

1. はじめに

大規模構造物の最適設計を行う場合、設計全体に対する構造解析の占める計算時間の割合が高くなる。そこで、1) 設計変数 x の逆変数を用いる、2) 応力、変位等の算出において近似モデルを用いる等の工夫を行うことによって計算効率が極めて良くなることが、Schimt、Vanderplaats、杉本¹⁾らの研究によって明らかにされている。本研究では、非線形解析による応答値（応力、変位）の感度を線形解析の感度で近似し、さらに各最適化過程で必要となる応答値は近似式より算出するという最適設計を試みる。

2. 近似モデルの概要

骨組構造物の最適設計における近似モデルの概要を説明する。図-1 は近似モデルを用いない場合（以後従来の最適設計と呼ぶ）の最適設計の構成を、図-2 は近似モデルを用いる場合の最適設計の構成を示している。

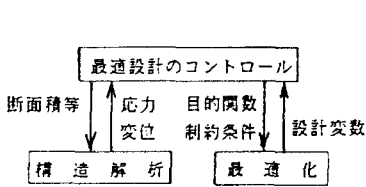


図-1 近似モデルを用いない最適化の構成

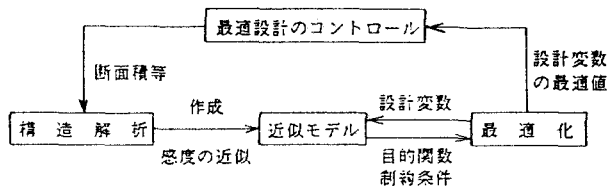


図-2 近似モデルを用いる最適化の構成

従来の最適手法は図-1のように、1) 構造解析過程、2) 最適化過程及び3) 最適設計のコントロールの3重ループを有する複雑な数値計算問題となっている。本手法において、構造解析は近似モデルを作成する時だけに用いられ、最適化計算は近似モデルを対象に行われる（図-2参照）。さらに応答値（応力、変位）の感度を算出する際厳密には非線形解析を行う必要があるが、ここでは3.で述べるように線形解析による求まる感度を代用する。

3. 近似モデルの作成

線形解析における応力及び変位の感度は前進差分によれば、

$$\text{応力} : \theta_L^\sigma = \frac{\sigma_L(A_i + \delta A_i) - \sigma_L(A_i)}{\delta A_i} \quad (1)$$

$$\text{変位} : \theta_L^d = \frac{d_L(A_i + \delta A_i) - d_L(A_i)}{\delta A_i} \quad (2)$$

以後、下付きの L は線形解析による値を、 N は非線形解析による値とする。

式(1)、(2)より、感度 θ_L による応力及び変位の順変数及び逆変数による近似式はそれぞれ以下のようなになる。

(A) 断面積の順変数1次近似式

$$\sigma_N = \sigma_N^0 + \theta_N^\sigma \delta A \doteq \sigma_N^0 + \theta_L^\sigma \delta A \quad (3)$$

$$d_N = d_N^0 + \theta_N^d \delta A \doteq d_N^0 + \theta_L^d \delta A \quad (4)$$

(B) 断面積の逆変数による近似式

$$\begin{aligned}
 \sigma_N &= \sigma_N^0 + \frac{\partial \sigma_N}{\partial \zeta} \delta A \quad (\text{ただし } \zeta = 1/A) \\
 &= \sigma_N^0 + \theta_N^{\sigma} A^0 \left(1 - \frac{A^0}{A}\right) \\
 &\doteq \sigma_N^0 + \theta_L^{\sigma} A^0 \left(1 - \frac{A^0}{A}\right)
 \end{aligned} \tag{5}$$

同様にして、

$$d_N = d_N^0 + \theta_N^d A^0 \left(1 - \frac{A^0}{A}\right) \doteq d_N^0 + \theta_L^d A^0 \left(1 - \frac{A^0}{A}\right) \tag{6}$$

ここで θ_L と θ_N とは異なるが、近似モデルそのものが近似値であり、その感度 θ に求められるのは傾きの方向（ある段階の断面積から最適解へ方向）が正しいことであり、 θ_L を θ_N の代わりに用いることは数値計算上問題ないとする。4. では、式 (3) ~ (6) の近似モデルを用いた最適設計の解析例を示す。

4. 近似モデルを用いた最適設計の解析例

図-3 に示す 7 部材アーチトラスの最適設計を行った。目的関数には総体積 ($V = \sum_{i=1}^7 \ell_i A_i$) を、制約条件には 1) 応力制約、2) 変位制約、3) 断面制約（上限値、下限値）を考慮した。初期値は全応力設計における最適解を用い、表-1 に示すとおりである。2, 6 部材は断面制約がアクティブになっているため、等しい最適解が得られるが、1, 3, 4, 5, 7 部材は応力制約がアクティブになっているため、若干の差がみられる。ただし、式 (5)、(6) の逆変数近似式による最適化における反復回数は、式 (3)、(4) の順変数 1 次近似式における反復回数より少なくなっている。解析方法の詳細及び他の解析例については講演時に報告する。

表-1 従来の最適設計による解と
近似モデルによる最適解の比較

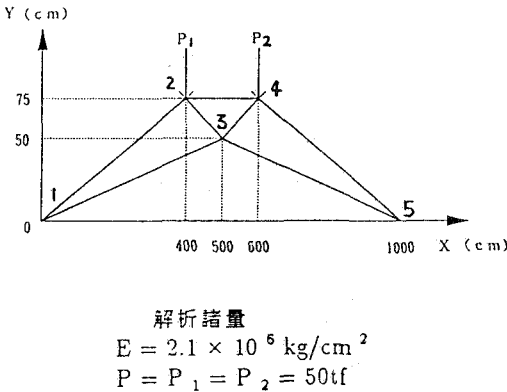


図-3 7 部材アーチトラスの解析例

	初期断面積 $A^0(\text{cm}^2)$	非線形最適解 $A_M^{\text{OPT}}(\text{cm}^2)$	順変数最適解 $A_A^{\text{OPT}}(\text{cm}^2)$	逆変数最適解 $A_B^{\text{OPT}}(\text{cm}^2)$
1	138.96	162.59	162.69	162.60
2	80.80	80.80	80.80	80.80
3	31.84	17.44	17.39	17.67
4	105.68	143.42	143.49	143.51
5	31.85	17.07	16.73	17.34
6	80.80	80.80	80.80	80.80
7	138.96	162.62	162.60	162.64
目的関数: $V(\text{cm}^3)$		245795	245743	245877

参考文献

- 1) 杉本他：骨組構造物の最適設計における応力近似モデルについて、構造工学論文集、Vol.35A (1989年)