

I-PS 8 連続体の形状最適化に関する基礎的研究

室蘭工業大学 学生員 杉村朋之 室蘭工業大学 正員 杉本博之
新日本製鐵(株) 山村和人 日鐵プラント設計(株) 正員 岩松浩一

1. まえがき

有限要素法が構造解析手法として提案された当時、それを用いた連続体の形状最適化は、多量かつ高速な計算が要求され実用化は難しいものであった。しかし、近年における計算機の高速度化や並列処理など飛躍的な性能の向上、また構造物ばかりではなく温度解析、流体解析、電磁場解析等、非構造問題の解析方法として研究、開発された有限要素法自体の発達により連続体の形状最適化設計の実用性が出てき、またニーズや応用例が増えてきている。

そこで、本研究での対象は2次元の連続体であり簡単ではあるが、汎用的な連続体の形状最適化プログラムの開発を試みたのでここに発表する。プログラムの特徴は制約条件、設計変数や目的関数の設計モデルが容易に作成できるサブルーチンを提供し、ユーザーの負担を軽減させている。また最適化の実行から、前処理、後処理までを対話形式で簡易にでき、最適設計を行う際の使用性および能率性を考慮している。

2. プログラムの概要

(1) 基本形状と設計変数について：本研究での連続体の形状は図-1に示すように、基本的に4つの辺から構成される。設計の過程で形が変化するのが図中で破線の2辺の曲線部分(図の破線部)である。もう2辺はそれらの始点と終点をそれぞれ結ぶ2本の直線である、この直線部は設計の過程では固定される。曲線部分は、直線、1/4円弧、スプライン補間曲線の3種類の線を組み合わせて得られる。ここでの設計変数は採用する線の種類(図-2)により、直線ならば始点と終点の座標で最大4個、1/4円弧ならば始点の座標と半径で最大3個、スプライン補間曲線ならば代表点の座標(形状によっては極座標で代表点の座標を与えるほうがよい場合がある、そのときは角度と半径)であり最大2×代表点の数を選ぶことができ、その他に板厚や材質も設計変数に設定することが可能である。

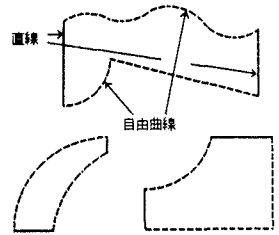


図-1. 形状の基本形

(2) 目的関数と制約条件について：目的関数、制約条件はユーザーが任意に設定できる。一例としては、解析によって積分点の応力、節点の変位、全面積(板厚を考慮する場合は全体積)が計算されるので、面積や剛性を目的関数に、また制約条件には積分点の応力が使用する材料の許容値以下となるように、変位が設計の許容値以下となるように設定する。

(3) 構造の解析方法について：平面応力、平面ひずみ、軸対称問題に対し、有限要素解析を用いる。3種の線で形状生成した後、自動的に8節点四辺形の要素分割を行う。分割の方法は図-3のように破線の曲線部は等分割とし、実線の直線部は等分割または不等分割を選ぶ。そして要素番号、節点番号と各要素に4または9個の積分点を定める。

(4) データの入力と対話型処理について：入力するデータは①最適化コントロールデータ(最適化手法の選択、設計変数、設計変数の上下限值、初期値、制約条件の種別、内部パラメーターの設定)②FEMデータ(解析タイプ、材料特性、荷重条件、境界条件、一要素の積分点数)③形状デー

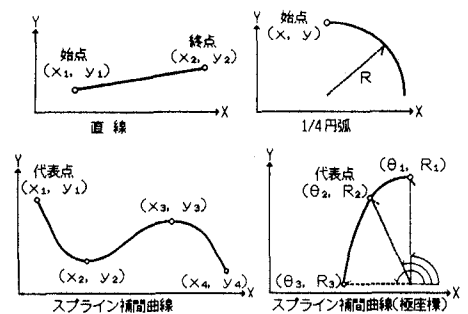


図-2. 設定可能な設計変数

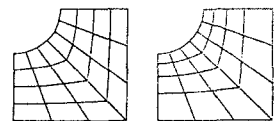


図-3. 分割方法

タ（要素分割数、採用する線の種類）の3つである。また、プログラムの実行は対話形式により、最適化の開始から前処理としての初期値改良¹⁾、後処理としての最適化手法の変更、内部パラメータの変更、初期値の変更、および再計算までの一連の作業を簡単にできる。

3. プログラムの基本的な構成

本プログラムは次の5つから構成されている。²⁾

- ①最適化コントロール部
- ②最適化プログラム
- ③構造解析部（FEMソルバー）
- ④ユーザーサブルーチン
- ⑤形状生成部

ここで、①は最適化の実行をコントロールするメインプログラムであり、対話形式でユーザーをサポートする。②は最適化の計算をする。③は有限要素法による解析を行う。④は設計変数、制約条件、目的関数等ユーザーが提供する設計モデルのサブルーチンである。⑤は2次元形状の生成と自動要素分割を行う。

本研究で作成した形状最適化プログラム

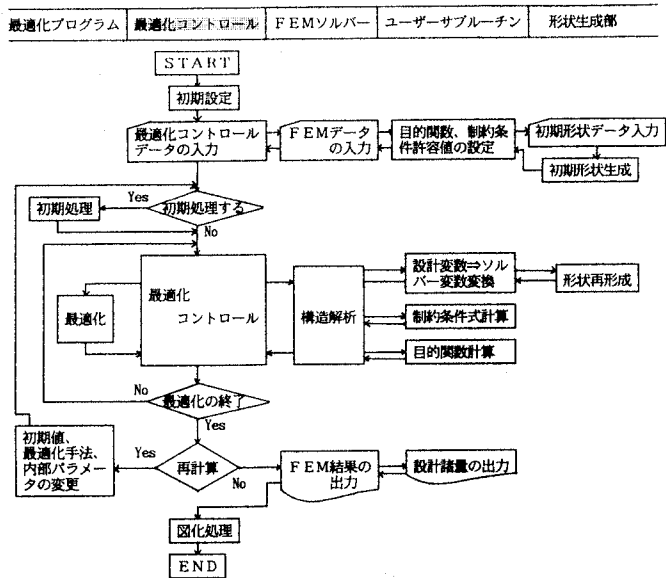


図-4. 処理フロー

本研究で作成した形状最適化プログラムの処理フローを図-4に示し説明する。まず、初期設定として必要な配列のディメンションを定義する。そして、各種データを読み込み初期形状の生成とユーザーサブルーチンで提供された目的関数、制約条件の許容値を設定し、次に対話形式による初期処理の過程に入る。初期値改良をするなら初期処理³⁾をし、適当な初期値を探索する。それから最適化へと入る。最適化は汎用最適化プログラム⁴⁾を使用するが、手法には逐次線形計画法（SLP）および一般縮約勾配法（GRG）が有効と考えられる。最適化の終了後、得られた結果（設計変数値、目的関数の値、制約条件式の値）に満足するならば計算を終了し最適形状を図化する、また満足しない場合は、対話形式により最適化手法、内部パラメータ、初期値を変更して再計算を行う。

4. あとがき

形状最適化の問題は、形状の選択の自由度が高い構造物あるいは構造部材の設計問題として定式化でき、目的関数は重量最小のみでなく、例えば応力集中の緩和ということもできる。従って、疲労が問題になるような鋼構造部材の連結部の形状決定等への応用も可能であり、今後多様な問題への応用が考えられる。

本研究で作成したプログラムは、まだ初歩的な段階ではあるが、ユーザーの負担を最小限にする工夫が種々考えられており、使用性の点ではすぐれていると考えられる。数値計算例もいくつか実行したが紙面の都合で省略し、当日発表の予定である。

今後、より複雑な形状の最適化も可能となるように、形状生成に改良を加えると同時に、構造物の大小に関係なく、要素数の多い構造物の形状最適化を効率的に行うための種々の改良、特に近似法の応用についての検討を加えていく予定である。

5. 参考文献

- 1) 杉本・山村：数値最適設計における初期値の改良について，第13回電算機利用に関するシンポジウム講演集，1988.
- 2) 新日本製鐵（株）設備技術本部：数値最適設計支援システムの概要，1990.
- 3) 杉本・山村：対話形式による数値最適設計の前処理および後処理について，システム最適化に関するシンポジウム論文集，1989.
- 4) Vanderplaats, G.N. and Sugimoto H.; A GENERAL-PURPOSE OPTIMIZATION PROGRAM FOR ENGINEERING DESIGN, Computers and Structures, Vol. 24, No. 1, 1986.