

GFRP と超高強度繊維補強コンクリートを用いた合成桁の開発

埼玉大学 学生会員 ○遠藤 爵
 埼玉大学 フェロー会員 睦好 宏史
 中日本高速道路(株) 正会員 金谷 祐良

1. はじめに

GFRP(繊維補強ポリマー)は高強度、軽量、高耐食といった特徴を有する複合材料であり、腐食環境や架設の制約条件の厳しい建設現場での適用が期待されている。しかし GFRP をはり部材に適用した場合、上フランジにおける繊維の層間剥離により GFRP 桁の高い引張強度が発揮されないことが確認された。このため層間剥離防止の観点から、GFRP 桁と超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 床版から成る合成桁(図-1)が開発され、その有用性が確認された¹⁾。一方で、合成桁の実橋への適用に際して検討すべき問題として、高温度下での力学的特性が挙げられる。本研究では高温度下における合成桁の曲げ載荷実験を行い、その力学的性状を明らかにした。

2. GFRP のガラス転移点温度測定試験

高温度下における GFRP 材料の力学特性を考える上で、そのマトリクスである樹脂のガラス転移点温度を明らかにしておくことが必要である。ここでは、GFRP 供試体を用いて、JISK7191 に準じて試験を行った。

その結果、桁に用いた GFRP のガラス転移点温度は約 70~80℃であることが明らかになった。

3. 高温度下における GFRP および UFC の材料特性

3-1. GFRP

高温度下における GFRP の材料特性を明らかにするため、温度条件を変化させた引張試験を行った。本実験に用いた GFRP 供試体の積層構成を表-1 に示す。

GFRP 供試体は、引き抜き成形で作製されたものである。

試験により得られた各温度条件下での GFRP の材料特性値を表-2 に示す。70℃までの温度域では引張強度及びヤング率に低減はみられず、樹脂のガラス転移点温度以上の 90℃では大きな強度低下が明らかとなった。

3-2. UFC

本研究に用いた UFC の示方配合を表-3 に示す²⁾。UFC のプレミックス結合材はセメント、ポゾラン材、エトリンライト生成系材料から成り、長さ 22mm と 15mm の鋼繊維を体積比で 1.75% 混合したものである。打設

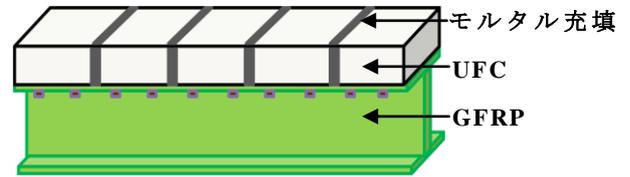


図-1 GFRP-UFC 合成桁

表-1 GFRP-I 桁の積層構成

繊維の配向度	フランジ (%)	ウェブ (%)
GFRP 0°/90°	17	43
GFRP ±45°	—	43
GFRP ±45°/0°	74	—
CSM	9	14

表-2 GFRP の材料特性値

供試体名	温度条件 (°C)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
G-20	20	487.8	23.7
G-50	50	434.8	20.6
G-70	70	460.8	21.5
G-90	90	323.5	19.1

表-3 UFC の示方配合

空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 (kg)
	水	プレミックス結合材	骨材	混和剤	
2.0	205	1287	898	32.2	137.4

表-4 UFC の材料特性値

供試体名	温度条件 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
UFC	30	188.0	44.7
	50	187.2	43.6
	70	187	42.9
	90	171.1	42.5

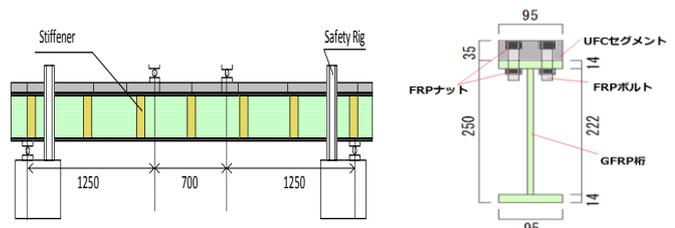


図-2 合成桁の形状寸法

表-5 GFRP 桁、合成桁の実験要因および最大耐力

供試体番号	桁の種類	温度条件 (°C)	最大耐力 (kN)
G-30	GFRP 桁	30	109
GC-30	GFRP-UFC	30	201
GC-60	GFRP-UFC	60	171
GC-90	GFRP-UFC	90	101

後 24 時間で脱型し、85°Cの蒸気養生を 24 時間行った。

試験より得られた各温度条件での UFC の圧縮強度、ヤング率を表-4 に示す。30~90°Cの範囲では UFC の圧縮強度及びヤング率に変化は見られなかった。

4. 高温下における GFRP-UFC 合成桁の曲げ載荷実験

4-1. 実験要因

高温下での GFRP-UFC 合成桁の曲げ載荷試験を行った。表-5 に GFRP 桁、合成桁の実験要因を示す。温度は 30, 60, 90°Cと変化させた。UFC 床版は長さ 300mm のプレキャストセグメント部材として製作し、1 つの合成桁に 12 個使用した。接合にはボルト径 16mm の FRP ボルトを用い、GFRP 桁の上フランジに 19mm の孔をあけた後に UFC セグメントと接合した。桁フランジ上面と UFC セグメントの接合にはエポキシ樹脂による接着接合を併用した。UFC セグメント目地間隔 10mm の隙間にはモルタルを充填させることで一体化させた。図-2 に合成桁の形状寸法を示す。ウェブの座屈防止を目的として、幅 80mm の FRP 製のスティフナを 500mm 間隔でエポキシ樹脂により接着した。

4-2. 実験方法

実験は、合成桁全体を設定温度まで加温し、温度によるひずみ量の変化が安定した後、油圧ジャッキを用いて 4 点曲げ載荷を行った。加温は、ヒーターを取り付けた箱型装置の内部に桁を設置し、スパン中央、左右の各部位に取り付けた熱電対により温度計測をし、各部位の温度が設定温度の±3°C程度に安定するまで行った。また、本実験ではスパン中央のたわみ、各部位のひずみ及び温度を計測した。

4-3. 実験結果

図-4 に各温度条件における合成桁の荷重-変位関係を示す。G-30 供試体は温度条件 30°Cにおける GFRP 桁単体の供試体で、合成桁に用いられた GFRP 桁部と同寸法のものである。

各供試体の破壊性状は、G-30 は上フランジ部での圧縮破壊、GC-30, 60 は UFC の圧縮破壊、GC-90 は FRP ボルトのせん断破壊となった。合成桁について異なる温度で比較すると、GC-30 の最大耐力に比べ GC-60 では約 15%、GC-90 では約 50%低減する結果となった。また温度条件が 60 および 90°Cでは、荷重がそれぞれ約 140kN, 80kN の時、上フランジと UFC 間の樹脂の剥離が生じた。このため GC-60 供試体では樹脂の剥離により中立軸が下がり、UFC 部に作用する圧縮力が増大した為、30°Cに比べ耐力

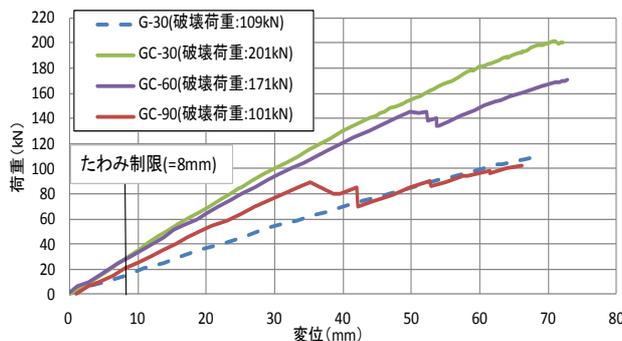


図-3 荷重-変位関係

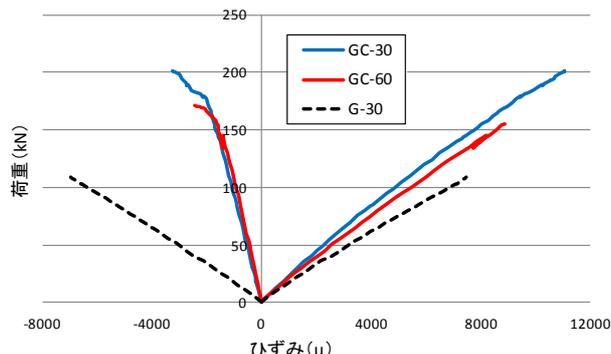


図-4 スパン中央荷重-ひずみ

が低減したと考えられる。G-30 の耐力と合成桁の耐力を比較すると、GC-30 では約 1.8 倍、GC-60 では約 1.5 倍耐力が向上し、GC-90 では若干の低下となった。

図-3 に示すように立体横断施設基準³⁾によるたわみ制限の 8mm(L/400)までの GC-30, 60 の挙動は温度に関わらず同様であった。また、図-4 に示すように、スパン中央の荷重-ひずみ関係より、合成桁とすることにより FRP 上フランジ部に作用する圧縮ひずみを低減させることができ、FRP の高強度を有効活用することが可能となった。

5. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) GFRP について、ガラス転移点温度を境に強度、剛性が低下することが明らかとなった。
- 2) 高温下での合成桁曲げ載荷実験より、実環境を考慮すると、概ね 60°Cまでその力学特性は変化しないことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 新井朋也, 睦好宏史, 金子浩之, 金谷祐良:「FRP と超高強度繊維補強コンクリートから成る合成桁の曲げ性状」, コンクリート工学年次論文集, 34 巻 2 号
- 2) サクセム設計・施工マニュアル(案)、サクセム研究会、2008 年 3 月
- 3) 日本道路協会: 立体横断施設技術基準・同解説, 1979