

鋼製梁を補強した CFRP シートの接着限界に関する実験的研究

ものつくり大学 学生会員 ○菊地新平, 飯塚正貴 正会員 大垣賀津雄

長岡技術科学大学 正会員 宮下剛

長野工業高等専門学校 正会員 奥山雄介

新日鉄住金マテリアルズ 正会員 小林朗, 秀熊佑哉

高速道路総合技術研究所 正会員 広瀬剛, 原田拓也

1. はじめに

現在, 鋼橋部材は経年腐食劣化に伴う鋼板の減肉や設計活荷重増加により作用応力が大きくなっており, 鋼部材の耐荷力不足が懸念されている. これに対し鋼部材に当て板補強を, ボルトや溶接によって行っていた. しかし, これには専用機材が必要となる等施工性に優れないという問題がある.

そこで新しい工法として炭素繊維シート (以下 CFRP シートと呼ぶ) を鋼部材に貼付して, 補修・補強を行う工法が研究されている¹⁾²⁾しかしこの工法にも課題点としてシートのはく離がある.

現行のマニュアル³⁾でははく離という問題に対し, シート端部をずらして貼るずらし貼りをを行うと共に高伸度弾性パテ材 (以下, パテ材と呼ぶ) を用いているが, パテ材単独使用での確認実験のデータは不足している.

2. 実験概要

(a) 実験供試体

本実験供試体は, 長さ 5,200mm, 桁高さ 418mm の H 形断面であり, その鋼製梁の上下フランジに対して CFRP 補強を施したものである. 繊維方向は鋼製梁の部材軸方向とした. 供試体および载荷要領を図-1 に示す. 鋼製梁の断面寸法および材料諸元について表-1 に示す. この鋼製梁に表-2 に示す CFRP シートをエポキシ樹脂により積層接着した. 供試体長さ方向の中央より左側 (P 側) では, CFRP シートを貼付する際に鋼部材と CFRP シートの間にパテ材を挿入しており, 上 (U) 下 (L) フランジパネル 1~4 に CFRP シートを貼付した. 一方, 右側 (N 側) ではパテ材を挿入せず, 直接エポキシ樹脂で CFRP シートを積層貼付した. また, 本供試体では層ごとにずらし貼りはせず, 同じ大きさの CFRP シートを 5 層積層している.

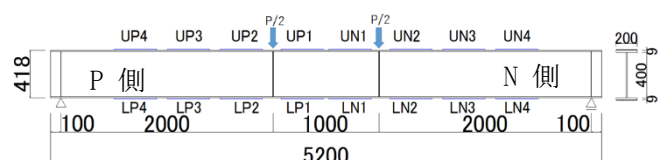


図-1 供試体および载荷要領

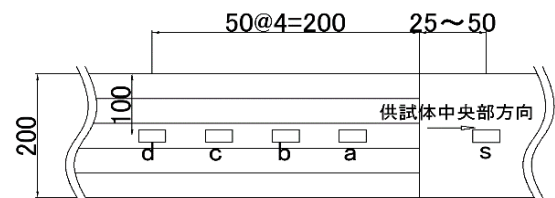


図-2 計測位置

表-1 鋼製梁の断面寸法および材料諸元

鋼種 ₁	断面寸法(mm) ₁		弾性係数 (GPa) ₁	降伏応力 (MPa) ₁
	上下フランジ ₁	腹板 ₁		
SS400 ₁	200×9 ₁	400×6 ₁	205 ₁	353 ₁

表-2 炭素繊維シート, 樹脂の材料特性

項目 ₁	目付量 (g/mm ²) ₁	弾性係数 ₁ (GPa) ₁	引張強度 ₁ (MPa) ₁
CFRP シート ₁	300 ₁	640 ₁	1,900 ₁
高伸度弾性パテ材 ₁		0.055~0.075 ₁	
エポキシ樹脂 ₁		3 ₁	29~ ₁

(b) 実験方法

本実験は, 万能試験機から载荷梁を介して, 図-1 に示す通り 4 点曲げ载荷で供試体に荷重を伝達している. 1つの計測パネルにおける計測位置を図-2 に示す. 計測点の名称は, 図-1 に示す計測パネル名と図-2 に示すアルファベットにより与えている.

3. 実験結果および考察

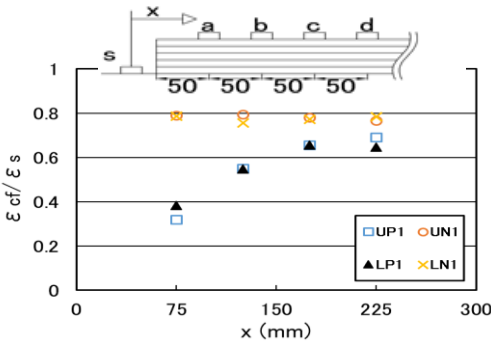
(a) ひずみ伝達

図-3 に 1 列目パネルのひずみ分布図を示す. 図は 100kN 载荷時のひずみを各計測点で示したものである.

キーワード CFRP シート, 補修・補強, 曲げ载荷, 接着限界, はく離

連絡先 〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333 番地 TEL 048-564-3851

縦軸は、CFRP 上の各測定点のひずみ ϵ_{cf} をパネル付近の鋼材のひずみ ϵ_s で除したものである。これらの結果より以下のことがわかる。横軸 $x(mm)$ は、鋼梁中央部の鋼材ひずみの計測点からの距離を示す。



- 1) P 側の端部近傍 a 点のひずみ値は鋼材ひずみの 30~40%と低く、鋼材からのひずみが伝達されにくいことがわかる。一方、N 側 a 点のひずみ値は、鋼材ひずみに対して約 80%で高い値である。
- 2) N 側 a~d 点のひずみ値は 70~80%程度ではほぼ一定であるが、P 側 a~d 点のひずみ値は 30~80%と徐々に増加しており、N 側に近い値になることがわかる。P 側の d 点におけるひずみの平均値は、上フランジで 72.0%、下フランジで 62.5%と N 側とほぼ同等にひずみ伝達がなされている。

(b) はく離荷重

供試体のフランジパネル鋼材部とCFRPの荷重-ひずみ線図を図-4、図-5に示す。表-3にははく離荷重、はく離時のパネル近傍の鋼材ひずみを示す。

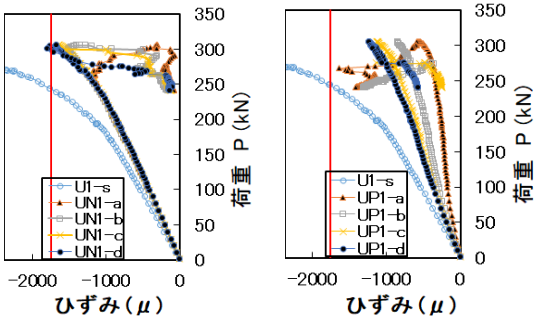


図-4 UN1,UP1 荷重-ひずみ線図

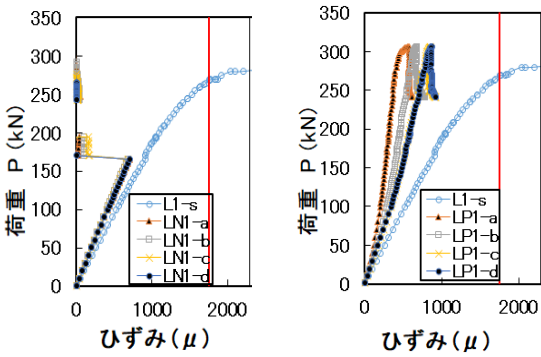


図-5 LN1,LP1 荷重-ひずみ線図

- 1) 上フランジにおいてはUP1, UN1, UN2でははく離が生じた。UN1, UN2のはく離はピーク荷重に達する前に発生している。一方、UP1のはく離はピーク荷重を過ぎた後に発生しており、UN1よりも鋼材部のひずみ大きい点ではく離している。P側では、鋼材とCFRPの間に挿入したパテ材が有効に働き、端部に生じるせん断応力を緩和し、はく離荷重が上昇したものと考えられる。
- 2) 下フランジにおいてはLN1~3 ではく離が生じた。N 側では、鋼材が弾性範囲内ではく離しており、補強という観点で機能しなくなる可能性が高い。P 側では、ピーク荷重を過ぎた後もはく離は生じていない。
- 3) 表-3 より、引張側パテ材なしの場合では、鋼材ひずみが 900~1100μ (降伏点の 50~65%) ではく離が生じ、圧縮側では約-2000μ (降伏直後) ではく離が生じることがわかる。

4. まとめ

以上、本論文では、CFRP のはく離限界ひずみについて言及し、パテ材の有用性を実験により明らかにした。以下に本研究による知見を示す。

- ・パテ材を使用した場合、CFRP 上のひずみは低く、応力低減効果は挿入しない場合に比べて低くなるものの、端部より 200mm 程度離れるとパテ材なしのひずみと同程度となり、応力低減効果も同等となる。
- ・パテ材なしの場合、引張側は降伏点の 50~65%ではく離する。
- ・パテ材がある場合では、引張・圧縮側で最大荷重まではく離は生じない。

【参考文献】

- 1) 杉浦江, 小林朗, 大垣賀津雄, 稲葉尚文, 富田芳男, 長井正嗣: 鋼部材腐食損傷部の補修における炭素繊維シート接着方法に関する解析的研究, 土木学会論文集, Vol.64, No.4, pp.806-813, 2008.11
- 2) 杉浦江, 稲葉尚文, 小林朗, 大垣賀津雄, 長井正嗣: 鋼部材補修における炭素繊維シートのはく離挙動に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第 16 巻, 第 63 号, pp.87-98, 2009.9
- 3) 榎高速道路総合技術研究所: 炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法設計・施工マニュアル, 2013.10

表-3 はく離荷重, はく離ひずみ

パネル	はく離荷重 kN	はく離ひずみ (鋼材) μ
UN1	260	-2,062
UN2	254	-1,940
LN1	165	905
LN2	194	963
LN3	274	1,024