連載講座 ものづくり技術と機械設計、そして設計力とは —3D CAD の真の活用に向けて— (第8回)

設計の CAE 解析活用法の実務について

About Actual Machine Design which Utilized Analysis by CAE

田中 允忠

Yoshitada TANAKA

◎ 小松工業高等学校機械科卒業、機械メーカーで技術部・営業に従事。有限会社ティシディを設立代表に就任。3DCAD・CAE を駆使して各種機械・装置の開発に貢献。その傍らで、福井大学の学生を中心に3DCAD・CAE 解析の教育一助に取り組む。3DCAD・CAE 解析の普及に尽力。
◎ (有) ティシディ 代表取締役
(〒923-0965 石川県小松市串町東112/E-mail: tcd4738@lily.ocn.ne.jp)

1. はじめに

今回は、機械設計をするときに静的線形解析に限定して CAE 解析をどのように使えばよいかを説明する。解析メーカーのトレーニングで使用している資料は、一般的なものなので説明しているので、具体的なイメージが湧かないことが多い。そこで、本校では読者に具体的なものが想像しやすいように、実際の機械設計物を使って説明すること、断面図として表現すること、および比較一覧表にして説明することを心がけた。CAE 解析は、解析専門家が使うものというよりも、設計技術者が創造した機械・装置・部品の解析を行い、確かめて設計を進める方法を採用している方が顧客が望む新しい製品を提供できるし、設計業務も効率よく進めることができる。設計技術者が CAE 解析を使えるように、本稿が手助けとなることが希望である。

CAE 解析の結果は与えた条件どおりに計算するものである。与えた条件が実際のものでない場合、結果も異なるものである。その場合は解析条件が実際のものでないかをよく吟味して解析をやり直すことを常に心がけることが大切である。解析結果と実際とが違わないのかと考えることができるのは、その設計技術者である。設計担当者と解析担当者とが分担している場合は責任分担が明らかにできないので、問題が発生することが多い。(有)ティシディでは、設計担当者に全面的に責任を持たせており、解析担当者は補助担当者としている。本稿は小生の十数年間

の解析経験と石川県工業試験場の機械金属部の職員の協力により完成したものである。

2. CAE 解析の使用基礎

2.1 3D モデルの挿入

3D CAD のモデルデータをファイル種類の Iges か Step データに変換した後に解析ソフトに挿入すると、解析作業が開始できる。その後、解析方法・メッシュ形状大きさ・荷重・拘束・解析結果を指示し、解析開始すれば、解析結果が計算後、表示される。

2.2 材質

材質はヤング率 200GPa でポアソン比 0.3 の鉄鋼を標準として解析できる。鉄鋼の種類を指定することができないので、解析結果で表示された応力と変形量と使用する材質を勘案し良否を判断するとよい。アルミニウム・ゴム・銅等は指定することができる。

2.3 メッシュの種類と大きさの設定

線形静的解析では一般的には四面体メッシュを生成させて解析すればよい。よりよく実物に近い変形量・応力に近づけるとき、あるいは非線形解析させる場合は、六面体メッシュを使えばよい。

四面体と六面体メッシュの形状は、図 1「四面体・六面体メッシュ説明図」で明らかであるが、具体的に説明すると、四面体メッシュはそれぞれの面の形が三角形となっているので、四面体でメッシュが構成されている。六面体メッシュはそれぞれの面の形が四角形となっているので、六面体でメッシュが物を構成させている。

図1 四面体・六面体メッシュ説明図

メッシュの大きさを簡単に変更することができる。図2「メッシュコントロール説明図」は部品全体のメッシュ大きさを指定して変更したものである。しかし、部品ごとに大きさを指定してメッシュを成形させることができる。後記で詳しく説明するが、メッシュ大きさをどのように設定するとよいか、解析する装置・部品によって判断が難しい。メッシュの大きさが解析結果で、どう変化するか吟味した後に判断し、決めることを勧める。

図2 メッシュコントロール説明図

2.4 拘束

図3「拘束説明図」は拘束を説明する図を示す。

拘束とは、機械・装置および部品を所定の場所に各種締結部品で取り付けたり、締め付けたりすることを解析ソフトに指示することである。あるいは、機械・装置・部品の中で、荷重・力等が正反対に掛かり荷重・力等を受けて移動せずに拘束の必要がない場合でも、解析ではこの拘束を付けることが必要である。その理由は、形状が対象で正反対の荷重・力・圧力等が掛かる場合でもメッシュは全く同じに生成できないことがあるので、この拘束が必要である。もし、このように対象形状で掛かる力も対象に掛かる場合でも、拘束を付けずに解析を掛けると、モデルは回転し続けて解析できない結果になる。たとえば、円筒の内側に

圧力が掛かる場合でも、拘束を付ける必要がある。

図3 拘束説明図

2.5 各種の力（荷重）の掛け方

機械・装置・部品には、図4「各種荷重の説明図」に示す力（荷重）・圧力・モーメント（トルク）・自重・反力・リモート力の各種荷重を掛けることができる。それぞれについて指示する方法にちょっとした工夫が必要であるので、次にその内容を説明する。(1)力の掛け方は点・稜線・面に力を掛けるのであるが、モデルが構成されている点・稜線・面だけでは実際に掛かる力と一致しないことが多々ある。その場合は、モデル段階で0.1mm以下の凹凸部を付けて希望の点・稜線・面を指示できるようにするとよい。その凹凸を作ったモデルでも解析結果には、ほとんど影響しない。

図4 各種荷重の説明図

2.6 組立モデルの部品間の接触条件

組立モデルを解析する場合、部品間の接触条件を実際のものに合った条件にする必要がある。ソフトの標準は一体もの（ボンド）である。図5「組立モデル部品間接触条件相異説明図」を示す。上側はすべて一体ものの接触条件であり、下側は(1)と(2)および(2)と(3)との間は摩擦なし接触条件である。それぞれに最大変形量を比較すると大幅に異なっ

ている。つまり、すべて一体もの（ボンド）接触条件の最大変形量は1.5mmであり、一部摩擦なし接触条件の最大変形量は10.2mmであり、後記のほうが前記の約7倍となっている。どちらのほうが正しいのかを判断するのは実際の装置・部品に掛かる力・変形量および変形状態を検討して判断することが求められる。計算する条件にて計算した結果は正しいが、大切なことはソフトに正しい条件を与えることである。機械・装置・部品の原理原則・理屈を十分に理解していることが、解析を操作すること以上に大切である。解析ソフトを操る技術者は加工法・使用法・運転状況・故障の情報を多く持っており、その内容を整理整頓して知識としておくことが必要である。若い技術者は解析ソフトが導き出した結果が正しいと信じてしまい、その結果の良否を実際の現物の変形量および応力と照し合せて検討することなく、解析結果を提出することがある。荷重・拘束・接続条件・メッシュの大きさ・形状等を変えた場合、解析結果がどのように変化するかを再検討してみることが必要であると心掛けておくことが大切である。

図5 組立モデルの部品間接続条件相異説明図

2.7 解析変形量の判定

静的解析の結果の一種として変形量が表示されるが、その変形量がどの数値まで許されるのかの判断はひずみ率の4%以下を守っていれば、問題ない設計ができる。その基準を判定する方法として解析結果をみる場合、現尺状態にして明らかに変形しているとわからなければ、問題ないと判断してもよい。

図6「メッシュサイズ相異による変形量の変化説明図」を示す。メッシュの大きさ5mmの最大変形量は1.16mmで、メッシュの大きさ10mmの最大変形量は1.06mmで、メッシュの大きさ20mmの最大変形量は0.95mmである。どれが正しいかを言えないのが強度計算の常であり、強度計算は一つの目安である。解析は絶対的に正しいものでないことを頭に入れておくことが必要である。解析結果と照合するために現物を測定しても、解析に近い（20%くらい違うことがあった）数値になるが、一致することはなかった。

図6 メッシュサイズ相異による変形量の変化説明図

2.8 解析応力の判定

静的解析の結果の一種として応力が表示される。その応力は、相当応力・最大切断応力その他の応力に切り換えて問題ないかを検討することができる。すべての応力を使い分けることを説明することができないので省略するが、相当応力は、力が加わって変形することと、変形したことによって変形することの両方を加算した応力である。相当応力の数値は使用材質の降伏点以下であればよいと一般的に言われている。

図7「メッシュサイズ相異による応力の変化説明図」を

示す。最大応力値はメッシュを小さくすればするほど大きくなる、その応力値を比較すると、メッシュ5mmでは相当応力の最大値3159MPaであり、メッシュ10mmでは相当応力の最大値2601MPaであり、メッシュ20mmでは相当応力1099MPaである。その数値を比較すると3倍になっている。この理由を説明すると、力・圧力等を掛ける所あるいは拘束する所を点・稜線に掛けたりすると局部にそれぞれの数値が集中するためである。現物では集中することがないと判断できるのであれば、その数値を無視してもよい。それ以外で純粋に応力集中が発生する所はメッシュを大小させて試みて、判断するとよい。

図7 メッシュサイズ相異による応力の変化説明図

2.9 解析が不可モデルの例

図8「解析不可モデルの例図」を示す。鋭角円錐体と鋭角四角錐体は鋭角に尖っているため、メッシュが小さ過ぎてメッシュを生成することができない。断続溶接付長尺部材は溶接部分の寸法にてメッシュを成形していき、次のメッシュの所でピッチが合わなくなりメッシュが生成できなくなる。この場合、メッシュを成形するようにするには、

溶接部の寸法の整数倍を次の溶接までのピッチに変更することで成形ができるようになる。

3Dモデルの寸法と形状によっては、3D CADソフトの違いで、解析ソフトに挿入したとき、そのモデルを完全に認識してくれないことがある。この理由はわからないが、今後、その理由を研究する機会があれば是非やりたい。

図8 解析不可モデルの例図

3. 粉末成形押出機的设计実例の説明

本項で説明する粉末成形押出機の概略仕様は次のとおりである。

仕様	
押出し能力	1 000KMn
押出しストローク長さ	800mm
押出し駆動モータ	サーボモータ×2台
押出しフレーム傾斜角度	30度
押出しフレーム傾斜駆動モータ	サーボモータ
機械の大きさ	
重量	kg

概略構造を説明すると次のとおりである。これからの説明は、図9「押出機の構造説明図」を見ながら読むことを勧める。ボールネジ2本でスライドを水平方向に移動させる、そのスライドに取り付けられている押出しロッドを水平方向に移動させる。その押出しロッドの先端に取り付けているパンチで粉体保存ダイスの中の粉体を最大押し出す力1 000KMnにて、粉体を固めながら押し出す。粉体が出てくる側に受けるテーブルが取り付けられている。粉体の押し出し時は、押し出し粉体が自重で曲がらないようにするために押し出し部分を傾斜させた状態にて稼働させる。ここまでが押出機の概略説明である。

本粉末成形押出機は開発している当時には、参考となる事例は全くない機械であった。だが、開発設計・製作を成功につなげることができたのは、3DCADとCAE解析を使ったことが最も大きい理由と思われる。そこで、これか

ら CAE 解析を利用した部分の一部を紹介する。

3.1 地震時の組立モデル解析

図 10「押出機の被加工品供給時のモデルと解析結果」および図 11「押出機の生産時のモデルと解析結果」(30° 傾斜)を示す。この解析のモデルは組立状態で震度 6 地震が起きたとき、変形量と各部に応力値がどうなっているかを確認するために解析を行った。ただし、各部品間の接続はすべてボンドとした。その数値をここで紹介することができない。解析時間は約 60 分であった。

図 9 押出機の構造説明図

図 10 押出機の被加工品供給時のモデルと解析結果

図 11 押出機の生産時のモデルと解析結果

3.2 部品単体の解析

図 9「押出機の構造説明図」に示すバルーンの CY02・CY07・CY10 について解析した事例を次に表示する。実際の設計実務では、十数点の解析を行っているが本章では 3 点のみを紹介する。

3.2.1 傾斜支点ブラケットの解析

図 12「押出機の傾斜支点ブラケットのモデルと解析結果」は CY02 のものである。

図 12 押出機の傾斜支点ブラケットのモデルと解析結果

3.2.2 サイドフレームの解析

図 13「サイドフレームのモデルと解析結果」は CY10 のものである。

図 13 サイドフレームのモデルと解析結果

3.2.3 ベッドの解析

図 14「ベッドのモデルと解析結果」は CY07 のものである。

図 14 ベッドのモデルと解析結果

4. C 型油圧プレスフレームの解析

図 15「C 型油圧プレスフレームのモデルと解析結果」は加圧力 200kMN のプレスである。その加圧力 200kMN を使って、加圧力を 300kMN にモデル変更し、解析までの時間は約 2 時間あれば解析結果を手に入れることができる。

る。説明するまでもないが、その時点では、出図する図面もでき上がっている状態になる。

図 15 C 型油圧プレスフレームのモデルと解析結果

5. 結び

本連載は 18 回まで続くが、小生が担当したのは、第 2 回から第 8 回まで計 7 回だった。連載期間中、ある企業から「通常の業務に参考になっている」との連絡があったことは大いに励みになった。しかし、山あり谷ありで一時、辞退の危機に瀕した時期もあった。予定の小生担当の最終回まで到達できたのは日本機械学会事務局の担当者および連載講座企画小委員会主査から後押しと指導があった賜物である。厚くお礼を申し上げる。

小生が一番希望することは、3D CAD および CAE 解析を駆使して、若い技術者が従来にない創造に富んだ商品・製品をどんどん生み出し、日本の強い“ものづくり”になっていただくことである。

本会発行図書

機械実用便覧 (改訂第 6 版)

■会員特価：3 500 円 (税込) (送料 500 円) ■体 裁：B6 判、本文 896 ページ
■定 価：4 200 円 (税込)

- ◆この便覧は、工高、高専の教科書としての使用を第一義に編集されています。また現場担当者や設計技術者にとっても、知識整理の実用書として有用です。必要と考えられる基本的な法則や重要な用語の定義などについても考え方が理解できる程度に簡単な説明が加えられ、商社、会社の事務および取引にも役立ち、参考になります。
- ◆内容は実用面に主眼をおき、文書形式の説明よりも、表および図などの実用的なデータ主体でまとめました。また各章には、新時代に必要新しい内容を織り込みました。特に「ロボット」や「新素材」など最近発達が著しい技術についても積極的に紹介するとともに、機械製図についても JIS 改訂に則るなど旧版にまさる実用的な便覧としました。
- ◆工場または出張先で使い良いよう内容とともに、製本も携帯の便利を考え使い良くしました。

■主要目次

1 章 数学 / 2 章 力学および機械力学 / 3 章 材料力学 / 4 章 工業材料 / 5 章 機械の要素 / 6 章 機械の設計と製図 / 7 章 流体工学 / 8 章 熱工学および熱機関 / 9 章 工作および加工機械 / 10 章 計測と制御 / 11 章 電気・電子 / 12 章 インダストリアル・エンジニアリング / 付録 計量単位 / (蒸気 $h-s$ 線図) / 索引 (日本語・英語)

○申込先：日本機械学会 〒160-0016 東京都新宿区信濃町 35 番地 (信濃町煉瓦館 5 階) / 電話 (03) 5360-3501, FAX (03) 5360-3507