

Application News

No.i254

材料試験機
Material Testing System

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積層版に衝撃荷重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に衝撃荷重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荷重を加え、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

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

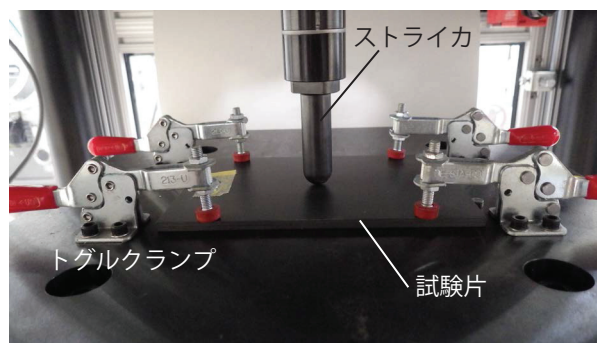


Fig. 1 衝撃試験の様子
Impact Test

Table 2 衝撃試験条件
Test Condition

衝撃エネルギー	: 30.5, 22.9, 15.2, 7.6 [J]
試験数	: n = 4

(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。

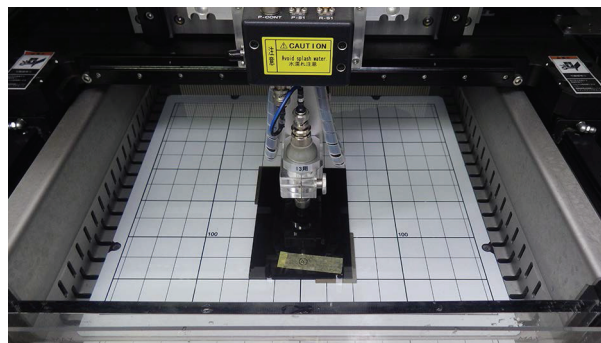


Fig. 2 超音波探傷の様子
Ultrasonic Flaw Detection

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のがわかります。



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)

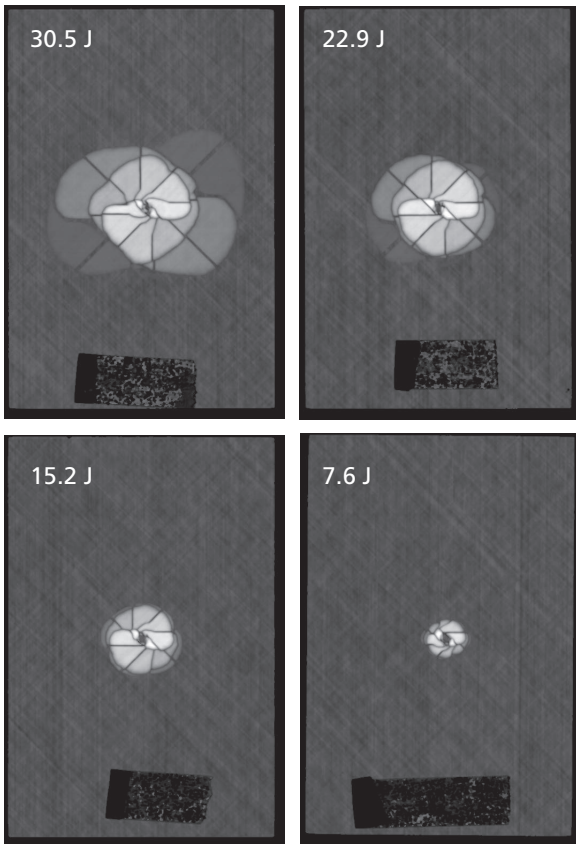


Fig. 4 各衝撃エネルギーに対する超音波探傷の結果
Results of Ultrasonic Flaw Detection

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。

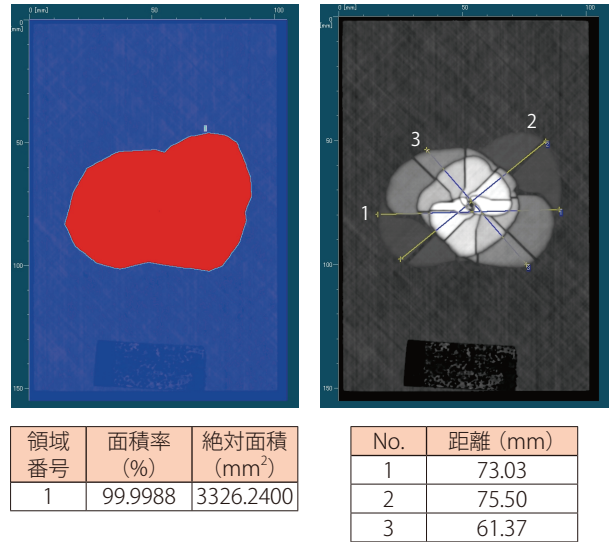


Fig. 5 損傷面積と最大径の一例
Image of Damaged Area and Maximum Length

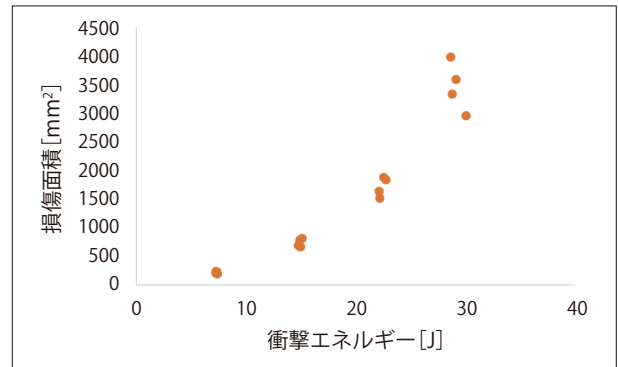


Fig. 6 衝撃エネルギーに対する損傷面積
Relationship between Damage Area and Impact Energy

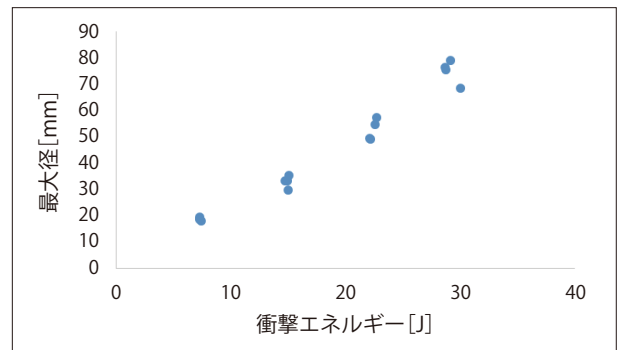


Fig. 7 衝撃エネルギーに対する最大径
Relationship between Maximum Length and Impact Energy

■ 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 Table 3 に示します。Fig. 9 に試験の様子を、Table 4 に使用した試験装置を示します。

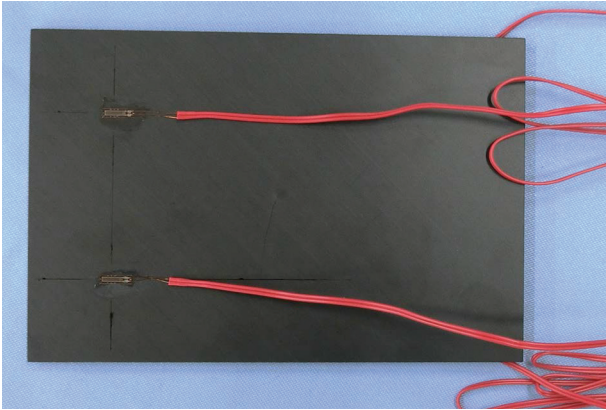


Fig. 8 試験片
Specimen

Table 3 試験条件
Test Condition

試験速度	: 1.25 mm/min
試験数	: n = 4

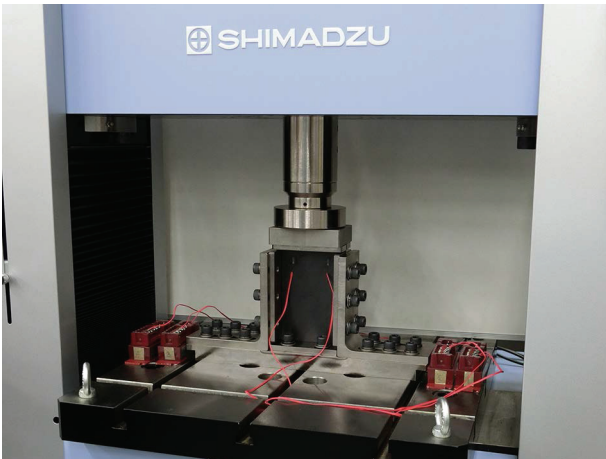


Fig. 9 試験の様子
Over View

Table 4 試験装置
Experimental Equipment

試験機	: AG-Xplus
ロードセル	: 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。

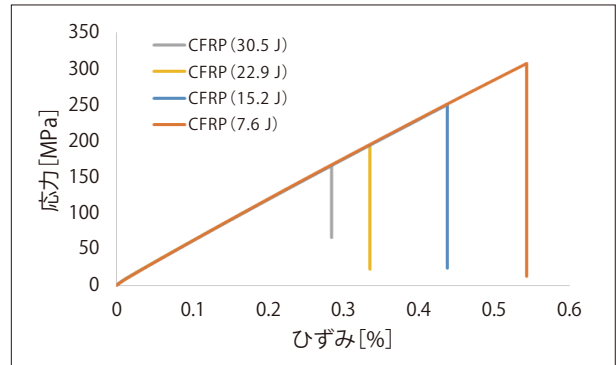


Fig. 10 応力 - ひずみ線図
Stress-Strain Curve

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のがわかります。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。

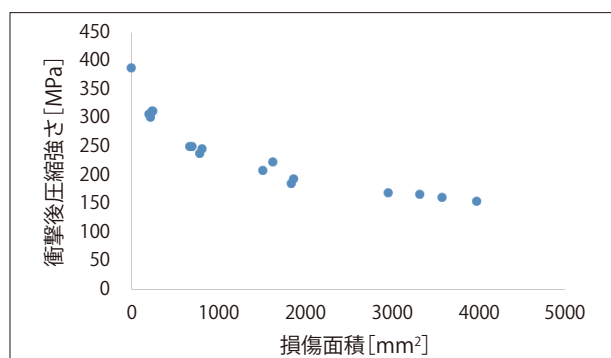


Fig. 11 損傷面積と衝撃後圧縮強さの関係
Relationship between Damage Area and Strength

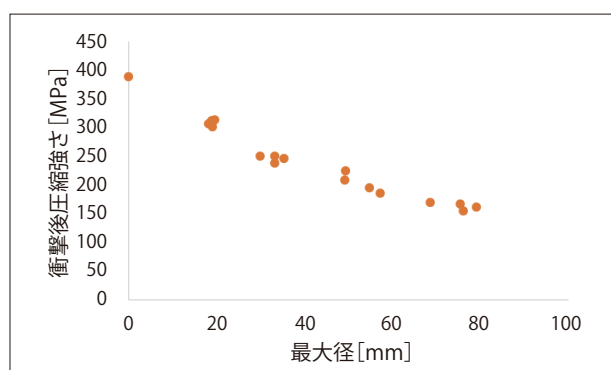


Fig. 12 最大径と衝撃後圧縮強さの関係
Relationship between Maximum Length and Strength

■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。