

令和5年度環境・社会理工学院共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所属系・役職	建築学系・助教
氏名 (フリガナ)	三井 和也 (ミツイ カズヤ)
研究題目	接着剤を活用した鋼構造接合部の破壊メカニズム解明と接合形式の創出
受賞名 (1つ選択)	創成的研究奨励賞

研究の背景

接着剤の接合強度は JIS K 6850 に基づいた 1 面せん断試験によって規定されているが、このせん断試験で使用される接着剤の接着面積 A_a は、 3.125 cm^2 であり、鋼構造建築物の接合を想定すると小さな接着面積である。また、被着鋼材の板厚 t も 1.6 mm と建築部材で使用する鋼板の中では薄い板厚である。鋼構造建築物の接合部への適用を考慮すると、板厚と接着面積は、より大きな範囲を対象とする必要がある。本報では、鋼材を被着材として、接着面積 (接着幅 $b_a \times$ 接着長さ l_a)、板厚、表面状態および接着剤の種類を変数とした 1 面せん断試験を実施し、これら変数が接着剤のせん断耐力に及ぼす影響を検討する。

研究の概要と成果

試験体概要を図 1 に、形状に関する試験パラメータを図 2 に、試験体の設置状況を図 3 に示す。対象とした鋼材は、板厚 2.3 mm までは溶融亜鉛めっき材である SGC400、 4.5 mm 以上は一般構造用圧延鋼材 SS400 である (表 1)。形状に関する実験変数は、接着面積 A_a (本報では、 $3.125, 10.0, 25.0, \text{ cm}^2$ の結果のみ記載)、板厚 t ($1.6, 2.3, 4.5, 6.0, 16.0 \text{ mm}$) であり、接着面積の形状 $l_a : b_a$ は図 2 に示すように、接着面積が一定となるように、接着長さ l_a と接着幅 b_a の比率を $l_a : b_a = (1:3, 1:2, 1:1.5, 1:1, 1.5:1, 2:1, 3:1)$ と変化させている。また、鋼材の表面状態 (サンドブラスト処理、または未処理)、接着剤種類 (接着剤 S, T) も実験変数としている。

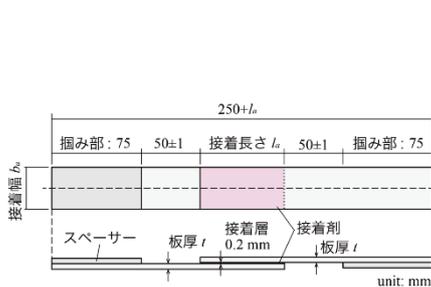


図 1 試験体形状

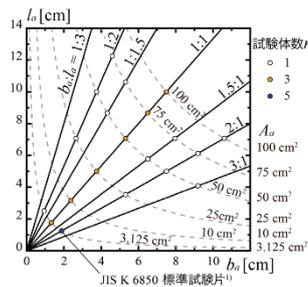


図 2 形状に関する変数

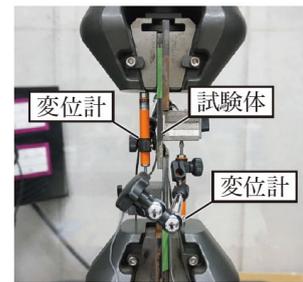


図 3 試験体の設置状況

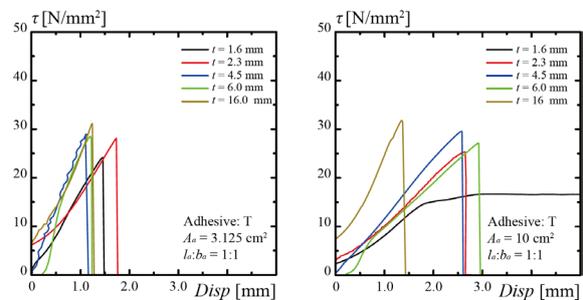
鋼材の表面状態は接着領域をサンドブラスト処理した試験体とめっき・黒皮を残した試験体を用意している。サンドブラスト処理は、溶融アルミナ (粒度 60) を研磨剤として、圧力を 0.5 MPa から 0.8 MPa の範囲で吹き付けることで実施している。SS400 材は黒皮を先行除去した後にサンドブラスト処理を行っている。表面状態は最大高さ粗さ (単位: μmRz) と算術平均粗さ (単位: μmRa) を測定し、表面粗度にばらつきが生じないように処理を行っている。荷重はアムスラー試験機により単調引張荷重を作用させ、接着領域に偏心荷重が作用しないように、荷重時には試験片の掴み部に被着体と同一板厚のスペーサーを配置している。

サンドブラスト処理を実施した試験体のせん断応力-変形関係の一例を図 4 に示す。縦軸は荷重を接着面積 A_a で除した値であり、横軸は試験機に設置された変位計で計測された変形量である。結果より、板厚が大きいほどせん断耐力が上昇する傾向が

あり、 $A_a = 25 \text{ cm}^2$ までの結果をまとめた図 5(b.1) から同様の結果が確認できる。図 4(b) に示す $A_a = 10 \text{ cm}^2$ 、 $t = 1.6 \text{ mm}$ の結果は、他の試験体に比較し、耐力が低下しているが、これは試験体に作用する直応力が鋼材の降伏応力に到達し、鋼材の軸降伏が生じたためである。ただし、最大耐力は鋼材の破断ではなく、図 6(a) に示す鋼材の降伏に伴う面外曲げ変形が接着領域近傍で生じ、接着領域に引張力が作用したこ

表 1 鋼材の機械的性質

板厚 t [mm]	鋼材	ヤング率 E [N/mm ²]	降伏応力 σ_y [N/mm ²]	引張強さ σ_u [N/mm ²]	降伏比 Y.R. [%]	破断伸び E_{long} [%]
1.6	SGC400	216000	336	399	84.3	33.7
2.3	SGC400	212000	385	446	86.3	32.1
4.5	SS400	211000	315	443	71.0	40.4
6.0	SS400	207000	274	416	65.9	44.5
16.0	SS400	209000	288	429	67.2	47.9



(a) $A_a = 3.125 \text{ cm}^2$

(b) $A_a = 10 \text{ cm}^2$

図 4 せん断応力-変形関係

とで、接着剤が剥離し耐力が決定された。このような変形が生じた場合、接着剤はせん断応力に比して、引張応力に対する耐力が低いため、接合部耐力が低下する。板厚の増加に伴いせん断耐力が上昇する要因は、板厚増加に伴い面外剛性が上昇し、接着領域に引張応力が作用しにくくなり、せん断応力により生じる図 6(b)に示す凝集破壊により耐力が決定するためである。なお、一部試験体は n 数を 3, 5 と設定しており、試験結果のばらつきが小さいことを別途確認している。

図 7 に接着面積および接着領域の形状がせん断耐力に及ぼす影響を示す。接着面積が小さいほど、同一接着面積でも接着幅が小さいほど、せん断耐力が高くなる。これは接着領域の応力方向の端部付近でせん断耐力が最も高く、接着領域中央部ほどせん断耐力が低くなるため、接着幅が大きい試験体ほどせん断耐力が高くなるのが要因である。接着剤種類の違いはせん断耐力に大きな影響を及ぼさないものの、青で示す接着剤 S の方がいずれの実験変数においてもやや高い結果となった。

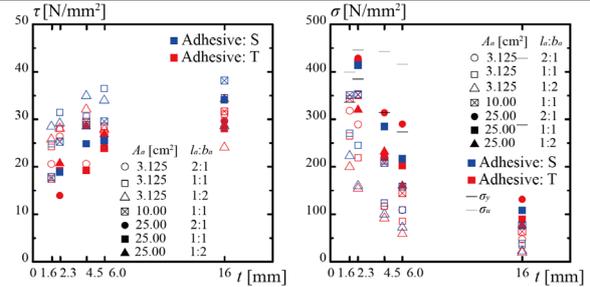
サンドブラスト処理を実施していない試験体のせん断耐力-板厚の関係性を図 8(a)に、試験後の破壊状況を図 8(b)に示す。サンドブラスト処理を行った試験結果とは異なり、サンドブラスト未処理の試験結果は、板厚の増加に伴うせん断耐力の上昇が確認できず、接着面積ごとの試験結果のばらつきも大きい。特に板厚 16.0 mm の試験体ではせん断耐力が著しく低下している。これは接着剤と鋼材表面の接着強度に比して、鋼材表面の黒皮と鋼材の接着強度が低く、黒皮が鋼材から剥離したことにより、せん断耐力が決定されたことが要因である。

結論

鋼材を被着材とする接合部の 1 面せん断試験を実施し、被着鋼材の板厚、接着断面積、接着領域形状、接着剤種類、表面処理状態がせん断耐力に及ぼす影響を検討した。JIS K 6850 で規定される板厚 1.6 mm の試験体に比較し、鋼構造建築物の接合部で使用される板厚の大きい試験体では、接着領域の面外変形が抑制されるため、せん断耐力が上昇する。一方で、接着面積の増加や接着長さの上昇により、接着領域の応力分布がせん断耐力を発揮しにくい応力分布に変化するため、せん断耐力は低下する。

今後の展望

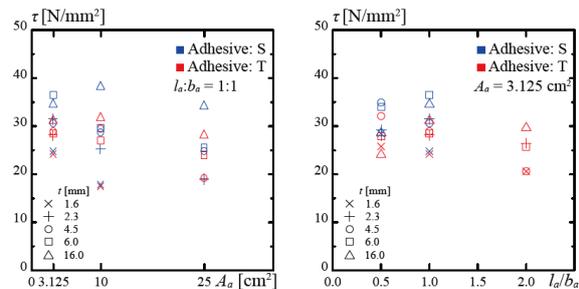
現状は平板同士を接着剤により接合した基礎的な接合部の耐力評価およびメカニズムの解明を行っている。耐力変化は、接着領域の形状比率が大きな影響因子であり、崩壊メカニズムにも直結していることが本研究から確認された。今後はこの影響因子を直接的に反映した設計式の構築を行うとともに、形鋼を接着剤により接合した場合や、高力ボルトやねじのような要素と接着剤を併用した接合部の耐力評価など、実構造物で使用される状況に近い部材の性能評価を実施する予定である。



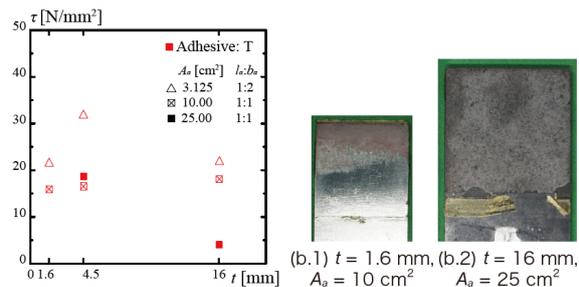
(a) せん断耐力への影響 (b) 直応力への影響
図 5 板厚がせん断耐力、直応力に及ぼす影響



図 6 接着領域の破壊状態 ($A_a = 10$ cm², $l_a/b_a = 1:1$)



(a) 接着面積の影響 (b) 接着領域形状の影響
図 7 せん断耐力に及ぼす諸変数の影響



(a) 板厚変化の影響 (b) 破壊状態
図 8 サンドブラスト未処理の実験結果