

立命館大学理工学部 正会員 ○野坂 克義
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) 板接着による鋼材補強の一例として座屈問題への適用がある¹⁾。補強された鋼板では、CFRP 板接着により断面が増加し、座屈荷重の増加が、また、座屈後も弾性状態を保つ CFRP 板によって、座屈後の耐力低下の抑制が期待できると考えられる。局所的な CFRP 板接着により桁の塑性変形能を増加することが出来れば、従来厚肉断面にしか適用できなかった非弾性設計法²⁾に対して、より薄肉の断面を用いることが出来るようになる。また、既存の橋梁の耐力増加にも有効であると思われる。

本研究では、部材の局部座屈を伴う鋼 I 桁橋の塑性変形能の増加に CFRP 接着が適用できるかどうかを検証するため、有限要素解析を行い 2、3 考察を行った。

2. 解析モデル

解析モデルとして、AASHTO の LRFD²⁾において、非弾性設計を行うために定められているウェブとフランジの幅厚比よりも大きな値を持つ供試体を考えた。供試体はウェブとフランジどちらか 1 つの幅厚比を大きくし、一方は幅厚比制限値内で、試設計において最小重量を与えるものとした。供試体の材料特性と断面寸法を表-1、2 に示す。

解析には汎用有限要素解析プログラム MARC³⁾を用いた。例として HO110 の解析モデル (載荷点付近のみ) を図-1 に示す。供試体は中央一点集中載荷される単純桁を想定し、解析モデルは、供試体の対称性を再現する境界条件を支間中央断面に設け、半スパンとした。

載荷は、どちらの供試体もたわみが 40mm に達するまで支間中央に強制変位を与える事によって行った。初期不整として、ウェブの中心で 2mm となるような正弦波の波形をもつ初期不整を、載荷点直下の垂直補剛材と支点に向かって一つ目の垂直補剛材との間のウェブパネルに与えた。垂直補剛材は載荷点及び支点、さらに半スパンを 3 等分 (HO110) もしくは 2 等分 (HO90) する位置に設けた。

CFRP 板の厚さは 2mm、接着剤層の厚さは 1mm とした。CFRP 板を接着する範囲は図-1 に示すようにウェブの圧縮側両面と圧縮フランジの内側とした。ウェブを高さ方向に等分割 (HO110: 28 分割, HO90: 22 分割) し、圧縮フランジ側から数えて 2 つめの位置から 1、2 と番号をつけ、この番号によって CFRP 板接着位置を表す。フランジは接着するか否かの 2 種類とした。接着長さは図-1 に示されている通り、載荷点から一つ目のウェブパネルをほぼ覆う長さとした。

解析では CFRP 板はヤング係数の異なる 2 種類を使い、その補強効果を比較した。また、解析モデルによって CFRP 板の接着位置を変化させ、補強効果に与える影響も考察した。

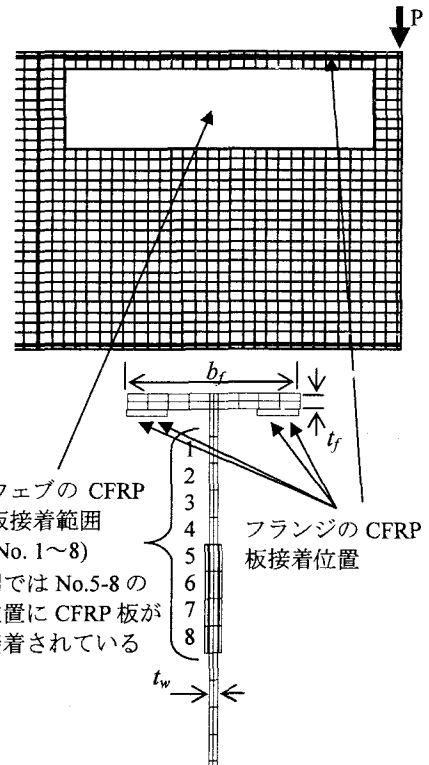


図-1 解析モデル (HO110)

表-1 材料特性

	Steel	CFRP-1	CFRP-2	Adhesive
E_x (MPa)	210000	280000	142000	1500
E_y (MPa)	210000	7000	8800	1500
E_z (MPa)	210000	7000	8800	1500
ν_{xy}	0.3	0.28	0.34	0.4
ν_{yz}	0.3	0.3	0.3	0.4
ν_{zx}	0.3	0.007	0.002	0.4
G_{xy} (MPa)	8100	1000	1000	540
G_{yz} (MPa)	8100	2700	3400	540
G_{zx} (MPa)	8100	1000	1000	540

E: 弾性係数 ν : ポアソン比 G: せん断弾性係数

表-2 解析モデルの断面寸法

	t_f mm	b_f mm	t_w mm	D_w mm	F_{yf} MPa	F_{yw} MPa	L mm	$(b_f/2t_f)$ $\times (F_{yf}/345)$	(D_w/t_w) $\times (F_{yw}/345)$	M_p KN/m
HO110	11	125	6	546	520	540	2100	6.98	114	640
HO90	9	150	6	440	525	525	1450	10.28	90	471

D_w : ウェブ高
 F_{yf}, F_{yw} : フランジ
及びウェブの降伏
応力

3. 解析結果および考察

解析結果を、塑性モーメント(M_p)とその時の回転角(θ_p)で無次元化したモーメントー回転角曲線によって比較したものを図-2~5に示す。凡例中、“No.1-4”のように番号だけのものはウェブにのみ CFRP が接着されており、“(f)”が付いているものはフランジにも CFRP が接着されていることを示す。

図-1,2に示すとおり、フランジだけに CFRP を接着してもある程度塑性回転容量の多少の改善は期待できるが、最大荷重に関してはほとんど増加が見られない。ウェブの全範囲に接着することにより塑性回転容量、最大荷重ともかなりの補強効果が得られることが分かるが、フランジとウェブ両方に接着した場合 (No.1-4(f)) の方が、同等以上の補強効果で CFRP の使用量を減らすことが出来る。

この傾向は、2 供試体とも、耐荷力の減少はウェブとフランジ両方の局部座屈が寄与しており、同時に両方の局部座屈を抑制することにより耐力を効果的に増加させることが出来ることを示していると思われる。

また、ここでは結果を載せなかったが、ウェブの各箇所一枚ずつ CFRP を接着した場合、No.1 の位置に一枚だけ貼り付けた場合が最も効果的であるという結果になった。この傾向は HO110 の No.1-4 と No.1-8 に大きな補強効果の違いが出ていない事によっても分かる。さらに、ウェブの補強面積の違いによる補強効果の違いはフランジ幅厚比が大きい HO90 において顕著となった。

図-4には HO90 の 2 つのケースにおいて CFRP のヤング係数を変化させた結果を比較している。弾性係数が半分になることによって、局部座屈の発生による除荷が早く起こっているのがわかる。弾性係数は同じで CFRP を 2 枚接着した結果を図-5に示す。HO90、HO110 とも、CFRP を 2 層に増やすことによる補強効果の違いは今回の解析範囲では明確に現れなかったが、2 層接着の場合、解析終了時においても局部座屈波形は小さく、荷重増加の余力を残しているとみられる。しかし、CFRP の使用量が 2 倍になることを考えると、1 枚だけ接着したほうが経済的であると思われる。

4. おわりに

これらの結果から、CFRP 接着により部材の局部座屈の発生を遅らせることが可能で、塑性変形能を改善出来ることが分かった。今回は接着剤層内の応力分布については述べなかったが、CFRP のはく離にも関連し、補強効果にも大きく影響するので、接着剤層内の応力についても今後検討していく。また、実際に供試体を製作し載荷実験を行い、補強効果を検討する予定である。

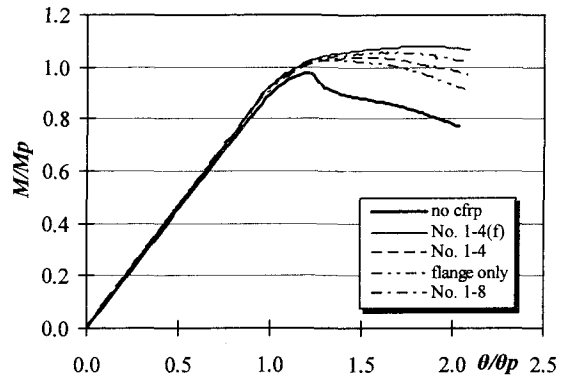


図-2 M/M_p - θ/θ_p の比較 (HO110)

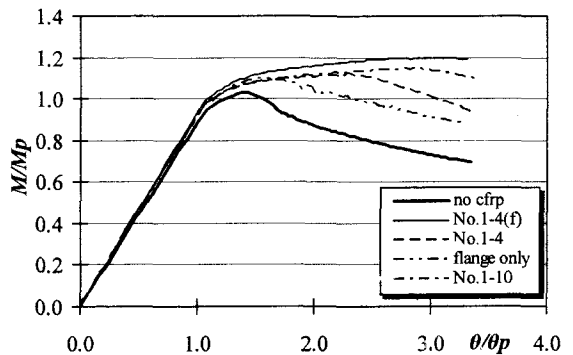


図-3 M/M_p - θ/θ_p の比較 (HO90)

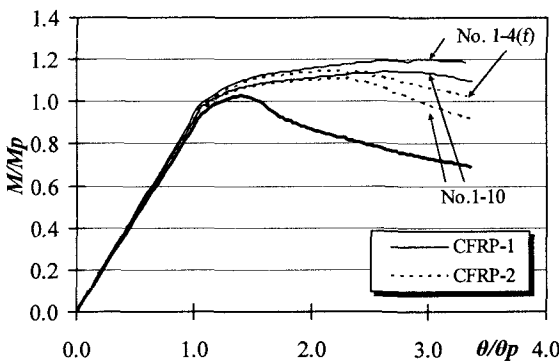


図-4 弾性係数の違いによる比較 (HO90)

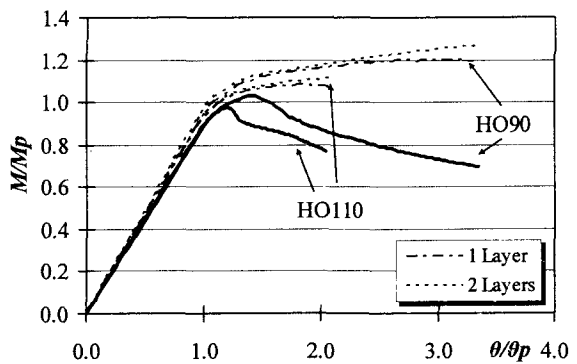


図-5 層数の違いによる比較

<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) 日本マーク株式会社：MARC User's Manual