

木材強度・木質構造研究会
第13回木材接着研究会

合同シンポジウム
講演要旨集

日・時：1992年9月24日(木)～25日(金)
会 場：近畿大学農学部(奈良市)

主催：日本木材学会木材強度・木質構造研究会
日本木材学会木材接着研究会
後援：財団法人日本合板技術研究所
合成樹脂工業協会

木材強度・木質構造研究会
第13回木材接着研究会
合同シンポジウム

課題 「接着が今後の木質構造を変えるか？ その可能性を探る。」

1. 日時：平成4年9月24日（木） 研究会 9：50～17：00
懇親会 18：00～20：00
9月25日（金） 見学会 9：00～12：00
2. 会場：近畿大学農学部（奈良市中町3327-204）
（懇親会会場：猿沢荘 見学会：国立文化財研究所）

日本木材学会木材強度・木質構造研究会
日本木材学会木材接着研究会

プログラム

9月24日(木)

- 9:50~10:00 開会挨拶
- 10:00~10:30 木質構造における接着の現状と将来 1
有馬孝禮氏 (東京大学農学部)
- 10:30~11:00 FRP板挿入ガセット接着接合 7
宮武 敦氏 (森林総合研究所)
- 11:00~11:30 木構造のための高強度・高靱性接着接合法の開発 15
小松幸平氏 (森林総合研究所)
- 11:30~12:00 集成材用としての水性高分子・イソシアネート系接着剤 .. 27
田村靖夫氏 (光洋産業(株))
- 13:00~13:30 集成材の接合板としてのスギ強化LVLの製造 31
中田欣作氏 (奈良県林業試験場)
- 13:30~14:00 現場接着接合部に安定した性能を期待するために 41
井上明生氏 (森林総合研究所)
- 14:00~14:30 接着サイドから見た木質構造の接着接合 49
小西 信氏 (小西技術士事務所)
- 15:00~17:00 パネル ディスカッション

「接着が今後の木質構造を変えるか？」

司会：平嶋義彦氏 (静岡大学農学部)

18:00~20:00 懇親会 (於猿沢荘 チャーターバスで移動予定)

9月25日(金)

9:00~12:00 見学会 平城宮跡国立文化財研究所

(近鉄奈良駅9:00集合-->近鉄西大寺駅--徒歩-->国立文化財研究所)

1. エンジニアリングウッドの新たな展開における接着

我が国は世界に類をみない多彩な木造建築工法が存在しているが、その潜在需要を目指して世界の木材がそして木質材料が多く紹介されてきた。建築基準法の改正や日米構造協議などにみられる木造建築物の建設に係わる自由度増大は新たな展開を期待するものがある。当然そこにはエンジニアリングウッドと呼ばれる木材、木質材料の大半が接着製品であることもあり、その評価と建築物の実際面で今後の展開が注目されることになる。それは接着接合部の評価にも従来の木質材料における接着強度や耐久性だけでなく、幅広い要求がでることを意味している。

本報告では現場におけるエンジニアリングウッドとしての接着技術の品質管理システムと大規模木構造建築の新たな展開における接着評価体系とそれに関連する課題について述べる。

2. 工場接着と現場接着

集成材、LVL、合板、構造用パネルに代表されるエンジニアリングウッドは工場における接着管理の上に成り立っている。また、接着パネル、複合梁など木質構造用の接着製品も管理された工場での製造を原則にしており、建設現場における接着としては枠組壁工法の床組に釘との併用、木質系パネルの一部の相互接合で使用されているのみであった。しかしながら、多様化した集成材建築物では構造設計上から接合の剛性の確保や、我が国の資材運搬に関する道路事情などから建設現場に近いところで接着接合したいという希望は多く、技術開発としてとりあげられ実績もみられるようになってきた。

現場接着と工場接着との差異についてみると、現場接着の方が取り巻く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生じる接着力のバラツキの程度はどれぐらいかが明らかでないからであると考えられる。すなわち、現場接着接合が2次接着であるということから次の2つの側面からの検討が必要となる。

(1) 2材を長さ方向に継ぐ、隅角部を継ぐあるいは側面同志を張り合わせるという設計、構造上の評価である。ラミナや単板を接着するのと異なり、断面形状や作用する応力が複雑である。すなわち、その接合部がどれぐらいの耐力や剛性が期待できるのかという問題であり、工場や現場を問わず、接合タイプに関する接着接合機構の問題である。

(2) 期待される耐力や剛性の確保が実験的に可能になったとして、実際の施工現場で構造耐力の担保がどの程度できるのかという問題である。その場合、接着の方法や管理の方法などが仕様書的に定まっているときはそのシステムの信頼性評価の問題であり、ある非破壊試験方法によって直接評価するのが可能であれば、その方法の相関性、推定の信頼性の問題になる。現時点では前者にもとづいた現場サイドのバックデータによる両者の併用的な運用が現実的であろう。とくに、非破壊検査方法による定量的な耐力の評価、推定は研究と試行の段階であるからである。

2. 品質管理システムと接着評価体系

比較的大量生産する工場での接着製品の構造耐力の担保する方法には

- (1) 工程を管理し、抜き取り試験などで検査を徹底する
- (2) 非破壊的な方法を工程の中に組み込み、欠損や強度を推定して評価する
- (3) プルーフテストのように保証すべき耐力に相当する負荷を直接与え、破壊しないこと、あるいは支障のないこと確認する

などが考えられる。

(1) では平均値、統計的な下限値（バラツキを表す変動係数に相当する）などを求めることになる。また、接着製品については接着力が0ということが危惧されることからすべての試験体に満足すべき最低値を付加することもある。連続的に生産されるような場合には日常的な品質管理のなかで異常を発見し、その原因の解明、制御の再検査などが行われることになる。

(2) の代表的な方法には木材の強度をそのヤング係数から推定する機械的等級区分がある。それには既存のデータから得られている制御値をマシンに設定して区分するインプット方式と要求される強度値を与え、それが日常的な品質管理試験で統計的に満足されるように工程中のマシンをコントロールするアウトプットコントロール方式がある。

(3) の方法はより確実な安全性を確保したいときや、他の非破壊試験などの信頼性が乏しいときなどに用いられる。フィンガージョイントなどに適用されている。

しかしながら、比較的限られた量の接着を行う現場接着を想定したとき、これらの方法はかなり困難を伴う。したがって、接着技術というハードな側面だけでなく、表1に示す現場管理のシステムとしての位置付けが重要で、コンクリートのコア試験のような対照試験体による試験やそのシステムの信頼性を評価できる一種の In-grade testing が重要になる。

ただ、構造物における安全の確保はあるロットで生産される製品における信頼性（統計的品質管理）とはかなりニュアンスが異なる。とくに直接個々の耐力を評価、推定するための精度の高い非破壊検査方法が期待される。

3. 接着欠損や強度評価のため非破壊検査

接着欠損や強度を直接評価するための非破壊検査として超音波の伝達時間と接着部の欠損、接着せん断耐力の関係が実験的に検討されている。

得られている主な知見^{1) 2)}は以下の通りである。

(1) 超音波の伝播時間差などによる定量的な数値による絶対的な単独評価は困難である。すなわち、単独評価でなく接着面に直角（厚さ方向）と接着面を斜めにクロスする方向（幅方向）などについて計測し、分布などから相対的な評価をすることがよい。

(2) 接着欠損部は完全な部分に比較して超音波の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。

(3) 超音波の時間差（厚さ方向および幅方向）とせん断強度の関係は大きくばらついているが、負の相関があり、時間差がある数値以上になると強度がきわめて低くなることが認められる。

(4) 全試験体のせん断強度の分布の推定は厚さ方向の時間差の区分と幅方向の時間差の

区分を併用することで判定の精度はかなり高くなる。

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している。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。言葉を代えれば欠こうの程度、接着されているかどうかを区分している。最近の報告³⁾にみられる超音波の透過の有無で欠陥部がある程度判定できると言う結果と類似しているといえよう。

これらは接着部の欠損などの生じる耐久性評価に有効な情報となると考えられるが、実際の耐力の定量評価にはまだ不十分とおもわれるので、実大部材の耐力評価とあわせて今後さらに検討していく必要がある。

3. 接着併用型接合とフェイルセーフ

木構造の接合は基本的には釘や金物による機械的な接合が支配的であり、接着はその耐力への信頼感が不十分であったこともあり補助的であった。接着に基本的な耐力を期待することが多くなってきたが、安全性の確保に当たっては接着単独の信頼性だけでは不十分であることも十分考えられる。したがって、安全弁としての機能が具わっていた方が好ましいことも少なくない。すなわち、評価としてのFAIL SAFEの導入である。しかしながら、論理的体系と実験的裏づけはほとんどなされておらず、今後の重要な課題であろう。同時に接着は変形性能が少なく、粘りに欠けることもあり、靱性の保持のための接合形式の併用⁴⁾の検討が望まれる。保有耐力計算に用いられるDsは定性的な表現がなされているが、具体的な接合形式によるDsへ対応は確立していない。

4. 充填と接着

ボルトなどの機械的接合は局所的な荷重が作用し、木部のもっとも弱体である割裂やせん断、めり込みを生じることが多い。したがって、接着は荷重の分散伝達する効果を期待することもありうる。また、機械的接合には“遊び”があるために荷重の偏在、集中が生ずる。接合部のエポキシ樹脂などによる充填は接合耐力に大きな寄与を示している。とくに鉄筋挿入など接合形式における樹脂充填の実務的な実験データ⁵⁾では注目すべき点が多いが、その接合部の特性を示す力の伝達、抵抗の機構については今後検討の余地がある。

5. 接着の粘弾性特性を生かす途は

従来、木質構造に用いられる接着剤は変形性能が少なく、粘りに欠けるのが一般的である。すなわち剛性の高い接合を求めてきたし、それが主流であることは間違いない。しかしながら、構造物で大きな耐力を要求されるのは、地震や台風などの比較的短時間の外力に対してである。現在ここでは粘弾性の特性は意識されていない。たとえば粘着剤とよばれる接着剤は粘性の要素の強い粘弾性の特性を示すので、瞬間的な力に対しては抵抗し、減衰が大きくなる^{6) 7)}。粘着接合は短期間の加力には剛性を発揮し、衝撃力の緩和を果す可能性が認めれるが、長期間にわたる荷重には効果が期待できない。したがって加力条件に応じて機械的な接合と併用することが必要であろう。粘着剤の特性は種類で大きく異なるであろうし、そのダンパー機能が木構造の接合部の靱性や衝撃等、作用する力に対してどのような挙動を示すか興味深い。

文献

- (1) 横沢、中村、有馬、大熊：第40回日本木材学会大会研究発表要旨集 p386 (1990)
- (2) 中村、有馬、大熊：日本建築学会大会学術講演梗概集 p137-138 (1990)
- (3) 小塚裕一、木村 衛、楠寿博、太田道彦、畑中公樹、伊東洋路：
日本建築学会大会学術講演梗概集 p135-136 (1990)
- (4) 宮村、佐藤、有馬：日本建築学会大会学術講演梗概集 p131-132(1990)
- (5) 例えば鷺海、小野、小林、高坂日本建築学会大会学術講演梗概集 p129-130(1990)
- (6) 槌本敬大、有馬孝礼、中村昇：第40回日本木材学会大会研究発表要 p406 (1990)
- (7) 有馬孝礼、中村昇：日本建築学会大会学術講演梗概集 p139-140 (1990)

表1 接着評価のための施工マニュアル(例)

1. 接着技術

1. 1 接着剤 (種類、仕様)
1. 2 接着条件 (環境(温度、湿度など)、圧縮圧、アセンブリータイム)
1. 3 被着材 (樹種 乾燥度 表面性状)
1. 4 接着力データ (標準状態 促進劣化 暴露 追跡実態調査)
1. 5 接着技術者

2. 接着現場の設備、検査体制

2. 1 接着環境
2. 2 設備
2. 3 標準工程
2. 4 管理技術者

3. 検査

3. 1 検査方法 (対照試験体による強度試験、現場の非破壊検査法)
3. 2 追跡調査

4. 維持管理

4. 1 点検
4. 2 補修

F R P 板挿入ガセット接着接合

森林総合研究所 宮武 敦

1. 開発の背景

木造建築には、材料製造や部材部品組立に、接着手法が広く用いられてきた。集成材、L V L、合板、パーティクルボード等の接着加工材料は、製材品にない大きな寸法や自由な形状、さらに安定した品質性能を実現し、建築工法自体をも変化させてきた。例えば、集成材は大断面、大スパン、高強度、わん曲などの特徴を生かし、多彩な大規模木構造物を可能にしている。また、木質パネルは、部材化部品化方式により、性能向上とあわせて現場労働量の低減にも寄与している。今後、労働力の質的量的な低下が予想される中、品質向上と生産性向上の要求に応えるためには接着手法の適用がますます求められると考えられる。特に、新しい分野、建築施工面への簡易かつ高性能で美しい接着接合法の開発が求められ、それによる新しい建築の展開が期待されている。¹⁾

新しい接合法の開発にあたって、従来の接合法の問題点を、和式接合の継手仕口および現在主流の金物接合を例に抽出し表1に示す。和式接合は、美しく仕上がる反面、加工が面倒であり、

また木材の切欠きが大きいため接合強度は小さく変形が大きいなどの欠点を持つ。一方、金物接合は、構造計算可能な強度性能を有するが、必要な接合寸法が大きいことや、鋼板、ボルト、ピンなを使用することから木構造建築本来の美観が損なわれる欠点を持つ。また、ボルトの穴あけ作業などの現場施工性においても問題点が指摘されている。²⁾

そこで、高強度の薄板を部材内部に多列に挿入し接着接合する方法を考案した。高強度の薄板としては、先端材料の1つで近年めざましく普及してきたFRPを選択した。FRPは、エポキシ樹脂等のプラスチックをガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維等で強化したもので、金属の代替材料として開発され、軽量、高強度、一体成形性、設計自由度等の特徴を持つ。特に、弾性係数や強度を任意に設計できる特徴は構造物へ利用していく上で非常に有効であると考えられる。また、FRPの基材として使用されるエポキシ樹脂は接着剤の主剤としても使われており、木材接着用の接着剤も数多く開発されている。エポキシ樹脂接着剤は、主剤

表1 FRP板挿入ガセット接着接合法の開発のねらい

	継手仕口	金物接合	FRP板挿入ガセット接着接合
形状	良い	悪い	内部(挿入ガセット)
寸法	中	大	小(多列スリット)
加工	難	易	易(丸鋸, 帯鋸)
変形	大	中	無(接着接合)
強度	小	中	大(FRP板)

や硬化剤を分子設計したり添加剤を加えることで、対衝撃性や耐熱性を付与したり、可とう性、流動性などを変えることが可能であり、構造用接着剤として有利な性質を有していると思われる。これらのことから、この方法によれば、加工を既存の切削機械で簡易に行え、施工が簡易で、部材内部に接合部を内包する洗練されたしかも部材性能に匹敵する強度を持つ接合部を構成することができると考えられる。

2. 試験方法

2.1 FRP板の設計

接着接合部に使用するためのFRP板は、強度はできるだけ高く、しかし弾性率は木材に近いものが適当と考えられる。先述したように、FRPはその強度的性能を任意に設計できるので、必要な強度性能を持つFRP板の製造をFRPメーカーのN社に依頼した。今回使用したFRP板の構成と諸物性をスギ集成材のそれと比較して表2に示す。引張および曲げ強さが木材の約15~20倍であるのに対して、弾性係数は2~4倍程度である。また、熱伝導率や線膨張率など熱的性質も木材に近い。なお、FRP板の厚さは2mmであった。

2.2 試験体の製造

試験は、集成材の梁や柱の接合、お

表3 試験体の概要

種類	樹種	断面寸法 幅×高さ(cm)	スリット 方向	接合 方向	試験 タイプ
通直 集成材	スギ	10.0×7.5	垂 直	通 直	A
		10.0×7.5		通 直	B
		15.0×10.0		直 角	C
直交 積層板	カラマツ	42.5×6.0	水 平	通 直	D
		42.5×10.0		通 直	E

表2 FRPおよびスギ集成材の物性

a) FRP

ガラス繊維厚さ	0.15mm
ガラス繊維 [°] 材数	10枚
ガラス繊維含有率	70%
エポキシ樹脂率	30%
比重	2.7
引張強さ	4,000kg/cm ²
曲げ強さ	6,000kg/cm ²
引張弾性係数	250,000kg/cm ²
曲げ弾性係数	250,000kg/cm ²
熱伝導率係数	0.70kcal/m・hr・°C
線膨張率係数	18×10 ⁻⁶ /°C

b) スギ集成材

比重	0.40
引張強さ	190~270kg/cm ²
曲げ強さ	280~405kg/cm ²
曲げ弾性係数	60,000~100,000kg/cm ²
熱伝導率係数	0.10kcal/m・hr・°C
線膨張係数	3~4×10 ⁻⁶ /°C
線膨張係数	30~40×10 ⁻⁶ /°C

よび木造橋の部品、特に床板の開発を対象として行なった。

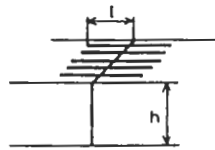
試験体の概要を表3に示す。梁・柱接合試験は、5層のスギ通直集成材を用い、スリット方向は荷重に平行、接合方向は通直(タイプA、C)および直角(タイプB)の3種類で行なった。また、木造橋の床板の接合試験は、ス

リット方向は荷重に垂直、接合方向は通直とし、断面の異なる3層(タイプD)および5層(タイプE)のカラマツ直交積層板³⁾の2種類で行なった。

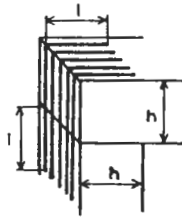
図1にFRPガセット部の寸法と構成を示す。梁・柱接合試験体のうち通直接合では、ガセット長さを材せい比0.33~1.25、直角接合では1.0とした。床板接合試験体では、スリットは3層積層板の最外層、5層積層材の最外層と中央ラミナの中心に切り込んだ。スリット長さは、曲げ試験時に木材とFRPとの接着層に負荷される引張せん断力の大きさを考慮して、圧縮側を短く、引張側を長く設計した。

図2に試験体の製造方法を簡単に示す。使用する集成材の端部に、丸鋸あるいは帯鋸で、溝幅約2.5~3.0mmのスリットを所定の長さ切り込んだ。FRP板は所定の大きさに裁断し、表面の離型剤を除去するため、軽くサンダーをかけ、メチルエチルケトン(MEK)で洗浄した。接合する端面を突き合わせ、透明粘着テープを用いて接着剤の目止めと試験材の仮止めを行なった。エポキシ樹脂接着剤をFRP板に塗布、またスリット内に適量流し込んだ後、FRP板をスリットに挿入した。木材への浸透などにより接着剤が減少した場合は適宜補充を行なった。20℃、65%RH雰囲気下で、1週間以上硬化養生させた後、強度試験を行なった。

図3に接合強度試験の方法を示す。通直試験体は、2点荷重方式の曲げ試験、また直角試験体は、両端部のボルトを介して接合部が開く方向に負荷する引張試験を行なった。



タイプ	l
A	0.33 h 0.66 h
FRP5枚	1.00 h
C	0.75 h 1.00 h
FRP7枚	1.25 h



タイプ	l
B	1.00 h



タイプ	a (mm)	b (mm)	c (mm)
D	25	-	75
	25	-	100
	25	-	125
E	25	37.5	75
	25	50	100
	25	62.5	125

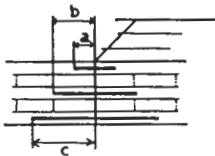


図1 ガセット部の構成および寸法

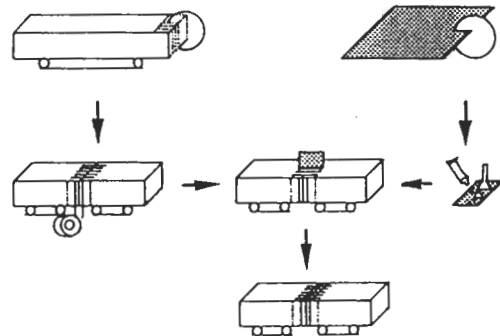
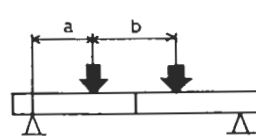
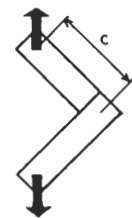


図2 試験体の製造方法



タイプ	a (mm)	b (mm)
A	437.5	225
C	675	450
D, E	520	520



タイプ	c (mm)
B	424

図3 接合強度試験方法

3. 結果および考察

3. 1 梁・柱接合試験

通直および直角方向接合の曲げ強度およびせん断強度を、ガセット長さ別に図4に示す。なお、せん断強度 τ の算出は以下の式で行なった。

$$\tau = \frac{M \cdot r}{I_p \cdot N} \quad \text{①}$$

ここで、 M : 曲げモーメント, r : 極二次半径, I_p : ガセットの断面極二次モーメント, N : せん断面数である。

通直接合試験において、ガセット長

さを材せい比0.33~1.0の範囲で設計したタイプAの試験体では、ガセット寸法の増加にともない曲げ強度は増加した。全ての試験体は、接着層のせん断で破壊していることから、このガセット長さの設計範囲では接着面積と接合強度との間に相関関係があると推察される。

これに対して、ガセット長さを材せい比0.75~1.25の範囲で設計したタイプCの試験体では、ガセット長さと曲げ強度との相関は明確ではな

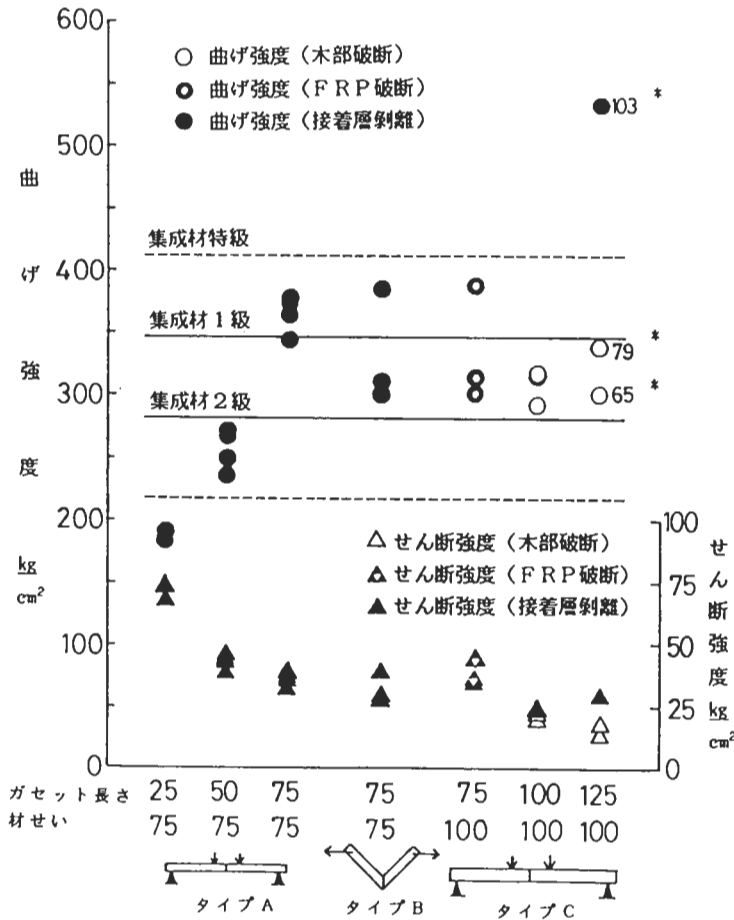


図2 梁・柱の接合試験結果

* 曲げヤング率 (ton·f/cm²)

った。しかし、材せい比0.75では接着層のせん断破壊、材せい比1.0以上では部材の引張破壊と、ガセット長さにより破壊形態の違いが観察された。また、ガセット長さが材せい比1.25の場合、部材の曲げヤング率の増加にともない曲げ強度が増加する傾向が認められ、曲げヤング率が103,000kg・f/cm²の試験体では、接着層のせん断で破壊するとともに曲げ強度も540kg・f/cm²であった。これらの結果より、材せい10cm程度の梁・柱の通直方向接合では、部材強度と同等もしくはそれ以上の接合強度を得るには、ガセット長さを材せい比1.0くらいに設計する必要があると推察される。

一方、せん断強度はガセット長さの増加とともに減少するが、材せい比1.0以上では減少する割合は小さくなる。接着層がせん断破壊した試験体の中で、せん断強度の最小値は24.1kg・f/cm²であった。

さて、①式が部材やガセットの寸法に関係なく成立すると仮定すると、せん断力が τ 生じた時に部材に発生する最大曲げ応力 σ_b は②式で表される。

$$\sigma_b = \frac{I_p \cdot N}{Z \cdot r} \cdot \tau \quad \text{②}$$

ここで、Z:部材の断面係数である。

この式を用いて、材せいの異なる部材においてガセット長さと部材の材せいとの比を変化させた時、最大曲げ応力がどのように変化するか計算した一例を図4に示す。計算では、部材の幅を15cm、せん断断面数を14、 τ を実験値から20kg・f/cm²として、材せい10~50cmについて行なった。

この図から明らかなように、ガセット長さ・材せい比が大きくなるに従い曲げ応力は大きくなる。また、その傾

きは材せいが高いほど大きい。図中に示したスギ集成材1級のJASの材料強度と同等の接合強度を得るためのガセット長さ・材せい比は、材せい10, 30, 50cmの時、それぞれ1.2, 0.54, 0.35で、材せいの増加にともない小さくなる。これをガセット長さに換算すると、それぞれ12.0, 16.2, 17.5cmで、材せいが高くなるに従い、必要とするガセット長さの増加割合は小さくなる。

次に、直角方向接合のタイプB試験体では、同じ部材断面およびガセット長さの通直方向接合の試験体と比較して曲げ強度、せん断強度ともにやや低かった。試験体の破壊は、FRP板と接着されている側面の木材がせん断破壊した後、接着層のせん断がほぼ同時か、あるいはやや遅れて発生して起こった。したがって、通直接合と同等の接合強度を得るには、木材のせん断を生じないようにする設計と接着力の強化あるいは接着面積の割増が必要と考えられる。

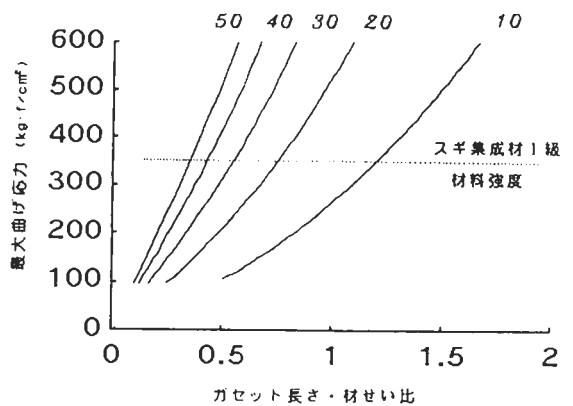


図5 異なる材せいによるガセット長さ・材せい比と最大曲げ応力との関係

表4 床板の接合試験結果

(単位 kg·f/cm²)

タイプ	ガセット長 (cm)	MOE	MOE'*	MOR	MOR'*	MOR''**	引張せん断力*	破壊形態
D	7.5	104,900	108,900	210.0	218.1	—	19.4	接着せん断
	10.0	98,100	101,900	182.0	189.0	—	12.6	部材せん断
	12.5	111,100	115,300	252.3	262.0	—	13.9	接着せん断
E	7.5	84,800	106,000	251.1	313.8	357.8	33.9	部材引張
	10.0	92,500	115,700	280.8	351.0	400.1	28.4	部材引張
	12.5	85,600	107,000	261.0	326.2	371.9	21.1	部材引張

* 直交ラミナの曲げヤング率を0とみなした等価断面により求めた。

** スリット底部の断面欠損を考慮した等価断面により求めた。

3. 2 床板接合試験

表4に床板接合における曲げ試験の結果を示す。曲げヤング率および曲げ強度は、直交積層板の直交層の曲げヤング率がないものとみなした等価断面による計算も行なった。さらに、スリットの底部から破壊したものについては、スリットを断面欠損とみなした断面について等価断面で計算した。また、接着層のせん断強度は、引張応力側の最外層ラミナに負荷される引張荷重がFRPガセットの接着せん断力に等しいと仮定して計算し求めた。

タイプEにおいて、等価断面およびスリットの断面欠損を考慮して計算した曲げ強度は、ほぼ材料強度であると考えられるが、このことは、全ての試験体の破壊が、スリット底部付近から部材の引張破壊により生じたことで裏付けられる。ガセット長さとの相関は明確ではなく、部材の材質との相関の方がありそうである。一方、接着層の引張せん断強度は、通直方向接合で得た値とほぼ同じであり、ガセット長さの増加にともないせん断力が小さくなる傾向も同じである。スリットの切り込み位置をもう少し中立軸に近づけ、スリット底部付近の部材への応力集中の度合いを低減すれば、接合

強度を上げることが可能だと考えられる。

これに対してタイプDは、部材がせん断破壊した試験体を除いても曲げ強度、引張せん断強度ともに低く、また破壊も接着せん断で生じた。これは、試験体の材せいが小さいため、曲げ試験時のたわみが大きくなり、面内せん断力だけでなく開口せん断力も複合して接着層に負荷されるためだと推察される。実際、破壊形態は、接着層のすべりというよりもはく離に近い形態を示した。変位が大きくなることが想定される場合は、この様な水平型のガセット接合は不向きである可能性がある。

4. まとめ

FRP板挿入ガセット接着接合法を開発し、梁・柱の通直および直角方向の接合試験と木造橋の床板の部品化を目的とした接合試験を行なった。その結果、この接合方法によれば部材強度に匹敵する接合強度が得られることがわかった。さらに、スリットの切り込み方や接着剤の性質を変えるなどの細かな工夫で、接合強度を高めることができると考えられる。図6に示すような4方向接合や、FRPを工夫すれば6方向接合も可能である。そうなれば、

初期剛性が極めて高く、終局耐力にも優れたS造・RC造に匹敵するラーメン構造が、木質構造でも実現されるであろう。

今後、木構造への適用にあたっては、寸法効果、防火対策、簡易かつ信頼性の高い施工作業のシステム化、接着部の非破壊検査などの問題を解決していく必要があるであろう。

文献

- 1)住木センター、森林資源有効活用促進調査事業:(1990)
- 2)丸山則義、「出雲ドーム」における木構造技術の特徴:木材工業, 47(7), p328-331(1992)
- 3)藤井 毅;宮武 敦、高速接着に関する研究(Ⅲ):第41回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 187(1991)

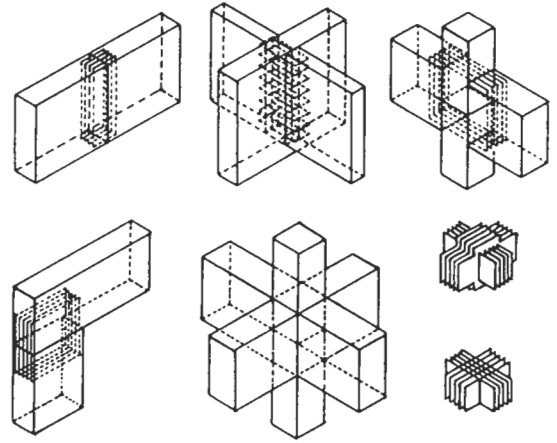


図6 FRP板挿入ガセット接着接合の展開

木構造のための高強度・高靱性接着接合法の開発

森林総合研究所 木材利用部 構造利用科
接着研究室 小松幸平

1. はじめに

木材の3大接合法として、「接合具による接合」、「木材同士の嵌合による接合」、そして、「接着剤による接合」の3つが、古くから定義されている。

接着接合は、常に御三家の一つに数えられてはいたが、木構造において構造部材同士の接合にそれが適用された例はあまり多くはない。

その理由は色々考えられる。決定的な要因の一つは、従来からの接着接合が極めて薄い接着層という平面で部材同士を接合しており、その力学的特性が一般的に脆性的で、信頼性、安心感に欠けることに起因している。

一方、様々な欠点が指摘されてはいるものの、接合具による接合や木材の嵌合による接合が木構造における接合の主流を占めている大きな理由の一つは、力の伝達経路が3次元的で、木材自身の局所的塑性変形を取り入れた粘り強い変形能力を有しているため、すぐには破壊しないという「安心感」が広く認識されているからであろう。

本論では、接着接合特有の大きい初期剛性と、接合具による接合の持つ粘り強さを合わせ持ったハイブリッド的な接合法の開発経過を説明する。

2. 高強度・高靱性接合法の概念

図1に示すように、集成材に鋼板用のスリットを設け、更に接着剤用の「樹脂孔」をスリットに直交させて設ける。スリットに鋼板を挿入し、接着剤を流し込むと、接着剤はスリット及び樹脂孔へと3次元的に広がる。硬化した樹脂は木材-鋼板間で通常の面接着力を発揮する他に、「樹脂ダウエル（プラスチックのだぼ）」となって投錨効果を発揮し、終局状態において粘りとせん断耐力を接合部に付与することが期待される。

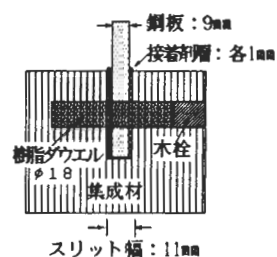


図1 高強度・高靱性接着接合法の概念

3. 接着剤の選定

図2に示すL字型試験体によって、最適接着剤の選定実験を行った。供試したエポキシ樹脂接着剤は、A～Gまで7種類で、接着剤-Aに近い程「ガラス状」で硬く、接着剤-Gに近い程「ゴム状」で柔らかく、可撓性（フレキシビリティ）に富む。

被着体は、断面140 × 140 mm、長さ 350 mm のエゾマツ・トドマツ混用JAS1級集成材と、厚さ 9 mmの SS41黒皮付き鋼板を用いた。

表1に、“Warping (反り)” は起こらないとの仮定に基づいて算出した接着剤層の最大せん断応力度の破壊時の値 τ_{max} の平均値 (4体) を示す。

全体的にみると、最も硬い接着剤-Aは剛性は高いが脆性的で耐力が低かった。最も柔らかい (可撓性の大きい) 接着剤-Gは剛性が低すぎて実用には不向きで、耐力も低すぎた。

両極端 A, G の中間に位置する接着剤-C, E, F あたりに実用の可能性が認められた。結論として、接着剤E*を以後の実験で高強度用の接着剤として採用した。

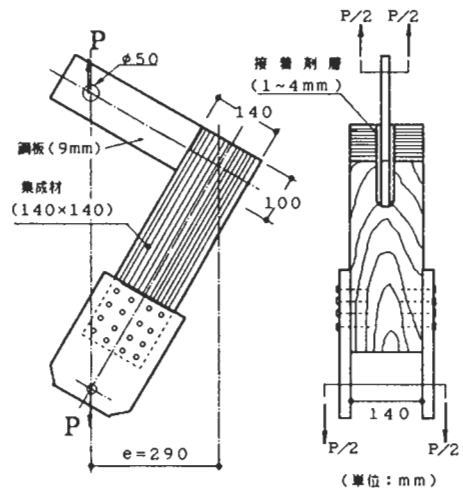


図2 引張型ねじり試験

表1 引張型ねじり試験の結果 (4体の平均)

接着剤	硬い←	A	B	C	D	E	F	G	→やわらかい
τ_{max} (kgf/cm ²)		38	75	77	70	81	82	53	

* 接着剤Eとは、変性ビスフェノールA型エポキシ樹脂：低粘度ゴム変性エポキシ樹脂：反応性希釈剤 (可撓性付与)：ポリアミド系硬化剤 (可撓性付与) を、重量比で、50：40：10：54部 混合攪拌したものである。

4. 樹脂ダウエルの効果

4.1 実験

図1に示す樹脂ダウエルの効果を確認するために、片面あたり10cm x 10cmの接着面積を有する鋼板に、図3に示す配列で樹脂ダウエル用の穿孔を明け、樹脂ダウエルの有無 (2水準)、加力方向 (0度及び90度の2水準) 等をパラメータとして図4に示す引張せん断強度試験によって接着強度を評価した。

供試被着体は、ヤング係数 $E=130\text{tonf/cm}^2$ のカラマツ集成材、及び厚さ9mmのSS41鋼板 (接着面はグライダ-研磨) で、接着剤は上記Eタイプエポキシ樹脂接着剤を用いた。

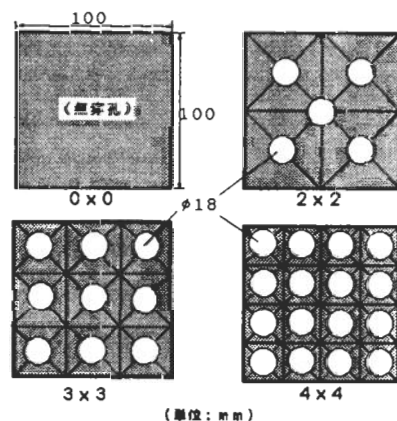


図3 樹脂ダウエル用鋼板穿孔パターン

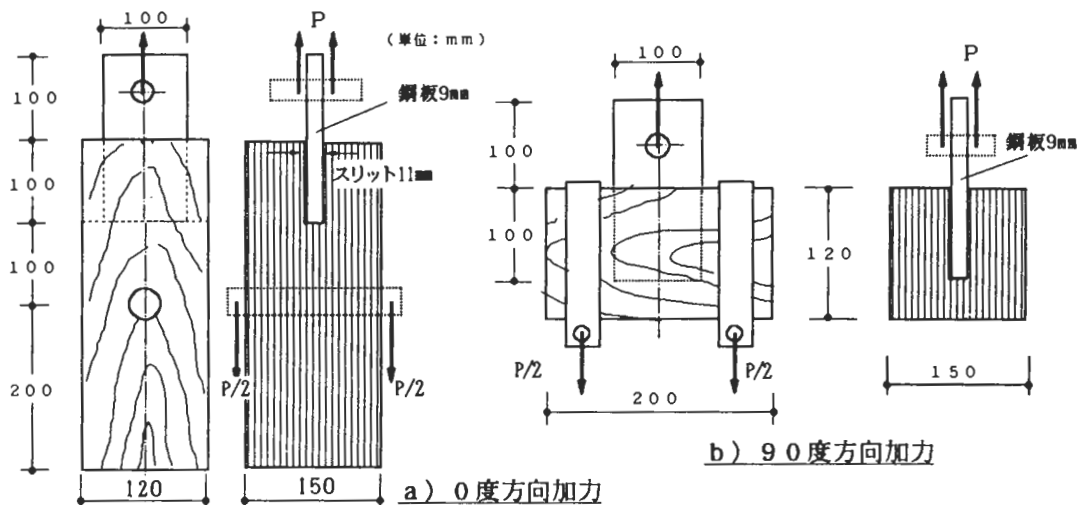


図4 試験体詳細と試験法

4. 2 引張せん断接着強度実験の主たる結果

試験体の荷重 (P) と鋼板-集成材間の相対すべり (δ) 関係の代表例を図5に示す。

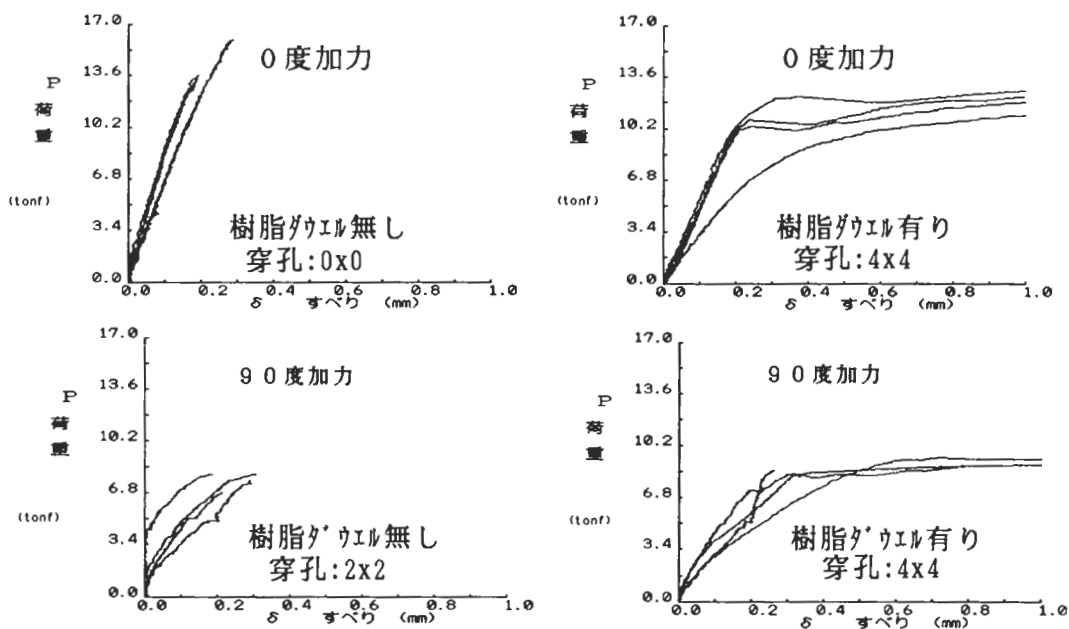


図5 せん断接着強度実験の代表的な P - δ 関係

図5から、いずれの加力方向の場合も、樹脂ダウエルの有無でP - δ 曲線が異なり、樹脂ダウエルが投錨効果を発揮し、「接合具による接合」や「木材の嵌合による接合」の場合に見られるような、粘りのある変形性能を示すことが認められた。

図6に P_{max} と穿孔数、樹脂ダウエル有無、加力方向の関係等を示す。また、表2にせん断接着強度実験の結果を取りまとめた一覧表を示す。

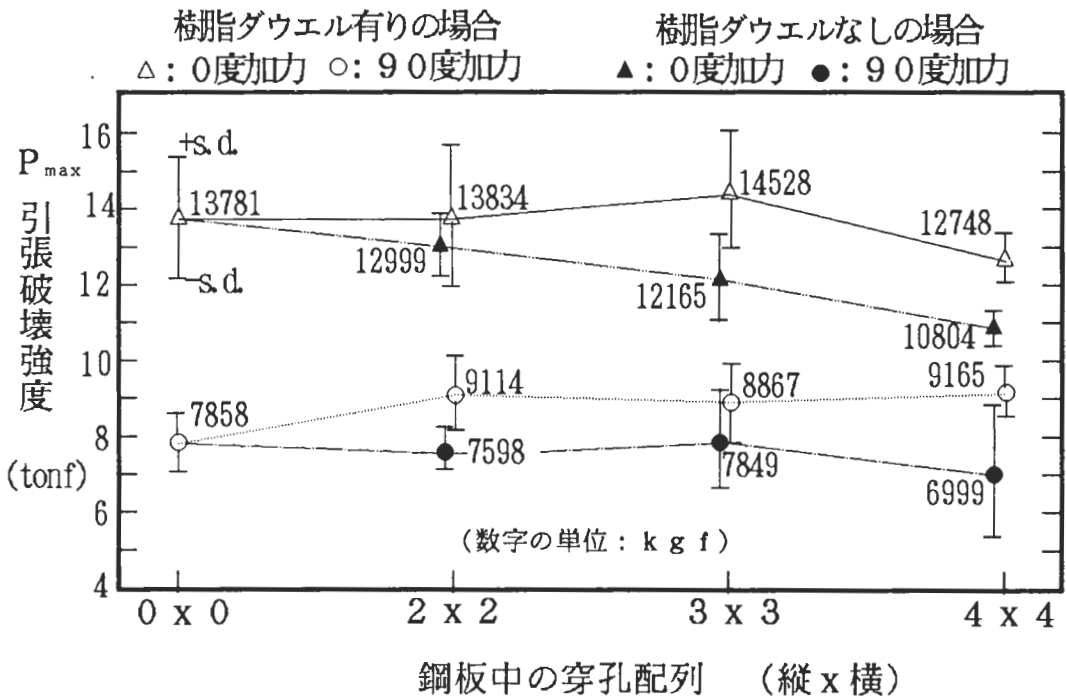


図6 P_{max} と穿孔数、樹脂ダウエルの有無、加力方向の関係

以上、基礎的なせん断接着強度実験の結果をまとめると；

- ①加力方向が強度に及ぼす影響については、穿孔数、樹脂ダウエル有無に関係なく、0度方向加力と90度方向加力の比で1.5～1.8であった（接合具の場合は大体2.0でありほぼ等しい）。
- ②樹脂ダウエルの存在は接合部の強度を向上させる。その程度は、0度方向加力の場合で8%～20%、90度方向加力の場合で10%～33%程度である。
- ③樹脂ダウエルが存在することで、最大荷重時の変形量は0度方向加力の場合で4倍以上、90度方向加力の場合で3.6倍以上向上する。
- ④最大荷重までに吸収できるエネルギー量も変形量同様に飛躍的に向上する。
- ⑤樹脂ダウエルの密度が高すぎると集成材の凝集力が低下するので最大耐力は逆に伸びない。

表2 引張せん断試験のまとめ

加力	樹脂孔	項目	0×0	(s. d)	2×2	(s. d.)	3×3	(s. d.)	4×4	(s. d.)
0°	有り	①TD			512	(25)	511	(27)	521	(27)
		②P _{max}			13834	(1886)	14528	(1530)	12748	(639)
		③P _{max} /TD			27.1	(3.9)	28.4	(1.8)	24.5	(1.4)
		④δ _{max}			0.2194	(0.0125)	0.2825	(0.1173)	1.8038	(0.1804)
		⑤U _o			635	(161)	756	(164)	2186	(445)
	無し	⑥TD	524	(33)	518	(38)	513	(25)	514	(24)
		⑦P _{max}	13781	(1575)	12999	(845)	12165	(1142)	10804	(458)
		⑧P _{max} /TD	26.2	(1.8)	25.1	(1.1)	23.7	(1.6)	21.1	(1.5)
		⑨δ _{max}	0.2156	(0.05)	0.1956	(0.0319)	0.1875	(0.0281)	0.43	(0.1307)
		⑩U _o	593	(180)	442	(239)	494	(152)	585	(197)
比較	①/⑥			0.99		1.00		1.01		
	②/⑦			1.06		1.19		1.18		
	③/⑧			1.08		1.20		1.16		
	④/⑨			1.12		1.51		4.19		
	⑤/⑩			1.44		1.53		3.74		
90°	有り	①TD			549	(13)	549	(13)	552	(25)
		②P _{max}			9114	(922)	8867	(975)	9165	(570)
		③P _{max} /TD			16.6	(2.1)	16.1	(1.9)	16.6	(0.8)
		④δ _{max}			0.99	(0.3850)	0.7269	(0.576)	1.135	(0.735)
		⑤U _o			845	(373)	670	(346)	990	(606)
	無し	⑥TD	537	(16)	537	(11)	535	(6)	560	(4)
		⑦P _{max}	7858	(755)	7598	(518)	7849	(1253)	6999	(1712)
		⑧P _{max} /TD	14.6	(1.2)	14.2	(1.0)	14.7	(2.2)	12.5	(3.1)
		⑨δ _{max}	1.3719	(1.2819)	0.2488	(0.0579)	0.4594	(0.1252)	0.4031	(0.2529)
		⑩U _o	821	(605)	253	(46)	336	(112)	268	(215)
比較	①/⑥			1.02		1.03		0.99		
	②/⑦			1.20		1.13		1.31		
	③/⑧			1.17		1.10		1.33		
	④/⑨			3.98		1.58		2.82		
	⑤/⑩			3.34		1.99		3.69		

Regend: TD=木材の試験時密度=試験時質量(kg)/試験時体積(m³)
P_{max}=試験体の引張最大荷重(kgf)
P_{max}/TD=比強度=P_{max}を密度TDで割ったもの(kg/kg/m³)
δ_{max}=引張最大荷重時の変形量(mm)(注)最大変位ではない。
U_o=P-δ曲線の囲む面積でδ_{max}までに貯えられるエネルギー(kgf・mm)
(s. d.)=標準偏差ただし、自由度はn-1で割っている。

5. 実大梁継手の実験

5. 1 実験方法

小型試験体を用いた基本的な強度確認実験によって、樹脂ダウエルの効果が一応認められたので、次の段階として、この接着工法が実際の梁・桁材の接合部で所定の性能を発揮するかどうかを確認する目的で、大断面通直集成材を用いた実大継手強度実験を行った。

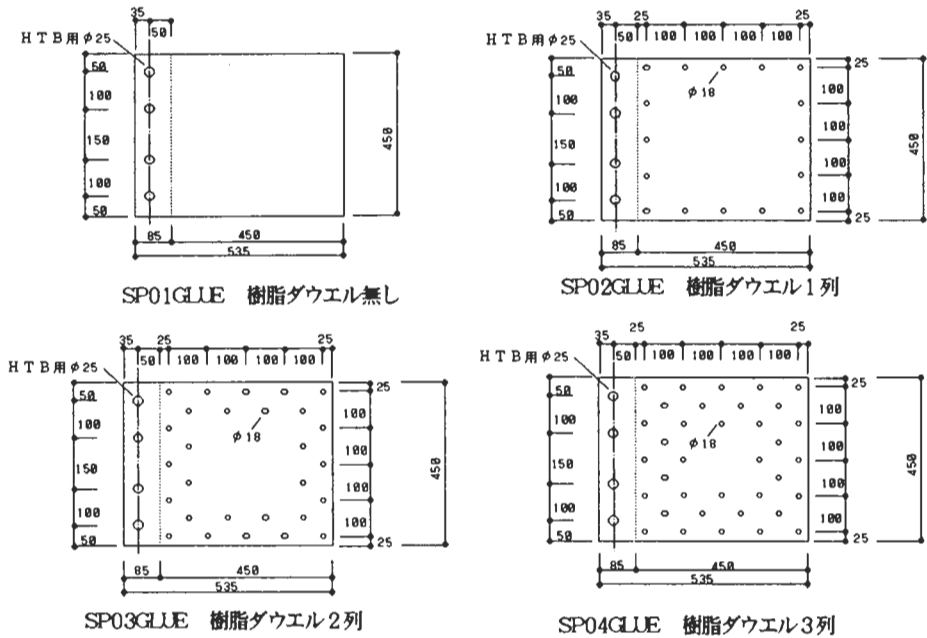


図7 実大梁継手試験体接合部の詳細。樹脂ダウエル用穿孔数とその配列

図7に供試試験体の接合部鋼板の詳細を示す。樹脂ダウエル用の穿孔配列は、直径18 mmの孔を0列（穿孔なし）1列、2列、3列の4種類に変化させ、各組、1体ずつ試験体を作成した。梁・桁部材としては、木橋への利用が期待されている国産カラマツ集成材(ヤング係数 $E=85\sim95\text{tonf/cm}^2$)を用いた。

図8に実大継手試験体に対する静的正負繰り返し4点曲げ試験装置の概要を示す。試験体は反力床の上にフラットワイズに設置され、最大50 tonfの容量を持つ電動ジャッキによって加力された。両支点は回転支点で、片側の支点には集成材がスライドできるようにローラーベアリングを挿入した。もう一方の支点はローラーを入れずに集成材と鋼板との摩擦が働く状態とした。

正負繰り返し加力の履歴は、変位制御とし、スパン中央の見かけのたわみ δ とスパン L (4 m) の比で $\delta/L=1/500\text{rad}$ からスタートし、順次 $\sqrt{2}$ 倍づつ変位を増加させ、試験体の破壊が完全に確認されるまで繰り返し加力を継続させた。試験終了時の繰り返し数は試験体によって異なる。

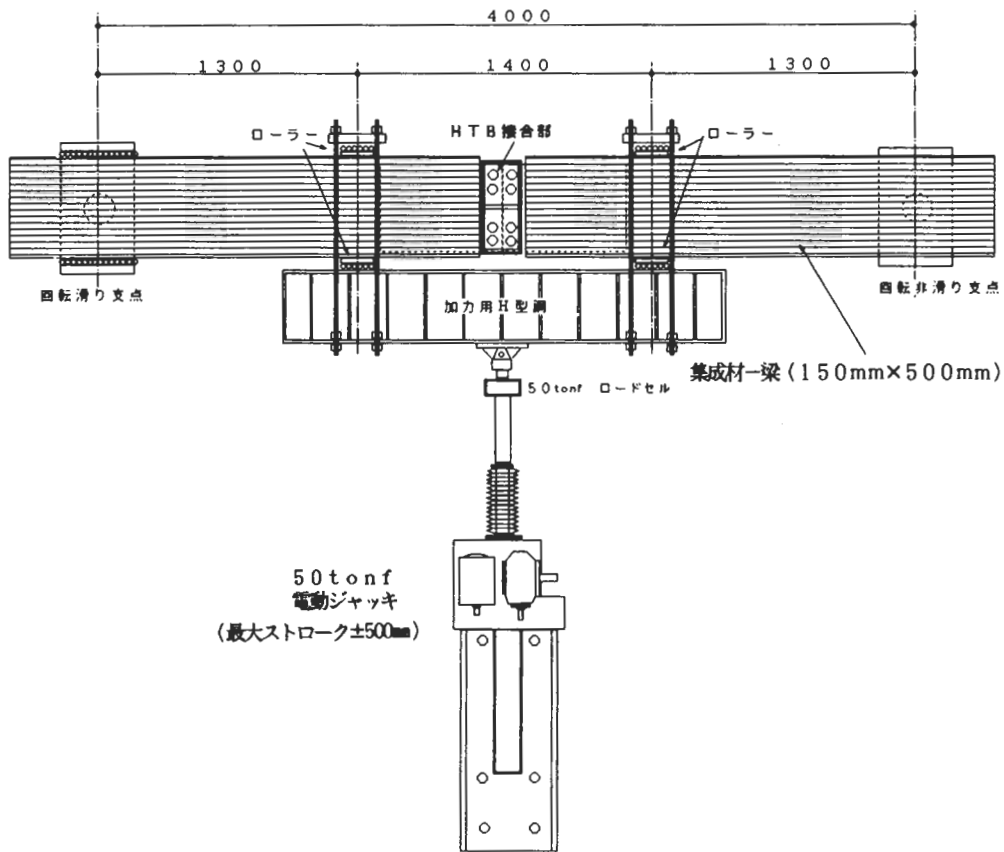


図11 実大継手試験体の静的正負繰返し曲げ試験法の概要

5.2 実大実験の結果

荷重 (P) - スパン中央たわみ (δ) のループ及び包絡線を図12~15に示す。

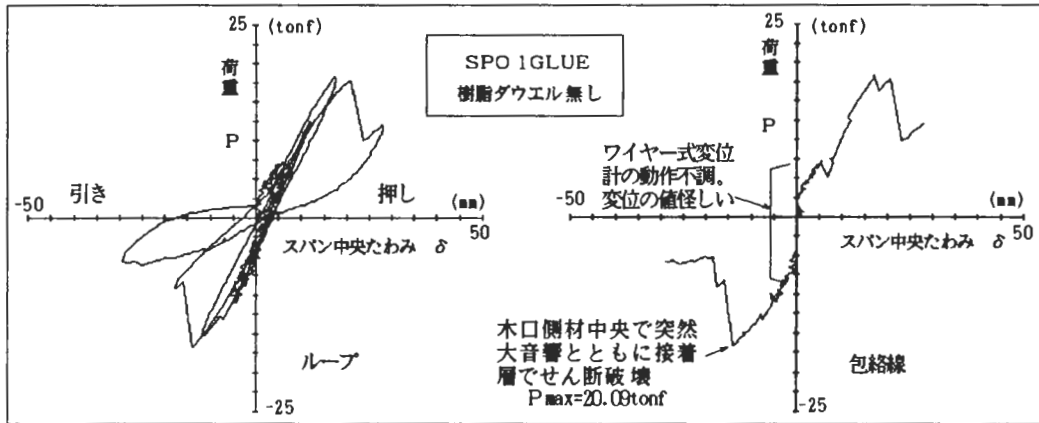


図12 試験体1 (SPO1GLUE: 樹脂ダウエルなし) のP- δ 関係

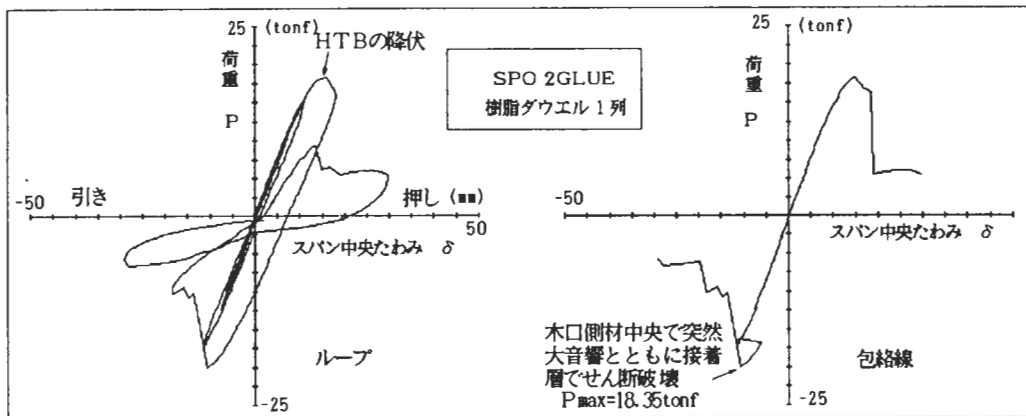


図 1 3 試験体 2 (SPO2GLUE : 樹脂ダウエル 1 列) の P - δ 関係

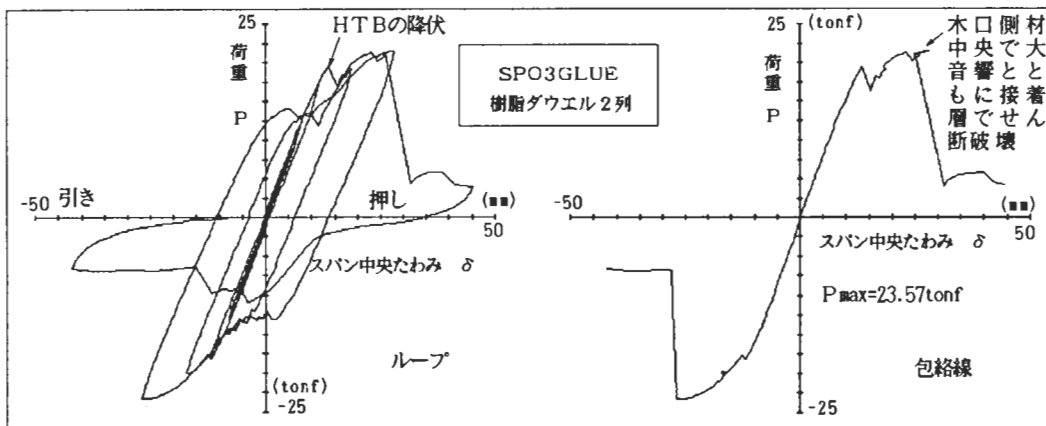


図 1 4 試験体 3 (SPO3GLUE : 樹脂ダウエル 2 列) の P - δ 関係

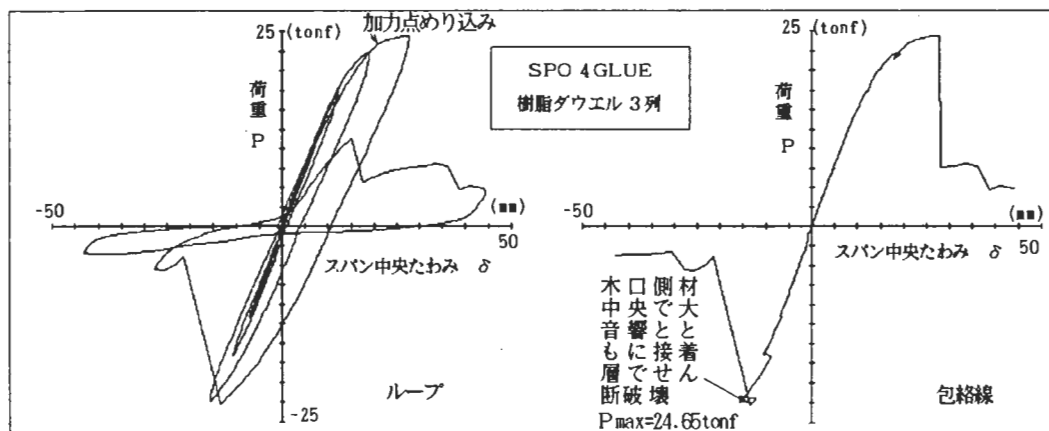


図 1 5 試験体 4 (SPO4GLUE : 樹脂ダウエル 3 列) の P - δ 関係

実大継手実験の結果の一覧表を表3に示す。

表3 実大継手実験のまとめ

試験体	SP01GLUE	SP02GLUE	SP03GLUE	SP04GLUE
①最大荷重 P_{max} (kgf)	18350	20092	23567	24650
②最大モーメント M_{max} (tonfm)	1192700	1306000	1531900	1602300
③見かけのMOR (kgf/cm ²)	191	209	245	256
④推定曲げ強度 F_b (kgf/cm ²)	353	353	353	353
⑤強度効率 MOR/ F_b	0.54	0.59	0.69	0.73
⑥最大せん断応力度 τ_{max} (kgf/cm ²)	31.4	34.4	40.3	42.2
⑦小型試験体で得られた90度方向せん断強度 F_s (kgf/cm ²)	39.3	38.0	39.3	35.0

ただし:

② $M_{max} = (P_{max}/2) l_s = (130/2) P_{max}$

③ 見かけのMOR = M_{max}/Z $Z = bh^2/6$

④ 推定曲げ強度 $F_b = 3 \times f_b \times C_f$ $f_b = 125 \text{ kgf/cm}^2$ (カラマツ集成材1級) $C_f = 0.941$

⑥ 最大せん断応力度 $\tau_{max} = 0.6 (M_{max}/2) / (h/2)^3$: 正方形断面棒の純ねじりの応力分布を仮定して. なお、 $h=45\text{cm}$

⑦ 表2にまとめた小型試験体の90度方向引張破壊荷重の平均値 P_{max} を接着面積 $A_s = 2 \times 10 \times 10 \text{ cm}^2$ で割った見かけのせん断応力度

【P- δ 特性】

実大継手試験体のP- δ ループの特徴として、初期剛性の段階では、ループの膨らみの全くない弾性的な挙動をする。しかし、スパン中央たわみ δ が15~20mm (1/266~1/200rad.)を越えると、いずれの試験体においても加力点でのめり込みに起因する非線形挙動を示しはじめ、最終的には鋼板-集成材間の接着層からねじりせん断破壊を生じた。

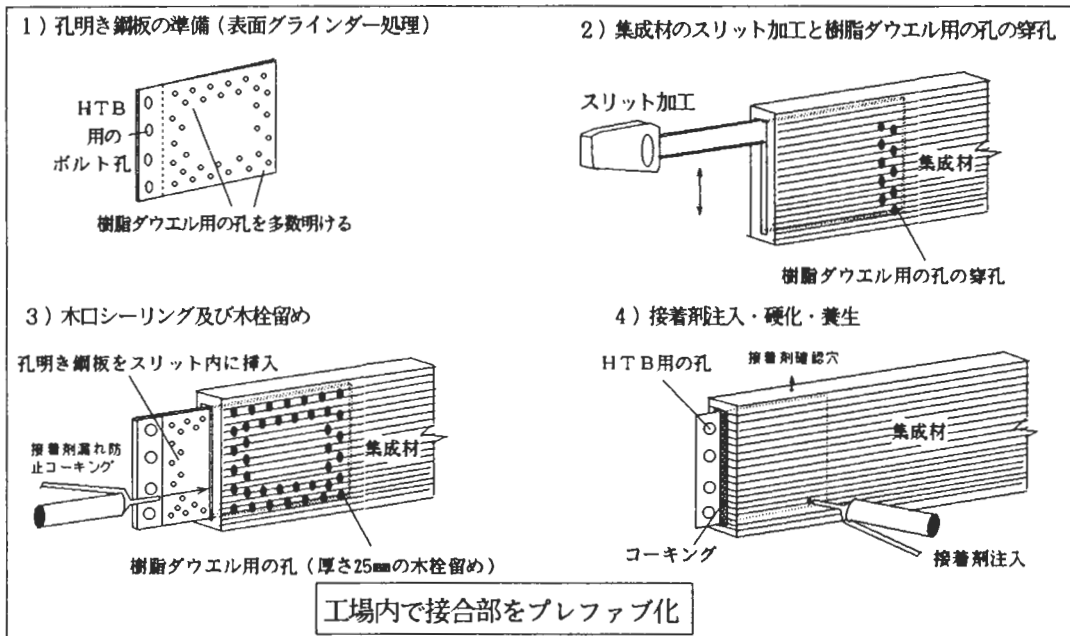
【強度・破壊特性】

試験体の破壊発生箇所は全て木口面側の材せい中央部で、接着部分を「トルクを受ける正方形断面」と見なした場合の最大応力発生点において、いずれの試験体も破壊した。破壊強度に関しては、小型試験体で得られた鋼板-集成材間のローリングシア強度 (90度方向せん断接着強度: 表2参照) を基準として実大継手の破壊強度を定量的に推定することが可能であることが、表3の⑥、⑦欄の対比から分かる。樹脂ダウエルの効果は一応認められた。

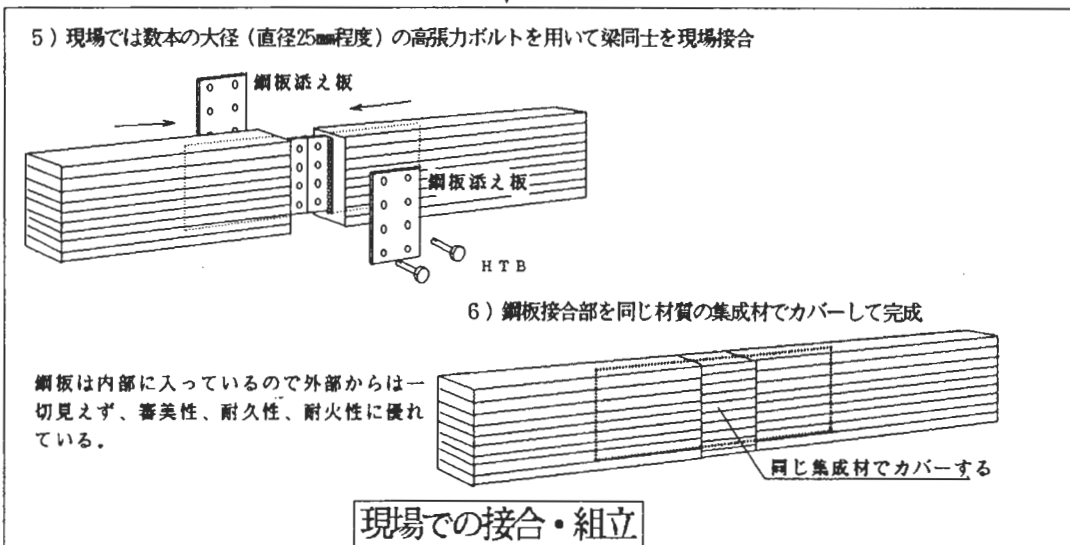
【靱性】

一旦接着層でローリングシア破壊が発生すると、試験体は急激に剛性、耐力ともに低下し、小試験体の場合に樹脂ダウエルの存在によって粘りが付与されたほどには、粘り強さは発揮されなかった。しかし、樹脂ダウエルの数が増加するほど、粘りも増加する傾向は確認できた。

6. 集成材梁継手の製造・施工行程のイメージ（結論に代えて）



現場に搬送



謝辞：エポキシ樹脂接着剤の選定に際しては、小西技術士事務所の小西 信氏、並びに東都レジン化工(株)の渡辺 健治氏の御助力を賜った。また、実大実験経費の一部は、(財)日本住宅木材技術センターの「木橋分科会」より補助を受けた。記して感謝の意を表します。

集成材用としての 水性高分子・イソシアネート系接着剤

光洋産業 田村靖夫

1、はじめに

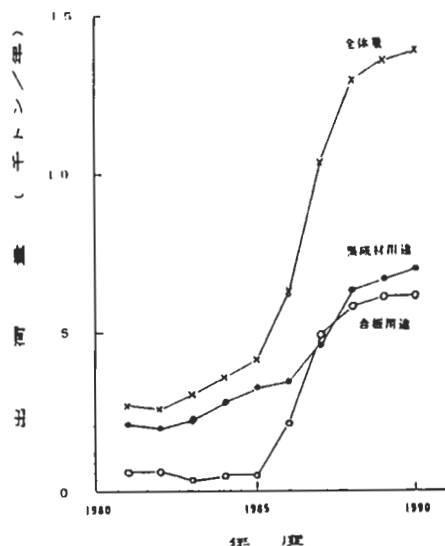
合板のホルムアルデヒドガス放散問題を契機に開発された水性高分子・イソシアネート系接着剤（以下A P I）は第1図のように年間約1.2万トンの生産量に達し、その半数は造作用を中心とした集成材用途に用いられている。いっぽう日本集成材工業協同組合の統計によると、国内における平成3年度の集成材生産量は45.5万㎡であり、造作用が72%、構造用が28%になっている。

A P Iはすでに構造用パネルの接着剤として使用されており、その実績もあって本年3月にJ A S規格の構造用集成材の接着剤としてJIS K6806の1種1号に規定されるものがレゾルシノール樹脂接着剤と同等と認められるようになった。

2、構造用接着剤としての要件

- ◎力学的強度が高い。
- ◎接着層が塑性変形しない。
- ◎耐久性に優れている。
 - 耐水性に優れること
 - 耐熱性に優れること
 - 耐候性に優れること
- ◎作業性がよい（初期接着性がよい）

⇒A P Iの大きな特長になっている。



第1図 水性高分子イソシアネート接着剤の出荷量推移

3、A P Iの構成成分とその特徴

構成成分

ポリビニルアルコール+ラテックス+充填剤+イソシアネート化合物

●ポリビニルアルコール

熱による結晶化 ⇒ 接着強度および耐水性や耐熱性向上。初期接着性向上。

●ラテックス

接着強度の向上、作業性改善の効果。

●充填剤

接着性の改善、耐熱性の向上。

●イソシアネート化合物

架橋構造の付与 ⇒ 耐水性、耐熱性の向上。

4、構造用接着剤に必要な性質

1) ベイマツ集成梁の耐久性¹⁾

梁の寸法 ; 7.94cm × 11.43 cm × 365.76cm

スパン長さ ; 355.6cm センターズパン間隔 ; 101.6cm

載荷重 ; 232kg/cm² 2点加重

3年間の屋外暴露によるMOEの変化はFig2~3 のとおり。

2) APIの耐熱性試験

ベイツガ材の圧縮剪断接着強さを第4図に、またベイツガ材と合板を貼り合わせたときの圧縮剪断接着強さを第5図に示す。

3) トドマツ集成梁の耐火試験

梁の寸法 ; 15cm × 45cm × 700cm

スパン長さ ; 680cm センターズパン間隔 ; 230cm

載荷重 ; 1.7ton (荷重係数 0.7)、2.2ton (荷重係数 0.9) 2点加重

燃焼時の梁中央部のたわみを測定した結果を第6図に示す。

4) 燃焼時の生成ガス

APIおよびアミノ樹脂接着剤によって接着した合板をJIS A 1321に規定された方法で燃焼試験を行った。その結果の概要を第1表に示す。

第1表 合板の燃焼試験結果

合板の接着剤	API	アミノ樹脂
発熱量		
温度時間面積 °C・分	541 ~ 606	509 ~ 664
発煙係数 CA	83 ~ 101	87 ~ 97
残炎時間 (秒)	109 ~ 120	101 ~ 109
燃焼生成ガスの種類 (ppm)		
一酸化炭素	4500	9000
二酸化炭素	20000	18000
シアン化水素	1	9
イオウ酸化物	0	0

5、参考文献

- 1) H.F. Pagel, R.F. Pellerin, Report of The 1984 FPRS Annual Meeting(1984)

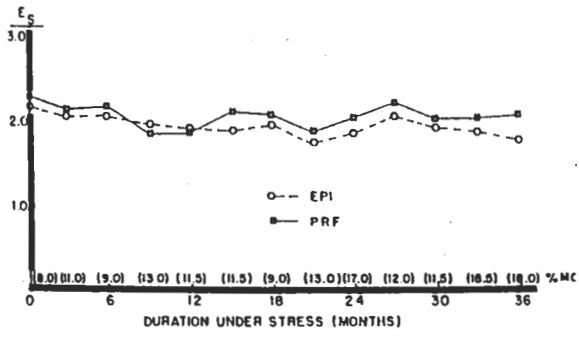


Fig. 2 Average MOE Values (ES) of stressed beams under outdoor exposure for 36 months. Moisture content (MC) is important variable.

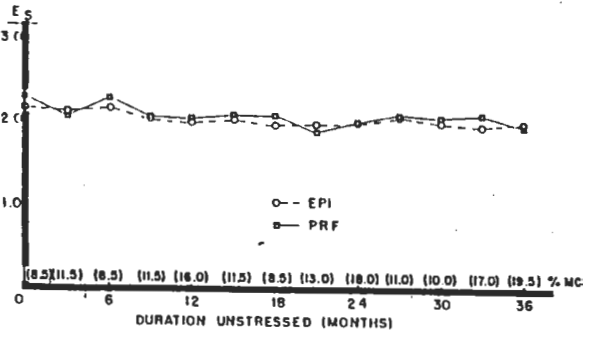
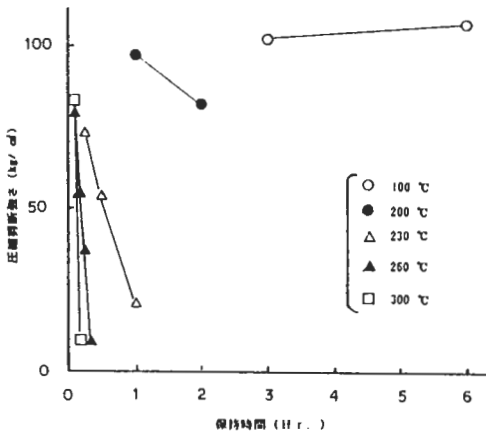
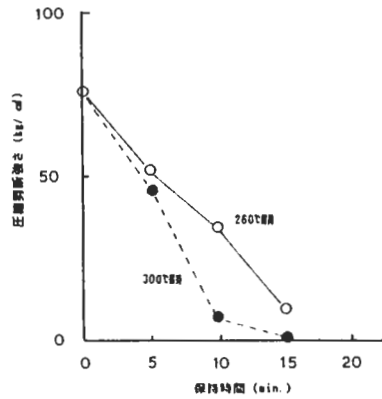


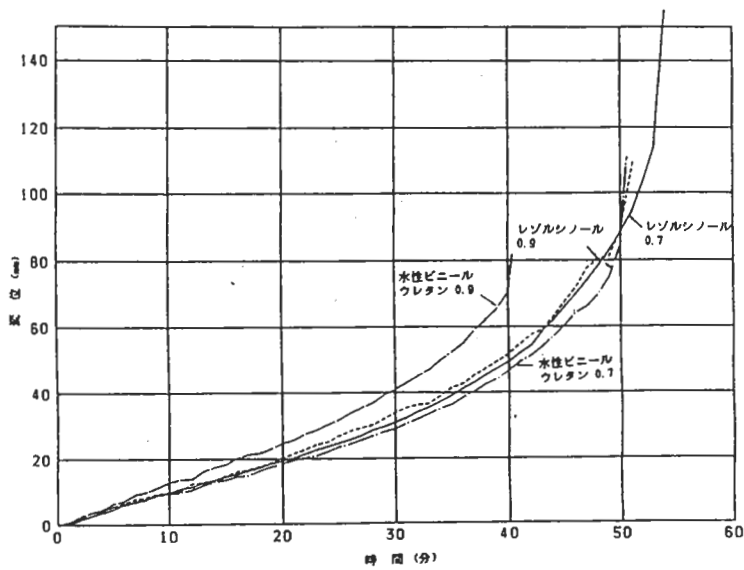
Fig. 3 Average MOE Values (ES) of unstressed beams under outdoor exposure for 36 months. Moisture content is important variable.



第4図 ベイツ材換置時の耐熱性



第5図 ベイツ材と合板換置時の耐熱性



第6図 トドマツ集成梁の耐火試験結果

集成材の接合板としてのスギ強化LVLの製造

奈良県林業試験場 中田欣作

1. 初めに

最近では体育館や校舎等の学校施設や地域のシンボリックな集会施設等に、構造用集成材を使用した大型木造建築物が増加しつつある。このような集成材構造建築物の多くは、湾曲集成材を用いたものが大半であるが、デザインが容易でコスト的に有利な、通直集成材を利用した建築への期待が高まっている。

ここで、集成材の接合に従来から用いられている金属製接合具は、施工面や接合機能に各種の問題点を有しているため、木材に樹脂含浸処理を施し圧密化した単板積層材（強化LVL）を用いた、新しい接合板の開発を行った。

2. 特徴

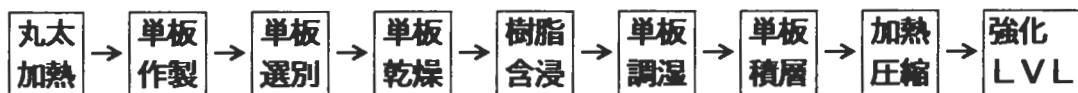
強化LVL接合板を用いた接合では、鋼板挿入式ドリフトピン打ち接合と同様に、スリット加工した集成材に接合板を挿入した後、ドリフトピンを打ち込んで接合を行う。強化LVL接合板による接合の特徴は、以下の通りである。

- 1) 建築現場での施工性が極めて優れている。
集成材と強化LVL接合板は、同時に先孔加工ができる。
強化LVLの重量は軽く、取扱いが容易である。
- 2) 建物の施工精度と強度性能の向上が図れる。
同時に先孔加工を行うため、初期ガタを確実に除去できる。
- 3) 耐火性、耐結露性が優れている。
火災時においても、金属製接合具のように高温で容易に軟化することはない。
寒冷時においても、金属製接合具のように結露を生じることはない。
- 4) 要求される設計強度に応じた接合部材を、容易に供給することができる。
強化LVLの比重を変えることにより、任意の強度性能を付与することができる。

3. 製造方法の概略

- 1) 加熱処理した丸太から、ロータリーレースで単板を作製する。
- 2) 単板を選別して、辺材のみを使用する。
- 3) 辺材単板を気乾状態まで乾燥させた後、フェノール樹脂を含浸させる。
- 4) 含浸単板の含水率が一定となるように調湿する。
- 5) 含浸単板に接着剤を塗布して、積層する。
- 6) 熱板プレスで積層した含浸単板を、加熱・圧縮処理（圧密化）して強化LVLを作製する。

強化LVLの製造方法の流れ



4. 製造方法の検討

(1) 丸太の前処理方法の違いによる単板の品質

直径17~25cm、年輪数18~25のスギ丸太を十分に水中に浸せき処理し、さらに60°Cの温水中で24時間加熱処理、及び24時間煮沸処理した後、ロータリーレースで厚さ3mmの単板を採取した。

単板の裏割れ率は図1に示すように、水中浸せき処理、温水加熱処理、煮沸処理の順に小さくなり、丸太に熱を加えるほど木材が軟化して、単板の裏割れが減少することがわかった。

ただし、煮沸処理では設定した厚さより大きく、かつ、厚さむらが大きくなった。

(2) フェノール樹脂の含浸

気乾状態の辺材単板（長さ30cm、幅30cm、厚さ3mm、気乾比重0.36）をフェノール樹脂水溶液に浸せきし、設定時間経過することに適宜単板を取り出して重量を測定し、樹脂の含浸率を求めた。フェノール樹脂は平均分子量約200、濃度50%の含浸用フェノール樹脂を、30%、15%及び5%の濃度に希釈したものを用いた。

単板の含浸率（単板全乾重量に対する樹脂固形分の重量比）は図2に示すように、水中浸せき処理と温水加熱処理はほぼ同じ値となるが、煮沸処理は他の処理に比べて低い値となった。これは、煮沸処理で単板の裏割れが減少したために、樹脂が含浸され難くなったためと考えられる。また、含浸率は樹脂の濃度に比例して高くなり、かつ、浸せき時間の対数に比例して増加した。なお、心材単板の含浸率は辺材単板の1/3程度となる。

以上より、丸太の前処理を総合的に比較すると、温水加熱処理は単板の切削時の裏割れ、厚さむらが少なく、良質の単板が得られるとともに高い含浸率が得られるので、最適な処理であることがわかった。また、単板の歩留まりは75%、そのうち辺材の比率は69%であったので、試験に使用できる辺材単板は丸太材積の約50%であった。

図1 単板の裏割れ率

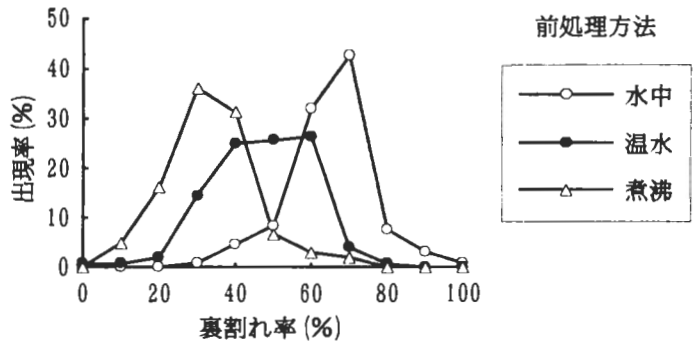
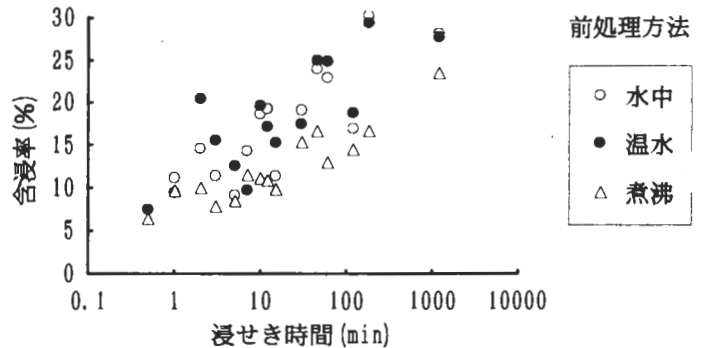


図2 単板の樹脂含浸率（樹脂濃度15%）



さらに、単板厚さが3mmと比較的薄いために、1～2時間程度の比較的短時間で高い含水率が可能であり、含水方法については浸せき方法で十分であった。

(3) 無処理単板での圧密試験

樹脂を含まない辺材単板（長さ30cm、幅10cm、厚さ3mm、気乾比重0.41）を用いて、含水率を12、22、27%の3条件に調湿して、圧密化試験を行った。

プレス条件は、熱板温度30、90、110、130、160℃、加圧速度2及び6mm/minで、単板厚さが1/3（圧縮率67%）になるまで加圧した後、2枚積層では15分、9枚積層では30分経過後解圧し、その過程での熱板の変位、総圧力、温度を測定した。温度は各層の単板の間に挿入したK熱電対線（素線の直径0.32mm）、熱板の変位は熱板外側に設置したひずみ式変位計、総圧力は熱板に埋め込まれているロードセルにより測定した。

試験に使用した熱板プレスの寸法は幅40cm、長さ110cm、加圧はインバーター付きモーター及びウォームジャッキにより最大圧力40tfで、速度設定（2～25mm/分）、位置設定（0～200mm）が可能、加熱はプレートヒーターによる電熱式で温度制御（最大200℃）が可能である。

2層、加圧速度2mm/minでの圧縮率と応力の関係は図3に示すように、応力は圧縮率10%付近までほぼ比例して増加し、その後圧縮率50%付近までほぼ一定の値を示し、その後は急激に増加した。熱板温度の影響については、圧縮率が10～50%の間の応力の平坦域では、温度が高くなるほど応力が低くなったが、圧縮率6

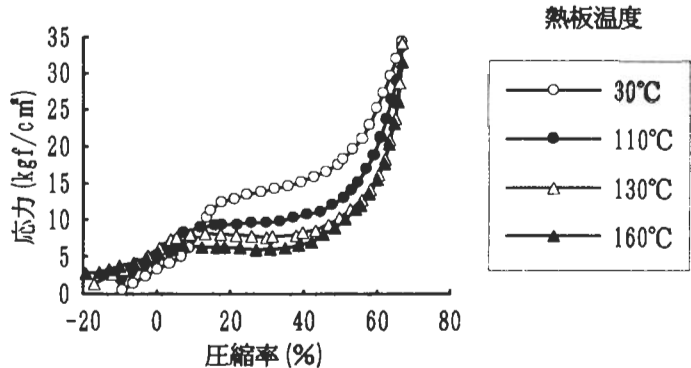
7%では温度による差は少なかった。つまり、応力の平坦域では軟らかい早材が圧縮されており、圧縮率50%以上では早材と晩材の移行部分から晩材へと、圧縮される部位が変化していくと考えられる。また、早材の圧縮では温度の上昇にともなって応力が低下するが、晩材の圧縮では温度の影響はほとんどないと言える。

初期含水率の違いでは図4に示すように、含水率22%と27%の単板ではほぼ同じ応力を示すが、含水率12%ではこれらより高くなった。

また、熱板温度が高いほど圧密化単板の仕上がり含水率が低下し、かつ、仕上がり含水率の低下にともなって仕上がり厚さが減少し、設定した厚さに近づいた。厚さむらは、初期含水率12%ではどの仕上がり含水率でも小さかったが、初期含水率が高い場合には仕上がり含水率の低下とともに大きくなった。

以上より、仕上がり時の厚さ精度の点では、初期含水率12%が最も良い条件となるが、圧縮過程での応力が大きいため、木材内部の破壊の危険性がある。そこで、初期含水率

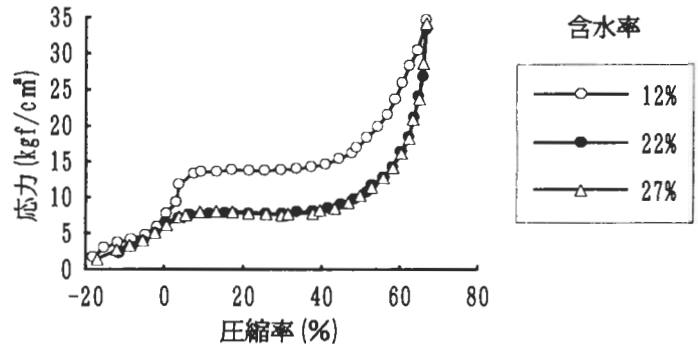
図3 圧縮率と応力（含水率27%）¹⁾



を高くする必要があるが、この際には含水率は20%程度、熱板温度は130°C以上にして仕上がり含水率を下げる必要がある。

9層での圧縮率と応力の関係は2層とほぼ同じ傾向を示し、加圧後に応力は緩和し、30分後では最大応力の46~77%まで低下した。加圧速度の違いでは、加圧速度が大きい方が高い応力と速い温度上昇を示した。各層での単板の仕上がり含水率は、初期含水率が高い場合には中心層で10%近い値となり、9層での圧密化では息抜き工程が不可欠であることがわかった。

図4 圧縮率と応力 (熱板温度130°C)



(4) フェノール樹脂含浸単板での強化LVLの製造

以上の各試験の検討結果に基づいて、実際に強化LVLの製造を行った。

直径21~25cm、年輪数17~22のスギ丸太8本を、60°Cの温水中で24時間加熱した後、ロータリーレースを用いて厚さ3mmの単板を採取し、長さ42cm、幅26cmに裁断した。なお、単板は繊維と平行方向に長いものと、直角方向に長いものを作製した。

単板は気乾状態まで風乾した後、濃度50%のフェノール樹脂を濃度20、15、10、5%に希釈して1時間浸せきした。含浸単板は再度気乾状態まで風乾した後、恒温恒湿装置で温度20°C、湿度90%で調湿して圧密化を行った。圧密化の条件は以下の通りである。

- 積層数 9層 (すべて平行、すべて直交及び平行層に直交層が混じるもの)
- 圧縮率 67% (開始厚さ27mm→仕上がり厚さ9mm)
- 接着剤 レゾルシノール樹脂
- 塗布量 170g/m²の片面塗布
- 熱板温度 135°C
- 加圧速度 10mm/min
- 圧密時間 40~50分
- 息抜き 0~8回 (加圧終了後に解圧する)

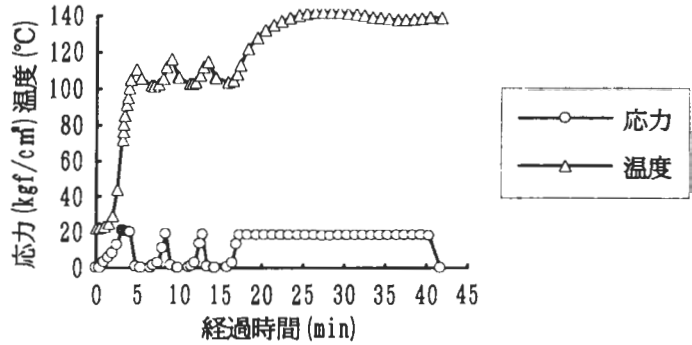
辺材単板 (気乾比重0.31) の含浸率は、樹脂濃度5、10、15、20%ではそれぞれ8、17、26、38%になり、樹脂濃度にほぼ比例した値であったが、心材単板ではこれらの約37%の値となった。

圧密開始時の含浸単板の含水率は21%であり、図5に示すように圧縮するに従って単板温度は速やかに上昇し、解圧とともに下降した。解圧の際には単板から水蒸気が噴出するのが認められ、圧縮とともに高まった水蒸気圧が解圧とともに低下することにより、

温度低下が起こると考えられる。また、何回かの加圧、解圧の繰り返しの後、加圧状態で保持すると、単板温度は徐々に熱板温度まで上昇した。

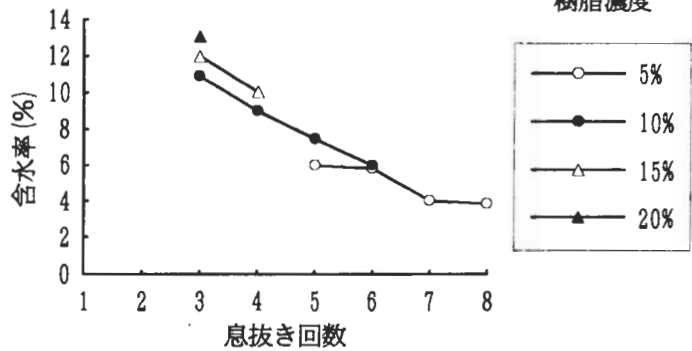
1回目の加圧終了時（圧縮率67%）での応力は、樹脂濃度5%及び10%では 18kgf/cm^2 、15%及び20%では 21kgf/cm^2 となり、樹脂の含浸率が高いほうが高い応力を示した。また、加圧の繰り返しにより、負荷が始まる時点での厚さが順次減少し、かつ、加圧終了時の応力も減少し、熱の付与と含水率の低下にともなって圧密化が促進されることが認められた。

図5 応力と温度の時間経過



強化LVLの仕上がり含水率は図6に示すように、息抜き回数の増加とともに低下し、息抜き工程が重要であることがわかった。また、樹脂の含浸率が低い場合には、息抜き回数を増やす必要があった。

図6 強化LVLの仕上がり含水率



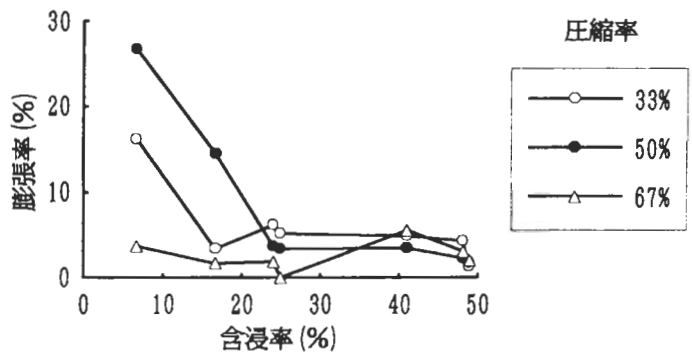
5. 強化LVLの性能

(1) 圧密化単板の寸法安定性

促進劣化試験は $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ の試片をまず全乾状態とし、煮沸4時間及び 70°C での乾燥20時間を3回繰り返した後、再度全乾状態として、それぞれの過程での単板の厚さと重量を測定した。

促進劣化処理終了後の厚さ膨張率（全乾状態での単板厚さの比較）は図7に示すように、含浸率の増加に従って急激に減少した。これは、吸水率が減少することと対応しており、単板中に含浸された樹脂が水の浸入を抑制すること

図7 圧密化単板の厚さ膨張率 2)

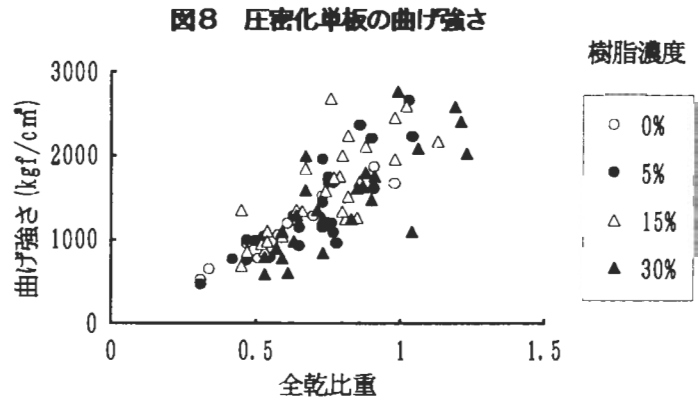


により、単板に寸法安定性を付与すると考えられる。また、含浸率が25%以上であれば、厚さ膨張率を5%以下に抑えることができ、寸法安定性の良い材料が得られることがわかった。

(2) 圧密化単板の曲げ強度

曲げ強度試験は長さ10cm、幅4cmの試片を、インストロン木材強度試験機を用いて、スパン7.5cmの中央集中荷重、荷重速度約150kgf/minで破壊するまで負荷し、破壊荷重、比例限度荷重及び一定荷重に対するたわみ量を測定した。

曲げ強さは図8に示すように、圧密化単板の全乾比重に比例して増加し、全乾比重が1.0のものでは2,000kgf/cm²以上の値が得られ、樹脂濃度による差は見られなかった。曲げヤング係数も圧密化単板の全乾比重に比例して増加し、全乾比重が1.0のものでは300tf/cm²近い値が得られ、かつ、樹脂濃度が15%以下では濃度



による差は見られなかったが、樹脂濃度が30%となると若干低下する傾向が見られた。

このように、比重1.0以上の圧密化単板は、もとの単板の約3~4倍の曲げ強度性能が得られることがわかった。なお、圧縮率33%、50%、67%での圧密化単板の比重は、それぞれ0.31~0.71、0.45~0.88、0.75~1.23であり、この比重のばらつきは樹脂の含浸率の違いによるものである。

(3) 強化LVLのせん断強度

試験は厚さ9mmの添板鋼板2枚の間に、厚さ9mmの強化LVLを挟み込んだもの（強化LVL-鋼板タイプ）、集成材の一端に明けたスリット（幅10mm）に鋼板を挿入したもの（集成材-鋼板タイプ）、集成材のスリットに強化LVLを挿入したもの（集成材-強化LVLタイプ）の3タイプで、ドリフトピン（直径12mm）1本を貫通させて行った。強化LVLは長さ400mm、幅120mm、ドリフトピンの位置は端距離84mm、縁距離60mmとした。集成材は材せい200mm、幅150mm、曲げヤング係数140tf/cm²、比重0.56のベイマツ集成材を用い、ドリフトピンの位置は端距離84mm、縁距離100mmとした。スリットは1~4個とし、スリットの位置は1個では幅の中央、2~4個ではスリットの間隔を順に40mm、30mm、20mmとした。

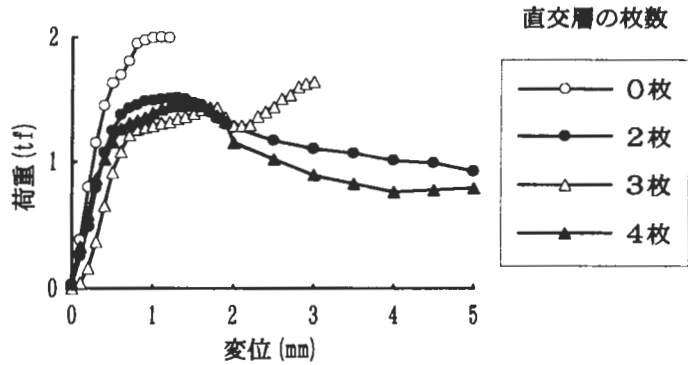
試験はL型集成材強度試験装置を用いて、荷重を能力10tfの油圧シリンダーで負荷し、能力10tfのロードセルにより荷重、精度1/100mmのひずみ式変位計により材料全体の変位、及び精度1/200mmのひずみ式変位計2個により各材料の相対変位を、コンピューティングレコーダーを用いて測定した。

(強化LVL-鋼板タイプ) (図9)

強化LVLは単板9層で構成されており、すべて平行層のもの(直交層0枚)、直交層が2、3及び4枚について行ったが、最大荷重は順に2000、1513、1645、1463kgf/cm²であり、平行層のみが最大となった。平行層のみでは変位1.1mmで降伏点に達し、加力方向と平行方向に割裂する極めて脆性的な破壊を示した。

直交層が入る場合は、ほとんどの場合に1.3~1.7mmで降伏点に達し、降伏後はピンの強化LVLへのめり込みにより徐々に荷重が低下し、変位30mm以上でも破壊に至らなかった。

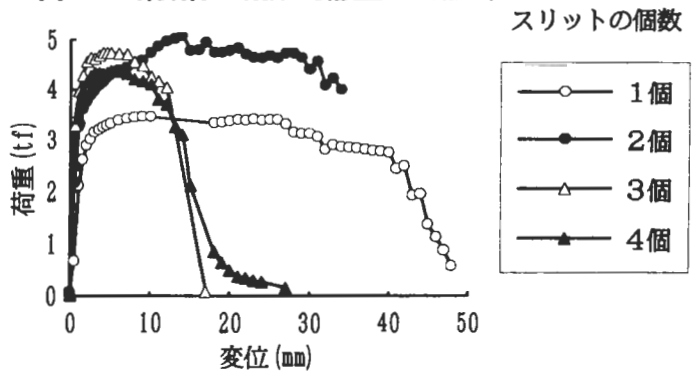
図9 強化LVL-鋼板の引張型せん断試験



(集成材-鋼板タイプ) (図10)

スリットが1、2、3及び4個では、最大荷重は順に3456、5082、4741、4408kgf/cm²であり、スリット2個が最大となった。形状比(1/d、1:有効ピン長さ、d:ピンの直径)は順に11.7、6.7、5.0、3.3(シングルウェッジ形式の複合体と考える³⁾と11.7、3.3、2.5、1.7)である。スリット1及び2個では、ドリフトピンが鋼板部分で大きく折れ曲がる形で変形し、変位10.2mm及び14.3mmで降伏点に達し、降伏後は荷重が徐々に低下する粘り強い破壊を示した。スリット3及び4個では、変位5.6mm及び5.2mmで降伏点に達し、降伏後はピンの変形がほとんどないまま、ピンの集成材へのめり込みにより荷重が低下し、変位13.4mm、15.1mmで一挙に割裂する脆性的な破壊を示した。

図10 集成材-鋼板の引張型せん断試験



スリット1及び2個では、ドリフトピンが鋼板部分で大きく折れ曲がる形で変形し、変位10.2mm及び14.3mmで降伏点に達し、降伏後は荷重が徐々に低下する粘り強い破壊を示した。スリット3及び4個では、変位5.6mm及び5.2mmで降伏点に達し、降伏後はピンの変形がほとんどないまま、ピンの集成材へのめり込みにより荷重が低下し、変位13.4mm、15.1mmで一挙に割裂する脆性的な破壊を示した。

(集成材-強化LVLタイプ) (図11)

スリットが1、2、3及び4個では、最大荷重は順に1414、2992、4731、4187kgf/cm²であり、スリット3個が最大となった。スリット1~3個では変位1.7、1.4、1.3mmで降伏点に達し、降伏後も荷重が徐々に増加し、変位25.9、18.4、28.0mmで強化LVLが加力方向と直角方向に破断する、粘り強い破壊を示した。この場合にはピンの変形

はほとんどなく、ピンの強化LVLへのめり込みにより、膨れた部分が両側の集成材に拘束されるために降伏後の荷重の増加が起こり、応力集中による破壊が起こると考えられる。これは強化LVL-鋼板タイプの直交層3枚でも認められた。スリット4個では変位6.0mmの降伏点までは、スリット3個よりも高い荷重を示すが、降伏後は、ピンの強化LVL及び集成材へのめり込みとともに、ピンが折れ曲がるように変形しながら荷重が徐々に増加し、変位38.0mmで集成材が割裂する粘り強い破壊を示した。

以上より、強化LVLによる接合では、強化LVLの枚数を増やすことにより、接合部のせん断強度を高めることができ、さらに、集成材よりも強化LVLが強くなるように配置することにより、鋼板挿入式ドリフトピン接合とほぼ同等の強度が得られることがわかった。また、直線域の傾きや、1mm変位時の荷重などの初期性能も同等であった。

6. 最後に

金属製接合具に代わる接合具として、強化LVL接合板の開発を行い、ほぼ初期の目的を達成することが出来た。

現在、強度性能の検証として、L型継手試験体の強度試験を行っており、実用化するためには、実大の強度試験を実施していく必要がある。

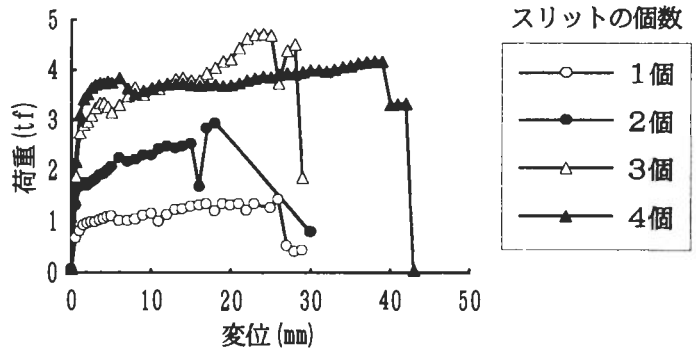
今後は、強化LVLの基礎的な強度性能の向上とともに、強化LVLの性能を十分に反映させることの出来る、接合部を設計する必要がある。

また、強化LVL挿入式ドリフトピン接合が、公園等の景観を重視する場所での、木造建築物の接合方法として、有望であると考えている。

引用・参考文献

- 1) 中田欣作、杉本英明、川井秀一：フェノール樹脂含浸強化LVLの製造 (IV)、圧密時の単板の応力、含水率および温度の経時変化、第42回日本木材学会大会要旨集、名古屋、1992、p243
- 2) 中田欣作、杉本英明、川井秀一、海野孝雄：フェノール樹脂含浸強化LVLの製造 (I)、スギ単板の含浸特性と含浸単板の性質、第41回日本木材学会大会要旨集、松江、1991、p40
- 3) 前田典昭：ドリフトピン接合の性質、林産試験報、4(2)、p11-18 (1990)

図11 集成材-強化LVLの引張型せん断試験



現場接着接合部に安定した性能を期待するために

森林総合研究所 木材化工部 井上明生

1. はじめにー現場接着と信頼性ー

現場接着：建築現場で行う接着（工場での接着の対語）。

現場接着の分類

要求性能による分類

- 非構造用：ついていればよい。
- 準構造用：剛性の増加を期待する。
- 構造用：強度も期待する。

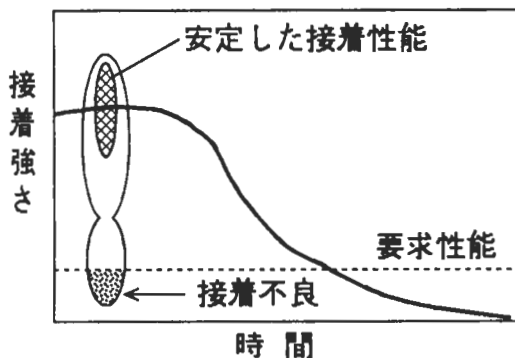
接着する主体による分類

- 住宅メーカー：クローズド
- 現場接着士：セミオープン
- 大工さん：オープン

信頼性：アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たすことのできる性質。

信頼性を向上させるためには？：現場接着において信頼性を低下させる原因を究明して、それを除去していく。

接着性能：接着剤、木材、接着条件で決まる。



接着により強度および剛性の高い接合が可能である。強度性能の優れた接合が可能な接着接合法を、建築現場においても適用することができれば、接合部および建築物の強度および剛性の向上が期待でき¹⁾、さらには材料の節約および木材の有効利用につながる。しかし、根太（素材）と床下張り（合板）を現場接着する枠組壁工法住宅の現場接着床組¹⁻⁹⁾およびミサワホームの3階建て住宅におけるパネル同志の現場接着システム以外現場接着による構造的性能は認められていない。釘打ち現場接着¹⁰⁻¹²⁾および現場接着ボックスビーム^{13、14)}についても検討されたが、上記以外の構造的性能を期待する現場接着法は開発されてきていない。その大きな理由は、品質管理の十分な工場で行われる接着とは異なり、現場接着では接着性能に影響を及ぼす種々の因子が変化するため、安定した接着性能が得られにくいと考えられる。構造的性能を期待する新たな現場接着工法を開発・実用化するためには、現場接着の問題点を除去し、現場接着接合部の信頼性をさらに向上させることが必要であると考えられる。

筆者は、現場接着接合部の信頼性を向上させることを目的として、一連の研究¹⁵⁻²²⁾を行ってきており、また、信頼性の高い接着重ね梁を現場接着により実現するための研究²³⁻²⁶⁾にも関わってきたので、それらの概要をここでまとめさせていただくことにする。

2. 現場用接着剤

2.1 床用現場接着剤

現場接着では接着性能に影響する種々の因子が大きく変化し、またそれらを制御することも困難である。そこで、接着性能がそれらの因子の影響を受けないことが、まず接着剤に要求された。現場用接着剤に要求される性能についてはRose¹⁾、Vick²⁾および海老原¹⁾がまとめており、床用現場接着剤の性能試験方法^{4)・5)・9)}が整備された。その試験には、乾燥材、湿潤材および凍結材での試験の他に、空隙充填性、耐水性および酸素老化性試験が含まれている。

床用現場接着剤は、そのほとんどがエラストマ系の接着剤であり、従来から構造用木質材料の製造に用いられている熱硬化性樹脂接着剤とは異なる性質を有している。筆者らは、エラストマ系の床用現場接着剤による面材-素材接合部の荷重-たわみ曲線、それに及ぼす養生期間の影響および面材の種類と繊維方向の影響、エラストマ接着剤の温度依存性、疲労特性および接着耐久性について検討している¹⁵⁾。

2.2 1液型ポリウレタン接着剤

エラストマ系の床用現場接着剤は合板と素材を接着することを意図されており、接着強さが合板のローリングシア-応力を上回ればよいわけである¹⁾。一方、構造的性能を期待する素材同志の現場接着法は開発されてこなかった(現時点ではミサワホームのパネル同志の現場接着がある)。そこで、構造的性能を期待する新たな素材-素材間の現場接着の可能性を探るため、1液型ポリウレタン接着剤について検討した²⁴⁾。その結果、1液型ポリウレタン接着剤によりスギ生材の接着が可能であること、および同接着剤が煮沸・乾燥

繰り返し試験に耐えることが明らかになり、1液型ポリウレタン接着剤によるスギ素材-素材間の接着接合部に構造的性能を期待することが可能であることが示唆された。

さらに、1液型ポリウレタン接着剤を用いてスギ直角の生材3本を重ね合わせてスパン2間(360cm)を想定した接着重ね梁が製作され、曲げ試験が行われた。その結果、真冬の北海道で製作したものも含めて、接着重ね梁はすべて曲げで破壊し、構成材が完全に一体化したとみなしたときの剛性を接着重ね梁に期待することが可能であることが示された²³⁾。

しかし、接着性能は用いられる接着剤の特性のみならず、接着条件の影響も大きく受ける。特に現場接着においては、接着性能に影響する種々の因子が大きく変化し、またその影響因子を制御することも困難であるため、接着性能に及ぼす接着条件の影響を把握しておくことが必要である。そこで、構造的性能を期待する新たな素材-素材間の現場接着法を開発することを考慮して、1液型ポリウレタン接着剤を用いて接着重ね梁を製作する場合の接着性能に及ぼす接着条件の影響について検討した¹⁶⁾。その結果、接着性能に及ぼす木材の含水率条件、木材の表面性に関する条件、接着剤の塗布方法と塗布量に関する条件、圧縮方法(ボルト間隔)に関する条件、製作時および養生期間中の温度条件、および養生期間の影響が明らかになり、1液型ポリウレタン接着剤を用いれば、現場的な条件で接着重ね梁を製作することが可能であることが示唆された。

これらの成果を基に、重ね梁の製作マニュアル(初版)がまとめられた²⁴⁾。

3. 現場接着の問題点

1液型ポリウレタン接着剤は低温条件にお

ける生材の接着が可能であり、現場的な条件で接着重ね梁の製作が可能であることが示された。しかし、同接着剤による素材-素材間の現場接着接合部に構造的性能を期待するためには、接着性能が十分安定していて十分な水準であることが必要である。すなわち、接着接合部の信頼性が十分高いことが必要である。接着接合部の信頼性を向上させるためには、信頼性を低下させる原因を明らかにして、それを除去していくことが必須である。そこで、現場接着接合部の接着性能を実態調査することより現場接着の問題点について検討した。

3. 1 現場接着床組における問題点

現場接着床組の実態調査¹⁷⁾により、釘打ちを圧縮の代わりに利用する現場接着による接合部の信頼性を低下させる大きな原因が、釘打ちを圧縮とした場合に帯状塗布された接着剤が十分広がらないことがあり、それにより接着性能が低下することであることが明らかになった。

また、現場接着床組の調査と同時に、根太にフローリングを釘打ち接着した現場接着接合部についても調査した。この場合、酢酸ビニル樹脂接着剤がフィルム状に根太の全面に塗布されていたが、接着剤の凹凸がはげしくなっている部分があり、その場合、接着されている部分が凸部の頂点のほんの一部分だけになり、接着強さが極端に低下することが明らかになった。

3. 2 接着重ね梁における問題点

重ね梁の製作マニュアル(初版)²⁴⁾に従って、スパン2.5~3間を想定した接着重ね梁が製作され曲げ試験が行われた²⁵⁾。この場合、曲げ試験において接着層のせん断破壊を示す

接着重ね梁が多く観察された。そこで、曲げ試験が行われた接着重ね梁の接着層の形成状態と、曲げ性能および曲げ破壊形態との関係について検討した¹⁸⁾。その結果、接着重ね梁の接着剤の広がり幅が小さくなると、曲げ試験において、接着層に作用する実効せん断応力が大きくなるため、接着層のせん断破壊が生じ易くなり、曲げ強さが低下することが明らかになった。

4. 接着層の形成状態と接着性能

以上のように現場接着の大きな問題点は、良好な接着層が形成されない場合に接着性能が低下することである。そこで、接着層の形成状態と接着性能についてさらに検討を行った^{19)・20)}。なお、圧縮と接着性能の関係についてはいくつかの研究^{27)・30)}が報告されている。

エラストマ接着剤による合板-素材間の接合部では、接着層が厚くなると、不均一な線状の接着層が形成されて接着強さが低下すること、および帯状塗布した接着剤の広がり面積が小さくなることの相乗効果により破壊荷重が著しく低下することが明らかになった。一方、1液型ポリウレタン接着剤を帯状に塗布して接着した合板-素材間の接合部²⁰⁾およびスギ素材-素材間の接合部²²⁾の接着強さが接着層厚さの影響を受けず、破壊荷重が接着剤の広がり面積に比例することを見いだした(図1)。

これらの結果から、被着材間の距離が大きくなる可能性がある釘打ち接着に適する接着剤に必要な条件が、帯状塗布できること、自重で流動しない程度の粘度を有すること、揮発分が多く硬化に伴う収縮が少ないことであり、また、1液型ポリウレタン接着剤がこれらの条件を満足することが明らかになった。

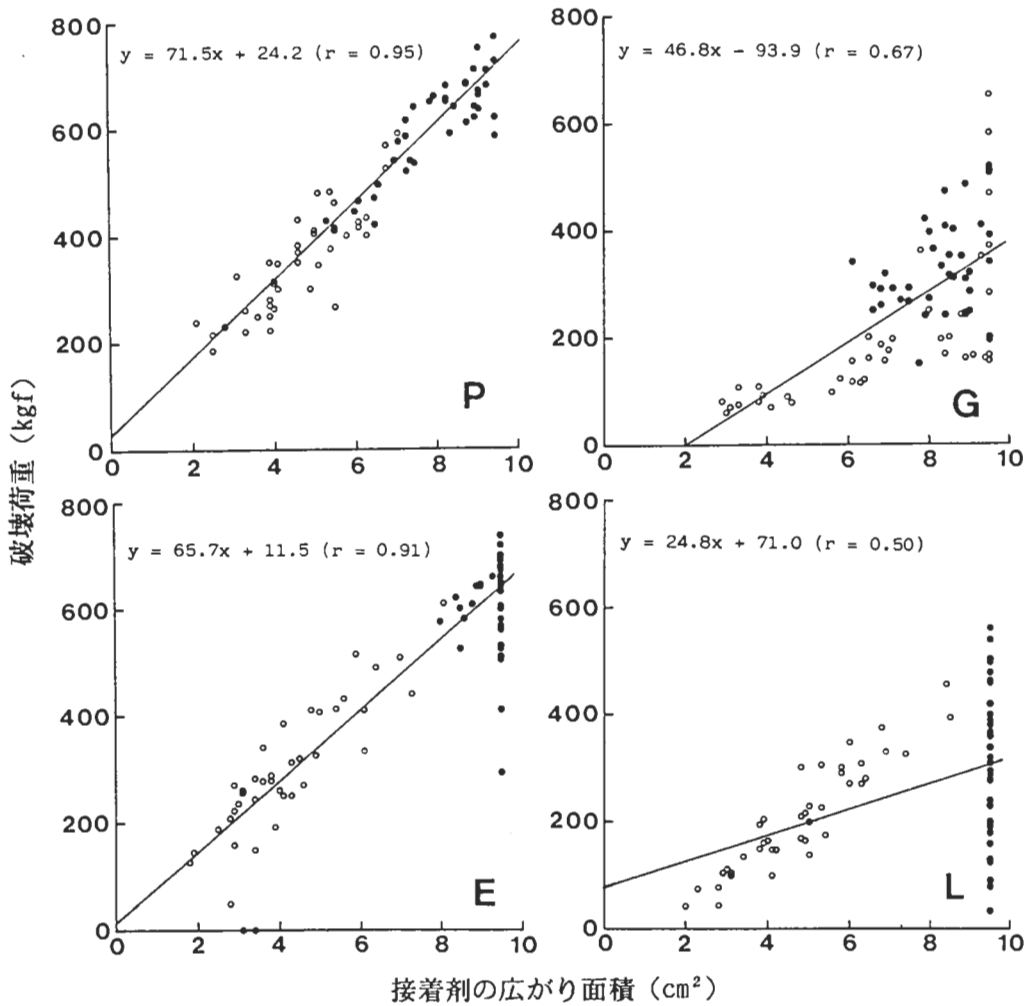


図1. 接着剤の広がり面積と破壊荷重

P: ポリウレタン接着剤、G: 床用現場接着剤

E: エポキシ樹脂接着剤、L: ラテックス・エポキシ樹脂接着剤

○: 接着層にスペーサ挿入して接着層を厚くした試験片

●: スペーサを挿入しない試験片

5. 接着層形成状態に影響する因子

1液型ポリウレタン接着剤による接合部の性能は接着剤の広がり面積により決まる。そこで、接着層の形成状態に影響する因子、および釘打ち圧縮による接着層の形成状態予測法について検討した²¹⁾。死荷重により形成された接着層の分析により、圧縮力、塗布量および接着層厚さの関係が明らかになった。また、接着剤を帯状に塗布して合板と素材を釘打ち接着したときの接着層の形成過程について以下のモデルを提案した。まず釘打ち部分の接着層厚さが0に近づく。釘と釘の間では、接着剤の流動抵抗(粘性)による力が合板に作用するため、合板はたわむ。釘間中央部では、たわんだ合板の復元力(F_p)が接着剤に作用するため、接着剤は流動し、接着層厚さが小さくなる。接着層厚さが小さくなることにより F_p が低下し、接着剤の降伏値に相当する単位長さ当たりの圧縮力(F_a)に達すると、接着剤の流動が停止し、接着層の状態が決定される。このような接着層の形成過程に関するモデルに従って計算した接着層の形成状態と実際の接着層の形成状態とはよく一致した。これから、接着剤を帯状に塗布して合板と素材を釘打ち接着したときの接着層の形成状態に影響する因子が、接着剤の粘度変化が一定の条件においては、接着剤の塗布量、合板の剛性および釘打ち間隔であることが明らかになり、これらの因子により接着層の形成状態を予測することが可能であることが示された。

しかし、現場的な条件ではオープンアクセスンブリータイム(接着剤を塗布してから被着材を重ねるまでの時間)による接着剤の粘度変化、人間により行われる塗布量のばらつきまたは木材のそり等の不確定な因子があるため、製作条件の整備だけで安定した満足な接着層の形成状態さらには接着性能を期待する

ことは困難であると考えられる。安定した満足な接着層の形成状態および接着性能を期待するためには、次に示すような接着されたものの検査が必用であると考えられる。

6. 現場接着接合部の非破壊検査

1液型ポリウレタン接着剤による接合部の性能は、接着剤の広がり面積により推定可能であるため、接着層の形成状態を非破壊的に測定することができれば、接着性能を推定することおよび接合部の信頼性を向上させることが可能である。そこで、接着層の形成状態の非破壊的測定方法について検討した²²⁾。

現場接着床組においては、根太と合板の間の接着剤の広がり幅が小さくなると、2本の根太の間の合板の実質的なスパンが長くなるため、合板の固有振動数が低下することを見いだした。したがって、根太間の合板の固有振動数を測定することにより、接着剤の広がり幅が極端に小さい床組を識別することが可能である。

接着重ね梁については、スキマゲージを接着層に挿入することにより、材料を切断して実測するのと同程度の精度で、接着剤の広がり幅を測定可能であることが明らかになった。

このような接着層の形成状態の検査と一部分の破壊試験を組み合わせることにより、接着接合部全体の性能をより正確に検査することが可能になると考えられる。

7. 現場接着マニュアルの提案

以上のような成果をもとに、1液型ポリウレタン接着剤を用いて信頼性の高い接着重ね梁を製作および供給するための接着重ね梁の製作マニュアル(改訂版)が提案されている²⁶⁾。このマニュアルには接着重ね梁の製作方法だけでなく、接着の検査および接着層の形

成状態の検査が含まれている。このマニュアルに従って製作および検査された接着重ね梁の接着接合部は安定した十分な接着性能を有していて、接着重ね梁に構成材が完全に一体化したとみなしたときの剛性を期待することが可能になると考えられる。

引用文献

- 1) J. D. Rose: Field-Glued Plywood Floor Test, American Plywood Association Laboratory Report 118 (1970).
- 2) C. B. Vick: Elastomeric Adhesives for Field-Gluing Plywood Floor, Forest Product J., 21(8), 34-42 (1971).
- 3) H. F. Zornig and C. B. Vick: Method of Nailing and Adhesive Consistency Affect the Strength of Nailed-glued Construction Joints, Forest Products J., 24(12), 17-22 (1974).
- 4) American Plywood Association: Adhesives for Field Gluing Plywood to Wood Framing, Adhesive Performance Specification AFG-01 (1971).
- 5) American Society for Test and Standard: Standard Specification for Adhesives for Field-Gluing Plywood to Lumber Framing for Floor System, ASTM D 3498-76 (1976).
- 6) American Plywood Association: APA Glued Floor System, Form U405
- 7) 平嶋義彦、鴛海四郎：枠組壁工法住宅床組の構造耐力試験 (IV)、木材工業、36(3)、118-123 (1981).
- 8) 住宅金融公庫：枠組壁工法住宅工事共通仕様書 (1979).
- 9) 日本・住宅木材技術センター：床用現場接着剤の性能試験方法 (1979).
- 10) 海老原徹、木口三郎：現場接着に関する基礎的研究 (第1報) 釘打ち接着による枠材と合板の接合、木材学会誌、24(6)、400-405 (1978).
- 11) 海老原徹：木造建築における現場接着について、木材工業、33(5)、192-196 (1979).
- 12) 吉田弥明、嶋智恵、吉川双介：釘打ち接着接合部の接着性能、木材工業、38(8)、375-380 (1983).
- 13) 佐藤雅俊、安藤直人、鴛海四郎：合板ボックスビームの釘打ち接着接合と接着性能、木材工業、38(11)、523-529 (1983).
- 14) 吉田弥明、吉川双介：釘打ち接着接合ボックスビームの強度性能、木材工業、40(6)、274-279 (1985).
- 15) 井上明生、唐沢仁志、大黒昭夫：床用現場接着剤の強度特性と耐久性、木材学会誌、36(4)、314-322 (1990).
- 16) 井上明生、小野拓邦、唐沢仁志：スギ角材による接着重ね梁の製造、日本木材加工技術協会第4回年次大会講演要旨、p. 43-44 (1986).
- 17) 井上明生、大黒昭夫、唐沢仁志：枠組壁工法住宅における現場接着床組の実態調査、木材学会誌、36(9)、765-771 (1990).
- 18) 井上明生、鴛海四郎、丸山則義、早村俊二：現場接着重ね梁の接着剤の広がりや曲げ性能、第38回木材学会大会要旨、p. 306 (1988).
- 19) 井上明生：釘圧縮による接着層の形成、木材工業、42(4)、168-171 (1987).
- 20) 井上明生：釘打ち接着接合部の接着層の形成状態、超音波伝播時間および接着性能、木材学会誌、37(2)、142-150 (1991).
- 21) 井上明生：帯状塗布された接着剤の釘打ちによる接着層形成状態の予測、木材学会誌、

- 37(9)、802-829 (1991).
- 22)井上明生：1液型ポリウレタン接着剤を帯状に塗布して接着した接合部における接着剤の広がり幅の非破壊的測定方法、木材学会誌、37(2)、151-157 (1991).
- 23)平嶋義彦ら：正角材を用いた接着重ね梁の曲げ性能、木材工業、43(2)、63-67(1988).
- 24)日本住宅・木材技術センター合成ばりの利用開発委員会：木造軸組構法等の開発業務報告書－合成梁等の利用開発－ (1986).
- 25)日本住宅・木材技術センター複合梁分科会：昭和61年度技術開発推進事業報告書－複合梁開発－ (1987).
- 26)日本住宅・木材技術センター複合梁分科会：昭和63年度技術開発推進事業報告書－複合梁開発－、(1989).
- 27)吉田弥明、吉川双介：現場接着接合法としての釘打ち接着接合法（第1報）合板－枿材釘打ち接着における釘の圧縮効果、木材学会誌、34(2)、126-132 (1988).
- 28)風間正行、小林純、小西信：建築現場におけるのり・くぎ併用接合－くぎ押し込み抵抗とくぎ押し込み圧縮圧力、木材学会誌、36(1)、22-28 (1990).
- 29)楊 萍、秦正徳、佐々木光、小西信、鴛海四郎：接着面の圧縮圧分布と接着性（第1報）ボルト・クランプ圧縮接着における圧縮圧分布と接着性、木材学会誌、37(7)、611-618 (1991).
- 30)楊 萍、秦正徳、佐々木光：接着面の圧縮圧分布と接着性（第2報）クランプ圧縮接着における圧縮条件と圧縮圧分布、木材学会誌、37(7)、619-624(1991).

木材を材料として使用しようとするとき、接着剤を用いて再構成された木質加工材料の役割が大きくなる。なかでもエンジニアリング・ウッドの中心を占める大断面構造用集成材等による木質構造がこれだけ増加して来ると、接着剤で構成されたそれらの構造材の接合に接着剤を使うことを期待するのは当然である。ましてや構造接着接合が出来れば、接合部の応力分布も力学的にも好ましく、また木質ラーメン構造の可能性もあり、その上装飾的にもよく、金物継ぎ手を使用する場合と比較して防火性能も向上し、コスト的な負担も軽くなる条件もあると聞くと糊屋はすぐにも施工して貰いたくなる。

然しながら、昔から「合わせ物は剥がれ物」と言われて、糊で貼り合わせた物には「大丈夫剥がれない」保証が得にくかった。非破壊検査の技術が確立されていればまだしも、それが無いので構造接着接合を押し出すことが出来にくかった。ところが木材接着もエンジニアリング・ウッドが評価されるまでに信頼性が高まり、枠組壁工法の現場接着床構造が構造的評価を受けるなどの実績からや研究・実験が重ねられて、構造接着接合がいよいよ具体的な問題となって来た。

とは言うものの工場内のように接着条件が整えられない現場接着で信頼度120%を要求される構造接着を施工することは、ただでさえ困難な施工条件の上現場ほど予期しない色々なことが起こるのが日常であると聞かされているだけに慎重にならざるを得ない。そこで、接着サイドから見た色々な心配事を列挙して考えてみたい。

そもそも、接着には被着材、接着剤、接着工程に関する3因子が正しく上手に調整されていないと良い結果が得られない。現場接着の場合も全く同様である。

1. 現場接着で遭遇するであろう接着に影響を与える因子

1. 1 被着材に関する因子

- a. 樹 種
- b. 接合部の複雑さ
- c. 接着仕口の精度
- d. 木口接着（繊維方向）
- e. 接合部の平滑性
- f. 嵌合の確かさ
- g. 含水率
- h. 加工履歴

1. 2 接着工程（条件）に関する因子

- a. 圧縮の困難さ
- b. 圧縮圧力の不足

- c. 接着剤の塗布
- d. 堆積時間
- e. 圧縮時間
- f. 圧縮温度
- g. 養生

1. 3接着剤に関する因子

- a. 接着剤の選択
- b. 可使時間
- c. 硬化度
- d. 耐熱性
- e. 空隙充填性
- f. 耐久性

2. 接着剤の選択

木質材料は金属やプラスチック等の他の材料と比べて接着し易いから、使用できる接着剤の種類は比較的多い。建築物に使用される接着剤の選択のガイドに例えば BS 5442:Part 3 Adhesives for construction :Adhesives for use with wood (第1表) などがある。

3. 部分的な加圧圧縮による接着

現場接着接合の接着条件で危惧される一つは、均一なしかも十分な加圧圧縮を行なうことがむづかしいことである。そこで長さ2mの5種類の厚みの異なるベイマツ集成材を両端から10cm内側で幅10cmの部分2か所のみ3種類の圧力5kg/cm²、10kg/cm²と15kg/cm²の加圧圧縮を行なった時の各部分の接着性能評価の結果を第2表に示す。これによると

- ①接着性能があると考えてよいA、Bゾーンは、RF、EPXでほぼ同じ範囲で広がり、位置番号5～6即ち圧縮部より離れて30cm位まで期待できる。従って圧縮クランプの心心間隔は50cm程で充分に実用の範囲である。
- ②水性高分子イソシアネート系では接着信頼域はそれらよりせばまり、UFではさらに極小さい。
- ③被着材集成材の厚みは80mmにピークがあった。
- ④圧縮圧力は大きくなると圧縮部から離れるに従い跳ね上がり現象で有害で、被着材の剛性の小さいものでは特に注意が必要である。
- ⑤接着剤EPXは低温硬化性が劣ることと硬化物の高温(火災)時の剛性の低下で採用できにくい。RFは低温硬化性を悪化するフェノール共縮合の限度を設ける必要があるが、空隙充填性、耐熱性、耐久性、低圧での接着性などで、現場接着接合の構造用接着剤として推薦できる。

Table 1. Summary of classification of adhesives for wood/wood combinations

Type of adhesive (see key on page 6)

Basic classification	Unmodified natural materials		Synthetic thermoset resins							Elastomers					Thermoplastics					
			Heat set and/or acid catalysed							Miscellaneous multi-component	Solutions in organic solvents					Hot-melt adhesives				
			Contact type		Gap-filling type															
Chemical type	Bone, skin and hide glue	Casein	Phenol-formaldehyde	Resorcinol-formaldehyde	Resorcinol/phenol-formaldehyde	Urea-formaldehyde	Urea/melamine-formaldehyde	Melamine-formaldehyde	Polyvinyl acetate emulsion (cross-linkable)	Polychloroprene	Polychloroprene	Polyacrylonitrile-styrene	Styrene butadiene rubber	Natural rubber	Ethylene vinyl acetate	Polyester	Polyamide	Thermoplastic rubber	Polychloroprene latex	Polyvinyl acetate and polyvinyl acetate copolymer emulsion
Number in key	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Highest suitability of coding (see clause 5 and note 2)	A	A	D	D	D	BC*	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	A
Type of work or structure																				
Plywood			D	S	S	A	BC	BC	S											
Natural wood veneering:																				
face	A	S				A	BC	BC	BC	A					A	S	S	A	A	A
edge	A	S				A	BC	BC	BC	A					A	S	S	A	A	A
Laminated beams		A	D	D	D	S	S	S												
Prefabricated trusses		A	D	D	D	S	BC	S												
Roof structures		A	D	D	D		BC													
Boat building			D	D	D	BC*	BC	S												
Vehicle building			D	D	D	S	S	S												
Window frames		A	D	D	D	BC*	BC	BC	BC											
Interior door sets	A	A				A			BC											A
Door manufacture	A	A	D	D	D	BC*	BC	BC	BC											
Furniture manufacture:																				
V-groove joints						A			BC					A	S	S				A
other joints	A	A				A	BC		A		S			A	S	S				A
Assembly on site:																				
joinery	A	A				A	BC		BC		A	A	A	A						A
furniture	A	A				A	BC		BC											A
structural components†																				

* See note 3
† See note 4

5. Code for suitability of adhesives for table 1

- A Suitable for service inside heated and ventilated buildings and in other environments where the equilibrium moisture content of natural softwood does not exceed 18 % and the bond-line remains below a temperature of 50 °C.
- BC Suitable for exposure conditions intermediate between A and D bearing in mind that any given set of exposure conditions can have different results depending upon the type of wood and on the article or fabrication in question.
- D Suitable for full exposure to weather or to water immersion.
- S Could be suitable in special cases, but is not used in general practice.

NOTE 1. Where a D code is given in the table, it is understood to be suitable also for conditions under A and BC. Similarly a BC code is suitable for conditions under A.

NOTE 2. The first line of table 1 gives the highest suitability coding that can be obtained with some members of the class of adhesives indicated, provided that the adherends are also suitable for the degree of exposure indicated in that coding.

NOTE 3. Certain urea formaldehyde-based adhesives which comply with the requirements of type MR of BS 1204 : Part 1 and Part 2 have been found suitable for applications where the moisture content of natural softwood can exceed 18 % in service but which does not remain at this figure continuously; they are suitable also where joints are protected by paint films and are not subjected to loads. These adhesives are generally found to give satisfactory service in situations where the temperature may exceed 50 °C.

For those applications marked with an asterisk in table 1, it is recommended that the urea formaldehyde-based adhesive should comply with the above requirement.

NOTE 4. For assembling components on site the adhesives and conditions should not be inferior to those used for factory assembly.

第2表

部分集中荷重による各部位の
接着強さ試験の結果の評価

圧縮荷重 位置番号	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																													
レ 材 ル シ 背 ル	20mm	A ₁ A ₁ A ₁	B ₂ 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	B ₁ A ₁ A ₂	E E E	E E E	40mm	B ₁ B ₂ B ₂	D D E	E E E	E B ₁ A ₂	B ₂ D C ₂	C ₂ D C ₁	E B ₂ C ₁	C ₂ E E	E E E	60mm	B ₁ A ₁ B ₁	B ₁ B ₂ B ₂	D E E	C ₂ A ₁ B ₁	B ₁ B ₂ B ₂	E E E	A ₁ B ₁ A ₂	B ₂ B ₂ E	E E E	80mm	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 ₂ D	B ₂ A ₁ A ₁	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ A ₂ B ₂	100mm	A ₁ A ₁ A ₁	B ₂ C ₂ E	E E E	C ₁ B ₁ B ₂	B ₂ D E	C ₁ C ₁ E	C ₂ A ₂ A ₁	A ₂ B ₁ A ₁	B ₂ D D
エ ボ キ シ 背	20mm	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	B ₁ B ₂ B ₂	B ₂ B ₂ B ₂	A ₁ A ₁ A ₁	B ₁ C ₁ E	E E E	40mm	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₂ D	D D E	A ₂ A ₁ A ₁	B ₁ B ₂ B ₂	B ₂ B ₂ B ₂	A ₁ A ₁ A ₁	B ₁ C ₁ E	E E E	60mm	A ₁ A ₁ A ₁	A ₂ A ₂ B ₂	B ₂ D B ₂	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 ₂	80mm	A ₁ A ₁ A ₁	B ₁ B ₂ 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 ₂ B ₂	E D D	100mm	A ₂ A ₁ B ₂	B ₁ D B ₂	B ₂ E D	A ₂ A ₂ B ₁	B ₂ B ₂ B ₂	E E E	E B ₂ B ₂	B ₂ B ₂ A ₂	B ₁ B ₂ B ₁
水 性 ウ 材 ビ レ ニ タ 背 ル ン	20mm	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	B ₁ A ₁ A ₂	E E E	E E E	40mm	A ₂ A ₂ B ₁	E E E	E E E	A ₂ A ₁ A ₁	B ₂ E E	E E E	A ₁ A ₁ A ₂	B ₂ E E	E E E	60mm	A ₂ A ₂ B ₁	C ₁ E E	E E E	A ₂ A ₂ B ₁	B ₂ D E	E E E	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ B ₂ E	E E E	80mm	A ₂ B ₁ A ₂	B ₂ E C ₁	D B ₂ C ₂	A ₁ A ₁ A ₂	A ₁ A ₁ B ₁	C ₂ C ₂ D	A ₁ A ₁ A ₁	A ₁ A ₂ D	E E E	100mm	E E E	E E E	E E E	A ₁ B ₂ B ₂	C ₁ E E	E E E	A ₁ A ₂ A ₂	B ₁ E E	E E E
ユ 材 リ 背 ア	20mm	D A ₁ C ₂	D E E	E E E	A ₁ A ₁ B ₁	C ₂ E E	E E E	B ₂ B ₁ B ₂	E E E	E E E	B ₂ B ₁ B ₂	E E E	E E E	40mm	B ₁ A ₁ B ₂	C ₂ D E	E E E	B ₁ A ₁ C ₂	C ₂ D E	E E E	D A ₂ B ₂	D D D	E E E	60mm	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	80mm	E B ₂ B ₂	B ₂ B ₂ E	E E E	D C ₂ C ₂	D D D	E E E	B ₂ B ₂ A ₂	D E E	D E E	100mm	E B ₂ B ₂	B ₂ B ₂ E	E E E	E C ₂ D	E E E	E E E	B ₂ A ₁ B ₁	C ₂ B ₂ E	E E E

「接着性能の評価基準」のランク付けによる。

接着性能の評価基準

No.	接着強さ kgf/cm ² の範囲	木部破断率% の範囲	変動係数の範囲			
			20>	20~30	30~50	>50
1	>80	>70	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
2		69~50	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
3		49~30	A ₁	B ₁	B ₂	B ₂
4		30	B ₂	B ₂	C ₁	C ₂
5	80~50	>70	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
6		69~50	A ₂	B ₁	B ₂	B ₂
7		49~30	B ₁	B ₂	B ₂	C ₁
8		30<	C ₂	C ₂	D	E
9	50~40	>70	A ₂	B ₁	B ₂	B ₂
10		69~50	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂
11		49~30	C ₁	C ₂	C ₁	D
12		30<	D	D	E	E
13	40~20	>70	B	B	C	C
14		69~50	C	C	C	D
15	20>	>70	C	C	D	E
16		69~50	D	D	E	E
17	40>	49~30	D	D	E	E
18		30>	E	E	E	E

4. 建築構造用現場組立の接着接合の設計施工点検基準の現場接着作業案の骨子

4.1 接着剤

4.1.1 フェノール等共縮合成分が30%以下のビツルソール樹脂木材接着剤

4.1.2 接着剤メーカーと十分な検討協議で品種選定

4.1.3 製造後の使用期限

4.2 被着材の含水率

4.2.1 平均含水率15%以下、バラツキ5%以内。接合2材の平均含水率の差5%以内

4.2.2 接合部に節、目切れのないこと

4.2.3 接合部加工製作後長期放置禁止

4.3 被着材の温度

被着材、接合部、および周辺環境を20°C以上に

4.4 接着剤の塗布

4.4.1 一接着層あたり150～250g/m²

4.4.2 浸透による欠膠の防止

4.4.3 一接着層の両接着面に両面塗布

4.5 開放堆積時間

4.5.1 開放堆積時間は30分が限度

4.5.2 閉鎖堆積時間は接着剤の可使用時間内

4.6 圧縮作業

4.6.1 スカフ接着、BFGとも、圧縮治具の用意をして予め勘合テストを行なう。

施工時、断面欠損を起こした場合は計算によって確認する。

4.6.2 圧縮圧力は接着面に5kg/cm²。注意して加圧作業をすすめる。

4.6.3 圧縮保持時間は6時間以上

4.7 除圧後の養生

除圧後の養生は20°C以上の環境で24時間以上

4.8 接着作業環境

4.8.1 雨水、直射日光防御の対策

4.8.2 20°C以下の環境では保温加熱の設備のない場所では実施してはいけない

4.8.3 通風、天然の風、埃などへの注意

4.9 接着性能の確認

4.9.1 継ぎ手部の形状の確認、接着層厚みの測定、BFJの糊溜めの状態検査

4.9.2 接着強さ測定用ピースの作成

4.9.3 測定用ピースの接着強さの平均値と変動係数

4.10 接着管理者

4.10.1 接着管理者の職務権限

4.10.2 接着管理者資格

4.11 作業管理記録の作成と保管

4.12保守点検

4.12.1保守点検項目

4.12.2保守点検の時期

第3表 作業管理記録

1. 現場物件名と所有者名・所在地
2. 物件の所在地
3. 建築設計者名と所在地・責任者名
4. 建築構造設計者名と所在地・責任者名
5. 建築施工業者名と所在地・責任者名
6. 構造用現場接着被着材の製造社名と所在地・責任者名
7. 同材料の製造年月日ロットナンバー等
8. 現場搬入年月日
9. 保管養生の状況
10. 接着接合作業の年月日
11. 作業日の天候、気温、湿度、風向、風力（風速）、
12. 被着材の樹種、加工の種類
13. 被着材の形状、寸法
14. 被着材夫々の測定含水率並びに平均含水率、最高最低値の差
15. 接着接合部の仕口形状、寸法、精度測定値、材温
16. 使用接着剤の品名、品質検査記録
17. 接着剤の配合と総量、その時の時刻、接着剤の温度、粘度、
18. 視覚基準用に製作した塗布量の測定記録
19. 接着剤残量、使用接着剤量
20. 塗布作業完了時刻
21. 圧縮の方法
22. 圧縮完了月日時刻、
23. 圧縮時の温度（時間経過で記録）
24. 圧縮解除（解圧）月日時刻
25. 養生温度（時間経過で記録）
26. 養生完了の月日時刻
27. 接合部の接着層厚み測定検査記録
28. 接着強さ試験接着強さの値と平均値
29. 実大接合部試験の記録（照合コード）
30. 接着接合性能の総合判定
31. 接着管理者免許番号氏名捺印