

## 補強正方形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 正員 上野谷 実  
 福山大学 工学部 正員 中村 雅樹  
 守本設備(株) ○正員 守本 龍司

### 1. はじめに

土木、建築などの分野において構造部材の板に配管、配線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ふ。有孔板は無孔板に比較すると座屈及び終局強度の低下が著しい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正方形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や終局強度を増強する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

補強した正方形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、また弾塑性座屈解析をRayleigh-Ritz法を用いて行った。弾塑性応力解析は初期応力法を用い、弾性係数  $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、降伏応力  $\sigma_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$  とし、降伏判定はミゼスの降伏条件を用いた。載荷条件は図1. に示すとお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載荷と、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載荷の2種類である。補強の断面の形状について図2. に示す。補強形状は補強幅を板厚で除した値で  $t_b/t = 1, 3, 5$  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。今回解析はトランスペューターを使用した。

### 3. 弾塑性座屈強度に関する考察

図3. に板周辺を単純支持され応力載荷を受ける補強正方形孔板に対する補強形状の違いが弾性座屈強度に及ぼす影響を示す。比較は補強幅  $t_b$  を広げる場合及び補強厚  $t_r$  を厚くする場合の補強形状で行い、補強断面積はそれ自身同じである。縦軸に無補強の弾性座屈強度  $Q_{cr,0}$  に対する補強正方形孔板の弾性座屈強度  $Q_r$  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る。図4. に板周辺を単純支持され応力載荷を受ける補強正方形孔板の弾性座屈係数と孔の大きさの関係を示す。縦軸に補強正方形孔板の弾性座屈係数  $k$  を示し、横軸は孔の大きさである。又、図中の破線は無孔板の弾性座屈係数を示している。これにより正方形孔板の弾性座屈

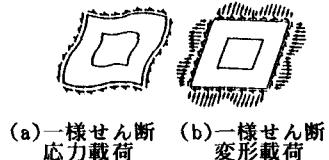


図1. 正方形孔板のせん断変形

$t_b/t = t_r/t$	補強幅比 $a = t_b/t$		
	1	3	5
3			
5			

図2. 補強形状の種類

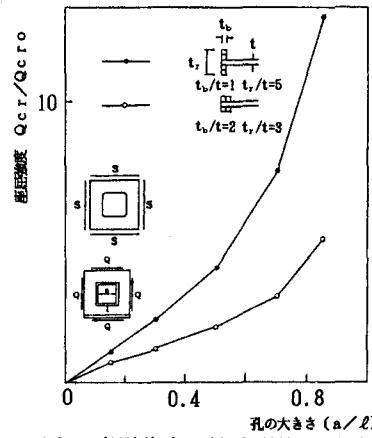


図3. 座屈強度と補強形状の関係  
応力載荷

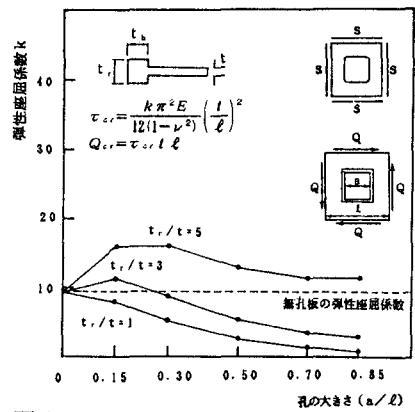


図4. 弾性座屈係数と孔の大きさの関係  
応力載荷 単純支持  $t_b/t = 1$

係数は補強幅比  $t_b/t=1$ 、補強厚比  $t_r/t=5$  の補強方法で孔の大きさに関わらず無孔板より大きくなる。図5.に変形載荷を受ける  $a/\ell=0.50$  の正方形孔板の弾塑性座屈強度曲線を示す。縦軸は塑性せん断力  $Q/Q_p$  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  $\lambda = \frac{\ell}{t} \sqrt{\frac{G}{E}}$  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、黒点は弾塑性解析における荷重段階を示している。矢印は塑性域開始荷重を示し、曲線の最上位の点が塑性崩壊強度に相当する。図における正方形孔板の弾塑性座屈強度は孔縁に補強を施すことによってそれより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。又、無補強の場合では弾性座屈を起こす幅厚比の領域が補強の場合では塑性崩壊の領域に変化している。

図5. 支持条件の違いによる弾塑性座屈強度曲線  
 $a/\ell=0.50$  変形載荷

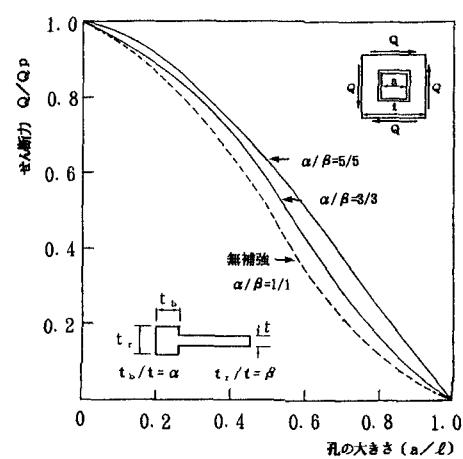
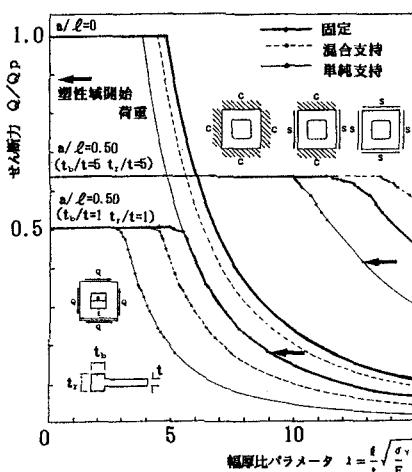


図6. 塑性崩壊強度と孔の大きさの関係  
 変形載荷

#### 4. 塑性崩壊強度に関する考察

図6.に変形載荷を受ける補強正方形孔板の塑性崩壊強度と孔の大きさの関係を示す。縦軸にせん断力  $Q/Q_p$  を示し、横軸は孔の大きさである。これより本研究で解析した補強方法において、正方形孔板の塑性崩壊強度は増加するが、無孔板と同等にすることはできない。図7.に変形載荷を受ける補強正方形孔板の補強による強度増加と孔の大きさの関係を示す。縦軸に無補強の塑性崩壊強度  $Q_p$  に対する補強正方形孔板の強度  $Q/Q_p$  を示し、横軸は孔の大きさである。これより正方形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い。又、強度増加はほぼ補強断面積に比例している。

#### 5. まとめ

- 1) 正方形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る。
- 2) 正方形孔板の弾性座屈強度に対して補強効果は孔が大きくなるほど著しく大きい。
- 3) 正方形孔板の弾性座屈強度に対して孔の大きさ、載荷方法及び支持条件に関わらず無孔板と同等にする為には補強幅比  $t_b/t=1$  の場合で補強厚比  $t_r/t=5$  の補強量を必要とする。
- 4) 正方形孔板の弾性座屈強度の補強効果に対して弾塑性座屈強度の補強効果は小さい。
- 5) 正方形孔板の塑性崩壊強度に対して補強効果は孔が大きくなるほど大きく、補強断面積に比例する。

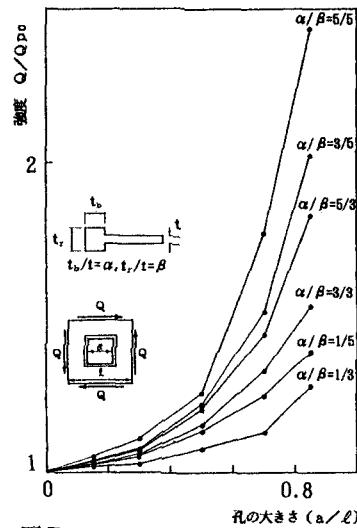


図7. 強度と孔の大きさの関係  
 変形載荷