

## FRP を用いた非接着補剛法による鋼板の座屈補剛効果

豊橋技術科学大学 正会員 ○松本 幸大  
 豊橋技術科学大学 中本 大暉  
 呉工業高等専門学校 正会員 三枝 玄希

## 1. はじめに

近年の社会基盤構造物の経年劣化対策や作用外力の増加に対する補強等に対して、軽量で高強度、高耐食性を有する Fiber Reinforced Plastic (FRP)を用いた既存構造物への補修・補強法の研究・開発が進んでいる<sup>1)</sup>。これまで、FRP を用いた補修・補強法では、接着接合を用いて既存部材の応力低減を図るものがほとんどである。一方、接着接合は剥離等の接着接合部の損傷により急激な耐力低下を招くことや、その強度のバラつきが課題と考えられる。また、FRP による補修・補強には速やかで現場でのハンドリング性に優れた施工が大きく望まれる。そこで本研究では、FRP による接着接合を用いず補剛によって補強効果を発揮させる手法の提案<sup>2)</sup>を行うとともに、FRP 補剛材を Vacuum assisted Resin Transfer Molding (VaRTM)による急速施工を可能とする工法の提案<sup>3)</sup>を目的として基礎検討を行った。本報では、H 形鋼ウェブに対して圧縮力を作用させ、その座屈耐力および座屈後の耐力低下の状況を明らかとするとともに、非接着補剛材の再利用・一時使用の可能性について言及する。

## 2. 非接着 FRP による補剛のメカニズム

図 1 に補剛法の概要と想定される変形状態を示す。本手法は、鋼板の曲げによる面外変形を拘束し、座屈モードを変化させることで、耐力の上昇と座屈後の耐力低下を緩和するものである。補剛材の形状は、今後、H 形鋼フランジや垂直補剛材等への応用を想定し、溝形断面とした。

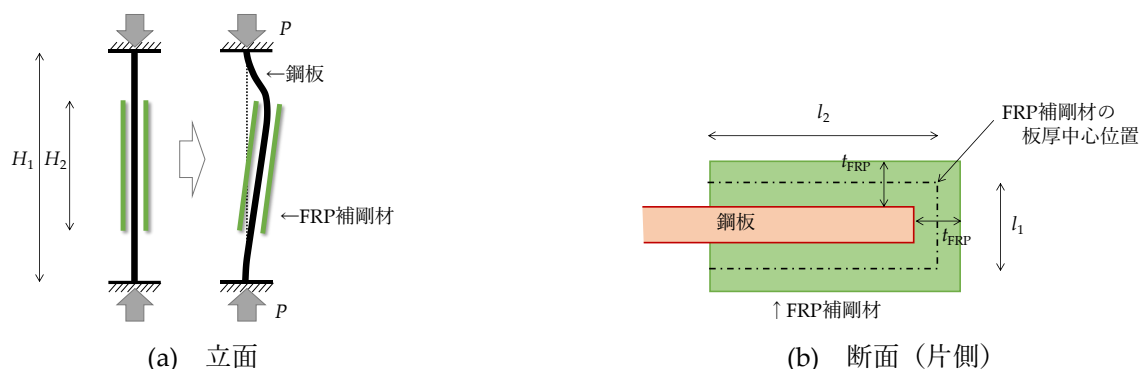


図 1 本研究で提案する補剛法

補剛材には全体曲げと端部における補剛材と鋼材との接触部における局所曲げ変形が生じると考えられる。これらを加味し、補剛材の剛性を(1)式によって設計した。

$$P \leq \left( \frac{H_2^2}{12E_{FRP}I_{FRP}} + \frac{12l_1(l_1 + 2l_2)}{E_{FRP}t_{FRP}^3H_2} \right)^{-1} \quad (1)$$

ここで、 $P$ ：設計目標とする圧縮耐力（本報では日本建築学会 鋼構造設計規準による短期許容圧縮応力度により決定した）、 $H_2$ ：補剛材長さ、 $l_1$ ：補剛材せい、 $l_2$ ：補剛材幅、 $E_{FRP}$ ：FRP 補剛材の弾性係数、 $I_{FRP}$ ：FRP 補剛材の断面 2 次モーメント、 $t_{FRP}$ ：FRP 補剛材の板厚である。

## 3. 使用材料

FRP 補剛材は、(1)式に示すように適切な弾性係数と断面 2 次モーメントが必要となる。このため、本研究では、補剛材の外側に炭素繊維（東レ 2 方向クロス BT70-20）、内側にガラス繊維（ロービングクロス 580gsm）を配したハイブリッド FRP 材を採用することとした。表 1 に材料試験として実施したハイブリッド FRP 材の機械的性質を示す。被補強材としては、H-300x150x6.5x9（SN400B、YP 402MPa、TS 479MPa）を用いた。

キーワード FRP 座屈補剛 鋼板 圧縮耐力

連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 (Tel)0532-44-6845

表 1 ハイブリッド FRP 材の材料試験結果

| 試験条件         | 基材構成                                                     | 平均板厚 [mm] | 弾性率 [GPa] | 強度 [MPa] |
|--------------|----------------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| 引張 (クーボン試験)  | [[0/90] <sub>2</sub> [0/90] <sub>3</sub> ] <sub>s</sub>  | 2.969     | 37.11     | 501      |
| 曲げ (3 点曲げ試験) | [[0/90] <sub>8</sub> [0/90] <sub>12</sub> ] <sub>s</sub> | 13.16     | 32.73     | 175      |

※[0/90]は炭素繊維クロス BT70-20, [0/90]はガラス繊維ロービングクロス

4. 試験方法・結果

図 3 に FRP 補剛材の設置状況, 図 4 に圧縮試験セットアップ図を示す。(1)式により FRP 補剛材の設計を行った結果, 積層構成は[[0/90]<sub>12</sub>[0/90]<sub>18</sub>]<sub>s</sub>を採用し, 補剛範囲として 100, 150, 200mm の 3 種類について検討を行った。なお, FRP 補剛材は被補強材の板厚と同等の板厚を有する鋼板を用いて VaRTM 成形し, 脱型したものを嵌め込むことで設置した。試験は 2MN 油圧式圧縮試験機を用いて準静的載荷試験とし, 球座は使用していない。



(a) 補強範囲 100mm



(b) 補強範囲 150mm



(c) 補強範囲 200mm

図 3 試験体



図 4 試験状況

図 5 に試験から得られた圧縮応力度－クロスヘッド変位関係を, 図 6 に試験後の試験体の状況を示す。図 5 の圧縮応力度は荷重を鋼材ウェブ部の断面積で除した値としている。最大荷重は補剛範囲が長くなるにつれて高くなっているとともに, 最大荷重を迎えた後の荷重低下の傾向も補剛を行うことで緩やかになっていることが確認できる。図 6 より, 補剛によって座屈モードも変化し, 補剛材端部周辺で変形の極大点が生じている。また, 図 7 には試験後に FRP 補剛材を取り外した状態を示している。目視での確認では FRP 補剛材に損傷などは生じておらず, 弾性状態を維持できていると考えられ, 一時的な耐力上昇の必要性が生じた場合への適用や, 取り外して鋼材の状態確認も容易に行えることが明らかとなった。

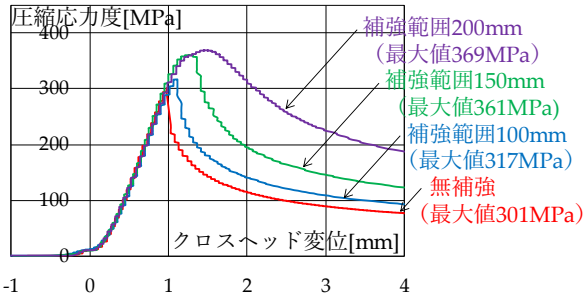
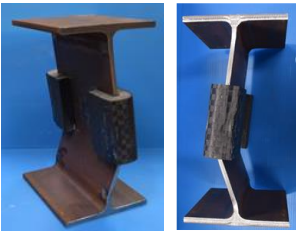
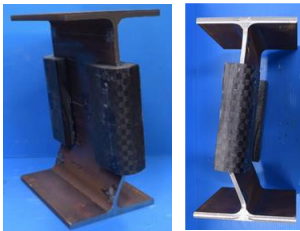


図 5 圧縮応力度－クロスヘッド変位関係



(a) 補強範囲 100mm



(b) 補強範囲 150mm



(c) 補強範囲 200mm

図 6 試験後の状況



図 7 試験後の FRP 補剛材

5. おわりに

本報では FRP 補剛材を用いて, 接着接合を用いない手法により薄肉鋼部材の圧縮耐力上昇を図る手法について実験により効果を確認するとともに, 取り外し可能であることも確認できた。

参考文献

1) 土木学会：複合構造レポート 05 FRP 接着による鋼構造物補修・補強技術 の最先端, 2012  
2) Fengky Satria Yoresta, Ryotaro Maruta, Genki Mieda, Yukihiro Matsumoto: Unbonded CFRP strengthening method for buckling control of steel members, Construction and Building Materials, Volume 241, 14 pages, 2020.4  
3) 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.74, No. 5, p.II\_44-II\_55, 2018.5