

軸圧縮力を受ける円筒鋼管の耐荷力と変形状

○ 豊田工業高等専門学校 学生会員 佐々木 亮介

同

正会員 桜井 孝昌、忠 和男

1、はじめに 構造用円筒鋼管が軸圧縮力を受ける場合、座屈後の変形モードによって、つりあい曲線が異なる径路をとる。このことによって座屈後の変形能に相違が生じる。

本報告は、比較的薄い円筒鋼管を対象にして弾塑性有限変位解析を行い軸圧縮力が作用する円筒鋼管のつりあい曲線を求め、座屈後の変形モードと変形能の関係を検討したものである。

2、解析結果 数値解析には汎用構造解析プログラムMARCを用い、Von Misesの降伏条件に基づいて、弾塑性有限変位解析を行なった。対象とした円筒を図-1に示す。解析は対称性を考慮して、円筒全体の1/8につき、要素分割を $24 \times 24 = 576$ に選んで行なった。素材は完全弾塑性体とし、材料特性および形状の諸元を図-1に示す。円筒は両端固定とし、軸力は円筒上面の剛体板を介して、鋼管に作用させた。

図-2に軸力と軸方向変位に関するつりあい曲線を示す。図の縦座標は軸力 P を全断面降伏応力 P_y で除した無限化軸力を、横軸は軸変位 u を降伏変位 $u_y = l \sigma_y / E$ （ここに l はパイプ長）で除した無限化軸変位をとってある。解析対象とした円筒の径厚比パラメータ R_t は $R_t = \sigma_y / \sigma_e = 0.25$ である。ここに σ_e は円筒の弾性座屈応力で $\sigma_e = Et / (r \sqrt{3(1-\nu^2)})$ と定義される。

図-2に示すように、軸力が降伏応力 P_y に達した後2種類の変形モードが現われる。一つは図-2の○で示すつりあい曲線で、円周上に均一のふくらみが現われる、いわゆる「ちょうちん座屈モード」である（図-3参照）。このつりあい曲線は軸力が P_y に達した後、ゆるやかに下向する。他の一つは、円筒面に波形を生じる座屈モードである。

図-4 a, bは円筒全体に対して解析した結果である。初期不整がない状態で、座屈後現われた変形モードを表している。図-4 bは変形状態を円筒上面から見た図である。座屈モードが全周で4波長現われている。ただし、この解析においては要素分割数（全体で $20 \times 48 = 960$ ）が不足しており、十分な精度の解が得られなかった。この為、図-5に示すように対称条件を

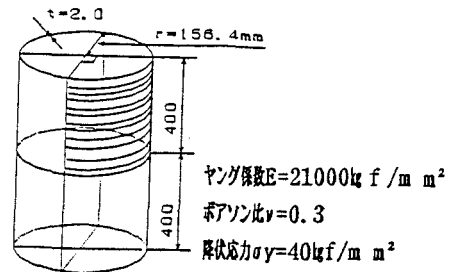


図-1 円筒諸元

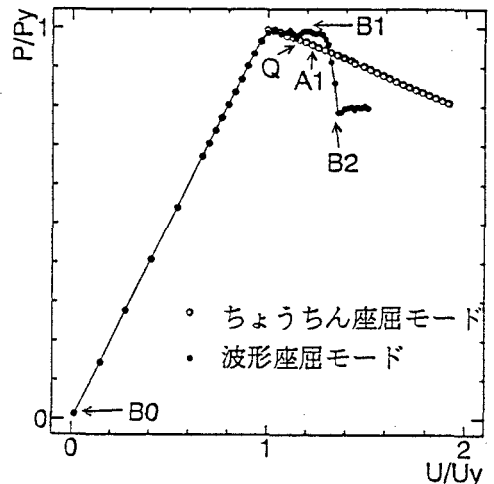


図-2 荷重-変位曲線

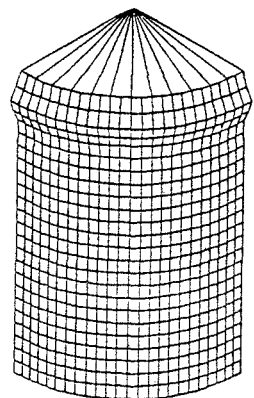


図-3 ちょうちん座屈モード(A1)

利用して円筒の1/8部分について $24 \times 24 = 576$ 要素（全体では $48 \times 96 = 4608$ に相当）で解析した。

座屈モードが波形の解を得るために、解析の初期状態で図-5に示すような円筒の中心方向の初期外力を与え、図-4で得られた1/4円周上に1波形が現われる初期変形を与えた。このときの外力の大きさは、初期変形が板厚の1/10になるように選んだ。解析においては、解析途中で座屈波形が得られた時点（図-2の点Q）でこの外力を除去した。波形のつりあい曲線は図-2の●で表される曲線で示してある。初期外力除去後の座屈モードは図-6に示すような1波長（全周4波長）となるが変形が進むと、図-7に示すような一点に凹みが集中するモードとなる。図-7に示す座屈モードに対しては、それに対応する軸力は、ちょうちん座屈モードに比較して低下する。実構造においては、円筒に残留応力や形状等の不整が存在しているため、つりあい曲線は最も変形能の小さい経路で定まるのが普通である。本解析程度の諸元の円筒では実験で波形の座屈モードが現われることが報告されている。¹⁾

3、おわりに

- ・軸圧縮力が作用する円筒の耐荷力は、本解析例の円筒に関しては降伏荷重 P_y まで有効である。
- ・座屈後の変形モードは2種類求まり、 $u/uy=1.3$ 以降において同じ軸変位に対する軸力は、波形座屈モードの軸力の方が、ちょうちん座屈モードのそれより低下する。

＜参考文献＞ 1) 宇佐美勉、青木徹彦、加藤正宏、和田匡央、「鋼管短柱の圧縮および曲げ耐荷力実験」、土木学会論文集、第416号、1990. 4、pp 255～264

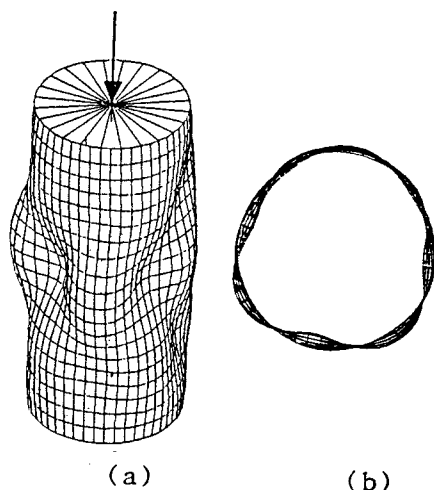


図-4 波形座屈モード

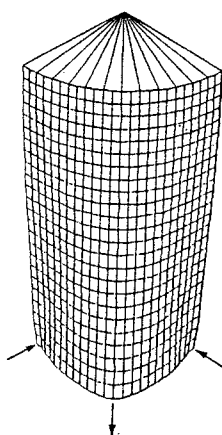


図-5 初期不整モード(B0)

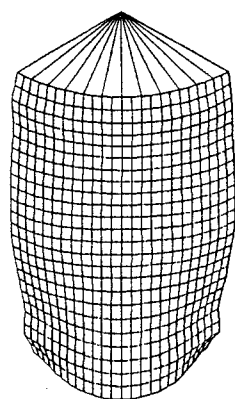


図-6 波形座屈モード(B1)

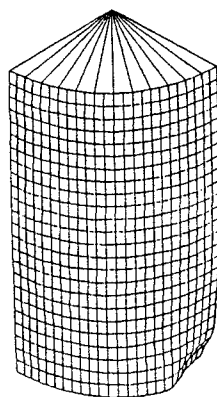


図-7 波形座屈モード(B2)