

I-46

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

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。理論解析では面外方向変形に対する境界条件を単純支持又は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(a)に示すように周辺上で等分布せん断応力が作用し面内方向変位が自由の場合（以下「一様せん断応力載荷」と呼ぶ）と、図1(b)に示すように面内方向変位が拘束され、周辺が直線を保つような変形状態（以下「一様せん断変形載荷」と呼ぶ）がある。著者らは円孔を有する正方形鋼板が、一様せん断変形を受ける場合の弾塑性座屈の解析と実験を行い、解析に良く近似することを示した^{1,2)}。

今回は一様せん断変形を受ける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座屈実験を行い、孔の大きさや座屈強度及び後座屈強度や孔縁と周辺の応力状態を実験的に明らかにしようとするものである。

2. 実験方法 荷重方法は図2に示すように、試験機の引張荷重Pが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。供試体は図3に示すように鋼板の四隅を切り取り正方形板の辺長 l と正方形孔の辺長 a の比

で表わすと、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。

表1に最大初期たわみを示す。鋼板は、 $t=3.2\text{mm}$ の構造用軟鋼SS41である。引張強度試験の結果は引張降伏応力 $\sigma_y=3480\text{kgf/cm}^2$ で引張強度 $\sigma_u=4880\text{kgf/cm}^2$ 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小目盛りが $1/100\text{mm}$ のダイヤルゲージによって測定した。

3. 実験結果及び考察 本研究では、円孔を有する正方形鋼板の平面

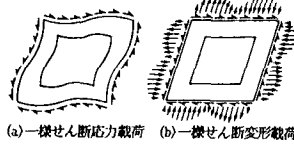


図1 有孔板のせん断変形

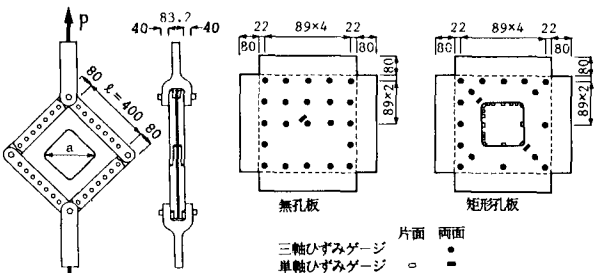


図2 載荷方法(mm)

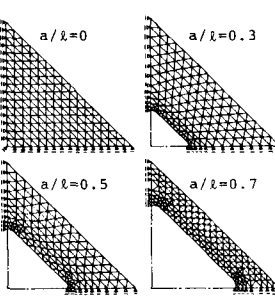


図3 ひずみゲージ接着位置(単位:mm)

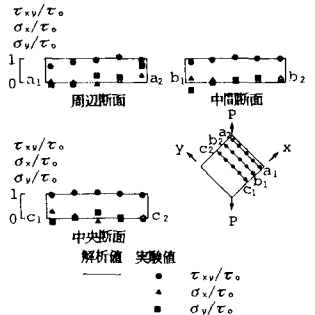


図4 有限要素分割

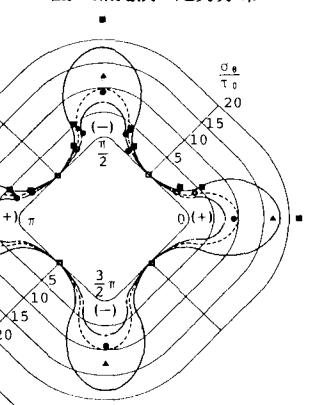


図5 無孔板の応力分布

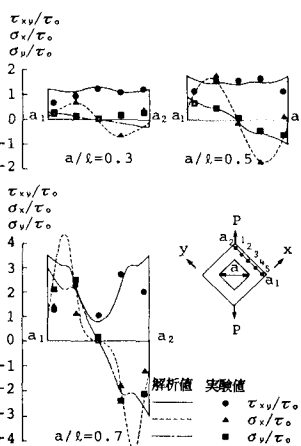


図6 矩形孔板の応力分布

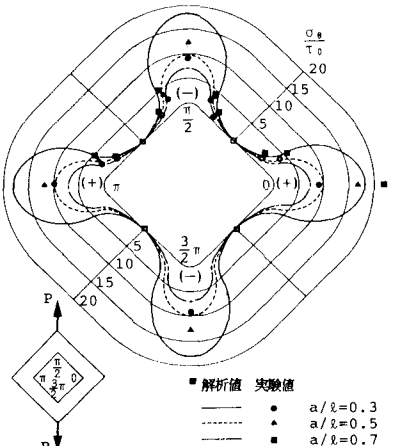


図7 孔縁の垂直応力分布

弾性応力解析を有限要素法で行った。要素内応力一定の三角形一次要素を用い図4に示す要素分割で対称性を利用して1/4について行った。

図5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_0 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。

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

ここに、 Q :荷重 P の分力 P :対角線方向荷重

A :正方形板断面積 (l^2)

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り、周辺断面の載荷点付近以外では良く近似している。

図6に円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、非載荷点を除き解析値に良く近似した値を示す。

図7に孔縁の接線方向の垂直応力 σ_θ/τ_0 の垂直応力分布を示す。載荷フレームが完全な剛体でないため、一様せん断応力載荷と一様せん断変形載荷の間に位置することから、全体的に実験値が解析値より大きい。が、 $a/l=0.7$ より孔の小さい $a/l=0.3, 0.5$ の方が良く近似している。

図8に荷重一面外たわみ曲線を示す。全ての板において、急激にたわみが増加した直後、座屈するため弾性座屈のような変曲点は現れない。 $a/l=0$ はたわみが増加し始めて周辺断面の塑性が始まり、塑性崩壊直前に周辺断面で塑性が貫通している。 $a/l=0.3, 0.5$ は塑性崩壊直前に周辺断面の塑性が始まっている。 $a/l=0.7$ は塑性崩壊しても、周辺断面は塑性が始まっていない。

座屈荷重は図9に示す荷重一面外たわみ2乗曲線によって決定した。また、有孔板は決定した2つの座屈荷重の平均とした。

図10に塑性崩壊荷重を決定した荷重一面内変位曲線を示す。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11に座屈強度及び塑性崩壊強度の関係を示す。無孔板の塑性せん断力は、ひずみ硬化を考えない場合、次式によって定義する。

$$Q_p = \sigma_y A / \sqrt{3} \dots (3)$$

実験による座屈強度は解析値と比較すると、孔の大きい $a/l=0.5$,

0.7 において多少誤差があるが、孔の小さい $a/l=0, 0.3$ において3%, 8%であり良く近似している。実験による塑性ヒンジ線が貫通する塑性貫通強度は塑性崩壊強度の解析値と比較すると $a/l=0.7$ 以外は $a/l=0 \sim 0.5$ で7%~13%小さい。塑性崩壊強度は座屈強度に比較して $a/l=0 \sim 0.7$ で2%~9%大きいだけである。弾塑性座屈では弾性座屈のように後座屈強度が期待できない。

4. あとがき (1)弾性応力は孔縁以外で解析に良く近似する。

(2)座屈強度は解析値と全体的に近似する。

(3)弾塑性座屈を起こす有孔板の場合、弾性座屈のように後座屈強度が期待できないので、弾塑性座屈強度が終局強度となる。

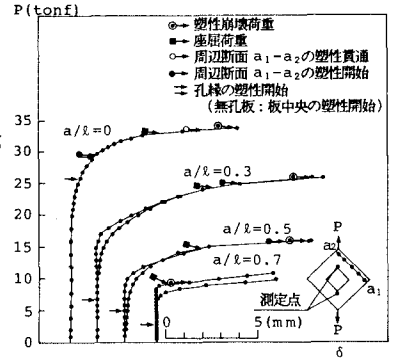


図8 荷重一面外たわみ曲線

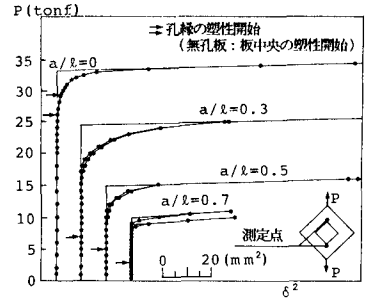


図9 荷重一面外たわみ2乗曲線

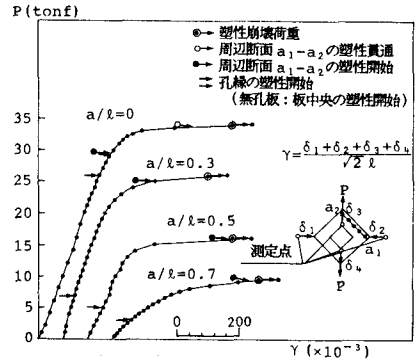


図10 荷重一面内変位曲線

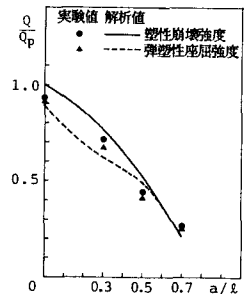


図11 座屈強度及び塑性崩壊強度

参考文献 (1)上野谷,大村:一様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:土木学会論文集, No. 386/I-8, 1987. 10.

(2)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回年次講演会概要集,1986. 11.