

非弾性域で繰り返し曲げを受ける鋼変断面はりの CFRP 補強に関する実験的研究

ものつくり大学

正会員 ○大島佳月

ものつくり大学 正会員 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH

日鉄ケミカル&マテリアル 正会員 秀熊佑哉, 櫻井俊太

大同大学名誉教授

正会員 酒造敏廣

1. はじめに

鋼製橋脚等では溶接継手部で板厚を変化させており、この部分では地震時などに耐力不足により安全性が確保できないケースが出てくることが予想される。そのため、鋼構造の補強材料として、炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP と記す）を用いた耐震補強工法に関する研究が行われている。CFRP は軽量かつ耐久性に優れており、重機や騒音を伴わない施工が可能であり、施工後のメンテナンスも少ない。しかしながら、これまでの研究は、鋼管に対して CFRP シートを周巻きした補強が中心であり、箱形断面やその構成補剛板に対する実験的研究はほとんど実施されていない。また、塑性領域に及ぶ繰り返し力下での CFRP 補強部材の弾塑性性状については、研究データも不足しているのが実情である。本研究は、鋼製梁の板厚変化部の表面に CFRP シートによる補強を行い、純曲げおよび曲げ・せん断載荷の条件で正負交番載荷実験を行って、CFRP 耐震補強の効果を検討したものである。

2. 実験概要

本研究では、フランジ・プレートの板厚を変化させた鋼製梁の純曲げ載荷実験（以下、単に曲げ実験と記す）と曲げ・せん断載荷実験を行う。実験供試体の一般図を図-1 に示す。供試体パラメータを表-1 に、材料諸元を表-2 に示す。すなわち、補強の有無、シートの種類、およびポリウレアパテの有無をパラメータとし、各載荷ケースについて4体ずつ、計8体の供試体を製作した。載荷実験は3,000kN 万能試験機を使用し、実験供試体の上下フランジを挟み込むように載荷治具を取り付け、支点および載荷点の上下フランジ外側をピン支持している。曲げ載荷は等曲げ区間 1,200mm を設けた2点載荷の4点曲げとし、曲げ・せん断載荷は支間中央載荷の3点曲げとした。

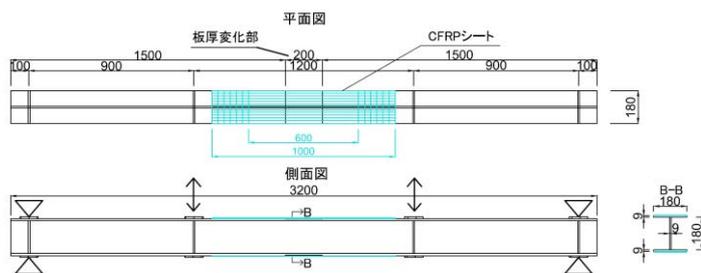
載荷方法は、図-2 に示す載荷パターンのように、梁中央の鉛直変位 δ を漸増させた正負交番載荷とした。梁理論により支間中央の初期降伏変位 δ_y を求め、 $\pm 6\delta_y$ までの載荷した。

表-1 実験供試体の種類

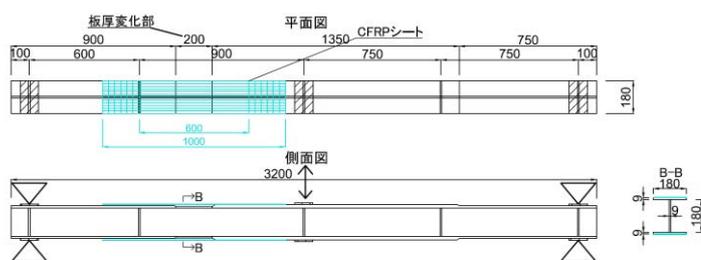
実験供試体		CFRP シート	ポリウレアパテ	シートの積層数
曲げ	曲げせん断			
M1	MS1	無補強	なし	—
M2	MS2	高弾性	なし	9
M3	MS3	高弾性	あり	7
M4	MS4	中弾性	なし	13

表-2 材料諸元

項目	弾性係数 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)	設計厚さ (mm)	ポアソン比
高弾性 CFRP シート	6.4×10^5	2430	—	0.143	0.30
中弾性 CFRP シート	3.9×10^5	3670	—	0.165	0.30
ポリウレアパテ	—	—	55	0.80	0.38



(a) 曲げ供試体



(b) 曲げ・せん断供試体

図-1 実験供試体一般図

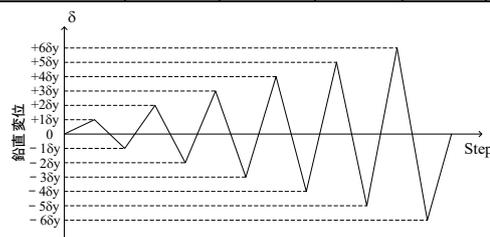


図-2 載荷パターン

キーワード 耐震補強, CFRP シート, 鋼製橋脚

連絡先 〒361-0038 埼玉県行田市市前谷 333 番地 ものつくり大学 建設学科 TEL:048-564-3907

3. 実験結果

荷重と鉛直変位の関係を図-3に示す。図-4には荷重と鉛直変位の履歴曲線のピーク包絡線を示す。まず、M2～M4の補強した曲げ実験供試体では、M1の無補強供試体よりも剛性や耐荷力が上昇している。ポリウレアパテを使用しなかったM3は早期にCFRPシートが剥がれて局部座屈してしまい、以後、M1と同じ履歴をたどっており、塑性領域の繰り返しに対する耐震補強効果が低いといえる。ポリウレアパテを使用し、中弾性CFRPシートを用いた供試体M4では、6δyまで剥がれずに、耐荷力が終局段階まで上昇し続けている。高弾性CFRPシートのM2供試体ではシートのはく離は発生しなかったが、2δyで上下のCFRPシートが破断してしまい、耐荷重が減少した。高弾性CFRPシートは中弾性CFRPシートと比較して、引張強度が低いいため繰り返し荷重によって破断したと考えられる。曲げ・せん断実験においても、同様な結果になった。

変位±1δyの段階までの荷重とひずみの関係を図-5に示す。同図の赤線は正負の降伏ひずみを示している。M1供試体は+1δyで一部が降伏点に達しているが、M2～M4供試体は+1δyで降伏点までは達しておらず、その補強効果を確認できる。

曲げ・せん断載荷における±6δyまでの各載荷ループで所定の変位到達後最初の除荷において、実験で計測されたひずみを用いて曲げ剛性を評価した。その結果を図-6に示す。同図から、無補強のMS1は4δy以降剛性劣化が大きい。ポリウレアパテを用いていないMS3は各ステップで剛性が低下していく様子が見られる。一方、中弾性CFRPシートでポリウレアパテを用いたMS4は計算値より剛性がやや低いものの、弾性合成的な挙動でほぼ一定の剛性が確保できていることがわかる。

4. まとめ

- ①エポキシ樹脂で高弾性CFRPシートを接着した場合、降伏変位の約2倍までにシートのはく離が生じて、無補強の場合と同様な弾塑性挙動を呈した。
- ②ポリウレアパテを用いて中弾性CFRPシートで補強すれば、降伏変位の6倍までシートのはく離や破断が生じず、耐荷力も上昇を続け、曲げ剛性の低下も抑えることができた。

【参考文献】大島佳月, 大垣賀津雄, Ngoc Vinh PHAM, 酒造敏廣, 秀熊佑哉, 櫻井俊太: 板厚変化部を有する鋼製梁のCFRP補強工法に関する実験的研究, 土木学会 第23回橋梁等の耐震設計シンポジウム論文報告書, 2021.1

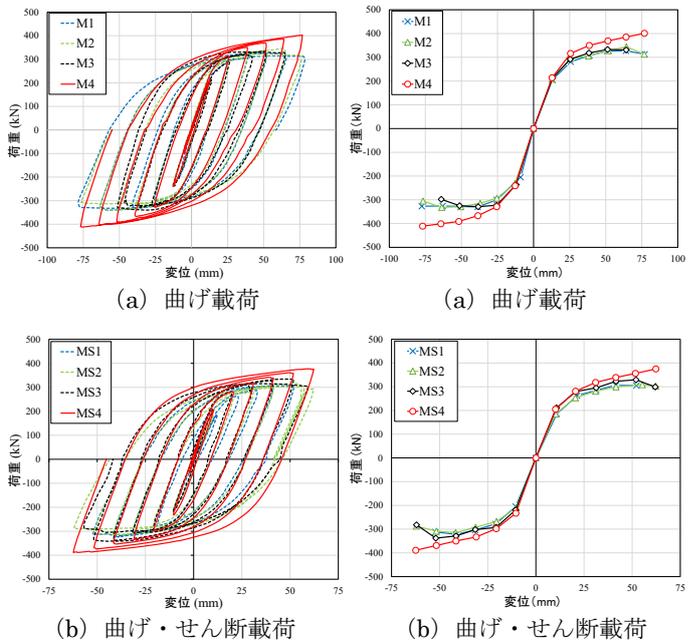


図-3 荷重と鉛直変位の関係 図-4 荷重と鉛直変位の包絡線

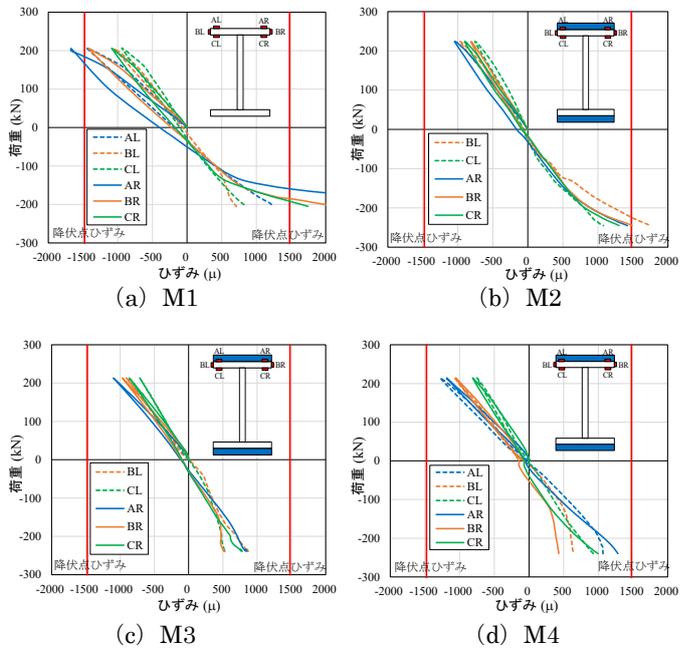


図-5 荷重とひずみの関係 (±1δy)

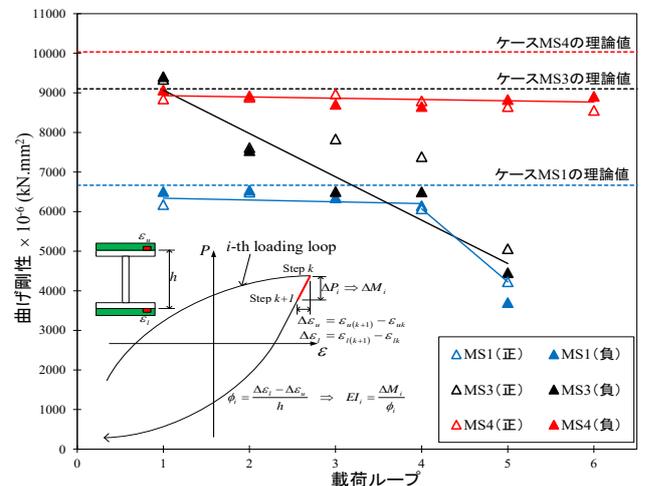


図-6 曲げ剛性の変化 (曲げせん断載荷)