

## FRP 部材の接合部の強度特性に関する基礎検討

土木研究所 正会員 ○長屋 優子  
 土木研究所 正会員 村越 潤  
 日本道路公団 正会員 新井 恵一  
 （研究実施時の所属は土木研究所）

## 1. まえがき

FRP（繊維強化プラスチック）は耐腐食性に優れた材料であり、飛来塩の影響がある沿岸地域や凍結防止剤の影響がある積雪寒冷地における構造物への適用が期待されているとともに、従来の構造物材に比べ軽量で施工が容易であることから、例えば打ち換え床版に採用した場合等に交通規制期間の短縮が見込まれる。一方で、道路橋床版は輪荷重を直接支持する構造であることから疲労耐久性を確保することが重要であるため、過酷な交通条件下での耐疲労性を確認しておくことが必要となってくる。本研究では、軽量および耐腐食性を最大限に発揮する FRP を主体とした構造とすること、コスト低減および品質確保のため GFRP 引抜成形材（ガラス繊維を使用した工場製品である FRP）を樹脂にて接合した構造とすることを前提とした床版構造を取り上げた。本文では、構造上弱点となることが予想される接合部に着目した静的載荷試験を行い、その強度特性を把握した。

## 2. 対象とした床版構造

(1)方法 対象とした GFRP 引抜成形材を主体とした床版構造は、既存の研究や市販品の使用を前提としていることから、引き抜き成形された角パイプ状セル（最大辺長 250 mm）を、強度の大きい引き抜き方向を床版支間方向に配置し、橋軸方向に連続的に並べ接合したものとした。本構造については事前に、床版支間 3m、橋軸方向支間 6m のモデルを用い、立体 FEM 解析によりセルの最適断面を求めるための試設計を行った。解析条件を表-1に示す。解析では、セルの上下フランジ厚及びウェブ厚を変化させて、T 荷重 1 輪に衝撃を考慮した 140kN を下フランジに不利なウェブ直上、上フランジに不利な上フランジ中央にそれぞれ載荷し、算出された鉛直変位及び応力について許容値を用いて照査した。許容値は、応力については各設計基準強度を安全率 3.2 で除した値、鉛直変位については道路橋示方書・同解説<sup>1)</sup>たわみの許容値から  $L/600$ （L: 支間）を使用した。

(2)結果 応力及び鉛直変位の照査結果を表-2及び図-1に示す。セルの最適断面としては、上フランジ 33 mm、下フランジ 9 mm、ウェブ 7 mm となった。上フランジは上フランジ中央載荷時の橋軸方向の圧縮応力、下フランジは鉛直変位により、板厚が決定された結果となっている。また、接合部の照査は層間せん断強度に対して行っているが、これがそのままウェブにおけるセル間のはく離現象を表しているかどうかは不明であり、実験による確認の必要があると考えられる。

## 3. 部分供試体の静的載荷試験

(1)方法 対象とした床版構造を実際に設計・製作する上で注意すべき点の一つに接合部の挙動や強度の把握が必要であるが、上述の試設計では接合部（ウェブのセル間）が構造全体に及ぼす影響を十分に考慮しているとはいえないため、部分供試体を用いた静的載荷試験により確認することとした。また、試設計にて求めた板厚を満足するセ

キーワード GFRP, 床版, 立体 FEM, 静的載荷試験, 接合部

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所構造物研究グループ橋梁構造チーム TEL029-879-6793

表-1 解析条件

|                           |             | 部材軸方向 | 部材軸直角方向 |
|---------------------------|-------------|-------|---------|
| 設計基準強度                    | 引張 (MPa)    | 450   | 147     |
|                           | 圧縮 (MPa)    | 430   | 182     |
|                           | せん断 (MPa)   | —     | 106     |
|                           | 層間せん断 (MPa) | 38.4  | 24.6    |
| 弾性係数                      | 引張 (GPa)    | 23.5  | 10.1    |
|                           | 圧縮 (GPa)    | 30    | 16      |
|                           | せん断 (GPa)   | 5.8   |         |
| ポアソン比                     |             | 0.24  |         |
| 単位質量 (kN/m <sup>3</sup> ) |             | 19.0  |         |

表-2 解析結果

|                            | 上フランジ          | 下フランジ         | ウェブ         |
|----------------------------|----------------|---------------|-------------|
| 最適板厚 (mm)                  | 33             | 9             | 7           |
| 板厚決定時の荷重載荷位置               | 上フランジ中央        | ウェブ上          | ウェブ上        |
| 橋軸方向応力 (Mpa)               | -42.3 < -56.9  | -9.28 < -16.0 | —           |
| 床版方向応力 (Mpa)               | -32.8 < -134.4 | 39.0 < 140.6  | —           |
| せん断応力 (Mpa)                | —              | —             | 12.5 < 33.1 |
| 鉛直変位 (mm)                  | —              | 4.85 < 5.00   | —           |
| 上段:ウェブ上載荷<br>接合部の応力度 (Mpa) | 7.57 < 7.69    | —             | 2.84 < 7.69 |
| 下段:上フランジ載荷                 | 3.99 < 7.69    | —             | 2.20 < 7.69 |

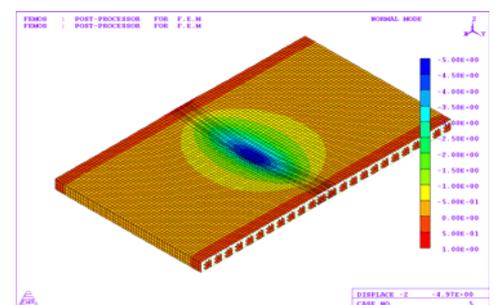


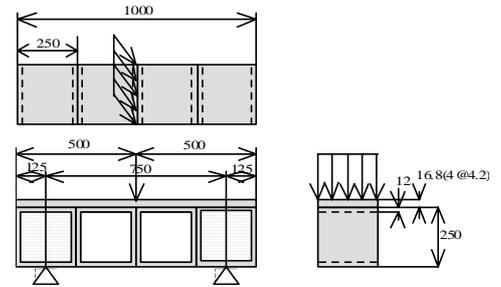
図-1 解析結果

表－3 供試体概要及び試験結果

| 供試体 | 形状・寸法<br>(mm)              | 引張強度<br>(MPa) | 弾性係数<br>(GPa) | はく離開始時     |            |                           | 最大荷重時      |            |                           |
|-----|----------------------------|---------------|---------------|------------|------------|---------------------------|------------|------------|---------------------------|
|     |                            |               |               | 荷重<br>(kN) | 変位<br>(mm) | 下フランジ<br>中央部下縁<br>応力(Mpa) | 荷重<br>(kN) | 変位<br>(mm) | 下フランジ<br>中央部下縁<br>応力(Mpa) |
| A   | セル:<br>外径250×250×厚12×奥行250 | 注1)<br>セル:143 | 注1)<br>セル:9.4 | 50         | 4.4        | 23.2                      | 68         | 5.9        | 31.6                      |
| B   | 平板:<br>厚4.2×幅1000×奥行250    | 注2)<br>平板:39  | 注2)<br>平板:12  | 50         | 3.6        | 18.8                      | 80         | 7.2        | 38.4                      |

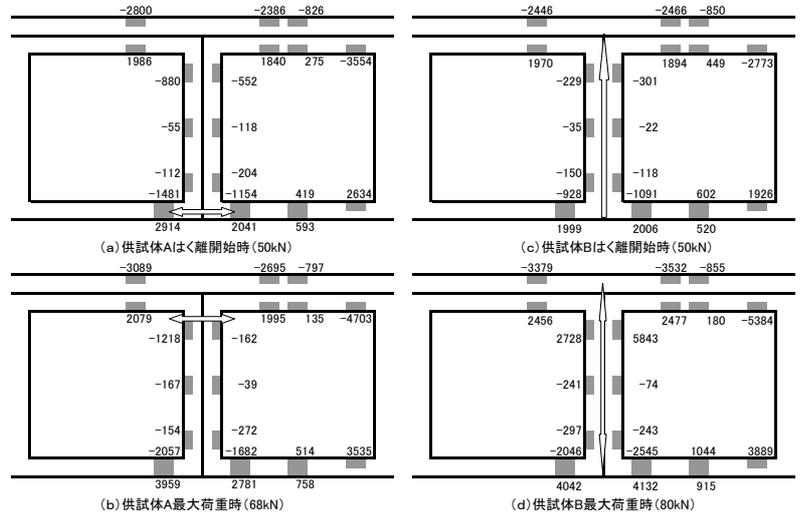
注1) JIS K 7054に準じた材料試験値(引張強度139/157/132の平均、弾性係数9.0/9.5/9.8の平均)

注2) 過去に行われた同等品(供試体軸方向と同様90°方向)の材料試験値



図－2 供試体概要

ルについて、製作上の制約から試験供試体は便宜的に、角パイプ状セル(250 mm×250 mm×12 mm厚×250 mm長)4つを接着するとともに、平板(4.2 mm厚×1000 mm幅×250 mm長)を4層組み合わせさせた梁供試体2体(同仕様のA及びB)とした。ここで、セルはハンドレイアップ製作、平板は引き抜き成形によるものを使用した。供試体の概要を表－3、図－2に示す。試験は、想定した中央接合部以外で破壊しないよう支点上のセルにモルタルを充填した上で、支間750 mmに支持し中央を線載荷した。載荷は荷重制御で静的に行い、各荷重段階で梁中央下部の鉛直変位、上下フランジ及びウェブのひずみを計測した。



図－3 はく離状況図(数値:ひずみ(μ) 矢印:はく離位置)

(2)結果 接合部のはく離状況を図－3及び写真－1に、荷重－変位関係を図－4に示し、結果のまとめは表－3に併記した。はく離前のひずみ分布は、上下フランジとも載荷点側は上縁圧縮、下縁引張、支点側は上縁引張、下縁圧縮となり、実測値は上下フランジでほぼ同様の値となった。50 kNで供試体Aは中央下端より、供試体Bは上フランジ直下よりそれぞれはく離が始まり、Aは60 kN、Bは80 kNで完全に付着が切れ、最大荷重を示した。Bについては上部平板が曲げ破壊した。接合部近傍で引張が卓越しているセル下フランジの下縁の実測ひずみから推定した応力の左右2セルの平均値は、はく離開始時でAが18.8MPa、Bが23.2MPaとなったことから、本供試体における接合部のはく離強度もこの程度の値と推定できる。また、はく離の経過は脆性的であり、はく離を許さない設計とする場合にこれらの値が許容値となると考えられるが、セル自体の引張強度等と比較して非常に小さい。また、鉛直変位は、はく離開始時でA,Bそれぞれ4.4 mm、3.6 mmであり、供試体支間で除した値はそれぞれ約1/170、1/200となることから、本供試体の範囲ではたわみの許容値L/600より大きくなる。別途行った解析では鉛直変位は試験値より大きくなったが、これは解析モデルに接着樹脂の厚さ1～2 mmを見込むことで改善できると推察される。本モデルを応用してはく離及びたわみに対する補強等を検討することも可能であると考えられる。

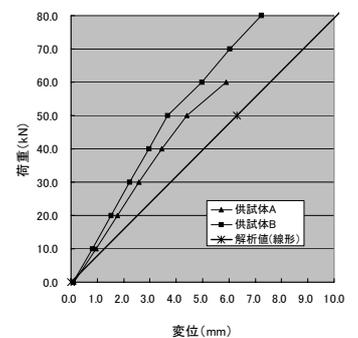
4. まとめ

FRPを主体とした道路橋床版を想定して試設計を行った結果、概略の構造を提示することができた。また、FRP部材の接合部を再現した試験により、はく離から破壊までの挙動及び接合部のはく離強度を推定できた。

参考文献: 1)道路橋示方書・解説,(社)日本道路協会,平成14年  
2)JIS K 7054,日本工業規格,1995



写真－1 はく離状況



図－4 荷重－中央鉛直変位図