

せん断を受ける有孔板の座屈に対する補強効果

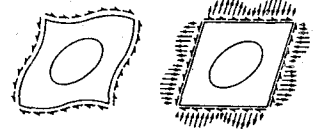
福山大学 工学部 正員 上野谷 実
 福山大学 工学部 正員 中村 雅樹
 福山市役所 ○正員 廣越 洋一

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及び終局強度の低下が著しい。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及び対角線を補強することによって弾塑性座屈強度及び終局強度を増強するための補強方法と補強量を考察するものである。

2. 解析方法

有孔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 $\sigma_y=2400 \text{ kgf/cm}^2$ とし、降伏判定はMisesの降伏条件を用いた。載荷条件は図. 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よぶ）の2種類である。補強方法は図. 2 に示すとおり孔縁及び対角線に行い、孔縁または対角線、さらに孔縁と対角線を同時に補強した3種類について行った。その補強形状の種類について図. 3 に示す。補強形状の種類は補強幅を板の半辺長で除した値で $2t_b/\ell=0 \sim 0.15$ ($d/\ell=0.85$ のときのみ $0 \sim 0.075$) もしくは補強厚を板厚で除した値で $t_r/t=0 \sim 8$ ($2t_b/\ell=t_r/t=0$ 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に対する直径の比 $d/\ell=0.15, 0.30, 0.50, 0.70, 0.85$ の5種類で、解析は合計で220ケースであった。



(a) 一樣せん断 応力載荷 (b) 一樣せん断 変形載荷

図. 1 載荷条件

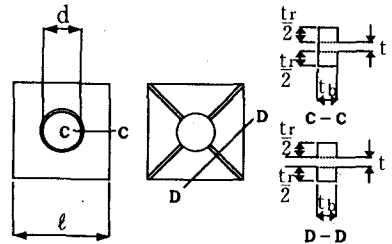


図. 2 補強方法

3. 弾性座屈強度

図. 4 (a), (b), (c)に応力載荷を受ける板周辺を単純支持された補強円孔板の孔の大きさと弾性座屈係数の関係を示す。(a), (b), (c)はそれぞれ孔縁補強、対角線補強、孔縁及び対角線補強の場合を示す。縦軸は弾性座屈係数 k を示し、横軸は孔の大きさである。これより円孔板の弾性座屈係数は孔縁補強では補強幅比 $2t_b/\ell=0.10$ 、補強厚比 $t_r/t=4$ 以上のとき孔が大きいほど大きく、対角線補強、孔縁及び対角線補強では補強形状に関わらず孔が小さいほど大きい。この傾向は補強方法に関わらず補強が大きいほど顕著である。

図. 5 に応力載荷を受ける板周辺を単純支持された孔の大きさ $d/\ell=0.50$ の補強円孔板の補強厚比と弾性座屈係数の関係を示す。縦軸は弾性座屈係数 k を示し、横軸は補強厚比 t_r/t である。図中の実線、波線、一点鎖線はそれぞれ孔縁補強、対角線補強、孔縁及び対角線を補強した円孔板の補強方法の違いを示し、補強幅比 $2t_b/\ell$ を一定として補強厚比 t_r/t を変化させた場合を示している。これより補強方法及び補強

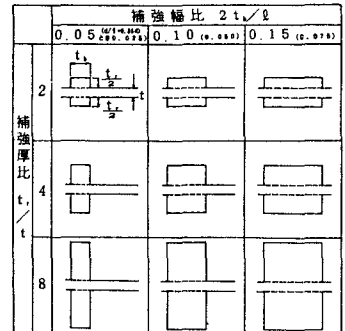


図. 3 補強形状

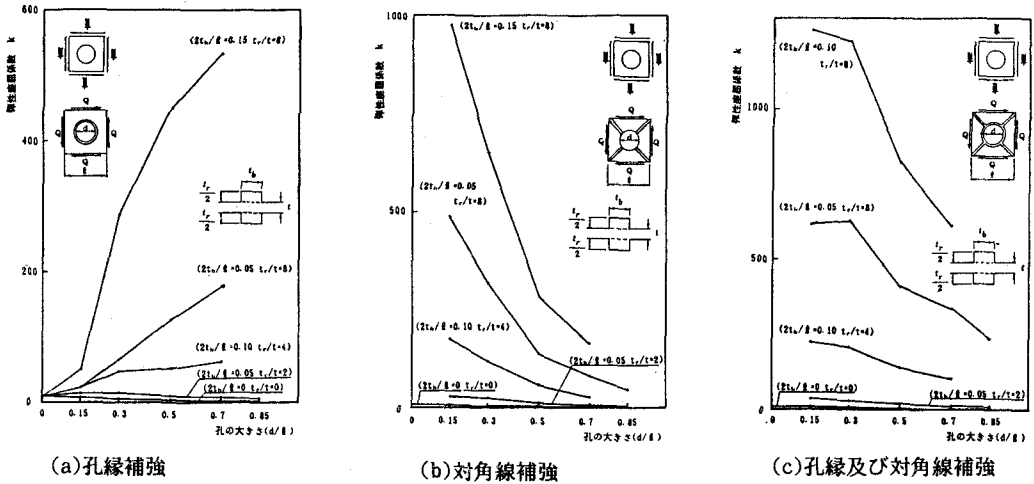


図. 4 孔の大きさと弾性座屈係数の関係 (応力載荷 単純支持 $\tau_{xy} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{l}\right)^2$)

幅比に関わらず補強厚比が大きくなるにしたがって弾性座屈係数は大きくなり、特に孔縁及び対角線補強では顕著である。

4. 塑性崩壊強度

図. 6 に応力載荷を受ける孔縁を補強した円孔板の孔の大きさと塑性崩壊強度の関係を示す。縦軸は塑性せん断力 $Q_p = \sigma_{yt} l / \sqrt{3}$ 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。これより無補強及び補強円孔板の塑性崩壊強度は孔が大きくなるほど低下する。無補強円孔板の塑性崩壊強度に対する補強形状が補強幅比 $2t_r/l$ (応力載荷 単純支持 $d/l = 0.50$) $= 0.05$, 補強厚比 $t_r/t = 2$ の補強円孔板の

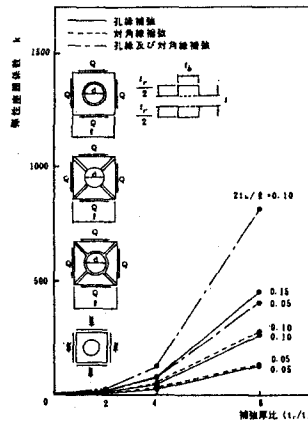


図. 5 補強厚比と弾性座屈係数 (応力載荷 単純支持 $d/l = 0.50$)

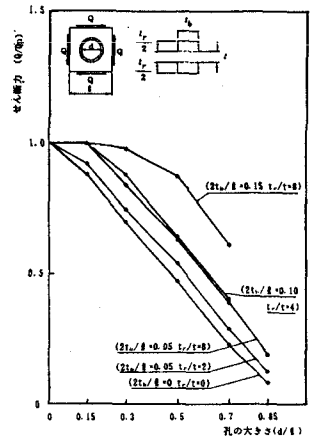


図. 6 孔の大きさと塑性崩壊強度 (孔縁補強 応力載荷)

塑性崩壊強度の比は $d/l = 0.15, 0.30, 0.50, 0.70$ 及び 0.85 においてそれぞれ $1.04, 1.07, 1.13, 1.28$ 及び 1.46 となり孔が大きくなるほど補強効果が大きくなる。

5. まとめ

- 1) 円孔板の弾性座屈係数は孔縁補強では孔が大きくなるほど大きく、対角線補強では孔が小さいほど大きい。孔縁及び対角線補強ではほぼ孔が小さいほど大きい。
- 2) 円孔板の弾性座屈係数は補強量が等しい場合では孔が小さいとき孔縁及び対角線補強、対角線補強、孔縁補強の順に大きく、孔が大きくなると孔縁及び対角線補強、孔縁補強、対角線補強の順になる。
- 3) 円孔板の塑性崩壊強度の増強に対して応力載荷を受ける場合は孔縁補強が効果的であり、対角線補強では補強効果が得られない。変形載荷を受ける場合では孔縁補強及び対角線補強ともに効果的である。
- 4) 円孔板の塑性崩壊強度に対する補強効果は孔縁補強、孔縁及び対角線補強では孔が大きいほど大きく、対角線補強では孔の大きさに関わらずほぼ一定となる。