

Application News

材料試験機 Material Testing System

No.**i254**

複合材料の衝撃後圧縮試験

Compression after Impact of Composite Material

■はじめに Introduction

炭素繊維強化プラスチック(CFRP: Carbon fiber reinforced plastic)は、金属材料と比較して比強度・比剛性が高く、軽 量化による燃費向上を目的に, 航空・宇宙分野において使用 されています。しかし, CFRP が優れた特性を示すのは繊維方 向に限った場合であり、繊維と直行方向や層間の強度は低く、 CFRP 積層版に力が加わると、繊維と平行にマトリックス割 れが生じたり,層間剥離が発生する可能性があります。また, CFRP は靱性が低く、衝撃に弱いことが知られています。つま り、CFRP 積層版に衝撃負荷が加わると外傷は確認されないが、 内部でマトリックス割れや層間剥離が発生しているという可 能性があります。実際に CFRP に衝撃負荷がかかる例として は、CFRP で作製された航空機の翼に工具を落としたり、着陸 時に小石がはねて翼に衝突することなど様々な場合が考えら れ, これらを想定した試験を行う必要があります。そのひと つに衝撃後圧縮試験(CAI: Compression after impact)があ ります。衝撃後圧縮試験では、試験片に所定の衝撃負荷を加え、 非破壊検査にて損傷の度合いを確認した試験片を用い圧縮試 験を行います。今回は, ASTM D7137 (JIS K 7089) に準拠し た衝撃後圧縮試験をご紹介します。

F. Yano

■衝撃後圧縮試験前の測定

Measurement System

(1) 衝撃試験

衝撃試験では,直径 16 mm の半球状の先端を備えた重さ 5 kg の鋼球のストライカを試験片の中央部に落下させるこ とで試験片に衝撃を与えました。試験片は 4 点トグルクラン プを用いて固定しました。また,規格には衝撃の二度打ちは 避けるのが望ましいとの記載があり,二度打ち防止機構を設 けた衝撃試験を用いました。規格で推奨されている衝撃エネ ルギーは,試験片の厚さ1 mm あたり 6.67 Jですが,今回 は比較のため,試験片1 mm あたり 6.7,5.0,3.3,1.7 Jの 4 水準の衝撃エネルギーで試験しました。今回使用した試験 片の情報を Table 1 に示します。また,試験の様子を Fig. 1 に試験条件を Table 2 に示します。

> Table 1 試験片情報 Specimen Information

 法 [mm] : 層方法 : 材 :	100 × [45/0/- T800,	150 × 4.56 -45/90] _{ns} 2252S-21	



Fig. 1 衝撃試験の様子 Impact Test

Table 2 衝撃試験条件 Test Condition

|--|

(2) 非破壊検査

衝撃試験後は,非破壊検査装置を使用して積層板内に発生 した層間剥離の面積や最大径などを測定します。一般的に, 衝撃後圧縮試験における非破壊検査には超音波探傷装置が用 いられます。超音波探傷試験の結果,試験片の幅の半分以上 が損傷する場合には,端面の影響が無視できないため,衝撃 エネルギーの引き下げを検討することが望ましいと規格には 記載されています。Fig.2 に超音波探傷の様子を示します。



Fig. 2 超音波探傷の様子 Ultrasonic Flaw Detection

Fig. 3 に衝撃エネルギー 30.5 Jの衝撃試験後の試験片の様 子を示します。Fig. 3 より中央部に凹みが確認できますが, 層間剥離による損傷領域は確認できません。Fig. 4 にそれぞ れの衝撃エネルギーに対する超音波探傷の結果を示します。 Fig. 4 の白い部分が層間剥離が発生している領域になります。 また,明るい部分ほど大きく剥離しています。Fig. 3 と比較 すると中央部の凹み以外にも層間剥離が確認され,外部の損 傷からでは内部の損傷が確認できないことがわかります。ま た,衝撃エネルギーが大きくなるほど,損傷面積が大きくな ることがわかります。



Fig. 3 衝撃試験後の試験片 (衝撃エネルギー 30.5 J) Specimen after Impact Test (Impact energy 30.5 J)



Fig.4 各衝撃エネルギーに対する超音波探傷の結果 Results of Ultrasonic Flaw Detection

超音波探傷試験後の画像から損傷の面積と最大径を求めま す。一例として,衝撃エネルギー30.5 Jの損傷面積と最大 径を求めた画像をFig.5 に示します。Fig.6, Fig.7 に衝撃 エネルギーに対する損傷面積と最大径を示します。



領域 番号	血槓举 (%)	絶対面積 (mm ²)
1	99.9988	3326.2400

No.	距離 (mm)	
1	73.03	
2	75.50	
3	61.37	

Fig. 5 損傷面積と最大径の一例 Image of Damaged Area and Maximum Length



Fig.6 衝撃エネルギーに対する損傷面積 Relationship between Damage Area and Impact Energy



Fig. 7 衝撃エネルギーに対する最大径 Relationship between Maximum Length and Impact Energy

●衝撃後圧縮試験の測定システム Measurement System of Compression after Impact

試験片には裏表の2箇所ずつにひずみゲージを貼り付ける 必要があります。ひずみゲージを貼り付けた試験片をFig.8 に示します。衝撃後圧縮試験では、Fig.8の試験片の長手方 向に予想される衝撃後圧縮強さの10%まで圧縮し、両面の ひずみゲージの差が10%以内であることを確認してから試 験を行います。試験条件をTable3に示します。Fig.9に試 験の様子を、Table4に使用した試験装置を示します。



Fig. 8	試験片 Specimen
Table 3	試験条件 Test Condition
試験速度 試験数	: 1.25 mm/min : n = 4



Fig. 9 試験の様子 Over View

Table 4	試験装置
	Experimental Equipment

	: AG-Xplus : 250 kN
試験治具	:衝撃後圧縮試験治具

■試験結果 Results

各衝撃エネルギーに対する応力 - ひずみ線図の一例を Fig. 10 に示します。また、各衝撃エネルギーにおける衝撃後圧縮強さ と衝撃後圧縮弾性率の平均値を Table 5 に示します。衝撃後圧 縮弾性率は、規格ではひずみ 0.1 % ~ 0.3 % の範囲で算出する と記載されています。しかし、今回測定した衝撃エネルギー 30.5 Jの試験片の中には破断ひずみが 0.3 % 以下のものもあっ たため、そのような試験片に対しては、直線領域から弾性率を 算出しました。Fig. 10 や Table 5 より、衝撃エネルギーが小さ いほど衝撃後圧縮強さが大きいことがわかります。また、衝撃 後圧縮弾性率に関しては衝撃エネルギーによらずほぼ一定の値 を示すことがわかります。



Fig. 10 応力 - ひずみ線図 Stress-Strain Curve

Table 5	試験結果 (平均)
	Test Results (Average)

_			
	衝撃エネルギー [J]	衝撃後圧縮強さ [MPa]	衝撃後圧縮弾性率 [GPa]
	30.5	162.9	57.2
	22.9	203.3	56.4
	15.2	246.4	56.0
	7.6	308.6	56.3

損傷面積と衝撃後圧縮強さの関係を Fig. 11 に, 損傷の最大径 と衝撃後圧縮強さの関係を Fig. 12 に示します。 Fig. 11, Fig. 12 より損傷面積や最大径が小さくなるほど衝撃後圧縮強さが大き くなることがわかります。また、参考として衝撃エネルギーを 与えずに試験を行ったところ, 圧縮強さは 388 MPa でした。



損傷面積と衝撃後圧縮強さの関係 Fia. 11 Relationship between Damage Area and Strength



Fig. 12 最大径と衝撃後圧縮強さの関係 Relationship between Maximum Length and Strength

■おわりに Conclusion

今回,4水準の衝撃エネルギーを加えた試験片に対して, 衝撃後圧縮試験を行いました。結果からわかりますように, 与えた衝撃エネルギーが大きいほど、衝撃後圧縮強さが小さ くなっています。また、損傷なしの状態と比較すると、わ ずかなエネルギー(今回の試験における 7.6 J は 5 kg のもの を 0.15 m から落下させたときのエネルギーに相当) でも強 度が低下しており、衝撃負荷を想定した試験が重要である ことがわかります。当社の試験システムを使用することで, ASTM D7137 (JIS K 7089) に準拠した衝撃後圧縮試験を実 施することができ, CFRP の評価に役立てていただくことが できます。

株式会社島津製作所 ݣ田一バルアプリケーション開発センター

初版発行:2016年5月

島津コールセンタ-

0120-131691

(075) 813-1691

※本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。 改訂版は下記の会員制 Web Solutions Navigator で閲覧できます。 https://solutions.shimadzu.co.jp/solnavi/solnavi.htm

会員制情報サービス「Shim-Solutions Club」にご登録ください。 https://solutions.shimadzu.co.jp/ 会員制Webの閲覧だけでなく、いろいろな情報サービスが受けられます。