

埼玉大学 工学部 正員 東原敏道
 部長大橋設計センター 正員 ○清水忠幸

1. はじめに

近年の電子工学校術の発達に伴い、大型の3次元レーダーや高利得パラボラアンテナなどの各種通信機器が各地に大量に設置されている。そして、これらの機器の性能を低下させることなく、保護収納できるように大型レーダードーム用途の要請も高まっている。本研究で対象とする構造は、多角形フレームに膜を張った基本的な構成要素を立体的に、しかも気密性を有するように組み上げたもので、内部から空気圧をかけることによって、膜に発生する局部座屈に対する抵抗性を大きくし、従来無視されてきた膜部の剛性を合理的に取り入れるることによって、構造物の大型化を図るものである。また、材料としてFRPを用いているので、電磁波の通過性もよく、材料コストの面でも経済的である。

本研究は、このような構造物を構成している基本的な多角形膜要素の構造特性を解明しようとするものである。

2. 解析モデル

解析モデルとして、図1のように多角形に組まれたピン結合フレームに膜を張った平面パネルを用いる。また、フレームと膜の剛性の比が大きいので、フレームは剛体とする。このような解析モデルに対して、有限要素法を用いて数値解析を行う。

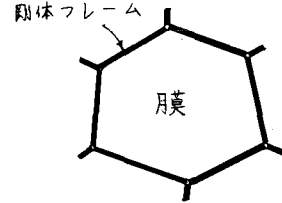


図1；解析モデル

解析上の問題となるのは、膜部に発生する局部座屈の処理であり、これに対しては、計算時間や解の収束性を考慮して、岩盤工学やコンクリート工学の分野でしばしば用いられる no-tension 解析のアルゴリズムを応用する。ただし、これらの現象では、no-tension 状態の発生が不可逆的であるのに対し、膜の局部座屈挙動は可逆的である点に差異がある。ここでは、要素に発生する圧縮応力を弾性的に再配分する繰返し計算を行う。アルゴリズムは、図2のとおりである。

$$\{\delta_i\} = [K_i]^{-1} \{R_i\} \cdots \cdots (1)$$

$\{\delta_i\}$ を用いて要素内の応力状態が定まり、主応力 σ_{max} 、 σ_{min} とその方向 φ が計算される。要素の応力状態はそれらを用いて次のように表すことができる。

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\sigma_{max}}{2} (1 + \cos 2\varphi) \\ \frac{\sigma_{max}}{2} (1 - \cos 2\varphi) \\ \frac{\sigma_{max}}{2} \sin 2\varphi \end{Bmatrix} \quad \text{tension}$$

$$+ \begin{Bmatrix} \frac{\sigma_{min}}{2} (1 - \cos 2\varphi) \\ \frac{\sigma_{min}}{2} (1 + \cos 2\varphi) \\ -\frac{\sigma_{min}}{2} \sin 2\varphi \end{Bmatrix} \quad \text{compression} \cdots \cdots (2)$$

ここで、要素内に圧縮応力が発生したときは、それを初期応力と考え、次の式により等価節点力に置きかえる。

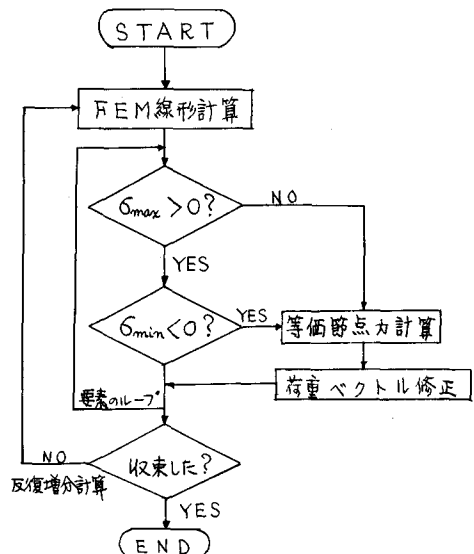


図2；局部座屈解析のアルゴリズム

$$\{F\} = \int [B]^T \{\sigma\} d(vol) \dots\dots\dots (3)$$

このようにして求めた各要素ごとの等価節点力により荷重ベクトルを修正し、荷重増分 $\Delta\{R_i\}$ として、再び弾性計算を行う。そして、(4)式において $\Delta\{\delta_n\}$ が十分小さくなるまで増分計算を繰り返す。

$$\Delta\{\delta_n\} = [K_n]^{-1} \Delta\{R_n\} \dots\dots\dots (4)$$

3. 計算例

正六角形モデルに対して、図3のような荷重ケースを入力した。(荷重の大きさはすべて同一)

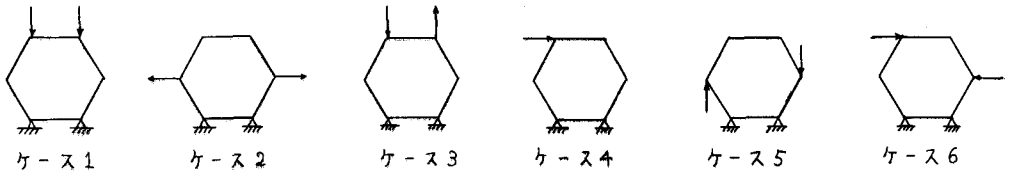


図3；荷重条件

荷重の型によって収束の速度は変化し、特に、せん断荷重に対して遅い。

ケース2、ケース3について、その主応力図をそれぞれ図4、図5に示す。

図4；主応力図(ケース2)

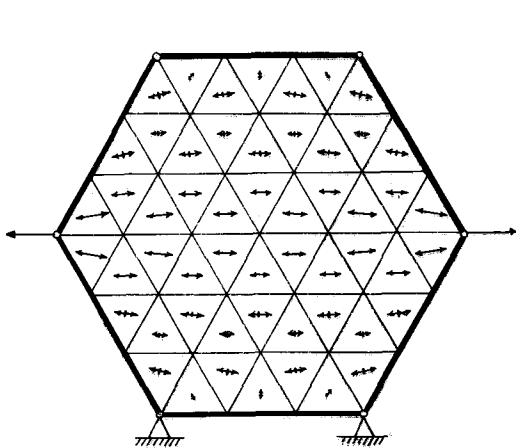
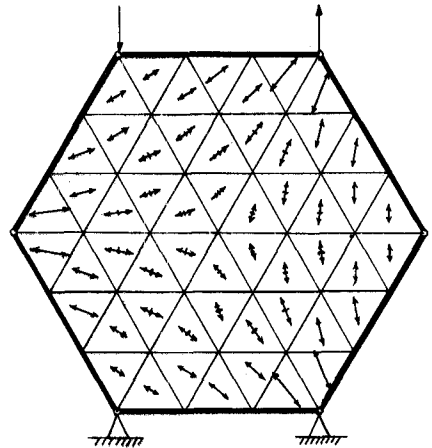


図5；主応力図(ケース3)



ケース4、5のようなせん断荷重に対して、特に大きな引張応力が膜内に発生し、また、変形量も大きい。

4. 今後の課題

収束の遅いせん断荷重などに対しては、収束を速くして、計算時間を短縮する工夫が必要である。また、実際の構造は、局部座屈に対して膜の抵抗性を大きくするため内側から空気圧をかけた曲面構造なので、その方面への理論の拡張と解析が必要である。

5. 参考文献

O.C.Zienkiewicz, S.Valliappan, and I.P.King /
STRESS ANALYSIS OF ROCK AS A "NO TENSION" MATERIAL