

I-367

エア・ビーム構造物の数値解析手法に関する研究

○信州大学 正員 永谷 秀樹 長野高専 正員 遠藤 典男
 信州大学 正員 笹川 明 信州大学 正員 三井 康司

1. まえがき ビーム形式の膨張性円筒構造物であるエア・ビームは、比較的軽量でかなりの耐可能性が期待できる。また、その架設、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考えられる。

本研究では、エア・ビーム構造物を便宜的に骨組構造物に置換し、内圧の影響を考慮した見掛けのはり剛性を用いたはり要素で離散する有限要素法を提起している。ここで、本構造物においては、変位、崩壊荷重を解析する上でリンクリング現象による剛性低下が重要な構造的要素となる。本解析手法ではこの剛性低下を理論的に評価し、有限要素法への導入を行っている。また、静定・不静定構造物におけるモデル実験を行い本解析法の妥当性の検証を行っている。

2. エア・ビームのリンクリング現象 柔軟な膜材から成るエア・ビームは膜面の応力が圧縮になった瞬間にリンクリング現象が発生するものと考えられる。膜面内の応力状態の考慮から、断面中心軸における曲げモーメント：M、軸力：N、トルク：T、初期内圧： p_0 を用いてリンクリングの発生、およびその発生角度 α は次式のように現される。

$$\tan \alpha = -\frac{T}{2\pi p_0 r^3} \quad (1)$$

$$T^2 + 2\pi p_0 r^3 (2|M| - Nr) = 2\pi^2 p_0^2 r^6 \quad (2)$$

また、リンクリング状態における応力分布を図-1のように定義すると、曲率 κ を用いてリンクリング領域 θ_0 は次式より求められる。

$$2(\pi \cos \theta_0 - \theta_0 \cos \theta_0 + \sin \theta_0) = \frac{p_0 \pi r^3 (1 - 2 \tan^2 \alpha) + Nr}{E t r^3 |\kappa|} \quad (3)$$

3. 解析手法 見掛けのはり剛性を実験あるいは解析により算定を行う¹⁾。さらに、リンクリングが発生する事により曲げ応力が図-2のように再配分されるものと考え、曲げ剛性に対する剛性低下は、断面2次モーメントIが I_w へ低下することにより表し、中立軸が中心軸より距離 l_w だけずれたものとする。トルクの作用しない場合I、 I_w の比は次式のように表される。

$$\frac{I_w}{I} = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 + \pi - \theta_0 - 2(\pi \cos \theta_0 - \theta_0 \cos \theta_0 + \sin \theta_0) \left(\frac{\pi \cos \theta_0 - \theta_0 \cos \theta_0 + \sin \theta_0}{\pi} - \cos \theta_0 \right) \right\} \quad (4)$$

式(4)より、剛性マトリクスは θ_0 の関数となり、この非線形方程式を解くために荷重増分による直接反復法を用いて解析を行う。また、中立軸のずれの影響は変断面はりと同様の解法を用いて解析を行う。また、Weeber等²⁾および今回の実験において、崩壊荷重は幾つかのしわが結合してできる、より深く、長いdeeper wrinklesが形成されるため理論値を下回る、この修正法として修正率kを用いて式(4)において θ_0 を $(100/k)\theta_0$ とすることにより崩壊荷重の過大評価の修正を行う。

4. 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-3に先端に集中荷重を受ける片持ち梁の

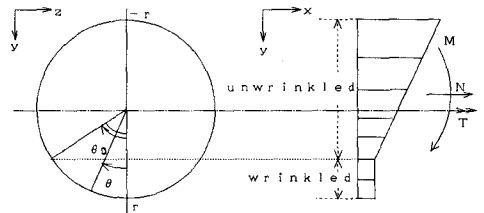


図-1 リンクリング領域と応力分布

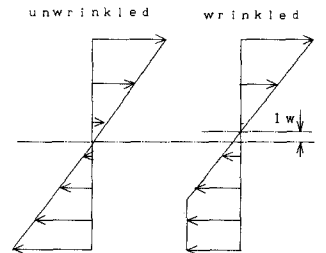


図-2 再配分された曲げ応力分布

荷重に対する先端変位における、Weeberの理論解²⁾と本法による解析値の比較を示す。ここで、スパン長150.0cm、膜圧0.005cm、ビーム径30.0cmである。数値解における離散化はHermiton要素で30に等分割を行っている。本解析結果は理論解とよく一致していることが解る。

図-4では、中央に集中荷重を受ける単純梁の荷重-たわみ曲線の実験値と修正率を用いた解析値の比較を行っている。ここで、ビーム径:D=40.0cm、(スパン長/D)=16、膜厚0.085cm、 $p_0=1000\text{mmAq}$ である。修正率70%を用いた場合、実験値と解析値は非常によく一致しており、これはD=60.0, 80.0cmの場合においても同様に成り立っている。このことは修正率70%を用いた場合、 $\theta_0 = \pi/2$ において式(4)において剛性が0の崩壊状態に至り、これは実験においても同様のことが観測されている。

図-5に2種類の荷重を受ける山形ラーメンにおける最大変位の解析結果と実験結果の比較を示す。ここで、構造物のコーナー部、脚部における接合の不完全性について今回、接合点両端における要素の剛性を低下することにより考慮している。また、この場合のリンクリングに対する修正率は静定構造物の場合と異なり、実験結果を考慮しその発生段階ごとに変化させている。

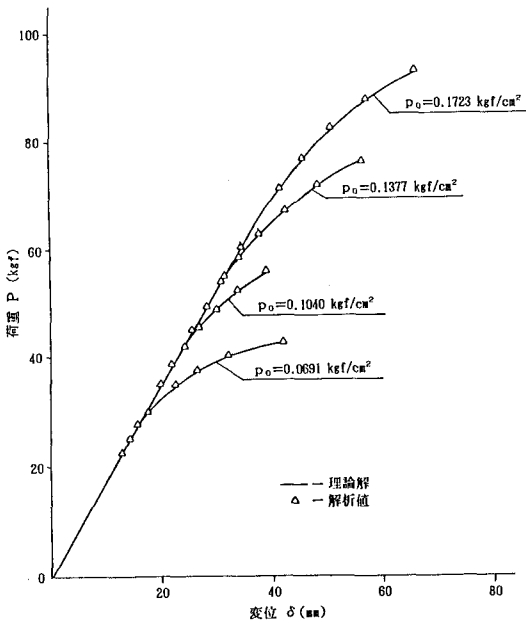


図-3 先端荷重に対する先端変位

5. あとがき 本研究で提起した骨組有限要素に

よる簡易解析手法は計算効率の観点からエア・ビーム構造物の解析に有効なものであると考えられる。前述の静定構造物に関してはほぼ妥当な解析結果が得られている。また、山形ラーメン等の不静定構造物に際しては結合部の力学的取扱い、リンクリングの影響を考慮した効果的な解析手法を現在検討中である。

<参考文献> 1)遠藤他:エア・ビーム構造物の剛性評価に関する考察, 構造工学論文集, Vol. 38A, pp. 1329-1342, 1992, 3 2)J.P. Weeber: Deflection of inflated cylindrical cantilever beam subjected to bending and torsion, C342a. Aeronaut. J., 86[858] pp. 306-312, 1982 3)遠藤他:エア・ビーム構造物の簡易数値解析手法の提案, 長野高専紀要, 第24号, pp. 73-82, 1991

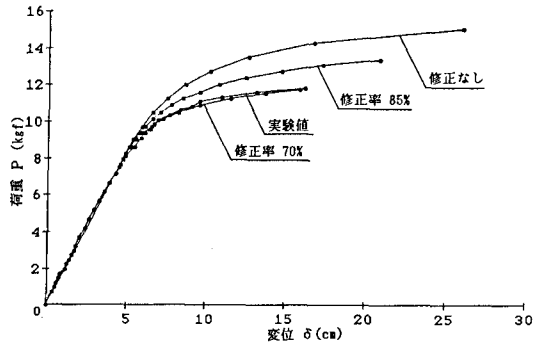


図-4 荷重-たわみ曲線

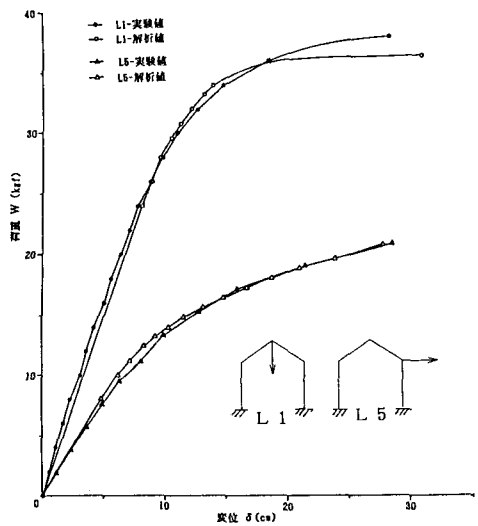


図-5 荷重-変位曲線