

322 CAE による熱交換器における配管振動解析

Dynamic Analysis of a pipe in the heat exchanger system by way of CAE

正 藤野 充平 (日本工業大学 情報技術センター)

Michihira FUJINO, Nippon Institute of Technology, Miyashiro, Saitama, 345-8501

Key Words: CAD/CAE, Finite Element Analysis, Oscillation, Dynamic Analysis, Frequency response, Mechanical Engineering Educations**1. CAD/CAE 活用の重要性**

製造業における製品のハイグレード化、コスト削減および設計の納期短縮の要求が課題となり、CAD/CAE の活用が避けて通れなくなってきた。

CAD/CAE を活用すれば、設計者が頭に描いている形状を設計図面に表わして、試作品を製作して試験するという従来の手順を踏むことなく、試験を行うのと同レベルの検証をコンピュータ上でシミュレートすることが可能となるからである。このため、CAD/CAE の重要性が認識され、各企業においても社内教育が行われている^{1,2)}。

CAD/CAE の重要性に伴い製造現場では、すでに、2次元CADから、3次元CADをもとにして各種の解析を実行するという手法に変わってきている。また、以前は、設計者とは別に専任の技術者がいたが、現在では、設計者が3次元CAD/CAEを扱うことが全社的に必須条件になってきた。

2. CAE 教育での課題

このような背景から、大学などの教育機関では、計算原理はもとより、CAD/CAE を取り扱うノウハウも教えるようになってきている。また、製造現場での実践に近い例が大学の教育用の教材として使用されるようになってきた。さらに、計算結果と実際に使用されている設計値を比較して、結果を詳細に検証することも行われるようになってきている。このことは、CAD/CAE を活用していく上で、将来、現場で必ず遭遇する問題点を克服するノウハウを身につけることになる。

筆者は大学において、研究、教育でCAD/CAEを利用する立場にあるが、これらの経験から、CAE教育に関しては、下記のような項目が課題であると考えている。

1. 計算結果が妥当なものかどうかを見極める技術センスを養う。
2. どのような優れたソフトウェアを用いても、入力データの精度が悪いと計算結果も精度が低下する。このように計算結果も計算方法によって誤差が生じる。
3. CAEによる計算結果はあくまでも仮想空間の世界での値であって、できるだけ実験値と比較することが必要である。

3. 蓄熱機器における配管振動解析

蓄熱機器における配管振動解析を例にとって、CAE教育の課題を述べる。

産業用機器の配管振動には、加振源となる回転機器などによる配管各部の励振現象と運転周波数とが一致して起こる共振現象がある。これらの現象を考慮して配管を設計することが必要になるため、振動解析では固有振動数と動的評価が重要である。配管設計の場合、最近ではCAD/CAEシステムを用いて設計する場合が多い。

固有振動数の評価は、機器の振動を増幅させないようにするためだけでなく、生産時点での製品のバラツキ評価としても適応される。配管の固有振動数の評価では、実機の測定値と計算値を比較することがよく行われる。

運転時の振動の動的評価は共振現象を起こさないようにするため、振動伝達特性を周波数応答として把握する必要がある。

3.1 配管の固有振動数計算

解析対象は蓄熱機の接続配管である。蓄熱機プラントを3次元CADによってモデル化した(図1)。寸法は約4.5m×3m×2.5mである。この機器には複雑に配管が配置されているが、このうちの振動の影響を受ける部分の配管に関して振動解析を実施した。配管をCAD/CAE(I-DEAS)を用いてモデル化し、有限要素法によって計算したものである。図2に解析対象となる接続部分の配管モデルを示す。

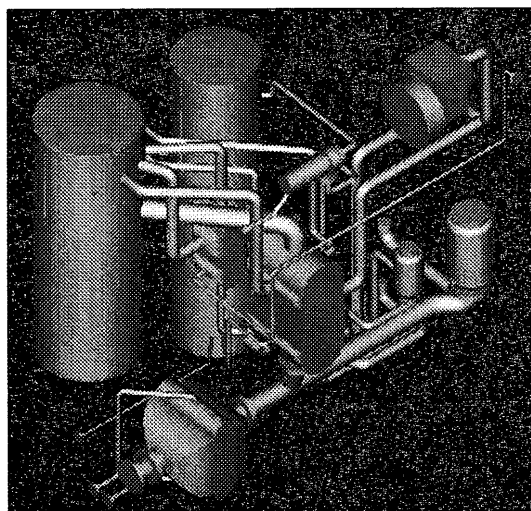


図1 蓄熱機器全体図

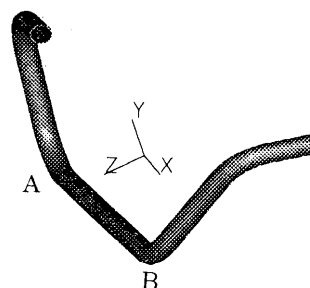


図2 接続配管モデル

配管材料は銅で、寸法は 280mm×100mm×105mm、外径 12.7mm、厚さ 1.2mm である。図 2 に示した接続配管の両端を固定した場合の固有振動数を計算した。4 角形シェル要素と 4 面体ソリッド要素を用いて、各々 1 次要素と 2 次要素について計算し、計算には Lanczos 法を採用した。表 1 に要素の種類とモード次数を変化させた場合の固有振動数を示す。これらの計算結果を実験値³⁾と比較した。

計算結果では、2 次のシェル要素による計算結果を基準として、1 次のシェル要素では全モードの場合 0.1～0.5% 低く、1 次ソリッド要素では 3～4%、2 次ソリッド要素でも 7～8% 低くなる傾向が見られた。実験値と比較すると、ソリッドモデルよりもシェルモデルのほうが高精度で計算されていることがわかる。シェル要素では、ソリッド要素の約 10 分の 1 程度の要素数、節点数ですむ。このため、薄い板状の立体を含む場合には、シェル要素を用いると、離散化を行う時のマトリックスが小さくなるため、計算時間も短くなり、シェル要素の計算効率が高くなる。

ここで、1 次モードの振動では、X 軸周りに回転する振動で、2 次モードでは X 軸方向の振動である。また、3 次モードは曲がり部分が Z 軸方向に振動するモードである。これらの振動パターンは要素の種類を変化させても変わらない。

3.2 応答解析

蓄熱機器の運転中では、プラント全体が振動して、接続配管に強制振動が加わる。図 2 に示した接続配管の固定両端に 1 G の加速度を Y 軸方向に周期的にかけた場合、すなわち

$$A = A_0 \cos(\omega t); A_0 = 9.8 \times 10^3 (\text{mm/s}^2) \quad (1)$$

(t: 時間、 ω : 角振動数、 $\omega = 2\pi f$ 、f: 周波数)

を両端に、Y 軸方向に加振する場合の応答を計算した。CAE ソフト (I-DEAS) で、固有振動数とともに固有振動モードを計算し、モード解析法によって、周波数応答を計算したもので、この計算ではシェルの 2 次要素を用いた。また、系全体の粘性による減衰比を 3% とした。

配管の 2 箇所曲がり部における加速度振幅の周波数特性を図 3 に示す。各々の固有振動周波数において共振のために、加速度振幅が大きくなっている。特に、A 点では、2 次モードの 296Hz 付近で、X および Y 軸方向の振幅が加振振幅の約 6 倍になっていることがわかる。B 点では、2 次モードの Y 軸方向の振幅が A 点の場合に比べて、減少した。このように、共振現象は配管の場所によって変化し、また、加振される振動の方向などによって変化する。

機器を運転する場合、運転周波数と配管の固有振動数が一致しないようにするのが望ましいが、機器の運転条件などによって、運転周波数と配管の固有振動数が $\pm 5\text{Hz}$ 以上離れることが望ましいとする場合や、経験上、固有振動数の 10% 以上離れることが望ましいとする場合などプラントの性格上いろいろな場合があり、設計現場によって異なる。

4. まとめ

配管振動解析を例にとって、計算結果には実験と同じように誤差を生じることを述べた。計算誤差は入力パラメータや、選択する要素によって小さくでき、計算結果の精度が向上する。この点を学生に理解させることは CAE 教育の重要な課題であると考えられる。

また、計算結果はあくまでも、架空の結果であるため、できるだけ実験値と比較して、モデルの妥当性、計算方法を確かめる必要がある。

共鳴現象は場所、加振条件によって、変化することが分かる。このような物理現象を理解するためにも CAE 教育は大切な手段になる。

表 1 要素の種類による接続配管の固有振動数 (Hz)

モード	シェル 1 次	シェル 2 次	ソリッド 1 次	ソリッド 2 次	実験値
1 次	178.8	180.0	173.0	167.0	178.2
2 次	294.4	295.8	291.1	277.6	285.3
3 次	339.8	342.0	330.1	318.4	344.0
4 次	553.2	556.3	535.6	518.0	564.8
5 次	686.0	690.9	651.1	638.0	735.1

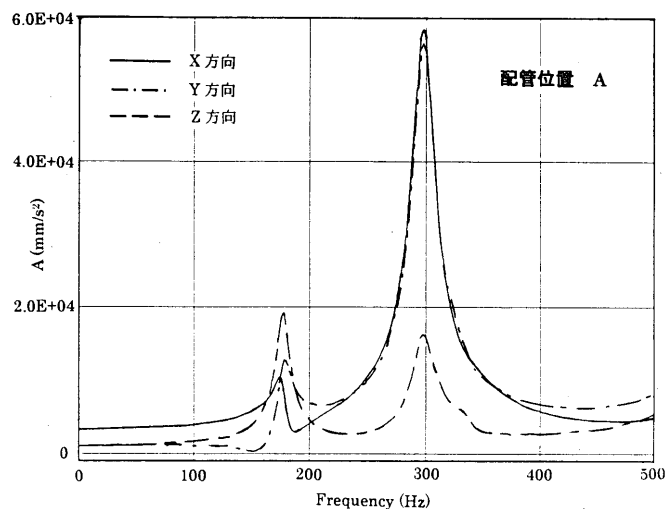


図 3 周波数応答関数

5. 参考文献

- 1) 「大学・学部学生の教育事例」、Website, http://www.internetclub.ne.jp/CAE/mriinfo/educatio/cae_igi.htm
- 2) 「CAE 教育と推進を考えるセミナー」、Website, <http://www.cybernet.co.jp/ansys/stories/special1.html>
- 3) 私信