

FRTPリベットによる接合法の提案と基礎物性評価

松本 幸大¹・松井 健良²・三枝 玄希³・松下 義幸⁴

¹正会員 豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系
(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail:y-matsum@ace.tut.ac.jp

²豊橋技術科学大学工学部 建築・都市システム学課程 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

³正会員 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)

⁴イオインダストリー 技術グループ (〒431-0302 静岡県湖西市新居町新居3380-500)

近年、FRP材を応用した構造物が設計・実用化されている。FRP材料を応用する目的は、軽量性や耐候性などであるが、接合部には金属材料が用いられることが一般的であり、完全な腐食フリーには至っていない現状にある。一方、FRP材料分野において、マトリックス樹脂に熱可塑性樹脂を用いたFRTPが注目されており、加熱再成形が可能なことや安価であることから自動車分野などに広く利用されている。本研究では、FRTPを建設分野における接合用部材として応用することを目的とした基礎研究として、FRTP製リベットを用いた接合法の提案とその試作を行い、引張・剪断強度を分析した。その結果、引張強度は熱硬化性FRPボルトに近い強度を発揮したが、剪断強度は既存の機械接合強度に及ばないことが分かった。

Key Words : FRTP, rivet, tensile test, shear test

1. はじめに

FRP材は軽量性や耐候性の観点から、様々な建設構造物部材として利用されつつある¹³⁾。自動車分野などでは軽量性を活かして一体成型されたFRP材を用いること等も行われている³⁾が、建設分野においてFRP材で各種構造物を設計・製作する際は、部材同士を接合することが必須となる。建設分野におけるFRP構造物の接合⁴⁾に関しては、機械接合としてボルト接合、リベット接合などが用いられ、多くの耐力評価結果が報告されている。また、接着接合^{4,5)}も連続的な応力伝達が行えることなどから広く用いられ、機械接合との併用も提案・応用されている⁶⁻¹⁰⁾。さらに、下穴を要せず小径の機械接合要素を用いた接合方法¹¹⁻¹⁴⁾も提案されている。FRP材を用いた建設構造物の接合方法や強度評価は、近年でも新たな方法が提案・評価されており⁵⁾、施工方法や条件などに応じて最適な手法を選ぶことが出来れば、FRP複合構造物の応用範囲や建設技術の発展に繋がると考えられる。

FRP材料分野では、最近、マトリックス樹脂に熱可塑性樹脂を用いたFRP (以下、FRTP) が注目されている¹⁶⁾。¹⁷⁾ FRTPは加熱により再成形が可能であることから、現

場での形状変更やリサイクルが可能なおうえ、一般に熱硬化性樹脂よりも安価と言われている。加熱再成形により形状変更・溶融が行えることから、金属材料の塑性加工に類似した加工や、摩擦熱などを利用したFRTP同士の接着等にも応用でき、FRP材料の建設構造物においてもこれらの特徴を活かした用途が模索されている。

こうした背景を踏まえ、本研究では、鋼構造で用いられていたリベットによる支圧接合に相当する接合を、FRTP製のリベットを用いて実現することを試みる。支圧接合においては接合部のクリアランスにより、接合部剛性の低下が生じることが指摘されている⁹⁾が、文献13, 14)に示すタッピングビスを利用することで、その影響も最小限とするよう配慮する。本論では、まず、FRTPリベットによる接合法の提案とFRTPリベットの試作ならびに形状寸法の確認を経て、基本的な強度評価として、FRTPリベット自体の引張強度・剪断強度を評価するとともに、既往の機械接合強度との比較を行う。リベットのような機械接合要素に注目することで、同形状で多量の使用が想定されることから、生産上のメリットも有すると思われる。

2. FRTPリベットによる接合法

(1) 接合法

本研究で提案するFRTPリベットを用いたFRP材の接合法を図-1に示す。まず、下穴が不要なタッピングビスによってFRP部材同士を接合し、その後、ほぼ同径のFRTPリベットに入れ替え、リベット軸端部を加熱再成形し頭部を作成する。これにより、下穴加工を省略でき組み立ての簡単化を図ることができると考えられ、特に短期間で多くの構造物が必要となる自然災害後などの仮設・応急復旧のための軽量構造物への接合法としての応用が期待できる。さらに、小径のリベットをクリアランス無しで接合することで接合部の初期剛性を確保することができると考えられる。また、通常のボルト接合のように、適切な径の下穴加工を行った後、FRTPリベットを用いて接合することも可能である。なお、リベットの首下は適切な長さに切断・溶断を行うことも容易であり、不要となったFRTPリベットの余長部分はリサイクルも可能である。

(2) FRTPリベットの概要

本研究で用いるFRTPリベットの寸法および外観を図-2に示す。仮留め用のタッピングビスの寸法（ネジ部外径5.5mm）を考慮し、軸部の外径は5.25mmとし、首下長さは50mm、既存の頭部外径は15.75mm（軸部の3倍）とした。材質は、ガラス繊維含有率50wt%のナイロン（PA6）であり、射出成型により成形した。材料の機械的性質を表-1に示す。また、成形後のFRTPリベットについて、5体の抜き取り検査により寸法確認を行った結

果を表-2に示す。

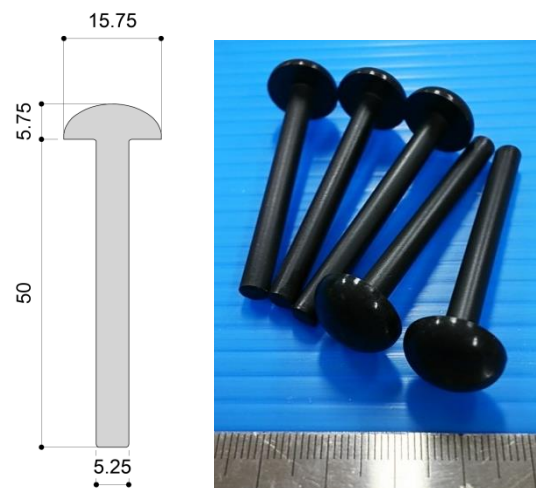


図-2 FRTPリベットの概要

表-1 FRTP材料の諸特性

引張弾性率（絶乾）	16.2 GPa
引張弾性率（調湿）	9.5 GPa
引張強さ（絶乾）	205 MPa
引張強さ（調湿）	128 MPa
融点	220 °C
比重	1.57

表-2 FRTPリベットの寸法確認結果

部位	誤差 [mm]				
首下50mm	+0.08	+0.09	+0.11	+0.03	+0.07
軸径5.25mm	+0.04	+0.07	+0.09	+0.08	+0.06

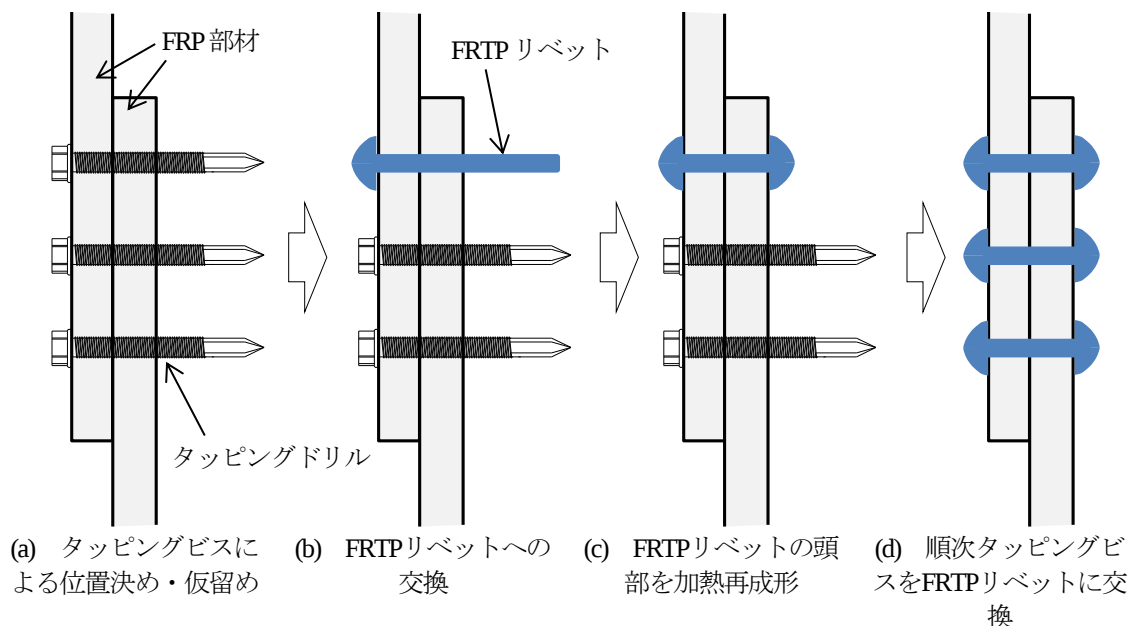
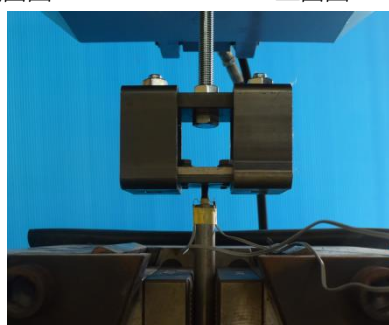
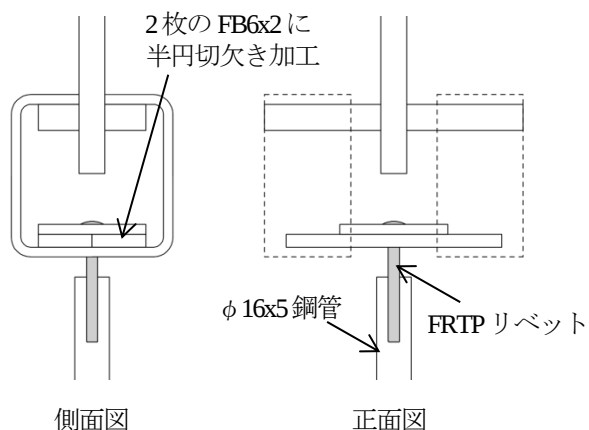


図-1 FRTPリベットによる接合法と想定する接合手順

3. 引張試験

(1) 試験方法

引張試験は、図-3に示すように、頭部を金属製治具に引っ掛け、軸端部を鋼管内にエポキシ系接着剤で定着することで引張力を与えた。リベット軸部には2枚の歪ゲージ（ゲージ長2mm）を貼付し、軸歪を計測した。試験は準静的引張試験とし、計10体の試験体に対して、リベットの破断または定着部の剥離が生じるまで実施した。試験時の環境は室温約30度、湿度約75%であった。



引張試験状況
図-3 引張試験方法

(2) 試験結果

引張試験の結果、材料破壊が得られたものが5体（試験体T-PA-01, 02, 03, 04, 09），定着部で剥離したものが5体（試験体T-PA-05, 06, 07, 08, 10）であった。材料破壊位置は全てリベット頭部と軸部の境界であり、応力集中によるものと推察できる。全ての試験体の軸応力（荷重）－歪関係をオフセットして図-4に、試験より評価した最大耐力・強度・弾性係数を表-3に示す。軸応力は荷重をリベットの外径5.25mmとした公称断面積で除した値である。強度は材料破壊が得られた5体のみで評価し、弾性係数は材料破壊を生じた5体の最大荷重の平均値1.937kNを基に、 $0.2 \times 1.937\text{kN} \sim 0.5 \times 1.937\text{kN}$ の範囲で全試験体を対象に線形近似により算出した。

試験結果より、強度は表-2に示した材料強度（調湿時）より約30%低い値となっているが、変動係数は5%程度であり概ね安定した結果が得られた。文献13, 14)では径4.9mmおよび5.5mmのタッピングビスを用いたGFRP材接合部の引抜試験の結果が示されているが、タッピングビスの径によらずGFRP板厚あたりの引抜耐力が約0.45kN/mmと示されている。タッピングビスはネジ部とGFRP材との噛み合せによって荷重を保持するが、本研究で用いたリベットによる引張接合では母材板厚に依存しないため部材の板厚に関わらず引張耐力は一定となると考えられるため、板厚4mm以下のGFRP引張接合では本研究で用いたFRTPリベット接合の耐力が高くなると考えられる。また、文献6)で用いられているステンレス製ブラインドリベット（φ4.8）の引張強度は6.5kNであり、FRTPリベットはその約40%の引張耐力と言える。FRP系の機械接合要素である、ガラス繊維・エポキシ樹脂を用いたGFRPボルト¹⁰⁾（M6）と比較すると約70%の引張耐力、外径が異なるため強度で比較すると約90%となった。

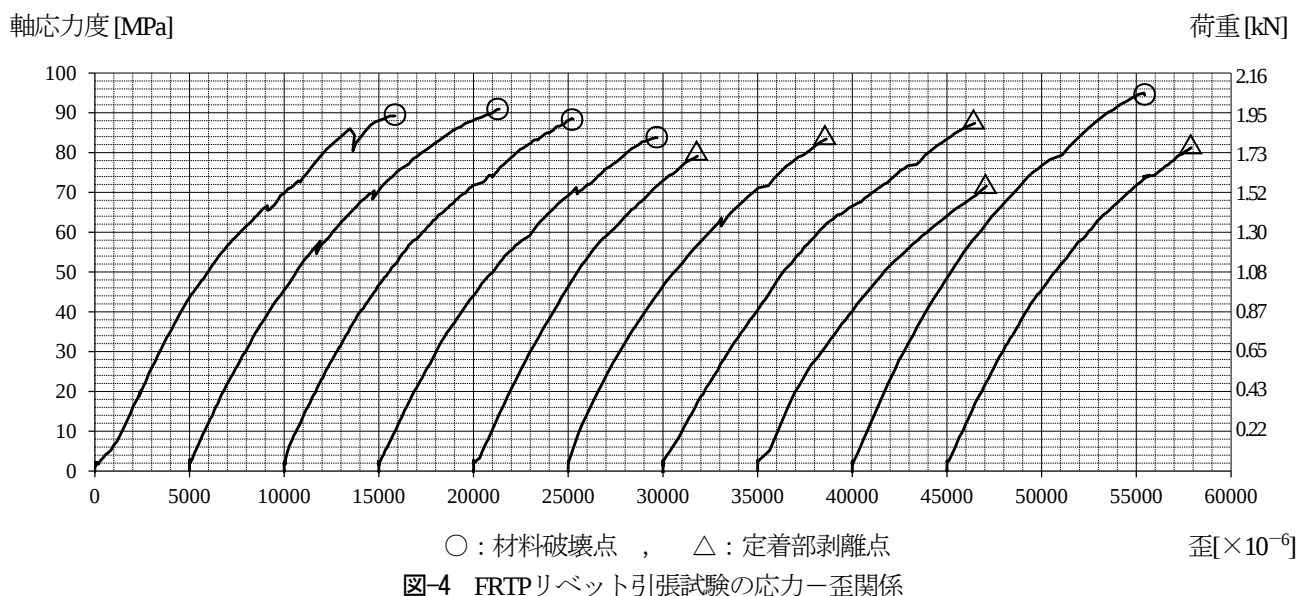


表-3 FRTPリベットの引張試験結果

試験体名	最大荷重 [kN]	引張強度 [MPa]	引張強度の 平均値[MPa]	引張強度の 変動係数	弾性係数 [GPa]	弾性係数の 平均値[GPa]	弾性係数の 変動係数
T-PA-01	1.931	89.193	89.48	4.50%	9.276	8.11	9.99%
T-PA-02	1.968	90.911			8.206		
T-PA-03	1.917	88.546			8.206		
T-PA-04	1.814	83.816			7.910		
T-PA-05	(1.712)	(79.104)			8.645		
T-PA-06	(1.806)	(83.409)			7.834		
T-PA-07	(1.892)	(87.382)			7.205		
T-PA-08	(1.549)	(71.565)			6.524		
T-PA-09	2.055	94.939			8.971		
T-PA-10	(1.769)	(81.728)			8.346		

※()の値は定着部破壊により得られた最大荷重・応力であることから、強度平均値・変動係数算出には使用していない

4. 二面剪断試験

(1) 試験方法

二面剪断試験は、図-5に示すように、板厚6mmの鋼板4枚をダブルラップ形式で接合し、片側にFRTPリベットを配する方法により行った。鋼板同士のクリアランスはほぼゼロとしたが摩擦力が作用しないよう配慮している。試験は準静的引張試験とし、計10体の試験体に対して、リベットの破断が生じるまで実施した。試験は引張試験と当日に行っており、環境条件は同様である。

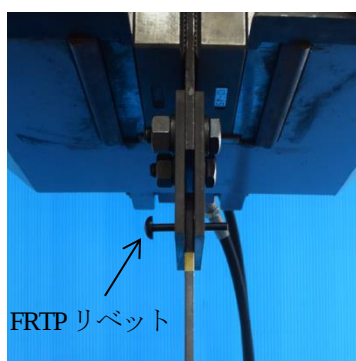


図-5 二面剪断試験状況

(2) 試験結果

全ての試験体の平均剪断応力（荷重）ークロスヘッド変位関係をオフセットして図-6に、試験より評価した最大耐力・平均剪断強度を表-4に示す。剪断応力は荷重をリベットの外径5.25mmとした公称断面積の2倍で除した値である。

試験結果より、剪断強度は表-3に示した引張強度の約60%（約1/1.7）の値となっている。また、剪断強度は引張強度と同様、変動係数5%以下となっており安定した結果が得られた。

引張試験と同様に他の接合方法との比較を行うと、ステンレス製ブラインドリベットの剪断強度は5.3kN/面⁹⁾で

あり、FRTPリベットはその約20%の剪断耐力となった。GFRPボルト¹⁰⁾（M6）と比較すると約27%の剪断耐力、強度で比較すると約36%となった。引張強度に比べ、剪断強度が他の接合に比べて劣る傾向にあることが分かった。FRP材の支圧強度を200MPaと仮定すると、2mm程度の板厚まではFRP材の支圧破壊、それ以上の板厚ではFRTPリベットの剪断破壊となることが予想される。

5. まとめ

本研究では、FRP構造物の新たな接合法の提案と、FRTP製リベットの試作および基礎的強度評価を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 加熱再成形が可能なFRTPの特徴と、支圧接合部におけるクリアランスの最小化を可能とする接合方法の提案を行った。
- (2) 射出成型により成形したFRTPリベットは精度の高い形状寸法で成形可能であることを示した。
- (3) FRTPリベットの引張強度として約90MPaを得た。この値はFRPボルトの約90%程度の値に相当する。
- (4) FRTPリベットの剪断強度として約50MPaを得た。この値は他の機械接合と比較すると強度に劣る結果となった。

今後、FRP材に対してFRTPリベット接合の評価を進め、図-1に示した接合方法により接合することで、施工性や強度評価を進める予定である。

謝辞

本研究は、一般財団法人 内藤泰春科学技術振興財団調査・研究開発助成「繊維強化熱可塑性樹脂リベットの開発と接合設計法の構築」の一部として行われました。ここに記して謝意を表します。

平均剪断応力度 [MPa]

荷重 [kN]

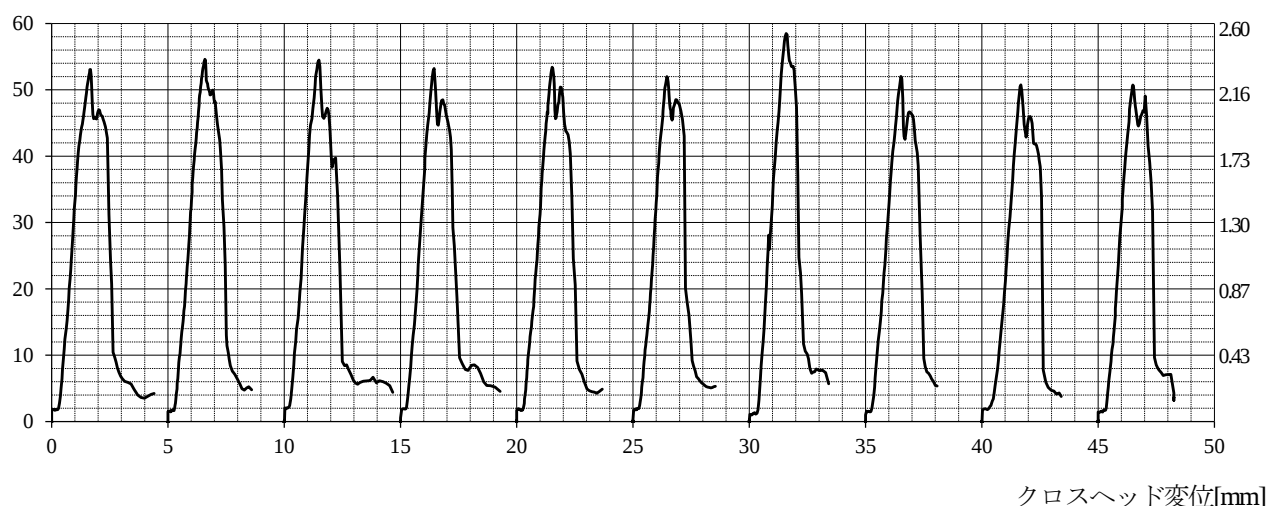


図-6 FRTPリベット二面剪断試験の荷重－クロスヘッド関係

表-4 FRTPリベットの二面剪断試験結果

試験体名	最大荷重 [kN]	剪断強度 [MPa]	剪断強度の 平均値[MPa]	剪断強度の 変動係数
S-PA-01	2.298	53.078	53.273	4.27%
S-PA-02	2.364	54.602		
S-PA-03	2.358	54.473		
S-PA-04	2.304	53.216		
S-PA-05	2.312	53.392		
S-PA-06	2.251	51.997		
S-PA-07	2.532	58.482		
S-PA-08	2.252	52.015		
S-PA-09	2.197	50.749		
S-PA-10	2.196	50.722		

参考文献

- 1) 土木学会：複合構造シリーズ 04 FRP 歩道橋設計・施工指針（案），2011
- 2) 強化プラスチック協会：FRP60年の歩み，2015
- 3) JEC Group：THE CHALLENGING WORLD OF COMPOSITES，2013
- 4) 土木学会：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，2013
- 5) 土木学会：複合構造シリーズ 09 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，2018
- 6) 中村一史，前田研一，睦好宏史，松井孝洋，柳沼謙一：リベット接合と接着接合によるハイブリッド FRP 桁の連結方法に関する実験的検討，第 4 回 FRP 複合・橋梁に関するシンポジウム，2012
- 7) 石井 佑弥，小泉公佑，中村一史，古谷嘉康，中井裕司，西田雅之：トラス桁形式 GFRP 製橋梁用検査路の使用性と耐荷力に関する研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），72 巻 5 号，p. II_33-II_45，2016
- 8) 田村修一，久保圭吾，角間恒，岡田慎哉，松井繁之：FRP を用いた歩道床版拡幅工法の耐荷性能に関する実験的研究，構造工学論文集 A，61A 巻，p. 1073-1084，2015
- 9) 高橋秀夫，渡辺忠朋，中村一史，松本幸大，西崎到，日比英輝：FRP 下路トラス橋梁の設計施工，第 10 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，2013
- 10) 小島敬司，松本幸大：FRP ボルト・接着併用継手接合部の力学性状に及ぼすボルト位置の影響，第 10 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，2013
- 11) 守屋一政，井上寛之，加藤勝義：炭素繊維強化積層複合材と金属材の細径ピンによる接合，日本複合材料学会誌 第 36 巻第 5 号，2010
- 12) 守屋一政，加藤勝義，井上寛之：炭素繊維強化積層複合材の細径ピンによる穿孔と細径ボルトの密集配置による接合，日本複合材料学会誌 第 37 巻第 1 号，2011
- 13) 井上侑也，松本幸大，三枝玄希，室本章浩，仲本克則：GFRP 板材のドリルビス接合強度に関する実験的研究，第 11 回 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集(CD-ROM)，2015.11
- 14) Nguyen Ngoc Duong, Phan Viet Nhut, Chito Satake and Yukihiro Matsumoto: Study on Mechanical Behavior of Self-Tapping Screws Connection Using Washers in Single-Lapped Glass Fiber Reinforced Plastic Plates by Experiment and Finite Element Analysis, International Conference on Building Materials and Construction, C0027, 2018
- 15) 石間啓介，橋本国太郎，日比英輝：HP リベットによ

- る GFRP 部材の接合に関する基礎的研究, 第 6 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 2016
- 16) 保倉篤, 宮里心一: 土木分野における付帯物および仮設物を熱可塑性 FRP で製造する利点の整理, 第 6 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 2016
- 17) 鶴澤潔, 斉藤義弘, 保倉篤: 土木・建築分野への複合材料利用—先進材料と革新製造技術による新たな取り組み—, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 73 巻 5 号, p. II_1-II_9, 2017
- 18) 太平株式会社: TAC ボルト・ナット

FUNDAMENTAL STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTY OF FRTP RIVET FOR CONNECTION

Yukihiro MATSUMOTO, Takayoshi MATSUI, Genki MIEDA
and Yoshiyuki MATSUSHITA

In recent years, FRP materials have been widely applied to the structural material in civil engineering fields because of its light-weight and high corrosion resistance characteristics. However, steel or stainless steel materials are used to the almost connection of FRP structures. So, the performance of FRP structures will be affected by corrosion at the connection. By the way, fiber reinforced thermoplastics (FRTPs) are also developed in composite material and engineering fields. FRTPs can be deformed easily by the heating and it has the possibility of large production. So, FRTP materials are one of the popular material on automobile assembly, electrical product, etc nowadays.

In this study, we fundamentally investigate the mechanical properties of FRTP rivet to provide the new connection methods of FRP structures. Firstly, the connection method using FRTP rivets is proposed and the FRTP rivets are manufactured experimentally by injection molding. Then, tensile tests and shear tests of FRTP rivet are carried out. Based on the tests, fundamental mechanical characteristics of FRTP rivet is made clear and the strength is compared with previously investigated connecting method.