

まえがき

孔を有する板の座屈強度は、孔の形状と大きさ、境界条件、荷重条件などによって変化する。有孔板は孔のため応力集中が生じ、局部的塑性域が生ずることもある。ここでは、中央に円孔を有する正方形板が周辺境界で固定され、せん断荷重を受けるときの弾塑性座屈強度を検討する。円孔を有する正方形板が周辺で等分布のせん断応力を受けると、板は図-1(a)のような変形をする。ところが実際の構造物は周辺境界に補剛材などが存在し、面内変形が拘束されることが多い。その極端な場合として、周辺の面内変形が剛なものに拘束されると図-1(b)のように周辺が直線を保つようなせん断変形をする。いま便宜的に、図-1(a)を等分布せん断応力変形、図-1(b)を一様せん断変形とよぶことにする。本報告は周辺で固定され、一様せん断変形を受ける正方形板が中央に円孔を有するときの弾塑性座屈実験について述べ、実験結果とすでに発表しに解析結果¹⁾と比較検討する。

実験方法

載荷装置を図-2に示す。供試体の有孔板は四隅ガヒンジの鋼製の載荷枠に高力ボルトで固定し、試験機の引張力で一様せん断変形を与えた。供試体の種類は、正方形板の辺長 l と円孔径 d の比で表わすと、無孔板($d/l=0$)、有孔板 $d/l=0.3, 0.5, 0.7$ である。供試体の寸法は辺長 $l=400\text{mm}$ で平均の板厚は $t=3.0\text{mm}$ である。材質は構造用軟鋼で引張降伏応力は $\sigma_y=2680\text{N/mm}^2$ だった。板の面内応力は電気抵抗線ひずみゲージで、面外にのみはダイヤルゲージで測定した。

実験結果および考察

図-3, 4に無孔板と有孔板の面内弾性応力の実験値および要素内応力一定の三角形要素を用いた有限要素法による理論値を示す。これらの図において、すべての応力成分は次式で定義する平均せん断応力 τ_0 によって無次元化している。

$$\tau_0 = \frac{Q}{A}$$

$$\text{ここに、} Q = \frac{P}{\sqrt{2}}, \quad A = l \cdot t$$

図-3において、無孔板の場合、理論値は板内どこでも $\frac{\sigma_{xx}}{\tau_0}=1$, $\frac{\sigma_{yy}}{\tau_0}=\frac{\sigma_{xy}}{\tau_0}=0$ である。実験値は周辺境界から 20mm 内側の断面 $a-a'$ における測定値である。せん断応力 $\frac{\tau_{xy}}{\tau_0}$ は辺の中央付近で理論値によく近似しているが、両端付近で理論値をかなり下まわる。垂直応力 $\frac{\sigma_{xx}}{\tau_0}$ は辺の中央付近で無視できない値を示すが両端付近ではゼロに近似する。また $\frac{\sigma_{yy}}{\tau_0}$ は断面全体でゼロに近い値である。降荷後の観測でわかったことであるが、集中力の作用する近傍で載荷枠と供試体の板との間にずれが生じた形跡があった。こ



(a) 等分布せん断 応力変形 (b) 一様せん断変形

図-1 有孔板のせん断変形

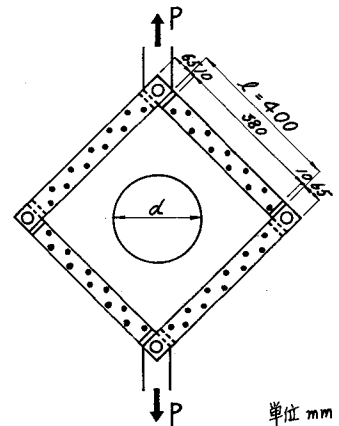


図-2 載荷装置

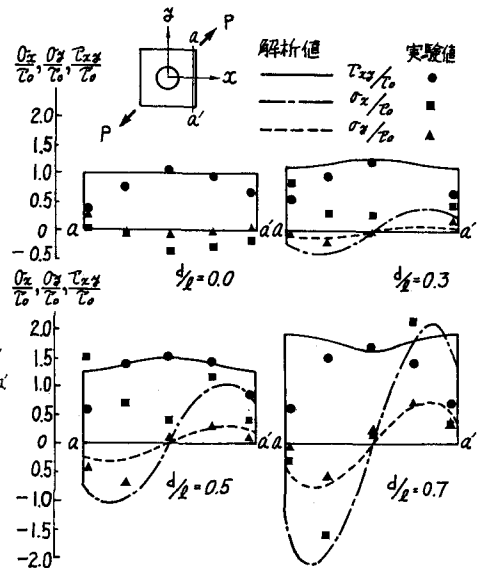


図-3 周辺の応力分布

れが前述の理論値と実験値の差異の原因と思われる。有孔板の場合にも、この載荷枠と供試体とのずれによる影響と思われる現象がみられる。すなわち、せん断応力 $\frac{\sigma_x}{\tau_0}$ および垂直応力 $\frac{\sigma_y}{\tau_0}$ の実験値は辺の両端を除いて理論値とよく近似しているが、 $\frac{\sigma_x}{\tau_0}$ は $\frac{d}{l} = 0.3$ と 0.5 の場合、載荷枠から辺の中央まで理論値と逆符号の分布を示す。

図-4 に有孔板の円孔縁の接線方向垂直応力 $\frac{\sigma_\theta}{\tau_0}$ を示す。 $\frac{d}{l} = 0.3$ は理論値よりやや小さく、 $\frac{d}{l} = 0.5$ および 0.7 はやや大きくなっているがよい近似をしている。このように載荷枠のホルト締めが不完全で周辺における応力分布が理論値と異なっても、板中央付近では理論に近い応力状態になることがわかる。

図-5 に荷重と面外にわみの関係を表わす $P-\delta$ 曲線を示す。座屈荷重は、 $P-\delta$ 曲線の初期勾配と座屈に

よって面外剛性が最小になったときの直線の交差の荷重 Q/Q_p とした。図中の $\frac{\delta_{0, \max}}{t}$ は最大初期たわみと板厚 t の比で表わしたものである。この図によれば、有孔板は無孔板に比較して、座屈直前にかなり大きい面外にわみを生ずる。これは孔の応力集中によって局部的塑性域が拡がり面外剛性が低下して生ずるものと思われる。

図-6 に周辺で固定された有孔板の座屈強度曲線と実験結果を示す。縦軸の Q_p は次式で定義する塑性せん断力である。

$$Q_p = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} A$$

この図によれば、 $\frac{d}{l} = 0.3$ を除いて実験値は一樣せん断変形の理論値よりわずかに小さいがよく近似している。 $\frac{d}{l} = 0.3$ の実験値は理論値より 16% 大きい。 $\frac{d}{l} = 0.3$ は図-6 の中に示す供試体の斜線部分を切断しなかった。このため面内剛性が増加して座屈強度が理論値より大きくなったものと思われる。

参考文献 (1) 大村, 上野谷, 向井, "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。

(2) M. Uenoya and R.G. Redwood, "Elasto-plastic Shear Buckling of Square Plates with Circular Holes", Computers and Structures, Vol. 8, 1978.

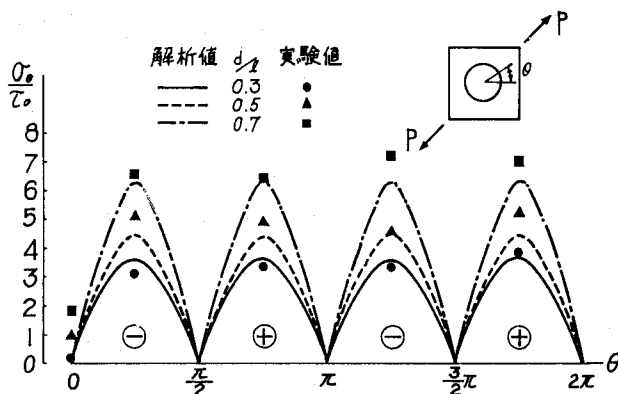


図-4 円孔縁応力

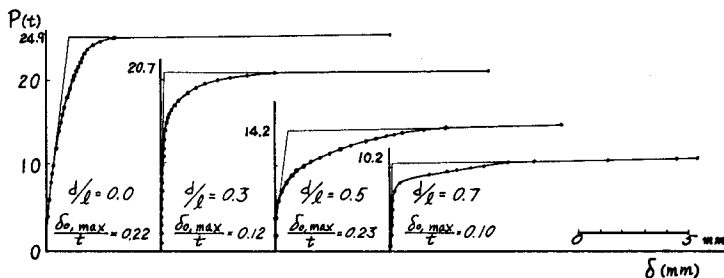


図-5 荷重-面外にわみ

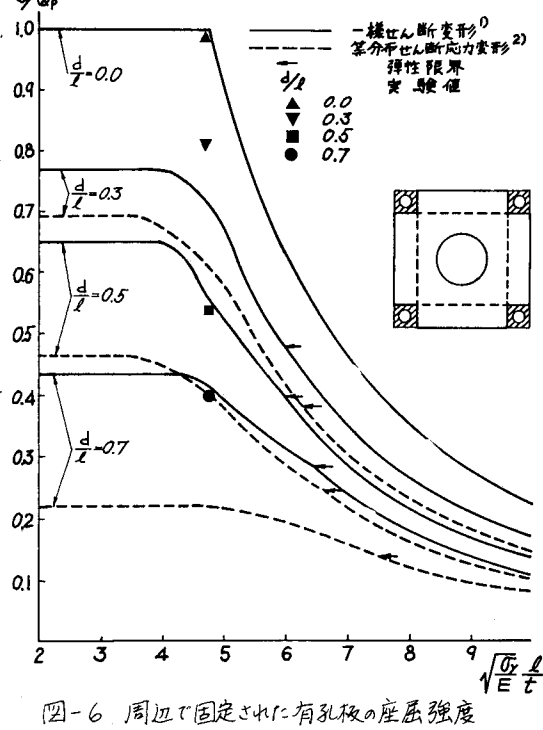


図-6 周辺で固定された有孔板の座屈強度