

せん断荷重を受ける正方形孔板の座屈及び塑性崩壊に対する補強効果

福山大学 工学部 ○正 員 中村 雅樹

福山大学 工学部 正 員 上野谷 実

福山大学 大学院 学生員 林 修次

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う。有孔板は無孔板に比較すると座屈および終局強度の低下が著しい。本研究はせん断荷重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および対角線を補強することにより、補強位置および補強断面形状の違いが弾性座屈強度および塑性崩壊強度に与える影響を考察する。

2. 解析方法

有孔正方形板がせん断を受けるときの弾塑性平面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 $\sigma_Y=2400 \text{ kgf/cm}^2$ とし、降伏判定はMisesの降伏条件を用いた。座屈解析の境界条件は周辺単純支持および周辺固定とする。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一樣せん断応力載荷と、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一樣せん断変形載荷（以下、単に応力載荷と変形載荷と呼ぶ）の2種類である。今回は変形載荷について解析を行った。補強位置は図-2に示すとおり、孔縁補強、対角線補強および孔縁と対角線を同時に補強した同時補強の3種類について行った。補強断面形状は図-3に示すように補強幅 b を板の半辺長 $l/2$ で除した値で $2b/l=0 \sim 0.15$ （ $d/l=0.85$ のときのみ $0, 0.1$ ）と補強厚 h を板厚 t で除した値で $h/t=0 \sim 8$ （ $2b/l=h/t=0$ の場合は無補強）である。孔の大きさは板の辺長 l に対する孔長 a の比 $a/l=0.15, 0.3, 0.5, 0.7, 0.85$ の5種類とする。

3. 弾性座屈強度

図-4に周辺を固定された補強板が変形載荷を受ける場合、補強位置および補強断面形状の違いが弾性座屈強度に及ぼす影響を示す。縦軸は弾性座屈係数 k を示し、横軸は孔の大きさである。これより正方形孔板の弾性座屈強度は孔縁補強の場合、補強幅比 $2b/l=0.10$ 、補強厚比 $h/t=4$ 以上のとき孔が大きいくほど大きい。これは孔が大きくなると孔縁長が長くなり補強断面積が多くなるためと思われる。対角線補強の場合、孔が大きくなると小さくなる。これは孔が大きくなると対角線長が短くなるためと思われる。ただし、孔の大きい $a/l=0.85$ は局部座屈モードであり、その局部座屈部分を補強するようになるので大きくなったと考えられる。同時補強の場合、孔縁補強と対角線補強との相乗効果により孔の大きさに関係なくほぼ全体的に大きくなる。同じ補強断面積である $2b/l=0.05$ 、 $h/t=8$ と $2b/l=0.10$ 、 $h/t=4$ の補強断面形状の補強効果を比較すると補強幅 b を広げるより補強厚 h を厚くする方法が2~3倍と効果的である。ただし、 $a/l=0.15$ の孔縁補強はあてはまらない。孔縁補強と対角線補強の補強断面形状が同一の場合、弾性座屈強度は孔が小さいとき対角線補強が孔縁補強より、孔が大きいくとき孔縁補強が対角線補強より大きくなる。

4. 塑性崩壊強度

図-5に変形載荷を受ける補強板の塑性崩壊強度と孔の大きさの関係を示す。縦軸はせん断力 Q を塑性せん断力 $Q_0=\sigma_Y t l / \sqrt{3}$ で除した無次元せん断力 Q/Q_0 を示し、横軸は孔の大きさである。これより孔縁補強の場合、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。対角線補強の場合、孔が大きくなるほど補強効果はやや小さい。同時補強の場合、補強効果は孔縁補強と対角線補強の相乗効果により孔の大きさに関係なく大きい。また、この中で補強断面積が同一である $2b/l=0.05$ 、 $h/t=8$ と $2b/l=0.10$ 、 $h/t=4$ の両者にほとんど差がないことより、補強断面形状は塑性崩壊強度に対してほとんど影響しないと考えられる。

5. まとめ

周辺固定の補強された正方形孔板が変形载荷を受ける場合の補強位置および補強断面形状の違いが弾性座屈強度および塑性崩壊強度に与える影響について以下のことが明らかになった。

- 1) 弾性座屈強度に対して補強断面形状は補強幅 b を広げるより補強厚 h を厚くする方法が効果的である。
- 2) 弾性座屈強度および塑性崩壊強度を補強によって増強するには、孔が大きい場合は孔縁補強が効果的であり、孔が小さい場合は対角線補強が効果的である。同時補強は孔縁補強と対角線補強の相乗効果により孔の大きさに関係なく効果的である。
- 3) 塑性崩壊強度に対して補強断面形状はほとんど影響しないので同じ補強断面積で補強するのであれば座屈に対して効果的である補強厚 h を厚くする方が良い。

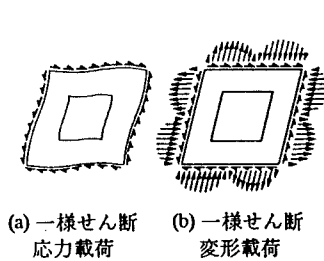


図-1 载荷条件

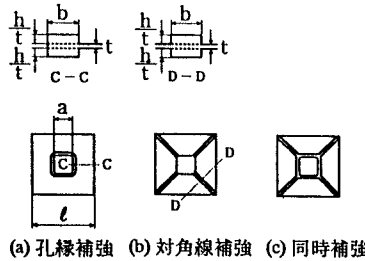


図-2 補強位置

補強厚比 h/t	補強幅比 $2b/\ell$		
	0.05	0.10	0.15
2			
4			
8			

図-3 補強断面形状

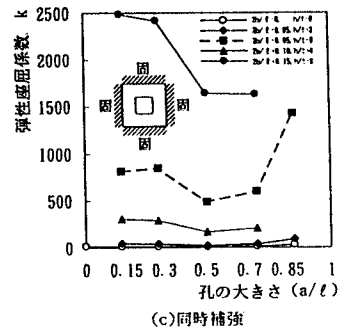
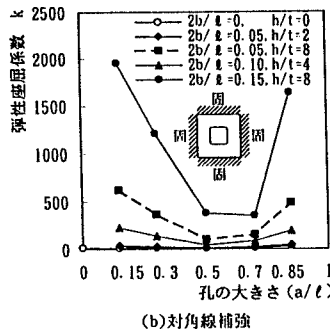
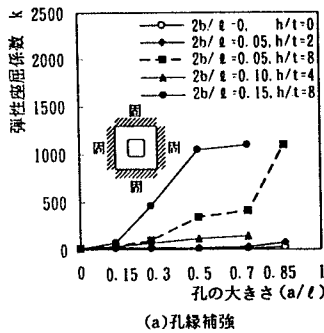


図-4 孔の大きさと弾性座屈強度の関係（変形载荷，固定 $\tau_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{\ell}\right)^2$ ）

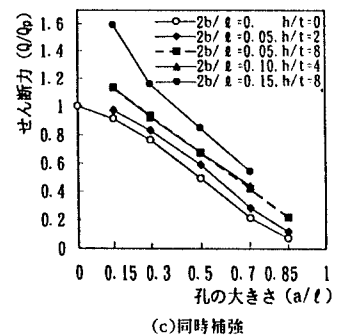
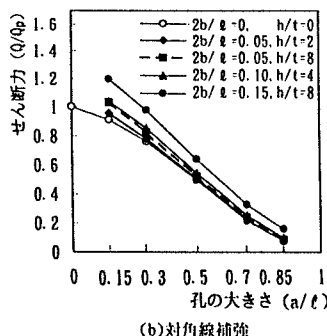
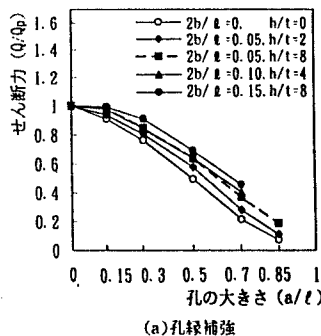


図-5 孔の大きさと塑性崩壊強度の関係（変形载荷）

参考文献：中村、上野谷：補強円孔を有する正方形板の弾塑性せん断座屈強度、構造工学論文集、Vol. 41A, 1995.