

床版橋形式 GFRP 歩道橋のリベット接合による連結部の試設計とその安全性の検討

首都大学東京大学院 学生員 ○ 藤田盛吾・学生員 高野 徹
 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; Glass Fiber Reinforced Plastic)は、軽量性、耐食性、成形性、着色性などの特徴を有することから、土木構造物における架設作業の省力化や維持管理の合理化などに貢献できる構造用材料として注目されている。本研究は、GFRP 引き抜き成形材を用いた床版橋形式歩道橋を開発し¹⁾、その実用化を図るものである。開発にあたっては、架設時における合理的な連結部を検討する必要がある。そこで、接合方法として、片面施工が可能で、施工が容易なブラインドリベットを選定し、実橋モデルを対象にリベット接合による連結部の試設計を行った。さらに、連結部の実大部分模型およびクーポン試験片を製作し、載荷実験および引張せん断試験を行って、連結部の安全性と試設計結果の妥当性を検証した。

2. 床版橋形式主桁の連結部の試設計

実橋モデルは床版橋形式 GFRP 歩道橋の試設計により、図-1 に示すように支間長は 15.3m に、また、断面は図-2 に示すような形状になった。ここで、活荷重たわみを低減するためにアンカーボルトによる擬似両端固定支持構造²⁾とした。また、引き抜き成形材の梁材(I300)とシート材(F1000×2)をマットインにより接着接合し、それらが一体化された断面を抵抗断面とした。

次に、連結部についての試設計を行った。連結箇所は支間中央部に設定した。接合にはリベット(ステンレス製φ4.8mm)を、添接板にはステンレス鋼板($t=4\text{mm}$)を用いることとした。また、連結部における梁材とシート材の接合部には、施工性を考慮してマットインに替えて厚層にも対応できるエポキシ樹脂接着剤を用いることとした。表-1 に各部の材料の物性値を示す。安全率を 3.0 と仮定して設計断面力から連結部の試設計を行った。その結果を表-2 に示す。ここでは、安全側の設計を考慮して、単純支持条件での試設計結果を採用することとした。さらに、梁材とシート材の継手位置をずらすことで、連結部の応力の集中を分散することとし、施工上の観点から上側のシート材の継手を 2 箇所にする。ハンドホール用の開口部を設けた。以上を踏まえた主桁連結部の概念図を図-3 に示す。なお、この連結部で必要となるリベットは 1928 本であった。

3. 実大部分模型による連結部の安全性の検討

試設計結果の妥当性を検証するために、実橋モデルにおける連結部を再現した実大部分模型試験体(図-4、5)を製作し、曲げ載荷実験を実施した。ここでは、リベットに対するせん断力が一様に働くように、添接板の接合面にエポキシ樹脂接着剤(以後、添接板用接着剤)を塗布して接合した。また、応力の伝達特性を把握するため、添接板の表面にひずみゲージを貼付した。さらに、連結部での耐荷力を把握することを目的としていることから、マットインで接着されている部分をリベットで補強した。

実験結果の一部として、図-6 に荷重—変位曲線を示す。最大荷重

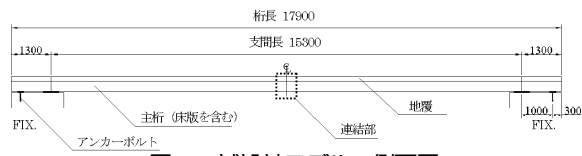


図-1 試設計モデルの側面図

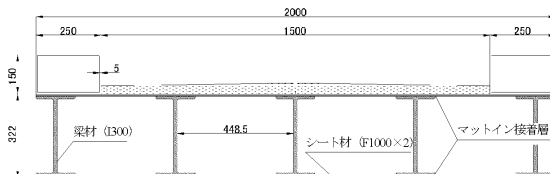


図-2 試設計モデルの断面図

表-1 材料の物性値

	F1000×2	I300	ステンレス鋼板	マットイン	厚層接着剤	リベット
引張弾性率(GPa)	22.3	33.95	181	8.84	3	-
引張強度(MPa)	333.2	406.8	634	151.9	20	6.5
引張せん断強度(MPa)	-	-	-	4.6	13	-
せん断破壊強度(kN)	-	-	-	-	-	5.3

表-2 支間中央部における連結部の試設計

支持条件	擬似両端固定支持	単純支持
作用曲げモーメント (kN・m)		
死荷重時: D	36.8	99.5
活荷重時: L _{max}	60.5	168.0
死活荷重時: D+L _{max}	97.3	267.5
作用最大応力 $\sigma_{D+L_{max}}$ (N/mm ²)	10.8	29.7
フランジ部への換算軸力 P(kN)	1300Flg	99.2
作用断面力に対する終局時の安全率 γ	F1000×2	235.3
	3	3
リベット必要本数(N)	I300Flg	116 (2 列)
	F1000×2	268 (2 列)
総数		736 (4 列)
		384
		1,048

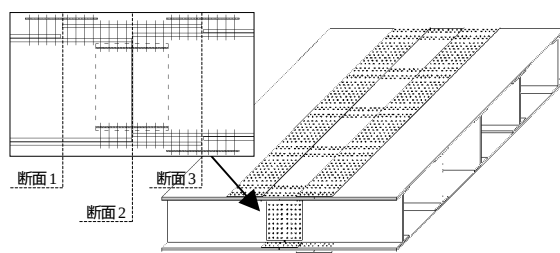


図-3 主桁連結部の概念図

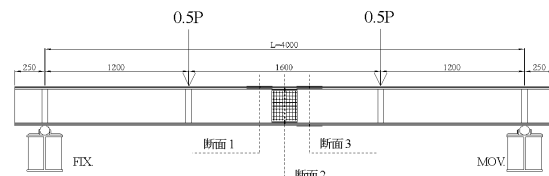


図-4 連結部を有する実大部分模型試験体の側面図

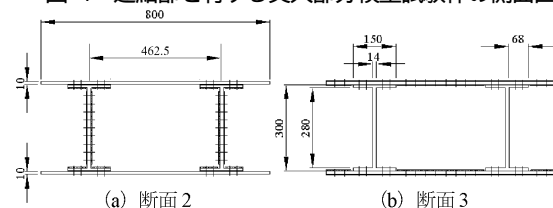


図-5 実大部分模型試験体における連結部の断面図

Key Words : GFRP, 引き抜き成形材, 床版橋形式歩道橋, 連結部, ブラインドリベット, 試設計

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

は727.8kNであり、リベットのせん断破壊強度から予測される荷重は約560kNであったが、それを大きく超えていた。終局時の破壊状況を写真-1に示す。断面1の連結部の端部と載荷点のほぼ中間で、上フランジ部に座屈が生じ終局となったが、連結部に損傷は見られなかった。ただし、載荷中に荷重500kNを超えるあたりから破壊音が頻発した。図-7に示した断面3における添接板のひずみ分布からも、500kN以降、端部からひずみが低下することから、各部で接着のはく離が進展したと考えられた。

最大荷重時における連結部の縁応力は121.1MPaであり、実橋モデルにおける連結部の作用応力の最大値は10.8MPaであることから、連結部の安全率は11.2以上となり、十分な安全性を有しているといえた。一方、接着剤の初期はく離荷重は500kNと予測され、接着接合に対しても安全率7.7を確保していることが確かめられた。

4. クーポン試験によるリベット接合強度の検証

リベット接合強度を検討するために、クーポン試験片による2面せん断の引張試験を実施した。図-8に示すように、幅50mmのGFRP材とステンレス鋼板からリベットと添接板用接着剤の併用接合により短冊形試験体を作成した。リベット間隔を2行、4列(25mmピッチ)とし、試験はF1000シート材、I300材フランジ部、ウェブ部の3シリーズに対して行った。

実大模型による実験結果と比較するために、リベット1本あたりの平均せん断力で評価を行った結果を表-2に示す。ここで、初期はく離時の荷重とは、添接板端部において、相対変位(ずれ)が生じたときの荷重である。ここでは、クリップ型変位計あるいはひずみの急変部から特定した。まず、クーポン試験結果からはシート材(F1000×2)の方が若干、初期はく離荷重、破壊荷重が低下するものの、ほぼ同程度であるといえた。また、破壊形態はリベットのせん断破壊で終局となったが、母材の層間せん断破壊も混在した。さらに、両実験の比較より、初期はく離時には、模型試験体の結果の方が若干高くなるものの、破壊時には、クーポン試験片の方が高いことが解る。これは、模型試験体の破壊時荷重は座屈荷重であり、接合部の破壊荷重をクーポン試験結果から同定すれば、約735kNと試算され、わずかではあるが座屈が先行したものと考えられた。また、実大模型試験体およびクーポン試験片におけるI300の継目に着目して、リベット1行あたりに作用する引張力に換算して評価することを試みた。添接板のひずみ分布図を10kNごとに示した図-9から、初期はく離発生後の端部を除いてほぼ同じ挙動を示していることが解る。

5. まとめ

以上のことから、試設計された連結部は接着接合のはく離やリベット接合のせん断破壊に対して十分な安全性を有していることが確かめられた。また、実構造を部分的にモデル化した試験体の連結部の性能はクーポン試験結果からも十分に予測できることが解った。今後は、より合理的な連結構造を提案するために、実験データを蓄積する予定である。

参考文献

- 1) 前田研一, 北山暢彦, 中村一史, 林耕四郎, 梶川康男: GFRP引き抜き成型材を用いた歩道橋の開発と使用性, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.50A, pp.375-382, 2004.3.
- 2) 高野徹, 藤田盛吾, 前田研一, 中村一史, 渡邊哲也: 床版橋形式 GFRP 歩道橋の擬似両端固定支持構造の改善策と補強, 第64回年次学術講演会講演概要集, CS2, 2009.9. (投稿中)

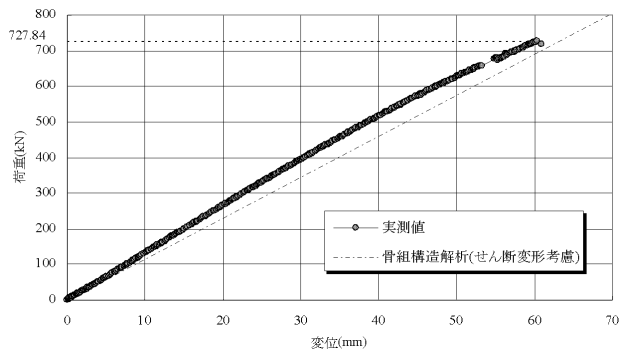


図-6 荷重—変位曲線

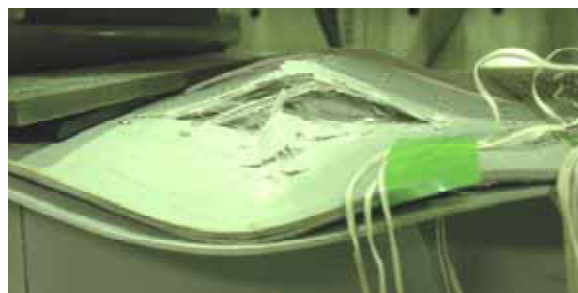


写真-2 終局時の破壊状況

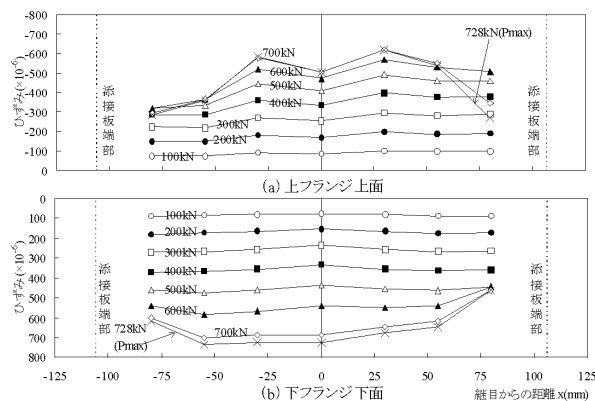


図-7 断面3における添接板のひずみ分布

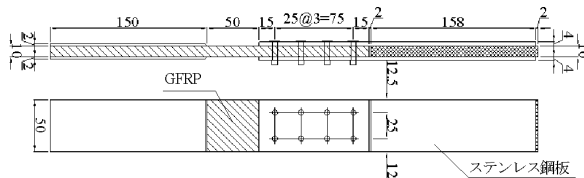


図-8 クーポン試験片

表-3 初期はく離時、破壊時におけるリベットの作用せん断力

部位		クーポン試験片		実大模型試験体	
		I300Flg.	F1000×2	I300Flg.	F1000×2
載荷荷重 P(kN)	初期はく離時	65.9	54.7	500	
	破壊時	115.5	114.4	728	
リベット1本当たりの平均せん断力 Q _{av} (kN)	初期はく離時	4.1	3.4	4.8	4.5
	破壊時	7.2	7.1	6.9	6.6

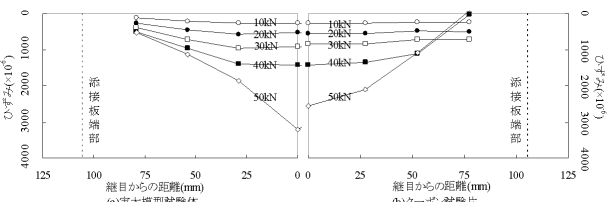


図-9 I300の継目における添接板のひずみ分布