

I-10

空間での有限回転を伴う不安定現象を利用したリングのたたみ込み

J R 東海 正員 渡辺 康人
 名古屋工業大学 正員 後藤 芳顯
 横河橋梁製作所 正員 春日井俊博
 名古屋工業大学 正員 小畑 誠

1. まえがき：3次元空間での弾性不安定現象を利用した一次元柔構造部材のたたみ込みについては、宇宙構造物の輸送、展開に関連して研究されている。しかしながら、これら不安定現象は、空間での真の有限回転を伴うため理論解析自体、容易でなく、たたみ込みに対して有効な現象の発見、特性の理論的検討はかなり困難なものと考えられる。この種の研究は従来、構造要素として重要な直線はり・柱部材を対象としたものが中心で、軸圧縮力下のねじり座屈¹⁾やねじりによる曲げ座屈²⁾(Greenhill問題)を巧妙に利用した方法が報告されている。ここでは、従来、ほとんど検討がなされていないリングのたたみ込みについて、比較的有效で、かつ力学現象としても興味深い挙動を見出し、その力学特性を理論的に検討したので報告する。

2. 解析手法：ここで対象とする立体棒材の有限変位解析では極端に大きな有限回転を扱うため、支配方程式として、微小ひずみの条件のみを導入したLagrange表現の精密な微分方程式を用いる³⁾。数値解析法としては、上記支配方程式からテラー展開法により直接誘導される伝達型の離散化式とこの式を増分することで得られる増分型伝達式による汎用かつ高精度の非線形伝達マトリックス法を採用する⁴⁾。さらに座屈後挙動の解析に対応するため、ニュートン・ラブソン法による収束過程を含む弧長増分法を導入する。

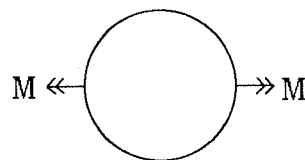


図1 たたみ込みの方法

3. たたみ込み方法と解析モデル：リングのたたみ込み方法は、図1に示すように、リング両端にねじりモーメントMを加えることにより生ずる屈服現象を利用するものである。この現象を解析するための等価なモデルを図2に示す。このモデルでは、リングの一端を固定し、他端にねじりモーメントを作用させるのであるが、ねじりモーメント作用点でリングはY軸回りの回転とY軸に沿う並進変位が自由で、他の回転および並進変位の自由度は固定されている。このようなリング構造の支配パラメータは I_x , I_y をそれぞれx, y軸回りの断面2次モーメント、JをSt.Venantのねじれ定数、Aを断面積とした場合次の4種類になる

$$I_x/I_y, J/I_y, R/r_x, A/r_x r_y$$

$$(r_x = \sqrt{I_x/A}, r_y = \sqrt{I_y/A}) \quad (1 \cdot a \sim d)$$

さらに、図2に示すような長方形断面の場合、独立なパラメータの数は次の2種類に減少する。

$$b/h, R/h$$

$$(2 \cdot a, b)$$

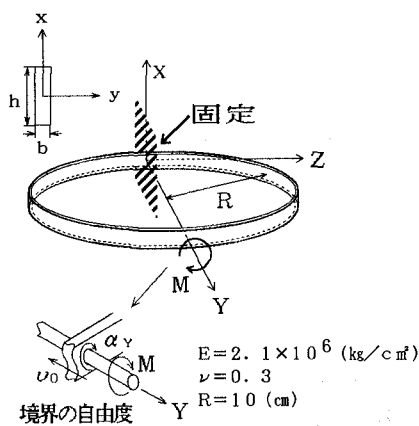


図2 リングのモデル化

4. 長方形断面リングのたたみ込み過程の解析：はじめに、図2に示すモデルを用いて、 $b/h = 1/3$, $R/h = 20$ の長方形断面リングのたたみ込み過程を解析した。結果として、図3に、無次元化されたねじりモーメント MR/EI_y とねじりモーメント作用点のY軸回り回転角 α_y の関係を $\alpha_y = 2\pi$ に至るまで示している。また、図4には、図3のつり合い曲線上に示した $\pi/4$ (rad)ごとの点(1)～(9)でのリングの変形形状を立体的に図示している。図4からわかるようにリングは大回転を伴いながら変形し、最終的には初期容積の $1/9$ にまで小さくたたみ込まれている。さらに、ここで特徴的であるのは図4に示されてい

るように無荷重でたたまれた状態が保持されることである。

つぎに、構造パラメータ $0.2 \leq b/h \leq 1.0$, $5 \leq R/h \leq 100$ のより広い範囲の長方形断面のリングについておいたたたみ過程を解析した。この結果、上記のパラメータの範囲では、 R/h が $MR/EI_y - \alpha_y$ 関係に及ぼす影響はほとんど見い出されないが、 b/h については図5に示すように大きな影響を及ぼす。すなわち、 b/h が小さいほどリングは小さなねじりモーメントで折りたたみ、さらに、 $b/h \geq 1/1.5$ ではリングはたたみ込むことができない。

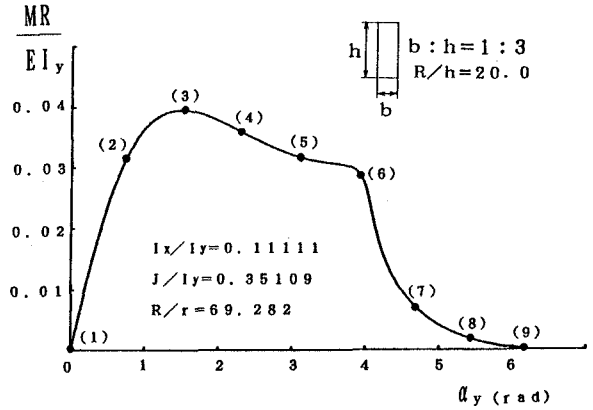


図3 荷重－回転変位曲線

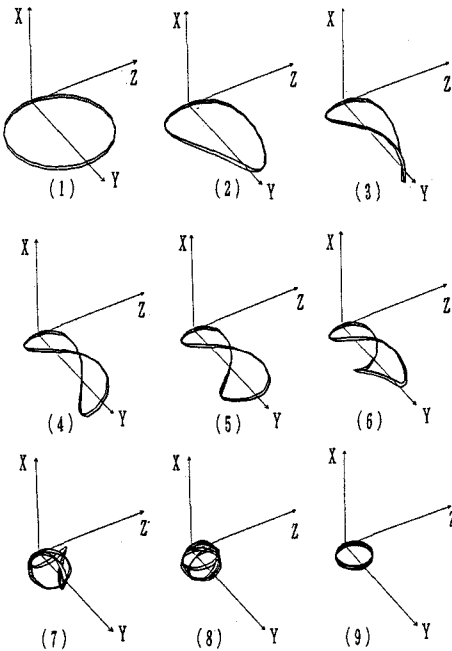


図4 リングのたたみ込みの過程

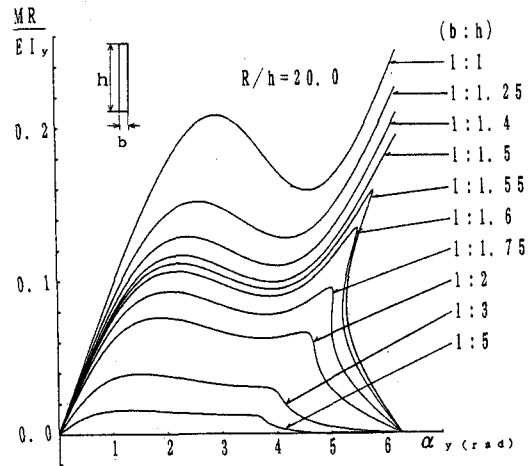


図5 荷重－回転変位曲線（長方形断面）

5. まとめ：弾性不安定現象を利用した一次元部材のおりたたみに関して、今迄に報告されていないリングのたたみ込み法を提示し、その過程を理論的に解析し興味深い結果を得た。このたたみ込みでは、空間での大回転を伴うため、高精度の立体棒材の有限変位解析が要求される。今回の解析には、既に著者らが提示した解析手法を適用したが、本結果より、著者らの手法はこの要求を満足することがわかり、この種の解析に十分対応できるものと考えられる。

〈参考文献〉(1)三浦：宇宙構造物と応用力学，第37回応用力学連合講演会，昭和62年12月

(2)名取他：3次元エラスティカの一実験と解析，第38回応用力学連合講演会，昭和63年12月

(3)Goto, Y., et. al: A New Formulation of Finite Displacement Theory of Curved and Twisted Rods, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol. 2, No. 2, 1985

(4)Goto, Y. et. al: Direct Lagrangian Nonlinear Analysis of Elastic Space Rods using Transfer Matrix Technique, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol. 5, No. 1, 1988