

VaRTM法によってCFRP補強された鉄骨造 ブレース接合部の実大試験による性能評価

宮阪 裕一¹・濱崎 瑞生¹・佐藤 壮大²・鈴木 公平³・
松井 孝洋⁴・松本 幸大⁵

¹ 豊橋技術科学大学 大学院 建築・都市システム学専攻
(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)
E-mail: {miyasaka.yuichi.yz, hamasaki.mizuki.ay} @tut.jp

² (株) コンステック 技術本部 建築技術部
(〒143-0006 東京都大田区平和島 6 丁 1 番 1 号 東京流通センター アネックス 5 階)
E-mail: sato-sota@cons-hd.co.jp

³ (株) コンステック 技術本部 構造ソリューション部
(〒143-0006 東京都大田区平和島 6 丁 1 番 1 号 東京流通センター アネックス 5 階)
E-mail: suzuki-kohei@cons-hd.co.jp

⁴ 正会員 東レ (株) ACM 技術部 (〒103-8666 東京都中央区日本橋室町 2-1-1)
E-mail: takhiro.matsui.f3@mail.toray

⁵ 正会員 豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所
(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)
E-mail: Matsumoto.yukihiko.lp@tut.jp

鉄骨造建築物の耐震要素に用いられるブレースは、地震による変形に対して十分な耐力と変形能力を発揮する必要がある。しかし、既存建築物の接合部が保有耐力接合となっておらず、有効断面部で早期に破断する事例が報告されている。近年、鉄骨造建築物の補修・補強法として CFRP を用いた接着補強法が提案されており、筆者らは真空樹脂含浸成形を応用した CFRP 成形接着補強法の提案、研究開発を行っている。本論文では、実際の建築物の接合部ではガセットプレートまで補強範囲が確保できないことを鑑みて、等辺山形鋼ブレース接合部の有効断面部のみを CFRP 成形接着した補強試験体に対して、実大相当の加力装置を用いた繰り返し水平載荷試験と力学モデルの解析により、力学挙動の確認と塑性変形能力の評価を行った。その結果、十分な耐力・変形性能を発揮できることを明らかとした。

Key Words: Steel structure, brace connection, strengthening, CFRP, VaRTM

1. はじめに

鉄骨造建築物の耐震補強に用いられるブレースは、地震による変形に対して十分な耐力と変形能力を発揮する必要がある。しかし、既存構造物の接合部が保有耐力接合となっておらず、有効断面部で早期に破断し、ブレースの塑性変形能力が十分に発揮されない事例が 2011 年の東北地方太平洋沖地震や 2016 年の熊本地震において報告されている^{1,2)}。保有耐力接合ではないブレース接合部の補強効果の検証を実大モデルで行う研究は、方杖を付加し耐震補強を行う研究³⁾などがあるもののあまり多くはない。

近年では断面欠損部に対する補強法として、繊維強化樹脂 (Fiber Reinforced Plastic) の接着による補強が提案されており、研究開発が活発に行われている⁴⁾。また、その強化繊維に炭素繊維を用いた炭素繊維強化樹脂 (Carbon Fiber Reinforced Plastic, 以下 CFRP) の接着による補強は、接合部の荷重の増加を抑え、火器・重機の使用削減に繋がる^{5,6)}。現在の CFRP の補強接着には、現場でのハンドレイアップ成形法による接着補強か、引抜成形法などで成形された CFRP 板材の接着補強が広く用いられている。しかし、ハンドレイアップ成形法による接着補強では施工者の技能や施工体勢による性能のばらつき、積層数の制限があるなどの課題があり、CFRP 板材の接

着補強では補強面が平坦な場合に限定されてしまうなどの課題がある。これに対して、近年、多積層、広範囲での成形が容易であり、高い繊維体積含有率と安定した成形品の機械的性質が望める真空樹脂含浸成形法（Vacuum assisted Resin Transfer Molding, 以下 VaRTM 法）を応用した CFRP の成形接着による補強法の研究開発が行われている⁷⁾。

本論文では、実際の建築物の接合部ではガセットプレート（以下 G.PL）まで補強範囲が確保できないことを鑑みて、山形鋼ブレース接合部の有効断面部のみを CFRP 成形接着した補強試験体を使用し、実大相当の加力装置を用いた繰り返し水平載荷試験と力学モデルの解析により、力学挙動の確認と塑性変形能力の評価を行う。

2. 補強設計

(1) 補強形式の決定

本研究での補強設計は、非保有耐力接合となっている、G.PL と山形鋼ブレースが高力ボルトによって接合されているブレース接合部に対して、炭素繊維シート（以下 CF シート）を VaRTM によって成形接着し補強を行う。補強形式はブレース接合部の短期摩擦耐力とブレースの保有耐力接合に必要な接合部耐力によって決まる。ブレースの保有耐力接合に必要な接合部耐力は以下の式から求まる⁸⁾。

$$P_u \geq 1.2 \times A \times F \quad (1)$$

ここで、 P_u ：接合部耐力、 A ：ブレース材の断面積、 F ：ブレース材の基準強度である。

短期摩擦耐力が $1.2AF$ 以上の場合は保有耐力接合相当の荷重時においても接合部での滑りが生じないため、有効断面部のみを CFRP 補強する当て板形式を、 $1.2AF$ 未満場合は不足耐力分の応力を G.PL に伝達しなければいけないため、ブレースの厚さ分の段差を修正するように G.PL とブレース接合部の基材を積層し、G.PL から接合部にかけて CFRP 補強する G.PL 連結形式を選択する。本試験で CFRP 補強をする試験体は M16 トルシア形超高力ボルトを使用しており、短期摩擦耐力は、

$$F_s = m \times \mu \times B_0 \times n = 139.5 \text{ kN} \quad (2)$$

ここで、 F_s ：短期摩擦耐力、 μ ：すべり係数（0.45）、 m ：せん断面の数（1 面）、 B_0 ：設計ボルト張力（155kN）、 n ：ボルトの本数（2 本）

接合部耐力は、

$$P_u = 1.2 \times 389.5 \times 0.235 = 109.8 \text{ kN} \quad (3)$$

となり、短期摩擦耐力が $1.2AF$ を超えているため当て板形式を選択している。

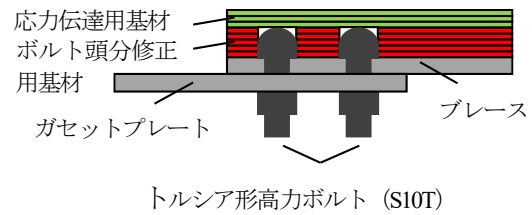


図-1 当て板形式補強の模式図

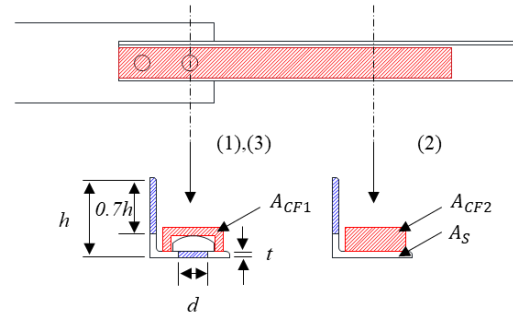


図-2 検討断面

(2) 当て板形式補強

当て板形式補強の模式図を図-1に、検討断面を図2に示す。当て板形式補強をする際、図-2に示すような断面で、3つの項目について検討する必要がある。

a) 有効断面の検討

有効断面部の検討では、第一ボルト部の有効断面部の耐力を軸部の耐力相当まで CFRP での補強が必要となる。有効断面部の断面積は、山形鋼の場合は突出脚部の無効部分とボルト孔による欠損を考慮するため、

$$A_e = (A_s - h_n t - dt) \quad (4)$$

となる。ここで、 A_e ：有効断面積、 A_s ：軸部断面積、 h_n ：突出脚部の無効長さ（ボルト 2 本で接合される場合は $0.7h$ ）、 d ：孔の直径、 t ：鋼材の厚さである。

この時、軸部が降伏するまで有効断面部が降伏しないだけの補強量とすることとし、第一ボルトから G.PL に伝達される力を摩擦接合の短期耐力の 1/2 と仮定すると、

$$A_e \sigma_{e,s} + A_{CF1} \sigma_{e,CF} + \frac{1}{2} S_{bolt} = A_s F_s \quad (5)$$

となる。このとき、 $\sigma_{e,s} \leq F_s$ とするため、

$$A_{CF1} \geq (h_n t + dt - \frac{1}{2} \frac{S_{bolt}}{F_s}) \frac{E_s}{E_{CF}} \quad (6)$$

となり、補強量が求められる。ここで、 $\sigma_{e,s}$ ：有効断面部における鋼材の応力、 A_{CF1} ：接合部端部における CF の断面積、 $\sigma_{e,CF}$ ：有効断面部における CF の応力、 S_{bolt} ：ボルトから伝達される耐力、 F_s ：鋼材の基準強度、 E_s ：鋼材の弾性係数、 E_{CF} ：CF の弾性係数である。

b) 定着部の検討

定着部では、軸部断面積に対する欠損断面積の比率に応じて、有効断面部の応力を低減させることを考えることから、

$$\sigma_{e,s} \leq \frac{A_e}{A_s - h_n t} \sigma_s \quad (7)$$

より、

$$\frac{A_s - h_n t}{A_s - h_n t + \frac{E_{CF}}{E_s} A_{CF2}} \leq \frac{A_e}{A_s - h_n t} \quad (8)$$

$$A_{CF2} \geq \frac{E_s}{E_{CF}} \left(\frac{(A_s - h_n t)^2}{A_e} - A_s + h_n t \right) \quad (9)$$

となり、補強量が求められる。ここで、 σ_s ：軸部断面積における鋼材の応力、 A_{CF2} ：接合部端部におけるCFの断面積である。

c) 引張強さの検討

CFRPの引張強さも保有耐力接合の条件を満たす必要があることから、

$$1.2 A_s F_s - A_e F_{u,s} - \frac{1}{2} S_{bolt} \leq A_{CF1} F_{u,CF} \quad (10)$$

となり、補強量が求められる。ここで、 $F_{u,s}$ ：鋼材の引張強さ、 $F_{u,CF}$ ：CFの引張強さである。

以上の3つの項目を検討し、必要積層数が最大のものを応力伝達用基材の積層数として採用する。

3. 試験体設計

(1) 試験体

試験体に使う材料は、G.P.Lに厚みが6mmと9mmのものを、ブレース材に山形鋼ブレース L50x4を、接合用ボルトにM16トルシア形超高力ボルト（SHTB16、2本）、補強にCFシートと低粘度耐熱エポキシ樹脂（AUP40T1）を使用している。ブレース材、CFシート、エポキシ樹脂の物性値をそれぞれ表-1から表-3に示す。ブレースとエポキシ樹脂は図-3に示すようにJISに則った試験片⁹⁾¹⁰⁾を5体作成し、万能試験機による引張試験を行い、平均値を算出した。

この試験体の接合部耐力はブレースの有効断面での耐力で決まり、

$$P_u = (A_s - h_n t - dt) F_{u,s} = 177.2 \times 0.4 = 70.8 \text{ kN} \quad (11)$$

となり1.2AFを超えていないため、非保有耐力接合である。試験体はG.P.Lの厚みが6mmと9mmに分けた2種類の補強試験体FL-CF-6、FL-CF-9と、補強効果の確認のためG.P.Lの厚みを9mmとした無補強試験体（FL-NS-9）

表-1 ブレース材物性値

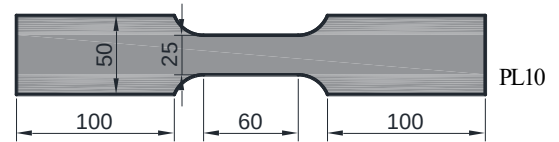
	弾性率	降伏 応力	引張 強さ	降伏 比	伸び
	[kN/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[%]
L50x4	213.2	355.6	478.5	74.3	36.3

表-2 CFシートの物性値

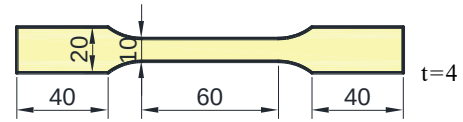
	目付量	厚さ	引張 強さ	弾性率
	[g/m ²]	[mm]	[kN/mm ²]	[kN/mm ²]
UM46-40P	400	0.217	2.4	440

表-3 エポキシ樹脂の物性値

	軸方向弾性率	破断ひずみ
	[kN/mm ²]	[%]
AUP40T1	3.347	2.01



(a) ブレース材料試験片 (5号試験片)



(b) エポキシ樹脂材料試験片 (1A号試験片)

図-3 材料試験片の寸法

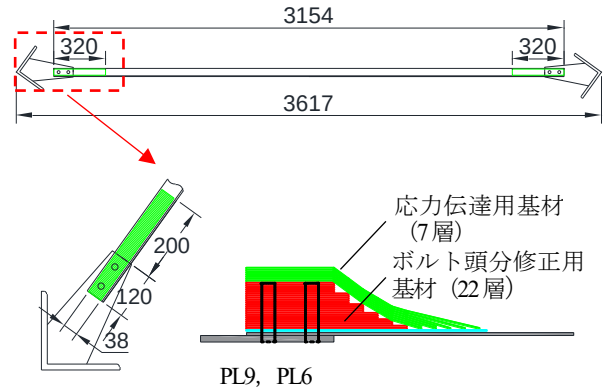


図-4 試験体の寸法

の計3体とした。

試験体の寸法を図-4に示す。応力伝達用基材の積層数は、前述した3つの検討の内、最も大きいCFの断面積となる有効断面部の検討の(6)式で決まり、ボルト頭分修正用基材両端を無視した場合

$$ply \geq \frac{A_{CF1}}{t_{CF} b_{CF}} = \frac{53.87}{0.217 \times 38} = 6.5 \quad (12)$$

となるため、応力伝達用基材を7層とした。ここで、 t_{CF} ：CFシートの厚さ、 b_{CF} ：CFシートの幅である。



(2) 補強法

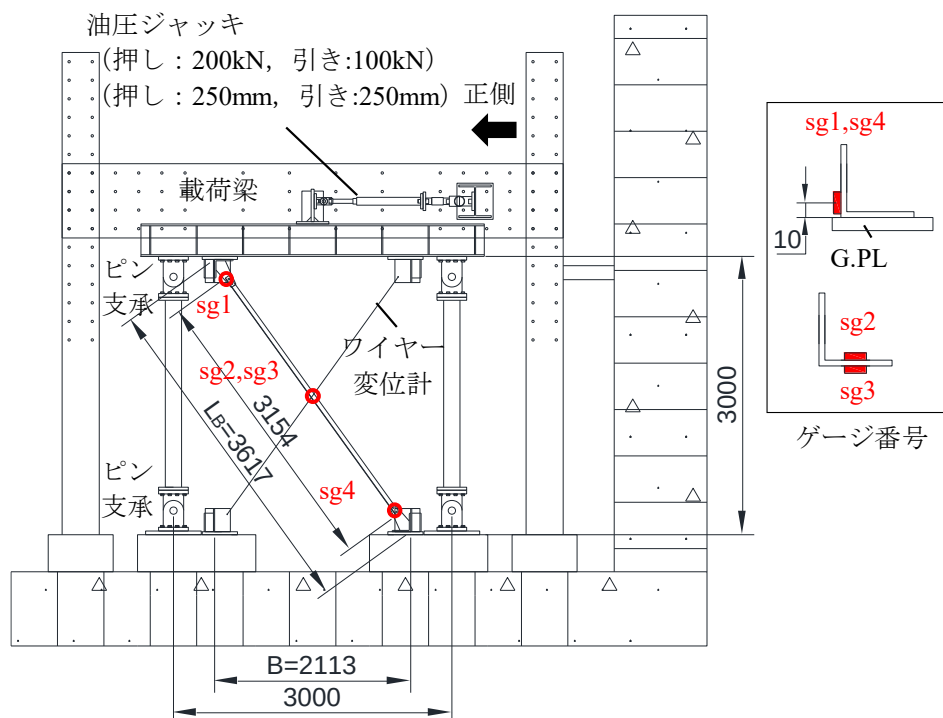
試験体の補強の様子を図-5 に示す。初めに接着性向上のため、ブレース材の強化基材設置範囲をブラスト面形成動力工具で粗さ測定器によって測定される十点平均粗さ R_z が $20\mu\text{m}$ を下回らないように下地処理を行う。次に鋼構造用耐熱型エポキシ樹脂系接着剤（E258R）を下塗りし、硬化後にサンディングペーパーによる目荒らしとボルト頭部へのメンディング処理を行い、アセトンによる脱脂を行う。その後、含浸樹脂の下塗り、事前にボルト頭部の基材の穴あけを行い一体化させた強化基材と副資材を設置する。基材の設置は図-5 に示すようにブレースを載荷装置に取り付けた状態でやっている。最後に VaRIM 法による成形を行い、樹脂含浸硬化の確認をして脱型を行う。

(3) 載荷装置

載荷装置の概要図を図-6 に示す。載荷装置は、ピン支
 承によって支持された柱と載荷梁で構成される内側のフ
 レーム、水平力を作用させる油圧ジャッキ、反力をとる
 ための外側のフレームにより構成されている。内側フレ
 ームの柱芯間・梁内法寸法を 3000mm としブレースを左
 上から右下の方向にのみ取り付けている。

(4) 載荷サイクル

載荷サイクルを図-7に示す。載荷は、油圧ジャッキによって内側のフレームに作用させる水平荷重、および、内側のフレームの水平変位によって制御した。図-6の左



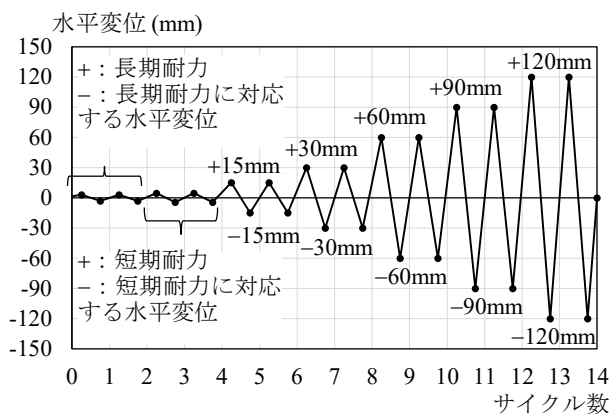


図-7 荷重サイクル

向きの方向を正側とし、各サイクル正負2回ずつ繰り返して荷重を行った。荷重サイクルは、4サイクル目までを荷重制御、それ以降の振幅を変位制御としている。荷重制御はブレースの軸力が長期耐力、短期耐力に相当する水平荷重（長期=19.9kN、短期=29.8kN）を基準とし、変位制御は120mmまで荷重を行った。しかし、本試験では圧縮変形時に早期に座屈が生じてしまうため、荷重制御の負側の荷重サイクルは長期耐力、短期耐力に相当する水平変位とした。長期耐力、短期耐力に相当する水平荷重は以下の式から算出した。

$$P_h = (A_s - 0.5ht - dt)F_n \frac{B}{L_B} \quad (13)$$

ここで、 P_h ：水平荷重、 F_n ：長期= $F/1.5$ 、短期= F 、 F ：鋼材の基準強度（235N/mm²）、 B ：フレームスパン、 L_B ：ガセットプレートを含むブレースの全長である。

また、水平変位は小さい変位から順に層間変形角 1/200, 1/100, 1/50, 1/33, 1/25 に対応している。

4. 試験結果

試験より得られた各試験体の水平荷重－水平変位関係を図-8に示す。また、有限要素解析（FEA）の結果から得られた水平荷重－水平変位関係も合わせて示している。図中には短期耐力、長期耐力、有効断面での引張強さ、 $1.24F$ 、座屈耐力に対応する水平荷重および水平変位に対応する塑性率 μ を合わせて示している。図-8中の有効断面での引張強さは(13)式の F_n にブレースの引張強さを代入して算出し、短期耐力、長期耐力は(13)式から、 μ は次式により算出した。

$$\mu = \frac{\delta_h}{\delta_{h,y}}, \quad \delta_{h,y} = \frac{F}{E_s} \cdot \frac{L_B^2}{B} \quad (14)$$

ここで、 δ_h ：水平変位、 $\delta_{h,y}$ ：全断面に鋼材の基準強度を乗じた時の荷重に対応する水平変位、 L_B 、 B は図-6に示すとおりである。補強試験体についてはいずれの試験体も14サイクル目（120mm）まで水平変位を与えてもブレースの破断が生じなかったため、ブレースが破断するまで単調荷重を行った。

試験時の挙動を確認することを目的とし、汎用 FEA プログラム LUSAS を用いて解析を行った。解析モデルについては補強試験体（FL-CF-6）の寸法をもとに図-9に示すようなモデルを作成した。モデルの簡略化のために等辺山形鋼の断面は直角で構成されているとし、ボルト接合部については GPL とブレース材が重なる摩擦接合面を一体化している。また、CFRP の接着層は考慮せず、テーパの形状は図-9の補強部拡大図のような簡略化した形状とした。境界条件として下側ガセットプレートの溶接部を3方向固定とし、上側ガセットプレートの溶接部に水平方向 ± 120 mm、上下方向 -2.85 mmの強制変

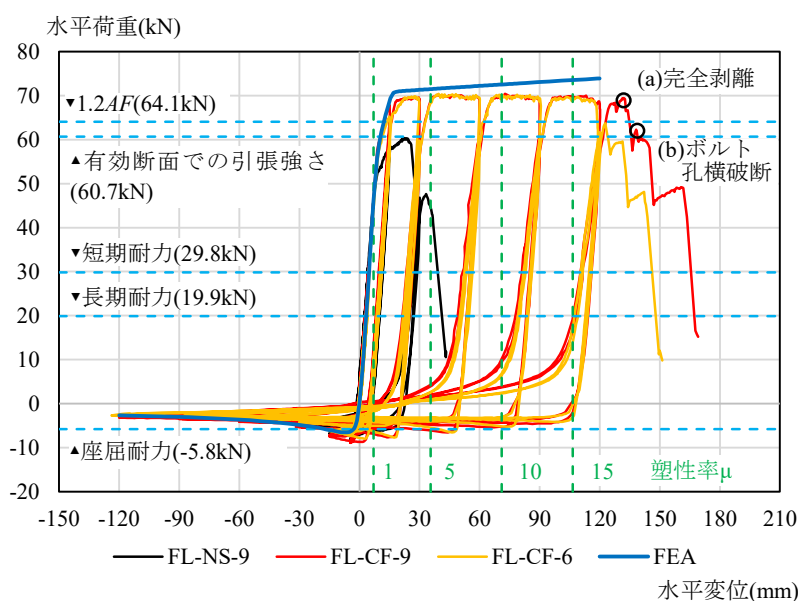


図-8 水平荷重－水平変位関係

位を与えた。鋼材は弾塑性材料、CFRP は弾性材料とし、鋼材の応力－ひずみ関係は完全弾塑性型とした。CFRP は異方性材料であるが、今回は等方性材料としせん断弾性率を低減するためポアソン比を 0.45 と大きくし解析を行った。要素は 10 節点四面体要素とし、要素サイズは 10mm を基本サイズとしている。FEA から得られた水平荷重－水平変位関係は補強試験体の水平荷重－水平変位関係と比較し降伏後の水平荷重については過大評価しているが初期剛性、および、降伏時の挙動をおおむね捉えていることがわかる。また、圧縮側の座屈非線形性状も対応していることが分かる。今後は解析モデルを改良し、接着層の応力状態の分析や引張変形時の偏心曲げや座屈による大きな面外変形が接着した CFRP に及ぼす影響について評価したいと考えている。

図-8 の最大耐力を見てみると、無補強試験体では最大耐力が $1.24F$ に達していないのに対し、補強試験体ではいずれも最大耐力は $1.24F$ 以上となっており保有耐力接合相当の耐力まで向上した。また、水平変位を見ていると、無補強試験体では層間変形角 $1/200$ を超えたあたりで耐力の低下が始まり層間変形角 $1/100$ で破断しているのに対し、補強試験体では層間変形角 $1/25$ 付近で耐力の低下が始まりその後破断しているため、十分な塑性変形能力を発揮しているといえる。塑性率を見てみると無補強試験体では塑性率 3 付近で耐力の低下が始まっているのに対し、補強試験体では塑性率 15 を超えて耐力の低下が始まっている。保有耐力接合となっているブレースの靱性指標⁹⁾は、開断面形の場合 3.3 となっており、その時の塑性率が 6.0 であることから、塑性率で見ても補強試験体は靱性指標を大きく上回っており十分な塑性変形能力を発揮しているといえる。G.PL の厚さによる違いに着目すると FL-CF-9 と FL-CF-6 の最大耐力や耐力低下時の塑性率 μ は同等程度であり、14 サイクル目まで同じスリップ型履歴を示すことから G.PL の違いが履歴挙動に及ぼす影響は見られない。

試験中の CFRP の完全剥離、および、ボルト孔の横断が破断した時の試験体の様子を図-10 に示す。無補強試験体では有効断面が降伏荷重に達して、図-10(b)のようにボルト孔横の破断とともに 1 回目の耐力の低下を見せ、その後、全断面破断しているが、補強試験体では耐力の低下が始まる前に CFRP 補強部のテーパ部分から剥離音が聞こえ徐々に剥離が進行していき、図-10(a)のように CFRP の完全剥離とともに 1 回目の耐力の低下を見せ、その後無補強試験体と同じようにボルト孔横の破断による耐力の低下と全断面破断している。

FL-CF-9 の最大圧縮変形時 (-120mm) の様子を図-11 に一例として示す。負側の载荷で圧縮力を作用させた場合、早期に座屈が発生し、さらに引張変形時の降伏による部材長の残留伸びがあるため、図-11(b)のようなねじ

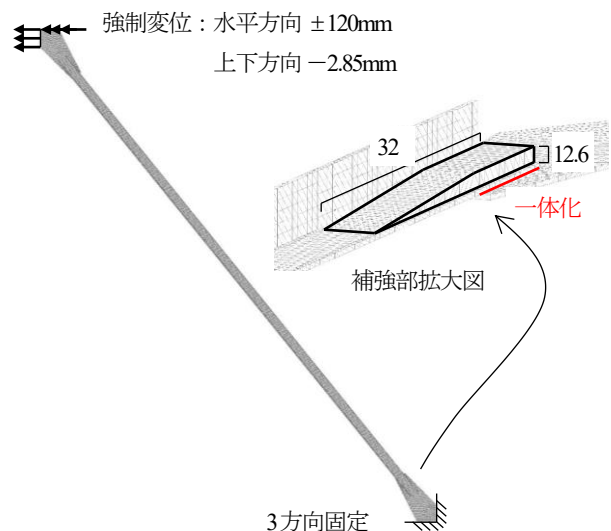


図-9 解析モデル

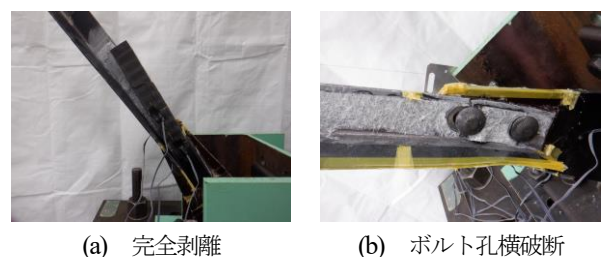


図-10 試験体の様子

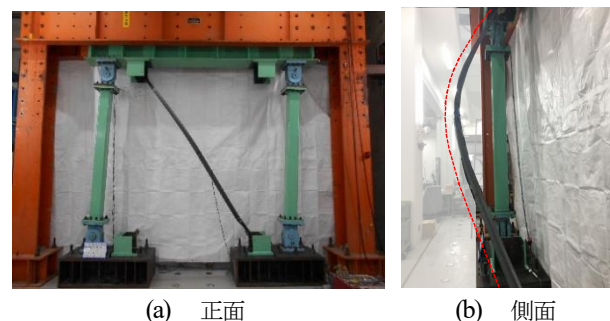


図-11 最大圧縮変形時 (-120mm) の様子

れを伴う大きな面外変形が生じるが、CFRP 補強部から剥離音は聞こえず CFRP に目立った損傷が確認されなかった。このことから座屈発生後も CFRP による応力の負担がなされていることが確認できる。

各試験体の水平荷重－ひずみ関係を図-12 に示す。ブレース中央部(a)では、無補強試験体のひずみが 0.3% であるのに対し、補強試験体のひずみは、CFRP による接着補強の塑性変形に対する追従性能⁷⁾である 3% を超えていることから、塑性変形能力を発揮していることがわかる。また、ボルト孔横(b)では無補強試験体は最大荷重を迎える前に塑性化が進行しているが、補強試験体では最大荷重を迎えた後、ひずみが 2% あたりで CFRP の完全剥離が起き、無補強と同じ挙動に変わっている。この

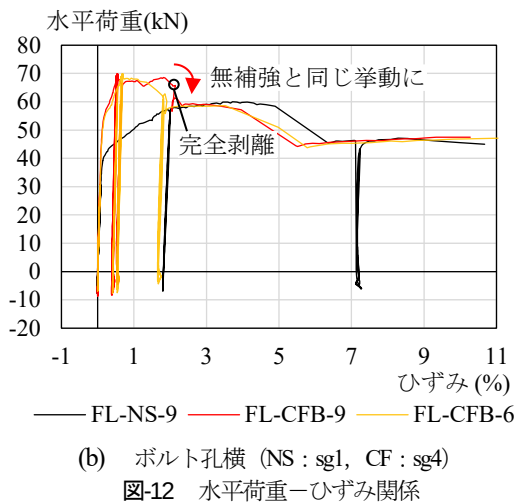
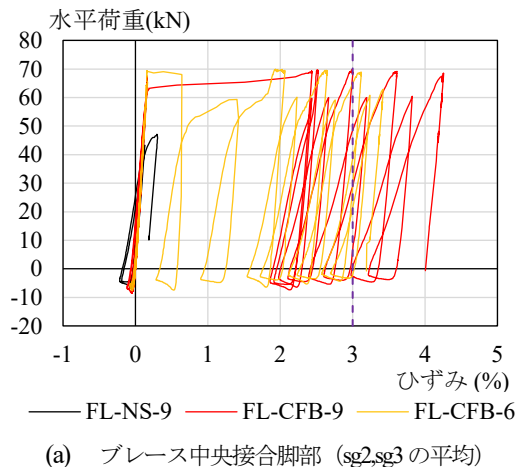


図-12 水平荷重－ひずみ関係

ことから、無補強試験体ではブレースの軸部での降伏が十分にされないまま変形の大部分が接合部に集中し、耐力の低下、接合部が破断しているのに対し、補強試験体ではブレースの軸部での降伏が十分された後、CFRP の剥離、接合部での耐力低下が起きたことが分かる。

5. まとめ

本論文では、実際の G.PL とブレースの接合部を考慮し、保有耐力接合ではないブレース接合部に対して VaRTM 法を応用した CFRP 補強を行い、実大相当の加力装置を用いた繰り返し水平載荷試験と力学モデルの解析を通じた力学挙動の確認を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 保有耐力接合の条件となる耐力を上回る接合部耐力の向上とブレースの靱性指標を上回る塑性率が得られ、十分な塑性変形能力が発揮できることを確認した。
- 2) GPL の厚さの違いが履歴挙動に及ぼす影響が見られない。
- 3) 圧縮力を作用させ、座屈によるねじれを伴う大きな面外変形が生じた場合でも、CFRP 補強部の損傷・剥離は確認されない。

謝辞：本研究は、元豊橋技術科学大学工学部 酒井優人氏の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所,建築研究所：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被害調査報告, 2012.
- 2) 国土技術政策総合研究所,建築研究所：平成 28 年熊本地震建築物被害調査報告 (速報), 2016.
- 3) 前澤将男, 桑田涼平, 石田孝徳, 吉敷祥一, 薩川恵一, 山田哲：山形鋼筋違接合部に対して方杖を付加する耐震補強構法の性能確認, 日本建築学会構造系論文集, 第 84 巻, 第 766 号, pp1589-1599, 2019.12.
- 4) 石井大吾, 津畑慎哉, 田中初太郎：引張ブレース接合部の火無し耐震補強工法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 2016.
- 5) 石川敏之, 中村一史, 大垣賀津雄：特集 異材接合技術の最新動向 鋼構造物の CFRP 接着補修・補強, 日本機械学会誌 Vol.122, 2019.
- 6) 小林洸貴, 近藤諒翼, タイウィサル, 中村一史, 松本幸大, 松井孝洋, 越智寛：VaRTM 成形を応用した CFRP 部材による鋼桁端部の補強に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 複合構造論文集第 5 巻(論文), Vol.74No.5, p.II_44-II_55, 2018.
- 7) 松井孝洋, 鈴木公平, 佐藤壮大, 久保川裕喜, 中本大暉, 松本幸大：炭素繊維シートの VaRTM 成形接着法による鋼構造ブレース接合部の補強法, 日本建築学会 技術報告集, 第 27 巻第 67 号, pp.1279-1284, 2021.10.
- 8) 日本建築防災協会：2011 年改訂版耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説, 2011.
- 9) JIS Z 2241：金属材料引張試験方法, 2011.
- 10) JIS K 7161-2：プラスチック引張特性の求め方 第 2 部：型成形, 押出成形及び注型プラスチックの試験条件, 2014.

(Received August 26, 2022)

PERFORMANCE EVALUATION OF STEEL BRACE CONNECTION STRENGTHENING WITH CFRP BY VARTM METHOD USING THE FULL-SCALE TEST

Yuichi MIYASAKA, Mizuki HAMASAKI, Sota SATO, Kohei SUZUKI
Takahiro MATSUI, Yukihiro MATSUMOTO

The seismic braces of steel structures must have enough strength and deformation capacity to resist deformation by earthquakes. However, it has been reported that the connections of existing buildings don't satisfy the requirement of the seismic resisting brace. So, it has been frequently reported that the breaking at the net area of brace connection often occurred. Recently, adhesive strengthening methods using CFRP have been proposed for repairing and/or strengthening steel structures. The authors are investigating a CFRP adhesive strengthening method using vacuum-assisted resin transfer molding. In this paper, we use FRP-molded and bonded strengthening specimens of the net area position of an angle steel brace connection to confirm the mechanical behavior and evaluate the plastic deformation capacity subjected to the cyclic horizontal loading tests using a full-scale testing frame. As the results, it was demonstrated that the proposed CFRP strengthening method can efficiently increase the load carrying capacity of the connection and improve the plastic deformation performance.