

薄肉曲面壁の構造安定性に関する研究

早稲田大学創造理工学部建築学科 教授 早部 安弘

1. 序

近年、空間の開放性を重視し、鋼板構造を採用する例が多くなっている。本研究では建築の曲面壁の規模に対応した部分円筒シェルの解析を行い、曲面鋼板壁を用いることにより座屈耐力が増大する効果を示す。曲面壁を想定した部分円筒シェルモデルに鉛直荷重を加えた弾塑性増分解析を行い、検討する。また、部分円筒シェルモデルにせん断荷重を加えて幾何学的非線形解析を行い、さらにせん断変形状態で鉛直荷重を作用させた検討を行う。本研究により、補剛材または構造柱の削減を実現できれば、開放性のある建築を実現することに大きく寄与することとなる。

2. 部分円筒シェルの弾塑性増分解析

解析モデル(図 1)は材長 2500mm、円周方向長さ 2000mm を一定とし、シェル厚($t=9, 22, 45\text{mm}$)と曲率 (0(平鋼板), $1/20000, 1/10000, 1/5000, 1/3500, 1/3000, 1/2500, 1/2000$)をパラメータとして、Abaqus 2018 を使用し、有限要素法による弾塑性増分解析を行う。荷重は z 方向に圧縮荷重を加える場合と x 方向にせん断荷重を加える場合を行う。境界条件は、下辺をピン支持、上辺と側辺は y 方向固定のピンローラーとしている。シェル要素は、2500mm 程度の階高に対応し、材料は 400N 級鋼材とし、材料特性は図 2 のように設定する。

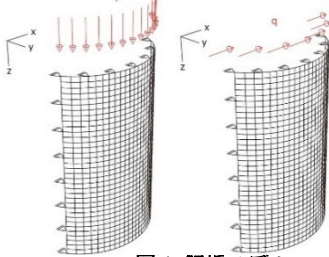


図 1 解析モデル

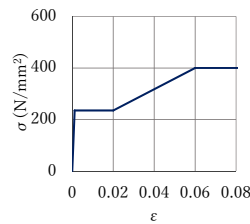


図 2 材料特性

軸方向圧縮荷重 p を軸方向圧縮時の降伏荷重 p_y で除した値と、縮み量 Δl を降伏荷重時の弾性縮み量 Δl_y で除した値を用いた荷重-変形関係は図 3 のようになる。図 3 に示すように、 $t=9\text{mm}, 22\text{mm}$ において曲率が大きくなるにつれて座屈荷重が大きくなる。せん断荷重 q をせん断降伏荷重 q_y で除した値と、層間変形角 γ を弾性層間変形角 γ_y で除した値を用いた荷重-変形関係は図 4 のようになる。図 4 に示すように、 $t=9\text{mm}$ において曲率が大きくなるにつれて座屈荷重が大きくなる。

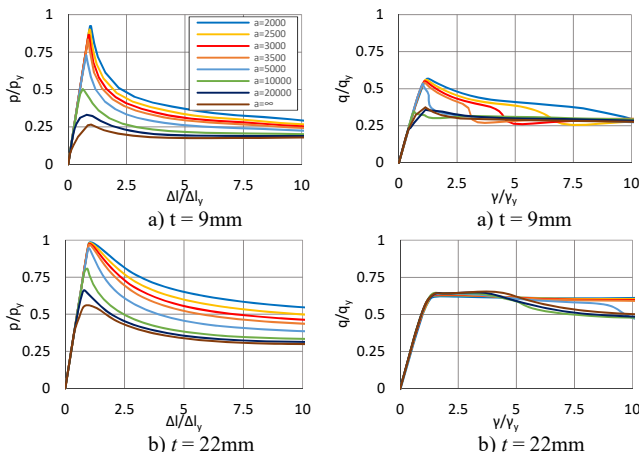


図 3 荷重-変位関係(圧縮荷重)

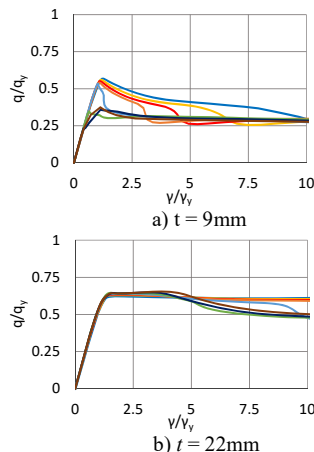


図 4 荷重-変位関係(せん断荷重)

3. 横方向に強制変位を与えたシェルの弾塑性増分解析

せん断変形状態において鉛直荷重を加えることを想定した解析を行う。モデル寸法および材料特性は、2 節と同様であり、3 節では $t=9\text{mm}$ のみを行う。図 5 に示すように x 方向に強制変位($x=1.5\text{mm}, 2.5\text{mm}, 4.0\text{mm}$)を与えてから、 z 方向に圧縮荷重を加える。強制変位を与えたときの層間変形角はそれぞれ $1/1667, 1/1000, 1/625$ である。

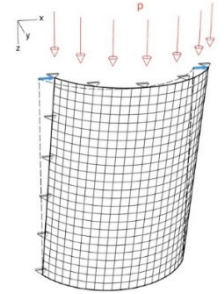


図 5 解析モデル

強制変位なし、 $1.5\text{mm}, 2.5\text{mm}, 4.0\text{mm}$ における荷重-変位関係を曲率ごとにグラフ化し図 6 に示す。曲率の大きなシェルは曲率を与えることによる耐力増加は大きいが強制変位を与えることによる耐力減少も大きくなる。一方、曲率の小さなシェルはその逆の現象が起こる。両要素を考慮すると、曲率の大きなシェルの方が耐力増加の効果が高い。

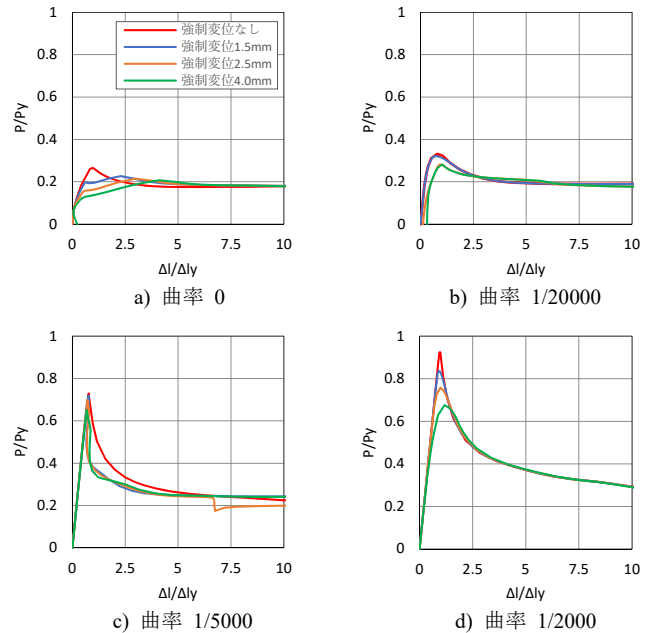


図 6 強制変形時の荷重-変位関係

4. 結

本研究では、曲面鋼板壁を使用することによる座屈耐力の増大効果の検討を行った。曲率の大きなシェルは曲率を与えることによる耐力増加は大きいが強制変位を与えることによる耐力減少も大きく、曲率の小さなシェルはその逆の現象が起こる。両要素を考慮すると曲率が大きなシェルの方が耐力増大効果が高いことを示した。軸方向圧縮荷重、せん断荷重およびせん断変形時の軸方向圧縮荷重に対して、平鋼板に曲率を与えることにより座屈耐力が増大することを示し、曲面鋼板壁を使用することは構造耐力を増大させる有効な手段といえる。

参考文献

1) Timoshenko, S. Gere, J. : Theory of Elastic Stability, DOVER PUBLICATIONS, INC., 2009