

## 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

大成建設 正会員○山村勇斗

首都大学東京 正会員 中村一史

JX 日鉱日石エネルギー 福田欣弘

## 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、交通量の増加、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、最近、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、CFRP 板の積層数が増大することになる。そこで、本研究ではあらかじめプレテンションを導入した CFRP 板を接着、解放することで、鋼板にプレストレスが導入でき<sup>1)</sup>、より効果的なき裂補修が期待できることから、実構造への適用可能なプレストレス導入装置を開発し、その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導入方法

開発したプレストレス導入装置の概念図を図-1 に示す。

まず、導入装置の一部である図-1 (a)の CFRP 板接着固定治具を作製する。治具の鋼板を接着用鋼板と呼ぶ。接着用鋼板と CFRP 板との接着長  $L_g$  は 100mm である。接着用鋼板と CFRP 板の間に GF シートあるいは CF シートを挿入して、端部にくさびを組込み、接着養生する。その後、CFRP 板接着固定治具を図-1 (b)の導入装置にボルトで固定する。図-1 (b)の右側が拘束部分であり、左側が可動部分である。次に、小形の油圧ジャッキが組み込まれたナット(以下、油圧ナットと呼ぶ)を用いて CFRP 板にプレテンションを導入する。プレテンションは接着用鋼板間の CFRP 板に導入され、CFRP 板にプレテンションが導入されない部分を定着部(定着長  $L_n$ )と呼ぶ。CFRP 板に導入するプレテンションは、中央部に設置した 2 枚のひずみゲージで測定する。プレテンション導入後に鋼板の両面に CFRP 板を接着養生する。その後、油圧ナットを緩め、プレテンションを解放することで被着体には圧縮応力のプレストレスが導入される。最後に、導入装置を取り外し、CFRP 板接着固定治具に接着されている接着用鋼板を取り除く。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、端部にくさびを打ち込むことによって CFRP 板と定着用鋼板を分離させる。

鋼板への導入プレストレス  $\sigma_s$  は、プレテンション解放前の鋼板中心部のひずみを零として、解放後に計測される圧縮応力である。使用した材料の機械的性質を表-1 に示す。

## 3. 引張試験によるプレストレス導入状況の検証

## 3.1 実験方法

試験片は、鋼板 SM490Y(590×9×50)の両面に CFRP 板(150, 450×1.2×50)をエポキシ樹脂接着剤で接着したものである。プレテンション解放による鋼板への圧縮応力の目標導入量は  $\sigma_s=0$ , 70MPa の 2 通りである。接着層は 0.4mm で、接着剤の硬化後、プレテンションを解放して鋼板にプレストレスを導入した。プレストレス導入した鋼板の CFRP 板は、はく離しやすいことから、CFRP 板接着端部の接着剤に生じるせん断応力が低減するために、150mm の定着長

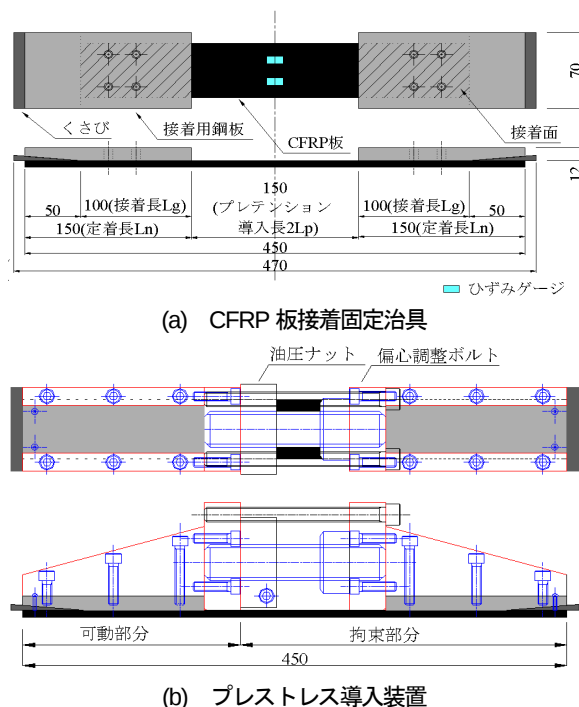


図-1 プレストレス導入装置の概念図

表-1 機械的性質

|            | 鋼板(引張試験)<br>SM490Y | 鋼板(疲労試験)<br>SM400 | CFRP 板 | エポキシ樹脂<br>接着剤 |
|------------|--------------------|-------------------|--------|---------------|
| 降伏点 (MPa)  | 415                | 305               | -      | -             |
| 引張強度 (MPa) | 547                | 447               | 2808   | 30            |
| 破断伸び (%)   | 26                 | 32                | 1.9    | -             |
| 弾性係数 (GPa) | 206                | 209               | 150    | 1.5           |

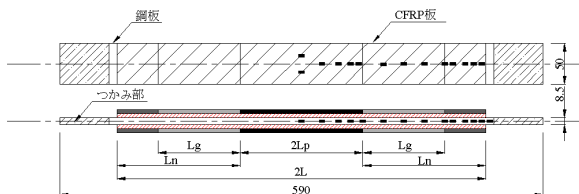


図-2 引張試験に用いた試験片

**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)

を確保した。NN は、150mm の CFRP 板を接着し、プレストレス導入しない試験片、P-Ln000 は、CFRP 板中央部分 150mm のみ接着し、プレストレス導入後に CFRP 板を切断除去した試験片である。P-Ln150 と P-Ln150S は、定着長 150mm を確保した試験片であり、P-Ln150S は接着用鋼板を除去しない試験片である。試験片図を図-2 に示す。CFRP 板を鋼板に接着養生した後、引張試験を行い、プレストレスの導入が CFRP 板の接着強度に与える影響を検討した。

### 3.2 実験結果と考察

実験シリーズを表-2 に、鋼板へのプレストレス導入状況を図-3 に示す。表-2 および図-3 より、定着長のある試験片で、鋼板に導入されたプレストレスが、導入装置除去後に大幅に低下するのは、偏心調整ボルトが負担していた力が、導入装置を除去することで解放されたためである。図-3 の P-Ln000、P-Ln150、P-Ln150S の比較より、定着長を確保することで、鋼板の CFRP 板接着端部に向かってプレストレスが零になることが解る。

引張試験の結果を図-4 に示す。定着長のない P-Ln000 の CFRP 板は、鋼板の降伏点前にはく離したが、プレストレス導入を行わない NN、定着長を確保した P-Ln150、接着用鋼板を除去しない P-Ln150S の CFRP 板は、降伏点まではく離しなかった。したがって、開発した導入装置を用いて、定着長を確保した確実なプレストレス導入が可能であり、鋼板の降伏点まではく離しない、十分な接着強度を確保できることが確かめられた。

### 4. 疲労き裂補修への適用性の検討

試験片は、有限幅板中の中央貫通き裂(初期き裂長さ  $2a = 12\text{mm}$ )を有する鋼板 SM400(1100×9×100)に CFRP 板を接着しないもの(FBN)、CFRP 板(450×1.2×50)を接着したもの(FBC)、CFRP 板を接着し 60MPa 相当のプレストレスを導入したもの(FBP)の 3 種類である。応力範囲  $\Delta\sigma_{sn} = 80, 100, 120, 150\text{MPa}$  の 4 通りである。载荷速度は 10Hz で、応力比  $R$  を 0.1 とし、疲労試験を行った。

FBP の試験片図を図-5 に、試験結果の S-N 線図を図-6 に示す。CFRP 板接着補修を行うことで、き裂進展速度が小さくなり、余寿命が長くなることが解る。また、FBP は応力範囲 100MPa 下では、補修後、 $10^7$  回の繰返し回数に到達してもき裂の進展は見られず、疲労限に達したと判断された。そのため、応力範囲  $\Delta\sigma_{sn} = 150\text{MPa}$  下で疲労試験を行ったところ、71 万回の繰返し载荷後、試験片が破断した。FBC と FBP の試験結果の比較より、プレストレス導入を行う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解った。

### 5. まとめ

以上のことから、開発したプレストレス導入装置を用いて、鋼板にプレストレスの導入が可能であること、また、それにより、効果的なき裂補修が可能であることが確かめられた。今後は、導入装置を改良するとともに、試験片数を増やして適用範囲を検討する予定である。

参考文献 1) 野坂克義, 石川敏之, 小林朗: 部分的にプレテンションされた CFRP 板接着鋼板におけるはく離せん断応力, 土木学会, 構造工学論文集, Vol.57, pp.1026-1033, 2011.

表-2 引張試験による実験シリーズ

| 試験片名     | CFRP 板<br>接着長<br>2L(mm) | 定着長<br>Ln(mm) | 鋼板導入<br>プレストレス $\sigma_s(\text{MPa})$ |         |       |
|----------|-------------------------|---------------|---------------------------------------|---------|-------|
|          |                         |               | PS 導入後                                | 導入装置除去後 | 引張試験前 |
| NN       | 150                     | -             | -                                     | -       | -     |
| P-Ln000  | 150                     | 0             | -71                                   | -71     | -67   |
| P-Ln150  | 450                     | 150           | -85                                   | -63     | -62   |
| P-Ln150S | 450                     | 150           | -84                                   | -67     | -66   |

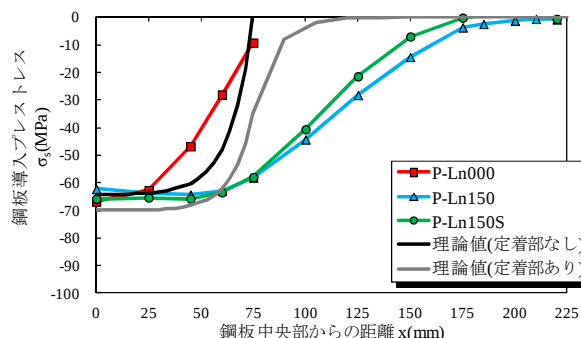


図-3 鋼板へのプレストレス導入状況

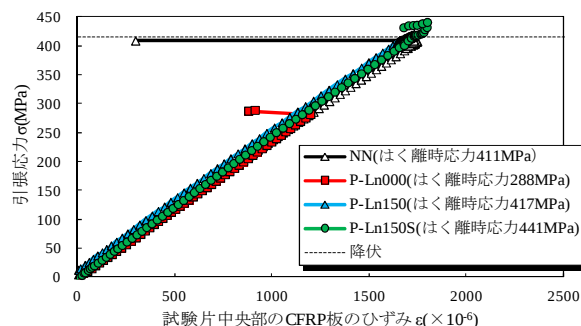


図-4 引張応力と CFRP 板中央部のひずみの関係

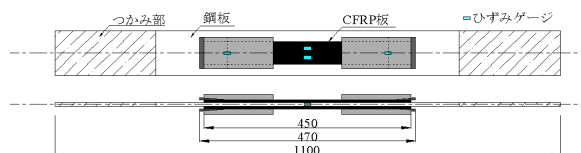


図-5 FBP の疲労試験片

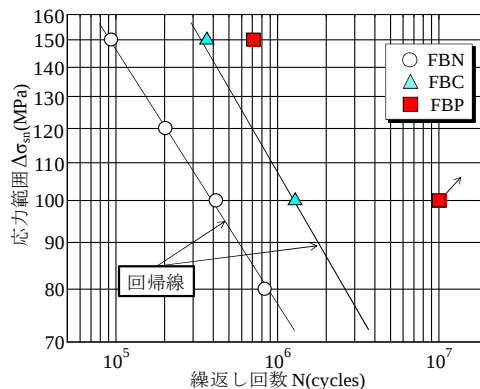


図-6 S-N 線図