

補剛材で支持される有孔板の弾塑性せん断座屈実験について

福山大学 工学部 正員 上野谷 実
福山大学 大学院 学生員 ・岡田 雅博

1. まえがき

孔を有する板の座屈強度は、孔の形状、大きさ、境界条件、荷重条件などによつて変わる。ここでは、中央に円孔を有し、周辺を補剛材で単純支持される正方形鋼板が、せん断荷重を受ける場合の弾塑性座屈強度を検討する。理論解析では、面外変形に対する境界条件を単純支持及び固定支持とし、周辺の面内方向変位に対する境界条件を図1-(a)に示すように周辺上で等分布せん断応力が作用する場合¹⁾(以下、「等分布せん断応力変形」と呼ぶ。)と、図1-(b)に示すように周辺が直線を保つような変形をする場合²⁾(以下、「一様せん断変形」と呼ぶ。)の有孔板の弾塑性座屈強度が明らかにされている。実際の構造物においては、フランジや補剛材で周辺を囲まれた板構造を単純支持とする場合が多い。この場合、面内方向変位に対する境界条件は、補剛材の拘束による影響を受け、図1-(a)と図1-(b)の間の状態となる。本報告は、板中央に設けた円孔の大きさが、弾塑性せん断座屈強度に及ぼす影響を実験的に明らかにし、その結果を既に発表されている解析結果と比較したものである。

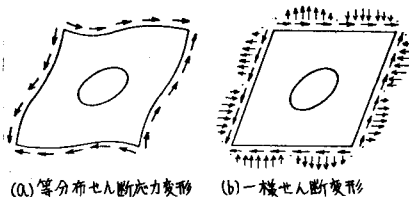


図1 有孔板のせん断変形

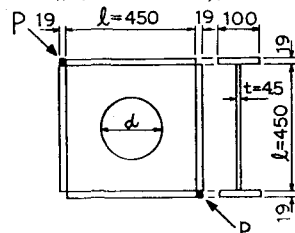


図2 供試体 (単位:mm)

2. 実験方法

載荷方法は、図2に示すように試験機の圧縮荷重Pを丸鋼から補剛材を経て、板周辺にせん断荷重を作用させた。本実験に使用した鋼板は、平均板厚 $t=4.5\text{mm}$ の構造用軟鋼SS-41である。供試体は、上述の鋼板を一边 450mm の正方形に切断し、周辺に幅 100mm 、厚さ 19mm の補剛材をすみ肉溶接したもので、種類は、無孔板と $d/l=0.3, 0.5, 0.7$ の有孔板の4種類である。円孔は、溶接を行なった後、ボール盤で切削した。面内応力は、電気抵抗線ひずみゲージで測定した。ゲージの貼り付け位置は、図3に示す。面外たわみは、最小目盛 $1/100\text{mm}$ のダイヤルゲージで測定した。また、鋼板の降伏応力は、補剛材を溶接した供試体から切削して作成した3本の引張試験片の引張試験によつて得られた引張降伏応力の平均をとり、 $\sigma_y=2830\text{kgf/cm}^2$ である。

3. 実験結果及び考察

本実験の載荷方法による弾性応力状態を検討するため、実験で測定した板の周辺近傍における $\alpha-\alpha'$ 断面の中央面における応力分布を図4-(a)~(d)に示す。中央面の応力は、板の裏表に貼り付けた

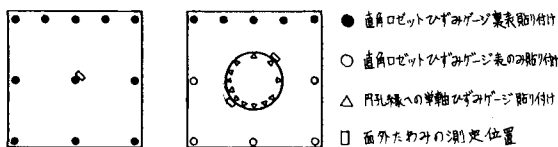


図3 ゲージの貼り付け位置

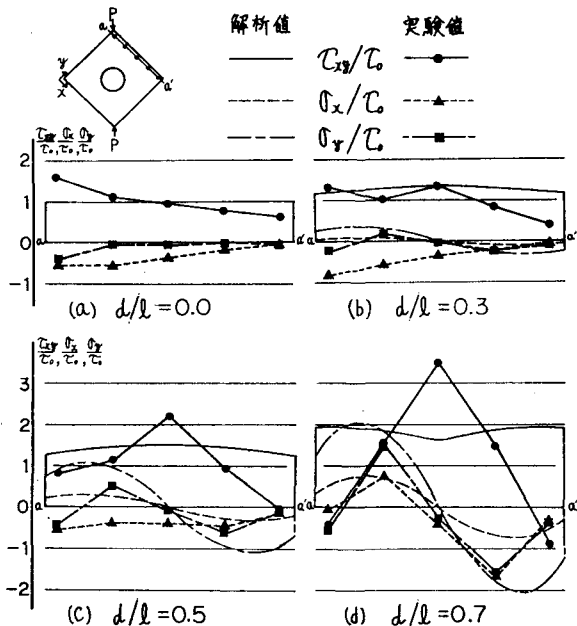


図4 $\alpha-\alpha'$ 断面の中央面における弾性応力

直角ロゼットひずみゲージによって測定した板の表面の各応力成分の平均値である。また、図中に示した σ_0 は、次式で定義する応力であり、平均せん断応力と呼ぶことにする。

$$\sigma_0 = Q/A \quad \text{--- (1)} \quad \text{ここに } Q = P/\sqrt{2}, \quad A = d \cdot t$$

解析値は、境界条件が面外変形に対して単純支持、面内方向変位に対して一様せん断変形の応力分布である。無孔板の場合、せん断応力 σ_0 は、載荷点から非載荷点方向へ直線的に減少する分布を示し、解析値の等分布とはやや異なる。垂直応力 σ_x , σ_y は小さく、本実験の載荷方法は、載荷点付近を除けば純せん断に近いものと思われる。有孔板の場合、せん断応力は、円孔径が大きくなると補剛材の曲げの影響を受けて辺中央で大きい山形の分布となり、一様せん断変形とは異なった結果を示す。垂直応力 σ_x 及び σ_y の分布は、載荷点及び非載荷点付近を除き解析値によく近似した傾向を示す。

図-5に座屈挙動を表わす荷重—面外たわみの関係を示す。たわみの測定点は、無孔板が板の中央、有孔板が最大たわみを生ずると予想される対角線上の孔縁である。図中の δ_{max} は、荷重載荷前の供試体の最大初期たわみ δ_{0max} と板厚 t の比である。図-5によれば、無孔板は、座屈荷重以前において、たわみの増加がおこらず、座屈荷重に達すると急激にたわみが増加し座屈崩壊する典型的な板の座屈挙動を示す。しかし、有孔板は、座屈荷重に達する直前に、既に大きな面外たわみを生じている。これは、座屈荷重より小さい荷重段階で、円孔縁に局部的塑性域が生じ、それが荷重の増加とともに徐々に広がり、板の面外剛性が低下して、面外たわみが大きくなるものと思われる。

図-6に円孔径と本実験の座屈強度の関係を示す。縦軸の Q_p は次式で定義する塑性せん断断力である。

$$Q_p = \sigma_y \cdot A / \sqrt{3} \quad \text{--- (2)}$$

図中の解析値は、面外変形に対する境界条件が、単純支持のものである。図-6よりわかるように、無孔板の座屈強度は解析値より10%小さい。これは、板の溶接時における熱の影響で残留応力が発生し、これが座屈強度の低下に影響を与えたものと思われる。また、有孔板では、円孔を切削するため、応力解除が行われ、残留応力の影響は小さくなり無孔板ほどではないと思われる。有孔板の場合、孔径が小さいとき等分布せん断断力変形の座屈強度に近い値を示すが、孔径が大きくなる程、一様せん断変形と等分布せん断断力変形の中間の座屈強度となる。これは、円孔の径が大きくなる程、板の面積は小さくなり、板の面内剛性が低下するため、相対的に補剛材の拘束の影響が大きくなり、起こるものと思われる。

4. あとがき

本実験の場合、座屈強度は孔径が大きくなる程、等分布せん断断力変形に近い値から、等分布せん断断力変形と一様せん断変形の中間の値となることがわかった。しかし、座屈強度は、補剛材の剛性によって変化するので、剛性の異なる補剛材を使用して実験を行い、補剛材の影響を明らかにする必要がある。

参考文献 (1) Uenoya and Redwood, "Elasto-plastic Shear Buckling of Square Plates with Circular Holes", C & S, vol. 8, 1978.
(2) 大村他, "円孔を有する正方形板のせん断座屈について", 第31回土木学会中国四国支部学術講演概要, 昭和54年。

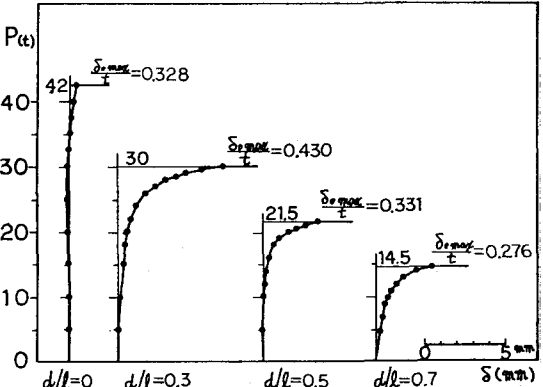


図-5 荷重—面外たわみ

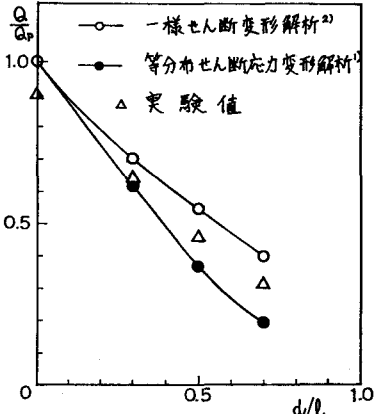


図-6 円孔径と座屈強度の関係