

I-80

軸圧縮を受ける補剛円筒シェル構造物の
弾塑性強度に関する研究

日本道路公団 正員 京極 靖司
 京都大学工学部 正員 渡邊 英一
 高知高専 正員 勇 秀憲

1. はじめに

今日、円筒シェル構造物は、多くの土木構造物に幅広く使用されているが、これらの円筒シェル構造は、外力として軸圧縮力を受けることが多い。そこで、本研究では、離散化手法を用いて、幾何学的・材料学的非線形性を考慮した、軸圧縮を受ける補剛円筒シェル構造の弾塑性大変形解析を行う。一般に、離散化手法として有限要素法を用いると、自由度が多くなり、膨大な計算時間、記憶容量が必要となり不経済である。そこで、本研究では、できるだけ計算時間を削減するように、特にモデルの簡易化に留意して効率的に数値解析を行った。

2. 解析手法

先に述べたモデルの簡易化の第一として、円筒シェル曲面をFig-1のように、多数の平面要素で近似した。これによって、面内力の作用と曲げの作用がそれぞれ独立に扱える。また、モデル要素は、渡邊¹⁾の提案による簡易化要素を用い、円筒シェルのパネル、リブに対して、それぞれ四辺形板要素、梁要素を用いる。このモデルは、要素の変位の形状関数を、面内変位、面外変位ともに一次式で表し、要素の境界に曲げに抵抗する理想的なバネを挿入することにより、要素の境界におけるたわみ角の非適合性を補うというものである。このモデルでは、面内力の作用を要素自身が受け持ち、曲げ、ねじりの作用をバネが受け持つ。このモデルを用いることにより、接点自由度は減少し、幾何学的非線形剛性マトリックスも大幅に低次元化される。ところで、円筒シェル曲面を平面近似した場合、解の精度を向上させるために、分割数を細かくする必要があるが、全体の円筒シェルを解析モデルの対象とすると、自由度が多くなるので、解析の効率化という目的からも好ましくない。そこで、さらに効率化を図るために、Fig-2に示すように、円筒シェルの周方向をリブの本数によって等分割し、その中央にリブが位置するような部分を解析モデルの対象として取り出す。この部分が円筒シェルの座屈変形モードの最小単位に相当すると考え、この部分を解析することによって、全体の円筒シェルの挙動を推察することが可能である。なお、本解析法では、von Misesの降伏条件、及びPrandtl-Reussの塑性流れ理論に従う完全弾塑

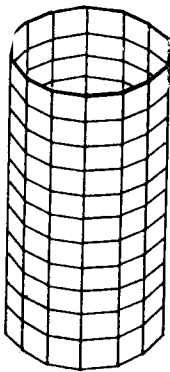


Fig-1 円筒シェル曲面の平面近似

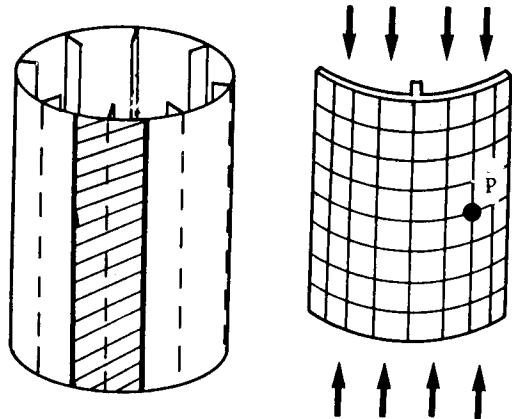


Fig-2 解析モデルの対象

性材料を対象とした。また、このモデルに対し、仮想仕事の原理を適用し、増分型の非線形剛性方程式を導き、線形化手法として自己修正型摂動法を用いて、定式化を行った。

3. 数値解析例

数値解析結果の一例として、リブの剛比 γ をパラメータとして変化させた場合の結果を示す。 γ の値は、圧縮補剛板の基準剛比 γ^* に対する比が 1.0, 0.1, 0.0 のものを選んだ。 $\gamma = 0.0$ とは、無補剛円筒シェルのことである。その他のパラメータは、半径-板厚比 $r/t = 500$ 、長さ-板厚比 $l/t = 157.0$ 、ヤング率 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、降伏応力 $\sigma_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$ とした。また、初期たわみは、軸方向、周方向ともに一次のサイン波形とし、その最大値は板厚の 0.1 倍とした。リブは周方向に等間隔に配置されたもので、本数は $n = 20$ とした。Fig-3は、荷重-面外たわみ曲線であり、縦軸は、降伏荷重により無次元化した荷重で、横軸は、Fig-2 に示す P 点の面外たわみを、板厚で無次元化したものである。また、解の精度の検討のために、 $\gamma/\gamma^* = 1.0$ の場合に対して、汎用性構造解析用プログラム NASTRAN による解析結果を同時に示す。Fig-4は、同じパラメータに対する荷重-軸圧縮変位曲線である。縦軸は、Fig-3と同様であり、横軸は、円筒シェルの長さで無次元化した軸圧縮変位である。

4. 結論

本解析では、軸圧縮を受ける補剛円筒シェル構造の弾塑性大変形解析を、効率よく行うことを目的としたが、モデルの簡易化により、大幅に自由度を低減したにもかかわらず、十分精度の良い結果が得られた。

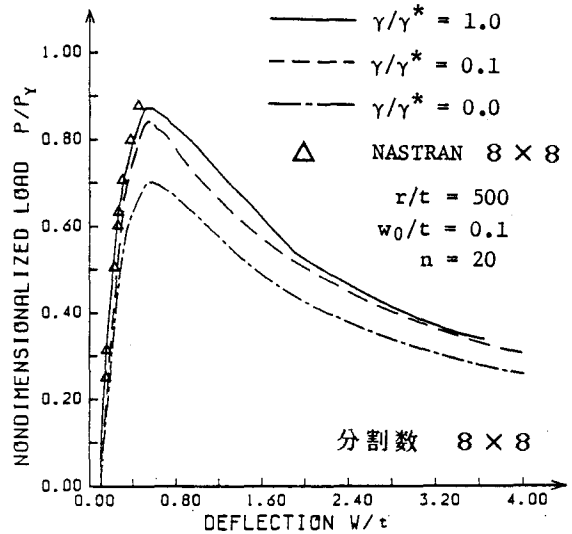


Fig-3 荷重-面外たわみ曲線

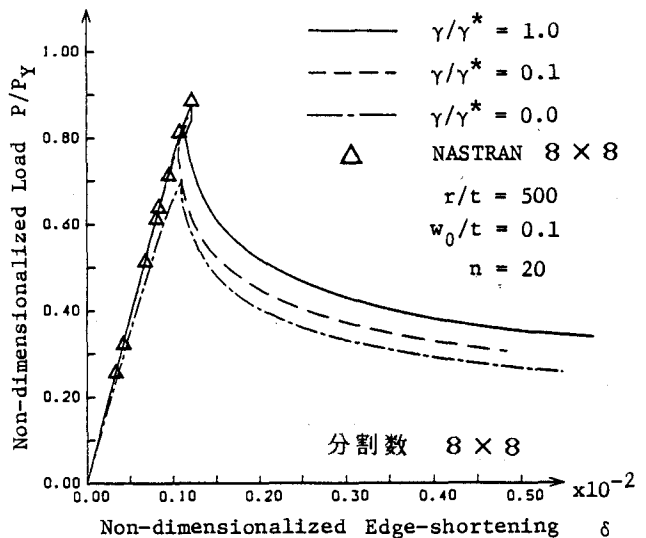


Fig-4 荷重-軸圧縮変位曲線

参考文献

- 1) Yamada, Y. and E. Watanabe, On the behavior and ultimate strength of longitudinally stiffened flanges of steel box girders. Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers, No.252, pp. 127-142, 1976.