

1. はじめに

トラス構造物の最適設計はトラス構造としての設計変数, 例えば格間数あるいは構高の他に構成する部材の断面を決定する設計変数があり, 規模の大きな計算とならざるを得ない。このため全体設計を行なう前に部材の断面を決定する設計変数間の関係を導き出しておくと, 設計変数を減少することが可能となり有効的である。

本論はLPを利用した方法を現在の道路橋示方書(昭和55年2月)に適用し, 部材の最小重量設計による最適計算を行ない, 今後のトラス構造の最適設計への利用について2,3の考察を行なったものである。

2. 計算方法と制約条件

最適解を求める方法は, 与えられた制約条件式に設計変数の移動範囲を加えた制約のもとで, 目的関数の変化量が最小になるように設計変数の変化量を線形計画法により求め, 決められた停止基準を満たすまで繰り返し計算するものである。

ここでは, 断面を図1に示す正方形断面とし, 使用する材料をS41とし, 次の制約条件により計算した。

a) 許容軸圧縮応力度 $\sigma_{ca} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

$\sigma_{ca} = \sigma_{cag} \cdot \sigma_{cae} / \sigma_{cao}$ で計算する。図1. 部材断面
 いる。X,Yは表1, 表2に示す値をとる。

表1. σ_{cag}

細長比 λ	$\sigma_{cag} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
$\lambda \leq 20$	1400
$20 < \lambda \leq 93$	$1400 - 8.4(\lambda - 20)$
$93 < \lambda$	$12,000,000 / (6,700 + \lambda^2)$

表2. σ_{cae}

板厚 $t \text{ (cm)}$	$\sigma_{cae} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
$t \geq H_2/39.6$	1400
$t < H_2/39.6$	$2,200,000 (t/H_2)^2$

b) 板厚 $t \text{ (cm)}$

板厚は $t \geq 0.8 \text{ cm}$ かつ $t \geq H_2/56$

c) 細長比 λ

細長比 λ は $\lambda \leq 120$

さらに, 試行を進める際の設計変数 H_1, H_2 の移動範囲に次の制約を与えている。

d) 設計変数の移動範囲

$$- \varepsilon H_i \leq \Delta H_i \leq \varepsilon H_i \quad \varepsilon = 0.1, i=1, 2$$

また試行は次の2つが同時に満たされた時, 最適解が得られたとし停止している。

- 1) 各制約条件を満足している。
- 2) 設計変数の変化量が 10^{-2} cm 未満である。

3. 計算結果と考察

1) 制約条件と最適解

部材長 $L = 5 \text{ m}$, 軸圧縮力 $P = 100 \text{ t}$ の時の制約条件式を2つの設計変数 H_1, H_2 を両軸として図2に示す。図中a, b, cの曲線がX,Yの制約条件a), b), c)によるものであり, 解の許容範囲はこれらの曲線の上側にある。この許容範囲の中で, 断面積を最小とする解が最適解である。またA, Bは最適解を求めた試行状況を示したものである。Aは $H_1 = 40 \text{ cm}, H_2 = 20 \text{ cm}$ を初期値とした場合で7回の試行を経て最適値に収束している。また

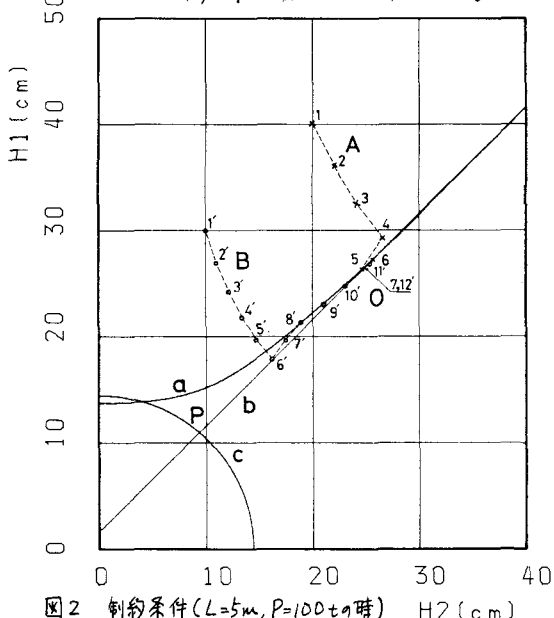


図2 制約条件 ($L=5 \text{ m}, P=100 \text{ t}$ の時)

Bは初期値を $H_1=30\text{cm}$, $H_2=10\text{cm}$ とした場合でこの時は12回の試行の後、ようやく最適値に収束した。いづれも収束した値は等しい設計値 $H_1=27.3\text{cm}$, $H_2=25.7\text{cm}$ を与え、これは曲線a, bの交点と成っている。

なお、軸力が小さくしていくと、曲線b, cは軸力Pによって変化し、bが制約条件dの曲線は全体的に低くなり、 $P \leq 18\text{t}$ では、a, b, cの曲線が点Pに集りて変わり、最適解は点Pが与えられる。さらに軸力を小さくすると、図のb, c曲線の交点Pが最適解を与える。

2. 軸圧縮力の強さと最適解

軸圧縮力を1tから250tまで1t毎に最適解を求め軸圧縮力によって設計がどのように変化するかを調べ、この時の最適設計とした断面の断面寸法 H_1, H_2 , 断面積A, 板厚t, および細長比 λ を図3に示す。これは、部材長が5mの時である。この結果から、最適設計とした部材断面の特性を表3に示す。

軸力が小さい範囲では、最大細長比の制約を受け細長比は120、板厚は0.8cmで設計されている。これは図2の制約条件中b), c)の交点である。このため、軸力の変化によっても断面は変わらず全ての設計値が一定の値となっている。軸力が蓄すと細長比は120以下となり設計はa), b)の交点で定まるとあり、板厚は0.8cmで一定である。設計変数 H_1, H_2 はほぼ直線状に増加している。さらに軸力が増え $P=130\text{t}$ を超えると、設計変数の増加率はゆるくなる。この時の特徴は板厚にある。板厚は直線状に増加しているが、この勾配を調べると板厚tは $H_2/39.6$ で決定されていることがわかる。これ以上軸力の増加があると、いづれは細長比が20以下となって許容応力は $\sigma_a=1400\text{kg/cm}^2$ と一定となるため、断面積Aは P/σ_a で定まるものの断面寸法 H_1, H_2 の決定は一意に定まらない。

なお、この図で $P \geq 165\text{t}$ 以上で結果に乱れが見られるが、これは、図2の曲線a, bがある範囲でほぼ同じ値をとるために起こっているものと考えられる。

表3. 最適設計とした部材の特性

軸圧縮力(Pt)	細長比 λ	板厚t(cm)
$1 \leq P \leq 18$	120	0.8
$18 < P \leq 130$		0.8
$130 < P \leq 250$		$H_2/39.6$

また、部材長を1mから10mまで1m毎に変化させて同様の計算を行っても、直線勾配の変化点は異なるもののこれらの傾向に変わりはない。

3. トラス構造への適用

本計算によれば軸圧縮力と部材長が与えられると最適設計が与えられる。しかし、この計算をトラス構造全体の最適計算の際、繰り返すのでは計算時間が膨大になる。

このため、本計算から得られた結果から板厚で0.8cmと $H_2/39.6$ のいずれかについて最適解を求めておき、面積の比較によって最適解を決定する方法を使うと設計変数の殆どに多い役立ちものと思われる。

4. おわりに

計算の中で、初期値によって、あるいは設計条件によって、試行の途中から解が振動し始め、収束に時間と要した。このため振動が始まると、新たに今までの計算結果の平均値を次の試行回数の設計値とするように改善している。また制約d)のそれは試行の経過に伴って、停止基準を予測し、より小さくしている。これは、前記の振動を防ぐ事と、無駄な設計変更を防ぐ目的で使った。

参考文献

- 1) 大久保 謙二, トラス構造物の最適設計法に関する研究, 土木学会論文報告集第177号
- 2) 長 尚, 構造物の最適設計, 朝倉書店

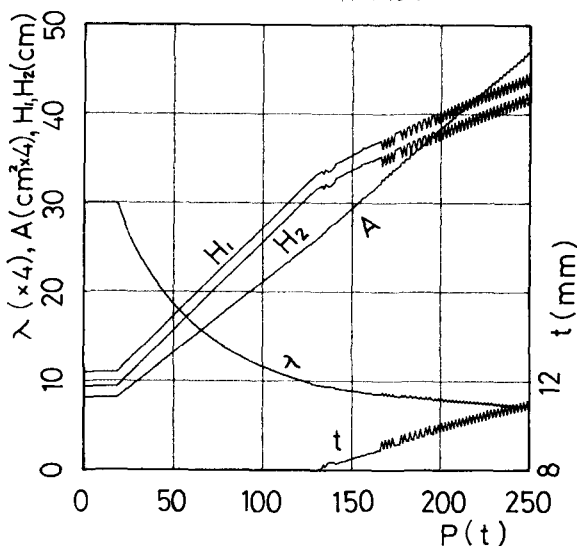


図3 最適設計値(L=5m)