

第 I 部門

鋼 I 桁下フランジの継手部周辺への高弾性 CFRP 板補強法に関する実験的研究

明石工業高等専門学校 正会員 ○越智内士 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀
 三菱樹脂 (株) 正会員 久部修弘

1. はじめに：現在，経年劣化に伴う鋼板の板厚減少や設計活荷重の増加により作用応力が大きくなり，補強が必要な鋼 I 桁橋が数多くある．このような鋼 I 桁に対する補強方法として，鋼板を溶接あるいはボルト接合する方法が実施されているが，これらの方法では，重機や，母材に騒音を伴う孔明け加工が必要となるなど施工性や施工環境に改善の余地があると考えられる．そこで，近年，施工性も有利な方法として，炭素繊維樹脂強化板（以下，CFRP 板）の接着接合による補強¹⁾が適用されつつある．しかし，鋼 I 桁には高力ボルトによる継手部が存在し，CFRP 板を連続して貼付することが出来ない．また，この継手部近傍の CFRP 板補強部では，CFRP 板端部に剥離が生じる，端部と連結板との間に無補強部が残る，連結部自体の補強も必要，といった課題が残る．そこで，本研究では，これらの課題を解決すべく，鋼 I 桁下フランジの継手部周辺に高弾性 CFRP 板を接着接合する方法を提案し，その妥当性を小型模型を用いた曲げ荷重実験により検討している．

2. 実験概要：H100×50×7×5 mm の H 形鋼（SS400）にカバープレート¹⁾を溶接接合し，また，両支点から 270 mm の位置のカバープレートおよび下フランジに，それぞれ継手部の連結板を想定した鋼板（SS400，150×700×12，9 mm）を溶接により取り付けした小型試験体を 3 体用いる．この供試体を H100j_0 とよぶ．さらに，下フランジの左右の連結板間に CFRP 板を荷重点から支点方向へ 500 mm の位置まで貼付し，鋼桁下フランジへの CFRP 板接着による補強効果を確認する．これに CFRP 板端部の剥離防止法として，CFRP 板の両端部を剥離防止板（SS400，500×100×4.5 mm）を 6 本のボルト（SCM435，M6）を用いて固定する．この供試体を H100j_500_*1 とよび，図-1 に示している．さらに，図-2 に示すように，H100j_500_*1 の継手部を跨いで CFRP 板を貼付するとともに剥離防止板と連結板との間に生じる無補強部（隙間 5mm）を補強する方法（以下，ブリッジ補強），すなわち，下フランジの連結板上にも高弾性 CFRP 板を貼付し，その CFRP 板の両サイドを剥離防止板と同様な構造で固定する供試体を H100j_500_*2 とよぶ．

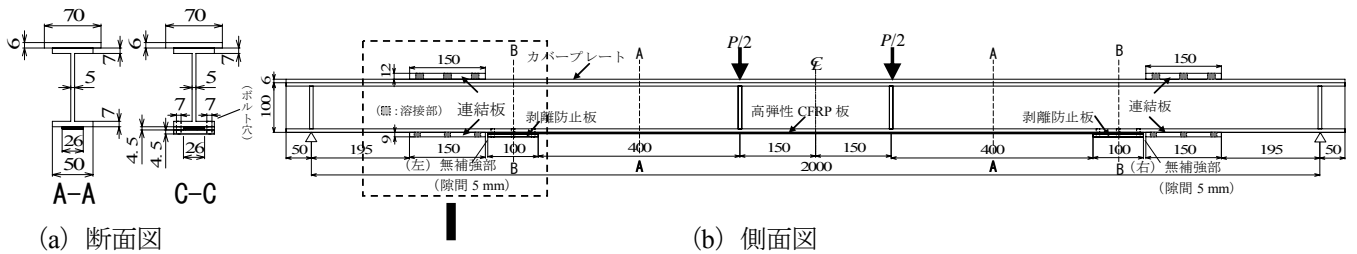


図-1 実験供試体 H100j_500_*1 (単位 : mm)

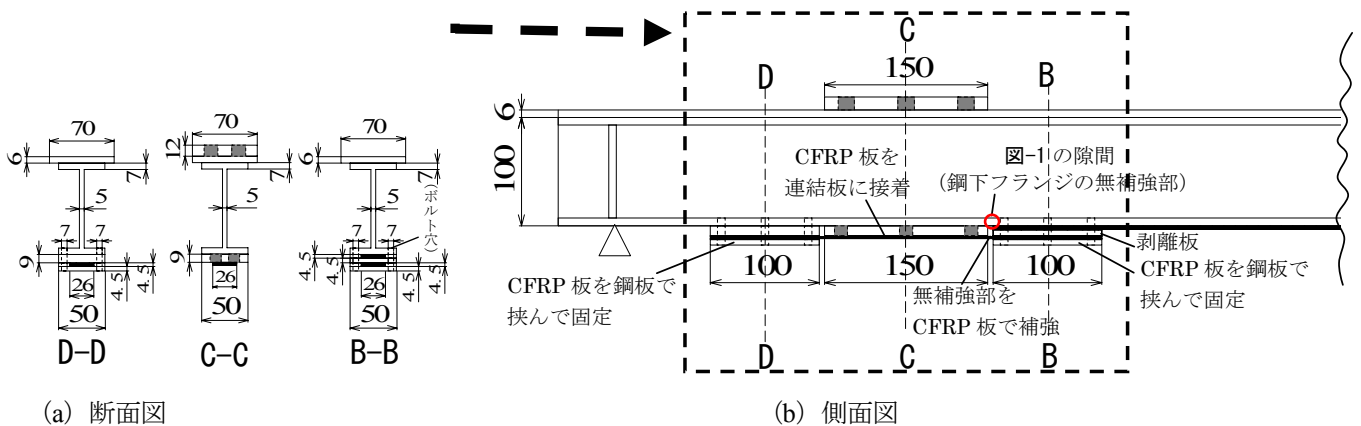


図-2 実験供試体 H100j_500_*2 のブリッジ補強部 (単位 : mm)

なお、CFRP 板には高弾性 CFRP 板（三菱樹脂（株）製 HM520）を、CFRP 板の接着には三菱樹脂（株）製エポサームパテ L-600（春夏秋用（15～35℃））を用いた。

3. 実験結果および考察：まず、表-1 には本実験で用いた鋼材および高弾性 CFRP 板の機械的性質を示している。図-3 には、スパン中央断面の曲げモーメント M と曲率 ϕ との関係を示す。曲率 ϕ は、供試体のスパン中央部のカバープレート、腹板および下フランジに貼付したひずみゲージの値より算出した。剥離防止を施した H100j_50_*1 および 2 では、CFRP 板は最大曲げモーメントまで剥離することなく、スパン中央部、剥離防止板周辺部の順で破断（破断時ひずみ：2,811～4,530 μ ）し終局状態に至った（図-4）。表-2 には最大曲げモーメントを、表-3 には図-3 より算出した初期曲げ剛性および理論剛性 $E_s I_{xx}$ (E_s ：鋼のヤング係数、 I_{xx} ：図-1 の A-A 断面の重心軸に関する鋼換算断面二次モーメント) を示す。これらより、CFRP 板を貼付した供試体では初期曲げ剛性で約 11 %、最大荷重で約 14～27 %改善されており、補強効果、すなわち、弾性挙動範囲の拡大が認められる。図-6 は、H100_50_*2 のブリッジ補強部の CFRP 板のひずみ（図-5）、図-7 は剥離防止板と連結板（下フランジ）との隙間（無補強）部の鋼下フランジ上部のひずみを測定した結果であり、図-2 に示したブリッジ補強の妥当性に関して検証を行っている。図-6 より、ブリッジ補強部の CFRP 板のひずみは、弾性範囲内で収まっている。一方、図-7 より H100_50*_1 ではほぼ理論値と一致しているが、H100_50*_2 では、H100_50j_*1 よりも隙間部のひずみは小さく、H100_50*_2 に用いた継手部を跨ぐブリッジ補強の有効性が確認できる。

表-1 引張試験結果による機械的性質

	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	破断ひずみ
H形鋼 (SS400)	338.8	459.5	2.03×10 ⁵	—
鋼板 (SS400)	370.2	455.4	2.02×10 ⁵	—
高弾性CFRP	—	1363.3	4.46×10 ⁵	2916 μ

表-2 最大曲げモーメント

実験供試体	M_{max} (kN・mm)	M_y (kN・mm)	M_{max}/M_y
H100j_0	1.910×10 ⁴	1.389×10 ⁴	1.375
H100j_50_*1	2.122×10 ⁴	1.754×10 ⁴	1.210
H100j_50_*2	2.421×10 ⁴	1.754×10 ⁴	1.380

表-3 初期曲げ剛性

実験供試体	弾性理論値 $E_s I_{xx}$	補強効果 (%)	実験値 M/ϕ	補強効果 (%)
H100j_0	5.365×10 ⁸	—	5.554×10 ⁸	—
H100_50_*1	6.295×10 ⁸	17.35	6.148×10 ⁸	10.69
H100_50_*2	6.295×10 ⁸	17.35	6.178×10 ⁸	11.24

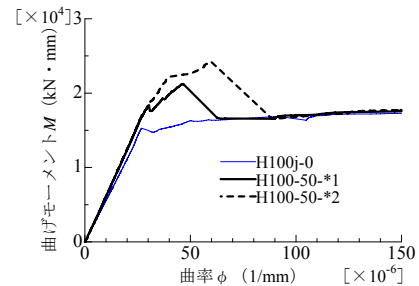


図-3 曲げモーメントー曲率の関係



(a) スパン中央部

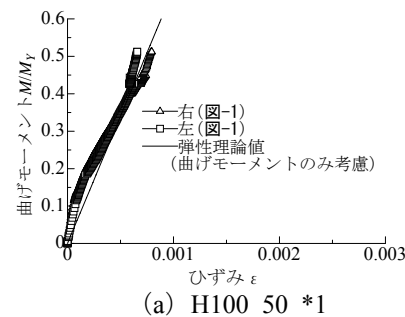
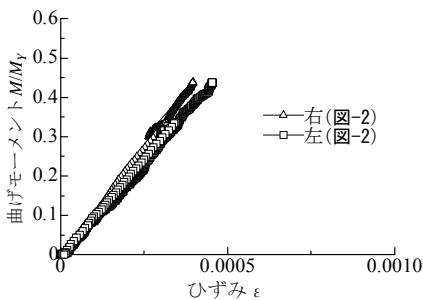


(b) 剥離防止板周辺部

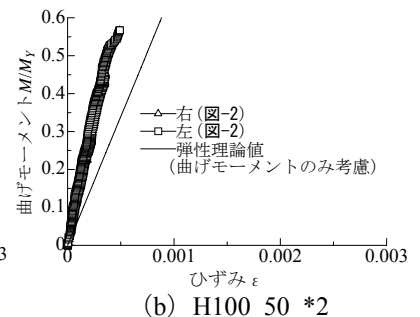
図-4 実験終了後の CFRP 板の破断の様子 (H100_50_*1)



図-5 ブリッジ補強部 (H100_50_*2)



(a) H100_50_*1



(b) H100_50_*2

図-6 曲げモーメントとブリッジ補強部 図-7 曲げモーメントと剥離防止板ー連結板の隙間におけるひずみの関係

4. まとめ：高弾性 CFRP 板を鋼 I 桁下フランジの継手部へ接着接合する方法を提案し、それらの補強効果を載荷試験により確かめた。その結果、本研究で提案した継手部周辺の補強方法の有効性が確認できた。今後さらにデータを蓄積し高弾性 CFRP 板による鋼構造物への補強および設計方法を確立していきたい。

謝辞：CFRP 板の提供および本実験供試体の製作において、三菱樹脂株式会社から多大なるご支援をいただきましたことに感謝を申し上げます。実験実施においては、明石工業高等専門学校都市システム工学科の上田博之、岩間翔太氏のご協力に対し感謝申し上げます。参考文献：1) 越智内士・松村政秀・久部修弘：鋼 I 桁下フランジに貼付した高弾性 CFRP 板による補強効果および剥離現象について、土木学会第 64 回年次学術講演会、I-549, pp.1097-1098, 2009。