

CFRP 板接着補強が塑性変形能に与える影響に関する実験的研究

立命館大学大学院	学生員	○伊藤 久継
立命館大学理工学部	正会員	野阪 克義
富士車輜（株）	正会員	上平 哲
立命館大学理工学部	正会員	伊藤 満

1. はじめに

炭素繊維強化樹脂（CFRP）板接着による鋼板補強の一例として座屈問題への適用がある¹⁾。一般に、薄肉である断面は座屈荷重が低いのであるが、CFRP 板接着補強により断面が増加し、座屈荷重の増加が期待できる。また、CFRP 板は局部座屈発生後も弾性状態を保つため、座屈後の耐力低下も抑制できると考えられる。局所的な CFRP 板接着により、曲げをうける桁の塑性変形能を増加することができれば、従来厚肉断面にしか適用できなかった AASHTO の非弾性設計法²⁾に、より薄肉の断面を用いることができる。また、既存橋梁の耐力増加にも有効であると思われる。

本研究では、部材の局部座屈により耐力が制限される鋼 I 桁供試体を製作し、静的載荷実験を行い、塑性変形能改善に CFRP 接着が適用できるか検討を加えた。

2. 実験概要

実験の単純化のため、等分布荷重を受ける 2 スパン連続ばりのモーメント分布における変曲点を単純梁の両支点、中間支点反力を中央集中載荷荷重とし、実験を行った。試験桁の回転角 θ の測定は、両支点付近断面の中立軸位置に等辺山形鋼を設置し、そこに 2 基のダイヤルゲー

ジ及び変位計を 300mm 間隔で配置して、それぞれの変位差から求めた。横補剛位置には、リニアガイドを設け、鉛直方向の摩擦を軽減させた。

供試体実測寸法を Table 1、供試体概略図を Fig.1 に示す。CFRP を貼付けたものを S シリーズ、貼付けてないものを N シリーズとする。使用した鋼材は、全て SM400A 材であり、鋼材特性を Table 2 に示す。 σ_y は降伏応力、 σ_u は引張強さを示す。CFRP はトレカラミレート ML520（東レ）、接着剤は DP-460（住友 3M）を用い、座屈が発生するであろう箇所に接着材層厚さ 0.5mm を目安に貼付けた。

フランジの換算幅厚比は 7.0 に統一し、ウェブの換算幅厚比が 90、120 の 2 体、合計 4 体を製作

した。中間垂直補剛材は、せん断力の影響を各供試体同一とするため、アスペクト比 d_o/D_w を 0.8 に統一し、0.25L 間隔で設けた。横補剛間隔は、各供試体の回転容量に与える影響をほぼ一定にするため、AASHTO Spec. 1) の制限値の約 44% の位置に統一した。連続ばりの中間支点上、すなわち実験供試体中央のせん断力の大きさは、 $V/V_u=0.6$ 以下³⁾になるよう供試体断面寸法を決定した。ここで、 V_u は終局せん断力を示す。

Table 1 供試体実測寸法

Specimen	b (mm)	t_f (mm)	D_w (mm)	t_w (mm)	L (mm)	$\frac{b}{2t_f} \sqrt{\frac{F_{yc}}{345}}$	$\frac{D_w}{t_w} \sqrt{\frac{F_{yc}}{345}}$
N-90	175.2	11.2	615.8	6.3	1935.0	6.8	85.4
S-90	174.6	11.2	614.3	6.2	1937.6	6.8	87.2
N-120	192.6	12.1	826.0	6.1	2597.4	6.9	118.7
S-120	191.5	12.1	825.5	6.1	2603.7	6.9	117.5

F_{yc} : 圧縮フランジの降伏応力度

Table 2 鋼材特性

thickness (mm)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)
6	309	447
11	264	419
12	261	414

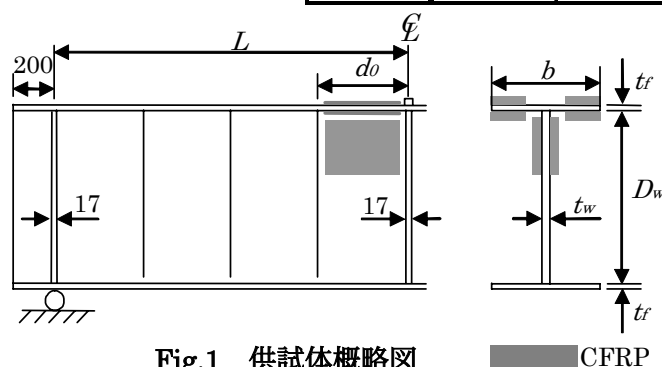


Fig.1 供試体概略図

■ CFRP

キーワード：CFRP 非弾性設計法 局部座屈 塑性変形能

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL:077-561-2666(内線:8715) FAX:077-561-2667

3. 実験結果と考察

Fig.2 は、 M/M_p - θ/θ_p 曲線を比較した図である。縦軸に試験桁の支間中央の曲げモーメント M を、横軸に試験桁の全回転角 θ を、それぞれ全塑性モーメント M_p 及びその時の回転角 θ_p で無次元化して示してある。 M_p 、 θ_p はいずれも無補強の桁から算出した。

塑性回転容量は、いずれの桁も AASHTO で要求されている塑性回転容量 0.063rads²⁾ を満たさなかったが、S-90 に関しては N-90 に対して塑性回転容量の改善がみられた。

最大荷重は、90、120 共に、S シリーズが N シリーズの約 1.14 倍となった。この事より、CFRP 板接着により一定の耐力上昇が期待できると考えられる。

Fig.3、Fig.4 は、 $0.5M_p$ 時、 M_{max} 時の断面のひずみ分布を表したものである。断面は載荷点から 100mm の位置で、CFRP の端から 50mm の位置にあたる。縦軸にウェブの中心からの距離を、横軸にひずみを示してある。 $0.5M_p$ 時には、理論値も示してある。

Fig.3 より、CFRP 板接着により、弾性範囲内では、理論値よりも圧縮側のひずみを抑えることができるが、引張ひずみは変わらないことが観測できる。Fig.4 より、最大荷重時には、補強の有無によるひずみの差は顕著になっていることが分かる。N-120 においては、上下フランジとも降伏しているが、S-120 においては、上フランジのひずみは降伏していないことを示している。これらの事が局部座屈を遅らせる主な要因になったと考えられる。さらに、圧縮側の補強により、引張ひずみも低減されることも分かる。

座屈の順序は、各供試体ともウェブから先に起こったのが観察された。S シリーズでは、最大耐力を示すと同時にウェブの局部座屈が起こり、CFRP が剥離し始めた。最大荷重に達した後にはフランジの局部座屈が発生、CFRP の剥離が進行すると共に耐力が低下していった。

4. あとがき

本実験は、CFRP 板接着により補強した供試体を製作し、静的曲げ試験を行い、部材の局部座屈を伴う I 桁の塑性変形能改善に対する、CFRP 板接着の効果について考察を加えたものである。今回の実験で、いずれの桁に対しても最大耐力改善には効果があることが分かった。また、いずれの桁においても、圧縮側のひずみを減少させ、局部座屈を遅らせることができた。

《参考文献》

1) 汐待・宇井・西村・鈴木：炭素繊維強化樹脂板を接着した圧縮鋼板の座屈解析，土木学会第 56 回年次学術講演会概要集（2001） 2) AASHTO：LRFD Bridge Design Specifications(1998) 3) C.G. Shilling and S.S. Morcos：Moment-Rotation Tests of Steel Girders With Ultracompact Flanges，Project 188 Autostress Design of Highway Bridges，AISI(1988)

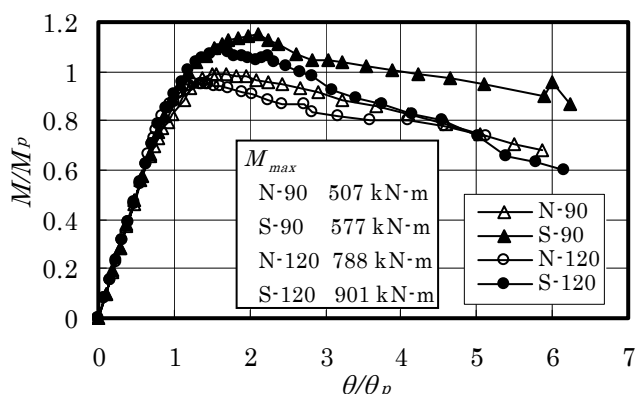


Fig.2 M/M_p - θ/θ_p 曲線

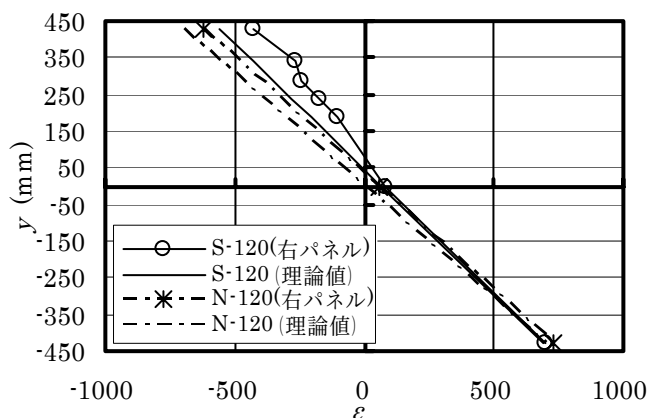


Fig.3 $0.5M_p$ 時のひずみ分布

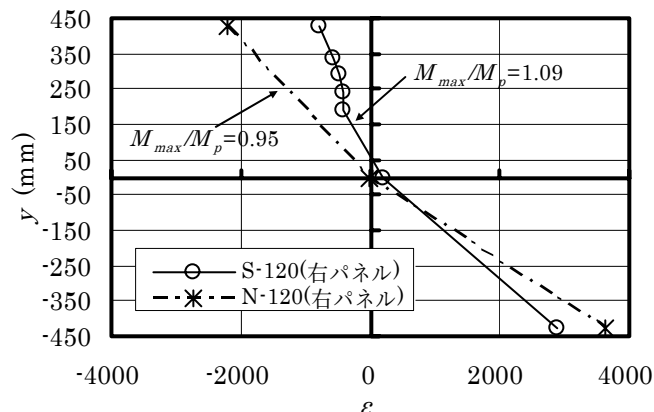


Fig.4 M_{max} 時のひずみ分布