

素地調整方法の違いによる CFRP-腐食鋼の接合特性

名城大学 松原 隆哲
九州大学大学院 学生会員 蔡 聯亨

名城大学 学生会員 古川 柊哉
名城大学 正会員 劉 巖
九州大学 正会員 楊 沐野

1 研究背景・目的

近年、我が国では鋼橋の老朽化が問題視されており、その中で最も代表的な損傷が腐食である。現在、繊維強化プラスチック(FRP)は様々な鋼構造物の補修や補強で注目されている。その中でも、特に炭素繊維強化プラスチック(CFRP)接着工法は、従来の補強工法に比べ施工が容易であり、品質が安定するため、効率的に補修・補強することができる。CFRPの接着にはエポキシ樹脂などの接着剤を用いるが、鋼板表面に錆などが残っていると、接着剤と鋼板との間に空洞が発生し、接着強度が低下してしまう。そのため、貼り付け前に素地調整を行い接着に十分な表面を得る必要がある。しかし、腐食した鋼板表面を定量的に把握することが困難であり、腐食鋼板と接着剤の界面には、接着剥離など実用上難しい問題があり、CFRPの用途を制限する障害の一部となっている。そこで、本研究は、腐食した鋼構造物と接着剤およびCFRP材料との接合特性に関する新たな知見を提供することを目的とする。

近年、CFRPの有効性を検討している研究は行われているが、腐食鋼構造物のCFRP補修に関する研究は少なく、基礎研究データの不足から、統一された検査仕様がないのが現状である。本研究では、腐食程度を考慮して、素地調整方法がCFRP板と腐食鋼板の接触挙動に及ぼす影響を検討し、局所的な腐食に対応した素地調整方法を提案しようとしている。本実験では、腐食程度に腐食促進15日、30日、素地調整にブラスト、ディスクサンダー、酸性溶液(9.5wt%のHCl溶液)を採用した。

2 実験概要

今回の実験で用いた供試体の寸法を図-1に示す。鋼板の鋼種はSM490Aで、厚さは9mmであり、CFRP板の品種はGM520で厚さは2mmである。接着剤には、エポキシ樹脂を用い、目安厚さ1mmで接着を行う。

また、全ての供試体にひずみゲージを貼り付けた。CFRP板を貼り付けていない供試体は図-2のように貼り付け、CFRP板を貼り付けている供試体には図-2に加え図-3に示すようにCFRP板上にも貼り付けた。CFRP板上のひずみゲージは図-3の左側から順番にひずみ3とし最も右側をひずみ9とする。試験機設置時はひずみ3を上側にして実施した。ここではブラストをAB、ディスクサンダーをDS、酸性溶液をASと表記する。また、本研究ではそれぞれの供試体に対して3本ずつ試験を行った。

本研究では、万能試験機を用いて、鋼材に対して単調引張試験を行った。荷重パターンは単調引張荷重であり、制御方法は変位制御で変位計に π 型変位計を220mmの間隔で設置した。荷重スピードは最初に行った2本は0.10mm/secで行い、荷重速度が予定より速くなりすぎたため、その後は0.05mm/secで実験を行った。

3 実験結果

本実験で得られた力学的性能を表-1に示す。降伏ひずみは上降伏点時のひずみゲージのひずみ1のデータを用いた。荷重を増大させるとCFRP板はいずれ剥離を起こす。その時の応力、ひずみをCFRP剥離時応力、

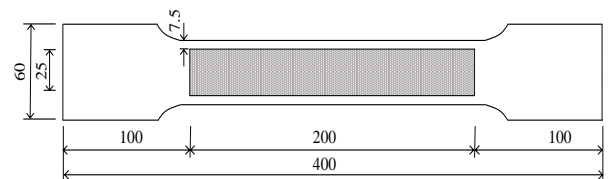


図-1 供試体寸法

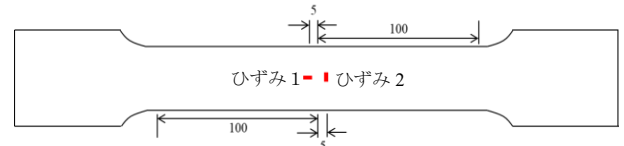


図-2 ひずみゲージ貼り付け方法(表面)

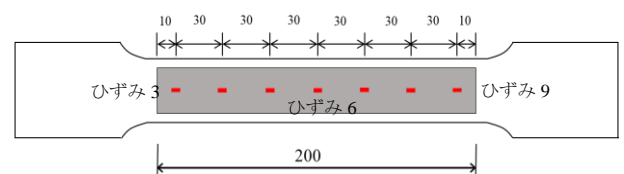


図-3 ひずみゲージ貼り付け方法(裏面)

CFRP 剥離時ひずみとし、これはひずみゲージのひずみ 6 のデータから算出する。

結果として、降伏応力は SF30DS, SF30AS を除き CFRP 補強をすることで大きくなった。また、降伏ひずみも CFRP 補強することで大きくなる。図-4 に弾性域に着目した応力-ひずみ曲線を示す。図-4 より CFRP 補強した供試体では傾きが若干小さくなっている。これは素地調整による断面減少に起因するものと思われる。また、CFRP 補強をすることで降伏応力が大きくなり、その差分だけ応力が増加するため、対応するひずみも増加する。また、この現象は腐食日数 30 日でも同様なことがいえる。

次に、CFRP 板の剥離は素地調整にディスクサンダーを用いた供試体を除き、上降伏点より若干早くに起こった。これは、鋼板と CFRP 板のひずみ差が増加することにより、接着剤にせん断変形が起こったからである。しかし、一部の SF15DS シリーズと全ての SF30DS シリーズで降伏より早い段階で CFRP 板の剥離が起きた。SF15DS シリーズの剥離に差が生じたのは、素地調整後の表面形状にばらつきがあったことを意味する。また、素地調整の不均一さにより、CFRP 板が局所的に剥離を起こしてしまうケースもみられた。SF30DS シリーズに関しては、すべての供試体で CFRP 板が早く剥離を起こしていることから、今回の処理条件では十分な接着強度を得られなかった。しかし、ブラストと酸性溶液を用いた素地調整方法は、腐食日数が 30 日の場合でも十分な接着を行うことができ、CFRP 板の補強効果を十分に発揮できたといえる。これは、素地調整が腐食表面の微細な凹凸まで作用したからである。

4 まとめ

本研究では、CFRP-腐食鋼に対して、引張試験を実施した。その際、CFRP 板貼り付け時の素地調整方法と腐食日数を変えた場合、鋼板と CFRP 板の間の接触挙動にどのような違いが生じるか確認した。本研究で得られた結果を以下に示す。

1) CFRP 補強をすることで、降伏ひずみが大きくなった。これは素地調整による断面減少と降伏荷重の増加によって、対応するひずみが増加するからである。本研究では約 1.06 倍大きくなり、その増加率はブラストと酸性溶液は同程度となり次点でディスクサンダーという結果となった。

2) ブラストと酸性溶液は降伏応力で剥離を起こしたが、ディスクサンダーは早い段階で剥離を起こした。すなわち、ブラストと酸性溶液では腐食日数 30 日でも、十分な接着を行うことができ、CFRP 板の補強効果を十分に発揮することができた。しかし、今回の処理方法ではディスクサンダーでは、十分な接着を行うことができなかった。

参考文献

1) Muye Yang, Shigenobu Kainuma, Jiajing Xie, Weijie Liu, Yan Liu: Bond behavior between CFRP and corroded steel plate associations with surface treatments, Composites Part B, pp.110280, November 2022.

表-1 力学的性能

	降伏応力	降伏ひずみ	CFRP 剥離時応力	CFRP 剥離時ひずみ
	N/mm ²	(μ)	N/mm ²	(μ)
S0	424.1	2012	—	—
SF0	436.1	2220	440.2	1287
S15	415.3	1996	—	—
SF15AB	436.3	2151	438.4	1317
SF15DS	419.9	2093	366.9	1153
SF15AS	428.5	2186	433.2	1391
S30	430.9	2085	—	—
SF30AB	445.3	2215	451.3	1350
SF30DS	426.7	2085	243.1	586.7
SF30AS	428.2	2181	434.6	1340

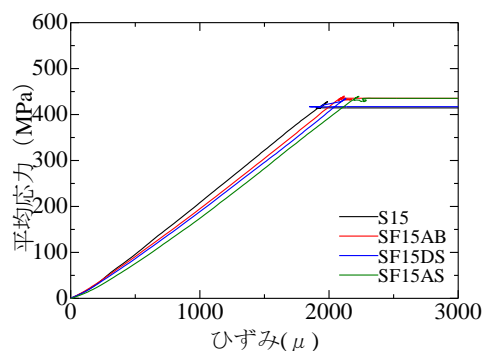


図-4 弾性域に着目した応力-ひずみ曲線