

研究タイトル：

## 円孔を有する CFRP クロスプライ積層板の疲労破壊挙動

氏名： 清水 利弘 / SHIMIZU Toshihiro E-mail: shimizu@toyota-ct.ac.jp

職名： 教授 学位： 博士(工学)

所属学会・協会： 日本機械学会, 日本材料学会, 複合材料学会

キーワード： CFRP, クロスプライ積層板, 疲労損傷進展, 非破壊検査(走査型超音波顕微鏡)

技術相談

提供可能技術：

- ・CFRP 積層板の疲労試験技術
- ・FEMによる複合材料応力(ひずみ)解析技術
- ・SAMによる複合材料内部損傷観察技術
- ・SEMによるCFRP損傷表面観察技術



### 研究内容：

CFRP 積層板は、従来の金属材料に比べ比強度、比剛性に優れており、近年幅広い分野で、構造材料として応用されている。しかし、CFRP 積層板は面内異方性のある層を重ねて作製されるため、その疲労破壊挙動は非常に複雑な現象となる。また、積層板は構造材料として使用する際、他の部材とボルト締結されることがあるが、その際、円孔が存在することによる強度の低下が問題となる。本研究では、円孔を有する CFRP クロスプライ積層板を用いて二種類の積層構成をもつ試験片を作製し、疲労試験を行うことで、疲労破壊挙動に及ぼす負荷方向依存性を明らかにした。

実験に先立って試験片の応力解析を行った結果が図1である。この解析結果より、円孔内部に最も応力(引張応力)が大きくなる箇所が存在することがわかった。また、他の応力成分(せん断応力)の解析では、円孔内の付加方向に対して角度を持った壁面に最大となる解析結果が得られた。実験は電気油圧式疲労試験機を用いて行った。試験片に発生する損傷はレプリカ法と、光学顕微鏡による直接観察を併用して行った。実験中、変位計を用いて測定した変位より等価ひずみを計算し、その時の応力からエネルギー散逸を計算した。また、内部損傷は非破壊検査法として、走査型超音波顕微鏡(SAM)を用いて行った。実験および観察結果をもとに、損傷の進展の様子をモデル化したものが、図2である。図中の写真はレプリカ法を用いて損傷を顕微鏡観察したものである。

実験の結果より、同じクロスプライ積層板でも、積層構成の違いによって、損傷の進展挙動が異なり、表面に強い層を持ってきたほうが同じ材料でも、より安全に用いることができることが見いだされた。

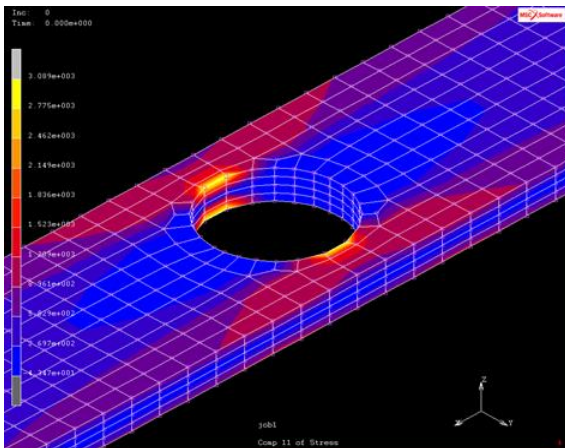


図1 荷重負荷を受ける円孔を有する CFRP 積層板内の応力解析結果

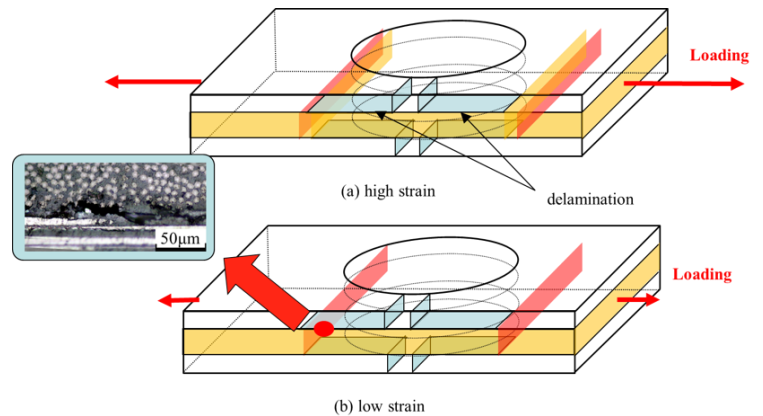


図2 疲労荷重負荷時の円孔を有する CFRP 積層板内の損傷進展状況

### 提供可能な設備・機器：

#### 名称・型番(メーカー)

電気油圧式疲労試験機(容量20KN 2基) 自作

電気油圧式疲労試験機(容量 250KN)サーボパルサー(島津製作所(株)製)

走査型電子顕微鏡(LaB6 電子銃)JSM6610(日本電子(株)製)

走査型超音波顕微鏡(SAM)USM-3((株)OLYMPUS 製)

# Fatigue Fracture Behavior in CFRP Cross-ply Laminate with a Hole



Name	SHIMIZU Toshihiro	E-mail	shimizu@toyota-ct.ac.jp
Status	Professor		
Affiliations	JSME (Japan Society of Mechanical Engineering), JSMS(Japan Society of Material Sciences),		
Keywords	CFRP, Fatigue damage evolution, Stacking sequence, Nondestructive estimation		
Technical Support Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fatigue testing and damage estimating technique for CFRP laminates</li> <li>• Nondestructive observation of damage zones in laminates</li> <li>• Calculation of stress and strain state in CFRP laminate with a hole using FEM analysis</li> </ul>		

## Research Contents

Fatigue fracture behavior in two types of laminate specimen ( $[0_4/90_8/0_4]$  : specimen A and  $[90_4/0_8/90_4]$  : specimen B) with a hole in the middle was investigated under cyclic tensile loading. Two parameters were examined and evaluated: an equivalent stiffness and a dissipated energy calculated from hysteresis loop area in one cycle loading. Fatigue damages of specimen surface and around a hole were observed using replicated method and a scanning acoustic microscope (SAM) respectively. Figure 1 shows the distribution of normal stress in longitudinal direction for specimen A which was calculated using MARC code. Four stages of fatigue damage process were recognized; (I) matrix cracks appeared around a hole and propagated in longitudinal and transverse directions, which led to steep reduction of the equivalent stiffness. (II) inter laminar delamination at  $0/90$  inter-ply occurred at the initiation sites of matrix cracks, and grew to the edge of the specimen. This brought on increasing area of hysteresis loop and reduction of stiffness. (III) inter laminar delamination took place fully in the transverse direction followed by further extension in the longitudinal direction. (IV) when the propagation of inter laminar delamination grew to the gage points of the displacement meter, fatigue loading was sustained by 0 degree layer, i.e., 0 degree fiber. Based on the observation using replicating method and SAM, the damage propagation process in specimen A is illustrated in Fig. 2.

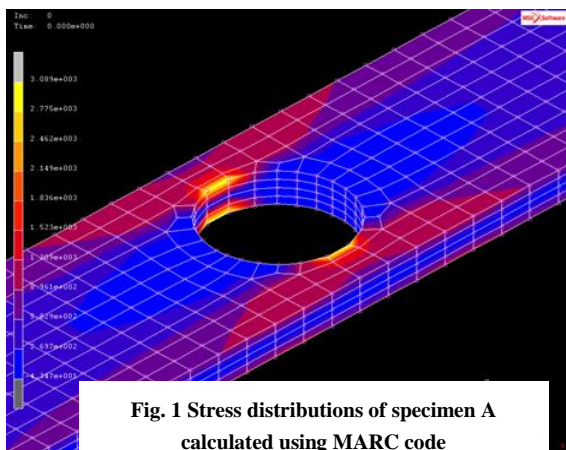


Fig. 1 Stress distributions of specimen A calculated using MARC code

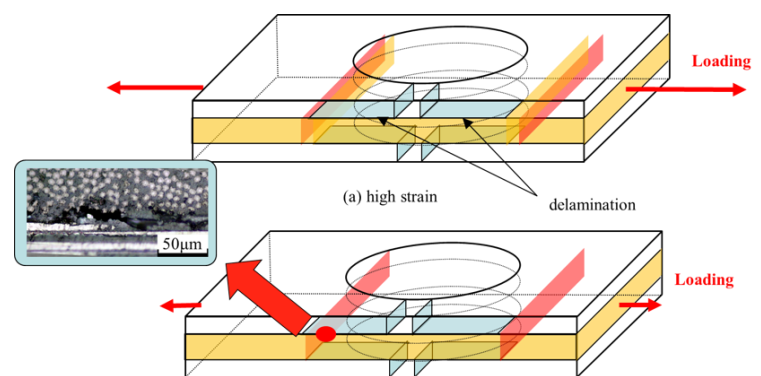


Fig. 2 Schematic illustration of damage propagate process of specimen A

## Available Facilities and Equipment

Electrohydraulic fatigue testing machine x2 (capacity 20kN), laboratory built	
Electrohydraulic fatigue testing machine (capacity 250kN), servo pulsar SHIMADZU company	
Scanning Electron Microscope with LaB6 Electric gun, JSM6610, JEOL company	
Scanning Acoustic Microscope, USM-3, OLYMPUS company	