

機械設計における CAD-CAE モデリングに関する研究

Considerations of CAD-CAE modeling in mechanical design

鈴木 康司, 桜井 俊明

Koji SUZUKI, Toshiaki SAKURAI

いわき明星大学 院 いわき明星大学

要旨：本研究では、コンピュータを使用する設計や予測計算において用いられるソフトウェアとモデリングについて考察する。設計用ソフトウェアは CAD と呼ばれ、設計の道具として多くのソフトが使用されている。一方、設計の主たる目的は図面の作成とそれを裏付ける何らかの計算（あるいは実験）が必要であるが、CAD にはその計算機能を有していない。具備されて場合でもデータの持ち方が異なる。計算には一般には CAE が使用される。そこでデータの授受とそれに付随するモデリングが問題となる。そこで初期設計段階から、著者の一人が主張する、CAE（位相最適化）計算によって基本的な形状を決め、CAE で確認し、設計条件を満足した後、CAD データへ変換する工程である。いずれにしても CAE データから CAD データへの変換には現在大きな課題を抱えているので、これらの課題に焦点をあて、機械設計における CAD-CAE モデリングについて考察する。

キーワード：設計, CAD/CAE, モデリング, データ変換, 最適設計

1. はじめに

CAD (Computer Aided Design)ソフトウェアが設計道具として使用されてから久しい。CAD 開発の当初はほとんどが 2 次元であったが、最近では 3 次元 CAD が多く使用されている。構造物の設計には、一般に設計仕様書が与えられるが、大きく分けて 2 通りの設計手法が取られている。一つは従来構造の変更や見直し、他方は新たな構造物の設計である。前者は多くの場合、構造計算における設計変数の変更で計算される場合が多い。後者は新たな構造ゆえ、正解は唯一とは限らない。計算を実行する立場から見れば、前者には CAD データが有り、後者にはそれが存在しない状況にあるとも言える。ここでは、その 2 通りの設計における計算モデルについて考察する。なお、コンピュータを用いる計算手法には有限要素法、境界要素法および差分法が用いられるが、ここでは有限要素法 (Finite Element Method: FEM)のみを使用する。

前者の構造変更には、入力の変更や多少の形状の変更はあるが、設計当初から積み重ねてきた計算においてなされてきた手法が用いられる。

ただし、有限要素法を用いなければ計算できない複雑な形状の場合、CAD データから計算できるデータにデータを変換して計算を実行する場合が生じる。一方、後者の場合、領域が固定されているが形状はまだ決められていない設計である。経験的に設計できる場合には複雑な計算は必要としない。一方、これまで経験のない形状が予測される場合には種々なる検討が必要となる。特に複雑な、あるいは多様な部品が組み合わせられる構造物には有限要素法などが用いられる。ここでは種々なる計算手法を CAE (Computer Aided Engineering) と呼ぶことにする。CAE を使用する場合の一設計手法として著者らの一人はこれまで CAE leads to design を主張してきた⁽¹⁾。ただし、CAE から、CAD へのデータ変更が大きな課題である。そこで CAD へのデータ変更を考慮しつつ、最初に CAD データがある場合と、無い場合の 2 通りのモデリングについて種々検討する。

2. モデリング

2.1 CAD データのある場合

一般に CAD データがある場合には、図 1 のように CAD データからデータ変換のためのインターフェイスを通して CAE へデータを取り込むの

が普通である。CAE による計算には、詳細な図面形状など計算では不必要なので簡略化して形状を作成しなおすことが多い。

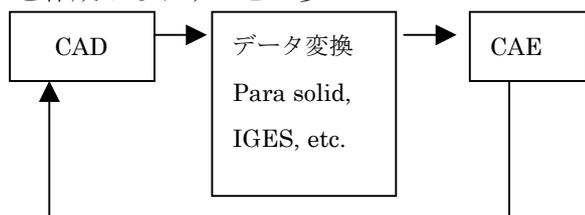


図1 CADデータがある場合

ここでは機械部品の一つ、油圧部品のハイカプラを例にとって説明する。図2にCADデータおよびCADからPara solidデータ変換プログラムを使用して変換後およびCAEデータのそれぞれの形状を示す。図中(a)には加工や製品としての必要な角Rや加工限界による角Rや面取りとしてのコーナーCなどが記入されている。図中(b)には変換後の形状を、図中(c)に簡略化したCAE形状を示す。

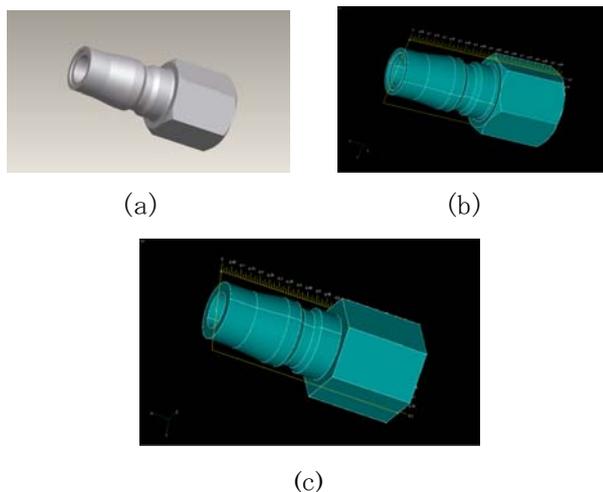


図2 CADモデルからCAEモデルへの変換

このようにCADデータが存在する場合には、ほぼ自動的にCAEデータを作成できるため計算に必要な部位を注意深く選択しさえすれば計算が可能になる。一方、計算結果をCADに反映する場合には、図1に示すようにIGESなどのデータ変換機能がないため、CAEデータを参照してCADデータを手作業で修正せねばならない。しかし、基本の形状データがあるため、比較的容易にCADデータを作成できる場合が多い。計算結果と修正後のCAD図面を図3に示す。このよう

な設計変更の場合、既に基のCADデータがあるので、CADデータは比較的簡単に作成できる。また、標準品から適切なものを選ぶことも可能となる。

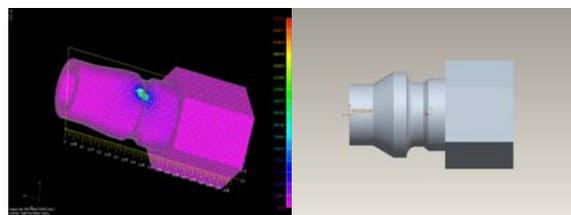


図3 計算結果と修正後のCAD図面

2.2 CADデータの無い設計

CADデータの無い場合の設計には従来から、まず、仕様書に基づいて、条件を満足するための形状を、設計ハンドブックや標準、過去の設計品などを参考にしながら、CADデータを興す。その形状が入力条件を考慮し、仕様要件を満足するかどうかを確認するため手計算やCAEによる計算を行う。CAEで計算を実行するには、2.1節で述べた手順と同様にCADデータから計算のためのCAEモデルを構築することになる。過去のデータが無い場合、計算結果によって、大幅な形状を変更する場合も生じる。

元々設計は機械設計に限らず、ある機能を持ちながら形を美しく創生することにある。このケースこそが本来の設計といえる。

そこで著者の一人はCADデータからCAEデータに変換した後計算し、CADデータに戻すのではなく、直接最初からCAEで計算を実施後、設計仕様を満足する形を決め、その形状情報を参考にしして詳細な設計を行う設計手法を提案してきた^{(1)~(3)}。すなわち、CAE leads to designである。特に機械系の設計においては、周りの環境、すなわち拘束条件が存在することが多い。材料、流体など力学系の入力で形が決められる場合には、なおさらこの手法が有効である。

計算手順を図4に示す。まず、位相最適化によって必要な配置を決め、その結果を参考に応力計算などを行う。その計算結果が設計仕様を満足すれば、その形状データをもとにCADデータを作成する。なお図中最適設計手法には従来か

ら説明されてきたように、3つの方法がある⁽⁴⁾。

1. 位相最適化
2. 形状最適化
3. 寸法最適化

ここでは領域が定められたときの位相最適化を使用した。図中位相最適化手法は本研究では均質化法⁽⁵⁾が用いられている。使用するソフトウェアを纏めて表1に示す。

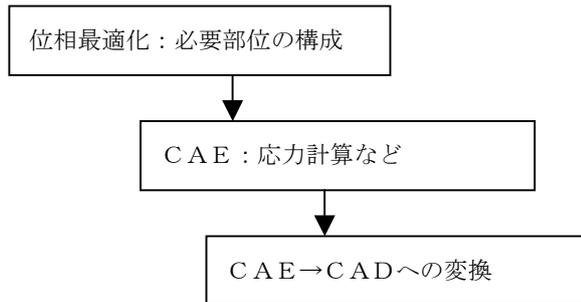


図4 最適化手法 (CADデータが無い)

表1 使用するソフトウェア名

	ソフトウェア名
位相最適化	FEMAP
FEM	NASTRAN
CAD	Pro-Engineer

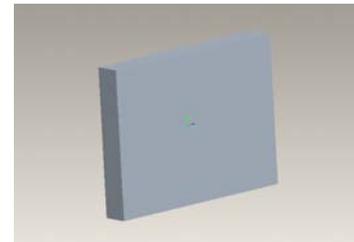
図5に図4の手順に従って、設計した場合の各段階におけるモデルを示す。そのときの解析条件を表2に示す。この時の目標関数は応力が許容応力以内で重量が最小になるようにする。

表2 解析条件

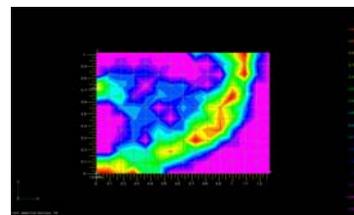
荷重： $W=20,000\text{N}$
壁から荷重までの距離： $l_1=400\text{mm}$
ボルトからブラケット下端までの距離： $l_2=300\text{mm}$
許容引張応力 $\sigma_a=60\text{N/mm}^2$
寸法： $500\times 400\times 60$

まず、図中(a)に設計制約条件を満足する構造物を示す($400\times 500\times 60$)。図中(b)に位相最適化計算手法を用いて計算した結果を示す。図中右に表記されている色彩表示の上部が配置として必要とされ、下部は不必要な部分である。この計算結果を基に形状を作成し、FEMによって計算した結果を図中(c)に示す。応力が一様に分布し、

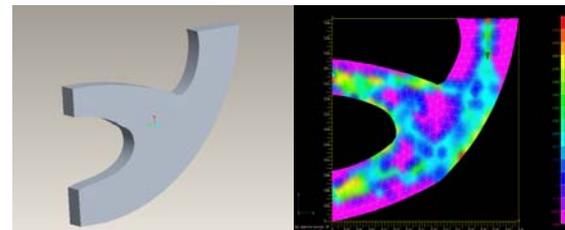
応力レベルが許容応力以内を満足していれば、その形状をもって正解の一つと考える。もし、まだ軽量化する可能性があれば、形状を再度作成し、計算を実行することになる。必要であればこの過程を数回繰り返す。図中(d)最終的にCADを作成した場合の構造物の例を示す。



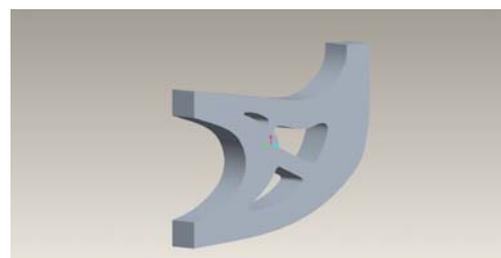
(a) 領域内の構造



(b) 位相最適計算結果



(c) 位相最適化計算結果を反映し、形状作成後、FEMによって計算した結果



(d) (c)の計算結果を基に最適化したCADモデル

図5 最適化設計を導入した設計手法

このように、位相最適化から必要とされる部位を決め、その計算結果を参照してCAEデータを作成し、入力条件に対応した計算を実行する。その結果が条件を満たせば、CAD図面を作成することになる。このことによって、従来のような重複設計を避けることができ、開発期間の短縮

や時間の余裕を製品の品質向上に向けることも可能になる。

なお、CAE データから CAD データに変換する場合、インターフェイスがないので、次の留意点を考慮する必要がある。

1. 寸法公差
2. 角 R, コーナーC
3. 加工法
4. 他部材との結合方法
5. 材質, 等々

3. 結論

設計の際、CAD データがある場合にはインターフェイスを用いて比較的容易に計算モデルを構築することができる。

一方、CAD データの無い場合には、CAE 計算、すなわち位相最適化計算結果を基に CAE データを作成し、条件を満足するかどうかを検討する。その後、CAD データに変換する場合には、変換プログラムはないのでそれ相応の経験と時間を要するが、一方手順過程からみれば、この方が結果的に有効であることが分かった。

また、形状設計においては、CAE データを先ず構築し、最適化手法を用いることによって、品質の優れた製品開発が可能であることも分かった。

総合的に CAE データから設計を着手した方が、特に設計の初期段階において、構造などが綿密にしかも詳細に検討できるので、後工程で開発のロスを少なくできる。このことは今後の競争力を高める意味で大きな役割を果たすことになる。

CAE leads to design. の有用性が確認できた。

4. 今後の課題

CAE データから CAD データを容易に作成できるインターフェイスの開発が必要である。

- (1) Toshiaki Sakurai, Development of productions by “A New Smart Compact Method” based on CAE- CAE leads to design- Proceedings of ICDE 2005
- (2) 桜井俊明, CAE を基礎とした新たな提案「小さな開発室」による製品開発, いわき明星大学理工学部研究紀要, 2005
- (3) 猪狩政勝, 桜井俊明, 坂内由昌, 「小さな開発室」によるせん断加工工具の最適設計, 日本機械学会, 第 13 回設計工学・システム部門講演会, 2003
- (4) 例えば, 桜井俊明, 形状最適化手法とその構造設計への応用, いわき明星大学理工学部研究紀要, 2001
- (5) 寺田賢二郎, 菊地昇著, 均質化法入門, 日本計算工学会, 丸善(株), 2005