折板構造の座屈解析について

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．まえがき

平板を折線で結合した構造、いわゆる折板構造は、補剛板，曲面板とともに板構造の座屈強度を増大させることのできる優れた構造要素であり、古くからさまざまの分野で用いられている。従来、折板構造の座屈解析は、折板構造を剛性が等価な直交異方性板におきかえて行なわれている。しかしながら、折板構造の形状によっては直交異方性板としての解析が妥当でない場合がある。そこで本研究では、前報[1)]で薄肉断面部材の座屈解析に使用した伝達マトリクス法を折板構造に適用し、座屈解析を行なった。数値計算においては折板の断面形状をパラメータとして座屈値を求め、図示した。また得られた結果より、折板構造の座屈特性について検討した。

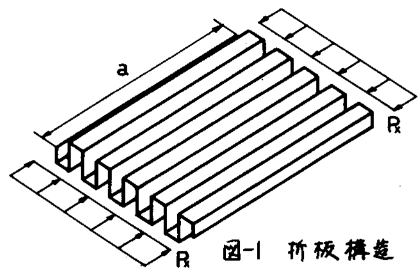


図-1　折板構造

2．理論解析

2－1．伝達マトリクスの誘導

図－1に示す一方向に等分布圧縮荷重P_x（$=\sigma_x t$）を受ける折板構造の板パネル（曲げ剛性D）のつりあい式は、変位関数w，応力関数Fを用いて次式と示される。

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}+2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}=-\frac{P_x}{D}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\\&\frac{\partial^4 F}{\partial x^4}+2\frac{\partial^4 F}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 F}{\partial y^4}=0\end{aligned}\right\}\qquad(1)$$

ここで図－1に示される折板構造の載荷辺が単純支持されていることを考慮した変位関数，応力関数を採用すれば、格間マトリクス$\mathbb{F}$が得られる[1)]。

$$\mathbb{Z}=\mathbb{F}\,\mathbb{Z}_0\qquad(2)$$

また、折線上での状態量ベクトル$\mathbb{Z}$のつりあいから格点マトリクス$\mathbb{P}$は次式により得られる。

$$\mathbb{Z}_R=\mathbb{P}\,\mathbb{Z}_L\qquad(3)$$

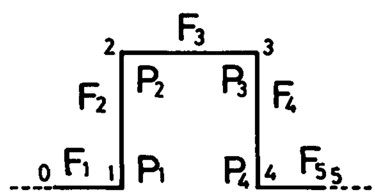


図-2　折板要素

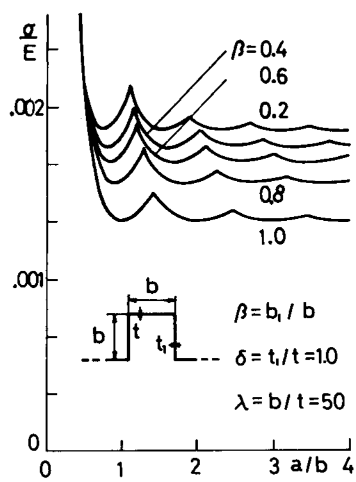
2－2．座屈条件式

図－1に示す折板構造は板パネルの数が多く通常の解析は困難である。そこでこの折板構造よりとり出した折板要素（図－2）を用い、境界条件の処理を行ない座屈条件式を求める[2)]。

折板要素の格点0から格点5の状態量の伝達式は次式となる。

$$\mathbb{Z}_5=\mathbb{F}_5\mathbb{P}_4\mathbb{F}_4\mathbb{P}_3\mathbb{F}_3\mathbb{P}_2\mathbb{F}_2\mathbb{P}_1\mathbb{F}_1\mathbb{Z}_0=\mathbb{T}\,\mathbb{Z}_0\qquad(4)$$

ここで、折板要素が多数連続するならば、折板要素の格点0と



図－3　座屈値

格点5の状態量は近似的に等しくおくことができる。すなわち、

$$\mathbb{Z}_5 = \mathbb{Z}_0 \qquad (5)$$

従って、式(4)，(5)より座屈条件式は次式となる。

$$\det|\mathbb{T} - \mathbb{I}| = 0 \qquad (6)$$

ここで$\mathbb{I}$は単位マトリクスである。

3．数値計算結果及び検討

前節で得られた座屈条件式(6)を用いて数値計算を行なった。数値計算に用いたパラメータは板パネルの形状比a/b，細長比$\lambda = b/t$，各パネルの板厚比$\delta = t_1/t = 1.0$，板幅比$\beta = b_1/b$である。なお数値計算に用いた折板構造の形式は矩形とした。

図−3は細長比$\lambda=50$の場合について，板幅比（矩形の偏平の割合）の変化に対する座屈係数の変化を示す。横軸は形状比a/b，縦軸は座屈応力σ_{cr}をYoung係数で除している。本図では形状比が小さく，座屈モードは板パネルの局部座屈のモードを示している。

図−4は、図−3で得られた座屈応力の極小値σ_{min}を細長比λをパラメータとして示す。横軸は板幅比β，縦軸はσ_{min}をYoung係数，細長比で処理している。図より、細長比がいずれの場合についても図−3の結果と同様な傾向を示している。

図−5は、細長比$\lambda=50$の場合について，形状比a/bを大きくした場合の座屈応力の変化を示す。形状比が大きくなると折板構造の座屈モードは，局部座屈から全体座屈のモードに変化している。例えば，$\beta=0.2$の場合，形状比$a/b=8$に遷移点を有する。

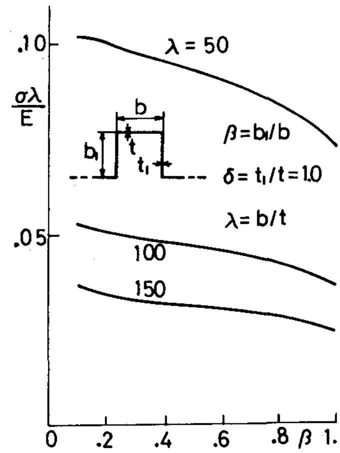
図−6は，図−5の場合と同様な処理を細長比λを変えて行ない，板幅比と遷移点の関係を示している。図より板幅比が大きいほど，また細長比が大きいほど，遷移点の形状比が大きくなることを示している。

数値計算結果より次のような座屈特性が得られた。

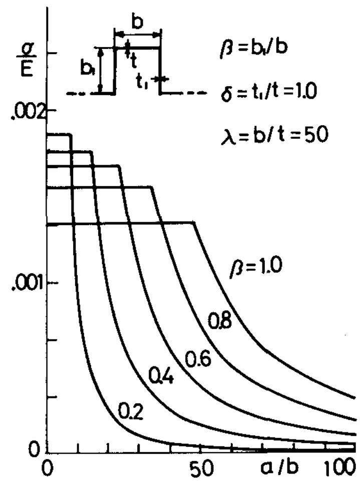
1．矩形が偏平（βが小さい）であるほど局部座屈モードとしての座屈応力は大きいが，逆に全体座屈モードへ移行しやすい。

2．細長比λが小さいほど局部座屈モードの座屈応力は大きいが，全体座屈モードへ移行しやすい。

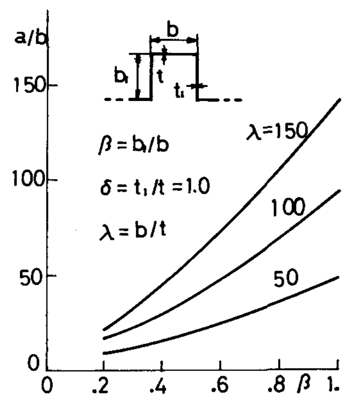
3．折板構造は形状比により局部座屈モードか全体座屈モードのいずれかが生じるため，形状比に関係なく直交異方性板としての近似を行なうことができない。また直交異方性板としての近似は全体座屈モードの領域に限られる。



図−4 座屈値



図−5 座屈値



図−6 座屈値

＜参考文献＞

1．見澤築光他；薄肉開断面部材の座屈解析について。土木学会中国四国支部年次学術講演会　昭和56年

2．三本木茂夫；波板の圧縮座屈特性の解析。航空宇宙技術研究所報告 604号　昭和55年