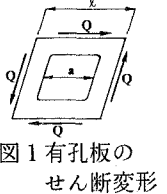


I-36

正方形孔を有する固定正方形鋼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 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。著者らはすでに幅厚比 125の正方形鋼板の弾塑性せん断座屈実験を行っている¹⁾が、今回は新しく考案した純せん断載荷装置によって幅厚比 111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。



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樣せん断変形となる方法を用いた。供試体は図3に示すように鋼板の四隅を切り取り正方形鋼板の辺長 l と正方形孔の孔長 a の比で表すと、無孔板 $a/l=0$ と有孔板 $a/l=0.3, 0.5, 0.7$ の4種類である。鋼板は $t=1.8\text{mm}$ 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 $\sigma_y=3400\text{kgf/cm}^2$ で、引張強さ $\sigma_u=4490\text{kgf/cm}^2$ であった。ひずみゲージは図3に示す位置に接着した。板の面外たわみ及び面内変位は、最少目盛りが $1/100\text{mm}$ のダイヤルゲージによって測定した。初期たわみは $a/l=0.3$ の孔縁の 0.09mm がすべての鋼板において最大であった。

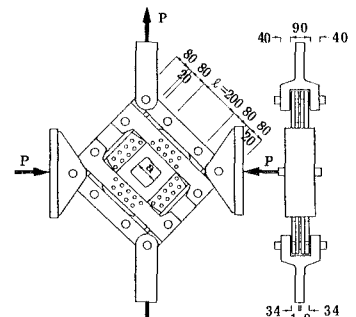


図2 載荷装置(mm)

3. 実験結果及び考察 図4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し無次元応力として表示している。

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

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。これより型枠の剛性不足の影響を受けている周辺断面の載荷点以外では理論に良く近似している。

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)において有限要素法で三角形一次要素を用い図5に示す要素分割で行われている。

図6に有孔板の周辺断面における応力分布を示す。これより載荷点付近以外では解析とよく近似している。

図7に孔縁の接線方向の垂直応力 σ_t/τ_0 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全体的に実験値が解析より大きいが、 $a/l=0.7$ より孔の小さい $a/l=0.3, 0.5$ が解析とよく近似している。

図8に荷重一面外たわみ曲線を示す。これより無孔板は座屈

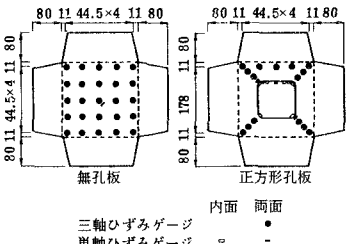


図3 ひずみゲージ接着位置(mm)

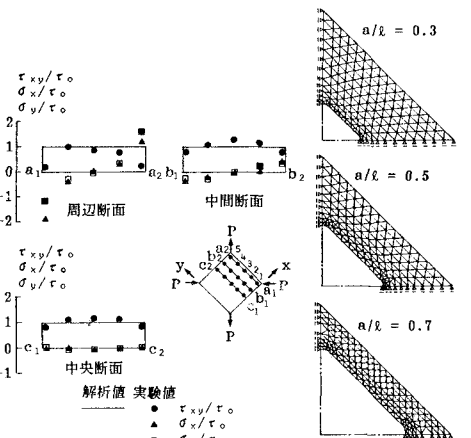


図4 無孔板の応力分布 図5 有限要素分割

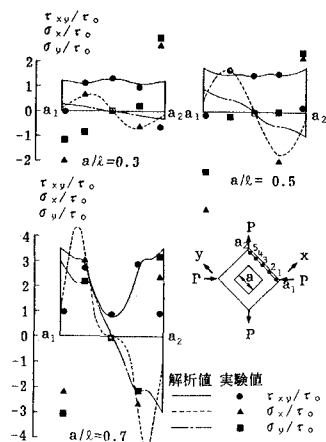


図6 有孔板の応力分布

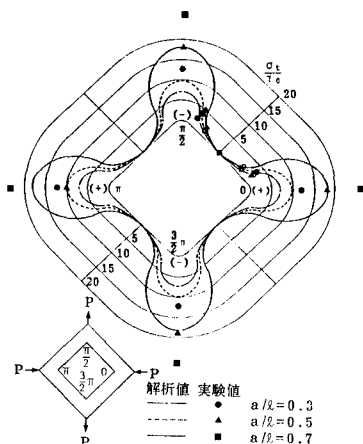


図7 孔縁の垂直応力分布

荷重付近まであまりたわみを生じないが座屈荷重に達すると急激にたわみが生じる。有孔板は座屈荷重まで板厚の1/2程度のたわみを生じ座屈荷重に達すると急激にたわみが増大し、弾性座屈のような変曲点は現れない。

図9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10に終局荷重を決定した荷重一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。

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

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

これより無孔板の平均せん断ひずみは $P=4\text{ton}$ 付近より徐々に増加し始め、終局荷重に達すると急激に増加する。 $a/l=0.3, 0.5$ は終局荷重直前から徐々に平均せん断ひずみが増加して終局荷重になると急激に増加する。 $a/l=0.7$ は応力集中の影響によって早くから変化が起こり終局荷重に至る。

図11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、ひずみ硬化を考慮しない場合、次式によって定義する。

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

すべての鋼板で座屈強度は解析より11.2～34.9%小さい。これは型枠が完全な剛体でないため解析より小さい荷重で降伏が始まるため座屈強度が低下したと思われる。鋼板 $a/l=0.0.7$ の場合、座屈強度と終局強度はほとんど同じである。これは座屈と同時に塑性崩壊したためである。また、 $a/l=0.3, 0.5$ は弾塑性座屈を起こした後も強度は増加し、終局強度は座屈強度のそれぞれ1.29倍、1.11倍であった。

4. あとがき (1)弾性応力は正方形板の隅角部及び正方形孔の隅角部以外で解析によく近似する。(2)実験による座屈荷重は解析より11.2～34.9%小さい。(3) $a/l=0.0.7$ の鋼板は座屈と同時に塑性崩壊する。(4) $a/l=0.3, 0.5$ の鋼板の場合後座屈強度があり、終局強度は座屈強度のそれぞれ1.29倍、1.11倍であった。

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.

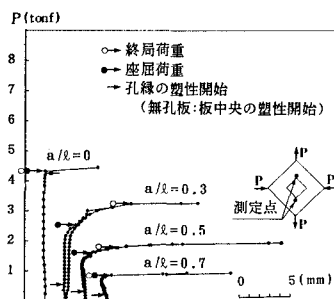


図8 荷重一面外たわみ曲線

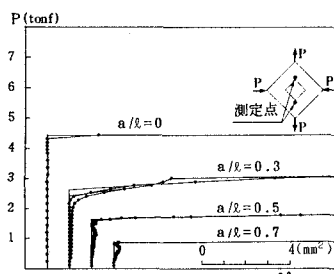


図9 荷重一面外たわみ2乗曲線

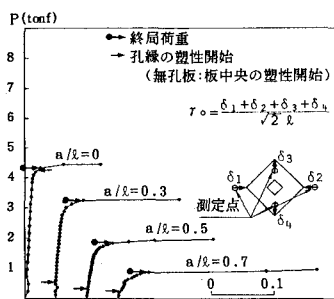


図10 荷重一平均せん断ひずみ曲線

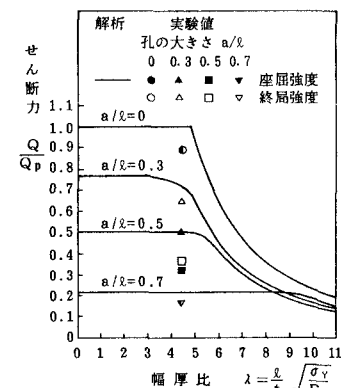


図11 座屈強度及び終局強度