

I-49 円孔を有する固定正方形鋼板の弾塑性せん断座屈および終局強度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 工学部 正員 ○中村 雅樹

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変形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のように周辺が直線を保ったまません断変形する荷重装置によりせん断座屈実験を行った。著者らは引張荷重だけによる荷重方法によって弾塑性せん断座屈実験を行っている¹⁾。今回はより純せん断状態に近づけるため引張荷重と圧縮荷重による荷重方法によって幅厚比 143の正方形鋼板が板の中央に円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及び終局強度や孔縁と周辺の応力状態を実験的に明らかにし、既往の理論解析の結果²⁾と比較検討する。

2. **実験方法** 荷重方法は図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を連結装置から荷重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 と円孔の孔径 d の比で表すと、無孔板 $d/l=0$ と有孔板 $d/l=0.3, 0.5, 0.7$ の4種類である。鋼板は板厚 $t=2.8\text{mm}$ の一般構造用軟鋼SS-41である。引張強度試験の結果は引張降伏応力 3067MPa ($d/l=0$ は $\sigma_y=3207\text{MPa}$)、引張強さは $\sigma_u=4450\text{MPa}$ ($d/l=0$ は $\sigma_u=4439\text{MPa}$)であった。板の面外たわみおよび面内変位は最小目盛りを $1/1000\text{mm}$ に設定したマルチ変位計によって測定した。測定した初期たわみを表1に示す。

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

$$\tau_0 = Q/l \quad t \dots (1) \quad Q = \sqrt{2} P \dots (2) \quad \text{ここに、} Q: \text{周辺せん断力} \quad P: \text{対角線方向荷重}$$

無孔板の理論的な応力状態は $\tau_{xy}/\tau_0=1, \sigma_x/\tau_0=\sigma_y/\tau_0=0$ の純せん断応力状態である。これより集中荷重の影響を受けた荷重点以外、実験値は理論に近似している。円孔を有する正方形鋼板の平面弾性応力解析値は文献(2)において三角形一次要素を用いて有限要素法で行われている。

図4に有孔板の周辺断面における応力分布を示す。これより無孔板と同様に荷重点付近以外では解析とよく近似している。

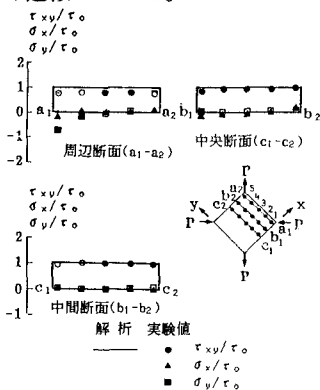


図3 無孔板の弾性応力分布

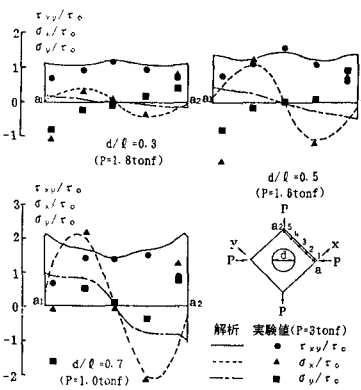


図4 円孔板の弾性応力分布

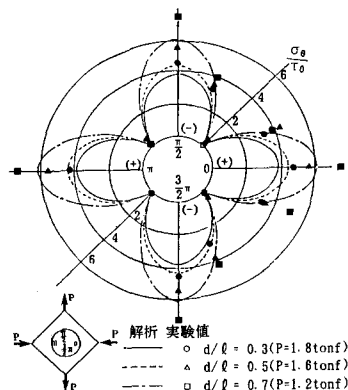


図5 孔縁の垂直応力分布

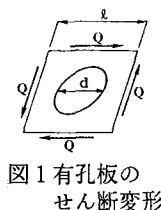


図1 有孔板のせん断変形

表1 最大初期たわみ

d/l	最大初期たわみ δ_{max} (mm)	δ_{max}/t (mm)
0	0.000, 0.810	0.000, 0.289
0.3	0.000, 0.199	0.000, 0.071
0.5	-0.073, 0.158	-0.026, 0.056
0.7	0.000, 0.097	0.000, 0.035

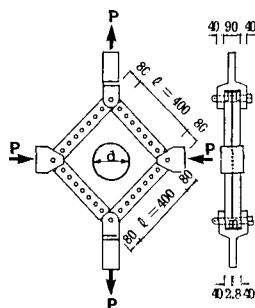


図2 荷重方法(単位:mm)

図5に孔縁の接線方向の垂直応力 σ_{θ} / τ_0 の分布を示す。これより載荷フレームが完全な剛体でないため実験値は全体的に大きくなる。

図6に荷重一面外たわみ曲線を示す。全ての曲線は座屈後、後座屈強度により耐荷力が増加するが終局荷重に達すると急激にたわみが増加する。その後無孔板及び孔の小さい有孔板は面外剛性が一時的に増加するような傾向を示す。これは大変形による軸力の影響と思われる。

図7に座屈荷重を決めた荷重一面外たわみ2乗曲線を示す。座屈荷重は曲線変化の大きい荷重段階の部分を1次回帰分析して荷重軸との交点とした。また有孔板は決定した2つの座屈荷重の平均とした。

図8に終局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_0 は次式によって定義する。

$$\gamma_0 = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) / \sqrt{2}l \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 $\delta_1 \sim \delta_4$: 鋼板隅角部の対角線方向面内変位(荷重方向を正)
終局荷重は曲線変化の大きい荷重段階の2点の接線と荷重軸との交点とした。これより無孔板の曲線は終局荷重に達すると比較的急激に傾くが、その後多少傾きを変化しながら最終荷重に至る。有孔板は終局荷重直前から徐々に曲線が変化して終局荷重に達している。

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。

$$Q_p = \sigma_y l t / \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots(4)$$

弾塑性座屈強度において $d/l = 0, 0.3, 0.5, 0.7$ は面外たわみ等の影響のため座屈による面外たわみを考慮しない塑性崩壊解析の強度よりそれぞれ8.3%, 0.0%, 16.3%, 4.3%小さい。終局強度において $d/l = 0, 0.3$ は解析よりそれぞれ8.6%, 1.8%小さく、 $d/l = 0.5$ は0%と良く近似し、 $d/l = 0.7$ は1.8%大きい値を示す。今回使用した載荷装置はせん断変形を生じる時の回転の中心が載荷フレーム内の連結ピンであり、鋼板4隅と異なるため、引張載荷点では絞り込みが生じ圧縮載荷点では引き裂きが生じる。このことより実験値は全体的に大きくなるはずであるが実際は座屈による面外たわみ等の影響のため終局強度が低下して結果的に解析とよく近似したものである。 $d/l = 0, 0.3, 0.5, 0.7$ において終局強度は座屈強度のそれぞれ1.37倍, 1.52倍, 1.75倍, 1.26倍となっている。

4. あとがき 今回用いた載荷装置の実験から次のことが明らかになった。

- (1)弾性応力は周辺断面の場合載荷点以外はよく近似し、孔縁の場合載荷フレームが完全な剛体でないため全体的に実験値が解析より大きい。
- (2)実験による弾塑性座屈強度は全体的に面外たわみの影響のため解析より0~16.3%小さい。
- (3)終局強度は載荷装置の特性による強度増加の影響と面外たわみによる強度低下の影響が相殺され結果的に塑性崩壊解析の強度と比較すると-8.6~1.8%の範囲内で近似する。
- (4)終局強度は弾塑性座屈強度の1.26~1.75倍ほどである。

参考文献:(1)上野谷, 中村: 円孔を有する固定正方形板の弾塑性せん断座屈実験, 第41回年講概, 1986.

(2)上野谷ら: 一樣せん断変形を受ける円孔を有する正方形板の弾塑性座屈強度, 論文集, 第386号, I-8, 1987.

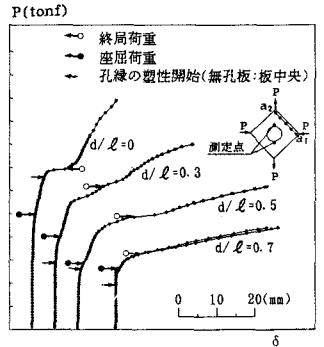


図6 荷重-たわみ曲線

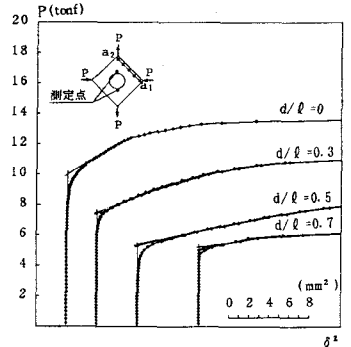


図7 荷重-面外たわみ2乗曲線

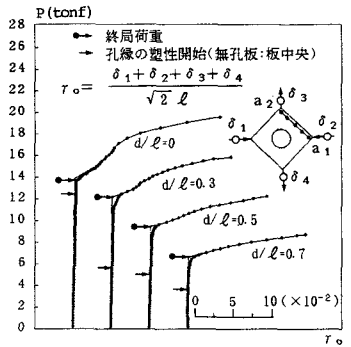


図8 荷重-平均せん断ひずみ曲線

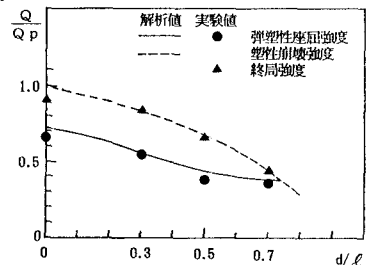


図9 座屈強度及び塑性崩壊強度