

愛媛大学 正員 見沢繁光, 正員 大賀水田生  
徳山高専 正員 重松恒美, 正員 〇原 隆

## 1. 概 説

サンドイッチ板は、高密度の表板と低密度の芯材を組み合わせた軽量構造部材であり、その力学的特性から shear-elastic plate として扱われる。着目する前報<sup>1)</sup>で補剛性を有する等方性の shear-elastic plate の座屈解析を行なった。またその条件のもとで座屈係数を求めた。ところがサンドイッチ板の芯材には、ハニカムコアや波形に芯材などの巨視的には直交異方性体とみなせるものが多く用いられており、芯材の直交異方性を考慮した解析が必要である。そこで本研究では、直交異方性に芯材を有するサンドイッチ板が一方向に圧縮荷重を受け、荷重に垂直な二辺が単純支持され、他の二辺のうち自由縁が補剛性で補剛された境界条件のもとで伝達マトリクス法により座屈解析を行ない、その座屈係数を前報<sup>1)</sup>にしたがって、補剛性を有しとみなして解析した場合と補剛性を有しとみなして解析した場合について求めた両者の解をともに決定している。

## 2. 伝達マトリクス

### 2-1. 格間マトリクス

図1に示すような荷重支持条件のもとで、等方性の表板と直交異方性の芯材より構成されるサンドイッチ板は、たわみ  $w$ 、たわみ角  $\psi$ 、モーメント  $M_x, M_y$ 、せん断力  $Q_y$  と状態量とする状態量ベクトルを用いて、次の連立微分方程式であらわされる<sup>2)</sup>

$$\frac{d}{dx} Z = A \cdot Z \quad (1)$$

ここに  $A$  は係数マトリクスである。(1)式より左端の状態量ベクトル  $Z_0$  を用いて積分すれば、

$$Z = e^{Ax} Z_0 = U \cdot Z_0 \quad (2)$$

ここに  $U$  が格間マトリクスであり、本研究の場合、 $A$  の特性方程式の根が複雑で Cayley-Hamilton の方法が適用できないので級数展開により求められる。

### 2-2. 格点マトリクス

図2のはりモデルにおいて、 $i, i+1$  の状態量  $Z_i, Z_{i+1}$  の関係は、はりのねじれ剛性を考慮したつり合い条件により次式となる。

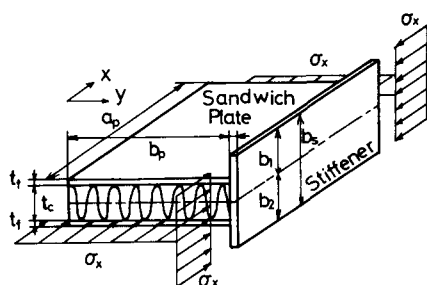
$$Z_{i+1} = R \cdot Z_i \quad (3)$$

ここに  $R$  が格点マトリクスである。

## 3. 座屈条件式

### 3-1. はりモデルによる座屈条件式

図2に示すはりモデルにおける伝達式は格間マトリクス  $U$ 、格



$$\alpha = a_p / b_p, \beta = b_s / b_p, \delta = t_s / (2t_1)$$

$$E = \pi^2 K / (b_p^2 S) \lambda = b_p / (2t_1), \beta_s = b_s / b_1$$

図1 荷重・支持条件とパラメータ

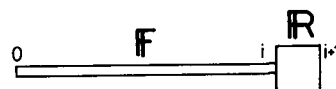


図2 はりモデル



図3 板モデル

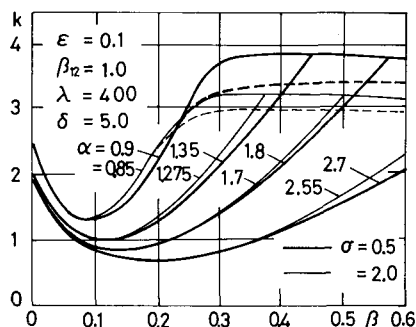


図4 座屈係数

点マトリクス $R$ を用いて次式のうにあらわされる。(図2参照)

$$Z_{in} = R \cdot F \cdot Z_0 = B \cdot Z_0 \quad (4)$$

(4)式の $Z_0, Z_{in}$ に境界条件を導入することにより座屈条件式 $|B|=0$ が求められる。

### 3-2. 板モデルによる座屈条件式

補剛材の剛性が増加し接点 $\beta$ がnodeになるとき、図3にあらわされた板モデルを用いる。板モデルの伝達式は格間マトリクス $F_1, P_1, P_2$ を用いれば次式のうにあらわされる。(図3参照)

$$Z_n = F \cdot Z_0, Z_{n+2} = P_1 \cdot Z_{n+1}, Z_{n+4} = P_2 \cdot Z_{n+3} \quad (5)$$

(5)式より、 $Z_0, Z_{n+2}, Z_{n+4}$ の境界条件、接点 $\beta$ がnodeである条件、および接点の状態量 $Z_n, Z_{n+1}, Z_{n+3}$ のつり合い条件を考慮すれば次の連立方程式が得られる?

$$N \cdot \tilde{Z} = 0 \quad (6)$$

ここに $N$ は各部の伝達マトリクスよりなる係数マトリクスである。したがって(6)式より座屈条件式 $|N|=0$ が得られる。

### 4. 数値計算結果および検討

前節の座屈条件式 $|B|=0, |N|=0$ をもとに一端単純支持他端自由の境界条件で数値計算を行なう。またパラメータは前報<sup>1)</sup>で用いたもの(図1参照)およびサンドイッチ板のせん断剛性比 $\sigma = S_y/S_x$ ( $S_x, S_y$ : $x, y$ 方向のせん断剛性)を用いた。なお本研究では等方向の補剛材に $\beta$ として解析している。

図4、図5は $\sigma=0.5, 2.0$ に対応してそれぞれ片側補剛材( $\beta_2=1.0$ )、片側補剛材( $\beta_2=0.0$ )と自由端にとりつけたときの座屈係数を示す。前報<sup>1)</sup>の等方向サンドイッチ板の結果と同様に、座屈係数は接点でnodeとなる値(破線)までほりモデルの値ととり、以後板モデルの上限値まで増加する。ほりモデルでは、 $\sigma$ が小さいほど座屈係数は小さいが、板モデルではその逆である。また片側補剛材は対称補剛材より $\beta$ に対する座屈係数の増加が著しく、小さい $\beta$ の値で座屈係数の最大値に達するが、その値は対称補剛材の最大値より小さい。たとえ $\sigma=0.5$ において $\beta_2=1.0$ では $\beta=3.88$ ( $\alpha=0.4$ )、 $\beta_2=0.0$ では $\beta=3.66$ ( $\beta=0.2$ )である。図6は図4、図5の上限曲線とあらわしている。片側補剛材においては通常の板の解析<sup>2)</sup>と同様に $\beta$ が大きくなると補剛材の座屈による座屈係数の低下がみられる。図7に板モデルによる最大の座屈係数を $\alpha=0.0 \sim 4.0$ について示す。図中の細線は補剛材のねじれ剛性を無視したときの最大の座屈係数を示している。本解析(太線)との差は6~10%であり、 $\sigma$ が大きいほどその差は小さい。

<参考文献> 1) 見沢<sup>1)</sup>; 補剛材のねじれを考慮したshear-elastic plateの座屈解析について, 第3回土木学会年次学術講演要録集(昭和53年)  
2) 見沢<sup>1)</sup>; Orthotropic Shear-Elastic Plateの座屈解析について, 土木学会中国四国支部第1回学術講演会要録集(昭和54年)  
3) K. Klöppel; Beulwerte der dreiseitig gelenkig gelagerten Rechteckplatte, Der Stahlbau 13/148

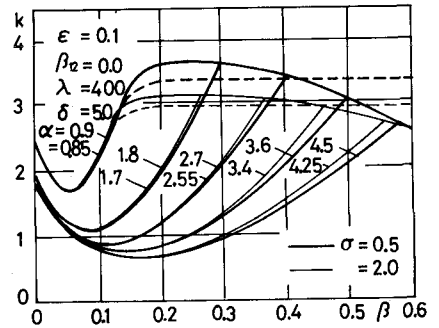


図5 座屈係数

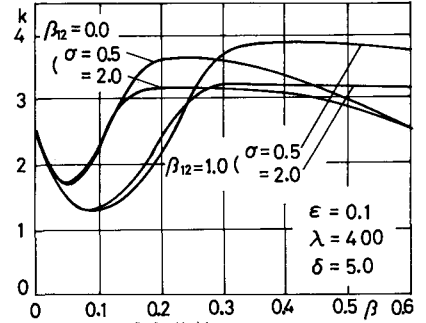


図6 座屈係数

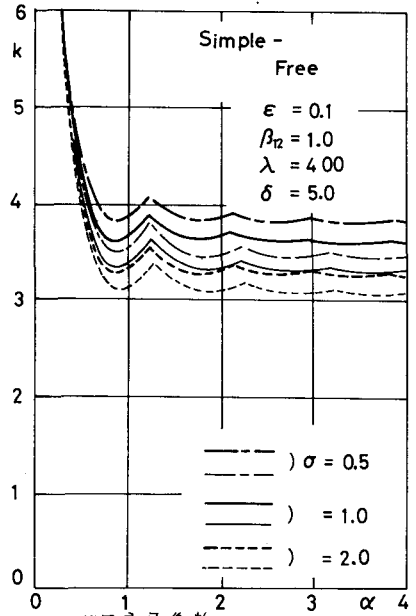


図7 座屈係数