

薄肉円筒シェルの弾塑性解析

大阪工業大学 正員 岡村宏一
 大阪工業大学 正員 ○重富誠一郎
 東洋技研コンサルタント 正員 石川一美

1. まえがき 本文では、面圧(等分布荷重)を受ける薄肉の部分円筒シェルの挙動を弾-塑性の両域にわたり若干の解析例によって論ずる。

さて、この種のシェルの座屈は、解析上たとえば図-1に示すような荷重-変位曲線によって分類される。すなわち、

- (a) 平板に近い浅いシェルの弾性大たわみ
- (b) 弾性飛移り座屈(弾性大たわみ解析)
- (c) 弾塑性座屈(弾塑性大たわみ解析)
- (d) 非対称座屈 (b)の一種であるが、特に初期不整による正対称に近い変形から非対称変形への急激な移行(弾性もしくは弾塑性大たわみ解析)

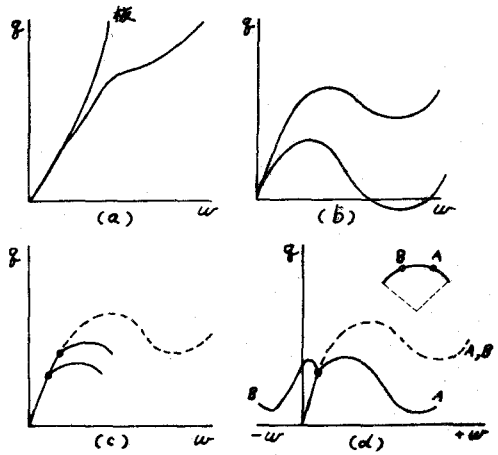


図-1

以上の現象は、シェルの板厚、深さ、辺長比、境界条件、降伏応力、初期不整などの影響を敏感に受ける。また比較的深いシェルの場合は、弾性飛移り座屈荷重の上限值における座屈波形が単純な形にならず、簡単な波形を設定した場合の議論をあいまいなものにする。さらに(b)の上限值以下の荷重で塑性化を生ずれば、局部的塑性化が急激に別な波形への移行をうながし、(c)の弾塑性座屈の形態になる。また初期不整(たとえば逆対称初期たわみ)が小さい間は、ほとんど正対称に近い波形で飛移り座屈を生ずるものでも、初期不整が大きくなるとより低い荷重で(d)の非対称座屈へ移行する。

構造解析、特に非線形問題の解析技術の進歩によって、変形に十分対応できるモデルを与え、慎重な計算を行えば、これらの現象を綿密に追跡することが可能になっているが、それぞれ現象の要因、あるいは相互関係を検討するには、現在なお資料が不足しているように思われる。

2 解法 すでに筆者の1人が発表した解法¹⁾²⁾による。なお、この解法は平板にも併用できるが、部分円筒シェルの場合、浅いものに限定されることはなく、深いものにも十分適用できる高精度のものである。

3 解析例

3.1. 解析条件: 境界条件は面内、面外の挙動に対して単純支持とする。すなわち図-2を参照して、 x, s, z 方向の変位を u, v, w とするとき

1), 2) 岡村: 薄肉円筒 および平板の弾塑性解析に併用の一般解法, 土木学会(関西支部, 年次大会)講演集要, 1974

$x=0$, a で $(M_x, N_x, v, w) = 0$
 $S=0$, b で $(M_s, N_s, u, w) = 0$

面圧は同図に示すように、半径方向に作用する等分布荷重(γ)である。また本文のデータはすべて頂角 $\alpha = \pi/2$ の比較的深いシェルのものである。

弾性定数は鋼材のもので ($E = 2.1 \times 10^6$ kg/cm^2 , $\nu = 0.3$) 板厚比, 辺長比, 初期たわみ (非対称座屈への移行を調べるときに S 方向に逆対称形に入れた。) 降伏応力は表に示すとおりである。

以上合計16のデータの範囲で前述の挙動を論ずる。

3.2. 弾性非対称座屈: 正対称変形を仮定した場合のデータを図-3に示す。シェルの場合, 平板と異なり, 各点の荷重-変位曲線は複雑な形になるが, 本解析では, 非対称の上, 下限値とともに十分に追跡されている。本例の場合, 大たわみ解析による座屈荷重の上限値における座屈波形は頂部近傍で反転する傾向をもつ特殊な形になっている。また当然のことながら, 板厚比, 辺長比が座屈荷重の上, 下限値におよぼす影響は著しい。

3.3. 弾塑性座屈: 材料の降伏点として, 3000 kg/cm^2 , 4600 kg/cm^2 の2つものものを考えた場合の解析結果を図-4に示す。図にみるように条件によっては3.2の上限値より相当に低い荷重で弾性限界に到達している。局部的塑性化を生ずると, 同図(e)に見るように急激に別の波形に移行し, 同図(f)のような snap action を生ずるに至る。弾性限界に到達してから崩壊に至るまでの荷重の増加率は

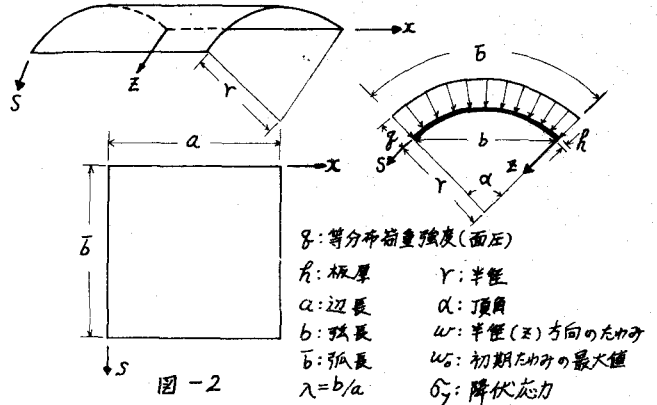


図-2

I. 正対称弾性大たわみ解析

	r/r	λ	
I-1	0.01	1.0	* $w_0=0$
I-2	0.01	0.5	
I-3	0.02	1.0	
I-4	0.02	0.5	

II. 正対称弾塑性大たわみ解析

	r/r	λ	σ_y (kg/cm^2)
II-1	0.01	1.0	3000
II-2	0.01	1.0	4600
II-3	0.01	0.5	3000
II-4	0.01	0.5	4600
II-5	0.02	1.0	3000
II-6	0.02	1.0	4600
II-7	0.02	0.5	3000
II-8	0.02	0.5	4600

III. 非対称解析

	r/r	λ	w_0
III-1	0.02	1.0	0.1 r
III-2	0.02	1.0	0.5 r
III-3	0.02	0.5	0.1 r
III-4	0.02	0.5	0.5 r

* $w_0 = w_0 \sin \frac{\pi}{2} x \sin \frac{2\pi}{b} S$

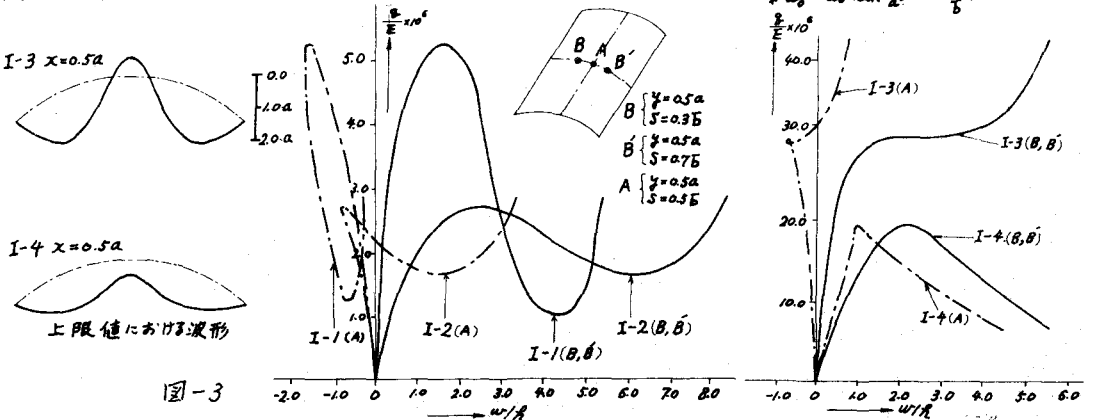


図-3

条件によって異なると考えられるが、本例の範囲では板厚の影響を顕著に受ける。

3.4. 非対称座屈:

図-5を参照して、最大値 $w_0 = \frac{R}{10}$ の S 方向に逆対称な初期たわみを与えた場合、本解析の範囲では、非対称座屈への移行は生じないか、あるいは生じても3.2の上限值とほぼ同等の座屈荷重を示した。しかし $w_0 = \frac{R}{2}$ の場合には85%程度の荷重で急激な非対称な移り座屈を生じた。

4. あとがき 本例のような比較的深い部分円筒シェルの場合には、特に塑性化による剛性の低下、また非対称座屈への移行による座屈荷重の低下を生ずることがうかがわれ、解析上、現実的な配慮が必要になると思われる。現在、頂角、板厚、辺長比、各種初期たわみ(正対称のものを含む)をより広範囲に変化させてデータを採取することを考えており、機会があれば報告したい。

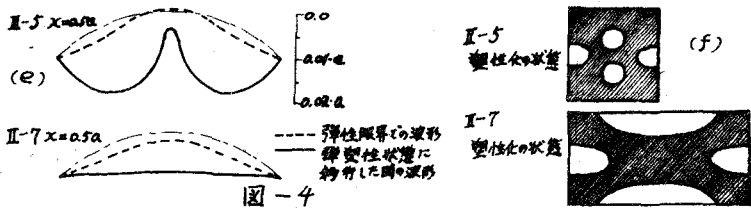
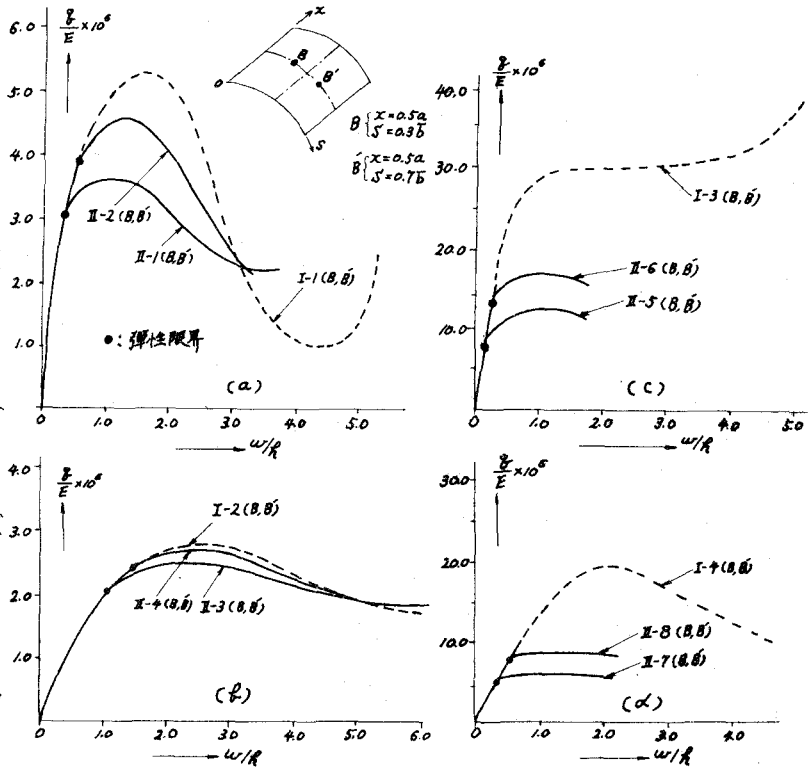
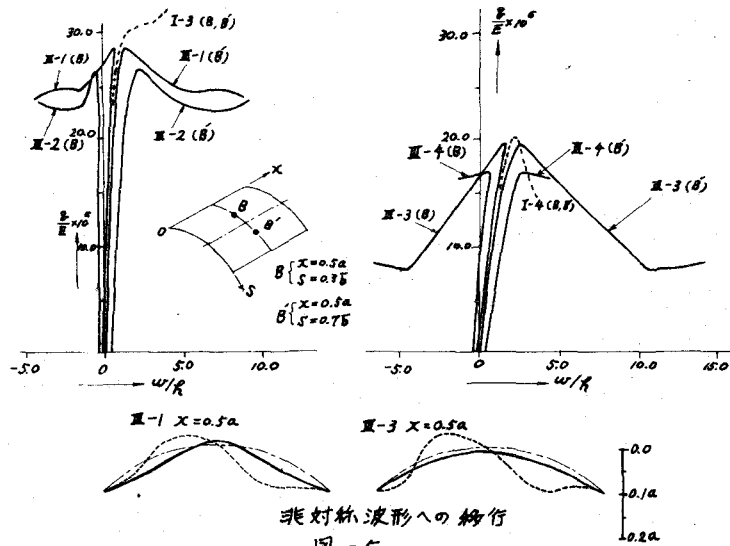


図-4



非対称波形への移行
図-5