

セラミックス基複合材料の界面力学特性の評価

Evaluation of Ceramic Matrix Composites Interface Properties

小谷野海里¹⁾

指導教員 加藤太朗¹⁾ 古井光明¹⁾ 田中義久²⁾

1) 東京工科大学 工学部 機械工学科

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

キーワード：CMC, 界面力学特性, プッシュイン法

1. 緒言

セラミックス基複合材料(CMC)は軽量であり、かつ高耐熱性という性質を持っている。その中の炭化ケイ素を繊維とマトリックスの両方に用いた CMC は航空機のエンジンの材料として一部の世界トップメーカーが民間航空機に搭載した^[1]。特性を保証する重要な技術として界面特性がある。ここでは、界面の力学特性を評価する手法を検討した。そのひとつとして、サンプルを薄く加工し繊維を押し抜くプッシュアウト法がある^[2]。この方法は試験片作成や押し込み技術でばらつきが生じることが課題である。そのため、繊維やボイドの分布、繊維の直径や界面反応などの影響を定量的に評価することが難しい。

そこで、本研究では繊維を定量的に評価することが可能だと考えられるプッシュイン法を用いて CMC における繊維と界面の剥離について検討した。

2. 方法

本実験で行ったプッシュイン法の概要を図 1 に示す。プッシュイン試験は樹脂に埋めた CMC の繊維に対して荷重を加え、荷重と繊維の押し込み量を計測する方法である。CMC の損傷許容性を確保するには界面で剥離し、滑る現象を付与する必要がある。そのために図 2 に示すような繊維の周りに BN 層及びセラミックスコーティングの複雑構造になっている。

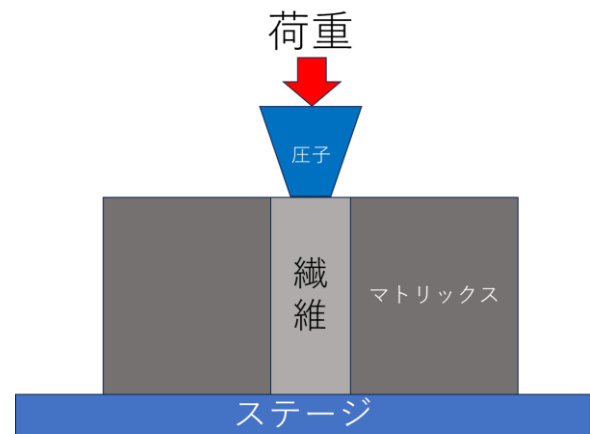


図 1 プッシュイン法の概要

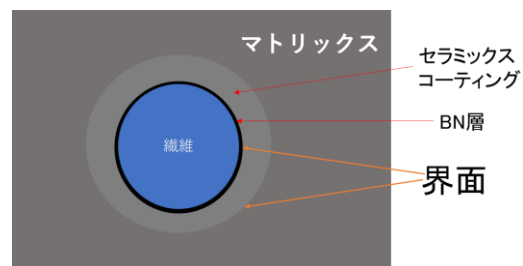


図 2 繊維のコーティング層

実際に試験するサンプルを顕微鏡で観察した様子を図 3 に示す。繊維の黒い輪郭が BN 層であり、その横にある繊維と同じような色をしている部分がセラミックスコーティングである。プッシュイン試験では繊維 1 本に対して繰り返し荷重をかけ、荷重-押し込み特性を得る。その後プッシュイン試験をした繊維を SEM で観察する。

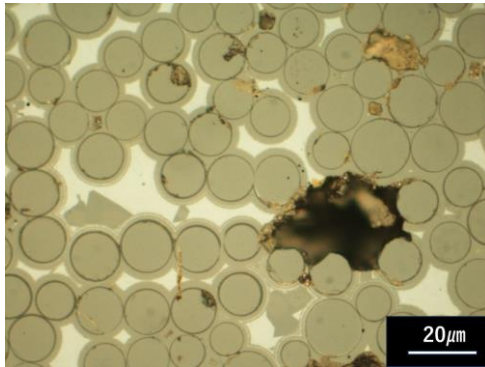


図 3 CMC のサンプル

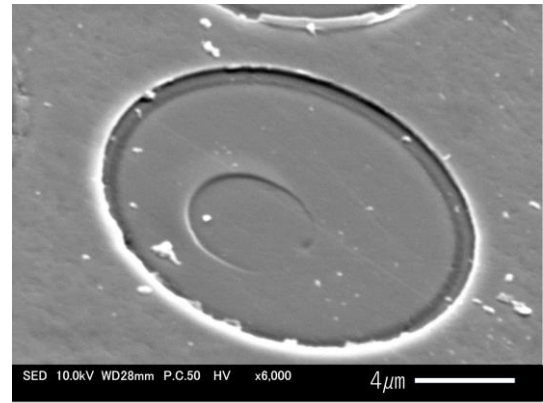


図 5 試験した繊維の観察

3. 実験結果

プッシュイン試験を行い図 4 のような荷重-押し込み特性を得た。横軸は繊維の押し込み量，縦軸は圧子が繊維にかけた荷重である。

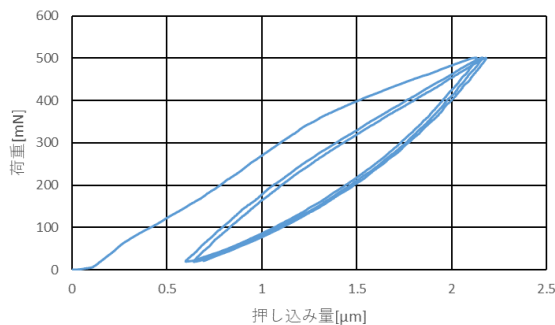


図 4 プッシュイン試験結果

図 4 のグラフの傾きの変化から荷重を加えた時の繊維の挙動について考察する。図 4 から約 350 mN の地点で傾きが小さくなっていることから約 350 mN の荷重で界面剥離が開始しており，約 350 mN の荷重から約 500 mN の荷重までが剥離しながら繊維が滑っていると考えられる。また，除荷することで圧縮応力が解放されて逆滑りが生じていると考えられる。また，図 4 の除荷をした後に繊維の深さが約 0.6 μm でありもう一度荷重をかけ除荷しても同じく深さが約 0.6 μm になっていることから，1 回目以降に負荷をかけた場合，繊維が完全に滑っていると考えられる。

次に図 5 は試験した後の繊維の様子である。実際に繊維がマトリックスから剥離し，押されている様子が確認できる。

図 5 の繊維を観察すると押された界面の内側にも層を確認することができたためセラミックスコーティングの界面で剥離し，繊維が滑っていると考えられる。

5. 結論

本研究では CMC のサンプルに対して，繰り返し荷重をかけプッシュイン試験を行った。試験結果から繊維に対して荷重をかけた際の繊維の挙動を知ることができた。しかし，図 3 を見るとポイドや白くなっているマトリックスは不均一に分布しており，それらの条件によって繊維に荷重をかけた時の挙動は異なると考えられるので多くの繊維に対しての試験が必要である。

今後は，多くの繊維に対して試験を行い，試験結果から得られる数値から算出されるデータをもとに評価を行っていく予定である。

参考文献

- [1] Zhongkan Ren, Gurpreet Singh, "Ceramic matrix composites taking flight at GE Aviation", AMERICAN CERAMIC SOCIETY bulletin, (2019), P. 34
- [2] 香川豊, 『複合材料の界面力学と界面特性評価・解析-I』, 日本複合材料学会誌, (1995), P. 4-5