I-12 可能方向法による骨組構造物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○ 靏 敏信

1.まえがき

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ずることができる。Suboptimizationの方法として各部材要素の最適値を求める必要があり、可能方向法を選んだ。しかし可能方向法は、関数の評価回数が多いため計算時間がかかるので、計算時間を短縮する研究を行った。

2、可能方向法

今、制約条件式を　$g_i(X) \leq 0 \quad (i=1,2,\cdots,n)$ ——————(1)

とし、目的関数を　$Z=f(X) \longrightarrow min$ ——————(2)

とする。この方法は、　$X^{k+1}=X^k+\alpha^k \cdot S^k$ ——————(3)

の最小化探索の反復を行うが、探索方向S^kおよびステップ幅α^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は次式により求める。

$$\nabla g_i(X^k)\cdot S+\beta \leq 0 \qquad (4)$$

$$\nabla f(X^k)\cdot S+\beta \leq 0 \qquad (5)$$

$$|S_i| \leq 1.0 \qquad (6)$$

$$z'=\beta \longrightarrow max \qquad (7)$$

ここに、$\nabla g_i(X^k)$は$g_i(X^k)$のグラディエント、$\nabla f(X^k)$は$f(X^k)$のグラディエントである。これはSLP法が非線形制約条件式を線形近似するのに対して、本手法では非線形制約条件式をそのまま用いるので、より正確な最適値を求めることが可能である。また、関数の評価回数が多い為、この点の改良として、ニュートン法、2分法を併用した。ステップ幅$\alpha>1$の場合は、最急降下の方向に進み、$\alpha \leq 1$の場合は可能方向法を使い方向Sを求める。ニュートン法でαが求まらない場合、$\alpha \leq 1$なので2分法の区間[a_0, b_0]が設定しやすくなり、くり返し回数が少なくてすむ。活動中の制約条件式が線形の場合には投影傾斜法を使用した。

3.最適設計例

Fig.-1および3に示すトラスについて最適設計を行った。Fig.-1のトラスは荷重Pが作用した場合、①・②・③・④の各部材が圧縮部材となり、⑤・⑥・⑦部材は、引張部材となる。設計条件としてスパン長$L=1600$ cm、高さ$H=650$ cm、荷重$P=6000$ ton、使用鋼種SM58(トラス全体に共通)、鋼材の単位重量$\rho=0.785\times10^{-5}$ ton/cm³。設計変数として、各部材のフランジ板厚(T)、各部材共通のフランジ幅(B)をとり、①と④、②と③、⑤と⑥の部材が等しいので合計5個である。制約条件式は(1)応力制限:$\sigma-\sigma_a \leq 0$ (2)座屈防止の細長比制限:$l/r-120\leq0$, $l/r-200\leq0$ (3)板厚制限:$B/T-80\leq0$ (4)変数の上下限制限:$10.0\,cm \geq T \geq 0.8\,cm$, $200.0\,cm \geq B \geq 30.0\,cm$、($\sigma_a$:許容応力、$l$:部材長、$r$:断面2次半径)として、応力制限の条件式が4、細長比制限の条件式が4、板厚制限の条件式が4、変数の上下限制限の条件式が10の合計22である。目的関数は、材料費・組立費を考慮して次式で計算する。

$$
\begin{aligned}
Z &= \sum_k \sum_l \bar{H}_{kl}(SMH) + \sum_i \sum_j H_{ij}(SMH) + \sum_j \rho \cdot V_j \cdot C\,(CM) \\
&= Z_1(SMH) + Z_2(SMH) + Z_3(CM) \\
&= (CM)(Z_1\mu + Z_2\mu + Z_3) \qquad (8)
\end{aligned}
$$

ここで$C=C_1\times C_2$で表わされ、$C_1\cdot C_2$はそれぞれ鋼種Sおよび板厚Tによる関数$C_1=0.125S^2-$

$0.955S+2.820$, $C_2=0.0348T^2-0.0845T+1.2091$である。また、(CM):鋼材の単価(円/ton)、(SMH):1人1時間当りの工数単価(円/時間)、$\mu=(SMH)/(CM)$、H_{kl}:k工程、l部材の変数に関係ない作業工数(時間)、H_{ij}:i工程、j部材の設計変数の関数である作業工数(時間)、V_j:j部材のVolume(cm³)である。(CM)=80000円/ton、(SMH)=4000円/時間、すなわち$\mu=4000/80000=0.05$として計算した。

Fig.-3に示すトラスについては、①部材は引張部材、②部材は圧縮部材とし、設計条件としてL=1000cm、P=2000ton、使用鋼種SM58、設計変数は各部材のフランジ板厚T1・T2、各部材共通のフランジ幅Bとし、制約条件・目的関数はFig.-1のトラスの場合と同様にする。設計変数の数は3、制約条件式の数は合計12である。

Table - 2

変数	R	T1	T2
SIZE	96.79	2.89	2.89

目的関数　Z = 5450000

Table - 1

変数	B	T1	T2	T5	T7
SIZE	137.98	3.67	4.02	1.69	1.79

目的関数　Z = 9850000

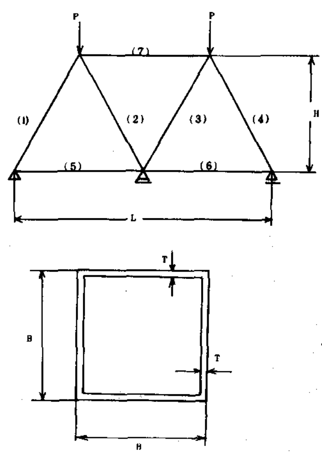


Fig-1

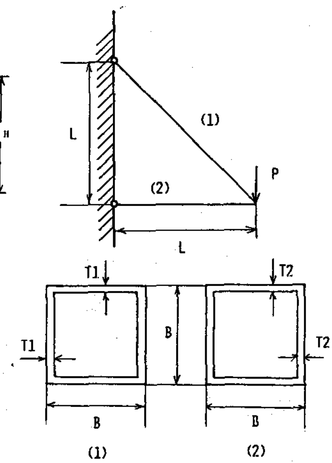
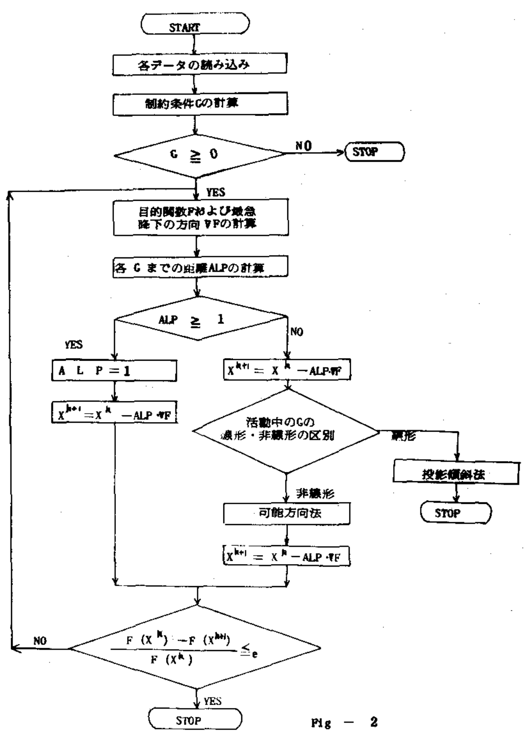


Fig.- 3

4.結果

Fig.-1に示すトラスの結果をTable-1に示し、Fig.-2に示すトラスの結果をTable-2に示す。

今回は可能方向法による2つのトラスの最適設計を行い、Fig.-1のトラス、Fig.-2のトラス共に応力制限の制約条件式により最適値が求まった。



Pig － 2

参考文献

1)長尚:構造物の最適設計,朝倉書店、PP68−PP72　1971

2)L.C.W.ディクソン:非線形最適化計算法