

エア・ビーム構造物の数値解析手法

信州大学 松永 憲人
 ○長野高専 正員 遠藤 典男
 信州大学 正員 三井 康司
 信州大学 正員 笹川 明

1. まえがき

ビーム形式の空気膜構造物は、通常の重構造物とは異なり様々な構造形態に容易に対応でき、架設、維持管理、撤去等の簡便さから、今後需要は益々増大するものと思われる。

本構造に対する解析手法は、膜面を有限要素等で離散化し数値解析しているのが一般的であるが、このような場合、離散化領域の拡大にともない計算容量や費用は膨大なものになる。エア・ビーム構造物の本来の使用目的からすると、より効率的、経済的にパソコン程度の小型計算機による簡易計算法が必要となってくる。

このような見地より本法では、エア・ビームを便宜的に骨組み構造に置換し、はり要素を用いて離散化し、かつエア・ビームに顕著な幾何学的非線形性をも考慮した有限要素解析を行う。

エア・ビームにリンクリング現象（シワの発生）が起こると構造物としての剛性は低下し、それにともない変形が一段と増大する。

本研究は、このようなリンクリング現象を逐次考慮した一簡易計算法を提案するものである。

2. 解析手順

図-1に本法の解析手順を示す。数値解析に先立ってエア・ビームの簡単な荷重実験を行い、得られた荷重-たわみ曲線から、ビームを棒部材として評価するための見かけのヤング係数 E_0 、 E_w を定義する。 E_0 はシワの存在しない要素の、 E_w はシワの発生した要素のヤング係数である。

これを用いて幾何学的非線形性を考慮した骨組み構造の有限要素解析を行う。荷重を徐々に増加させ、その間での挙動を追跡してゆく荷重増分法を適用し、各増分段階での断面力をもとにビームの膜応力を算定する（式（1）、（2））。

膜面は初期の段階では内圧により引張されているが、ビームの変形にともない膜応力 $S_{xc} = 0$ なる箇所ではリンクリングが起こる。その際シワが発生した要素のヤング係数を E_0 から E_w へと変更し、ビームの剛性低下に対処するものとする。

また、エア・ビーム構造物の最終的な耐荷力の算

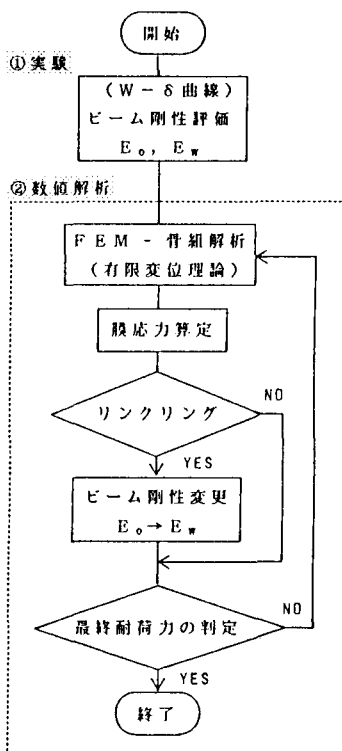


図-1 解析手順

$$S_y = p_0 \cdot r \quad (1)$$

$$S_{xc} = \frac{p_0 \cdot r}{2} - \frac{M}{\pi r^2} + \frac{N}{2 \pi r} \quad (2)$$

定については、断面力および変位に基づくものとする。

3. 数値解析例

本法による数種の数値解析例を以下に示す。図-2に示した荷重-たわみ曲線は、先端に集中荷重を受ける片持ち梁の実験結果と本法による解析値とを比較したものである。ビームは長さ100.0cm、径25.0cmであり、内圧は $p_0=0.03 \text{ kg/cm}^2$ である。数値解析では2節点梁要素を10個用いて離散化している。両者の挙動がよく一致しているのが分かる。

図-3は積雪等の鉛直荷重を受ける山形ラーメンの変位図である。図中の黒丸印はシワの発生箇所を示し、構造上の着目すべき点と言える。

図-4は、上記の山形ラーメンモデルの剛接部節点における $M-\delta$ 曲線である。各荷重増分段階におけるシワの発生箇所も示している。リンクリング現象が進展する様子がよく把握できる。同図においてリンクリング発生直後の曲線の傾きが徐々に変化しているのは、シワの発生と同時に剛性が低下する要素が次第に増加しているためと考えられる。

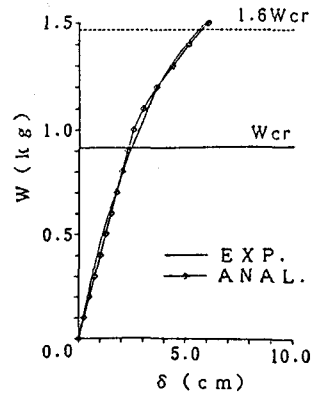


図-2 W- δ 曲線

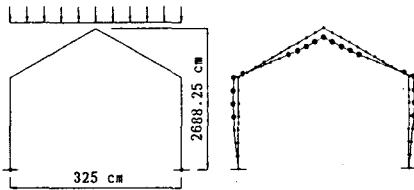


図-4 変位図

4. あとがき

本文は、エア・ビーム構造物の一簡易解析法を試みたものである。幾何学的非線形を考慮した骨組みの有限要素解析をもとに膜応力の算定を行い、空気膜構造物特有のリンクリング現象を簡便に評価し、エア・ビーム構造物の最終耐力算定法を提起したものである。

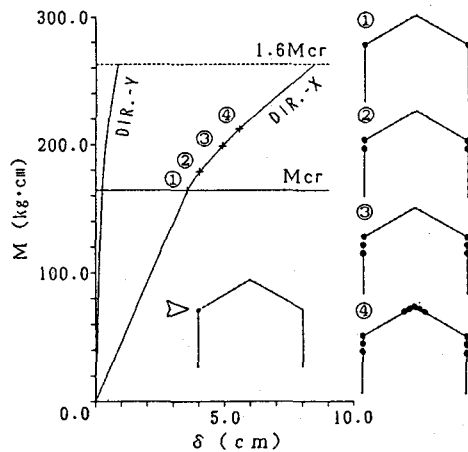


図-5 M- δ 曲線

5. 参考文献

- [1] 堀井, 齊藤: 骨組構造物の大変形解析, 土木学会論文報告集第191号, pp15-29, 1971.
- [2] 前田, 林: 増分法による平面骨組構造物の大変形解析の加速計算法, 土木学会論文報告集第223号, pp1-9, 1974.
- [3] 石井 一夫: 空気膜構造-設計と応用, 工業調査会.
- [4] 植村 益次: wrinkleしたエア・ビームの耐力, テント構造研究会, 1969.
- [5] R.K.Mitter, et al.: Finite Element Analysis of Partly Wrinkled membranes, compt.Structs., Vol.20, No.1-3, pp.631-639, 1985.