

CFRPの構造部材への適用に関する研究

京都大学大学院工学研究科 正会員 小野紘一 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦邦征
 京都大学工学部 学生員 ○三木亮二 日石三菱株式会社 小牧秀之

1. はじめに

繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastics:以下 FRP と略す)は, 耐久性に優れ, また軽量でありながら高強度であるため, これらの特性を十分に活かすことができれば構造部材として利用できるだけでなく, 新たな構造形態を模索することが可能となる. 現在 FRP として主に用いられているのは, ガラス繊維を用いた GFRP と炭素繊維を用いた CFRP である. GFRP は欧米を中心として既に数十の土木構造物に対して用いられている. ところが, GFRP より高強度である CFRP は, 現在のところ補強・補修材としての利用しかされておらずその特性を十分活かしてきていないと考えられる. そこで, 本研究では, CFRP の構造部材としての実用化に向けて引張試験, 圧縮試験, 曲げ試験を行い, これらの強度特性を実験的に把握することを目的とし, 特に, 積層数の強度への影響について検討を行った.

表-1 供試体一覧(単位: mm)

	積層数	方向	肉厚		積層数	方向	肉厚
A-08	0	周	無し	A-24	0	周	無し
	8	軸	1.000		24	軸	3.000
	0	周	無し		0	周	無し
Total	8		1.000	Total	24		3.000
C-08	1	周	0.125	C-24	3	周	0.375
	8	軸	1.000		24	軸	3.000
	1	周	0.125		3	周	0.375
Total	10		1.250	Total	30		3.750
C-16	2	周	0.250	C-24	3	周	0.375
	16	軸	2.000		24	軸	3.000
	2	周	0.250		3	周	0.375
Total	20		2.500	Total	30		3.750

2. 供試体および実験の概要

供試体を図-1 に示す. 圧縮・曲げ供試体は角形断面を有し, 積層数の異なる5種類の供試体を用意した. 供試体一覧を表-1 に示す. 供試体 A は, 繊維が軸方向にのみ配置されている試験体であり, 供試体 C は, CFRP 薄板の両外縁に軸直角方向の層を積層した試験体である. また, 供試体名中の数字は軸方向の積層数を表している.

引張試験は, 1辺 35mm の角形圧縮・曲げ供試体の板要素から幅 12.5mm, 長さ 270mm の板状供試体を取り出して行った. なお, 供試体中央部に 2 軸ゲージを貼付し, 各層厚について3体ずつ行った. また圧縮試験では, 長さ 100mm の角形断面短柱供試体を用いた. なお, 各面中央部にひずみゲージを貼付し, 各層厚について2体ずつ行った. ここでは, 供試体端部での破壊を防ぐため厚さ 2mm の鉄板を供試体内側にはめ込み, 载荷を行った. さらに, 曲げ試験では, 長さ 400mm の角形断面はり供試体を用いた. ここで, 試験区間は 300mm であり, 支点ー载荷点間は 100mm の2点载荷である. また, 载荷点下での破壊を防ぐために角形断面中空部に 2mm の鋼板を隔壁としてはめこんだ. なお, 各層厚について2体ずつ行った.

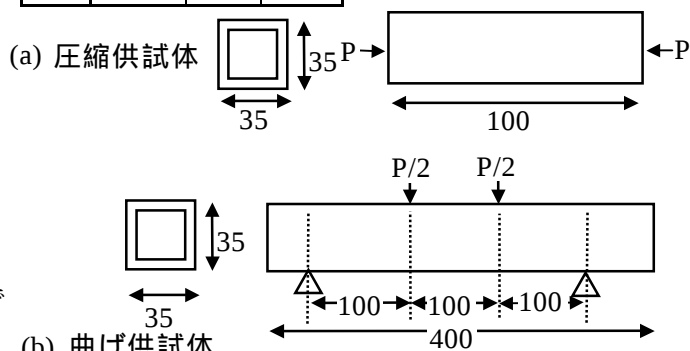


図-1 供試体図(単位: mm)

表-2 引張試験結果

	弾性率 (kN/mm ²)	ポアソン比	破断荷重 (kN)
A-08	140.7	0.328	29.77
C-08	139.9	0.091	30.00
C-16	142.9	0.079	51.18
A-24	135.5	0.315	66.93
C-24	136.9	0.087	65.95

3. 試験結果および考察

各試験で得られた結果は, 有効断面積(軸方向の層のみの断面積)を用いて整理し, 表-2~表-4 にまとめて示す. ここで, 表中の数値は, 各供試体の平均値を記している.

Key Word CFRP, 強度特性, 積層数, 周方向層の影響

京都市左京区吉田本町 京都大学工学部地球工学科 複合デザイン分野 Tel, Fax 075-753-4791

引張試験結果、圧縮試験結果における積層数の影響を図-2 及び図-3 に示す。引張弾性率は有効積層数に関わらずほぼ一定となるが、引張強度は、積層数が大きくなると低下する傾向にある。これは、試験片つかみ部における局部応力の影響があり、今後の検討が必要と考えられる。圧縮試験において、A シリーズでは角形断面隅角部に沿って縦に亀裂を生じ、断面を構成する各板要素が独立して座屈破壊(柱座屈)した。これは、圧縮力を受け、断面が膨らもうとするが、樹脂の抵抗力だけでは断面形状を維持することができず、隅角部で破壊に至ったと予想される。また、C-08 では隅角部付近に亀裂は生じず、各板要素で局部座屈(板座屈)し、また C-16、C-24 では端部において圧壊した。これは、供試体の内側に鋼板をはめ込み断面の変形を拘束したが、供試体端部における炭素繊維のプラスチック内での座屈や、積層間での剥離等に起因して破壊したと考えられる。座屈破壊しない肉厚の C-16、C-24 においては、厚壁耐力が引張耐力の 5 割程度となった。したがって、前述のように端部での破壊の原因、および試験方法等も含め、詳細な検討が必要である。一方、座屈を起こした供試体では、細長い柱(角形断面の 4 面が独立と仮定)の弾性座屈強度を若干上回る程度であった。また、周方向に繊維が存在すると圧縮強度が増す傾向を示しており、特に、層厚が 20 層を超えると圧縮弾性率は 115~121(kN/mm²)となり、引張弾性率の 9 割程度となった。

曲げ試験において、A シリーズでは角形断面隅角部による破壊であった。C シリーズにおいては、圧縮側において座屈破壊することが予想されたが、支点近傍での腹板の面内座屈破壊が顕著であった。よって支点部での補強の必要性が考えられる。各供試体の強度は圧縮試験と同様に予想耐力より下回ったが、支点での破壊を起こさないように補強を行えば、耐力向上が期待できる。また、周方向に繊維が存在すると曲げ耐力が増加する傾向を示している。荷重-たわみ曲線の一例を図-4 に示す。図中の理論値は、微小変形理論による載荷点たわみを用いた。なお、弾性率 E に関しては圧縮試験と引張試験から得られた弾性率をともに考慮に入れた数値を用いた。この結果、理論値と実測値の初期直線部分が非常に一致していることが分かった。

4. まとめ

①周方向の層により部材断面形状が維持されることで隅角部の応力集中に対する抵抗力を向上させ、圧縮強度や曲げ強度が上がる事が分かった。②圧縮試験においては、層厚の小さな場合は、座屈破壊が顕著となり強度が発揮できないことが分かった。③荷重-変位曲線では引張試験、圧縮試験の両方から得られた弾性率をともに考慮して得た値を用いると、理論値と実測値の初期直線部分が非常に良く一致することが分かった。圧縮試験、および曲げ試験は、その載荷方法や、支持条件によって局部的な破壊が生じる可能性があり、ばらつきが少なく、また強度を精度よく評価できる標準的な試験方法を確立する必要がある。

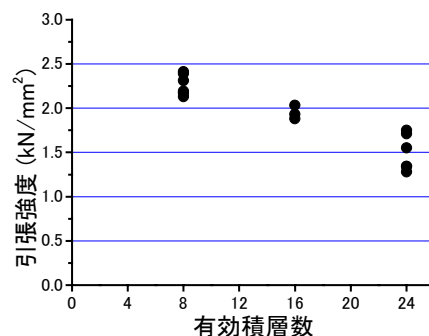


図-2 有効積層数と引張強度の関係

表-3 圧縮試験結果

	弾性率 (kN/mm ²)	圧縮耐力 (kN)	引張耐力に 対する比
A-08	135.8	16.1	0.050
C-08	125.0	43.5	0.138
C-16	116.5	208.0	0.393
A-24	115.0	234.3	0.353
C-24	119.0	300.5	0.462

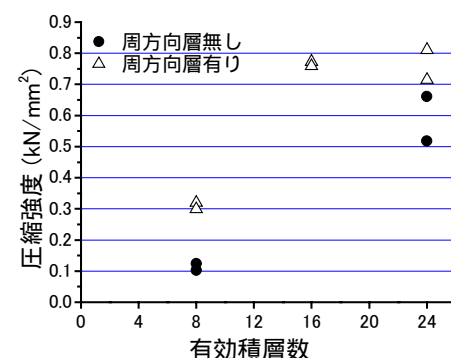


図-3 有効積層数と圧縮強度の関係

表-4 曲げ試験結果

	曲げ耐力 (kN)	曲げ強度 (kN/mm ²)	引張強度に 対する比
A-08	2.67	0.225	0.098
C-08	8.95	0.624	0.279
C-16	17.27	0.727	0.373
A-24	12.65	0.473	0.283
C-24	25.45	0.834	0.505

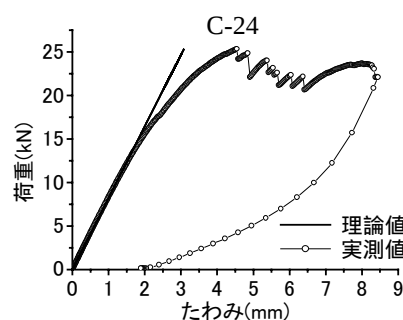


図-4 荷重-たわみ曲線の一例