

I-79

サイクリック軸圧縮荷重を受ける円筒
シェルの簡易解析法に関する考察

京都大学大学院 学生員 高尾 道明
京都大学工学部 正 員 渡辺 英一
阪急電鉄 正 員 奥野 雅弘

1. まえがき

今日、円筒シェルは、橋脚、海洋構造物、石油貯蔵タンク等の土木構造物に幅広く使用されている。一般に、軸圧縮円筒シェルの弾塑性解析には膨大な非線形数値計算法が使われるが、その様な解析は現実には極めて困難であり、場合によっては必ずしも得策とはいえない。

本研究では、繰り返し軸圧縮荷重により大変形の履歴を受ける円筒シェルにおいて、残留応力、残留ひずみ等を考慮し、精度を保ちつつも簡易的な解析手法を提示する。

2. 解析手法

材料は全て完全弾塑性体とし、残留応力分布は円筒シェルの長さ方向に一定であると仮定する。また、面外たわみとしては、軸対称モード、非対称モードの二つを考える。なお、本研究で取り扱う荷重条件としては、載荷と除荷の一連の組合せを一つのサイクルとし、その様なサイクルが連続して作用する場合を想定する。解析の手順は、先ず、円筒シェルの静的弾塑性圧縮強度を、残留応力の影響も考慮した上で、初期不整に対する敏感性という形で求める。そして、局所的なサイクルにおいて、残留応力、残留たわみ等を考慮して、次のサイクルでの耐荷力を決定する。

ここで、各サイクルでの載荷における解析方法の手順を図-1に示す。耐荷力の算定には、渡辺らが行った、カタストロフィー理論を応用した軸圧縮円筒シェルの強度解析法を用いた。⁽¹⁾これによってピーク荷重 σ_m 及びそれに対応する面外たわみ w_m が得られる。そして、図-2のように載荷力が0から σ_m に至るまでの面外たわみ w の挙動を、Donnellが導いた圧縮円筒シェルの弾性釣合式と2次曲線で連絡して仮定する。次に、 $\sigma-w$ 曲線に対応する $\bar{\sigma}-\epsilon_s$ 曲線を、有限変位理論の立場から求める。この時、シェルを多数の要素ストリップに分割したモデルを用いて簡易的に解析を進める。要素ストリップとは、図-3の様に二つの軸断面によってシェルから切り取られた部分のことである。j番目の要素ストリップの応力 $\sigma(j)$ は、例えば弾性域では、シェル全体の軸方向ひずみ ϵ_s を仮定して次式で与えられる。

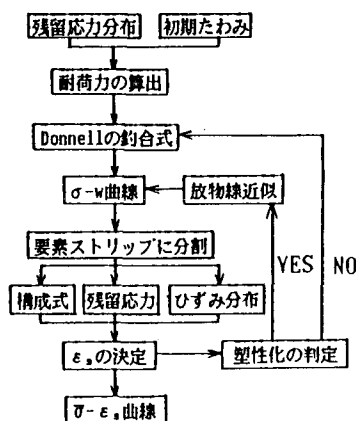


図-1 簡易的解析法の手順

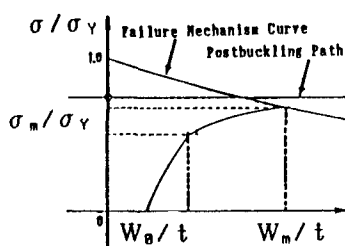


図-2

面外たわみ挙動

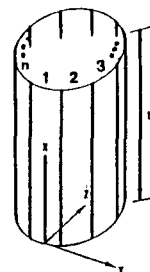


図-3

要素ストリップ

$$\sigma(j) = \{E/(1-\nu^2)\} \{\varepsilon_s + \varepsilon_w(j)\} + \sigma_r(j) \quad (j=1,2,\dots,n)$$

ここに、 $\varepsilon_w(j)$ は面外たわみに関する項、 $\sigma_r(j)$ は残留応力である。そして、 $\bar{\sigma} = \sum \sigma(j)/n$ を満足するように繰り返し計算を行って、 ε_s を確定する。但し、圧縮を正にとる。

3. 数値解析例及び考察

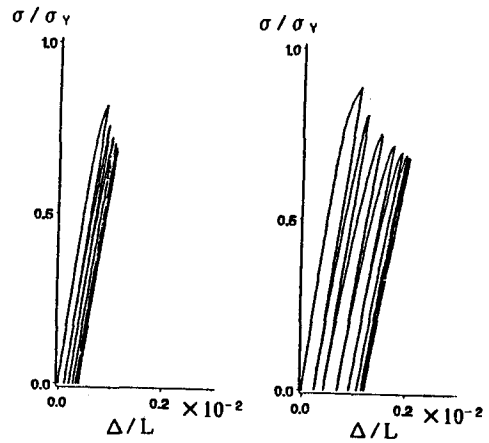
軸圧縮を受ける円筒シェルの軸応力、 $\bar{\sigma}$ 、と圧縮変位、 Δ 、の $\bar{\sigma}-\Delta$ 曲線の例を図-4に示す。また、その際の残留応力分布の変化は図-5の通りである。なお、第一サイクル開始前の残留応力は最大圧縮応力が降伏応力の40%となる三角形分布を仮定した。ここで、図-4(a)、図-5(a)は軸対称モード、図-4(b)、図-5(b)は非対称モードを、それぞれ面外たわみとして仮定した場合の結果である。残留応力分布の変化については、後者の場合、前者とは異なり円周方向にばらつきがあるが、共に、第一サイクル終了後、最大圧縮応力は低下し、それ以降の分布形状には、ほとんど変化が見られない。一方、軸方向ひずみ挙動については非対称モードの場合、より大きな変形量が許容されている。

4. 結論

- (1)簡易化モデルを用いたにもかかわらず、残留応力の再分配を考慮した形で解析を進めて、その分布変化を捉えることができた。
- (2)円筒シェルの弾塑性挙動の解析の際に問題となる時間、経費の面において、本解析法は有効である。

5. 参考文献

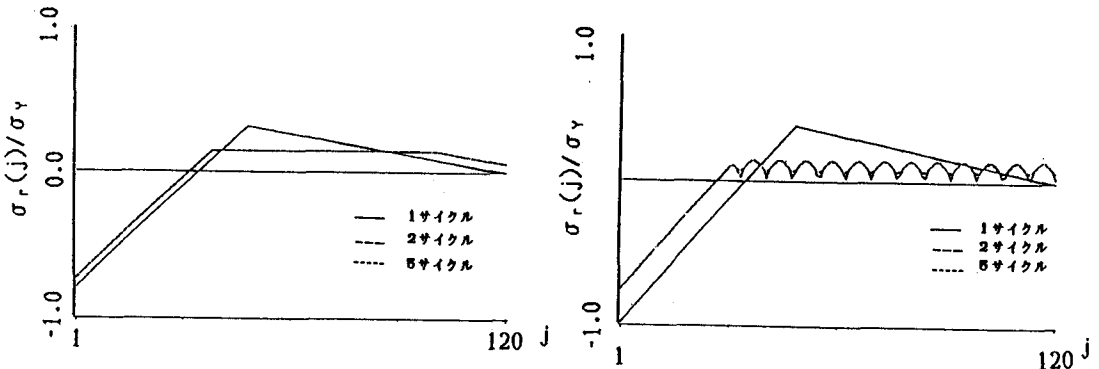
<1> 渡辺英一・勇秀憲・京極靖司：軸圧縮円筒シェルの弾塑性耐荷力評価法について、構造工学論文集，Vol.33A，pp.183～192，1987年3月



(a)軸対称モード (b)非対称モード

図-4 $\bar{\sigma}-\Delta$ 曲線

(GENERALIZED SLENDERNESS RATIO; $R=0.4$)



(a)軸対称モード

(b)非対称モード

図-5 残留応力分布の変化 (GENERALIZED SLENDERNESS RATIO; $R=0.4$)