

有孔板の弾塑性せん断座屈強度

福山大学工学部 正員 上野谷 実

1. まえがき

孔を有する板の座屈強度は、板の形状、孔の形状と大きさ、境界条件、荷重などによって変化する。ここでは、中央に円孔を有する正方形板が周辺で単純支持され、せん断荷重を受ける場合の弾塑性座屈強度を検討する。文献(1)では、図-1に示すような周辺上で等分布せん断応力が作用する場合(以下「等分布せん断応力変形」と呼ぶ)について、また文献(2)では図-2に示すように周辺が直線を保つような変形をする場合(以下「純せん断変形」と呼ぶ)について境界条件が単純支持あるいは固定の有孔板の弾塑性座屈強度を明らかにしている。しかし、実際の構造物では完全な単純支持がほとんどなく、フランジや補剛材で囲まれた板構造と単純支持の境界条件として扱うことが多い。本報告はフランジで支持される有孔板の座屈実験と解析の結果と比較し考察を行ったものである。

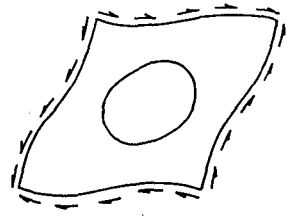


図-1 等分布せん断応力変形

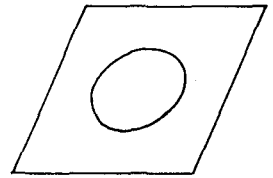


図-2 純せん断変形

2. 実験方法

載荷方法は図-3に示すように試験機の圧縮荷重を丸鋼からフランジを経て有孔板にせん断荷重として作用させた。本実験の供試体は、正方形板の辺長 l と円孔径 d の比で表わすと $l/d = 0.3, 0.5, 0.7$ の有孔板および無孔板($l/d = 0$)の4種類であり、寸法は図-3に示すとおりである。有孔板に使用した材料は、構造用軟鋼で引張降伏応力は $\sigma_y = 194.5 \text{ N/mm}^2$ であった。有孔板の面内応力は電気抵抗線ひずみゲージで、また板の面外たわみはダイヤルゲージで測定した。

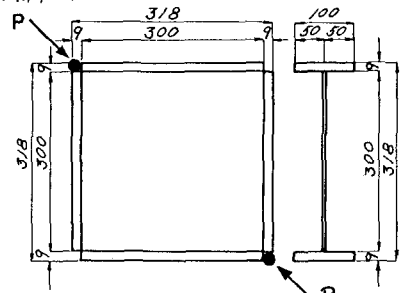


図-3 供試体

(単位 mm)

3. 実験結果及び考察

本実験の載荷方法による応力状態を検討するために測定した無孔板の周辺近傍における応力分布を図-4に示す。図中で σ_x は次式で定義する応力で、平均せん断応力と呼ぶ。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

$$\sigma_x = \frac{Q}{l} = \frac{P}{l^2}, \quad A = l \cdot t$$

図-4によれば断面 aa' のせん断応力は、載荷直近くで $\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y} = 1.34$ 、辺中央で $\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y} = 0.78$ 、非載荷直近くで $\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y} = 0.46$ と直線的に減少し、等分布になっている。また、フランジの軸方向の垂直応力 σ_y は無視できない大きさを示している。図に示していないが、板中央における応力は $\frac{\sigma_{xx}}{\sigma_y} = 1.01$ 、 $\frac{\sigma_y}{\sigma_y} = 0.32$ 、 $\frac{\sigma_z}{\sigma_y} = 0.16$ であった。このように本実験の載荷方法によるせん断応力分布は、周辺で等分布せん断応力ではないが板中央部分ではほぼ平均せん断応力に近くなる。有孔板の周辺におけるせん断応力分布は変形がフランジによって拘束されるため辺中央で大きくなる山型となり、図-1と図-2の中間的な応力分布となる。

図-5に座屈挙動を表わす荷重-面外たわみの関係を示す。たわみの測定は、無孔板が板の中央であり、有孔板が最大たわ

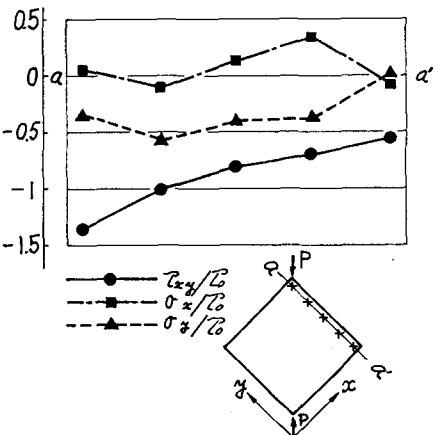


図-4 無孔板の面内応力

みを生ずると予想される対角線
上の孔縁である。図中の $\frac{\Delta_{max}}{t}$ は
載荷前に測定した板の初期たわ
み最大値 Δ_{max} と板厚 t の比
であり、この値が 1 より小さい場
合初期たわみが座屈強度に与え
る影響はほとんどないと言われ
ている。図-4 からわかるよう
に、 $\frac{d}{l}=0.3$ 以外は座屈荷重に
近づくと面外たわみが急激に増
加する典型的な板の座屈挙動を
示す。座屈モードは、無孔板と

$\frac{d}{l}=0.3$ の有孔板が対称座屈であり、 $\frac{d}{l}=0.5$ と 0.7 の有孔
板が非対称座屈だった。

図-6 に単純支持された有孔板のせん断座屈強度曲線
と本実験結果を示す。これによれば、本実験の供試体は
 $\frac{l}{t}=3.0$ であるから、弾塑性座屈から塑性崩壊の有孔板
である。無孔板の場合、理論では塑性崩壊であるが、実
験では座屈で崩壊した。これは板内の応力が均一でない
ため局部的塑性域が生じ面外周折性の低下により、座
屈が生じたものと思われる。 $\frac{d}{l}=0.3$ の有孔板の座屈強
度は等分布せん断応力変形よりわずかに小さい。 $\frac{d}{l}=0.5$
と 0.7 の有孔板の座屈強度は等分布せん断応力変形と純
せん断変形のほぼ中間の強度を示す。本実験の載荷方
法による応力分布からみれば $\frac{d}{l}=0.5$ と 0.7 の座屈強度
が妥当であると考えた。 $\frac{d}{l}=0.3$ の有孔板は荷重-面外
たわみ曲線においても他の板と異なり、小さい荷重段階
で急激な面外たわみ増加がみられた。

4. あとがき

本実験の供試体のように溶接したフランジによって支
持される有孔板がせん断荷重を受けるときの弾塑性座屈
強度は、等分布せん断応力変形と純せん断変形の中間に
なることが実験によって明らかになった。この座屈強度

はフランジの断面積と密接の関数があるので、フランジ断面積を変化させて多数の実験を行なう必要がある。

参考文献

- (1) M. Uenoya and R.G. Redwood, "Elasto-plastic Shear Buckling of Square Plates with Circular Holes", Computers and Structures, Vol. 8, 1978.
- (2) 大村裕, 工野谷実, 向井博之, "円孔を有する正方形板のせん断座屈について", 第31回土木学会中国四国支部
学術講演概要, 昭和54年5月.

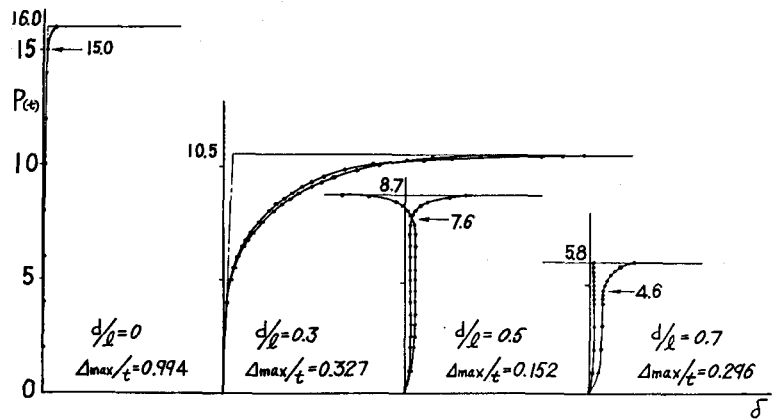


図-5 荷重-面外たわみ

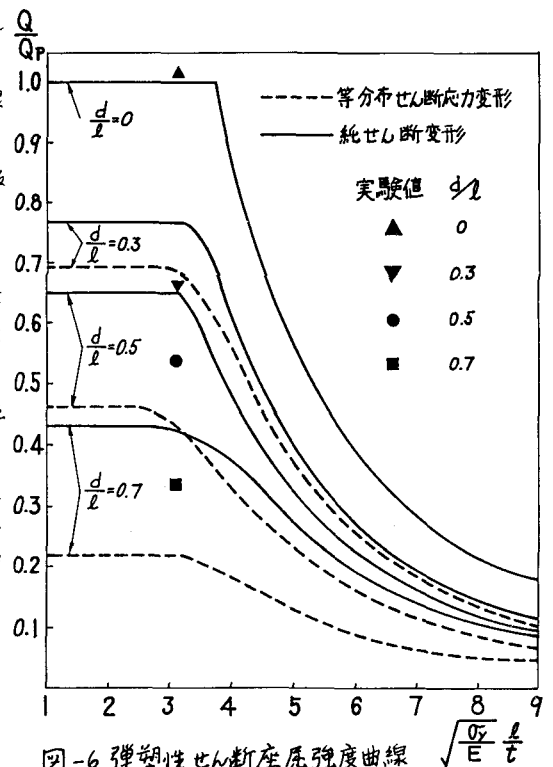


図-6 弾塑性せん断座屈強度曲線