

CFRPと亜鉛メッキ鋼材の接着耐久性について

東レ建設(株) 正会員 ○服部 明生
東レ(株) 正会員 松井 孝洋

東レ(株) 山本 展久
豊橋技術科学大学 正会員 松本 幸大
(株)美貴本 山口 信之

1. はじめに

高度成長期から50年以上を経た我が国の鋼構造物において、構造部材の腐食や性能劣化が指摘されており、その対策は緊要な社会的課題である。こうした背景から、鋼部材の補修・補強に関してFRP補強の有効性について研究が進められている。なかでも本検討の対象である亜鉛メッキ部材に対してもCFRP(炭素繊維強化プラスチック)を適用した補修の検討が進められ、効果が確認されている¹⁾。一方、屋外曝露環境下での補修効果を長期に維持する為にはCFRPと鋼材との接着の耐久性が重要となる。文献^{2,3)}等で耐久性評価の報告はあるが、亜鉛メッキ鋼材での評価データは極めて少ない。そこで、本報告では、特に重要と考える紫外線および温度履歴が接着耐久性に及ぼす影響を実験的に確認した結果を報告する。

2. 試験の概要

(1) 試験体概要 接着耐久性の評価として、JIS K 6850 に準拠した面内方向の引張せん断接着強度の劣化度を確認する。試験体の使用材料を表1に、CFRPと鋼材を接合する接着剤を表2示す。CFRPは、CFシートをハンドレイアップ成形で含浸・積層したCFシート板と、工場で引抜成形したCFRP帯板を用いた。なお、CFシート板は、CFRP帯板と同程度の引張剛性となるCFシート枚数を積層した。継ぎ手部の接着面はカップワイヤーを使って亜鉛メッキ表面の腐食・汚れ等を剥ぎ取り、目粗し処理を実施した。引張せん断接着強度を評価する試験体は、一面継ぎ手試験体とし、図1に示す長さ100mm、幅：耐候性用幅12.5mm/温度履歴用幅25mmのCFRP試験片と鋼材試験片を、継ぎ手長さ12.5mmとなるように、接着剤で接合したものである。

(2) 耐候性試験 試験水準を表3に示す。鋼材は、亜鉛メッキ処理した新品と撤去した鋼構造物から切り出された亜鉛メッキ部材の経年劣化品を用いた。耐候性試験は、JIS A 1415 に記載するサンシャインカーボンアークランプによる曝露試験方法(試験条件：ブラックパネル温度63℃、相対湿度50%(照射安定時)、スプレーサイクル18分/102分)で実施した。評価として0(試験前)、500、1000及び2000時間の照射時間毎に引張せん断接着強度を確認した。

(3) 温度履歴試験 試験水準を表4に示す。試験体を恒温恒湿槽に入れ、60℃で30分養生後に16分で-20℃まで下降させ、-20℃で30分養生し、そして16分で60℃まで戻す、この92分を1サイクルとして100回繰り返した。評価として0(試験前)、10、50、100サイクル毎に引張せん断接着強度を確認した。また、温度履歴試験中には、CFRP、鋼材表面にひずみゲージを貼付け、温度サイクル毎に温度変化によるひずみ挙動を測定した。

3. 実験結果

(1) 耐候性試験 耐候性試験結果として、図2に照射時間と引張せん断接着強度の関係で示す。引張せん断

表1 使用材料

種類	CFRP		鋼材
	CFシート板	CFRP帯板	
材種	UM46-40G	ML520	SS400
厚み(mm)	0.217	2	3.2
層数(枚)	6	1	—
弾性率(GPa)	440	285	200
含浸接着樹脂	E2500	—	—

表2 接着剤

試験名	CFシート板		CFRP帯板
	プライマー	接着剤	接着剤
耐候性	E810L	E2500	E258
温度履歴	E810L	E2500	E258



図1 継ぎ手試験体

表3 耐候性試験一覧水準

試験体名	CFRP	鋼材	照射時間
UME-G-0	CFシート板	亜鉛メッキ	0
UME-G-500		SS400	500
UME-G-1000		(新品)	1000
UME-G-2000		(新品)	2000
UME-K-0	CFシート板	亜鉛メッキ	0
UME-K-500		SS400	500
UME-K-1000		(劣化品)	1000
UME-K-2000		(劣化品)	2000
ML-G-0	CFRP帯板	亜鉛メッキ	0
ML-G-500		SS400	500
ML-G-1000		(新品)	1000
ML-G-2000		(新品)	2000

表4 温度履歴試験一覧水準

試験体名	CFRP	鋼材	温度サイクル
T-UM-0	CFシート板	亜鉛メッキ	0
T-UM-10		SS400	10
T-UM-50		(新品)	50
T-UM-100		(新品)	100
T-ML-0	CFRP帯板	亜鉛メッキ	0
T-ML-50		SS400	50
T-ML-100		(新品)	100
T-ML-100		(新品)	100

キーワード 炭素繊維強化プラスチック、溶融亜鉛メッキ、接着、耐候性、温度履歴

連絡先 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-6-5 東レ建設株式会社技術部 TEL 03-5205-3869

接着強度は、評価基準となる試験前（0 時間）に比べ向上し、その後は概ね安定する結果となった。照射前試験体から引張せん断接着強度が向上した原因は、0 時間から 500 時間照射期間中に 63℃の照射熱によって接着剤の硬化が進み、接着強度が発揮したものと推察する。

また、引張せん断接着強度のばらつきを変動係数で評価すると、UME-G で 10%，UME-K で 17%，ML-G で 4%となり、鋼材新品に比べ経年劣化品は約 1.7 倍ばらつく一方、工場で作る CFRP 帯板は、安定し接着強度が得られていると言える。図 3 に 2000 時間照射後の接着面の破壊状態を示す。CF シート板と亜鉛メッキ鋼材の接着では、主に亜鉛メッキの剥離と、鋼材と接着剤の界面剥離が確認

されたが、CFRP 帯板と亜鉛メッキ鋼材では、主に CFRP の層内剥離と、接着剤の凝集破壊が確認された。そして、照射時間によって破壊状態の違いは確認されなかった。したがって、2000 時間の耐候性試験では、いずれの試験体も劣化は生じないとする。

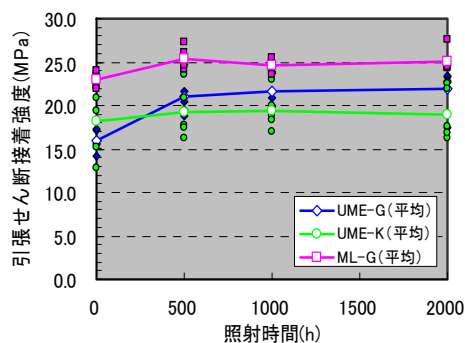


図 2 耐候性試験結果



図 3 接着面の破壊状態

(2) 温度履歴試験 温度履歴試験結果として、図 4 に温度サイクル数と引張せん断接着強度の関係を、図 5 に CFRP シート板及び CFRP 帯板及び継ぎ手接着している鋼材の 50, 100 サイクルでの温度とひずみの関係を示す。耐候性試験同様、引張せん断接着強度は 0 サイクル（試験前）に比べ向上し、その後は概ね安定する結果となった。引張せん断接着強度が向上した理由は、耐候性試験結果と同様と考える。また、耐候性試験結果に比べ、引張せん断接着強度が低くなっているが、両試験を比較すると温度履歴用いた試験片の CF シート板厚が 0.5～1mm 程度、接着層の厚みが 0.1mm 程度厚くなっており、偏心引張の影響と考察する。次に、温度－ひずみの関係について、鋼材は弾性的な挙動を示しているが、CF シート板、CFRP 帯板は周期的な挙動を示した。このことは、各サイクルでも同様の挙動を示していることから、接着剤の弾粘性的挙動の影響と考察し、CFRP 継ぎ手部剥離による挙動ではないと考える。また、要因について今後究明していく。図 6 に 100 サイクル後に試験した後の接着面の破壊状態を示す。CF シート板と亜鉛メッキ鋼材の接着では、接着剤と鋼材の界面剥離であったが、CFRP 帯板と亜鉛メッキ鋼材では、CFRP の層内剥離と、接着剤の凝集破壊が確認された。そして、-20～60℃間の温度サイクルによって破壊状態の違いは確認されなかった。したがって、いずれの試験体も劣化は生じないとする。

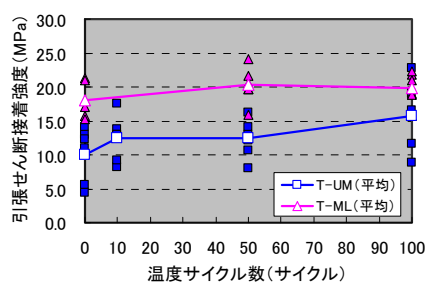


図 4 温度履歴試験結果

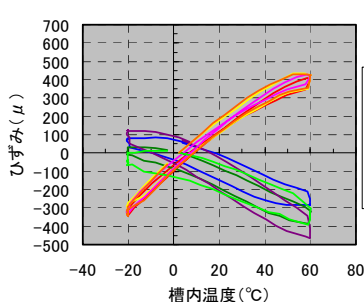


図 5 温度－ひずみ関係



図 6 接着面の破壊状態

4. まとめ

CFRP と亜鉛メッキ鋼材の接着耐久性について、紫外線および温度履歴が接着耐久性に及ぼす影響を確認するために実施した耐候性試験および温度履歴試験の結果、接着性の劣化は確認されなかった。よって、促進曝露 2000 時間相当の期間や-20～60℃の温度環境下では、CFRP と亜鉛メッキの接着耐久性には問題ないとする。

参考文献

- 1) 松井孝洋, 松本幸大, 山口信之, 服部明生, 山田勝, 古賀惟彬, “断面欠損を有する鋼管部材の CFRP による補修効果”, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 第 V 部門, pp339-340, 2013 年 9 月。
- 2) 財団法人 土木研究センター, “炭素繊維シートによる鋼製橋脚の補強工法ガイドライン (案)”, 2002 年 7 月
- 3) 服部明生, 玉井宏章他 “炭素繊維プレートによる鋼構造物の接着補強工法に関する基礎的研究 (その 1) 熱履歴耐力試験”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2006 年 9 月。