VaRTM 法によるボルト接合部周辺の CFRP 成形接着補強法

豊橋技術科学大学	正会員	〇松本幸大	
豊橋技術科学大学		中本大暉,	久保川裕喜
コンステック		佐藤壮大,	鈴木公平
東レ	正会員	松井孝洋	
東レ		前田浩徳	

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 する炭素繊維強化樹脂(CFRP)を用いた既存鋼構造物への補修・補強法の研究・開発が進んでいる^{1,}。これまで,CFRP を用いた補修・補強法の対象部位としては,平面や腐食による不陸を有するものや隅角部への適用事例が報告され ている^{1,2)}。一方で,複雑な表面状態で,CFRPの成形や接着が困難な,ボルト接合部周辺への適用事例は限られて いる。筆者らは,CFRP を鋼構造部材に接着する手法として,多積層の基材を成形する場合でも急速な施工と安定 した機械的性質が得られる Vacuum assisted Resin Transfer Molding (VaRTM)法を応用し,成形と同時に接着も行 う補修・補強工法の研究開発を進めている³⁾。本報では,鋼構造ボルト接合部に対する VaRTM 法を用いた CFRP 成形接着補強法の確立を目的として,接合部に存在する鋼材面の段差およびボルトによる表面不陸状態を CFRP に より調整するとともに応力伝達も行う補強法の提案と補強性能の実証を行った結果を報告する。

2. ボルト接合部に対する補強法

図1に補強法の概要を示す。本研究で提案する補強法は、山形鋼部材とG.PLとの接合部等に対し、CFRPの接着 成形によって段差修正と補強とを VaRTM 法により一括して行うものである。対象部位の段差としては、山形鋼と G.PLとの段差、ボルト頭部の不陸が考えられるが、各々に対して段差を調整する基材を用いることで、応力伝達用 基材を平面に近づけ、偏心曲げ・局所ピール応力等の付加応力を低減させ、補強効果を発揮させることを期待して いる。用いた基材(炭素繊維シート UM46-40P:目付 400gsm、厚さ 0.217mm、弾性率 440GPa、引張強さ 2.4GPa) には熱可塑性樹脂の粉末を塗布しており、山形鋼と G.PL の段差を修正するために用いる基材(段差用基材と呼ぶ) と、ボルト頭部高さ分のかさ上げに用いる基材(ボルト用基材と呼ぶ)、応力を直接 G.PL に伝達させるために用い る基材(伝達用基材)を事前に加熱により一体化でき工期の短縮にも寄与する。なお、ボルト用基材には、所定の 位置に円筒状のくり抜き加工を施している。また、G.PL 側補強面の最外層には接着耐力向上のため、拡幅用基材(2 方向クロス BT70-20:目付 200gsm、厚さ 0.112mm、弾性率 230GPa、引張強さ 2.9GPa)を±45度方向に配してい る。既存ボルト接合耐力の有効活用とボルト頭部の高さを抑える目的で、必要に応じてトルシア型高力ボルトに交 換することとし、補強面はボルト頭部側の片面のみとした。接着成形のためのプライマーにはエボキシ系接着剤 E258Rを、含浸接着樹脂には AUP40T1を用いた。



キーワード CFRP ボルト接合部 補強 VaRTM 連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ケ丘 1-1 (Tel)0532-44-6845

試験体は,図2に示すような等辺山形鋼 L-50x4(SS400, YP=370MPa, TS=465MPa)を M16 高力ボルト2本で接 合した試験体とした。試験変数は、無補強(NS 試験体)と CFRP 補強試験体(CFA, CFB 試験体)、摩擦面への樹 脂含浸の影響を検討するために樹脂のみを VaRTM により接合部周辺に含浸させた試験体(NSR 試験体)とした。 伝達用基材の積層数は、ボルト孔による断面欠損分と等価な強度としたもの(CFA 試験体)と、山形鋼の全断面積 と等価にしたもの(CFB 試験体)の2種類とし、各2体実施した。

3. 試験結果

表1に各試験体の最大耐力、図3に荷重-クロスヘッド変位関係、図4に破壊後の CFRP 補強試験体、図5に荷 重-歪(sg1, sg2 の平均)関係を示す。表1より CFRP 補強により最大耐力は NS と比較して高い値となっている ことが分かる。しかし、伝達用基材の積層数の違いによる有意な差は確認されなかった。NSR の耐力や挙動は NS と比較して有意な差はなく VaRTM 法によって含浸される摩擦面の樹脂の影響は小さいと考えられる。図3より、 NS および NSR は早期にボルト孔断面欠損部が降伏し破断しているのに対し, CFA および CFB は山形鋼中央部が 降伏したのち、山形鋼側の CFRP 端部を起点として剥離が徐々に進行し、剥離がボルト接合部の有効断面部に達し た後,有効断面部で破断に至った(図4)。また,図5に示すようにCFA・CFBの山形鋼中央部においては3%以上 の伸びが確認されたことから、本補強法によって部材の耐力と塑性変形性能を発揮できるようになったといえる。

表1 試験結果一覧								
	NS	NSR	CFA-1	CFA-2	CFB-1	CFB-2		
最大耐力[kN]	102	101	126	127	125	127		
NS との比較	-	-0.6%	+24%	+25%	+23%	+25%		





図 5 荷重-歪(sg1 と sg2 の平均)関係

4. おわりに

鋼構造ボルト接合部に対して、VaRTM 法を応用した CFRP の成形接着により、段差・ 不陸を解消し応力伝達を行うことができる補強手法の提案を行うとともに、引張試験によ り効果を実施した。その結果、適切に成形接着が施工できることが実証でき、接合部の耐 力を向上させられることを明らかとした。

参考文献

- 土木学会: 複合構造シリーズ 09 FRP 接着による構造物の補修・補強指針(案), 2018 1)
- 2) 石川敏之, 中村一史, 大垣賀津雄:鋼構造物の CFRP 接着補修・補強, 日本機械学会誌, 2019
- 3) 久保川裕喜,中本大暉,鈴木公平,佐藤壮大,松井孝洋,前田浩徳,松本幸大:段差を有する鋼構造接合部への CFRP による VaRTM 成 形接着補強に関する基礎検討,第8回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集(CD-ROM), pp.143-150, 2020



破壊モード 図4