

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及び塑性崩壊強度

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

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を広範囲に補強することにより、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 $\sigma_v=2400 \text{ kgf/cm}^2$ 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、周辺固定および相対する2辺が単純支持および固定の混合支持とする。載荷条件は図-1のように

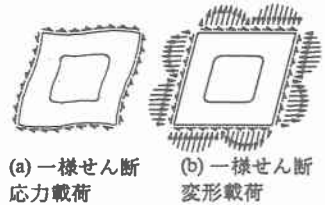


図-1 載荷条件

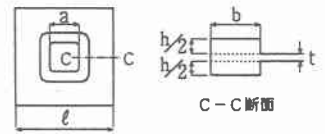


図-2 補強形状

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。補強位置を図-2に示す。補強断面形状は図-3のように補強幅 b を板の半辺長 $l/2$ で除した値で $2b/l=0 \sim 0.75$ （ただし、 $d/l=0.70$ のとき $2b/l=0, 0.15, 0.20, 0.25$ また、 $d/l=0.85$ のとき $2b/l=0, 0.075, 0.10, 0.125$ ）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。

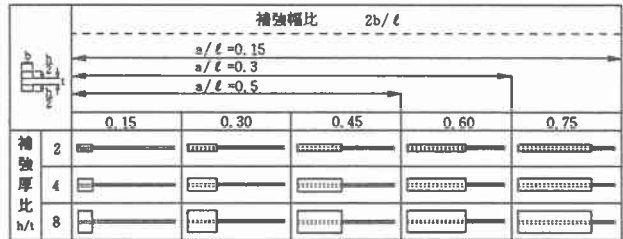


図-3 補強断面形状

2で除した値で $2b/l=0 \sim 0.75$ （ただし、 $d/l=0.70$ のとき $2b/l=0, 0.15, 0.20, 0.25$ また、 $d/l=0.85$ のとき $2b/l=0, 0.075, 0.10, 0.125$ ）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に補強板が変形載荷を受ける場合、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単純支持の場合、補強幅比 $2b/l=0.15$ 、補強厚比 $h/t=8$ 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。これに対して補強厚比 $h/t=2$ で補強幅比 $2b/l=0.15$ 以上の時、座屈強度は孔が大きくなるほどほぼ同一かまたは少し小さい。これは補強厚が小さく補強幅が大きい補強の場合、補強厚が大きく補強幅が小さい補強の場合より面外方向に対する補強効果が小さいためと考えられる。固定の場合、座屈強度は補強幅比 $2b/l=0.15$ 、補強厚比 $h/t=8$ のとき孔が大きいくほど大きい。また、これに対して補強厚比 $h/t=2$ で補強幅比 $2b/l=0.15$ 以上の時、座屈強度は孔の大きさに関係なくほぼ同一かまたは多少大きくなる。したがって、固定の場合、座屈強度は単純支持と同様な傾向を示すが、周辺が固定であるため単純支持より大きくなる。混合支持の場合、座屈強度は単純支持および固定と同様な傾向を示すが、孔の小さい $a/l=0.15$ などでは単純支持および固定より大きくなる補強断面形状がある。これは相対する辺が単純支持あ

るいは固定であるので対角線方向の主たわみが単純支持側に回転する。それによって主たわみの長さは短くなる。その結果座屈強度が大きくなると考えら

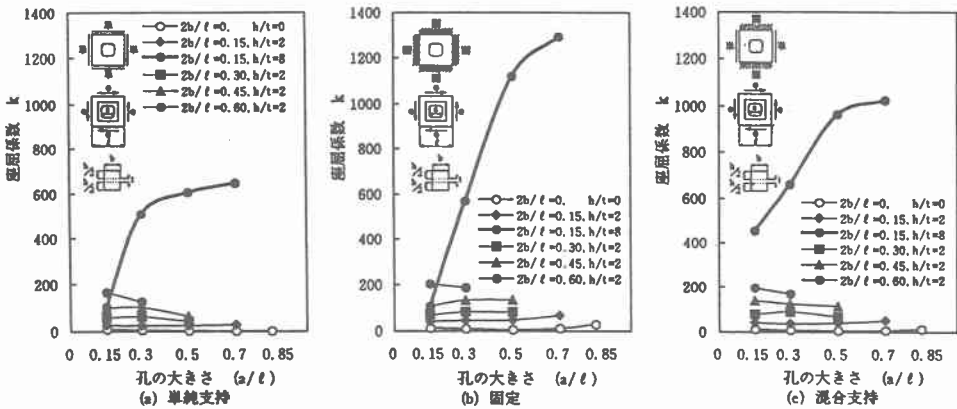


図-4 孔の大きさと弾性座屈強度の関係(変形載荷, $\tau_{\sigma} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{l}\right)^2$)

れる。特に孔の小さい $a/l=0.15$ などは孔の周長が短く補強の形状より座屈モードが影響しているものと考えられる。したがって、補強形状によっては混合支持の座屈強度は単純支持および固定より大きくなると考えられる。同じ補強断面積である $2b/l=0.15, h/t=8$ と $2b/l=0.60, h/t=2$ 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。また、座屈強度において $2b/l=0.15, h/t=8$ は孔が大きくなると大きくなるが $2b/l=0.60, h/t=2$ は孔が大きくなると小さくなっている。

4. 塑性崩壊強度

図-6 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 $Q_p = \sigma_y t l / \sqrt{3}$ で除した無次元せん断力 Q/Q_p を示し、横軸は孔の大きさである。これより、塑性崩壊強度に対する補強効果を強度で表すと $2b/l=0.15, h/t=8$ のように補強厚を大きくした場合、孔が大きくなるほど大きく、 $2b/l=0.60, h/t=2$ のように補強幅を大きくした場合、孔の大きさに関係なく一定に大きい。また、この中で補強断面積が同一である $2b/l=0.15, h/t=8$ と $2b/l=0.60, h/t=2$ の塑性崩壊強度を比較すると、補強厚の大きい $2b/l=0.15, h/t=8$ より補強幅の大きい $2b/l=0.60, h/t=2$ の場合が大きい。これは補強厚が厚い $2b/l=0.15, h/t=8$ はその補強の近くで、早く降伏するため補強幅の大きい $2b/l=0.60, h/t=2$ の塑性崩壊強度の場合が大きくなると思われる。

5. まとめ

- 周辺単純支持、固定および混合支持の補強された正方形孔板が変形載荷を受ける場合の補強断面形状の違いが弾性座屈強度、弾塑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) 弾性座屈強度は単純支持より固定が大きい、孔の小さい場合、混合支持が最も大きい場合もある。
 - 3) 塑性崩壊強度に対して孔が小さい場合、補強断面形状は補強厚 h を厚くするより補強幅 b を広げる場合が効果的である。
 - 4) 今回の補強断面形状において同一の補強断面積の補強断面形状を比較した場合、座屈強度までは補強厚 h を厚くする場合が効果的であるが、塑性崩壊強度までは補強幅 b を広げる場合が効果的である。

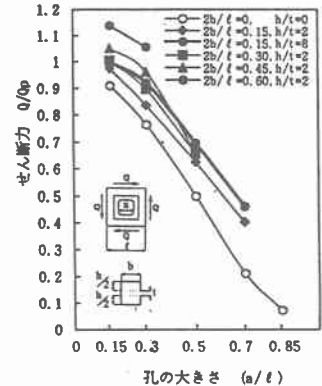


図-5 孔の大きさと塑性崩壊強度(変形載荷)