

1. 序論

近年、異なる構造や異種材料を組み合わせ、お互いの欠点を補い、よりすぐれた構造性能を生み出す「ハイブリッド構造」が注目を集めている。特に、環境保全や低炭素化社会への関心から、木質ハイブリッド構造¹⁾の研究が多数行なわれている。木質ハイブリッド構造には、鉄骨造と木造を用途に合わせて使い分けるパターンと、鋼と木ハイブリッド部材を用いて構造体を作り上げるパターンとがあるが、ハイブリッド部材における最大の課題は、いかにして鋼板と木材を容易にかつ確実に一体化し、複合効果を高めるかにある²⁾。現在、接合方法にはボルト接合が主流であるが、力学的な効率性や、施行性、経済性の観点から、接着接合に期待がもたれている。そこで、鋼材と木材の接着接合の強度に影響を及ぼす要因を特定し、設計に資する基礎資料を蓄積する目的で、接着剤種や鋼材の表面処理状態、接着長さをパラメータとする一連の引張せん断接着強さ試験を実施した。

2. 実験概要

鋼材と木材の接着接合の基本的性能を把握する目的で、鋼と木の二面せん断引張試験を実施した。図1に試験体概要を、表1に試験体一覧を示す。母材に板厚9mmのSS400鋼材を、継手板に板厚30mmのマツ材を用いた。試験部分の板幅は母材も継手板も50mmであった。パラメータは、接着剤種、母材の表面処理(ショットブラストまたは黒皮)、接着長さ(L=40から240mm)とし、同一の試験体を3体もしくは6体ずつ用意した。接着剤には、コニシ(株)製ビニル共重合樹脂系エマルジョン形接着剤ボンド木工用多用途(以下ボンド)と、同社製二液混合型エポキシ系接着剤クイック5(以下エポキシ)の2種類を用いた。エポキシ接着した試験体の一部で木材の反りによる接着不良が疑われたため、母材に黒皮を残した、L=80、160、240mm試験体は、木材の表面をやすりで平滑にしたあとに接着したものを、3体ずつ追加試験した。

接着剤の塗布に先立ち、接着部分をアセトンで脱脂した。マスキングテープとテフロンで接着部分の位置決めをし、母材の突合部をマスキングテープで養生した後あと、接着

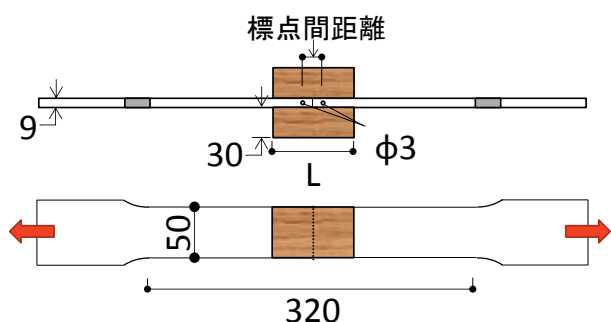


図1 試験体概要図(寸法:mm)

剤を所定の可使時間以内に継手板に塗布し、接着して、接合部を万力で圧縮した状態で1週間以上養生した。

試験には、容量1,000kNの万能試験機を用い、載荷速度を0.01から0.05kN/sに、荷重レンジを20または50kNに設定して、室温下で単調引張載荷した。変位は、クロスヘッド変位と、母材突合せ部の標点間距離を、それぞれ2基の変位計で測定した値の平均値として算出した。

表1 試験体一覧

| # | 接着剤種 | 表面状態 | 接着長さ L [mm] | 試験 体数 |
|----|------|----------|----------------|----------|
| 1 | ボンド | ショットブラスト | 40 | 3 |
| 2 | | | 80 | 3 |
| 3 | | 黒皮 | 40 | 3 |
| 4 | | | 80 | 3 |
| 5 | | | 160 | 3 |
| 6 | | | 240 | 3 |
| 7 | エポキシ | ショットブラスト | 40 | 3 |
| 8 | | | 80 | 3 |
| 9 | | 黒皮 | 40 | 3 |
| 10 | | | 80 | 6 |
| 11 | | | 160 | 6 |
| 12 | | | 240 | 6 |

3. 実験結果

接着剤の破壊形態は、界面破壊、凝集破壊、被着体の破壊の3種類に大別される。接着剤の内部で破壊した凝集破壊を生じた場合は、接着剤がもつ本来の破壊強さが発揮されたことになる。^{参考文献)}

写真1に接着破壊面の写真を示す。ボンドを用いた試験体では、凝集破壊と界面破壊の両方を含む混合破壊が確認された。接着面積に占める凝集破壊の割合は、母材表面が黒皮のL=40と80mmの試験体では20%程度であり、それ以外の試験体では50%以上であった。エポキシを用いた試験体では、すべての試験体が、ほぼ完全な界面破壊を示した。

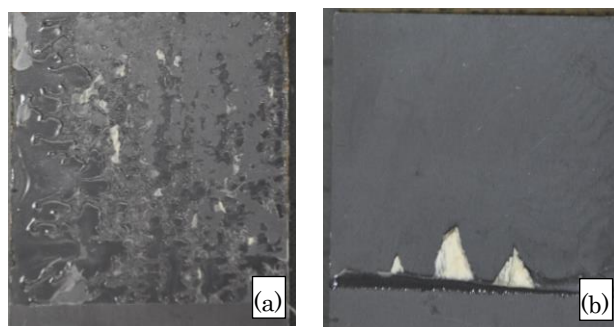


写真1 接着破壊面 : (a)ボンドの例
(b)エポキシの例

図2に、測定した荷重と標点間変位の関係を、接着長さごとに一つずつ、表面が黒皮の場合について示す。ポンドを用いた試験体では、荷重が最大に達したのち、徐々に荷重が落ちた。エポキシを用いた試験体では、最大荷重に達したのち、急激に荷重が下がったが、その全27体のうち17体で、一度荷重が下がったあと、当初より低い剛性で、再び荷重が上がる現象が確認された。接着面の一部が破壊したあと、残る部分で荷重を負担したと考えられる。初期剛性をそれぞれ、ポンドは荷重-変位関係における最大耐力10%点と40%点間の傾きとして算出し、エポキシは10%点と80%点間の傾きとして算出したところ、エポキシの初期剛性は、ポンドの数倍から十数倍であった。どちらの接着剤でも、途中で載荷速度を上げると計測荷重も上がったので、接着強さは載荷速度に依存すると考えられる。

4. 考察

図3に、接着長ささと最大荷重の関係を示す。ポンドを用いた試験体では、最大荷重は接着長さに比例した。ポンドは比較的やわらかく、変形追従性があるといえる。エポキシを用いた試験体では、最大荷重と接着長さに相関は見られなかった。エポキシは、鋭い亀裂音がした直後に、荷重が急激に低下し破壊する脆性的な破壊を示した。エポキシは、ポンドと比較して、初期剛性が高かったが、変形追従性が乏しかった。引張せん断試験において、接着層に作用するせん断応力は、接着端部で大きく、中央部に向かって小さく、接着長さが長いほど応力分布が不均一となる³⁾。そのため、変形追従性に劣るエポキシでは、接着長さが長いほど、大きな応力を負担する接着端部で破壊しやすいものと考えられる。また、接着長さが長いほど、接着剤の塗布量や圧縮の加減に敏感で、接着不良を生じやすく、施工が難しかった。接着面を平滑にした追加試験の最大荷重は、加工の手間をかけない試験体と大差なかった。エポキシの破壊形態は、ほぼ界面破壊であったが、一部に被着体の破壊が見られたことから、エポキシの破壊強さは木材のそれと大差ないと考えられる。

鋼材表面に、ショットブラスト処理を行なった場合と、

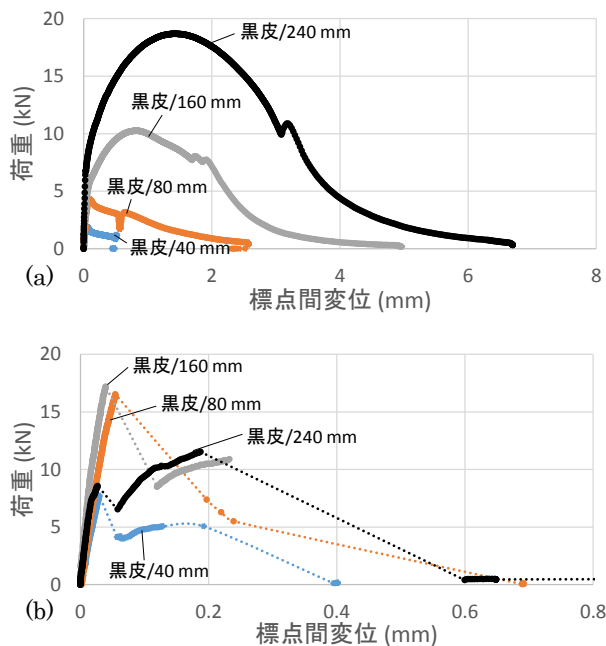


図2 荷重変形曲線 : (a)ポンド、(b)エポキシ

黒皮をそのまま残した場合で、破壊性状や接着強さに違いは見られなかった。既往文献⁴⁾でも同様の指摘がなされている。

5. 合成梁実験

より実用実験に近い、鋼木合成梁の三点曲げ実験を計画している。図4に試験体寸法を示す。SN400 鋼梁 H300×150×6.5×9に、カラマツを用いたCLT(直交集成板3層3プライ異等級構成)床を接着接合させる仕様である。本研究の結果に基づき、鋼梁とCLTの接着にポンドを用いる。

6. まとめ

鋼と木の接着接合の基本特性を検証するために、二面せん断引張試験を行い、下記の知見を得た。

- 1) ポンドを用いた試験体は、耐力が接着長さに比例し、そのばらつきは小さかった。エポキシを用いた試験体は、接着長さが80mmより長い場合、接着長さが80mm未満の場合と耐力が変わらず、かえって、耐力のばらつきが大きく、脆性的な破壊を示した。
- 2) ポンドを用いた試験体は、凝集破壊と界面破壊の両方を含む混合破壊を、エポキシを用いた試験体は、ほぼすべてが界面破壊を起こした。
- 3) ショットブラスト処理を行なうか黒皮を残すかの鋼材表面処理の違いは、接着強さや破壊形態に影響を与えなかった。

【参考文献】

- 1) 鋼・木質ハイブリッド構造の設計施工技術資料、日本鋼構造協会、2012.3
- 2) 松岡祐一ほか：木・鋼ハイブリッド構造部材の開発と実用化、新日鉄住金エンジニアリング技報、Vol.4, pp.47-48, 2013.1
- 3) 中島章典ほか：鋼部材接着接合部の基本的な静的強度特性に関する実験、日本接着学会誌、Vol.47, pp.53-59, 2011
- 4) 西村航平ほか：接着剤を用いた木・鋼接合部の二面せん断実験、日本建築学会学術講演梗概集、pp.53-54, 2017、日鐵住金建材株式会社

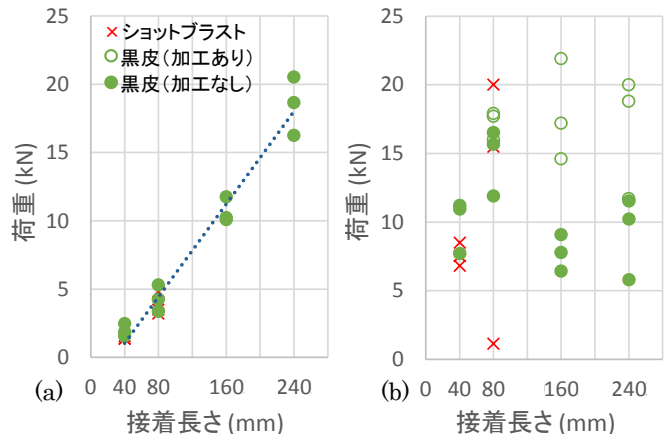


図3 接着長ささと耐力の関係 : (a)ポンド、(b)エポキシ

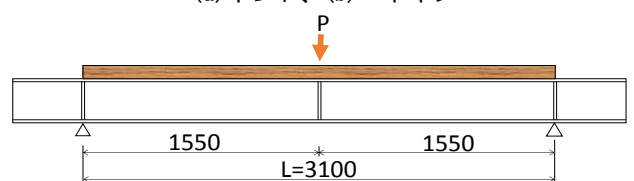


図4 合成梁の試験体寸法(寸法:mm)