

埼玉大学 正会員 東原 紘道
 ○鹿島建設 正会員 深田 敦宏

1. はじめに

近年、大空間架構造物の社会的要求が高まっている。なかでも、膜を構造要素として用いた構造物が数多く作られるようになり、空気膜構造を用いた大型ドームも見られるようになった。本研究が対象とする構造は、従来のトラス型のドームと、空気膜構造によるドームを複合させた形式のもので、膜・フレームパネル（ピン結合した多角形パネルに膜を張ったもの）をドーム型に組み合わせた膜・フレームドーム（図1）のなかでも、高自由度の多面体である。膜は、張力のみによって形状を保持するため、ある変形状態においては、膜面にしわが生じて張力場へ移行する。また、膜は面外変形をするが、これは有限変形となるので、解析は、張力場への移行の問題と、幾何学的非線形問題を組み合わせたものとなる。本研究では、このような膜のしわ現象および幾何学的非線形を考慮したうえで、高自由度の多面体ドームを解析する方法を提案する。

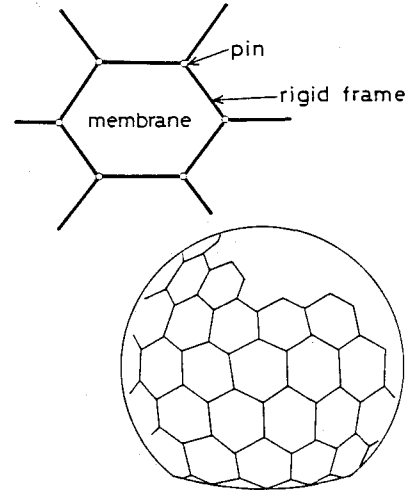


図1 Polyhedral Dome

ここでは、まず、解析方法を簡単に述べ、次いで計算例としてプレテンションとして空気圧が加わった三十二面体ドームの解析結果を与える。

2. 解析方法

解析において、膜は等方弾性体、フレームは剛体棒とし、膜面は、平面三角形要素を用いて離散化を行う。

先行状態の変位より、ひずみ状態を計算し、各三角形要素にしわが生じているかどうかを判別し、剛性方程式を導く。剛性方程式は、それぞれ

$$d\{f\} = \iint_S t \, d[B L]^T \{ \sigma \} \, dS + \iint_S t \, ([B o] + [B L])^T d\{ \sigma \} \, dS \quad (1)$$

$$d\{f\} = \iint_S t \, d[B L]^T \{ L \} \, \sigma_0 \, dS + \iint_S t \, ([B o] + [B L])^T d\{ L \} \, \sigma_0 \, dS + \iint_S t \, ([B o] + [B L])^T \{ L \} \, d\sigma_0 \, dS \quad (2)$$

となる。ここで

$$\{ \epsilon \} = ([B o] + 1/2 \times [B L]) \{ u \}$$

$$\{ L \} = (\cos^2 \theta, \sin^2 \theta, \sin \theta \cdot \cos \theta)^T$$

である。また $[B L]$ は、面内および面外方向において二次項を考える。

このようにして求めた三角形要素の剛性方程式を各パネルについて合成することにより、各パネルの剛性方程式を得ることができる。ここで、各パネルをサブストラクチャと考え、サブストラクチャ法を用いることにより、パネルの内部節点に関する項を消去し、サブストラクチャの剛性方程式を求めることができる。

また、本研究では、設計例を参考にしてフレームを剛体棒と仮定したため、長さが一定であるという条件が導入される。この場合、一般化座標を用いて各頂点の変位を角度で表現することによって、自由度を減らすことができる。

このようにして求めた各頂点の変位をパネルの剛性方程式に代入することにより、パネルの内部節点の変

位を求めることができる。

以上の方法により各節点の変位が得られ、三角形要素の応力状態を計算することにより、しわの発生状況が得られる。

なお、この非線形問題を解くにあたっては、増分法と修正Newton-Raphson法を併用した。図2にこのフローチャートを示す。

3. 解析結果

以上の方法により計算した結果の一例を図3に示す。ただし、

部材のヤング率 $E = 0.68 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
 ポアソン比 $\nu = 0.3$
 部材の辺長 $L = 1.0 \text{ m}$
 膜厚 $t = 0.0012 \text{ m}$

とした。図3は、三十二面体ドームの要素分割図であり、図4は、鉛直方向の荷重に対する鉛直方向の変位図である。

[参考文献]

- [1] 東原・清水: 平面膜・フレーム構造の応力解析, 土木学会第35回年次講演会, 1980
- [2] 東原・菊地: 膜・フレームパネルの解析, 土木学会第36回年次講演会, 1981
- [3] O.C.Zienkiewicz, S.Valliappan, I.P.King: Stress analysis of rock as a no-tension material, 1968

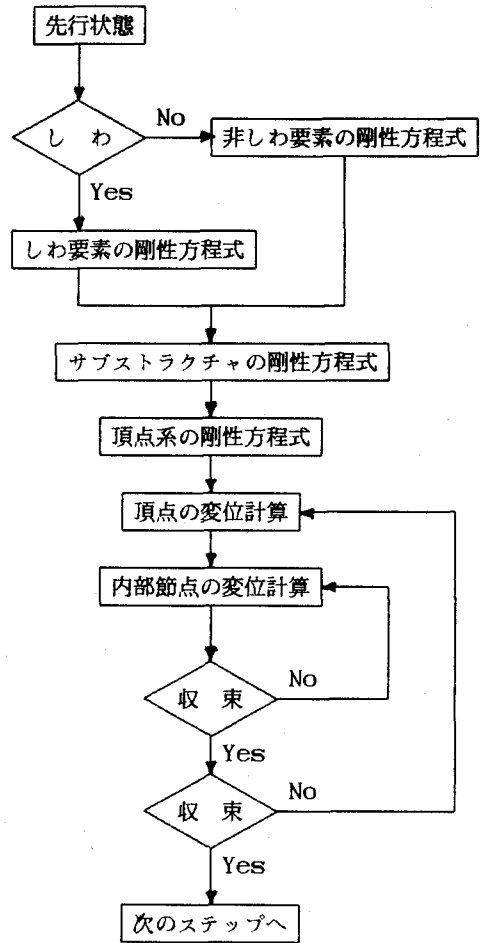


図2 フローチャート

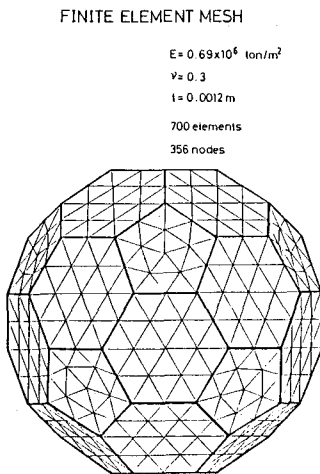


図3 三十二面体ドームの要素分割図

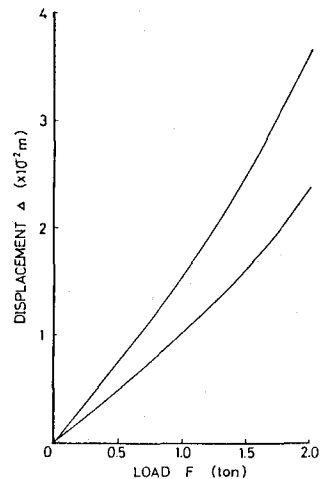


図4 鉛直方向荷重に対する鉛直方向変位