

成果報告5

「CFRP積層板の衝撃損傷評価における  
 $\mu$ フォーカスX線CT技術の活用」

鈴木 浩治, 斉藤 博嗣, 金原 勲

平成28年 2月24日

研究背景

2/15

- エネルギー, 航空宇宙・運輸関連分野などにおいて, 近年, 炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の使用量が増えており, その信頼性や安全性の要求が強まっている.
- したがって, その多形態な損傷の非破壊観察および発生・進展メカニズムの解明をマルチスケールな視点から丹念におこなっていくことが, 今後ますます重要となる.
- 特に実測とシミュレーションを組み合わせでの, 簡便な損傷検出・非破壊検査技術の提案は価値ある試みであると考えられる.

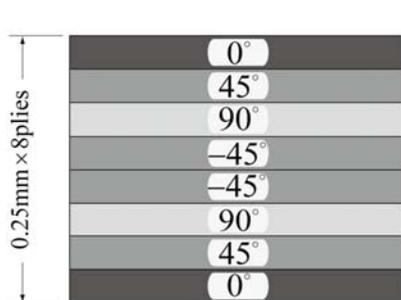
## 研究目的

- 落錘衝撃損傷の導入されたCFRP積層板および層間に柔軟シートを挿入した制振／耐衝撃損傷型CFRP積層板のマイクロフォーカスX線CT撮像を取得する.
- CT画像解析により内部損傷状態を定量化する何らかの測定量を提案する.
- さらにCT撮像からイメージベースFEMメッシュを生成し, 固有振動モード解析を実施して, 損傷CFRP積層材の損傷量指標たりうる力学的特性について検討を試みる.

## 供試体(基本&柔軟シート)の寸法・積層構成

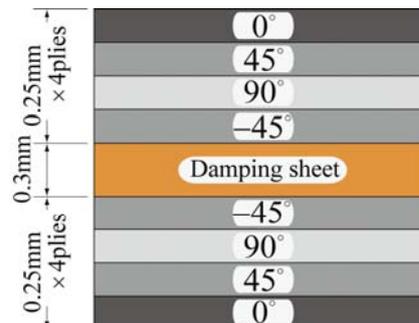
供試体寸法:  $150 \times 150$  [mm<sup>2</sup>], 厚さ: 約 2~2.3 [mm]

8層対称積層(擬似等方), 粘弾性ダンピングシート(PIEZON, 0.3mm)



$[0/45/90/-45]_s$   
QIS

CFRP積層板



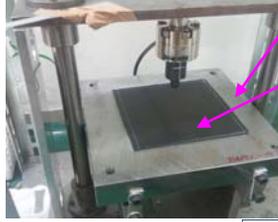
$[0/45/90/-45][D][-45/90/45/0]$   
QIS+D

制振／耐衝撃CFRP積層板

# 落錘衝撃試験

5/15

支持台 (SS400,  $t = 50\text{mm}$ , 中央に $\phi 76.2\text{mm}$ の円孔)



## 落下高さ

$h_0 = 100\text{ mm}$  (4.26J, 1.40m/s)

$h_0 = 200\text{ mm}$  (8.53J, 1.98m/s)

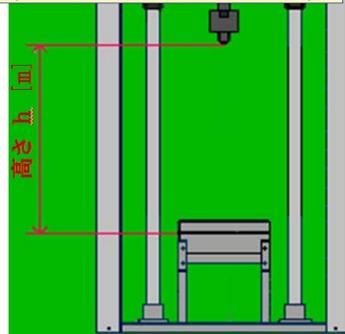
$h_0 = 300\text{ mm}$  (12.8J, 2.43m/s)

・ロ  
・動  
サ

・ストライカ (ASTM D3763)  
SNC631 (ニッケルクロム鋼)  
先端部直径: 12.7mm  
打撃部総質量: 4.346kg

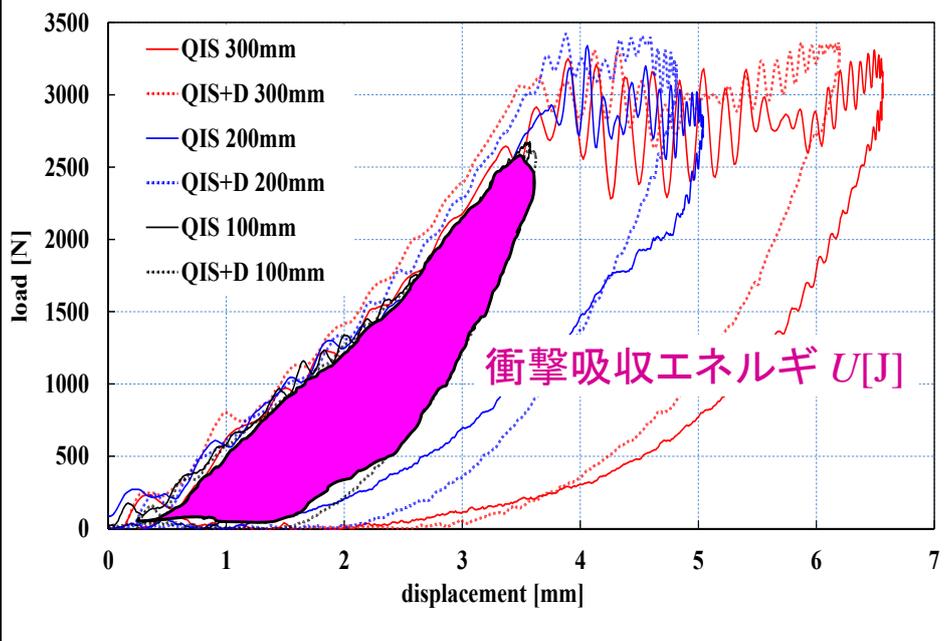
ハイスピード動画トラッキング印  
⇒ ストライカ位置・速度の時刻歴

試験片衝撃部の  
荷重-荷重点変位線図



# 試験片衝撃部の荷重-変位線図

6/15



## 損傷量としての $\Delta S$ [mm<sup>2</sup>] の定義

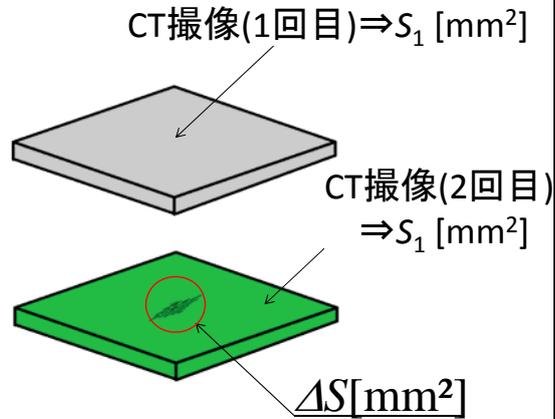
損傷前試験片表面積  
 $S_1$  [mm<sup>2</sup>]

損傷後試験片表面積  
 $S_2$  [mm<sup>2</sup>]

**損傷表面積**

$\Delta S$  [mm<sup>2</sup>]

$\Delta S = S_1 - S_2$



表面積増加量 $\Delta S$ と衝撃吸収エネルギー $U$  [J]に何か関係がないだろうか。

## X線CT撮像とその画像解析

### 損傷量(損傷表面積 $\Delta S$ )評価

マイクログラフX線CT撮像条件

QIS 100mm /  $U = 1.80$ J

QIS 200mm /  $U = 4.97$ J

QIS 300mm /  $U = 9.50$ J



upper

lower

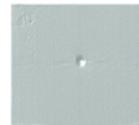
$\Delta S = 132$ mm<sup>2</sup>



upper

lower

$\Delta S = 238$ mm<sup>2</sup>



upper

lower

$\Delta S = 621$ mm<sup>2</sup>

QIS+D 100mm /  $U = 2.42$ J

QIS+D 200mm /  $U = 5.86$ J

QIS+D 300mm /  $U = 9.56$ J



upper

lower

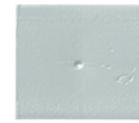
$\Delta S = 79$ mm<sup>2</sup>



upper

lower

$\Delta S = 109$ mm<sup>2</sup>

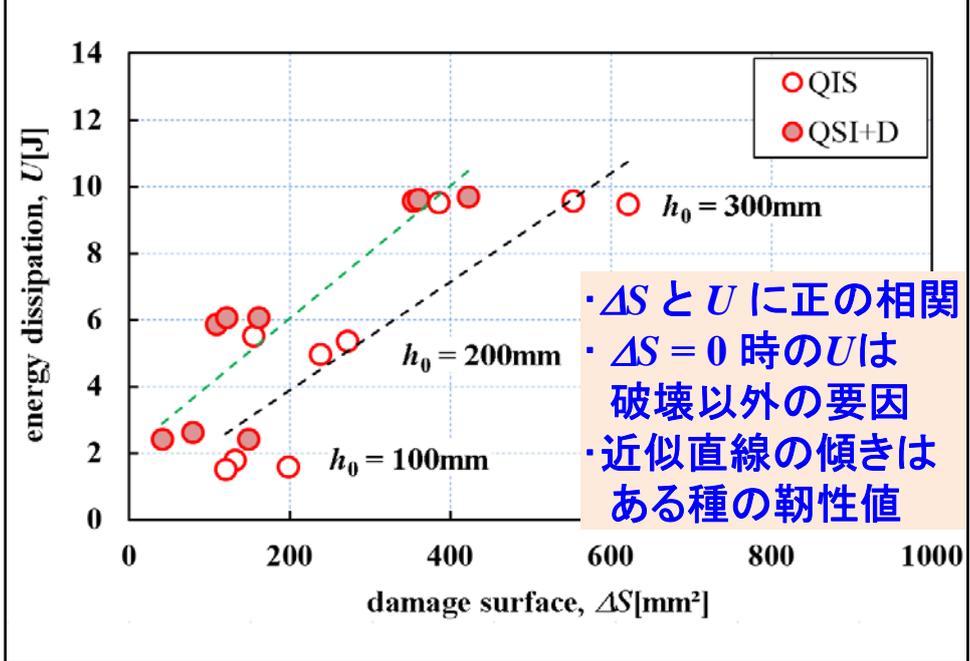


upper

lower

$\Delta S = 354$ mm<sup>2</sup>

### 損傷量(損傷表面積 $\Delta S$ )と吸収エネルギーとの関係 9/15



### CT撮像から生成: イメージベースFEMメッシュ 10/15

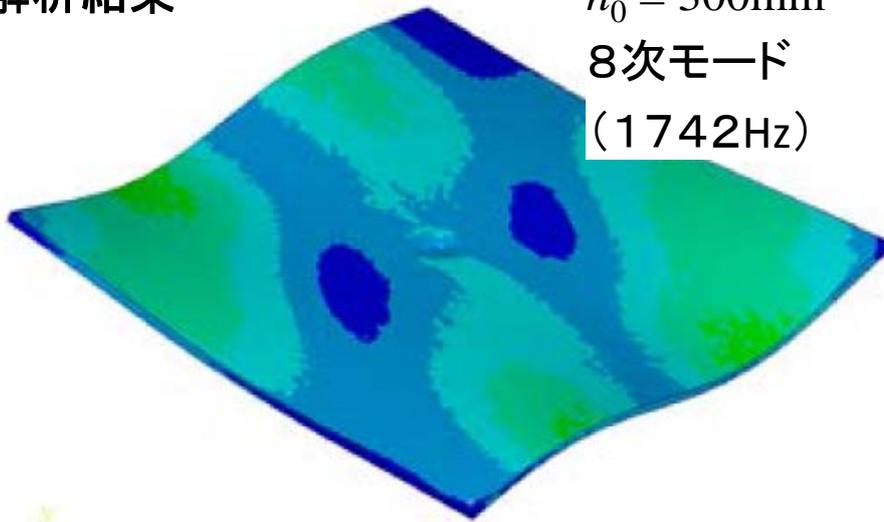
- CTボクセル (simpleware)  $\Rightarrow$  FEMメッシュ (ANSYS)
- 実固有振動モード解析 (ブロックランチョス法)
- シミュレーションから新たな損傷指標を検討

Material Properties		QSI	QSI+D
Young's Modulus [MPa]	$E_X$	46450	46463.3
	$E_Y$	46450	46463.3
	$E_Z$	13527.1	914.9
Poisson's Ratio	$\nu_{XY}$	-0.31452	0.31471
	$\nu_{YZ}$	0.20	0.23
	$\nu_{ZX}$	-0.05831	0.00511
Shear Modulus [MPa]	$G_{XY}$	17599.3	17595.7
	$G_{YZ}$	4049.3	198.2
	$G_{ZX}$		
Density [Ns <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup> ]	$\rho$	要素サイズ: 0.1mmオーダー 要素総数: 200000~300000	

## 解析結果

$h_0 = 300\text{mm}$  11/15

8次モード  
(1742Hz)

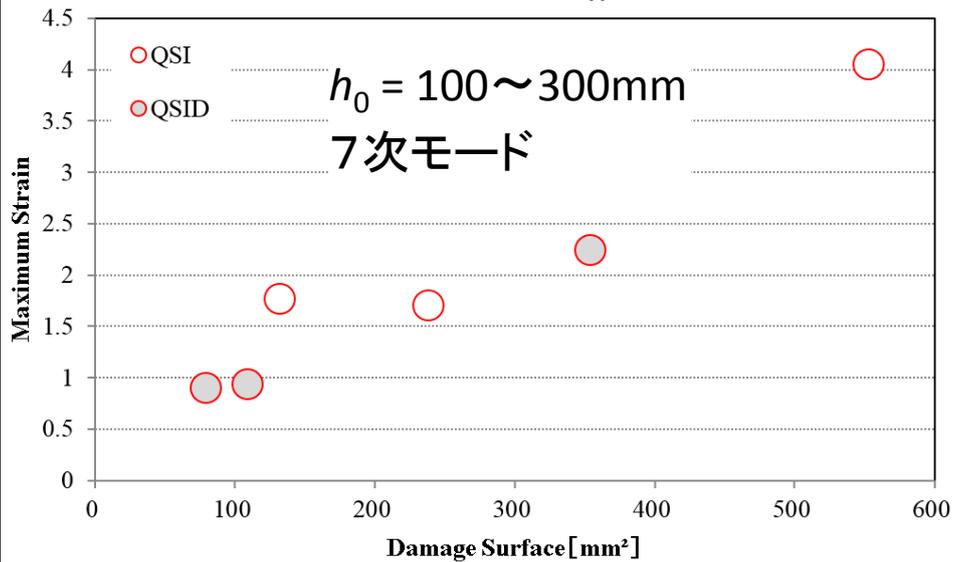


- モード最大ひずみ分布(直ひずみ成分のトータル値)
- ひずみ分布から中央部のデントが確認できる
- 損傷指標に採用できないか

## 解析結果

$h_0 = 300\text{mm}$  12/15

$h_0 = 100 \sim 300\text{mm}$   
7次モード



モード最大ひずみ分布と損傷量  $\Delta S$  とに正の相関

## 結 論

- 衝撃損傷の導入されたCFRP積層板および制振/耐衝撃損傷型CFRP積層板のマイクロフォーカスX線CT撮像を取得した。
- 損傷を示す量として「損傷表面積」を本研究にて提案し、衝撃吸収エネルギーとの間に正の相関が存在する可能性を示すことができた。
- CT撮像観察結果から直接生成したイメージベースFEMメッシュをもとにした損傷CFRP積層材の固有振動モード解析を実施し、モード形状変化(表面のモード最大ひずみ値)がある種の損傷指標となりうる可能性の一端を示すことができた。

## 今後の展開 継続試験

### 試験片

- ・材質  
CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic  
(三菱レーヨンパイロフィルプリプレグ)
- ・積層構成  
疑似等方  
[45/0/-45/90]<sub>n</sub> (層数: 32層)
- ・寸法  
150mm × 100mm × 4mm
- ・研究で使用する枚数  
3枚



図1 基本積層構成

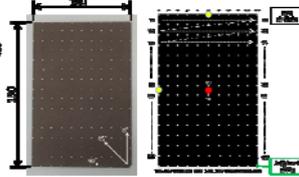
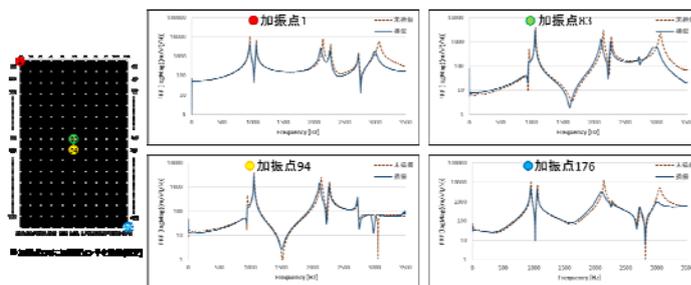
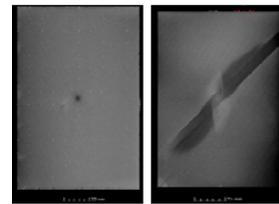


図2 試験片

図3 試験片モデル

### CT撮像



# 今後の展開 各損傷形態の影響

15/15

## マトリックスクラック

