円筒シェル部材の座屈挙動に関する実験・解析的研究

3000

2500

1000

500

0 0

 \widehat{z}^{2000}

長崎大学大学院 学生会員 ○緒方 宇大 長崎大学 正会員 松田 浩 長崎大学 正会員 出水 享 長崎大学 正会員 古賀 掲維 同済大学 非会員 趙 程 長崎大学 正会員 森田 千尋

1. はじめに

円筒シェルは軽量で高強度な構造要素として 様々な分野で利用されているが,特に薄肉の円筒シ ェルでは、構造物の形状初期不整や厚さ不整により 座屈強度が著しく低下することがよく知られてい る。しかし,形状初期不整を計測し,解析に適用す ることは難しく,解析により円筒シェルの座屈挙動 を正確にシミュレートするまでには至っていない。 そのため RS(Reduce Stiffness)法や確率論的手法等¹⁾ による解析方法が提案されている。

本研究では、試験体の形状初期不整の計測を行い, #1500 形状初期不整を考慮した解析を行うことで薄肉円 筒シェルの座屈挙動をシミュレートすることを目 的としている。

2. 形状初期不整計測および座屈実験

座屈実験を行う前に,試験体の形状初期不整およ び厚さ不整を計測した。厚さ不整計測結果を表1に 示す。また,計測結果から得られた試験体の形状パ ラメータを表2に示す。試験体の形状初期不整計測 を行った後,座屈実験を行った。載荷は変位制御で 行い,試験体の上端から軸方向に荷重を与え,載荷 開始時から試験体に座屈が生じるまでをデジタル 画像相関法(DICM)により計測した。

実験結果として,座屈荷重はNo.1試験体で1518N, No.2 試験体で 7018N となった。また、座屈形状は No.1 試験体ではダイヤモンドバックリング, No.2 試 験体ではエレファントバックリングを確認するこ とができた。

3. 非線形座屈解析

計測した形状初期不整データを基に,形状作成プ ログラムを用いて形状初期不整を考慮した解析モ デルを作成した。解析モデルの要素分割は, 一つの 要素が1mm×1mmとなるように分割を行った。解析 に用いた材料定数は,引張試験によって計測した弾 性係数,応力-ひずみ関係を使用している。材料試 験の結果より No.1 は弾性係数 64944MPa, ポアソン 比 0.35 を, No.2 は弾性係数 66700MPa, 0.2% 耐力 132MPa, ポアソン比 0.33 を解析に用いた。

表	2	形状	パラ	メ	<u> </u>	タ
~	_					

試験体	半径	高さ	最小厚さ	最大厚さ	平均厚さ	径厚比	形状関数
	<i>R</i> (mm)	L (mm)	H min (mm)	H max (mm)	H ave (mm)	R/H ave	Ζ
No.1	33	66	0.13	0.2	0.157	254	808.2
No.2	25	66	0.34	0.475	0.395	74	416.4

キーワード:デジタル画像相関法,円筒シェル,座屈

住所:長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学大学院工学研究科総合工学専攻構造工学コース 電話, FAX: 095-819-2590

試験体 計測点 2 3 4 7 8 1 6 0.18 0.14 0.13 0.13 0.13 A 0.2 0.2 0.14 No.1 В 0.2 0.2 0.18 0.15 0.14 0.13 0.13 0.13 (A+B)/20.2 0.2 0.18 0.145 0.14 0.13 0.13 0.13 0.34 0.48 0.47 0.47 0.38 0.34 0.34 0.34 А No.2 В 0.48 0.47 0.47 0.38 0.34 0.34 0.34 0.34 0.48 0.47 0.34 0.34 0.34 (A+B)/20.47 0.38 0.34 8000 <u>実験 No.1</u> 解析 No.1 実験 No.2 6000 解析 No 2 Z ∰ 4000 2000 No.1 No.2 0.05 0.15 0.2 0.3 0.4 0.5 0.1 0.2 変位(mm) 変位(mm) 図 1 荷重-変位曲線 0[°] 90 90 180 -90° -90 Δ 0 No.1 **O** 180° 90° 9[°]0 0 -90° -90° đ No.2 写真1 座屈形状写真

表1 厚さ不整計測結果



図2 実験と解析の比較

4. 解析結果

本解析で得られた荷重-変位曲線と実験結果から得られた荷重-変位曲線を図1に,座屈モードの 比較を図2に示す。解析での座屈荷重はNo.1で 2900N, No.2で7311Nであった。座屈挙動に関して, No.1での座屈荷重を応力へ換算すると約56MPaで あり,材料の塑性ひずみが生じる応力(約190MPa)に は達していないため,弾性域での座屈が生じている ことが確認された。No.2では,座屈時の応力は 131MPaであり,材料に塑性ひずみが生じる応力(約 50MPa)に達しており塑性域での座屈となっている ことが確認された。No.1のように弾性域での座屈が 生じる場合について,解析では座屈挙動をシミュレ ートすることはできなかった。

図 2 の実験結果 0°位置での各荷重における面外 変位 dR の挙動を図 3 に示す。図 3 より, No.1 では 座屈が生じるまでは面外方向の変位はほとんど見 られず,最大荷重に達した後には急激に面外変位が 増加している。No.2 では荷重が 4000N あたりから, 荷重が増加するにつれて試験体下部の面外変形が 生じていることが確認できた。No.2 で面外方向変位 が生じている理由としては,材料が塑性域に入るこ とによって生じた塑性変形であることが考えられ る。

座屈形状については実験,解析共に No.1 はダイ ヤモンドバックリング, No.2 はエレファントバック リングが確認できた。座屈形状の発生位置に多少の ずれはあったが,実験結果を解析でシミュレートで きたと考える。

No.1 の実験と解析の座屈荷重に大きな乖離が見られた原因は,形状初期不整の影響であると考えた。 そこで,形状初期不整の影響を調べるため, No.1 試 験体の形状初期不整を増減し,薄肉円筒シェルの形 状初期不整に対する感度解析を行った。解析結果を 図4に示す。薄肉円筒シェルの場合,極微小な形状 初期不整であっても影響を強く受けるため,形状初 期不整の扱いは極めて難しいと考えられる。

形状初期不整は DICM を用いて計測をしている が,試験体の規格半径はノギスを用いて計測してい る。そのため,計測誤差が含まれていることが考え られ,その計測誤差によって解析精度が落ちている と考えられる。



6. 結論

本研究を通して得られた結論を以下に示す。

- (1) 形状初期不整計測データを適用した解析を行 うことにより,径厚比 R/H の小さい厚肉の試験 体に関しては座屈挙動をシミュレートするこ とができた。
- (2) R/Hの大きい薄肉の試験体に関しては,座屈荷 重,座屈形状を解析によって正確にシミュレー トすることが困難であった。
- (3) 径厚比の大きな薄肉円筒シェルの場合,形状初期不整の影響が極めて大きく,解析を正確に行うにはさらに高精度に初期不整を計測する必要があると考えられる。

参考文献

 R. Degenhardt : Probabilistic approach for better buckling knock-down factors of CFRP cylindrical shells

 tests and analyses , 18th Engineering Mechanics Division Conference (EMD2007)