# CFRP 薄肉円筒シェルの座屈挙動の評価方法に関する研究

長崎大学	学生会員	〇上里	尚也	長崎大学大学院	学生会員	趙 程
長崎大学	正会員	松田	浩	長崎大学	非会員	山下 務

# 1.序論

円筒シェルの座屈の特徴は,一般に座屈後強度の低下 及び形状初期不整に対する敏感性にある.これらの特徴 は薄肉シェルに特に顕著であり,設計の際,これらの座 屈問題に関する検討が不可欠である.

軸圧縮力を受ける薄肉円筒シェルの座屈荷重の理論的 な算定方法は、長方形薄板の座屈の考え方を元に、多く の研究が行われてきた.しかし、その結果のほとんどが 実験座屈荷重を大きく上回っている.

そこで、本研究は、薄肉シェル構造の不安定座屈問題 をテーマとし、特に不安定性が顕著である軸圧縮力が作 用する薄肉円筒シェルの座屈挙動への実形状初期不整の 影響を CFRP 試験体を用いて実験的に検討する.また、 三次元形状計測装置を使用した薄肉シェル構造の形状初 期不整計測および、座屈挙動計測への適用性や有用性に ついてもあわせて検討する.

#### 2. 予備実験

# 2.1 実験概要

試験の準備として,試験体をアクリル板に高強度石膏 を用いて固定し,両端完全固定とした.圧縮載荷速度は 0.05mm/secとして,試験体が座屈するまで載荷を行った. 予備実験及び本実験に用いる試験体の寸法,概要をそれ ぞれ表1,2に示す.試験体の固定状況を図1に,載荷状 況を図2に示す.

### 2.2 実験結果

予備実験の結果を図3,4に示す.座屈荷重は,約31000N となった. 試験体は,座屈モードを示すことなく,荷重 の低下と同時に,中央部付近から破壊した.

#### 3. 計測システム

本試験では、薄肉円筒シェル試験体の形状初期不整, 及び座屈挙動の3次元形状計測にデジタル画像相関法 (Digital Image Correlation Method 以下 DICM)を用いた.計 測システムを図5に示す.

デジタル画像相関法とは、CCD カメラのようなデジタ ルカメラで対象物表面の変形前後の画像をデジタル的に 取り込み、比較することで画像全体に渡って変形分布を 求めることができる計測方法である.また、図に示すよ うな2台のCCD カメラを用いて計測することにより、3 次元の変位量、変位方向および表面形状を求めることが できる.

表	1	:	試験体	1	法
~	-	•			124

	内径 (mm)	外径 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	高さ(mm)	径厚比 (R/t)
No. 1	60	61.5	143.14	80	0.024
No. 5	85	86.5	202.04	100	0.017

#### 表 2: 試験体概要

使用な約	三菱レイヨン製高強度炭素繊維3K平織物			
使用材料	エポキシ樹脂プリフレ[0°/90°]×3			
使用炭素繊維	TR30S			
引張弾性率	235MPa			
密度	1.77g/cm3			
引張強度	4410MPa			
樹脂含有率	40wt%			



図1:No.5-1 (塗装、固定後)



図2:実験風景





図4:破壊形状



図5:計測システム

# 4. 軸圧縮実験

# 4.1. 形状初期不整計測

DICM を用いて、円筒シェル試験体の実形状初期不整 を計測した.本計測装置では、計測範囲に制限があるた め,1 枚の画像を取る毎に 30°回転させ、計 12 個の画像デ ータを取得した.計測データを結合させたものを図 6 に 示す.図 6 から、今回使用した CFRP 薄肉円筒シェル試 験体では、面外方向の形状初期不整をほとんど有してい ないことが確認できた.

### 4.2. 軸圧縮試験

軸圧縮試験においては,非接触で軸圧縮座屈挙動を計 測するため,載荷中は DICM を用いて計測を行い,試験 体が座屈するまで載荷を行った.座屈直後に一度除荷し, 座屈波形の計測を行う.その後,試験体が割れ破壊する まで載荷を行う.

# 4.3. 実験結果

軸圧縮試験結果,及び座屈挙動計測結果を,それぞれ 図 7~10 に示す.座屈荷重は,約 22000N となり,ダイヤ モンド型の座屈モードを示した(図 8).図 7 に示す A~F の各荷重載荷状態における試験体表面形状を,図 10 に示 す.E点は座屈直前,F点は座屈直後の試験体表面の様子 を示している.F点の形状を見てみると,計測範囲の中央 付近に大きな面外方向の変形が確認できる.それに対し, 弾性域における B~F点では,計測範囲の端部に局所的な 面外変形が確認できる.

# 5 考察

今回の実験における荷重載荷時の形状計測結果におい て、弾性域における試験体の局所的な面外変形と座屈後 の変形形状とに関係性が見られた.このことから、軸圧 縮力下の円筒シェルの挙動計測および座屈形状推定への DICM による全視野計測の有用性を確認することができ た.

今回使用した CFRP 試験体では, 初期形状計測の結果, 初期形状不整がほとんど見られなかった. 筆者らはこれ までに, アルミニウム合金製の試験体を用いて同様の実 験を行っている. アルミニウム合金製の試験体は, 今回 使用した試験体と比較して, 径厚比が小さく, また圧延 加工による試験体製作の影響で初期形状不整を有してお り, それらの座屈荷重, 座屈形状への影響を確認できて いる.

今後, CFRP 試験体においても, 初期不整を有する試験 体を製作し実験を行い, 座屈荷重等への影響を検討する 必要があると考えられる.また, あわせてアルミニウム 合金製の試験体による実験結果との比較検討を行うこと で, 径厚比, 初期不整, 材料の特性等が座屈挙動に与え る影響を総合的に検討していくこととする.



図6:形状初期不整計測結本

図7:荷重-変位線図





図 8:試験体座屈状況

図9:試験体破壊状況



図 10:試験体表面形状