ドリルにより所定直径の孔を埋込長さだけ加工した。孔径は表1に示すように異形鉄筋は $\phi 11\text{mm}$ としたが、その他はすべて $\phi 10\text{mm}$ である。孔加工された集成材は孔を上にして並べ、表2に従って調製した接着剤を孔に流し込み、その後ロッドを挿入し、ロッドが孔の中央にくるように調整した。鋼材系のロッドは、引張治具を取り付けるため、露出部の端部にネジ加工を施した。また、アラミド繊維、カーボン繊維、ガラス繊維の新素材系はネジ加工ができないため、埋込長の2倍長のロッドを用意し、ロッドの両側を集成材に接着した。接着剤の注入は、集成材の突き合わせ部をシールして、両側の集成材にあけた先孔より接着剤を注入し、接着剤がロッド端部の確認孔より流出するのを確認した。その後室温状態で7日間放置して接着の養生を行った後、引張試験に供した。

1.3 試験方法

引張試験は、10トン油圧式材料試験機により単調増大方式で行った。変位の測定は、ロッドと集成材の相対変位を2本の変位計により測定し、X-Yレコーダーに記録した。鋼材系の片側を接着した場合の試験方法を図1に、新素材系の両側を接着した場合の試験方法を図2に示した。変位の測定は、片側接着の場合はロッドと集成材の相対変位を、両側接着の場合は両側の集成材の相対変位を測定し、その1/2をロッドと集成材の相対変位とした。

表1 試験体の構成材料

ロッド		孔径 d_n (mm)	埋込長 l (mm)	l/d	集成材	接着剤 ^{*1}	備考 ^{*2}	
種類	直径 d (mm)							
PC丸鋼	9.2	10	100	10.9	樹種： ハイマツ 断面： 100×120 縁距離： 6.25～ 5.25 比重： 0.48～ 0.53	エポキシ樹脂	A=66.48mm ²	
PC丸鋼	9.2	10	200	21.7				
PC丸鋼	9.2	10	300	32.6				
PC異形丸鋼	9.2	10	100	10.9			A=64.0mm ²	
PC異形丸鋼	9.2	10	200	21.7				
PC異形丸鋼	9.2	10	300	32.6				
磨き丸鋼	9	10	300	33.3			A=63.58mm ²	
磨き丸鋼	9	10	300	33.3			ウレタン樹脂	A=63.58mm ²
異形鉄筋	9.53	11	200	21.0			エポキシ樹脂	D10, A=71.33mm ²
全ネジボルト	9	10	300	33.3				M9×0.75 A=56.89mm ²
アラミド繊維	8	10	300	37.5		エポキシ樹脂		
カーボン繊維	8	10	300	37.5				
ガラス繊維	8	10	300	37.5				
カーボン繊維	8	10	200	25		ウレタン樹脂		

*1接着剤の性質は表2参照

*2 A: 断面積

第2表 接着剤の諸性質

接着剤	主剤	硬化剤	混合割合	初期硬化	完全硬化	可使時間
エポキシ樹脂 TE-134	エポキシ樹脂	ポリアミドアミン	10:4	24時間	7日間	30分以内
ウレタン樹脂 TU-95	ポリオール	ポリイソシアネート	3:2	24時間	7日間	10分以内

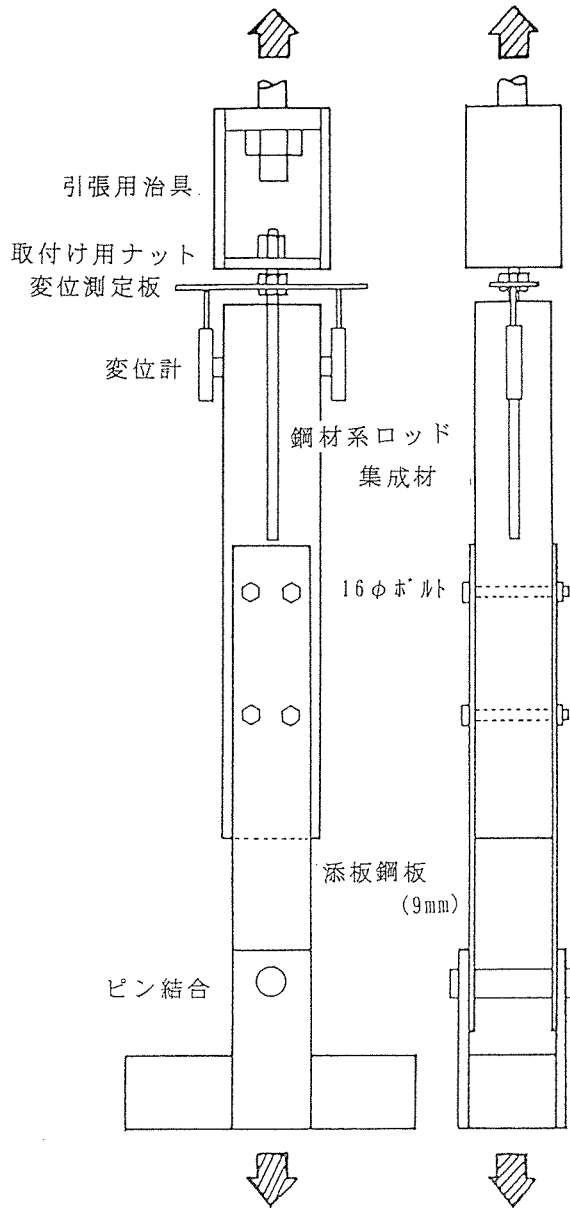


図1 引張試験方法（片引き法）
（鋼材系ロッドに適用）

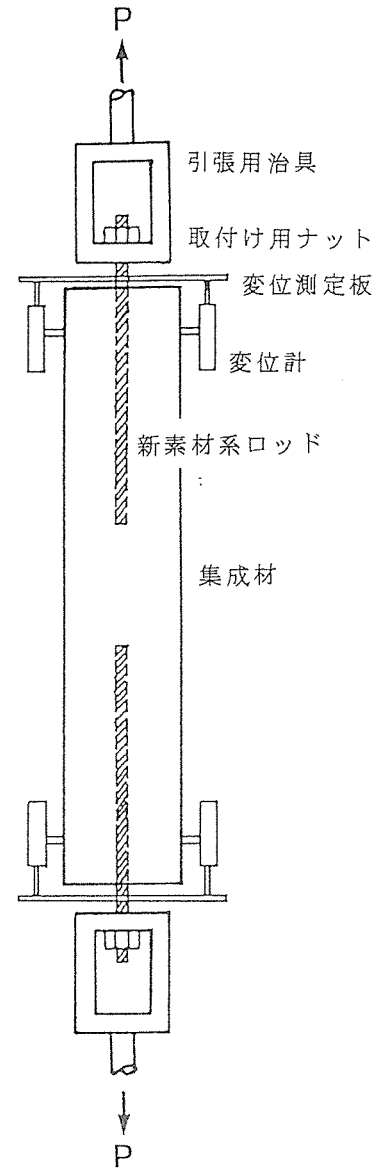


図2 引張試験方法（両引き法）
（新素材系ロッドに適用）

1.4 実験結果及び考察

実験結果を表3及び表4～6に示す。実験から確認できたことは次のとおりである。なお、以下で用いる最大強度、長さ強度、面積強度、引張応力の定義は次による。

最大強度：試験体1体当たりの最大引き抜き強度

長さ強度：最大強度を埋め込み長さで除したcm当たりの強度

面積強度：最大強度をロッドの周長面積で除した cm^2 当たりの強度

引張応力：最大強度をロッドの断面積で除した値。

1) ロッド表面の凹凸

①ロッド表面に凹凸のあるネジや異形鉄筋は、表面が平滑である丸鋼や新素材より高い引き抜き強度を示した。ただし、磨き鋼のウレタン樹脂による接着は高い強度を示したので、鋼と木材の間が十分接着していたと思われる。

②P C鋼の最大強度は、異形/丸鋼=1.22程度 ($n=9$ の平均)、ロッドに生じた引張応力も異形/丸鋼=1.27である。

2) 埋め込み長さ

P C丸鋼及びP C異形の埋め込み長さ引き抜き耐力の関係は次のとおりである。ここで、埋め込み長さは、ロッドの埋込長/直径 = l/d の比で示す。

①1体当たりの最大強度は l/d が大きくなっても大きな増加傾向を示さない。従って、長さ強度は l/d が大きくなるに従って小さくなり、 $l/d=30$ 、 $l/d=20$ の場合は $l/d=10$ の場合のおおむね1/3、1/2の引き抜き強度であり、この実験の範囲では $l/d=10$ 程度で十分である。

②P C丸鋼、P C異形鋼に生じた引張応力は、それぞれほぼ一定の値を示した。

3) 接着剤

①磨き鋼の場合、ウレタン樹脂はエポキシ樹脂より耐力が約1.7倍あり、最大荷重時の変位も約2.6倍大きく、変形能に富んでいる。

②カーボン繊維の場合、埋め込み長さが異なるが、エポキシ樹脂の方が耐力が大きく、磨き鋼とは逆の結果になった。

4) 新素材

①新素材のアラミド繊維、ガラス繊維はP C鋼に比べて最大荷重時の変位が大きい。P C鋼は、おおむね最大荷重時の変位が0.4mm以下であるのに対して、アラミド繊維では約4mm、ガラス繊維では約2mmの相対変位を示す。これは新素材の比重がP C鋼に比べて小さく、それにより剛性が低いためである。

5) 破断状況

①破断状況は、ロッドの表面が平滑なものは、新素材系、鋼材系にかかわらずロッドの引き抜きで最大強度を示した。

②それに対し、表面凹凸のあるものは最大強度が大きいいため、引張用のネジ部の破断ま

たは木部破断が認められた。ただし、PC異形鋼は溝の傾斜がロッドの軸方向に対して緩やかであるため、回転しながら抜け出した。

表3 接着接合した各種ロッドの引張試験結果総括表

試験体 記号	試験体の種類			最大* ₂ 強度 kgf/体	最大荷重 時の変位 mm	長さ* ₃ 強度 kgf/cm	面積* ₄ 強度 kgf/cm ²	引張* ₅ 応力 kgf/mm ²	
	ロッドの種類	直径 d 埋込長 ℓ	ℓ / d						接着剤
P10d	PC丸鋼	9.2 / 100	10.9	エポキシ樹脂	1717	0.23	171.7	59.4	25.8
P20d	PC丸鋼	9.2 / 200	21.7		1973	0.24	98.7	34.2	29.7
P30d	PC丸鋼	9.2 / 300	32.6		1612	0.11	53.7	18.6	24.2
PI10d	PC異形鋼	9.2 / 100	10.9	エポキシ樹脂	2147	0.31	214.7	74.3	33.5
PI20d	PC異形鋼	9.2 / 200	21.7		2110	0.32	105.5	36.5	33.0
PI30d	PC異形鋼	9.2 / 300	32.6		2207	0.30	73.6	25.5	34.5
S30d	磨き丸鋼	9 / 300	33.3	ウレタン樹脂	2087	0.38	69.6	24.6	32.8
S30dU	磨き丸鋼	9 / 300	33.3		3520	0.98	117.3	41.5	55.4
SI20d	異形鉄筋	9.5 / 200	21.0	エポキシ樹脂	2610	3.10	130.5	43.7	36.6
SB30d	全ネジボルト	9 / 300	33.3		3030	1.91	101.0	35.7	57.6
A30d* ¹	アラミド繊維	8 / 300	37.5	エポキシ樹脂	1725	4.01	57.5	22.9	34.3
C30d	カーボン繊維	8 / 300	37.5		1620	0.62	54.0	21.5	32.2
G30d* ¹	ガラス繊維	8 / 300	37.5		1360	1.98	45.3	18.0	27.1
C20dU	カーボン繊維	8 / 200	25	ウレタン樹脂	1187	1.75	59.4	23.6	23.6

*¹ : 2体の平均値、その他は3体の平均値

*² : 試験体1本当たりの最大強度

*³ : 長さ強度 = 最大強度 / ロッドの埋込長さ

*⁴ : 面積強度 = 最大強度 / ロッドの周長面積

*⁵ : 引張応力 = 最大強度 / ロッドの断面積

表4 接着接合した鋼材系ロッドの引張試験結果(その1)
P C丸鋼及びP C異形鋼

試験体 記号	試験体の種類					最大強度 (kgf/体)	最大荷重 時の変位 (mm)	破断状況
	ロッド		埋 込 長 (mm)	孔 径 (mm)	接 着 剤			
	種 類	直 径 (mm)						
P10d-1 2 3	P C丸鋼	9.2	100	10	エポキシ樹脂	1950	0.25	鋼棒抜け
						1460	0.20	同上
						1740	0.25	同上
平均						1717	0.23	
S. D.						246	0.03	
P20d-1 2 3	P C丸鋼	9.2	200	10	エポキシ樹脂	1770	0.22	鋼棒抜け
						2040	0.26	同上
						2110	0.23	同上
平均						1973	0.24	
S. D.						180	0.02	
P30d-1 2 3	P C丸鋼	9.2	300	10	エポキシ樹脂	1670	0.11	鋼棒抜け
						1530	0.05	同上
						1635	0.17	同上
平均						1612	0.11	
S. D.						73	0.06	
PI10d-1 2 3	PC異形丸鋼	9.2	100	10	エポキシ樹脂	2060	0.28	いずれも鋼棒 が回転して抜 ける
						2220	0.30	
						2160	0.36	
平均						2147	0.31	
S. D.						81	0.04	
PI20d-1 2 3	PC異形丸鋼	9.2	200	10	エポキシ樹脂	2510	0.35	いずれも鋼棒 が回転して抜 ける
						2100	0.30	
						1720	0.30	
平均						2110	0.32	
S. D.						395	0.03	
PI30d-1 2 3	PC異形丸鋼	9.2	300	10	エポキシ樹脂	1940	0.39	いずれも鋼棒 が回転して抜 ける
						2110	0.25	
						2570	0.27	
平均						2207	0.30	
S. D.						326	0.08	

表5 接着接合した鋼材系ロッドの引張試験結果 (その2)
磨き丸鋼及び異形鉄筋

試験体 記号	試験体の種類					最大強度 (kgf/体)	最大荷重 時の変位 (mm)	破断状況
	ロッド		埋 込 長 (mm)	孔 径 (mm)	接 着 剤			
	種 類	直 径 (mm)						
S30d-1 2 3 平均 S. D.	磨き丸鋼	9	300	10	エポキシ樹脂	1760 2700 1800 2087 532	0.33 0.65 0.16 0.38 0.25	鋼棒抜け 同上 同上
S30dU-1 2 3 平均 S. D.	磨き丸鋼	9	300	10	ウレタン樹脂	3640 3670 3250 3520 234	1.15 0.93 0.86 0.98 0.15	ネジ破断 鋼棒抜け 同上
SI20d-1 2 3 平均 S. D.	異形鉄筋	9.5	200	11	エポキシ樹脂	2630 2640 2560 2610 44	4.85 1.70 2.75 3.10 1.60	ネジ破断 同上 同上
SB30d-1 2 3 平均 S. D.	全ネジボルト	9	300	10	エポキシ樹脂	3120 2720 3250 3030 276	1.65 0.53 3.55 1.91 1.53	木部破断 ネジ破断 同上

表6 接着接合した新素材系ロッドの引張試験結果

試験体 記号	試験体の種類					最大強度 (kgf/体)	最大荷重 時の変位 (mm)	破断状況
	ロッド		埋 込 長 (mm)	孔 径 (mm)	接 着 剤			
	種 類	直 径 (mm)						
A30d-1 2 3	アラミト [®] 繊維	8	300	10	エポ [®] キン樹脂	1770	4.36	抜け 木口接着 抜け
(2940)						(0.06)		
平均						1680	3.66	
S. D.						1725	4.01	
						(2除外)	(2除外)	
C30d-1 2 3	カ-ボ [®] ン繊維	8	300	10	エポ [®] キン樹脂	1460	0.51	抜け 同上
(1840)						(0.80)		
平均						1560	0.55	
S. D.						1620	0.62	
						197	0.16	
G30d-1 2 3	カ-ラ [®] ス繊維	8	300	10	エポ [®] キン樹脂	1290	2.30	抜け 木口接着 抜け
(3420)						(0.05)		
平均						1430	1.65	
S. D.						1360	1.98	
						(2除外)	(2除外)	
C20dU-1 2 3	カ-ボ [®] ン繊維	8	200	10	ウレタン樹脂	1060	1.55	抜け 同上
(1070)						(1.70)		
平均						1430	2.00	
S. D.						1187	1.75	
						211	0.23	

2. PCネジを用いたグルードボルトの引張耐力

本節ではグルードボルト接合の引張耐力に及ぼす縁距離、埋め込み長さ、直径等の影響を実験的に明らかにするためにグルードボルトの引張試験を行った。

予備試験によりロッドの表面に凹凸がある方が高い耐力を確保することが確認できたため、この実験ではPC鋼の表面にネジ加工したPCネジを用いることとした。通常の鋼材であるSD30やSS41では耐力が大きくなった場合、鋼材の方で破断することが予測される。本実験はあくまで木部の破断状況や応力状態を確認することを第一の目的としているため、引張強度の大きいPCネジ(PC鋼のネジ)を採用した。

2.1 実験材料及び試験体の作製

実験に用いた材料を表7に示す。ロッドはPC鋼にネジを加工したもので、ネジ加工することにより外径がPC鋼棒の基本径より大きくなる。

試験体の作製は予備試験と同じ方法によった。具体的な作製方法は図3、図4に示す。

表7 試験体の構成材料

PCネジ (mm)					主 材	接着剤 *1
PC鋼の基本径	外直径	谷径	有効径	ネジピッチ		
9.2	10	8.647	9.188	1.25	ハイツ集成材 比重：0.48～0.53	エポキシ樹脂接着剤 TE-134 (大鹿振興(株))
11.0	12	10.376	11.026	1.50		
13.0	14	12.376	13.026	1.50		
15.0	16	14.376	15.026	1.50		
17.0	18	16.376	17.026	1.50		
19.0	20	18.376	19.026	1.50		
備 考	PC鋼：JIS G 3109 PC丸鋼C種1号 SBPR 110/125 相当 ネジ：JIS B 0211 メートル細めネジ 3級					

*1 接着剤の性質は表2参照

2.2 試験方法

引張試験は二つの方法により実施した。その一つは集成材の木口の一方にロッドを埋め込み、反対側のロッドに取り付けたナットにより引張用治具に取り付け、直接引張する方法(A法)である。もう一つは集成材の両木口にロッドを埋め込み、両側のロッドを引張する方法(B法)である。A法とB法の相違は、B法は両側のロッドのうち、どちらか耐力の小さい方で破断し、常に小さい方が試験体の耐力となる。また、変位については、A法では集成材とロッドの相対変位を変位とするが、B法では両側のロッドと集成材の相対変位の平均値を試験体の変位とした。試験方法の詳細は図5、図6に示す。なお、B法で試験したのは縁距離の影響を確認するためで、その他はすべてA法によった。

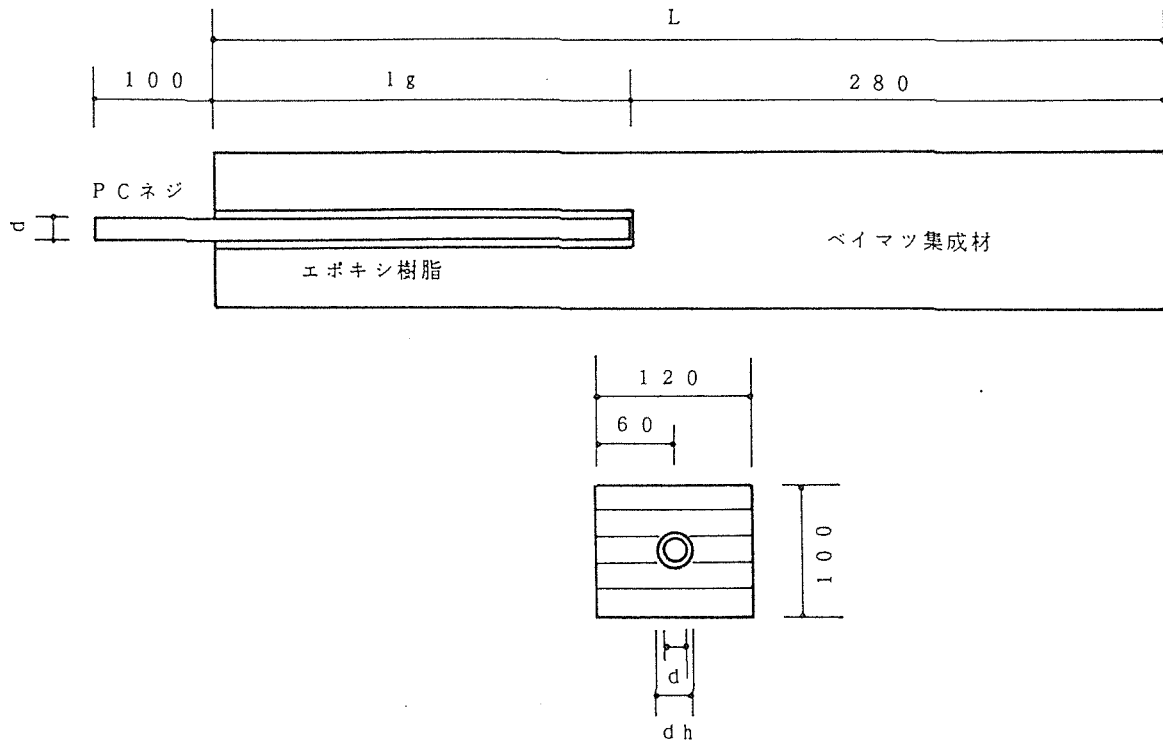


図3 試験体の作製方法（繊維方向）（単位：mm）

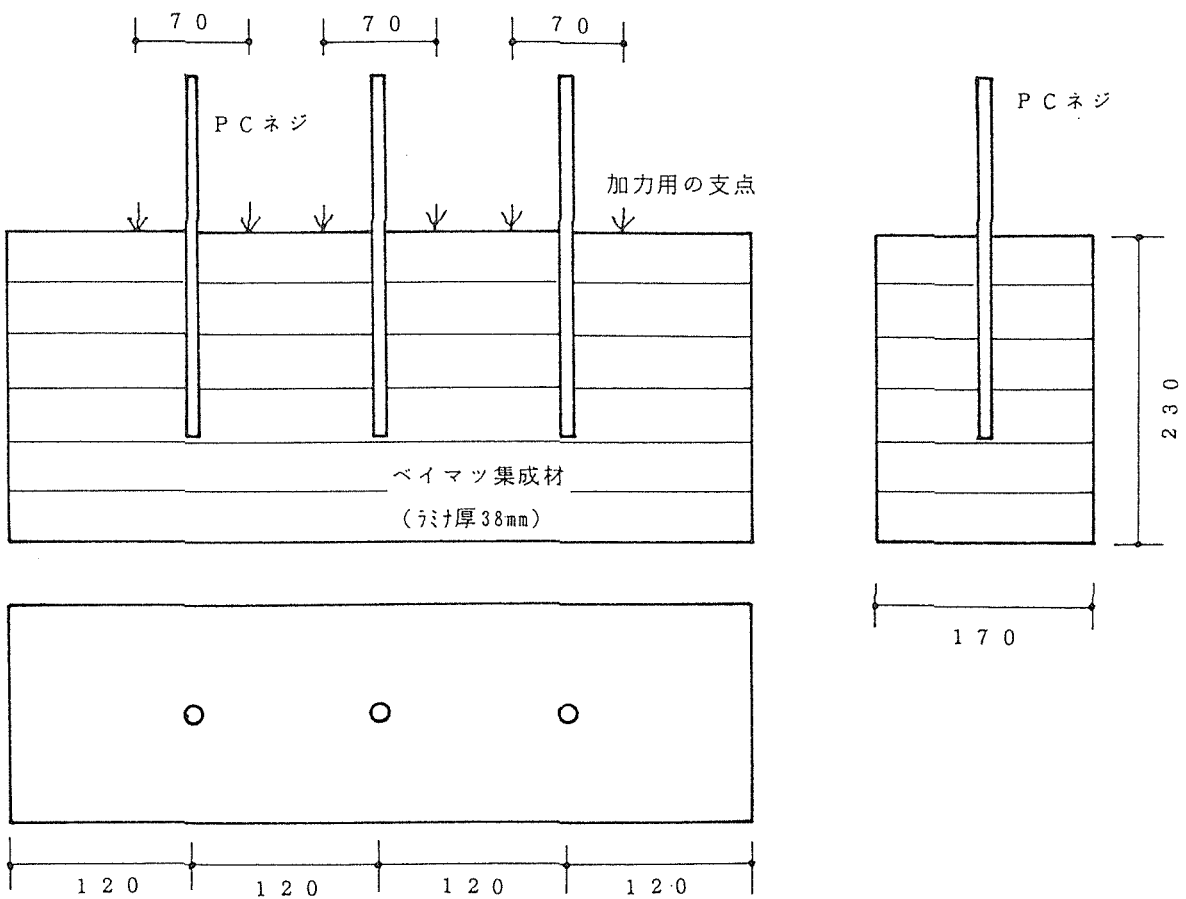


図4 試験体の作製方法（繊維直交方向）（単位：mm）

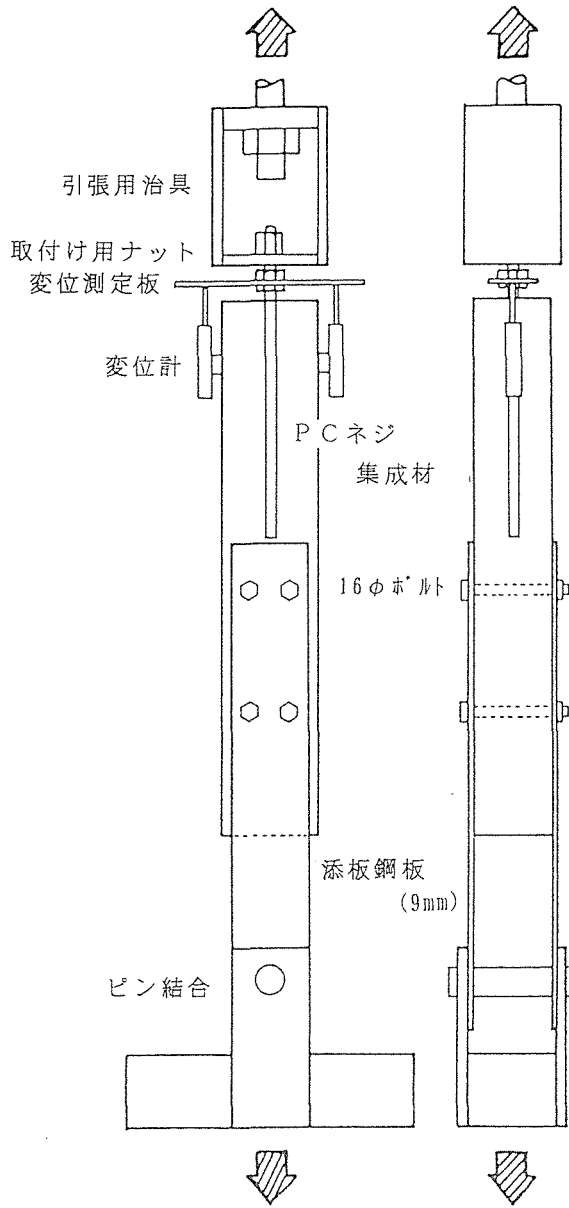


図5 A法引張試験方法

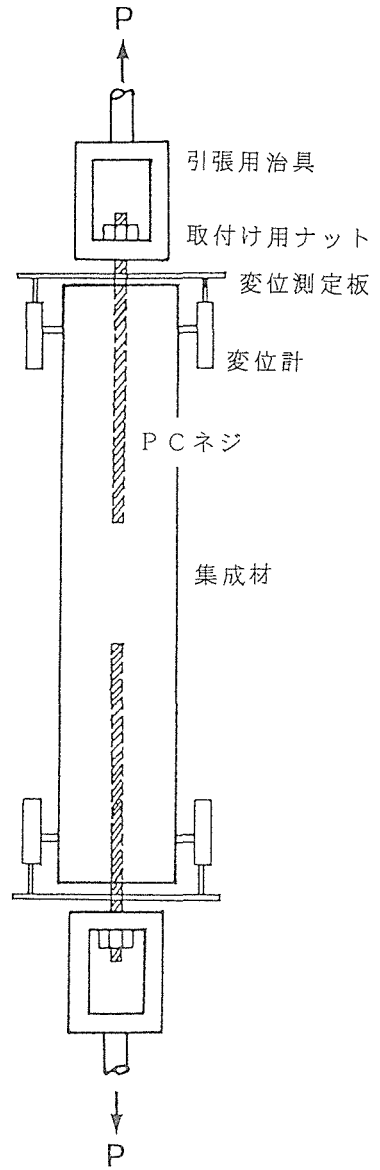


図6 B法引張試験方法

2.3 試験結果と考察

2.3.1 埋込長

埋込長 l/d と引き抜き強度の関係を図7～図10に示す。これらの結果より次のことを確認した。

- ①最大強度は l/d の増加に伴い直線的に上昇するが、 l/d がおおむね10～15の辺りで一定傾向となる。(図7)
- ②長さ強度、面積強度は l/d が10程度まではおおむね一定傾向を示すが、それ以降 l/d が大きくなるに従い暫減傾向を示した。(図8、図9)
- ③集成材に繊維方向と繊維直交方向にP C ネジを埋め込んだ場合の結果を図11に示す。 $l/d = 20$ のケースを除くと直交方向はおおむね繊維方向より強度は12～25%低い。ただ

し、直交方向では $l/d = 10$ 以上でも引き抜き強度は暫増傾向を示している。

以上の結果、本実験の範囲では l/d はおおむね10程度が適当であり、それ以上埋込長を長くしても、引き抜き強度の大幅な増加は期待できないことが明らかになった。

2.3.2 ロッドの直径

① P C ネジの最大強度及び長さ強度は、直径が大きくなるに従い増加傾向を示した。

② 直径比 2 : 1 である径 20mm の場合と 10mm の場合を比較すると、断面積比が 4.2 倍になっているのに対し、 $l/d = 10$ では最大強度が 2.6 倍、 $l/d = 20$ で 3.0 倍であり、ロッドの断面積に応じて引き抜き強度が増加している。

③ 面積強度、引張応力は直径が大きくなるに従い、暫減傾向を示した。

④ 埋込長 20 と 10 の強度比は、最大強度、長さ強度では 1.08 ~ 1.40、面積強度、引張応力では 0.54 ~ 0.70 を示し、直径の大きさにかかわらずほぼ一定の値を示した。

2.3.3 孔の直径

P C ネジの直径を 10mm、埋込長 l/d を 14 と定め、孔径を増加させた場合の引き抜き強度の関係を次に示す。

① 孔径 11mm (ネジ直径 10mm + 1mm) の最大強度を 1.0 とした場合の強度比を図 17 に示す。孔径が約 2 倍の 21mm まで増加しても引き抜き強度はほぼ一定で、孔直径の増加に伴う引き抜き強度の増加傾向は認められない。

② 周長面積 (孔径) と面積強度の関係を図 18 に示す。おおむね直線的な関係が認められ、周長面積の増加に伴い面積強度は減少傾向を示す。

以上のことから、ネジ径に対する孔径比を大きくしても (孔径をネジ径の 2 倍まで) 引き抜き強度に影響を及ぼさないことが確認された。

2.3.4 縁距離

直径 20mm のロッドについては縁距離が $2.5d$ (d : ロッドの直径) まで $0.25d$ きざみで、直径 10mm については $5d$ まで $0.5d$ きざみで引張試験を行った。

① l/d が 10 の場合、20 の場合とも縁距離が $2.5d$ 辺りから最大強度が一定化傾向を示す。これは破断形態と関連しており、 $l/d = 10$ の $2.5d$ 以降は、破断がほとんど鋼棒の抜けであるのに対し、 $1d$ では木材の引張破断である。また、 $l/d = 20$ の場合、縁距離 $3d$ 以降は鋼棒の抜けであるのに対し、 $1.5d$ 、 $2d$ では木材で破断している。すなわち、縁距離が十分でない場合は木部で破断し、縁距離が十分ある場合は木部の破断を伴うことは少ないことが確認できる。

② 直径 20mm のケースでは、 $2.5d$ までの実験であるため一定傾向は認められないが、破断状況は $l/d = 10$ の場合は $1.75d$ 以降は木材の割裂を伴う鋼棒の抜け、 $l/d = 20$ の場合は $2.5d$ 辺りで鋼棒の抜けを生じている。すなわち、埋込長で破断形態が多少異なることが確認できた。

2.3.5 鋼棒の応力分布について

直径 10mm、 $l/d = 20$ の P C 鋼棒の表面に、鋼棒の埋め込み側から 20mm ごとに左右互い

違いにストレングージを貼り、引張試験を行って鋼棒に生じるひずみを測定した。その時の荷重-ひずみ関係を図22、図23に示す。

①No. 0が最深部、No. 21が埋め込み際に貼ったストレングージのひずみであるが、荷重が一定の場合、おおむね深い部分より浅い部分に貼られたものの方がひずみ量が多い。すなわち、引張治具に近い部分の鋼棒の方が引張応力の負担が大きいことを示している。

単位・千

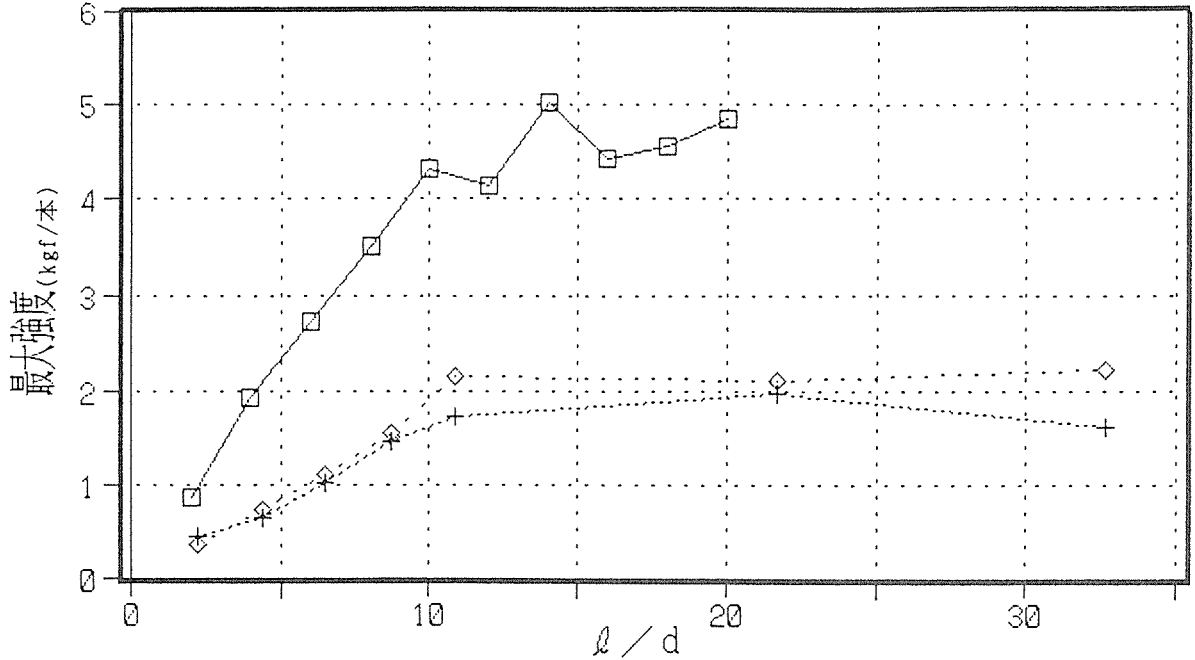


図7 最大強度 (kgf/本) と埋込長 l/d の関係

□ : PCネジ + : PC丸鋼 ◇ : PC異形鋼

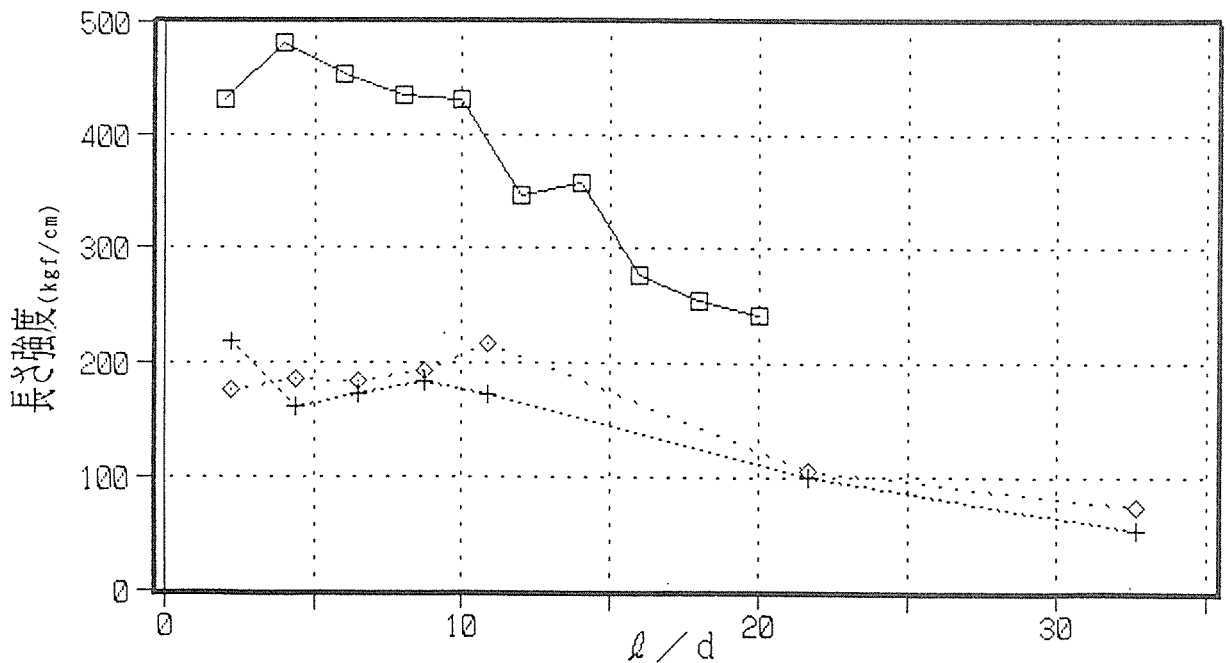


図8 長さ強度 (kgf/cm) と埋込長 l/d の関係

□ : PCネジ + : PC丸鋼 ◇ : PC異形鋼

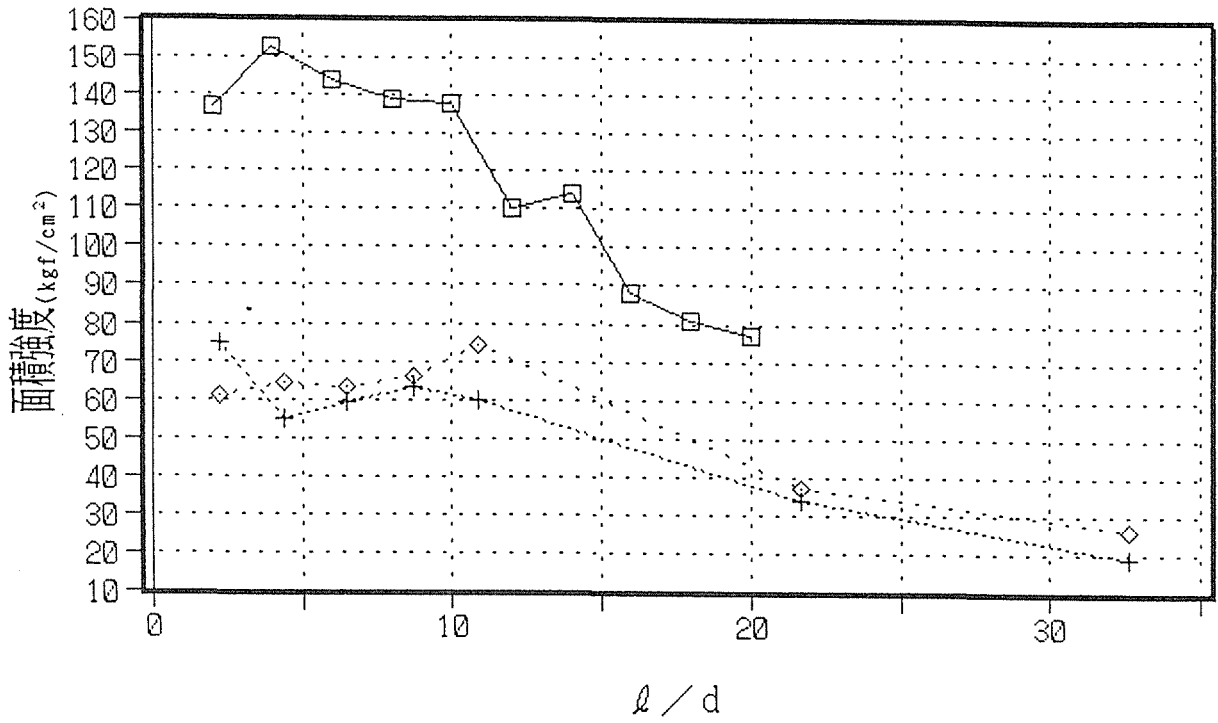


図9 面積強度 (kgf/cm²) と埋込長 l/d の関係

□ : PCネジ + : PC丸鋼 ◇ : PC異形鋼

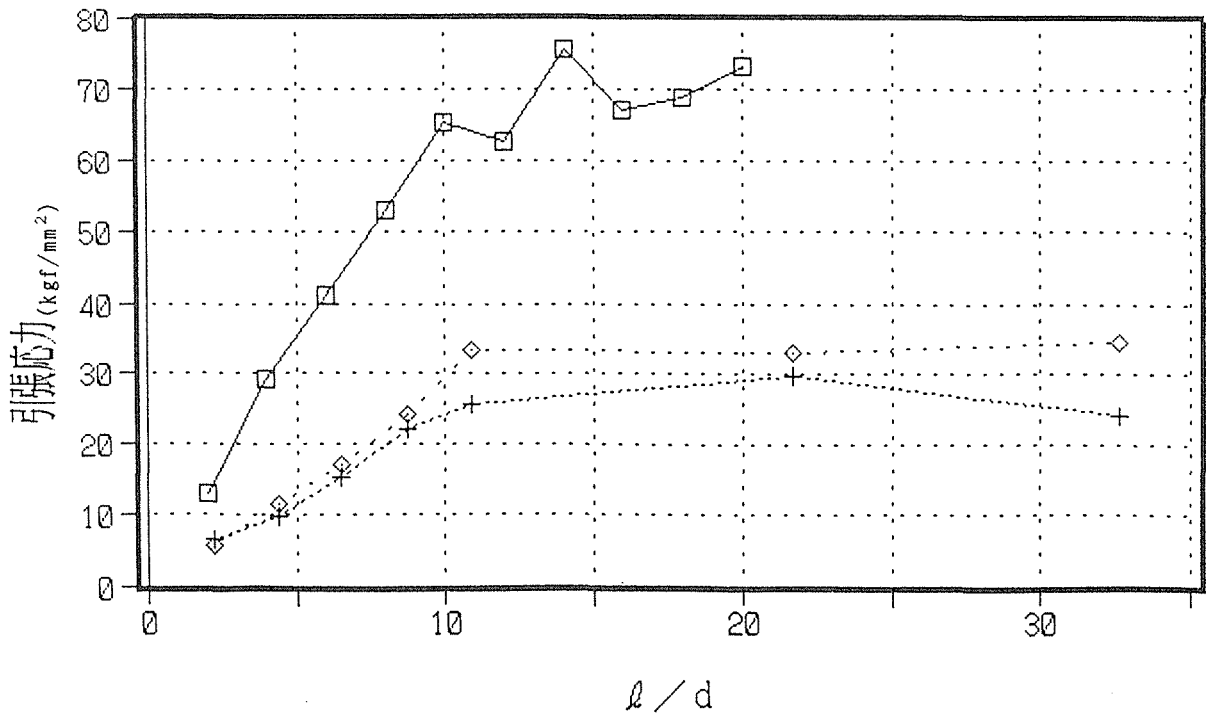


図10 引張応力 (kgf/mm²) と埋込長 l/d の関係

□ : PCネジ + : PC丸鋼 ◇ : PC異形鋼

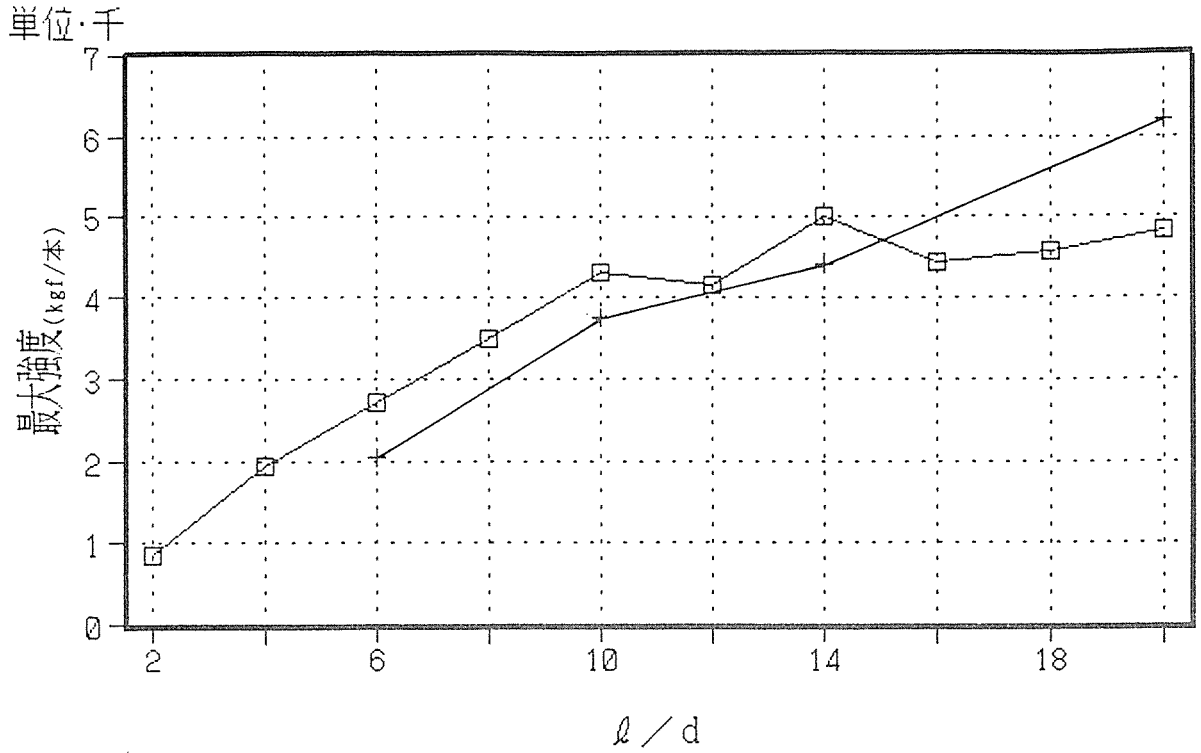


図11 最大強度 (kgf/本) と埋込長 l/d の関係の繊維方向による違い
 □ : PCネジ 繊維方向 + : PCネジ 繊維直交方向

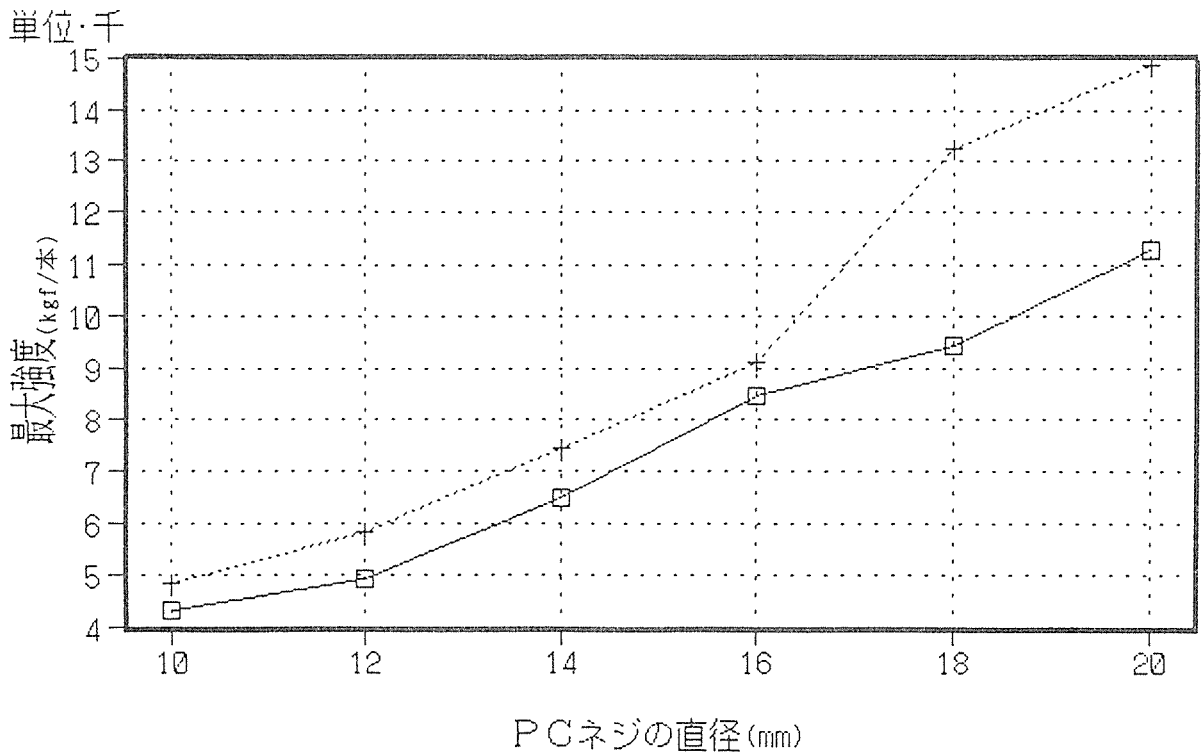


図12 最大強度 (kgf/本) とロッドの直径の関係
 □ : 埋込長 $l/d=10$ + : $l/d=20$

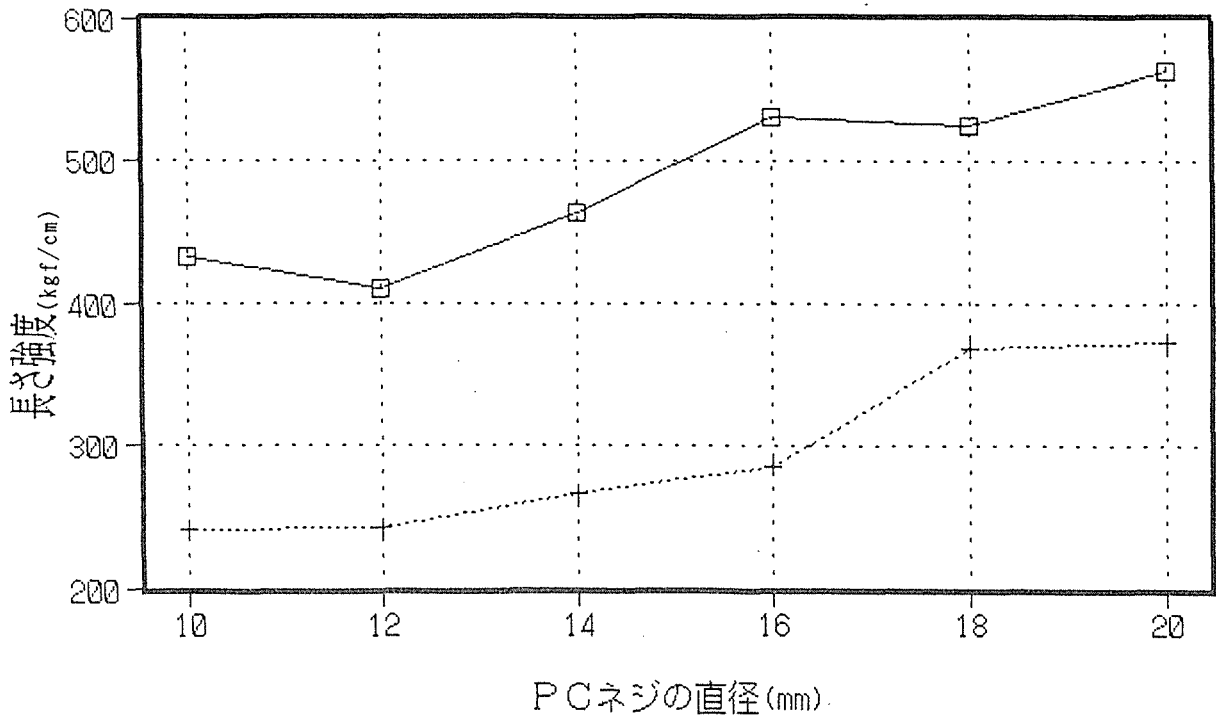


図13 長さ強度 (kgf/cm) とロッドの直径の関係
 □ : 埋込長 $l/d = 10$ + : $l/d = 20$

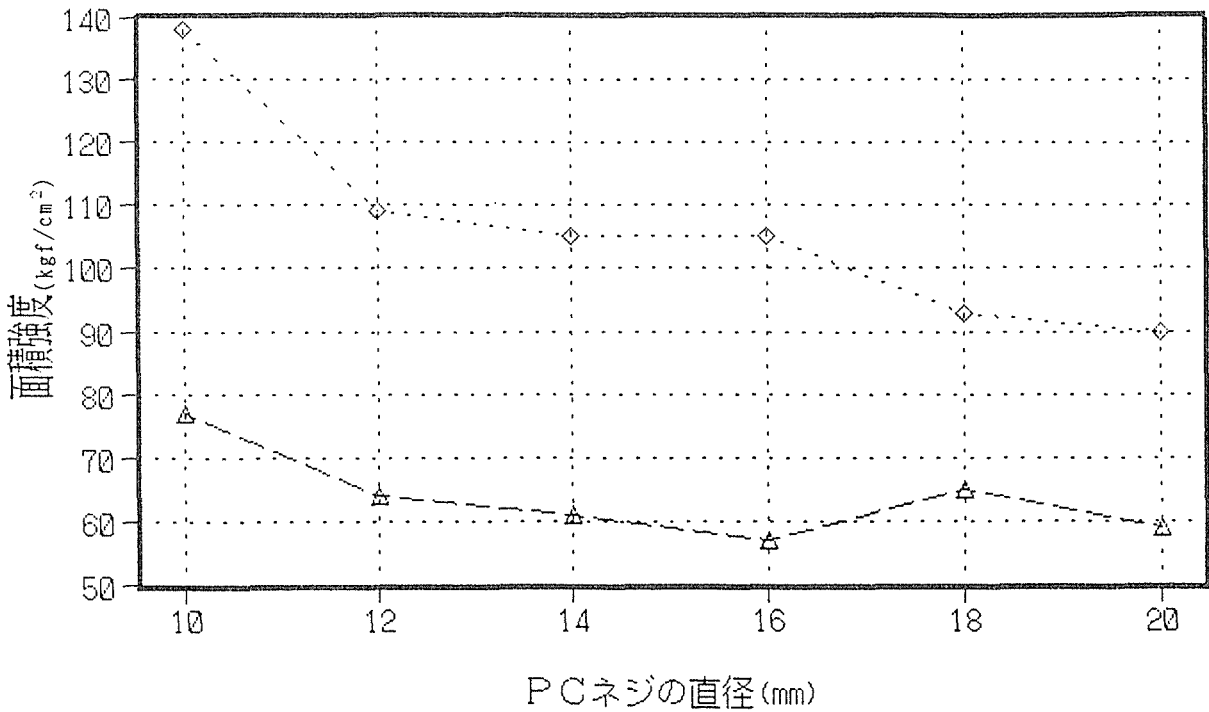


図14 面積強度 (kgf/cm²) とロッドの直径の関係
 ◇ : 埋込長 $l/d = 10$ △ : $l/d = 20$

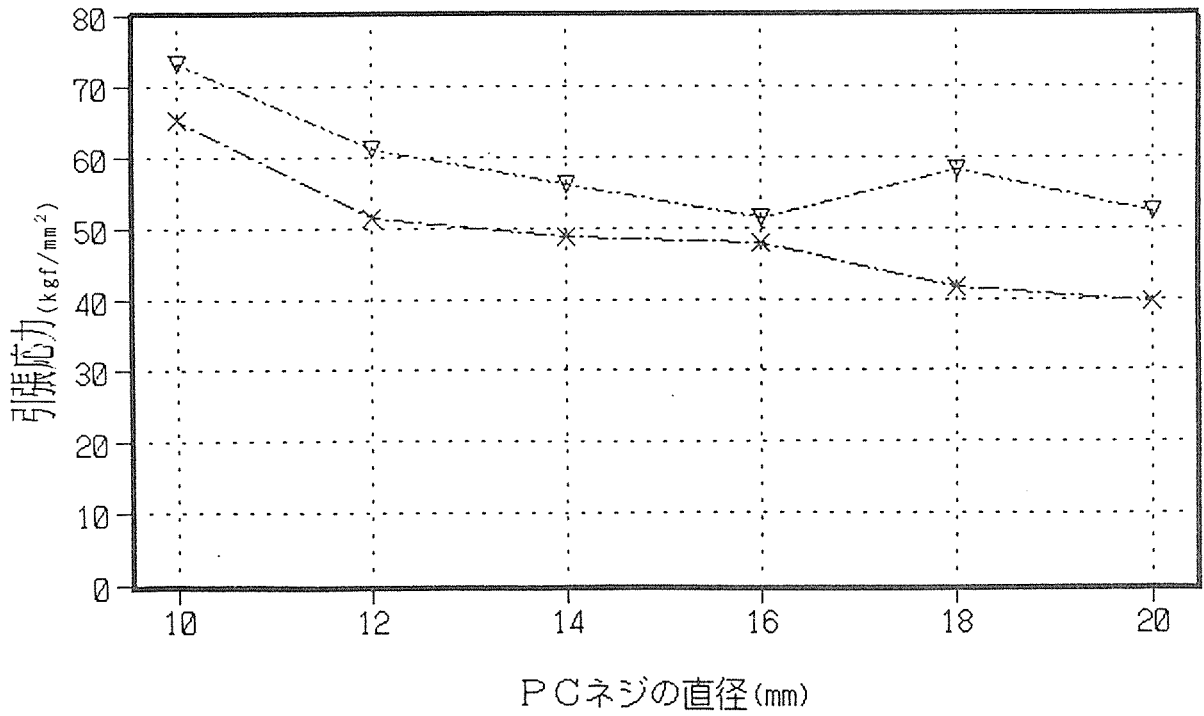


図15 引張応力 (kgf/mm²) とロッドの直径の関係
 × : 埋込長 $l/d = 10$ ∇ : $l/d = 20$

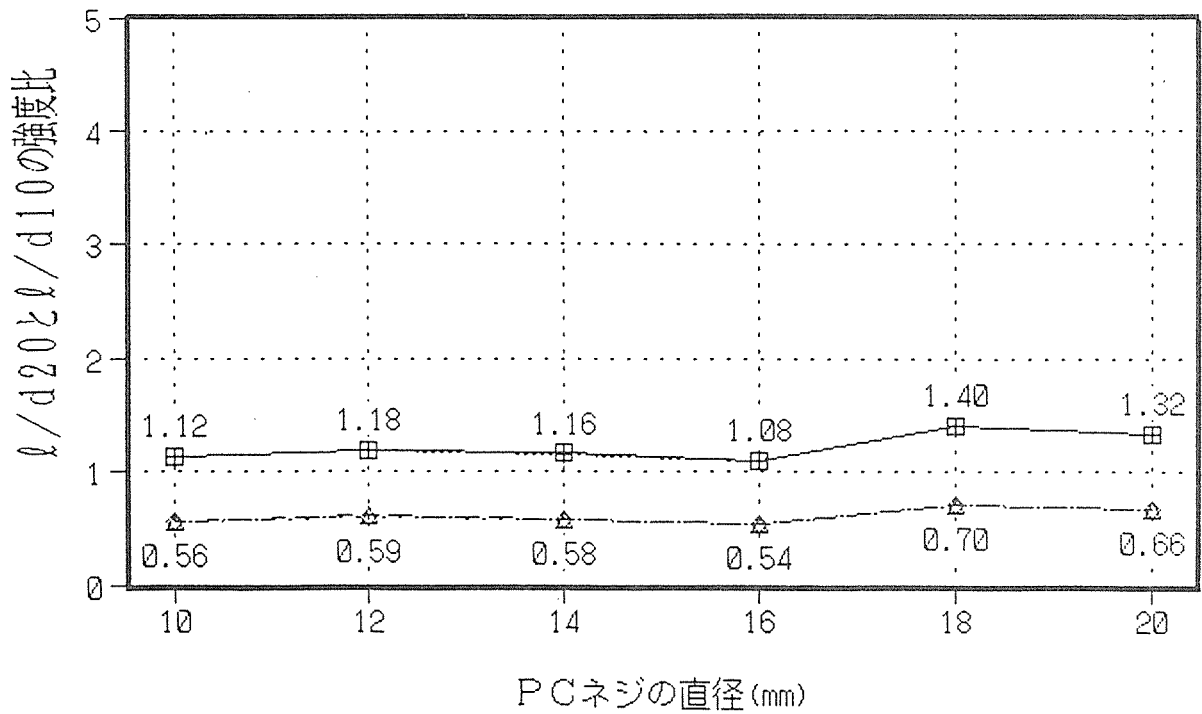


図16 埋込長 $l/d = 20$ と $l/d = 10$ の強度比 (20d/10d) とロッドの直径の関係
 □ : 最大引抜 + : 引張応力 ◇ : 長さ引抜 △ : 面積引抜

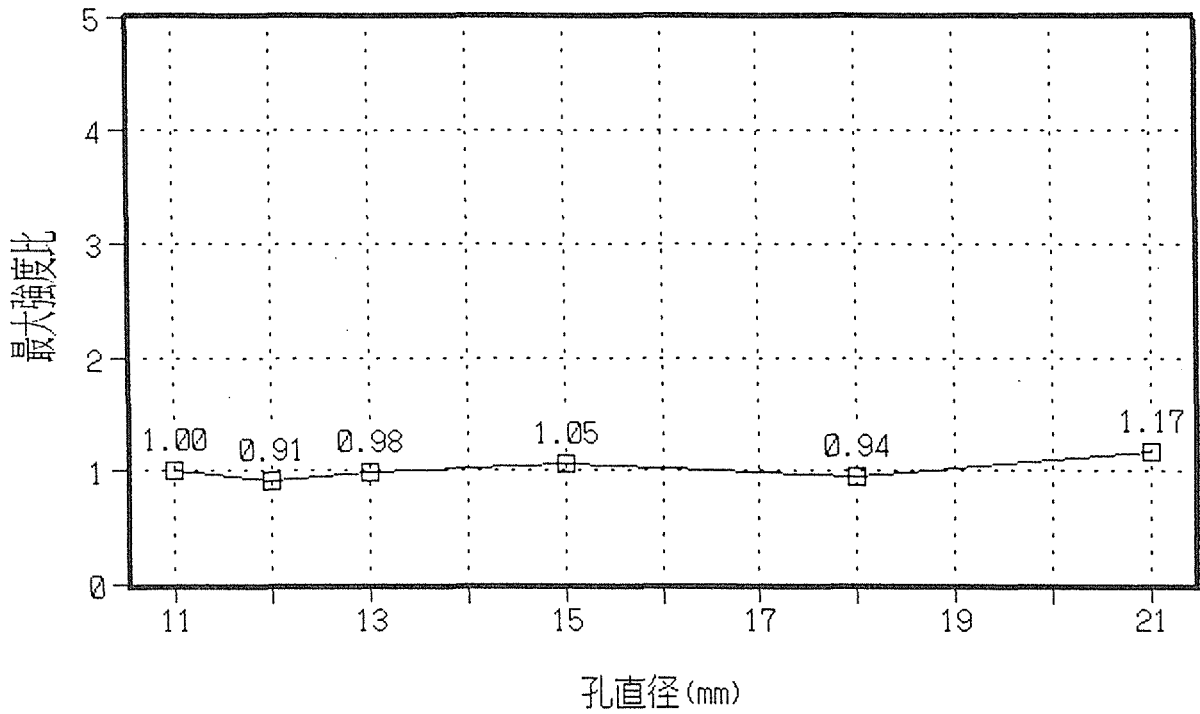


図17 孔直径と最大強度比の関係

(ロッド直径 $\phi = 10\text{mm}$; 孔直径11mmの場合の最大強度を1.0とする)

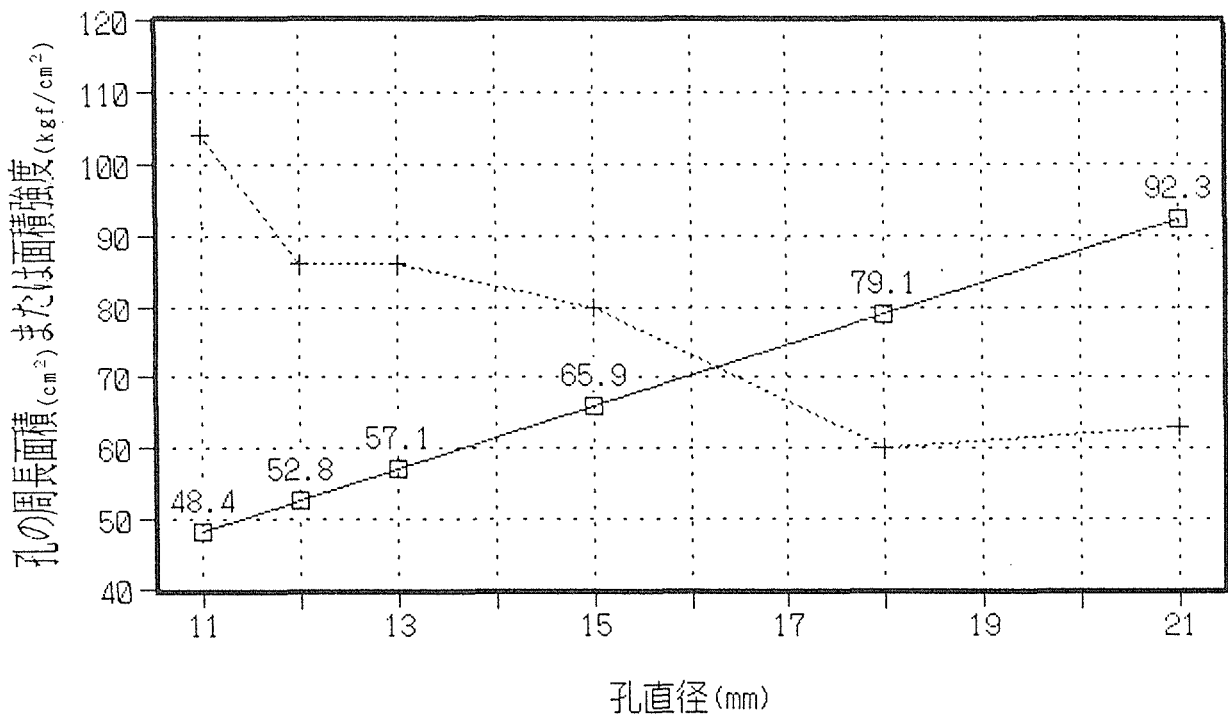


図18 孔直径と孔の周長面積 (cm²)、面積強度 (kgf/cm²) の関係

□ : 周長面積 + : 面積強度

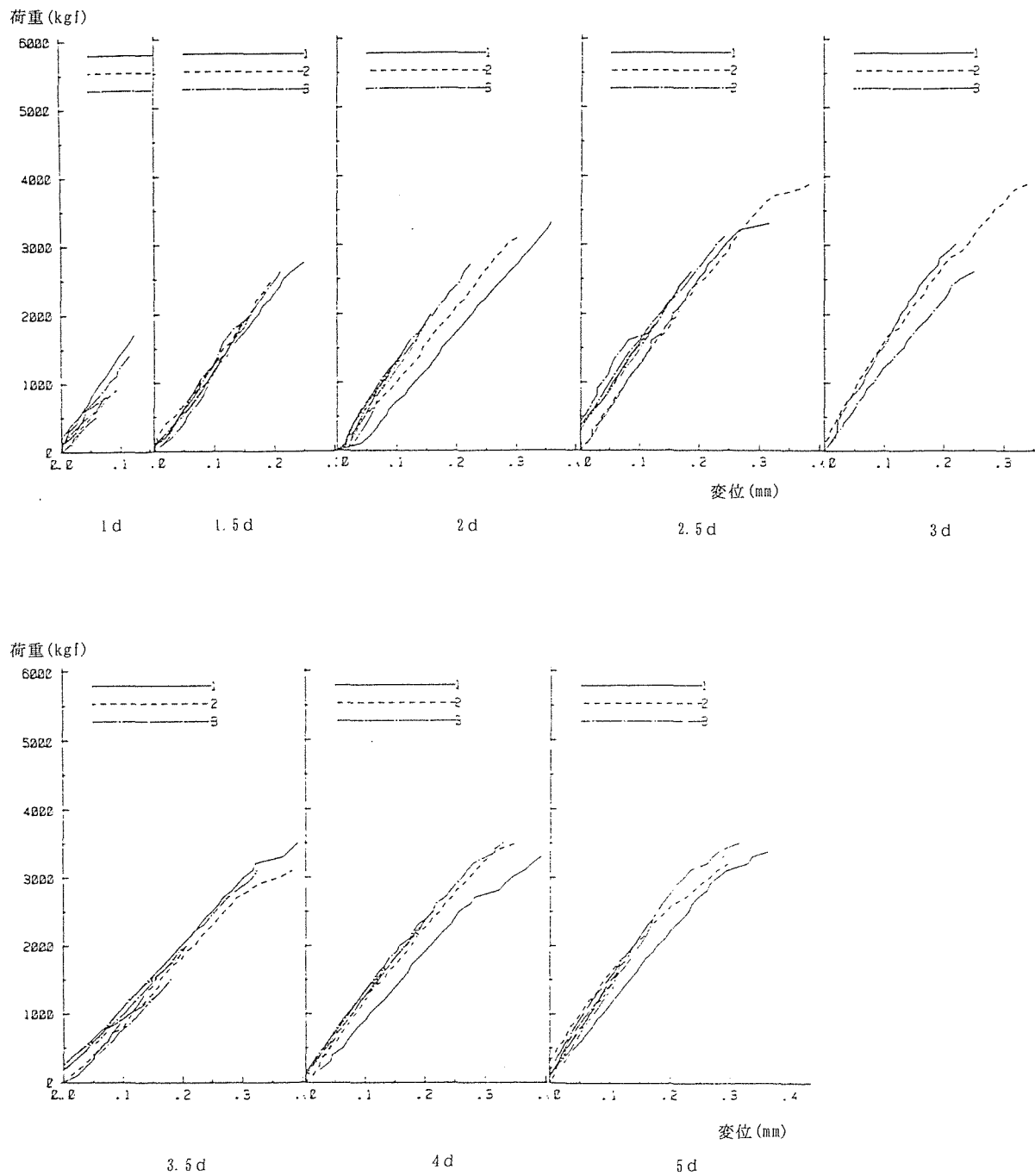


図19 縁距離の違いによる荷重(kgf/本)－変位(mm)曲線
(ロッド直径10mmの場合)

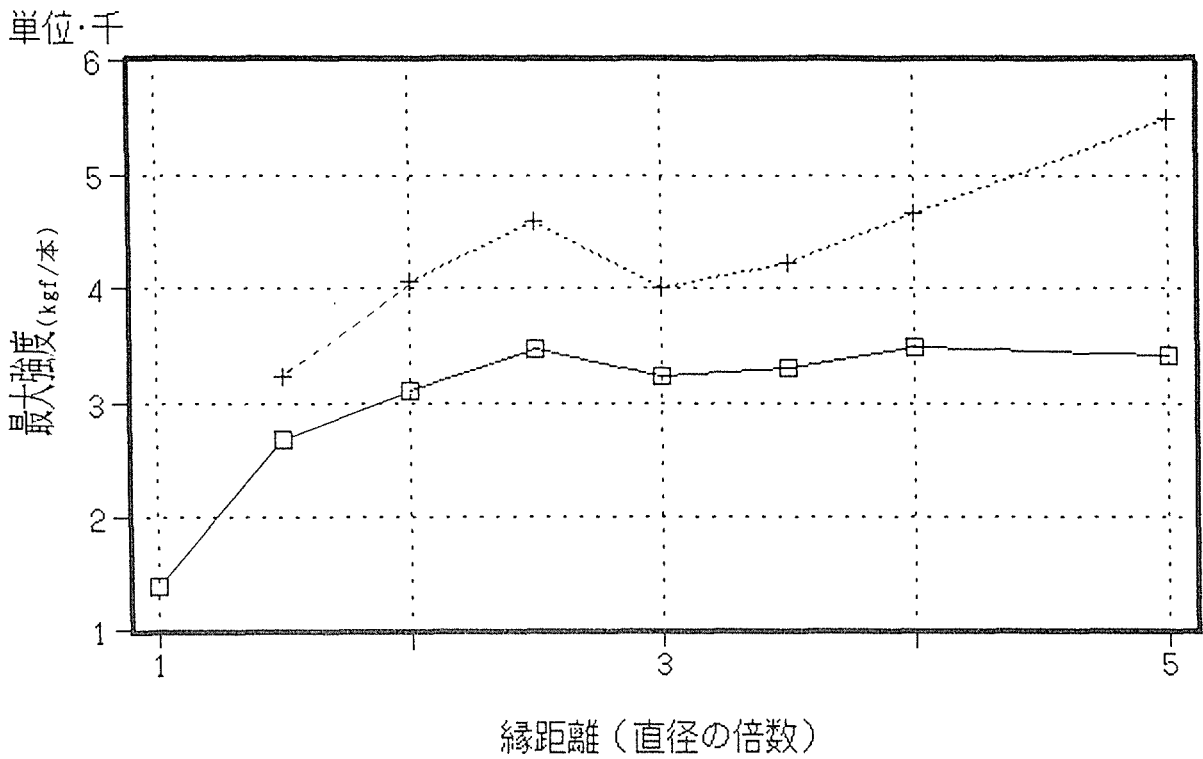


図20 最大強度と縁距離の関係(1) (ロッド直径10mmの場合)
 □ : 埋込長 $l/d=10$ + : $l/d=20$

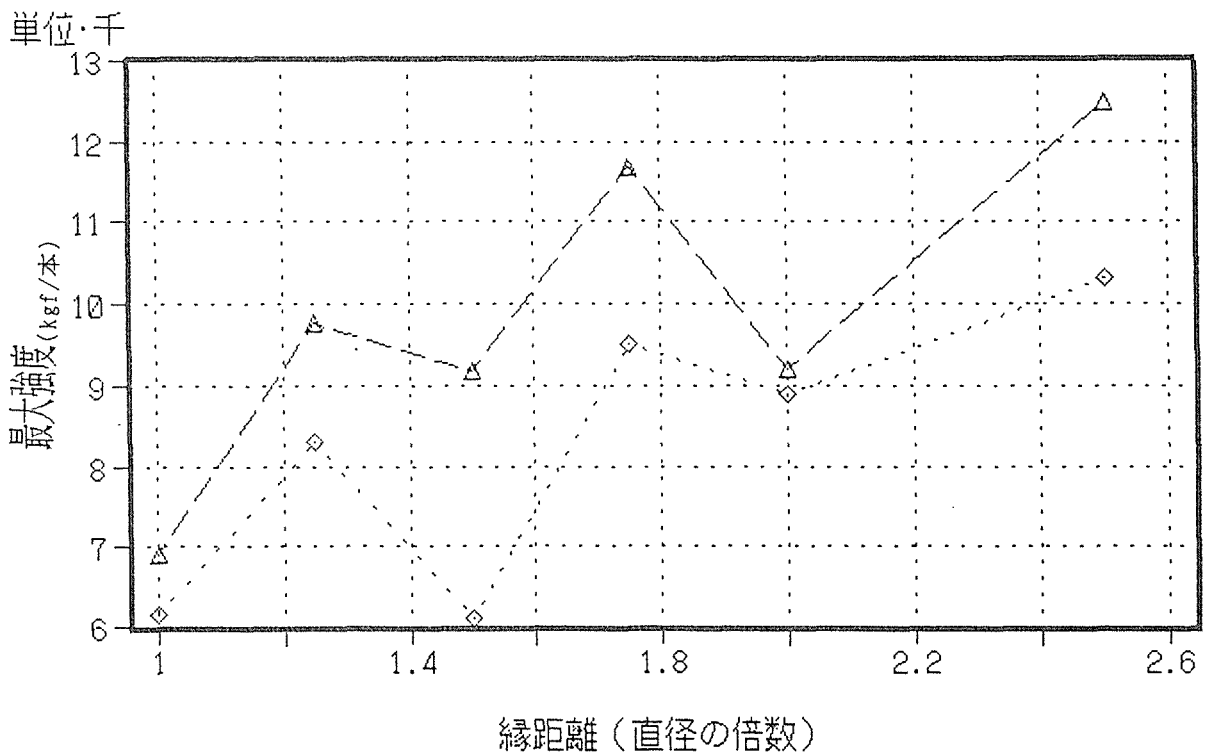


図21 最大強度と縁距離の関係(2) (ロッド直径20mmの場合)
 ◇ : 埋込長 $l/d=10$ △ : $l/d=20$

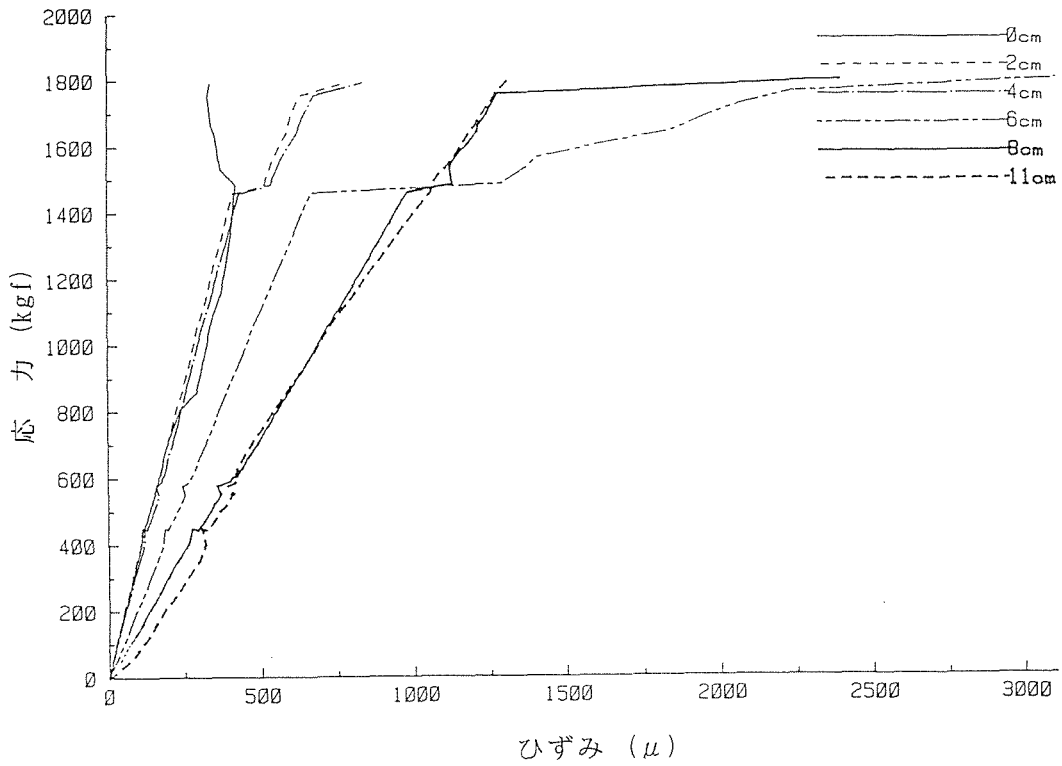


図22 ロッドに生じる応力とひずみの関係(1)
(ロッド直径10mm、埋込長 $l/d = 10$ の場合)

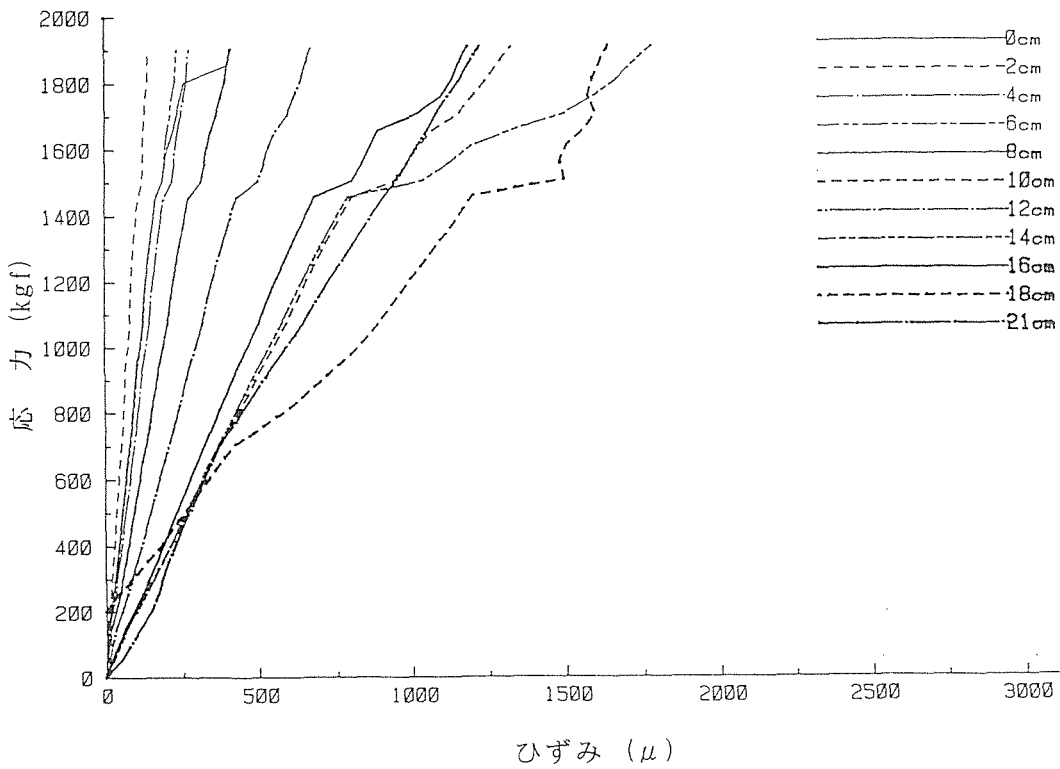


図23 ロッドに生じる応力とひずみの関係(2)
(ロッド直径10mm、埋込長 $l/d = 20$ の場合)

第11章 接着接合の非破壊検査と強度評価の基礎実験

はじめに

集成材などの木質構造用接着は管理された工場で行われることを原則にしており、現場における接着工法は釘と併用する場合や、多くの実績から現場における管理に信頼がかけると認められた一部の工業化住宅の場合に行われているのみである。しかしながら、多様化した建築物の構造設計上から接合の剛性の確保や、資材運搬に関する我が国の道路事情などから、建築現場に近いところで接着接合をしたいという希望は多い。

現場接着が工場接着と異なる点は、接着現場の環境が広範囲で複雑であり、管理しうる領域と許容される施工条件の範囲によって、接着強度のバラツキが大きいのではないかとこの危惧があることである。従って現在までに現場接着の接着強さが評価されているのは上述のように枠組壁工法における床に接着剤と釘を併用する場合や、一部の工業化住宅のみである。しかし最近の接着技術からすれば、今後は構造耐力上評価されることは十分考えられるところである。この場合、担保の仕方は大きく区分すると次の二つになるであろう。

- ①仕様書に準じて工程を管理し、抜き取り試験などで検査を徹底する。
- ②非破壊的な方法で欠損や強度を直接評価する。

前者は施工現場での条件を想定した実験と結果の評価を検査にどのように取り入れるかが重要である。また、後者については状況に応じた各種試験法を組み合わせることが必要であろう。

本章は打撃による応力波、超音波の伝播時間などと接着部の欠損、せん断接着強さの関係を実験的に検討したものである。

1. 試験方法

試験体は図1のようにトドマツのラミナを2枚合わせにしたもので、接着剤として水性高分子-イソシアネート系接着剤、レゾルシノール樹脂接着剤を用いた。接着の方法としては接合部に意識的に欠損部を作る、あるいは点接着とすることなどにより接着面積を変化させた。また、接着条件として圧縮圧、圧縮時間などを変化させて接着状態が変化するようにした。

接着後、図2のように端部打撃による応力波の伝播時間差、超音波伝播時間差を計測した。応力波の測定は同一ラミナ上の2点間の時間差と接着層を挟んだ2点間の時間差で比較し、両者の差に注目した。超音波はN T Tの木材腐朽診断装置によって接着面に直角(厚さ方向)と接着面を斜めにクロスする方向(幅方向)について計測した。その他中央集中静的曲げによる撓み、曲げ自由振動による固有振動数、縦振動による固有振動数を計測した。

超音波を計測した箇所から3×3×4cmの試験片を切り出し、せん断接着強さを図3のようにして求めた。

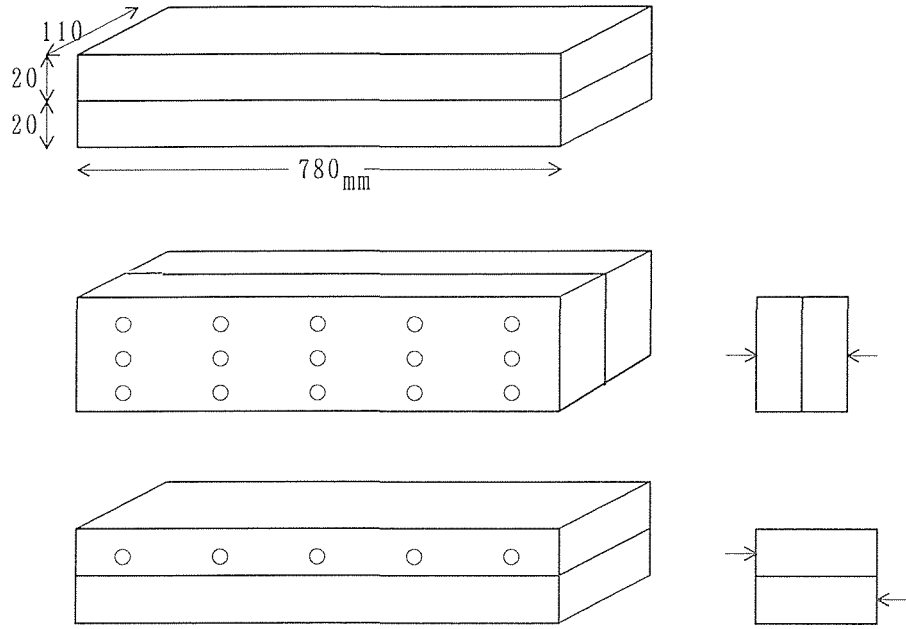


図1 試験体と超音波伝播時間の計測方法

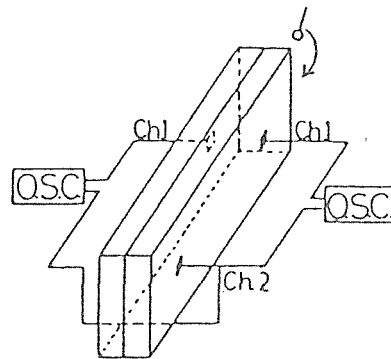


図2 応力波の伝播

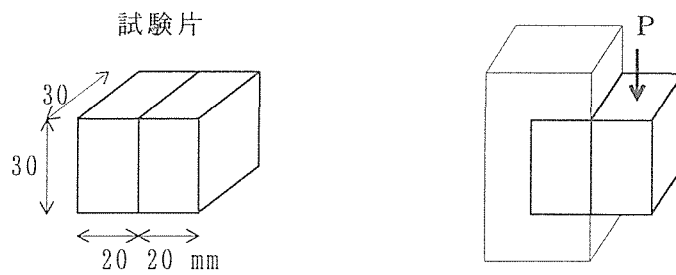


図3 せん断接着強さ試験方法

2. 試験結果

得られた主な知見¹⁾・²⁾・³⁾・⁴⁾は以下のとおり。

(1) 一般に、接着が完全であれば組み合わせ梁としての曲げヤング係数は計算によって求めることができる。このため、単純な方法として接着前後のヤング係数を計測することによって接着の良否を判定できる。例えば接着条件が良好と思われたものでも、組み合わせ梁の計算値から求めた曲げヤング係数と実測したヤング係数を比較したとき、後者が低い値を示すことがあり、この場合は一体化が不十分であることが分かる。(図4)

従って、前もってヤング係数を求めておけば計算値と実測値の違いから基本的な判断ができる。これは曲げによるものが最も簡易であり、評価しやすい。縦振動では評価しにくく、不十分である。

(2) 接着欠損部があると完全な部分に比して2点間の超音波の伝播時間差が大きくなり、数値のバラツキも大きくなる傾向がある。顕著なときは検知できなくなる。応力波の伝播時間から接着硬化状況が判断できるが、接着欠損判定には伝播経路の検討を要する。(図5)

(3) 超音波の伝播時間差(厚さ方向及び幅方向)とせん断接着強さの関係は大きくばらついているが、負の傾向であり、時間差がある数値以上になると強度が極めて低くなることが認められる。(図6)

(4) 全試験体のせん断接着強さの分布は、値の低い領域と、100kgf/cm²付近の領域の二つに大きく区分される。(図7)

(5) 厚さ方向の時間差で30 μ s以上とそれ未満の二つに区分し、各々の強度分布を求めると、30 μ s以上では強度の低い部分が検出できる。しかし、30 μ s未満では二つの山が存在している。(図8)

(6) 厚さ方向の時間差が30 μ s未満のものについて、幅方向の時間差が85 μ s以上とそれ未満に区分すると、85 μ s以上で強度の低い部分が検出できる。85 μ s未満では強度の低い部分が極めて少なくなり、判定の精度はかなり高くなった。(図9)

このように厚さと幅の2方向の超音波の伝播時間を計測することで、大まかに接着状態を定量的に比較できる可能性を示唆する結果が得られた。この伝播時間差は接着剤欠膠部の存在に依存していると考えられるが、上記した時間差の数値そのものは重要な意味はなく、連続的な数字としての意味の根拠はない。すなわち、接着部分の接着強さを支配する接着面積の大小を間接的に評価していると考えた方がよい。言い換えれば欠膠の程度、接着されているかどうかを区分している。これは最近の報告⁵⁾にみられる超音波の透過で欠陥部がある程度判定できるという結果と類似していると言えよう。

これらは接着に一定の評価を与えると考えられるが、要求される状況によっては不十分と思われるので、実大部材の耐力評価と合わせて今後更に検討していく必要がある。

3. まとめ

非破壊的な方法で接着欠損や強度を直接評価するため、応力波、超音波の伝播時間と接着部の欠損、せん断接着強さの関係を実験的に検討した。トドマツのラミナ2枚を各種条

件で接着し、超音波の伝播時間を接着面に直角(厚さ方向)と接着面を斜めにクロスする方向(幅方向)について計測した。接着欠損部があると完全な部分に比較して超音波の伝播時間差が大きくなり、数値のバラツキも大きくなる傾向がある。せん断接着強さの分布は大きく二つに区分されるが、厚さ方向及び幅方向の超音波の伝播時間差で区分すると接着部分のせん断強さの区分が可能となった。

文 献

- 1) 横沢章夫、中村 昇、有馬孝礼、大熊幹章：第39回日本木材学会大会研究発表要旨集、p. 68(1989)
- 2) 中村 昇、安藤直人：同、p. 69(1989)
- 3) 横沢章夫、中村 昇、有馬孝礼、大熊幹章：第40回日本木材学会大会研究発表要旨集、p. 386(1990)
- 4) 中村 昇、有馬孝礼、大熊幹章：日本建築学会大会学術講演梗概集、p. 137-138(1990)
- 5) 小塚裕一、木村 衛、楠 寿博、太田道彦、畑中公樹、伊東洋路：同、p. 135-136(1990)

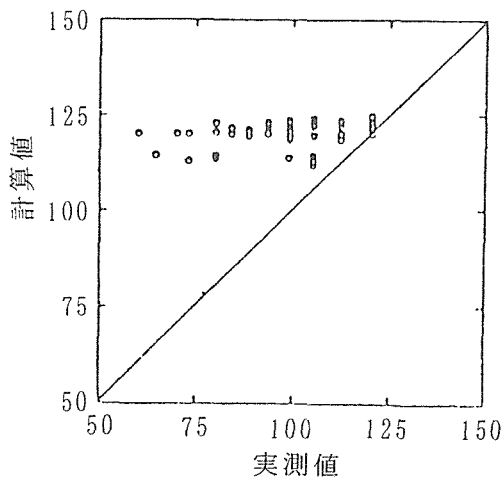


図4 組み合わせ梁のヤング係数の計算値と実測値

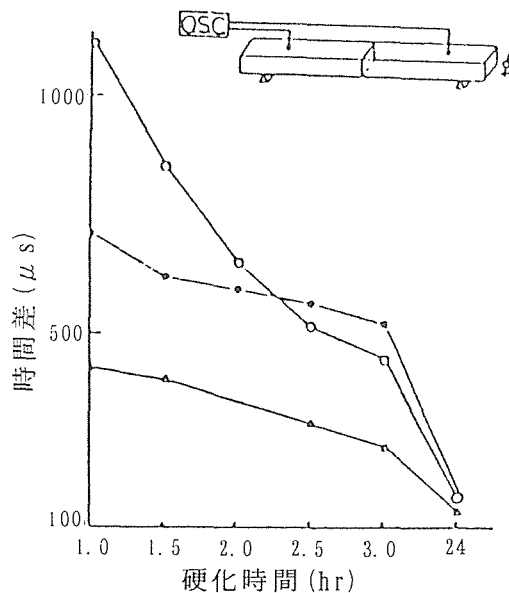


図5 接着剤硬化過程における応力波伝播時間差の変化

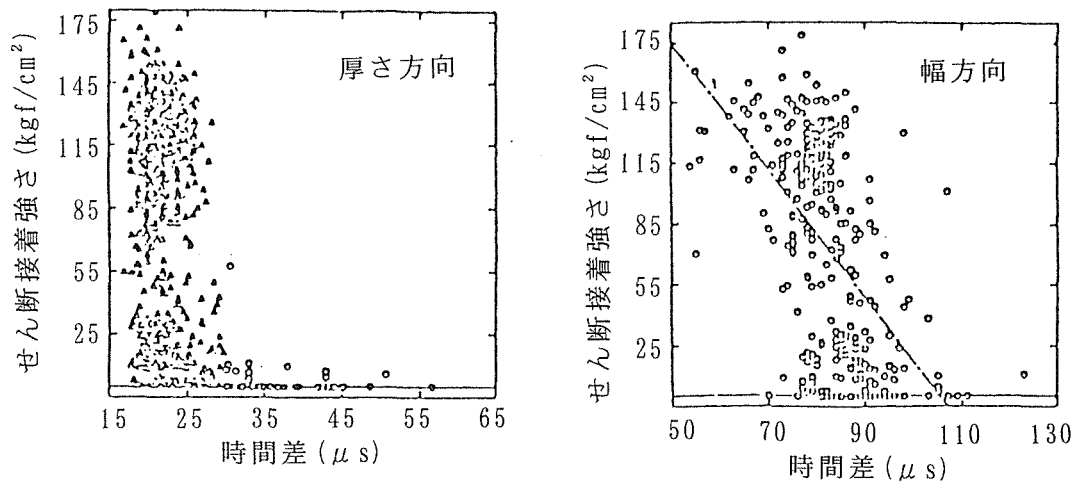


図6 超音波の伝播時間差とせん断接着強さの関係

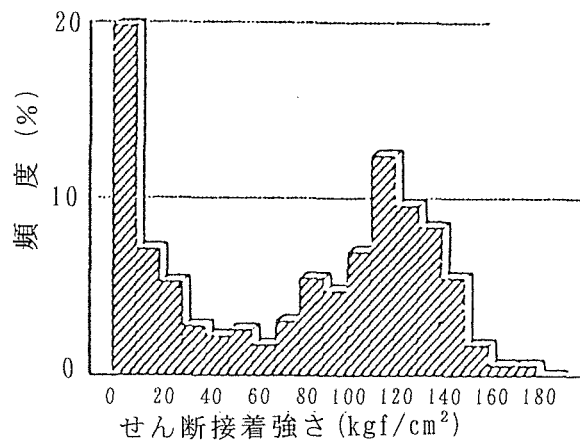


図7 全試験体のせん断接着強さの分布

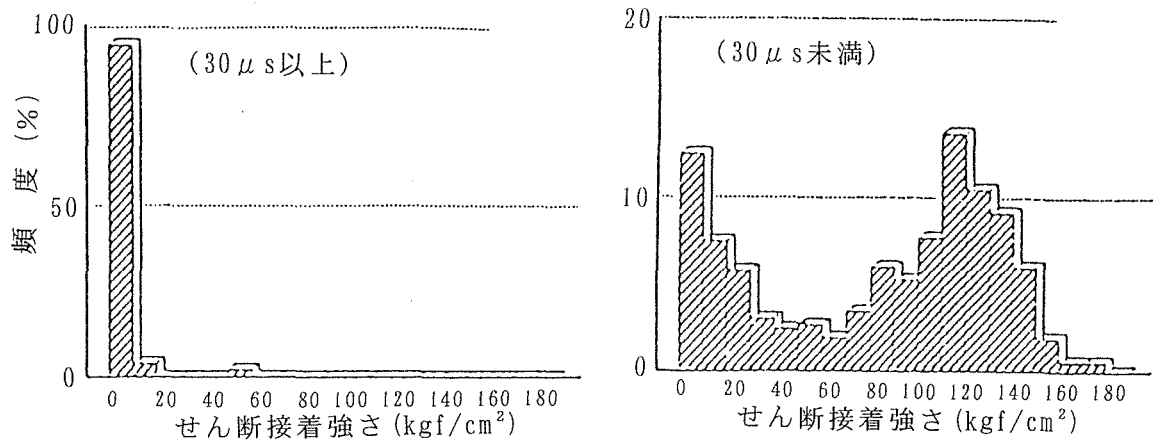


図8 厚さ方向の伝播時間差のせん断接着強さに対する分布

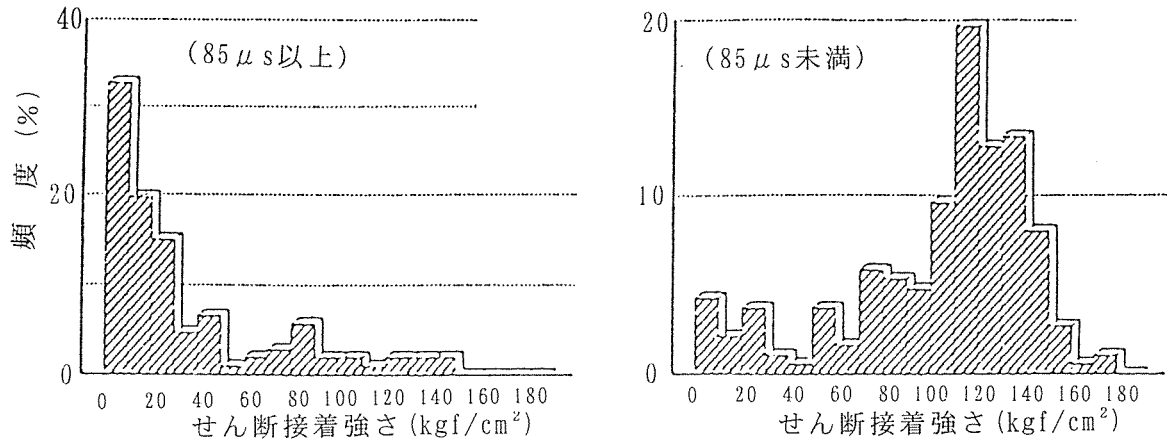


図9 幅方向の伝播時間差のせん断接着強さに対する分布
(厚さ方向の伝播時間差30 μs未満のものについて)

3 ティンバーエンジニア養成研修会

3.1 概要

内 容	講 師	開催年月日・会場	参加者数
① 大規模木造建築物の材料・施工・維持・保全に関する技術指針	関東学院大学工学部 助教授 中島正夫	9. 3. 3 (東京都)	150名
② 構造用木質建材の乾燥及び設計強度	額研員 山井良三郎		
③ 大規模木造建築物の施工マニュアル	額研員 山井良三郎		
④ 大規模木造建築物の塗装マニュアル	額研員 川村二郎	9. 3. 6 (大阪市)	110名
⑤ 大規模木造建築物の防腐・防蟻・防せいマニュアル	早稲田大学理工学部 教授 神山幸弘		
⑥ 大規模木造建築物の保守管理マニュアル	早稲田大学理工学部 教授 神山幸弘		

3.2 研修会テキスト（目次のみ抜粋）

- 3.2.1 大規模木造建築物の保守管理マニュアル（別紙のとおり）
- 3.2.2 構造用木質建材の設計強度（別紙のとおり）
- 3.2.3 構造用合板の手引き（別紙のとおり）

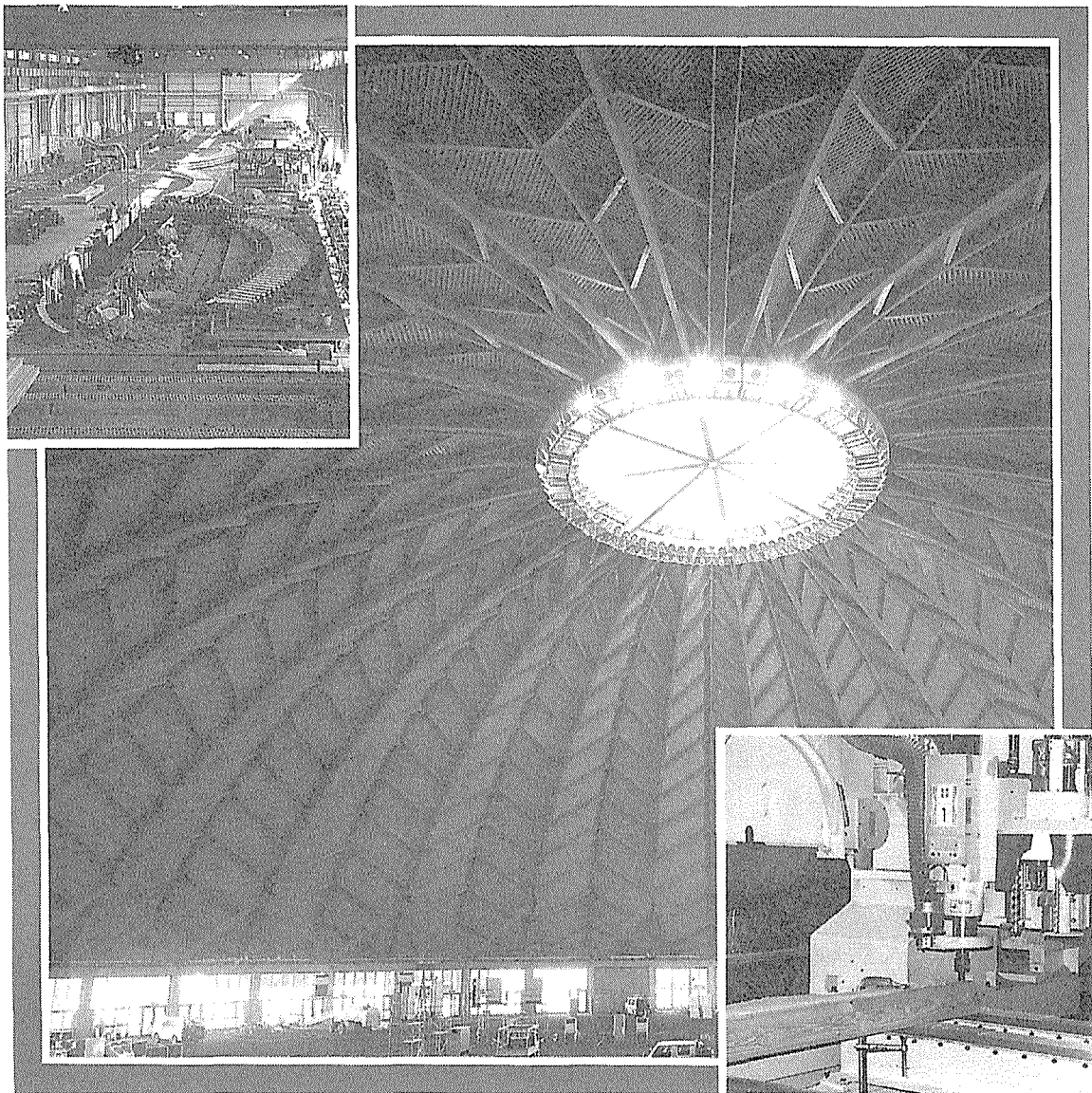
ティンバーエンジニア養成研修会テキスト

- 1 大規模木造建築物の保守管理マニュアル
- 2 構造用木質建材の設計強度
- 3 構造用合板の手引き

監修 林野庁

大規模木造建築物の 保守管理マニュアル

—— 材料・施工・維持保全 ——



● 財団法人 日本住宅・木材技術センター

監 修 の こ と ば

近年、地球規模での環境問題に関する関心の高まりとともに、再生可能な資源である木材の良さが見直されてきています。

木材はぬくもりがある柔らかな肌触りを持つとともに、室内の温湿度を一定に保つ機能や、また、香りの成分にはダニの繁殖抑制作用があるなどの特性があり、私たちの生理面、健康面に良い影響を与えてくれる「人に優しい建築資材」であるといえます。

林野庁では、木材の利用を推進するため、木材の新たな利用分野の拡大のための技術開発や国産材の安定供給体制の整備など各般の施策を実施するとともに、学校等の公共施設への木材の使用の推進、大型建築物の部材としての木材の利用や建築工法等の技術開発、消費者への普及・啓蒙等、木材の需要拡大に取り組んできました。

その結果、校舎、体育館、展示施設等の公共施設を中心に新しいスタイルの大規模木造建築物が積極的に建築され「木のすばらしさ」をアピールするとともに、地域のシンボリックな役割を果たしているものも少なくありません。

しかしながら、このような大規模建築物は未だ導入されて日が浅く、設計、施工、部材製造などの面において残された課題が多く、更には建築されてから間もないために管理やメンテナンスについても取り組むべき課題が残されております。

本書はこれからの木の文化ともいえる大規模木造建造物への取り組みを継承し、更に発展させていくため、すでに建設された大規模木造建築物を対象にした施設管理者、利用者の満足度や施設の長期的な保存の観点からの総合的な調査及び非破壊的検査、部材製造技術、施工技術の検討、更には管理やメンテナンスの課題と対策の検討を紹介したものです。

本書が、大規模木造建築等の施工者や所有者、更には関係者に広く活用され、大規模木造建築が促進されるとともに、木材資源の有効利用と木材の需要拡大に大いに役立つことを期待します。

平成9年1月

林野庁 指導部

研究普及課長 須崎 幸男

は し が き

近年、木造建築物の良さが再評価され、防耐火などにかかわる建築技術の進歩などを背景として、建築規制の合理化が図られました。また、学校を始めとする公共施設への木材の活用、木造建築に関する技術開発など木材利用推進への取組が進められてきました。

その結果、官公庁施設、社会福祉施設、文化・文教施設、体育・保健施設、集会施設、展示施設などに新しいスタイルの大規模木造建築物が積極的に建設され、木材関連業界はもとより一般国民に対して「木の素晴らしさ」を強く印象付けるとともに、「街のシンボルづくり」として地域の活性化にも大きく役立っているところであります。

これらの大規模木造建築物については、建築物の設計、部材の製造及び施工のいずれの面においても、まだ取り組むべき課題が残されております。また、部材の劣化を防ぎ、施設を長期にわたって活用するためには、管理・メンテナンスについても所要の措置を講じることが重要であります。

本書は、このような背景を踏まえて、大規模木造建築物の部材の製造、施工及び保守管理の全般にわたって対処すべき方法を明らかにしており、部材生産者のみならず施設の所有者・管理者の方々にも日常業務の指針としてご活用いただけるものと確信しております。

本書は、後掲に示す委員会の検討の成果であり、具体的な作業は、本委員会のそれぞれに関係する委員及び部会委員の各位が行いました。

本書の作成に当たり貴重なご意見やご指導をいただきました本委員会及び部会委員の各位並びに関係官庁の担当官及び大規模木造建築物に関するアンケート調査、実態調査などにご協力いただいた関係地方公共団体を始め、施設の所有者の方々に対し深甚なる敬意を表するものであります。

平成9年1月

財団法人 日本住宅・木材技術センター
理事長 岡 勝 男

森林資源有効活用促進調査委員会
(大規模木造建築物の保守管理マニュアル作成委員会)

(順不同・敬称略)

委員長	神山 幸弘	早稲田大学理工学部	教授
委員	中島 正夫	関東学院大学工学部	助教授
委員	大橋 好光	東京大学大学院工学系研究科	
委員	長野 憲義	東洋大学工学部	講師
委員	河合 直人	建設省建築研究所第三研究部	研究員
委員	中井 孝	森林総合研究所木材利用部	木材特性科長
委員	田中 俊成	森林総合研究所木材利用部	材料性能研究室長
委員	山本 幸一	森林総合研究所木材化工部	主任研究官
委員	梶山 英幸	(株)一色建築設計事務所	取締役
委員	宮林 正幸	三井木材工業(株)特建事業部	副部長
委員	山井良三郎	(財)日本住宅・木材技術センター	客員研究員
協力委員	吉田 弥明	静岡大学農学部	教授
協力委員	久田 卓興	森林総合研究所木材利用部	加工技術科長 (乾燥研究室長)
協力委員	鈴木憲太郎	森林総合研究所木材化工部	防腐研究室長
事務局	井出 六一	(財)日本住宅木材技術センター	主任研究員

大規模木造建築物塗装マニュアル作成部会

(順不同・敬称略)

部会長	川村 二郎	(財)日本住宅・木材技術センター	客員研究員
委員	石井陽一郎	(株)コシイプレザービング	研究室課長
委員	伊藤 久能	和信化学工業(株)日野工場	住宅関連開発部長
委員	(故)桑鶴 洋生	武田薬品工業(株)生活環境事業部研究開発部	リサーチマネージャー
委員	高橋 孝治	(社)日本塗装工業会	常務理事
協力委員	石田 英幸	(株)インダ	代表取締役
協力委員	細川 哲郎	武田薬品工業(株)生活環境事業部営業部	プロダクトマネージャー
事務局	井出 六一	(財)日本住宅・木材技術センター	主任研究員

大規模木造建築物防腐・防蟻・防せいマニュアル作成部会

(順不同・敬称略)

部会長	神山 幸弘	早稲田大学理工学部	教授 (本委員会委員長)
委員	石田 英生	(株)サイエンス	中央研究所長
委員	蒔田 章	大日本木材防腐(株)	研究開発部長
委員	田中 康則	越井木材工業(株)企画開発部	リーダー
委員	松阪 裕	東洋木材防腐(株)研究開発部	課長
委員	宮林 正幸	三井木材工業(株)特建事業部	副部長 (本委員会委員)
協力委員	雨宮 昭二	(社)日本木材加工技術協会	副会長
事務局	井出 六一	(財)日本住宅・木材技術センター	主任研究員

目次

第1章 大規模木造建築物の材料・施工・維持保全に関する技術指針

1 総則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用語の定義	1
2 材料	2
2.1 木材の品質	2
2.2 集成材の品質	2
2.3 乾燥	3
2.4 接着剤	3
2.5 防腐・防蟻・防せい	4
2.6 塗装	4
3 部材の加工	5
3.1 工場加工	5
3.2 加工精度	5
3.3 工場における製品検査	6
3.4 現場加工	6
4 接合	7
5 運搬・養生	7
5.1 運搬	7
5.2 養生	8
6 組立	8
6.1 建て方計画	8
6.2 建て方準備	9
6.3 建て方	9
6.4 建て入れ直し	10
6.5 建て入れ精度	10
7 維持保全	10
7.1 維持保全の計画と実施	10
7.2 設計者が考慮すべき事項	11
7.3 施工者が考慮すべき事項	11
7.4 所有者・管理者が考慮すべき事項	12
7.5 使用者が考慮すべき事項	12
7.6 維持保全計画で定めるべき事項	12
7.7 参考とすべき維持保全の標準	13

目 次

7.8	ライフサイクルコストによる維持保全計画の検討	14
8	保守	14
8.1	保守の実施	14
8.2	保守の実施に当たって参考とすべき資料	15
第2章 乾燥マニュアル		
1	適用範囲	17
2	木材乾燥の必要性	17
3	木材中の水分と寸法変化	18
3.1	含水率	18
3.2	平衡含水率	18
3.3	乾燥による寸法の変化	19
4	含水率の管理	20
4.1	使用環境による含水率の変化	20
4.2	含水率基準	20
4.3	適正な仕上げ含水率	21
4.4	含水率の測り方	22
5	乾燥の仕組み	23
5.1	乾燥条件と乾燥の速さ	23
5.2	乾燥による損傷	23
6	原木の乾燥	24
6.1	葉枯らし	24
6.2	土場での乾燥	25
6.3	燻煙処理及び熱処理	25
7	製材寸法と材の選別	26
7.1	製材寸法の歩増し	26
7.2	乾燥前の材の選別	26
8	天然乾燥	27
8.1	天然乾燥の方法	27
8.2	天然乾燥の速さ	28
9	乾燥設備	28
9.1	一般的な乾燥設備	28
9.2	急速乾燥のための乾燥設備	29
9.3	やに処理や割れ防止を目的とした設備	30
10	人工乾燥の方法	31
10.1	一般的な乾燥方法	31
10.2	高温乾燥法	32

10.3	高周波過熱・減圧乾燥法	33
11	乾燥後の処理と出荷	34
11.1	乾燥材の養生	34
11.2	寸法仕上げ	35
11.3	出荷検査と表示	35
第3章 防腐・防蟻・防せいマニュアル		
1	適用範囲	37
2	防腐・防蟻処理構造用集成材の製造	37
2.1	製造工程	37
2.2	ひき板の選定	39
2.2.1	樹種	39
2.2.2	品質	40
2.2.3	寸法	41
2.3	防腐・防蟻薬剤の選定	41
2.4	加圧注入処理	46
2.4.1	加圧注入処理前の含水率の調整	46
2.4.2	加圧注入処理方法	47
2.4.3	養生	47
2.4.4	品質検査	48
3	防腐・防蟻処理構造用製材の製造	49
4	加工部分、塗装及び保守に当たって留意すべき事項	52
4.1	加工部分の処理	52
4.1.1	加工部分を処理する方法	52
4.1.2	防腐・防蟻処理薬剤の選定	52
4.2	塗装	53
4.3	保守	53
4.3.1	診断方法	53
4.3.2	補修方法	54
5	構造用金物などの防せい処理	56
5.1	亜鉛を用いた防せい処理	58
5.1.1	亜鉛による防せい処理の種類	58
5.1.2	亜鉛めっき処理方法	62
5.1.3	建築物への適用	63
5.2	防せい塗装	65
5.2.1	防せい塗装の種類	65
5.2.2	防せい塗料	66

目 次

5.2.3 防せい塗装施工	68
5.3 防せい計画上の留意点	70

第4章 塗装マニュアル

1 総 則	73
1.1 適用範囲	73
1.2 用語の定義	73
1.3 施工管理技術者	74
1.4 技能士	75
2 工法一般	75
2.1 塗装工程及び工法の承認	75
2.2 塗り見本及び塗装試験	75
2.3 計画及び工程管理	76
2.4 塗装用器材及び工具	77
2.5 塗り工法	80
2.6 気象及び環境	81
2.7 養生	82
2.8 安全管理	82
2.9 検 査	83
3 材料一般	84
3.1 材料の種類及び品質	84
3.1.1 材料の種類	84
3.1.2 材料の品質	84
3.2 材料の取扱い及び保管	85
3.3 材料の調整	85
4 素地一般	86
4.1 素 地	86
4.2 塗り替え下地	86
4.3 素地及び塗り替え下地の状態	87
4.3.1 素地の状態	87
4.3.2 塗り替え下地の状態	88
5 塗り工事	89
5.1 適用及び工事の範囲	89
5.2 新築塗装工事	89
5.2.1 適用する素地及び状態	89
5.2.2 適用する塗装の種類	89
5.2.3 素地調整	90

5.2.4	素地調整の工程	90
5.2.5	工法	91
5.3	木材保護着色塗料塗り	91
5.3.1	適用範囲	91
5.3.2	材料	92
5.3.3	素地及び素地調整	92
5.3.4	工程	92
5.3.5	工法	93
5.4	塗り替え塗装工事	94
5.4.1	適用する下地及び状態並びに塗り替え時期	94
5.4.2	適用する塗装の種類	94
5.4.3	下地調整用材料	94
5.4.4	工事の範囲	94
5.4.5	下地調整の工程	95
5.4.6	木材保護着色塗料塗り	95
6	木材保護着色塗料の性能基準	97
6.1	適用範囲	97
6.2	種類	97
6.3	品質	97
6.4	試験方法	98
6.4.1	容器の中での状態	98
6.4.2	耐候性試験	98
6.4.3	防腐性能試験	98
6.4.4	かび抵抗性試験	101
6.4.5	発水度試験方法	102
6.5	防腐試験方法解説	102
6.5.1	防腐効力試験方法	102
6.5.2	本法の要点	102
第5章 施工マニュアル		
1	材料	108
1.1	木材の品質	108
1.1.1	素材及び製材の品質	108
1.1.2	構造用製材の品質	108
1.2	集成材の品質	113
1.2.1	構造用集成材の品質	113
1.2.2	造作用集成材の品質	121

目 次

2 部材の加工	122
2.1 工場加工	122
2.1.1 工作図の作成及び承認	122
2.1.2 原寸図の作成及び検査	123
2.1.3 定規・型板の作成	124
2.1.4 墨付け	124
2.1.5 長さ切断	125
2.1.6 ボルトなどの孔加工	126
2.1.7 その他の切削加工	126
2.1.8 表面仕上げ	127
2.1.9 塗装仕上げ	128
2.2 加工精度	128
2.2.1 はり及び柱の長さ	128
2.2.2 はりの曲り	128
2.2.3 柱の曲り	129
2.2.4 大断面部材の断面辺長	129
2.2.5 接合部	129
2.3 工場における製品検査	130
2.3.1 製品検査の目的	130
2.3.2 製材品の寸法、形状及び含水率	131
2.3.3 集成材の寸法及び形状	132
2.3.4 ボルトなどの孔径及び位置の精度	132
2.3.5 接合金物の寸法及び形状	134
2.3.6 仮組立	136
2.3.7 防腐・防蟻処理及び塗装処理の程度	136
2.3.8 補修	136
2.4 現場加工	137
3 接合	137
3.1 適切な接合方法の選択	137
3.2 接合具及び接合金物の保守	145
3.3 接合具及び接合金物の検査	146
4 運搬及び養生	146
4.1 運搬	146
4.1.1 輸送計画の立案	146
4.1.2 部材の寸法規制	147
4.1.3 荷積み、荷降ろし及び作業者の資格	147
4.1.4 荷積み及び荷降ろしの作業手順	148

4.1.5	部材運搬時の注意	148
4.1.6	荷積み及び荷降ろし作業時の部材保護	149
4.2	養生	149
4.2.1	荷降ろし後の現場での養生	149
4.2.2	屋外における長期間の保護	150
5	組立	150
5.1	建て方計画	150
5.1.1	作業計画	150
5.1.2	建て方計画立案に必要な検討項目	150
5.2	建て方準備	152
5.2.1	建て方準備作業	152
5.2.2	アンカーボルトの位置の確認	152
5.2.3	部材の搬入	153
5.2.4	部材の受入れ検査	153
5.2.5	地組	153
5.2.6	建て方作業の安全性確認	154
5.3	建て方	154
5.3.1	建て方順序	154
5.3.2	吊り揚げ作業	155
5.3.3	建て方途中における構造安全対策	156
5.3.4	建て方途中における作業休止時の対策	156
5.3.5	悪天候時の安全対策	156
5.4	建て入れ直し	156
5.4.1	建て入れ直しの目標精度	156
5.4.2	建て入れ直しの時期	157
5.4.3	建て入れ直しの際の注意	157
5.4.4	建て入れ直しの検査	157
5.4.5	本締め	158
5.5	建て入れ精度	158
5.5.1	柱及びフレームの鉛直度	158
5.5.2	建築物の湾曲	158
5.5.3	階高	159
5.6	構造躯体の組立事例	159
第6章 建物維持管理マニュアル		
1	建築物の変状診断	165
1.1	点検箇所	165

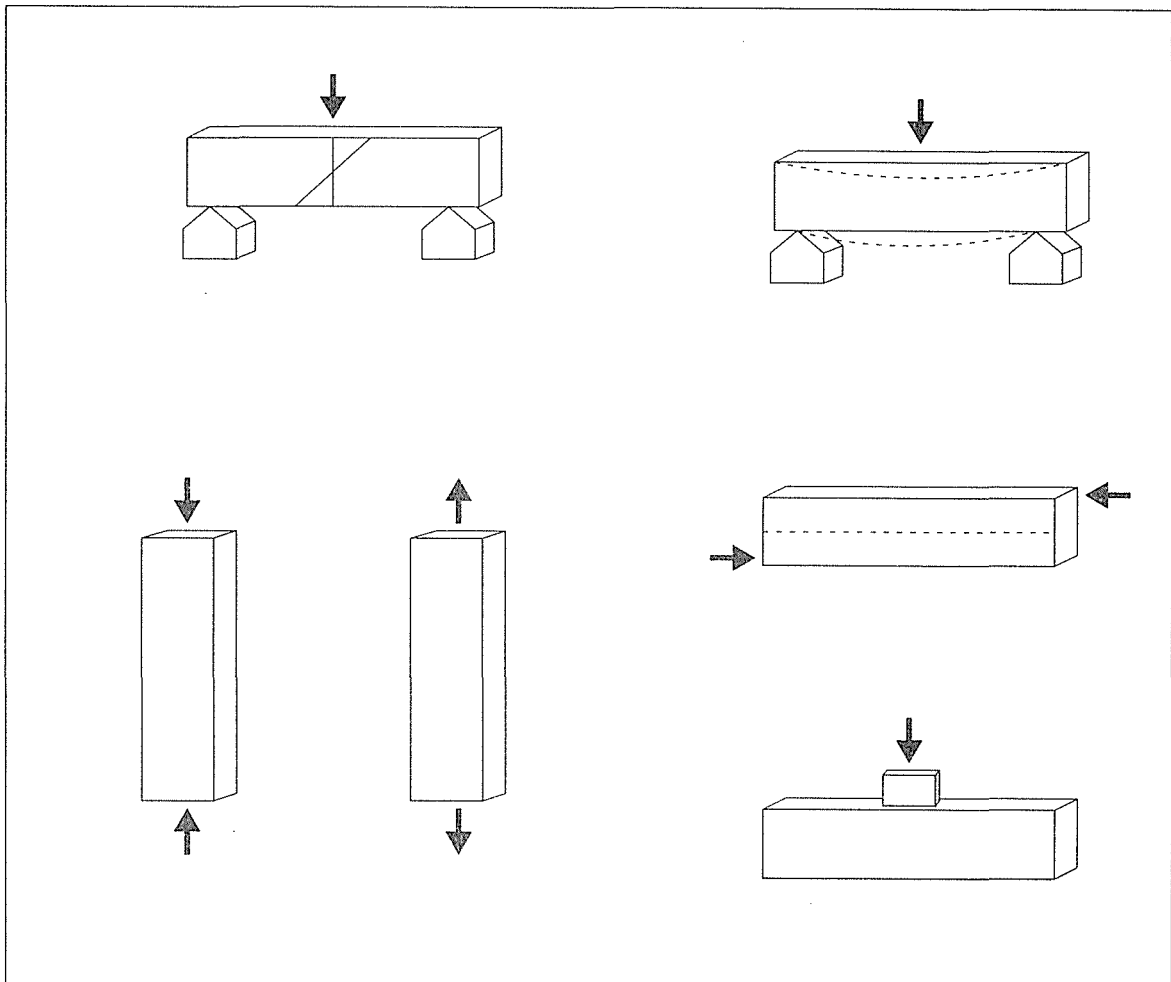
目 次

1.2	点検項目	166
1.3	点検方法及び点検周期	169
1.4	点検結果の判定	170
1.5	修繕の指針	171
2	腐朽診断	171
2.1	点検箇所	171
2.2	点検項目及び点検方法	172
2.2.1	点検項目	172
2.2.2	点検方法	173
2.3	点検時期及び点検周期	174
2.4	点検結果の判定	174
2.5	修繕の指針	174
3	蟻害診断	175
3.1	点検箇所	175
3.2	点検項目及び点検方法	176
3.3	点検時期及び点検周期	178
3.4	点検結果の判定	179
3.5	修繕の指針	182
4	腐食診断	183
4.1	点検対象	183
4.2	点検項目及び点検方法	184
4.3	点検周期	188
4.4	点検結果の判定	189
4.5	修繕の指針	191
5	接着層診断	196
5.1	点検箇所	196
5.2	点検項目及び点検方法	198
5.3	点検周期	198
5.4	点検結果の判定	199
5.5	修繕の指針	199
6	接合部診断	200
6.1	点検箇所	200
6.2	点検項目及び点検方法	200
6.3	点検周期	201
6.4	点検結果の判定	202
6.5	補修の指針	202

[付]	木材・腐朽・シロアリ・キクイムシ・腐食並びに防腐・防蟻処理及び耐久性に関する基礎知識	
1	木 材	205
2	腐 朽	207
3	シロアリ	213
4	キクイムシ	224
5	腐 食	226
6	防腐・防蟻処理及び耐久性	230

構造用木質建材の設計強度

— 木造設計の必携書 —



財団法人 日本住宅・木材技術センター

はじめに

最近、木造建築に関心が高まり日本各地で大規模木造建築物や三階建ての住宅が建設されている。また新しい木質材料が開発されいろいろな場所で使用されているのを見る機会も多くなってきた。

一方、世界的に自然環境問題として木に対する議論も深まっている。木はその特性をいかして多種多様に使用されている。木は再生できる優れた材料であるが、我々は限られた資源を有効に利用し、適材適所に使用していくことを考えていかなければならない。

木質材料を構造耐力上主要な部分に使用するには、特に構造計算を行う場合には、基本的な許容応力度や弾性常数が必要になる。この報告書は木質構造材料を合理的に使用していくための基礎資料として、我が国や北米の考え方を参考にしながら構造性能を中心にまとめたもので、設計者等の方々の座右の書として作成したものである。

平成 8 年 1 2 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

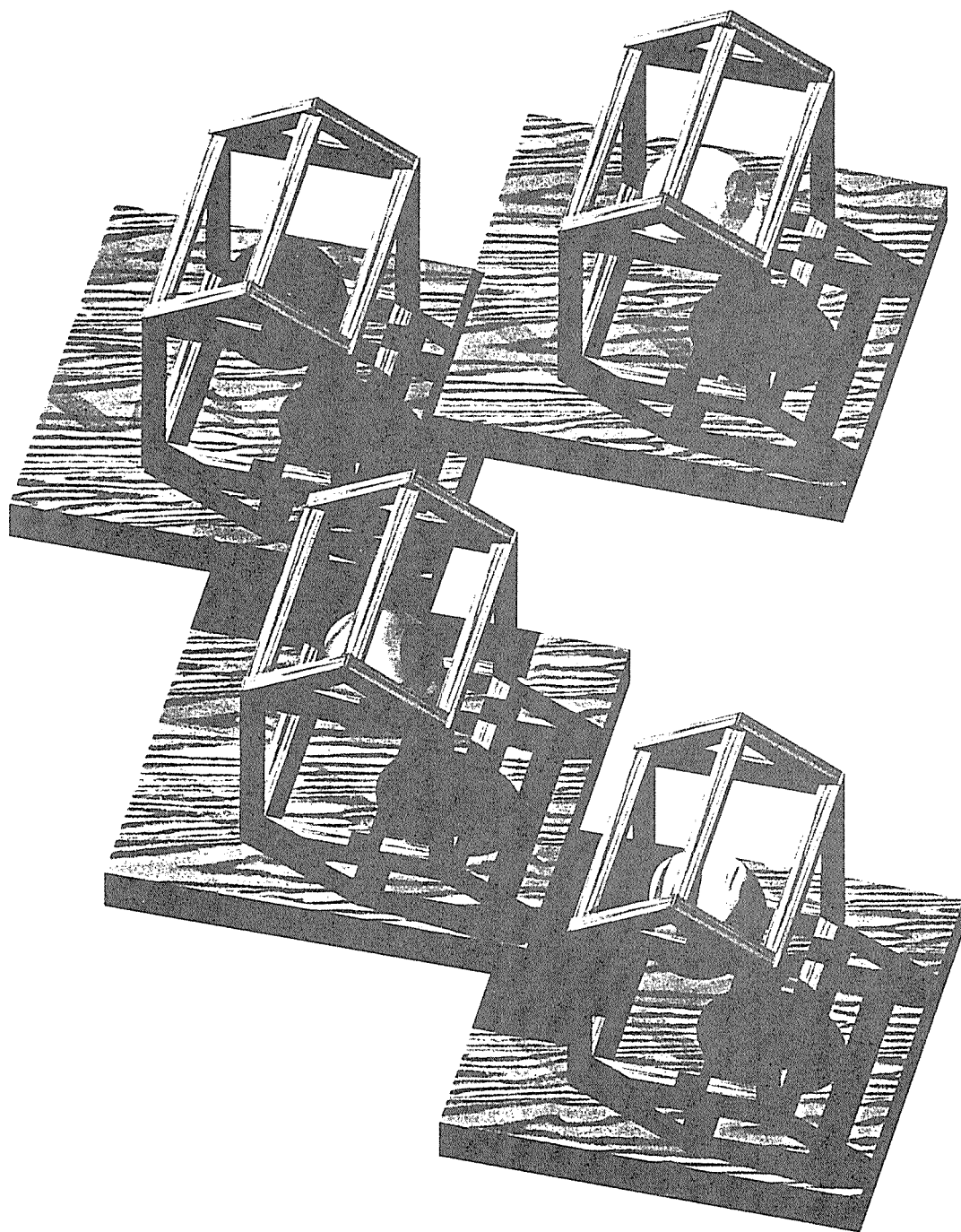
目 次

1	木質構造材料の分類	1
2	木質構造材料の種類	3
2.1	構造用製材	3
2.1.1	針葉樹の構造用製材 (J A S 1 4 3)	4
	a. 目視等級区分製材	4
	b. 機械等級区分製材	4
2.1.2	2 x 4 工法用製材	5
	a. 枠組壁工法構造用製材 (J A S 6 0 0)	5
	b. 枠組壁工法構造用たて継ぎ材 (J A S 7 0 1)	6
	c. 機械による曲げ応力等級区分を行う枠組壁工法構造用製材 (J A S 7 0 2)	6
2.2	構造用集成材	7
2.2.1	化粧ばり構造用集成柱 (J A S 6 0 1)	8
2.2.2	構造用集成材 (J A S 1 1 1)	8
2.3	構造用単板積層材 (J A S 1 4 4 3)	8
2.4	P S L	9
2.5	O S L	9
2.6	木造 I 型ビーム	9
2.7	構造用合板 (J A S 1 3 7 1)	10
2.8	構造用パネル (J A S 3 6 0)	10
2.9	その他の木質構造材料	11
3	構造材料として使用するための法的根拠	12
4	木質構造材料の強度性能評価	13
4.1	無欠点小試験体による方法	13
4.2	イングレードテストによる方法	13
4.3	機械による方法	13
5	試験方法	15
5.1	サンプリングの重要性	15
5.2	統計処理	15
6	許容応力度の誘導方法	17
6.1	一般構造製材	17
6.2	枠組壁工法構造用製材	17
6.3	M S R 製材	18
6.4	構造用集成材	18
6.5	構造用合板	19
6.6	その他の木質構造材料	19
7	許容応力度及び弾性常数表	20
表 1	木材の許容応力度	21

表 2	木材のめりこみの許容応力度	21
表 3	針葉樹の構造用製材（目視等級区分製材）の許容応力度	22
表 4	針葉樹の構造用製材（機械等級区分製材）の許容応力度	24
表 5	構造用集成材（対称異等級構成集成材）の許容応力度	25
表 6	構造用集成材（非対称異等級構成集成材）の許容応力度	26
表 7	構造用集成材（同一等級構成集成材）の許容応力度	27
表 8	化粧ばり構造用集成柱の許容応力度	29
表 9	集成材のせん断の許容応力度	30
表 10	集成材のめりこみの許容応力度	31
表 11	枠組壁工法構造用製材の許容応力度	32
表 12	枠組壁工法構造用たて継ぎ材の許容応力度	33
表 13	枠組壁工法の M S R 製材の許容応力度	34
表 14	N L G A S P S 2-94 M S R 製材の許容応力度	35
表 15	N L G A S P S 2-94 M S R 製材のせん断の許容応力度	35
表 16	構造用単板積層材の許容応力度（その 1）	37
表 17	構造用単板積層材の許容応力度（その 2）	38
表 18	枠組壁工法構造用製材の許容応力度（住宅金融公庫）	39
表 19	樹種群及び等級別許容圧縮応力度（住宅金融公庫）	39
表 20	構造用集成材の許容応力度（住宅金融公庫）	39
表 21	木材の繊維方向のヤング係数（木質構造設計規準）	40
表 22	構造用集成材の繊維方向のヤング係数（木質構造設計規準）	41
表 23	同等級ラミナで構成する構造用集成材の繊維方向のヤング係数 （木質構造設計規準）	42
表 24	表面の繊維に平行方向の曲げ・引張り・圧縮の各許容応力度 （構造用合板 1 級、見かけの全段面について） （木質構造設計規準）	43
表 25	表面の繊維に直交方向の曲げ・引張り・圧縮の各許容応力度 （構造用合板 1 級、見かけの全段面について） （木質構造設計規準）	43
表 26	表面の繊維と 45 度をなす方向の引張り・圧縮の各許容応力度 並びにめり込み・せん断の許容応力度（構造用合板 1 級、 見掛けの全断面について）（木質構造設計規準）	44
表 27	構造用合板のヤング係数及びせん断弾性係数（構造用合板 1 級、 見掛けの全断面について）（木質構造設計規準）	45
表 28	構造用合板 2 級の表板の繊維に平行方向の曲げヤング係数 （木質構造設計規準）	45
表 29	合板の長期曲げ許容応力度	46
表 30	合板の長期引張り許容応力度	47
表 31	合板の長期圧縮許容応力度	47
表 32	合板のめりこみ許容応力度	48

表 3 3	合板の長期せん断許容応力度	48
表 3 4	合板のローリングシアの長期許容応力度	48
表 3 5	合板の曲げ、引張り、圧縮ヤング係数	48
表 3 6	合板の剪断弾性係数	49
表 3 7	合板の長期曲げ許容応力度 (0°方向)	49
表 3 8	合板の長期曲げ許容応力度 (90°方向)	50
表 3 9	合板の長期引張り許容応力度 (0°方向)	50
表 4 0	合板の長期引張り許容応力度 (90°方向)	51
表 4 1	合板の長期圧縮許容応力度 (0°方向)	52
表 4 2	合板の長期圧縮許容応力度 (90°方向)	52
表 4 3	合板の長期めりこみ許容応力度	53
表 4 4	合板の長期剪断許容応力度	53
表 4 5	合板の長期ローリングシア許容応力度	53
表 4 6	合板の曲げヤング係数	54
表 4 7	合板の引張りまたは圧縮ヤング係数	54
表 4 8	合板の剪断弾性係数	55
表 4 9	合板の等級記号と等級	55
表 5 0	合板の樹種グループと樹種	55
表 5 1	J A S 構造用パネルの適合基準	56
表 5 2	JIS A 590 による適合基準	57
8.	引用文献	58

地震に強い丈夫な家造り 構造用合板の手引き



(財)日本住宅・木材技術センター
日本合板工業組合連合会

1.	合板の基礎知識……………1	4.	構造用合板を張った床・屋根…11
1.1	合板とは	4.1	水平耐力
1.2	合板の特徴	4.2	水平構面の役割
1.3	合板の種類	4.3	耐力のメカニズム

2.	構造用合板とは……………1	4.4	施工の要点
2.1	構造用合板の種類	4.4.1	床構面の施工
2.1.1	1級と2級	4.4.2	屋根構面の施工
2.1.2	特類と1類	4.5	床の鉛直荷重に対する性能
2.2	構造用合板の許容応力度		
2.3	構造用合板の弾性定数		
2.4	構造用合板の厚さとJASマーク		
2.5	ラワン合板から針葉樹合板へ		

3.	構造用合板を張った耐力壁…7	5.	構造用合板のその他の利用…17
3.1	耐力	5.1	合板ガセットトラス
3.2	耐力のメカニズム	5.2	合板ボックスビーム
3.3	施工の要点		

		6.	構造合板の施工例……………18
			施工例 ①～⑤
