

補強円孔を有する正方形板の弾塑性せん断座屈強度

福山大学 工学部 正会員 上野谷 実

福山大学 工学部 正会員 中村 雅樹

福山大学 大学院 学生員 ○廣越 洋一

1. まえがき 土木、建築などの分野において、構造部材の板に配管、維持管理用マンホールなどの目的で孔を設ける場合がある。このような孔を有する板を有孔板という。有孔板は無孔板に比較すると孔による応力集中や座屈及び終局強度の低下が著しく、その応力集中や座屈及び終局強度の低下を防ぐために孔縁に補強を設けている場合が多い。本研究はせん断を受ける正方形板が中央に円孔を有する場合に孔縁を補強することによって弾塑性座屈強度、終局強度の増強を行うための補強形状と補強量を考察するものである。

2. 解析方法 補強した円孔を有する正方形板がせん断を受けるときの平面内弾塑性応力解析を要素内応力一定の三角形要素による有限要素法で、弾塑性座屈解析をRayleigh-Ritz法を用いて行った。降伏条件にはMisesの降伏条件式を用い、ヤング係数 $E=2.1 \times 10^6$ 、降伏応力 $\sigma_y=3000 \text{ kgf/cm}^2$ とした。载荷条件は図1に示すとうり有孔板の周辺境界上でせん断応力が等分布に作用し面内方向変位の拘束が無い場合の応力载荷と、周辺が完全な剛体で固定された状態でせん断変形する場合で周辺が直線のまま変形する変形载荷の2種類である。補強形状について図2に示す。補強方法は補強幅を板厚で除した値で $t_b/t=1, 2, 3$ あるいは補強厚を板厚で除した値で $t_r/t=1, 3, 5$ ($t_r/t=1$ の場合は無補強である)の場合を行った。孔の大きさは板の辺長 l に対する直径 d の比 $d/l=0.15, 0.30, 0.50, 0.70, 0.85$ の5種類である。弾塑性座屈解析は支持条件において板の周辺を固定、単純支持、向かい合う2組の辺がそれぞれ固定及び単純支持の場合(以下、混合支持と呼ぶ)の3種類について行った。今回解析はトランスピューターを使用しフォートラン言語にはParallel Fortranを使用した。

3. 弾塑性座屈強度 図3に応力载荷を受ける板周辺を単純支持された円孔板の弾性座屈係数と孔の大きさの関係を示す。縦軸に弾性座屈係数 k を示し、横軸は孔の大きさである。図中の破線は無孔板の弾性座屈係数を表す。これより補強形状 $\alpha/\beta=3/5$ 及び $2/5$ の補強円孔板は孔の大きさに関わらず無孔板の弾性座屈係数より大きくなることが分かる。図4に応力载荷を受ける板周辺を単純支持された補強円孔板の補強形状が違うが同じ補強断面積の弾性座屈強度の比較を示す。縦軸に無補強円孔板の弾性座屈強度 Q_{c0} に対する補強円孔板の弾性座屈強度 Q_{cr} を示し、横軸は孔の大きさである。これより補強形状に関わらず孔が大きくなるほど補強効果は大きく、弾性座屈強度を増加するための補強形状は補強厚 t_r を厚くする方法が補強幅 t_b を広げるより効果的である。図5に $d/l=0.70$ の変形载荷を受

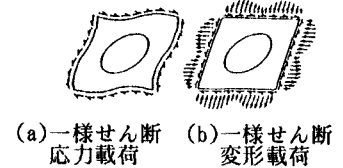


図1. 円孔板のせん断変形

補強厚比 $\beta = t_r/t$	補強幅比 $\alpha = t_b/t$		
	1	2	3
3			
1.5			

図2. 補強形状の種類

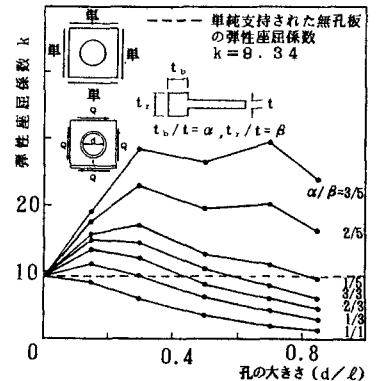


図3. 弾性座屈係数と孔の大きさの関係
単純支持 応力载荷

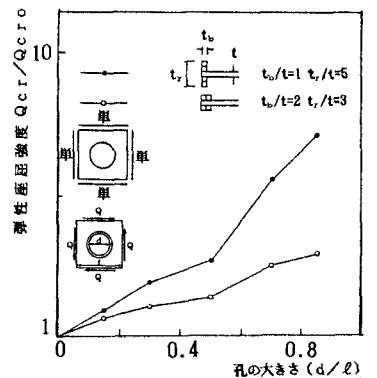


図4. 弾性座屈強度と補強形状の関係
単純支持 応力载荷

ける無補強及び補強円孔板の弾塑性座屈強度曲線を示す。縦軸は塑性せん断力 $Q_p = \sigma_y t l / \sqrt{3}$ で除した無次元せん断力 Q/Q_p を示し、横軸は幅厚比パラメータ λ である。図中において太い実線、破線及び細い実線はそれぞれ固定、混合支持及び単純支持による支持条件の違いを表し、黒点は弾塑性座屈解析の荷重段階を示している。矢印は塑性開始荷重を指し、曲線の最上位の点が塑性崩壊強度である。したがって矢印から曲線の最上位の点までの間が弾塑性域に相当する。これより円孔板の弾性座屈強度及び弾塑性座屈強度は孔縁に補強を施すことによってそれぞれ無孔板より高くなっているが、塑性崩壊強度は無孔板に達していない。無補強円孔板では弾性座屈領域である幅厚比において補強円孔板では塑性崩壊領域に変化している。塑性崩壊荷重に対する塑性域開始荷重の比は $d/l = 0.70$ の無補強及び補強円孔板においてそれぞれ0.64及び0.89であり、補強円孔板の弾塑性領域は無補強に比べて狭くなっている。

4. 塑性崩壊強度 図6に塑性崩壊強度と孔の大きさの関係を示す。縦軸は無次元せん断力 Q/Q_p を示し、横軸は孔の大きさである。図中の実線及び破線はそれぞれ無補強及び補強円孔板の違いを表す。これより補強を施すことにより円孔板の塑性崩壊強度は増加するが、無孔板の塑性崩壊強度には達しないことが分かる。図7に変形荷重を受ける補強円孔板の補強による強度増加と孔の大きさの関係を示す。縦軸は無補強円孔板の塑性崩壊強度 Q_{p0} に対する補強円孔板の強度 Q/Q_{p0} を示し、横軸は孔の大きさである。また、補強形状 $\alpha/\beta = 1/5$ 及び $2/3$ の補強断面積は同じである。これより円孔板の塑性崩壊強度に対する補強効果は孔が大きくなるほど大きく、強度増加はほぼ補強断面積に比例している。また、円孔板の強度増加のために補強形状はほとんど影響しないことが分かる。

5. まとめ
- 1) 円孔板の弾性座屈強度に対して補強形状は補強幅 t_b を広げるより補強厚 t_r を厚くする方法が効果的であり、孔が大きくなるほど補強効果は大きい。
 - 2) 補強を施すことにより円孔板の荷重段階における弾塑性領域は無補強の場合に比べて狭くなる。
 - 3) 円孔板の座屈強度は補強を施すことにより無孔板の座屈強度より高く成り得るが、塑性崩壊強度は補強を施しても無孔板の塑性崩壊強度には達しない。
 - 4) 円孔板の塑性崩壊強度に対する補強効果は孔が大きくなるほど大きく、ほぼ補強断面積に比例する。
 - 5) 円孔板の塑性崩壊強度に対して補強形状はほとんど影響しない。

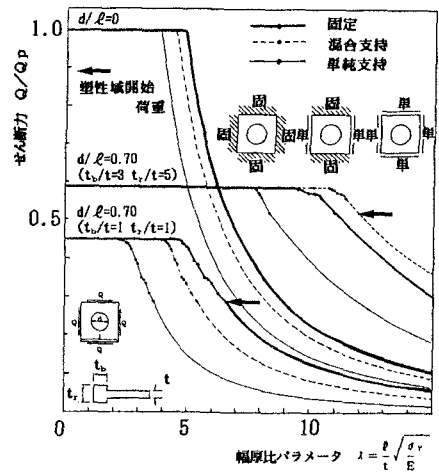


図5. 支持条件の違いによる弾塑性座屈強度曲線
 $d/l = 0.70$ 変形荷重

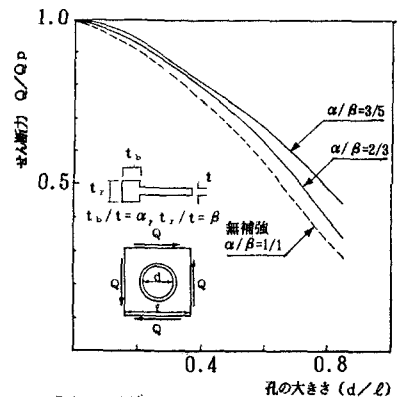


図6. 塑性崩壊強度と孔の大きさの関係
変形荷重

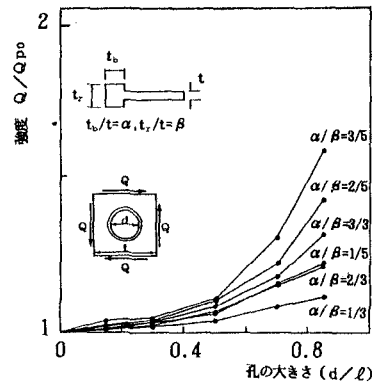


図7. 強度と孔の大きさの関係
変形荷重