

# 複数孔を有する CFRP 積層板の強度

実習工場技術班 石丸 恭平

## 1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics : CFRP）とは、プラスチック樹脂に強化材として炭素繊維を複合させて作られた複合材料である。CFRP は、金属材料と比べて軽量で、比強度、比剛性に優れた特徴を持つ一方、製造コストの高さやリサイクルの難しさ、加工面の課題がある。現在では、航空機の主翼や胴体等の構造部材、人工衛星の構体主構造、太陽電池パドル等に使用され、航空宇宙分野、スポーツ分野、船舶、建設など多分野で幅広く使用されている。CFRP を安全・安心して利用するためには強度・破壊特性を知っておく必要がある。CFRP を使用する場合、素材自体が異方性を持つため、一方向に積層することはなく、一般には、一方向の薄い板（プリプレグ 0.1mm 程度）を、繊維方向を変えて積層した積層板を使用する。多層積層板を使用する場合においても、一方向の物性値は設計パラメータとして必要になる。

一般的に、材料が構造部材として使用される際は孔の存在が不可欠であり、これまで1つの貫通孔を有する積層板に対してあらゆる角度で研究されてきたが、今回は複数の貫通孔を有する CFRP 積層板について実験を行い、特に、繊維配向角が異なる 5 種の試験片について強度と挙動の違いを比較した。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片

CFRP プリプレグを一方向に積層・成形し、長さ 150mm、幅 15mm、板厚 1.2mm（8 層）の寸法を試験片として切り出した。また、試験片の中央に  $\phi 2.5\text{mm}$  の貫通孔を 2 箇所あけた。試験片の形状を図-1 に示す。試験片として繊維配向角  $\theta(0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ)$  の 5 種類を用いた。試験片両端には、つかみ部として長さ 30mm、幅 15mm、厚さ 2mm のアルミタブを貼り付けた。

### 2.2 実験方法

万能型負荷試験機を用いて、繊維配向角による強度の違いを準静的引張試験により調査した。図-2 に示す。実験は、室温下で、変位速度 0.5mm/min で引張り、破断時の荷重を測定した。 $\theta=0^\circ$  に限り、万能型負荷試験機では試験片つかみ部の固定力が不足したため油圧式万能試験機を用いた。

## 3. 実験結果と考察

図-3 に示すように  $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  の試験片は片孔から繊維方向に沿って破壊した。これは孔 1 つの場合と同じ結果であった。片孔から破壊した理由は、穴あけ加工時にきれいに加工できていなかったため、加工傷がより大きい孔から破断したと推測される。

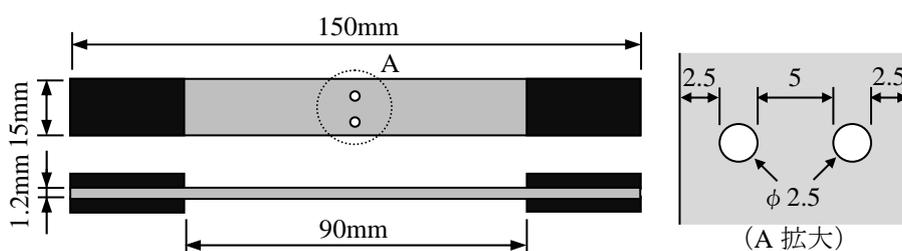


図-1 試験片



図-2 万能型負荷試験機

図-6に  $\theta=0^\circ$ の応力-変位曲線を示す。応力が低下しているのは、図-4のように孔の縁から繊維方向にき裂が発生し破壊したためである。 $\theta=0^\circ$ は、繊維方向が引張方向と平行であるため数回にわたり破壊した。応力が急激に低下しているのは、 $\theta=0^\circ$ は他の試験片と比べて強度が高いため、試験片が破断するより先にき裂がアルミタブまで進展し、図-5のようにタブが剥がれたためである。

図-7に孔なし、孔1つ、孔2つ試験片の強度-繊維配向角の関係を示す。 $\theta=0^\circ$ の場合のみ、強度に大きな差が出ているが、他の角度は孔が1つの場合とあまり差がない。 $\theta=0^\circ$ を除けば、 $\theta$ が同じであれば孔1つと孔2つの間で強度の低下は孔1つの場合と大差ないと結論できる。強度に差がある明確な理由は、実験からのみでは推測できないため、有限要素法などを用いた応力集中係数の計算を行い、定量的に比較する必要がある。

#### 4. 結言

一方向積層板は孔の数に関係なく繊維方向にき裂が進展する。また、 $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の強度は、複数の孔があっても単数の孔の場合と差がないが、 $\theta=0^\circ$ の場合は複数孔の場合、強度低下がより大きい。



図-3 30°から90°の破断状態

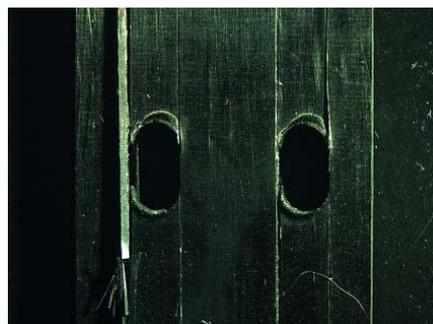


図-4 0°試験片のき裂



図-5 試験後の0°試験片

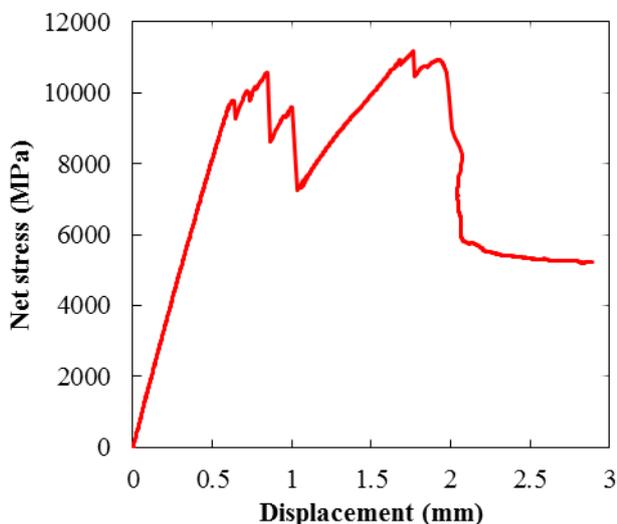


図-6  $\theta=0^\circ$ の応力-変位曲線

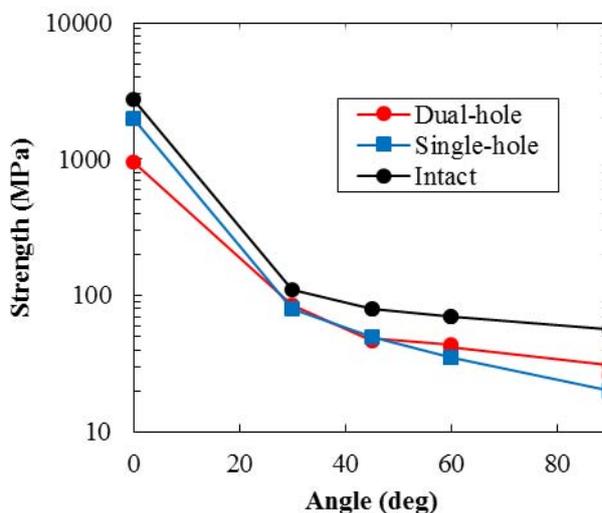


図-7 無孔有孔試験片の強度-繊維配向角の関係

謝辞：本研究に際して、様々なご指導を頂きました黄木景二教授および関係者各位に深く感謝いたします。