

I - A231 繰り返し水平荷重を受ける円筒殻の塑性座屈モードと終局挙動

名古屋工業大学 正員 後藤 芳顕
中国清華大学 張 崇厚
豊田工業高等専門学校 正員 川西 直樹

1. まえがき これまでに著者らは、軸圧縮力下における比較的厚肉の円筒殻において塑性座屈モードおよびそのモードの移行過程を厳密な塑性分岐解析にもとづくことにより明らかにした。これによると、ダイヤモンド座屈モードは、軸対称座屈モードの局所化による提灯座屈発生後に塑性分岐により生ずること、円周方向の座屈波数は径厚比が大きいほど多いことが判明している¹⁾。

ここでは、一定圧縮荷重下の円筒殻に地震荷重を想定した繰り返し水平力が作用する場合の塑性座屈モードと終局挙動を軸圧縮力下の円筒殻と比較することにより検討する。そして、円筒殻の支配パラメータである径厚比 R/t 、長さ半径の比 L/R 、軸力比 P_v/P_y の影響を明らかにする。

2. 解析モデルと数値計算法 解析する円筒シェルは図1に示す基部を固定した片持ちはりで、荷重を載荷する頂部に鉛直荷重 P_v を作用させた後、繰り返し載荷は降伏水平変位 δ_{hy} 基準とした漸増繰り返しにより行う。解析は汎用解析プログラム ABAQUS により行い、このとき使用する要素は四節点厚肉シェル要素 (S4R) である。材料構成則には三曲面モデル²⁾を使用し、このときの諸元を図1に示す。解析ケースとこのときの各種パラメータ表1にまとめる。

3. 解析結果 図2は、 $P_v=0.15 \sigma_y A$ 、 $L/R=8$ のときにおける繰り返し載荷時の荷重-変位曲線の泡絡線である。この図より、径厚比が大きくなるほど、変形能の低下が著しくなっていることが分かる。載荷終了時の頂部から見た断面の変形の様子を図3に示す。径厚比の小さい $R/t=50$ のケースのみ提灯座屈となったが、その他のケースではダイヤモンド座屈が生じ、 R/t が大きくなるほど円周方向の座屈波数 n が増加している。荷重タイプによる座屈形状の影響を考察するため、表2はこれらの結果と軸圧縮力下における座屈形状を整理したものである。これより、座屈形状は載荷方法による差が現れ、水平荷重下において波数が多くなる傾向にあるが、提灯座屈 ($n=1$) からダイヤモンド座屈 ($n \geq 2$) に変化する径厚比の値はほぼ同じであることが分かる。ただし、水平荷重の場合は提灯座屈からダイヤモンド座屈へ遷移することはない。

長さ半径の比 L/R の影響を考察するた

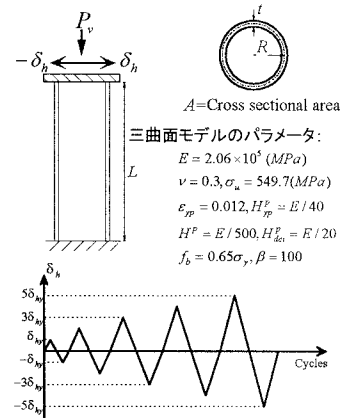


図1 解析対象と繰り返し荷重の載荷方法

表1 解析モデルの諸元と解析ケース

TYPE	L(mm)	t(mm)	L/R	R/t	σ_y (MPa)	R_e
1	800	2.0	8	50	298.9	0.120
2	1200	2.0	12	50	298.9	0.120
3	800	1.5	8	66.7	298.9	0.160
4	1200	1.5	12	66.7	298.9	0.160
5	800	1.2	8	83.3	298.9	0.200
6	800	1.0	8	100	298.9	0.240
7	800	0.8	8	125	298.9	0.300
A	800	2.35	8	42.6	350	0.119
B	800	1.9	8	52.6	350	0.148
C	800	1.75	8	57.1	350	0.160

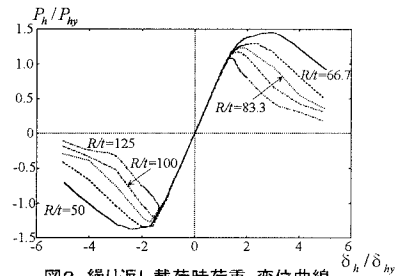


図2 繰り返し載荷時荷重-変位曲線の泡絡線 ($L/R=8$, $P_v=0.15 \sigma_y A$)

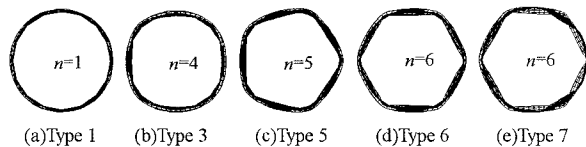


図3 繰り返し荷重載荷後の頂部から見た座屈パターン

キーワード：鋼製橋脚、塑性座屈、シェル、繰り返し荷重
連絡先：〒466-8555 名古屋市中昭和区御器所町 TEL:052-735-5486, FAX:052-732-5503

め、Type 1 と 2 および Type 3 と 4 の解析を行い、結果の比較を行う。図 4 は、Type 3, 4 の荷重-変位曲線であり、この図より L/R が大きくなるほどピーク点以降の荷重の低下が大きくなること分かる。ただし、図 5 に示す最終変形モードは $L/R=12$ と $L/R=8$ のケース間で差はない。この傾向は Type 1, 2 間においても同様であった。以上から、

座屈モードに与える L/R の影響は小さいといえる。

軸力の影響を考察するため、Type 1 に降伏軸力の 30% という大きな軸力を、Type 3 には逆に軸力を零としたときの解析を行う。図 6 にこのときの変形モードを表す。軸力が大きい Type 1 では提灯座屈が発生しており、軸力の変化に対する座屈モードの変化はない。また、軸力を零とした Type 3 では座屈波形を特定するための円周方向の波数は不明瞭なものとなっているが、ダイヤモンド座屈が生じている。以上より、軸力の大小は座屈波形に関しては影響を与えるが、提灯座屈とダイヤモンド座屈の発生に変化を及ぼすまでの影響はないことが分かる。

つぎに、径厚比パラメータ R/t の影響を考察するため、Type A, B および C の解析を行う。 R/t のほぼ等しい Type C と Type 3 に関して、この荷重-変位曲線を図 7 に示す。この結果より、どちらの Type もほぼ同じ経路を辿り、変形モードも同じダイヤモンド座屈が生じた。この傾向は Type A と Type 1 間でも同様であることから、円筒殻の塑性座屈モードならびに変形挙動は径厚比パラメータに支配されると考えられる。なお、 $R/t=0.147$ の Type B ではダイヤモンド座屈が生じた。以上の結果から、水平力が作用するときの塑性座屈モードの変化に関して発生する座屈モードが推移するときの径厚比パラメータ R_{tcr} は、ほぼ次のように考えられる。

$$R_{tcr}=0.147 \quad (1)$$

$R_t < R_{tcr}$ のとき、円筒殻は提灯座屈が生じ、 $R_t > R_{tcr}$ のときダイヤモンド

座屈が生じる。

4. 結論 本研究により、繰り返し水平荷重が載荷する円筒殻に関して以下の点が明らかになった。

- (1) 同じ径厚比ならば圧縮載荷時に見られる座屈モードと水平荷重載荷時の座屈モードは同様であり、圧縮載荷時の結果から水平荷重時の座屈モードをほぼ推定できる。
- (2) 座屈モードにおよぼす長さと半径の比 L/R 、軸力比 P_x/P_y の影響は小さい。
- (3) 径厚比パラメータ R_t により塑性座屈モードおよび変形挙動を統一的に整理することが可能となる。

参考文献

- 1) 後藤芳顕, 張崇厚: 比較的厚肉の円筒殻における提灯座屈からダイヤモンド座屈への塑性分岐過程の解析, 土木学会論文集, No.605/I-45, pp.105-115, 1998.10.
- 2) 後藤芳顕, 王慶雲, 高橋宣男, 小畑誠: 繰り返し荷重下の鋼製橋脚の有限要素法による解析と材料構成則, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.189-206, 1998.4.

表2 座屈モードに及ぼす荷重タイプの影響

R/t	載荷終了時の円周方向の波数 n	
	水平荷重	圧縮荷重
50	1	1
66.7	4	3
83.3	5	4
100	6	4

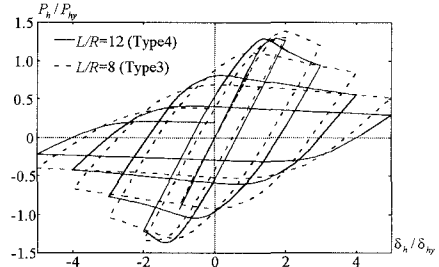


図4 荷重-変位曲線 (Type 3, 4)

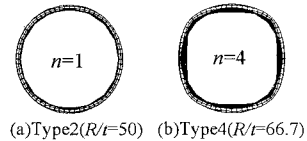


図5 径長比 $L/R=12$ のときの最終変形形状

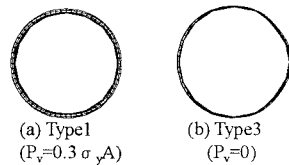


図6 軸力が変化したときの最終変形形状

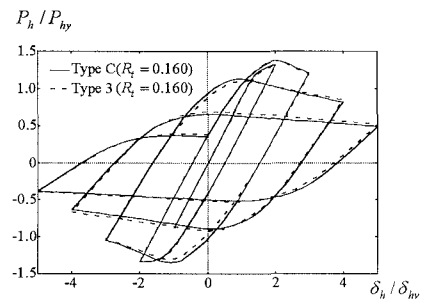


図7 荷重-変位曲線 (Type C & Type 3)