

## 可能方向法によるトラスの最適設計に関する研究

長崎大学工学部 正員 小西保則

長崎大学工学部 学生員 小村司

長崎大学工学部〇学生員 上田大作

## 1. まえがき

構造物が長大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ずることが出来る。Suboptimizationの方法として1部材要素の最適値を求めた必要があり、その手法として最も計算時間が少なく、且つ精度の高い手法を選ぶ必要がある。又1本の部材の場合は制約式も少なく非線形である応力制約条件式がクリチカルになる場合が多い。この様な場合、その探索方法の特性より他のSLP法、SUMT法に比較して、より最適値を求めることが出来る可能方向法<sup>1),2)</sup>に関する研究を行った。

## 2. 可能方向法

いま、制約条件式を  $g_i(x) \leq 0$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) ……(1) とし、目的関数を  $z = f(x) \rightarrow \min$  ……(2) とする。この方法は、 $x^{k+1} = x^k + \alpha^k s^k$  ……(3) の最小化探索の反復を行なうが、探索方向 $s^k$ およびステップ幅 $\alpha^k$ を常に $x^{k+1}$ が実行可能領域すなわち制約条件式を満足する領域にあるように選ぶ。進行方向 $s$ は次式より求める。 $\nabla g_i(x^k) s + \beta \leq 0$  ……(4)  $\nabla f(x^k) s + \beta \leq 0$  ……(5)  $|s| \leq 1.0$  ……(6)  $\beta' = \beta \rightarrow \max$  ……(7) SLP法が非線形な制約条件式を線形近似するのに対して、本方法では非線形制約条件式をそのまま使用するので、より正確な最適値を求めることが可能である。

## 3. 最適設計例

(1) トラス圧縮部材の最適設計例：今、外的一次不静定構造物、二径間連続トラスの中間圧縮斜材①の最適設計を行なう。設計条件として支間 $L = 1600\text{cm}$ 、トラス高 $H = 450\text{cm}$ 、部材長 $SL = 763.22\text{cm}$ 、部材力 $P = 4000\text{ton}$ 、使用鋼種SM58(トラス全体に共通)、鋼材の単位重量 $\rho = 0.785 \times 10^{-5} \text{ton/cm}^2$ 、設計部材断面としては図-1に示す箱形断面とする。設計変数としてフランジ幅( $B$ )、フランジ板厚( $T$ )。制約条件式としては、(1)応力制限： $\sigma_a - \sigma \geq 0$ 、(2)座屈防止の細長比制限： $120 - \lambda_f \geq 0$ 、(3)板厚制限： $80 - B/T \geq 0$ 、(4)変数の上・下限制限： $T_u - T \geq 0$ 、 $T - T_L \geq 0$ 、 $B_u - B \geq 0$ 、 $B - B_L \geq 0$  ( $\sigma_a$ ：許容軸方向圧縮応力度、 $\ell$ ：部材長、 $r$ ：断面二次半径、 $T_u = 100\text{cm}$ 、 $T_L = 0.9\text{cm}$ 、 $B_u = 200\text{cm}$ 、 $B_L = 30\text{cm}$ )。目的関数は、費用である鋼材費、組立溶接費、工場製作費を考慮して、 $z = z_1 + z_2 + z_3 + z_4$  ……(5) とし、ここに鋼材費： $z_1 = A \times SL \times \rho \times F_1(T) \times 1.11 \times 1.59$ 、組立溶接以外の製作費： $z_2 = A \times SL \times \rho \times 0.05 \times 11.023 \times 1.25$ 、組立溶接費： $z_3 = 0.05 \times 4.0 \times 0.58 \times SL \times F_2(T) \times 0.01 \times 1.25$ 、変数に関係しない製作費： $z_4 = 0.05 \times 91.0$ 、鋼材費の板厚換算率： $F_1(T) = 0.0248T^2 - 0.0845T + 1.2091$ 、溶接費の板厚換算率： $F_2(T) = 0.0476T^2 + 0.1952T + 0.7572$ とする。初期値を $B = 100.0(\text{cm})$ 、 $T = 4.5(\text{cm})$ として計算した結果の探索状況を図-2に示す。可能方向法とSUMT法の計算結果の比較を表-1に示す。

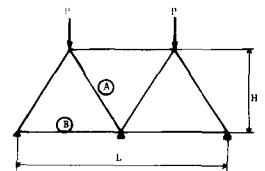


図-1 トラス一般図及び断面図

表-1 可能方向法及び SUMT 法による計算結果比較表 (1)

|      | IS | 0       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | FINAL   |
|------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SUMT | B  | 100.000 | 139.221 | 115.457 | 112.257 | 113.514 | 113.144 | 111.550 | 111.444 | 111.215 |
|      | T  | 4.500   | 6.185   | 4.028   | 3.693   | 3.650   | 3.611   | 3.592   | 3.581   | 3.578   |
|      | Z  | 42.397  | 92.546  | 41.733  | 36.785  | 36.647  | 36.097  | 35.461  | 35.310  | 35.220  |
| FDM  | B  | 100.000 | 96.807  | 112.271 | 110.468 | 110.968 | 111.241 | 111.098 | 111.172 | 111.174 |
|      | T  | 4.500   | 4.233   | 3.589   | 3.599   | 3.584   | 3.576   | 3.577   | 3.575   | 3.575   |
|      | Z  | 42.397  | 38.162  | 35.620  | 35.253  | 35.225  | 35.210  | 35.181  | 35.177  | 35.177  |

表-1, 図-2 によると可能方向法がわずかではあるが, より最適値に収束している。

(2) トラス引張部材の最適設計例 (I): 次に, ④部材を引張部材と仮定した時の最適設計を行なった。制約条件式としては, (1)の応力制限  $\sigma_a - \sigma \geq 0$  ( $\sigma_a$ : 許容軸方向引張応力度), 細長比制限:  $l/r \leq 200$  とし, その他の制限は, 設計例 (1)に同じとする。又, 目的関数及び初期値についても (1)と同じとし, 可能方向法と SUMT 法との比較結果を表-2 に示す。

表-2 可能方向法及び SUMT 法による計算結果比較表 (2)

|      | IS | 0       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | FINAL   |
|------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SUMT | B  | 100.000 | 135.312 | 111.924 | 132.107 | 129.477 | 142.157 | 141.767 | 149.005 | 148.949 |
|      | T  | 4.500   | 6.287   | 4.168   | 3.509   | 3.177   | 2.850   | 2.791   | 2.642   | 2.632   |
|      | Z  | 42.397  | 92.681  | 42.380  | 39.846  | 35.151  | 33.995  | 33.215  | 32.803  | 32.680  |
| FDM  | B  | 100.000 | 96.185  | 117.313 | 135.121 | 150.535 | 164.112 | 176.252 |         | 178.742 |
|      | T  | 4.500   | 4.181   | 3.376   | 2.909   | 2.600   | 2.378   | 2.210   |         | 2.180   |
|      | Z  | 42.397  | 37.383  | 34.549  | 33.274  | 32.578  | 32.152  | 31.870  |         | 31.840  |

表-2, 図-3 によると, 応力制約条件式と目的関数の等高線がほぼ平行となり, ならぬかな曲線であって, 初期値を最適点より遠く選んだ場合, SUMT 法は最適点に収束し難いが, 可能方向法によるとほぼ最適点に収束している。

(3) トラス引張部材の最適設計例 (II): トラス引張部材最適設計例 (II)として, 図-1 の下弦部材⑥の最適設計を行なった。ここで設計条件として, 部材長  $SL = 800\text{cm}$ , 部材力  $P = 1700\text{ton}$  とし, その他の条件は (2)と同様とする。計算結果を表-3 に示す。

表-3 可能方向法及び SUMT 法による計算結果比較表 (3)

|      | IS | 0       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | FINAL   |
|------|----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| SUMT | B  | 100.000 | 86.028 | 83.188 | 69.522 | 84.030 | 79.993 | 79.136 | 78.963  |
|      | T  | 4.500   | 4.090  | 4.268  | 5.263  | 2.620  | 2.237  | 2.150  | 2.132   |
|      | Z  | 44.221  | 34.560 | 35.363 | 22.947 | 21.692 | 18.427 | 17.752 | 17.617  |
| FDM  | B  | 100.000 | 73.606 | 80.104 | 86.069 | 91.451 | 96.406 |        | 101.001 |
|      | T  | 4.500   | 2.292  | 2.094  | 1.943  | 1.824  | 1.726  |        | 1.645   |
|      | Z  | 44.221  | 17.750 | 17.559 | 17.430 | 17.338 | 17.270 |        | 17.217  |

表-3 より, (2)と同様に SUMT 法と比較して可能方向法がより最適値に近く収束している。

#### 4. 結論

以上の結果より, 可能方向法は非線形問題における最適化手法としては, SUMT 法及び  $SLP$  法に比べると, より厳密な解を求めることが可能である。

又, CPU time を比較すると, 表-4 により制約条件式が目的関数等高線と

ほぼ平行になるような最適設計例 (2), (3) の場合には, SUMT 法とは同じである。(1) の場合では, 可能方向法が CPU time が多い。この場合 6 回の繰返し回数でほぼ最適値に到達しているが, 収束判定値が小さいので 8 回で

収束した。本方法では, 関数の評価回数が多い為, CPU time が多くなっている。この点を改良することにより, より有効な方法となるであろう。

#### 5. あとがき

本論文の計算には長崎大学 FACOM M-180 を使用した。御援助いただいた情報処理センターの方々に感謝する。

#### 参考文献

- 1) 長岡: 構造物の最適設計, 朝倉書店, PP 68-PP 72, 1971.
- 2) JSSC: 最適化手法の構造設計・解析への応用, 培風館, PP 57-PP 60, 1980.

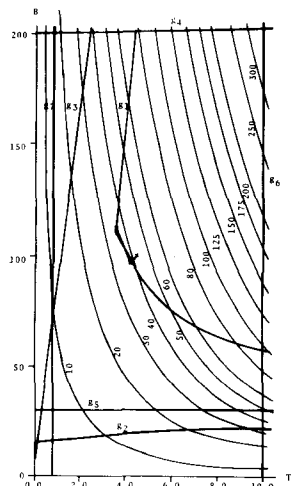


図-1 圧縮部材の目的関数と制約条件

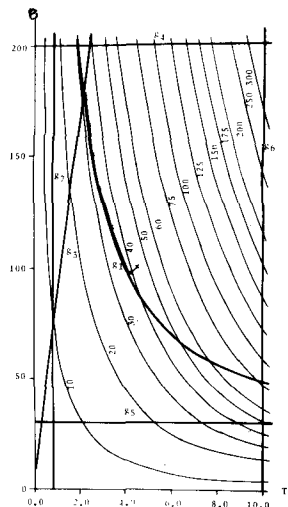


図-2 引張部材の目的関数と制約条件

表-4 CPU Time (sec.)

|      | Ex. 1 | Ex. 2 | Ex. 3 |
|------|-------|-------|-------|
| SUMT | 1.25  | 1.20  | 1.31  |
| FDM  | 1.70  | 1.26  | 1.12  |