

円周方向圧縮力を受ける円筒パネルの終局強度に対する残留応力の影響

関西大学工学部 正会員 三上 市蔵
清水 建設 ㈱ 正会員 ○松本 浩徳

1. まえがき 著者ら¹⁾は、補剛円筒パネルの残留応力の理論分布を提案し、既報の実測値²⁾と比較・検討した。本研究では、この理論残留応力分布の考え方をを用いて無補剛円筒パネルにおける残留応力の理論分布を決定する。そして、DRMを用いて、円周方向面内力を受け、残留応力と初期たわみを有する無補剛円筒パネルの弾塑性有限変位解析を行った。種々の残留応力分布に対する円筒パネルの挙動および終局強度を数値的に調べた。また、円筒パネルの終局強度算定式³⁾も検討した。

2. 数値計算 円筒パネルは、図-1の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 w_m が作用する。パネルは等方性、完全弾塑性材料よりなる。数値計算には降伏応力 $\sigma_y = 2400$ kgf/cm²、Young率 $E = 2.1 \times 10^6$ kgf/cm²、Poisson比 $\nu = 0.3$ 、初期たわみ $\bar{w}_0 = w_{0\max} \cos(\pi x/b) \cos(\pi y/a)$ 、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。

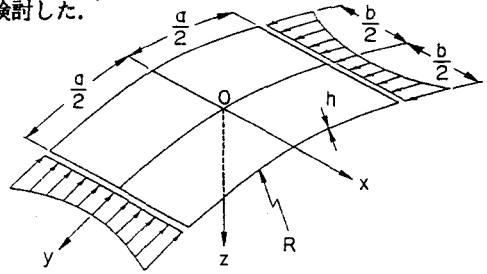


図-1

3. 無補剛円筒パネルの残留応力 平板における y 軸方向残留応力の x 方向分布を図-2のように仮定する。

$$\sigma_{ry}^p = \sigma_{rc} \quad (0 \leq x \leq L) \quad (1a)$$

$$\sigma_{ry}^p = -\frac{(\sigma_{rt} - \sigma_{rc})^2}{b \sigma_{rc}} x + \frac{\sigma_{rt}^2 + \sigma_{rc}^2}{2 \sigma_{rc}} \quad (x > L) \quad (1b)$$

ただし、

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

x 軸方向の残留応力は次のように考える。

$$\sigma_{rx}^p = -\nu \sigma_{ry}^p \quad (3)$$

円筒パネルの任意点 (x, y, z) の残留応力(板厚方向に変化する)は次のように仮定できる。

$$\sigma_{rx} = \sigma_{rx}^p + \sigma_{rx}^M \leq \sigma_y \quad (4a)$$

$$\sigma_{ry} = \sigma_{ry}^p - \nu \sigma_{rx}^M \leq \sigma_y \quad (4b)$$

ここに、

$$\sigma_{rx}^M = \frac{12(1-\nu^2)\sigma_{rc}b^2}{2Rh^2} z \left\{ \frac{1}{4} - \left(\frac{x}{b} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

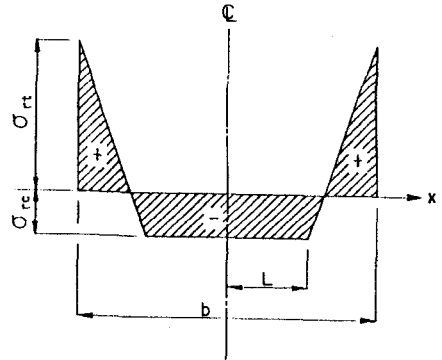


図-2

表-1

タイプ	円周方向残留応力	母線方向残留応力	板厚方向の変化
Type-0	なし	なし	なし
Type-1	あり	なし	なし
Type-2	あり	あり	なし
Type-3	あり	あり	あり

4. 円筒パネルの非線形挙動 表-1に示す4種類の残留応力分布を考える。Type-0とType-1、Type-1とType-2、Type-2とType-3をそれぞれ比較すると、 y 軸方向の残留応力、 x 軸方向の残留応力、円筒パネル特有

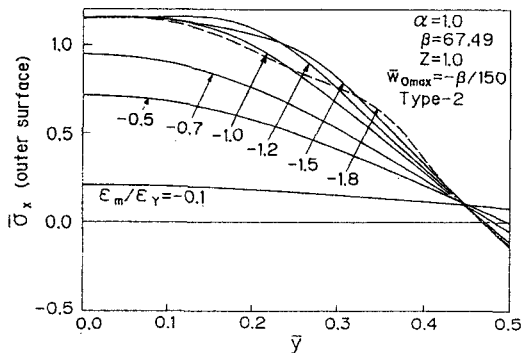


図-3

の残留応力の影響がわかる。Type-3では残留応力の大きさが板厚方向に変化するので、外面および内面の応力を比較する。

$\bar{x} = 0$ 断面におけるType-2の x 軸方向直応力分布を図-3に、Type-3の x 軸方向直応力分布を図-4に示す。破線は終局強度状態における応力分布を示す。これらの図から、終局強度状態に近づくとき $\bar{x} = 1/4$ 付近でType-3の方がType-2の方より直応力は大きくなることがわかる。

図-5はType-3における $x-y$ 平面の塑性域の広がりを示す。図から、残留応力を考慮すると $\bar{x} = \bar{y} = 1/4$ 付近から降伏しはじめることがわかる。また、 $\epsilon_m / \epsilon_\gamma \geq -1.2$ で $\bar{y} = 1/4$ 付近で除荷の現象が起こっていることがわかる。

5. 終局強度 縦横比 $\alpha = 1.0$ ，曲率パラメータ $Z = 1.0$ ，初期たわみ $w_{0max} = 0$ の円筒パネルについて、Type-1~3 の DRM 解と既報の終局強度算定式³⁾を比較すると図-6のようになる。 $\lambda < 0.75$ の範囲では、残留応力分布の違いによる終局強度の差は現れない。 $\lambda > 0.75$ の範囲では、Type-2, 3 では終局強度にほとんど差がなく、Type-1が最も低い強度を与える。また、算定式³⁾はいずれのタイプの場合の終局強度よりも安全側の値を与えるので、設計に用いてよい算定式であることがわかる。詳細は講演会当日に発表する。

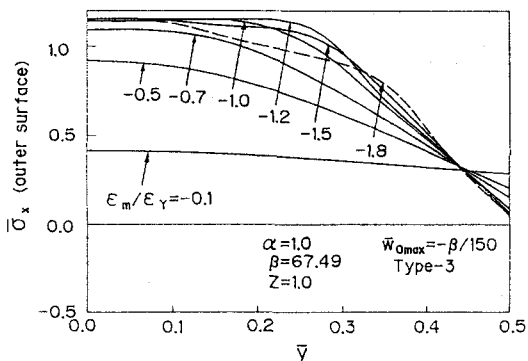


図-4

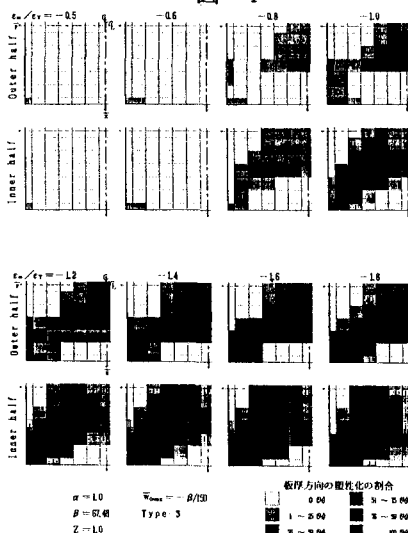


図-5

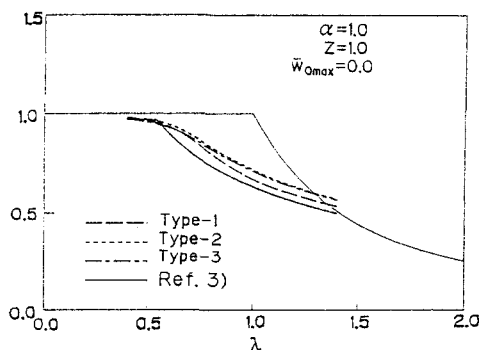


図-6

1) 三上・松本・中島：土木学会関西支部年次学術講演会，1990。

2) I. MIKAMI, Y. AKAMATSU, and S. SAKAMOTO: Technology Reports of Kansai Univ., No32, 1990.

3) 三上・松本・辻・田中：構造工学論文集, Vol.36A, 1990。