

I-75

せん断荷重を受ける正方形孔板の弾塑性座屈に関する実験的研究

福山大学 工学部 正員 ○中村 雅樹

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、荷重条件、周辺境界の支持条件等によって異なる。本実験では面外方向に対する境界条件を固定支持とし板周辺の面内方向変形に対する境界条件を図1のように板周辺が直線を保ったまません断変形するような载荷装置によりせん断座屈実験を行った。著者らは既に正方形孔板の弾塑性せん断座屈実験を行っている¹⁾が今回はより純せん断状態に近づけるため連結ピンに改良を加えた载荷方法によって幅厚比 143の正方形鋼板が板の中央に大きさの異なる正方形孔を有する場合の弾塑性せん断座屈実験を行い、孔の大きさと座屈強度および塑性崩壊強度や孔縁と周辺の応力状態を既往の理論解析の結果²⁾と比較検討する。

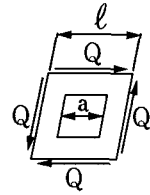


図1 有孔板のせん断変形

2. 実験方法 载荷方法は図2に示すように、試験機による引張荷重Pと油圧ジャッキによる圧縮荷重Pを連結装置から载荷フレームを経て板周辺が一樣せん断変形となる方法を用いた。供試体は正方形鋼板の辺長 $l=400$ と正方形孔の孔長 a の比で表すと、無孔板 $a/l=0$ および有孔板 $a/l=0.3, 0.5, 0.7$ の4種類である。鋼板は $t=2.8\text{mm}$ の一般構造用鋼板ASTM-A36である。引張強度試験の結果は引張降伏応力 $\sigma_y=3200\text{kgf/cm}^2$ (314MPa)、引張強さは $\sigma_u=4400\text{kgf/cm}^2$ (431MPa)であった。板の面内変位および面外たわみは最小目盛りを $1/1000\text{mm}$ に設定したマルチ変位計によって測定した。初期たわみは $a/l=0$ の中央部の 0.104mm がすべての鋼板において最大であった。

表1 最大初期たわみ

a/l	最大初期たわみ $\delta_{0\text{max}}$ (mm)	$\delta_{0\text{max}}/t$
0	-0.015, 0.104	-0.005, 0.037
0.3	-0.095, 0.099	-0.034, 0.035
0.5	-0.090, 0.094	-0.032, 0.034
0.7	-0.095, 0.094	-0.034, 0.034

3. 実験結果および考察 図3に無孔板の周辺断面、中間断面および中央断面の応力分布を示す。解析および実験値は次式で定義される平均せん断応力 τ_0 によって各応力を除し無次元応力として表示している。

$$\tau_0 = Q / l t \quad \dots\dots(1) \quad Q = \sqrt{2} P \quad \dots\dots(2)$$

ここに、Q:周辺せん断力 P:対角線方向荷重

無孔板の理論的な応力は $\tau_{xy}/\tau_0 = 1, \sigma_x/\tau_0 = \sigma_y/\tau_0 = 0$ の純せん断応力状態である。図3より集中荷重の影響を受けている周辺断面の载荷点以外では理論によく近似する。正方形孔を有する正方形鋼

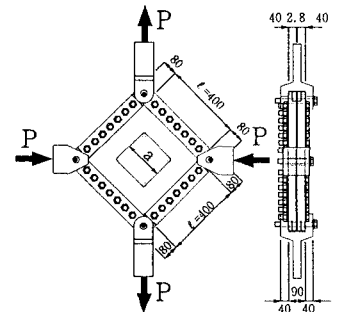


図2 载荷方法(単位:mm)

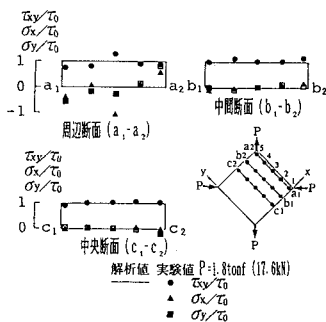


図3 無孔板の弾性応力分布

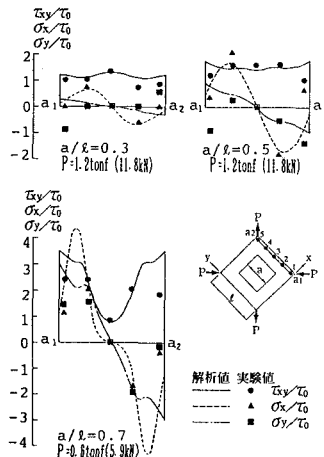


図4 正方形孔板の弾性応力分布

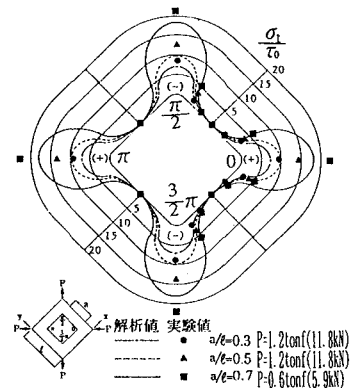


図5 孔縁の垂直応力分布

板の平面弾性応力解析値は有限要素法で要素内応力一定の三角形一次要素による結果を示している²⁾。図4に有孔板の周辺断面における応力分布を示す。実験値と解析は荷重点付近以外では良く近似している。

図5に孔縁の接線方向の垂直応力 σ_t/τ_o の分布を示す。隅角部は実験値が解析よりやや大きいが全体的には解析とよく近似している。

図6に荷重－面外たわみ曲線を示す。無孔板は座屈後、板中央で降伏が始まると曲線が傾き周辺断面の塑性貫通の後、塑性域の拡がりにより急激にたわみが増加する。有孔板は孔縁の塑性開始後、座屈荷重まで徐々に増加するが周辺断面の塑性開始後に急激に増加している。

図7に座屈荷重を決めた荷重－面外たわみ曲線を示す。座屈荷重は無孔板の場合、座屈荷重付近までの接線と、座屈荷重後付近の接線の交点とし、有孔板の場合、座屈荷重後付近の曲線の接線と荷重軸との交点とした。有孔板は決定した2つの座屈荷重の平均とした。

図8に塑性崩壊荷重を決定した荷重－平均せん断ひずみ曲線を示す。正方形鋼板の平均せん断ひずみ γ_o は次式で定義している。

$$\gamma_o = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) / \sqrt{2} \ell \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$: 鋼板隅角部の対角線方向面内変位

(荷重方向変位を正とする)

全ての曲線は塑性域に達すると急激に傾きが小さくなり塑性崩壊する。その後、無孔板の場合はひずみ硬化の影響を受け強度が増加する。ここでの塑性崩壊荷重は面内変位が急激に大きくなる時の荷重を示す。

図9に座屈強度および終局強度の関係を示す。無孔板の塑性せん断力 Q_p は、ひずみ硬化を考えない場合、次式によって定義する。

$$Q_p = \sigma_{yt} \ell / \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots (4)$$

実験による座屈強度は解析と比較して $a/\ell = 0.0, 0.3$ で2.2, 8.4%とよく近似している。 $a/\ell = 0.5, 0.7$ の場合、解析より28.6, 18.9%小さいのは孔縁隅角部の応力集中が大きいためと思われる。実験による塑性崩壊強度が $a/\ell = 0.0, 0.3$ の場合に面外たわみを考慮していない解析と比較して13.8, 20.0%小さいのは座屈による面外たわみの影響によって対角線方向に塑性ヒンジ線の貫通が早まるためと思われる。また、 $a/\ell = 0.5, 0.7$ の場合、解析より27.2, 18.4%小さいのは座屈による面外たわみの影響と孔縁隅角部の応力集中が大きいためと思われる。

4. あとがき (1)弾性応力は正方形鋼板の隅角部および正方形孔の隅角部以外で解析によく近似する。(2)実験の座屈強度は $a/\ell = 0.0, 0.3$ で良く近似するが、 $a/\ell = 0.5, 0.7$ は解析より応力集中が大きいため19~29%小さい。(3)実験の塑性崩壊強度は座屈による面外たわみと孔縁隅角部の応力集中が大きい影響によって解析より $a/\ell = 0 \sim 0.7$ に対して14~27%小さい。(4)塑性崩壊荷重後、無孔板はひずみ硬化の影響により強度増加が著しいが、有孔板は孔縁隅角部に亀裂が生じて終局状態になるので塑性崩壊後の強度はあまり期待できない。

参考文献：(1)上野谷, 中村: 正方形孔を有する固定正方形鋼板の弾塑性せん断座屈実験, 第43回年次学術講演会概要集, 1988. (2)上野谷: 正方形孔を有する正方形板の弾塑性せん断座屈強度, 福山大学紀要, Vol. 11, 1989.

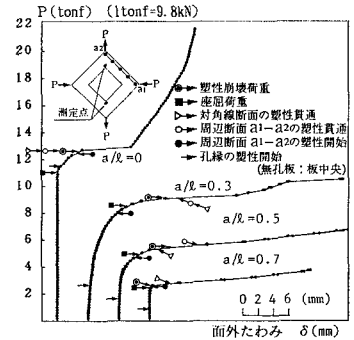


図6 荷重－面外たわみ曲線

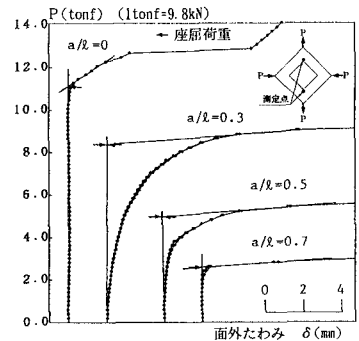


図7 荷重－面外たわみ曲線拡大図

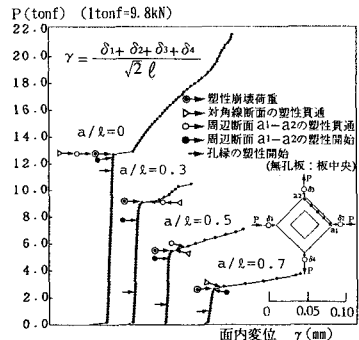


図8 荷重－平均せん断ひずみ曲線

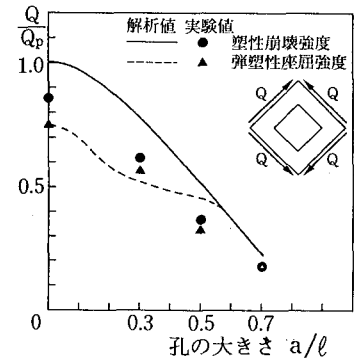


図9 座屈強度及び塑性崩壊強度