

I-637 軸力線による大空間曲面格子構造の形状決定

佐賀大学 ○学生員 帯屋 洋之 正 員 古賀 勝喜
正 員 後藤 茂夫 正 員 井嶋 克志

1. まえがき

大空間立体屋根構造の設計を行うにあたっての基本構造のひとつとして、張力のみに抵抗できる薄膜材で曲面を覆い、一定の内圧により構造全体を支える張力膜構造が考えられ、その初期形状決定問題に関してはすでに著者らが提唱した、有限要素の要素変形と節点変位により発生する接線幾何剛性を要素自体が持つ要素剛性から切り離した要素剛性分離の手法を用いて、石鹸膜曲面に対し、幾何学的非線形解析を行う方法が最も合理的であると思われる。

これに対し、もうひとつの考え方として、圧縮軸力が働くことを前提としたアーチを基本とする鋼構造が挙げられる。この様な構造においての合理的な初期形状決定問題に対しては、要素剛性を持たず、圧縮軸方向力のみが存在する線材(軸力線)から成る骨組構造物に自重を作用させて解析するのが有効であると思われる。この様にして得られた骨組形状の軸力線群を圧縮軸方向力の作用するトラス材で置換した実態のある構造物は完全な釣合状態にあるものの、全ポテンシャルエネルギーが極大となる不安定な平衡状態となる。

しかし、節点の回転を拘束した、曲げにも抵抗できる部材で置換することを前提とすれば、死荷重作用時には軸方向力のみで、曲げの発生しない、合理的な曲面格子構造の初期形状が得られる。

本研究ではこの軸力線を用いた大空間曲面格子構造の形状解析について、幾つかの計算例と共に検討した。

2. 軸力線を要素とする立体構造物の接線幾何剛性

図-1のような三次元系内において、共通座標系に対する軸力線

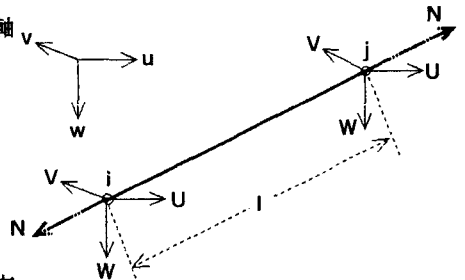


図-1 軸力線と節点力

$$\mathbf{k} = N/l \begin{bmatrix} 1-\alpha^2 & -\alpha\beta & -\alpha\gamma \\ -\alpha\beta & 1-\beta^2 & -\beta\gamma \\ -\alpha\gamma & -\beta\gamma & 1-\gamma^2 \end{bmatrix} \quad (2,1)$$

これを用いた節点力の増分と節点変位の関係を表す接線剛性方程式は

$$\begin{bmatrix} \mathbf{U}_i \\ \mathbf{U}_j \end{bmatrix} = \left(\mathbf{K}_0 + \begin{bmatrix} \mathbf{k} & -\mathbf{k} \\ -\mathbf{k} & \mathbf{k} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \delta \mathbf{u}_i \\ \delta \mathbf{u}_j \end{bmatrix} \quad (2,2)$$

となる。なお、 $\mathbf{K}_0$ は要素力剛性マトリックスである。

3. 数値計算例

式(2,2)により、軸力線形状解析プログラムを作成し、以下に示す数例の解析結果を得た。

解析の諸元として、初期平面形状データ、軸力線先行軸力 N (圧縮であるため負値)、軸力線単位長さあたりの重量 w (下向き正の座標系を用いるため正值)を入力することになるが、一定の初期平面形状に対しては N 及び w の大きさにかかわらず、 N と w の相対比によって形状決定する事が確認された。

(a) 計算例-1

一辺の長さ3mの正六角形面を一辺につき三分割した三角形骨組、周辺部節点全方向固定の初期平面形状を設定し、 w/N (負値)を変化させた時の幾何的釣合形状について考察する。

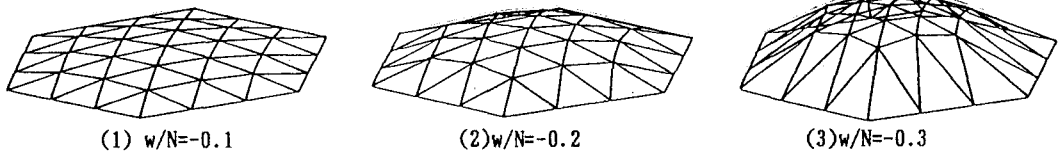


図-2 計算例-1の決定形状

図-2は w/N を $-0.1, -0.2, -0.3$ と変化させたときの決定形状である。また、表-1は w/N を -0.05 から -0.30 まで変化させたときの最高点（中央点）の高さ $h_{\max}$ と軸力線長さの最大格差 $dl_{\max}$ の変化を示している。 w/N の絶対値が大きくなるにつれ $h_{\max}$ の増大により大きな空間を確保できるようになるが、すべての自由節点は中央点に向かって移動するため $dl_{\max}$ が増大し、軸力線の長さにはばらつきが生じて決定形状の有意性が失われる。よってこの解析法を用いる場合、確保すべき空間の大きさに応じて、 w/N の値と軸力線分割数を適切に選択することが必要になる。

表-1 (計算例-1)

w/N	$h_{\max}(\text{m})$	$dl_{\max}(\text{m})$
-0.05	0.1841	0.0202
-0.10	0.3721	0.0831
-0.15	0.5648	0.1957
-0.20	0.7703	0.3744
-0.25	0.9980	0.6585
-0.30	1.2809	1.1764

(b) 計算例-2

一辺の長さ5mの正方形面を一辺につき八分割した四角形骨組の初期平面形状に対し、支点条件の設定を

1) 周辺部全方向拘束

2) 隅角部のみ全方向拘束、隅角部以外の周辺部水平方向拘束、鉛直方向弾性支点導入

とした二つの場合について、解析した。(図-3)

表-2 (計算例-2)

	$h_{\max}(\text{m})$	$dl_{\max}(\text{m})$
1)	0.5279	0.3249
2)	1.5432	0.1791

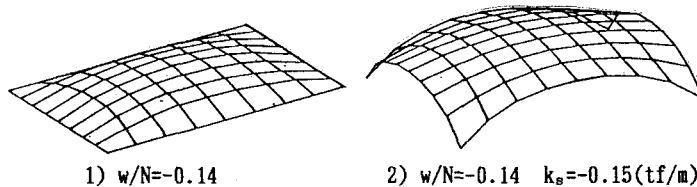


図-3 計算例-2の決定形状

表-2より、1)の場合にくらべ、2)の場合の方が $h_{\max}$ は約3倍、 $dl_{\max}$ は約半分となっている。このことにより、支点条件に適当な処置をほどこせば、より大きな空間が確保され、軸力線長さのばらつきも抑えられることがわかる。

6. まとめ

大空間曲面格子構造の形状解析法として、要素力一定の圧縮軸力線に死荷重を載荷し、接線幾何剛性を用いて決定形状を求める方法を提案した。本手法によれば、内部応力が均一化された合理的な曲面格子構造の初期形状を比較的容易に求めることができ、実用上十分な有意性を持つことが確認された。

〈参考文献〉

- 1) 後藤茂夫 他：要素剛性分離の手法による等張力曲面の形状解析と膜構造解析，構造工学論文集，1991.
- 2) 後藤茂夫：立体構造物における接線幾何剛性マトリックスの定式化，土木学会論文報告集，1983.
- 3) 古賀勝喜 他：定張力線による形状決定問題に関する研究，平成4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，1993.