

1. まえがき

節点座標と部材断面を、同時に最適化しようとする、一つの設計空間における変数の数が多くなり、また、収束性の異なる2種類の変数を一緒にして扱うことから、収束性が悪くなる。このような同時最適化の問題に対しては、変数の数を減し、確実に最適解を得るため、変数を部材断面に関するもの(1次レベル)と、システム全体に関するもの(2次レベル)とに分けて、最適化を行う Two Level Method が適した方法であると思われる。本研究は、第1レベルの最適化にはSLP、第2レベルの最適化にはSUMTを用いた Two Level Method を、モデルトラス及び道路橋トラスの最小重量設計に適用し、その有用性を示そうとしたものである。

2. Two Level Method

(1) 第1レベル...i番目の部材に対して、

$$g_{ij}(\{Y\}, \{X_i\}) \leq 0, \dots (j=1, 2, \dots, n_i) \dots (1)$$

$$\text{の下で } Z_i = f_i(\{Y\}, \{X_i\}) \rightarrow \min. \dots (2)$$

上式において、 $\{X_i\}$ 、 g_{ij} 、 Z_i は、各々第1レベルにおける設計変数、制約条件式、目的関数である。 $\{Y\}$ は第2レベルで決定される設計変数であり、第1レベルの最適化の間は一定値となる。第1レベルの最適化は、全部材(m)について1本ずつ行われる。

(2) 第2レベル $\{Y^L\} \leq \{Y\} \leq \{Y^U\}, \dots (3)$ の下で $Z = \sum Z_i \rightarrow \min. \dots (4)$

上式において、 $\{Y^U\}$ 、 $\{Y^L\}$ は、 $\{Y\}$ の上下限、 Z はシステム全体の目的関数である。この最適化は、Variable Metric Method を用いたSUMTによって行われ、 $\{Y\}$ が変化する毎に、第1レベルの最適化(Suboptimization)が繰り返される。

3. 計算例

(1) モデルトラス 図1に示したトラス(実線)について、部材断面積 A_i を第1レベルの設計変数、主構高 H (ケース1)、上弦節点の y 座標(ケース2)を、第2レベルの設計変数 $\{Y\}$ とし、トラス全重量(体積)を目的関数として最小重量(体積)設計を行った。断面2次モーメント I と断面積 A との間には、 $I=1.5625 A^2$ を仮定し、第1レベルの制約条件式として次式を用いた。

$$\sigma_{ca} \leq \sigma_i(A_i, \{Y\}) \leq \sigma_{ta}, \quad A_i \geq 10 \text{ cm}^2, \dots (5)$$

$$\text{ただし } \sigma_{ta}=1400 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_{ca}=-1400, \dots (1/r < 20)$$

$$\sigma_{ca}=-1400+8.4(1/r-20), \dots (20 \leq 1/r \leq 93)$$

$$\sigma_{ca}=-12000000/[6700+(1/r)^2], \dots (1/r > 93)$$

結果は表1に示したが、トラス全体積は、基準となる設計に対して、ケース1で97.6%、ケース2で87.3%となっている。これらの結果は、SLPによるものとも近い値になっており、また図2より全域的な最適解であることがわかる。また、ケース2については、得られた y 座標によって、図1に破線でもって最適形状を示した。図1. モデルトラス

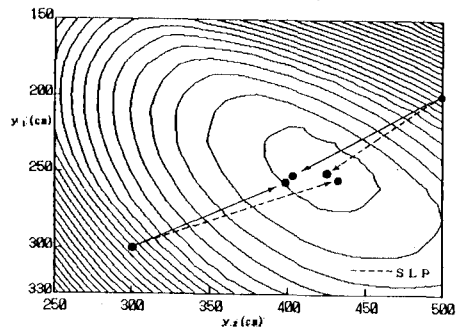
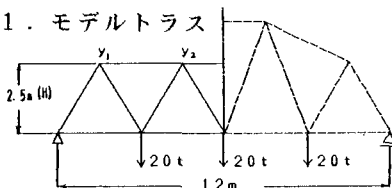


図2. 全体積の等高線(モデルトラス)

(2) 道路橋トラス 図3に示した道路橋トラスの主構(実線)の最小重量(体積)設計を行った。この橋トラスの設計に必要な事項や数値は、文献(1)に載せられた設計例と同じものである。第1レベルの最適化は、全部材について、部材長、部材応力、弦材幅B、鋼種が与えられた時、必要な最小部材重量(体積)を決定する問題となる。設計変数は、図4に示した T_u 、 T_w 、 T_l 、 B_u であり、制約条件は、示方書によって規定された条項をすべて考慮している。第2レベルの最適化においては、設計変数 $\{Y\}$ として、ケース1では、主構高Hと弦材幅B、ケース2では、上弦節点のy座標、ケース3では、上弦節点のy座標と弦材幅Bを考えている。目的関数は、トラスの全重量(体積)であるが、鋼種の違いを考慮して $Z=C_1 A_1 l_1$ としている。 C_1 は、鋼種による価格比を表す係数で、SS41の時は1、SM50の時は1.17としている。

結果は、表2に示したが、トラス全体積は、基準とする文献(1)の設計に対して、第1レベルの最適化だけで94.9%、ケース1で91.4%、ケース2で86.6%、ケース3で82.5%となっている。ケース1については、図5のZの等高線図によって、全域的な解であることを示し、また、ケース2については、得られたy座標によって、図3に破線でもって最適形状を示した。

4. あとがき

以上の計算例によって、Two Level Methodの有用性がある程度明らかになったと共に、トラスの最小重量設計においては、節点座標の変化の影響が大きいことが明らかになった。計算例(2)のケース2、ケース3においては、最適解が全域的であるかどうか保証はされていないが、最適形状から判断して、設計結果は妥当であるといえる。

参考文献(1) 菊地、笹戸 “橋梁設計例”
p105-p141 オーム社

ケース No.	全体の 設計変数	Two Level Method				S L P			
		y_1 (cm)	y_2 (cm)	$Z(\times 10^3 \text{ m}^3)$	Zの比(%)	y_1 (cm)	y_2 (cm)	$Z(\times 10^3 \text{ m}^3)$	Zの比(%)
1	1次レベルのみ	250	250	9.947	100	250	250	9.947	100
2	H	306	306	9.713	97.6	302	302	9.713	97.6
3	y_1, y_2	256	403	8.684	87.3	249	427	8.665	87.1

表1. モデルトラスの最適値

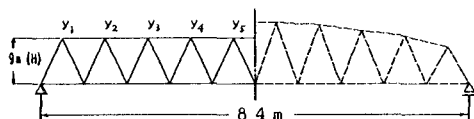


図3. 道路橋トラス

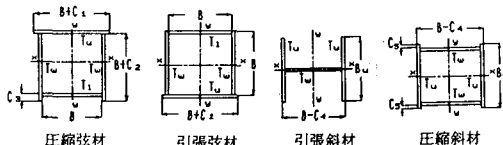


図4. 道路橋トラスの部材断面

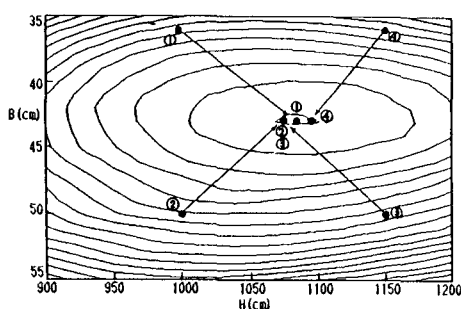


図5. 全体積の等高線(道路橋トラス)

ケース No.	全体の 設計変数	y_1 (cm)	y_2 (cm)	y_3 (cm)	y_4 (cm)	y_5 (cm)	B (cm)	Z ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Zの比
文献(1)の設計		900	900	900	900	900	50.0	8.921	100 %
1次レベルのみ		900	900	900	900	900	50.0	8.464	94.9
1	H, B	(1000) 1084	(1000) 1084	(1000) 1084	(1000) 1084	(1000) 1084	(36.0) 42.9	(8.277) 8.153	91.4
2	$y_1 \sim y_5$	(900) 726	(950) 939	(1000) 1038	(1050) 1154	(1100) 1206	(50.0) 50.0	(8.016) 7.728	86.6
3	$y_1 \sim y_5, B$	(900) 723	(950) 913	(1000) 1049	(1050) 1179	(1100) 1233	(50.0) 40.1	(8.016) 7.357	82.5

表2. 道路橋トラスの最適値
(括弧内の数値は初期値)