

プレテンションを導入した CFRP 板接着による疲労き裂の補修に関する実験的検討

首都大学東京大学院 学生員○伊藤寛弥
 首都大学東京 正会員 中村一史
 雲南大学 林 帆

1. はじめに

現在、我が国の橋梁の多くは老朽化が進んでおり、交通量の増大、過積載車両の通行といった影響による疲労損傷が発生している。効果的な補修工法が求められているなか、軽量で高剛性の炭素繊維強化樹脂板（以下、CFRP 板）とエポキシ樹脂接着剤を用いた補修工法が提案されている。しかし、CFRP 板接着のみでき裂補修を行った場合、十分な効果を得るためには CFRP 板の積層数が増大する。そこで、プレテンションを導入した CFRP 板を接着し、解放することで、鋼板に圧縮プレストレスを導入すれば、より効果的なき裂補修が期待できることから、軽量、コンパクトなプレストレス導入装置を開発した¹⁾。本研究では、疲労き裂に対する補修効果を疲労試験により検証した。

2. プレストレス導入装置と鋼板への圧縮応力の導入方法¹⁾

プレストレス導入装置の概念図を図-1 に示す。はじめに、プレテンションを導入した CFRP 板を鋼板の両面に接着する。硬化後に、油圧ナットを緩め、プレテンションを解放することで鋼板に圧縮応力のプレストレスを導入する。次に、導入装置の除去後、接着用鋼板に設けたボルト孔から、接着剤と繊維シートの層をボルトで押し込むとともに、端部のくさびを打ち込み、CFRP 板と接着用鋼板を分離する。この時点での圧縮応力が鋼板に導入される。

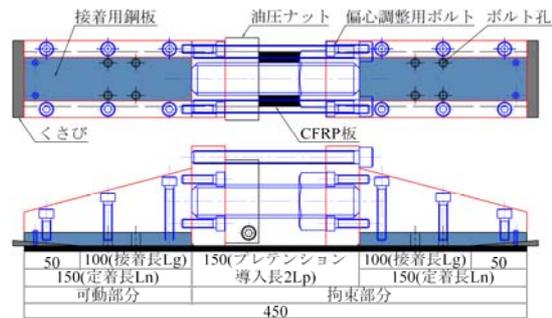


図-1 プレストレス導入装置の概念図

3. 疲労試験による補修効果の検証

3.1 実験方法

実験に用いた材料の機械的性質を表-1 に示す。試験片には、有限幅板中の中央貫通き裂 ($2a=12\text{mm}$) を有する鋼板 ($1100 \times 9 \times 100\text{mm}$) を用いる。実験シリーズは、CFRP 板を接着しない試験片 (FBN)、CFRP 板 ($450 \times 1.2 \times 50\text{mm}$) をエポキシ樹脂接着剤で接着した試験片 (FBC)、両面で 45kN 相当のプレテンションを導入した CFRP 板を接着し、接着用鋼板を除去しない試験片 (FBPS)、FBPS の状態から接着用鋼板を除去した試験片 (FBPN) の 4 種類である。図-2、図-3 に、FBPS と FBPN の試験片図をそれぞれ示す。プレテンションを導入した CFRP 板は、はく離しやすいことから、接着端部に生じる接着剤のせん断応力を低減するために 150mm の定着長を確保した。鋼板の公称応力範囲 $\Delta\sigma$ は $80 \sim 150\text{MPa}$ まで変化させた。なお、試験片名は、実験シリーズ名に応力範囲を付している。荷重速度を 10Hz 、応力比 R を 0.1 として、破断するまで疲労試験を行った。

表-1 機械的性質

	鋼板 (SM400)	CFRP 板	エポキシ樹脂接着剤
降伏点 (MPa)	305	—	—
引張強度 (MPa)	447	2808	30
破断伸び (%)	32	1.9	—
弾性係数 (GPa)	209	150	1.5

3.2 実験結果と考察

はじめに、FBPN140 における養生中のひずみの変化を図-4 に示す。養生開始時の CFRP 板中央部の 4 か所の平均ひずみは 2601×10^{-6} であり、養生中にひずみは若干減少し、養生後には 2503×10^{-6} となった。プレテンション解放により、CFRP 板のひずみは 2280×10^{-6} となり、鋼板側面の中央部の平均ひずみは 201×10^{-6} となった。図-5 に、FBPN140

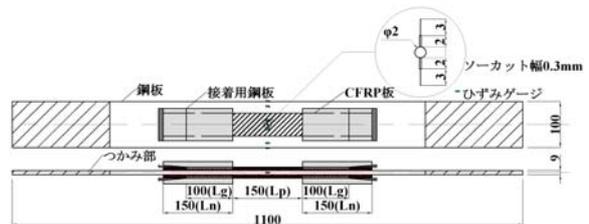


図-2 FBPS の試験片図

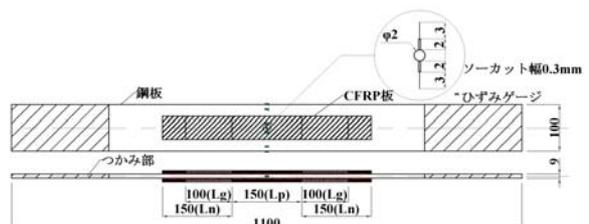


図-3 FBPN の試験片図

Key Words : CFRP 板, プレストレス導入装置, プレテンション, プレストレス, 疲労き裂
 連絡先 : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線 4564

における鋼板中央断面のプレストレス導入量を示す。プレストレスは一律に、平均で-44.8MPa 導入されていることがわかり、プレストレス導入装置や接着用鋼板を除去した過程を経てもプレストレス量には、ほとんど変化がなかった。

疲労試験結果の一部として、図-6 に S-N 線図を示す。CFRP 板接着補修を行うことで、き裂進展速度が遅くなり、疲労寿命が長くなることがわかる。また、FBPS では応力範囲 130MPa 下、FBPN では応力範囲 120MPa 下において、補修後、 10^7 回の繰返し回数に到達してもき裂の進展は確認されず、疲労限と判断された。応力範囲 130MPa では FBPS と FBPN に補修効果の差が生じたが、これは疲労限付近のばらつきによるものと考えられる。FBPS と FBPN は、応力範囲 140MPa、150MPa では、ほぼ同等の補修効果が得られることから、接着用鋼板の有無が補修効果に及ぼす影響はないといえる。

次に、プレストレス導入による効果を明確にするために、鋼板の最大応力からプレストレス導入量を差し引いた値を有効応力範囲と定義し、FBPN と FBPS の結果を図-6 に緑色のプロットで併記している。これらの結果は、FBC の回帰直線にほぼ重なることから、プレストレス導入による補修効果は、応力範囲の低下によるものと考えられる。また、本研究の範囲では、疲労限となる有効応力範囲は約 100MPa といえる。

最後に、図-7 にビーチマークの計測結果を示す。図-7 (a) は FBPN のビーチマークの一例であり、図-7 (b) は応力範囲 150MPa におけるき裂長さとの関係である。プレストレス導入によって CFRP 板のき裂の進展が抑制されることがわかる。き裂進展において、FBPN では、片側き裂 15mm を過ぎたあたりから、左右のき裂進展にばらつきが見られた。これはき裂が進展する過程におけるプレストレス導入量の偏りの発生や、CFRP 板の部分的なはく離が原因と考えている。FBPN と FBPS のき裂進展の速度の相違は、プレストレス導入量による違いであり、FBPN は、プレストレスを導入していない FBC と比べると、破断直前まで CFRP 板のはく離は生じずに、補修後の疲労寿命が大幅に増加していることがわかる。

4. まとめ

以上のことから、鋼板にプレストレスを導入することによって疲労き裂の補修効果が飛躍的に向上することが確かめられた。また、接着用鋼板の除去により外観を損なわない補修が可能であり、接着用鋼板がある場合と同等の効果が得られることがわかった。今後はき裂進展解析を行って、プレストレス導入時の疲労寿命の推定を行う予定である。

参考文献

- 1) 山村勇斗, 中村一史, 福田欣弘 : CFRP 板接着による疲労き裂補修のためのプレストレス導入装置の開発, 土木学会年次学術講演会, 第 68 回全国大会, I-346, pp.691-692, 2013.9

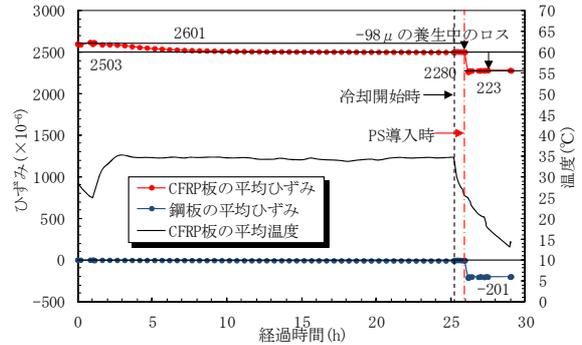


図-4 養生中のプレストレス量の変化

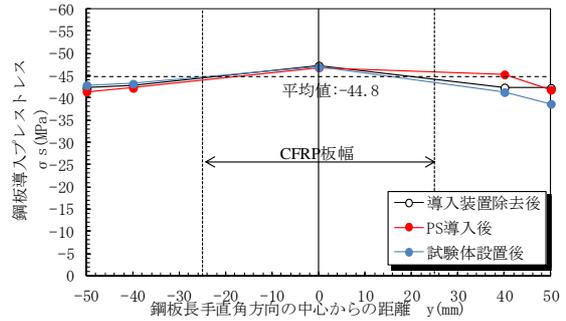


図-5 鋼板中心断面におけるプレストレス導入量

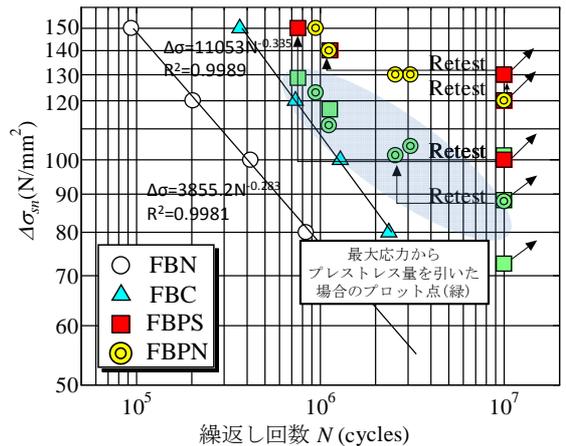
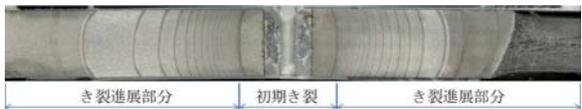
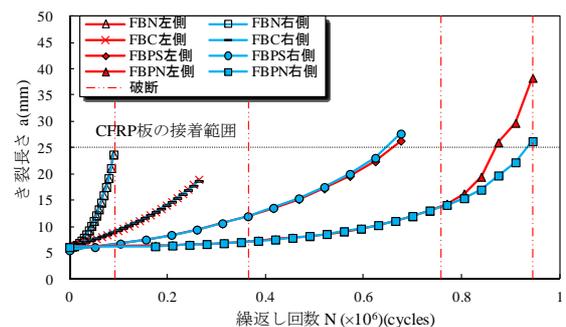


図-6 S-N 線図



(a) FBPN150 におけるビーチマークの状況



(b) き裂長さとの関係

図-7 ビーチマークの計測結果