新しい木材接合法の開発とその応用

—大断面集成材構造への応用—

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NEW TYPE CONNECTING SYSTEM IN TIMBER STRUCTURES

—Application to heavy timber structures—

井上正文 — *1 沖林 聡 — *2
田中 圭 — *3 矢頭盛吾 — *4
後藤泰男 — *5

Masafumi INOUE — *1 Satoshi OKIBAYASHI — *2
Kei TANAKA — *3 Seigo YAZU — *4
Yasuo GOTO — *5

キーワード：
接合金物, 接着剤, 大断面集成材, ラーメン構造

Keywords:
Metal connector, Adhesive, Laminated heavy timber,
Moment resisting frame

Recently, the number of skillful carpenters is decreasing remarkably in Japan. Because, the easy assembly joint system is required. In Japan, the laminated heavy timber are used frequently in timber structures. Main objective of this study is to investigate experimentally the structural behavior of the heavy timber frames jointed by new type connecting system developed by the authors. It is very easy to assemble this new type joint. The mechanical behavior of this joint system was investigated already for the usual lumber. Some construction examples using this new connecting system are shown.

1 はじめに

木質構造では部材自身の持つ強度性能もさることながら、それ以上に接合部の力学的挙動（剛性・強度・ねばり）が建物全体の構造性能を決定づけると言われている。木質構造物の接合法には、日本占来の伝統的接合法からボルトやプレートなどの金物を併用した接合法など多数開発されている。しかしこれらの接合法においては、下記のようないくつかの問題点が指摘されている。①建設現場で施工全体の合理化・簡略化に大きな影響をあたえる技能者や職人の不足・高齢化・技術力の低下という深刻さから、職人の技術・経験により接合強度のばらつきが生じるため、接合部の強度性能に不明確さを生じてしまう問題。②また、意匠面からは、接合部での接合金物等が、木材本来の「みえがかりの良さ」を阻害しているという指摘もなされている。③さらに、結露等による経年変化に伴う接合金物の劣化や火災時における金物等の耐力低下も木質構造においては解決しなければならない問題である。これらの問題を解決するため、現在までに多くの研究者・技術者によって木質構造接合部における様々な実験および研究がなされ、その結果、種々の新しい木材接合法の提案がなされている。これらの新しい木質構造接合法の一つとして、接着剤と接合金物を併用した木質構造接合法（以下、本接合法とする）を考案し、この新しい木材接合法の開発に取り組んだ。

写真1 接合金物の形状（Sタイプ）

写真2 接合金物の形状（Tタイプ）

*1 大分大学工学部福祉環境工学科 教授・工博
(〒870-1192 大分市大字旦野原700番地)

*2 (株)一条工務店 修士(工学)

*3 大分大学大学院工学研究科 大学院生

*4 大分大学大学院工学研究科 大学院生

*5 (株)ホームコネクター

*1 Prof., Dept. of Human Welfare Engineering, Faculty of Engineering, Oita University, Dr. Eng.

*2 Ichijo Housing Company Co. Ltd., M. Eng.

*3 Graduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Oita University

*4 Graduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Oita University

*5 Home Connector Co., Ltd.

なお、本接合法に関する接合部の構造特性については、既に種々の実験を行い実験結果とともに接合部の構造設計法^{1) 2) 3) 4) 5) 6)}の一部についても発表している。

こうした中、現在では住宅はもちろん、体育館やホールといった大スパン建築や大空間の必要性からラーメン構造が注目され、大断面集成材材を使用した構造物が多数建築されてきている。そこで製材とは違い、材料そのものの強度コントロールが可能で、強度的安定性を持ち、材の狂いや割れが少ないという寸法安定性に優れ、自由な断面が得られるという利点を持つことから集成材が注目され使用されている。

そこで本論では本接合法に関する研究・開発の応用として、大断面の通直集成材に本接合法を利用してラーメン構造への応用について述べる。そこでまず、本接合法に対して構造設計手法の一部として提案している接合部の曲げ耐力の理論式の確認を目的として、柱・梁接合部を想定したT字型接合試験体を製作し予備の実験を行った。また、ラーメンの水平耐力の推定が可能かを確認することや、その構造的挙動を把握するため門型試験体を製作して実験を行った。

2 新しい接合法の概要

本接合法では、2種類の接合金物（SS400）を使用するが、これらの基本形状の1例を写真1（Sタイプ：長さ150mm・直径18mm）および写真2（Tタイプ：長さ150mm・直径18mm）に示す。接合金物軸内部には接着剤通過用孔（ $\phi=4\text{mm}$ ）があげられ、軸部外周には接着剤の移動がスムーズに行われるよう螺旋状のネジ切りが施され、軸部端部にはスリットが設けられている。また接合金物本体には、接着剤注入用の枝管が軸中央部（Tタイプ）あるいは軸端部（Sタイプ）にネジによって取り付けられる。

図1に接着剤注入のメカニズムを示す。なお、接着剤の注入の詳細なメカニズムは既報^{1) 2)}を参照されたい。また、本接合法の特徴についても既報^{1) 2)}を参照されたい。

3 仕口の曲げ実験

3.1 供試材

ベイ松集成材（130×492mm）を柱および土台に使用した。なお使用した集成材は、構造用大断面集成材の1級2種で、乙種構造用大断面集成材である。また、ヤング係数を実験後、使用した材の一部を切り出して測定した結果、84～115tf/cm²の範囲であった。

3.2 試験体の製作方法

試験体の寸法および形状を図2に、また試験体の接合部詳細図を図3に示す。試験体製作にはTタイプ（L=300mm $\phi=18\text{mm}$ ）の接合金物を使用し、接着剤は発泡性ウレタン系樹脂接着剤を使用した。また接着剤を使用した試験体の養生期間は13～14日間とした。

3.3 試験体のパラメータ

表1に試験体のパラメータを示す。本接合法を大断面集成材接合部に用いた場合、理論式の適合性を調べるため、材の幅方向に配

図1 接合金物の施工法

図2 試験体の詳細図 単位 (mm)

図3 試験体接合部の詳細図 単位 (mm)

列させる接合金物の本数をパラメータにして、各シリーズ2体ずつ計8体製作した。なお表2に試験体名の説明を示す。

表1 試験体のパラメータ

シリーズ名	試験体名	接合金物			載荷方法	試験体数
		種類	長さ	本数		
L-JM1 シリーズ	L-JM1-1	T-type	300 (mm)	1	正負交番 繰り返し	2体
	L-JM1-2
L-JM2 シリーズ	L-JM2-1			2	正負交番 繰り返し	2体
	L-JM2-2
L-JM4 シリーズ	L-JM4-1			4	正負交番 繰り返し	2体
	L-JM4-2
L-JM6 シリーズ	L-JM6-1			6	正負交番 繰り返し	2体
	L-JM6-2
						計 8体

3.4 実験方法

加力装置を図4に示す。加力フレームには変形防止用の補強ブレースを入れ、試験体にかかる加力装置の重量（約27kgf）を相殺するためにカウンターウェイトを設けた。なお図4に示すように、試験体は加力フレームとの摩擦抵抗を少なくするため、鉄板をアンカーボルト取り付け位置の土台底部に挿入することにより、加力フレームから10mmのクリアランスを確保して、土台を鋼材のブラケットとアンカーボルトHB19により4点で緊結した。

載荷は20tfの復動オイルジャッキを用い、正負交番繰返し載荷とした。なお正負交番繰返し載荷実験は荷重制御とし、正負除荷点を理論耐力値の20%、40%、60%、80%、100%の5サイクルとした。なお最終サイクル後も耐力低下が見られない場合は、理論耐力値の120%の荷重時までサイクルを行い、その後引張載荷で破壊まで加力した。また、変位測定は、図4に示す位置で、ストレインゲージ式変位計および巻き取り式変位計により測定した。

表2 試験体名の説明

L	J	M	1	-1
集材材	仕口	曲げ	金物の本数	試験体番号

3.5 破壊性状

本試験体の破壊性状は、接合部の開きが徐々に大きくなり、接合金物の挿入本数が少ない場合、接合金物と接着剤との付着切れで耐力低下に至った。なお、接合金物の挿入本数が多い場合は、込み栓部分（図1参照）からの割れが徐々に進行し、その後、接合金物と接着剤との付着切れで耐力低下に至った。また、写真3～4に破壊状況を示す。

3.6 実験結果および考察

図5に試験体ごとの最大曲げモーメントを示す。本接合法で製作した試験体は、接合金物の本数の増加にほぼ比例して最大曲げモーメントは上昇している。

仕口接合の最大曲げモーメントを理論的に求めるために、鉄筋コンクリート梁の断面算定に使用されている許容曲げモーメント式の考え方⁷⁾から次式を理論式として採用した。

図4 実験に使用した加力装置 単位 (mm)

写真3 破壊状況1

写真4 破壊状況2

$$M_{\text{ucal}} = A_t \times T_u \times j \cdots \cdots (1)$$

ここで

M_{ucal} : 最大曲げモーメントの理論値

A_t : 接合金物の表面積 (片側部分) の合計

T_u : 接合金物の単位表面積当たりの付着強度

j : 応力中心間距離 (=7/8d)

d : 接合金物の中心と圧縮側端部までの距離

図6に集成材を母材とした継手接合部の引張実験より得られた単位面積あたりの最大付着強度を結果を示す。養生期間14日での付着強度の下限値を接合金物の単位表面積当たりの付着強度 T_u の値として45kgf/cm²を採用した。なお、引張実験ではベイツガ材 (曲げヤング係数133tf/cm²・含水率13%) の構造用集成材を使用した。図7に (1) 式より求めた理論値 M_{ucal} に対する、本実験より得られた最大曲げモーメント M_u の比 (M_u/M_{ucal}) を試験体ごとに示す。ここで、応力中心間距離 (j) の値を鉄筋コンクリート構造計算規準⁷⁾と同様に7/8dに設定した。

この図7から明らかなように T_u の値を45kgf/cm²に設定した場合、L-JM6シリーズの一部を除いて、実験値が理論値を下回ることはない。L-JM6シリーズの試験体については実験日程の関係上養生期間が他の試験体より1日短かったため理論値をわずかながら下回ったと思われる。

以上のことから、 T_u の値を45kgf/cm²に設定し、その値に対して長期および短期許容応力度を設定することで、安全側の構造設計が可能であると考えられる。また、実験結果から (1) 式は大断面集成材の仕口接合部の最大曲げモーメントの推定式としても使用できることが確認できた。

なお、接合部のせん断に対する影響は、接合金物による木部へのかすかなめり込み程度で、接合金物自体のせん断はあまり生じない。

4 門形ラーメンの水平加力実験

4.1 供試材

ベイツ集成材 (171×492mm) を柱・梁および土台に使用した。なお使用した集成材は、構造用大断面集成材の1級2種・JAS-135Eで、乙種構造用大断面集成材である。

4.2 試験体の製作方法

試験体の寸法および形状を図8に示す。仕口試験体と同様に試験体製作にはTタイプ (L=300mm ϕ =18mm) の接合金物を各接合部に4本ずつ (引張側に2本) 使用し、接着剤は発泡性ウレタン系樹脂接着剤を使用した。また接着剤を使用した試験体の養生期間は14日間とした。なお、本実験ではラーメン構造を想定し門型試験体を1体製作した。

4.3 実験方法

加力装置を図8に示す。加力フレームには変形防止用の補強プレースを入れ、試験体は土台を鋼製のブラケットとアンカーボルトHB19

図5 各試験体ごとの最大曲げモーメント

図6 集成材継手接合部の引張経過実験結果

図7 理論値に対する実験値 (M_u/M_{ucal})

により4点で緊結した。

また試験体の面外への変形を防止するため梁部に振れ止めを2カ所取り付け、振れ止めと試験体梁部との間の摩擦抵抗を軽減するためテフロンシート貼った。載荷は復動オイルジャッキを用い、正負交番繰返し載荷とした。なお正負交番繰返し載荷実験は荷重制御とし、正負除荷点を理論耐力値の20%、40%、60%、80%、100%の5サイクルとした。なお最終サイクル後も耐力低下が見られない場合は、理論耐力値の120%の荷重時までサイクルを行い、その後引張載荷で破壊まで加力した。

4.4 破壊性状

本試験体の破壊性状は、各接合部の開きが徐々に大きくなり、特に柱-土台接合部での開きが大きくなり、込み栓部分からの割れが目立ってきた。その後、柱-土台接合部での接合金物と接着剤との付着切れで耐力低下に至った。なお、その耐力低下後は他の接合部での付着力で抵抗したと思われる。

4.5 実験結果および考察

図9に荷重と層間変形角の関係を示す。図中の理論値は既存のマトリックス変位法に基づくフレーム解析プログラムによって算出した結果を基に前節の式(1)から求められる各接合部の終局曲げモーメントの値から求めた値である。本試験体は耐力面からの理論値を上回る最大耐力を発揮している。このことにより理論式(1)が設計上安全側であることがわかった。なお、この解析は弾性域内にとどまるもので、すべての接合部を剛接であると仮定している。そのため、接合部の剛性面に対しては弾性域を離れておらず、弾塑性域での解析には至っていません。

5. 結 語

これらの実験結果から本接合法を大断面集成材の接合法として使用した場合、著者らが提案した理論式の適用性の確認ができた。また、ラーメン構造門型試験体でも実験値としての水平耐力が理論値を上回ったことから、著者らが提案している理論式が構造設計手法の一部として採用できることが明らかになった。

なお、破壊性状は従来の製材の場合と同様、接合金物と接着剤間の付着切れであった。

以上から本実験を通して各接合部に本接合法を使用し、提案した理論式を構造設計に取り入れることで安全側の構造設計が可能であることを確認した。今後は、本接合法を用いた場合のラーメン構造に対する変形計算の精度向上を目指し、接合部の回転剛性(バネ定数)の検討にも鋭意取り組んでいきたい。

6. 本接合法を用いた施工例

写真5～11に本接合法を大断面集成材に用いたラーメン構造に応用した建築物の施工例を示す。いずれの建築物も本接合法に用いた接合金物は表面に露出しておらず、すっきりとした「見えがかり」となり、意匠上の納まりも良い。また、接合部の強度設計が合理的に行うことができる。

図8 実験に使用した加力装置

荷重 (kN)

図9 荷重-変形曲線

写真5 ラーメン構造に応用した施工例1-1

写真6 ラーメン構造に応用した施工例1-2

写真10 大スパン構造に応用した施工例3-1

写真7 ラーメン構造に応用した施工例2-1

写真11 大スパン構造に応用した施工例3-2

写真8 ラーメン構造に応用した施工例2-2

写真9 ラーメン構造に応用した施工例2-3

謝 辞

本論文の実験およびデータ整理に際して多大のご協力を頂いた、大分大学木質構造グループのみなさんに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井上正文 後藤 靖他 “接着剤と接合金物を併用した木質構造継手接合部に関する実験的研究” 日本建築学会構造系論文集 第489号
1996年11月 pp.59-66
- 2) 井上正文 後藤 靖他 “接着剤と接合金物を併用した木質構造仕口接合部に関する実験的研究” 日本建築学会構造系論文集 第498号
1997年8月 pp.105-111
- 3) 後藤 靖 井上正文他 “新しい木材接合法の開発とその応用-筋違入り木造骨組への応用-” 日本建築学会技術報告集 第5号
1997年12月 pp.102-107
- 4) Masafumi INOUE et al. "Experimental Study on Rigidity and Strength of Joint Composed by Metal Connector and Adhesive in Timber Structures" Proc. of Pacific Timber Engineering Conference, Vol.2 pp.802-810; July 1994, Gold Coast
- 5) Masafumi INOUE, Yasushi GOTO et al. "Strength of Wooden Frames Jointed by Metal Connector and Adhesive" Proc. of International Wood Engineering Conference, Vol.4 pp.65-72, Oct. 1996, New Orleans
- 6) Masafumi INOUE, Satoshi OKIBAYASHI et al. "Strength of Heavy Timber Frame Jointed by Metal Connector and Adhesive" Proc. of World Conference on Timber Engineering, Vol.1, pp.830-830, Aug. 1998, Montreux
- 7) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 日本建築学会, 1991年

[1998年10月19日原稿受理 1999年2月8日採用決定]