

水中 FRP 接着補修による断面欠損鋼板の性能回復効果に与える接着不良の影響に関する実験的研究

名古屋大学大学院 正会員 ○北根 安雄
名古屋大学 鞍馬 敦士

名古屋大学大学院 学生会員 Xiao Chen
名古屋大学大学院 フェロー会員 伊藤 義人

1. 研究目的

海岸・海洋鋼構造物の維持管理において、腐食損傷した構造物の合理的な補修方法の確立は、非常に重要な課題の一つである。海洋環境下で腐食した鋼構造部材の一般的な補修方法としては、鉄筋コンクリート被覆や水中溶接による鋼板添接補修などがあげられるが、軽量性や耐食性などの材料的特性を持つ繊維強化プラスチック (FRP) を利用した補修方法も近年検討されており、ドライな環境を準備する必要のない、水中での接着補修を検討した例もある¹⁾。

本研究では、文献 1)と同様に、CFRP スtrandシートを使用し、水中硬化型のエポキシ樹脂を用いて水中で CFRP を腐食減肉部に接着する補修方法に着目する。水中での接着作業という環境条件に加え、今回使用した水中硬化型エポキシ樹脂は、鋼管杭等に塗布した際に流れ落ちないように粘度が高いこともあり、CFRP スtrandシート接着時に接着不良が起きやすい条件となっている。接着不良が CFRP 板接着補修の性能回復効果に与える影響は、これまでに解析的に検討してきた²⁾が、本研究では、実験的にその影響を明らかにすることを目的とする。

一様に断面欠損した鋼板に水中で CFRP の接着補修を行い、2 種類の接着不良の位置を考慮して、その補修鋼板の引張および圧縮荷重下の力学特性を実験的に明らかにする。CFRP スtrandシートは、1 方向補強材であり、その特徴が接着補修鋼板の圧縮耐荷力特性に与える影響を明らかにするため、引張だけでなく圧縮実験も行った。

2. 実験条件

使用した実験供試体の寸法を図-1 に示す。供試体鋼板には $50 \times 440 \times 19\text{mm}$ の SM490A を使用し、断面欠損部の半長さは 20mm 、片側減肉量 t_d は 2mm 、CFRP 補修部の片側長さは 120mm である。CFRP スtrandシートには高弾性型の繊維目付量 900g/m^2 のシートを、接着材として水中硬化型エポキシ樹脂を使用

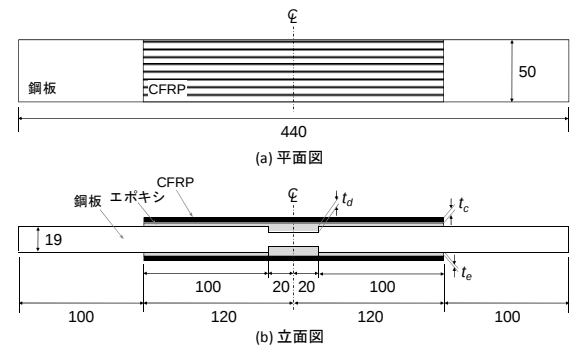


図-1 実験供試体 (単位 mm)

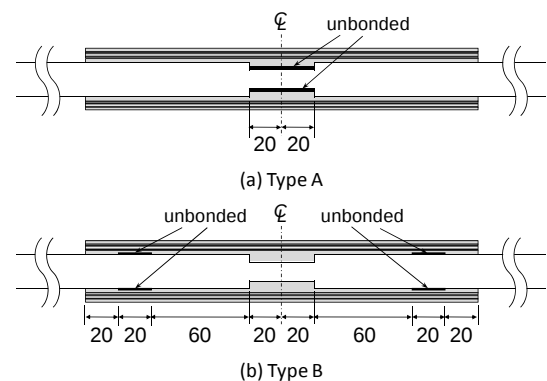


図-2 接着不良の種類 (単位 mm)

表-1 供試体一覧

Name	CFRP repair	Loading direction	Defect type	# of specimens
L0T	No	Tension	None	2
L0C	No	Compression	None	2
L1TA	Yes	Tension	A	4
L1CA	Yes	Compression	A	4
L1TB	Yes	Tension	B	4
L1CB	Yes	Compression	B	4

した。接着不良としては、図-2 に示すように、断面欠損部全体が未接着のものと、接着端より 20mm の位置から 20mm 幅で供試体幅全体が未接着ものの 2 種類を考慮した。実験供試体の一覧を表-1 に示す。

鋼板 (SM490A) の 3 本の材料引張試験の結果から、ヤング率は 211GPa 、降伏応力が 343MPa 、引張強度が 498MPa を得た。

CFRP スtrandシートのメーカーカタログ値は、弾性率 640GPa 、引張強度 $1,900\text{MPa}$ で、1 層の設計厚さは 0.429mm である。Strandシート 1 層の実際の厚さ t_c は約 1.5mm である。単純に完全合成断面

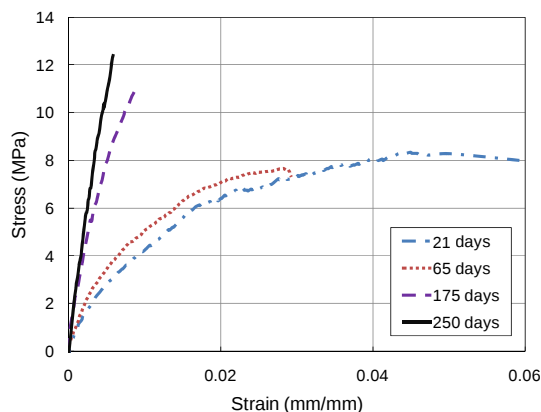


図-3 エポキシ樹脂の応力-ひずみ関係

を仮定した場合、2mm の鋼材減肉量を補うのに必要な CFRP シート層数は 1.5 層と計算される。

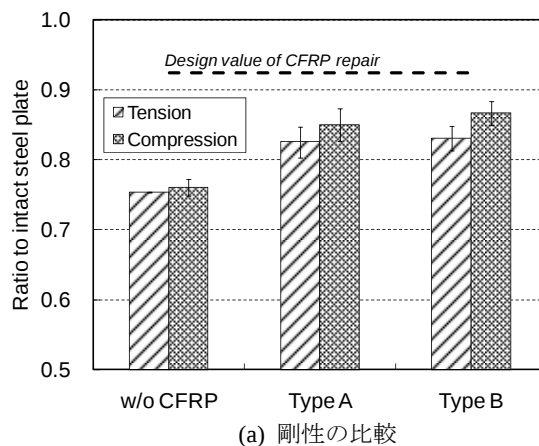
エポキシ樹脂の引張試験には、JIS K 7113 1 号試験片を使用し、養生日数が 21 日、65 日、175 日、250 日で試験を実施した。エポキシ樹脂は水中で 2 日間養生した後、その後は気中で養生した。得られた代表的な応力-ひずみ曲線を図-3 に示す。図からわかるように、弾性率と強度ともに、養生日数の影響を強く受けている。本研究の補修鋼板供試体の実験は、CFRP 接着後、116 日から 146 日の間で行われており、エポキシ樹脂の弾性率は、1.3GPa から 1.6GPa 程度であったと推測できる。

補修鋼板の載荷実験は、MTS 材料試験機（最大荷重 500kN）を使用して、供試体の両端に荷重を与え、CFRP ストランドシートがはく離または破壊するまで単調載荷を行った。

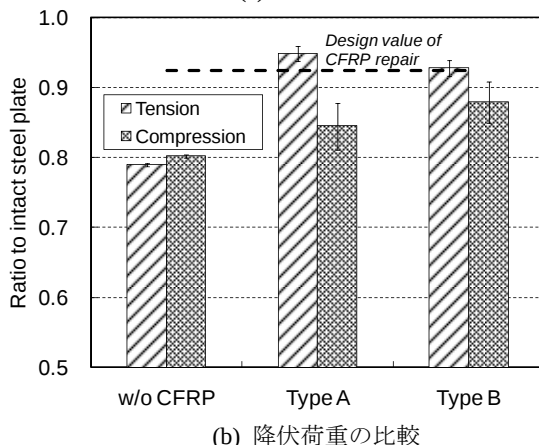
3. 実験結果

実験で得られた供試体の破壊モードは、引張載荷の供試体では、接着不良の位置にかかわらず、断面欠損部で鋼板が降伏した後、CFRP がはく離または破断する結果となった。また、圧縮載荷の場合は、断面欠損部で CFRP が座屈し、その後鋼板が降伏する結果となった。CFRP の座屈は、接着不良の位置に関係なく発生していることから、Type B の場合の断面欠損部での厚いエポキシ樹脂は CFRP に座屈抑制にはあまり寄与していないことがわかる。

次に実験で得られた引張剛性（=荷重／ひずみ）と降伏荷重を無欠損鋼板を基準にして比較したものを図-4 に示す。引張剛性は、降伏荷重の 70%の荷重までの割線剛性として算出し、降伏荷重については 0.2%オフセット荷重とした。補修鋼板の引張剛性お



(a) 剛性の比較



(b) 降伏荷重の比較

図-4 剛性および降伏荷重の比較

よび降伏荷重は、完全合成断面を仮定した設計値までは回復していないが、無補修欠損鋼板よりも高くなっており補修効果は認められる。また、今回検討した 2 種類の接着不良では、剛性および降伏荷重で大きな差は見られなかった。これは、Type B での接着不良の位置が、端部から 20mm 離れており、端部でのせん断応力の増加にあまり影響を与えなかったことが考えられる。また、降伏荷重については、引張よりも圧縮載荷の方が小さくなっており、CFRP の座屈の影響がみられる。

4. まとめ

本研究で検討した 2 種類の接着不良では、位置による大きな差は見られなかった。接着不良が Type B に比べてさらに端部に近い場合、その影響が大きくなることが推測される。また、圧縮載荷では CFRP の座屈が早期に発生する可能性が実験から示された。

参考文献

- 1) 立石晶洋, 横田弘, 岩波光保, 加藤絵万, 小林朗, 戴建国 (2010): 水中施工の可能な FRP を用いた港湾鋼構造物の補強実験, 構造工学論文集, Vol. 56A, pp. 644-655.
- 2) 石川敏之, 北根安雄 (2011): 接着不良が CFRP 板接着鋼板のはく離せん断応力に与える影響, 構造工学論文集, Vol. 57A, pp. 1034-1041.