

トラス橋斜材のCFRPシートによる耐震補強に関する実験研究

PHAM NGOC VINH¹・大垣 賀津雄²・服部 雅史³・宮下 剛⁴
秀熊 佑哉⁵・櫻井 俊太⁵

¹正会員 ものづくり大学特任講師 技能工芸学部建設学科 (〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333 番地)

E-mail: pnvinh@iot.ac.jp

²正会員 ものづくり大学教授 技能工芸学部建設学科 (〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333 番地)

E-mail: ohgaki@iot.ac.jp

³正会員 高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

E-mail: m.hattorit.ab@ri-nexco.co.jp

⁴正会員 長岡技術科学大学准教授 環境社会基盤工学系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

E-mail: mtakeshi@vos.nagaokaut.ac.jp

⁵正会員 日鉄ケミカル&マテリアル㈱ コンポジット事業部 (〒103-0027 東京都中央区日本橋 1-13-1)

E-mail: hidekuma.3ae.yuya@nscm.nipponsteel.com

E-mail: sakurai.sh.msu@nscm.nipponsteel.com

鋼構造部材の耐震補強において、炭素繊維強化ポリマー（以下、CFRP と呼ぶ）を用いた工法が注目されている。本研究では、CFRP シートを用いた耐震補強工法の効果を評価するために、鋼トラス橋の引張部材として設計された H 形断面斜材の単調引張載荷および交番載荷実験を実施した。実験供試体のフランジの内側または外側に CFRP シートを接着し、その施工方法をパラメータとした供試体の耐荷性能等を比較した。H 形断面フランジの両面に CFRP シートを接着する工法は、斜材耐荷力が大幅に改善することを示したが、フランジの局部的座屈に伴う CFRP シートの破壊が発生した後、補強した斜材の耐荷力が急激に低下することがわかった。

Key Words: Truss bridge diagonal members, Seismic retrofitting, CFRP sheets, Cyclic loading tests.

1. はじめに

日本の道路橋は 1950 年から 1970 年代までの高度経済成長期に数多く建設されており、建設後 50 年以上経過している橋梁が供用され続けている。また、1995 年の阪神淡路大震災後に道路橋の耐震設計基準が大幅に改訂された¹⁾。具体的には、建設当時の修正震度法の代わりに動的応答解析を用いた断面設計法が新たな耐震設計法として基準化されている。そのため、平成 8 年の道路橋示方書²⁾以前の基準で設計された橋梁の主構造部材の多くは耐震性能不足の状態にある。特に、支間長が比較的大きいトラス橋では、桁端部付近の下弦材や支間中央部の斜材は許容応力度に対して常時荷重で余裕があり、最低

断面で設計されている。とりわけ、常時荷重に対して引張を受ける部材として設計された斜材は薄肉の H 形断面であり、現在の耐震設計基準で動的応答解析を行うと局部座屈が生じることとなり、耐震性能が不十分となる。

したがって、このような部材に対する耐震補強が求められており、従来の高力ボルト（以下、HTB と呼ぶ）による当て板補強を行った場合、孔引きに伴う当て板の板厚増大や補強後の腐食対策等、種々の課題が浮き彫りになっている。そこで新たな鋼構造物の補強材料として注目されているのが CFRP シートであり、軽量かつ高強度、高耐久性といった特徴を有する。また CFRP 接着工法は、施工に大掛かりな機材を必要とせず、接着積層するだけなので、施工が容易かつ狭隘な場所にも対応する

ことができる。さらに従来の当て板工法のように、HTB 孔の断面欠損や溶接による熱影響も受けない工法である。近年では、CFRP による鋼構造物の補修・補強マニュアル³⁾の発刊や、FRP 接着による構造物の補修・補強指針⁴⁾の整備に伴い、適用箇所が拡大している⁵⁾。

本研究では、トラス橋の耐震補強が必要な H 形断面斜材の供試体を対象に、単調引張載荷および引張と圧縮を受ける交番載荷を実施した¹⁰⁾。また、それぞれの載荷実験において、CFRP シートの貼付け方法をパラメータとした補強供試体を準備して、その補強効果を確認した。

2. 実験概要

(1) 実験供試体

本研究における実験供試体の一般図を図-1 に示す。実験供試体は実橋と同様に H 形断面で局部座屈が発生するような断面としている。実験の評価対象である供試体中央部のフランジや腹板の板厚は 8mm、フランジ幅 250mm、腹板幅 320mm、長さ 1100mm としている。フランジの幅厚比パラメータは $R=0.92$ 、腹板の幅厚比パラメータは $R=0.78$ であり、フランジの局部座屈が先行する設計とした¹¹⁾。

(2) 材料特性

本研究で使用した材料諸元を表-1 に示す。鋼材は SS400 材を使用した。そして、CFRP シートには中弾性タイプを使用している。補修施工によく使用されている高弾性シートタイプと比較すると、中弾性シートの方が弾性係数は低いものの、引張強度が高いため、繰返し荷重下で発生する座屈に対する補強効果が期待できる。また、CFRP シートをエポキシ樹脂で鋼部材に接着した場合、座屈等の大変形が起きると CFRP シートがはく離し、CFRP シートによる補強効果を十分に発揮できない。そのため、補強を行ったすべての実験供試体に対して、鋼材と CFRP の間にシートのはく離制御効果のあるポリウレアパテ（以下、パテ材と呼ぶ）を挿入した¹²⁾¹³⁾。

(3) CFRP シート接着工法

CFRP シート接着工法の施工手順³⁾としては、まず鋼材表面の錆や汚れをグラインダーで除去後、表面にアセトン塗布した布で清掃して脱脂を行い、ウレタンプライマーを塗布する。次にパテ材の塗布を行うが、塗布量を均一にするために、使用重量を計測して施工厚さを平均 0.8mm に管理する。CFRP シートを貼付ける際には、含浸させるエポキシ樹脂を塗布した後、CFRP シートを供試体軸方向に貼付け、さらに含浸樹脂の上塗りを行い、ローラーで含浸を行う。この作業を CFRP の積層分繰返して施工した。

(4) 供試体パラメータ

補強有り供試体のフランジは、局部座屈の発生を抑えるために、中弾性 CFRP シートの鋼換算板厚で 3mm の増加を目標とした。この時、補強後のフランジ幅厚比パラメータは $R=0.68$ となる。単調引張載荷実験と交番載荷実験の供試体パラメータをそれぞれ表-2 と表-3 に示す。

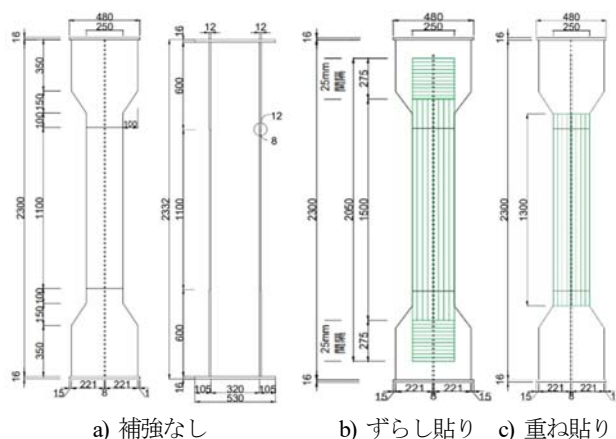


図-1 実験供試体

表-1 材料諸元

材料	鋼材 (SS400)	中弾性 CFRP シート	エポキシ 樹脂	パテ材
弾性係数 (MPa)	2.0×10^5	4.26×10^5	2488	72
降伏点 (MPa)	285	—	—	—
引張強度 (MPa)	445	3925	73	10
設計厚さ (mm)	—	0.165	0.5	0.8
ポアソン比*	0.3	0.3	0.38	0.49
伸び (%)	31	—	—	431

* 実測値ではなく、計算上使用した値

表-2 単調引張載荷の実験供試体パラメータ

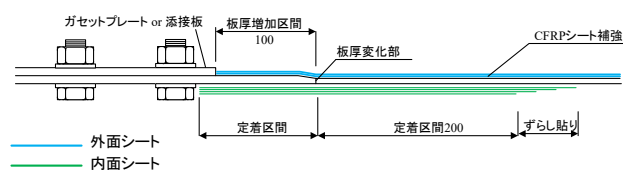
CASE	補強材料	貼付け方法		
		パテ材	外面シート	内面シート
1	補強なし	—	—	—
2	CFRP シート (中弾性)	有	ずらし貼り (12層)	なし
3			重ね貼り (12層)	なし
4				A 案
5				B 案

表-3 交番載荷の実験供試体パラメータ

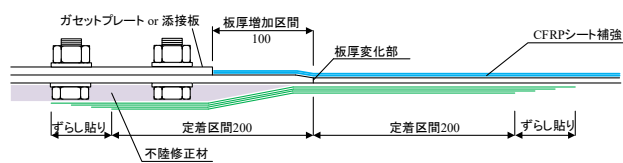
CASE	補強材料	貼付け方法		
		パテ材	外面シート	内面シート
1	補強なし	—	—	—
2	CFRP シート (中弾性)	有	重ね貼り (12層)	なし
3				A 案
4				B 案
5			なし	C 案
6			重ね貼り (12層)	

耐震補強では部材全長を補強する必要があるため、ガセットプレート部での定着方法をパラメータとし、外面と内面のシートの貼り方の違いが補強効果に及ぼす影響を検討した。単調引張載荷実験における CASE2 は補強効果の基本ケースであり、文献 3) で規定されている定着長と端部ずらし量を確保したものである。一方、CASE3 はガセット部の構造を考慮し、添接板の手前で全層ずらし貼りを行わず重ね貼りしたケースである。文献 10) で CASE3 の施工方法をした場合の降伏荷重が CASE2 よりも低く、CASE1 の無補強と同程度であったことから、改良案として A 案、B 案を提案している。CASE4 の A 案では図-2 a) のようにフランジ外面が 12 層の重ね貼りで、内面の部材中央側は板厚変化部から定着長区間 200mm を取り¹⁴⁾、そこからずらし貼りを行っており、ガセット側はボルト手前まで重ね貼りで定着している。CASE5 の B 案では図-2b) のようにフランジの外面は A 案と同じ 12 層の重ね貼りで、内面は添接板のボルトの部分を不陸修正材にて平滑にし、その上に CFRP シートを含浸接着した。そして、鋼材の板厚変化部から定着区間 200mm を取り、そこからずらし貼りで施工している。

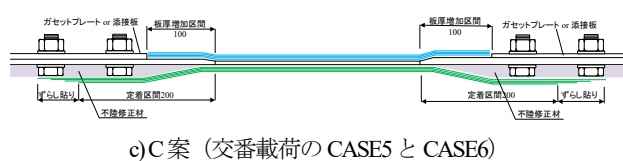
交番載荷実験では A 案と B 案は引張載荷実験で実施したものと全く同じである。しかし、引張と圧縮を受ける交番載荷実験では、フランジの内面に施工した不連続的な CFRP シート部分の影響を無くすために、図-2 c) のように B 案の中央部の未施工部をなくした C 案を追加した。CASE5 は内面のみに CFRP シートを 12 層のずらし貼りで施工したケースであり、CASE6 は外面を重ね貼りで内面は両端ボルトまで 12 層のずらし貼りで施工したケースである。そのため、CASE6 は他の補強ケースより鋼換算板厚が倍の 6mm になっている。



a) A 案（単調引張載荷の CASE4 および交番載荷の CASE3）



b) B 案（単調引張載荷の CASE5 および交番載荷の CASE4）



c) C 案（交番載荷の CASE5 と CASE6）

図-2 ガセット部の貼付け方法

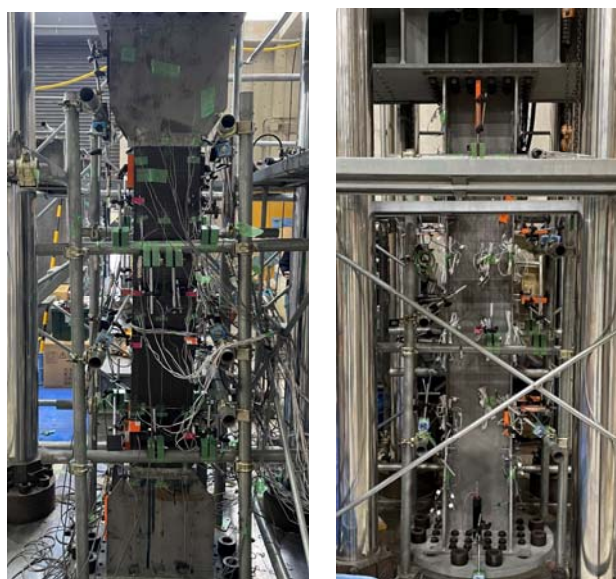
(5) 載荷方法

載荷方法は図-3 に示すように、3000kN 万能試験機を用いて、その両端をボルトで固定した。単調引張載荷実験では終局破壊状況まで載荷した。一方、交番載荷実験では単調引張載荷実験と境界条件を同じとし、図-4 に示す通りの載荷パターンで引張と圧縮を繰返ししながら徐々に降伏変位 δ_y ずつ増加させていく載荷方法で実施した。ここで、降伏変位 $\delta_y=1.8\text{mm}$ は無補強の鋼材断面における引張荷重に対する計算値である。

(6) ひずみ・変位の計測方法

載荷中のひずみの計測は供試体フランジと腹板の表面および裏面の各所に 1 軸塑性ひずみゲージを貼付けており、局部座屈が生じた瞬間を確認している。

また、供試体の変形を測定するため、供試体の鉛直変位は着目部長さ 1100mm の区間の相対変位として、この区間 4 箇所に変位計を設置した。また、フランジの主要点における面外変位を計測し、局部座屈が生じる様子を確認した。



a) フランジ面

b) 腹板面

図-3 載荷実験状況

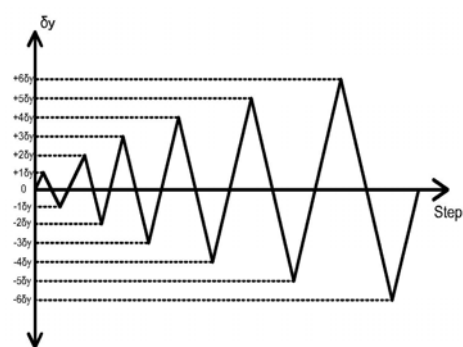


図-4 交番載荷実験の載荷パターン

3. 単調引張載荷実験

(1) 荷重と変位の関係

単調引張載荷から得られた実験結果のまとめを表-4に、荷重と鉛直変位の関係を図-5に示す。同図に示すように、補強なしケースより補強有ケースの方が荷重・変位の関係における初期剛性が大きくなり、最大荷重が30%～64%上昇することが確認できる。表-4に示した降伏荷重は断面変化位置のフランジ（薄い側）における降伏ひずみから判定されている。ただし、フランジの内面にシートを貼付けたCASE4およびCASE5では、図-6の荷重・ひずみ関係の折れ曲がり点（弾性範囲の直線と塑性後の直線を結んだ交点）から求めた値である。単調引張荷重下では、補強なしのCASE1供試体の降伏後は降伏棚に入って変形が増大している。一方、CFRPシートで補強したCASE2～5は、降伏荷重が16%～30%改善しており、降伏後の伸び変形を抑えることができている。このように、CFRPシートの施工工法による降伏荷重の上昇効果と降伏後の変形抑制効果は、耐震補強に利点があると考えられる。

また、これまでの知見の通り、重ね貼りのCASE3よりもずらし貼りのCASE2の方が最大荷重が大きいことがわかる。ただし、CASE2は試験機載荷荷重上限である3000kNに至って載荷を停止しており、最大荷重がさらに大きかった可能性がある。一方、内面も補強したCASE4,5も降伏荷重、最大荷重ともCASE2に近く、高い補強効果が得られていることがわかる。CASE4の最大荷重はCASE5と比較すると約6%低くなった。また、すべての補強有ケースのシートははく離荷重は、鋼部材の降伏荷重後に発生が大きくなってから発生しており、供試体の終局耐力を向上させることができている。

(2) 破壊状況

供試体の載荷後の破壊状況の写真を図-7に示す。すべてのCFRPシート補強有ケースでは、シートの端部においてははく離が発生している。そして、ボルト添接部を不

陸修正材で埋めてずらし貼りを行ったCASE5では、外面のシート端部のはく離以外、供試体の中央側での内面のシート端部にもはく離が発生した。しかし、載荷後でボルト部における不陸修正材およびボルト添接部に施工したCFRPシートは最大荷重後も健全であり、図-7 d)に示すように破壊が生じていない。

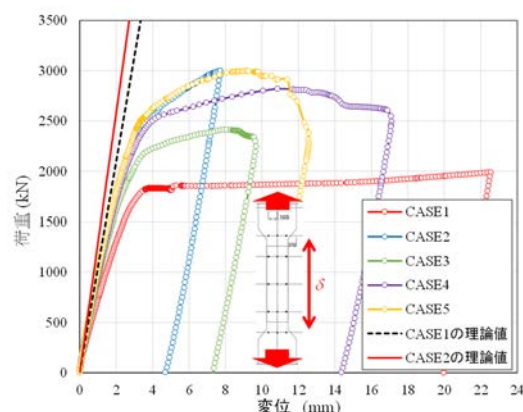


図-5 荷重と鉛直変位の関係（単調引張載荷）

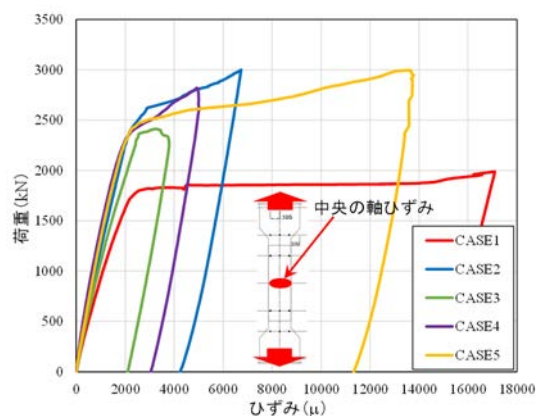


図-6 荷重と軸方向ひずみの関係（単調引張載荷）

表-4 単調引張載荷の実験結果一覧

CASE	補強工法		降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	無補強と最大荷重の比	破壊状況
	外面	内面				
1	なし		1829	1829	1.00	断面の全塑性
2	ずらし貼	なし	2321	3000	1.64	シート端部におけるはく離
3	重ね貼	なし	2119	2411	1.32	外面シート端部のはく離
4		A案	2321	2819	1.54	外面シート端部のはく離
5		B案	2380	2996	1.64	外面と内面シート端部のはく離

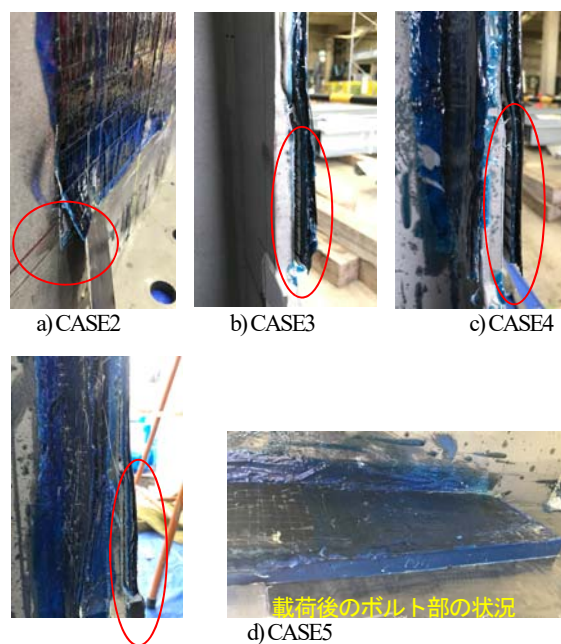


図-7 供試体の破壊状況（単調引張載荷）

一般的に、CASE2 は補強効果が最も高いが、実橋の斜材端部のガセットプレート部には添接板やボルトがあり、このような CFRP シート施工ができないため、CASE4,5 のようなシート施工方法が望ましいといえる。さらに、補強効果は若干劣るが、ガセットプレート格点部のメンテナンスや CFRP シートの施工性等を考慮すると、ボルト添接部を埋めない施工法である CASE4 が望ましいと考えられる。

4. 交番載荷実験

(1) 荷重と変位の関係

交番載荷から得られた実験結果のまとめを表-5 に示す。また、荷重と鉛直変位の関係を図-8 に、荷重と鉛直変位のピーク包絡線を図-9 に示す。同図に示すように、補強なし CASE1 では引張載荷側で鋼部材断面の全塑性荷重 2029kN で最大耐力に達成し、圧縮載荷側でフランジと腹板における局部座屈変形により荷重 1867kN で最大耐力に達成した。一方、供試体のフランジに CFRP シートを施工することにより補強有ケースの最大耐力は引張載荷側で 15%~45% 上昇し、圧縮載荷側で 4%~32% 上昇した。

これらの結果のうち、外面のみにシートの重ね貼り施工した CASE2 および内面のみにシートを連続的に施工した CASE5 は、最も低い補強効果であった。原因としては、CASE2 の施工方法を実施した場合の降伏荷重が改善されず、CASE1 の無補強と同じ程度になるためである。また、CASE5 の内面のみシート貼付けを行ったケースでは、フランジにおける板厚変化部の偏心モーメントが大きくなり、圧縮載荷側での耐力が改善されず無補強 CASE1 と同程度の耐力であった。

一方、CASE3, 4, 6 においてフランジの両面に CFRP シートを貼付けることにより、引張載荷側と圧縮載荷側

にも高い補強効果が得られることが確認できる。したがって、H 形断面の斜材に対する CFRP シートの耐震補強工法では、フランジの両面にシートを施工の方が補強効果が高いといえる。さらに、交番繰返し載荷荷重下では A 案 (CASE3)、B 案 (CASE4) と C 案 (両面施工 CASE6) の CFRP シートの貼付け方法を施工した場合の引張側降伏荷重は、無補強と比べると 27%~38% 向上し、変形を抑えられていることが確認できる。また、これらのケースの補強効果には大きい差がなかった。しかしながら、圧縮載荷側ではフランジにおける局部座屈変形により、すべての補強ケースの圧縮耐力が $2\delta_y$ で急激に低下している。これは、直前の載荷ループでの座屈変形により CFRP シートが破断したため、残りの載荷ループで補強有ケースの引張耐力も低減したことによる。

(2) 破壊状況

供試体の交番載荷後の破壊状況の写真を図-10 に示す。実験結果から、すべての供試体では初期の破壊モードとして $1\delta_y$ で腹板に座屈が発生している。しかしながら、腹板における座屈は供試体の耐力を低減させておらず、すべての供試体では補強の有無に関わらず $2\delta_y$ でフランジの座屈が発生した。そして、フランジにおける座屈変形は供試体の耐力の大幅な低下につながる主な原因になった。さらに、フランジにおける座屈変形は CFRP シートの破断にも繋がった。しかし、鋼材と CFRP の間にシートのはく離制御効果のあるパテ材を適用することにより、鋼材と CFRP シートの間の断面合成効果はシートの破断の発生後にも確保できている。

単調引張実験から得られた結果と同じように、繰返し荷重下での CFRP シート補強工法では、ガセット・プレート格点部のメンテナンスや CFRP シートの施工性等を考慮するとボルト部を埋めない A 案の施工方法が望ましいと考えられる。

表-5 交番載荷の実験結果一覧

載荷 パターン		CASE1		CASE2		CASE3		CASE4		CASE5		CASE6	
		最大荷重 (kN)	破壊 モード	最大荷重 (kN)	破壊 モード	最大荷重 (kN)	破壊 モード	最大荷重 (kN)	破壊 モード	最大荷重 (kN)	破壊 モード	最大荷重 (kN)	破壊 モード
1	+ δ_y	1341		1476		1702		1792		1535		1857	
	- δ_y	-1619	腹板座屈	-2052	腹板座屈	-2019	腹板座屈	-2009	腹板座屈	-1751	腹板座屈	-2063	腹板座屈
2	+ $2\delta_y$	2029		2304		2657		2740		2519		2864	
	- $2\delta_y$	-1867	フランジ 座屈	-2262	フランジ 座屈およ びシート の破断	-2470	フランジ 座屈およ びシート の破断	-2386	フランジ 座屈およ びシート の破断	-1949	フランジ 座屈およ びシート の破断	-2389	フランジ 座屈およ びシート の破断
3	+ $3\delta_y$	2055		2374		2437		2414		2130		2998	
	- $3\delta_y$	-1309		-1532		-1568		-1534		-1401		-1802	
4	+ $4\delta_y$	2035		2328		2484		2535		2227		2369	
	- $4\delta_y$	-1272		-1400		-1428		-1446		-1302		-1352	
5	+ $5\delta_y$	2056		2355		2500		2625		2278		2304	
	- $5\delta_y$	-1199		-1341		-1314		-1377		-1198		-1200	
6	+ $6\delta_y$	2019		2370		2581		2622		2290		2368	
	- $6\delta_y$	-1142		-1277		-1217		-1284		-1081		-938	

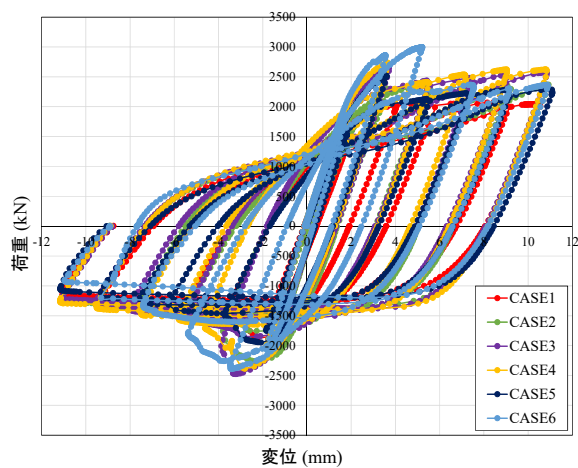


図-8 荷重と鉛直変位の関係 (交番載荷実験)

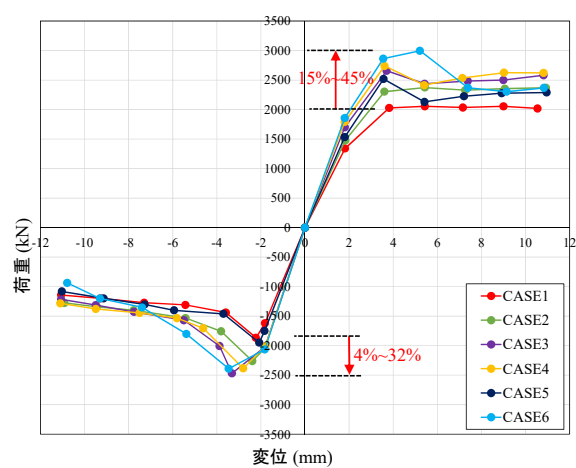


図-9 荷重と変位ピーク時包絡線

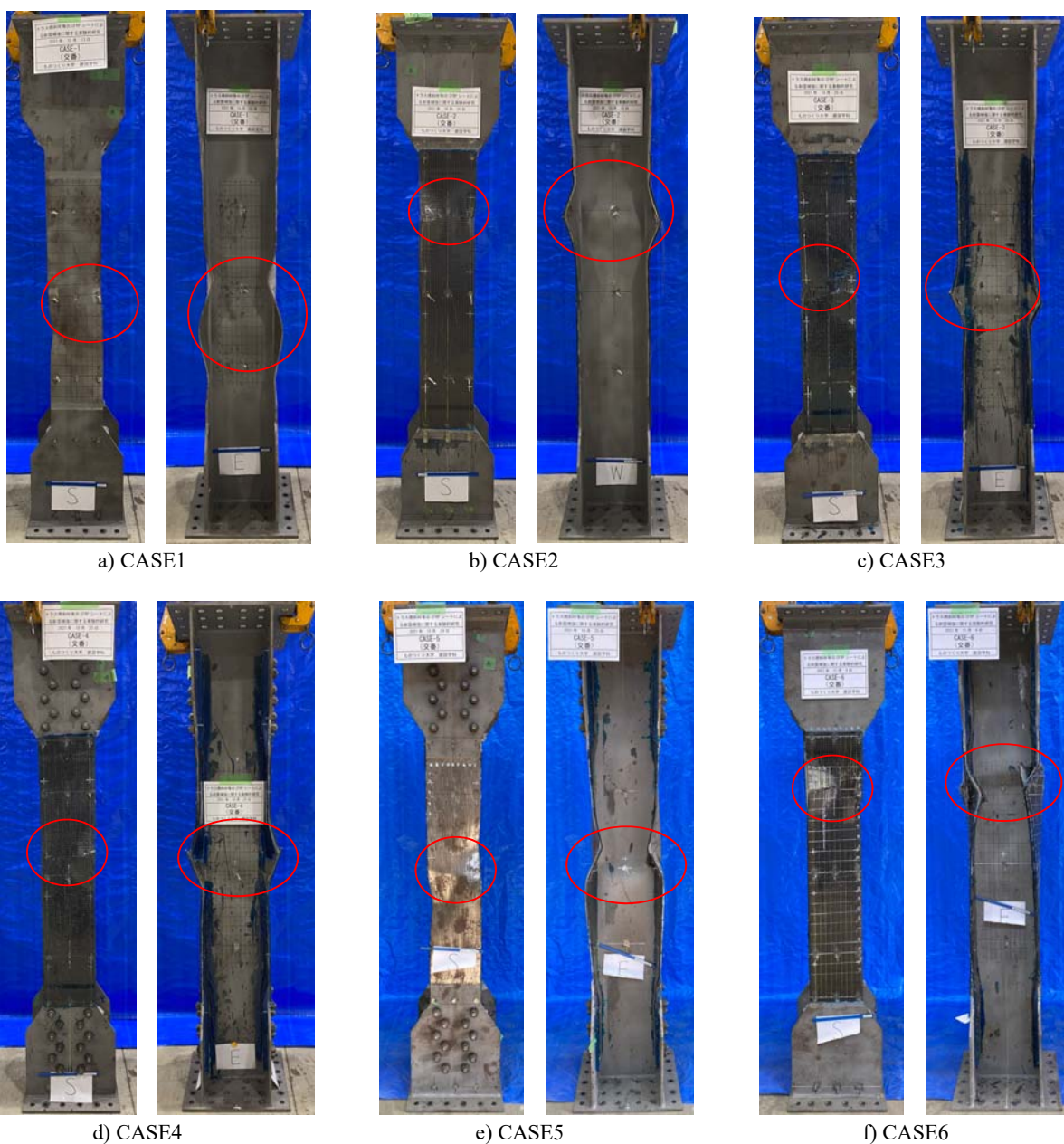


図-10 供試体の破壊状況 (交番載荷実験)

5. まとめ

本研究は、耐震補強が必要なトラス橋のH形断面の斜材を対象に、CFRP シートのガセットプレート部の施工方法をパラメータとした、ほぼ実寸大の供試体に対する単調引張載荷および引張と圧縮を受ける交番載荷を行い、耐震補強効果を確認した。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) H 形断面斜材供試体のフランジに CFRP シートを貼付けることによりすべての補強有ケースの降伏荷重および降伏後の強度が上昇し、弾性範囲の引張剛性も向上させることができた。
- 2) 単調引張載荷の実験結果より、フランジの外面のみに CFRP シートの重ね貼りを施工した場合の補強効果が一番低く、補強なし場合と同じ程度になることが確認できた。しかし、A 案と B 案の CFRP シート貼付け方法を用いることにより、定着長とずらし量を十分に確保した CASE2 に近い引張強度が得られ、高い補強効果があることがわかった。
- 3) さらに、フランジの両面にガセット部の手前まで CFRP シートを貼付けた A 案の補強は施工性が高く、ボルト部を埋めた B 案と比較して補強効果は若干低い程度であることがわかった。
- 4) 引張と圧縮を受ける交番載荷の実験結果より、フランジの外面のみに CFRP シートを施工した場合の補強効果は補強なし場合と同等で局部座屈が発生しており、耐荷力も補強した中では最も低くなることがわかった。
- 5) したがって、地震の繰返し荷重下で、H 形断面斜材に対する CFRP シートの耐震補強工法には、フランジの両面にシートを施工する必要がある。さらに、繰返し載荷荷重下では A 案 (CASE3)、B 案 (CASE4) と C 案 (両面施工 CASE6) の CFRP シートの貼付け方法を施工した場合の引張側降伏荷重は、無補強より 27%~38% 向上し、変形を抑えられていることが確認できた。
- 6) しかしながら、圧縮載荷側ではフランジにおける局部座屈変形により、すべての補強ケースの圧縮耐荷力が 2δ で急激に低下している。これは、直前の載荷ループでの座屈変形により CFRP シートが破断されたため、残りの載荷ループで補強有ケースの引張耐荷力も低下したものと考えられる。

以上のことを踏まえて、今後の課題としては、H 形断面斜材ガセットプレート部の施工性が優れている A 案を中心に、軸直角方向の CFRP シートをパラメータに加え、 3δ 以降の圧縮側の耐荷力低下を減少させる工夫を行い、補強有ケースの耐震補強効果の向上を図りたいと考えている。

謝辞：本研究に際し、ものづくり大学 橋梁・構造研究室各位に実験等の協力を頂きました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，平成 8 年 12 月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，昭和 55 年 12 月
- 3) 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
- 4) 土木学会：FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案），複合構造シリーズ 09，2018.7.
- 5) Pham, N. V., and T. Miyashita. Nonlinear stress analysis for CFRP-sheet-bonded steel plates under uniaxial tensile loading, *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol.8(1), pp.127-143, 2020.
- 6) Pham, N. V., T. Miyashita, K. Ohgaki, Y. Hidekuma, and T. Harada. Repair method and finite element analysis for corroded gusset plate connections bonded to CFRP sheets, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, Vol.147(1), 04020310, 2021.
- 7) Pham, N. V., T. Miyashita, K. Ohgaki, Y. Okuyama, Y. Hidekuma, and T. Harada. Load-Carrying Capacity of Corroded Gusset Plate Connection and Its Repair Using CFRP Sheets, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, Vol.147(6), 04021068, 2021.
- 8) Pham, N. V., K. Ohgaki, T. Miki, Y. Hidekuma, and S. Sakurai. Seismic retrofitting method using CFRP sheets for H-section steel beam with variable cross section, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, Vol.148(4), 04022004, 2022.
- 9) 下前照，大垣賀津雄，Ngoc Vinh PHAM，酒造敏廣，秀熊佑哉：鋼構造板厚変化部の CFRP 補強に関する基礎的実験と解析，土木学会，第 8 回 FRP 複合構造・橋梁シンポジウム論文集，2020.11.
- 10) 秀熊佑哉，櫻井俊太，大垣賀津雄，Ngoc Vinh PHAM，手塚渉太，服部雅史，長谷俊彦，宮下剛：引張を受ける H 形断面部材の CFRP シートによる耐震補強に関する実験的研究，土木学会第 76 回年次学術講演会，CS6-20，2021.9
- 11) 土木学会：座屈設計ガイドライン，鋼構造シリーズ 2，1987.10.
- 12) 奥山雄介，宮下剛，緒方辰男，藤野和雄，大垣賀津雄，秀熊佑哉，堀本歴，長井正嗣：鋼桁腹板の合理的な補修・補強方法の確立に向けた FRP 接着鋼板の一軸圧縮試験，構造工学論文集，Vol.57A, pp.735-746, 2011.
- 13) 西野晶弘，秀熊佑哉，宮下剛，奥山雄介，大垣賀津雄，小森篤也：ポリウレアパテの弾性係数の違いが CFRP 接着鋼板の応力伝達に与える影響，土木学会第 7 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，2018.11
- 14) 秀熊佑哉，石川敏之：CFRP 接着鋼板における定着長不足が補強効果に与える影響，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.75, NO.5, 19-26, 2019.

(Received August 26, 2022)

EXPERIMENTAL STUDY ON SEISMIC RETROFITTING METHOD USING CFRP SHEETS FOR TRUSS BRIDGE DIAGONAL MEMBERS

Ngoc Vinh PHAM, Kazuo OHGAKI, Masafumi HATTORI, Takeshi MIYASHITA,
Yuya HIDEKUMA, and Shunta SAKURAI

The seismic retrofitting methods that apply carbon-fiber-reinforced polymer (CFRP) as a strengthening material for aging-steel-structural members have gradually become an area of interest. This study conducted monotonic tension loading and cyclic loading tests on tension diagonal members of steel truss bridges to evaluate the effects of seismic retrofitting methods using CFRP sheets. The CFRP-retrofitting methods were proposed with varying the bonding range of the CFRP sheets on the inside or outside of the flanges of the specimens. The tested results showed that the retrofitting methods bonding the CFRP sheets on both sides of the flanges significantly improved the load-carrying capacity and the yield strength of the retrofitted diagonal members. However, the load-carrying capacity of the retrofitted diagonal members suddenly reduced after the local buckling of the flanges and breakage failure of the CFRP sheets occurred.