

関西大学工学部 正会員 三上 市蔵
 日本電子計算機 正会員 田中 克弘
 関西大学大学院 学生員 〇辻 省悟
 関西大学大学院 学生員 松本 浩徳

1. まえがき 三上ら¹⁾は, DRM(Dynamic Relaxation Method)を用い, 周辺単純支持され, 初期たわみを有する円筒パネルが円周方向面内圧縮力を受ける場合について複合非線型解析を行った. この解析には残留応力が考慮されていないので, 本報告では, 三上らの解析法を残留応力を有する場合に拡張した.

2. 基礎方程式 円筒パネルは, 図-1に示すような弧に沿った長さ a , 幅 b , 厚さ h , 中央面の曲率半径 R で, 直線辺に一樣な強制変位により面内圧縮力 σ_y^m が作用する. パネルは等方性・完全弾塑性材料より成る. 基礎方程式は, 文献 1) のものを用いる. ただし, 残留応力を有するので, 任意位置の直応力 σ_x' , σ_y' , σ_{xy}' は, 増分応力の総和と円周方向残留応力 $\sigma_{re}(x, y, z)$ を考慮して, 次のようになる.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x' &= \Sigma \Delta \sigma_x' \\ \sigma_y' &= \Sigma \Delta \sigma_y' + \sigma_{re} \\ \sigma_{xy}' &= \Sigma \Delta \sigma_{xy}' \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

3. 数値計算 解析は, 対称性を考慮してパネルの $1/4$ 領域について行う. 差分法を適用するため, この $1/4$ 領域を x 方向に n_x 分割, y 方向に n_y 分割, z 方向に n_z 分割する.

数値計算は降伏応力 $\sigma_y = 2400 \text{ kgf/cm}^2$, ヤング率 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$, ポアソン比 $\nu = 0.3$, 初期たわみ $w_0 = w_{0\max} \cos(\pi x/b) \cos(\pi y/a)$ に対して行った. 無次元量として $\alpha = a/b$, $\beta = b/h$, $Z = b^2/Rh$, $\bar{w} = w/h$, $\bar{\sigma} = \sigma/\sigma_y$ を用いる.

4. 残留応力 残留応力は円周方向(y 軸方向)のみを考え, 板厚方向(z 軸方向)に一定とする. 残留応力は, 横断面についてつりあうように仮定する²⁾. その分布を図-2に示す. ここに, σ_{rt} は引張残留応力, σ_{rc} は圧縮残留応力で, L は次式によって求められる.

$$L = \frac{b}{2} \cdot \frac{\sigma_{rt} + \sigma_{rc}}{\sigma_{rt} - \sigma_{rc}} \quad (2)$$

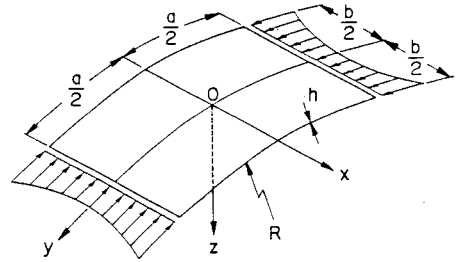


図-1

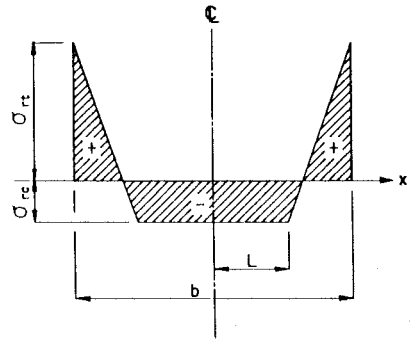


図-2

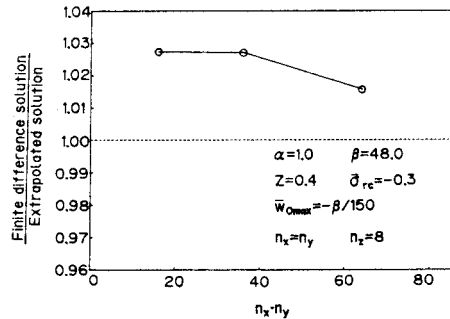


図-3

任意点での残留応力 $\sigma_{re}(x)$ は次のようになる。

$$\sigma_{re} = \sigma_{rc} \quad (0 \leq x \leq L) \quad (3a)$$

$$\sigma_{re} = -\frac{(\sigma_{rt} - \sigma_{rc})^2}{\sigma_{rc}} \cdot \frac{x}{b} + \frac{\sigma_{rt}^2 + \sigma_{rc}^2}{2\sigma_{rc}} \quad (x > L) \quad (3b)$$

5. 解の精度 まず、分割数について述べる。図-3 は $n_x = n_y = 4, 6, 8$, $n_z = 8$ の場合について、解の精度を調べたものである。厳密解は不明なので外挿公式³⁾によって推定した。この結果から、解の精度およびコンピュータの計算時間を考慮して $n_x = n_y = 6$ を用いることにする。この分割によって解の精度は3%以下にとどめることができるものと予想される。

図-4は、 $n_x = n_y = 6$ とし、 $n_z = 4, 6, 8$ の3通りの場合について調べたものである。z軸方向分割数は塑性の広がりを考慮し、以下の計算には8分割を用いることにする。

次に、本解析法の妥当性を検討するため、 $Z = 0$, $\bar{\sigma}_{rc} = -0.3$ の場合について、小松・北田らによる板の弾塑性有限変位解⁴⁾と比較する。残留応力を考慮しない場合については、すでに文献1)より妥当性があることがわかっている。

図-5は、 $\bar{w}_{0max} = 0.1$, $\lambda = 1.3$ の場合について、直線辺の平均圧縮応力 $\bar{\sigma}_m$ と、中央点の全たわみ $\bar{w} + \bar{w}_{0max}$ との関係を示す。ここに λ は無次元幅厚比で、 $k = 4$ に対して次式で求められる。

$$\lambda = \frac{b}{h} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (4)$$

図-6は、 $\bar{w}_{0max} = \beta/150$ の場合の終局強度曲線を示す。縦軸は直線辺の最大平均圧縮応力 $\bar{\sigma}_{max}$ である。

図-5、図-6の曲線は、小松・北田の結果と必ずしも一致していないが、小松・北田と残留応力分布が異なっているためと思われる。

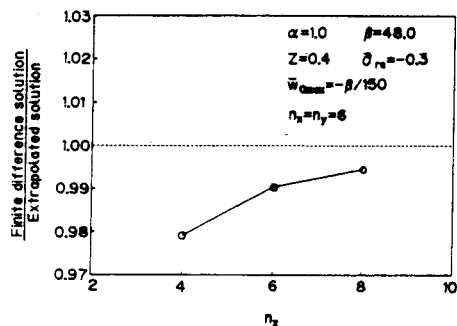


図-4

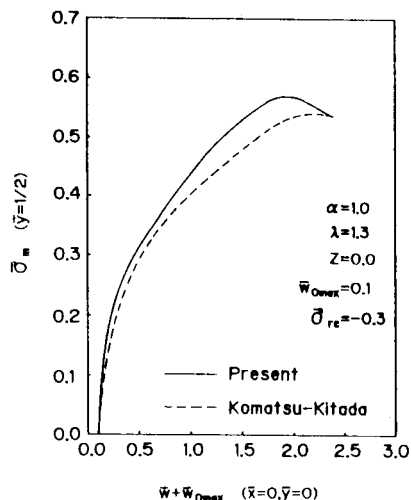


図-5

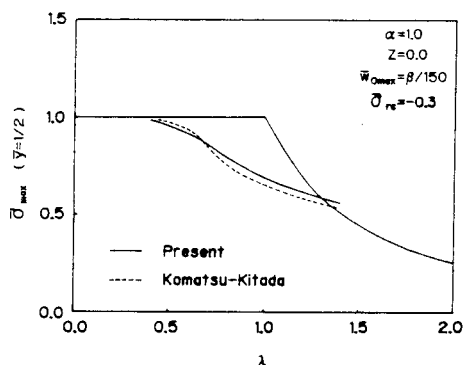


図-6

- 1) 三上・田中：構造工学論文集，1987. 2) 西田・星名：土木学会論文報告集，No.244，1975-12. 3) 三上：技苑，関西大学工業技術研究所，No.19，1976. 4) 小松・北田：土木学会論文報告集，No.270，1978-2.