

接着剤を用いた鋼構造接合部の一面せん断耐力

鋼構造接合部 接着強さ アクリル樹脂系接着剤
1 面せん断試験 表面状態

正会員 ○ 花井 勉^{*1}
同 五十嵐 規矩夫^{*2}
同 秋本 雅人^{*3}
同 紺野 誠^{*3}

正会員 小林 博一^{*1}
同 三井 和也^{*2}
同 小谷 準^{*3}
同 小川 大輝^{*3}

1. 序

一般的に接着剤の性能は接着強さの増加に伴い、靱性が低下することが知られているが、近年では高い強度と靱性を持ち合わせ、脆性的な破壊が生じにくい接着剤が開発され、鋼構造建築物の接合部への適用が模索されている。接着剤の強度は比較的小さな試験面積を有する試験片（板厚 $t = 1.6\text{ mm}$ ，接着幅 $b_a = 25\text{ mm}$ ，接着長さ $l_a = 12.5\text{ mm}$ ，接着面積 $A_a = 3.125\text{ cm}^2$ ）を用いた一面せん断試験により、接着剤の接着強さを調査している¹⁾。一方、鋼構造建築物の接合部への適用を考慮すると、板厚、接着面積ともに、より大きな範囲を調査対象とする必要があるため、本報では被着材を鋼材（SGC400, SS400）とした図1に示すシングルラップ継手の一面せん断を実施する。

2. 接着剤を用いた接合部の一面せん断試験概要

図1に示す長方形の接着領域を有する試験片を一面せん断試験片の基本形状とし、図2に示す試験機で接着面にせん断力が作用するように計画している。このとき、試験片の掴み部に被着鋼材と同一厚さのスペーサーを設けることで载荷軸と接着面を一致させ、接着面に偏心引張力による付加的な応力が作用しない機構としている。

実験変数である接着面積は、JIS K 6850¹⁾と同一の 3.125 cm^2 から 100 cm^2 までを対象とし、接着領域の形状比は図3に示すように面積が一定のまま形状比が $b_a:l_a = 3:1, 2:1, 1.5:1, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:3$ と変化するように設定している。板厚 t は $1.6, 2.3, 4.5, 6.0, 16.0\text{ mm}$ であり、 2.3 mm 以下の鋼種は SGC400、 4.5 mm 以上は SS400 である。表1に鋼材の機械的性質を示す。接着剤はアクリル樹脂系の2種類（S, T）であり、接着剤 T は接着剤 S より、変形追従性が高くなるように設計されている。鋼材の表面状態（サンドブラスト処理、めっき・黒皮残し）も実験変数としている。鋼材の表面処理は図4に示すように粒度 60 の溶融アルミナを 0.5 MPa から 0.8 MPa で吹き付けることで実施している。なお、SS400 はグラインダーにより黒皮を除去した後、サンドブラストによる表面処理を行っている。表面処理は表面粗度が試験片ごとにばらつかないように、図5および表2に示すように粗度計により管理を行っている。接着剤の塗布は接着面の脱脂後、所定の接着面積が確保できるように非接着面にマスキング処理を行い²⁾、室温 $11.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $19.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ の条件下で接着を行っている。硬化時間は接着剤が最終強度に到達する期間（S：3 時間以上、T：2 日以上）を十分に確保している。接着剤の硬化時は万力により接着面を圧着し、余剰な接着剤を排出している。接着層厚は接着剤に含まれるガラスビーズ（直径 0.2 mm ）により、一定値となるように管理している。

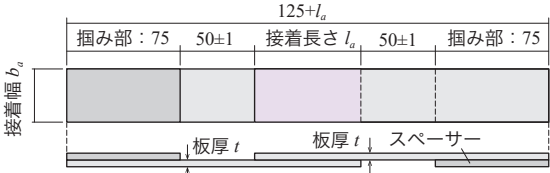


図1 一面せん断試験片の概要

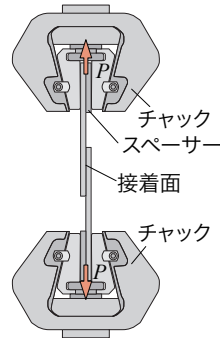


図2 実験セットアップ

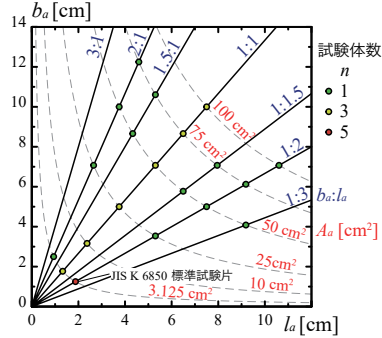


図3 試験体形状と接着面積

表1 鋼材の機械的性質

t [mm]	Grade	E [N/mm ²]	σ_y [N/mm ²]	σ_u [N/mm ²]	Y.R. [%]	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	SS400	209000	288	429	67.2	47.9

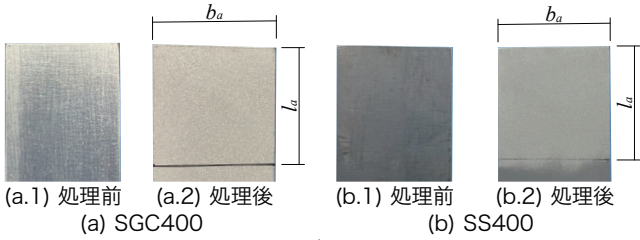


図4 接着面のサンドブラストによる表面処理

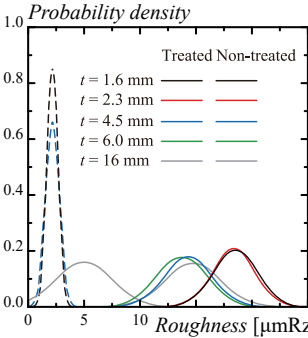


図5 表面粗さ分布

表2 表面粗さのばらつき

表面処理	t [mm]	Mean [μmRz]	S.D. [μmRz]
サンド ブラスト 処理	1.6	18.5	1.96
	2.3	18.4	1.92
	4.5	14.3	2.21
	6.0	13.8	2.25
	16	14.8	2.56
未処理	1.6	2.25	0.47
	4.5	2.24	0.60
	16	5.15	2.49

3. 接着剤強さと鋼材の軸降伏の関係性

試験機で計測された引張力 P を接着面積 A_a で除した平均せん断応力 τ を縦軸、チャック間の変位を横軸とした結果を図 6 に示す。接着面積の増加に伴い、同一の接着面形状比であっても接着強さ（最大耐力）が低下している。これは接着幅と接着長さが一律で増加していく場合、接着長さが増加したことによって生じる接着面始末端の剥離応力の集中³⁾が、接着幅の増加によるせん断応力伝達量を上回るため、接着面積の増加により接着強さが低下することが要因である。また、接着剤 S, T とともに $A_a = 10.0 \text{ cm}^2$ までは脆性的な破断が生じているが、 $A_a = 25.0 \text{ cm}^2$ 以上の接着剤 T では接着剤 S より延性的な破壊挙動が確認された。ここで、図 7 は縦軸を試験機で計測された引張力 P を鋼材の断面積で除した直応力 σ とした結果である。接着面積の増加に伴い荷重が大きくなり、両接着剤とも鋼材に伝達される直応力が増加する。直応力が鋼材の降伏応力度 σ_y に到達した試験片では、大きな変形性能を発揮していることが図 6, 7 から確認できる。図 8 は試験終了後の接着面の破壊形式を示している。いずれの試験片においても接着剤の破壊面は、せん断応力と剥離応力が集中する接着面の始末端では接着層の凝集破壊が、中間領域では薄層凝集破壊が生じ、両破壊形式が混同した状態で決定されている³⁾。

4. 接着強さと接着面の破壊形式のばらつき

n 数を 3 以上に設定した試験片の接着強さを図 9(a) に示す。丸印の凡例が各試験片の結果であり、横線がその平均値を、ひし形の凡例は標準偏差を、色の違いが鋼材の板厚の違いを表している。接着面積の小さい $A_a = 3.125 \text{ cm}^2$, 10.00 cm^2 では、板厚が厚いほど接着強さの標準偏差が大きくなるが、その他の接着面積では板厚による傾向は確認されない。本試験片で使用した鋼材の加工はレーザー切断により実施しているが、この加工工程で接着幅 b_a が変動し、接着面積が変化することが接着強さに影響を及ぼした要因と考えられる。ただし、その標準偏差も 5 N/mm^2 以下と十分に小さいといえる。図 9(b, c) は接着面の破壊状況である。めっき材あるいは黒皮材であっても、サンドブラストにより表面処理を行えば、接着面に生じる破壊現象に違いはない。破壊面が安定した形式であるため、接着強さにばらつきが生じなかったと考えられる。

5. 結

本報は被着材を鋼材としたシングルラップ継手の一面せん断を実施した。以下に本試験から得た知見を示す。

- 1) 接着面積が増加すると、鋼材に伝達される直応力が鋼材の降伏応力度に到達し、大きな変形性能を発揮する。
- 2) 破壊形式はせん断応力と剥離応力が集中する接着面の始末端で接着層の凝集破壊が、中間領域で薄層凝集破壊が生じ、破壊形式が混同した状態で決定される。
- 3) 接着強さの標準偏差は接着面積、板厚に依らず 5 N/mm^2 以下であり、十分に小さい。また、めっき材あるいは黒皮材であっても、サンドブラストにより表面処理を行えば、接着面に生じる破壊現象に違いはない。

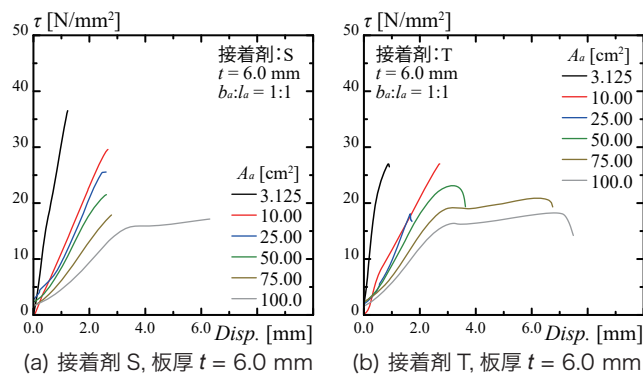


図 6 平均せん断応力度 - 変位関係

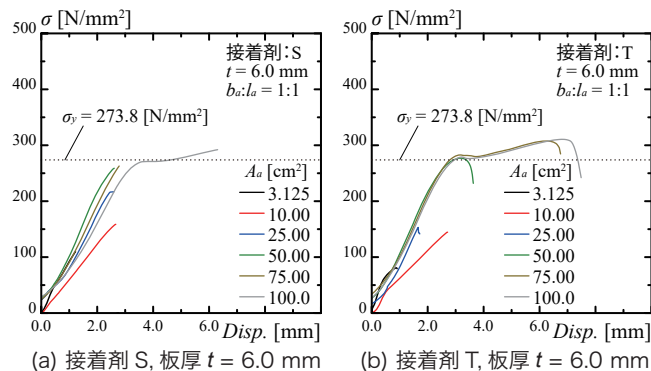


図 7 平均軸応力度 - 変位関係

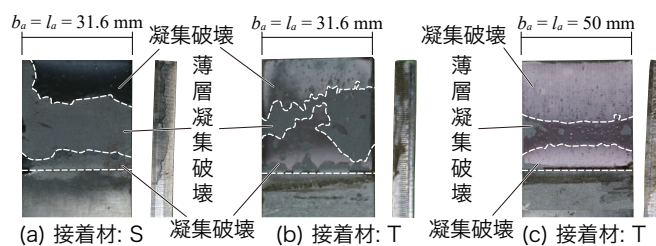


図 8 接着面の崩壊形式 ($t = 6.0 \text{ mm}$)

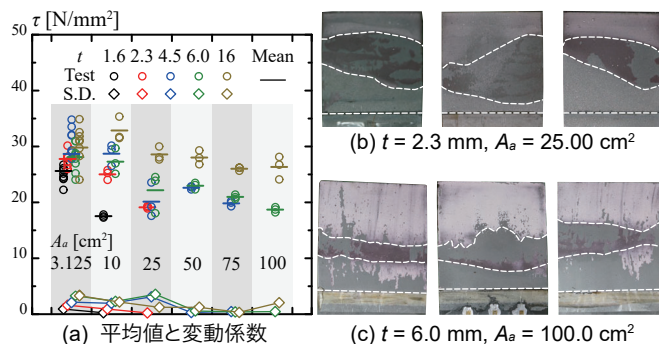


図 9 接着強さと接着面の崩壊形式のばらつき (接着剤 T)

謝辞

本実験の実施に当たり、東京科学大学 修士課程 長谷川 鈴氏の協力を得ました。ここに記し感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 日本工業標準調査会：接着剤剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法，JIS K 6850，2019. 7
- 2) 藤井透：重ね合わせ継手の引張せん断性能と強度評価，接着の技術，通巻 75 号，Vol. 24，No. 2，2004
- 3) Goland M., Reissner E.: The Stress in Cemented Joints, J.Appl. Mech., Vol. 11, pp. A17-A27, 1944

*1 (株)えびす建築研究所

*2 東京科学大学環境・社会理工学院建築学系 博士 (工学)

*3 セメダイン(株)

*1 Ebisu Building Laboratory

*2 Dept. of Arch. and Build. Eng., Institute of Science Tokyo, Dr. Eng.

*3 CEMEDINE CO., LTD.