

(58) VaRTM成形を応用したCFRP部材による断面欠損した桁端柱部材の性能回復

松山 晃大¹・タイ ウィサル²・中村 一史³
松本 幸大⁴・松井 孝洋⁵・越智 寛⁶

¹学生会員 首都大学東京 大学院 博士前期課程 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: matuyama-akihiro@ed.tmu.ac.jp

²学生会員 首都大学東京 大学院 博士後期課程 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: thay-visal@ed.tmu.ac.jp

³正会員 首都大学東京 大学院 准教授 都市環境科学研究科都市基盤環境学域
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: hnaka@tmu.ac.jp

⁴正会員 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系・准教授
(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail: y-matsum@ace.tut.ac.jp

⁵正会員 東レ株式会社 ACM技術部 (〒03-8666 東京都中央区日本橋室町2-1-1)
E-mail: Takahiro_Matsui@nts.toray.co.jp

⁶正会員 東レ株式会社 アドバンスドコンポジットセンター
(〒455-8502 愛知県名古屋市港区大江町9番の1)
E-mail: Yutaka_Ochi@nts.toray.co.jp

本研究は、断面欠損した鋼構造物に、CFRP部材を短工期で一体化させて補修する工法の開発を目的としたものである。腐食損傷事例の多い鋼桁橋の桁端腐食部を対象に、真空含浸で接着したCFRP部材による耐荷力の回復を実験的に検討した。実験では、支点上の鉛直反力が作用する柱部材の耐荷力に注目するため、高さ600mm程度の小型試験体に鉛直方向に荷重を載荷した。2ケースの断面欠損モデルに対して、鋼部材の欠損厚さからCFRPの弾性係数を考慮した等価な剛性を付与する方針で、CFRPの必要量を決定し、不陸修正の有無、予め炭素繊維シートを積層したプリフォーム材の適用の有無をパラメータとした。その結果、50%欠損では不陸修正を施した上でCFRPによる補修で、また、100%欠損では欠損部をCFRPで充填した補修で、耐力が回復することが確かめられた。

Key Words : steel member, repair and strengthening, VaRTM, CFRP, bonded joint

1. はじめに

高度経済成長期から本格的に始まった全国的な道路交通網の整備事業の実施に伴い、多くの鋼桁橋が建設された。しかし昨今、これらの構造物の中には、損傷・老朽化が進行したものも多く、その対策が大きな社会問題となっている。老朽化した鋼桁橋の劣化原因の大半が腐食であり、主に桁端部で多く発生している¹⁾。これは、橋梁の耐荷力の低下に直接的に繋がること、大きな地震力によって倒壊する恐れがあることなどから、断面欠損

した桁端部の残存耐荷力を実験的、解析的に検討した研究は、これまでも数多く行われている²⁾。

一般に、断面欠損に対する補修・補強の方法として、当て板工法が用いられている。当て板と鋼部材との接合には、高力ボルトが用いられるが、孔明けが必要となる。しかし、孔明けによる断面欠損を考慮すると、有効断面が減少するため、補修設計が困難になる場合がある。

このように、効率的な維持管理が求められている中で、軽量で、耐腐食性にも優れる繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastic; FRP) が社会基盤施設の再生・再

構築のための革新的な構造材料として注目されている。特に、炭素繊維を強化材とするCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) は、高弾性・高強度であること、軽量で現場でのハンドリングに優れ、施工後の死荷重の増加がほとんどないことから、CFRP接着工法が鋼構造物の補修、補強に適用されはじめて³⁾。CFRP接着工法は、施工時に大掛かりな設備を必要としないことや、工期の短縮が可能となるなど、従来の当て板工法⁴⁾に比べて多くの利点がある。しかしながら、CFRP板は、帯板であるため、部材間の不陸、連結構造、溶接接合部のような平滑ではない不連続部における接合には適用できない場合がある。炭素繊維シート (以下、CFシートとよぶ) は、このような不陸面にも適用できるが、薄いため、積層数が増大すると作業効率が悪くなる。したがって、作業に制約を受けやすい現場施工に適用できる、合理的な接合方法があれば非常に有用である。

本研究は、機械分野における、旅客機の構造材や、風力発電設備のブレード等、大型FRP構造物の製造方法である真空含浸工法 (Vacuum assisted Resin Transfer Molding, 以下、VaRTM とよぶ) とよばれる成形技術を用いて、FRPと既設鋼構造物を一体化させる工法の開発を目的としている。図-1に、VaRTM成形の概念図を示す。ここでは、多積層のCFシートの適用を前提として、断面欠損部の不陸修正の有無、ソールプレートのアンカーボルトの干渉等の検討、また、実用性の高いプリフォーム材 (以下、PF材とよぶ) による補修の検討を行った。一般的な鋼桁橋の桁端部を対象に、CFRP部材による断面欠損した桁端柱部材としての耐荷力の性能回復について実験的な検討を行った。

2. 断面欠損を模擬した桁端柱部材のモデル化と試験体

鋼桁の支点近傍の腐食損傷を補修の対象としている。表-1に試験体寸法を示す。支点上の鉛直荷重に対する

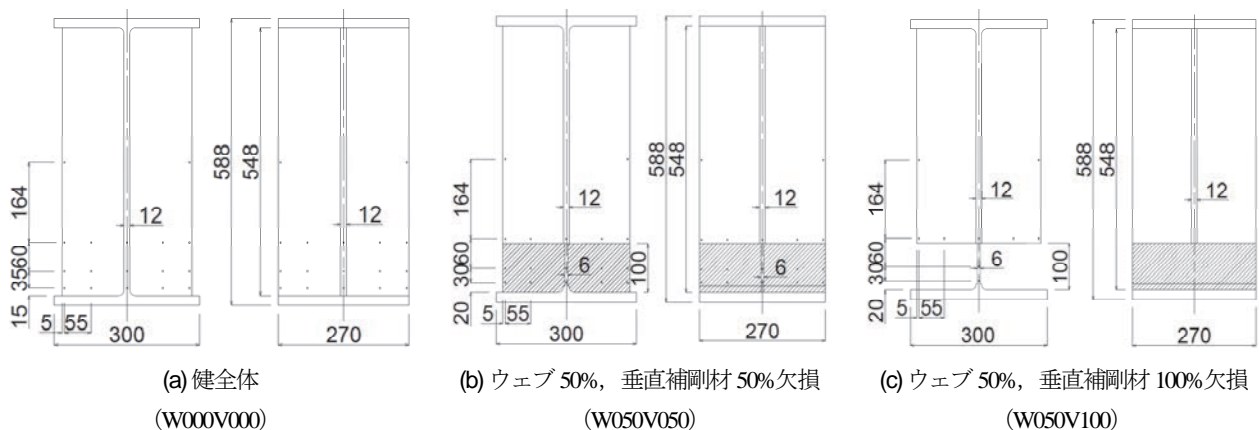


図-2 桁端柱部材のモデル化とひずみゲージ位置

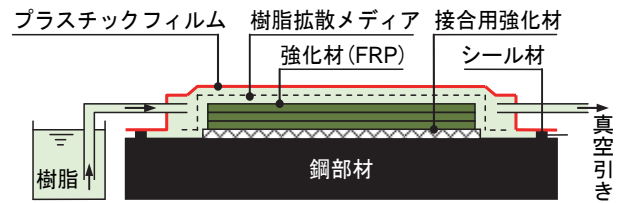


図-1 VaRTM成形概念図

表-1 試験体寸法

桁長 L (mm)	300
フランジ幅 b_f (mm)	270
フランジ厚 t_f (mm)	20
ウェブ高さ h_w (mm)	548
ウェブ厚さ t_w (mm)	12
ウェブ欠損部厚さ t_w (mm)	6
垂直補剛材幅 b_s (mm)	130
垂直補剛材厚さ t_s (mm)	12
垂直補剛材欠損部厚さ t_s (mm)	6

柱部材としての耐荷力に着目するため、垂直補剛材を含む上下方向に荷重を載荷するものとしてモデル化した。あらかじめウェブ・垂直補剛材下端から 100mm の範囲 (ハッチング部) で断面欠損を模擬した桁端柱部材を設計した。板厚の欠損なし (健全体), 板厚の欠損率がウェブで 50%, 垂直補剛材で 50% の試験体, およびより厳しい条件として、板厚の欠損率がウェブで 50%, 垂直補剛材で 100% の試験体の 3 ケース (図-2) で検討した。

3. CFシートを用いたVaRTMによる補修方法

(1) モデル化と補修設計

補修の方針は、鋼部材の欠損厚さからCFRPの弾性係数を考慮した等価な剛性を付与することとし、必要厚さを算出した。本研究では、積層CFシートの補修およびPF材による補修の2種類を検討する。積層補修に用いるCFシートは高強度タイプであり、これまでのVaRTM成形による施工実績から、繊維体積含有率 V_f を 50% とした。補修の考え方は、「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」⁵⁾の次式によるものとした。図-2 に、CF シートの接着範囲

表-2 鋼材 (SS400) の材料特性

項目	フランジ	ウェブ	補剛材
ヤング率 E_s (kN/mm ²)	204	207	206
降伏強度 σ_y (N/mm ²)	300	341	323
引張強度 σ_{tu} (N/mm ²)	457	468	456
伸び δ (%)	33	29	28

表-3 CFシート (高強度タイプ) の材料特性

引張弾性係数 E_{cf} (kN/mm ²)	245
引張強度 σ_{cf} (N/mm ²)	3400
シート厚さ t_{cf} (mm)	0.167
繊維重量 (g/m ²)	300

表-4 CFシートの必要量

項目	50%欠損	100%欠損
鋼材の健全部の厚さ t_0 (mm)	12.0	12.0
鋼材の腐食部の残存厚さ t (mm)	6.0	0.0
鋼部材の必要厚さ t_d (mm)	6.0	12.0
断面欠損率 r (t/t_0)	0.50	1.00
鋼材の弾性係数 E_s (kN/mm ²)	200	200
CFシートの弾性係数 E_{cf} (kN/mm ²)	245	245
繊維体積含有率 V_f	0.50	0.50
CFシートの鋼換算厚さ t_{cfs} (mm)	4.9	9.8
CFRPとしての厚さ t_{cfsf} (mm)	9.8	19.6
CFシートの積層数 n	30	60

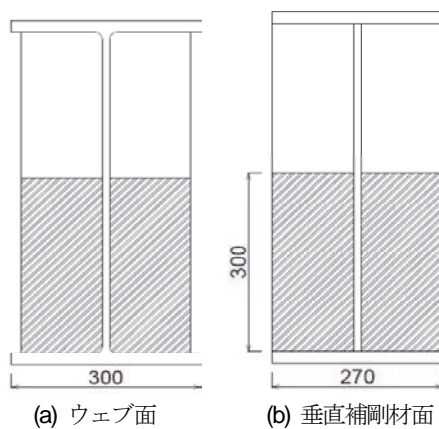


図-3 CFRPの接着範囲

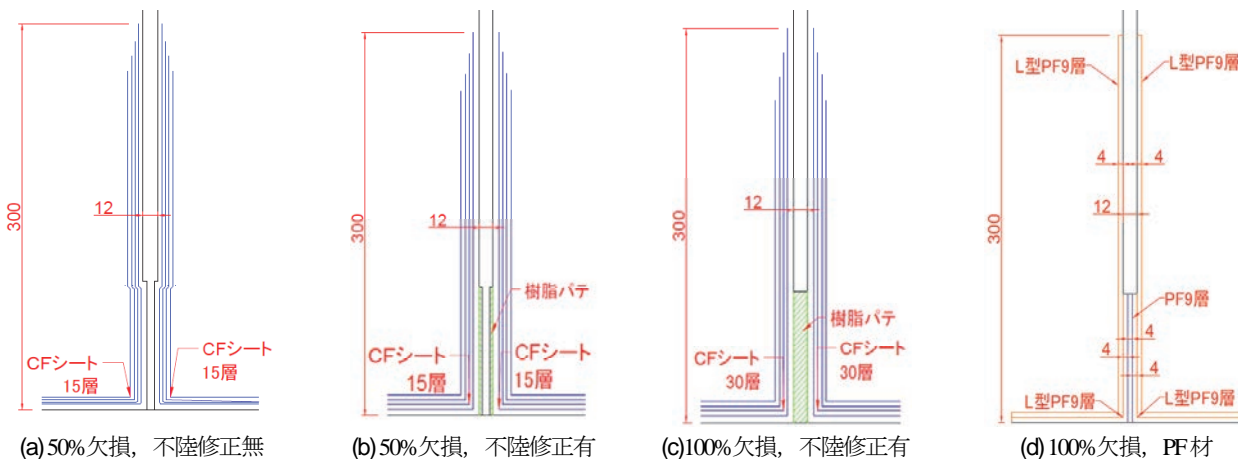


図-4 VaRTMによる補修方法とCFシートの配置

を示す。表-4 に示すように、片側あたり、50%欠損で9.8mm、100%欠損で19.6mmのCFRPをVaRTM成形により接着することとした。

$$A_{sl} \leq A_{cf,f} \quad (1)$$

$$A_{cf,s} = t_{cf,f} \cdot B_{cf} \quad (2)$$

$$t_{cf,s} = \frac{E_{cf}}{E_s} \cdot t_{cf} \cdot n \quad (3)$$

$$t_{cf,svf} = \frac{t_{cf,s}}{V_f} \quad (4)$$

ここで、

A_{sl} : 鋼部材の補修・補強必要断面積 (mm²)

A_{cfs} : 炭素繊維シートの鋼換算断面積 (mm²)

E_s : 鋼材の弾性係数 (N/mm²)

E_{cf} : 炭素繊維シートの弾性係数 (N/mm²)

B_{cf} : 炭素繊維シートの幅 (mm)

t_{cf} : 炭素繊維シート1枚あたりの厚さ (mm)

n : 炭素繊維シートの積層数 (枚)

t_{cfs} : 炭素繊維シートの鋼換算厚さ (mm)

補修範囲は、欠損高さ100mmに対して十分な定着長を確保するため、高さ方向に300mmとした⁶⁾。

図-4 に、VaRTMによる補修方法とCFシートの配置を示す。パラメータは、断面欠損率(50, 100%)、適用するCFRPの形態(積層CFシート/PF材)、不陸修正の有無であり、それらの組合せで、(a)~(d)の4ケースを検討する。

(2) 積層CFシートによる施工方法

図-5に、積層CFシートによる補修の状況を示す。標準的な作業工程は、下地処理、プライマー塗布、不陸修正(有無の検討)、CFシートの仮止め、副資材の設置、真空含浸の手順であり、各工程の概要を以下に示す。

a) 下地処理

試験体の表面は黒皮の状態であり、欠損範囲は切削加工のため、素地状態である。現場施工を想定して、屋外

暴露により欠損範囲を赤錆状態とした。下地処理には、ブラスト面形成動力工具とディスクサンダーを用いて錆や黒皮などを除去した。その後、アセトンを用いて表面を清掃し、油分や汚れのない状態とした（図-5(a)）。

b) プライマー塗布

下地処理後の鋼材表面の錆防止と炭素繊維シートとの接着性を向上させるために、プライマー（AUP40）を塗布した。プライマーの塗布は、鋼材表面に錆の発生や汚れがないように、下地処理後、速やかに行った。プライマー塗布後、約40℃で24時間養生を行った（図-5(b)）。

c) 不陸修正

樹脂パテ（AUF60）を用いて、鋼材の表面を平坦に仕上げた。すみ肉溶接のコーナー部（入角部）は樹脂パテで、溶接ビード部が隠れるように仕上げた。養生条件は約40℃、24時間とした。その後の工程は、樹脂の指触乾燥の確認後に行った（図-5(c)）。

d) ボルトの養生

アンカーボルトへ樹脂が侵入しないようにするため、また、ボルト孔から空気が漏れることを防ぐために、ボルト周辺をシーラントテープで養生した（図-5(d)）。

e) 炭素繊維シートの仮止め

CF 繊維シートは一方向材であり、配向方向は、ウェブ、垂直補剛材の高さ方向とした。鋼材との接触面、所定の積層数に樹脂リッチ層を設けるため、ガラス繊維のサーフェスマット（SM）を、初層（鋼材と CF シートの間）

に、CF シートを 5 層積層するごとに挿入した。また、ウェブ側、垂直補剛材の端部には、CF シートに段差を設けるために、2 層目から 10mm ずつずらして仮止めを行った（図-5(e)）。

f) 副資材の設置

硬化後に資材の取り外しを容易にするため、最外層の CF シートには、ピールプライを設置した。次に、樹脂の流動性を確保するために、樹脂拡散メディアを 3 層設置した。樹脂の含浸範囲をシーラントテープで囲った後、樹脂引き用パイプ 2 本を下フランジ側に、真空引き用パイプ 2 本を上側の CF シート端部にそれぞれ設置して、それらをバギングフィルムで封入した（図-5(f)）。

g) 真空含浸の状況

真空ポンプを用いて吸引する際、十分な真空度が確保されていることを確認後、樹脂引き用パイプから含浸接着樹脂（AUP40）を吸引した。真空含浸は、補修箇所 4 箇所のうち、2 箇所を同時に行った。樹脂の含浸の完了後、パイプの端部をバイスプライヤーで締め切り、硬化するまで養生した。十分に硬化させるため、養生条件は約 40℃、24 時間とした。なお、含浸接着樹脂は、プライマーと同じ、2 液性常温硬化型エポキシ樹脂である。樹脂の粘度は 7.0~12.2dPa・s で行った。真空吸引による含浸時間は、樹脂の可使時間内（約 1 時間）とした（図-5(g)）。最大積層数は 60 層であり、この時の含浸時間は 50 分であった。



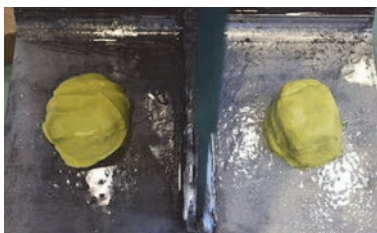
(a) 下地処理



(b) プライマー塗布



(c) 不陸修正



(d) ボルトの養生



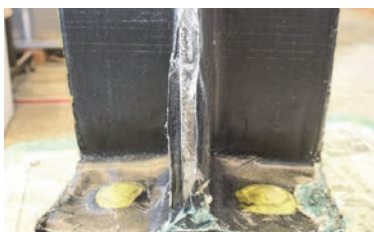
(e) CF シートの仮止め



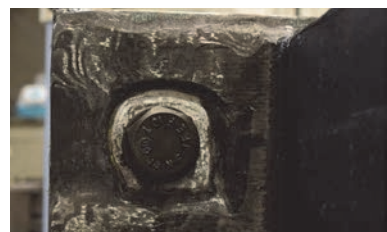
(f) 副資材の設置



(g) 真空含浸の状況



(h) 資材を取り除いた後の状況



(i) ボルトの回避の状況

図-5 積層CFシートによる補修の状況

h) 副資材の除去後の仕上げ

バギングフィルム、ピールプライ等の副資材の除去後、硬化した余分な含浸接着樹脂は、スクレーパー、ディスクグラインダーを使用し、仕上げを行った。このとき、硬化した CFRP に損傷を与えないように留意した (図-5 (h))。さらに、ボルト周辺の余分な CFRP を除去し、仕上げた (図-5 (i))。

図-6 に、CF シート積層による欠損部の補修の状況を示す。不陸修正がない W050V050RN (図-6 (a)) では、直角の入隅部に CF シートが追従できずに CF シートに曲がりが生じ、空隙が生じていること、また、欠損部を樹脂パテで不陸修正した W050V050RE (図-6 (b))、W050V100RE (図-6 (c)) には、空隙が生じていないことがわかる。

(3) プリフォーム材による施工方法

図-7 (a)に、PF 材を示す。PF 材を用いた補修では、CF シートは中弾性タイプ (シートの厚さ 0.217mm, 引張強度 24kN/mm², 弾性係数 440kN/mm²) を用いた。図-4 (d) に示したように、PF 材の積層数は 9 層とした。これは 9 層を基本に機械加工で束ねることを想定しているためである。一方向 CF シート 8 層の中央に、二方向 CF シート 1 層を配置している。PF 材に用いた CF シートには、熱可塑性樹脂材を粒子状に加工したもの (図-7 (b)) が散布されており、熱を与えて熔融させることで CF シート間を仮固定して形状を保持している。欠損部は、平面状の PF 材を充填することで補修に必要な数量となるが、はく離防止のため、最外層に PF アングル材を配置している。施工方法は、積層 CF シートが PF 材に置き換わるのみであり、図-5 に示した施工方法と同じである。PF 材を用いることにより、1 層ごとに CF シートを積層して設置するのに比べ、CF シートの設置時間を大幅に短縮することができた。図-7 (c)に、PF 材の含浸後の状況を示す。図-6 (c)に示した、CF シート積層の場合と比べると、品質が向上していることがわかる。

4. 実験方法

図-8 に、セットアップ図を、図-9 に、セットアップの状況を示す。試験体の上下面にソールプレート (300×270mm) をボルトで固定した。鉛直荷重の荷重には、油圧ジャッキ (最大荷重 2,000kN, 最大ストローク 200mm) を用いた。図-8 に示したように、荷重はジャッキ下端のロードセルにより、鉛直変位は上面の載荷板の 4 箇所に設置した変位計により計測した。鉛直変位は 4 箇所の平均値とした。ひずみゲージはウェブ・垂直補剛材端部 (健全体は下端から 15mm, 無補修モデル・

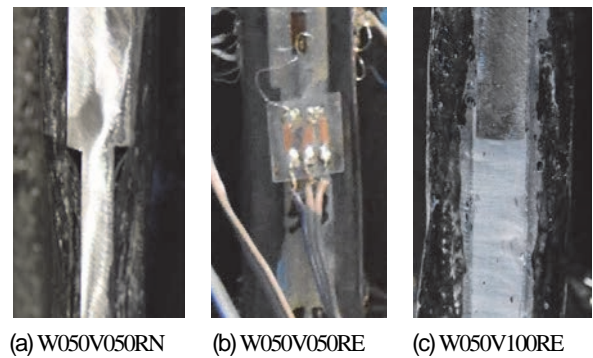


図-6 CFシート積層による欠損部の補修の状況

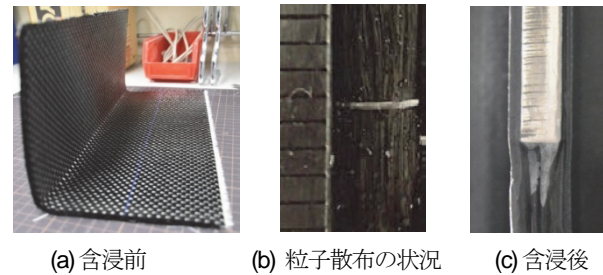


図-7 プリフォーム材

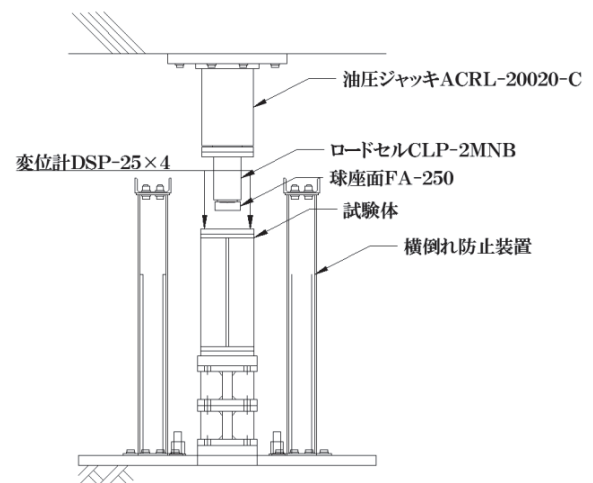


図-8 セットアップ図

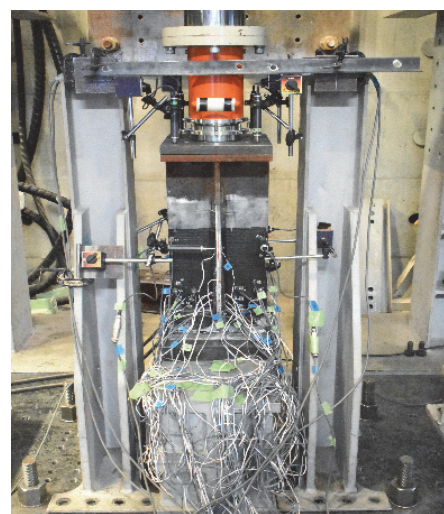


図-9 セットアップの状況

W050V050の補修モデルは20mm, W050V100補修モデルは30mm)に配置した。モデルによって配置が違うのはCFRPの厚さが大きくなり、ひずみゲージが配置できなくなったためである。また、ウェブと垂直補剛材の下端から50, 110mmの位置にひずみゲージを配置した。

5. 実験結果と考察

(1) 耐力と性能回復の状況

図-10に、荷重と載荷点直下の鉛直変位の関係を、表-5に、各モデルの最大荷重と補修効果をそれぞれ示す。

まず、無補修のW050V050とW050V100の耐力力は、健全体(W000V000)と比べ、それぞれ46%, 75%低下した。これは、ウェブと垂直補剛材の欠損部で、早い段階で降伏し、局部座屈が生じたためである。

一方、不陸修正を施して補修したW050V050REでは、健全体モデルに比べて、柱部材としての最大荷重は1%高くなり、剛性も初期性能まで十分に回復していること、また、不陸修正なしで補修したW050V050RNでは、剛性、耐力ともに初期性能まで回復しないことがわかる。さらに、不陸修正を施して補修したW050V100REでは、W050V050RNと同様に、十分に回復しなかった。これは、W050V050RNでは、図-6(a)に示したように、不陸修正がないため、欠損部でCFRPに局部的な曲がりが生じて、弱点となったこと、W050V100REでは、不陸修正された

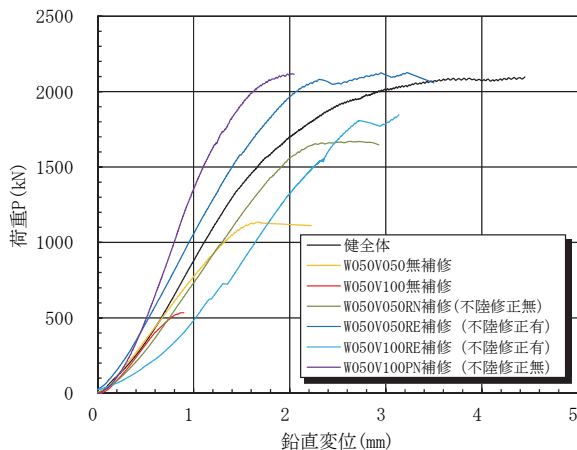


図-10 荷重と載荷点直下の鉛直変位の関係

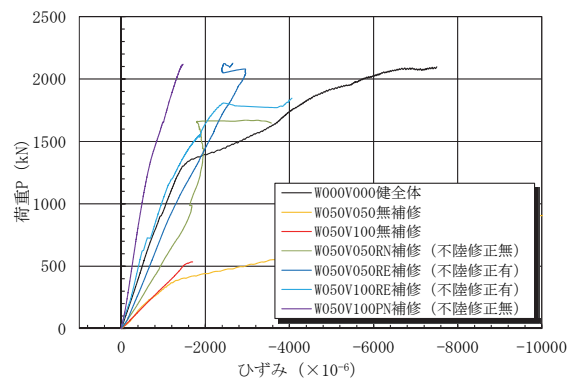
表-5 各モデルの最大荷重と補修効果

モデル名	状態	不陸修正	最大荷重 P_{max} (kN)	健全体に対する割合
W000V000	健全	—	2097.2	1.000
W050V050	無補修	—	1135.6	0.541
W050V100		—	533.8	0.255
W050V050RN	補修	無	1670.0	0.796
W050V050RE		有	2126.5	1.014
W050V100RE		有	1845.9	0.880
W050V100PN		無	2117.8	1.010

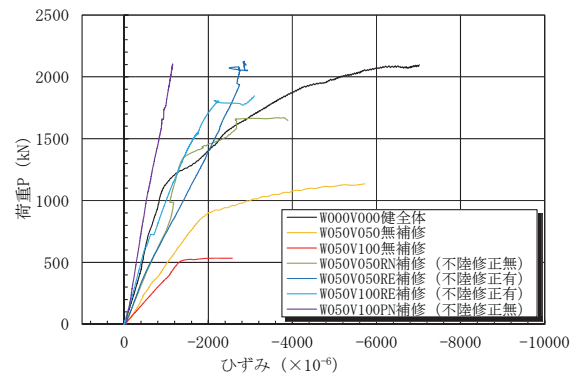
が、欠損率100%の断面欠損部は、樹脂充填のみであり、荷重伝達が不十分であったことが要因として考えられる。これに対して、欠損率100%の断面欠損部にPF材を充填して補修したW050V100PNでは、最大荷重が健全体と同レベルまで回復していることがわかる。

(2) ひずみ挙動

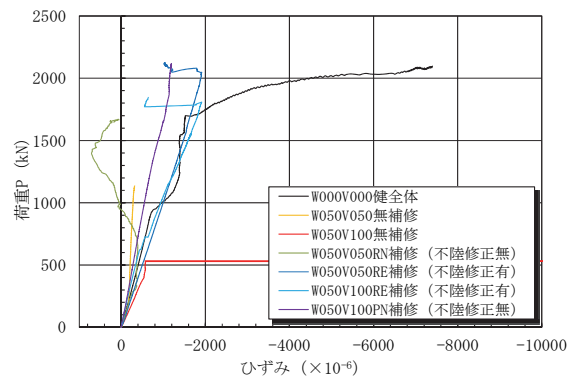
図-11に、荷重とウェブの軸ひずみの関係を、図-12に、荷重と垂直補剛材の軸ひずみの関係を高さごとにそれぞれ示す。軸ひずみは、同じ高さの位置のひずみゲージの値を平均して算定している。図-11(a), (b)より、欠損部について、補修モデルは無補修と比べ、大幅にウェブの軸ひずみが抑制されていることがわかる。下端から



(a) ウェブ下端から15, 20, 30mmの高さ



(b) ウェブ下端から50mmの高さ



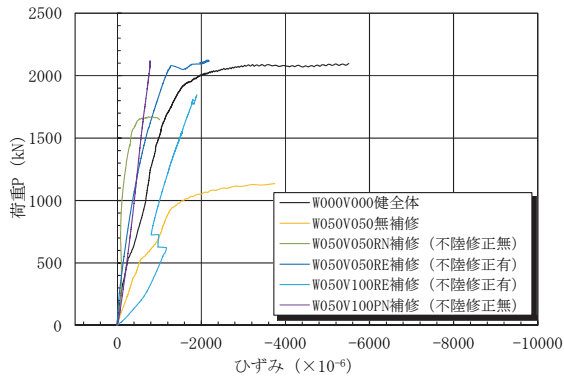
(c) ウェブ下端から110mmの高さ

図-11 荷重とウェブの軸ひずみの関係

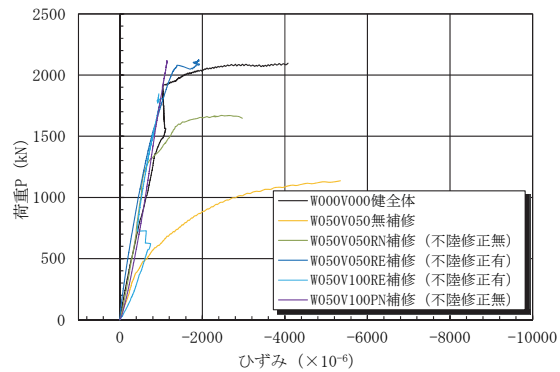
50mm 位置の軸ひずみは、W050V050RE, W050V100PN では、ひずみは、最大荷重付近までウェブ、補剛材ともに直線的に増加し、最終的に健全体よりも軸ひずみが抑制されることがわかる。W050V100RE においても、ひずみは最大荷重付近までほぼ直線的に増加し、健全体より

も抑制されるものの、最大荷重付近で急激に不安定となり破壊している。一方、W050V050RN では、同様にひずみは抑制されるものの、1300kN 付近からひずみが増加し、耐力が低下した。

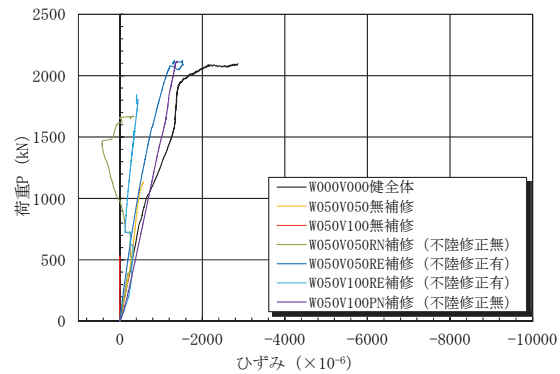
また、下端から 110mm 位置において、W050V050RN では 700~1670kN で軸ひずみが不規則な挙動を示している。これらより、不陸修正を行わなかったモデルは、軸方向に十分に荷重力が伝達されていないといえる。なお、これらの傾向は、図-12 示した、垂直補剛材の軸方向ひずみからも同様の傾向にあることがわかる。



(a) 補剛材下端から 15, 20, 30mm の高さ



(b) 補剛材下端から 50mm の高さ



(c) 補剛材下端から 110mm の高さ

図-12 荷重と補剛材の軸ひずみの関係

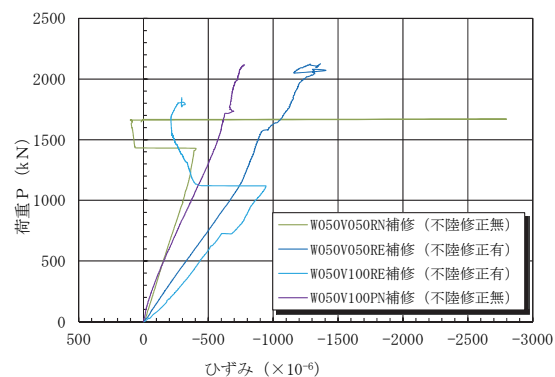


図-13 ウェブの CFRP 端部の荷重と軸ひずみの関係

(3) 座屈挙動

図-13 に、はく離したウェブの CFRP 端部の荷重と軸ひずみの関係を、図-14 に、試験体の座屈変形をそれぞれ示す。健全体は、全断面の塑性後に、上部に局部座屈が生じた。この理由として、上端にはロードセルの回転機構があり、回転に対して拘束が小さいためと考えられる。すべての補修モデルでは、欠損部で、CFRP のはく離が生じ、局部座屈が生じた。健全体まで耐力が回復していないモデル W050V050RN では 1400kN 付近、



(a) W000V000

(b) W050V050

(c) W050V050RN



(d) W050V050RE



(e) W050V100



(f) W050V100RE



(g) W050V100PN

図-14 試験体の座屈変形

W050V100RE では 1100kN 付近ではく離が生じた。このことから CFRP のはく離は、最大荷重に大きな影響を与えることがわかる。

6. まとめ

本研究では、鋼桁橋の桁端腐食部を対象に、VaRTM 成形を応用した CFRP 部材による桁端柱部材の耐荷力の回復について、実験的な検討を行った。その結果、以下のことがいえた。

- (1) 最大積層数 60 層に対して、VaRTM では約 50 分で CF シートへの含浸が完了したこと、アンカーボルトがある場合にも回避して含浸接着が可能であることが確かめられた。
- (2) 50%欠損では、不陸修正を行って CFRP 接着することで、耐荷力、剛性は、初期性能まで回復することが確かめられた。
- (3) 不陸修正を行わない場合、CFRP の不連続部を起点としたはく離が生じること、また、100%欠損で不陸修正を行っても CFRP のはく離が先行することにより、耐荷力は初期性能まで回復しなかった。
- (4) PF 材を用いた補修は、CF シートを積層する場合に比べ、CF シートの設置時間が大幅に短縮可能となること、また、耐荷力、剛性ともに初期性能まで回復することが確かめられた。

以上のことから、鋼桁橋の桁端の断面欠損部のような狭隘な環境下で、立体的な形状に対しても、真空含浸

工法を応用した CFRP 部材の接着により、短期間で効果的な補修が可能であることが確かめられた。今後は、耐荷力を算定するために、モデル化と解析的な検討を行う予定である。

謝辞：本研究は、平成 27～28 年度国土交通省建設技術研究開発助成制度の一部として行われた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋の部分塗替え塗装に関する調査研究，国土技術政策総合研究所資料，第 1 章，第 684 号，2012.4
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋の局部腐食に関する調査研究，国土技術政策総合研究所資料，第 294 号，2006.1
- 3) 複合構造委員会編：FRP 接着による鋼構造物の補修・補強技術の最先端，複合構造レポート 05，土木学会，pp.63-76，2012.6
- 4) 丹波寛夫，橋本国太郎，田中大介，杉浦邦征：腐食した鋼桁端部の当て板補修に関する実験的検討，構造工学論文集，Vol.60A，pp.94-104，2014.3
- 5) 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，p.24，2013.10
- 6) 小林洗貴，近藤諒翼，中村一史，松本幸大，松井孝洋，越智寛：真空含浸工法を応用した CFRP 接着による鋼桁端腐食部の補修に関する実験的検討，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.73，No.5，pp.II_20-II_31，2017.5

REHABILITATION OF SECTION LOSS IN GIRDER END USING CFRP MEMBERS FABRICATED BY VARTM

Akihiro MATSUYAMA, Thay VISAL, Hitoshi NAKAMURA,
Yukihiro MATSUMOTO, Takahiro MATSUI and Yutaka OCHI

The purpose of this research is to develop a method of repair for existing steel structures with section loss using CFRP members by VaRTM technique. Experimental study was conducted in order to improve the load carrying capacity of column members with section loss. As a column members of girder end, the partial models with section loss were fabricated and repaired using externally bonded carbon fiber (CF) sheets by VaRTM. Two kinds of ratio of section loss (50% and 100%) were selected to webs and vertical stiffeners. The effect of repair and construction has been investigated from the following points of view; (a) with or without the unevenness-modifying material, (b) the application of multi-layered CF sheets or the preformed CF sheets, (c) the workability for practical use, the treatment of anchor bolts in girder ends.