

山口大学工学部 正員 古川浩平 京都大学工学部 正員 山田善一
(株)片山鉄工所 正員 城戸一郎 京都大学大学院 学生員 下司弘之

1. まえがき

構造物の最適化においては、断面と形状が共に設計変数と考えられる。中でも形状の最適化は断面最適化より上位に位置し、その影響はより大きいものと考えられる。それにもかかわらず、従来の最適設計においては断面の最適化に関する研究が多く、形状最適化に関する研究は少い。何故なら従来の非線形計画法を用いてこれら断面と形状の両者の最適化を行なおうとすれば、収束するまでに莫大な構造解析の繰返しを必要とし実用的でないからである。本研究はこの問題点をトラス構造物を対象とし、動的最適性規準法を応用することにより解決することを試みたものである。

2. 形状最適化の手法

形状最適化に関する動的最適性規準は次式に示す μ_i を全要素で等しくすることと定義できる。

$$\mu' = \dot{X}K_X / A_i L_i \rho_i \dot{M}_X$$

$$\mu = -\mu_i' + \max(\mu_i')$$

これを用いて、動的最適性規準によるトラス構造物の形状最適化手法は次のように定式化される。最適化の反復過程において、接点 k の移動量 $\delta X_k, \delta Y_k$ は

$$\delta X_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta L_i \cos \theta_i, \quad \delta Y_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta L_i \sin \theta_i$$

ここに δL_i は次式により与えられる。

$$\delta L_i = (\delta \lambda \sqrt{\sum A_i \rho_i \mu_i}) \mu_i + \alpha (\mu_i - \bar{\mu})$$

$\delta \lambda, \alpha$ は次に定める定数である。

$$\delta \lambda = \lambda (X_1 / X_a - 1)$$

$$\alpha = \max [0.3 \eta L_i / (\mu_i - \bar{\mu})]$$

3. 断面、形状の同時最適化

2に示した形状最適化手法と断面の最適化手法とを組み合わせ、断面積および変位を同時に最適化する。制約条件として、動の変位、応力、細長比の制約を考える。

細長比の制約を満足する部材長の変化量は次式で与えられる。

$$\Delta L_i \leq R_a r_i^n - L_i^n$$

ここに、 R_a は許容細長比、 r_i は断面2次半径、 n は反復計算の回数を表す。節点 k につながる全部材が細長比の制約を満足するために、接点 k の変化量を次式で与える。すなわち、

$$\sqrt{(\delta X_k)^2 + (\delta Y_k)^2} \leq \min(\Delta L_i)$$

また細長比の制約は、断面積の最適化過程においては次式により満足される。

$$\Delta A_i \geq (L_i^n / 125 R_a)^{2/n} - A_i^n$$

ただし、断面2次半径と断面積の関係は、 $r_i = 1.25 \times A_i$ と仮定し

A ; 部材断面積 L ; 部材長
 ρ ; 比体積重量 λ ; 固有値
 X_1 ; 注目点の動的変位
 X_a ; 注目点の許容変位
 μ_i ; 形状最適化に関する最適性規準

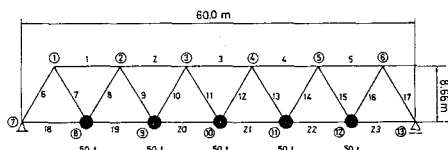


図1 初期形状 $W = 36.119 \text{ t}$

表1 許容応力値 t/m^2

圧縮材	14000x1.7 {14000-8.4(Li/ri-20)}x1.7 {120000000x1.7/(6700+(Li/ri))}	Li/ri < 20 20 < Li/ri < 93 93 < Li/ri
引張材	14000x1.7	

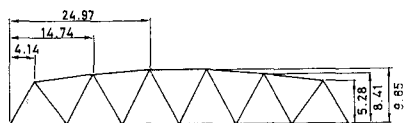


図2 ケース1の結果 Cycle 31



図3 ケース2の結果 Cycle 28

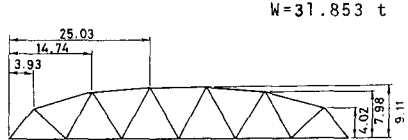


図4 ケース3の結果 Cycle 15

$W = 35.873 \text{ t}$

た。応力制約は断面最適化過程においてのみ考慮し、
 応力制約を満足する断面積変化量は次式で与えられる

$$\Delta A_i \geq (O_i^n / O_a - 1) A_i^n$$

以上に述べた各制約条件を満足する範囲内で、断面積
 変化、部材長変化を行なえばよい。

4．計算例および考察

計算例の対象として図1に示す6パネルワレントラ
 スを考える。変位制約は $X \leq 2.0$ cmとする。細長比制
 は、

$$R_i \leq R_a = \begin{cases} 120 & (\text{圧縮材}) \\ 200 & (\text{引張材}) \end{cases}$$

とする。また、応力制約は表1に示す許容応力を越え
 ないものとする。

ケース1は、初期条件として断面積 $A_o =$
 0.01 m²として最適化を行なったものである。
 収束形状を図2に示す。初期構造物では11部
 材が応力制約を満たしていなかったが、収束
 値においては、応力制約、細長比制約共に満
 足している。

ケース2はケース1と同じ形状のトラスを初期断面積 $A_o = 0.02$ m²とし
 て最適化したものである。収束形状を図3に示す。ケース1の収束値と比
 較すると、ほぼ同じ構造物が得られていることがわかる。

ケース3はケース1と同じ形状のトラスを $A_o = 0.05$ m²として最適化し
 たものである。この場合、初期変位は1.29cmとなり、初期構造物が変位制
 約に関して許容領域にある場合に当たる。この収束形状を図4に示す。ケ
 ース1、2と比較すると、形状も重量も少し異なった構造物が得られてい
 る。これは、初期条件が異なったため、局所的な最適解に収束したものと
 考えられる。

ケース4は和歌山県日高郡に架設中である小畑谷橋を対象として最適化
 を行なったものである。その側面図を図5に、モデル化した側面図を図6
 に示す。小畑谷橋の初期動的変位は $X_o = 4.75$ cmであり、この値を変位制
 約値とする。最適化の結果、図7に示す構造物が得られた。その部材寸法を表2に示す。最適構造物の重量は、
 初期の重量 $W=25.9$ tに比して14.2%軽減された。なお、収束値において応力制約、細長比制約を満足しているの
 はもちろんである。また、静的なたわみも、初期の14.6 cmから13.2 cmへと改善されている。

5．結論

本手法を用いることにより、断面積と部材長の最適化を少数回の繰返し計算で求めることができ、小畑谷橋
 に適用した結果、15%程度の軽量化が可能であることが明らかになった。

参考文献 1) 下司弘之；動的最適性規準を用いたトラス構造物の形状決定に関する研究，京都大学卒業論
 文，1983年 2月 2) 古川浩平，山田善一，吉村洋司；動的最適性規準を用いた簡易最適耐震設計法に関する
 研究，土木学会論文報告集，第 334号，1983年 6月

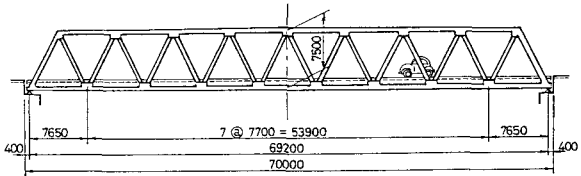


図5 小畑谷橋 側面図

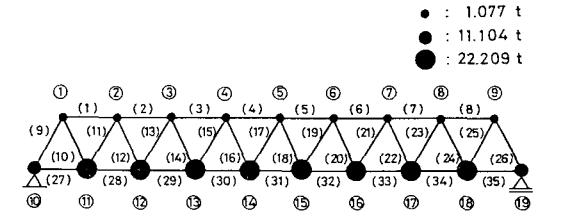


図6 小畑谷橋 モデル図

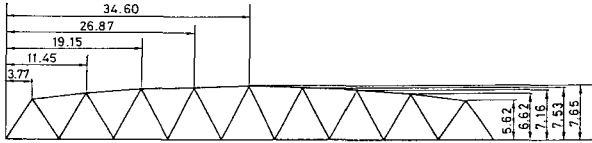


図7 小畑谷橋 最適化の結果 Cycle 47 $W = 22.2$ t

表2 小畑谷橋 部材最適値

部材番号	断面積	部材長	細長比
1	0.0195 m ²	11.66 m	66.8
2	0.0187	8.28	48.4
3	0.0189	7.89	45.8
4	0.0190	7.76	45.1
9	0.0205	3.13	17.5
10	0.0056	7.34	79.2
11	0.0018	5.77	109.2
12	0.0019	6.40	118.6
13	0.0012	7.65	178.8
14	0.0015	7.81	160.7
15	0.0015	8.70	178.9
16	0.0015	8.75	178.9
17	0.0016	9.08	178.9
27	0.0132	7.70	46.3
28	0.0177	7.70	45.0
29	0.0187	7.70	44.5
30	0.0192	7.70	44.5
31	0.0192	7.70	44.5