

微視的構造を考慮した縫合CFRPに対するマルチスケール解析

PS0006-188

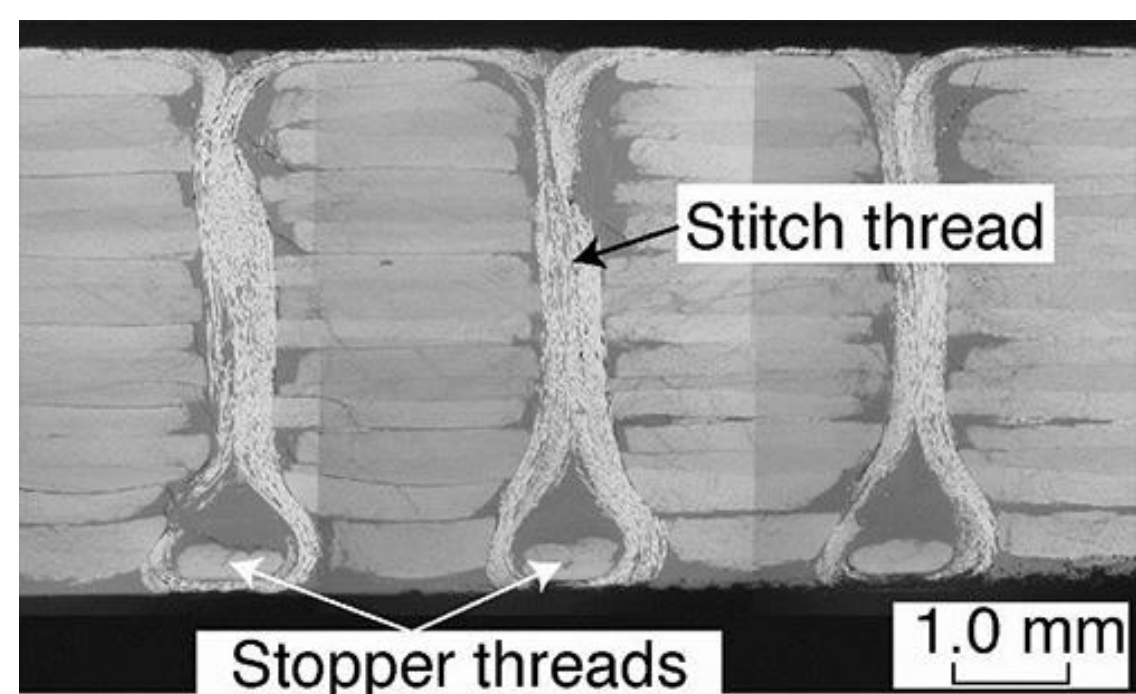
Multiscale analysis for stitched CFRP by considering microscopic structure

○福井勇人 (東理大院) 吉村彰記(JAXA) 中山真広 (JAXA) 松崎亮介 (東理大)

研究背景

◆ 縫合CFRP

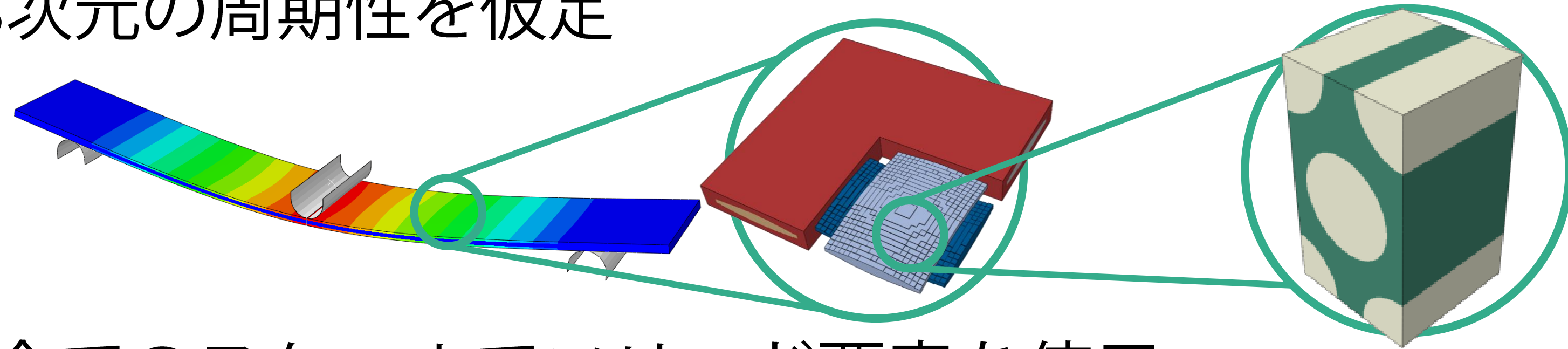
層間強度の向上



課題 材料特性の正確な予測が困難
試験工数の増加

◆ 従来の均質化法

3次元の周期性を仮定



全てのスケールでソリッド要素を使用

研究目的

微視的構造を考慮した縫合CFRPの
正確な材料特性の取得

問題点

- 板構造への解析で計算コスト増加
- 縫合糸により縫合CFRPは板厚方向周期性を仮定できない

汎用FEMを使用した均質化法

変位を分解

$$u_i = u_i^G(x) + u_i^L(y)$$

ひずみ

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^G}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^G}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^L}{\partial y_j} + \frac{\partial u_j^L}{\partial y_i} \right)$$

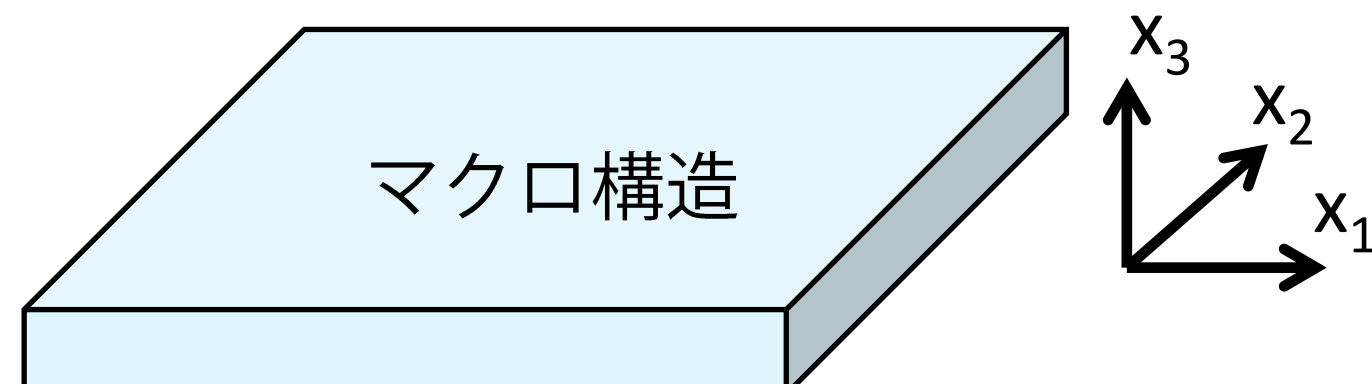
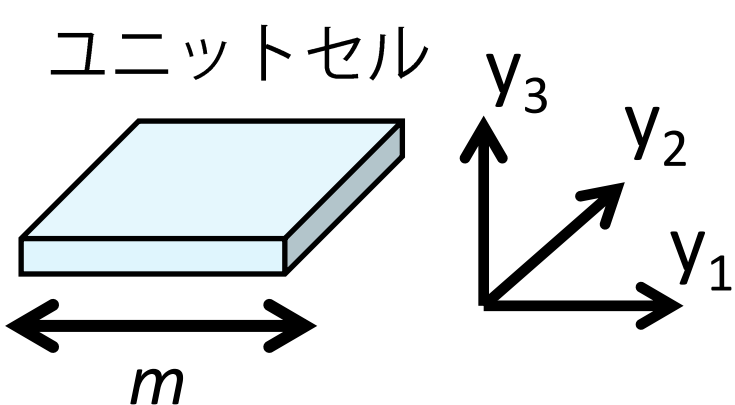
変数変換

$$w_i(y) = \frac{\partial u_i^G}{\partial x_j} y_j + u_i^L(y)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_i}{\partial y_j} + \frac{\partial w_j}{\partial y_i} \right)$$

w_i に関する境界条件

$$w_i\left(\frac{m}{2}\right) - w_i\left(-\frac{m}{2}\right) = \frac{\partial u_i^G}{\partial x_j} m$$



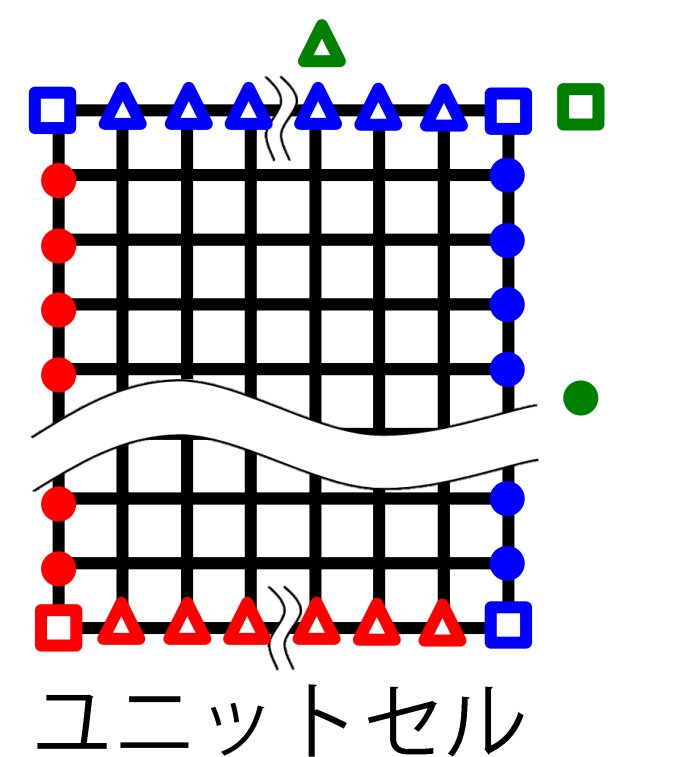
拘束方程式により境界条件を与える

$$w_i^S - w_i^M - w_i^I = 0$$

$w_i^I = 0$ の時

$$w_i^S - w_i^M = 0$$

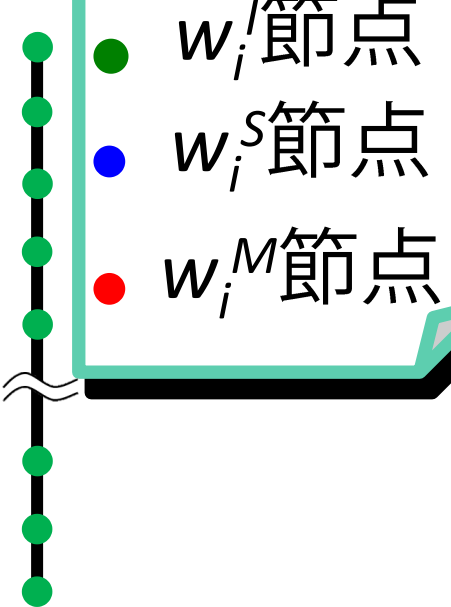
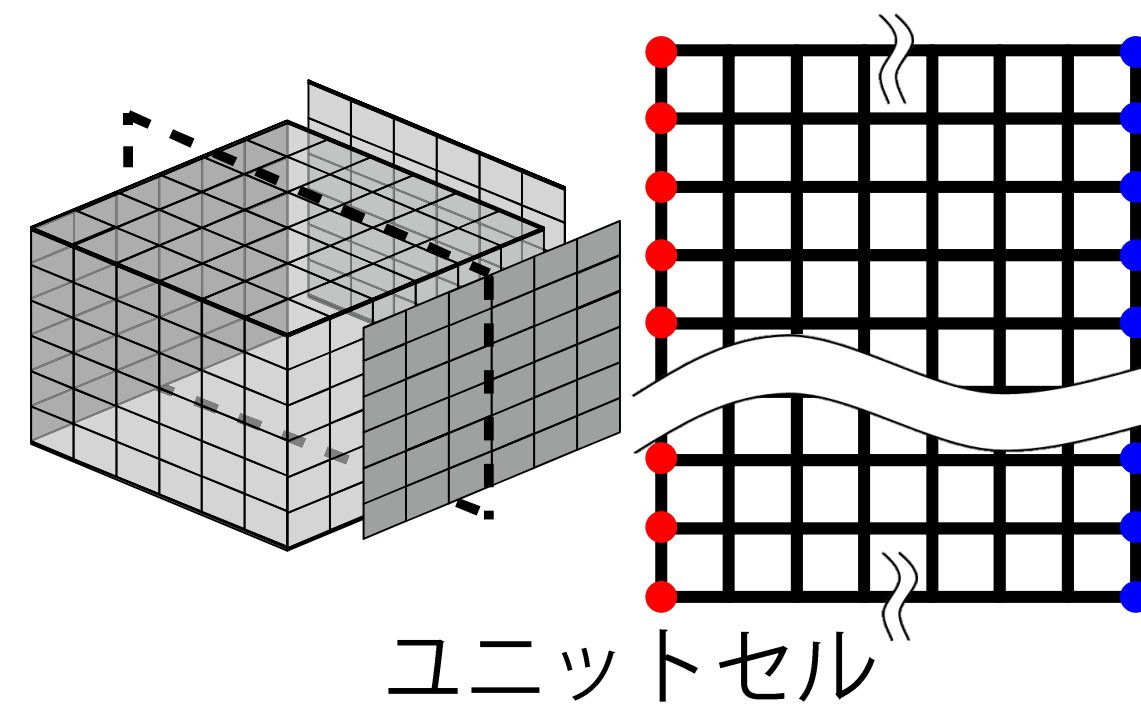
3次元周期境界条件



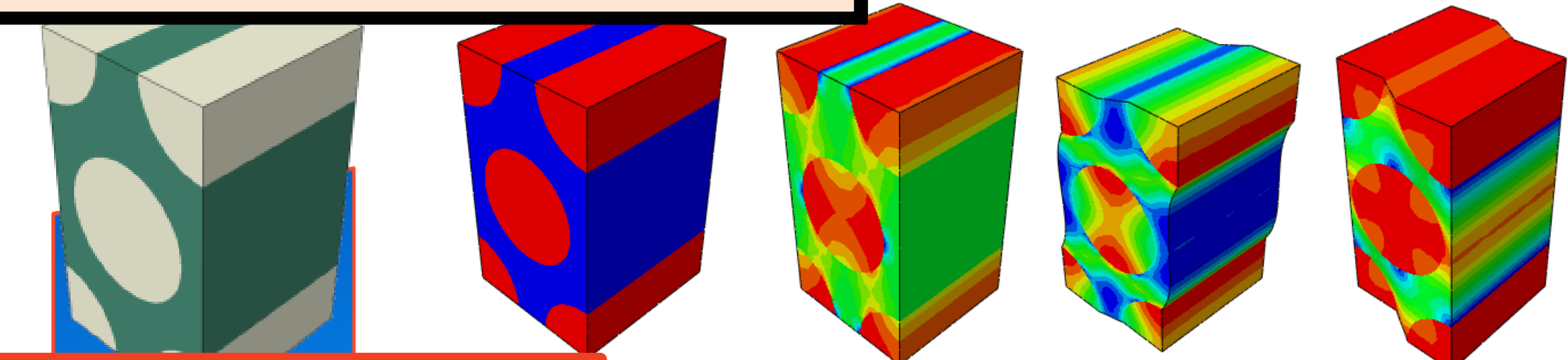
$w_i^I \neq 0$ の時

$$w_i^S - w_i^M = \frac{\partial u_i^G}{\partial x_j} m = w_i^I$$

2次元周期境界条件



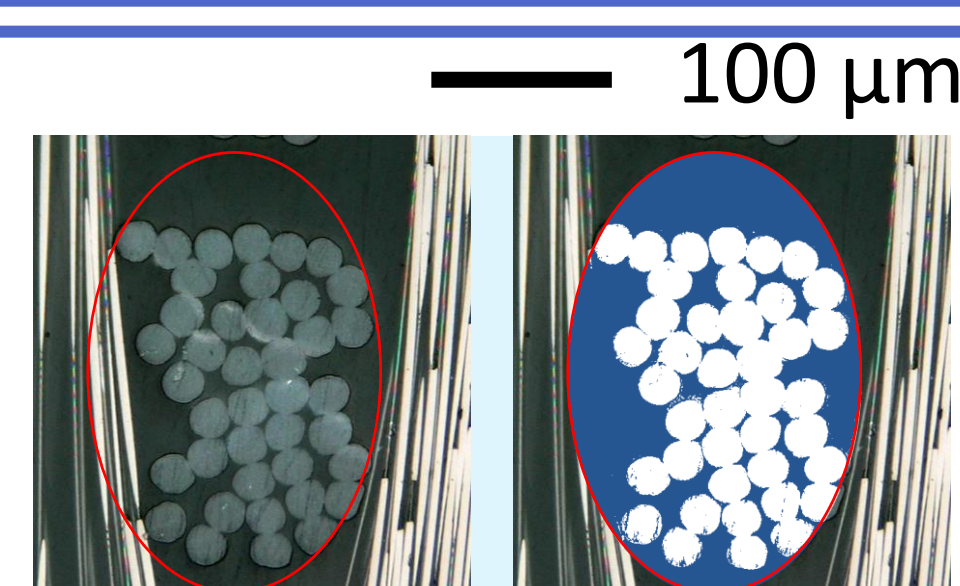
マルチスケール解析



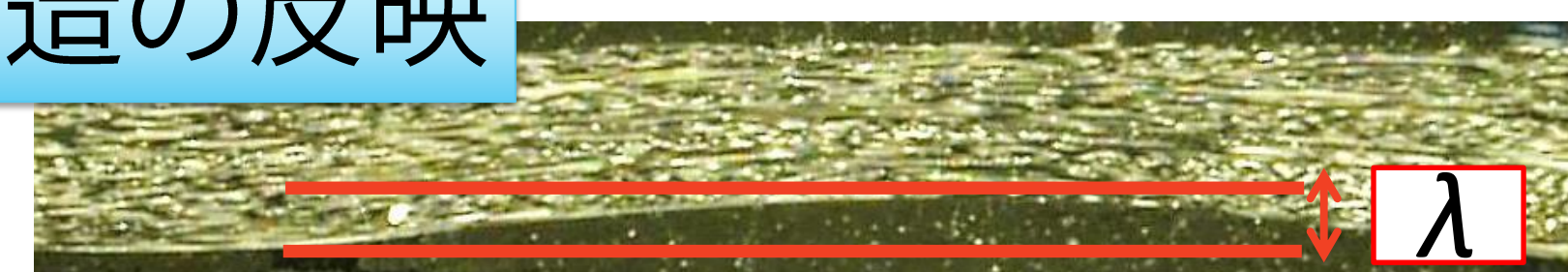
繊維+樹脂
複合材料の特性取得

繊維体積含有率 v_f の反映

v_f からユニットセルを作成
縫合糸+樹脂の特性を取得



微視的構造の反映



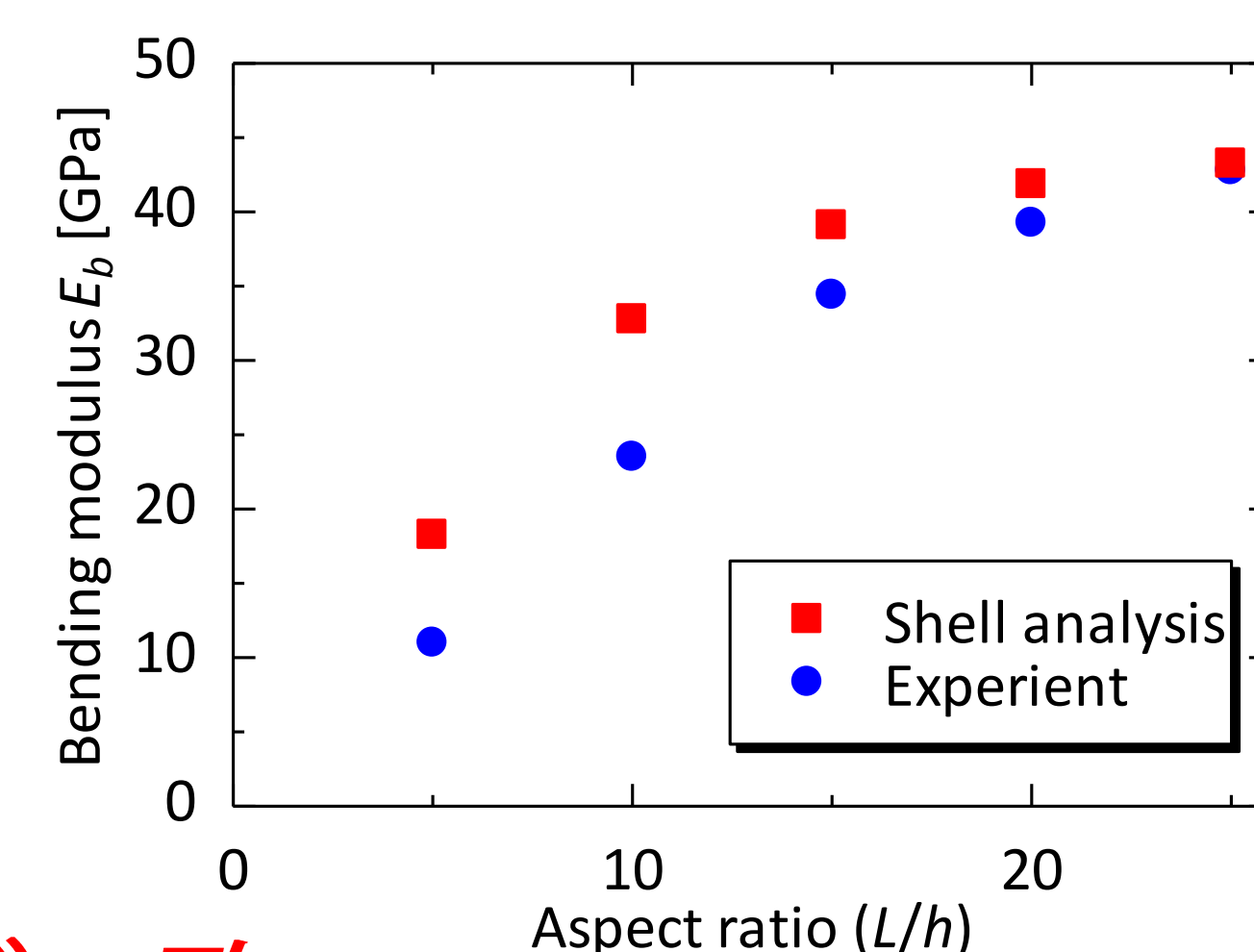
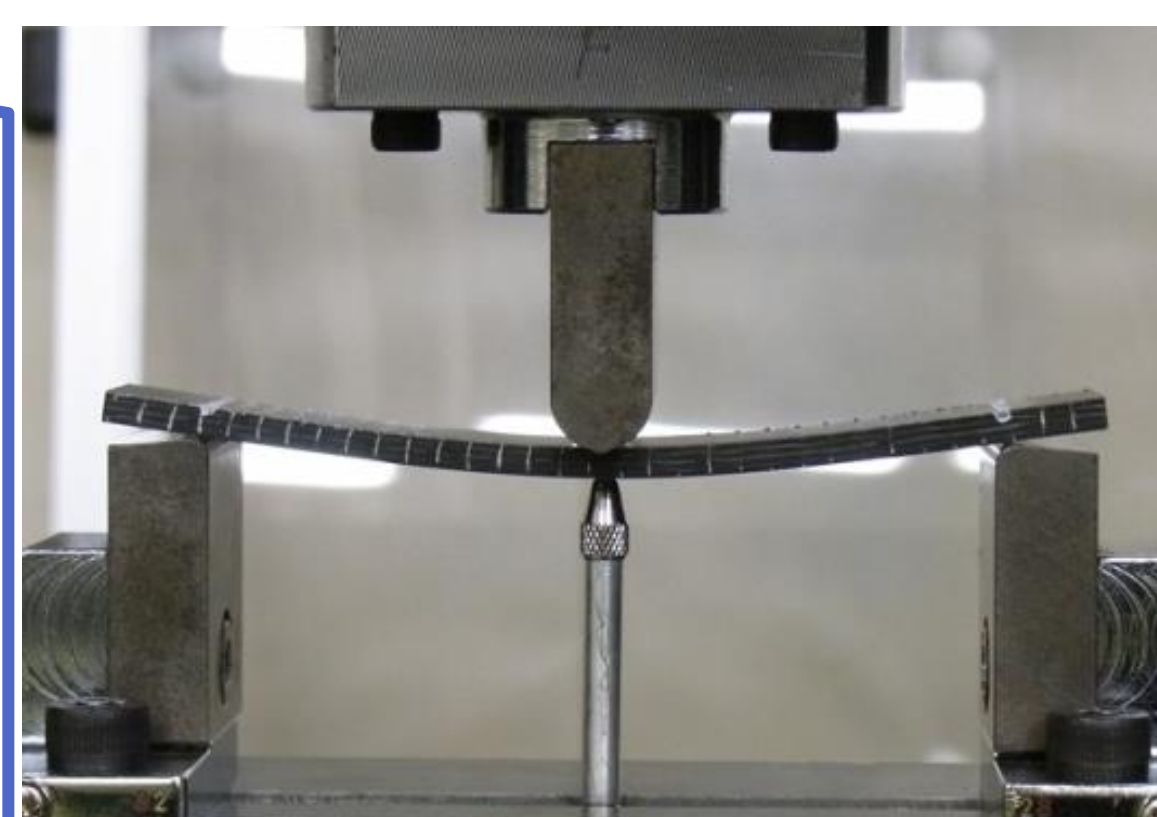
繊維の変位を断面画像から取得
→繊維配向角へ適用

$$\text{繊維配向角} = \arctan\left(\frac{\lambda\pi}{L} \cos\left(\frac{2x}{L}\pi\right)\right)$$

L : ユニットセル代表寸法
 x : ユニットセルの座標

見かけの曲げ弾性率の比較

治具スパンを変更してショートビーム試験
アスペクト比 = 治具スパン L /板厚 h



実験と解析の傾向が一致

実構造スケール
シェル要素を使用

シェル要素が使用可能に
→計算コストの大幅な削減