

半谷ドームの座屈解析および最適断面設計

建築都市デザイン学科 2280070019-5 尾崎 訓応
(指導教員 張 景耀)

1. はじめに

扁平なドーム形式の大スパン構造物や塔状構造物などは、座屈に対して十分な耐力を持つように設計されなければならない。実際、単層ラチス構造物では事故が起きている。座屈とは、構造物に加える荷重を増加すると、ある荷重で急に大きな変形をし、元の形を保持できなくなる現象である。座屈は、いったん変形が始まると止まることなく崩壊まで至ります。構造物の軽量化と共に、構造設計の上では考慮しなければならない問題となった。ドームの座屈には部材座屈、部分座屈と全体座屈の3種類があり、座屈挙動を正確に把握する必要がある。また、構造全体の座屈を数値的に表すことが難しい。本研究は、半谷ドームを対象に座屈解析を行い、外力に対して効率よく抵抗できる最適な断面積を数値化することを目的とする。

2. 設計条件

解析モデルは図1の半谷ドームとする。頂点集中荷重とし、部材は断面積 300mm^2 、ヤング係数 205kN/mm^2 とする。部材 1~6, 部材 7~12, 部材 13~24 と3つのグループに分ける(表1)。各グループ内で断面積は同一とし、部材 7~12 は圧縮力をほとんど受けないので、断面積 300mm^2 に固定する。部材 1~6 と部材 13~24 の断面積比を α とし、断面積をそれぞれ A と αA と定める。全ての部材を断面積 300mm^2 とした場合の体積を基準とし、全部材体積 (20214000mm^3) を一定の条件で、断面を設計する。部材座屈は考えない。

3. 解析手法

座屈解析には、釣り合い経路追跡法の一つの荷重制御法によって座屈荷重を求める。荷重制御法は非線形釣り合い式を解く際に荷重を制御して、解を求める。これを繰り返して釣り合い点の列を数値的に求める。そこから、座屈荷重を特定する。対象のモデルは図4のように、ドームが2段階で崩壊する座屈のパターンが2つあることが分かっている。1つ目は、接点7が大きく変位し次いで接点3,4,6,8,10,11が同時に大きく変位するパターン1。2つ目は、接点3,4,6,8,10,11が同時に大きく変位し次いで接点7が大きく変位するパターン2。この2つのパターンが変わるところで、座屈荷重が最大になると予想される

ので、断面積比 α を変化させて特定する。

本研究では、断面積比 α を設計変数とし座屈解析を行う。一回目の変形が生じた時点で構造物として健全ではないので、一回目の座屈荷重が最も大きくなる断面積比 α を特定し、その値から求められる断面積を最適断面とする。

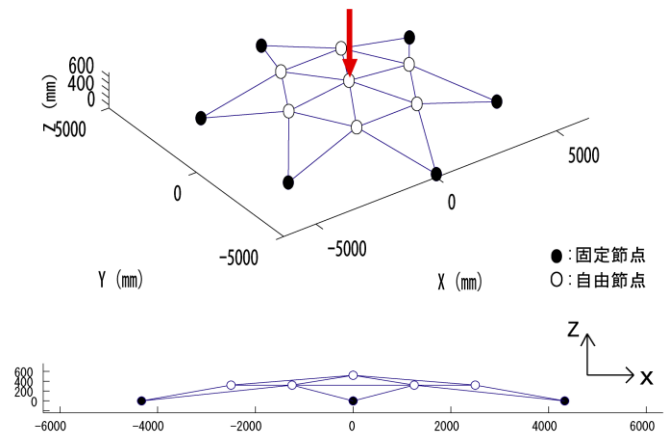


図1 解析モデル

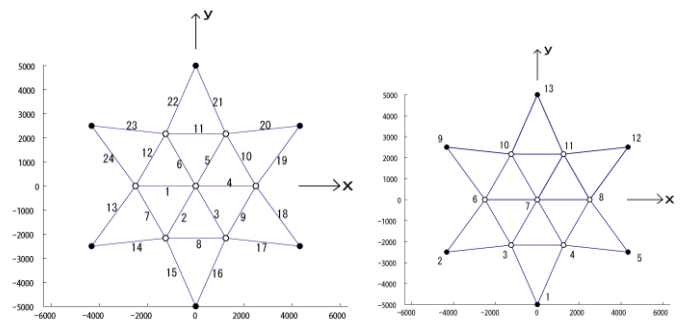


図2 部材番号

図3 接点番号

表1 設定条件

部材番号	断面積
1~6	A
7~12	300
13~24	αA

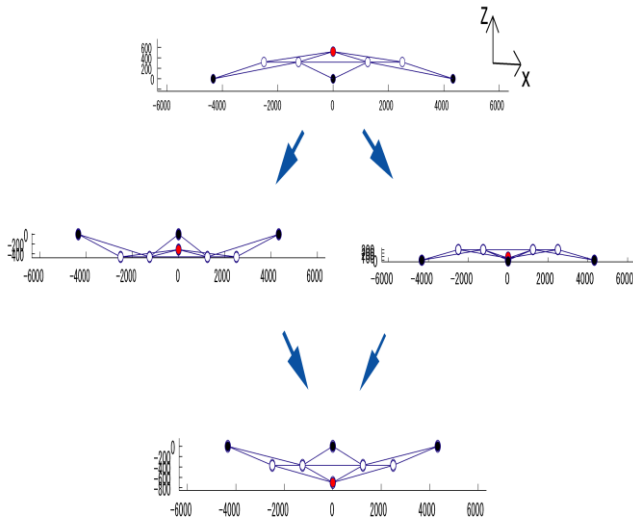


図4 座屈パターン

4. 結果

図5は数値解析で得られた座屈荷重と断面積 α をプロットしたグラフである。

$\alpha \leq 0.046$ の範囲ではパターン2で、 $0.106 \leq \alpha$ の範囲ではパターン1で崩壊することが分かった。 $\alpha \leq 0.046$ と $0.106 \leq \alpha$ の範囲で座屈荷重の値が二つあるのは、一回目と二回目の座屈荷重をプロットしているためである。図5から 0.046 と 0.106 に近づくにつれて、座屈荷重が大きくなっていくことが分かる。よって、 $0.046 < \alpha < 0.106$ の範囲が、最適設計領域となる。この範囲で座屈荷重が最大となる α が最適断面比となる。予想通り2つの座屈パターンが変わる断面比のところで、最適解になることが明らかとなった。

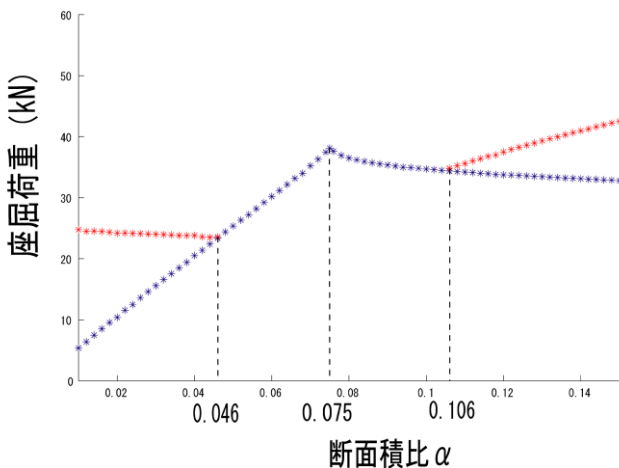


図5 座屈荷重と断面積比のグラフ

最適な断面積比 α は 0.075 で座屈荷重は 38.13kN と特定できた。この値を基に、断面積を算出(表1)すると、載荷点の接点7の周辺の部材の断面積が大きく、部材13~24は小さい値となった。

表2 最適断面

部材番号	断面積 (mm^2)
1~6	882.6
7~12	300
13~24	66.2

算出した断面積から各グループの体積と比率を求めたものが、表3となる。

表3 最適値の体積と比率

部材番号	体積 (mm^3)	比率 (%)
1~6	13239532	65.49684
7~12	4500000	22.2618
13~24	2474468	12.24136
合計	20214000	

部材1~6が全部材体積の多くを占める設計となった。一点集中荷重としたため、最下点周りに強度を持たすために今回のような結果となったと思われる。

5. まとめ

座屈解析に基づいた最適断面の設計を行った。数値解析により効率良く外力に対する最適断面を数値化することができた。他の形状の構造物でも、プログラミングの解析モデルの情報を変更することで最適断面の設計が可能である。

本研究の今後の課題をまとめる。

1. さらに複雑なドームに応用すること。
2. 分布荷重など他の载荷パターンも行う。
3. 数値解析で座屈荷重を求める際に、荷重増分をさらに細かくすることにより、さらに更に正確な座屈挙動と座屈荷重を求めること必要。
4. 実験をして本研究結果との比較によって、本研究手法について検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 池田清宏・室田一雄：構造系の座屈と分岐、2001
- 2) 藤井文夫・大崎純・池田清宏：構造と材料の分岐力学、2005
- 3) 岩田衛：はじめてのシステムトラス、1996