

I-122

パソコンを用いた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

川田工業株式会社 正員 牧島昌博

1. 概要

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増え、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についても最適設計が可能であり、且つパソコンを用いても実用最適設計を行うことが出来る。且つパーソナルコンピュータの性能が、飛躍的に向上し、記憶容量も増大し、その普及によって低廉な価格で入手出来、利用し易くなった。そこでパーソナルコンピュータを用いて、骨組構造物の最適設計を含んだ自動設計製図のプログラムの開発の準備的研究を行った。骨組構造物としては、トラス、はり、アーチの3種類について行うものである。

2. Suboptimization による最適設計手法

本手法については先に参考文献(1)に詳細に述べられているが、変数を1つの部材要素のみの変数 $X(X_1, X_2, \dots)$ と全体に共通の変数 Y に分け、 Y を一定として X の最適値を求め、 $X_{opt} = f(Y)$ なる関係式を導き、全体の最適化問題の目的関数・制約条件式を Y のみの関数で表わし、 Y の最適値を求める。この手法の流れ図を図-1に示す。

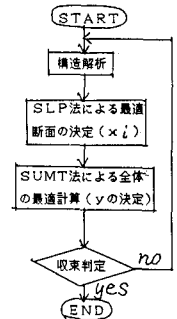


図-1 Suboptimization による手法の流れ図

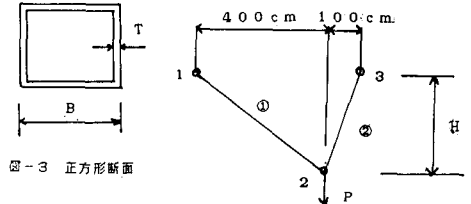


図-3 正方形断面

図-2 静定トラス

3. 最適設計例

3.1 静定トラス (1) 例1

設計条件：支間 $L=500\text{ cm}$ 、荷重 $P=100\text{ KN}=10204.08\text{ Kg}$ 。設計変数： X に属するもの断面積、 X_{11} 、 X_{21} Y に属するもの、高さ $H=Y$ 。制約条件：応力制限1の σ_1 許容応力 $\sigma_a \leq 0$ 、 $\sigma_a=10000/9.8\text{ Kg/cm}^2$ 、変数の上下制限 $200\text{ cm}^2 \geq X \geq 0$ 、 $300\text{ cm} \geq Y \geq 100\text{ cm}$ 。目的関数： Z ＝全部材の総体積、即ち最小重量設計とする。計算結果は表-1に示す。

表-1 静定トラス例1の最適設計結果

Case	初期値			最適値			目的関数 Z (cm^3)	収束判定値	計算時間 (分)
	x_{11}^0 (cm^2)	x_{21}^0 (cm^2)	y_1^0 (cm)	x_{11} (cm^2)	x_{21} (cm^2)	y_1 (cm)			
1	5	10	190	5.03	9.78	190.1	3978	e	5
2	10	15	250	4.80	9.70	196.3	3976	e	15
3	5	10	190	4.90	9.70	196.9	3974	e/10	15

表-2 静定トラス例2の最適設計結果

Case	初期値			最適値			目的関数 Z (cm^3)	収束判定値	計算時間 (分)
	x_{11}^0 (cm^2)	x_{21}^0 (cm^2)	y_1^0 (cm)	x_{11} (cm^2)	x_{21} (cm^2)	y_1 (cm)			
1	50	80	190	42.0	85.0	204.0	35034	e	5
2	100	150	250	44.3	86.9	182.5	35236	e	30
3	50	80	190	43.2	85.6	197.2	35037	e/10	30

(2) 例2 設計条件： $L=500\text{ cm}$ 、荷重 $P=90\text{ ton}$ 。設計変数、制約条件式目的関数共に例1に同じである。計算結果を示すと表-2の通りである。

(3) 例3 設計条件：例2に同じである。設計変数：図-3に示すように正方形断面とし、 $B=X_{11}$ 、 X_{21} 、 $60\text{ cm} \geq B \geq 2\text{ cm}$ 、 $300\text{ cm} \geq H \geq 100\text{ cm}$ とし、示方書は鋼道路橋示方書による。目的関数は全部材の総断面積とする。計算結果を示すと表-3の通りである。

3.2 不静定トラス (1) 例4 図-4に示す不静定トラスについて最適設計を行う。

設計条件：支間 $L=2 \times 5\text{ m}=10\text{ m}$ 、荷重 $P=100\text{ ton}$ 、ヤング率 $E=2.1 \times 10^6\text{ Kg/cm}^2$ 、 $H=500\text{ cm}$ で一定。設計変数：断面積 X_{11} 、 X_{21} 。制約条件：応力制限1の σ_1 許容応力 $\sigma_a \leq 0$ 、

表-3 静定トラス例2の最適設計結果

Case	初期値					最適値					目的関数 Z (cm)	収束 判定 値	計算 時間 分
	x_{11}^0 (cm)	x_{12}^0 (cm)	x_{21}^0 (cm)	x_{22}^0 (cm)	y_1^0 (cm)	x_{11} (cm)	x_{12} (cm)	x_{21} (cm)	x_{22} (cm)	y_1 (cm)			
1	7	1	12	1.0	190	8.0	1.1	10.4	1.6	188	24618	e	60
2	7	1	11	1.4	200	7.4	1.1	9.3	1.6	200	21536	e	30
3	7	1	10	1.5	210	7.6	1.1	13.5	1.1	199	24383	e	30

表-4 不静定トラス例4の最適設計結果

Case	初期値			最適値			目的関数 Z (cm)	収束 判定 値	計算 時間 (分)
	x_{11}^0 (cm)	x_{21}^0 (cm)	y_1^0 (cm)	x_{11} (cm)	x_{21} (cm)	y_1 (cm)			
1	100	100	500	76.6	43.1	500.0	140806	e	3
2	150	60	500	88.6	26.6	500.0	140658	e	3
3	100	100	500	76.5	42.3	500.0	140715	e/20	4
4	80	60	500	80.4	39.4	500.0	140447	e	2
5	80	60	500	80.4	39.4	500.0	140497	e/20	3

表-5 不静定トラス例5の最適設計結果

Case	初期値			最適値			目的関数 Z (cm)	収束 判定 値	計算 時間 (分)
	x_{11}^0 (cm)	x_{21}^0 (cm)	y_1^0 (cm)	x_{11} (cm)	x_{21} (cm)	y_1 (cm)			
1	100	100	550	37.6	58.0	301.1	76470	e	30
2	40	60	310	33.2	64.7	300.0	71197	e	15
3	40	60	310	33.2	64.7	300.5	71255	e/20	40

表-6 2区間連続トラス例6の最適設計結果

Case	初期値								最適値				
	x_{11}^0 (cm)	x_{12}^0 (cm)	x_{21}^0 (cm)	x_{22}^0 (cm)	x_{31}^0 (cm)	x_{32}^0 (cm)	x_{41}^0 (cm)	y_1^0 (cm)	x_{11} (cm)	x_{12} (cm)	x_{21} (cm)	x_{22} (cm)	
1	41	1	16	1	41	1	8.5	1	700	37.9	1.4	17.8	1.7
2	40	1	16	1	41	1	8.5	1	680	38.1	1.4	13.3	2.2
3	40	1	16	1	41	1.5	8.5	1	680	33.7	1.5	22.0	1.2

Case	最適値					目的関数 Z (円)	収束 判定値	計算 時間 分
	x_{31} (cm)	x_{32} (cm)	x_{41} (cm)	x_{42} (cm)	y_1 (cm)			
1	51.8	1.3	8.8	1.0	684	912373	e	300
2	38.9	1.8	9.1	0.9	680	926496	e	300
3	32.7	2.4	10.0	1.4	679	933197	e	300

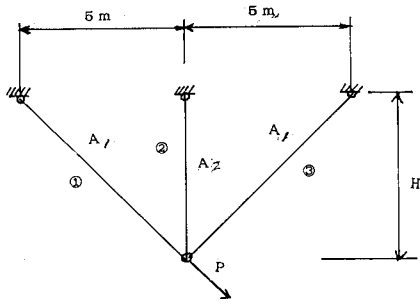


図-4 ナビエのトラス

$\sigma_a = 1000 \text{ kg/cm}^2$, 変数の上下制限, $200 \text{ cm}^2 \geq x \geq 0$. 目的関数: 全部材の総体積とする。計算結果を示すと表-4の通りである。

(2) 例5 設計条件: 例4に同じ, 但しHは変数で y_1 とする。設計変数: x に属するものは断面積 x_{11} , x_{21} , y に属するものは高さ $H = y_1$ とする。制約条件, 目的関数共に例4に同じ。但し制約条件式の高さの上下制限は $800 \text{ cm} \geq y_1 \geq 300 \text{ cm}$ とする。

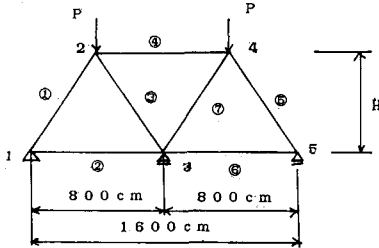


図-5 二区間連続トラス

(3) 例6 左図の2区間連続トラスについて最適設計を行う。設計条件: 支間 $L = 2 \times 800 \text{ cm} = 1600 \text{ cm}$, 荷重 $P = 600 \text{ ton}$, ヤング率 $E = 2$.

$1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 鋼種 SS41. 断面形状は図-3に示す。設計変数: 幅 B , 厚さ T とし, y に属するものはトラス高 $H = y_1$ とする。制約条件は応力制限その他鋼道路橋示方書による。目的関数は総費用とし, 計算結果を示すと表-6の通りになる。

4. 結論 計算は単精度で行ったので計算結果の精度はやや落ちる。静定トラスは Suboptimization によって良好な結果を得たが, 不静定はやや真の最適値と異なるが, 実用設計上は支障はない。

参考文献: 1) Y. KONISHI and Y. MAEDA: Optimum Design of Trusses using Suboptimization, Proc. of JSCE, NO. 333, PP173-181, 1983.