

熊本大学工学部 正員 三池 亮次

同上 正員 〇小林 一郎

1. はじめに

力学的現象の一般性状を把握する観点から、いくつかのなまの値を無次元数に変換し、その相互関係を検討する手法は次元解析と称して、模型実験などに応用される。最適設計においても、材質、形状あるいは荷重等に関する無次元数も設計変数として選定することは、橋梁等の構造物の抽象一般化された特性を把握するのに意義があるものと思われる。たとえば、トラス橋において、有次元部材断面積 A や部材長さ l の代りに、細長比入とか基準断面積 A_0 に対する断面積比 $k_A = A/A_0$ 、部材長さ比 $k_l = l/l_0$ の方が、解析を容易にし、設計変数も減ずる上からも有利と思われる。これまでに 2. の報告も行なってきた。

本報告では、制約条件として、新たに板厚に関する制約も適切な無次元数を表現したものを追加して、最適重量設計を試みた。

2. 無次元数の選定

骨組構造の形状及び材質の無次元数は λ , k_A , 変換マトリックス T , ヤング係数比 $k_E = E/E_0$, 部材の単位重量比 $k_0 = \omega/\omega_0$, ポアソン比 ν によって構成され、無次元荷重 $P^* = P/P_0$ には、変位 α の無次元数であるところの $\alpha^* = (E_0 \cdot A_0 / P_0)(U/l_0)$ と、応力 σ の無次元数 $\sigma^* = \sigma \cdot A_0 / P_0$ が対応する。 E_0, P_0 等の添字 0 はそれぞれの基準値を意味する。また、形状無次元数として、部材断面の高さ h に関する無次元数 $C_F = h/2r$ を用いる。ただし、 r は断面 2 次半径である。部材断面を、図-1 のように箱形であるとして、この板厚 t_1 及び t_2 に関する制約条件式を無次元数で表現する。断面積 A , 断面係数 C_F は、

$$A = 2(bt_1 + ht_2) = 2ht_2(1 + \frac{1}{\alpha}) = 2bt_1(1 + \frac{1}{\alpha}) \quad (1)$$

$$C_F = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{1 + bt_1/ht_2}{1 + 3bt_1/ht_2}} = \sqrt{\frac{1 + \alpha}{1 + 3\alpha}} \quad (2)$$

である。ここに、 $\alpha = bt_1/ht_2$ であり、 C_F を用いて、

$$\alpha = \frac{C_F^2 - 3}{3(1 - C_F^2)}$$

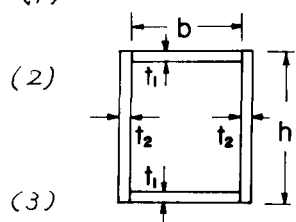


図-1 断面諸量

となるので、板厚 t_1 及び t_2 は、

$$h = 2 \cdot r \cdot C_F = 2 \cdot \frac{l}{\lambda} C_F = 2 \cdot \frac{l_0 \cdot k_l C_F}{\lambda} \quad (4)$$

$$t_1 = \frac{A}{2 \cdot b \cdot (1 + \frac{1}{\alpha})} = \frac{A_0 \cdot k_A}{4 \cdot b} \left(\frac{3}{C_F^2} - 1 \right) \quad (5)$$

$$t_2 = \frac{A}{2 \cdot h \cdot (1 + \alpha)} = \frac{3 \cdot A_0 \cdot k_A}{4 \cdot h} \left(1 - \frac{1}{C_F^2} \right) \quad (6)$$

なお、フランジ幅 b は、トラス橋の場合、一般に、すべての主構部材に対して等しく設計されているので、面外座屈や横荷重に対しても安全であるように考慮した上で、ある適当な定数として与えることとし、今回は、最適設計の設計変数から除外している。

3. 剛結及びピン結トラスの最適設計

スパン L 、部材長比 k_L 、及び変換マトリックス U を一定とする。すなわち骨組の形状が設定されたとして、基準部材の断面積 A_0 、断面積比 k_A 、細長比 λ を設計変数として、SLP法により、剛結及びピン結トラスの最適設計を試みた。目的関数は、最小重量設計に従い、

$$Z = W_0 \cdot A_0 \cdot l_0 \left\{ 1 + \sum k_{\alpha} \cdot k_A \cdot k_L \right\} \quad (7)$$

で与えられ、制約条件式としては、

$$\sigma_{ca}(\lambda) \leq W_0 \cdot l_0 \cdot \sigma_{ij}^* \leq \sigma_{ta}$$

$$20 C_F \leq \lambda \leq 120 \text{ or } 20 C_F \leq \lambda \leq 200 \quad (8)$$

$$b_1 \geq 8 \text{ mm and } t_2 \geq 8 \text{ mm}$$

で与えられる。板厚 t_1 、 t_2 に関しては、式(5)、(6)において、8mm以上の制約を課し、下記の事項が明らかになった。

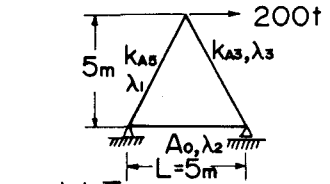
(1) ピン結トラスの場合には、圧縮部材の最適断面形状は決定する。引張部材については、最適断面積は決定するが、最適細長比は任意となる。これは引張部材の許容応力が細長比に関係せず一定であるため、ならびに応力の制約条件式の中に、入が設計変数として、はいつていないために起こる。剛結トラスについては、2次応力が細長比の関数となるため、入も応力の制約条件式の中に加わり、引張部材についても最適細長比が定まる。(図-3参照)

(2) 部材断面の幅 b は、 $b/L < 1/10$ の範囲で、ある値を仮定して解析した。その結果、軸力の大きい部材については、許容応力による制約によって最適断面積が決定されるが、軸力の小さい部材では断面形状の条件、すなわち板厚 t_1 、 t_2 あるいは、幅 b によって断面積が決まるため、いわゆるFully stressed designとはならない。トラスの中央付近の軸力の大きな部材については応力に関する制約条件式を採用し、支点近くの軸力の小さい部材については、応力が許容応力に達する前に、8mm以上という板厚の制約にひかかるので、板厚に関する制約条件式のみを採用するような便法が考えられる。また幅 b によって最適解は異なるので、幅 b の検討が必要となる。(図-4参照)

(3) C_F については、式(5)、(6)より $1 < C_F < \sqrt{3}$ の範囲の値であるが、ウェブとフランジの面積の比 α とリウの妥当な値は $1/4 \leq \alpha \leq 1/4$ 程度であるので、実際は $1.1168 \leq C_F \leq 1.4639$ となる。model-Iによる解析結果が示すように最適重量 W_{opt} は C_F の値によって大きく変化している。図-4に示すように、 $C_F = 1.22427$ ($\alpha = 1$)近隣の極めて小さな範囲の値を採用すればよいと思われるので、今回は設計変数とせず、 $\alpha = 1$ 前後に対応する C_F を定数として与えた。

なお、解析例の数値は元態大生永野・馬場両君の協力によって得たものである。記して謝意を表する。

model-I



model-II

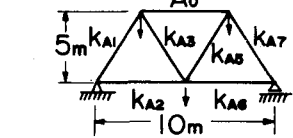


図-2 解析モデル

表-1 model-Iのピン結×剛結トラスの最適解の比較 (ピン結)

	A_0 (cm^2)	k_{A1}	k_{A2}	λ_2	λ_4
初期値	50.0	1.00	1.00	150.0	150.0
最適値	34.0	1.12	0.75	200.0	115.3

(剛結)

	A_0 (cm^2)	k_{A1}	k_{A2}	λ_2	λ_4
初期値	35.0	1.00	1.00	200.0	120.0
最適値	35.3	1.12	0.96	116.6	111.2

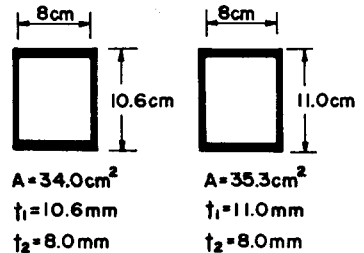


図-3 最適解の値による断面形状

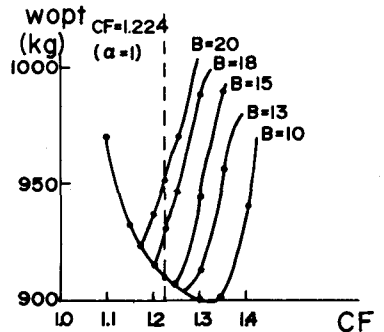


図-4 model-Iの

C_F と最適重量 W_{opt} の関係