

正方形孔を有する固定正方形板の弾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
石川島鉄工建設(株) 正員 ○初井 宏明

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 333 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。

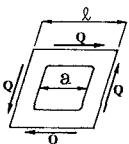


図1 有孔板のせん断変形

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 $l=400$ と正方形孔の孔長 a の比で表すと、無孔板 $a/l=0$ 及び有孔板 $a/l=0.3, 0.5, 0.7$ の4種類である。鋼板は $t=1.2$ mmの普通軟鋼SS-41である。引張強度試験の結果は引張降伏応力 $\sigma_y=2952$ kgf/cm²、引張強さは $\sigma_u=3697$ kgf/cm² であった。板の面内変位は最少目盛りが 1/100mmのダイヤルゲージ、面外たわみは最小目盛りを 1/1000mm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 0.598mm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 δ_{max} (mm)	δ_{max}/t
0	-0.598, 0.081	-0.498, 0.068
0.3	-0.192, 0.082	-0.160, 0.068
0.5	-0.520, 0.134	-0.433, 0.112
0.7	-0.074, 0.287	-0.062, 0.239

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_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。

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

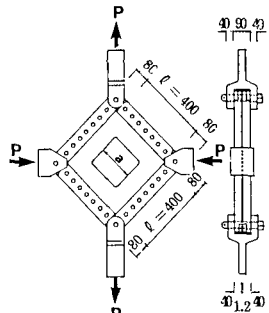


図2 載荷方法(単位:mm)

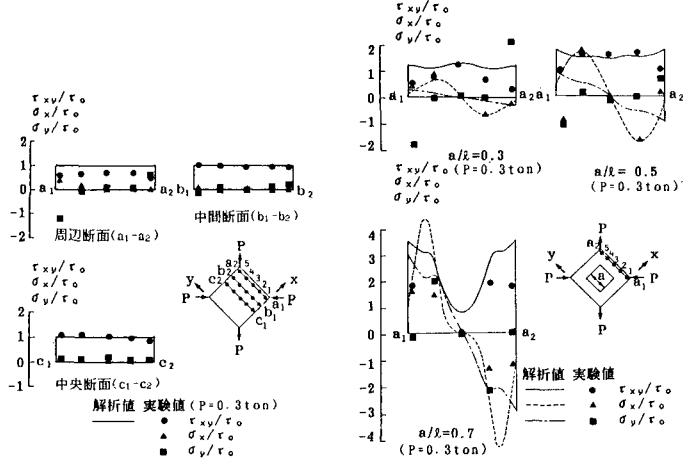


図3 無孔板の弾性応力分布

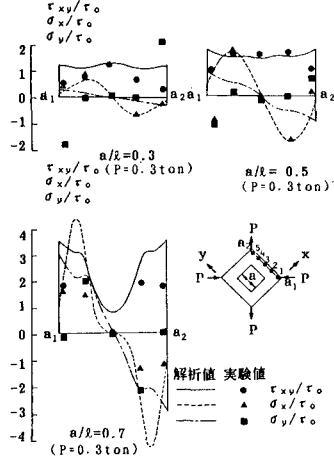


図4 正方形孔板の弾性応力分布

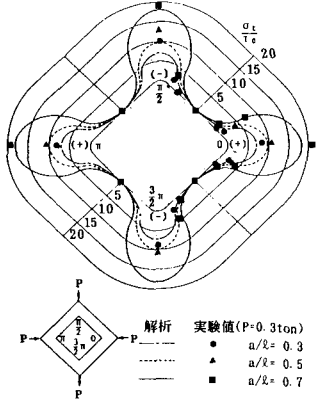


図5 孔縁の垂直応力分布

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載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板の平面弾性応力の解析値は有限要素法で三角形一次要素を用いて解析された結果を示している²⁾。

図4に有孔板の周辺断面における応力分布を示す。実験値と解析は載荷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_0 の分布を示す。隅角部では実験値が解析よりやや大きいと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。無孔板は初期座屈後、後座屈強度により耐荷力が増加するが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。有孔板のたわみは周辺断面の塑性開始後に急激に増加している。

図7に初期座屈を生じる近傍の荷重-面外たわみ曲線を示す。初期座屈荷重は実験値を3次曲線に最小2乗近似し、その変曲点とした。有孔板は決定した2つの初期座屈荷重の平均とした。 $a/l=0.5, 0.7$ は初期たわみの影響によって載荷と同時に面外たわみを生じている。

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 は次式で定義している。

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

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

(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。

図9に座屈強度及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。

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

実験による初期座屈強度は解析と比較して2.4~24.8%小さい。これは型枠自重(136kg)のため座屈強度が低下したと思われる。 $a/l=0, 0.3, 0.5$ の実験による終局強度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面外たわみを考慮していない解析と比較してそれぞれ10.1, 14.7, 14.7%小さい。しかし $a/l=0.7$ は7.6%大きい。これは載荷点の集中荷重の影響が強度を増大する作用をするため面外たわみによる強度低下の影響が相殺されたと思われる。

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)実験の初期座屈強度は $a/l=0\sim 0.7$ の範囲で初期たわみや載荷装置の自重による影響のため解析より2~25%小さくなる。(3)実験の終局強度は座屈による面外たわみの影響で面外たわみを考慮していない解析結果より10~15%小さくなる傾向を示す。ただし、 $a/l=0.7$ の場合は載荷装置の特性により解析結果よりやや大きい終局強度を示した。(4)後座屈強度は $a/l=0\sim 0.7$ において初期座屈強度の6.8~2.7倍であり、孔が大きいかほど小さい傾向を示す。

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せん断座屈及び後座屈強度, 第40回中四国支部概要集, 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.

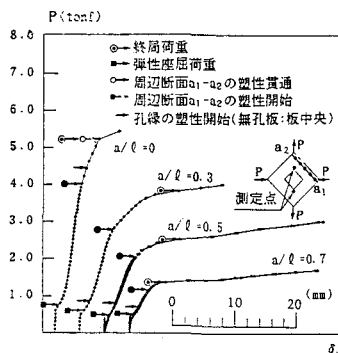


図6 荷重-たわみ曲線

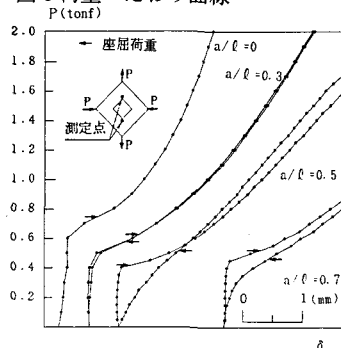


図7 荷重-たわみ曲線拡大図

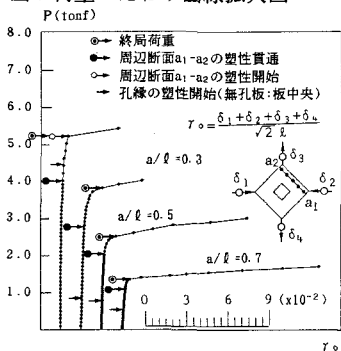


図8 荷重-平均せん断ひずみ曲線

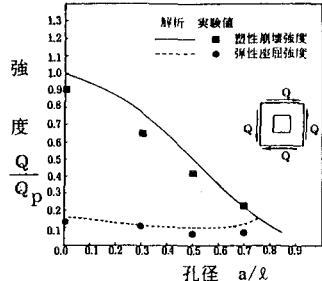


図9 座屈強度及び塑性崩壊強度