

I-148 L型, U型 サンドイッチ断面の座屈解析について.

徳山高専 正員 〇重松恒美, 正員 康 隆
愛媛大学 正員 見沢繁光, 正員 大賀水田生

1. 概 説

サンドイッチ断面は2枚の薄い表板の間に芯材をばさみこんだ複合断面である。表板としては管内剛性の大きい金属板, FRP板などが, また芯材としてはハニカム状, 格子状, トラス状, 円筒状など各種のものが用いられ, これら表板と芯材の組み合わせも使用目的に応じて自由に選択できる。このような構造断面を図-1に示す。サンドイッチ構造は, 軽量かつ剛性が要求される航空機, 車両, 舟艇等ばかりでなく, 建築分野では現代の要請である省力化のため, プレハブ化, ユニット化された部材として用いられている。土木分野においても, 構造鋼等を表板, 芯材に使用することによりその使用目的と十分達することかできるように思われる。そこで本研究では, 図-1に示したようなサンドイッチ断面と通常の薄肉断面部材(例えばL型, U型断面)のように折り曲げ, 座屈解析を行なった。サンドイッチ板の座屈問題はせん断変形を考慮して, 多くの研究者により解析されている。また, 薄肉断面部材の座屈問題も折り曲げ部には単独支持条件と考慮して解析されているが, 本研究の場合の解析例は無いように思われる。そこで着目するは, Klöppel³⁾から通常の補剛板の座屈解析に対し, 板パネル自体の座屈のみならず隣接する板パネルの相互作用も考慮し, 板パネルの接合点において近似的に単独支持として行なう手法を本研究の解析に使用した。解析結果はWurmnest²⁾の解と比較して理論の妥当性を検討した。

2. 理論解析

本研究の解析には伝達マトリクス法を用いる。荷重支持条件として図-2に示すように, 一方には等分布圧縮荷重を受け, 荷重に垂直な二辺は単独支持されている。格間伝達マトリクスはつりあい条件式および変形条件式から得られる状態量ベクトル Z に関する連立一階常微分方程式と級数展開することにより誘導される。

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

ここに, $Z = \{w, \varphi, \tau_x, \tau_y, \tau_z, \delta, \gamma\}^T$

A = 係数マトリクス

式(1)の解は次のように求められる。

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

ここに Z_0 は $x=0$ の初期状態量ベクトルであり, F は格間伝達マトリクスである。これを図-3に示すL型, U型断面に適用すると次のようになる。

L断面について,

$$\left. \begin{aligned} Z_n &= F_{0,n} \cdot Z_0 \\ Z_{n+2} &= F_{n+1, n+2} \cdot Z_{n+1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

隣接する板とつりあい条件と連続条件を考慮し, さらに接合点で近似的に単独支持条件を考慮すれば,

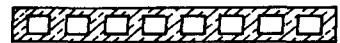
$$\left. \begin{aligned} w_n &= w_{n+1} = 0, \quad \varphi_n = \varphi_{n+1}, \quad \tau_{xn} = \tau_{x, n+1} = 0 \\ \tau_{xy, n} + \tau_{xy, n+1} &= 0, \quad \tau_{yn} + \tau_{y, n+1} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$



Platte mit Schaumstoff-Kern



Rahmen-Hohlplatte



Massive-Hohlplatte



Rohrsandwich



Massive-Hohlplatte



Platte mit Trapezblech-Kern



Fachwerk-Hohlplatte

図-1 サンドイッチ断面

同様にU断面について、

$$\left. \begin{aligned} Z_{n+1} &= F_{n,n+1} \cdot Z_n \\ Z_{n+3} &= F_{n+2,n+3} \cdot Z_{n+2} \\ Z_{n+5} &= F_{n+4,n+5} \cdot Z_{n+4} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

そして、

$$\left. \begin{aligned} W_n &= W_{n+2} = W_{n+3} = W_{n+4} = 0 \\ \varphi_{yn} &= \varphi_{y,n+2}, \varphi_{y,n+3} = \varphi_{y,n+4} \\ \varphi_{xn} &= \varphi_{x,n+2} = \varphi_{x,n+3} = \varphi_{x,n+4} = 0 \\ M_{xyn} + M_{xyn+2} &= 0, M_{xyn+3} + M_{xyn+4} = 0 \\ M_{yn} + M_{yn+2} &= 0, M_{yn+3} + M_{yn+4} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

こゝに、 $Z_0 \sim Z_{n+5}$ は格点 $0 \sim n+5$ の状態量ベクトルであり、 $F_{0,n} \sim F_{n+4,n+5}$ は格間伝達マトリクスである。

さらに、L断面では Z_0, Z_{n+2} 、U断面では Z_{n+1}, Z_{n+5} の境界条件を考慮することにより座底条件式が得られる。

3. 数値計算結果および検討

前節で求められた座底条件式を用いて数値計算を行った。数値計算に用いたパラメータは、形状比 a/b 、板厚比 δ 、板幅比 β 、板細長比 $\varepsilon = \lambda/b$ 、せん断剛性比 λ 等である。図4にL断面に対して、形状比と座底係数 ($= k/b$) の関係と板幅比 β をパラメータとして示している。 $\varepsilon = 0.1$ であり、 $\beta = 0.4 \sim 0.6$ で最大の座底値を示している。太線は式(3)、(4)より求めた解で折れ曲がり部で近似解に剛な支点と考えた場合のものである。破線は Wurmnest³⁾ により求められた、荷重に垂直な二辺が単純支持とし、他の二辺は一端単純支持 ($\varphi = \varphi_x = \varphi_y = 0$)、他端自由のカントイフチ板のせん断変形を考慮した座底値である。本法による解とよく一致しているが、本法の場合 $\varphi_x = \varphi_y = 0$ としていないため、Wurmnestの解より若干大きな値が得られている。細線は折れ曲がり部の接点を柔な支点と考えた場合の座底値で支点にせん断変形を考慮したものである。一点鎖線は非載荷辺の単純支点に柔な支持条件 ($\varphi = \varphi_x = \varphi_y = 0$) を適用した Wurmnest³⁾ の解である。同様にして本報の解とよく一致している。図5にU断面に対して、板幅比 $\beta = 0.4$ (最大の座底値) のときの、 ε の変化による座底係数 k を示している。図中の破線は Wurmnest³⁾ が求めた四辺単純支持のカントイフチ板 ($\varepsilon = 0.1$) の座底値である。本報の解が若干小さい値を示していることがわかる。本研究では、直接比較する文献もなく、近似的に文献3と比較したが、ほぼ理論的妥当性は確認できたと考えられる。

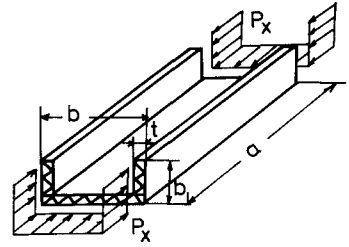


図-2 荷重、支持状態

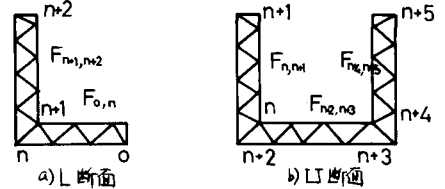


図-3 断面図

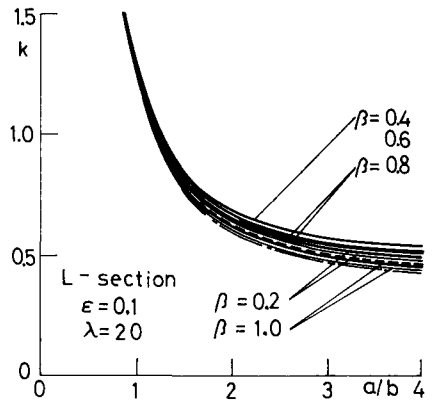


図-4 座底係数

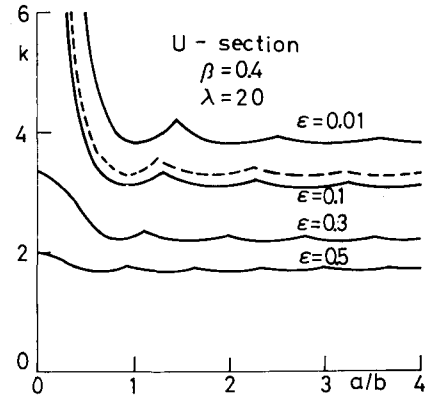


図-5 座底係数

- <参考文献> 1). H. Bode ; Elastische Berechnung von Platten mit Schubverformung, Die Bautechnik 6/1976
2). K. Klöppel ; Beulwerte der dreiseitig gelenkig gelagerten, ---, Der Stahlbau 13/1968
3). W. Wurmnest ; Untersuchung der Stabilität einseitig gedrückter, ---, Der Stahlbau 6/1971