

炭素繊維強化プラスチックによる腐食鋼部材の電気防食および損傷発見に関する基礎的研究

(株)大林組 正会員 ○中井 章人 大阪市立大学大学院 正会員 北田 俊行
大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

限られた公共投資で、鋼橋の機能を長期的に維持・向上していくために、鋼部材の経済的で施工性の良好な補修・補強・長寿命化技術の確立が強く求められている。そこで、近年、炭素繊維などの軽量で高強度の繊維材料が、土木構造物の再生に用いられている¹⁾。しかしながら、炭素繊維の実鋼構造物への適用例は、十分な実験データが提示されていないこと、および、炭素による鋼材の電食の可能性が指摘されていることから、全国的に見ても、少ないのが現状である。

このような背景から、本研究では、炭素繊維強化樹脂板（以下 CFRP という）の鋼部材への適用拡大に必要となる基礎的データを提供することを目的として、小型試験片を用いた電氣的な実験を行っている。具体的には、①CFRP による鋼材の電食の可能性、②CFRP の良好な導電性に着目して CFRP を陽極材として用いる電気防食の有効性、および③CFRP の損傷箇所を電気抵抗的に探査できる可能性について検討している。

2. CFRP を用いた電気防食に関する基礎的実験

2.1 実験概要

鋼板 (50×200×1.6mm) と CFRP 板 (50×200×1.2mm) とを直流電源に接続し、2 枚の板間に定電流 (40mA) を 300 分間通電した。その間、10 分ごとに電極間電圧を計測し、腐食の様子を観察した。

実験は、供試体電極間の距離、供試体接着に用いた接着剤の種類により、大きく 4 種類、さらに、それぞれ通電条件、流電方向で分類し、表-1 に示す全 15 ケースとした。

供試体間の距離は 0, 40mm の 2 種類 (D0 および D40)、接着剤はパテ状のエポキシ樹脂と炭素粉末を混入したエポキシ樹脂 (カーボンブラック) の 2 種類 (ER および CB)、通電環境は空気中と塩化ナトリウム水溶液 (3.5%) 中の 2 種類、流電の方向は (1) 通電しない、(2) 腐食促進方向に流電する、

および (3) 腐食抑制方向に流電するの 3 種類を設定した (表-1 および図-1 参照)。

表-1 実験の内訳

実験名	通電条件	電流方向
D40	NaCl 溶液中 (L)	(1) 電源不使用
		(2) 腐食促進方向
		(3) 腐食抑制方向
ER	NaCl 溶液中 (L)	(1) 電源不使用
		(2) 腐食促進方向
		(3) 腐食抑制方向
CB	NaCl 溶液中 (L)	(1) 電源不使用
		(2) 腐食促進方向
		(3) 腐食抑制方向
	空気中 (A)	(1) 電源不使用
		(2) 腐食促進方向
		(3) 腐食抑制方向
D0	空気中 (A)	(1) 電源不使用
		(2) 腐食促進方向
		(3) 腐食抑制方向

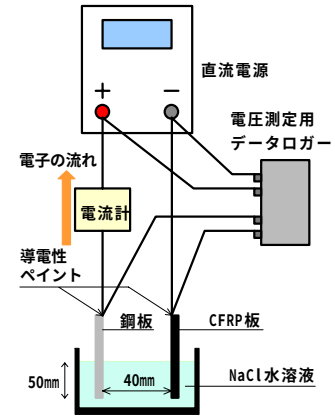


図-1 供試体間の設置条件

2.2 実験結果

供試体間の距離が 40mm、塩化ナトリウム水溶液中で、通電しないもの (D40-L-1)、腐食促進方向に電流を流したものの (D40-L-2)、および腐食抑制方向に電流を流したものの (D40-L-3) の実験結果を、図-2 に示す。

D40-L-1 は、時間が経過すると電圧・電流ともに増加し、やがて一定となる。D40-L-2 は、時間の経過とともに電圧が減少し、やがて一定となる。このことから、時間の経過とともに電気が流れやすくなり、鋼板と CFRP 板とが、水分を介して接触する場合には、鋼板の電食の可能性が認められる。D40-L-3 の電圧は、時間が経過しても大きな変化がなく、腐食を抑制する方向に電流を流すことにより、鋼板の腐食を防止できる電気防食の効果が認められる。

供試体をパテ状のエポキシ樹脂で接着し、塩化ナトリウム水溶液中で実験を行った場合 (ER-L-1~3) でも、

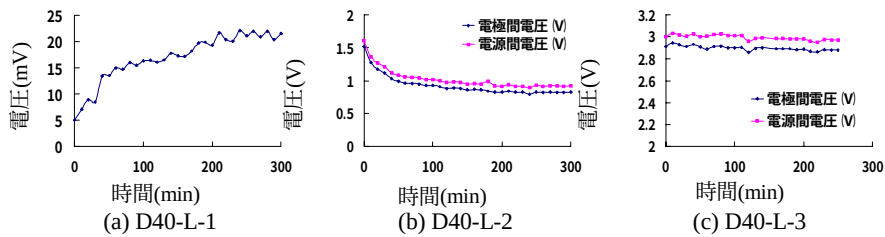


図-2 電流・電圧-時間関係 (D-40)

D40-L-1~3 とほぼ同様の傾向であった。

キーワード：CFRP、電気防食、補強・補修、損傷検出

連絡先：〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 橋梁工学分野 TEL：06-6605-2765

空气中で実験を行った D0-A-1～3 では、腐食は発生せず、D40-L-1～3 と比較すると、水分の有無が腐食の進行に著しく影響を与えていることがわかった。

通電前・後で、それぞれの鋼板の質量を計測し、その差を腐食量とし、それを鋼板の面積で除したものを単位面積腐食量C (mg/mm²) と定義した。各実験の単位面積腐食量Cを表-2 に示す。D40-Lシリーズの単位面積腐食量Cを比較すると、腐食を抑制する方向に電流を流したD40-L-3が、D40-L-1の約2分の1、D40-L-2の約9分の1となり、防食効果が確認できた。そのほか、ER-Lシリーズで、ER-L-3が、ER-L-1の約3分の1、ER-L-2の約8分の1程度となり、同じく、防食効果が確認できる。

3. 電氣的損傷発見実験

3.1 実験概要

本実験では、CFRP に与える損傷およびリード線の貼付位置を変化させてリード線間の抵抗を計測した。図-3には、リード線貼付位置に着目した供試体の内訳を示す。実験では、いずれの供試体も長さ 200mm、板幅 50mm、および板厚 1.2mm の高強度 CFRP を用い、市販されているリード線を用いた。

リード線の貼付位置は、(a)炭素繊維の繊維方向と直角になる向きで CFRP 側面に貼付したもの、(b)炭素繊維の繊維方向と平行で CFRP の面上中央に貼付したもの、(c)炭素繊維の繊維方向と平行で CFRP 面上端から 12.5mm で斜向かいに貼付したもの、(d)炭素繊維の繊維方向と平行で CFRP 面上端から 5mm で斜向かいに貼付したもの、および(e)炭素繊維の繊維方向と平行で CFRP 側面に貼付したものの計 5 ケースである。

なお、CFRP とリード線の接着には導電性を有する銀ペーストを使用し、リード線の貼付長さは 50mm とした。

計測は、貼付したリード線にテスターを接続し、き裂損傷長さが 0、12.5、25、37.5mm となるときに CFRP 間の抵抗値を計測した。



図-3 リード線貼付位置に着目した供試体内訳

表-2 単位面積腐食量の比較

実験名	C (mg/mm ²)
D40-L-1	0.0283
D40-L-2	0.1226
D40-L-3	0.0143
ER-L-1	0.0372
ER-L-2	0.0836
ER-L-3	0.0110
CB-L-1	0.0001
CB-L-2	0.0003
CB-L-3	0.0003
CB-A-1	0.0004
CB-A-2	0.0056
CB-A-3	0.0003
D0-A-1	0.0000
D0-A-2	0.0000
D0-A-3	0.0000

3.2 実験結果

図-4には、リード線の貼付位置の違いに着目した場合の抵抗値と損傷長さの関係を示す。

繊維方向と直角にリード線を貼付した(a)は、損傷の有無に関わらず抵抗値に変化は見られなかった。繊維方向に平行で CFRP 面上にリード線を貼付した(b)および(c)は、どちらか一方のリード線を跨ぐように損傷を与えるとき裂損傷長さに比例して抵抗値が上昇する。(d)についても CFRP 面上にリード線を貼付しているので、同様の傾向が現れるはずであるが、計測を行ったき裂損傷の長さが 12.5mm であり、リード線貼付位置の 5mm を超えているため、現れないと考えられる。(d)および(e)は、抵抗値が亀裂損傷長さに比例して上昇する。

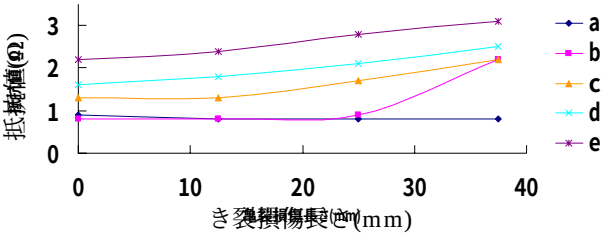


図-4 リード線間における抵抗値-損傷長さ関係

4. まとめ

本研究では、CFRP の鋼部材への適用拡大に必要な基礎的データを提供するために種々の実験を行った。その結果、以下のような知見を得た。

- 1) CFRP 試験片を用いた電氣的な実験の結果から、試験片周辺の水分（塩化ナトリウム溶液）の有無が、腐食の発生あるいは程度に著しい影響を及ぼすことがわかった。また、水分を介して鋼材と CFRP が接触しているときは、CFRP を陽極材として用いる電気防食法の適用が有効であることがわかった。
- 2) CFRP に擬似的に損傷を与えた実験の結果から、CFRP が何らかの要因によりき裂・損傷した場合に、炭素繊維の抵抗値の変化により、CFRP の損傷箇所発見が十分可能であることがわかった。より簡易的な損傷発見方法として、リード線を用いずとも板幅方向にテスターを移動させることにより損傷箇所あるいは亀裂損傷長さを特定できる可能性があることがわかった。
- 3) 鋼部材には、局所的な腐食が発生する可能性が高いと予想できることから、厳しい局所的な腐食環境下で電気防食実験を引き続き行う必要がある。

参考文献

1) 例えば、コンクリートライブラリー101，連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補強指針，土木学会，2000.3