

CFRP 部材による鋼桁端腐食部の補修・補強に関する解析的検討

首都大学東京大学院 (研究当時) 近藤諒翼

首都大学東京大学院 学生員 小林光貴・タイウィサル 首都大学東京 正会員 中村一史

豊橋技術科学大学 正会員 松本幸大 東レ 正会員 松井孝洋・越智寛

1. はじめに

炭素繊維を強化材とする CFRP は、高弾性・高強度で、現場でのハンドリングに優れることから、CFRP 接着による鋼構造物の補修・補強に適用されはじめている。CFRP を適用する場合、炭素繊維シートあるいは成形板の接着であるため、剛性の向上が求められる鋼部材の補修・補強では積層数が増加し、必ずしも合理的とはいえない場合がある。近年、VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) と呼ばれる成形技術を用いて、航空機の構造部材や大型風力発電設備のブレード等が製作されている。この工法では、任意形状の大型 FRP 構造物を高品質に製造することが可能であり、例えば、図-1 に示すように、FRP 部材の成形と鋼部材への接着を同時に行うことで、短時間で FRP 部材を鋼部材に施工することも考えられる。本研究は、鋼構造物と FRP 部材を短工期で一体化させる工法を開発することを目的としたものである。ここでは、腐食損傷事例の多い鋼鉄桁橋の桁端腐食部を対象に、CFRP 部材による耐荷力の性能向上を解析的に検討した。

2. 鋼桁端部と腐食による断面欠損のモデル化

図-2 に、鋼桁のモデル化と腐食を考慮する範囲、また、表-1 に、検討モデルの諸元をそれぞれ示す。鋼鉄桁橋の端部を解析対象として、アスペクト比を 1.0 とし、支間長 1,700mm の 3 点曲げ载荷試験を想定している。今後、実験により補修・補強効果を検証するために、スパン、桁高、ウェブ厚等を小型化したモデルとしている。

腐食による断面欠損のモデル化については、垂直補剛材、ウェブの下端 100mm の範囲 (図-2 の斜線部) とし、フランジの腐食は考慮していない。断面欠損部の形状は、垂直補剛材、ウェブの厚さに対する欠損率を、下端で 75%、上端で 0% (欠損なし) とし、高さ 100mm の範囲で直線のテーパ形状とした。解析モデルは、シェル要素でモデル化し、腐食範囲の要素分割は、高さ方向に 10 分割とした。初期たわみは、ウェブの高さ方向に対して面外方向に 1/250 とした。鋼種は SM400 であり、材料試験から降伏強度は、腹板で 303.6MPa、上下フランジ、端垂直補剛材で 297.1MPa であった。数値解析では、汎用有限要素解析プログラム Marc2013 による弾塑性有限変位解析を行った。端垂直補剛材、ウェブの下端近傍の断面欠損を考慮したモデル (断面欠損モデル) および断面欠損がないモデル (健全体モデル) の曲げ耐力を、3 点曲げ载荷の実験・解析により検討した。

結果の一部として、図-3 に、荷重と変位の関係を示す。健全体と断面欠損モデルの最大荷重が同じ値であり、破壊モードはウェブのせん断座屈であった。解析とよい一致を示したが、模擬した断面欠損は、耐力に及ぼす影響は小さいといえた。そこで本研究では、健全体モデル (以下、無補強モデルと呼ぶ) を対象に、桁端パネルのせん断座屈耐力の向上を目的として、図-2 に併記したように、CFRP の積層数、配向方向、接着範囲をパラメータとして、CFRP 部材による補強方法を解析的に検討することとした。

3. CFRP 部材による補強方法とモデル化

補強モデルでは、(1) 炭素繊維 (以下、CF とよぶ) シート積層 (全面接着モデル、部分接着モデル)、(2) プリフォームアングル

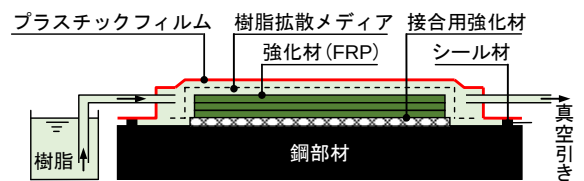


図-1 鋼部材への VaRTM 成形・接着の概念図

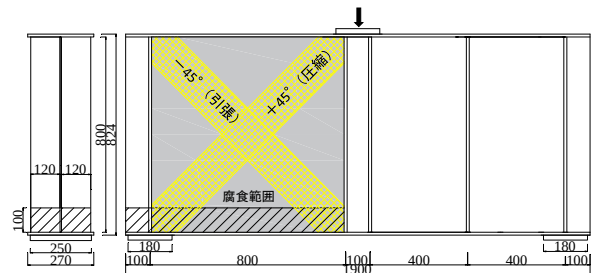


図-2 鋼桁のモデル化と腐食を考慮する範囲

表-1 検討モデルの諸元

部位	記号	単位	値
桁長	L	mm	1900
フランジ幅	b_f	mm	270
フランジ厚	t_f	mm	12
アスペクト比	h_w/L	—	1.0
ウェブ高さ	h_w	mm	800
ウェブ厚さ	t_w	mm	6
端垂直補剛材幅	b_s	mm	120
端垂直補剛材厚さ	t_s	mm	12

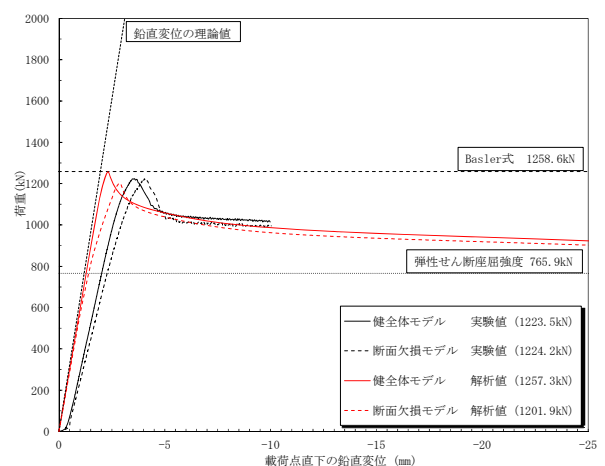


図-3 荷重と载荷点直下の鉛直変位の関係

Key Words : 鋼桁端部, 断面欠損, 補修・補強, VaRTM, 炭素繊維シート

連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線 (4564)

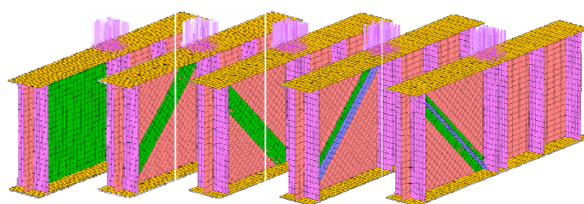
(以下、PF とよぶ) 材による2ケースを検討する。PF 材とは、CF シートを予め積層して所定の形状を保持した中間機材である。CF シートには、中弾性タイプ(シート厚さ 0.217mm, 引張強度 2.4kN/mm², 弾性係数 440kN/mm²)を用い、繊維体積含有率を50%, 繊維の配向は鉛直(90°)方向, ±45°方向とした。次に各補強モデルを示す。

(1) CF シート積層による補強(全面接着, 部分接着モデル)

このモデルでは、CF シート数(1~7層)と、接着する範囲をパラメータとして、補強モデルを作成した。図-4(a)は、ウェブの全面に、図-4(b), (c)は、ウェブの引張と圧縮方向に、それぞれ補強した解析モデルである。さらに、部分接着モデルにおいては、CFRP をシェル要素に加え、トラス要素を用い、幅(150, 120, 80mm)と長さ(1130, 880, 800, 720)をパラメータとして検討した。

(2) PF 材による補強(PF モデル)

図-4(d), (e)に示すように、積層数を変えた PF 材(H60×B120×Lmm)をウェブの引張と圧縮方向に設置した。



(a) 全面接着モデル (90°, ±45°) (b) 部分接着モデル (+45°) (c) 部分接着モデル (-45°)
(d) PF モデル(+45°) (e) PF モデル(-45°)

図-4 補強の解析モデル

4. 解析結果と考察

図-5, 6に、解析結果の一部として、CFRP を2層積層したときの荷重と載荷点直下の鉛直変位の関係を示す。図中に Basler 式によるせん断耐力の推定値を併記した。まず、Basler 式による推定値と無補強モデルの最大荷重が概ね一致することがわかる。図より、変位は1200kN 付近まで線形的に増加し、全てのモデルではほぼ同じ傾向であることがわかる。また、圧縮力が生じる方向にCFRP を接着して補強した場合、補強効果はほとんどなかった。一方、引張力が生じる方向にCFRP を接着した場合、最大荷重が1700kN 付近まで増加し、補強前に比べて、最大荷重は約35%向上することがわかった。次に、引張力が生じる方向にCFRP を部分的に接着した場合、幅を小さくすると補強効果が低下した。したがって、斜張力場の引張応力の低減が、ウェブのせん断座屈の抑制に効果的であるといえた。

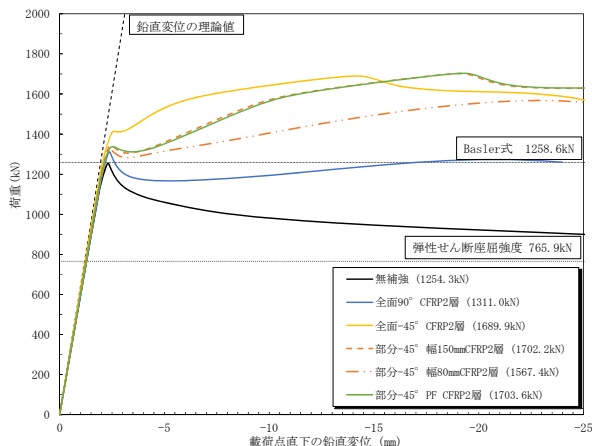


図-5 荷重と載荷点直下の鉛直変位の関係(引張方向)

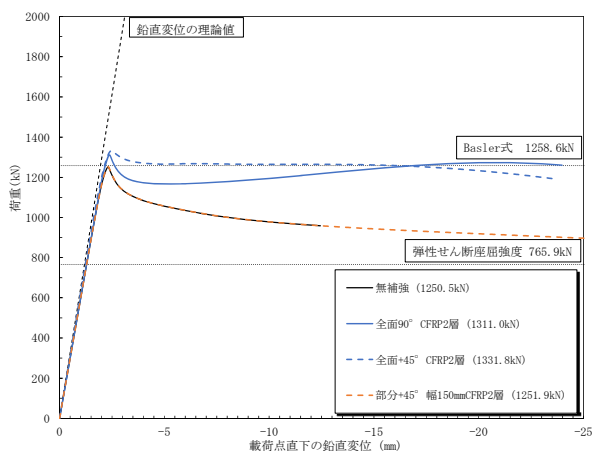


図-6 荷重と載荷点直下の鉛直変位の関係(圧縮方向)

図-7に、補強効果とCF シート量の関係を示す。補強効果は、無補強に対する最大荷重の増加率である。CFRP を全面接着して補強したモデルでは、積層数の増加とともに、補強効果が増加するが、35%付近から頭打ちとなる。これは、CFRP の積層数の増加によって、ウェブの面外変位が小さくなり、せん断座屈耐力が上昇するが、35%付近で補強されていない側のウェブがせん断座屈するためである。また、CFRP を引張側に接着して、部分的に接着した場合においても、全面に接着した場合と同等の最大荷重が得られることから、CFRP を引張側に部分的に配置することにより、数量を低減でき、合理的な補強が可能であるといえた。

5. まとめ

以上のことから、桁端ウェブパネルのせん断座屈に対する補強では、CFRP 部材の設置は、ウェブの引張側で有効であること、また、適切な配置により、より合理的な対策となることが確かめられた。今後はこれらの補強効果を実験的に検証する予定である。

本研究は、平成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。

参考文献

- 1) 近藤諒翼, 中村一史, 松井孝洋, 松本幸大: VaRTM 成形法を応用した鋼部材の補修・補強工法に関する実験的検討, 土木学会, 第11回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, pp.192-201, 2015.11

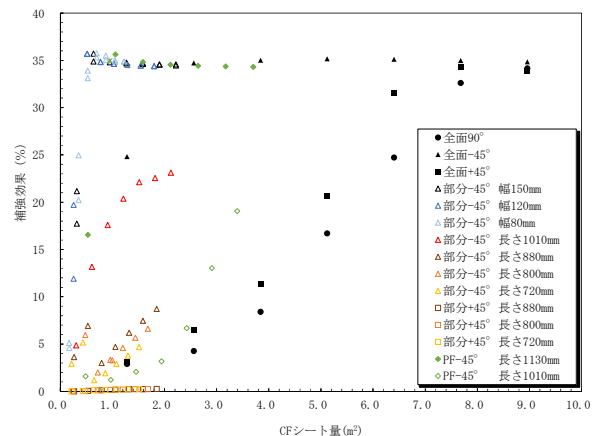


図-7 補強効果とCF シート量の関係