

蛇腹折り構造の振動特性について

環境構造工学講座 08727 須藤平八郎
指導教員 後藤文彦

1. はじめに

宇宙構造物で発展した折り紙構造は、近年、自動車、医療機器や飲料容器など様々な分野で利用されている。蛇腹折りにより円筒にバネ特性を持たせた蛇腹折り構造は、折り目パターンの設定により、鉛直方向、水平方向のバネ剛性を調整できるため、平常時・地震時の挙動に分けて対応できる機能分離型支承として用いることも期待される。地震による動的な性能に着目して固有値解析を行い、解析モデルによる振動特性を比較していく。そこで本研究では、蛇腹折り構造の基本的な振動特性を調べるため、有限要素解析を行った。

2. 解析手法

解析は有限要素解析ツールの Calculix で行い、対象とする蛇腹折り構造は、円周 70cm、高さ 20cm の一枚の板を折り畳んでできる円筒バネである。6 節点 36 自由度のシェル要素 (3 角形) を組み合わせてできる台形をひとつの折り目としてモデル化している。支承を想定し、上端開口部に設計反力 500kN に相当する極端に密度の高い梁要素を貼り付けており、その上で固有値解析・モード解析・周波数応答解析を行った。なお、減衰の設定は任意であり、今回は鉄筋コンクリート構造物の弾性範囲における減衰定数 $0.02 < \zeta < 0.05$ をもとに $\zeta = 0.03$ として解析した。周方向分割数は図-1 のように 4・6・8 分割の 3 種類を使い、図-2 に示す初期高さを変えて比較していく。上端の各節点に周期的な荷重をかけ、せん断および軸方向でどのような挙動を示すかを見る。(折りたたみ段数は 12 で固定) 境界条件として、下端開口部の変位を 0 に固定し、上端開口部はせん断・軸方向それぞれの振動方向のみに動くようにして解析する。材料には経年劣化や耐食性を考慮してステンレス (ヤング率 $200GPa$ 、ポアソン比 0.30、比重 8) を使用し、現段階ではプレス加工によって生じ

る金属組織の変化や溶接の継ぎ目を考慮せず、かつ弾性モデルで解析する。

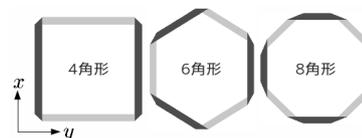


図-1 周方向分割数によるモデルの違い

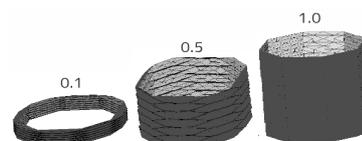


図-2 初期高さによるモデルの違い

3. 解析結果

まず固有値解析により対象の固有振動数を求めた上で行ったモード解析の結果を図-3, 4 に示す。

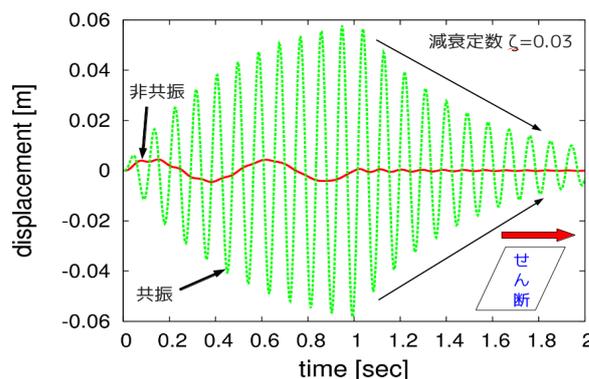


図-3 時刻歴変位応答 (せん断方向)

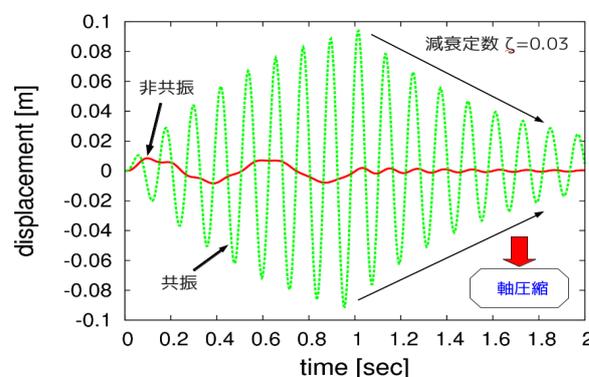


図-4 時刻歴変位応答 (軸方向)

固有振動と同じ波形を1秒間入力して共振させた場合は、変位が著しく増大し、入力を止めた1秒以降も振幅が大きいため、減衰に相当の時間を要することが分かる。一方、固有振動と異なる波形を入力した場合は、応答波形が入力波形に依存し、1秒以降すぐに減衰しているため、共振の有無が応答波形と後の減衰時間に大きく影響することが分かる。

こうした共振現象には構造物の固有振動数が大きく関係するため、周方向分割数と初期高さによる固有振動数の変化を比較した結果を図-5に示す。

せん断方向では大きな差はないが、初期高さが低いほど固有振動数が増すのに対し、軸方向では初期高さが高くなるほど固有振動数が急激に大きくなる傾向が見られた。蛇腹折り構造は、せん断に対しては初期高さが高いほどバネ剛性が低くなる傾向があり、軸圧縮に対しては初期高さが高いほどバネ剛性が高くなる傾向があるが¹⁾、固有振動数はせん断方向振動でも軸方向振動でも、これらバネ剛性に対応して増減していることが分かる。周方向分割数による差はほとんどなく、分割数が増え構造が複雑になるほど大きくなる傾向が見られた。

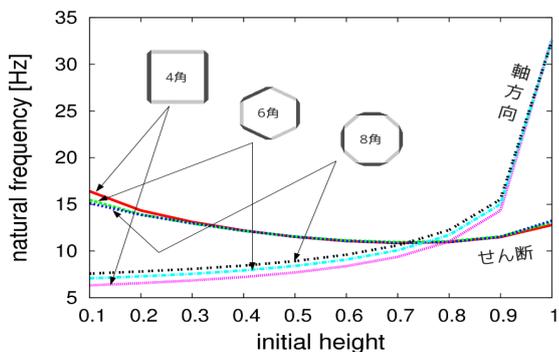


図-5 初期高さによる固有振動数の変化

周方向分割数と初期高さを変えた周波数応答解析により、固有振動数以外で応答が卓越する振動数があるか調べたが、モード解析の結果と同じく応答スペクトルは固有振動数で最も卓越した。(図-6, 7) せん断方向では初期高さが低いほど応答は小さくなる傾向があるが、0.6は0.9よりも応答が大きかった。初期高さ0.6よりも0.9の方がせん断に対する剛性がわずかに高いためである。一方、軸方向では初期高さが高いほど固有振動数も大きくなり、0.9では他と比べ応答はかなり小さくなった。周方向分割数による影響はせん断方向

ではほとんど見られないが、軸方向では分割数が大きいほど応答は小さくなった。

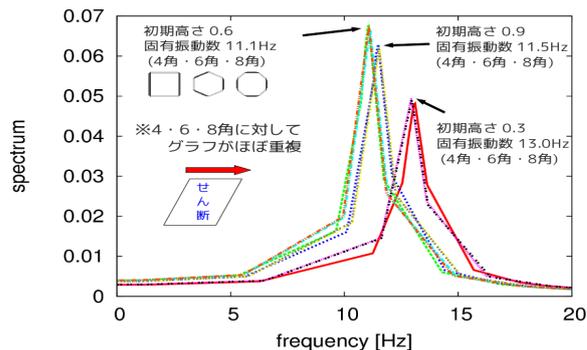


図-6 周波数による応答スペクトル(せん断方向)

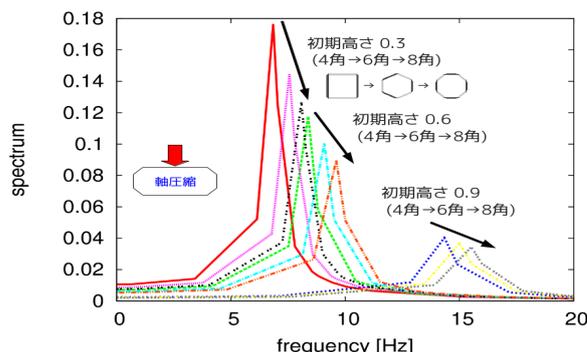


図-7 周波数による応答スペクトル(軸方向)

4. まとめ

- せん断方向では周方向分割数による影響は少なく、軸方向においても初期高さによる影響のほうが大きいため、実際に製造することを考えると周方向分割数を極端に増やす必要はないと思われる。
- せん断方向では初期高さを低くする以外に応答を低くする効果は見られなかった。初期高さの変化に対する固有振動数の高低は、せん断方向の場合と軸方向の場合とで逆転しているが、初期高さが高いほど局部座屈の危険が増すことが予想されるため、機能分離型支承ではせん断バネの初期高さを低くする方が良いと考えられる。
- 地震時に最も大きいせん断方向の揺れに対する性能が不十分だと思われ、振幅を減衰させる構造が不可欠であるため、蛇腹折り構造をダンパーとして利用することも考えて、減衰効果をより詳しく調べるのが今後の課題である。

参考文献

- 1) 伸縮できる円筒折り紙構造のバネ性能: 柴田勝也