

接着による鋼木合成梁の三点曲げ実験

林 順平

1. 背景と目的

鋼材と木材のハイブリッド構造における、異種材料の接合手法として、接着接合に期待できる。しかし、接着接合の使用例はまだ少なく、ボルト接合や溶接のような工業的に汎用的な接合方法として確立されていない¹⁾。本研究の目的は、実用に近い規模と形態の鋼木接着接合を検証し、その実用化に向けた基礎資料を提供することである。

2. 実験計画

鋼梁に木質床を接着接合した合成梁の三点曲げ実験を行った。図1に、支承間距離3100mmの三点載荷装置に設置した試験体を示す。鋼梁にH-300×150×6.5×9 (SN400B)のH形鋼、木質床にカラマツのCLT (3層3プライ同一等級構成、強度等級S120-3-3、含水率11%)、接着剤にコニシ(株)製二液混合型エポキシ系接着剤E258Rを使用した。寸法も仕様も同一の試験体を2体製作し、図2(b)(c)に示すように、1体目はCLTの上から支圧して、2体目は鋼梁の下フランジを押して単調載荷した。



図1. 試験体と三点載荷装置

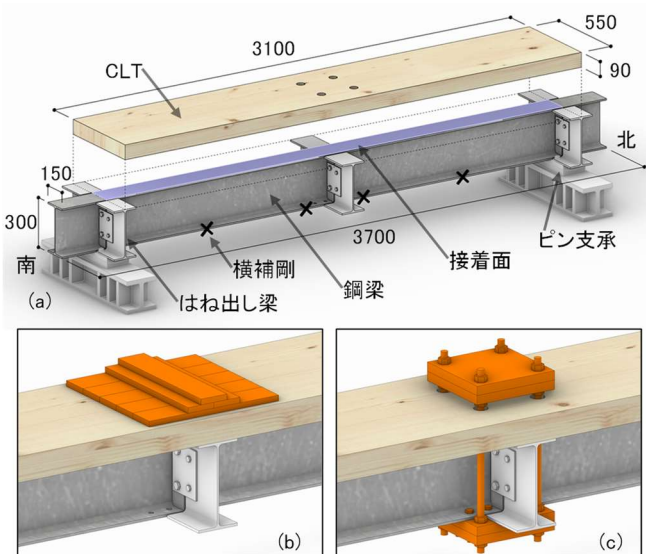


図2. 試験体と載荷治具 (a) 詳細 (b) 試験体1 (c) 試験体2

接着に先立ち、CLTが隙間なく鋼梁に設置されることを確認し、ビニールとメンディングテープで接着しない面を保護し、接着面をアセトンで脱脂した。既定通り、2:1の割合で主剤と硬化剤を計量して混合したあと、可使用時間の85分以内(試験体1は18分、試験体2は19分)に鋼梁に塗布し、CLTを設置した。接着剤のはみ出しの目視に基づいて、接着剤が完全に行きわたったことを確認した。試験体製作日から実験終了まで、室温を15度から20度に管理した。

試験体1を製作の14日後、試験体2を17日後に、北海道大学工学部D棟実験室の500kN試験機を用いて単調載荷した。図2に×印によって示す位置で、鋼梁の下フランジを四か所横補剛した。変位計によって梁の鉛直変形と、鋼梁とCLTの水平方向のずれ変位を、ひずみゲージによって鋼梁のひずみ分布を計測した。

3. 結果と考察

図3に、荷重と載荷点の相対たわみの関係を示す。参考値として、単純重ね梁と仮定した曲げ剛性 $k_0 = 44.9$ kN/mm、完全合成梁と仮定した曲げ剛性 $k_c = 24.3$ kN/mm、純鋼梁の全塑性耐力 $P_s = 207$ kN、完全合成梁と仮定した全塑性耐力 $P_c = 369$ kNを併せて示す。引張試験で測定した鋼材の降伏強度はフランジが294 N/mm²、ウェブが345 N/mm²、木質構造設計規準²⁾に基づくCLTの剛性は 1.04×10^4 N/mm²、圧縮強度は32.4 N/mm²であった。

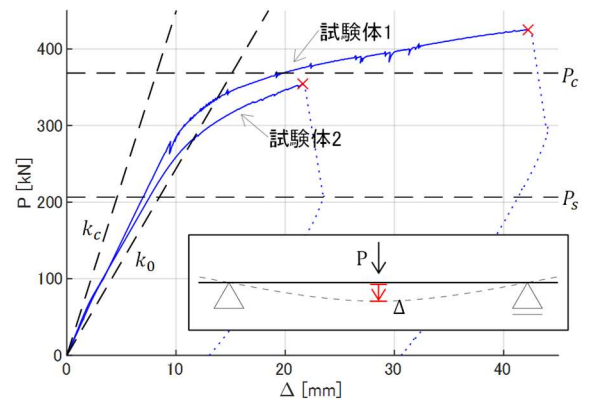


図3. 載荷点のたわみと荷重の関係(右図: たわみの概略図)

CLTの上から支圧した試験体1は初期曲げ剛性が、 k_0 と k_c の間であった。その後、鋼梁が降伏しても接着面は壊れず、緩やかに耐力上昇を続けた。荷重 424 kN = $1.15 \times P_c$ で、大きな破壊音とともに荷重が落ちたために載荷を中止し、除荷した。図4(a)に示すように、南側の梁端部で、CLTのプライ間で破壊した。JAS規格³⁾は、カラマツを含む樹種区分S1を用いたCLTについて、接着層のせん断強さを 7.2 N/mm²以上、木部破断率を65%以上と定めている。永井⁴⁾は二面せん断接着試験により鋼と木の接着せん断強さを 5.6 N/mm²と測定し、木部破壊が先行することを確認している。接着剤E258Rは、CLTの生成に使用された接着剤よりせん断耐力が大きいことが示された。

下フランジを押した試験体 2 でも、初期曲げ剛性は変わらなかった。試験体 1 と比較して小さな荷重で曲げ剛性が落ち始め、荷重 $354 \text{ kN} = 0.96 \times P_c$ で破壊した。図 4(b)に示すように、南側の梁端部で、木材の年輪に沿って割れた。梁中央部で CLT が鋼材から剥がれていたが、荷重低下後、木材がほぼ初期状態に近い真つぐな形状に戻ったのに対して、鋼梁は降伏し塑性変形を生じており、結果的に両者の間に剥離力が作用したためだと考えられる。

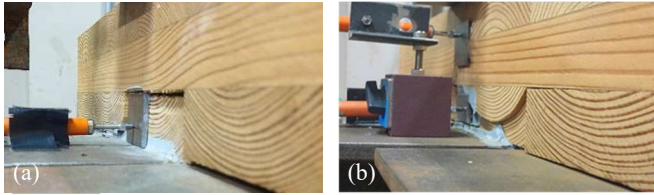


図 4. 梁端部南側の破壊箇所 (a)試験体 1 (b)試験体 2

図 5 に、鋼梁と CLT に生じた水平ずれ変位と荷重の関係を示す。試験体 1 で最大 0.32 mm 、試験体 2 で最大 0.24 mm のずれを計測した。完全合成梁ではずれ変位を生じず、不完全合成梁では、梁の端部ほど大きなずれ変位を生じるはずだが、端部のずれ (δ_S や δ_N) より途中断面のずれ (δ_B や δ_C) が大きかったため、測定誤差が疑われる。図 3 で見た曲げ剛性や耐力から、合成効果を発揮したことは明らかであり、ずれ変位の測定方法を改良する必要があると認められる。

図 6 に、梁の八分割点のうち三断面で測定した鋼梁のひずみのうち、試験体 2 の A 断面及び B 断面のひずみ分布を示す。荷重 $200 \text{ kN} = 0.54 \times P_c$ までの弾性範囲で平面保持が成立していることを確認し、中立軸位置が鋼梁の図芯軸より、試験体 1 で断面せいの 0.19 倍、試験体 2 で断面の 0.21 倍だけ上フランジに近づいたと算定できた。完全合成効果を仮定した場合、中立軸の移動距離は、断面せいの 0.23 倍であり、完全合成梁に近かったといえる。

図 7 に、荷重 100 kN 時点で接着面に作用するせん断応力分布を示す。ひずみ分布に基づく各断面に作用する軸方向力の差を取り、接着面積で除することで、接着面に作用するせん断応力の平均値を得た。せん断応力 τ がずれ剛性 k に基づいてずれ量 δ に比例すると仮定した理論モデルとつり合い条件式から接着面に作用するせん断応力分布を得ることができる。試験体 1 では理論値と逆に梁中央部ほど高いせん断応力を示した。理論モデルでは接着面に作用する圧縮力の影響を考慮しないので実験では理論と大きく異なるせん断応力分布を生じた可能性がある。

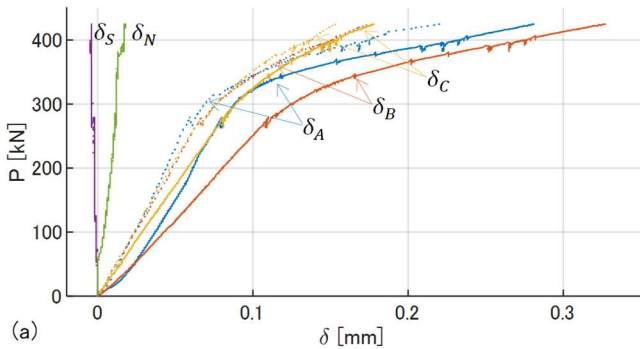


図 5. ずれ変位と荷重の関係 (a)試験体 1 (b)試験体 2 (右図: ずれ変位の概略図)

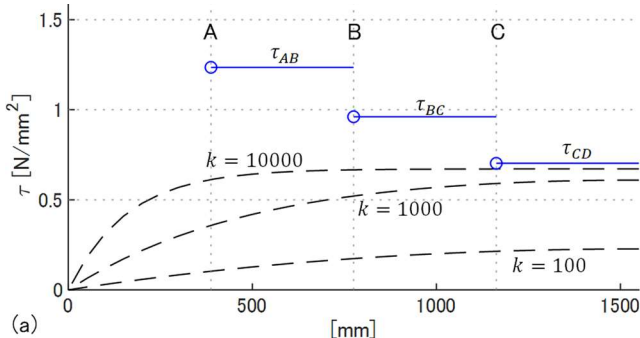


図 7. 100 kN 時のせん断応力分布 (a)試験体 1 (b)試験体 2 (右図: せん断応力の概略図)

せん断応力 τ がずれ剛性 k に基づいてずれ量 δ に比例すると仮定した理論モデルとつり合い条件式から接着面に作用するせん断応力分布を得ることができる。試験体 1 では理論値と逆に梁中央部ほど高いせん断応力を示した。理論モデルでは接着面に作用する圧縮力の影響を考慮しないので実験では理論と大きく異なるせん断応力分布を生じた可能性がある。

4. まとめ

接着による鋼木合成梁の三点曲げ実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 鋼材が降伏し木材が材料破壊するまで、鋼と木の接着は破壊に至らなかった。
- (2) 接着面に圧縮が作用する荷重方法と引張が作用する荷重方法では、後者のほうが耐力が小さかった。
- (3) 梁の剛性は、重ね梁と完全合成梁の中間の値だったが、耐力は、完全合成梁を仮定した計算値に達した。

5. 参考文献

- 1) 原賀康介: 接着強度設計における設計基準強度と設計許容強度の算定法 日本接着学会誌 Vol.50 No.2 2014年
- 2) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説 -許容応力度・許容耐力設計法- 2006年
- 3) 日本農林規格 直交集成板 (JAS3079) 2019年
- 4) 永井佑佳: 鋼と木の接着接合に関する実験 北海道大学 修士論文 2020年

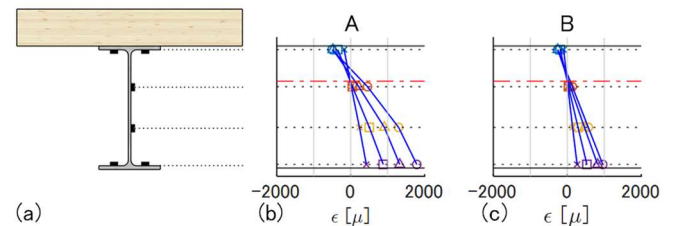


図 6. 鋼梁の軸方向ひずみ分布 (a)断面図 (b)A 断面 (c)B 断面

