

立命館大学大学院 学生員 ○大森 政和
 大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀
 立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

立命館大学理工学部 非会員 松山 隼大
 三菱樹脂インフラテック (株) 正会員 久部 修弘

1. はじめに

近年, FRP 材の橋梁への適用が検討されているが, 設計指針などが確立していないために, 事例ごとの検討が必要な状況である. 著者らは, 比較的安価な GFRP を主材として CFRP で補強した桁を, 既存橋梁の拡幅歩道橋へ適用できないかを検討している. 本研究では, 使用する GFRP の性能を把握するための要素実験を行った.

2. 実験概要

想定している GFRP 桁部材 (100mm×100mm, 厚さ 5mm の正方形断面) の材料特性を把握するため, 桁部材から切り出した試験片を用いて引張試験と圧縮試験 (矩形断面, 箱型断面) を行った. 試験は全て万能試験機を用い, ひずみ・荷重・変位を計測した. なお, 試験に用いた GFRP 材は長手方向の 1 方向繊維補強材である.

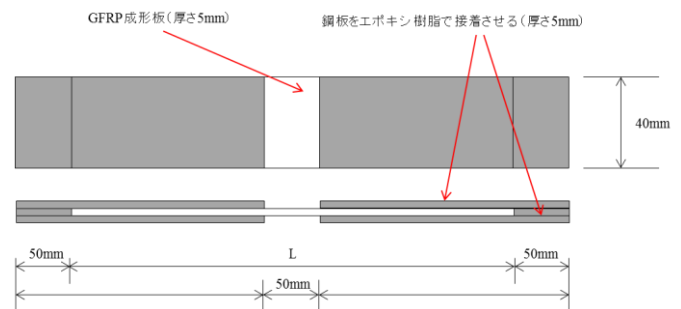


図-1 引張試験供試体

2.1. 引張試験

引張試験の供試体概要図を図-1に示す. 試験は GFRP 成形板の両端に治具となる鋼板を接着し, 鋼板を引張試験機のグリップで挟み引張荷重を与えた. ひずみゲージは表側の中央に 1 箇所と裏側に左右から 5mm の位置に 2 箇所の計 3 箇所に貼付けた.

供試体の寸法は, 繊維方向供試体 (A-1~3) が 350×40×5mm, 繊維直角方向供試体 (B-1~3) が 100×40×5mm であり, 計 6 体載荷試験を行った. 繊維方向と繊維直角方向で供試体の寸法が異なるのは繊維方向の供試体で試験をした際に強度が高いため, 先にグリップ付近で破断し, 本来の強度に達しないと予測したためである. 試験速度は繊維方向では 2mm/min, 繊維直角方向では 1mm/min とした.

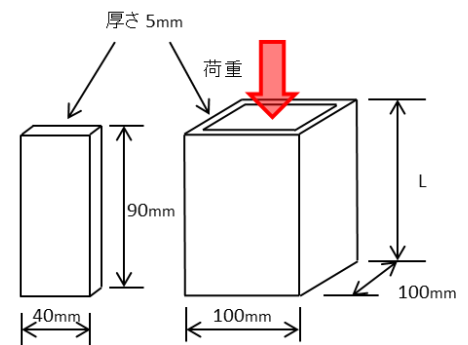


図-2 圧縮試験供試体

2.2. 圧縮試験 (矩形断面)

矩形断面の圧縮試験では図-2の左図に示す供試体を使用した. ひずみゲージは表側の中央に 1 箇所と裏側に左右から 5mm の位置に 2 箇所の計 3 箇所に貼付けた. 繊維方向 (A-1~3) と繊維直角方向 (B-1~3) の供試体ともに寸法は 90×40×5mm であり, 計 6 体である. 試験速度は 0.5mm/min とした.

2.3. 圧縮試験 (箱型断面)

箱型断面の圧縮試験では図-2の右図に示す供試体を使用した. 箱型断面による圧縮試験は, 矩形断面と比較して圧縮挙動がどのように異なるかを検討するためにおこなった. ひずみゲージは 15~25mm 間隔でひとつの供試体のすべての面の同じ位置に貼付けた.

供試体は L=90mm(A-1~3), 180mm(B-1~3), 270mm(C-1~3) を各 3 体ずつの計 9 体行なった. 試験速度は A-(1~3) の供試体を基準として, ひずみ速度をあわせるためにそれぞれ, 0.5mm/min, 1.0mm/min, および 1.5mm/min とした.

3. 実験結果

3.1. 引張試験結果

図-3 に引張試験より得られた応力-ひずみ曲線の一例を示す。また、表-1 に引張試験結果

供試体	最大荷重	引張強度	弾性係数	供試体	最大荷重	引張強度	弾性係数
	kN	N/mm ²	N/mm ²		kN	N/mm ²	N/mm ²
A-1	58.0	284.1	35600	B-1	7.74	36.3	11680
A-2	69.5	328.7	33600	B-2	8.65	40.5	10500
A-3	52.2	263.0	33600	B-3	8.79	41.1	9830
平均	59.9	291.9	34267	平均	8.39	39.3	10670

の要約を示す。表中の弾性係数は応力-ひずみ曲線の比較的直線であった载荷初期の範囲（500-2500 $\mu\epsilon$ ）を用いて算出した。A タイプの平均は34,266N/mm²であり、使用したGFRPのカatalog値は20,000~30,000N/mm²である。

繊維直角方向供試体の試験では20N/mm²までは弾性的な挙動を示しているため、応力-ひずみ曲線の10~20N/mm²の範囲から弾性係数を算出した。その結果、弾性係数は平均で10,670N/mm²となった。規格値の5,000~7,000N/mm²より大きい値を示しているが、応力-ひずみ曲線の傾きが不安定であるため、誤差が大きかったのではないかと考えられる。

3.2. 圧縮試験結果（矩形断面）

圧縮試験（矩形断面）から得られた応力-ひずみ曲線を図-4 に示す。実験結果と理論値を表-2 に示す。本実験では厚さ5mmの供試体を直接圧縮したため両端単純支持としているが、実際には端部で曲げへの抵抗力が存在すると考えて両端固定支持の理論値も載せている。結果としては単純支持と固定支持の理論値の中間の数値となった。これは、板の端部を切り出した状態のままで载荷したため、端部の回転変形への抵抗が多少存在していたことが原因である。

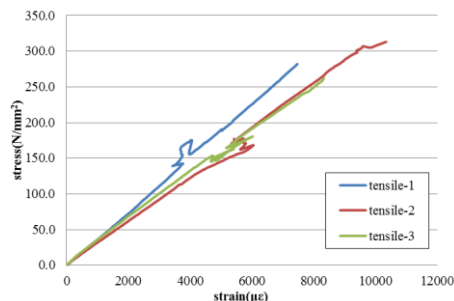


図-3 引張試験結果

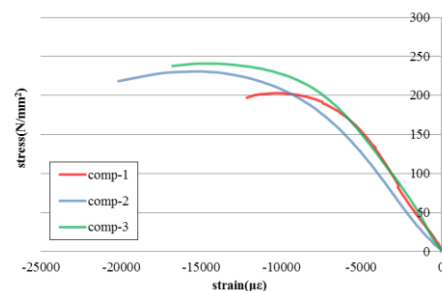


図-4 圧縮試験結果（矩形断面）

3.3. 圧縮試験結果（箱型断面）

圧縮試験（箱型断面）結果を表-3 に示す。崩壊形状としては箱型供試体の角部分に長さ方向に亀裂が入ったことにより、面と面の繋がりがなくなっていた。供試体高さが高いほど最大荷重が低くなっているのは供試体中央のたわみの大きさに起因すると考えられる。すなわち、供試体高さ中央付近の面外変形が大きくなり、角部分での引張応力が増加した。これより、矩形断面の場合より箱型断面の方が耐力が低下すると考える。

4. おわりに

本試験結果により、GFRP 桁の材料特性および崩壊形状について確認できた。今後、箱型断面桁での曲げ試験を行うにあたって、引張強度や圧縮強度とあわせて、FRP 材特有の繊維や断面形状といった特性による崩壊形状を考慮に入れて行く必要がある。

表-2 圧縮試験結果（矩形断面）と理論値の比較

供試体	最大荷重	最大応力	供試体	最大荷重	最大応力	理論値	座屈荷重	座屈応力
	kN	N/mm ²		kN	N/mm ²		kN	N/mm ²
A-1	40.6	203.0	B-1	14.2	71.0	繊維方向	17.4	87.0
A-2	46.3	231.5	B-2	13.7	68.5		69.6	347.8
A-3	48.2	241.0	B-3	13.4	67.0	繊維直角方向	4.6	23.1
平均	45.0	225.2	平均	13.8	68.8		18.5	94.2

表-3 圧縮試験結果（箱型断面）と理論値の比較

供試体	最大荷重	最大応力	供試体	最大荷重	最大応力	供試体	最大荷重	最大応力
	kN	N/mm ²		kN	N/mm ²		kN	N/mm ²
A-1	395.2	198.7	B-1	385.6	194.5	C-1	341.8	179.2
A-2	353.5	181.6	B-2	352.0	177.6	C-2	334.5	174.5
A-3	459.2	227.9	B-3	240.0	119.4	C-3	352.8	183.1
平均	402.6	202.8	平均	325.9	163.8	平均	343.0	179.0