

ハンドレイアップ GFRP 部材における多列ボルト接合の支圧耐力評価

名古屋大学大学院	学生会員	○茗荷 将浩
Dhaka University of Engineering & Technology	正会員	Mohammad Abdul Kader
名古屋大学大学院	正会員	北根 安雄
岐阜工業高等専門学校	フェロー会員	伊藤 義人
株式会社ヒビ	正会員	日比 英輝

1. 研究目的

FRP は高強度、高剛性、軽量性、高耐食性といった優れた材料特性から構造部材への適用が増えている。FRP を構造物に適用する場合、寸法や形状の制約から FRP 部材どうしを接合することによって荷重を伝達する必要がある。しかし FRP 部材のボルト接合に関して、特に多列接合では基礎的なデータが不足しており、一般的な設計手法が確立されているとは言えないのが現状である¹⁾。そこで本研究ではハンドレイアップ成形された GFRP 部材のせん断支圧ボルト接合に着目し、ボルト列数(1~4 列)、添接板材料の異なる供試体を用いて強度試験を行うことで、多列における GFRP 部材の支圧耐力を実験的に明らかにする。

2. 材料試験

本研究ではハンドレイアップ成形された GFRP 板を用いる。繊維には 0 度と 90 度方向に同量のガラス繊維が配向されたロービングクロス材を、マトリックス樹脂には不飽和ポリエステルを使用している。材料特性を得ることを目的として、引張試験、面内圧縮試験、面外圧縮試験、面内せん断試験、層間せん断試験、支圧試験を表-1 で示される試験方法に基づいて行った。得られた GFRP 板の材料特性を表-1 に示す。

3. 接合部実験概要

GFRP 部材の多列ボルト接合における支圧耐力を明らかにすることを目的として、図-1 に示すような、直径 17mm のボルト孔を持つ母板および 2 枚の添接板と、M16 のステンレスボルトを用いて図-2 のような接合部供試体を作成し、両端から引張荷重を載荷した。

本実験で用いるボルト列数は 1~4 列まで、いずれも手締め程度のボルト軸力として 3Nm のボルトトルクを導入した。母板には 12mm 厚 GFRP 板を用い、添接板には 6mm 厚ステンレス鋼板もしくは 12mm 厚 GFRP 板のいずれかを用いた。また供試体寸法に関して、全てのボルト列で支圧破壊が生じるように縁端距離 e/d 、幅 w/d 、ボルト間隔 p/d を十分に大きくした。変位に関しては母板と添接板の相対変位を測定した。供試体の一覧を表-2 に示す。いずれの供試体も 3 体ずつ実験を行い、その平均を結果とした。

4. 実験結果

実験結果を表-2 に示す。実験から得られる図-4 のような荷重-変位関係において、最大荷重の 2~4 割の荷重区間における傾きを初期剛性とし、初期剛性から 3 割の剛性低下が生じた点を初期破壊点と定義した。一方、荷重-変位関係の最大荷重時を終局破壊点として定義した。表-2 に示した全ての供試体の母板で、初期破壊として支圧破壊が生じた。また支圧破壊の後に、全ての供試体で終局破壊として引張破壊もしくはせん断破壊が生じた。終局破壊

表-1 GFRP の材料特性

試験	繊維方向(°)	板厚 (mm)	強度 (MPa)	弾性係数(GPa)
引張 (JIS K7164)	0	12	353	26.2
	90		335	25.1
面内圧縮 (JIS K7018)	0		267	26.1
	90		288	26.2
面外圧縮 (JIS K7181)	板厚方向 (z 軸方向)		339	13.2
面内せん断 (ASTM D7078)	0		75.2	3.91
層間せん断 (JIS K7057)	0		34.3	4.44
	90		34.0	4.64
支圧 (WU Test) ²⁾	0		269	-

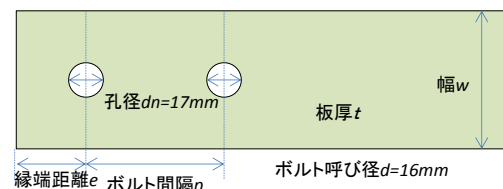


図-1 GFRP 板の概要

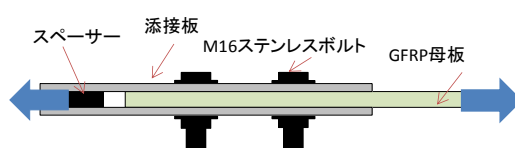


図-2 接合部供試体の概要

表-2 供試体一覧と実験結果

供試体	ボルト		寸法パラメータ			母板		添接板		初期破壊(支圧破壊)	
	列数	トルク(Nm)	e/d	w/d	p/d	厚(mm)	材料	厚(mm)	材料	支圧耐力(kN)	支圧耐力/列数(kN)
J1	1	3	4	3	-	12	GFRP	6	Steel	55.2	55.2
J3			4	4				6	Steel	57.0	57.0
J9			4	2.5				6	Steel	53.0	53.0
2LS6	2	3	3.5	4	5	12	GFRP	6	Steel	107	53.5
2XF12			4	6	5			12	GFRP	113	56.5
2XS6			4	6	5			6	Steel	108	54.0
3PS6	3	3	3.5	7	5	12	GFRP	6	Steel	151	50.3
3YF12			4	9	5			12	GFRP	158	52.7
3YS6			4	9	5			6	Steel	154	51.3
4ZF12	4	3	4	11	5	12	GFRP	12	GFRP	214	53.5
4ZS6			4	11	5			6	Steel	194	48.5

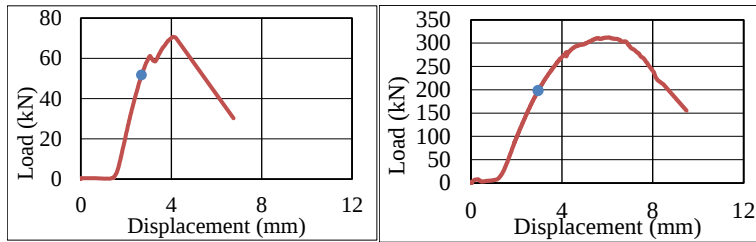


図-4 荷重-変位関係(左から J9 と 4ZS6 : ●は初期破壊点を示す)

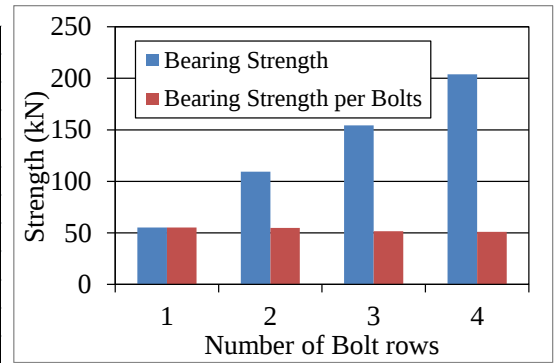


図-3 12mmGFRP 板の支圧強度

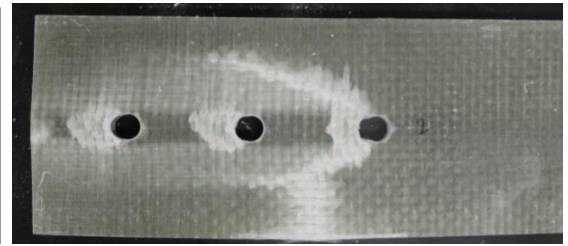


図-5 実験後の様子(3YF12)

が支圧破壊とならなかった原因はボルト軸力の効果によるものと判断でき、ボルト軸力による拘束が支圧破壊に伴って生じる母板の面外への変形を妨げ、それによって支圧破壊後も荷重が増大し最終的に引張やせん断耐力に達したと考えられる。

図-5 に実験後の供試体母板を示す。全ての供試体において、母板の全ボルト列で支圧破壊が生じている様子が観察された。また、多列接合供試体ではボルト列数や添接板条件によって支圧破壊が生じるボルト列の順序が異なった。これは、ボルト列数や添接板の材料および板厚の違いによって各ボルト列間での荷重分担率が異なるためである^{2,3)}。そのため、荷重分担率の高いボルト列から順に支圧破壊が生じたと考えられる。

図-4 に示す荷重-変位関係ではボルト列数によらず、全ボルト列で支圧破壊が生じた後に大きな剛性の低下が生じ、初期破壊点の定義である 3 割の剛性の低下に至った。この点での荷重を初期破壊時の支圧耐力とし表-2 に示す。同じボルト列数の供試体の場合、寸法や添接板条件によらず支圧耐力に違いは見られなかった。

また、図-3 に支圧耐力と、支圧耐力をボルト列数で割ったボルト 1 列あたり支圧耐力を示す。多列接合における支圧耐力は 1 列接合の支圧耐力のボルト列数倍で、ボルト 1 列あたりの支圧耐力はボルト列数によらず一定となった。このことから本研究で用いたハンドレイアップ GFRP の多列接合における支圧耐力は、添接板条件や供試体寸法によらず 1 列接合の支圧耐力にボルト列数をかけることで算出できると考えられる。

5. 結論

- 1) 多列接合では荷重分担率の高いボルト列から順に支圧破壊が生じ、最終的に全ての列で破壊が生じた。
- 2) 剛性の大きな低下は全てのボルト列で支圧破壊が生じた後に起こった。30%の剛性低下が生じる点を初期破壊点とすると、その時の支圧耐力はボルト列数倍で、ボルト 1 列あたりの支圧耐力は一定となった。そのため多列接合の支圧耐力は、1 列接合の支圧耐力にボルト列数をかけることで算出できる。
- 3) 添接板の違いによって各ボルト列間の荷重分担率は異なるが、初期破壊点における支圧耐力への影響は見られなかった。

参考文献

- 1) 土木学会 (2013) : 複合構造レポート 09 FRP 部材の接合および鋼と FRP の接着接合に関する先端技術, 丸善, pp. 3-42.
- 2) ASCE (2010) : Pre-Standard for Load and Resistance Factor Design of Pultruded Fiber Reinforced Polymer Structure, p.78.
- 3) Natinal Research Council (2007) : Guide for the Design and Construction of Structures Made of FRP Pultruded Elements, CNR-DT 205, p. 28.