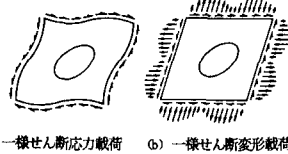


I-96

円孔を有する固定正方形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。また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



(a) 一様せん断応力載荷 (b) 一様せん断変形載荷
図1 有孔板のせん断変形

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）の有孔板の弾塑性座屈強度が明らかにされている。¹⁾ 著者は一様せん断変形を受ける有孔板の弾性座屈の解析と実験を行い、Grosskruthら²⁾の結果よりやや大きい座屈強度となることを示した。³⁾ 今回は一様せん断変形を受ける正方形孔板が板の中央に円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終局強度の関係及び後座屈挙動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¹⁾と比較検討する。

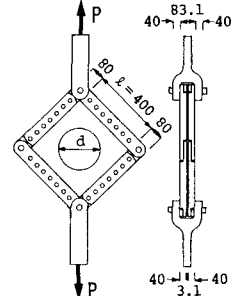


図2 供試体 (単位: mm)

2. 実験方法 載荷装置は図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

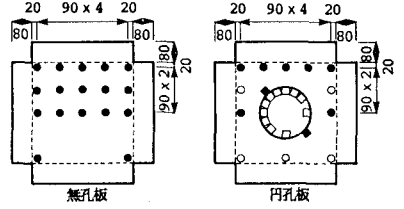


図3 ひずみゲージ接着位置 (単位: mm)

辺長 l と円孔の直径 d の比で表わすと、無孔板 $d/l=0$ と有孔板 $d/l=0.3, 0.5, 0.7$ の4種類である。鋼板は、 $t=3.1\text{mm}$ 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 $\sigma_v=3120\text{kgf/cm}^2$ で、引張強度 $\sigma_u=4470\text{kgf/cm}^2$ であった。面内応力分布を調べるためにひずみゲージを図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。

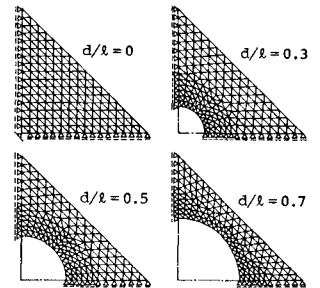


図4 有限要素分割

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。

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

ここに、 Q : 荷重 P の板周辺方向への分力

P : 対角線方向荷重 A : 正方形板断面積 ($l^2 t$)

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載荷点付近以外では全体的に良く近似している。

図6に円孔板の応力分布を示す。これより載荷点及び非載荷点付近を除き解析値に近似した値を示す。

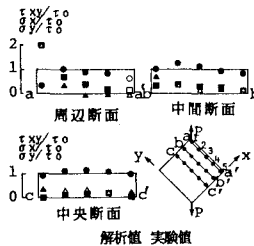


図5 無孔板の応力分布

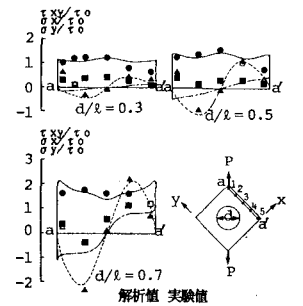


図6 円孔板の応力分布

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。これから全体的に実験値が理論値より大きい、孔の大きい $d/\ell = 0.7$ より小さい $d/\ell = 0.3, 0.5$ 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。これによると、塑性域の拡がりや座屈により急激にたわみが増加するが、弾性座屈³⁾のように変曲点は現れない。その後、かなり変位が大きくなると面外剛性が一時的に増加するような傾向を示す。これは、大変形による軸力の影響と思われる。

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。

図10に荷重一面内変位曲線を示す。この図の無孔板と図8の無孔板の曲線の変化を比較すると図8の無孔板は最終荷重において耐荷力が残っているように見えるが図10では崩壊寸前であることがわかる。

図11に孔の大きさと弾塑性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は、ひずみ硬化を考慮しない場合、次式によって定義される。

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

実験による弾塑性座屈強度は解析値と比較すると、 $d/\ell = 0, 0.5$ は良く近似するが、 $d/\ell = 0.3$ は18%大きく $d/\ell = 0.7$ は16%小さい。終局強度は孔が大きくなると急激に低下する。 $d/\ell = 0 \sim 0.7$ の板において、終局強度は実験による弾塑性座屈強度の1.6～1.9倍である。また、弾塑性座屈のため解析による塑性崩壊強度は座屈強度より0～26%大きいだけである。しかし実験による終局強度は解析による塑性崩壊強度の1.5～1.7倍である。これはひずみ硬化の影響により終局強度が増加したものと思われる。

4. あとがき (1)実験による板周辺の弾塑性応力分布と解析値は、載荷点付近を除き良く近似する。(2)座屈荷重は局部的塑性のため座屈による変曲点が明確に現れないため $P - \delta^2$ 曲線で決定する必要がある。(3)弾塑性座屈強度は解析値と全体的に近似している。(4)幅厚比 $\ell/t = 129$ の実験の場合、終局強度は弾塑性座屈強度の1.6～1.9倍であった。

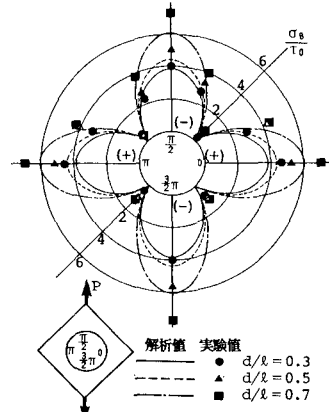


図7 孔縁の垂直応力分布

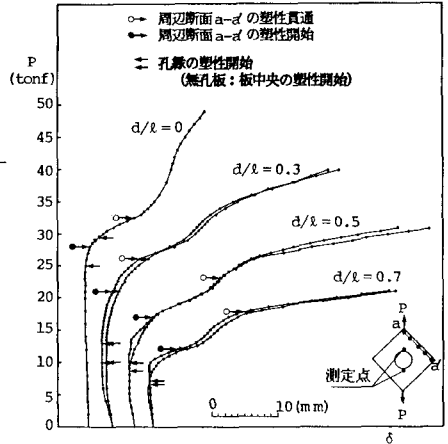


図8 荷重一面外たわみ曲線

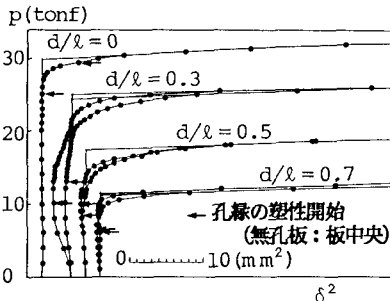


図9 荷重一面外たわみ2乗曲線

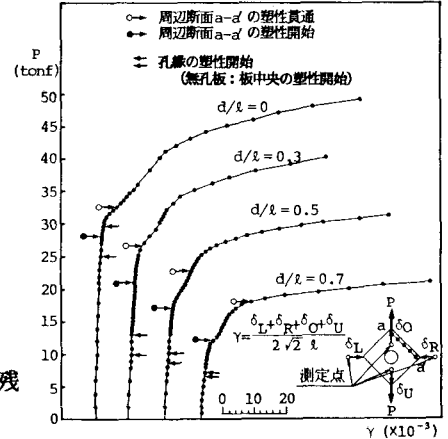


図10 荷重一面内変位曲線

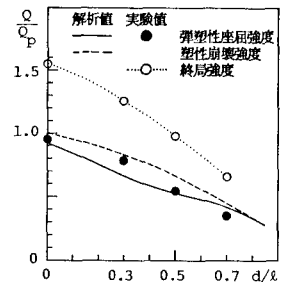


図11 孔の大きさと座屈強度及び終局強度の関係

参考文献 (1)上野谷 実:一様せん断変形を受ける円孔板の弾塑性座屈解析,福山大学工学部紀要,第8号,1986,3. (2)J.F.Grosskurth,Jr.,et al.: Shear buckling of square perforated plates,ASCE,Vol102,EM6,Dec. 1976. (3)上野谷 実,大村 裕:円孔を有する固定正方形板の弾性せん断座屈:構造工学論文集,Vol. 32A,1986年3月.