T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	クラスタリングを用いた湾曲繊維CFRPの最適繊維配向モデルの探索手法の提案
Title(English)	Proposal of the search method by clustering for the optimized fiber orientation model representing curved fiber CFRP
著者(和文)	中村 俊, 鈴木 良郎, 轟 章, 水谷義弘
Authors(English)	Shun Nakamura, Yoshiro Suzuki, Akira TODOROKI, Yoshihiro MIZUTANI
出典(和文)	計算力学講演会講演論文集, , ,
Citation(English)	The Computational Mechanics Conference, , ,
発行日 / Pub. date	2018, 11

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

105

クラスタリングを用いた湾曲繊維 CFRP の最適繊維配向モデルの探索手法の提案

Proposal of the search method by clustering for the optimized fiber orientation model representing curved fiber CFRP

○学　中村　俊[*1],
鈴木　良郎[*1], 轟　章[*1]，水谷義弘[*1]
Shun NAKAMURA[*1],
Yoshiro SUZUKI[*1], Akira TODOROKI[*1], Yoshihiro MIZUTANI[*1]
[*1] 東京工業大学工学院　Tokyo Institute of Technology

In recent years, 3D-printed Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) composites is receiving a lot of attention in additive manufacturing field. This method can make CFRP composites containing curved fiber by 3D printer[1]. In order to apply it to mechanical structure, it is important to reveal mechanical properties of 3D-printed CFRP composites. In this study, we conduct modal and buckling analysis by FEM in a lot of plate models containing curved fiber and investigate the similarity of mapping data in 2-dimensional data by the statistical method with results obtained from buckling and modal analysis. Specifically, we reduced data such as buckling loads and natural frequencies onto 2-dimensional features by machine learning algorithm and it is mapped by clustering on 2-dimensional plane. It demonstrates we can explore the model having desired properties when we design the curved fiber CFRP composites plate by considering the relation between the mapping visualization and each model.

Key Words : CFRP, optimization, clustering, 3D printer, structure design, unsupervised learning

1. 緒　　言

炭素繊維複合材料（Carbon Fiber Reinforced Plastic，以下 CFRP）は比強度，比剛性に優れているため，航空機や宇宙機などの構造設計に使用される．CFRP を構造物に適用する際，その特性から航空機のボディなどの薄肉構造に適用されることが多い．

さらに，その適用拡大に伴い，近年 3D プリント CFRP が注目されている[1]．3D プリント CFRP は熟練者によって作製されるプリプレグ積層板よりも製品のばらつき抑制が可能な点や，設計形状の自由度の多さなどがメリットとして挙げられ，その特性を生かした活用が目立っている．3D プリント CFRP により，従来の一方向プリプレグ積層板と異なる繊維配向を有する CFRP を作製することが可能になった．そして，その適用拡大のためにも 3D プリント CFRP の機械特性の解明は必須である．

本研究では，3D プリント CFRP の機械特性の解明を目的として，それを模擬した湾曲繊維を有する CFRP 平板モデルを対象とした FEM の線形座屈解析とモーダル解析を実施し，得られる結果に対して統計的手法を用いて類似性の調査を行う．座屈特性と振動特性を表す特徴を機械学習により 2 次元情報に削減し，その後クラスタリングを用いて 2 次元平面にマッピングする．そして，マッピング結果と各モデルの繊維配向の関連を考察することで，このような統計的探索手法が湾曲繊維 CFRP 平板モデルの最適繊維配向の探索に適用可能であることを示す．

2. 手法

2・1 データの作成方法

本研究で使用するデータは完全流体の流線を炭素繊維配置とみなす．完全流体の流線は流れ関数により描画され，湧き出し点，吸い込み点，渦糸などの流体要素の強さ，配置条件によって流れ関数は決定される．また完全流体の流線は流体場中で無数に描画することが可能であり，全ての領域にて流線より炭素繊維方向を決定することが可能である．そして，流線の方向に表 1 で示す物性値を有限要素法モデル内の各要素に割り当てることで，連続的な炭素繊維配置をすることで湾曲繊維 CFRP 平板モデルを作成する[2]．モデルの特徴を統計的に探索するために多くの異なる繊維配向モデルを作成する必要がある．本研究ではラテン超方格法によりランダムに湧き出し点と吸い込み点を変更し流線を描くことで 400 個のモデルを作成する．

Table 1 Mechanical properties of the CFRP [2]

Modulus of elasticity in fiber direction	134GPa
Modulus of elasticity in transverse to fiber direction	8.62GPa
Modulus of elasticity in out of plane direction	8.20GPa
In plane share modulus	4.68GPa
Out of plane shear modulus in fiber direction	3.78GPa
Out of plane shear modulus in transverse to fiber direction	2.36GPa
In plane Poisson’s ratio	0.338
Out of plane Poisson’s ratio in fiber direction	0.318
Out of plane Poisson’s ratio in transverse to fiber direction	0.571

2・2　FEM による線形座屈解析とモーダル解析

2.1 で説明した方法により湾曲繊維 CFRP 平板モデルの作成後,FEM により線形座屈解析とモーダル解析を行う．FEM は ANSYS APDL18.2 を用いて実施する．各解析条件を表 2 に示す．

Table 2 Analysis conditions of both linear buckling analysis and modal analysis

	Linear buckling analysis	Modal analysis
Element type	Shell (8-node secondary element)	Shell (8 8-node secondary element)
Element number	2500	2500
Model size	100×100×3[mm]	100×100×3[mm]
Boundary condition	Fixed on all edges	Fixed on all edges
Mode number	1～6	1～6

2・3 線形座屈解析とモーダル解析結果から使用する特徴

本研究では線形座屈解析，モーダル解析とも 6 次モードまで解析を実施する．各モデルから得られる 1～6 次の座屈荷重と固有振動数に加え，1～6 次までの座屈荷重値と固有振動数の平均と標準偏差も特徴として使用する．すなわち各モデルに対して，1～6 次モードまでの座屈荷重値 or 固有振動数＋平均値＋標準偏差の計 8 つの値を特徴として使用する．

2・4　次元削減手法およびクラスタリング手法

次元削減手法には t-SNE[3]を用いる．これは次元削減後のデータ分布が自由度 1 の t 分布に従うと仮定し，圧縮前と圧縮後の分布をなるべく近くするために KL 情報量を最小化するように損失関数を設定する．そして，この損失関数が最小になるような y_i を求め，それを圧縮後のデータ点とする．次元削減前のデータ x_i から見た x_j の近さを P_{ji}，次元削減後のデータ y_i と y_j の近さを q_{ji}，とすると t-SNE により最小化する損失関数 C は以下で表現される．クラスタリングには k-means のアルゴリズムを用いる．t-SNE, k-means どちらも python の機械学習ライブラリ scikit-learn を用いて実施する．

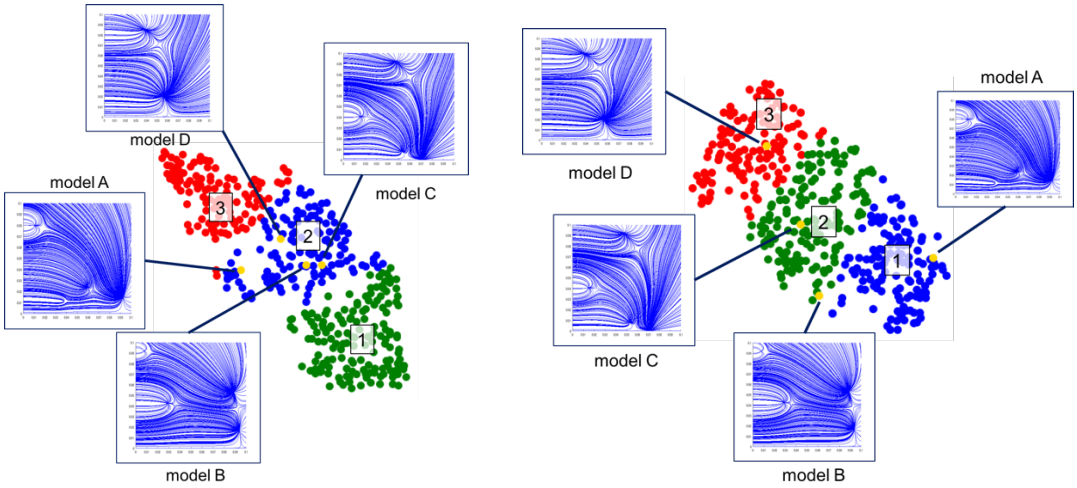
$$\boldsymbol{C} = \sum_i \sum_j \boldsymbol{P_{ij}} \log \frac{\boldsymbol{P_{ij}}}{\boldsymbol{q_{ij}}} \tag{1}$$

3.　解析結果及び考察

3・1　線形座屈解析およびモーダル解析により得られる特徴のマッピング

図 1 に t-SNE による 2 次元平面マッピングの結果を示す．(a)は線形座屈解析結果に基づいてクラスタリングした結果，(b)はモーダル解析結果に基づいてクラスタリングした結果である．クラスター数は 3 であり，それぞれ赤，青，緑の色で示している．クラスター数はエルボー法[4]を用いて決定した．図 1 には各クラスター1,2,3 における繊維配向の傾向を確認するため，4 つの CFRP モデル A～D における繊維配向も表示している．モーダル解析に基づいてクラスタリングをした(b)では繊維配向の類似度がデータ間距離と相関があるのが確認できる．モデル B と C は距離も近く繊維配置も似ているが、モデル A と D は距離が遠く繊維配置も大きく異なる．

(a)，(b)のマッピング結果から下記のことがいえる．モデル A, C, D(または A, B, D)は，モーダル解析から得られる特徴によるクラスタリングでは別クラスターに位置しているが，座屈解析から得られる特徴によるクラスタリングでは同クラスター内に位置している．このことは，高次の座屈荷重値や固有振動値まで考慮して平板モデルを設計する際に，振動特性と座屈特性には相関がないことを示している．相関がないことを利用すれば，座屈特性を大きく変えずに振動特性を変えるような繊維配向のデザインを探索できることが示唆される．例えば，図 1(a)にて同クラスターに含まれているモデル A, C, D は座屈特性が似ている可能性が高い．一方，図 1(b)では A, C, D は別のクラスターに含まれているため，振動特性は異なる可能性が高い．



(a)　　(b)

Fig.1 (a) Three clusters and curved fiber layouts in four representative CFRP models used in the linear buckling analysis, and (b) Clusters and fiber layouts in four representative CFRP models used in the modal analysis.

3・2　線形座屈解析およびモーダル解析により得られる特徴のマッピング

3.1 でモデル間において座屈特性と振動特性に相関がないことが確認できた．しかし，マッピング結果だけでは任意の点の繊維配向や機械特性が不明である．そのため所望の特性を持つモデル（繊維配向のデザイン）に変更するためには，変更前および変更後のモデルの相対的な特性の差を確認する必要がある．このため，変更基準となる特性（例として，1 次の座屈荷重と固有振動数）により色付けをし，それとクラスタリング結果を比較する．図 2(a)～(d)にそれぞれ，座屈特性に基づくクラスタリング結果，1 次の座屈荷重，振動特性に基づくクラスタリング結果，1 次の固有振動数に色付けした結果を示す．なお(b)の座屈荷重，(d)の固有振動数は青色から黄色に近づくにつれ大きくなるように色付けする．

例えば座屈特性は変更せずに相対的にモデル A よりも大きい固有振動数を有するモデルに変更したい場合，モーダル解析のクラスタリング結果と比較することで，図 2 の(d)から，モデル C やモデル D に繊維配向を選定すれば良いことがわかる．これは高次モードまでの特性や各モードにおけるばらつきを加味した特性を考慮した湾曲繊維 CFRP 平板モデルを探索する場合において，有用であるといえる．

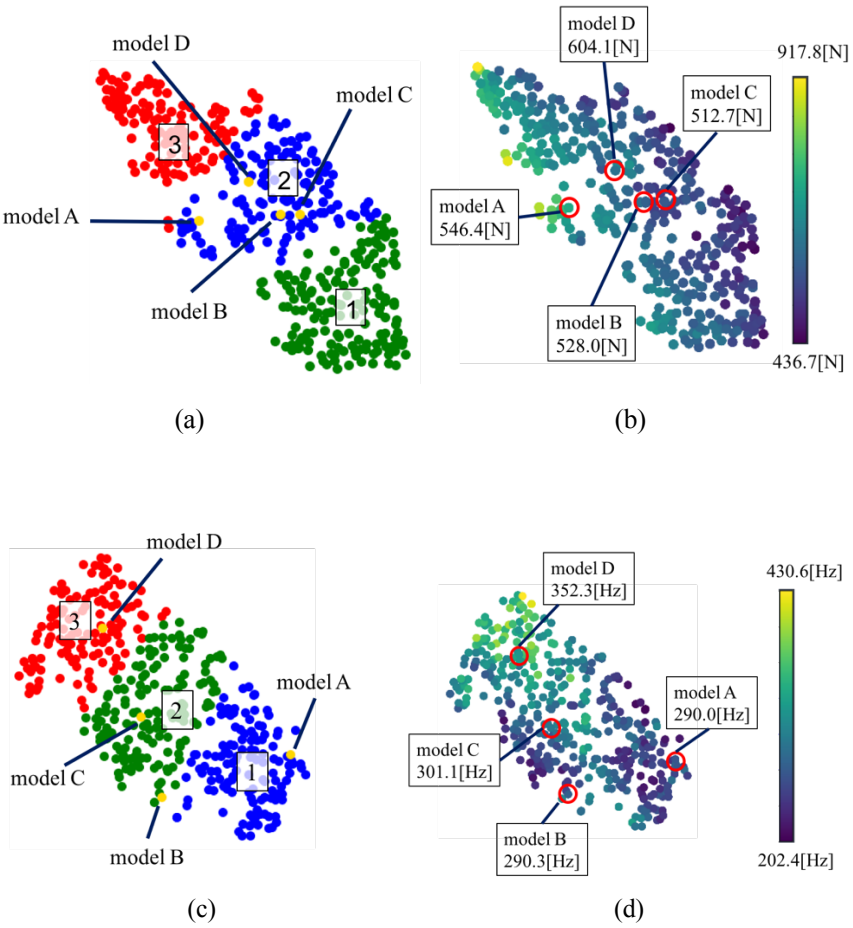


Fig.2 (a) Clusters based on the results of the linear buckling analysis, (b) buckling load in the t-SNE pattern, (c) Clusters in the modal analysis, (d) natural frequency in the t-SNE pattern.

4. 結言および今後の予定

本研究では機械特性に対して統計的手法を用いることで，3D プリント CFRP を模擬した異なる湾曲繊維 CFRP 平板モデルの類似性を考察した．これにより湾曲繊維 CFRP 平板の設計時に所望の特性を有するモデルの探索ができる可能性を示した．しかし，適切な機械特性の特徴選択によりマッピング結果が変わることや次元削減手法によりマッピング結果が変わることが問題として挙げられ，両者において最適なものを選択する手法の確立が必要である．さらに本研究では完全流体の流線の方向に物性値を割り当てることでランダムにモデルを作成したが，ある特性や基準値に対して最適化された繊維配向をもつ CFRP 平板モデルに対しても適用の可否を調査する．

文　　献

(1) Li, Tiantian, and Lifeng Wang., “Bending Behavior of Sandwich Composite Structures with Tunable 3D-Printed Core Materials.”, *Composite Structures* , Vol.175, (2018), pp. 46–57.

(2) Yamanaka, Y., Todoroki, A., Ueda, M., Hirano, Y., & Matsuzaki, R., “Fiber Line Optimization in Single Ply for 3D Printed Composites.”, *Open Journal of Composite Materials*, Vol.6, (2016), pp.121–131.

(3) Van Der Maaten, L. J. P., & Hinton, G. E., “Visualizing high-dimensional data using t-sne”, *Journal of Machine Learning Research*,Vol.9, (2008), pp. 2579–2605.

(4) Kodinariya, T. M., & Makwana, P. R., “Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering”, *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, Vol.1, No.6 (2013), pp.90-95.