

# 鋼材の二面せん断接着継手の耐力に母材降伏と接着長さが及ぼす影響

三浦 葉子

## 1. はじめに

接着接合は、鋼構造において、溶接や高力ボルトに代わり得る接合方法であり、工程の簡略化、軽量化、火災リスクの低減など多くの利点がある。しかし、構造用接着剤の工業規格が、建築構造で要求される厚板での使用にそぐわないことや、接着接合の設計・施工方法が確立されていないことが、実用を阻んでいる。そこで、建築構造の観点から、接着接合の基本性状を把握する目的で、接着剤のバルク試験と二面せん断接着継手試験を行った。

## 2. 実験計画

図 1 に、試験体を示す。接着剤に、2液混合型のエポキシ樹脂系接着剤（ユニシ(株)製 E258R）と 2液混合型のアクリル樹脂系接着剤（3M 社製メタルボンダー）を使用した。JIS K 6878-1 を参照して、各接着剤について、バルク試験体を 3 体ずつ製作した（図 1(a)参照）。接着剤を、アセトンで脱脂したテフロン製の型に充填し、一週間以上養生したのちに型から外し、表面を機械研磨で平滑に仕上げた。試験に先立って、X 線 CT で、硬化した試験体の充填状態を測定した。1000 kN 万能試験機を用いて単調引張を実施し、標点間距離 50 mm の伸びを測定した。

継手長さをパラメータに、二面せん断接着継手試験を行った（図 1(b)参照）。継手長さ  $L=80, 120, 160$  mm の試験体を、各接着剤について 5 体ずつ製作した。鋼材はいずれも SS400 鋼板から切り出し、高力ボルト摩擦接合に使用する規格のショットブラスト（スチールショット、粒径約 1 mm、硬度 RC-40-50）処理を施した。板厚 9 mm の母材を突き合わせ、板厚 6 mm の継手板を介して接着接合した。接着剤を塗布する前に、鋼材表面をアセトンで脱脂し、母材の突合せ部に、接着剤が入り込まないようセロハンテープを添付した。母材を一直線に保ちながら、接着剤を塗布した継手板を、万力で母材と締結したあと、1 週間以上養生した。1000 kN 万能試験機を用いて、0.05 から 0.2 kN/s で単調引張载荷し、クロスヘッド変位と、母材突合せ部の標点間距離を測定した。

## 3. 実験結果

図 2 に、接着剤バルク試験で得た、応力とひずみの関係を示す。弾性係数は、E258R が鋼材の 1/50、メタルボンダーは 1/100 であった。引張強度は E258R が 1.4 倍大きく、変形能力はメタルボンダーが 5 倍大きかった。図 3 に、硬化した試験部分の接着剤の充填状態と、破断位置の相関を示す。試験体 E258R の一つだけが CT 撮影範囲内で破壊し、残り 5 体は、撮影範囲外で破壊した。必ずしも最小断面で破壊するとは限らなかったが、試験前後の断面を比較できた一例をみると、気泡の大きさは試験前後で変わらなかった。接着剤の充填率は、E258R とメタルボンダーでそれぞれ、平均で 95.3 と 98.2%と、100%に近かったので、空隙が剛性の測定値に及ぼした影響は、限定的だったと考えられる。ただ、引張強度は、過去に実施した引張接着強度、E258R とメタルボンダーでそれぞれ 34.6 と 14.3N/mm<sup>2</sup>と比較して小さかった。

図 4 に、メタルボンダーの二面せん断接着継手試験で得た荷重と変位の関係を示す。継手長さ  $L=120$  と 160 mm の試験体は、母材の降伏耐力に達した直後に、脆性破壊した。継手長さ  $L=80$  mm は、5 体ずつの試験を、2 回実施した。はじめに製作した 5 体は、接着厚が 1 mm 弱と厚く、目立って剛性が小さく、変形が大きかったために、接着厚に留意して再度、5 体を製作した。再試験では、 $L=120$  と 160 mm に比較して、弾性限界を超えたあとの延性変形が大きかった。

図 5 に、各試験体で得た最大荷重と継手長さの関係を、接着剤種ごとに示す。ここでは、母材降伏しない場合の最大荷重として、母材厚さ 19 mm の試験体を用いた、過去の実験結果を併記する。接着耐力が母材の降伏耐力を超えなかった結果をみると、E258R は、 $L=100$  mm 程度まで（母材厚さ 9 mm）接着耐力が継手長さに比例したが、 $L=160$  と 240 mm（母材厚さ 19 mm）で接着耐力が継手長さに比例せず、継手の効率が低下した。メタルボンダーは、 $L=240$  mm まで接着耐力が継手長さに比例し、より大きな範囲まで継手効率が一定であった。

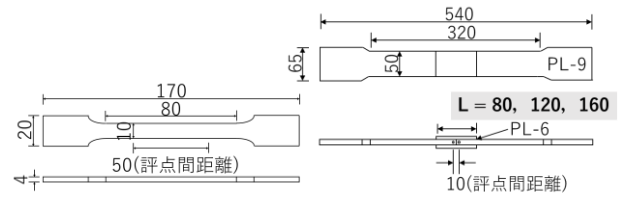


図 1 試験体寸法 (mm)

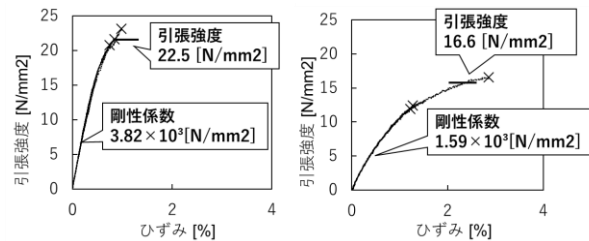


図 2 応力ひずみ関係 (接着剤バルク試験)

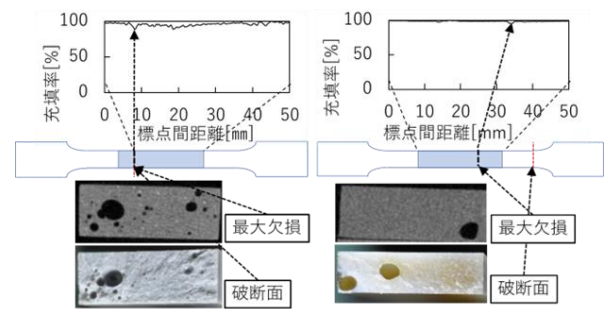


図 3 破断箇所 (接着剤バルク試験)

#### 4. 数値解析

二面せん断接着継手において、接着層に生じる応力分布を把握するために、汎用プログラム ADINA を用いて、有限要素法解析を行った。図 6 に示すように、対称性を考慮して、継手長さ 80 mm の二面せん断継手試験体の 1/4 を 2 次元でモデル化した。材料を線形弾性、平面ひずみを仮定した。引張荷重 100 kN を再現するために、モデルの自由端に引張力 50 kN を等分布させた。接着層のポアソン比を 0.4 として、接着層の弾性係数と厚さをパラメータとした。

図 8 に、バルク試験で得た剛性係数を用い、接着厚を、試験体におおよその接着厚 0.1 mm をとった場合について、接着層の中心線に沿って採取した、せん断応力と剥離応力の分布を示す。接着継手の始末端に、応力が集中する傾向がみられた。(本論で示さないが、実験後に観察した接着破壊面も、継手の始末端が破壊の起点であったことを示唆した。) 同じ荷重に対して、弾性剛性が大きな E258R がメタルボンダーと比較して、最大せん断応力が大きかったが、最大剥離応力は小さかった。

図 9 に、E258R について、接着厚が 0.01 から 1.0 mm までの場合の応力分布を示す。接着厚が 0.1 mm 以下の場合、せん断応力も鉛直応力も、端部に著しく集中した。この状況では、よし小さな荷重で接着が破壊すると考えられる。接着厚が 0.1 mm 以上の場合、せん断応力が均一的に分布し、鉛直応力が小さくなった。ただ、図 4 でみたように、メタルボンダーで接着厚が 2 mm の場合に、接着厚が 0.1 mm の場合より変形性能が若干大きかったものの、接着耐力が小さかったので、接着厚が大きいはよいとは言えない。

#### 5. まとめ

- 1) E258R とメタルボンダーの変形能力は 5 倍違ったが、どちらも母材が降伏するとすぐに脆性破壊した。接着接合は、母材が降伏する部位では、使用できないことを確認した。
- 2) 二面せん断継手では、接着剤そのもののせん断強度より高いせん断強度を発揮した。この理由を、検証する必要がある。
- 3) 接着層が 0.1 mm より薄いと、応力が始末端に集中することを数値解析で確認したが、接着層が 2 mm より 0.1 mm の方が、大きな強度を発揮することを実験で確認した。

#### 参考文献

- 1) 杉林俊雄, 池上皓三: 単純重ね合わせ継手の引張りせん断負荷に対する変形と強度, 日本機械学会論文集 (C 編), 1984.1
- 2) 山辺秀敏, 木原幸一郎, 田口広一, 杉林俊雄: ミーゼスの降伏条件に従う金属用接着剤のせん断強度の評価, 総説論文, 2002.3
- 3) 鈴木靖昭: 接着工学, pp. 123~192, 2018.11
- 4) 原賀康介: 接着入門 2018
- 5) ADINA R&D Inc Theory and Modeling Guide, 2022.4

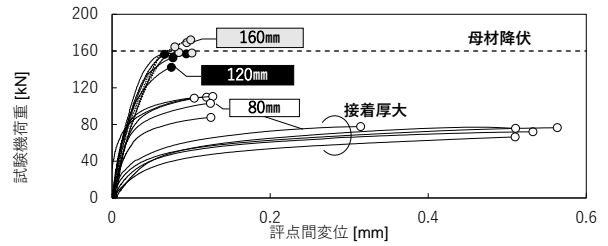
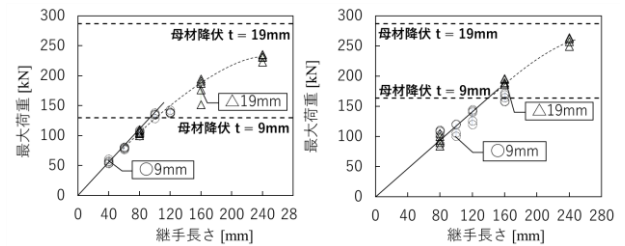


図 4 荷重と変位の関係



(a) E258R (b) メタルボンダー

図 5 最大荷重と継手長さの関係

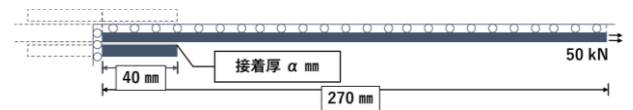
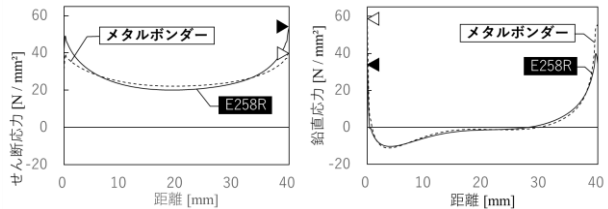
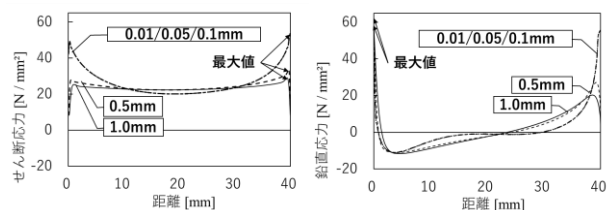


図 6 解析モデル



(a) せん断応力 (b) 鉛直応力

図 7 接着材種ごとの応力分布



(a) せん断応力 (b) 鉛直応力

図 8 接着厚ごとの応力分布

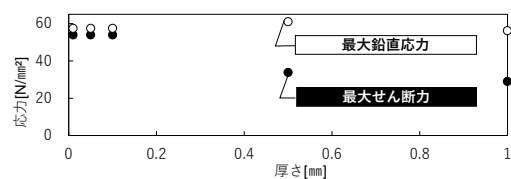


図 9 接着厚ごとの応力分布