

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

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「一様せん断応力载荷」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「一様せん断変形载荷」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矩形孔を有する場合の弾性座屈実験を行い、孔の大きさと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 载荷装置は図2に示すように、試験機の引張荷重 P が連結装置から载荷フレームを経て、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 と円孔の直径 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、 $t=1.2\text{mm}$ 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 $\sigma_y=2760\text{kgf/cm}^2$ で、引張強度 $\sigma_u=3550\text{kgf/cm}^2$ 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弾性応力解析を有限要素法で行った。要素内

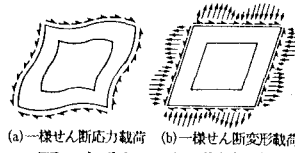


図1 有孔板のせん断変形

表1 最大初期たわみ

a/l	最大初期たわみ δ_{0max} (mm)	δ_{0max}/t
0	0.12, -0.55	0.10, -0.46
0.3	0.66	0.55
0.5	0.07, -0.48	0.06, -0.40
0.7	0.30	0.25

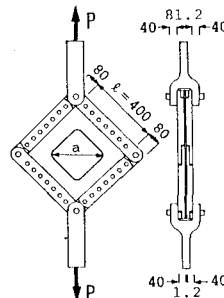


図2 载荷方法(mm)

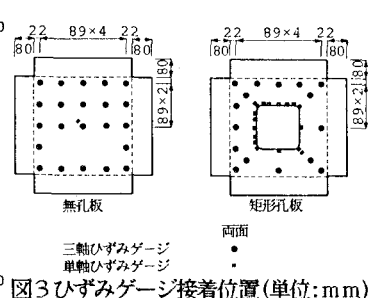


図3 ひずみゲージ接着位置(単位:mm)

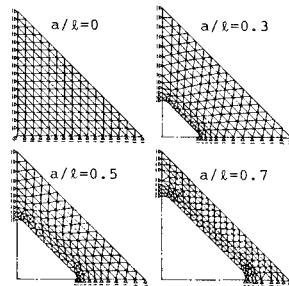


図4 有限要素分割

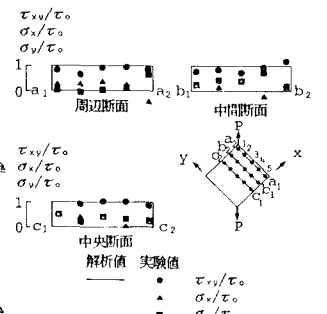


図5 無孔板の応力分布

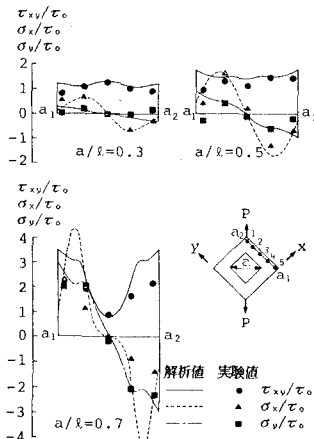


図6 矩形孔板の応力分布

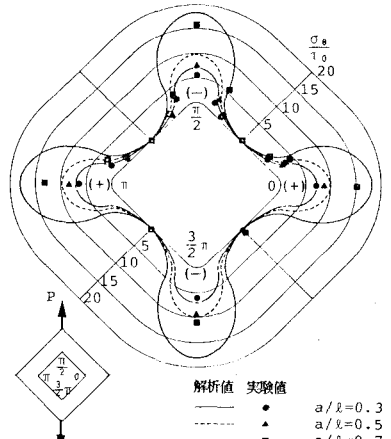


図7 孔縁の垂直応力分布

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_o 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。

$$\tau_o = Q/A \cdots \cdots (1) \quad Q = P/\sqrt{2} \cdots \cdots (2)$$

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(ℓt)

無孔板の理論的な応力状態は、 $\tau_{xy}/\tau_o=1$, $\sigma_x/\tau_o=\sigma_y/\tau_o=0$ の純

せん断応力状態である。 τ_{xy}/τ_o は解析値に良く近似している。 σ_x/τ_o , σ_y/τ_o は中間断面、中央断面で面外たわみの影響による応力の増加が見られる。

図6に矩形孔板の周辺断面における応力分布を示す。 τ_{xy}/τ_o は測点5及び $a/\ell=0.7$ の測点1で応力の減少が多少みられる。しかし垂直応力 σ_x/τ_o , σ_y/τ_o は解析値に良く近似している。

図7に孔縁の接線方向の垂直応力 σ_θ/τ_o の応力分布を示す。測定位置がひずみゲージベース幅の1/2(約1.5mm)ほど孔縁から離れるため、応力は全体的に低い。また、非載荷軸より載荷軸の方が多少低い。

図8に荷重一面外たわみ曲線を示す。 $a/\ell=0$ は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。 $a/\ell=0.3$ は周辺断面の塑性開始の直後たわみが急激に増加している。 $a/\ell=0.5, 0.7$ は急激にたわみが増加した後、周辺断面の塑性が始まっている。

図9に初期座屈を生じる近傍の荷重一面外たわみ曲線を示す。実験による初期座屈荷重は実験値を荷重増分5段階毎で3次曲線に最小2乗近似し、その変曲点とした。また、有孔板は決定した2つの初期座屈荷重の平均とした。 $a/\ell=0.7$ では1曲線のみ急激に傾きが変化しているが、これは逆対称型の座屈を起こしかけたためと思われる。

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している。

図11に孔の大きさと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。

$$Q_o = \sigma_y A / \sqrt{3} \cdots \cdots (3)$$

実験による初期座屈強度は解析値と比較すると、 $a/\ell=0.7$ の15%小さい値を除けば全体的に良く近似している。実験で塑性ヒンジ線が貫通する塑性崩壊強度と解析値を比較すると9%~34%小さい値を示すが、これは型枠が完全な剛体でないためと思われる。塑性崩壊強度は初期座屈強度に比較して $a/\ell=0\sim0.7$ で5.9~1.6倍であった。

4. あとがき (1)弾性応力は全体的に解析に近似する。

(2)初期座屈強度は解析と良く近似する。

(3)幅厚比 $\ell/t=333$ の本実験の場合、塑性崩壊強度は解析より9~34%小さい。

参考文献 (1)上野谷, 大村: 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: 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性せん断座屈に関する実験的研究, 第40回全国大会, 1985. 9.

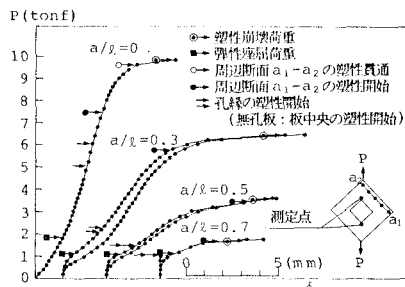


図8 荷重一面外たわみ曲線

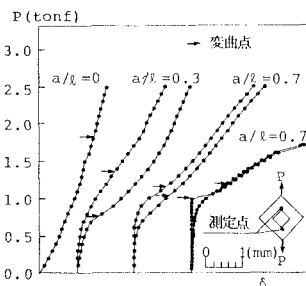


図9 荷重一面外たわみ曲線拡大図

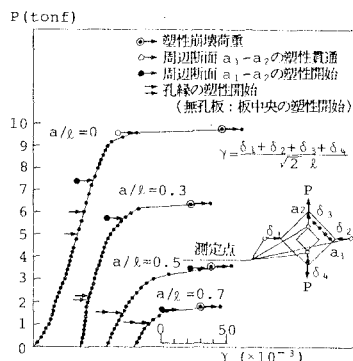


図10 荷重一面内変位曲線

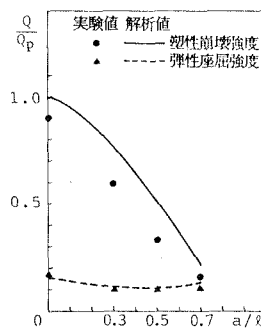


図11 座屈強度及び塑性崩壊強度