

木質ラーメン構造における接着剤とドリフトピンを併用した 鋼板挿入型柱梁接合部の構造的な性能に関する実験的研究

Experimental study on structural performance of timber joint using drift pin, glue and steel plate.

性能制御システム学研究室

小笠原 絢香

Structural Performance Control System Laboratory

Ayaka Ogasawara

1. はじめに

近年、森林資源の有効活用という観点で都市木造建築が注目され、2010年には公共建築物等木材利用促進法が施行されるなど、中大規模の都市木造建築の普及が求められている。その中で在来軸組工法に代わる新たな木質構造の1つとして、大開口・大空間の実現ができる木質ラーメン工法の研究や実施設計が進められている。しかし、部材耐力に対して接合部の耐力が著しく小さく、剛性や耐力の確保が難しいことが課題となっている。

本研究では、従来の鋼板挿入型ドリフトピン接合に接着剤を併用した、より高い固定度を持つ新たな柱梁接合部の提案を行い、要素実験により提案型接合部の構造的な性能を明らかにした後、中大規模木造建築への適応可能性を検討することを目的としている。

2. 実験概要

2.1. 提案型接合部の概要

従来型の鋼板挿入型ドリフトピン接合はピンの木材へのめり込みとピンの曲げにより抵抗するが、接合部分の間隙により小変形域では耐力が上昇せず、また、継手曲げ強度が部材曲げ強度の3割程度のものである。図-1に示した本研究における提案型接合部はドリフトピンに加えて木材-鋼板間に接着剤を充填することで、接着剤による応力負担、ガタの解消が期待できる。使用する接着剤は、低粘度ひび割れ注入補強材である接着剤Aと、鋼板補強用注入接着剤である接着剤Bを用いた。

2.2. 試験体計画

試験体詳細図を図-2に示す。試験体は木質ラーメン構造における柱梁接合部の梁端要素である。ガセットプレートの大きさと接着剤の有無をパラメータとして表-1に示す九体を作成した。部材曲げ強度に対する接合部降伏耐力の比は表-1に示す通りである。

2.3. 加力計画

構造性能を明らかにするために梁端要素の正負交差静的荷重実験を行った。繰り返しの履歴は、変形角1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/20、1/15の順で3回ずつの繰り返し荷重とした。しかし、G4・G5シリーズで計測PCの演算式に変位計位置の変更が一部反映されておらず、加力サイクルが上記に従っていない箇所がある。

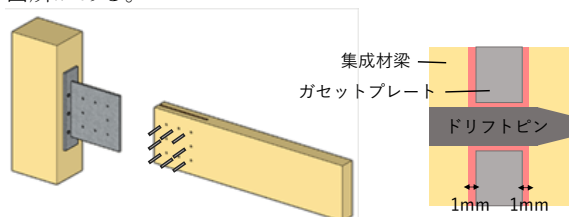


図-1 接合部の概要

3. 実験結果

3.1. 荷重-変形角関係包絡及び破壊性状

図-3に荷重-変形角関係から作成した包絡線を示す。

接着剤のない従来型試験体G3、G4、G5はガタの影響で変形角0.5%付近まではほとんど耐力が上昇せずピンのような挙動を示し、変形角3.0%付近でドリフトピンに沿った集成材繊維方向の木材の割裂による急激な耐力低下が見られ、ドリフトピンの曲げ降伏を確認した。接着剤ありの試験体は初期剛性、耐力が向上した。G3-Aは変形角1.0%で木材に繊維方向の割裂が生じ最大耐力に到達した後、ドリフトピン抵抗機構への移行がみられたが、その他の試験体は変形性能に乏しく、木材側で脆性的な破壊が生じた。

すべての試験体の最終破壊性状を図-4に示す。

破壊モードは以下の3通りに分類できる。①ドリフトピンの塑性変形に伴いドリフトピンに沿って集成材繊維方向に割裂が生じる(接合部破壊)、②接合部分に損傷が生じず、ガセットプレート端部に繊維直交方向の割裂が生じて集成材が曲げ破壊する、③上記①と②の混合型破壊。接着層の強度・剛性が大きくなるに従い、②の破壊モードに移行する要素が強くなるのが分かる。

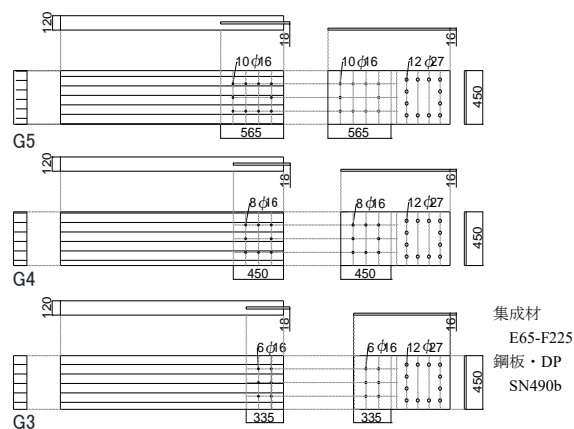


図-2 試験体詳細図

試験体名	接着剤の有無	DP降伏耐力比	DP初期降伏時せん断力計算値
G3	無し	0.22	12.8(kN)
G3-A	接着剤A		
G3-B	接着剤B		
G4	無し	0.30	17.6(kN)
G4-A	接着剤A		
G4-B	接着剤B		
G5	無し	0.37	22.6(kN)
G5-A	接着剤A		
G5-B	接着剤B		

表-1 試験体一覧

3.2. 従来型接合部との比較

図-5 に本実験より得た従来型試験体に対する提案型接合部の剛性と耐力の比較を示す。提案型試験体の剛性、耐力は従来型試験体を大きく上回る。一方で、接着層の強度の上昇により接合部が破壊しなくなると、集成材の曲げ破壊が起き、変形性能に乏しい脆性破壊に移行することを確認した。

4 各種接合部の構造性能評価

4.1. 要素実験による接着剤の特性値

図-6 に示した接着剤の要素試験により、た接着剤のせん断強度 τ_{max} とせん断ひずみ γ を次式で算出した。

- ・せん断強度 $\tau_{max} = \text{荷重}P \div \text{接着面積}A$
- ・せん断ひずみ $\gamma = \text{変形} \delta \div \text{層厚} t$

接着剤のせん断剛性 K とせん断弾性係数 G を次式で算出する。

- ・せん断剛性 $K = P/\delta$
- ・せん断弾性係数 $G = \tau/\gamma$

表-2 に以上の算出結果を示す。

4.2. 提案型接合部の耐力の算定方法

矩形断面に単純ねじりモーメント（以下トルク）を受けて接着面に最大せん断応力度 τ_{max} が初めて出現し、降伏が始まる時を弾性限界時、接着面全体が降伏した時を全塑性状態とし、それぞれの等高線による応力分布を図-7 に示す。

提案型試験体の接着面の耐力を文献 1)、文献 2)を参照し、次式で求めた。

- ・弾性限界時トルク $T_y = k_2 b a^2 \cdot \tau_{max}$
(k_2 は辺長比により決まる定数)
- ・全塑性時トルク $T_p = 1/6 \cdot a^2(3b - a) \cdot \tau_{max}$

4.3. 計算値と実験値の比較

提案型試験体の弾塑性限界時トルク計算値 T_y 、全塑性時トルク T_p に対する最大モーメント実験値 M_{max} を図-8 に示す。G3-B を除く提案型試験体は、接着面が弾性限界から全塑性状態へと向かう弾塑性域において、最大モーメント M_{max} を迎えていることが分かった。したがって、提案型接合部の接着面のねじりの弾塑性限界時を曲げ耐力下限値と評価できる。

5 まとめと今後の展望

木質ラーメン構造における柱-梁接合部の要素実験を行い以下の知見を得た。

- 1) 接着剤を併用することで、接合部の剛性、耐力が上昇し、接合部は破壊せず母材の強度を 100% 発揮させることができた。しかし、母材破壊になると脆性的な破壊性状になるため、鋼板を先行降伏させるなど、強度が高く靱性のある接合部へとさらに発展させていく必要がある。
- 2) 接着層のせん断応力度分布を仮定しねじりモーメントを考えると、提案型接合部の耐力は、接着面が弾性限界から全塑性状態へと向かう途中で最大耐力を迎えており接着面のねじりの弾塑性限界時を曲げ耐力下限値と評価できる

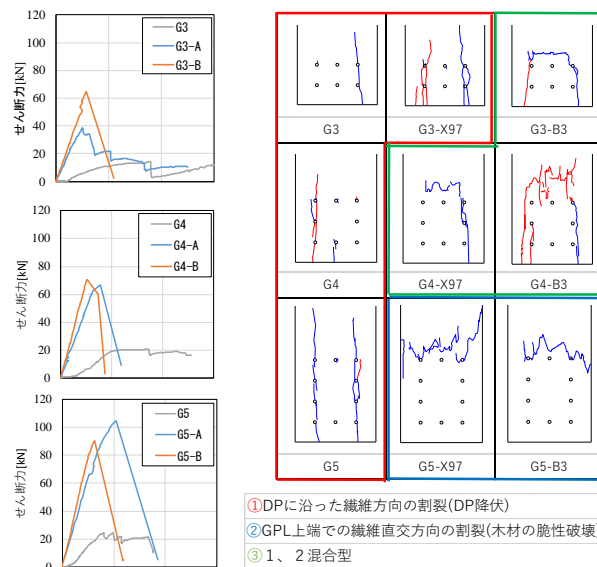


図-3 包絡線

図-4 破壊性状の比較

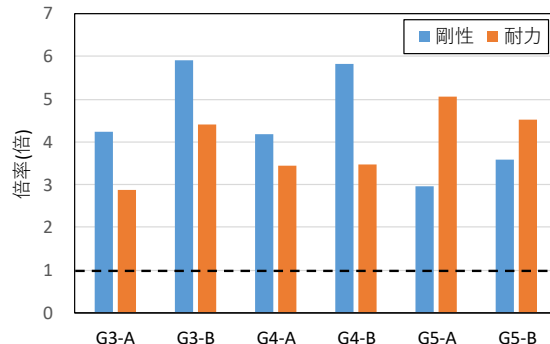
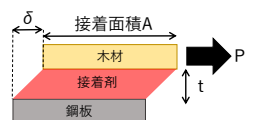


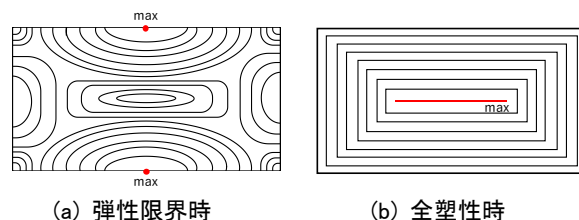
図-5 従来型と提案型の比較



接着剤		A	B
最大せん断力 τ_{max}	N/mm ²	4.03	4.4
せん断弾性係数G	N/mm ²	2.07	7.61
初期せん断剛性K	N/mm	648	2378

図-6 接着剤要素試験

表-2 接着剤特性値一覧



(a) 弾性限界時

(b) 全塑性時

図-7 弾性限界時と全塑性時の応力分布の等高線

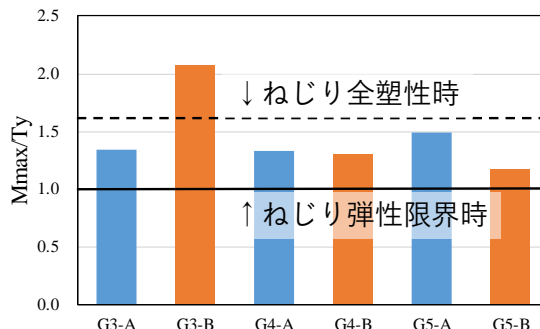


図-8 提案型接合部の実験値と計算値の比較

[参考文献]

- 1) Jan Francu, Petra Novackova, Premysl Janicek: Torsion of a non-circular bar, Engineering MECHANICS, Vol19, No.1, P45-60,2012
- 2) 桑村仁: 建築力学-塑性論とその応用