(23) CFRP成型板を用いたI型断面鋼桁の上フランジ補強に関する研究

櫻井 俊太¹・秀熊 佑哉²・寺崎 詠介³・Vinh PHAM NGOC⁴・大垣 賀津雄⁵

¹正会員 日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 コンポジット事業部 (〒103-0027 東京都中央区1-13-1) E-mail:sakurai.sh.msu@nscm.nipponsteel.com

²正会員 日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 コンポジット事業部 (〒103-0027 東京都中央区1-13-1) E-mail:hidekuma.3ae.yuya@nscm.nipponsteel.com

> ³学生会員 ものつくり大学 建設学科 (〒361-0038 埼玉県行田市大字前谷333) E-mail:b01812119@iot.ac.jp

⁴正会員 ものつくり大学特任講師 建設学科 (〒361-0038 埼玉県行田市大字前谷333) E-mail:pnvinh@iot.ac.jp

⁵正会員 ものつくり大学教授 建設学科 (〒361-0038 埼玉県行田市大字前谷333) E-mail:ohgaki@iot.ac.jp

現在,床版を取替える大規模更新事業が進められており,取替え後の床版による死荷重の増加等の理由 から,鋼桁補強の需要が増加している.しかし,上フランジの補強には上面に床版があるため,上フラン ジ下面から補強を行う必要がある.近年,補強材として炭素繊維を用いた補強工法が行われているが,上 フランジ下面には垂直補剛材が設置されているため炭素繊維を桁軸方向に連続して貼ることができない. そこで本研究では,垂直補剛材をかわすための切欠きがあるCFRP成型板を作製し,上フランジ下面に接着 して補強したI型断面の鋼桁供試体について,4点曲げ試験を行った.試験は正曲げ試験と負曲げ試験を行 い,補強効果の検討を行った.その結果,両試験ともに鋼桁の剛性が増加し,切欠き部分においても上フ ランジの応力を低減する効果が確認された.

Key Words : CFRP molded plate, steel girder, upper flange, bond, reinforcement

1. はじめに

現在,高速道路リニューアルプロジェクトの一環とし て,床版を取替える大規模更新工事等が進められており ¹⁾,取替え後の床版による死荷重の増加,合成桁の場合は 床版取替え時に鋼桁のみの構造となり不安定な状態とな るなどの理由から,鋼桁補強の需要が増加することが考 えられる.しかし,上フランジを補強する場合には上面 に床版があるため,下面から補強を行う必要がある.鋼 構造物の補修・補強工法には,炭素繊維補強材を樹脂で 接着する工法が適用され始めている²⁴⁴が,上フランジ下 面には垂直補剛材が設置されているため炭素繊維を桁軸 方向に連続して貼ることができない.そこで本研究では, 垂直補剛材をかわすための切欠きがある炭素繊維成型板 (以下,CFRP成型板という)を作製し,上フランジ下面

(以下、CFRP成型板という)を作製し、上フランシト面に接着して補強したI型断面の鋼桁供試体について、4点

曲げ試験を行った.試験は、上フランジが圧縮となる正 曲げ試験と、上フランジが引張となる負曲げ試験を行い、 補強効果の検討を行った.また、本試験で適用した接着 方法について引張付着試験により付着特性の評価を行った.

2. 使用材料

本試験に用いた材料特性値を表-1,表-2に示す. 炭素

表-1 炭素繊維シートの材料特性値

	繊維目付 (g/m ²)	設計厚 (mm)	弾性率 (kN/mm ²)
炭素繊維シート	306	0.143	674
炭素繊維 ストランドシート	619	0.286	737

繊維は高弾性炭素繊維シートおよび高弾性炭素繊維スト ランドシートを用いた.炭素繊維シートおよびCFRP成型 板の接着は既存のマニュアル⁵に従い高伸度弾性パテ (ポリウレアパテ)およびエポキシ樹脂を使用した.

3. I型鋼桁曲げ試験概要

(1) 曲げ供試体概要

本試験で作製した供試体一覧を表-3に示す.本試験で は曲げモードおよび上下フランジの補強の有無をパラメ ータとして計5種類の供試体を各1体ずつ作製した.供試 体図を図-1に示す.本供試体は実橋の約1/2の規模とし, 全長6,300mm,腹板高さ1,000mmとした.また,実橋と同 様に一方の面に垂直補剛材および水平補剛材を設置した. 中央の試験パネルでの破壊を先行させるため,左右の載 荷桁の上下フランジの幅および板厚を大きくした.本試 験では両側の載荷桁は転用しており,中央の試験パネル のみ交換しながら試験を行った.

表-2 使用樹脂の材料特性値

樹脂	弾性率 (N/mm ²)	備考
ビニルエステル系樹脂	2,860	CFRP 成型板 マトリックス樹脂
ポリウレアパテ	74	高伸度弾性パテ
エポキシ樹脂	2,830	接着樹脂

表-3 供試体一覧

供試体名	出いディート	補強		
	囲りモート	上フランジ	下フランジ	
Ν	-	無	無	
P-U	正曲げ	成型板補強	無	
P-UL		成型板補強	シート補強	
N-U	各曲げ	成型板補強	無	
N-UL	東西の	成型板補強	シート補強	

表-4 CFRP 成型板の材料特性値

	積層数	厚さ (mm)	繊維体積 含有率 V _f	弹性率 (kN/mm ²)
CFRP 成型板	[0°/±45°/0°]4 (対称積層)	4.39	0.53	150





図-2 CFRP 成型板形状



図-3 試験状況

(2) CFRP成型板作製方法および形状

表-4に本試験に使用したCFRP成型板の材料特性値を 示す.表中の弾性率は引張試験から求めた実測値である. CFRP成型板は表-1に示す高弾性炭素繊維シートおよび 表-2に示すビニルエステル系樹脂を用いて作製した.作 製方法はハンドレイアップ成形法で行った.成形はスペ ーサーを用いて鉄板で挟み込んで圧縮成形しており、板 厚が一定となるようにした.

図-2に本試験で用いたCFRP成型板の形状を示す. CFRP成型板の形状は作製の簡便さを考慮し平板型とし, 供試体中央の垂直補剛材をかわすための切欠きを入れた. 切欠きの大きさは供試体中央の補剛材をかわせる大きさ とし,切欠きの角部は円弧状とした.CFRP成型板の全幅 は100mmとし,長さは供試体の板厚変化点(外側)から 定着長200mmを確保できる長さである1,600mmとした. 切欠き部分には切欠きの断面欠損分を補強するため,上 面に30mm幅の炭素繊維ストランドシートを接着した. ストランドシート接着長は最外層が切欠き両端部から 200mmであり,ずらし量を各層両端25mmずつとした.

CFRP成型板の繊維配向は切欠き部分においても応力 伝達するように軸方向に対し-45/0/45°方向に1/2/1層の 比率とした.積層数は上下フランジを補強した際に供試 体中央部の曲げ剛性が25%増加するように決定し, 4/8/4層の計16層とした.積層順は板厚方向に対称となる ように[0°/±45°/0°]4と積層した.また,切欠き部のストラン ドシートの層数はストランドシートの断面剛性が欠損断 面の断面剛性と等しくなるように決定し,7層とした.ス トランドシートはエポキシ樹脂を用いてCFRP成型板に 接着した.

(3) 供試体作製手順および試験手順

上フランジへのCFRP成型板の接着には、従来の方法で は鋼材側にポリウレアパテ層を設けるが⁵,本試験では CFRP成型板側にポリウレアパテ層を設けた.このように することでCFRP成型板側と鋼材側を同時に作業できる ため施工の省力化につながる.接着手順は、鋼材とCFRP 成型板ともに接着範囲のケレンを行い、鋼材にはエポキ シプライマー、CFRP成型板にはウレタンプライマーを塗

衣-3 曲り訊練福米一見				
供試体 名	最大 荷重 (kN)	最大 荷重時 鉛直変位 (mm)	破壞状況	
Ν	942	16.2		
P-U	936	17.2	558kN で成型板圧縮破壊	
P-UL	1,026	16.9	555kN で成型板圧縮破壊	
N-U	913	15.8	575kN で成型板はく離 (鋼材ーエポキシ樹脂間)	
N-UL	945	16.8	675kN で成型板はく離 (鋼材-エポキシ樹脂間)	

布した後にポリウレアパテを塗布した. エポキシプライ マーおよびポリウレアパテの乾燥後, エポキシ樹脂を用 いて上フランジ下面にCFRP成型板を接着した. 下フラン ジ補強の炭素繊維シート接着の手順はマニュアル⁹従い 行った.

試験は支間長6,000mm,等曲げ区間2,500mm,せん断区間1,750mmの4点曲げ試験とした.載荷は荷重制御による単調載荷とし、荷重の増加量が減少したら変位制御として終局状態になるまで載荷した.図-3に試験状況を示す.

4. 曲げ試験結果および考察

(1) 試験結果および破壊状況

表-5に各試験の最大荷重,最大荷重時鉛直変位および 破壊状況を示す.正曲げ試験については、P-U供試体は 558kN時, P-UL供試体は555kN時にCFRP成型板が圧縮破 壊を起こした、そのため、P-U供試体はCFRP成型板の圧 縮破壊後に無補強供試体と同等の耐力になり、最大荷重 が無補強供試体と同等の結果になったと考えられる. P-UL供試体はCFRP成型板が圧縮破壊した後においても下 フランジを炭素繊維シートで補強しているため、無補強 供試体より最大荷重が向上したと考えられる. 下フラン ジの炭素繊維シートは終局時もはく離、破断等の損傷は 確認されず、上フランジ側の座屈で終局を迎えた. この ことから、CFRP成型板が圧縮破壊しないように、本試験 に用いた炭素繊維シートより強度の高い炭素繊維シート で作製したCFRP成型板で補強することによりCFRP成型 板の圧縮破壊が先行せずに、供試体の耐力が向上する可 能性があると考えられる.

負曲げ供試体については、N-U供試体は575kN時、N-UL 供試体は675kN時に切欠きの入ったCFRP成型板が端部 からはく離した.その後、荷重を増加させると切欠きの 無い側のCFRP成型板もはく離した.そのため、CFRP成 型板はく離後は無補強供試体と同等の耐力になったと考 えられ、N-U供試体の最大荷重は無補強供試体の最大荷 重と同等の結果になったと考えられる.また、終局時N-UL供試体は下フランジの炭素繊維シートが圧縮破壊し





ていた.そのため,N-UL供試体においても無補強供試体 と同様の最大荷重になったと考えられる.N-U供試体, N-UL供試体ともにCFRP成型板のはく離位置は鋼材-エ ポキシ樹脂間のはく離であった.本試験では施工の省力 化のためポリウレアパテの位置をCFRP成型板側に配置 したが,鋼材の降伏以前に鋼材-エポキシ樹脂間で脆性 的にはく離し,既往の研究[®]で確認されているポリウレ アパテのはく離抑制効果が発揮されなかった可能性があ る.そのため,樹脂層の順序をパラメータとした引張付 着試験を行い,付着特性に及ぼす施工順序の影響を検討 した.その試験概要および結果は本報の5,6章に示す.

(2) 荷重-支間中央変位関係

図-4,図-5に各供試体の荷重-支間中央鉛直変位関係 およびその計算値を示す.計算値の算出は梁理論に従い 算出した.ポリウレアパテを接着に用いた場合は,ポリ ウレアパテによる影響で完全合成断面とならないため, マニュアル⁵では炭素繊維の断面積に応力低減係数を乗 じて設計を行うことが示されている.この応力低減係数 は、炭素繊維シートの積層数,接着長さ,端部処理方法 等によって決定される値であるが,本試験で用いたCFRP 成型板による補強における応力低減係数は未検討である ため、応力低減係数を考慮せずに完全合成断面として算 出した.また、計算には垂直補剛材および水平補剛材は 考慮せず、CFRP成型板への応力伝達区間(CFRP成型板 の両端200mm)を考慮し、中央の1,200mm区間のみを補 強断面とし、その他の区間を無補強断面として算出した.

同図に示す鉛直変位の試験結果から、正曲げ供試体、 負曲げ供試体ともに上フランジのみをCFRP成型板で補 強した供試体で、無補強供試体と比較し、初期の剛性が 向上していることが確認され、下フランジを補強した供 試体はさらに初期剛性が向上する結果であった.

正曲げ供試体について,P-U供試体は558kN時にCFRP 成型板が圧縮破壊したため,それ以降は無補強供試体と 同様の挙動を示した.P-UL供試体は558kN時のCFRP成型 板の圧縮破壊によって剛性は低下したが,終局まで下フ ランジ補強の炭素繊維シートが健全であったため,無補 強供試体より高い剛性を保ったまま終局状態に至った.

負曲げ供試体については、N-U供試体ではCFRP成型板のはく離以降、N-UL供試体ではCFRP成型板のはく離と下フランジ補強炭素繊維シートの圧縮破壊以降、無補強供試体と同様の挙動を示した.

計算値と比較すると正曲げ試験,負曲げ試験ともにす べての供試体で約500kN時までは概ね計算値と同様の剛 性を示し,その後,剛性が低下する挙動が確認された. そのため,切欠きの入ったCFRP成型板による補強におい ても,CFRP成型板のはく離や圧縮破壊までは概ね計算通 りの剛性が発揮されることが確認された.

(3) 上フランジの応力低減効果

供試体の座屈,はく離等が発生する以前である200kN 時における各供試体の上フランジ上面のひずみ分布,お よびひずみゲージ位置図を図-6に示す.ひずみゲージは 桁軸直角方向に3か所ずつ設置されており,ひずみ分布図 の値は桁軸直角方向に並ぶ3か所のひずみゲージ位置の ひずみの平均値である.また,各破線は各供試体におけ る計算値であり,前項に示した方法と同様に完全合成断 面として算出した値であり,切欠きがないCFRP成型板断 面として計算しており,欠損補強用のストランドシート も考慮していない.

正曲げ試験では、各供試体ともに供試体中央で大きく 圧縮ひずみが生じる分布であった.また、無補強供試体 と比較すると、P-U供試体、P-UL供試体ともに測定した すべての点で応力低減されていることが確認でき、各供 試体上フランジの全ひずみゲージ21か所のひずみを平均 し、無補強供試体と比較すると、P-U供試体で13%, P-UL 供試体で25%応力低減された. P-U供試体およびP-UL供 試体のひずみ分布から、中央から±100mmの点でひずみ が小さく、中央は±100mmの点のひずみより大きいひず みであった.これは中央から±100mmのあたりはCFRP 成型板に切欠きがなくかつストランドシートがある部分 であり、ほかの点より補強材の断面剛性が大きいので補 強効果が大きくなり, 上フランジのひずみが小さくなっ たと考えられ、供試体中央は切欠きがあるためひずみが ±100mmの点のひずみより大きく生じたと考えられる. 計算値と比較すると供試体中央における上フランジのひ ずみのほうが大きいが、これは計算値が補強断面を完全 合成断面と仮定した場合の計算値であるため、ポリウレ アパテによる応力低減係数を考慮した計算を行うことで 計算値と一致すると考えられる.

負曲げ試験においても正曲げ試験と同様に,供試体中 央の上フランジ引張ひずみが大きく生じる分布であり, 無補強供試体と比較すると測定したすべての点で応力低 減されていることが確認され,各供試体上フランジの全 ひずみゲージ21か所のひずみを平均し,無補強供試体と 比較すると,N-U供試体で15%,N-UL供試体で18%応力 低減された.N-U供試体およびN-UL供試体のひずみ分布 も正曲げ試験と同様に,中央から±100mmの点でひずみ が小さく,中央は±100mmの点のひずみより大きいひず



(c) 上フランジひずみゲージ位置(単位:mm)図-6 200kN 時上フランジ上面ひずみ分布

みであった.計算値と比較した場合も正曲げ試験結果と 同様にポリウレアパテによる応力低減係数を考慮した計 算を行うことで計算値と一致すると考えられる.

以上から,切欠きのあるCFRP成型板で上フランジを補 強した場合においても,切欠き部分で欠損断面補強のス トランドシートまで応力伝達が行われ,CFRP成型板が応 力を受け持つことによる鋼材の応力低減効果が確認され た.

5. CFRP成型板の引張付着試験概要

前章で示した I 型鋼桁負曲げ試験において, CFRP 成 型板が鋼材降伏以前にはく離することが確認された.こ の時のはく離面は鋼材-エポキシ樹脂間であり,樹脂層 の順序が付着特性に影響を及ぼす可能性が示唆された. そこで,既往の研究 ⁿを参考とし接着樹脂層内のポリウ レアの位置による影響を確認するための引張付着試験を 行った.

本引張付着試験パラメータを表-6 に、各 CASE の接着 樹脂層を図-7 に示す.本試験ではポリウレアパテの有無 およびポリウレアパテ層の位置をパラメータとして各供 試体 3 体ずつ供試体を作製した.図-8 に供試体概略図を 示す.本試験は鋼板幅 50mm,板厚 12mm であり、曲げ 供試体の中央のプレートガーダーと同様に鋼板は SS400 とし、鋼板中央の両面に幅 50mm,長さ 400mmの CFRP 成型板を接着し、両端引張試験を行った.ひずみゲージ は CASE1, CASE3 は 1 体ずつ, CASE2 の 3 体は図-8 (a) に示す位置にひずみゲージを貼り付け,CASE1,CASE3 の 2 体ずつは図-8 (b)示す位置にひずみゲージを貼り付 けた.接着剤,CFRP 成型板の材料特性および施工手順 は曲げ試験と同様である.試験は万能試験機を用い、変 位制御で載荷した.

6. 引張付着試験結果および考察

(1) 最大荷重および破壊状況

試験結果一覧を表-7に,破壊状況を図-9に示す.すべての供試体で母材鋼板の降伏までははく離せず母材降伏

表-6試験パラメータポリウレアパテ層の位置供試体数CASE1成型板側3CASE2鋼材側3CASE3無3



図-7 各 CASE の接着樹脂層



図-8 付着供試体概略図

		降伏荷重(kN)		最大荷重(kN)		kN)	
		試験値	平均值	試験値	平均值	比 (/CASE3)	破壞個所
CASE1	1	174	173	195	195 182 186 1.08 181 <t< td=""><td></td><td>鋼材ーエポキシ樹脂間はく離</td></t<>		鋼材ーエポキシ樹脂間はく離
	2	172		182		1.08	鋼材-エポキシ樹脂間はく離
	3	174		181			鋼材-エポキシ樹脂間はく離
CASE2	1	171	173	234	235		ポリウレアパテ層の凝集破壊
	2	174		233		1.36	ポリウレアパテ層の凝集破壊
	3	174		238			ポリウレアパテ層の凝集破壊
CASE3	1	171		177	173		鋼材-エポキシ樹脂間はく離
	2	158	167	165		1.00	鋼材-エポキシ樹脂間はく離
	3	173		176			鋼材ーエポキシ樹脂間はく離

表-7 引張付着試験結果一覧



(a) CASE1

(b) CASE2 図-9 破壊状況 (c) CASE3

後に終局した.破壊個所はCASE2ではポリウレアパテ層 が破壊する凝集破壊であり,CASE1,CASE3では鋼材-エポキシ樹脂間はく離となった.最大荷重はCASE3と比 較し,CASE1では8%,CASE2では36%上昇する結果であ り,破壊状況および最大荷重からポリウレアパテが鋼材 側にあるほうがCFRP成型板の付着特性が高いことが確 認された.これは、ポリウレアパテが鋼材側にある場合 は母材の降伏後であってもポリウレアパテの変形により CFRP成型板が母材へ追従できるが、ポリウレアパテが CFRP成型板側にある場合は母材降伏後,鋼材-エポキシ 樹脂界面で母材に追従できず早期にはく離が生じると考 えられる.

(2) CFRP成型板ひずみ発生状況

図-10に各供試体の荷重一供試体中央CFRP成型板ひず み関係を示す.図に示すひずみは両面のCFRP成型板の平 均値であり,図中の破線は完全合成断面とした場合の計 算値である.図よりCASE3は線形にひずみが増加し母材 降伏時にCFRP成型板のひずみは約1,000×10⁶であり,計 算値と概ね等しい挙動であった.CASE1,2は母材の鋼材 降伏まで同様の挙動を示し,母材降伏時にCFRP成型板の ひずみは約400×10⁶であり,CASE1は母材降伏後に CASE2より早期にはく離した.CASE2は母材降伏後も荷 重およびひずみが増加し約1,000×10⁶でポリウレアパテ の凝集破壊が生じた.また,CASE1,2は鋼材降伏時のひ ずみが約400×10⁶であり,CASE3と比較すると約0.4倍と なった.これはポリウレアパテによるせん断遅れのため CFRP成型板のひずみが減少したと考えられる.

図-11に各供試体の母材降伏直前である150kN時の CFRP成型板ひずみ分布を示す.図中の破線は完全合成断 面として算出した計算値である.CASE3は供試体中央か ら100mmあたりまでのひずみは約900×10⁶であり, 100mm以降はひずみが急激に低下する分布であった. CASE1,2では供試体中央のひずみが約400×10⁶であり, 供試体中央から端部までなだらかにひずみが減少する分 布であった.

図-12に150kN時付着せん断応力分布を各CASE1体ず つ示す.付着せん断応力はひずみ分布の結果から式(1)を 用いて算出した.CFRP成型板の厚さおよび弾性率は表-4の値を用いた.

$$\tau_{b,i} = \frac{\left(\varepsilon_{cf,i} - \varepsilon_{cf,i-1}\right) t_{cf} E_{cf}}{\Delta x} \tag{1}$$

ここに,

tb,i: i番目と*i*-1番目の位置における平均付着せん断応力 (N/mm²)



 $\varepsilon_{cf,i}$: i番目の CFRP 成型板のひずみ

 t_{cf} : CFRP成型板の厚さ (mm)

 E_{cf} : CFRP成型板の弾性率 (N/mm²)

Δx : ひずみゲージの間隔 (mm)

ポリウレアパテを使用したCASE1,2供試体は,供試体 中央から端部まで付着せん断応力が3N/mm²以下であっ た.CASE3供試体は,供試体中央から130mmまでは CASE1,2供試体と同様の付着せん断応力であるが, 130mm以降は付着せん断応力が増加し,最大で9.0N/mm² であった.このことから接着にポリウレアパテ層を設け た場合は,樹脂層の順序によらず,端部でのせん断応力 集中が緩和されることが確認された.

以上から、CASE1,2は降伏までは同様の挙動であり、

ポリウレアパテの位置によらず、ポリウレアパテによる せん断遅れ効果は発揮されるが、ポリウレアパテがCFRP 成型板側にある場合は降伏後早期にはく離することが確 認された.したがって、曲げ試験においてCFRP成型板が はく離した原因はポリウレアパテがCFRP成型板側にあ ったためと考えられる.そのため、今後はポリウレアパ テを鋼材側に用いてCFRP成型板を接着した試験を行う 必要がある.

7. まとめ

切欠きのあるCFRP成型板を用いて上フランジ下面補 強したI型断面鋼桁の正曲げ・負曲げ試験およびポリウレ アパテ層の位置をパラメータとしたCFRP成型板と鋼材 の引張付着試験により得られた知見を以下に示す.

- (1) 正曲げ供試体,負曲げ供試体ともに上フランジのみ をCFRP成型板で補強した供試体で無補強供試体と比 較し,初期の剛性が向上していることが確認され,下 フランジを補強した供試体はさらに初期剛性が向上す る結果であった.また,切欠きの入ったCFRP成型板に よる補強においても,CFRP成型板のはく離や圧縮破壊 までは,構造物の剛性が概ね計算値と一致することが 確認された.
- (2) 切欠きのあるCFRP成型板で上フランジを補強した 場合において、切欠き部分で欠損断面補強のストラン ドシートまで応力伝達が行われ、CFRP成型板が応力を 受け持つことによる鋼材の応力低減効果が確認された.
- (3) 引張付着試験結果から、ポリウレアパテを用いて接

着した供試体は、ポリウレアパテの位置によらず、鋼 材降伏までは同様の挙動を示し、ポリウレアパテによ るせん断遅れ効果が発揮されたが、ポリウレアパテが CFRP成型板側にある場合は母材降伏後に早期にはく 離することが確認された.

参考文献

- 東日本高速道路(株),中日本高速道路(株),西日本高速 道路(株):高速道路資産の長期保全及び更新のあり方 報 告書,高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技 術委員会,2014.1
- 2) 板垣一也,渡邉憲市,鈴木博之:炭素繊維強化樹脂板(カーボン板)による鋼橋補強の事例,第8回鋼構造の補修・補強技術報告論文集,pp.49-54,2002.
- 3) 杉浦江,小林朗,稲葉尚文,本間敦史,大垣賀津雄,長井正 嗣:鋼部材腐食損傷部の炭素繊維シートによる補修技術に関 する設計・施工法の提案,土木学会論文集F, Vol.65, No.1, pp.106-118, 2009.
- 4) 土木学会:FRP接着による構造物の補修・補強指針(案), 土木学会複合構造シリーズ09, 2018.
- 5) (株)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.
- 6) 奥山雄介,宮下剛,若林大,小出宜央,小林朗,秀熊佑哉, 堀本歴,長井正嗣:鋼橋桁端部腹板の腐食に対する CFRP を 用いた補修工法の実験的研究,土木学会構造工学論文集, Vol.58A, pp.710-720, 2012.
- 7) 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, vol.75, No.5, II_19-II_26, 2019.

(Received September 10, 2021)

A STUDY ON REINFORCEMENT USING CFRP MOLDED PLATE FOR THE UPPER FLANGE OF I-SECTION STEEL GIRDER

Shunta SAKURAI, Yuya HIDEKUMA, Eisuke TERASAKI, Vinh PHAM NGOC and Kazuo OHGAKI

The reinforcement of the upper flange must be applied from the underside of the upper flange because there is a floor slab on the upper surface. Carbon fiber cannot be applied continuously in the axial direction of the girder because vertical stiffeners are installed on the underside of the upper flange. In this study, a CFRP molded plate with a notch to avoid the vertical stiffener was fabricated and bonded to the underside of the upper flange to reinforce the I-shaped steel girder specimen. As a result, it was confirmed that the stiffness of the steel girder was improved and the stress on the top flange was reduced even at the notch.