

# 補強円孔を有する固定正方形板のせん断座屈実験

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

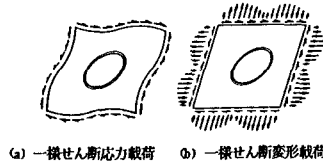


図1 有孔板のせん断変形

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）の有孔板の弾塑性せん断座屈強度が明らかにされている<sup>1)</sup>。また、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らの結果よりやや大きい座屈強度となることを示した<sup>2)</sup>。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補強円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ようとするものである。

## 2. 実験方法 荷重装置は図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 図3 ひずみゲージ接着位置(単位:mm)

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  $d$  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。表1に最大初期たわみ、表2に補強寸法を示す。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1/100mmのダイヤルゲージによって測定した。

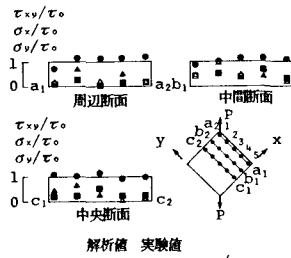


図5 無孔板の応力分布

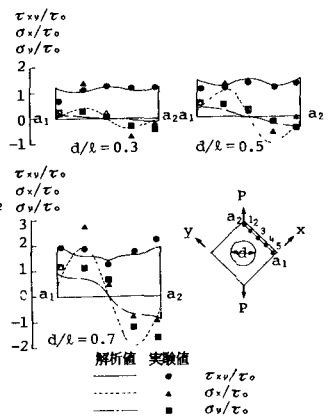


図6 有孔板の応力分布

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  $\tau_0$  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。

$$\tau_0 = Q/A \cdots \cdots (1)$$

$$Q = P/\sqrt{2} \cdots \cdots (2)$$

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 ( $\ell^2$ )

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る。

$\tau_{xy}/\tau_0$  は良く近似している

が、 $\sigma_x/\tau_0=\sigma_y/\tau_0$  は周辺断面、中間断面で初期たわみによる応力の増加が見られる。

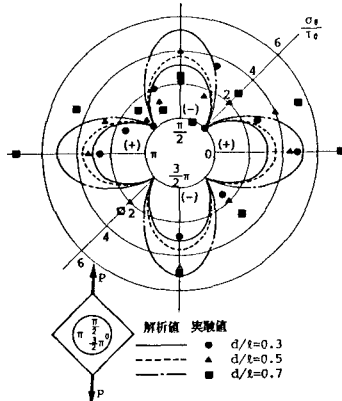


図7孔縁の垂直応力分布

図6に円孔板の周辺断面における応力分布を示す。 $\sigma_x/\tau_0$ は、初期たわみによる多少の応力の増加が見られるが、全体的には解析値に近似した値を示す。

図7に孔縁の接線方向の垂直応力 $\sigma_y/\tau_0$ の応力分布を示す。初期たわみの影響により、応力は全体的に載荷軸が減少し非載荷軸が増加している。

図8に荷重一面外たわみ曲線を示す。塑性域の拡がりにより急激にたわみが増加するが、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。終局強度に近付くと塑性域貫通のため急激に傾きが小さくなり塑性崩壊する。

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。 $d/\ell=0.5$ では2曲線が交錯しているが、これは初期たわみが逆対称型であったためと思われる。

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。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、ひずみ硬化を考えない場合、次式によって定義する。

$$Q_0 = \sigma_y A / \sqrt{3} \cdots \cdots (3)$$

実験による初期座屈強度は解析値と比較すると、 $d/\ell=0.5$ 以外は良く近似している。実験で塑性ヒンジ線が貫通する塑性貫通強度はFEMによる塑性崩壊強度の解析値より小さい。終局強度は初期座屈強度の5~9倍であった。実験による終局強度は完全張力場理論から求めた終局強度とFEMによる塑性崩壊強度の間に位置することから、不完全張力場の応力状態と考えられる。

4. あとがき (1)初期座屈強度は解析値と全体的に近似している。

(2)幅厚比 $\ell/t=333$ の本実験の場合、終局強度は初期座屈強度の5~9倍である。

(3)実験による終局の応力状態は不完全張力場である。

参考文献 (1)上野谷,大村: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. 3.

(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.

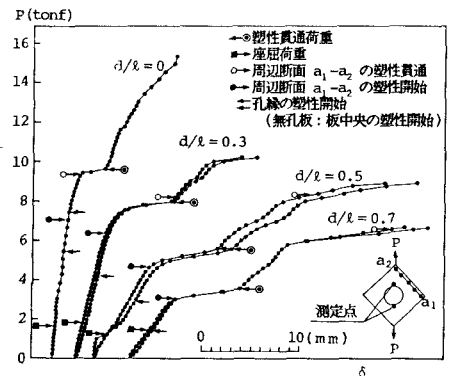


図8荷重一面外たわみ曲線

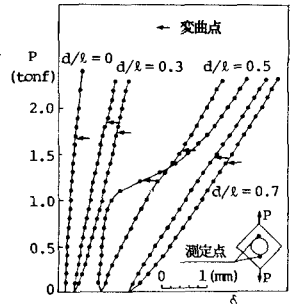


図9荷重一面外たわみ曲線拡大図

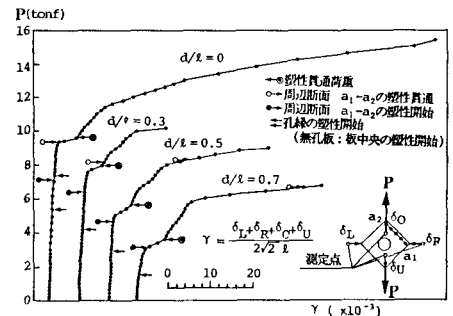


図10荷重一面内変位曲線

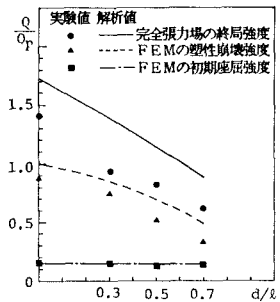


図11座屈強度及び終局強度