質問８

質問
材料の温度係数の入力方法は？

回答
弾性行列成分が温度の３次式で表現される場合の入力方法（変数を用いる方法）や線膨張係数が温度の３次式で表現される場合の入力方法（温度テーブルの設定）が用意されている（次スライド以降参照）

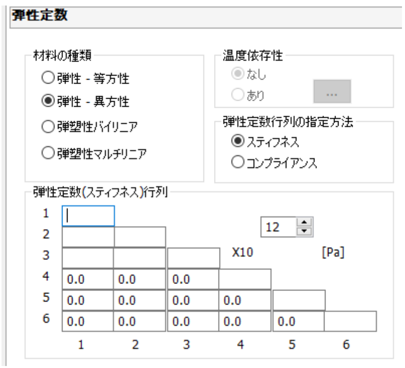
補足

温度依存の弾性定数

式(1)のように弾性行列成分が温度の3次式で表現される場合の入力方法を示す

$$c_{ij}(T) = c_{ij}(T0)\left[1 + c_{ij\_1}(T - T0) + c_{ij\_2}(T - T0)^2 + c_{ij\_3}(T - T0)^3\right] \quad (1)$$

ここで、 $c_{ij\_1}, c_{ij\_2}, c_{ij\_3}$
は各弾性定数成分の1次、2次、3次の温度係数であり、
T0はその温度係数が定義されている基準温度である。

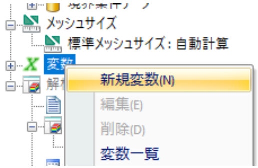


Femtetの弾性定数（スティフネス行列）では
温度依存を定義することができないため、
上記の式(1)を用いて算出された弾性定数を
入力欄へ入力する。
Femtetの変数機能を用いると後で数値の変更
や確認を一覧表を通じて行うことができる。

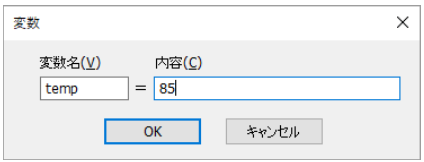
補足

Murata Software

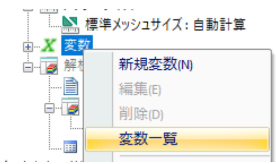
材料の温度係数の入力方法



変数で右クリックして新規変数を選択



変数名と定義式を入力する
定義式は既に定義した変数を使用できる



変数一覧を選択すると一覧表が出力されて
現在の値や定義式を一覧参照できる。
値や定義式の変更も可能。

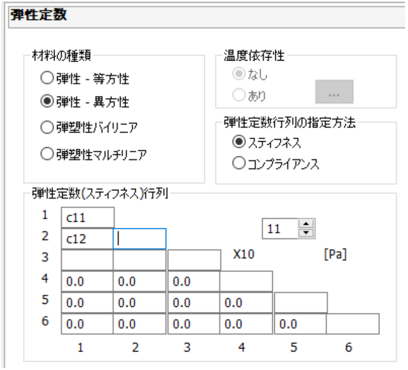
補足

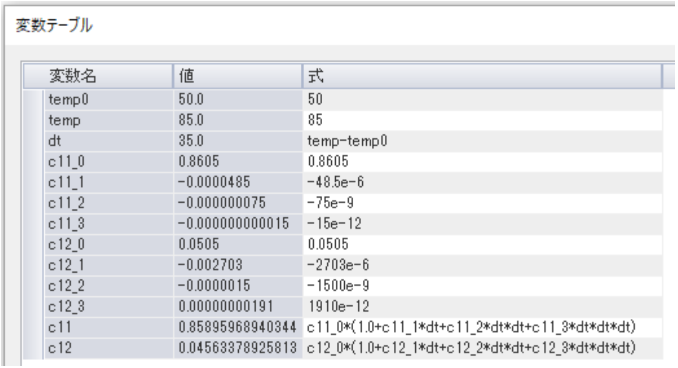
温度依存の弾性行列の入力例

$$c_{ij}(T) = c_{ij}(T0)\left[1 + c_{ij\_1}(T - T0) + c_{ij\_2}(T - T0)^2 + c_{ij\_3}(T - T0)^3\right] \quad (1)$$

c11とc12の設定例

temp = 到達温度を設定
temp0 = 基準温度（熱荷重解析の基準温度ではなく係数を決定している基準温度）
dt = temp – temp0
c11＝ c11_0*(1.0+c11_1*dt+c11_2*dt*dt+c11_3*dt*dt*dt)
c12＝ c12_0*(1.0+c12_1*dt+c12_2*dt*dt+c12_3*dt*dt*dt)




変数テーブル

変数名	値	式
temp0	50.0	50
temp	85.0	85
dt	35.0	temp-temp0
c11_0	0.8605	0.8605
c11_1	-0.0000485	-48.5e-6
c11_2	-0.000000075	-75e-9
c11_3	-0.000000000015	-15e-12
c12_0	0.0505	0.0505
c12_1	-0.002703	-2703e-6
c12_2	-0.0000015	-1500e-9
c12_3	0.00000000191	1910e-12
c11	0.85895968940344	c11_0*(1.0+c11_1*dt+c11_2*dt*dt+c11_3*dt*dt*dt)
c12	0.04563378925813	c12_0*(1.0+c12_1*dt+c12_2*dt*dt+c12_3*dt*dt*dt)

補足

温度依存の線膨張係数

式(1)のように歪が温度の3次式で表現される場合の計算方法を示す

$$(L_1 - L_0)/L_0 = \beta_1(\theta_1 - \theta_0) + \beta_2(\theta_1 - \theta_0)^2 + \beta_3(\theta_1 - \theta_0)^3 \tag{1}$$

ここで、L_0, L_1は温度がθ_1 , θ_2の時の長さである。
線膨張係数αを、次式のように温度の2次式で定義する

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2(\theta - \theta_0) + \alpha_3(\theta - \theta_0)^2 \tag{2}$$

この時、L_0, L_1の関係は次式で求まる

$$\begin{aligned}(L_1 - L_0)/L_0 &= \int_{\theta_0}^{\theta_1} \alpha d\theta \\ &= \int_{\theta_0}^{\theta_1} [\alpha_1 + \alpha_2(\theta - \theta_0) + \alpha_3(\theta - \theta_0)^2] d\theta \\ &= \alpha_1(\theta_1 - \theta_0) + \frac{1}{2}\alpha_2(\theta_1 - \theta_0)^2 + \frac{1}{3}\alpha_3(\theta_1 - \theta_0)^3\end{aligned} \tag{3}$$

式(1)(3)より下式の関係式が得られる

$$\alpha_1 = \beta_1, \alpha_2 = 2\beta_2, \alpha_3 = 3\beta_3 \tag{4}$$

補足

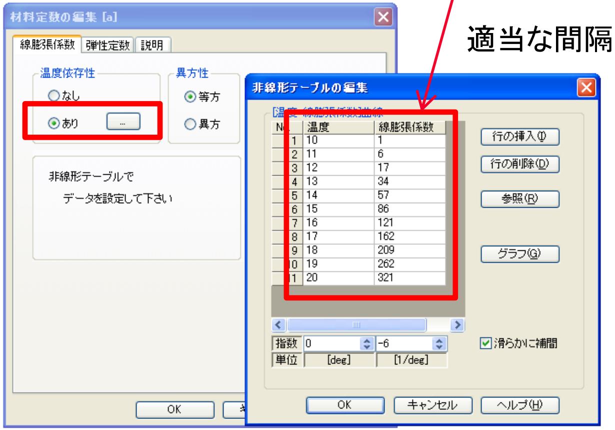
線膨張係数の定義

数値例として、$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 10^{-6}$、$\theta_1 = 10$℃, $\theta_1 = 20$℃とする

式(4)から膨張係数αは次式になる

$$\alpha = [1 + 2(\theta - \theta_0) + 3(\theta - \theta_0)^2] \times 10^{-6}$$

適当な間隔で数値で入力



補足

計算結果

理論値

$$L_1 - L_0 = L_0[(20-10)+(20-10)^2+(20-10)^3]\times 10^{-6} = \boxed{1.110\times 10^{-5}}$$

解析モデル