



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

# サンドイッチシートの形状と成形工具の形状がCFRTPコアサンドイッチシートの成形性に及ぼす影響

東京大学工学系研究科 機械工学専攻 柳本研究室

Chair of Engineering Materials  
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo  
Jingwei Zhang and Prof. Dr.-Eng. Jun Yanagimoto



## 1. 研究の概要

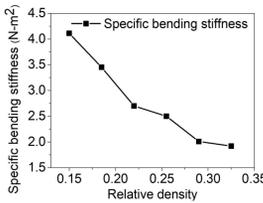
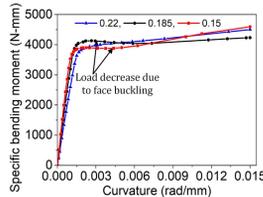
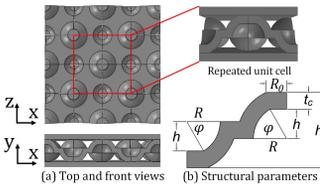
これまでの研究では、塑性加工可能なCFRTPコアサンドイッチシートは、サンドイッチ構造用途の範囲を広げ、軽量部品の使用を促進するように設計および製造された。しかし、成形性は成形プロセス中の面の座屈およびコアの剪断破壊によって制限される。CFRTPコアサンドイッチシートの成形性を改善するために、本研究は数値シミュレーションと理論計算による成形性に及ぼすサンドイッチシート形状と成形工具形状の影響を探究する。成形可能なサンドイッチシートの設計マップを提案し、実験によって検証した。

## 2. 構造パラメータの最適化

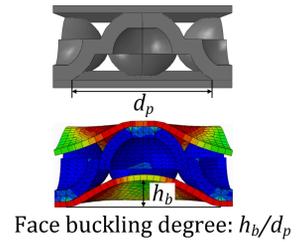
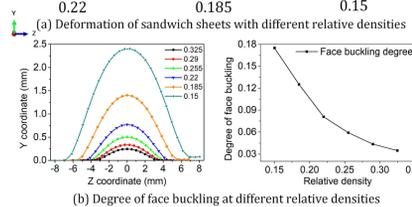
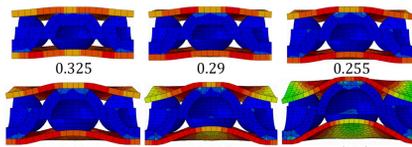
### 2.1 材料と構造

コア構造を製造するために使用されたCFRTPは、0.2の炭素繊維質量分率を有する短炭素繊維強化PA6複合シートであった。フェースシートとしては、厚さ0.5 mmのアルミニウム合金(A2017P)を用いた。

$$\text{相対密度 } \rho = \frac{t_c}{2\sqrt{R^2 - R_0^2} + t_c}$$



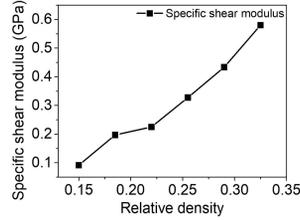
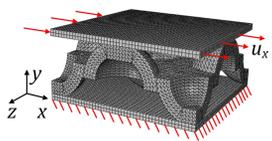
### 2.2 CAEによる座屈の評価



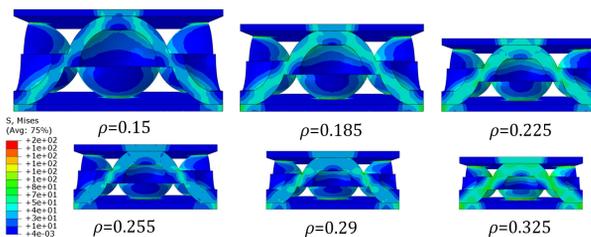
相対密度の上昇とともに、面の座屈度および比曲げ剛性は低下する。面の座屈により、相対密度が0.22より低いと曲げモーメントは減少する。

### 2.3 CAEによるせん断弾性率の評価

剪断弾性率は相対密度の上昇と共に増加する。



$$G_y = \left( \frac{dF_L}{du_L} \right) \frac{h_c}{D^2}$$



## 3. デザインマップの開発

Required core shear strength

$$\tau_c = 2t_f / h_c \left[ \sigma_c (\epsilon_c - \epsilon_c^*) + E_f (\epsilon_c^* + \epsilon_c^{**}) \right]$$

$$\epsilon_c = \ln \left[ 1 + \epsilon^* / (2 + \epsilon^*) \right]$$

$$\epsilon_c^* = \ln \left[ 1 - \epsilon^* / (2 + \epsilon^*) \right]$$

$$\epsilon^* = (2h_c + 2t_f) / (2R_f + t_f)$$

Core shear strength

$$\tau_c = \tau_f \times t_c \left[ 2R_0 + 2d\varphi \right] / (h_c * (2R + 2t_c))$$

$$\varphi = \arccos(R_0 / R)$$

$$\epsilon_c^{**} = \frac{1}{2 + \epsilon^*} \left[ \frac{\sigma_c^* \epsilon^*}{E_f} - \ln(1 + \epsilon^*) \right]$$

Criterion of face buckling

$$\sigma_c^{max} = |\epsilon_c^{min}| E$$

$$\sigma_c = \sigma_c \sin^2(\pi/4)$$

$$\sigma_c = \sigma_c \cos^2(\pi/4)$$

$$\tau_{cb} = \sigma_c \sin(\pi/4) \cos(\pi/4)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{k_c \pi^2 E t_f^2}{12(1-\nu^2) d^2}$$

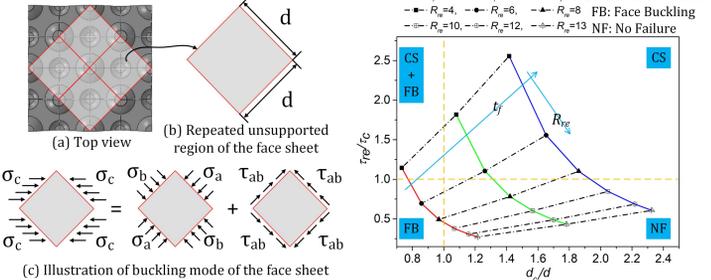
$$\tau_{cr} = \frac{k_c \pi^2 E t_f^2}{12(1-\nu^2) d^2}$$

$$\left( \frac{\sigma_c}{\sigma_{cr}} \right) + \left( \frac{\tau_{cb}}{\tau_{cr}} \right)^2 \leq 1$$

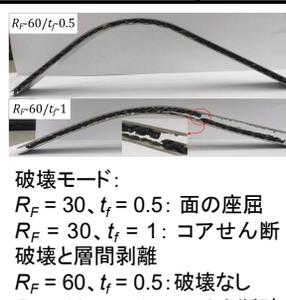
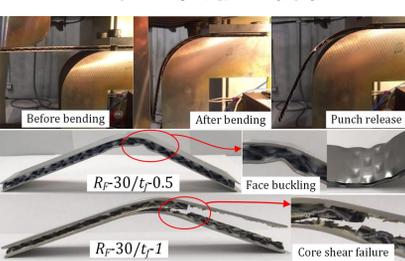
$$d \leq \sqrt{\frac{-A + \sqrt{A^2 + 4B^2}}{2B^2}} = d_c$$

$$A = \frac{12(1-\nu^2) \sin^2(\pi/4) |\epsilon_c^{min}|}{k_c \pi^2 t_f^2}$$

$$B = \frac{12(1-\nu^2) \sin(\pi/4) \cos(\pi/4) |\epsilon_c^{min}|}{k_c \pi^2 t_f^2}$$



## 4. 成形性の実験的評価



曲げ実験的構成と結果

## 5. 結論

1. 比曲げ剛性、剪断弾性率および表面座屈度間の総合的なトレードオフに基づいて、最適相対密度は0.22であると考えられる。
2. サンドイッチ形状と成形工具形状に対する破壊モードの依存性を説明するために、設計図が作成されました。サンドイッチ形状と成形工具形状がCFRTPコアサンドイッチシートの成形性に及ぼす影響を理論的に明らかにした。
3. ドームコアサンドイッチシートの曲げ剛性は、フラットコアサンドイッチシートのその4倍です。ドームコアサンドイッチシートの耐荷重は、フラットコアサンドイッチシートの2倍です。
4. 異なる形状を有するサンドイッチシートの成形性を異なる成形工具形状で試験した。実験結果を設計図の理論的予測と比較した。