

水中 FRP 接着補修による断面欠損鋼板の性能回復効果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

現在、腐食損傷した海岸・海洋鋼構造物の合理的な補修方法の確立が強く望まれている。海洋環境下の腐食した鋼構造部材の補修方法としては、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現在頻繁に行われている。特に湿式水中溶接による鋼板添接補修は、補修部をドライな環境にする必要がなく、経済的な補修方法の一つである。鋼板溶接された鋼管杭補修部の防食方法としては、補修部にペトロラタムテープを巻き、その上から繊維強化プラスチック (FRP) カバーを取り付ける方法が一般的に用いられている。本研究では、FRP をカバー材として使用するのではなく、耐食性のある FRP 材料を、構造材料として腐食減肉部分に接着し補修を行うことを考える。FRP 材料の中でも炭素繊維を用いた CFRP 材料により腐食減肉部の補修を補修する試みは近年多数行われており(例えば¹⁾、海洋環境下での水中接着補修を検討した研究結果も報告²⁾がある。

本研究では、文献²⁾と同様に、CFRP スtrandシートを使用し、水中で CFRP を腐食減肉部に接着する補修方法に着目する。水中接着補修の可能性を探るため、一様に断面欠損した鋼板に水中で CFRP の接着補修を行い、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 50×440×19mm の SM490A を使用し、断面欠損部の半長さは 20mm、片側減肉量は 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/m² 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した。実験供試体の一覧を表-1に示す。

鋼板およびエポキシ樹脂の材料引張試験結果を表

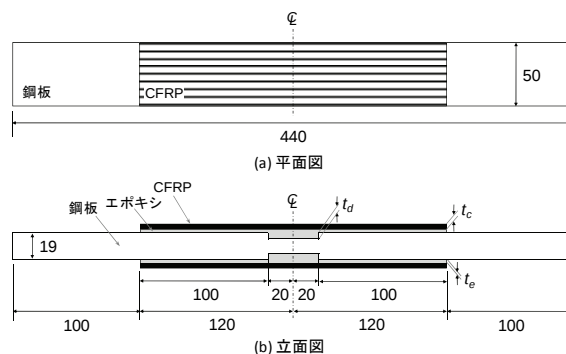


図-1 実験供試体 (単位 mm)

表-1 供試体一覧

供試体名	片側 CFRP シート層数	载荷方向	供試体数
L20T	0	引張	2
L20C	0	圧縮	2
L21T	1	引張	4
L21C	1	圧縮	4

表-2 鋼板・エポキシ材料試験結果

鋼材 SM490A	弾性率 (GPa)	ポアソン比	降伏応力 (MPa)	引張強度 (MPa)	破断伸び (%)
	211	0.28	343	498	30
水中硬化型エポキシ樹脂	初期弾性率 (MPa)	ポアソン比		引張強度 (MPa)	
	509	0.36		7.98	

図-2に示す。鋼板には JIS Z 2201 1A 号試験片を、エポキシ樹脂には JIS K 7113 1 号試験片を使用した。エポキシ樹脂は水中で 2 日間養生した後、気中で約 3 週間養生した。エポキシ樹脂の弾性率および引張強度は、典型的な材料特性値(弾性率 1.5~2.0GPa、引張強度 10~30MPa)に比べてかなり小さくなった。これは、今回使用した樹脂が高粘度であり、試験片中に小さな気泡が閉じ込められたことや養生が十分でなかったことが原因であると予想される。

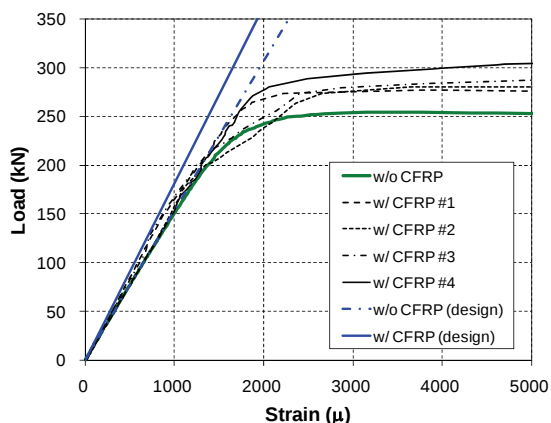
CFRP スtrandシートのメーカーカタログ値は、弾性率 640GPa、引張強度 1,900MPa で、1 層の設計厚さは 0.429mm である。Strandシート 1 層の実際の厚さは約 1.5mm である。単純に完全合成断面を仮定した場合、2mm の鋼材減肉量を補うのに必要な CFRP シート層数は 1.5 層となる。

MTS 材料試験機（最大荷重 500kN）を使用して、供試体の両端に引張荷重を与え、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。

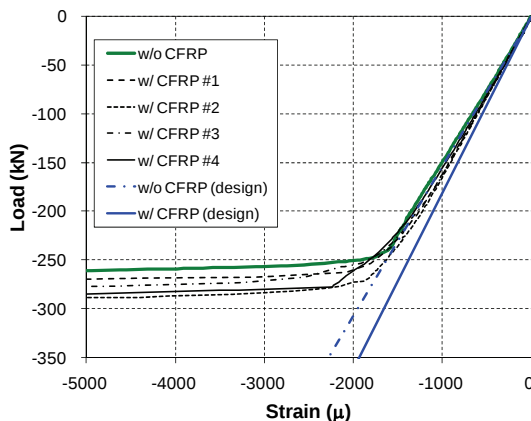
3. 実験結果

図-2に実験で得られた荷重と減肉部での鋼材ひずみ関係を示す。CFRP 補修なしの供試体は緑の実線で、補修された供試体 4 体を点線、破線、1 点鎖線、実線で示している。また図には、CFRP 補修なしの場合の弾性挙動の理論値を青の 1 点鎖線、CFRP 補修の供試体で鋼板と CFRP との完全合成断面を仮定した場合の弾性挙動を青の実線で示している。引張供試体では、断面欠損部で鋼板が降伏後、接着端部の CFRP が鋼板からはく離する崩壊モードとなった。圧縮供試体では、断面欠損部で鋼板が降伏後、座屈が開始し、引張側の CFRP が接着端部ではく離、圧縮側の CFRP が断面欠損部で圧縮破壊する崩壊モードであった。

実験で得られた引張剛性（＝荷重／ひずみ）と降伏荷重を完全合成断面を仮定した設計値を基準にして比較したものを図-3に示す。引張剛性は、無欠損鋼板降伏荷重の 60%の荷重（＝190kN）までの割線剛性



(a) 引張荷重



(b) 圧縮荷重

図-2 荷重－鋼ひずみ関係

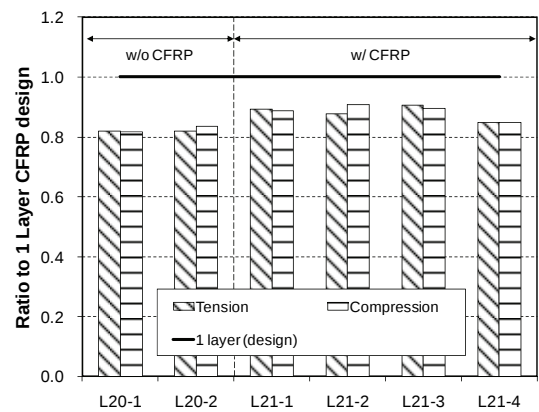
として算出し、降伏荷重については 0.2% オフセット荷重とした。補修鋼板の引張剛性および降伏荷重は、無補修欠損鋼板よりも高くなっており補修効果が認められるが、降伏荷重については、実験値が設計値の 95%程度となっているのに対し、剛性の実験値は設計値の 88%程度の値までしか回復しなかった。今回の実験では、引張と圧縮荷重で剛性・降伏荷重ともに大きな差は見られなかった。

4. まとめ

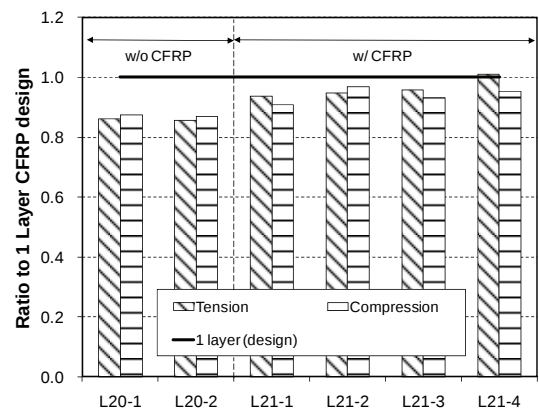
本研究では、水中 CFRP 接着補修した断面欠損鋼板の引張および圧縮荷重下の力学特性を実験的に検討した。補修された断面欠損鋼板は、補修なしの鋼板に比べて剛性および降伏荷重は高くなり、補修効果が見られた。ただし、降伏荷重については設計値に近い値までの補修効果があったが、剛性については、今回の実験では設計値まで回復しなかった。

参考文献

- 1) 杉浦江, 小林朗, 稲葉尚文, 本間淳史, 大垣賀津雄, 長井正嗣 (2009): 鋼部材腐食損傷部の炭素繊維シートによる補修技術に関する設計・施工法の提案, 土木学会論文集 F, Vol. 65, No. 1, pp. 116-118.
- 2) 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.



(a) 剛性の比較



(b) 降伏荷重の比較

図-3 剛性および降伏荷重の比較