

セル状サンドウィッチパネルの 平均的せん断特性評価に関する考察

構造強度学研究室

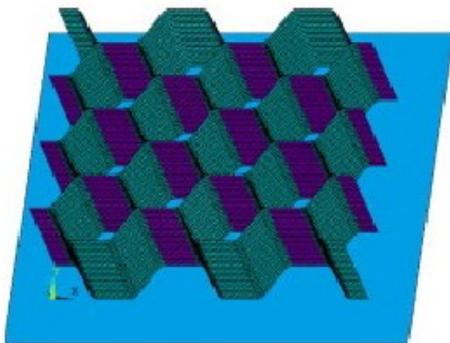
林 幹大

2013年2月20日

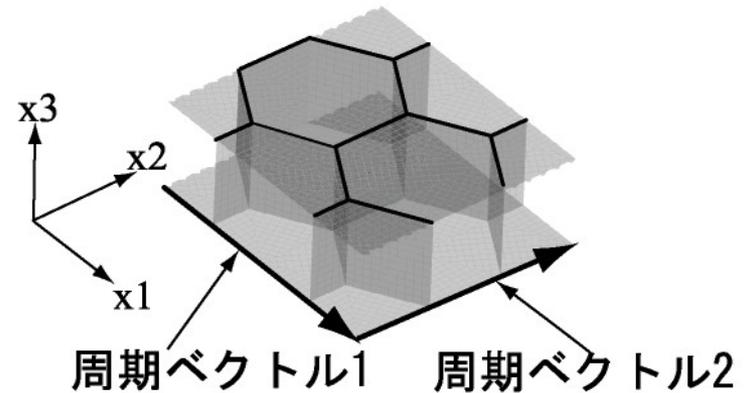
非均質板の平均特性評価

非均質板の平均面外せん断特性評価は経験的な方法でしか行われなかった。(2012 Lebee and Sab)

セル状サンドウィッチパネル



微視構造を拡大



微視構造は2方向の周期を持つ

数学的均質化理論に基づいて
平均せん断特性を求めると合理的

均質化理論の適用に関する研究

周期境界条件と平均的な剛体回転の拘束を併用

- ・ 梁の平均せん断特性評価(2012 齊木ら)
- ・ 平板の平均せん断特性評価(昨年度の卒業論文)

いずれも微視構造を連続体でモデル化

セル状サンドウィッチパネルに応用する場合、微視構造を板要素でモデル化したほうが合理的

目的

平板要素でモデル化したセル状サンドウィッチパネルの平均せん断特性評価を行う。

連続体の剛体回転の拘束条件式  平板要素に適用

剛体回転の拘束条件式(過去の研究)

$$\bar{g}_i = \sum w_i^n u_i^n = 0 \quad (w_i^n: \text{重み}, u_i^n: \text{節点変位})$$

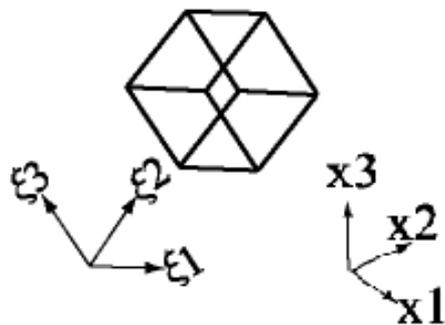
$$w_i^n = \underbrace{\mathcal{A}}_{\text{要素に関する和}} \underbrace{\sum_m x_3^m}_{\text{要素に属する節点に関する和}} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \underbrace{N^m N^n}_{\text{連続体要素の形状関数}} \det \underline{\mathbf{J}} d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3$$

要素に関する和

要素に属する節点に関する和

連続体要素の形状関数

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} & \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} & \frac{\partial x_1}{\partial \xi_3} \\ \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} & \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} & \frac{\partial x_2}{\partial \xi_3} \\ \frac{\partial x_3}{\partial \xi_1} & \frac{\partial x_3}{\partial \xi_2} & \frac{\partial x_3}{\partial \xi_3} \end{bmatrix}$$



変数変換

$$(\xi_1, \xi_2, \xi_3) \mapsto (x_1, x_2, x_3)$$

のJacobian

重みの修正(連続体→平板) (本研究)

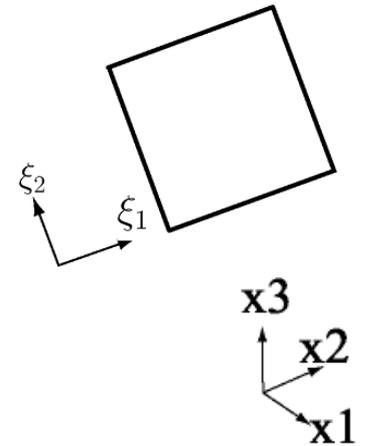
板要素

$$w_i^n = \mathcal{A}t \sum_m x_3^m \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{N^m N^n}{\left| \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \xi_1} \times \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \xi_2} \right|} d\xi_1 d\xi_2$$

要素の板厚

平板要素の
形状関数

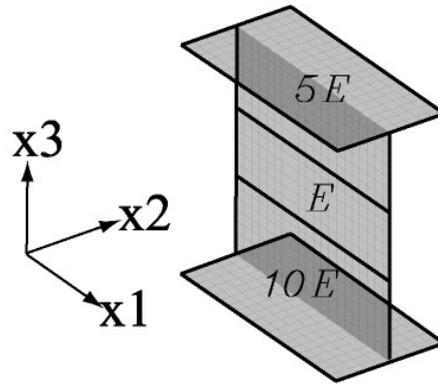
$$\left| \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \xi_1} \times \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \xi_2} \right| = \left| \begin{pmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} \\ \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} \\ \frac{\partial x_3}{\partial \xi_1} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \\ \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \\ \frac{\partial x_3}{\partial \xi_2} \end{pmatrix} \right|$$



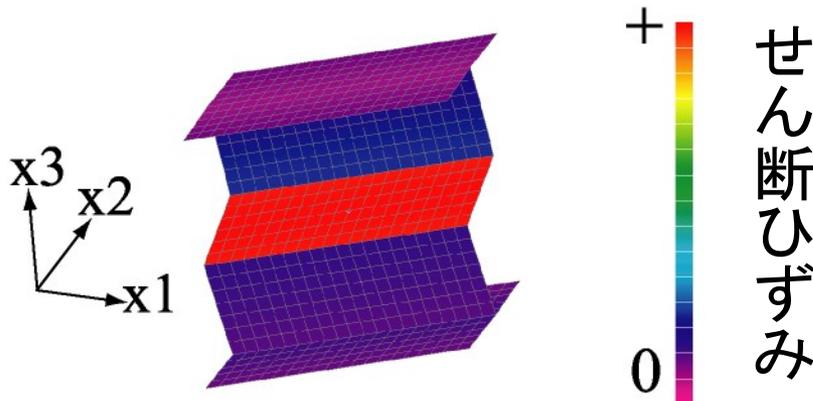
連続体(再掲)

$$w_i^n = \mathcal{A} \sum_m x_3^m \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 N^m N^n \det \mathbf{J} d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3$$

平板でモデル化した梁の平均せん断剛性



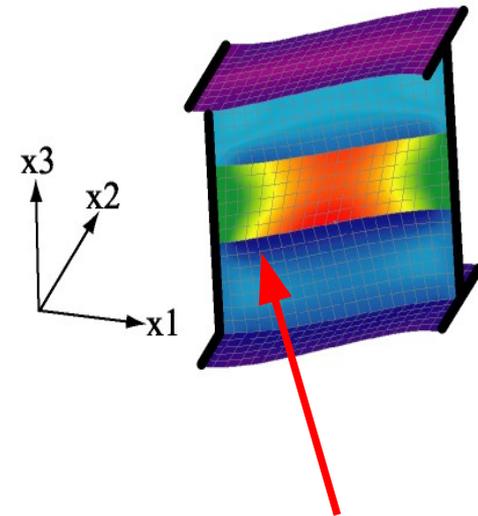
本解析結果



x_1 軸方向に一様

→ 適切にせん断変形を再現

変位境界条件



x_1 軸方向に一様ではない

平均せん断剛性の検証

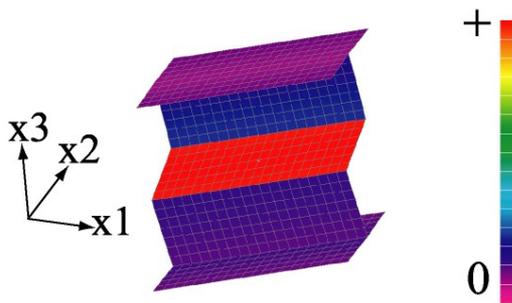
無次元化せん断剛性

長/高	1/2	1	2
本解析	1.74	1.74	1.74
変位境界	3.51	2.77	2.16

長さによらず一定

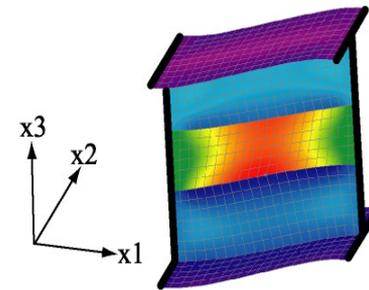
長くなれば本解析に近づく

変位境界は、長さが短いほどせん断剛性を過大評価
∵ 両断面の水平変位の拘束



本解析結果

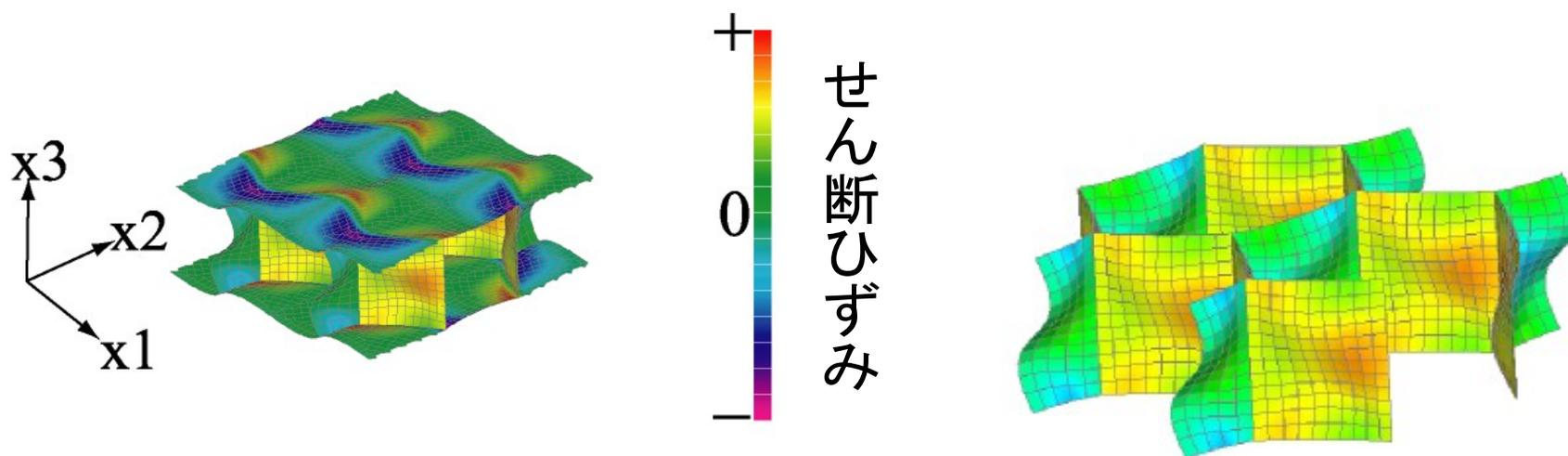
せん断ひずみ



変位境界条件

ハニカムコアサンドウィッチパネルのせん断変形

面外せん断ひずみ $\gamma_{31} = 0.1$



本解析結果

おわりに

- 平板でモデル化されたセル状サンドウィッチパネルの平均せん断特性を求めるため、剛体回転の拘束条件式を平板要素に適用した。
- 微視構造を平板でモデル化した梁のせん断剛性が正しいことを検証した。
- セル状サンドウィッチパネルの面外せん断変形を再現できた。