

G1-15. ガラス繊維 H 形断面はりの曲げおよびせん断特性に関する実験的研究

中村 智

1. 目的

道路橋 RC 床版の既存の補強工法において、死荷重の増加、補強後の維持管理の難しさ、交通規制の必要性、材料コスト等の問題点があった。著者らはこれらに代わる床版補強工法として、材料単価が安価で、比較的成形加工が容易なガラス繊維強化プラスチック (Glass Fiber Reinforced Plastic 以下 GFRP)に着目し、GFRP はり部材を用いた補強工法の開発をめざしている。図-1 に本補強構造の模式図を示す。そこで本研究では、実橋への適用を想定している GFRP 引抜き成形材 I-600 の曲げ、せん断などの破壊に至る基本力学特性、および接合部の安全性を究明するために GFRP はり部材のせん断、曲げ、疲労試験を行った。

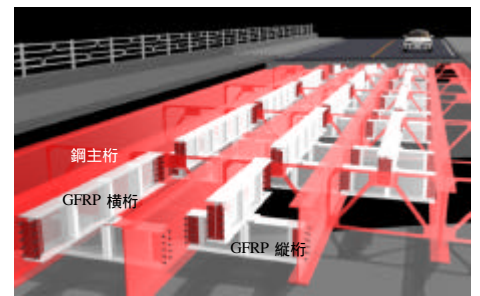


図-1 補強構造模式図

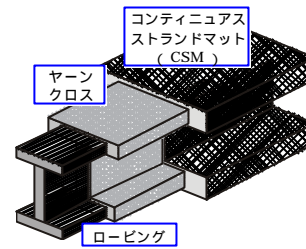


図-2 積層構造模式図

表-1 材料特性値

項目	単位	特性
品名		ブラアロイ
密度	g/cm^3	1.9
引張強度	MPa	417
引張弾性係数	GPa	41
せん断強度 (ウェブ方向)	MPa	66
せん断弾性係数 (ウェブ方向)	GPa	5.2
熱伝導率	W/m	0.3
熱膨張係数	$10^{-6}/\text{℃}$	11
固有抵抗	μm	10^9
ポリエステル樹脂引張せん断強度	MPa	9.81

2. 内容 曲げ試験

2.1 試験概要

図-2 に GFRP 部材の積層構造模式図を、表-1 本研究で用いた GFRP 部材の材料特性値を示す。スパン 4.00m 高さ 600mm の GFRP はり部材に対し対称 2 点漸増载荷を行った (図-3)。Case A は垂直補剛材 (箱形断面 $100 \times 100 \times 564\text{mm}$, 厚さ 5mm, GFRP 製) を支点部のみ 2 本ずつ設置し、Case B は支点部に加え、载荷点位置のウェブに 1 本ずつ設置した。ウェブと垂直補剛材の接着にはエポキシ樹脂を用いた。

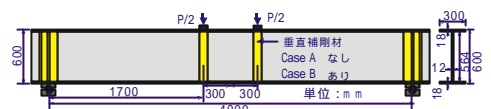


図-3 曲げ試験体

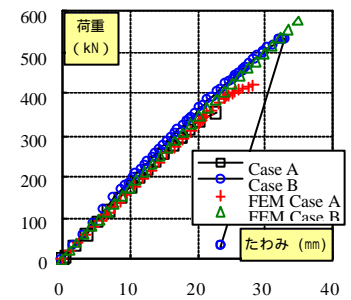
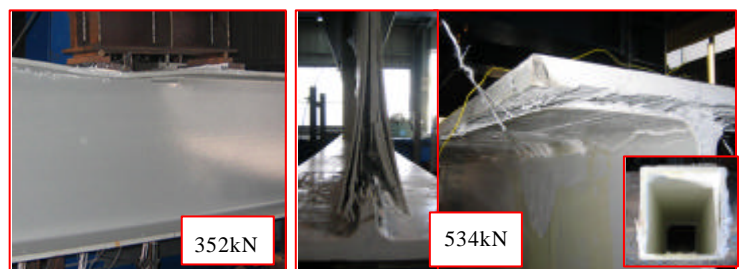


図-4 スパン中央の荷重-たわみ曲線

2.2 試験結果

スパン中央の荷重-たわみ関係を図-4 に示す。Case A は写真-1 に示すように载荷点位置において $P=275\text{kN}$ で局部座屈が先行し、 $P_{\text{max}}=352\text{kN}$ で上フランジとウェブの間に強軸方向の割れを生じて破壊した。Case B は $P=150\text{kN}$ でウェブと垂直補剛材間のエポキシ樹脂が剥離し始める音がしたが、荷重はその後も線形的に増加し、最終的には $P_{\text{max}}=534\text{kN}$ で支点部の垂直補剛材がはく離した直後に GFRP 桁端部のフランジおよびウェブが層間はく離して破壊した。両者を比較すると Case B の破壊耐力は Case A に比べ約 52% 増加した。なお直交異方性を考慮した 3 次元非線形 FEM 解析による結果は耐力および剛性ともに実験結果を精度良く追跡できた。



Case A 载荷点位置の破壊

Case B 支点部の垂直補剛材の圧壊

写真-1 破壊時の状況

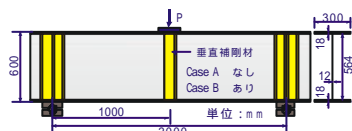


図-5 せん断試験体

3. せん断試験

3.1 試験概要

供試体を図-5 に示す。スパン 2.00m 高さ 600mm の GFRP はり部材に対し、中央集中点漸増载荷を行った。曲げと同じく Case A は支点部のみ垂直補剛材を取り付け、Case B は载荷点位置のウェブにも垂直補剛材を設置した。

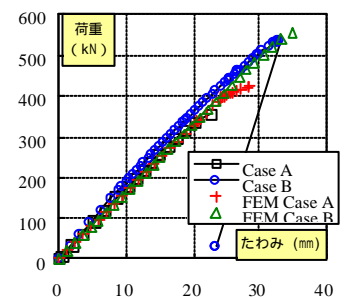


図-4 スパン中央の荷重-たわみ曲線

3.2 試験結果

スパン中央の荷重-たわみ関係を図-6 に示す .Case A は写真-2 に示すように載荷点位置において $P=196\text{kN}$ で局部座屈が先行し , $P_{\text{max}}=255\text{kN}$ で上フランジとウェブの間に強軸方向の割れを生じて破壊した . Case B は $P=120\text{kN}$ でウェブと垂直補剛材間のエポキシ樹脂が剥離し始める音がしたが , その後も荷重は線形的に増加し , 最終的には $P_{\text{max}}=471\text{kN}$ で載荷点位置の垂直補剛材が破壊した . 両者を比較すると Case B の破壊耐力は Case A に比べ約 85% 増加した . なお , 曲げ試験と同様に FEM 解析と実験値には精度良い一致が得られた .



Case A 載荷点位置の破壊 Case B 付着切れ Case B 垂直補剛材の圧壊
写真-2 破壊時の状況

両者を比較すると Case B の破壊耐力は Case A に比べ約 85% 増加した . なお , 曲げ試験と同様に FEM 解析と実験値には精度良い一致が得られた .

4. 接合部の疲労試験

4.1 試験概要

既設鋼主桁と GFRP 横桁との接着剤 , 高力ボルト併用接合を想定した供試体構造図を図-7 に示す . GFRP 横桁の両端をアングルと高力ボルト (S10T,M20) で鋼桁に接合した . 接合面はボルトの応力集中を避けるため鋼製プレートをエポキシ樹脂によって接着した . また GFRP 横桁の載荷点位置には垂直補剛材を設置した . $P_{\text{min}}=5\text{kN}$, $P_{\text{max}}=95\text{kN}$ の荷重振幅 90kN (設計荷重の 3 倍) , 周波数 2Hz で 160 万回の疲労試験を行った後 , 部材の健全性に問題がなかったため , $P_{\text{min}}=5\text{kN}$, $P_{\text{max}}=155\text{kN}$ の荷重振幅 150kN (同 5 倍) に上げ , 周波数 2Hz で 200 万回のスパン中央点繰返し載荷を行った .

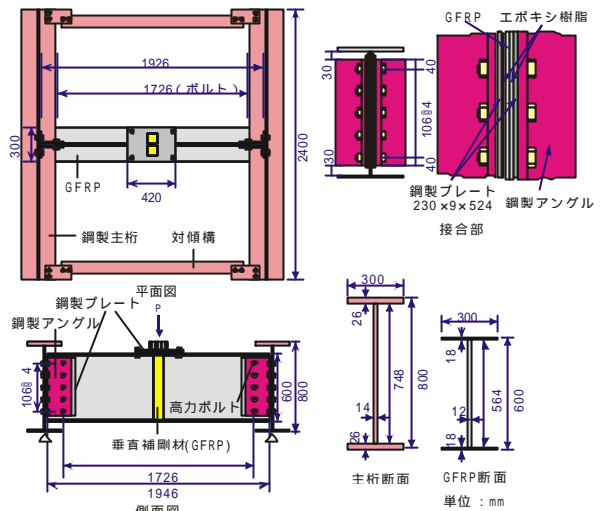


図-7 疲労試験体

4.2 試験結果

スパン中央たわみの経時変化を図-8 に , 添接部ボルトの軸力の経時変化を図-9 に示す . たわみの増加は荷重振幅 90kN で 7.2% 程度 , 荷重振幅 150kN で 1.7% であった . 最大応力の発生するスパン中央下フランジのひずみの増加もほとんどみられず , 実橋で想定される接合部の設計応力振幅の 5 倍のレベルによる 200 万回の繰返し載荷に対しても変状がみられなかった . ボルト軸力の減少量は導入後 40 日間で最大 15% 程度であり , 設計上はクリープの影響も考慮して 50% 以内としているため , 接合部の安全性に問題は無いと考えられる .

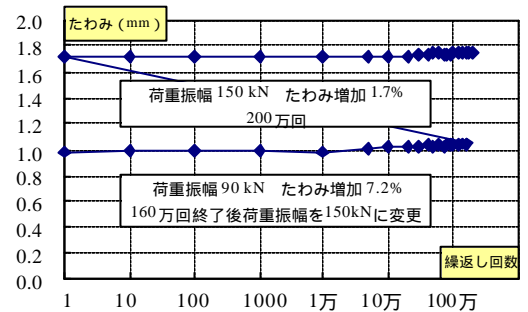


図-8 スパン中央たわみの経時変化

5. まとめ

- (1) 垂直補剛材を載荷点に設置した場合 , 部材の座屈耐力は大幅に向上し , 最大荷重はエポキシ樹脂の付着強度や垂直補剛材の強度に支配される .
- (2) GFRP はり部材の曲げ , せん断挙動は , 直交異方性を考慮した非線形 FEM 解析により精度良く追跡できた .
- (3) 実橋を想定した接合部の設計応力振幅 5 倍相当の , 荷重振幅 150kN の 200 万回疲労試験の結果 , 接合部の安全性に問題はなかった .

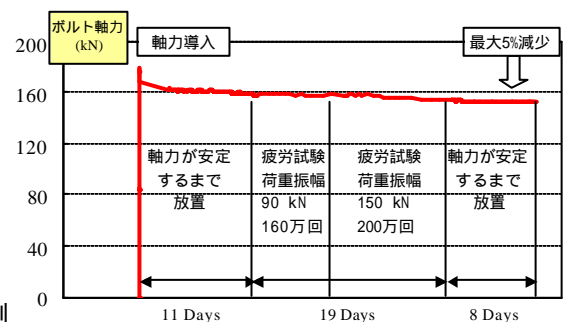


図-9 ボルト軸力の経時変化