

1. はじめに

鋼材接着接合の設計方法を確立するための基礎データを整理する目的で、二面せん断接着継手について、一連の単調載荷実験を行った。実験パラメータを、接着剤種、被着鋼材の表面状態、継手寸法、ボルト孔の有無、併用ボルトの有無とした。過去に実施された実験結果と併せて、各パラメータが継手の耐力に及ぼす影響を考察した。

2. 実験計画

図1に示すように、試験体は、板厚9mmの母材を突き合わせ、板厚6mmの継手板を介して接着接合した、二面せん断接着継手の構成であった。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1mm、硬度RC-40-50)処理を施した。接着剤には、2液混合型のエポキシ樹脂系接着剤(コニシ製E258R、以下エポキシ)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、以下アクリル)を使用した。

表1に、13種、5体ずつ製作した試験体一覧を示す。試験体1は高野¹⁾が、試験体8は渡辺²⁾が、試験体2、3、6、7は井上³⁾が、試験体11は西川⁴⁾が行ったものである。残り6種類は、本研究で実施した。製作にあたって、接着剤を塗布する前に、鋼材表面をアセトンで脱脂し、母材の突合せ部には、接着剤が入り込まないようにセロハンテープを貼付した。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。試験体2、3、4、9、10は、図1(b)に示すように、予めボルト孔をあけ、高力ボルトをレンチで手締めして養生した。試験体2、3、9、10は、あとでボルトを外し易くするために、接着前に、ボルトの軸部をアセトンで脱脂し、ワッシャーにセロハンテープを貼付し、ナットのネジ部に剥離剤を塗布したが、試験体4には、これらの処理を行わなかった。試験体2、4、9は、ボルトを付けたまま載荷し、試験体3と10は、載荷前にボルトを外した。試験体5と11には、母材表面の発錆を促進させ、浮き錆びをブラシで除去したあとで接着した。

実験には1000kN万能試験機を用い、0.05から0.2kN/sの載荷速度で単調引張載荷した。クロスヘッド変位の他に、図1に示す、母材突合せ部の標点間距離を、試験体の両側で測定した。

3. 実験結果

図2に、アクリル接着剤を用いた試験体8、9、10で測定した、荷重と評点間変位の関係を示し、ボルト孔とボルトの有無の影響を検証する。どの試験体も、終局耐力の半分を超えると、徐々に剛性が低下し、最後は脆性的に破壊した。耐力を比較すると、試験体9と10はほぼ同じで、試験体8の耐力から、ボルト孔を控除して求めた基準荷重の9割ほどであった。実験後に破壊面を観察したところ、どの試験体も、全面で凝集破壊(接着剤内部

で生じる破壊)が卓越しており、接着剤の性能が十分に発揮されたと言える。剥離剤を使用しなかった試験体4は、試験体1と比較してせん断接着強さが7割ほどであった。ボルト軸の機械油や、剥離剤が接着剤に混入したことによる影響だと考えられる。

図3に、試験体1、5、8、11について得た、荷重と評点間変位の関係を示し、被着表面の錆の影響を検討する。エポキシ接着剤では、錆がある試験体5が、錆がない試験体1の1/3の荷重で破壊した。アクリル接着剤では、錆がある試験体11が、錆がない試験体8の1/2の荷重で破壊した。弾性剛性をみると、錆がある場合のほうが、エポキシ接着剤では高く、アクリル接着剤では低かった。

図4に、試験体6、7、12、13について得た、継手耐力と、図1(a)に示す継手長さLの関係を示す。図中に、母材降伏耐力を示す。エポキシもアクリルも、L=120mm

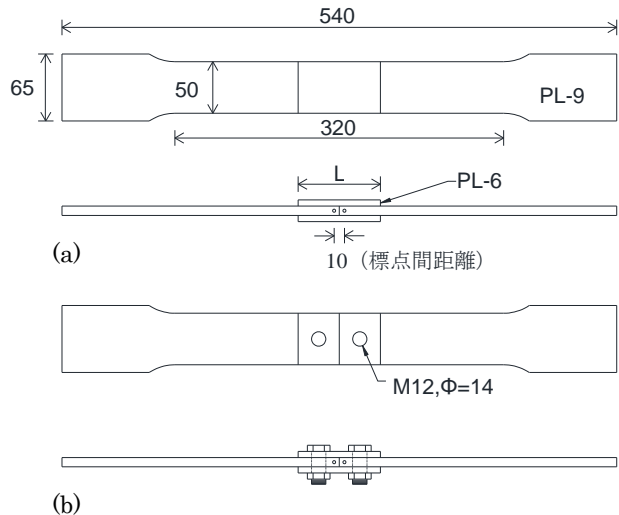


図1 試験体寸法：二面せん断接着継手 (a)ボルト孔無, (b)ボルト孔有

表1 主要パラメータ：二面せん断接着継手

試験体番号	接着剤種	L [mm]	錆	ボルトの使用	養生日数	n
1	エポキシ	80	無	無	113	5
2				保持	113	5
3				取外	113	5
4				保持、剥離液無	7	5
5		有	無	7	5	
6		100	無	無	15	5
7		120			7	5
8	アクリル	80	無	無	18	5
9				保持	113	5
10				取外	18	5
11				有	無	14
12		100	無	無	92	5
13		120			92	5

では、耐力が接着長さに比例しなかった。特に、エポキシでは、 $L=100\text{ mm}$ 以上で母材が降伏すると、接着剤が母材の降伏変形に追従できないために、接着強度に達する前に、接着剤が破壊した。エポキシを使用した $L=120\text{ mm}$ の試験体の破壊面を観察すると、全体で凝集破壊が卓越していたが、端部近くは破壊面が荒く、白化していた。

4 考察

ボルトを外すか残すかの影響について、エポキシを使用した試験体 2 と 3、アクリルを使用した試験体 9 と 10 で、剛性にも強度にも違いがなく、破壊面にも違いがなかったため、影響は限定的だったと考えられる。いずれの接着剤でも、ボルト孔を開けた場合、孔がなかった試験体 1 または 8 と比較して、強度が 9 割ほどであった。孔の有無で、接着面に作用する応力分布が変わるか、今後検討する必要がある。

接着面に錆があった試験体 5 と 11 について、実験後に破壊面を観察したところ、いずれも母材側の錆部分で被着体破壊（被着体内部で起きる破壊）を生じていた。接着剤の強度が発揮される前に、母体に付着した錆の内部で破壊したため耐力が低下したと考えられる。

井上³⁾は、エポキシ接着剤では、母材が降伏すると、接着剤が鋼材の塑性変形に追従できないために、母材降伏によって接着強度が決定される（図 4(a)参照）と報告している。継手長さが 120 mm の試験体 13 で、母材降伏がアクリル接着剤に及ぼす影響を検証する予定であったが、実際には、母材が降伏する前に、接着面が破壊した。今後、継手をさらに長くした追加実験を実施し、アクリル接着剤への母材降伏の影響を確認する予定である。

5. 接着剤バルク試験

接着剤の弾性剛性を測定するために、JIS K 6878-1 に基づくバルク試験を計画している。図 5 に、試験体詳細を示す。テフロン製の型を、アセトンで脱脂したのちに、その型に接着剤を充填する。一週間以上養生したのち、型から外し、表面を機械研磨で平滑に仕上げる。試験前に X 線 CT で、試験体内の気泡を測定とする。試験には 1000 kN 万能試験機と、標点間距離 50 mm の伸び計を用いる。現在、試験体製作を進めている。

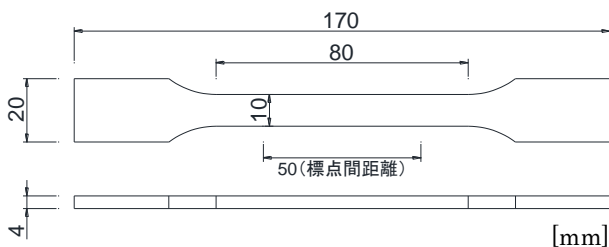


図 5 試験体寸法：接着剤バルク試験

6. まとめ

鋼材の二面せん断接着継手に、併用ボルトや表面処理が及ぼす影響を実験的に検証し、以下の知見を得た。

- 1) 継手にボルトを残しても外しても、接着強度が変わらないこと、ボルト孔があることで、継手の接着耐力が 1 割小さくなることを確認した。
- 2) 接着表面が錆びた場合、錆がない場合と比較して、せん断接着強さがエポキシでは $1/3$ 倍、アクリルでは $1/2$ 倍になった。

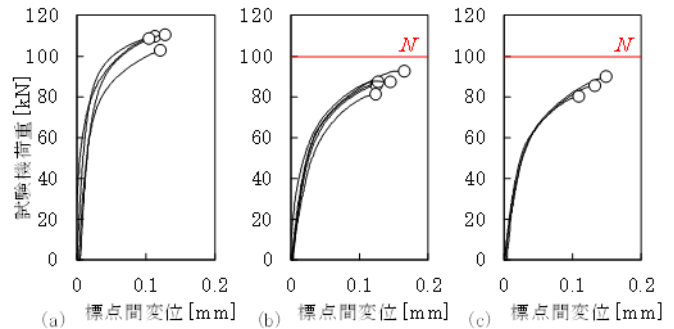


図 2 ボルト孔、ボルト併用の影響：
(a)試験体 8；(b)試験体 9；(c)試験体 10

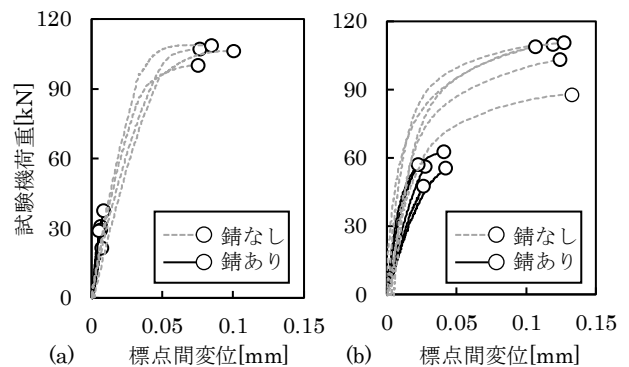


図 3 錆の影響：(a)エポキシ、(b)アクリル

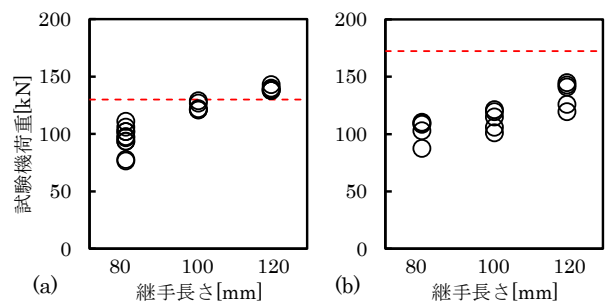


図 4 接着長さの影響：(a)エポキシ、(b)アクリル

参考文献

- 1) 高野春奈：鋼材の接着接合部のせん断・引張と剥離に関する実験，北海道大学大学院工学院，2078 年度修士論文，2018.3
- 2) 渡邊洋介：鋼材の接着接合部の耐力に関する実験，北海道大学大学院工学院，2018 年度修士論文，2019.3
- 3) 井上桂輔：構造用接着剤を用いた鋼梁継手の曲げせん断実験，鋼構造年次論文報告集，第 23 巻，2015.11
- 4) 西川将：構造用接着剤による鋼板の二面せん断接合に関する実験，北海道大学工学部，2020 年度，卒業論文，2021.3