

円孔を有する正方形板の弾塑性せん断座屈強度に及ぼす周辺支持材の影響

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

1. まえがき 孔を有する板の座屈強度は、孔の形状、大きさ、境界条件、荷重条件等によって変わる。ここでは、中央に円孔を有し周辺に溶接された補剛材で単純支持される正方形鋼板がせん断荷重を受ける場合の弾塑性座屈強度を検討する。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及び固定支持とし、

周辺の面内方向変位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する場合（以下、「一様せん断応力載荷」と呼ぶ。）と、図1 (b) に示すように、周辺が直線を保つようなせん断変形をする場合、（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⁾ 実際の構造物は、補剛材によって支持される場合が多く一様せん断応力載荷と一様せん断変形載荷の間の状態になる。本報告は、厚い補剛材に支持された有孔板の実験を行い、板中央に設けた円孔の大きさが、弾塑性せん断座屈強度に及ぼす影響を実験的に明らかにし、その結果を既に発表されている補剛材厚 $t_r=12, 19, 25\text{mm}$ の実験結果及び解析結果²⁾ と比較したものである。

2. 実験方法 荷重方法は図2に示すように試験機の圧縮荷重 P を丸鋼から補剛材を経て、板周辺にせん断荷重を作用させた。供試体は、平均板厚 $t=4.5\text{mm}$ の鋼板を一边 $\ell=450\text{mm}$ の正方形に切断し、その周辺に幅 $b=100\text{mm}$ で、厚さ $t_r=50\text{mm}$ の補剛材をすみ肉溶接し、円孔の直径 d と板の辺長 ℓ に対する比で表わすと、 $d/\ell=0.3, 0.5, 0.7$ の有孔板および無孔板の4種類である。実験に用いた鋼板は構造用軟鋼 SS-41で引張降伏応力 $\sigma_y=3020\text{kgf/cm}^2$ であった。面内応力は鋼板の裏表に接着した三軸ひずみゲージで測定した。面外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. 実験結果及び考察 有孔板の平面弾性応力解析は有限要素法で行った。要素内応力一定の三角形要素を用い、図3に示す要素分割で、対称性を利用して正方形の $1/4$ で行った。

図4に $t_r=50\text{mm}$ の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 ($t \ell$)

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。有孔板の解析値と実験値を比較すると $d/\ell=0.7$ のせん断応力が解析値よりやや大きい値を示す以外は良く近似している。

図5に $t_r=12, 19, 25, 50\text{mm}$ の無孔板の周辺上の弾性応力分布を示す。解析値と実験値は良く近似しており、補剛材が薄い場合、集中荷重のため荷重点付近で大きな応力を示すが、補剛材が厚くなると集中荷重の影響は減少して、純せん断に近い応力分布となる。

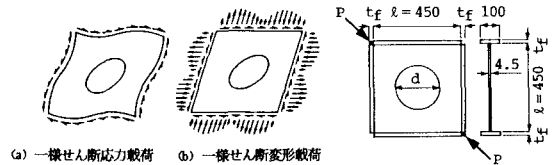


図1 有孔板のせん断変形

図2 供試体(単位:mm)

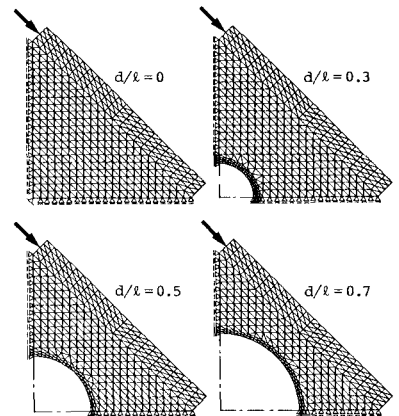


図3 有限要素分割 ($t_r=50\text{mm}$)

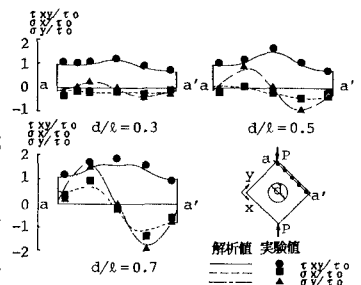


図4 周辺上の弾性応力分布 ($t_r=50\text{mm}$)

図6に $t_f=12, 19, 25, 50\text{mm}$ の無孔板の中央断面の弾性応力分布を示す。解析値と実験値は良く近似し純せん断応力状態に近い。

図7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。全体的に実験値は解析値より多少大きいのが良く近似している。

図8に荷重 P と面外たわみ δ の関係を示す。無孔板は座屈荷重に近づくと、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、すでに大きな面外たわみを生じている。また、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、かなり小さい荷重から面外たわみの増加がみられる。

表1に無孔板と有孔板の実験による座屈強度 Q/Q_p を示す。 Q_p はミゼスの降伏条件の降伏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塑性せん断力である。

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

これより、補剛材が厚くなると座屈強度は大きくなり、円孔が大きくなると座屈強度は小さくなる。

図9に補剛材厚と座屈強度の関係を示す。補剛材を厚くすることで座屈強度は大きくなり、一様せん断変形載荷の座屈強度に収束する傾向がある。

図10に固定支持される円孔板の座屈強度と円孔径の関係を示す。これより、補剛材が薄く孔が小さい場合は、集中荷重の影響により一様せん断応力載荷より小さい座屈強度を示すが補剛材が厚くなり孔が大きくなると一様せん断変形載荷と一様せん断変形載荷の間に分布し、 $t_f=50\text{mm}$ では一様せん断変形載荷に良く近似している。これより、せん断荷重を受ける円孔板では固定支持の解析値を適用するのが妥当であると考えられる。

4. あとがき 補剛材の厚い本実験での応力分布状態は解析値に良く近似しており純せん断に近い。補剛材の薄い場合は一様せん断応力載荷の座屈強度に近似する。補剛材を厚くすると座屈強度は増加し、一様せん断変形載荷の座屈強度に収束する。溶接された補剛材で支持されている円孔板の弾塑性せん断座屈強度は、固定支持として解析するのが妥当と思われる。

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)上野谷 実, 岡田雅博：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 工学部紀要, 第5号, 1983, 3.

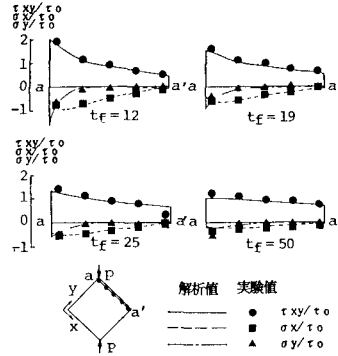


図5 無孔板の周辺上の弾性応力分布 ($t_f=12, 19, 25, 50\text{mm}$)

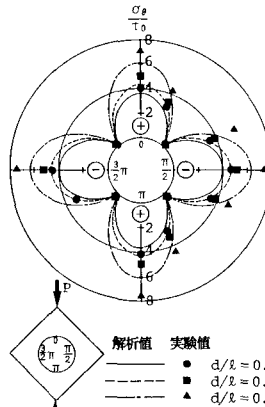


図7 孔縁の弾性応力分布 ($t_f=50\text{mm}$)

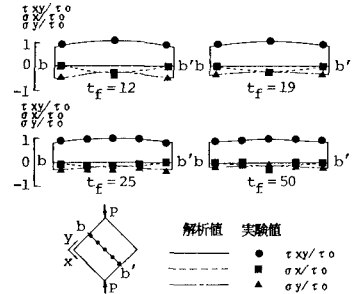


図6 無孔板の中央断面の弾性応力分布 ($t_f=12, 19, 25, 50\text{mm}$)

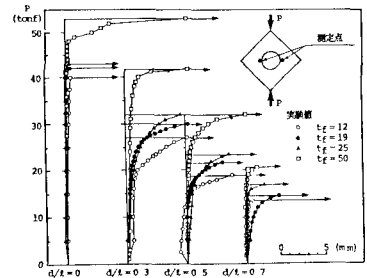


図8 荷重-たわみ曲線

表1 実験による座屈強度 Q/Q_p

補剛材厚 t_f (mm)	0	0.3	0.5	0.7
12	0.85	0.56	0.41	0.28
19	0.90	0.64	0.46	0.31
25	0.92	0.68	0.49	0.36
50	1.06	0.84	0.64	0.42

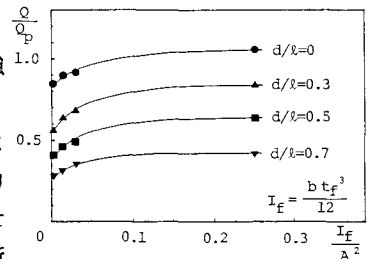


図9 補剛材厚と座屈強度の関係

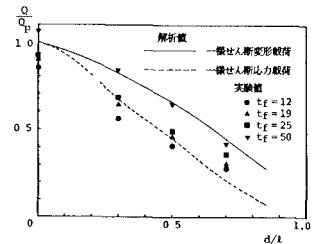


図10 孔の大きさと座屈強度(固定)