

ZanchorTM CFRP 積層板の衝撃後残留圧縮強度特性

日大生産工(院) 山田健
三菱重工業 福岡俊康

JAXA/ISTA 岩堀豊
JAXA/ISTA 石川隆司

シキボウ 石橋正康
日大生産工 邊吾一

1. 緒言

炭素繊維強化複合材料(CFRP)は、面内特性に優れているため航空分野など幅広く使用されている。しかし、強度の大半を受け持つ強化繊維が板厚方向に無いことや各層の材料特性が不連続であるという理由から横衝撃により損傷が発生しやすい構造となっている。そのため、低いエネルギーの衝撃でも簡単に内部損傷が発生してしまう。さらに損傷が材料内部に存在すると強度や剛性ははるかに低くなるため衝撃後残留圧縮(以下 CAI)が重要な設計パラメータであることは既存の事実である¹⁾。

本研究では、RTM(Resin Transfer Molding)成形において樹脂を含浸させる前の Non-Crimp Fabric の繊維に対し、特殊な針状のものをを用い、繊維を板厚方向に押し込むことによって層間を強くした CFRP 積層板(以下 Zanchor)を用い CAI 試験を実施した。Zanchor の概念図を Fig.1 に示す。強化繊維が板厚方向にも入っていることから層間破壊靱性、耐損傷性などの向上が期待される。この材料を用い CAI 強度および損傷特性の比較、検討を行った。

試験条件は積層構成の異なる材料を 2 種類、各積層構成について、衝撃エネルギー条件は単位板厚あたり 3.3J/mm、6.7J/mm の 2 種類、合計 4 種類についての実験を行った。

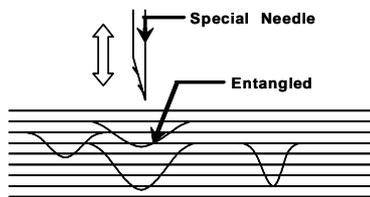


Fig.1 Schematic of Z-anchor.

2. Zanchor

CFRP の基材としての繊維は中弾性高強度タイプ、樹脂は RTM 用樹脂となっており、Zanchor は全く針で刺し込んでないものから複数回刺し込んだ回数に応じ 4 種類(以下 Zanchor-0、Zanchor-1、Zanchor-2、Zanchor-4)を用いた。積層構成は[(45/0/-45/90)_{sym}]₂:16Ply(以下 TypeA)、[(45/0/-45/0/90/-45/0/45)_{sym}]:16Ply(以下 TypeB)、板厚 t 5.28mm、繊維の体積含有率 V_f 57%となっている。CAI 試験については、試験法も含め SACMA-SRM 2R-94 に準じて行った。

3. 衝撃試験

衝撃試験は落錘式の INSTRON 社製 9250HV を使用し、4 点式のクランプによって試験片を拘束している。また、ストライカー直径は 5/8inch の半球状のものを使用し、付与エネルギーの設定は試験片の板厚を考慮し、各エネルギー条件に試験片の板厚を掛け落錘子重量(5.7Kg)で除した高さの設定で行った。

4. 損傷比較

Figure 2 にエネルギー条件 6.7J/mm の代表的な超音波探傷の結果を示す。画像はいずれも衝撃側の探傷結果で Type B となっている。Figure 2 を見ても明らかなように Zanchor-0 と Zanchor-4 では極端にはく離面積が異なる結果となった。特に、Zanchor-0(Zanchor 無し)では、はく離が板全体の約半分を占めており、下側固定治具の開口外縁部まではく離が到達しているものもあった。また、B-scope 画像より板厚中央部付近で超音波のエコーが減衰しているため、深さ方向の損傷は明確ではないが、裏側からの探傷結果と比較してみると、はく離形状は板厚中央部付近ではく離面積が最大となるような算盤珠形状となっていた。

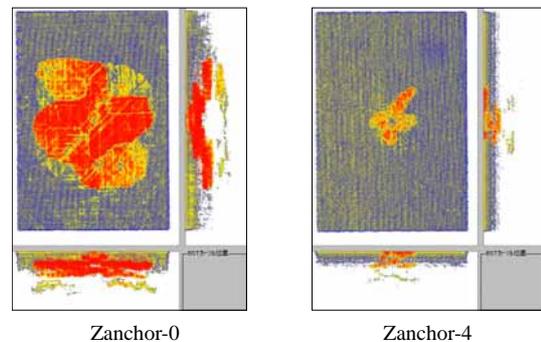


Fig.2 Ultrasonic C-scanning results for after impact.
(Energy: 6.7J/mm. Type B).

Figure 3 に衝撃後の各試験片に対する Zanchor 回数とはく離面積の関係を示す。グラフのはく離面積は板厚中央部付近の最大面積となっている。Type A、Type B の各エネルギー条件ともに Zanchor-0 に対し Zanchor-4 では 60%以上はく離面積が減少しており、Zanchor による層間強度向上

Compression-After-Impact properties of ZanchorTM CFRP laminates.

Ken YAMADA, Yutaka IWAHORI, Masayasu ISHIBASHI,
Toshiyasu FUKUOKA, Takashi ISHIKAWA and Goichi BEN

が、耐損傷性を大きく向上させた結果と考えられる。また、各 Zanchor 回数条件において全体的に Type B に比べ Type A の方が、はく離面積が大きい値を示している。理由として積層構成の違いから、Type A では板幅方向(90°)の繊維が多く、板全体の変化に対し剛性が高いことから、衝撃時に90°層の前後ではく離を助長したため損傷面積が拡大した可能性がある。

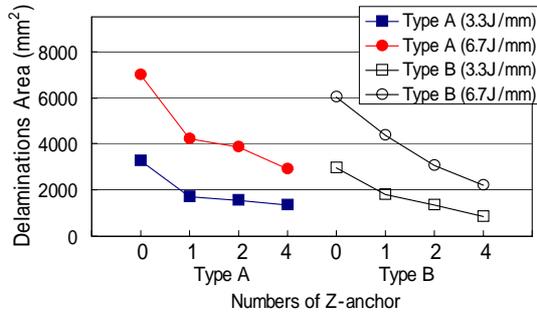


Fig.3 Delaminations area after impact.

5. 衝撃後圧縮

圧縮試験には INSTRON 社製 1128 型ネジ駆動式 500KN 負荷装置を使用し、クロスヘッド速度はそれぞれ 1.0 mm/min とした。予備試験として始めに破断の 7% 程度荷重を負荷し、片あたりが有る場合はクロスヘッドと負荷具の間にシムテープを挟み調整した。エネルギー条件 3.3J/mm の各 Zanchor 回数に対する CAI 強度、弾性率の関係を Fig.4、エネルギー条件 6.7J/mm の強度、弾性率を Fig.5 に示す。Zanchor-0 に対する Zanchor-4 の CAI 強度を比較すると、エネルギー条件 3.3J/mm の Type A で 50% 増、Type B は 32% 増。エネルギー条件 6.7J/mm では Type A で 66% 増、Type B は 42% 増と CAI 強度が大きく向上する結果となった。Type B は Type A に比べ耐損傷面積が小さかったのに対し、CAI 強度は Type A の方が向上していた。理由として Type B は圧縮時、荷重を一番多く受け持つ 0° 繊維が多いため Zanchor が強化繊維を傷つけてしまう可能性があり CAI 強度に影響する結果となったものと考えられる。グラフを見ても明らかのように Type B では一定回数以上の Zanchor を行っても CAI 強度の向上は飽和していることがわかる。また、弾性率は Zanchor-2 までほぼ横ばい、Zanchor-4 になると Type A、Type B とともに約 10% 減となっていた。

Fig.6 に破断後のはく離面積の関係を示す。グラフより Zanchor 回数の増加とともに、はく離面積は減少傾向にあり、Fig.3 の衝撃によるはく離面積と同傾向の結果となった。破断後、板幅中央を精密切断機によってカットし断面を観察した結果 Zanchor-0 では破壊部において繊維破断は少なく面内幅方向のはく離進展にて破壊する傾向を示したが、Zanchor 回数が増加すると板厚方向のき裂が増え、繊維破断も多く観察された。通常衝撃時、はく離は層間で分離するが Zanchor 効果により層間が強化され損傷後の圧縮破壊の形態が変化するためと推測される。

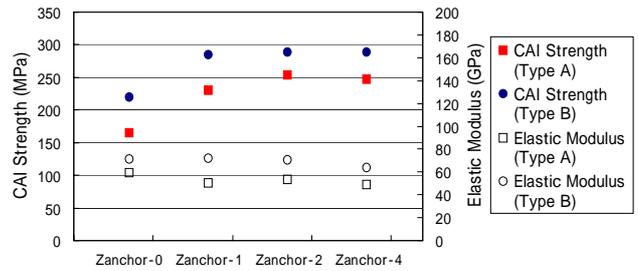


Fig.4 Relation between CAI Strength, Elastic Modulus and Zanchor (3.3J/mm).

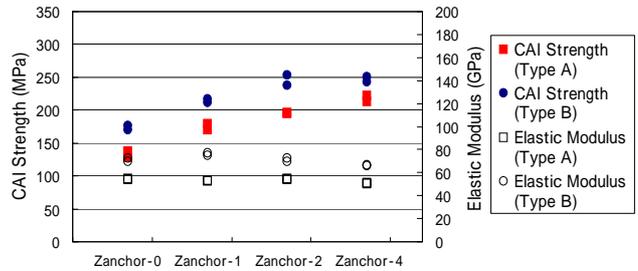


Fig.5 Relation between CAI Strength, Elastic Modulus and Zanchor (6.7J/mm).

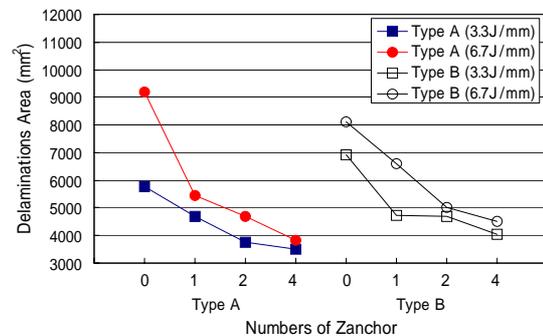


Fig.6 Delaminations area after compression test.

6. 結言

特殊な針状のもので板厚方向に繊維を押し込むことによって面外特性の向上を目的とした“Zanchor” CFRP 積層板について、積層構成の異なる材料を 2 種類、衝撃エネルギー条件を単位板厚あたり 3.3J/mm、6.7J/mm の 2 種類、合計 4 種類の条件で CAI 試験を実施し CAI 強度と損傷特性の比較、検討を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 衝撃時、Zanchor-0 に対し Zanchor-4 では 60% 以上のはく離面積が減少しており、Zanchor により耐損傷性ははるかに向上した。
- (2) Type A、Type B とともに Zanchor 回数の増加に従い CAI 強度は向上し、最大で 66% の増加があった。また、条件によって、一定回数以上の Zanchor では CAI 強度に大きな向上は無くなった。
- (3) Zanchor 回数による弾性率の減少は約 10% 程度であった。
- (4) 破断後の損傷は、衝撃付与時のはく離面積と同傾向であった。

参考文献

- 1) 山田健：第 28 回複合材料シンポジウム講演要旨集 pp.87-88, 2003