

# セラミックス基複合材料の界面力学特性に及ぼす組織の影響

## Effect of Microstructure on Interfacial Mechanical Properties of Ceramic-Based Composites

梶原基幹<sup>1)</sup>

指導教員 加藤太郎<sup>1)</sup> 古井光明<sup>1)</sup> 関川貴洋<sup>2)</sup>

1) 東京工科大学 工学部 機械工学科 材料グリーンプロセス研究室

2) 東京工科大学 片柳研究所 セラミックス複合材料センター

セラミックス複合材料(CMC)の界面力学特性を評価する手法の1つとしてプッシュアウト試験を実施した。供試したCMCのSiC繊維とSiCマトリックスの界面におけるせん断滑り応力を簡易的に確率分布によるばらつきを整理し、中央値 $\tau$ は19.5Paを得ることができた。

キーワード：CMC，界面力学特性，プッシュアウト法

### 1. 緒言

セラミックス基複合材料(Ceramic Matrix Composites, 以下 CMC)は、セラミックスマトリックスをセラミックス繊維で強化することにより強度と靱性を併せ持つ材料である。CMCは航空機のエンジン材料として一部の民間航空機に搭載されている。つまりマトリックスと繊維の界面が剥離する特性は、エンジン材料としてのCMCの信頼性を保証するためには重要である<sup>[1]</sup>。

そこで本研究ではCMCの界面力学特性を評価するためにプッシュアウト法により繊維とマトリックスの界面に働く力学特性を明らかにすることを目的とする。

### 2. 実験方法

本実験で行ったプッシュアウト法の概要を図1に示す。プッシュアウト試験は、0.5mm程度の厚さにカットしたのちに0.2mm程度まで薄く研磨したCMCを使い、繊維1本に対して荷重を加えて繊維を剥離させ、界面で滑る時の荷重を計測する方法である<sup>[2]</sup>。CMCの材料信頼性を確保するためには繊維とマトリックスの界面で剥離し、繊維の滑りを付与する必要がある。そのため図2に示すような繊維の周りにBN層とバリア層が施された構造となっている。

今回の実験では、図2のような構造になっているCMCを微小硬度計にセットし負荷除荷を行うことで荷重-変位曲線のグラフを得る。得たグラフから繊維が剥離した時の荷重を求め、せん断滑り応力を計算することが出来る。その後、試験した繊維をSEMで観察することでCMCの界面における剥離部の長さ計測する。

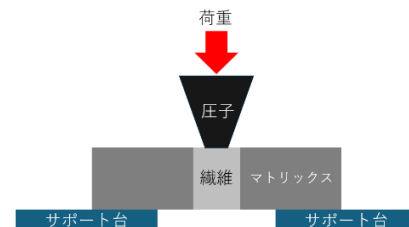


図1 プッシュアウト法の概要

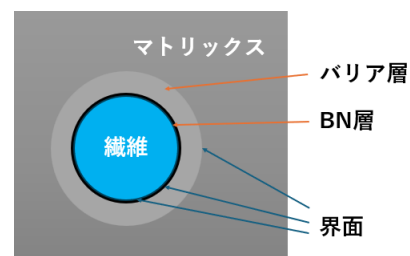


図2 繊維のコーティング層

### 3. 実験結果

本実験では、学内で作られたCMCを用いてプッ

シュアアウト試験を行った。コーティング層の厚さは、BN層、バリア層いずれも1 $\mu\text{m}$ であった。

プッシュアウト試験によって得られる代表的な荷重-変位曲線を図3に示す。このときの横軸は変位、縦軸は圧子が繊維にかけた荷重である。図3からの傾きから約50 mNの荷重で繊維の剥離が開始され、約200 mNの荷重で剥離したと考えられる。

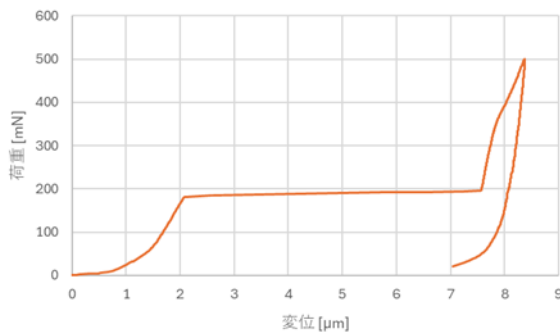


図3 荷重—変位曲線

次に図4に繊維が滑った後の概略図を示す。繊維が滑った時の応力はせん断滑り応力 $\tau$ として表され、繊維にかかった荷重 $F$ 、剥離部の直径 $d$ 、試験片の厚さ $h$ により式(1)で算出できる。

$$\tau = \frac{F}{\pi dh} \quad (1)$$

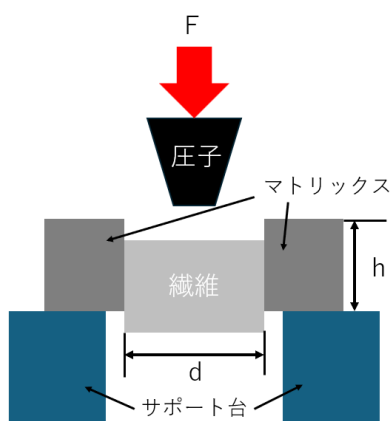


図4 繊維が滑った後の概略図

プッシュアウト試験は、繊維100本に対して実

施したが、剥離して滑った繊維は49本であり、せん断滑り応力は図5のようになった。累積確率 $P$ は、データを昇順に並べそのデータを上からの数えた時の番号を $i$ 、全体のデータの個数を $N$ とし式(1)で計算した。

$$P = \frac{i}{N} \quad (2)$$

図5より曲線部分になっている箇所があることから繊維のコーティングのばらつきやボイドなどによりせん断滑り応力にばらつきがあると考えられる。また、中間値は19.52 MPaとなった。

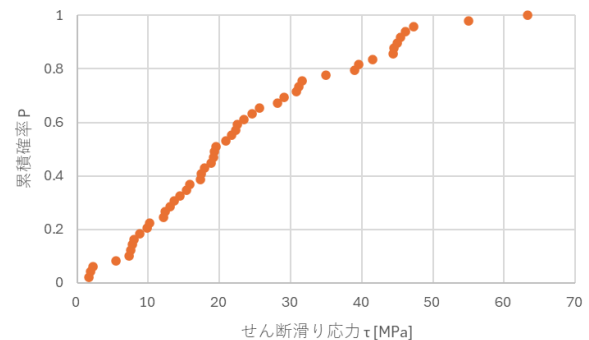


図5 せん断滑り応力と累積確率

#### 4. 結言

本研究では100回プッシュアウト試験を行った。試験結果から繊維が剥離するときの挙動を明らかにした。図5から繊維のコーティングのばらつきやボイドなどがあるため、許容範囲の選定などが必要だと考えられる。

今後は、引張試験の試験片と同じCMCを用いてプッシュアウト試験を行い、材料強度と界面特性の関係を調査していく。

#### 参考文献

- [1] 香川豊, 七丈直弘: あたりあ, 第58巻, 第7号, 2019, p.376-381
- [2] 香川豊, 日本複合材料学会誌, 第21巻, 第1号, 1995, p.2-7