

I-9

トラス橋の最小重量設計

熊本大学工学部 正員 ○ 小林 一郎
 同上 学生員 金丸 明生
 同上 正員 三池 亮次

1. はじめに トラス構造の最適設計については、これまでに多数の研究がなされているが、最適化手法の適用例としてトラスモデルが使用されるというケースが大半で、実設計に利用されるデータも提供するということはあまりなされていない。本報告は、トラス橋の最小重量設計を行ない最適主構高、最適パネル数等について検討するものである。応力は、すべて示力言に基づいた荷重条件より影響線解析を行ない算出する。最適解は、Two Level法により探索するが、各材材ごとの最適解の探索(element optimization)においては、activeになる制約条件式が容易に判定できるため、連立方程式の解として最適値を求めることが可能となる。

2. element optimization (first level problem)

設計変数としては、図1に示す通り部材高 h 、ウェブ厚 t_w 、フランジ厚 t_f とする。部材幅 b 、部材長さ l 及び軸力 N は定数として与える。制約条件式は「道路橋示方書」に従うものとし、次のものを採用する。

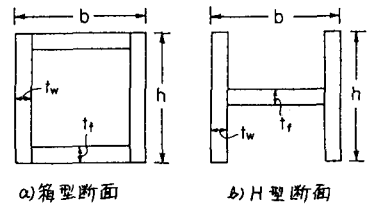


図1 断面形状

a) 応力制約 $\sigma_{ca}(\lambda) \leq \sigma_{max} \leq \sigma_{ta}$ -----(1)

b) 細長比制約 $\lambda \leq 120$ (圧縮材) or 200 (引張材) -----(2)

c) 面外屈曲防止の条件 $I_y > I_x$ -----(3)

d) 板厚制限 $t_w \geq \max(0.8, \frac{h}{k}) = \alpha$ -----(4)

$t_f \geq \max(0.8, \frac{b}{k}) = \beta$ -----(5)

e) 部材高の制限 $h \geq l/10$ -----(6)

ただし、 $\sigma_{ca}(\lambda)$ 、 σ_{ta} は圧縮と引張の許容応力度、 σ_{max} は影響線解析より求められた部材最大応力度、 λ は細長比、 I_y 、 I_x は面外及び面内回りの断面二次モーメントである。式(4)、(5)の k は幅厚比による板厚の制限値を定めるものでありSS41の場合 $k=40$ である。また、目的関数は断面積 A である。

図2は圧縮材における軸力と最適断面積・細長比の関係を示したものである。図中 $N_a \sim N_d$ の値は、これ環境においてactiveな制約条件が変化する点である。

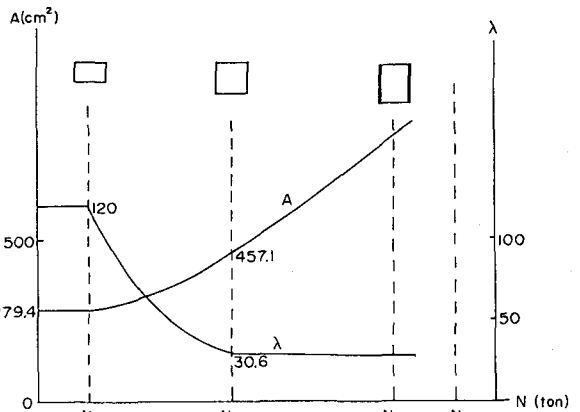


図2 圧縮材の軸力と最適断面積・細長比の関係

表1 軸力と制約条件式の関係

ケース	区 間	制約条件式
1	$N \leq N_a$	(2) (4) (5)
2	$N_a < N \leq N_b$	(1) (4) (5)
3	$N_b < N \leq N_c$	(1) (3) (5)
4	$N_c < N \leq N_d$	(1) (5) (6)

$A_a = 2(\beta b + \alpha h a) \text{ -----(7)}$, $N_a = A_a \cdot \sigma_{ca}(120) \text{ -----(8)}$

参考文献: 1) 山崎, 新延, 松井; 下路トラス橋の最小重量設計, 第7回講演概要集I, pp.431~442 2) Kirsch, U.: Optimum Structural Design, McGraw-Hill, pp.199-215 3) 小林, 三池; 接統マトリックスを用いた骨組構造の最適設計, 論文報告集, 第337号, pp.9~16, 1983

3. 数値計算例 Two level 法における second level problem としては主構高 H と部材幅 b を設計変数, C_j ($j=1\sim 4$) は鋼材のコスト比として

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i = \sum_{i=1}^n C_j \cdot A_i(b) \cdot l_i(H) \rightarrow \min \quad (9)$$

と求める。最適化手法としては、直接探索法(パターン探索法)を使用した。計算は総て富士通 FM-11 F-BASIC で行なった。

(1) 8パネルワーレントラス 図3はモデルの骨組形状と最適断面形状を示したものである。荷重条件は、死荷重強度 $p_d = 6.996 \text{ t/m}$ 、線活荷重 $P = 20.77 \text{ t}$ 、均布活荷重 $p_L = 1.871 \text{ t/m}$ とした。使用鋼種は SM41 である。また、式(9)のコスト比として

$$C_1 : C_2 : C_3 : C_4 = 1.00 : 1.15 : 1.20 : 1.25 \quad (\text{ケースI})$$

$$(SM41)(SM50)(SM53)(SM58) = 1.00 : 1.12 : 1.22 : 1.56 \quad (\text{ケースII})$$

を用いると、表2のような結果が得られた。表中「混在」とあるのは各部材ごとに鋼種の最適値が異なる場合であり、図3において、上下弦材はともに左から順に C_2, C_4, C_4, C_4 となり、斜材は圧縮材については左から順に C_3, C_1, C_1, C_1 、引張材は、 C_4, C_4, C_2, C_1 となっている。

(2) トラス橋の最小重量設計

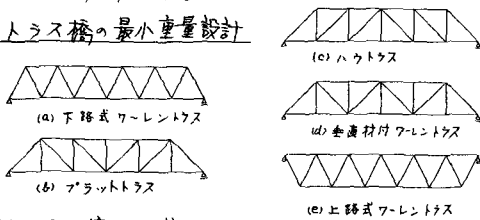


図4 トラス橋の形式

図4に示す5形式のトラス橋について最小重量設計を行なう。設計荷重は、文獻より主構間隔 11.5 m とし、死荷重強度はスパン長 L とパネル数 n の関数として次式の通り定めた。

$$p_d = 5(\lambda + j \cdot n + k n^2) \quad \text{t/L}, \quad \lambda = 9.783 - 9.102 \times 10^{-4} L + 9.53 \times 10^{-4} L^2$$

$$j = -0.4848 + 1.197 \times 10^{-2} L - 1.263 \times 10^{-4} L^2, \quad k = 1.703 \times 10^{-2} - 3.362 \times 10^{-4} L + 3.526 \times 10^{-6} L^2$$

図5は8パネル下路式ワーレンの最適構重等高線であり、最適主構高 15 m 、部材幅 45 cm である。このとき下弦材と斜材のなす角 θ は 67.4° である。図6は各形式の最適解とパネル数の関係を示したものであり、スパン長 100 m 、鋼種 SM41 である。すべての形式ともパネル数 $6 \sim 8$ のところに真の解がある。6パネル下路式ワーレンでは θ は 62.9° で正三角形に近くなる。ハウ形式は、他に比べ圧縮材が多いための構重が大きくなる。フラット及び垂直材付ワーレンは、ワーレンに垂直材を入れるため上下弦材の部材長が小さくなり、2) 死荷重強度も小さくなるための構重が小さくなると思われる。

4. あとがき 本誌の特長は次の通りである。1) 影響線解析を行なう。2) 部材断面量の決定を行なう。3) Two Level 法により計算容量が極めて小さくてはいたためマイコンで計算できる。

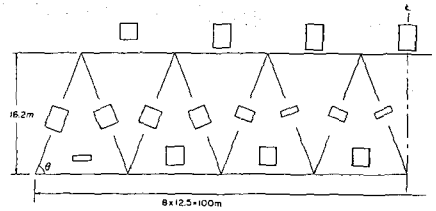


図3 8パネルワーレントラスの骨組形状と最適断面形状

表2 鋼種による最適解の比較

	鋼重(t)	構高(cm)	部材幅(cm)	コスト比I	コスト比II
SM41	114.4	16	55	1.00	1.00
SM50	95.3	14	50	0.96	0.93
SM53	90.7	14	50	0.95	0.97
SM58	82.0	13	45	0.90	1.12
混在	82.2	14	50	0.84	

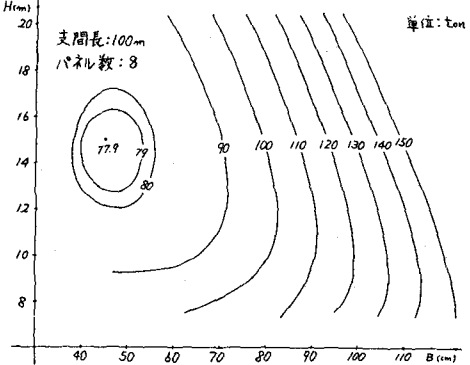


図5 最適構重等高線

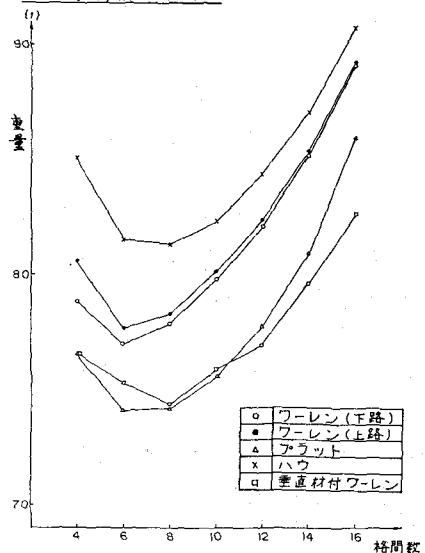


図6 各トラス橋の最適解とパネル数の関係