

京都大学大学院 学生員 ○福永 千紘 東レ（株） 非会員 藤田 憲治
 京都大学大学院 正会員 北根 安雄 京都大学大学院 正会員 松本 理佐
 東レ（株） 非会員 宮川 裕司 京都大学大学院 正会員 五井 良直

1. はじめに

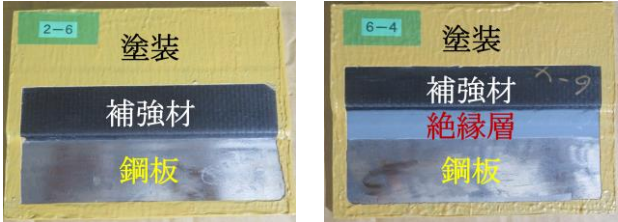
鋼構造物の補強補修方法の一つとして、炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP）の接着補修が適用され始めている。CFRP は軽量かつ高強度で、耐食性に優れるという特長を持つが、CFRP 中の炭素繊維は導電性があり、CFRP 接着鋼材のガルバニック腐食が懸念されている。特に、CFRP 接着鋼材の海水中の腐食に関しては基礎的な研究例が少なく、船体部構造部材に CFRP 接着補修を適用するような場合において、補修後の船体部構造が実際に海水に曝された際の、長期腐食特性については詳しく明らかにされていない。以上のことから、本研究では CFRP を接着した鋼材の海水における腐食特性について実験的に評価する。

2. 実験方法

2.1. 試験体

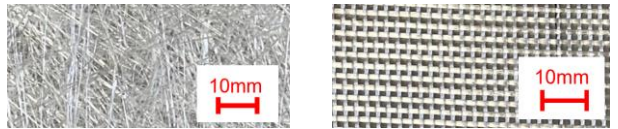
試験体は鋼材に、補強材を接着した構造を基本とした。試験体は全部で7種類あり、補強材の種類（GFRP または CFRP）、絶縁層の有無および種類、塗装方法（暴露部の有無）をパラメータとしている。表-1 に試験体の種類をまとめた。また、代表的な試験体の外観を図-1 に示す。

鋼材は、すべて SM490A を用いた。補強材は、Type2 ～7 には CFRP を使用し、Type1 には導電性のない GFRP を使用した。これは、Type1 と他の Type の腐食を比較することで、鋼材の腐食を、海水による自然腐食とガルバニック腐食に切り分けることを目的とし



(a)絶縁層なし (b)絶縁層あり

図-1 試験体外観



(a)GF マット (b)GF クロス

図-2 GF クロスと GF マット

ている。FRP は真空含浸工法（VaRTM）を応用して成形した。Type1, 2 は絶縁層無しで、鋼材と補強材を直接貼り付けた。Type3 は、プライマー（エポキシ樹脂系接着剤）を絶縁層に用いた。Type4, 5 はそれぞれ、図-2 に示す GF クロス、GF マットというガラス繊維を用いた GFRP 層の絶縁層とした。Type6, 7 は、プライマーと GF マットを用いた GFRP 層の2層構造の絶縁層とした。塗装は、Type1～6 は鋼材と補強材の海水暴露面積を一定にし、暴露部以外に塗装を施し、Type7 は塗装効果確認のため全面塗装を施した。

試験体は、各 Type につき8体ずつ用意し、そのうち4体は、3か月毎に試験体を切断し、断面の直接観察を行う破壊検査用とした。残り4体のうち2体には、

表-1 試験体の種類

Type	1	2	3	4	5	6	7
鋼材	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A
補強材	GFRP	CFRP	CFRP	CFRP	CFRP	CFRP	CFRP
絶縁層	無し	無し	プライマー	GF マットの GFRP 層	GF クロスの GFRP 層	プライマー + GF マットの GFRP 層	プライマー + GF マットの GFRP 層
塗装	暴露部有	暴露部有	暴露部有	暴露部有	暴露部有	暴露部有	全面塗装

鋼材と CFRP の間に電位差計を取り付けた。

2.2. 浸漬試験

図-3 のように試験体を水槽に並べ、5%NaClaq に浸漬した。水分の蒸発、錆汁の影響および溶存酸素濃度を考慮して週に1度塩水を交換した。浸漬試験期間中は、塩水の水温と、鋼材/CFRP 間の電位差を毎時記録した。また、溶存酸素量が低下しないようエアストーンを設置し、週2回溶存酸素濃度を測定して、腐食に十分な濃度であることを確認した。

2.3. 破壊検査と減肉量測定

3 か月に1回、各 Type の試験体1体を図-4 のように切断し、図-5 のように各切断面を画像化した。CFRP 端部付近の腐食を中心に、切断面を観察するとともに、腐食を受けた鋼材暴露部の減肉量を、画像上の長さを測ることによって測定した。

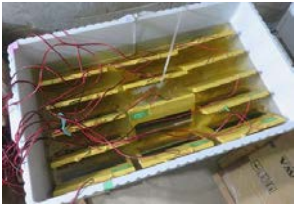


図-3 浸漬試験の様子

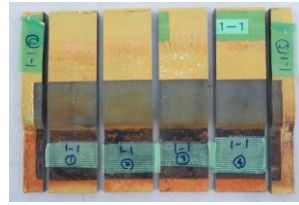


図-4 切断した試験体



図-5 試験体切断面画像

3. 実験結果

浸漬試験開始から6か月経過時点までの結果を示す。

3.1. 鋼材/CFRP 間の電位差測定結果

鋼材/CFRP 間の電位差測定値について、6 か月間の平均値を図-6 に示す。絶縁層にプライマーを用いている Type3 および Type6 は、どちらも 0.6V 付近の高い電位差となっている。参照電極を用いた事前の計測によって、今回使用した CFRP 試験片と鋼材試験片の 5%NaClaq 中における標準電極電位の差は 0.47V だったことから、この電位差の結果は Type3 と Type6 の絶

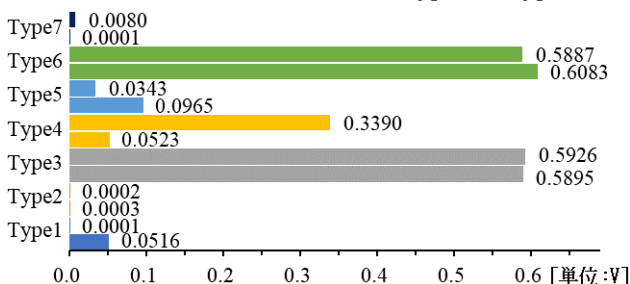


図-6 鋼材/CFRP 間の電位差測定値 (6 か月平均)

縁層の絶縁効果を支持するものである。

3.2. 減肉量測定結果

浸漬試験開始から3か月経過時点と6か月経過時点の破壊検査から得られた、減肉量測定結果を図-7 に示す。まず、3 か月後の結果について、最も減肉量が大きいのは Type2 だった。T 検定を行うと、Type2 の減肉量は Type1 より有意に大きいことと、Type3, Type4 および Type6 はその減肉量が Type2 に比べて有意に小さい結果となった。この結果は、絶縁層無しの Type2 がガルバニック腐食による腐食進展を受けたことと、プライマー、GF マットの GFRP 層、およびこれらの2層構造の絶縁層は一定の絶縁効果があることを示唆している。

6 か月後の結果については、全 Type で3か月後よりも減肉量が大きくなったが、3 か月後と異なり、最も減肉量が大きいのは Type3 だった。T 検定を行うと、Type3 の減肉量は Type2 とは有意差がなかったが、Type1 とは有意差があり、プライマーの絶縁層があるにも関わらず、ガルバニック腐食による腐食進展が生じた可能性がある。Type3 について、3 か月後と6か月後で異なる結果が得られた原因は現時点で明らかでない。

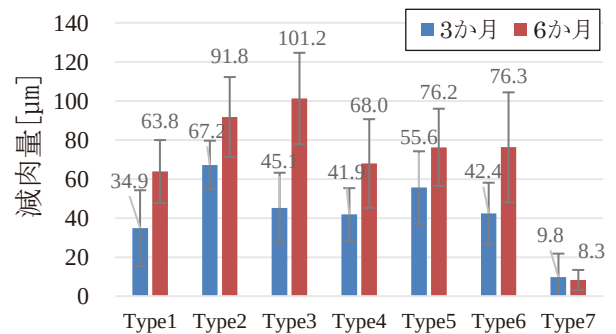


図-7 減肉量測定結果

4. まとめ

CFRP を接着した鋼材の海水中における腐食特性について実験的に評価することを目的に、CFRP を VaRTM 成形によって鋼材に貼り付けた CFRP 接着鋼板試験体を、絶縁層の種類等を変えて7種類作成し、海水を模した塩水に浸漬させた。絶縁層のない試験体でガルバニック腐食による腐食進展が生じ、プライマー、GF マットの GFRP 層、およびこれらの2層構造の絶縁層は絶縁効果が確認されたが、6 か月後の結果では、プライマーを絶縁層に用いた試験体において大きな減肉も確認された。