

I-70

正方形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載荷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載荷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載荷方法によって幅厚比 143の正方形鋼板が板の中央に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。

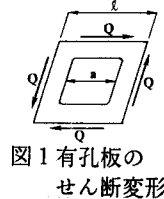


図1 有孔板のせん断変形

2. 実験方法 載荷方法は図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を連結装置から載荷フレームを経て板周辺が一様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 と正方形孔の孔長aの比で表すと、無孔板 $a/\ell=0$ と有孔板 $a/\ell=0.3, 0.5, 0.7$ 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 $\sigma_y=3272\text{kgf/cm}^2$ 、引張強さは $\sigma_u=4530\text{kgf/cm}^2$ であった。板の面内変位は最少目盛りが $1/100\text{mm}$ のダイヤルゲージ、面外たわみは最少目盛りを $1/1000\text{mm}$ 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。

表1 最大初期たわみ

a/ℓ	最大初期たわみ $\delta_{\text{max}} \text{ (mm)}$	δ_{max}/t
0	0.000, 0.810	0.000, 0.289
0.3	-0.730, 0.440	-0.261, 0.157
0.5	-0.120, 0.108	-0.043, 0.039
0.7	-0.080, 0.043	-0.029, 0.015

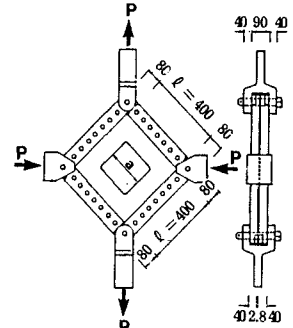


図2 載荷方法(単位:mm)

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。解析値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き無次元応力として表示している。

$$\tau_0 = Q / \ell t \dots\dots\dots(1)$$

$$Q = \sqrt{2} P \dots\dots\dots(2)$$

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。これより周辺断面でせん断応力が多少全体的に低下している以外、実験値は理論に近似している。正方形孔を有する正方形鋼板の平面弾性応力解析は文献(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。

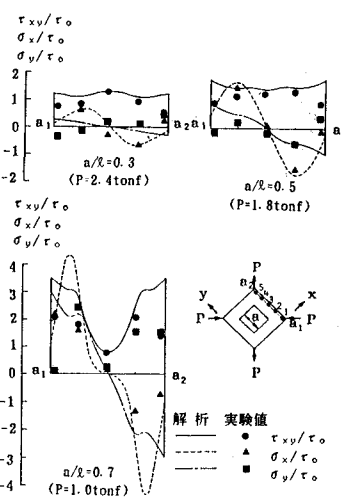


図4 正方形孔板の弾性応力分布

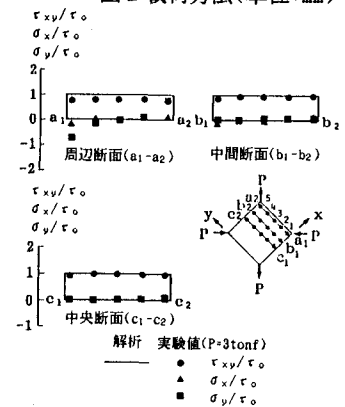


図3 無孔板の弾性応力分布

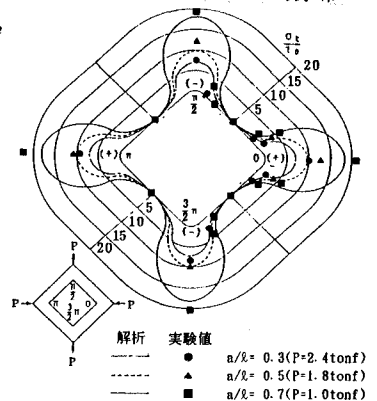


図5 孔縁の垂直応力分布

図4に有孔板の周辺断面における応力分布を示す。これより集中荷重の影響を受けた荷重点付近以外では解析とよく近似している。

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。隅角部では載荷フレームが完全な剛体でないため実験値が解析より大きい、全体的には解析とよく近似している。

図6に荷重一面外たわみ曲線を示す。鋼板 $a/l=0, 0.3, 0.5$ 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增加する。有孔板 $a/l=0.7$ の曲線は座屈荷重までたわみをあまり生じず、座屈荷重に達すると急激にたわみが增加する。

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。座屈荷重は板厚の2乗付近における曲線の接線と荷重軸の交点とした。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_o は次式によって定義する。

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

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。)

これより無孔板の曲線は、終局荷重に達すると塑性流れのような挙動を示している。有孔板 $a/l=0.3, 0.5$ の曲線は終局荷重直前から徐々に曲線が変化しながら終局荷重に達している。有孔板 $a/l=0.7$ の曲線は塑性座屈のため、終局荷重は座屈荷重と同じである。このことから有孔板 $a/l=0.7$ は塑性崩壊による塑性座屈と思われる。

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。

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

座屈強度において無孔板 $a/l=0$ は解析より8.8%小さく、有孔板 $a/l=0.3, 0.5$ は解析よりそれぞれ20.6, 21.4%小さい。これは座屈前に生じる面外たわみの影響と思われる。終局強度において無孔板 $a/l=0$ は解析より9.1%小さく、有孔板 $a/l=0.3$ は解析より2.73%小さく $a/l=0.5$ は5.52%大きいだけであるが $a/l=0.7$ は44.7%大きい。 $a/l=0.7$ の終局強度が解析より大きいのは集中荷重の影響によって荷重が型枠に充分伝達しなかったためと思われる。

4. あとがき 今回使用した載荷装置で行った実験によって次のことが明らかになった。(1)弾性応力は正方形鋼板の周辺断面及び正方形孔板の隅角部以外で解析によく近似する。(2)実験による弾塑性座屈強度は座屈前に生じる面外たわみの影響によって解析より8.8~21.4%小さい。(3)実験による終局強度は荷重の伝達が不充分なため $a/l=0\sim 0.7$ に対して解析より-9.1~44.7%大きい。(4)終局強度は $a/l=0, 0.3, 0.5$ の場合、座屈強度のそれぞれ1.38倍、1.85倍、1.47倍であった。 $a/l=0.7$ の場合、終局強度と座屈強度は同じであった。

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回年講概, 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.

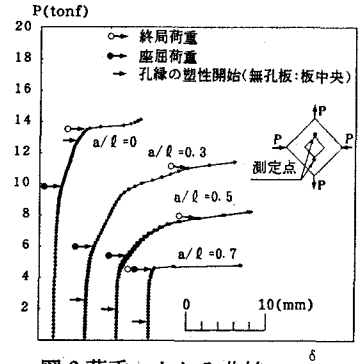


図6 荷重—たわみ曲線

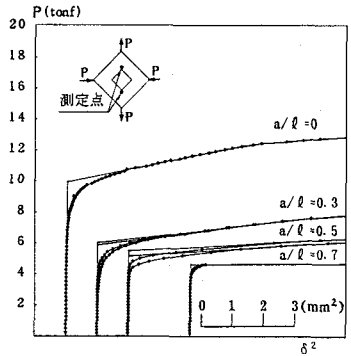


図7 荷重—一面外たわみ2乗曲線

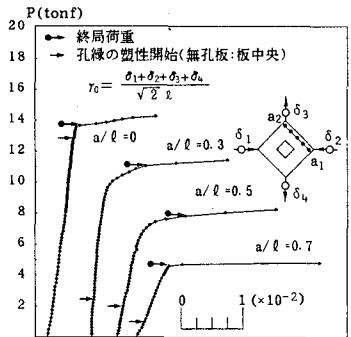


図8 荷重—平均せん断ひずみ曲線

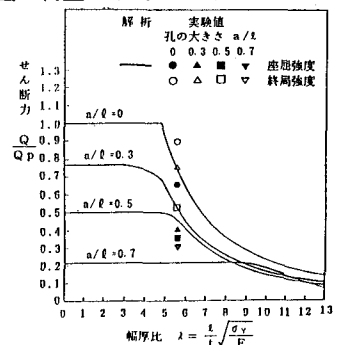


図9 座屈強度及び塑性崩壊強度