

CFRP 板により補修された鋼部材の疲労試験

ハルテック 正会員 山内 隆
 東京都立大学 正会員 中村一史*
 東京都立大学 フェロー 前田研一
 明星大学 正会員 鈴木博之

1. はじめに

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)板は、高強度であり、耐食性に優れた特徴を有し、鋼に対する比重が 1/5 程度と軽量であるため補修材料として期待されているが¹⁾、鋼構造の分野では十分なデータがないのが現状である。本研究では、CFRP 板を亀裂損傷を受けた鋼部材の補修材料として適用することを想定し、これまでの基礎的検討²⁾を踏まえ、CFRP 板を貼付した試験片の静的引張試験、疲労試験、及び弾塑性 FEM 解析により、鋼板の終局強度に及ぼす影響、CFRP 板の剥離荷重および疲労寿命の改善効果を明らかにする。

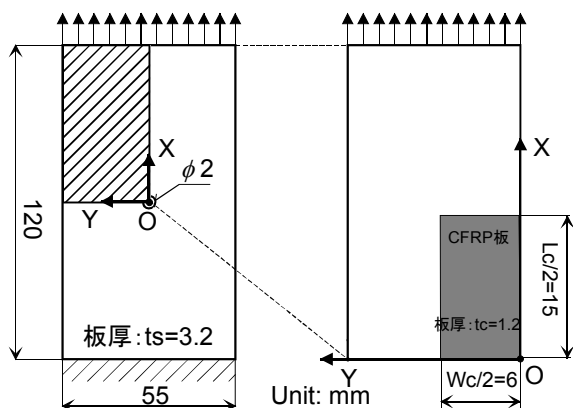
2. 試験片形状と解析モデル

応力集中を模擬する基本的なモデルとして、図-1 に示すような中央部に直径 $\phi 2\text{mm}$ の円孔を有する鋼板(SS400)を取り上げ、その中央部に CFRP 板を両面に貼付した。CFRP 板は繊維方向に卓越した材料特性を有する異方性材料であり、その繊維の方向を引張方向とした。CFRP 板の貼付には、エポキシ樹脂系接着剤を使用し、常温で3日以上養生したものを試験片とした。また、各部材の寸法と材料特性を表-1 に示す。境界条件については図-1 に併記したように、下側を拘束し、上側に様な引張荷重を载荷するものとした。

数値解析には汎用有限要素解析プログラム MARC 2001 を適用し、解析モデルは試験片の対称性を利用して試験片の 1/4 部分を解析対象とした。解析モデルの円孔付近の要素分割図を図-2 に示す。また、弾塑性 FEM 解析については図-3 に示すように鋼板の σ - ϵ 関係をバイリニア型でモデル化した。ここでは、応力集中部に分布する応力とひずみのうち、円孔切り欠き部の板厚方向(図-2 の PQ 方向)、板幅方向(図-2 の ST 方向)に着目した。

表-1 各部材の寸法と材料特性

鋼板(Ws55×Ls120×ts3.2mm)		
ヤング係数(GPa)	Es	204
ポアソン比	vs	0.3
CFRP板(Wc12×Lc30×tc1.2mm)		
ヤング係数(GPa)	Ecx	155
	Ecy	8
	Ecz	8
せん断弾性係数(GPa)	Gxy	5.2
	Gyz	4
	Gzx	5.2
ポアソン比	vcxy	0.34
	vcyz	0.005
	vczx	0.005
接着剤(Wb12×Lb30×tb0.2mm)		
ヤング係数(GPa)	Eb	4
ポアソン比	vb	0.3



(a)円孔を有する鋼板 (b)1/4 拡大図(CFRP 板貼付)

図-1 試験片形状

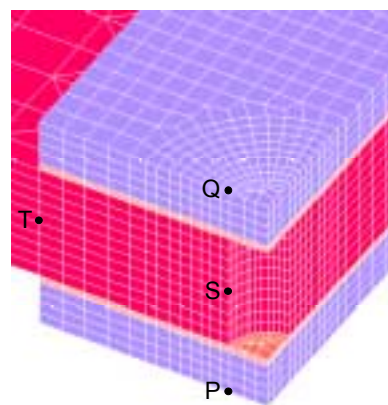
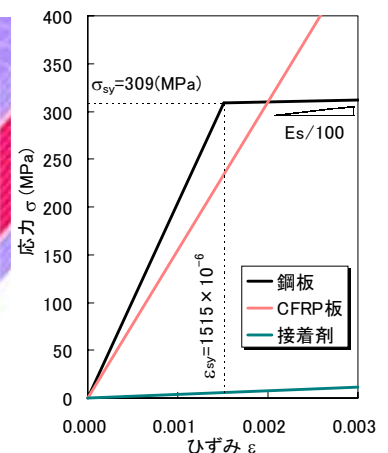


図-2 円孔部の要素分割図

図-3 各材料の σ - ϵ 関係

3. 静的引張試験結果

CFRP 板の貼付の有無による試験片を対象に破断まで荷重を载荷させ、引張試験を行った結果として、公称引張応力とひずみの関係を図-4 に示す。各ひずみの値は図中に示した位置のひずみゲージによる値であり、弾塑性 FEM 解析結果による値も併記して示す。破断強度は CFRP 板を貼付しない場合 448.3MPa, CFRP 板を貼付した場合 447.7MPa であったことから、CFRP 板を貼付しても終局強度には影響しないことが解った。これは鋼板の全断面が降伏応力に達するあたりで CFRP 板の剥離が生じたためである。なお、CFRP 板の剥離は鋼板と接着剤の間で生じた。また、解析結果は全断面が降伏に至るまで実験結果の傾向を良く表しているが、降伏に至る過程で両結果で差異を生じている。これは局所的な接着剤の剥離によるものと考えられる。

Key Words : CFRP 板, 補修, 応力集中, 疲労亀裂

連絡先* : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 0426-77-1111 FAX. 0426-77-2772

4. 疲労試験結果

CFRP 板の有無による試験片を対象に CFRP 板の完全剥離を生じない応力範囲 $\Delta\sigma_n=127\sim255(\text{MPa})$ において $R=0.02$ として疲労試験を行った。その結果を図-5 に示す。まず、CFRP 板を貼付しない試験片 16 体による疲労試験結果より、図に示した S-N 関係が得られ、疲労限は 165MPa 程度であることが解る。また、CFRP 板を貼付した試験片 7 体による疲労試験結果から、本実験で対象とした応力範囲では CFRP 板を貼付しない場合に比べて疲労寿命がほぼ 2 倍まで高められること、および、その疲労限の応力も約 10%上昇することが解る。

5. 弾塑性 FEM 解析結果

CFRP 板貼付による円孔付近の応力とひずみの分布を弾塑性 FEM 解析により検討した。解析結果の一部として、応力集中部も弾性範囲内である公称引張応力 $\sigma_n=100(\text{MPa})$ 下での板厚方向 PQ に生じる引張応力分布を図-6 に示す。CFRP 板の貼付により、鋼板中央部の応力を約 24%低減する効果のあることが解る。

次に、公称引張応力 $\sigma_n=210(\text{MPa})$ 下での CFRP 板貼付の有無による板幅方向 ST のひずみ分布を図-7 に示す。CFRP 板の貼付により、塑性領域のひずみを最大で約 36%低減できることが解る。また、CFRP 板を貼付した範囲では、図中に併記した公称引張応力 $\sigma_n=170(\text{MPa})$ 下での CFRP 板を貼付しない場合と同程度のひずみ分布となっていることが解る。

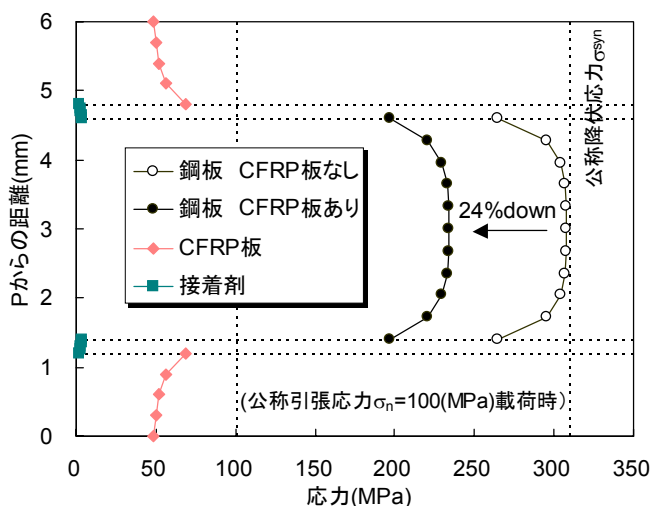


図-6 板厚方向 PQ の応力分布

6. あとがき

以上のことから、鋼板の弾性範囲内では CFRP 板の貼付により応力集中部の応力を約 24%低減できるが、鋼板の降伏以降はその剥離により終局強度には影響しないことが解った。また、疲労試験結果から、疲労寿命を約 2 倍まで延命化でき、疲労限の応力を約 10%高められることが解った。これは、CFRP 板の貼付により応力集中部のひずみの抑制効果によるものと考えられた。

最後に、本実験の際、試験片をご提供いただいた株式会社 東京鐵骨橋梁の入部孝夫 氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木・永崎・遠藤・池田：き裂を有する材の炭素繊維強化樹脂板による補修，鋼構造年次論文報告集，第 8 巻，2000.11.
- 2) 中村・山沢・前田・土肥・入部・高木・鈴木：CFRP 板による鋼部材の補修に関する基礎的研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，第 56 回，CD-ROM I-A219，2001.10.

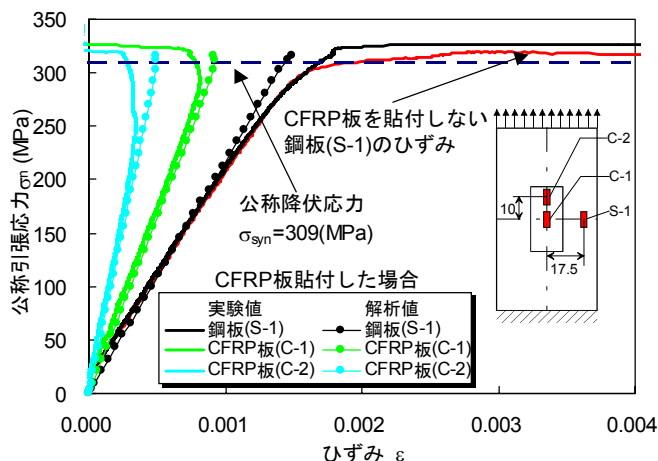


図-4 静的引張試験結果

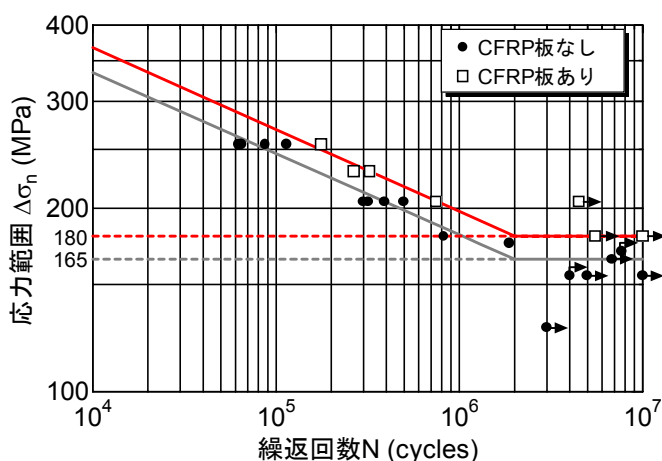


図-5 疲労試験結果

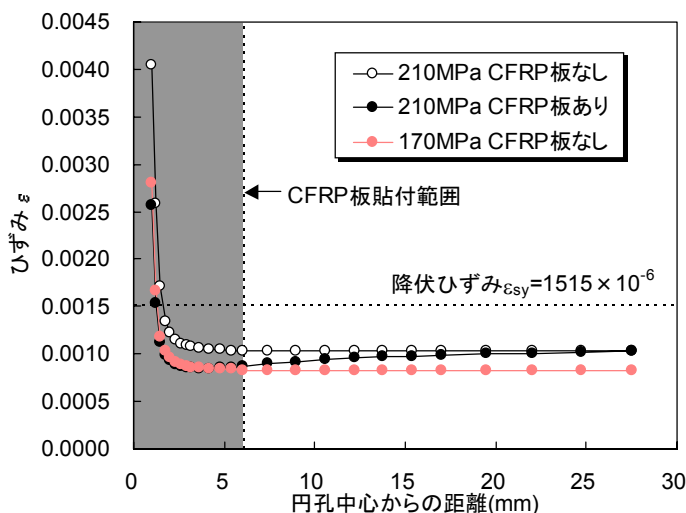


図-7 板幅方向 ST のひずみ分布