

I-A136 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

名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顕
名古屋工業大学 張 崇厚

1. はじめに

軸圧縮力下の比較的厚肉の短い鋼製円筒殻では、最初、塑性座屈モードの局所化により軸対称のいわゆる提灯座屈が生ずるが、変位制御で載荷を継続するとダイヤモンド型の座屈モードに変化することが実験的に観察されている¹⁾。両端固定の比較的厚肉の円筒殻について、上記の座屈現象に特有な釣り合い経路を変形モードとともに模式的に図1に示す。

本論文では、軸対称の提灯座屈モードから、ダイヤモンド座屈モードへの変化の全過程を厳密な塑性分岐解析により正確に解析し、その力学挙動について検討することを目的とする。本解析では、軸対称座屈モードの局所化により提灯座屈の生ずる第一塑性分岐点の解析に続き、ダイヤモンド座屈モードへの変化の生ずる第二塑性分岐点の解析をいわゆる

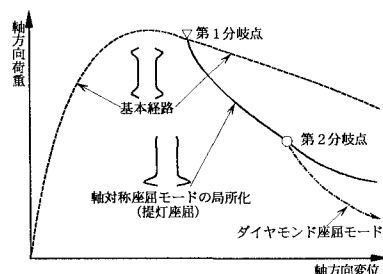


図1 圧縮を受け両端固定の円筒殻の釣り合い経路

2. 円筒殻の塑性座屈挙動の解析

解析対象は図2に示すように両端固定の円筒殻である。ここでは、圧縮荷重が剛体載荷板を介して軸方向に載荷された場合の挙動を解析する。載荷は変位制御で、上載荷板の鉛直変位 δ_v を零から $\delta_v/L = 4.0 \times 10^{-2}$ まで単調に増加させる。

このような円筒殻の提灯座屈モードからダイヤモンド座屈モードへの座屈挙動の変遷を解析する場合、ダイヤモンド座屈モードが、円筒の周方向に対して周期性を持っていることが既知であることを利用している。すなわち、解析モデルとしては、図3に示すようなダイヤモンド座屈モードにおける周方向の周期波形の半波分に対応する部分構造を用いる。この半波形は円筒殻の中心軸と $\alpha = \pi/n$ ($n = 2, 3, 4, \dots$)の角度をなすが、 n がいくらかになるか未知である。したがって、 n を2, 3, 4, ...と変化させた各部分構造に塑性分岐解析を実施し、最小の鉛直変位 δ_v で分岐が生ずる部分構造を当該モデルとする。

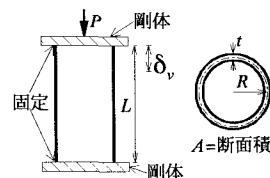


図2 解析モデル

シェル要素を用いた弾塑性有限変位解析は汎用プログラムABAQUSのS4R要素による。弾塑性構成則として、三曲面モデル²⁾を用いている。

3. 両端固定の円筒殻の塑性座屈挙動

各種構造パラメータを持つ円筒殻の解析結果について、塑性座屈モードの変化過程とダイヤ

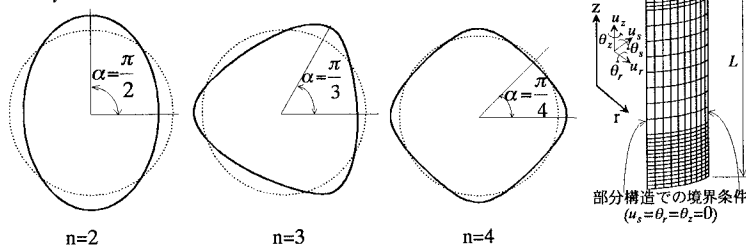


図3 ダイヤモンド座屈モードにおける周方向座屈波形と周期性を利用した部分構造モデル

モンド座屈モードでの周方向座屈波形の波数を表1にまとめる。この表から肉厚のもっとも厚いC1, C2 typeの円筒殻を除いて、他はすべて載荷された変位の範囲 ($0 \leq \delta_v/L \leq 4.0 \times 10^{-2}$) で、提灯座屈モードからダイヤモンド座屈モードへ変化するのがわかる。表1に示した円筒殻のうち、C4, C7, C10 typeのダイヤモンド座屈モードへの変化が生じたものについて荷重と上載荷板の鉛直変位との関係を図4に示す。さらに、図5には、図4に対応して得られたそれぞれの円筒殻の提灯座屈モードからダイヤモンド座屈モードへの変化を示している。なお、前者としては第二分岐点での変形モード、また後者としては第二分岐経路上の最終変位 $\delta_v/L = 4.0 \times 10^{-2}$ での変形モードを選んで図示している。図4, 5から、図1で説明したように、提灯座屈を生ずる第一分岐は荷重最高点に到達直後に発生すること、また、ダイヤモンド座屈モードへの変化は荷重が低下する第一分岐経路上における第二分岐点で発生することが確認できる。

キーワード：円筒殻、軸圧縮力、塑性分岐、ダイヤモンド座屈モード、提灯座屈モード

〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 TEL: 052-735-5486 FAX: 052-735-5503

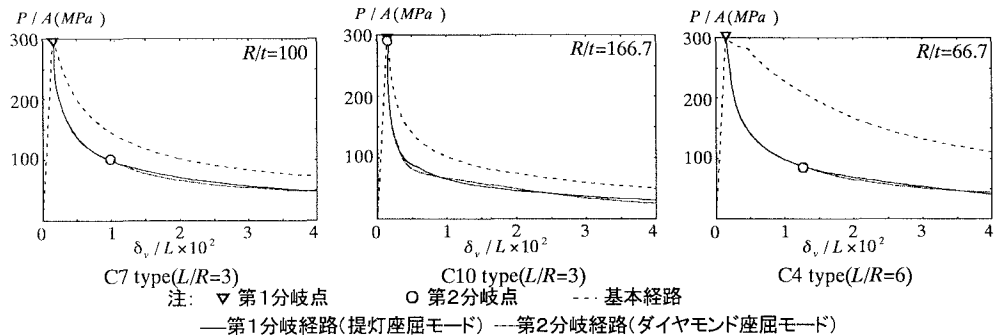
まず、径厚比 R/t が座屈モードの変化に与える影響を長さと同径の比が $L/R=3$ の円筒殻を対象に考察する。径厚比 R/t の影響としては、表1より、この値が大きいほどダイヤモンド座屈モードの周方向での波数が増加すること、また、図4より、 R/t の値が大きいほどダイヤモンド座屈モードへ変化する第二分岐が早く生ずることがわかる。とくに、もっとも薄い $R/t=166.7$ の円筒殻 C10 type では第二分岐点は第一分岐点とほとんど一致する。このことは、 R/t の値がさらに大きくなると、提灯座屈を生ずる本来の第一分岐点は消滅し、最初の分岐で直接、ダイヤモンド座屈が発生することを意味している。さらに、 R/t の値がもっとも小さい C1 type ($R/t=50$) になると、载荷された変位の範囲で第二分岐は全く発生しなくなる。以上から、 $0 \leq \delta_v/L \leq 4.0 \times 10^{-2}$ の载荷変位内で、 $R/t \leq 65$ の円筒殻では提灯座屈のみ生じ、 $R/t \geq 170$ ではダイヤモンド座屈のみ生ずる。そして、载荷変位内で提灯座屈モードからダイヤモンド座屈モードへの変化が生じるのはほぼ $65 < R/t < 170$ の円筒殻であることがわかる。

表1 両端固定の円筒殻($R=100\text{mm}$)の座屈挙動

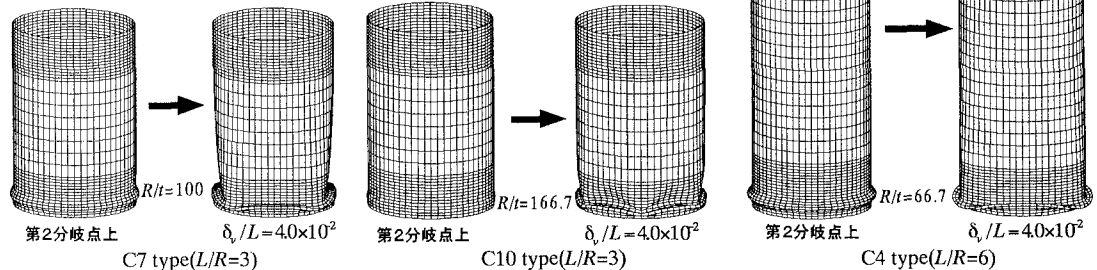
Type	L/R	R/t	座屈モード	最終変位での周方向座屈波数 n
C1	3	50	E	1
C2	6	50	E	1
C3	3	66.7	E→D	3
C4	6	66.7	E→D	3
C5	3	83.3	E→D	4
C6	6	83.3	E→D	4
C7	3	100	E→D	4
C8	3	111.1	E→D	5
C9	3	142.9	E→D	6
C10	3	166.7	(E→)D	6

注： E：提灯型 D：ダイヤモンド型

→：変化 (→)：見かけ上変化なし



つぎに、長さと同径の比 L/R が座屈モードの変化に与える影響を考察する。この目的のために径厚比が同じで L/R が異なる三組の円筒殻(C1type, C2type), (C3 type, C4 type)と(C5 type, C6 type)を検討対象とする。表1からわかるように、 $R/t=50$ の円筒殻については $L/R=6$ 場合も $0 \leq \delta_v/L \leq 4.0 \times 10^{-2}$ の载荷



変位内で第二分岐は発生しない。なお、 L/R によるダイヤモンド座屈モードでの周方向の波数の差異を見ると、 $R/t=66.7$ 、 $R/t=83.3$ いずれの場合も座屈波数は変化しないことがわかる。これより、提灯座屈からダイヤモンド座屈モードへの変化挙動に影響を与える構造パラメータとしては径厚比 R/t が長さと同径の比 L/R に比べ、より支配的であると言える。

- 参考文献 1) 加藤, 秋山, 鈴木: 軸圧縮力を受ける鋼管の塑性局部座屈耐力, 日本建築会論文集, 第204号, 1973年2月。
2) 後藤, 王, 高橋, 小畑: 繰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, 1998. 掲載予定