

構造最適化システム： POPLAS/FEM5-OP

Structural Optimization System : POPLAS/FEM5-OP

概要

有限要素法に代表される構造解析ソフトは、製造業における様々な分野で活用されている。これまでは研究開発部門での使用が中心であったが、近年では、設計期間の短縮、設計コストの削減を目指し、設計部門での導入も盛んになってきている。富士通の構造解析プログラム POPLAS/FEM5 (以下、FEM5) もその一つである。

構造最適化は、構造解析と数値最適化を組み合わせ、設計の改良をコンピュータで自動的に計算する技術である。使用者は、設計上の諸条件を考慮した最適な構造を数値計算で得ることができる。従来、構造解析は設計の検証に利用され、その検証結果に基づく設計の改良は、経験や勘を基に行われてきた。構造最適化は、このような試行錯誤による設計の繰り返しを減らし、設計者の負担を軽減できるため、設計の上流工程で活用することによって、設計期間の大幅な短縮と設計コストの削減が実現できる。

構造最適化の研究は近年大幅に進み、その最新技術を組み込んだソフトが、構造設計の現場で利用されはじめている。富士通は、この分野で世界トップレベルの技術をもつ米国 VMA 社と共同で FEM5 をベースとした構造最適化システムを構築し、FEM5 の最適化オプション FEM5-OP として提供を開始した。

機能と特長

● システム構成

構造最適化システムは 図-1 に示すように、構造解

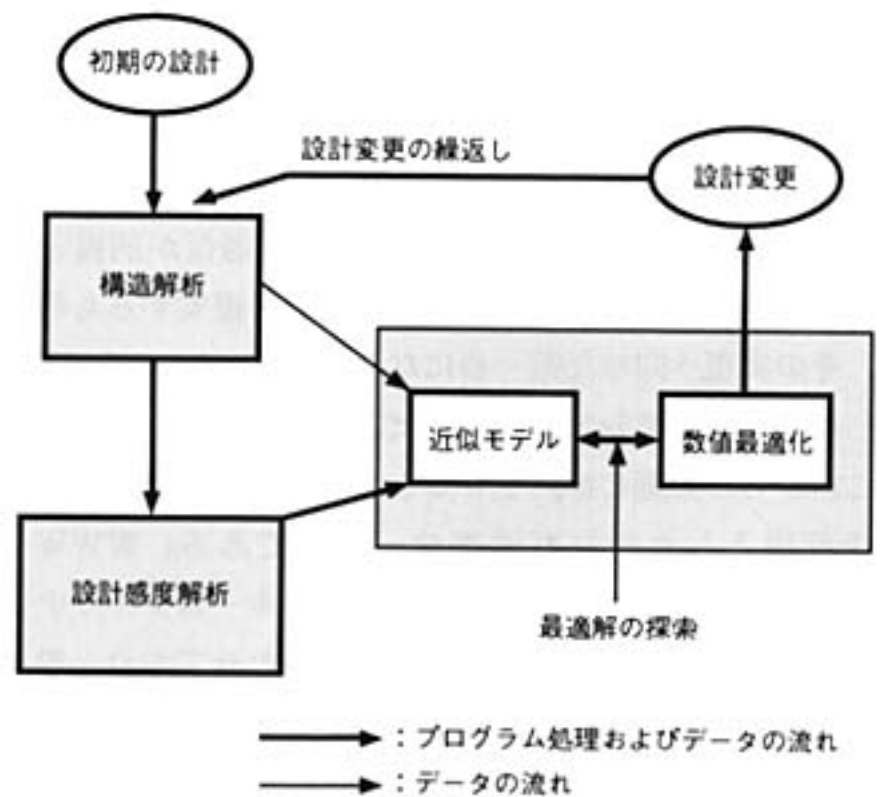


図-1 構造最適化システム

Fig.1-Structural optimization system.

析、設計感度解析、数値最適化の三つの機能からなる。これらの機能が、設計の条件を満足した最適解を得るまで繰り返し実行される。

最適化の繰り返し過程で FEM5 が扱う設計データには次のようなものがある。

【目的関数】

設計の目標を示す量であり、これを最大化または最小化することが最適化の目的となる。具体的には、重量の



鈴木良彦 (すずき よしひこ)

1985年早稲田大学理工学部応用物理学科卒。同年(株)富士通長野システムエンジニアリング入社。以来構造解析パッケージの開発に従事。1994年からフジック・アメリカに転出。スーパーコンピュータグループ

最小化などがある。

【設計変数】

設計の変更対象となる量であり、梁の断面積や断面形状、板の厚さ、節点座標値などを変更することができる（表-1）。

【設計制約】

設計の繰り返し過程で、満足されなければならない量である。例えば、設計上、重要なか所の応力に制限をつける場合に使用する。

目的関数、設計制約として扱うことのできる量は、設計応答と呼ばれる。FEM5では表-2に挙げたデータを設計応答として取り扱うことができる。

表-1 設計変数の種類と設計変更対象

最適化のタイプ	設計変更対象	対象の例
寸法	形状特性値	断面積、断面2次モーメント、板厚、非構造質量
	断面寸法	梁断面の高さ、幅
形状	節点座標値	-

表-2 FEM5が扱える設計応答

分類	解析種類	設計応答の種類
直接応答	解析種類によらない応答	重量、体積
	静解析	変位、要素力、要素応力
	実固有値解析	固有値
合成応答	-	直接応答、設計変数、節点座標値および任意の定数を組み合わせた数式の値

● 幅広い適用範囲

【寸法および形状の最適化】

梁の断面積や断面形状、板の厚さなど要素の寸法を最適化する機能（図-2）に加え、節点座標値を変更する形状の最適化が行える（図-3）。また、寸法と形状を同時に扱うことも可能である。

【解析種類】

最適化の対象となる解析種類は静解析および実固有値解析である。変位、応力や固有値などが設計制約や目的関数に指定できる。

【同時最適化】

機械設計などでは、応力と固有値を同時に満足するよ

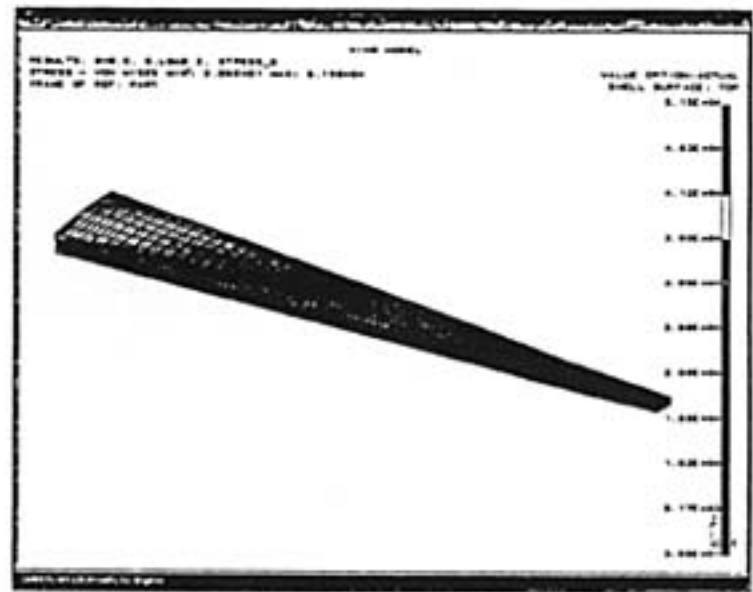
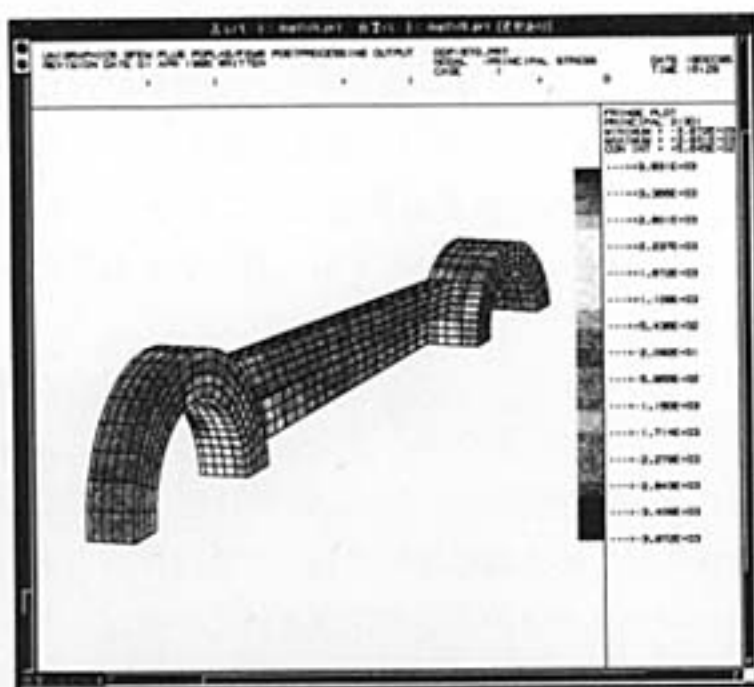
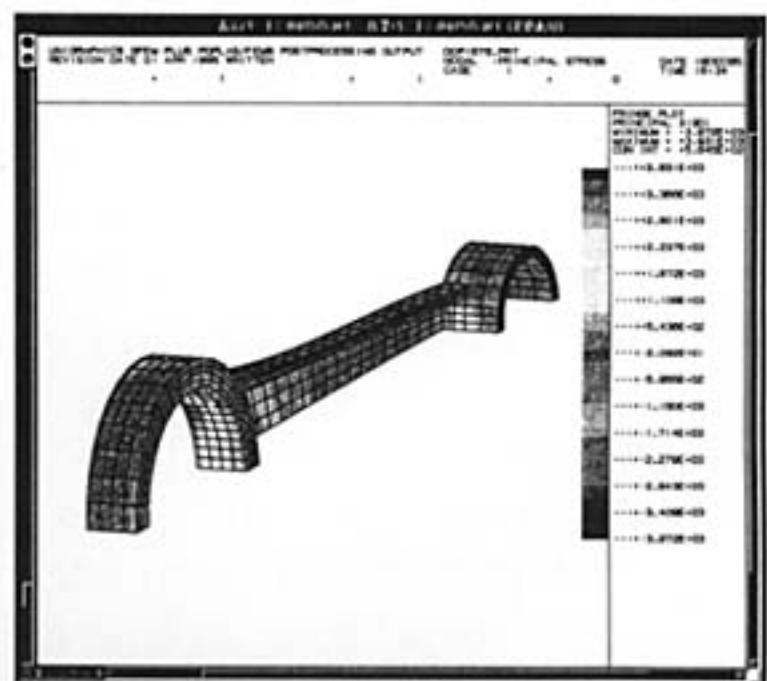


図-2 寸法最適化の適用例（I-DEASで表示）

Fig.2-Example of size optimization.



a) 最適化前



b) 最適化後

図-3 形状最適化の適用例（I-DEASで表示）

Fig.3-Example of shape optimization.

うな設計が必要になる場合がある。同時最適化は、最適化の過程で、静解析、実固有値解析の結果を一度に取り扱えるようにしたもので、実用問題への柔軟な適用が可能になっている。

● 高速処理

最適化は、構造解析を何度も繰り返し実行するため、膨大な計算時間が必要になる。これを削減するため、FEM5では以下の三つの手法を導入した。

【近似化】

本来は、数値最適化で評価をするたびに、構造解析を実行する必要があり、多いときには数百回も要する。FEM5では、評価する値を近似的に計算することによって、構造解析実行の回数削減を実現した。これによって、通常10回以下の実行で最適解を得ることが可能になった。

【高精度の感度解析】

感度解析の精度は、近似化の精度に影響し、最適解を求めるための繰り返し回数を左右する。このため、FEM5では、中心差分の採用による精度の向上を図っている。また、精度に影響するステップサイズパラメータをモデルのサイズから自動計算する機能を組み込んでおり、初心者でも安心して計算できる。

【スクリーニング】

最適化の結果に影響を与えない設計制約を、解の精度が保証される範囲で一時的に削除する機能である。この機能を使用することで、感度解析で計算する設計制約の数を減少させることができ、計算時間を大幅に削減できる。飛行機翼の簡易モデル(10 650自由度)で、当機能を使用しない場合と比較したところ、約60%の計算時間が削減された。

● 高信頼性

【構造解析の信頼性】

最適化の結果を左右する重要なファクターに構造解析の精度および信頼性がある。FEM5は、自動車、電機、機械、精密機器、建築などの広い業種分野で、これまでに700本の採用実績があり、精度・速度とも別の著名ソフトに比べて引けを取らない評価を受けている。

【先進の数値最適化技術】

数値最適化にはVMA社の数値最適化モジュールDOTの修正許容方向法を採用した。最新の研究成果が組み込まれたこのDOTは、欧米の100以上の企業、大学で使用されており、世界的に評価が高い。

● 多様なニーズに応える柔軟な入出力仕様

【設計変数の一次結合】

設計変数の一次結合が可能である。これによって、要

素間の相対寸法を設定し、それに沿って寸法を変更するような入力データも作成できる。また、数式を用いて設計変数を制御することも可能である。

【梁断面寸法の設計変更】

梁の断面積、断面モーメントなどの断面特性だけでなく、断面形状の寸法を設計変更することができる。これによって、梁構造物の詳細な最適設計が可能になった。扱える断面形状は、矩形、中空矩形、円形、中空円形、H型、I型の6種類である。

【形状の設計変数】

モデル化を容易にするため、形状の設計変数を定義する手法に、ベシスベクタ法(節点座標値による入力)および摂動ベクトル法(節点座標の変更量による入力)の二つの方法を用意した。

【合成応答】

FEM5の設計応答は、構造解析の応答値だけでなく、応答値や設計変数などをユーザが定義した数式で計算した量を扱うことができる。これによって、FEM5の応答値にはない値を、目的関数や設計制約に選択することができる。

【リスト出力・セーブファイル出力】

繰り返し過程での、構造解析、感度解析、数値最適化に関する結果をリストおよびファイルに出力できる。出力時には、出力したい設計サイクルを指定できるので、繰り返し過程での最適化の効果など必要な情報の収集に有効である。

● 容易なデータ作成

【パラメタの自動調整】

最適化では通常、収束条件などに関する様々なパラメタを使用する。これらの値は、最適化の結果に少なからず影響するが、適当な値を決定するのは簡単ではない。FEM5では、通常、パラメタ値を変更しなくてもいいように、調整された値を省略値として設定しているので、最適化の専門知識がなくても、質の高い最適化が実施できる。

む す び

FEM5の構造最適化オプションFEM5-OPを紹介した。本機能は、製造業の設計における先端技術であり、次世代のテクノロジーとして注目されている。

今後も最適化の最新技術を追究すると同時に、CADとの密な結合を進め、設計者により使いやすいシステムとして開発を進めていく所存である。