I-172 サンドイッチ開，閉断面の座屈解析

徳山高専 正員 重松 恒美
愛媛大学 正員 大賀水田生
徳山高専 正員 原 隆

1. 概説

サンドイッチ部材は軽量の心材を二枚の薄い表板ではさんだ軽量構造部材であり，航空機，車両，建築の分野で広く用いられてきた。従来のサンドイッチ部材は主として軽量性に注目されていたが，近年では，表板や心材に剛性の大きい材料を用いることにより，その有利な構造特性も注目されている[2]。著者らは前報[1]でKlöppelらが補剛板の座屈解析に用いた方法[3]（以後近似法と称する）によりサンドイッチ開断面部材の座屈解析を行なった。本研究では，Dobovisek[4]が折板構造の応力問題に適用した伝達マトリクス法（以後折板理論と称する）をサンドイッチ折板断面の座屈解析に適用し，サンドイッチ開断面部材および閉断面部材の座屈値を求めた。また得られた結果から折板理論と近似法の解を比較し，両者の解析法の適用性について検討を行なった。

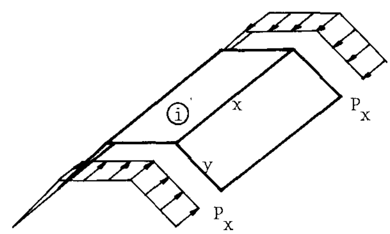

図-1 サンドイッチ折板断面

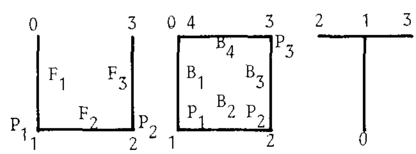

図-2 断面形状

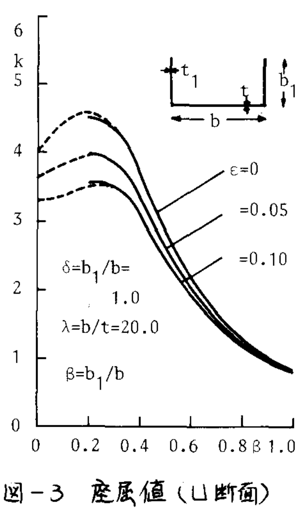

図-3 座屈値（凵断面）

2. 理論解析

2-1. 格間マトリクス

本研究に用いた格間マトリクスは，Dobovisek[4]が折板構造の応力解析に適用した格間マトリクスを参考にして，サンドイッチ断面の面内変形の項と面外変形の項を含んだ形で誘導する。

図-1に一方向に等分布圧縮荷重を受け，載荷辺が単純支持されたサンドイッチ折板断面を示す。この折板断面の断面要素のつりあい条件式と変形条件式をもとに境界条件を考慮すれば，状態量に関する連立微分方程式が得られる。

面内変形（m），面外変形（b）に関してそれぞれ，

$$\left.\begin{aligned}\frac{d}{dy}\mathbb{Z}_m &= \mathbb{A}_m\mathbb{Z}_m\\ \frac{d}{dy}\mathbb{Z}_b &= \mathbb{A}_b\mathbb{Z}_b\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

$$\mathbb{Z}_m = \{u, v, N_y, N_{xy}\}^T$$

$$\mathbb{Z}_b = \{w, \varphi_y, \varphi_x, M_{xy}, M_y, Q_y\}^T$$

式(1)を解けば伝達式はそれぞれ次式となる。

$$\mathbb{Z}_m = \mathbb{F}_m\mathbb{Z}_{m0}$$

$$\mathbb{Z}_b = \mathbb{F}_b\mathbb{Z}_{b0}$$

従って格間マトリクス$\mathbb{F}$は次式により得られる。

$$\mathbb{Z} = \begin{bmatrix}\mathbb{Z}_b\\ \mathbb{Z}_m\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbb{F}_b & 0\\ 0 & \mathbb{F}_m\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbb{Z}_{b0}\\ \mathbb{Z}_{m0}\end{bmatrix} = \mathbb{F}\mathbb{Z}_0 \qquad (2)$$

2-1. 格点マトリクス

図-1に示す折点ⓘの左右の状態量ベクトル$\mathbb{Z}_L$, $\mathbb{Z}_R$の関係より

格点マトリクス$\mathbb{P}$が得られる。

$$\mathbb{Z}_R = \mathbb{P}\mathbb{Z}_L$$

2-3. 座屈条件式

式(2), (3)を用いて座屈条件式を組みたてる。

a). サンドイッチ開断面の場合.

図-2のサンドイッチU断面（開断面）に対する伝達式は.

$$\mathbb{Z}_3 = \mathbb{F}_3\mathbb{P}_2\mathbb{F}_2\mathbb{P}_1\mathbb{F}_1\mathbb{Z}_0$$

となり, $\mathbb{Z}_3$, $\mathbb{Z}_0$の境界条件をもとに座屈条件式が得られる。

b). サンドイッチ閉断面の場合.

図-2のサンドイッチ箱型断面（閉断面）に対する伝達式は、

$$\mathbb{Z}_4 = \mathbb{B}_4\mathbb{P}_3\mathbb{B}_3\mathbb{P}_2\mathbb{B}_2\mathbb{P}_1\mathbb{B}_1\mathbb{Z}_0 = \mathbb{B}_x\mathbb{Z}_0$$

となり. $\mathbb{Z}_4$と$\mathbb{Z}_0$の状態量が等しいことより座屈条件式は

$$\det|\mathbb{B}_x - \mathbb{I}| = 0$$

より得られる。ここに$\mathbb{I}$は単位マトリクスである。

3. 数値計算結果及び検討

3-1. 折板理論と近似法の比較

図-3にサンドイッチU断面に対する局部座屈の座屈係数と板パネル幅比βの関係を示す。折板理論の解を実線, 近似解を破線で示す。折板理論の妥当性を検討するために 通常の板（ε=0）の座屈係数を比較すると, β>0.3では折板理論と近似法はよく一致しているが, β<0.3では近似法の方が大きい。これは, 近似法では, 折線での単純支持の仮定により, 断面の全体座屈の影響があらわれないためであると思われる。また, サンドイッチU断面（ε=0.05, 0.1）では両者はほぼ一致している。

図-4に, サンドイッチU断面の座屈係数と腹板パネル形状の関係を示す。β=0.1の場合に, 折板理論では座屈曲線に極小値があらわれず, 近似法では極小値k_{min}=3.80 となっている。これも同様に近似法における単純支持の仮定によるものである。従ってこのような場合は折板理論を用いる方が妥当である。

3-2. 折板理論と近似法の適用性

折板理論は折点に単純支持の仮定を導入しないので折板断面の座屈解析に有効であるが, 図-2のT型断面のように分岐のある断面には適用できない。また近似法は図-3の比較より, 一部を除き近似的に妥当であり, 分岐のある断面の座屈解析に有効である。

両解析法の適用例として, 図-5にサンドイッチ箱型断面, 図-6にサンドイッチT型断面の座屈値を示す。

<参考文献> 1. 見澤他; 土木学会第36回年次学術講演会 pp295-296

2. H. Bode; Elastische Berechnung von ..., Die Bautechnik 6/1976

3. K. Klöppel; Beulwerte der dreiseitig ..., Der Stahlbau 13/1968

4. B. Dobovisek; Berechnung prismatischer Schalen Der Bauingenieur 11/1972

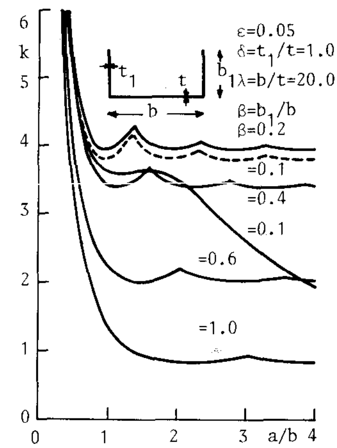

図-4 座屈値（U断面）

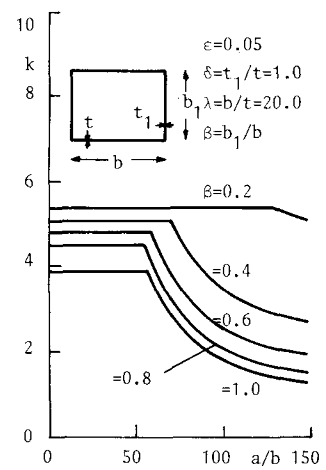

図-5 座屈値（箱型断面）

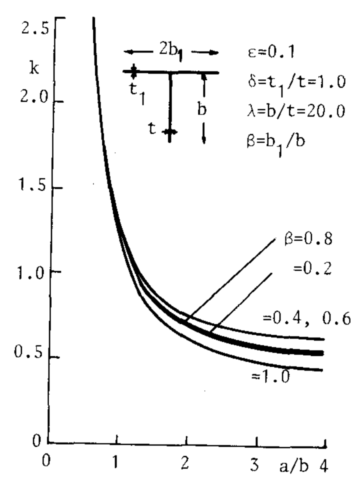

図-6 座屈値（T断面）