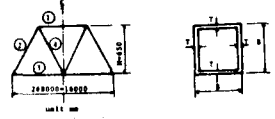


長崎大学 工学部 正員 小西保則
 長崎大学 工学部 学生員 桑野信治
 長崎大学 工学部 学生員 西原普明

1. 概要

構造物が長大化し複雑になると変数・制約条件式共にその数は多くなる。そこで Suboptimization によれば変数・制約条件式の数を減らすことが出来ることはすでに述べた¹⁾。Suboptimization の方法として1部材要素の最適値を求める必要がある²⁾ので、1本の部材、特に圧縮材の最適値を求める手法として、最も計算時間少なく且つ精度の高い手法を選ぶ必要がある。又許容圧縮応力度は昭和55年2月改訂され、従来は局部座屈が生じない様板幅と板厚の比が制限されていたが、局部座屈を考慮して許容圧縮応力度を軽減することになった。従つて目的関数として重量を選んだ場合でも、設計変数として断面積ではなく、板厚、板幅をも考慮しなければならない。

手法の比較最適設計例として図-1に示す連続トラスの④部材について正方形断面と仮定して、SLP法(数値微分した場合)、偏微分した場合、変数変換した場合)、SUMT法(Fibonacci 探索法、二次式近似法)の各手法について比較した。



2. トラス圧縮部材の最適設計

設計変数は部材断面幅Bと板厚Tの2変数とする。制約条件式は応力制限 σ_1 、図-1 トラス一般図及断面図 細長比 λ が120以下 σ_2 、板幅と板厚比が80以下 σ_3 、設計変数の上下制限 $\sigma_4 \sim \sigma_7$ とする。図-2に目的関数等高線図と設計空間、図-3には応力の制約条件、目的関数等高線と断面積Aの関係図を示す。これにより

COSTを目的関数として選んだ場合④が最適値である。 $(B-T)/T=29.1$ と応力の制約条件式の交点が最適値となっている。すなわち局部座屈を考慮する必要のない板幅と板厚の比が29.1の比が最適値である。図3によると断面積 $A=1540\text{cm}^2$ の線の σ_1 と σ_2 の接点④は①点と可成異なっている。圧縮部材の最適値は Fully Stressed 状態になっているが全応力設計では必ずしも最適値と得られないことに注意すべきである。目的関数は COST で計算する。鋼材は SM58 を使用し鋼材費、溶接費の係数はTの関数として(1)、(2)、式で計算する。目的関数Zは(3)式で図-2 目的関数等高線図と設計空間

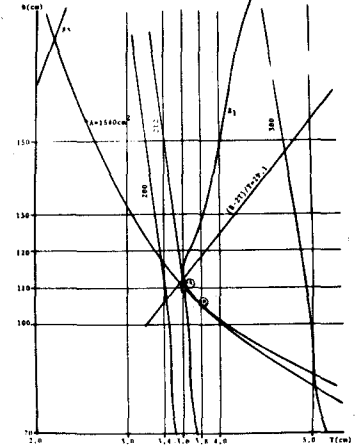
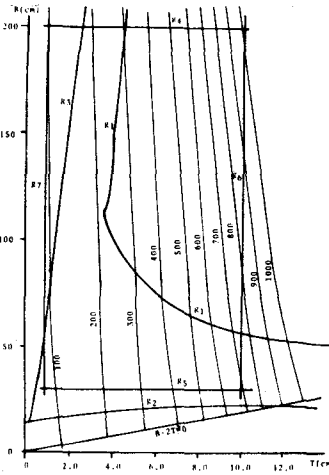


図-3 応力制約条件式、目的関数値と断面積との関係図

示される。CMは鋼材単価で80.4円とする。

$$\text{鋼材費 } F_1(T) = 0.0348 T^2 - 0.0845 T + 1.2091 \dots (1) \quad \text{溶接費 } F_2(T) = 0.0476 T^2 + 0.1952 T + 0.7572 \dots (2)$$

$$Z = CM \cdot \{ [B^2 - (B-T)^2] \times SL \times \rho \times \{ F_1(T) \times 1.1 \times 1.49 + 1.0 \} + \mu \times \{ 4 \times SL \times F_2(T) \} \times 0.58 \} \dots (3)$$

ここに μ = 製作費単価 / 鋼材単価 = $4/80 = 0.05$, ρ = 鋼材単位重量 = $0.785 \times 10^{-5} \text{ ton/cm}^3$, SL = 部材長さである。

3. 各種手法の比較

(1) SLP法(反復線形計画法, Sequence of Linear Programming Method)

制約条件式、目的関数をテラー展開して線形化するがその際数値微分による方法(Case 1)、偏微分式による方法(Case 2)、および文献2)の変数変換による方法(Case 3) すなわち $x = x_0 + \Delta x$, $y = y_0 + \Delta y \dots (4)$

とおくと $y = 1 + \Delta x / x_0$ ----- (5) 又上下制限は

$$x^l / x_0 \leq y \leq x^u / x_0 \text{ ----- (6), } 1 - \frac{\Delta}{2} \leq y \leq 1 + \frac{\Delta}{2} \text{ ----- (7) のどちらかである。故に } y^l = \max\left\{\frac{x^l}{x_0}, (1 - \frac{\Delta}{2})\right\}, y^u = \min\left\{\frac{x^u}{x_0}, (1 + \frac{\Delta}{2})\right\} \text{ ----- (8) となる。}$$

$$y^* = y - y^l \text{ とおくと } x = x_0(y + y^l) \text{ ----- (9)}$$

である。これより $0 \leq y^* \leq y^u - y^l$ ----- (10) となつて上下制限的制約条件式は設計変数1個に過ぎない個となる。ここで x_0, x^l, x^u は変数の初期値, 上界および下限値である。そこで制約条件式・目的関数は次のようになる。

$$\nabla g(x_0, y^*) = -g(x_0) - \nabla g\{x_0(y^l - 1)\} \text{ ----- (11)}$$

$$f(x) = f(x_0) + \nabla f(x_0, y^*) + \nabla f\{x_0(y^l - 1)\} \text{ ----- (12)}$$

$\nabla g, \nabla f$ は制約条件式 g , 目的関数 f を x で偏微分した微係数である。SLP法による収束状態を図-4に示す。

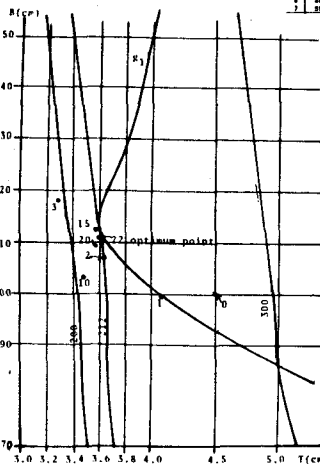


表-1 トラス圧縮部材の最適値の比較表

Case	Method	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Total	Std
1	SLP	110.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
2	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
3	SLP	110.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
4	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
5	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
6	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
7	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
8	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
9	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1
10	SLP	111.5	1.000	111.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.1	0.1

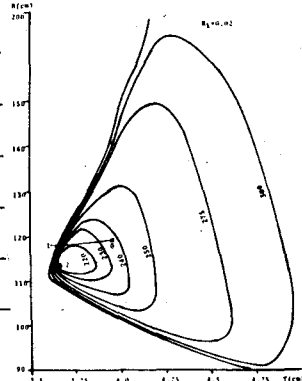


図-5 $R_k = 0.02$ の時の設計空間

(2) SUMT法(無制約最小化反復法, Sequence of Unconstrained Minimization Technique) 図-4 SLP法による収束状態の図

制約条件式のある問題をSUMT変換して制約条件式のない問題とし, 無制約関数としての罰金関数の最適値を求める。この場合Davidson-Fletcher-Powellの手法を用いた。1次元探索の方法としてはFibonacci探索法(Case 4, 5)と2次式近似法(Case 6, 7)³⁾を用いた。SUMT変換の罰金項の係数を R_k とした時 $R_k = 0.02$ の場合の設計空間の図を図-5に示す。

SLP法, SUMT法のそれぞれのCaseについて, 変数の値 B, T , 罰金関数の値 F , 目的関数の値 Z , 繰り返し回数 N_{iter} (SUMTの場合は R_k が変化した場合の繰り返し回数5, R_k 一定の場合の繰り返し回数2), 収束判定値 Eps 1, 2, 3, CPU Time, Δ の値 A 1, テーラ-展開の位置 $\Delta x, -\Delta x$ の値 A 1, A 2を示す。比較表を表1に示す。

4. 結論

結論として次の事が明らかになった。(1) 圧縮材の場合設計変数として断面積のみでは不十分で少なくとも板厚, 板幅を変数とする必要がある。(2) 目的関数に重量を用いた場合でも圧縮部材については全応力設計では必ずしも最適値は得られない。(3) SLP法とSUMT法を比較した場合SLP法がSUMT法より計算時間も短く, 収束もよい。図-4, 図-5に示すようにSUMT法は真の最適値に収束し難いが, SLP法は繰り返しの当初は応力制約条件式 g_i に対して領域からはみ出しているが最適点ではほとんど $g_i = 0$ 上に収束している。(4) SLP法でも数値微分による場合と偏微分式を用いた場合では殆んど相違なく数値微分を用いて十分と思われる。(5) SUMT法で一方探索として2次式近似法がFibonacci法より計算時間が少なく前者の方がよい。(6) 現在PGM法(投影傾斜法), FDM法(可能方向法)を用いて本研究の例題を計算中であるが, SLP法, PGM法は領域外にはみ出すのでFDM法の方が優れていると思われる。

参考文献

- (1) 小西保則, 馬場雅彦, 山下正人: 不連続構造物のSuboptimizationによる最適設計, 土木学会昭和55年度西部支部學術講演会講演概要集, PP.9-PP.10, 1981年。
- (2) 前田卓雄, 林正, 坂本良文: SLP法による骨組構造物の最適設計, JSSC, 第15回大会研究集会, マリックス解析法研究発表論文集, 1981年。
- (3) JSSC: 最適化手法の構造設計・解析への応用, 培風館, PP.15-PP.16, 1980年。