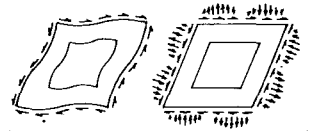


四角形孔を有する正方形板の弾塑性せん断座屈に関する実験的研究

福山大学 工学部 正員 上野谷 実
福山大学 大学院 学生員 ○滝川 英樹

1. まえがき 孔を有する板の座屈強度は、孔の形状と大きさ、周辺の境界条件、荷重条件、材料強度などにより変化する。前回は板の中央に円孔があり、周辺を補剛材により支持される正方形板が、せん断荷重を受ける場合の弾塑性座屈強度について検討した¹⁾。今回は、孔形が正方形孔以外は前回と全く同じ条件における座屈実験を行ったので、その結果を報告する。



(a) 等分布せん断応力変形 (b) 単せん断変形

図1 有孔板のせん断変形

理論解析では、面外変形に対する境界条件を単純支持および固定支持とし、周辺の面内方向変位に対する境界条件を図1(a)に示すように周辺上で等分布せん断力が作用する場合²⁾以下「等分布せん断応力変形」と呼ぶ)と、図1(b)に示すように周辺が直線を保つような変形をする場合³⁾以下「単せん断変形」と呼ぶ)の有孔板の弾塑性座屈強度が明らかにされている。しかし実際の構造物においては、補剛材に囲まれた構造形式が多く図1の(a)と(b)の中間の変形や座屈強度を示すものと考えられる。そこで本研究は、板周辺を補剛材によって支持されせん断荷重を受ける場合、座屈強度にどのような影響を与えるかを明らかにするものである。

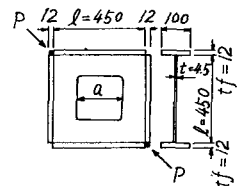
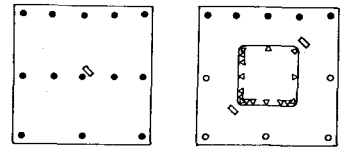


図2 供試体(単位:mm)

2. 実験方法 荷重は、図2に示すように試験機の圧縮荷重Pが丸鋼から補剛材を経て板周辺にせん断荷重として作用する方法で行った。本実験の供試体は、図に示すように正方形鋼板に補剛材をすみ肉溶接した。実験した板の種類は、正方形孔の辺長aと板の辺長lに対する比で表わすと、 $a/l = 0.3, 0.5, 0.7$ の有孔板および無孔板の4種類である。実験に用いた鋼板は構造用軟鋼SS41で、引張強度試験の結果は引張降伏応力 $\sigma_y = 3020 \text{ kgf/cm}^2$ であった。面内応力は、図3に示す位置に貼付けた電気抵抗線ひずみゲージにより弾性域から座屈に至るまでのひずみの変化を測定した。また、面外たわみは最小目盛1/100 mmのダイヤルゲージで測定した。



- 直角ロゼットひずみゲージ両面貼付け
- 直角ロゼットひずみゲージ片面貼付け
- △ 孔縁の単軸ひずみゲージ貼付け
- 面外たわみの測定位置

図3 ゲージの貼付け位置

3. 実験結果および考察 本研究では、正方形孔板の平面弾性応力解析を有限要素法で行った。用いた要素は、要素内応力一定の三角形要素で図4に示すような要素分割とし、集中荷重を載荷した。また、対称性を利用して実際の計算は正方形板の1/4について行った。

解析結果および実験結果は、次式で定義される平均せん断応力で各成分を除することにより無次元化応力として表示する。

$$\tau_0 = Q/A \cdots \cdots (1) \quad \text{ここに、} Q = P/\sqrt{2}, A = t \cdot l$$

図5に無孔板と有孔板の周辺近傍の断面 $\tau_1 - \tau_1$ および板中央断面 $\tau_2 - \tau_2$ を示す。理論的な純せん断応力状態は、 $\tau_{12}/\tau_0 = 1, \sigma_x/\tau_0 = \sigma_y/\tau_0 = 0$ で、本実験の載荷方法は縦方向の集中荷重によるものであり、純せん断に $\sigma_x/\tau_0 = \sigma_y/\tau_0 = -0.2 \sim -0.3$ の圧縮応力が作用する応力状態と考えられる。有孔板は、孔の小さい場合に解析値に近い近似を示すが、孔の大きさが $a/l = 0.7$ と大きくなると実験によるせん断応力 τ_{12} は、解析値との差が大きくなる。

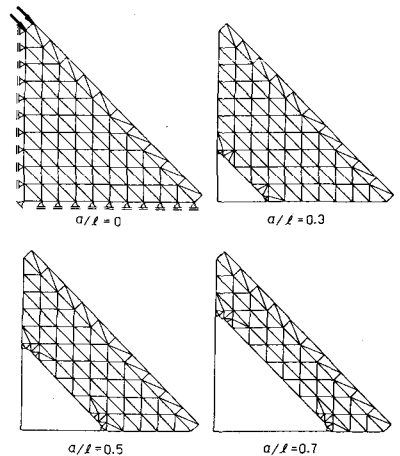


図4 有限要素分割

図6に有孔板の孔縁における接線方向垂直応力 σ_{θ}/σ_0 を示す。

図よりわかるように $a/l = 0.3, 0.5$ の場合、実験値は解析値によく近似しているが、 $a/l = 0.7$ と孔が大きくなると実験値は解析値より著しく大きな値を示す。

図7に荷重 P と面外たわみ δ の関係を示す。無孔板では、座屈荷重以前においてたわみの増加はほとんど生じないが、座屈荷重に達すると急激にたわみが増加し座屈崩壊する。しかし有孔板では、座屈荷重よりかなり小さい荷重段階から面外たわみの増加が著しく、座屈に達した時には既に大きな面外たわみを生じている。これは、座屈荷重の約30%前後の荷重段階で孔縁の応力集中によって局部的塑性域が生じ、荷重の増加とともに徐々に広がり、板の面外剛度が低下し、面外たわみが増加するものと考えられる。

図8に孔の大きさと座屈強度の関係を示す。縦軸は板の周辺に作用するせん断力を、次式で定義する塑性せん断力で除した無次元せん断力である。

$$Q_p = A \cdot \sigma_y / \sqrt{3} \dots (2)$$

無孔板の実験座屈強度は、純せん断の解析値と比較して10%低下している。本実験の応力状態は純せん断ではなく、板中央において生ずる垂直応力 $\sigma_x/\sigma_0 = \sigma_y/\sigma_0 = -0.2 \sim -0.3$ の影響で座屈強度が低下したものである。図中の解析値は、円孔板の弾塑性せん断座屈強度である。正方形孔に対する解析値はないので、ここでは正方形孔と面積の等しい円孔に換算し、便宜的に比較を行う。正方形孔板の座屈強度は、円孔板よりかなり小さい傾向がみられる。これは正方形孔板の場合、孔の隅角部に生じる応力集中が円孔の場合より大きく塑性域の発生する荷重が小さいので、板の面外剛性の低下が著しく、座屈強度も円孔板より低下するものと思われる。

4. あとがき 以上のことから応力分布は、有孔板の孔の小さい場合実験値は解析値によく近似するが、 $a/l = 0.7$ と孔が大きくなると補

剛材の面内変形拘束は理論解析より小さくなり実験値は等分布せん断応力変形に近づく傾向がある。正方形孔板の座屈強度は、正方形孔の隅角部における応力集中が大きいため円孔板より小さく、孔が大きくなるほどその度合は著しい。今後の課題は、正方形孔板の座屈強度は円孔板よりかなり低下するので、正方形孔板の座屈解析を行い理論的に座屈強度を把握する必要がある。

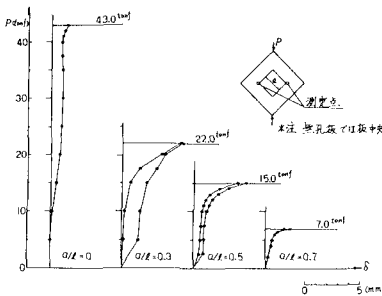


図7 荷重—たわみ曲線

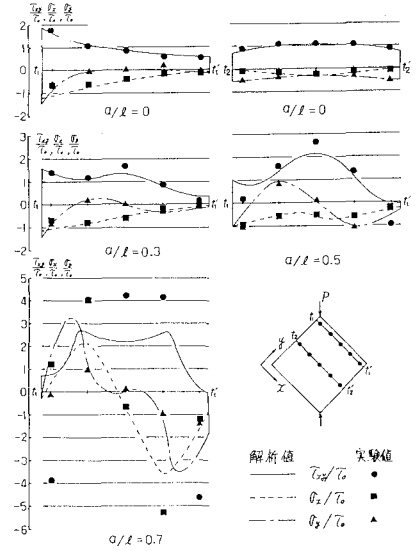


図5 板の中立面における応力分布

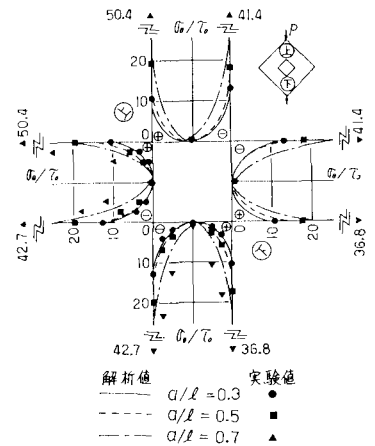


図6 孔縁の接線応力

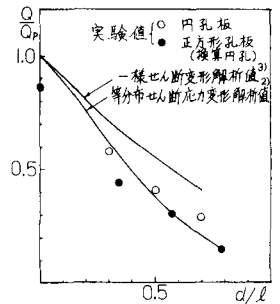


図8 孔の大きさと座屈強度の関係

- 参考文献 1.上野谷他“補剛材で支持される有孔板の弾塑性せん断座屈実験について”第34回中国四国支部学術講演概要、昭和57年
 2.Uenoya and Redwood, "Elasto-plastic Shear Buckling of Square Plates with Circular Holes", C&S, vol. 8, 1978
 3.大村他“円孔を有する正方形板のせん断座屈について”第31回中国四国支部学術講演概要、昭和54年