

有孔板の弾塑性せん断座屈強度に及ぼす周辺支持補剛材の影響

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
 福山大学 大学院 学生員 山 田 義 人

1. まえがき 孔を有する板の座屈強度は板及び孔の形状、荷重条件、材料強度等によって異なる。さらに板周辺の境界条件は、座屈強度の増減に著しい影響を及ぼす。例えば、図1のせん断を受ける正方形孔板周辺の面内変形に対する境界条件は図1(a)のように板周辺にせん断応力が等分布し、面内方向の変位が拘束されない場合（以下「等分布せん断応力変形」と呼ぶ。）と、図1(b)のように板周辺が非常に大きい剛性によって拘束され直線を保つような変形をする場合（以下「一様せん断変形」と呼ぶ。）がある。しかし、実際の構造物は補剛材によって支持される場合が多く、拘束条件は等分布せん断応力変形と一様せん断変形の間と思われる。

前報告は¹⁾、補剛材の厚さと孔の大きさを変えて座屈強度の変化を検討した。しかし極めて厚い補剛材については報告されていない。そこで、本報告は極めて厚い補剛材が正方形孔板の応力状態や座屈強度に及ぼす影響を考察したものである。

2. 実験方法 载荷方法は、図2に示すように試験機の圧縮荷重Pが丸鋼から補剛材を経て板周辺にせん断荷重として作用する方法

を用いた。供試体は、平均板厚 $t=4.5\text{mm}$ の鋼板を一边 450mm の正方形に切断し、補剛材（巾 100mm で厚さ $t_f=50\text{mm}$ ）をすみ肉溶接した。鋼板は、正方形孔の辺長 a と板の長さ ℓ に対する比で表わすと $a/\ell = 0.3, 0.5, 0.7$ の有孔板および無孔板の4種類である。また、孔の隅角部は応力集中の緩和のために $0.1a$ の丸みをつけた。実験に用いた鋼板は構造用軟鋼 SS41 で引張強度試験の結果は、引張降伏応力 $\sigma_Y = 3020\text{kgf/cm}^2$ であった。図3の位置にひずみゲージを貼り付け、ひずみの変化を測定した。また板のたわみは最小目盛り $1/100\text{mm}$ のダイヤルゲージで測定した。

3. 実験結果および考察 本研究は、正方形孔板の平面弾性応力解析を有限要素法で行なった。要素内応力一定の三角形要素を用い、図4に示す要素分割で、対称性を利用して正方形板の $1/4$ で行なった。図5に無孔板及び有孔板の弾性応力分布を示す。解析値及び実験値は次式で定義される平均せん断応力で各成分を除き無次元応力で示す。

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

ここに、 $Q = P / \sqrt{2}$ Q : 荷重 P の板周辺方向への分力

P : 対角線方向の荷重 A : 正方形板の断面積 ($t \cdot \ell$)

理論上無孔板の純せん断応力状態は $\tau_{xy} / \tau_0 = 1$ 、 $\sigma_x / \tau_0 = \sigma_y / \tau_0 = 0$ である。無孔板の解析値と実験値を比較すると良く近似し純せん断応力状態に近い。有孔板の解析値と実験値を比較すると $a/\ell = 0.7$ の载荷点付近において、せん断応力が解析値より小さい値を示す以外はよく近似している。

図6に孔縁の垂直応力 σ_y / τ_0 の解析値と実験値を比較する。これより $a/\ell = 0.5$ の载荷点付近を除き良く近似している。

図7に荷重 P と面外たわみ δ の関係を示す。この図には前報

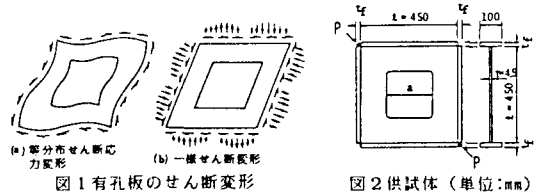


図1 有孔板のせん断変形

図2 供試体 (単位:mm)

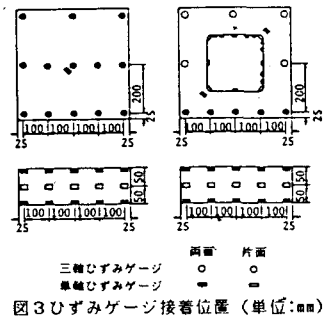
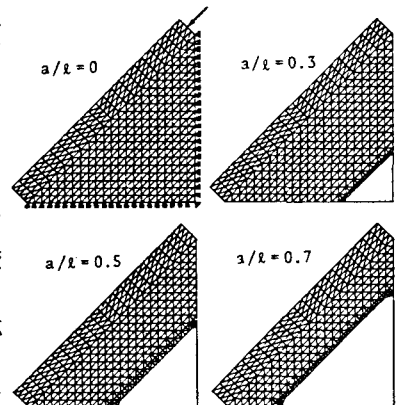


図3 ひずみゲージ接着位置 (単位:mm)

図4 解析に用いた供試体の有限要素分割 ($t_f = 50\text{mm}$)

告の補剛材厚 $t_f = 12, 19, 25 \text{ mm}$ の結果も示している。無孔板は座屈荷重に近づくとき急激にたわみが増加している。有孔板は座屈荷重に達したとき既に大きな面外たわみを生じている。次に、補剛材厚別に考えると $t_f = 50 \text{ mm}$ では、座屈荷重付近で急激に大きなたわみを生じているが $t_f = 12, 19, 25 \text{ mm}$ では、かなり小さい荷重で面外たわみが生じている。これは補剛材が極めて剛なために座屈荷重よりかなり小さい荷重段階で発生した塑性域が補剛材によって拡大が拘束されるためと思われる。

図8に補剛材厚と座屈強度の関係を示す。これによると、無孔板及び有孔板の $a/\ell = 0.3, 0.5$ については補剛材の厚みを大きくすることで座屈強度は大きくなるが、増加の割合は小さくなる傾向がある。

図9に孔の大きさと座屈強度の関係を示す。縦軸の Q_p はミゼスの降伏条件の塑性せん断応力と周辺の断面積との積であり次式で定義するせん断力である。

$$Q_p = \sigma_y \cdot A / \sqrt{3} \quad (2)$$

正方形孔を有する板の弾塑性せん断座屈に関する解析値はないので正方形孔板の実験値を面積の等しい円孔に換算したものと比較する。これより実験値は補剛材厚が増すにつれ等分布せん断応力変形から一様せん断変形に近づいている。更に補剛材厚 $t_f = 50 \text{ mm}$ の実験値は $a/\ell = 0 \sim 0.5$ で、一様せん断変形より大きくなっている。これは、補剛材が厚くなるほど純せん断に近い載荷状態になることと周辺境界における面外への回転拘束が大きくなり単純支持と考えている解析値より大きくなるものと思われる。

5. あとがき 以上のことから本実験での応力分布状態は解析値によく近似しており純せん断応力に近い状態である。そして板は孔を有することによって座屈荷重が著しく低下する。また補剛材を厚くすることで座屈強度は著しく増加する。補剛材厚が $t_f = 50 \text{ mm}$ の無孔板および有孔板の比較的、孔が小さい場合、回転拘束の影響によって固定支持に近づく。補剛材の剛性が大きくなると回転拘束の影響が大きくなり座屈荷重の70%~80%の付近まで目だった面外変位は起こらない。

- 参考文献 (1) 上野谷実, 滝川英樹; 正方形孔を有する正方形板の弾塑性せん断座屈に関する実験的研究, 福山大学工学部紀要, 第6号, 1984年。
 (2) 大村裕, 上野谷実, 向井博之; 円孔を有する正方形板の座屈強度について, 第31回土木学会中国四国支部学術講演概要, 1979年。
 (3) M.Uenoya and R.G.Redwood; Buckling of webs with openings, Computers and Structures, vol.9, No.2-F, Feb. 1979.

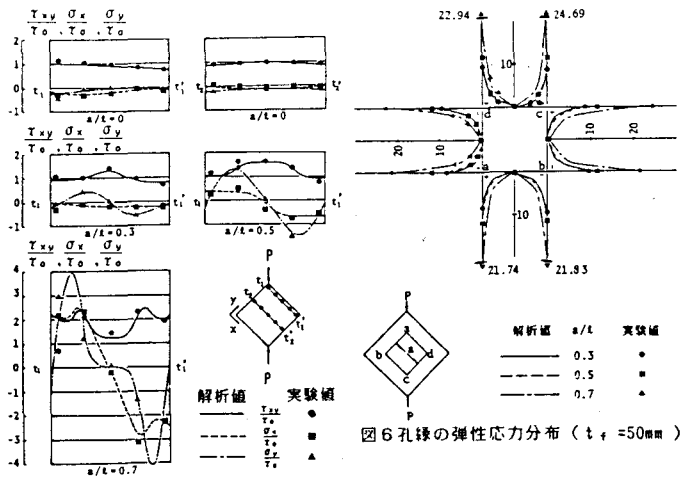


図6孔縁の弾性応力分布 ($t_f = 50 \text{ mm}$)

図5周辺上の中央面における弾性応力分布 ($t_f = 50 \text{ mm}$)

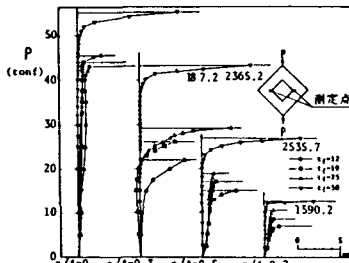


図7荷重-たわみ曲線

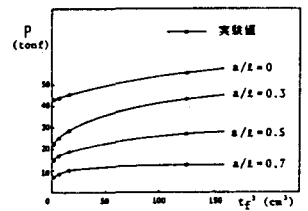


図8補剛材厚と座屈強度の関係

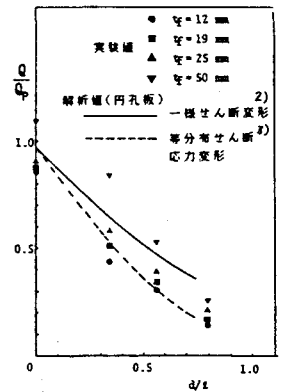


図9孔の大きさと座屈強度の関係