

省エネルギー化に寄与する繊維強化プラスチック (FRP) の強度試験

1. はじめに

CFRP (カーボン繊維強化プラスチック: Carbon Fiber Reinforced Plastics) や GFRP (ガラス繊維強化プラスチック: Glass Fiber Reinforced Plastics) に代表される FRP (繊維強化プラスチック: Fiber Reinforced Plastics) は、エポキシ樹脂やフェノール樹脂などに、炭素繊維やガラス繊維などの繊維を複合して強度を向上させた強化プラスチックである。一般的に、高強度(鉄の3倍程度の比強度)かつ軽量(鉄の1/5、アルミニウムの1/2程度の比重)である他、耐候性・耐食性・耐熱性・断熱性・電波透過性および電気絶縁性などに優れる特長があり、CFRP については航空宇宙、スポーツ、医療および工業製品分野で、また GFRP については超電導を使用する極低温環境下や電気関係での適用が進んでいる。

しかしながら、FRP の強度特性は、①樹脂(基材)と補強材それぞれの強度特性、②補強材の含有率、③成形方法、条件など、④作用する負荷の種類、負荷条件などの要因⁽¹⁾および⑤使用環境、によって決定されるため、さまざまな条件での試験が要求される。そのため、当社では、お客さまのご要望を把握しつつ、試験メニューを拡張する取り組みに注力している。

2. 省エネルギー(省エネ)化および低環境負荷実現に向けた動向

FRP の需要拡大の背景は、冒頭に述べたとおりである。昨今のトピックスを以下に示す。

(1) 風力発電⁽²⁾

世界的な原子力政策の見直しや温暖化ガス排出

削減といった社会ニーズを満足するため、全世界の風力発電の需要は、2010年の190GWに対し2025年に950GWと、15年間で5倍程度の伸びが予測される。そのため、発電効率を上げるための回転翼の長大化に対し、軽量化の手段としてFRPを適用し省エネを図っている。また、陸上と比べて大きな風力が得られやすい海上での浮体式洋上発電の運用も開始された。炭素繊維協会の風車ライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment: LCA)では、1kWhあたりのCO₂の排出量は、火力発電が860gであるのに対し、CFRP適用風力発電では5gと試算されている。

(2) 自動車部材⁽³⁾

日米欧各国は、地球温暖化問題の対策のため、自動車排出ガス規制や燃費規制を強化している。そのため、自動車メーカー各社は規制クリアに向け、電気自動車の市場導入と低燃費技術の開発を推進している。炭素繊維協会の自動車LCAでは、平均的自動車の車体重量の17%にCFRPを適用した場合、車体重量を30%軽量化可能となり、燃料消費を軽減することで省エネに寄与する。素材製造、組立、廃棄を含むCO₂の削減量は、1台で10年あたり5トンである。

(3) 航空機⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

エアバスA380以降、複合材の使用比率が大幅に増加し、エアバスA350やボーイングB787では機体構造重量の約50%に達した。この結果、B787では同サイズのB767と比較して、燃費が約20%、CO₂が約20%、NO_xが約15%削減された。炭素繊維協会の航空機LCAでは、B767の機体構造の50%

に CFRP を適用した場合、従来の 3% 時と比較して機体重量を 9% 軽量化可能となり、燃料消費を削減して省エネ化を図り、結果、素材製造、組立、廃棄を含む CO₂ の削減量は、1 機で 10 年あたり 2.7 万トンである。

(4) 炭素繊維のリサイクル

炭素繊維は製造時にエネルギーを多く消費するため、現状は埋め立て廃棄されている。CFRP をリサイクルすることにより、製造のために消費されるエネルギーが大幅に削減されることが期待される⁽⁶⁾。しかしながら、リサイクルされた炭素繊維はバージン炭素繊維より物性が低下すると考えられるため、本格的なリサイクルは始まっていない⁽⁷⁾。

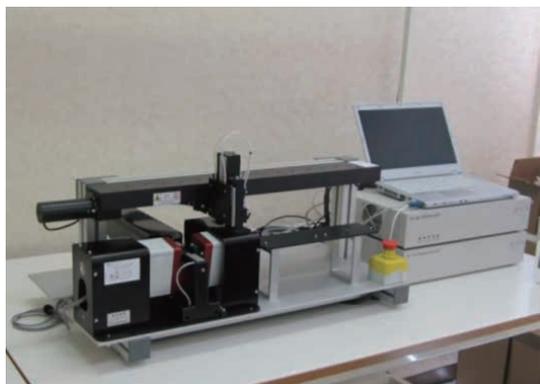
3. 当社の FRP 強度試験

当社では、航空宇宙、エネルギー資源、船舶海洋などの分野に適用される FRP の試験を受託している。また、素材（繊維、樹脂）、積層材および製品実体など、各工程における供試体を対象に試験を行っている。以下に、近年、サービス化した試験メニューについて説明する。

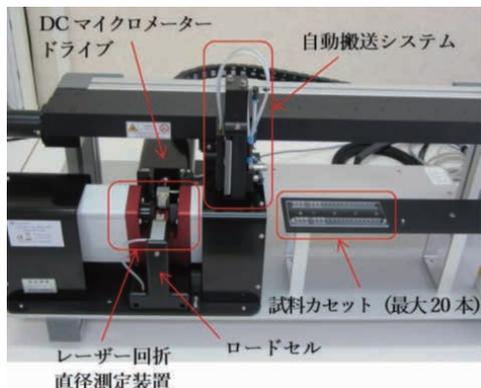
(1) 単繊維（モノフィラメント）の引張試験⁽⁸⁾

単繊維の強度評価を行うため、図 1 (a) (b) に外観と構成を示す単繊維引張試験機 (LEX820、荷重容量 2N) を導入した。本試験機は炭素繊維、ガラス繊維、セラミックス繊維などの引張強度を測定するための高精度な引張試験機である。

本試験機は、表 1 に基本性能を示すとおり、試験速度の微調整と、JIS R 7606⁽⁹⁾ で要求されるゲー



(a) 外観



(b) 構成

図 1 単繊維引張試験機

表 1 基本性能

試験機	荷重容量 N	試験速度 mm/sec	試験温度 ℃	ロードセル容量 N	ストローク長さ mm	ゲージ長 mm	分解能 ^{*1} N	用途
モノフィラメント LEX820	2	0.0001~1	室温	2	50	4, 12, 25	0.00005	単繊維 引張試験

*1 測定できる最小単位

ジ長 25mm よりも短い単繊維での試験が可能である。また、装置コンプライアンス補正機能を有しており、縦弾性係数や伸びの取得にあたり、不要となる成分（試験機・試験片接着部・試験片台紙またはプラスチックタブなどの剛性）を除去し、繊維単体の物性を取得することができる。

本試験機で取得可能な値は、繊維径（繊維種による）、縦弾性係数、最大荷重、引張強さ、伸びおよび装置コンプライアンス補正值である。また、JIS R7606 および R1657⁽¹⁰⁾ で要求される報告項目を満足する。図 2 に、PAN 系炭素繊維単繊維引張試験の事例を示す。

(2) 繊維束の引張試験

繊維束については、ドライバンドル強度評価を目的とした繊維束引張試験と樹脂含浸ヤーン引張試験の二通りを行っている。ここでは、樹脂含浸ヤーン引張試験について説明する。

JIS R 7608⁽¹¹⁾ で要求される樹脂含浸ヤーン引張試験は、繊維束での強度試験が可能である反面、繊維の逐次破断に起因する測定強度不足を発生することがある。例えば図 3 に示す事例では、試験チャート中に変位の増加にともなう試験力の不規則な変化が見られ（図 3 (a)）、繊維の逐次破断が発生していることが推測される。また、破断後の

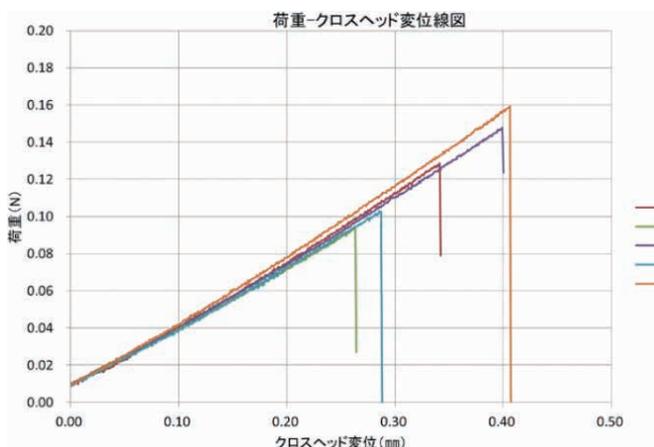
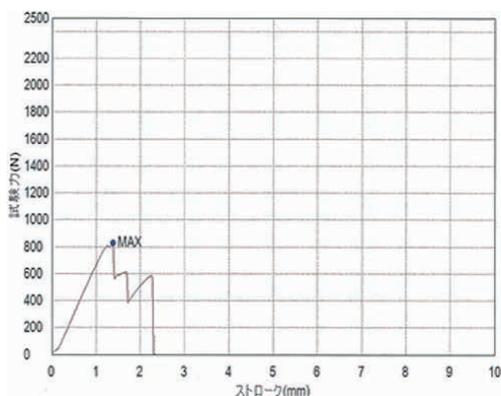


図 2 PAN 系炭素繊維単繊維引張試験



(a) 試験チャート



(b) 試験片外観

図 3 樹脂含浸ヤーン引張試験

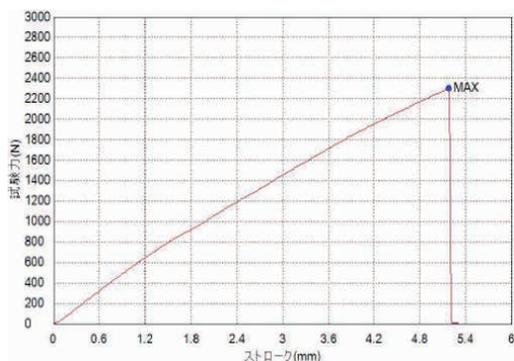
試験片に、^{つか}掴み部付近を起点とする縦方向の割れがある(図3(b))。

そのため、試験片の製作仕様と掴み方法の改良と、最適化を検討した。図4に示す事例では、変位の増加にともない試験力が一様に公称強度程度まで増加し、瞬時に無荷重となる(図4(a))。また、試験後、試験片中央付近の局所に、断面方向の分離が認められる(図4(b))。これらより、繊維の逐次判断や縦方向の破断を起こすことなく、試験性能が大きく向上したものと考えられる。

当社ではこのように、試験片設計や試験条件の最適化の検討を含み、一貫した試験サービスを提供している。

(3) 積層材の強度試験

当社は、ASTM、JIS、日本海事協会規定などに準拠した、引張、圧縮、曲げ、面内せん断、層間せん断、ショートビームせん断、疲労試験などを受託している。図5に、これらに用いる試験治具(ASTM準拠)の例を示す。これらの試験において、試験片を液体窒素に浸漬する条件での極低温試験(-196℃)や、恒温槽を用いた低温、高温試験(-180~300℃)にも対応している(試験片寸法や試験治具耐熱性による制約あり)。図6に、極低温引張試験(図6(a))、低温三点曲げ試験(図6(b))の事例を示す。



(a) 瞬時破断の試験チャート



(b) 瞬時破断の試験片外観

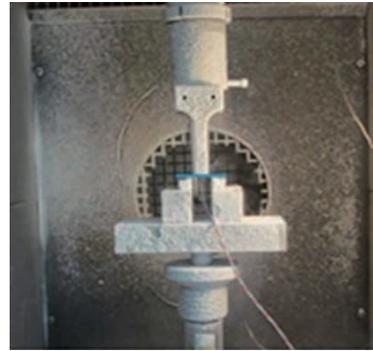
図4 試験片・試験条件最適化後樹脂含浸ヤーン引張試験



図5 試験治具の例 (ASTM準拠)



(a) 極低温引張



(b) 低温三点曲げ

図6 試験事例

4. おわりに

FRPの需要は今後も社会ニーズの変化に応じて拡大し、また高性能化も進むものと期待される。また、ライフサイクルアセスメントに基づき、回収CFRPから得られたリサイクル炭素繊維の活用に向けた研究などが脚光を浴びている。そのような状況の中、当社は、今後も、お客さまのニーズに適した試験サービスを提供していく。また、当社が技術保有するアコースティックエミッション法 (Acoustic Emission : AE) やデジタル画像相関法 (Digital Image Correlation : DIC) を併用した、付加価値のある試験サービスも提供していきたい。

文責

計測事業部 材料試験部 次長 深澤 強
 計測事業部 材料試験部 次長 佐藤 浩幸
 計測事業部 材料試験部 鈴木 菜摘

参考文献

- (1) 藤井：強化プラスチックの強度特性、材料、第14巻、第139号、日本材料学会、1965、pp.308-315
- (2) 尹聖昊：軽量化と炭素繊維（炭素繊維複合材料）、素子材料工学特論第8講義、2012
- (3) PAN系炭素繊維の現状と将来：第29回複合材料セミナー資料、日本化学繊維協会炭素繊維協会委員会、2016
- (4) PAN系炭素繊維の現状と将来：第30回複合材料セミナー資料、日本化学繊維協会炭素繊維協会委員会、2017
- (5) PAN系炭素繊維の現状と将来：第31回複合材料セミナー資料、日本化学繊維協会炭素繊維協会委員会、2018
- (6) 加茂：炭素繊維強化プラスチック (CFRP) のリサイクルの現状と課題、廃棄物資源循環学会誌、第29巻、第2号、2018、pp.133-141
- (7) 金升他：航空機複合材廃材のリサイクル利用による環境負荷低減、三菱重工技報、第55巻、第2号、2018、pp.1-5
- (8) 佐藤浩幸、深澤強：単繊維引張試験・モノフィラメント試験機の機能紹介と適用例、IIC REVIEW、No.62、2019/10、pp.45-52
- (9) JIS R 7606:2000：炭素繊維－単繊維の引張特性の試験方法
- (10) JIS R 1657:2003：長繊維強化セラミックス複合材料の強化材特性試験方法
- (11) JIS R 7608:2007：炭素繊維－樹脂含浸ヤーン試料を用いた引張特性試験方法