

# Mech D & A News

Mechanical Design & Analysis Co.  
October 2002

Globalization and Human Security Weatherhead Policy Forum  
Columbia University: 27 March 2002 Sadako Ogata In the decade  
following the end of the Cold War, the world has been shaped  
mostly from inter-state conflicts. Insecurity became largely  
insecurity became largely from inter-state conflicts and political groups  
and political groups vied for resources with vengeance. On the  
resources with vengeance. On the other hand, was short-lived. Myriads of these  
other hand, was short-lived. Myriads of these conflicts were determined  
myriads of these conflicts were determined by economic units. Missiles  
determined by economic units. Missiles launched from space led to  
launched from space led to destruction but not direct conflicts. Moreover,  
destruction but not direct conflicts. Moreover, globalization has added  
globalization has added conflict and terrorism to the mix. It has  
conflict and terrorism to the mix. It has made it harder to find  
made it harder to find a better world for work, and a better world  
a better world for work, and a better world for growth in the difficult  
growth in the difficult advancement in transportation. The flow of  
advancement in transportation. The flow of financial capital, people  
financial capital, people and contacts is desirable, lawful and



...ome unfathomable. The  
all over the world is  
ories of the September  
ng realities of net-  
balizing world. Those  
r angered by what they  
ty and inequity, have  
elves together. The  
nternational terrorist  
ts the new threatening  
states face difficult  
re control measures or  
vide range of serious  
missioner for Refugees  
f the Cold War. I was  
enge to cope with the  
is of people forced to  
dominated by internal  
rs and become refugees  
on, many more were  
internally displaced and received no protection from their  
states. Many others were left at the mercy of violence and  
disorder. The mixture of refugees and internally displaced,

緒方 貞子, 2002年

【特集】 陰解法と陽解法による

非線形構造解析の実際

## 【1】はじめに

今日、陰解法と陽解法による非線形ソフトウェアは、いずれも十分な信頼性と実用性を備えて市場に提供されている。最近ではハードウェアの低価格化という追い風を得て、普及と呼ぶに足る台数が国内には出回っていると考えられる。しかしながら非線形の問題は、本来、重ね合わせができない、経路依存性がある、解の唯一性あるいは存在の保証がないといった本質的な困難を抱えている。従来の設計法は、これらの困難が露呈しないように、すなわち不確定な現象の深追いを巧妙に避けながら発達してきた経緯があるために、設計の現場には非線形解析の導入を容易には許さない土壤が既にできあがっている。

実際、弾性論や振動論のように線形的な議論を深めることができる領域では、既に余す所なく研究は尽くされたかに見える。しかし非線形性がややもすると頭をもたげてくるような領域、例えば破壊力学や粘弾性学は80年代にピークを迎えた後、その後の研究者の意欲は必ずしも一様ではない。多くの異論はあるが、実験的な困難に加え、解析ツールの未成熟、ひいては実用設計への遠い道のりが、これらの分野から多くの研究者の足を遠ざけたとすることができる。

2000年代に入り、ハード・ソフト共に非線形に立ち向かう道具がようやく整備されたにもかかわらず、これら基礎工学との足並みの乱れが、非線形解析に従事する者に漠然とした不安感を抱かしめる本質的な原因となっている。一方、最近の設計合理化に対する過度の要求は、非線形解析に対する過剰な期待を育み、これも、より直接的な不安を募らせる要因となっている。従って、いかに最近の非線形解析の市場が開発されたかに見えようと、解析に対する意欲と不安が表裏一体となっていることが少なくないために、多くの害がもたらされる。以下の解析例などが、これらの不安を軽減する一助となれば幸いである。

## 【2】陰解法と陽解法

近代の産業は、幾多の盛衰を経て現在に至っている。国内で見れば、60年代は繊維、80年代は原子力、2000年代は自動車が世の先端を担ってきた。それぞれの時代、例えば繊維の時代は材料力学の理論によって、また原子力の時代は陰解法FEMによって、そして自動車の時代は陽解法FEMによって解析の分野は支えられてきたとすることができる。

例えば自動車の場合、自動車が先であったか陽解法が先であったかは判然としないが、少なくとも陽解法によってもたらされる恵みが自動車設計の技術を著しく向上させたことは紛れもない事実である。同様に、陰解法FEMが原子力プラントの実用化において最も重要なキーであったことも紛れもない事実である。しかしだからといって、FEMが設計の全てではなく、陽解法や陰解法、また理論的解法が、それぞれ互いの代替をなすものではないことも、紛れもない事実である。

設計の合理化は、その一面において設計思想の持つ抽象性を許さず、ケースバイケースの対応を要求する性質を持っている。例えばFEMは実用面での応用性に優れるが故に合理化に貢献すると言われている。しかし反面、形状・材料・荷重などの条件を、個々のケースに対して明確化することでFEMの実用性は維持されるのであるから、ややもすると設計思想が目指す抽象化の方向性とは逆になる。

FEMの導入初期においては、このような見識を持つ技術者は決して稀ではなかった<sup>(1)</sup>。まして陽解法である。常に慣性力の呪縛の下で解析しなければならない。時間という一過性の単位が支配する動画の中では、製品を注視することは難しい。動画は動画として、静止画は静止画として、抽象画は抽象画として使い分ける器量と分別が要求される。

## 【3】陽解法を正しく使うために

古典に属するが、ティモシェンコとヤングは応用力学に関する著書の序文において、力学一般の解法は次の3つの段階から成るとしている<sup>(2)</sup>。

(1)複雑な問題を、代数学的あるいは幾何学的に表現できるような理想的な場に帰着させる。

(2)この純粋に数学的な問題を解く。

(3)物理的な立場からこの解を説明する。

これらの過程において、(2)の数学的なステップだけに傾注する結果、問題の本質を見逃す学生が大半であると彼等は指摘している。しかし同時に(2)のステップの意義は「次元を理解すること」および「極限の解を知ること」にあるとしており、この非凡な指摘は今でも耳に新しい。FEMの利用において欠落するのも、正にこれらの点である。

今回は陽解法の利用が拡大しつつある状況を踏まえ、陰解法との比較から、その適切な使い分けについて検討するものとした。陽解法の活躍の場は、座屈のような大変形と衝撃が組み合わされた場であろう。このような場を支配する要因の代表的なものについて、まず基礎的な解析例を以下に示す。

### 3.1 剛体運動の表現

衝突問題は、物体の持っている剛体的な運動エネルギーが、衝撃によって物体内の振動エネルギー、すなわち物体そのものの剛性が関与する運動に転じ、やがて減衰によって消散してゆく過程である。これを明らかにするには、まず並進と回転からなる剛体運動が適切に表現されることが必要である。先のティモシェンコとヤングの著書<sup>(2)</sup>には、衝撃によってもたらされる剛体運動の突然の変化に対する解の例が与えられている。Fig.1にその中の代表的な問題を示す。

長さ  $l$ 、重さ  $W$  の細い角棒 AB が回転せずに傾いた状態で垂直に落下するものとする。端 A がなめらかな水平面に衝突したとき、棒の重心 C が速度  $v_c$  をもっているならば、衝突直後の棒の運動はどのようなか。ただし A 点ではね返りはないものと仮定する。衝突直前、棒は並進運動だけを行うので、A 点まわりのその角運動量は、次式のようにになる。

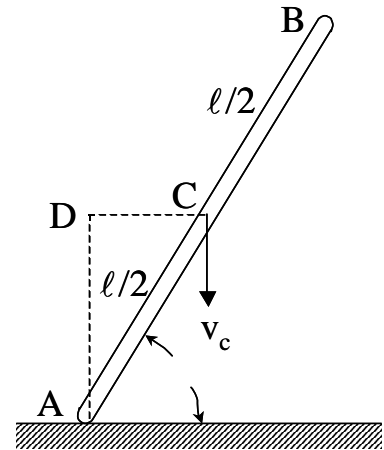


Fig.1 棒の衝突問題

$$H_a = \frac{W}{g} \frac{v_c l}{2} \cos \alpha \quad \dots\dots(1)$$

A 点における衝撃力は摩擦がなく垂直であるので、C 点は衝突後は新しい速度  $v_c'$  でもって垂直運動を続ける。また点 A は水平に移動し、その結果、棒はある角速度  $\omega'$  を必要とする。これらを踏まえると、衝突直後の A 点まわりの棒の角運動量は(2)式ようになる。(1)式と(2)式を等置して衝突後の速度  $v_c'$  を求める。このとき、C 点が鉛直、A 点が水平に運動することから、図中の D 点が衝突後の回転の瞬間中心となることがわかる。結果だけを示すと、(3)式が得られる。

$$H_a' = \frac{W}{g} \frac{v_c' l}{2} \cos \alpha + \frac{W}{g} \frac{l^2}{12} \omega' \quad \dots\dots(2) \quad v_c' = 3v_c \frac{\cos^2 \alpha}{1 + 3\cos^2 \alpha} \quad \dots\dots(3)$$

Fig.2にLS-DYNAによる解析結果を示す。(3)式の解と一致する結果が得られた。壁からのね返りが考慮されていないので、この解が衝突問題に直接有用であるわけではないが、電機製品の落下衝撃などの問題において、最初の衝撃の後に生ずる姿勢の変化、更にその後に生ずる2次衝突の予測に対して、検証の一環となり得る。

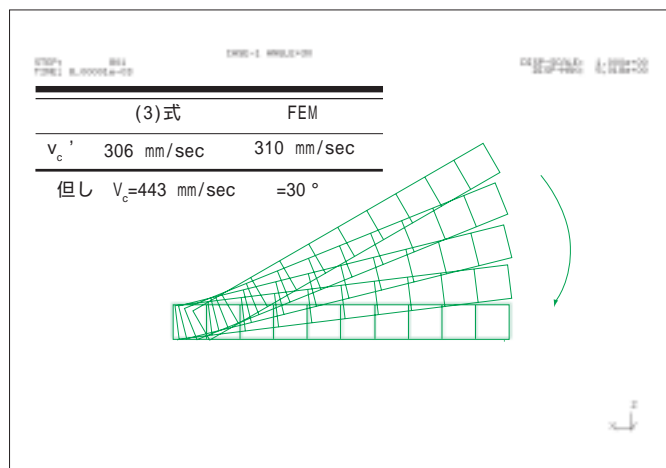


Fig.2 棒の衝突問題 (LS-DYNA)



- (1) 圧縮の当初は、壁面との摩擦により軸対称のモードが出現する。その結果は、Gerardの解<sup>(4)</sup>で説明できる。
- (2) 続いて現れる非軸対称のモードの形状と座屈荷重はFlügge の解で説明できる。
- (3) (2)の理論解で予測される変形モードに見合う初期不整を与えると、モードの再現性は確保できる。誤った初期不整を与えると、変形の途中でモードが変化するなど、不安定な結果となる。
- (4) 薄肉の場合は、断面が楕円につぶれる屈曲のモードによって座屈荷重が極端(軸対称モードの3/5)に下がるおそれをティモシェンコは指摘しており、それを裏付ける結論となった。

すなわち、一見まとまりのない結果も、弾性座屈理論の適用によって解釈が可能となる。単にLS-DYNAを適用しただけでは、有意な結論を導くことは難しく、実験や理論の裏づけによって初めてFEMの価値は高まる。

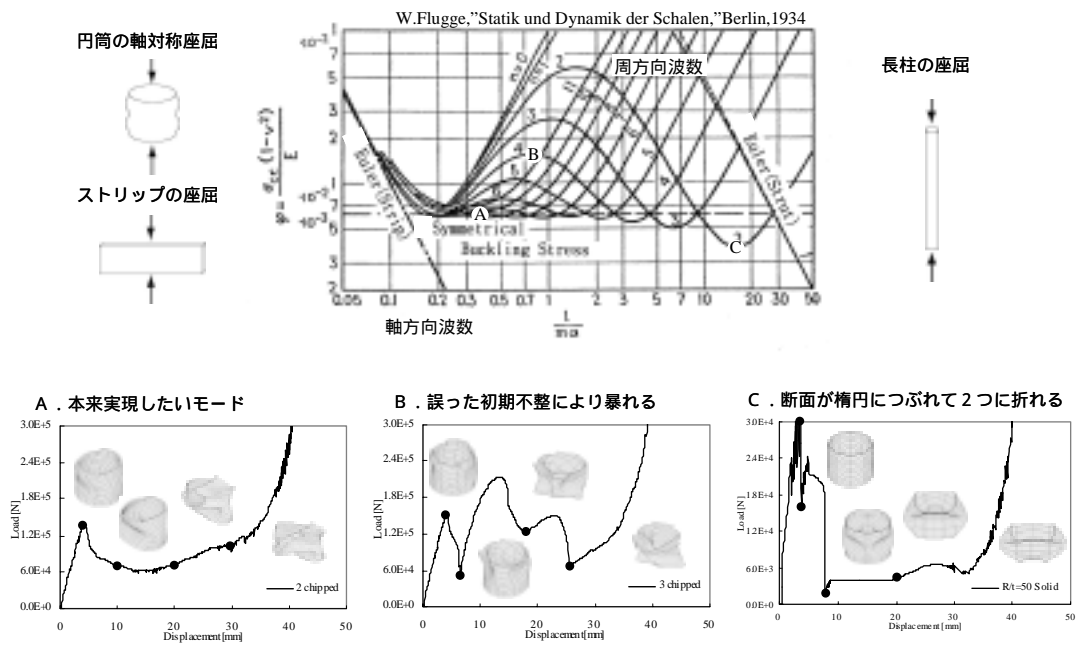


Fig.5 中空円筒の軸方向圧縮

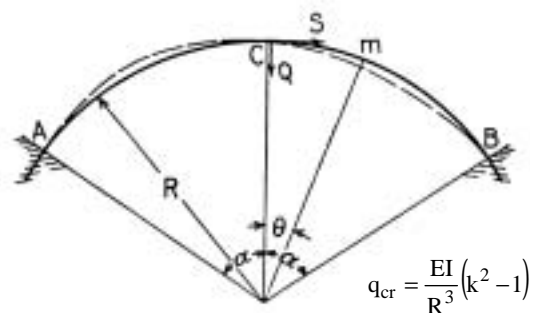
## 【4】 解析例1 円弧アーチの外圧座屈

### 4.1 静的解析

次にFig.6に示すような両端を固定された円弧アーチの外圧座屈を扱ってみる。この問題は既に綿密な解が与えられており、Fig.6の破線に示すような非対称形状の分岐モードが得られることが知られている<sup>(4)</sup>。この問題を以下の条件で解析した。

$$\begin{aligned}
 E &= 1 \text{ kg/mm}^2 & &= 0 \\
 R &= 100 \text{ mm} & &= 30^\circ \\
 1\text{mm} \times 1\text{mm} \text{ 断面} & l=bh^3/12=0.0833 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

座屈固有値はFig.6にある式を用いて、 $q_{cr}=6.11 \times 10^{-6}\text{kg/mm}^2$ となる。モデル化には厚肉シェル要素を適用し、弧長法による荷重増分解析を行った。上に示した座屈固有値は非対称形状の分岐点に相当するものであり、初期不整がない理想的な条件では、アーチは対称に変形する極限点まで耐えるはずである。これを以下の3つの条件で解析した。



$$q_{cr} = \frac{EI}{R^3} (k^2 - 1)$$

	30°	60°	90°	120°	150°	180°
k	8.621	4.375	3.000	2.364	2.066	2.000

Fig.6 円弧アーチの外圧座屈

Case1: 初期不整を与えず、極限点を見出す。

Case2: 固有モードと相似なごく僅かな初期不整を与え、分岐させる。

(初期不整をsin形状とし、真円との差がアーチの肉厚の $1 \times 10^{-3}$ )

Case3: より大きな初期不整を与える。(同じく $1 \times 10^0$ )

Fig.7に、得られた変形の履歴を示す。Case1では対称に、Case2では非対称に変形形状が推移することがわかる。Fig.8は荷重-変位曲線を示す。Case2の座屈点は、上記に示したティモシェンコの理論解にほぼ一致する。またCase3では座屈点が大幅に低下する。解析的にはCase1、Case2はきわめて不安定であり、MarcのAuto Increment機能を用いて約2000ステップの解析となっている。不用意に解析すると、数値誤差が不整となってさまざまな径路が出現し、これらの間を規則性なく行き来するような結果となった。

なお、ABAQUS、Marcには分岐点を直接探査する機能はないので、初期不整を与えることで分岐点を極限点に変え、近似的に分岐径路への導入を図っている点に注意しなければならない。

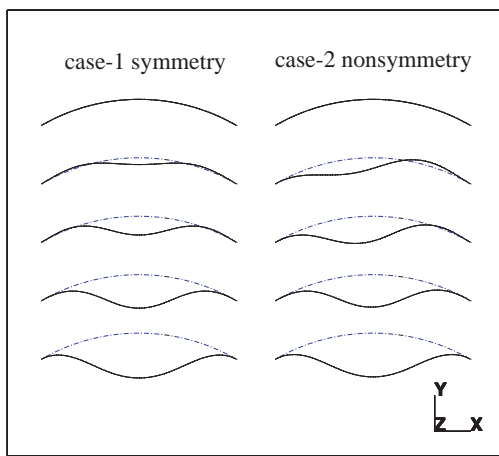


Fig.7 変形の履歴 (静的)

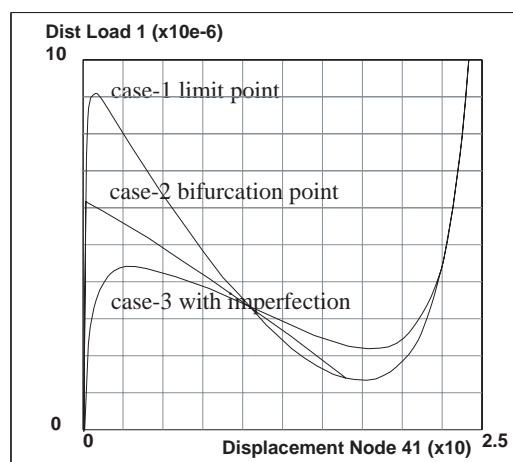


Fig.8 荷重 - 変位曲線 (静的)

## 4.2 固有振動解析

次に、この問題を動的に解析するにあたり、まず固有振動モードを検討した。アーチの密度は以下の通りとした。

$$= \rho/g = 1 \times 10^{-10} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{mm}^4 \text{ (比重1相当)}$$

Fig.9に外圧を徐々に加えながら固有振動モードを求めた結果を示す。分岐点以下の荷重条件下では、1次モードは非対称な形状となる。外圧によってアーチには圧縮の膜応力がもたらされるので、無負荷に比べて分岐点直前での固有振動数は低下することがわかる。分岐点を上回り極限点までの領域では、分岐前に1次であった非対称のモードは消失し、今まで2次であった対称のモードが代わって1次となる。なお、以上のようなモード形状の現れ方は、座屈固有値を求めた場合と同一であることを確認している。

## 4.3 動的解析

次に、固有振動解析で使用したモデルに、直線的に増加する外圧を与え、LS-DYNAにより時刻歴応答を解析した。今回のモデルの極限点の外圧はFig.8のCase1に示すように約 $9 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2$ である。また極限点付近での固有振動数はFig.9の対称形状の1次に示すように11.4Hz、すなわち固有周期にしておよそ0.1secの特性を有している。そこでこれらの数値を丸め、以下のように緩急2ケースの荷重载荷の条件について検討した。

$$\text{Case1 緩载荷: } \dot{p} = \frac{1 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^2}{0.1 \text{ sec}} \times \frac{1}{100} = 1 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2 \text{ sec}$$

$$\text{Case2 急载荷: } \dot{p} = \frac{1 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^2}{0.1 \text{ sec}} = 1 \times 10^{-4} \text{ kg/mm}^2 \text{ sec}$$






	非対称形状	対称形状
無負荷 ( $p=0$ )	2次 24.8Hz 	2次 45.6Hz 
分岐点直前 ( $p=6E-6$ )	1次 4.9Hz 	2次 29.3Hz 
極限点直前 ( $p=9E-6$ )	存在せず	1次 11.4Hz 

Fig.9 外圧を受ける円弧アーチの固有振動モード

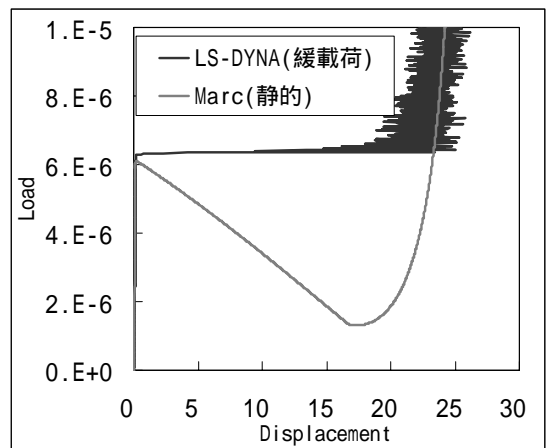
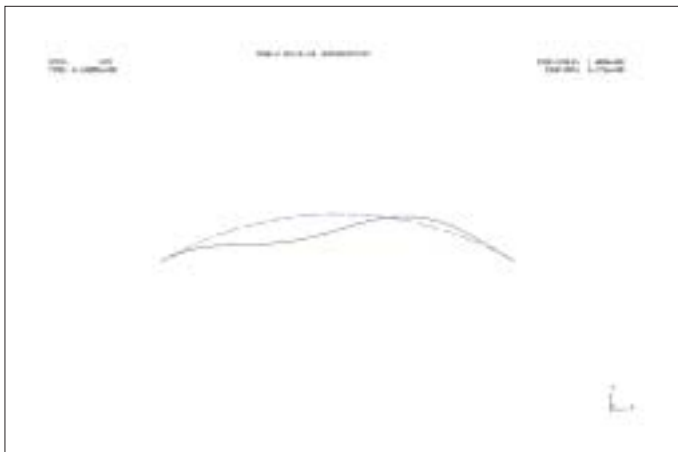


Fig.10 Case1 緩载荷 (動的)

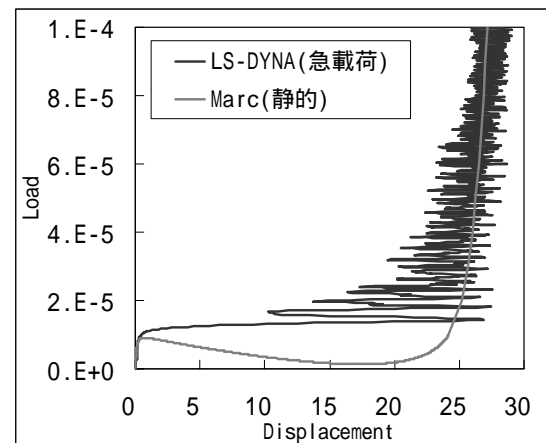
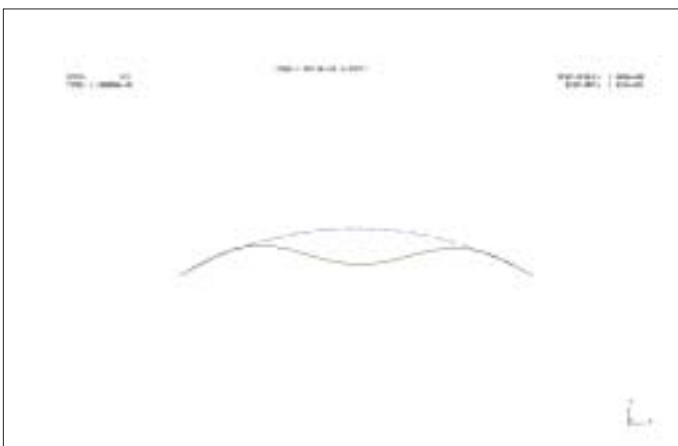


Fig.11 Case2 急载荷 (動的)

Fig. 10はCase1緩载荷の結果である。アーチの固有周期に比べ十分に長い時間で载荷しているため、アーチは静的な状態で最も出現しがちな非対称なモードで飛び移り座屈を生じていることがわかる。この解析に使用したモデルは初期不整を与えていないが、動的な载荷によって非対称なモードに分岐した結果と考えられる。

Fig. 11はCase2急载荷の結果である。アーチの固有周期と同程度の時間で载荷すると、慣性の効果によってアーチの変位応答が遅れ、この結果、静的な極限点よりも20%程度高い荷重で飛び移り座屈が生ずることがわかる。またアーチが反転した後も変位の振動が持続することがわかる。このような慣性力によるオーバシュートの効果は、柱材の圧縮座屈に対してティモシェンコの解説があるので参照されたい<sup>(4)</sup>。

日頃慣れ親しんだ常識によれば、アーチの座屈荷重は初期不整によって大幅に低下する。準静的な载荷の場合には、このような理解は正しい。しかし動的な载荷の場合には、多少の初期不整があっても静的な極限荷重を大きく上回るまで座屈しないことがあるので注意が必要である。

## 【5】 解析例2 薄肉円管の曲げ座屈

### 5.1 弾塑性材料

薄肉円管に曲げを与えると、断面が扁平化し、屈服座屈を生ずる。この種の課題は、古くは曲げ鋼管の成形限界、最近では自動車ドア外縁の曲げRに沿わせるウェザーストリップと呼ばれるシール材などにおいて実用的な価値がある。今回は単純な円管の両端をつかみ、回転角変位あるいはモーメントを与えた。軸方向の並進変位は成行きである。解析条件は以下の通りである。材料としては概ね樹脂材料を想定した。

直径	30mm	縦弾性係数	150 kg/mm <sup>2</sup>
肉厚	1.5mm	ポアソン比	0.4
長さ	400mm	降伏応力	0.2 kg/mm <sup>2</sup>
		密度	$1 \times 10^{-10}$ kg・sec <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup>

これを以下の手法で解析した。

Case1	ABAQUS	弧長法
Case2	ABAQUS	人工粘性
Case3	LS-DYNA	緩载荷 (20 rad/sec)
Case4	LS-DYNA	急载荷 (200 rad/sec)

Case1 ABAQUS 弧長法は、最もオーソドックスな解法であろう。Fig. 12に端部に加えた曲げモーメントと角変位の関係を示す。座屈開始直後に変位が戻りながら荷重が失われるのが特徴である。曲げ座屈では、断面が扁平化して高さが減少すると断面2次モーメントが減少するので、荷重は一気に失われる。同時に、曲げモーメントの減少は、曲げひずみの減少でもあるので、角変位の戻りを伴う座屈挙動となる。

Case2 ABAQUS 人工粘性の結果をFig. 13に示す。この機能は、ABAQUSに最近加わったもので、解析の安定化を目的としている。座屈や材料の軟化などの現象によって構造物の剛性が失われるとき、それが構造物の巨視的な変形モードの中で現れるのであれば、弧長法による解析が有効である。しかし、局所的な変形の中で現れると、全体の荷重-変位関係の中では、埋没して見えなくなることがあり得る。

例えば、柔らかくて薄い膜を弛緩させて、無数のしわが寄るような状態がこれに相当する。このような問題では、同じ荷重値に対して無数に座屈モードがあり、メッシュを細分化すれば、限りなく新たな座屈モードが現れるような状況になる。ABAQUSの弧長法は、3次元問題を含めて、非常に強靱な解を与えるが、少なくとも全体の荷重-変位関係に差異が現れる程度に座屈モードの特異性がなければ、弧長法によって径路を誘導することは難しい。

そこで、便宜的に時間増分を与えることによって履歴中の節点速度を監視し、速度に比例する粘性力をモデルに加えるように

したのが人工粘性の機能である。剛性の喪失は急激な変位の発生をもたらして解析を不安定にする。従って、人工粘性の機能、すなわち急激に増大する速度を制御する機能は、不安定性の解消に対して非常に効果がある。しかし私見ではあるが、この種の機能は非線形問題の解法を容易にしようとするあまり、現象の難しさやその出現の不確定性を覆い隠してしまうことが少なくない。陰解法FEMは厳密なエネルギーバランスの下に解析を進めるため、強靱さの面では陽解法FEMに一步を譲る。しかし繊細であるが故に本質に切り込む鋭利さがもたらされるのであるから、人工粘性のような機能の使用に対しては慎重であるべきではないだろうか。今後の展開を待ちたい。

Fig. 13に示す弾塑性の例では、塑性ひずみによってエネルギーが消散するので、人工粘性を用いるよりは、弧長法で丁寧に解析するのが本来である。弧長法の場合は荷重制御で解析したが、人工粘性の場合は(座屈点以降で荷重を下げるができないので)変位制御で解析した。この結果、変位の戻りは生ずることなく、飛び移るように挙動していることがわかる。なお、人工粘性で消散したエネルギーは回復しないので、ABAQUSでは、エネルギーの推移をモニターし、この消散分が過大とならないように注意することが推奨されている。

Case3 LS-DYNA 緩载荷の結果をFig. 14に示す。現実の構造体は、剛性の喪失があっても材料本来の粘性と慣性力の効果があるために速度が発散してしまうことはない。従って、動的な問題として不安定現象を扱うことは決定的を外れたことではない。ここに示すように緩やかに载荷すると、先のCase2 ABAQUS 人工粘性の場合とほぼ同等の結果が得られた。

Case4 LS-DYNA 急载荷の結果をFig. 15に示す。急速な载荷によって、中央ではなく端に近い部分で屈服が現れた。現実の応答でも、これはありがちな結果であると思われる。材料のひずみ速度依存性の効果が加わると、挙動は更に千差万別になると考えられる。

## 5.2 ゴム材料

最後に、材料定数をゴムに改めて、同様の解析を行った。材料定数はOgdenの原論文<sup>(7)</sup>にある値を使用した。

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 1.3 & \mu_1 &= 6.3 \times 10^{-2} \text{ kg/mm}^2 \\ \mu_2 &= 5.0 & \mu_2 &= 0.012 \times 10^{-2} \text{ kg/mm}^2 \\ \mu_3 &= -2.0 & \mu_3 &= -0.1 \times 10^{-2} \text{ kg/mm}^2 \\ \text{密度} & & & 1 \times 10^{-10} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{mm}^4 \end{aligned}$$

弾塑性の場合と同様に、以下の4つの手法で解析した。

Case1	ABAQUS	弧長法
Case2	ABAQUS	人工粘性
Case3	LS-DYNA	緩载荷 (2 rad/sec)
Case4	LS-DYNA	急载荷 (20 rad/sec)

Case1 ABAQUS 弧長法の結果をFig16に示す。座屈点を越えた後、端部に近い2ヶ所が屈服し、角変位に大きな戻りが生じた時点でそれ以降の解が見出せなくなった。実際の現象では2つのくびれが軸方向の内向きに移動し、最終的に中央で合体して1つになるような挙動が観察される。これはゴム材料が弾性であるために、局所的な変形が生じたとしても、それはいつでも回復して別の变形モードに移行できるためである。このため、弾塑性のように変形が回復しない問題に比べると解析の難度ははるかに高い。弧長法による解析が途中で進行しなくなった原因は、その時点で複数の座屈モードが同時に検出された結果であると考えられる。

Case2 ABAQUS 人工粘性の結果をFig. 17に示す。人工粘性はこの種の課題において本来の有効性を発揮する機能である。しかし、以下に示すLS-DYNAの結果と見比べると、これもまた単なる座屈径路の1つを人工粘性の力を借りて曖昧に誘導したに過ぎず、高い見地からの工学的な判断が必要であると考えられる。

Fig. 18、Fig. 19にLS-DYNAの結果を示す。全体が扁平化する例、複数のくびれが生ずる例を示した。これ以外にも無数の解があり、系統的な結論を見出すには現状至らなかった。

【弾塑性材料による解析結果】

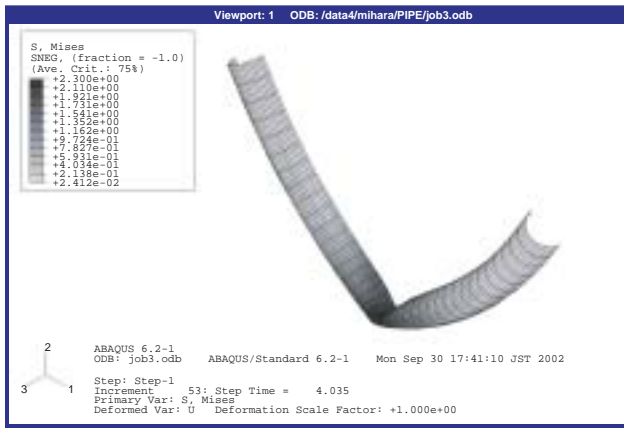


Fig.12 Case1 ABAQUS 弧長法

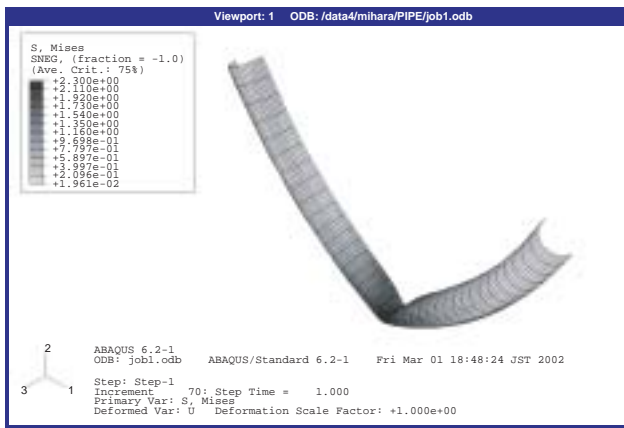
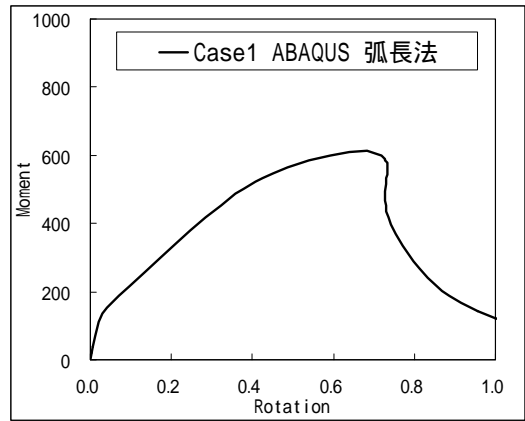


Fig.13 Case2 ABAQUS 人工粘性

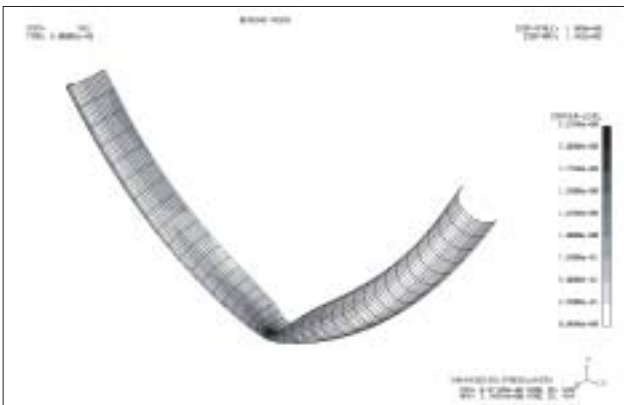
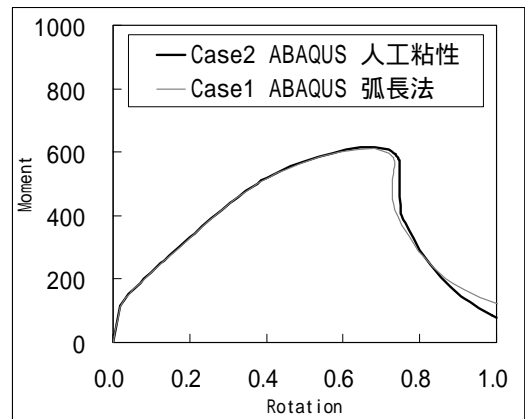


Fig.14 Case3 LS-DYNA 緩载荷

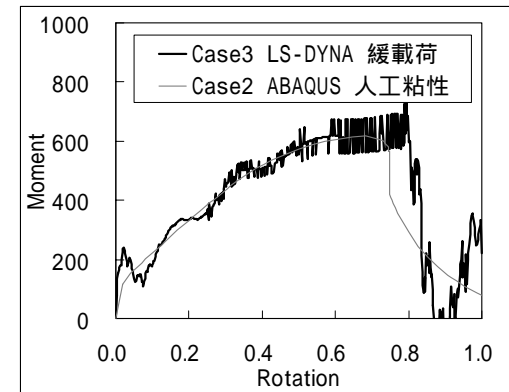
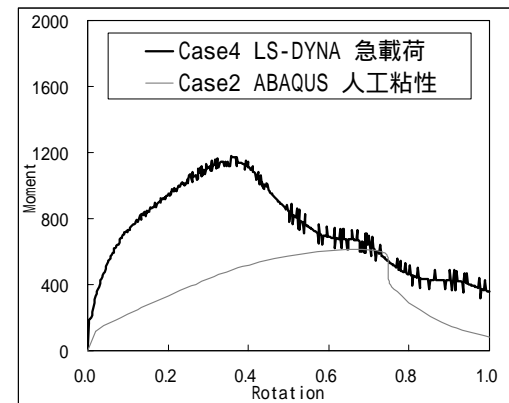


Fig.15 Case4 LS-DYNA 急载荷





### 謝辞

今回の検討を行うにあたり、慶應義塾大学・野口裕久教授に多くの御助言を頂いた。また陰解法と陽解法の比較において、解析上の成果よりはむしろ困難の例を示す結果となったが、これは株式会社日本総合研究所・川上浩氏の指摘に導かれたものである。弊社の力量の不足のため未解決の部分を多く残したが、このような方向性を与えられた姿勢に深く敬意を表す。また、円管の曲げ座屈の例題は、ヒビット・カールソン・アンド・ソレンセン・インク 金沢京子氏、豊田達三氏をはじめとする皆様の知見、およびミシガン大学・菊池昇教授の示唆に端を發したものである。日頃の御支援に厚く御礼を申し上げる。

### 参考文献

- (1) 浜田, 原子炉圧力容器の応力解析について, 日本機械学会誌, 72-604, p.587, 1969.
- (2) S.Timoshenko and D.H.Young, 渡辺・三浦訳, 応用力学・動力学編, 好学社, 1967.
- (3) 陰解法と陽解法による動的応答解析, Mech D&A News, vol.98-3, (株)メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス, 1998.
- (4) S.Timoshenko and J.M.Gere, 長谷川訳, 弾性安定の理論, 上・下, プレイン図書出版, 1974.
- (5) W. Flügge, Stresses in Shells, Springer-Verlag, 1960. (英語版)
- (6) 中空材料の塑性座屈問題, Mech D&A News, vol.2001-1, (株)メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス 2001.
- (7) R.W.Ogden, Non-linear Elastic Deformations, Dover Publications, 1997.

表紙 緒方貞子, ジュネーブ, 2002年4月26日, Jean-Marc Ferre, REUTERS.

Sadako Ogata, Globalization and Human Security, Weatherhead Policy Forum, Columbia University, 27 March 2002. <http://www.humansecurity-chs.org/doc/columbia.html>

# Mechanical Design & Analysis

[www.mech-da.co.jp](http://www.mech-da.co.jp)

株式会社メカニカル・デザイン・アンド・アナリシス  
〒182-0024 東京都調布市布田1-40-2アクシス調布2階  
TEL 0242-82-1539 FAX 0424-82-5106 comm@mech-da.co.jp