

京都大学大学院工学研究科	小野 紘一	京都大学大学院工学研究科	杉浦 邦征
京都大学大学院工学研究科	三木 亮二	京都大学工学部地球工学科	○北川 淳一
日石三菱株式会社	小牧 秀之	村田機械株式会社	林 誠

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、軽量かつ高強度であるため、これらの特性を十分に活かすことができれば新たな構造形態を模索することが可能となる。そこで、本研究でCFRPの構造部材としての実用化に向けて引張試験、圧縮試験を行い、これらの破壊性状や強度特性を実験的に把握することを目的とした。また継手構造の開発に向けて円孔を有する CFRP 形材の引張載荷試験を行い、破壊性状を実験的に明らかにすることを目的とした。

2. 供試体および実験の概要

今回プレーディング(以下 BR)と呼ばれる組物構造を用いた方法で供試体を成形した。成形法の概要を図 1 に示す。



図 1 供試体成形

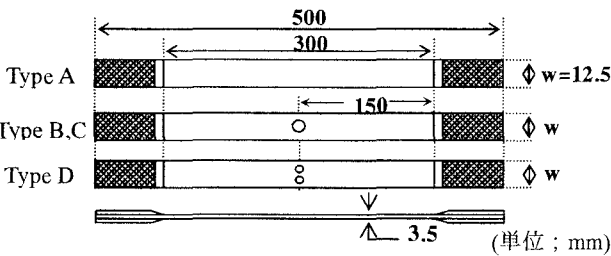


図-2 引張供試体概要

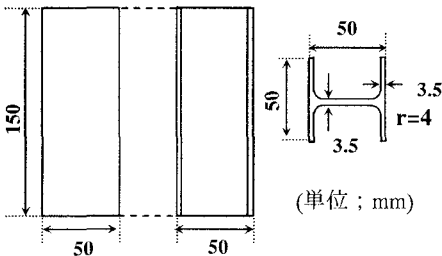


図-3 圧縮供試体概要

繊維は0°, ±45°に同量入っており全繊維含有率は60%である。引張試験供試体は、H型圧縮供試体のフランジ部から幅 $w=12.5\text{mm}$ 、長さ500mm 大ききで切り出し、作成した。供試体概要図を図-2 に示す。Type A は穴無し供試体、Type B, C はそれぞれ直径 $d=2$ 、1 の穴を1 つ有する供試体。Type C は直径 $d=1$ の穴を2 つ有する供試体、Type E は比較のためハンドレイアップ(以下 HL)法による穴無し供試体である。また圧縮試験は、長さ150mm の H 形断面短柱供試体を用い、BR 法、HL 法の2 種類について行った。供試体概要図を図-3 に示す。今回、供試体端部での破壊を防ぐため深さ3mm の H 型の溝を掘った鉄板を両端に被せ接着剤で一体化し、載荷を行った。なお、引張試験・圧縮試験それぞれ、各タイプにつき3 体ずつ試験を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 引張試験

引張試験結果(穴無し)を表-1 に示す。ここで、表中の数値は、各 Type における平均値を記している。引張強度に関して、両方法の供試体とも構造鋼以上の強度が得られた。しかし、軸方向に配置されている繊維含有率は同等であるが、BR 法供試体よりも HL 法供試体の方が、引張強度が倍以上大きくなった。これは HL 法では繊維

表-1 引張試験結果(穴無し)

	Braiding	Hand-lay-up
最大荷重 (kN)	24.33	50.97
引張強度 (kN/mm ²)	0.556	1.165
弾性係数 (kN/mm ²)	43.15	62.98
弾性係数 (理論) (kN/mm ²)	89.17	
ポアソン比	0.677	0.752

Koichi ONO, Kunitomo SUGIURA, Ryoji MIKI, Makoto HAYASHI and Hideyuki KOMAKI

が軸方向に厳密に配置されているのに対し、BR 法では繊維が 3 次元的に配置されているためだと思われる。また弾性率に関しても、BR 法供試体では 43.15(kN/mm²)、HL 法供試体では 62.98(kN/mm²)と大きな差が生じた。積層理論を用いて算出した弾性率は 89.17(kN/mm²)であり、これからも BR 法供試体が通常の積層構造となっていないことが示唆される。またポアソン比はいずれの供試体においても 0.677、0.752 と非常に大きな値となった。これは±45° 方向の繊維が入ることで、荷重直角方向への変形が助長されたためだと考えられる。引張試験結果(穴あき)を表-2 に示す。表から分かるように、Type B だけ引張強度が若干減少した。しかし、それぞれの最大荷重 P_{max} を穴無しの場合の最大荷重の平均値 P₀ で除した値 P_{max}/P₀ は、ほぼ 1 に近い値となった。このことから BR 法供試体における引張強度に関して、孔径比が 0.08~0.16 程度では孔の影響が小さいと言える。また破壊性状に関しては、Type A, C では 3 体全てタブ付近で破壊したが、Type B, D では孔および孔付近で破壊した。すなわち孔径比が 0.16 以上になると円孔付近で壊れやすくなることが分かる。また孔径比が同じでも、円孔が荷重方向に対して鉛直に並んでいる場合、円孔に応力が集中しやすいことが分かった。

表-2 引張試験結果(穴あき)

		d/w	最大荷重 (k N)	引張強度 (kN/mm ²)	P _{max} /P ₀
穴あき	Type B	0.16	22.80	0.521	0.94
	Type C	0.08	27.53	0.629	1.13
	Type D	0.16	26.25	0.600	1.08

表-3 圧縮試験結果

	Braiding			Hand-lay-up		
	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
圧縮耐力(kN)	149.7	175.5	167.5	210.0	182.5	181.5
圧縮強度(kN/mm ²)	0.299	0.351	0.335	0.420	0.365	0.363
弾性率(kN/mm ²)	56.26	57.50	53.50	59.66	60.56	61.64
ポアソン比	0.681	0.597	0.687	0.656	0.746	0.647

3.2 圧縮試験

圧縮試験結果を表-4 に示す。圧縮強度に関して、BR 法と HL 法の差はあまり見られなかった。一方破壊性状に関して、BR 法供試体は 3 体中 2 体が中央付近で座屈したが、HL 法供試体は 3 体中 2 体が端部で破壊した。よって HL 法供試体に比べて BR 法供試体では、局所的な応力集中を防ぐことができたと考えられる。さらに、圧縮供試体の座屈挙動を検討するため、供試体の耐力曲線を求めた。供試体のフランジ部分を 3 辺単純支持 1 辺自由の板と仮定しそれが軸圧縮力を受けるものとしオイラーの弾性座屈曲線を求めた。図-4 に弾性耐力曲線及び実験による測定値を示す。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad \left[\begin{array}{l} b: \text{板の幅(mm)}, t: \text{板の厚さ(mm)} \nu: \text{ポアソン比} \\ k: \text{座屈係数}(k=0.425), E: \text{弾性係数} \end{array} \right]$$

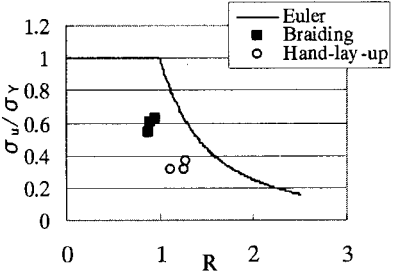


図-4 Frange板の局部座屈

す。ただし縦軸には圧縮応力 σ_u を引張応力 σ_y で除したもの、横軸には以下で定義される幅厚比パラメータ R をとった。曲線上にのらないまでも、近い値となっている。よって今回の座屈挙動はフランジ板での局部座屈と考えられる。

4. まとめ

- ① ブレーディング法、ハンドレイアップ法による供試体共に構造部材として十分可能な引張強度が得られた。
- ② 孔径比が 0.16 以下では引張強度の低下は見られなかった。よって、BR 法は孔径比が 0.16 以下では継手構造として利用可能であると思われるが、詳細な検討にはより多くのパラメータで有孔板引張試験を行う必要がある。
- ③ ブレーディング法による CFRP 板は円孔が荷重方向と直角に並んでいる時、円孔部分に応力が集中しやすい。
- ④ 圧縮強度は両成形法とも 0.3~0.42(kN/mm²)と、ほとんど同じ値を示した。しかし端部での破壊、また偏心がかかってしまったため、真の圧縮強度とは言い難い。よって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。また座屈挙動はフランジでの局部座屈であったと考えられる。

[参考文献] 小野統一他, CFRP の構造部材としての利用に関する研究, 平成 13 年度関西支部年次学術講演会 1-61, 2001.6.