



CFRPの繊維方向圧縮強度の計算法

材料力学、生産工学、設計工学
およびその関連分野

研究者所属・職名 : 理工学部機械工学科・教授

ふりがな うえだ まさひと

氏名 : 上田 政人

主な採択課題 :

- [基盤研究\(C\)「マイクロスケールの繊維揺らぎに起因する一方向CFRPのキンクバンド破壊起点の解明」\(2020-2022\)](#)
- [若手研究\(B\)「X線CTによる一方向CFRPの圧縮破壊メカニズムの解明と圧縮破壊シミュレーション」\(2014-2016\)](#)

分野 : 複合材料、破壊

キーワード : CFRP (炭素繊維強化プラスチック)、圧縮強度、キンクバンド、ばらつき

課題

● 研究の背景・目的

CFRPは直径5 μ m程度の炭素繊維でプラスチックを補強した複合材料であり、軽量かつ高剛性・高強度な構造材料として知られている。炭素繊維が高い引張荷重を支持するため、上記の“高強度”はこの引張の条件下による。一方で、圧縮荷重では炭素繊維の折れ曲がりが生じることから強度が低く(図1)、航空機構造に用いられるCFRPの圧縮強度は引張強度の約半分となっている。圧縮破壊メカニズムを明らかにして圧縮強度の高いCFRPを作り出すことができれば、輸送機器の軽量化に寄与して省エネルギー化を実現する。

● 研究手法

CFRPの内部で炭素繊維が真直に配列していれば、炭素繊維の特性が十分に発揮されて高い圧縮強度となる。しかし、実際には炭素繊維にはうねりが生じており(図2)、圧縮強度を低下させる要因となっている。本研究では、繊維うねりのばらつきも考慮に入れた圧縮破壊メカニズムの解明に取り組んだ。

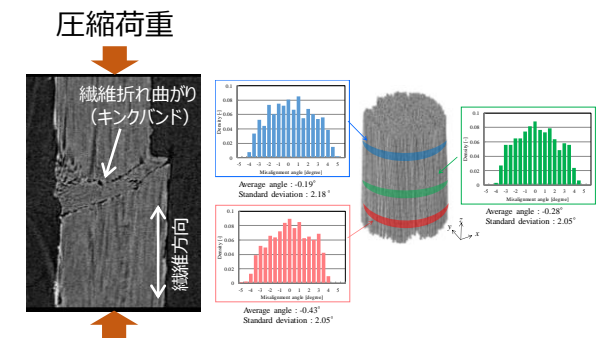


図1 圧縮破壊したCFRP (X線CT画像) 図2 CFRP内部の繊維うねり



CFRPの繊維方向圧縮強度の計算法

材料力学、生産工学、設計工学
およびその関連分野

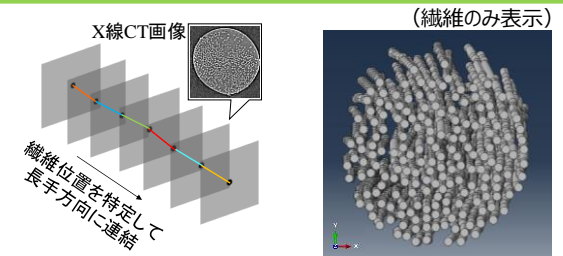
研究成果

●CFRPのデジタルツイン：繊維うねりのばらつきを考慮に入れた圧縮破壊の数値シミュレーション

X線コンピュータ断層撮影（CT）装置を用いて、CFRPの内部画像を取得した（図3a）。この画像において炭素繊維の位置を特定して、長手方向に連結することにより、それぞれの炭素繊維のうねりを再現した3次元モデルを構築した（図3b）。この炭素繊維の3次元モデルに母材となる樹脂を配置したCFRPのデジタルツインモデルを用いて、圧縮負荷を与える数値シミュレーションを実施した。この結果、実際のCFRP内部の繊維うねりを考慮に入れてCFRPの圧縮強度を予測できることを示した。炭素繊維のうねり分布に依存して、母材樹脂が局所的に塑性変形し、炭素繊維を支持する効果が低下して荷重低下を導き、その後キンクバンド破壊するメカニズムが明らかとなった。

●圧縮強度の計算法

炭素繊維のうねりによる繊維初期不整角分布はCFRPの断面観察から取得できる。取得した繊維初期不整角分布を考慮に入れて、炭素繊維と母材樹脂の力学特性とから圧縮強度を予測する計算式を構築した。航空機構造に用いられるCFRPでは、一方向に炭素繊維を配列させていても繊維初期不整角は最大で $\pm 3^\circ$ 程度の範囲内で分布している。CFRPではこのばらつきによって圧縮強度が低下していることを定量的に明らかにした（図4）。



(a) 繊維うねりの特定 (b) 3次元モデル
図3 CFRPのデジタルツインモデル

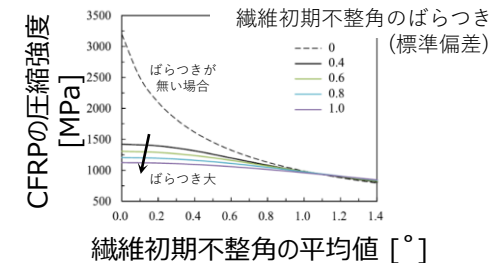


図4 ばらつきを考慮した圧縮強度の予測結果

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

CFRPの繊維方向圧縮における破壊メカニズムが明らかとなり、CFRPの圧縮強度を炭素繊維及び樹脂の特性と、繊維うねり分布とから定量的に求めることが可能になった。この結果に基づき、圧縮強度を効果的に向上させることができるパラメータ、改善してもあまり効果が無いパラメータが明らかとなった。今後は、本成果に基づき、圧縮強度にも優れるCFRPの材料開発が進むことが期待される。

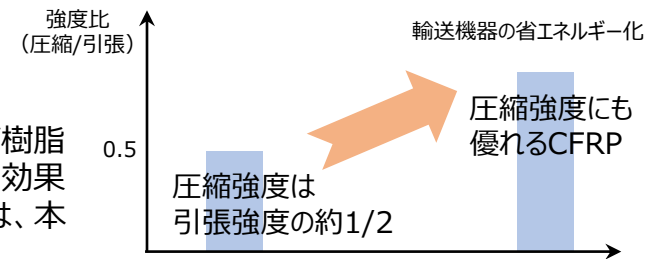


図5 圧縮強度に優れるCFRPの実現