

# 床版橋形式 GFRP 歩道橋に用いた引き抜き成形材による組み合わせ部材の接合強度

首都大学東京大学院 学生員 苅屋彰吾・学生員 藤田盛吾  
 首都大学東京 正会員 中村一史\*・フェロー 前田研一  
 AGC マテックス 渡邊哲也

## 1. はじめに

ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) の歩道橋への適用が検討されている中で、著者らは、引き抜き成形材を用いた床版橋形式歩道橋の開発を行ってきた。その実用化にあたっては、図-1 に示すように、引き抜き成形部材同士は接着接合を基本としているため、その接合強度を明らかにしておく必要がある。そこで、本研究では、接着継手を対象とした一面引張せん断実験により、組み合わせ部材の接合強度を把握するとともに、強度特性に優れた接着剤の適用性や、リベット接合の併用による補強効果を把握し、合理的な接合方法を検討する。

## 2. 引き抜き成形材と材料物性値

床版橋形式 GFRP 歩道橋に使用される組み合わせ部材は、図-2 に示すような、シート材 (F1000×2 層) と梁材 (I300) である。部材同士を接着する場合、接合面の不陸調整が必要であるため、チョップドストランドマット(CSM)に樹脂を加えたマットインを適用した。また、不陸調整も可能な構造用接着剤も開発されていることから、マットインにかわる材料として、厚層へも対応可能なエポキシ樹脂接着剤 (以下、厚層接着剤) の適用性も比較検討することとし、各接着剤は図-1 に示す箇所に適用した。さらに、接合面の補強ために、ブラインドリベット ( 4.8 ) の併用も検討した。各材料の物性値を表-1 に示す。

## 3. 実験および解析の方法

本研究では、シート材 (F1000×2) と梁材 (I300 フランジ) の接合面を対象として図-3 に示すような試験片を作成した。接合方法を 4 シリーズ (M: マットイン, B: 厚層接着剤, R: リベット, MR: マットインとリベットの併用), および、ラップ長を 4 パターン (L: 30, 105, 180, 255mm) の 2 種類をパラメータとし、各ラップ長に対して各 5 体 (マットインのみ 10 体) の結果の平均値で評価し、接合強度とラップ長の関係を実験的に検討した。リベット補強については、過去の検討例<sup>1)</sup>を参考に、ラップ長に応じて 1, 4, 7, 10 列と設定した。応力の伝達特性やはく離挙動を把握するために、ひずみゲージとクリップゲージを図-3 に示すように配置した。試験装置には万能試験機を使用し、1mm/min の変位制御で引張せん断実験を行った。

また、破壊時に支配的な応力特性を把握するため汎用有限要素解析プログラム MARC を適用して、解析的な検討を行った。解析モデルについては、図-3(a)に示す試験片を解析対象として、8 節点平面要素でモデル化した。基本荷重として、引張荷重を 10kN とし、線形弾性解析により、せん断応力  $\tau$ 、ピール応力  $p$ 、引張応力  $t$  を算出した。着目点 P 近傍 (図-2 の領域 A) の要素分割を図-4 に示す。データを正確に把握するため、着目点近傍の要素分割を細かくした。

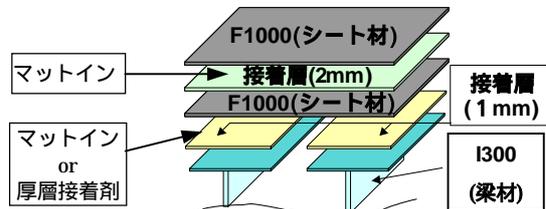


図-1 組み合わせ部材の構成図

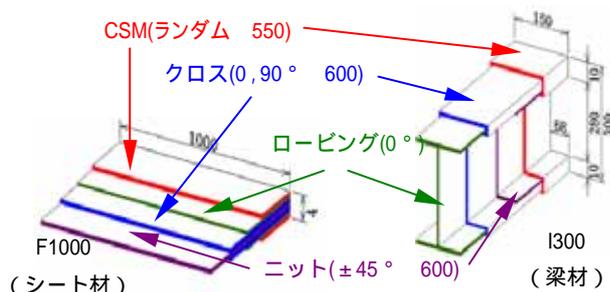
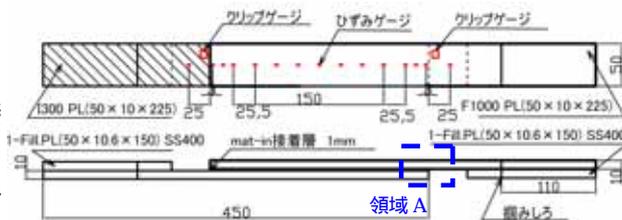


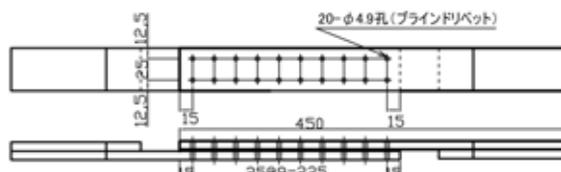
図-2 引き抜き成形材の積層構成図

表-1 材料物性値

	F1000	I300	マットイン	厚層接着剤	ブラインドリベット
引張弾性率(GPa)	28.37	33.95	8.84	3	-
引張強度(MPa)	429	406.8	151.9	20	-
引張せん断強度(MPa)	-	-	4.6	13	-
せん断破壊強度(kN)	-	-	-	-	5.3



(a) マットイン(M), 厚層接着剤(B)による接合



(b) マットインとリベット(10列)の併用接合(MR)

図-3 ラップ長 255mm における試験片図

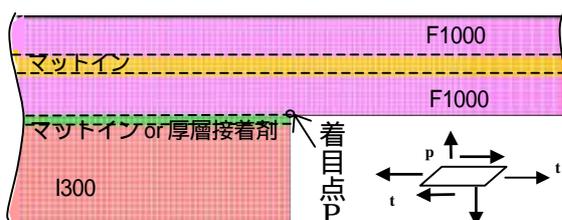


図-4 着目点 P 近傍(領域 A)の要素分割図

**Key Words**: GFRP, 床版橋形式歩道橋, 引き抜き成形, 材組み合わせ部材, 接着接合, 接合強度  
 連絡先\*: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

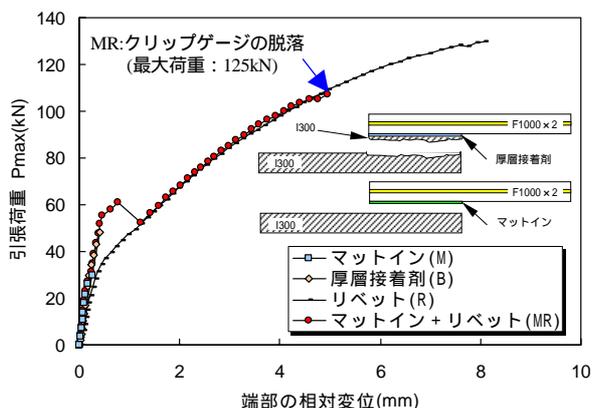


図-5 ラップ長 255mm における荷重と端部の相対変位の関係

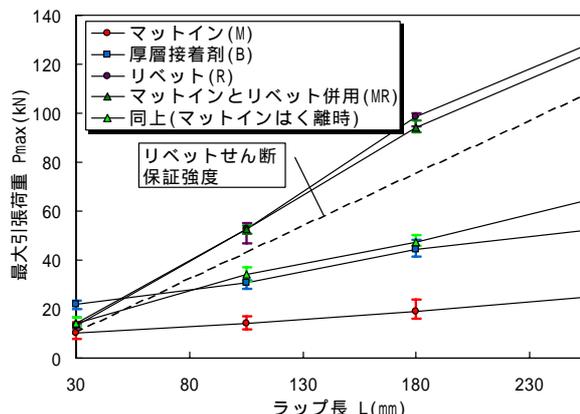


図-6 最大引張荷重とラップ長の関係

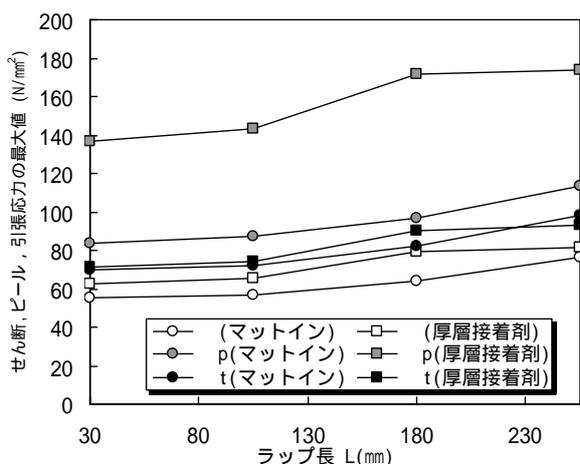


図-7 着目点Pに生じる接着層側の応力とラップ長の関係

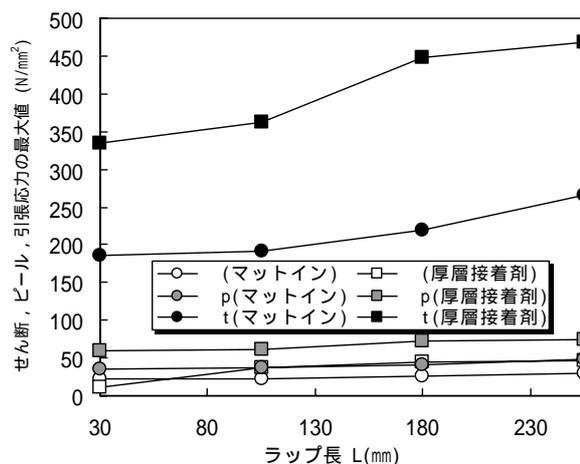


図-8 着目点Pに生じるF1000側の応力とラップ長の関係

4. 実験結果と考察

実験結果の一部として、図-5 に、ラップ長 255mm における荷重と端部の相対変位の関係を示す。図より、M と B では、初期剛性はほぼ同じであり、終局までほぼ線形挙動を示した。R では、接着接合よりも初期剛性は低下するが、最大引張荷重はかなり高くなることがわかった。MR では途中でマットインがはく離し、その後は R と同じ挙動を示し、最大荷重も R と同程度となった。M と B の破壊について比較すると、M はラップ長によらず、マットインと I300 母材の間の界面はく離破壊、B は I300 または F1000 の母材表層部の破壊となった。また、R、MR では共にリベットのせん断破壊と母材の層間せん断破壊の両者が見られ、それらの混在破壊となった。

図-6 に、ラップ長と最大引張荷重の関係を示す。まず、B は M に対して約 2 倍ほどの最大引張荷重を示し、そのばらつきも小さくなっている。一方、M の破壊は界面はく離であり、接着面の状態に左右されるためラップ長が長くなるほど最大引張荷重のばらつきが大きくなると考えられた。リベットで補強した場合、その強度はリベット列数に比例して強度が増大すること、また、MR のマットインの初期はく離荷重は、M の最大引張荷重より大きい値を示していることから、リベットによる補強ははく離の抑制に効果的であるといえた。

さらに、M と B の破壊時に支配的な要因を分析するため、基本荷重 10kN における解析結果に対して、実験結果から得られた最大引張荷重の平均値を比例倍することで、応力的に最も厳しくなる着目点 P に生じるせん断応力、ピール応力、引張応力の最大値を比較した。ラップ長とそれらの関係を図-7 に示す。図より、B、M とともにピール応力が支配的であったが、これは偏心にともなう曲げ応力によるものと考えられた。次に、同様に F1000 側に着目したものを図-8 に示す。図より、引張応力が支配的であり、特に、B では母材強度と同程度以上となっていることが解る。したがって、B の破壊では母材の引張応力が支配的であると考えられた。

5. まとめ

以上のことから、マットインの場合、界面はく離のため接合強度が低く、ばらつきも大きいことから、設計では十分な接着面の確保やリベット補強の併用が必要であるといえた。また、厚層接着剤はマットインよりも接着強度に優れ、破壊時には引張応力による母材破壊が支配的であることが確かめられた。さらに、リベットを併用すれば、初期はく離の抑制と接合強度の向上に効果的であることが解った。

参考文献

1) L. C. Bank : Composites for construction: Structural Design with FRP Materials , John Wiley & Sons, Inc , pp.499-502 , 2006 .