

(I-56) CFRP 板により補強された鋼製梁の力学的特性

明星大学 学生員 ○松田 大伸
明星大学 正会員 鈴木 博之

1.はじめに

従来工法より簡便な鋼部材の断面補強工法として、炭素繊維強化樹脂板（以下、CFRP 板と呼ぶ）をパテ状エポキシ樹脂接着剤（以下、エポキシ接着剤と呼ぶ）で接着する工法が考えられている。

CFRP 板とは、一定方向に束ねた炭素繊維に樹脂を含浸させ、板状に固化させたものであり、表-1 に示すように引張強度は鋼材の約 5 倍と高く、比重は約 1/4 と低い。また、施工方法はエポキシ接着剤で補強箇所に接着するだけであり、非常に容易である。

CFRP 板は上記のような長所を有するが、エポキシ接着剤の疲労耐久性、接着強度および設計の手法が、必ずしも十分明確になっているわけではない。

本研究では、これらの未確認事項を実験的に検証することにより、鋼部材の断面補強に CFRP 板をエポキシ接着剤で接着する工法の実用化の可能性について検討する。

2.実験方法

実験には、H 形鋼（SS400）を使用した。CFRP 板は下フランジ下面にエポキシ接着剤を使用して、1 枚もしくは数枚重ね合わせて接着した。まず、エポキシ接着剤の疲労耐久性を検討するため疲労試験を行った。疲労試験は、最大荷重を 49kN、最小荷重を 4.9kN とした三点曲げで実施した。載荷波形は正弦波とし、繰返し速度は 1~5Hz である。試験体は、下フランジ下面に CFRP 板をエポキシ接着剤で 6 枚積層接着した M-2 試験体と、支間中央で曲げモーメントが最大になること、および経済性を考慮して、支間中央から両端部にいくにつれ CFRP 板の枚数を 6 枚、4 枚、2 枚と減らして下フランジ下面に積層接着した M-3 試験体である。疲労亀裂の発生等を確認するため、疲労試験の途中に 100~1000 万回の間隔で静的載荷試験を行い、支間中央の変位および CFRP 板上の応力を測定した。次に、エポキシ接着剤の接着強度を検討するため三点曲げ試験を行った。試験体には、下フランジ下面に CFRP 板を 1 枚接着したものを使用した。実験においては、CFRP 板が剥がれるまで、もしくは試験体が座屈変形するまで載荷した。最後に、設計手法を検討するため三点曲げ試験を行った。試験体には、図-1 に示すように下フランジ下面に CFRP 板を 12 枚積層接着したものを使用した。前年度の実験結果によれば、基本的に CFRP 板は鋼板と同じような補強効果が期待できることがわかっているので、設計の考え方は、通常の鋼桁の設計理論と相違ないと仮定し、CFRP 板を含んだ高さを部材断面の高さと考え、断面 2 次モーメントを算出し、部材に発生する曲げ応力を次式により算出した。

$$\sigma = M/I \times y$$

ここに σ : 発生曲げ応力

M : 発生曲げモーメント

I : 断面 2 次モーメント

y : 重心位置からの距離 《CFRP 板》

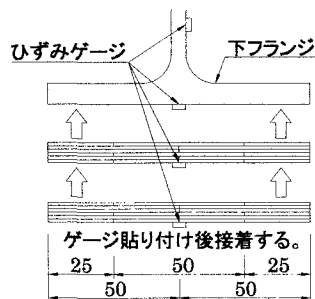
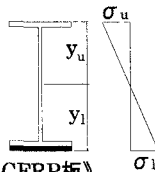


図-1 CFRP板12枚貼り

上式により算出された理論値と実験値を比較して、設計の仮定の妥当性を確認した。

キーワード：CFRP 板，パテ状エポキシ樹脂接着剤，断面補強，疲労試験

連絡先：〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1 明星大学理工学部土木工学科 TEL&FAX:042-591-9645

3. 結果および考察

(1) CFRP 板により補強された鋼製梁の疲労耐久性

図-2 に 100~1000 万回の間隔で静的載荷試験を行ったときの荷重 49kN における支間中央の変位と繰返し回数との関係を示す。図-2 より、M-2 試験体の支間中央の変位は、繰返し回数 0~200 万回にかけて 0.08mm の増加が認められるが、以降、1000 万回までの結果には変化がなく一定であることがわかる。また、M-3 試験体においては、繰返し回数 0~3000 万回までの結果には、変位の増加は認められない。図-3、4 に各繰返し回数後の試験体の荷重 49kN における CFRP 板上の応力分布を示す。図-3 においては、繰返し回数 0~200 万回にかけて CFRP 板上の応力分布に一部低下が認められるが、以降、1000 万回までの結果には変化がなく一定である。図-4 においても、3000 万回の繰返しによる応力の低下は認められない。なお、荷重範囲 44.1kN による支間中央の鋼桁下フランジ下面の設計上の応力範囲は 70MPa である。以上より、エポキシ接着剤に実用上、問題となるような劣化は認められず、CFRP 板は補強効果を有効に保ちつづけているといえる。

(2) パテ状エポキシ樹脂接着剤の接着強度

本実験においては、荷重 147kN のとき CFRP 板が瞬時に剥離した。このとき CFRP 板に損傷は認められなかった。なお、剥離に先立って、荷重 127kN 付近で H 鋼部材の局部座屈が認められた。このように、CFRP 板の剥離は鋼部材の座屈以降に起きているので、エポキシ接着剤の接着強度は、実用上、十分であるといえる。

(3) 設計手法の明確化

図-5 は荷重 49kN 時の支間中央から 150mm の位置における断面の応力分布を示したものである。理論値と実験値は良い一致を示しており、鋼部材域では前述の設計上の仮定が成立していると考えられる。CFRP 板の許容応力度は示方書に与えられていないが、CFRP 板の引張強度は鋼材の約 5 倍であるため、実用上、鋼部材が示方書に規定されている許容値を満足していれば CFRP 板の安全性に影響はないと考えられる。したがって、応力の評価は鋼梁下フランジ下面で行えば良いと考えられる。

4. まとめ

- ① 荷重範囲 44.1kN (計算応力範囲 70MPa : 支間中央鋼桁下フランジ下面) で 3000 万回繰返しても問題になるような変化は認められなかった。
- ② エポキシ接着剤の接着強度は、実用上、十分であると判断された。
- ③ 設計は、通常の鋼桁の設計理論に従って行えば良いと考えられる。
- ④ CFRP 板をエポキシ接着剤で接着する工法は、鋼部材の補強に適用できる可能性が大きい事が確認できた。

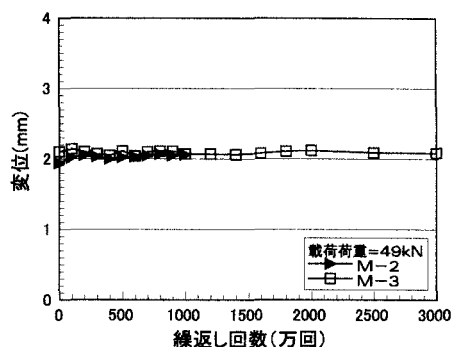


図-2 繰返し回数と変位の関係

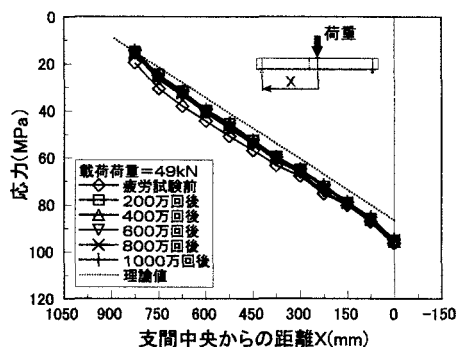


図-3 (M-2)CFRP板上応力分布

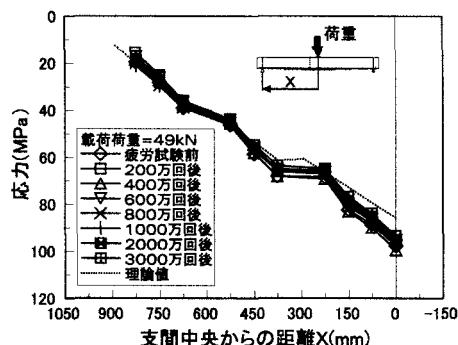


図-4 (M-3)CFRP板上応力分布

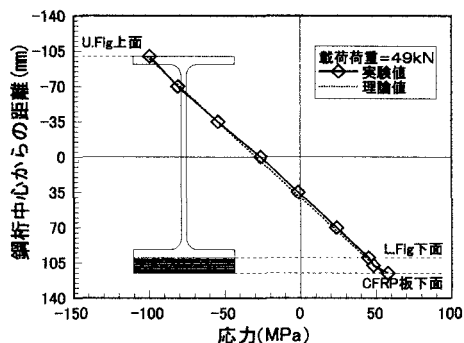


図-5 断面の応力分布(12枚貼り)