

1 概説 一般に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が多くなり、最適設計が困難となる。その場合でも Suboptimization によれば、容易に複雑な骨組構造物¹⁾についても最適設計が可能なのは既に述べた。しかしながら Suboptimization を用いた本手法により全体の最適設計を行う各段階で全体に共通な変数に対する各部材要素のみの変数の最適設計を行う必要があり、関数の評価回数が増加し可成の計算時間と要する。そこで本研究では計算の精度はやや劣るが、実際の設計に有用な実用最適設計手法に関する研究を行ない満足ある結果を得たので報告する。

2. Suboptimization による最適設計手法 Suboptimization による方法は文献¹⁾に詳細に述べているが、概略を示すと次のようになる。Suboptimization の方法として、変数を2つのグループに分ける。1つの部材要素のみの変数 x と全体に共通な変数 y とに分ける。一般に制約条件式は $g_I(x_I, x_{II}, \dots, y) \leq 0$, $g_{II}(x_I, x_{II}, \dots, y) \leq 0, \dots$ (1) となり、 y のみの制約条件式は $g(y) \leq 0, \dots$ (2) となり、目的関数は、

$$Z = f_I(x_I, x_{II}, \dots, y) + f_{II}(x_I, x_{II}, \dots, y) + \dots \min. \quad (3)$$

となる。ここで制約条件式、目的関数に対して、変数 x_I, x_{II} のグループはそれぞれ要素 $I, II, \dots$ に属し、それらの変数はお互に独立である。静定構造物においては、断面寸法の変化が内部応力の分布に影響されない。そこでこの場合には目的関数、制約条件式共に変数 $x_I, x_{II}, \dots$ のグループに対してお互いに独立である。

そこで制約条件式は $g_I(x_I, y) \leq 0$, $g_{II}(x_{II}, y) \leq 0, \dots$ (4), $g(y) \leq 0 \dots$ (5) となり、目的関数は

$$Z = f_I(x_I, y) + f_{II}(x_{II}, y) + \dots \min. \quad (6)$$

となる。不静定構造物の場合は近似的に(4), (6)式が成立つ。次に y を一定とした時の x の最適値を求める(7)式が得られる。

$$x_I = h_I(y), \quad x_{II} = h_{II}(y), \dots, \quad (7)$$

(7)式を(6)式に代入すると

$$Z = f_I\{h_I(y), y\} + f_{II}\{h_{II}(y), y\} + \dots \min. \quad (8)$$

となり、(5)の制約条件式のもとで(8)式を最小にする最適値を求めればよい。ここで最適解の近傍では、近似的に目的関数(8)式は y に関する、超2次曲面と考えて(8)式を次のように仮定した。

$$Z = (a_1 y_1^2 + b_1 y_1 + c_1) \cdot (a_2 y_2^2 + b_2 y_2 + c_2) \cdot \dots \min. \quad (9)$$

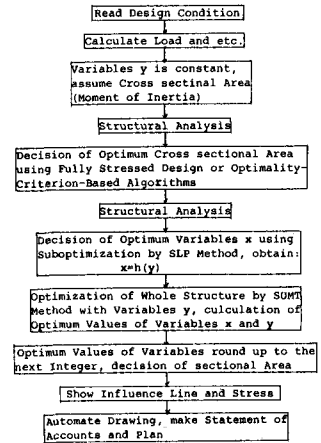


Fig.1 Flow chat for optimum design using Personal Computer

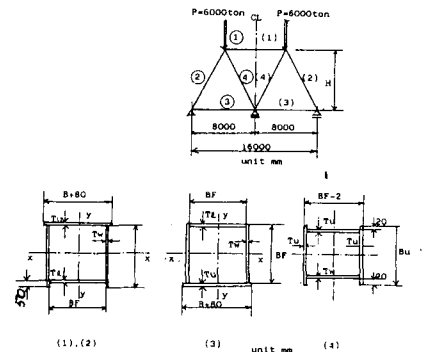


Fig.2 Notations for 2-Span continuous truss

Table 1 State of convergence for 2-panel 2-span continuous truss

K	IS	B _f (cm)	B _w (cm)	H (cm)	F (1000dyn)	Z (1000dyn)	Nk
1	0	90.0	85.0	600.0	10457.0	7228.2	50.0
1	1	90.9	88.8	620.6	9816.5	7116.7	50.5
1	2	95.8	86.8	703.5	9404.0	6942.3	50.0
2	0	95.8	86.8	703.5	9597.3	6942.3	1.0
2	1	95.2	89.2	725.7	6961.4	6905.0	1.0
2	2	93.9	88.2	821.3	6899.4	6842.8	1.0
2	3	95.2	88.2	827.6	6896.4	6838.9	1.0
3	0	95.2	88.2	827.6	6901.7	6838.9	0.02
3	1	95.2	88.4	828.5	6839.9	6830.7	0.02
3	2	95.3	88.4	835.7	6839.6	6830.3	0.02
3	3	95.2	88.4	836.2	6839.6	6830.3	0.02

(9) 式において、未定係数法により $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, \dots$ を決定する。従つて全体の最適解は(5)式の制約条件式のもとに(9)式を minimum する最適解 Y_0 を SIMPLX 法を用いて求め、その時の目的関数の値を Z^* とする。

Y_0 を用いて、 X の最適解 X_0 を求め、この時の目的関数の値を Z とし、反復繰り返し $|Z^* - Z|/Z \leq \epsilon$ (10) が成立した時を全体の最適解とする。ここに ϵ は収束判定値である。概略の方法と Fig. 1 に示す。

3. 最適設計例 本手法を用いた最適設計例として Fig. 2 に示す 2 径間、2 格間の連続トラスについて最適設計を行った。図中 ①, ②, ③, ④ は部材番号, (1), (2), (3), (4) は部材断面の種別を表わし、その断面形状を Fig. 2 に示す。荷重として、上弦格点に $P = 6000 \text{ ton}$ を載荷した時の最適値を求めた。

1) 設計変数 設計変数の内 X に属するものは鋼種 S ($S=4, 41 \text{ kg/mm}^2$ 鋼; $S=5, 50 \text{ kg/mm}^2$ 鋼; $S=6, 58 \text{ kg/mm}^2$ 鋼とする。), 断面種別 (1), (2) の断面寸法の内の T_u, T_w , 断面種別 (3) の断面寸法の内の T_w , 断面種別 (4) の断面寸法 T_u, T_w, B_u とし、 Y に属するものとしてトラス高 H , トラス弦材幅 BF , トラス上弦材腹板高 BW とする。

2) 制約条件式 Suboptimization の場合は応力制限, ねじみ制限, 変数の上下制限, (1), (3) 断面種別部材では板幅に対する板厚の比は 80 以下という制限, 細長比 $l/r \leq 200$ の制限, (2), (4) 部材は各部座底防止のための板幅に対する板厚の制限, 座圧防止のための細長比 $l/r \leq 120$ という制限である。全体の最適設計に対しては変数 Y である H, BF, BW の上下制限のみを制約条件とした。

ここで許容応力は離散変数である S の関数であるが、これを連続関数とし、数式化した。

3) 目的関数 目的関数は鋼材費・工場制作費を考えた。すなわち次式で示される。

$$Z = \sum_i \sum_j \tilde{H}_{rel} \cdot (SMH) + \sum_i \sum_j H_{ij} \cdot (SMH) + \sum_j PV_j \cdot C(CM) = Z_1(SMH) + Z_2(SMH) + Z_3(CM) \\ = (CM) \times (Z_1/\mu + Z_2/\mu + Z_3) \quad \text{--- (11)}$$

ここに P : 鋼材単位重量, C : 鋼材単価係数, (CM) : 鋼材単価, (SMH) : 1 人/1 時間当りの工数単価, H_{ij} : i 工程 j 部材の工数(時間)で設計変数の関数である。 $\tilde{H}_{rel}$: i 工程 i 部材の工数(時間)で一定な値である。 $\mu = (SMH)/(CM)$ である。ここで C は T (板厚), S の関数と考え数式化した。 Z_1, Z_2, Z_3 は (CM) で割って無次元化した。そこで μ のみが経済情勢に関係する。ここで H_{ij} は鋼道橋橋梁価計算表²⁾を参考にして橋梁製作会社の実績データより数式の係数を最小二乗法により求め数式化した。そこで上述の制約条件式と(11)式の最適値を各部材要素毎に SLP 法を用いて求めた。

4) 全体の最適設計 設計変数の内 Y に属するのは BF, BW, H である。Suboptimization により求めた(7)式は(5)式を除いたすべての制約条件式を満足しているので制約条件式は(5)式のみを満足すればよい。ここで S は離散変数であるので枚挙法を用いて整数化した。

5) 最適設計結果と考察 本手法による最適設計を行った結果の変数, 罰金関数, 目的関数の直ぐ収束状況及び最適値を Table 1 に示す。又 H_0 (トラス高の初期値)を Case 1 は $H_0 = 500 \text{ cm}$, Case 2 は $H_0 = 600 \text{ cm}$, Case 3 は $H_0 = 700 \text{ cm}$ とおいた時の値を Table 2 に示す。これによると Case 1 ~ Case 3 は殆んど一致して居り、全体的最適値に収束したものと考えられる。尚本最適設計では $SMH = 4000 \text{ yen/hour}$, $CM = 80,000 \text{ yen/cm}$, $\mu = 0.05$ とした。

4 結論 本論文で述べた通り、本手法による精度については少し不十分であるが、実用設計においては十分実用性がある。又更に XY70 プロッタを用いて自動設計が可能である。

参考文献 1) Y. KONISHI and Y. MAEDA: Optimum Design of Trusses Using Sub-Optimization, Proc. of JSCE, No. 333, PP/173-181, 1983. 2) 日本橋梁建設協会: 鋼道橋橋梁価計算表, 昭和 47 年度版, 1972.

Table 2 Comparison of optimum values for 2-panel 2-span continuous truss

Case	H ₀ (cm)	BF (cm)	BW (cm)	H (cm)	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	T _{u1}	T _{u2}
1	500.0	95.2	88.4	832.3	4.0	6.0	5.0	6.0	1.19	3.17
2	600.0	95.2	88.4	836.2	4.0	6.0	5.0	6.0	1.19	3.17
3	700.0	95.3	88.3	836.6	4.0	6.0	5.0	6.0	1.19	3.10

Case	T _{u4} (cm)	T _{w1} (cm)	T _{w2} (cm)	T _{w3} (cm)	T _{w4} (cm)	B _{u4} (cm)	F (1000yen)	Z (1000yen)
1	3.85	1.04	2.76	1.65	2.95	124.1	6839.7	6838.4
2	3.86	1.04	2.81	1.25	2.95	124.0	6839.6	6838.3
3	3.88	1.04	2.69	1.53	2.95	124.7	6839.4	6838.3