

構造用接着剤を用いた亜鉛めっき鋼板の二面せん断実験

高野 春菜

1. はじめに

鉄鋼材料の接着は現在種々の産業分野で普及している。しかし、接着接合は被着材の表面状態や接合部の形状等の影響を受けるため、強度にばらつきがあり、それが建築産業での接着接合の普及の妨げになっている。そのため、使用環境や建築構造物の実寸法を反映した実用的な接着評価法、またその設計・施工方法はまだ確立されていない¹⁾。以上の背景を踏まえ、本研究では、熔融亜鉛めっき鋼板を接着接合して形成した部材を建築物に用いることを想定して、その力学的性能を確認するため、接着長さ L と接着剤種、接着厚さをパラメータに引張せん断接着強さ試験を実施した。一般に表面の粗さと化学組成が接着強度に影響を与えることが知られている²⁾が、熔融亜鉛めっき鋼板は、めっきによって、表面に微量の不純物や合金中の微量の汚染金属が付着している³⁾ため、接着性の観点からは使い難い材料である。実験では、構造用接着剤を代表するエポキシ樹脂系とアクリル樹脂系の両方を検討した。前者は優れた引張せん断強さと高い弾性率が特徴であるが、剥離強さや衝撃強さの低いことが欠点である⁴⁾。一方、後者は引張せん断強さ、剥離強さ、衝撃強さに優れ、油面接着が可能であるという特徴がある⁵⁾。

2. 実験概要

図1に示す試験体種P、E、Aを用いて、引張荷重による二面せん断試験を行った。重合せ継手は最も汎用性の高い接着接合である。図2に示すように、接着剤は母材と継手

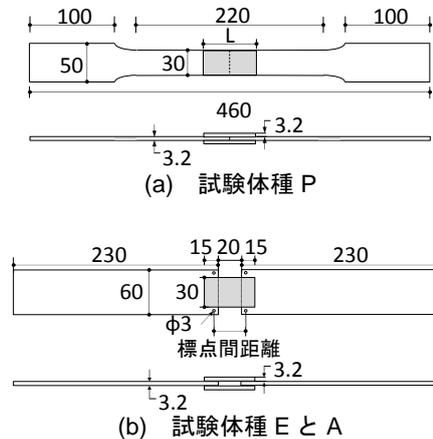


図1 試験体 (寸法: mm)

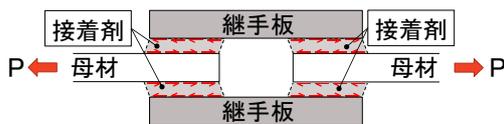


図2 二面せん断継手の応力分布

板の間に分布するせん断応力に抵抗する。表1に試験体の概要を示す。使用した鋼材は、試験体種Pが熔融亜鉛めっき鋼板SGH400-Z12、試験体種EとAが同SGH400-Z27であり、いずれも接合前に接着面をアセトンで脱脂した。接着剤はコニシ(株)製二液混合型エポキシ系接着剤E258、及び3M Scotch-WeldTM二液アクリル室温硬化型接着剤メタルグリップの2種類とした。エポキシ接着剤は主剤及び硬化剤を重量比1:1で混合し、アクリル接着剤は専用のアプリケーションナーを用い、それぞれの可使用時間以内に塗布し鋼材を組み合わせ、接着後に圧縮して室温20°Cで1週間程度養生させた。なお、鋼材を組み合わせる際は試験体を一直線水平に保つように留意し、接着厚さは目標厚さに応じた大きさのガラスビーズを接着層にはさんで調整した。

試験体種Pは、図1に示す接着長さ L と接着厚さ t をパラメータとして合計9体用意した。試験体種EとAは接着剤種と接着厚さ t をパラメータとして合計17体用意した。

試験には1,000 kN万能試験機を用い、荷重レンジを50 kN、載荷速度を0.01~0.05 kN/sに制御して室温下で単調引張載荷した。試験体種Pはクロスヘッド変位を2基の変位計で計測し、試験体種EとAはそれに加え、図1(b)に示す母材突き合わせ部の標点間距離を2基の変位計で計測した(写真1)。

表1 試験体概要

接着剤	試験体名	接着長さL (mm)	接着厚さt (mm)			養生期間 (日)	最大荷重 (kN)	接着強度 (N/mm ²)	
			目標	実測値					
				平均	最小				最大
エポキシ系	P1	30	0.2	0.33	0.23	0.39	24	21.6	24.0
	P2	30	0.5	0.54	0.39	0.63	24	22.4	24.9
	P3	30	1.0	1.44	1.11	1.70	24	20.9	23.2
	P4	60	0.2	0.22	0.21	0.23	2	30.4	16.9
	P5	60	0.5	0.44	0.37	0.53	2	29.6	16.4
	P6	60	1.0	1.05	0.92	1.16	2	30.0	16.7
	P7	80	0.2	0.33	0.26	0.52	17	30.4	12.7
	P8	80	0.5	0.38	0.31	0.42	17	30.6	12.8
	P9	80	1.0	1.33	0.81	1.92	17	30.5	12.7
エポキシ系	E1-1	30	0.2	0.58	0.54	0.63	7	8.32	9.24
	E1-2	30	0.2						
	E1-3	30	0.2	0.54	0.51	0.58	7	0.64	0.71
	E2-1	30	0.5	0.70	0.56	1.03	7	4.95	5.50
	E2-2	30	0.5	0.70	0.59	0.78	13	1.27	1.41
	E2-3	30	0.5	0.59	0.35	0.72	13	2.93	3.26
	E3-1	30	1.0	1.35	1.08	1.49	13	0.82	0.91
	E3-2	30	1.0	0.74	0.37	1.15	13	2.57	2.86
	E3-3	30	1.0	1.04	0.84	1.56	13	3.49	3.87
アクリル系	A1-1	30	0.2	0.31	0.29	0.35	7	11.8	13.1
	A1-2	30	0.2	0.34	0.30	0.41	7	12.0	13.4
	A1-3	30	0.2	0.40	0.30	0.46	7	11.3	12.5
	A2-1	30	0.5	0.39	0.27	0.50	7	11.4	12.6
	A2-2	30	0.5	0.59	0.40	0.77	7	8.67	9.63
	A2-3	30	0.5	0.46	0.43	0.48	7	9.60	10.7
	A3-1	30	1.0	1.05	0.44	1.34	7	6.12	6.80
	A3-2	30	1.0	1.02	0.98	1.07	7	7.56	8.43
	A3-3	30	1.0	1.20	0.82	1.39	7	1.87	2.08

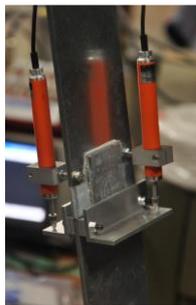


写真1 変位計

An experimental study on double-lap shear adhesive joints of hot-dip galvanized steel plates.

TAKANO Haruna

3. 実験結果及び考察

図3に、最大荷重を接着面積で除した引張せん断接着強度と平均接着厚さ t の関係を示す。図中に、接着剤メーカーが提示するエポキシ系接着剤の鋼板に対する参考強度、アクリル系接着剤の亜鉛鉄板に対する参考強度を示す。試験体種Eは極めて小さい値を示した。

接着剤の破壊形態は、図4に示すように、接着剤と被着材の界面に生ずる界面破壊と、接着剤自身が破壊する凝集破壊とに大別される。界面破壊は被着材の表面状態の影響を受けて生じるため、接着剤の性能を発揮するためには凝集破壊が望ましいとされる⁴⁾。写真2に、P2、E1-3、A1-1の接着破壊面の様子を示す。試験体種Pでは界面破壊と凝集破壊の両方を含む混合破壊、試験体種Eではほとんどの試験体で界面破壊、試験体種Aでは凝集破壊が確認された。試験体種PとEではめっきの付着量の異なる溶融亜鉛めっき鋼板SGH400-Z12とSGH400-Z27を使用した。相当めっき厚さは、前者が0.026mm、後者は0.054mmとJIS⁶⁾で規定されている。規格では、防食性には影響を与えない化学組成の規定がないため、メーカーやロットによって溶融亜鉛めっき鋼板の表面状態が大きく異なる可能性がある。このような違いが試験体種Eの接着強度が極めて小さかった原因の一つであると推測される。また、試験体種EとAの鋼種と接着条件は同じであり、試験体種Aはすべて凝集破壊であったことから、アクリル系接着剤と比べエポキシ系接着剤はめっき表面の影響を受けやすいと推測される。

また、試験体種によって破壊性状も異なっていた。試験体種Pでは、 $L=30$ の試験体は破壊に至るまで線形挙動を示し、 $L=60$ と $L=80$ は接着耐力が母材の降伏強度を上回ったため、接着剤が破壊する前に母材が降伏し、非線形挙動を示した。母材が降伏したものも含め、片側の継手板が勢いよく外れて吹き飛び片方の母材が瞬時に分離する脆性的な破壊であった。試験体種Eも破壊に至るまで線形挙動を示したが、極めて小さな荷重で破壊した。試験体種Aでは、最大荷重を示すまで非線形挙動を示し、粘りのある破壊性状であった。

試験体種Aで得た、標点間変位と荷重の関係を図5に示す。平均接着厚さ t が薄い試験体ほど最大荷重は大きく、最大荷重時の変位は小さくなる傾向が確認された。なお、表1に示すように、実測厚さは目標厚さが厚いものほど接着層全体でのばらつきが大きかった。

4. 既往の研究との関連

図3に、鋼材の二面せん断接合に関する既往の実験結果を今回の実験結果と併せて示す。hu⁷⁾は3M社製エポキシ系接着剤DP-460を使用し、鋼材表面は研磨処理した。ばらつきはあるものの、全体的に接着厚さが薄くなるほど得られる接着強度が高くなる傾向があることを確認した。

5. まとめ

本研究では、亜鉛めっき鋼板を接着接合した試験体を用いて二面せん断試験を行った。

- 亜鉛めっき鋼板Z27を被着材とした場合、エポキシ系接着剤では接着強度が規定値を大きく下回ったが、アクリル系接着剤では規定通りの強度が得られた。
- エポキシ系接着剤を用いた試験体は脆性的な破壊性状を、アクリル系接着剤を用いた試験体は粘りのある破壊性状を示した。
- 接着厚さが薄いほど高い接着強度が得られる傾向を確認した。

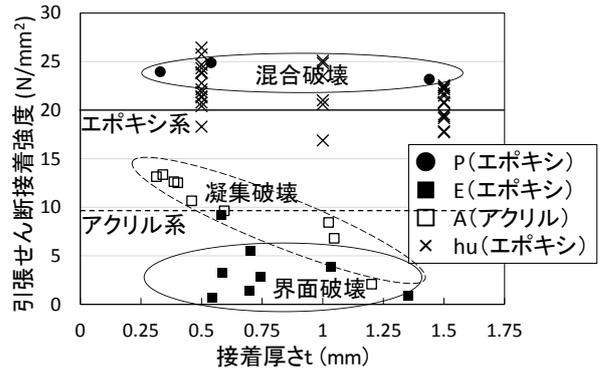


図3 接着強度のばらつき

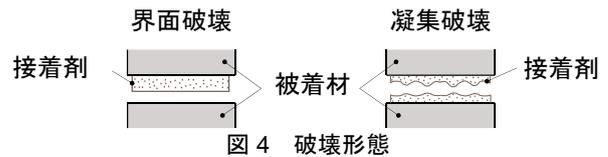


図4 破壊形態

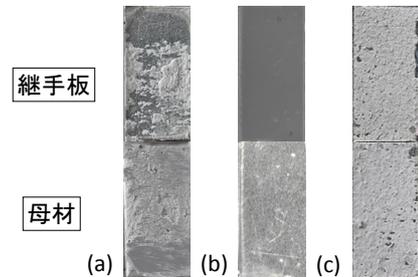


写真2 接着破壊面 (a)P2 (b)E1-3 (c)A1-1

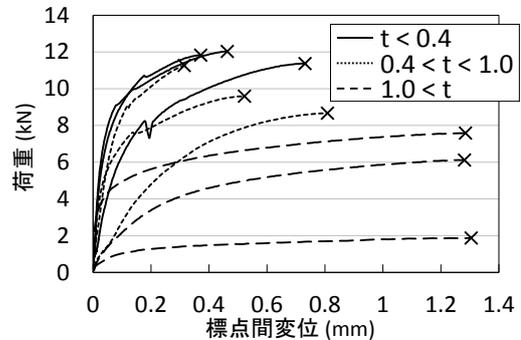


図5 载荷曲線

参考文献

- 1) 山辺秀敏: 接着・粘着、表面処理技術ハンドブック—接着・塗装から電子材料まで—、(株)N・T・N、pp. 288-294, 2000
- 2) 前田重義: 金属、表面処理技術ハンドブック—接着・塗装から電子材料まで—、(株)N・T・N、pp. 162-173, 2000
- 3) 中尾一宗: 自動車用亜鉛めっき鋼板の接着、高分子刊行会35巻4号、pp. 149-153, 1991
- 4) 柳澤誠一: 機能性接着剤、接着・解体技術総覧—資源・環境・エネルギー—、(有)エヌジーティーpp. 248-253, 2011
- 5) 宮入裕夫: 構造用接着剤、構造接着の基礎と応用、(株)シーエムシー出版、pp. 47-121, 2007
- 6) JIS G3302、溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯、p. 9, 2010
- 7) Yuying Hu, Carol K Shield, Robert Dexter: Use of Adhesives to Retrofit Out-of-Plane Distortion Induced Fatigue Cracks, final report, pp. 44-65, 2006. 2