

有孔 LP 鋼板の極限強度解析*

永藤壽宮*¹・渡辺 望*²・良川賢斗*³

Ultimate strength analysis of the existence aperture LP steel plates

NAGATO Toshimiya and WATANABE Nozomu and YOSHIKAWA Kento

Purpose in study is to investigate mechanical behavior for existence aperture LP stiffened plates under pure axial compression. I carry out numerical value simulation in some models that changed a plate thickness difference and an aperture diameter this time. Then I want to offer the data that is ultimate behavior of existence aperture LP stiffened plates under pure axial compression.

キーワード：斜め補剛材，橋梁，耐荷力

1. 本研究の背景と目的

現在，橋梁の建設においてコストの削減や安全性の向上が望まれている．これに対し，LP 鋼板 (Longitudinally Profiled plate, 圧延変厚鋼板) が注目され，これが有効であることが知られている．LP 鋼板とは長手方向に直線的に板厚を変化させた圧延鋼板のことで，応力分布に応じた断面を有することによって理想的な応力負担ができ，鋼重低減や加工数削減によるコスト削減によるコスト削減が期待できる．LP 鋼板を適用した場合のメリットを以下にまとめる．

1) 等厚設計に比べて，鋼材の重量を低減できる．特に断面の大きな 2 主桁橋で効果が大きくなるため，必要断面に応じた合理的な断面構成が可能となる．

2) 接合部の等厚化により，ボルト接合部ではフィラープレートの省略により維持管理が容易となる．また，溶接継ぎ手の場合には，テーパ加工処理省略等の工数低減による初期コストの縮減が可能となる．また，断面変化がなめらかになることによる疲労強度の向上が期待できる．

本来，LP 鋼板に孔を設けることはないが，今後，橋梁に用いられた LP 鋼板に製作・架設上，また点検などの維持管理のために孔を設ける可能性がある．

また，有孔 LP 鋼板については造船分野での論文が主となっており，土木分野における論文が少ないのが現状である．

本研究では純圧縮力を受ける有孔 LP 補剛板を対象として，その耐荷力や力学的挙動特性を探り得られたデータを提供することを目的とする．

今回は板厚差や孔径を変化させたいいくつかのモデルに数値シミュレーションを実施し，得られた解析結果より純圧縮力を受ける有孔補剛板の耐荷力や力学的挙動特性を探る．

2. 解析仮定と解析モデル

2-1 材料特性

今回の解析では材料を SS400 とした．SS400 の材料特性については以下の表-1 の通りである．

表 1 材料特性

X 方向の断面係数	20500N/mm ²
XY 内面のポアソン比	0.29N/A
降伏強さ	282.69N/mm ²
X 方向の熱膨張率	1.2e-005K
質量密度	7858kg/m ³
硬化係数	0.85N/A

2-2 解析モデル

今回の解析は有孔補剛板を対象として行う．対象とする部分は図 1 の点線の部分とする．モデルを作成すると図 2 のようになる．また，実際の解析時には図 3 に示す 1/4 モデルを用いる．

*2014 年 3 月土木学会中部支部で発表

*1 環境都市工学科教授

*2 長野県庁

*2 中央工建

原稿受付 2014 年 5 月 20 日

モデルの寸法は高さ 1850mm, 幅 1000mm, 厚さ 20mm, 孔径 400×600 mm, 孔の曲率半径 100mm とし, この寸法を基準として条件を変えたモデルを作成・解析し比較する. 今回は以下のようにモデルを作成した.

- ① 等厚断面で初期たわみを考慮しないもの
- ② 等厚断面で初期たわみを考慮するもの
- ③ 変厚断面で初期たわみを考慮しないもの
- ④ 変厚断面で初期たわみを考慮するもの
- ⑤ ②の孔径を変化させたもの
- ⑥ ④の孔径を変化させたもの

変厚断面については体積を一定として, 板中央部で板厚が最大となるように設定した. 寸法は平均断面積が等厚断面と等しくなるように 17-23mm, 16-24mm, 15-25mm, 13-27mm, 11-29mm, 9-31mm, 7-33mm, 5-35mm とした. 孔径については孔の面積が一定となるように孔のアスペクト比を変更し, 480×500 mm, 320×750 mm とした.

2-3 初期不整

初期不整には大別して幾何学的初期不整と力学的初期不整の二つがある.

幾何学的初期不整として, 平滑ではなく凹凸があり厚さ分布が不均一で, 厚さ角度のずれが対称でないことや, 初めから変形が生じている場合等がある.

力学的初期不整として, 熱残留応力の分布, 密度の不均一による重力による応力の不均一, 金属や結晶の原子の構造欠陥などがある.

本研究では幾何学的初期不整として初期たわみを考慮する. 参考文献より図 4 のように $W_0 = b/150$ をモデルに与えた. また実際に作成した初期たわみを考慮する 1/4 モデルと初期たわみを考慮しないモデルで比較することとする.

2-4 拘束条件

拘束条件は, 図 5 に示すように, モデル両端において水平方向および軸方向に変位しないように拘束する. また, モデルの上端と下端では水平方向に変位しないように拘束する.

2-5 荷重条件

荷重条件は, 図 6 に示すように純圧縮力を載荷させた場合の特性を得るため等分布荷重を断面載荷させた.

3. 解析方法

3-1 解析ソフトウェア

本研究では以上のモデルを 3 次元 CAD 設計ツール”Solid Works”によって設計・製作し, 解析には”Solid Works Simulation”を用いた.

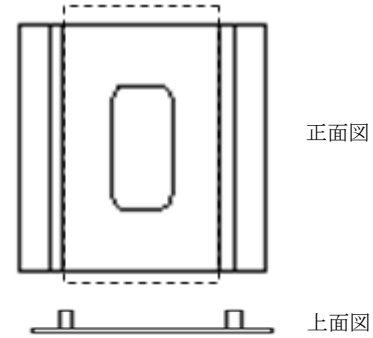


図 1 補剛板の対象とする部分

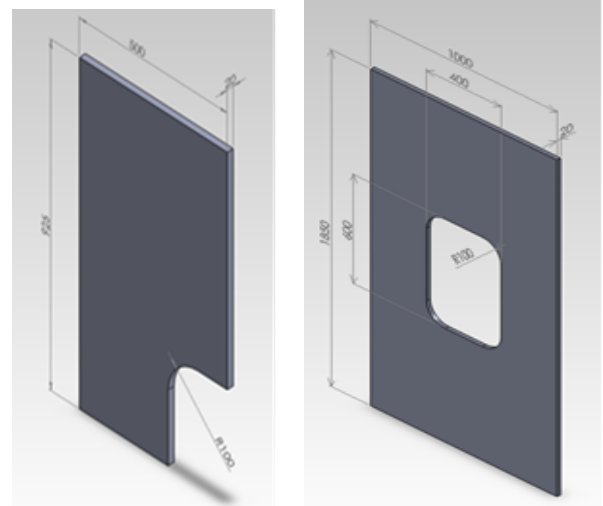


図 2 1/1 モデル

図 3 1/4 モデル

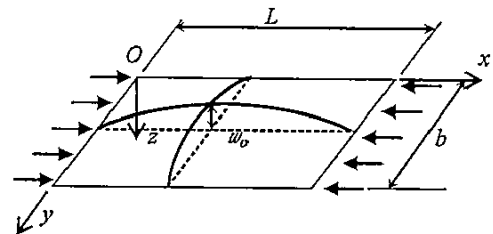


図 4 初期たわみ

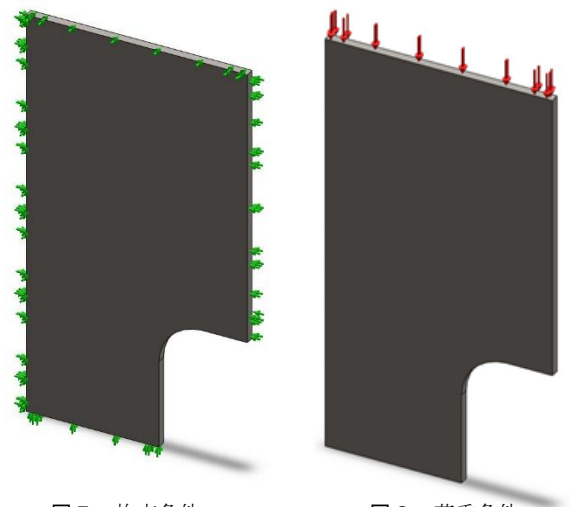


図 5 拘束条件

図 6 荷重条件

3-2 メッシュ分割

今回メッシュは 4 面体個体要素を用いた。メッシュサイズは 13mm とした。

3-3 計算方法

”Solid Works Simulation” を用いて非線形解析を行う。荷重増分法を用い、反復解析手法として Newton-Raphson 法を用いる。また、Von-Mises を降伏判定式とする。

4. 解析結果

4-1 初期たわみの有無による比較

この解析では前述のように、初期たわみを考慮したモデルと初期たわみを考慮しないモデルについて等厚断面と変厚断面を対象として行った。比較したグラフを図 7 に示す。グラフは縦軸を面外変位、横軸は最小板厚を最大板厚で割った板厚比を用いた。横軸の 1 が等厚モデルをしめしており値が小さくなるほど板厚差が大きくなっている。また、青い線が初期たわみ有、赤が初期たわみ無のグラフになる。初期たわみを考慮することにより面外変位が増加することがわかる。

また、初期たわみを考慮したモデルと初期たわみを考慮しないモデルの面外変位のコンターズを 20 倍にしたものを以下の図 8～13 に示す。

以上の図より初期たわみを考慮したモデルは板中央部に変位が集中しているが初期たわみを考慮しないモデルは板上部で変位が集中していることがわかる。また、初期たわみを考慮した場合等厚断面と変厚断面では変位の集中する箇所が違ってくる。

4-2 等厚断面と変厚断面による比較

この解析は初期たわみを考慮したモデルを対象として行った。また、今回は各モデルの座屈荷重を求め比較を行った。座屈荷重は各載荷荷重での Z 方向変位をプロットしたグラフを作り、そのグラフから多項近似式を求め、曲率に変化する点を座屈荷重とした。以下図 14～17 に各変厚モデルの載荷荷重・Z 方向変位グラフを示す。

以上のグラフより求めた座屈荷重より作成したグラフを図 18 に示す。縦軸は座屈荷重を SS400 の降伏強さで割った耐力比、横軸を 4-1 と同様に最小板厚を最大板厚で割った板厚比とした。板厚差が大きくなるほど耐荷力が向上していることがわかる。また、板厚比が 0.5 を超えると耐荷力が一定となり、減少していくことがわかる。

また、各モデルの座屈直前の荷重を載荷させた際、応力が SS400 の降伏強さである 282.69N/mm^2 を

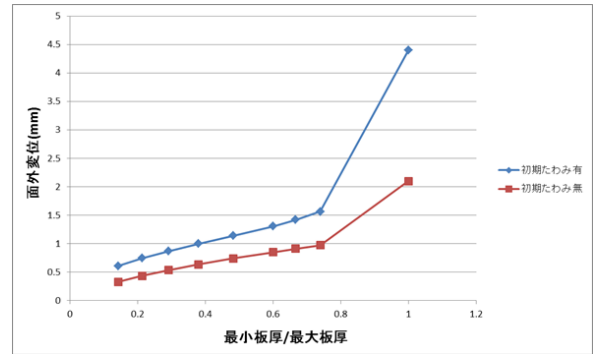


図 7 板厚比と面外変位

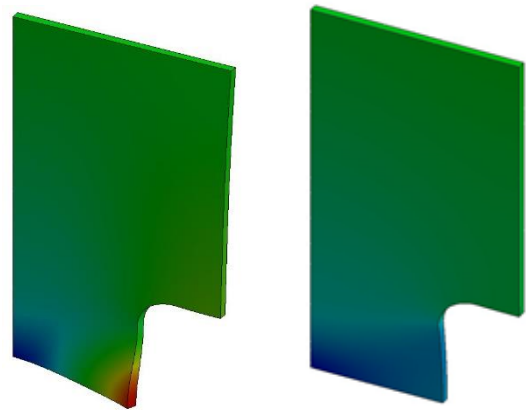


図 8 板厚 9-31mm 初期たわみ有

図 9 板厚 9-31mm 初期たわみ無

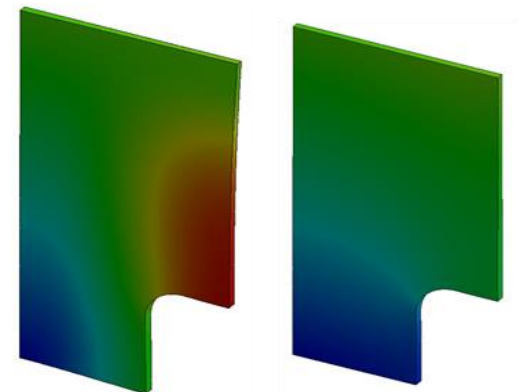


図 10 板厚 7-23mm 初期たわみ有

図 11 板厚 7-23mm 初期たわみ無

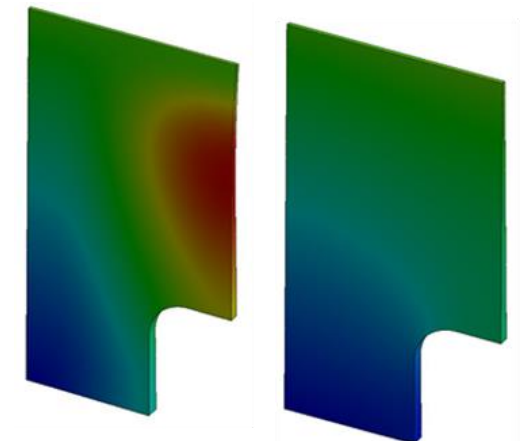


図 12 板厚 9-31mm 初期たわみ有

図 13 板厚 9-31mm 初期たわみ無

を超え、塑性域に達した部分を赤く表示したものを以下の図 19～22 に示す。

以上の図より等厚モデルに比べ変厚モデルは塑性域に達している部分が多くなっていくことがわかる。しかし、板厚差 13・27mm(板厚比 0.48)を超えた板厚差になると座屈直前に塑性域に達する部分が少なくなっていくことが観察できた。

4-3 孔径の変化による比較

この解析は初期たわみを考慮した等厚モデル、変厚モデル(板厚 17・23mm, 15・25mm)を対象として行った。4-2 と同様に各モデルの座屈荷重を求め比較を行った。以下図 23～26 に各モデルの載荷荷重・Z 方向変位グラフを示す。

以上のグラフより求めた座屈荷重より作成したグラフを図 27 に示す。縦軸は座屈荷重を SS400 の降伏強さで割った耐力比、横軸を孔の高さを幅で除したアスペクト比とし、アスペクト比が大きくなるほど孔が縦長になっている。全てのモデルでアスペクト比が大きくなるほど耐荷力が向上していることがわかる。

また、4-2 と同様に各モデルの座屈直前の荷重を載荷させた際、応力が SS400 の降伏強さである 282.69N/mm²を超え、塑性域に達した部分を赤く表示したものを以下の図 28～33 に示す。

以上の図より孔のアスペクト比を大きくすることで塑性域が大きくなっていることがわかる。また、板厚 15～25mm, 孔径 320×750mm のモデルは板全体が塑性域になっていることがわかる。

5. 考察

5-1 初期たわみの有無による比較についての考察

まず、初期たわみを考慮することにより変位が 1.5～2.2 倍に増加することがわかった。変位は初期たわみを設定した方向に生じていることから初期たわみを考慮することにより変位が増加したといえる。また、実際の鋼板には初期たわみが必ず発生する。今回の解析により初期たわみを考慮することにより計算される値に大きな差が生じるということがわかった。数値解析を行いデータの提供をする際には初期たわみを考慮することで実際の鋼板に条件を近似させることが必須であることが実証できたと考えられる。

次に、初期たわみを考慮した場合、等厚断面と変厚断面では変位が集中する箇所が違うことがわかった。等厚断面の場合板中央部に変位が集中しているが、変厚断面の場合孔の上端、下端に変位が集中していることがわかる。これは変厚断面にすることにより板中央部の板厚が厚くなり、変位に抵抗することが出来てい

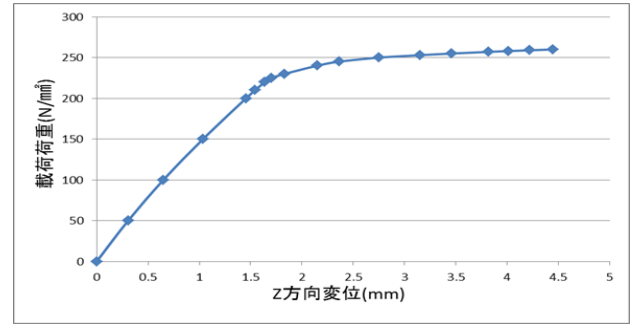


図 14 載荷荷重-Z 方向変位グラフ (板厚 17-23mm)

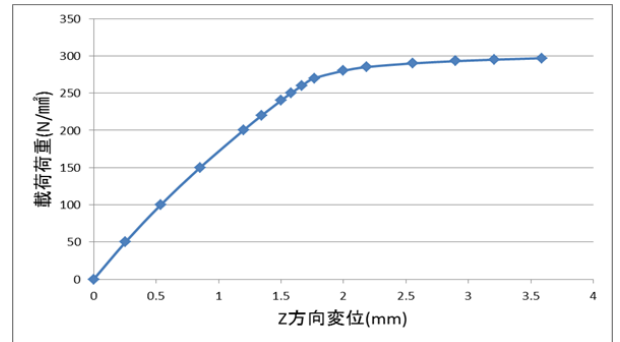


図 15 載荷荷重-Z 方向変位グラフ (板厚 15-25mm)

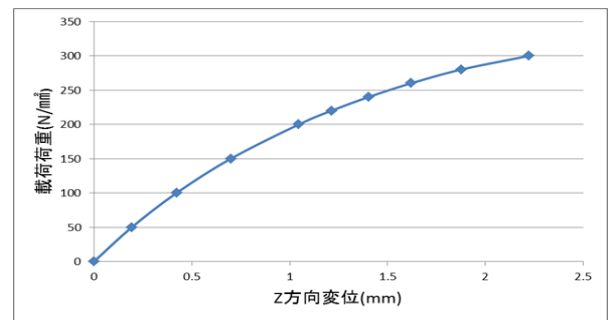


図 16 載荷荷重-Z 方向変位グラフ (板厚 13-27mm)

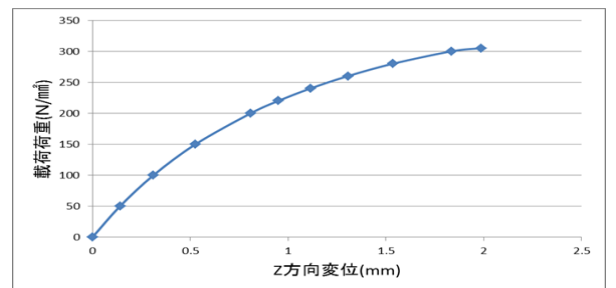


図 17 載荷荷重-Z 方向変位グラフ (板厚 9-31mm)

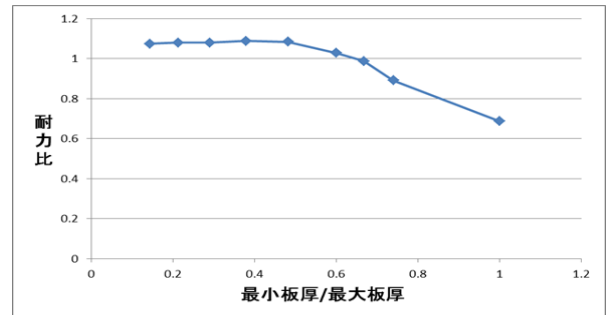


図 18 板厚比と耐力比

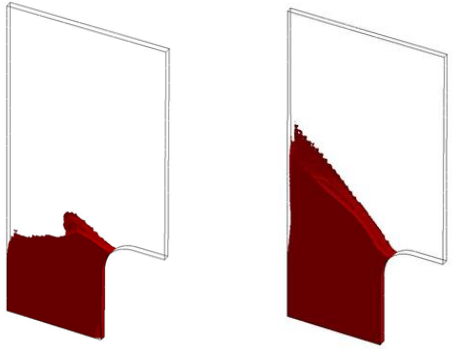


図 19 塑性部分(板厚 20mm) 図 20 塑性部分(板厚 17-23mm)

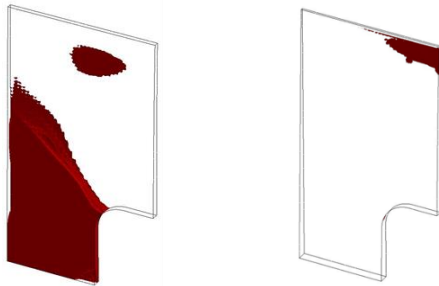


図 21 塑性部分(板厚 15-25mm) 図 22 塑性部分(板厚 7-33mm)

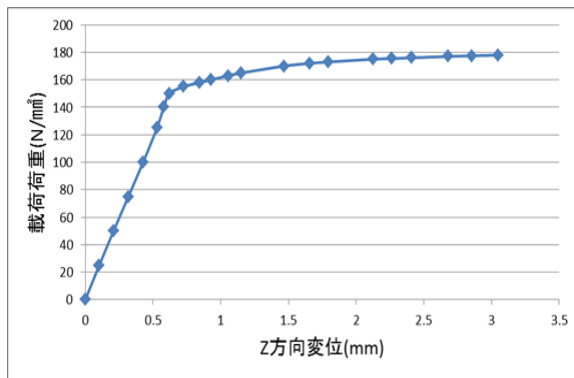


図 23 載荷荷重-Z 方向変位グラフ(板厚 20mm, 孔径 480×500mm)

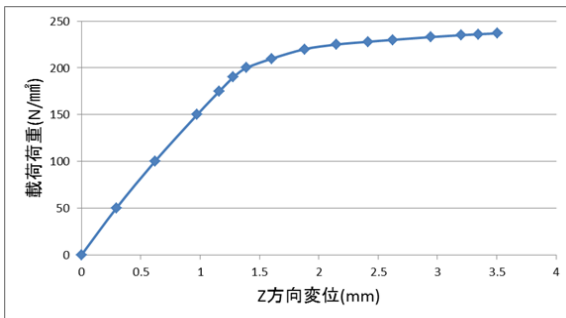


図 24 載荷荷重-Z 方向変位グラフ(板厚 17-23mm, 孔径 480×500mm)

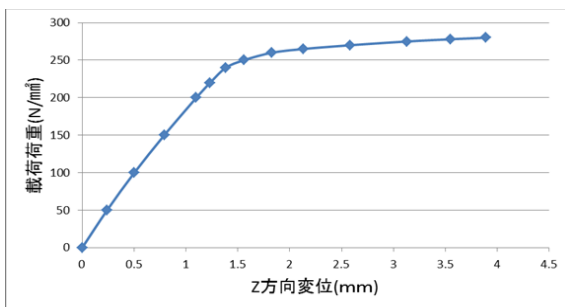


図 25 載荷荷重-Z 方向変位グラフ(板厚 15-25mm, 孔径 480×500mm)

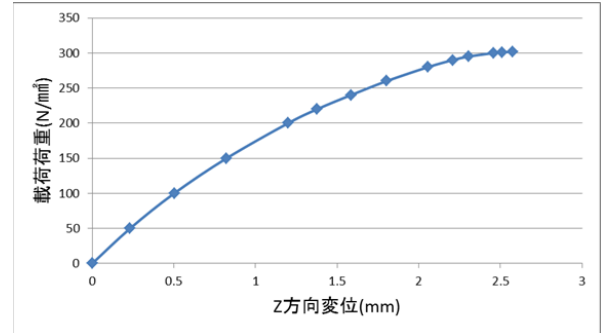


図 26 載荷荷重-Z 方向変位グラフ(板厚 15-25mm, 孔径 480×500mm)

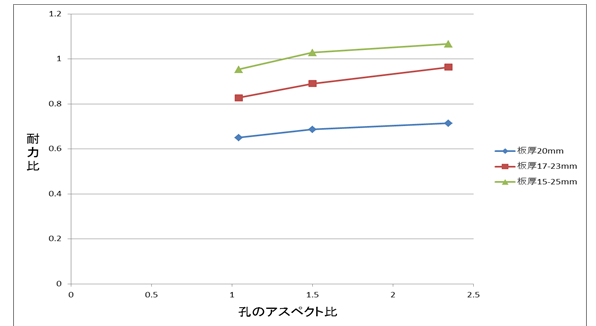


図 27 耐力比-アスペクト比グラフ



図 28 塑性部分(板厚 20mm)
孔径 480×500mm

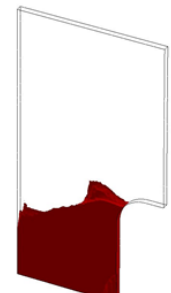


図 29 塑性部分(板厚 20mm)
孔径 320×750mm

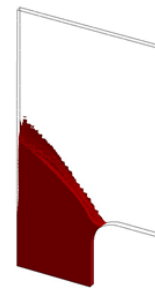


図 30 塑性部分(板厚 17-23mm)
孔径 480×500mm

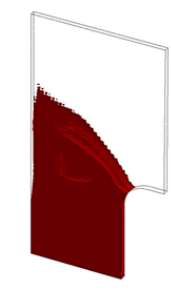


図 31 塑性部分(板厚 17-23mm)
孔径 320×750mm

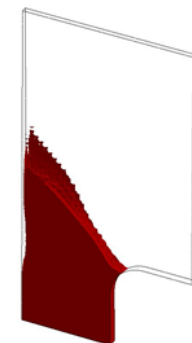


図 32 塑性部分(板厚 15-25mm)
孔径 480×500mm

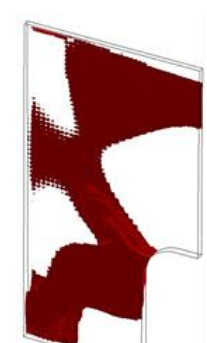


図 33 塑性部分(板厚 15-25mm)
孔径 320×750mm

ると考えられる。このようなことから有孔補剛板において LP 鋼板を用いることで効率的に外力に抵抗することが出来ると言える。

5-2 等厚と変厚断面による比較についての考察

まず、変厚断面をもちいることにより、耐荷力が 1.3~1.6 倍に増加することがわかった。しかし、板厚比が 0.5 を超えると耐荷力が頭打ちになり減少していくという結果が得られた。これは板厚比が 0.5 を超えると座屈直前に塑性域に達する部分が減っていくことが理由として考えられる。一定の板厚差を超えると板上部で応力の集中がおこり耐荷力が頭打ちとなると考えられる。以上のことより耐荷力を得るためには適切な板厚差を設ける必要があり、設ける板厚比は 0.5 程度が望ましいと考えられる。

5-3 孔径の変化による比較についての考察

孔のアスペクト比を大きくすることにより耐荷力が 1.1~1.2 倍に増加することがわかった。これは孔のアスペクト比を大きくする、つまり孔を縦長にすることにより、最も応力が集中する板中央部の体積が大きくなることで耐荷力が向上したと考えられる。

6. 結論

今回の解析より有孔補剛板に LP 鋼板を用いることで大きく 3 つの結果が得られた。

(1)LP 鋼板を用いることで面外変位が減少し効率的に外力に抵抗できることがわかった。

(2)LP 鋼板を用いることにより耐荷力が 1.3~1.6 倍に増加することがわかった。また、板厚比が 0.5 を超えることで耐荷力が頭打ちになり減少していくことがわかった。

(3)孔のアスペクト比を大きくすることにより耐荷力が 1.1~1.2 倍に増加することがわかった。

以上のようなことから有孔補剛板に適切な板厚比、孔径を用いることで耐荷力の向上をさせることが出来ると考えられる。

参 考 文 献

- 1)座屈設計ガイドライン改訂第 2 版[2005 年版]
- 2)中井博,北田俊行,祝賢治:開口部を有する圧縮補剛板の耐荷力に関する研究