

RC 床版の補強部材に適用する FRP 桁の曲げ特性に関する実験的検討

東京都立大学大学院 学生員 梶原淳生・正会員 中村一史

IHI インフラ建設 小林拳祐

栗本鐵工所 花村光一，パシフィックコンサルタンツ 新倉利之

1. はじめに

交通規制を伴わず、既設 RC 床版の残存強度・耐久性に依存しない補強工法として、鋼製パネルを用いたアンダーデッキパネル工法が開発された¹⁾。この工法は、一般的な他の工法に比べ、補強効果が大きく、せん断耐力の向上も見込めるが、重量が大きく、既設橋梁の上・下部構造の耐力に余裕のあることが適用条件となる。この制約に対して、軽量で耐食性に優れる FRP 桁を RC 床版の下面から格子状に配置する補強工法の開発が行われており、有限要素法 (FEM) 解析による試設計により、解析的にその有用性が示された。本研究では、実用化に向けて、実大 FRP 部材を対象に、曲げ特性を実験的に検討した。

2. 曲げ載荷実験の概要

FRP 部材には、フランジが CFRP と GFRP、ウェブが GFRP からなる HFRP 横桁 (図-1)、フランジ、ウェブともに GFRP からなる GFRP 縦桁 (図-2) を用いる。表-1 に各 FRP 桁試験体の材料物性値をそれぞれ示す。各 FRP 部材を支間長 2500mm で単純支持し、油圧ジャッキにて載荷を行った。載荷条件は、3 点曲げ載荷に加え、支間中央に純曲げを与える 4 点曲げ載荷とし、表-2 に載荷ケースを示す。曲げ載荷実験のセットアップの一例として、図-3 に HFRP 横桁の 4 点曲げ載荷 (ケース 2) を示す。

3. 解析モデル

解析には、Msc.Marc/Mentat2021 を適用し、試験体は要素寸法 5×5mm のシェル要素でモデル化した。FRP 部材を単純支持し、荷重をフランジ上面に作用する面荷重として与え、荷重は弧長増分法で制御した。

4. 曲げ耐力と破壊形式

図-4 にケース 1~4 の破壊の状況を、図-5 にケース 1~4 における荷重-変位関係を示す。

HFRP 横桁の最大荷重は、3 点曲げ載荷 (ケース 1) で 548kN、4 点曲げ載荷 (ケース 2) で 845kN であり、脆性的かつ瞬間的に破壊した。破壊形式は、3 点曲げ載荷で上フランジ載荷直下での曲げ圧縮破壊、4 点曲げ載荷で上フランジ載荷直下の曲げ圧縮破壊とフランジ CFRP 層/GFRP 層間の層間せん断破壊の複合破壊

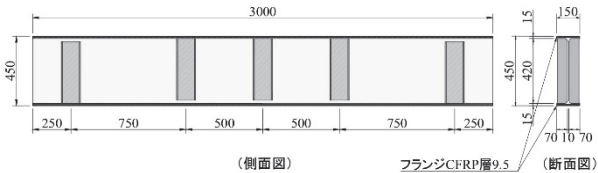


図-1 実大 HFRP 横桁の一般図

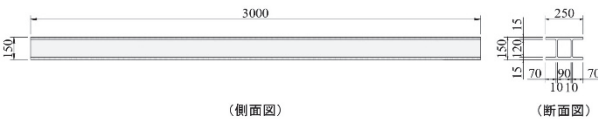


図-2 実大 GFRP 縦桁の一般図

表-1 試験体材料物性値

料物性値	材料	HFRP 横桁		GFRP 縦桁	
		フランジ	ウェブ	フランジ	ウェブ
弾性係数 [kN/mm ²]	E ₁₁	98.3	29.9	36.6	28.0
	E ₂₂	14.9	23.8	15.3	21.6
	E ₃₃	3.0	3.0	3.0	3.0
せん断 弾性係数 [kN/mm ²]	G ₁₂	4.6	7.5	4.7	7.1
	G ₂₃	4.0	4.0	4.0	4.0
	G ₃₁	4.0	4.0	4.0	4.0
ポアソン 比	ν ₁₂	0.30	0.20	0.27	0.30
	ν ₂₃	0.05	0.05	0.05	0.05
	ν ₃₁	0.05	0.05	0.05	0.05

太字：材料試験による実測値，その他：計画値

表-2 載荷ケース

載荷ケース	1	2	3	4	5	6
FRP 桁	HFRP 横桁		GFRP 縦桁			
載荷スパン (mm)	0	1000	0	1000	500	1500
載荷方法	50kN ずつ漸増 終局まで				150kN まで 3 回載荷	

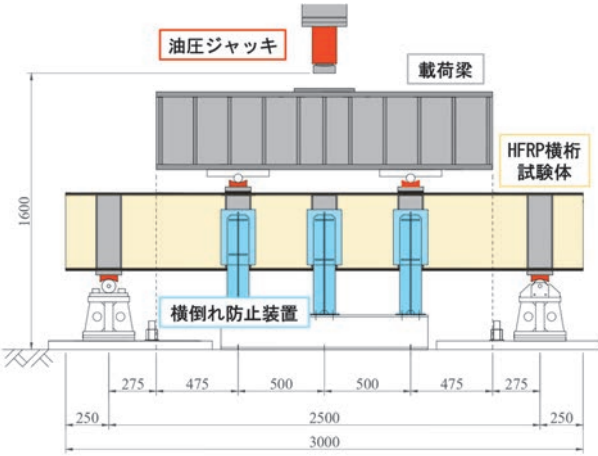


図-3 HFRP 横桁 4 点曲げ載荷実験のセットアップ

キーワード ハイブリッド FRP 桁，GFRP 桁，曲げ特性，たわみ，鉄筋コンクリート床版補強

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

であった。

一方、GFRP 縦桁の最大荷重は、3 点曲げ载荷（ケース 3）で 343kN、4 点曲げ载荷（ケース 4）で 391kN であり、HFRP 横桁と同様に、脆性的かつ瞬間的に破壊した。破壊形式は、3 点曲げ载荷で上フランジにおけるマット層／ロービング層間およびロービング層内での層間せん断破壊、4 点曲げ载荷で上フランジ、ウェブにおけるマット層／ロービング層間の層間せん断破壊であった。設計荷重は、輪荷重 100kN に衝撃係数 0.4 を考慮した 140kN であり、これを RC 床版と分担して負担するため、両桁は設計荷重に対して十分な安全性を有するといえた。

5. せん断変形に伴う曲げ変形特性

図-5 は、ケース 1～4 における最終ステップの荷重－変位関係であるが、理論値は Timoshenko はり理論に基づき、せん断補正係数 κ はウェブの断面積を全断面積で除した概算値²⁾である（HFRP 横桁： $\kappa=0.48$ ，GFRP 縦桁： $\kappa=0.24$ ）。荷重－変位関係は最大荷重に至るまでほぼ線形挙動である。また、たわみ剛性は、実験値、解析値、理論値の順番に大きくなり、過去の HFRP 桁の実験³⁾と類似の傾向が見られ、他の载荷ケースでも同じ傾向であった。

実験値と理論値では差異が見られることから Timoshenko はり理論に基づき、図-5、6 の荷重－変位曲線によるたわみ剛性を用いて、たわみ剛性の逆数と支点から载荷位置までの距離との関係から実験的にせん断補正係数を同定した（HFRP 横桁： $\kappa=0.66$ ，GFRP 縦桁： $\kappa=0.50$ ）。これらを用いて、HFRP 横桁、GFRP 縦桁の 3、4 点曲げ载荷におけるたわみ分布を計算した。図-7 に、せん断補正係数同定後のケース 1～4 のたわみ分布を示す。この図は、荷重 100kN 载荷時の結果であり、Timoshenko はり理論を用いて、FRP 桁の鉛直たわみを精度よく評価することができた。

6. まとめ

以上より、HFRP 横桁、GFRP 縦桁ともに設計荷重に対して十分な安全性を有することから、FRP パネルによる床版補強工法に適用可能であるといえた。また、HFRP 横桁、GFRP 縦桁のたわみについて、Timoshenko はり理論に基づいて、複数の载荷ケースの実験により、せん断補正係数を実験的に同定した。それらの値を用いると精度よく鉛直たわみを評価することができた。

参考文献

- 1) 安藤雅則，中山裕昭，木内一郎，山崎敏宏，齋藤和也：橋梁と基礎，名古屋高速 1 号楠線 新川中橋工区の床版補修工事—アンダーデッキパネル工法を用いた RC 床版の補修・補強—，建設図書，2021.4
- 2) 中村一史，前田研一，睦好宏史，鈴川研二：ハイブリッド FRP 桁のせん断変形特性とウェブ・クリッピングに関する実験的検討，第 7 回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集，土木学会，6pages[CD-ROM]，2007.
- 3) 北山暢彦，前田研一，中村一史，渡辺哲也：GFRP 引き抜き成形材を用いた床版橋形式歩道橋の設計と使用性，2011.

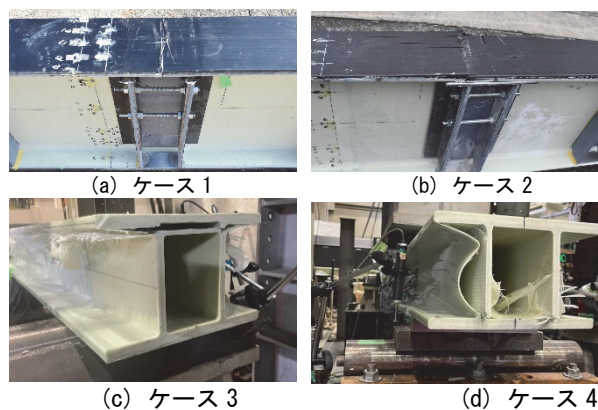


図-4 ケース 1～4 の破壊の状況

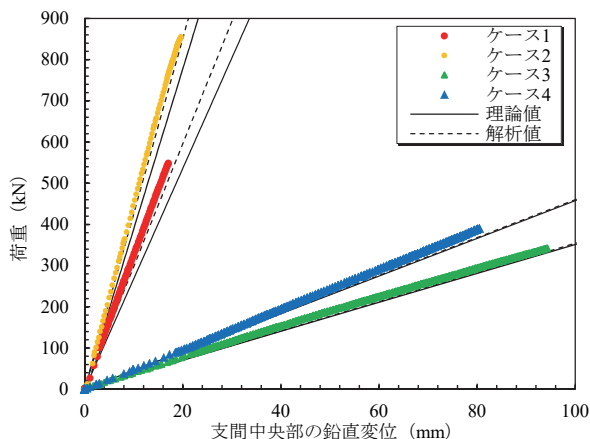


図-5 ケース 1～4 における荷重－変位関係

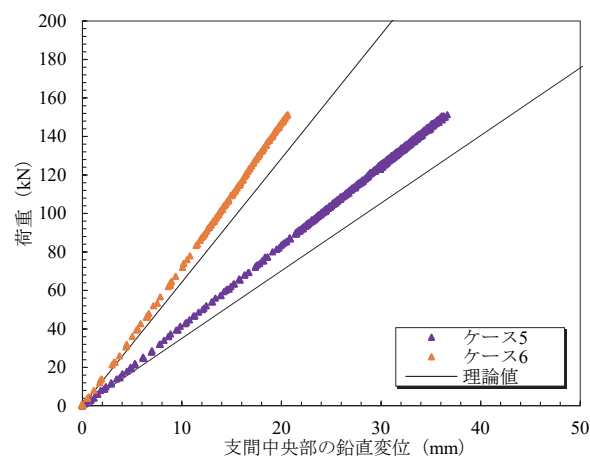


図-6 ケース 5、6 における荷重－変位曲線

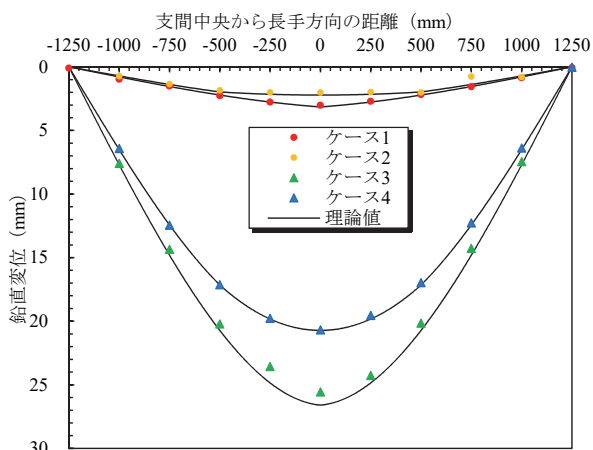


図-7 せん断補正係数同定後のケース 1～4 のたわみ分布