

大断面集成材の接着継手強度に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE STRENGTH OF ADHESIVE BOND JOINT IN GLUED LAMINATED TIMBER.

木村 衛^{*1} 太田秀彦^{*2} 渡辺博司^{*2} 太田道彦^{*3} 畑中公樹^{*4} 小塚裕一^{*5} 最上公彦^{*6}By Mamoru KIMURA, Hidehiko OHTA, Hiroshi WATANABE, Michihiko OHTA, Kouki HATANAKA,
Yuuichi KOZUKA and Kimihiko MOGAMI

These studies examine the possibility of full-strength bonded joints in glued laminated timber beams. Full-scale beams made of glued laminated timber having four kinds of bonded joints have been subjected to bending moment, and when a comparison in yield strength and failure condition was made between glued laminated timber beams having bonded joints and those without joints, the following results have been obtained:

- (1) For the yield strength of bonded joints, values which are near those of the joint-less timber beams have been obtained.
- (2) The failure condition of the joints is practically the same as the timber portion, and both of them showed brittle failure condition.

1. はじめに

集成材は輸送の関係から適当な長さに切断して運搬するため、比較的大きな構造物を構築する場合に現地で再び接合することが多い。曲げ部材の接合方法として一般には鋼板添え板によるボルト接合が多く用いられているが、この形式の継手はボルトのめり込みや添え板の曲げ等による局所的な変形をとまうことが多いため、耐力、復元力特性に関する実験的・解析的検討もかなり行われている⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。しかし引つ張りが作用する金物については耐火被覆をする必要があり、継手効率の面から圧縮形式の継手やピン接合とすることが多く、構造計画上かなり制限を受けることになる。一方接着による継手は変形が少なく剛接合となることが期待されるが、ラミナのレベルでの検討にとどまってお⁽⁶⁾⁻⁽¹⁰⁾部材レベルについての検討はほとんど行われていない。このような観点から、本研究は現場接着を意識した部材断面全強となる接着継手の可能性について検討したものである。接着継手を有する実大の集成材梁を用いて加力実験を実施し、耐力、破壊性状について継手の無い場合と比較している。

*1 工博	（株）竹中工務店・技術研究所	主任研究員	（〒136 東京都江東区南砂2-5-14）
*2 工修	同	研究員	
*3	同 ・東京本店設計部	副部長	（〒104 東京都中央区銀座8-21-1）
*4	同	構造課長	
*5 工修	同	構造課員	
*6 工修	同 ・特殊構造本部	構造担当課長	

2. 実験概要

2. 1 試験体

試験体は断面700×165，全長7mの実大集成材を用いた。素材はベイマツで、ラミナ厚33.3mm，積層数21である。ラミナのグレーディングの分布を図-1に示す。試験体数は5体で、うち1体は基準試験体WB-0として継手のないものを含めた。継手は試験体中央部に設けており、長さを極力短くすることと継手効率を考慮して図-2に示す4種類を選んだ。スカーフジョイントのWB-1、せいをほぼ3等分してずらしたラミナレベルのフィンガージョイントと水平接着面のせん断を期待したWB-2、梁せいレベルをフィンガージョイントとしたWB-3、梁幅方向をくさび形としたWB-4である。スカーフの角度 θ は 15° 、他の接着面角度はいずれも $\tan\theta=1/10$ とした。接着剤は高粘度レゾル・シノールを用いた。

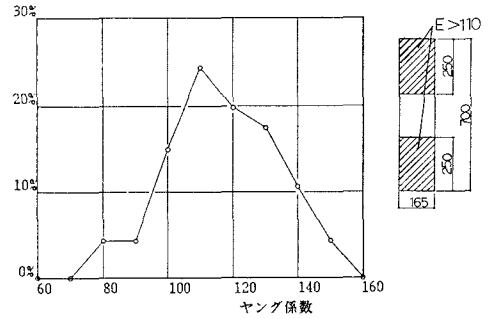


図-1 ラミナのグレーディング結果

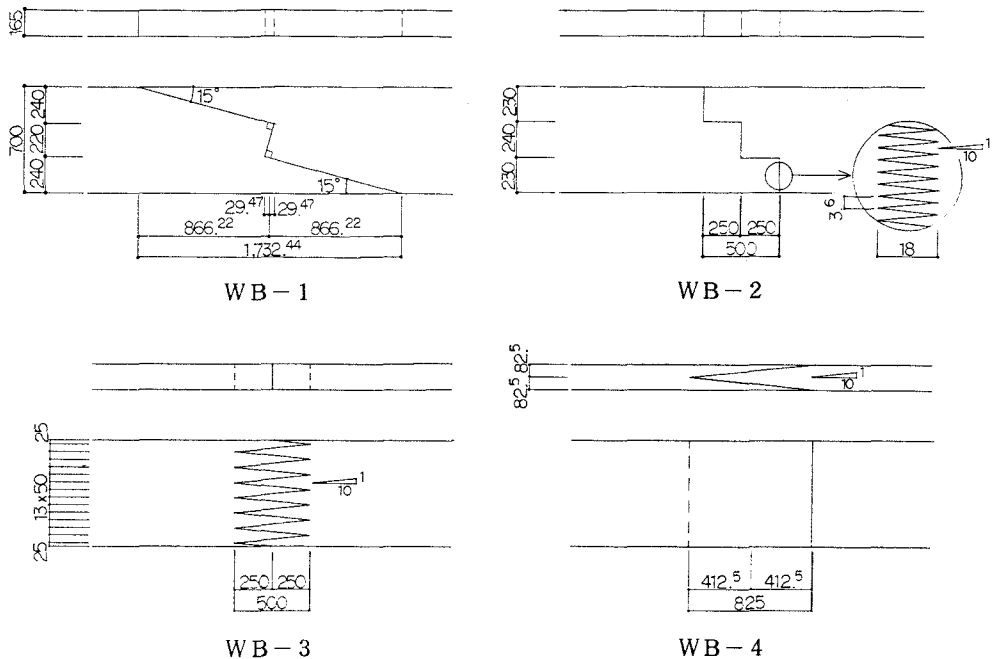


図-2 継手形状

2. 2 加力及び測定

加力は1000t万能試験機を利用し単純梁，2点集中による単調载荷形式とした。継手部分が純曲げ区間内に位置すること、および破壊を曲げ系とすることから試験機の最大スパン長(7m)を考慮して、純曲げスパン $l_H=2400\text{mm}$ ，せん断スパン $l_Q=2150\text{mm}$ 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した。変形は試験体中央部(梁せい中央①と下面②)および加力点のたわみ③④と継手部分の局部変形⑤⑥について行っている。変位計⑦⑧は反力位置の支圧にともなう変形に対する補正として用いた。図-3に加力・測定の概要を示す。

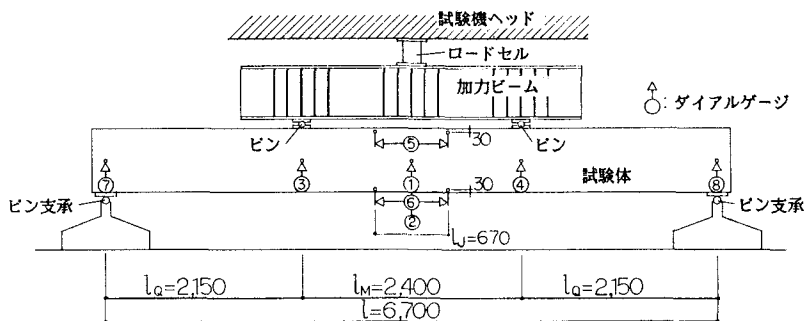


図-3 加力・測定の概要

3. 実験結果

3. 1 荷重変形関係

図-4に各試験体の荷重-変形関係を示す。縦軸には荷重 P 、横軸には中央部のたわみ δ_1, δ_2 をとっている。ここにサフィックスは変位計位置に対応する。

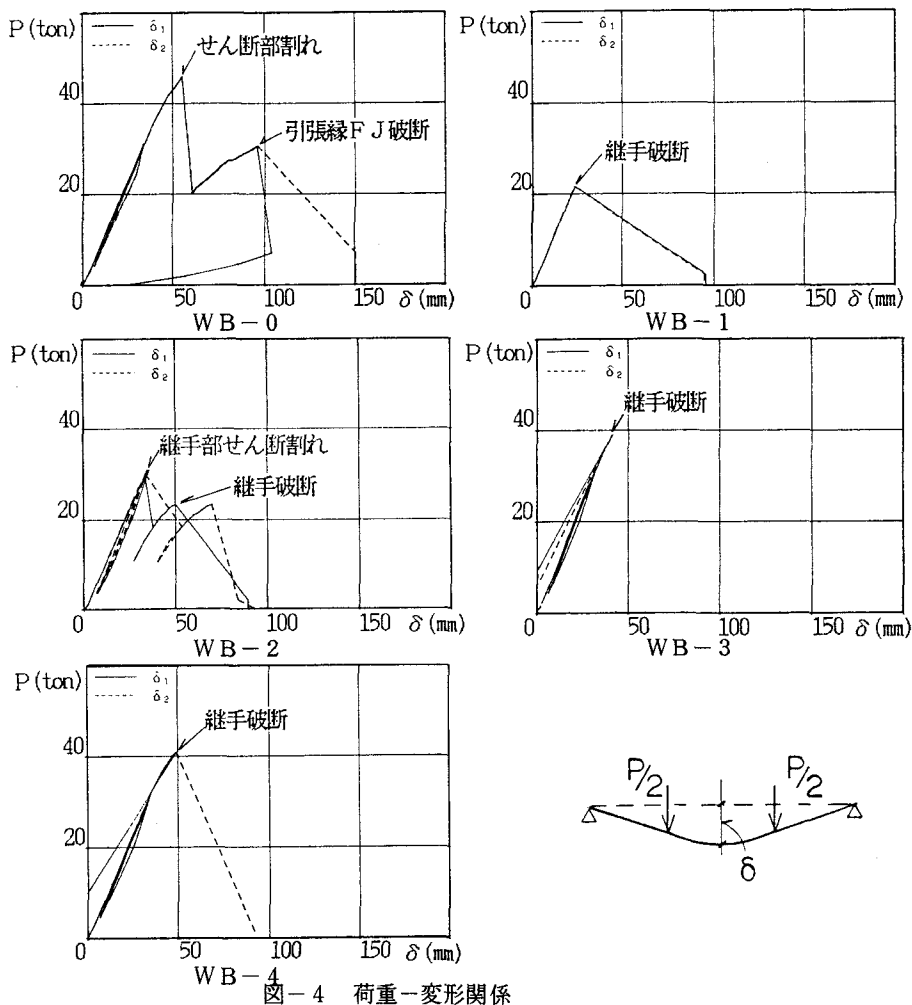


図-4 荷重-変形関係

継手の無い基準試験体WB-0では、荷重が $P_{max}=46t$ まで上昇し、せん断スパン部分よりせいの中央付近に発生した層状割裂が中央に進展して急激に耐力が低下した。その後、剛性が初期の 1/4 程度となり、荷重が再上昇し $P_{max}=33t$ で最終的に引張縁ラミナのフィンガージョイント部が破断して崩壊に至った。

一方継手を有する試験体ではWB-2を除いていずれも継手部の引張側が破断し、急激に耐力の低下をきたし崩壊した。最大耐力はWB-1で $P_{max}=23t$ 、WB-3で $P_{max}=37t$ 、WB-4で $P_{max}=44t$ であった。

WB-2においては、荷重が $P_{max}=32t$ で継手の材軸に平行な引張側の面に沿って層状割裂が発生し、それが全長にわたって進展し耐力低下をおこした。その後は剛性が初期の約 1/3 に低下した状態で荷重が再上昇し、最終的には $P=25t$ で継手部が破断して崩壊した。

3. 2 最大耐力評価

集成材の素材強度を曲げに対して σ_u 、せん断に対して τ_u とする。また接着にともなう強度の低下を一律 80% として評価する⁽¹²⁾。これより継手の無い基準試験体に対して曲げ耐力 P_{Mu} 、せん断耐力 P_{Qu} は次式で表す。

$$P_{Mu} = 2\sigma_u \cdot Z / l_g \times 0.8 \quad (1)$$

$$P_{Qu} = 2\tau_u \cdot A / 1.5 \times 0.8 \quad (2)$$

ここに A 、 Z は断面積および断面係数である。グレーディングの結果より素材の品質を 1 級とみなして曲げ強度を $\sigma_u=435\text{kg/cm}^2$ 、せん断強度は $\tau_u=36\text{kg/cm}^2$ と仮定すると⁽¹¹⁾、WB-0 試験体に対してそれぞれ $P_{Mu}=43.6t$ 、 $P_{Qu}=44.3t$ の値が得られ曲げ耐力とせん断耐力はほぼ等しい。ただし実験においてはせん断破壊が卓越した。

接着継手の試験体については曲げ強度 σ_u を次式で表す。断面最外縁近傍の接着角度を θ 、単位接着面積当りの強度を 50kg/cm^2 ⁽¹⁰⁾ とすれば

$$\sigma_u = 50 / \sin \theta \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3)$$

WB-1 に対して $\theta=15^\circ$ を代入して $\sigma_u=193\text{kg/cm}^2$ 、WB-2, 3, 4 試験体では $\tan \theta=1/10$ より $\theta=5.7^\circ$ として $\sigma_u=503\text{kg/cm}^2$ を得る。

継手部分の局部変形を測定する変位計⑤⑥の結果より曲げ歪性状をみたものが図-5である。継手を設けた試験体に対しても、ほぼ純曲げの歪状態が得られていることより (1) 式に代入して最大耐力を求める。表-1 に実験結果とともにまとめて示した。

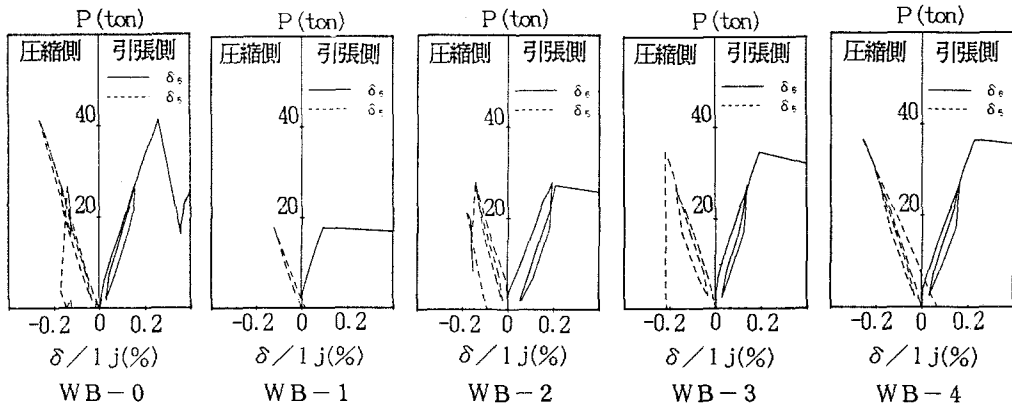


図-5 曲げ歪性状

表-1 最大耐力の評価

試験体名	曲げ耐力(ton)		せん断耐力(ton)		備 考
	(1)式	実験値	(2)式	実験値	
WB-0	43.6	—	44.3	45.94	せん断スパン割裂→引張縁FJ破断
WB-1	19.4	23.27	"	—	継手部破断
WB-2	43.6(50.4)	32.31	"	—	継手部割裂→引張縁継手部破断
WB-3	43.6(50.4)	37.20	"	—	継手部破断
WB-4	43.6(50.4)	43.98	"	—	"

() : 継手耐力

3. 3 破壊性状

図-6は純曲げ区間の曲げモーメント-曲率関係^注を示したものである。弾性勾配は集成材のヤング係数を $E=140\text{t/cm}^2$ として評価すると一点鎖線が得られ、実験とよい一致をみる。

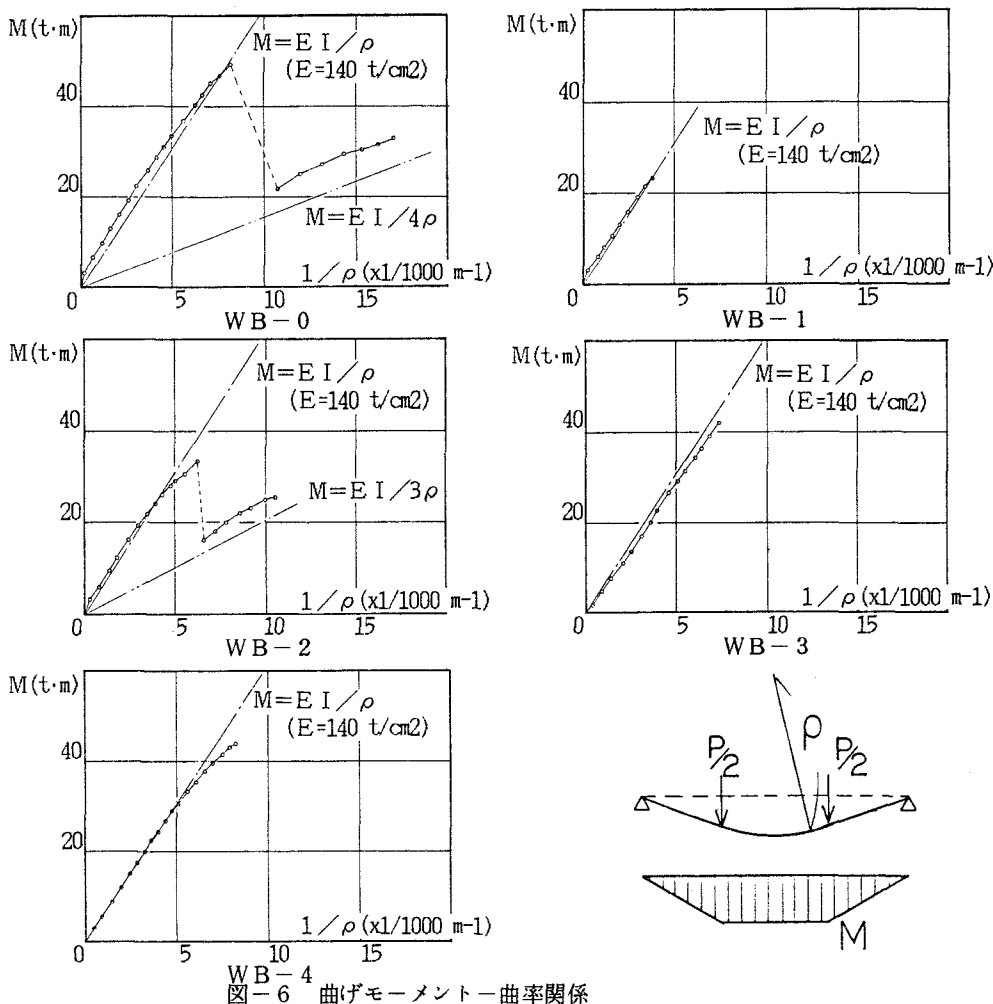


図-6 曲げモーメント-曲率関係

注. 純曲げ区間で試験体の曲率を一定と考えると測定変位より $1/\rho = 4(2\delta_1 - \delta_3 - \delta_4)/l^2$ となる。

また、せん断弾性係数 G は中央のたわみ δ_1 or δ_2 、より曲げたわみ成分 δ_b を除去したせん断変形成分 δ_s から求めることが出来る。

$$G = \frac{1.5 \cdot P / 2 \cdot l_0}{A \cdot \delta_s}$$

$$\delta_s = \delta_{1 \text{ or } 2} - \delta_b$$

$$= \delta_{1 \text{ or } 2} - \frac{P \cdot l_0}{24 E I} \cdot (3 l^2 - 4 l_0^2)$$

本実験では $G = 5.6 \text{ t/cm}^2$ の値が得られた。これは上級ラミナ針葉樹 A 類の一般的なせん断弾性係数 (5.5 t/cm^2 (11)) によく対応している。

継手の無い WB-0 の試験体の破断は 3. 1 で述べた通りせん断スパン部の最大せん断応力位置、梁せいの中央のせん断割れによったが、純曲げスパン部への進展にともない、以降 $1/2$ のせいの重ね梁の挙動を示すことになる。この割れの進展は、せん断スパン部の割れにともなう曲げ応力分布と純曲げ部の一体としての曲げ応力分布の差から生ずる局部せん断応力度が原因と考えられる。図-7 を参照して、せん断スパン部の最大曲げモーメント位置 l_0 の縁曲げ応力度を σ とすれば、任意位置 l_s において純曲げ部の曲げモーメントが等しいことからその位置での縁曲げ応力度は $\sigma/2$ となり、さらに応力度分布の差を考慮すれば図の様なせん断応力度が生じその最大値は梁せい中央にあり次式で近似できる。

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma}{8 l_s} \cdot H$$

ここでは簡単のため曲げ応力度は l_s 間を線形に変化するものと考えた。 $\tau_{\max} \geq \tau_u$ となる l_s 領域で割れは進展し、これが順次材中央まで繰り返されて破壊することになる。この破壊性状は一般の曲げ破壊にもあてはまる。すなわち、純曲げ部の任意位置の一部が破断すると図-8 のごとくせん断応力がその部分に集中し、 l_s を適当にとれば $\tau_{\max} \geq \tau_u$ となるからその部分からの割れの進展が発生することになる。

WB-1, 3, 4 試験体は継手接着部の破断であった。ただし WB-2 試験体を含めいずれも中央継手部からの、また WB-0 試験体では引張側最外縁ラミナのフィンガージョイント部破断後その位置からの、割れの進展が認められている。WB-3 試験体の割れの発生位置は梁せいの引張側 $1/3$ の部分で、重ね梁としての剛性が $1/3$ となり実験結果にほぼ一致している。

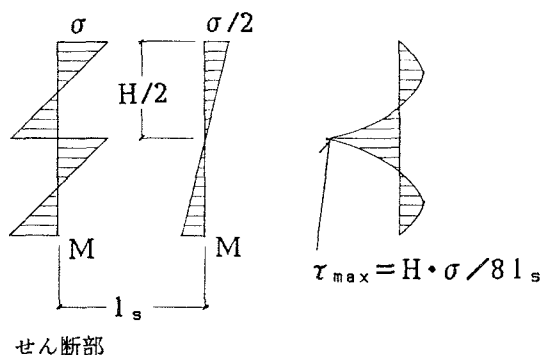


図-7 せん断スパン部から純曲げスパン部への割れの進展

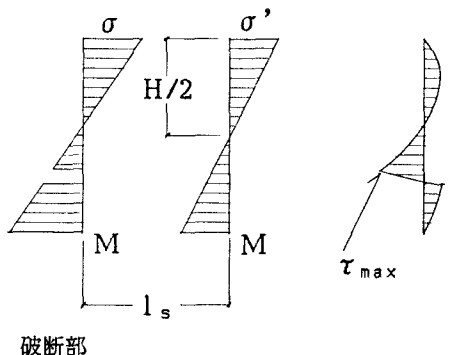


図-8 任意位置破断時の応力分布

4. まとめ

今回試作した大断面集成材のいくつかの接着継手耐力は、ほぼ継手無しの場合に近い値が得られた。耐力算定に際し接着剤の施工精度を考慮して一律80%の低下を仮定したが、試験体破壊後の継手部の観察によれば施工精度がかなり悪く改善の余地が認められた。

集成材の耐力実験では、一般に純曲げ部分においても層状の割れがみられる。本実験においても最終的な破壊状態では全ての試験体でこの割れが発生している。ここでは構成要素に塑性変形能力の無い場合、言い換えれば降伏後破断をとまなう素材においては、純曲げ領域においてもせん断応力が集中し、割れの進展につながる。従って集成木材は脆性的な破壊性状を有しているとする、集成木材部と同等の性状を付与した継手の開発を目的にすれば、塑性変形能力を期待しないで耐力設計を対象として考えることもできる。

(謝辞)

試験体製作に当たり、丸七住研工業株式会社各位に御協力頂きここに深謝の意を表する。

(参考文献)

- (1)小松幸平 「挿入型鋼板ガセットとシアプレートボルト締め構法(仮称)による集成材軒肩接合部実大試験体の非線形半剛節解析」 昭和60.10 日本建築学会大会学術講演梗概集
- (2)安村基,坂井英明 「集成材ボルト接合部における終局性状」
昭和60.10 日本建築学会大会学術講演梗概集
- (3)佐藤雅俊,宮村雅史,森和雄,葉多修司 「集成材構造柱梁接合部の耐力に関する研究(Ⅱ)」
昭和61.8 日本建築学会大会学術講演梗概集
- (4)葉多修司,森和雄,佐藤雅俊 「集成材打ち込み鋼棒接合部の強度性状に関する実験的研究」
昭和61.8 日本建築学会大会学術講演梗概集
- (5)Rakesh Gupta, K. G. Gebremedhin 「Experimental Investigation To Determine The Strength Of Tension Splice Joints.」
Proceedings of The 1988 International Conference on Timber Engineering.
- (6)今泉勝吉 「スカーフ傾斜と曲げ強さとの関係」 日本建築学会関東支部研1957
- (7)今泉勝吉 「スカーフ傾斜と引っ張り強さとの関係」 日本建築学会関東支部研1958
- (8)森稔,星通 「フィンガージョイントの接着有効率」 木材工業Vol118. No3. 1963
- (9)Robert J. Leicht 「Structural Finger Joints Under Tensile Loading Modeled With Finite Elements And Strength Theory.」
Proceedings of The 1988 International Conference on Timber Engineering.
- (10)木村衛,渡辺博司,太田道彦,畑中公樹 「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63.10 日本建築学会大会学術講演梗概集
- (11)日本建築センター「大断面木造建築物設計施工マニュアル」 昭和63.6
- (12)菅野養作,今泉勝吉 「集成材」 森北出版 昭和40.8

(1988年10月12日受付)