

たわみ制限がある場合のトラス橋の幾何学的形状について

京都大学工学部 正員 白石成人, 京都大学工学部 正員 古田均
京都大学大学院 学生員 池島賢治

1. まえがき 応力制限のみを受ける場合の、トラス橋の幾何学的形状の決定に関する研究は、現在まで数多く行われている¹⁾。しかし、実際の橋梁構造物を考えた場合、応力以外に種々の条件が、設計に影響を与える。本研究では、支点角折れや車輛走行性に多くの影響を及ぼすと考えられる“たわみ制限”を取り上げ、それによって、トラス橋の幾何学的形状がどのように変化するかを、最適設計の考え方をを用いて探る。この時、設計変数は、節点座標と部材断面積となるが、両者を同時に扱い最適化手法を用いると、計算時間の増加、収束性の劣化などの問題が生じる。そこで、ここでは、まず節点座標を決定し、そこで決定された形状に対して、最適規準法を用いて断面積を計算するという、二段階決定法を提案する。

2. 幾何学的形状の決定法 トラス橋を全体として骨組系とみなすと、その幾何学的形状は、トポロジとジオメトリーにより規定される。ここでは、トポロジの影響は、橋梁形式・支持形式の違いとしてとらえることとし、主としてジオメトリーの影響を考慮して形状を決定することを考える。すなわち、前述したように、節点座標 X と部材断面積 A を同時に扱うことによる実計算上の不利をなくすため、まず、節点座標を設計変数として形状を決定し、その後、最適部材断面積を求めるという、二段階決定法を用いる。すなわち、これは、節点座標を基本変数と、考え、部材断面積をその関数として表わすというもので、設計のハイアラーキーにおいて、部材断面積よりジオメトリー（すなわち、節点座標）を上位に位置させた方法と言える。節点座標の決定に際しては、無制約の最適化手法の中で最も収束性がよく、演算時間も短いと言われている Variable Metric Method を用いる。この二段階決定法の手順を図示すると、図1となる。

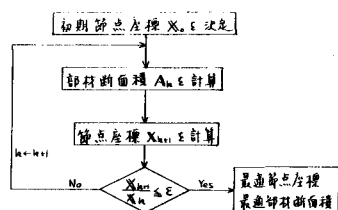


図1 二段階決定法

3. 部材断面積の決定法 前述したように、この二段階決定法を用いるためには、部材断面積が節点座標の関数として表現されなくてはならない。そこで、ここでは、GellatlyとBerkeによって提案されている最適規準法を用いる。それによると、たわみ制限がある場合の部材断面積 A_i は、次式で書ける。

$$A_i = \frac{1}{(\Pi^* - \Pi_0)} \sum_{l=1}^m L_i \sqrt{\frac{F_l^P F_l^Q P_i}{E_i}} \sqrt{\frac{F_i^P F_i^Q}{E_i P_i}} \quad (1)$$

(ここに、 Π^* はたわみ制限値、 Π_0 は変動要素によるたわみ、 F_l^P, F_l^Q は各 l 、実荷重 P, Q 、 F_i^P, F_i^Q は各 i 、実荷重 P, Q に対する部材力)

L_i, F_l^P, F_l^Q は、節点座標が決定されれば求められるので、式(1)

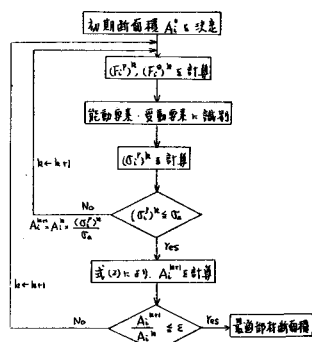


図2 部材断面積の決定法

よって、部材断面積は、節点座標の関数として表わせたことになる。しかし、不静定構造物の場合は反復計算が必要となるので、次の漸化式の形で表現されたものを用いる。

$$A_i^{k+1} = A_i^k \sqrt{\left(\frac{\sigma_i^p \sigma_i^q}{E_i p_i} \right)^k} \times \frac{1}{(\pi^* - \pi_0)} \cdot \sum_{i=1}^m (A_i L_i p_i) \sqrt{\left(\frac{\sigma_i^p \sigma_i^q}{E_i p_i} \right)^k} \quad (2)$$

一方、たわみ制限と同時に満足されなければならない応力制限については、たわみ制限より上位の制約条件として、最適規準法に導入する。部材断面積決定の手順を、図2に示す。

4. 数値計算結果 まず、最適規準法の有効性を調べるために、図3に示す4パネルフラットトラスに対して、SLP法と最適規準法で部材断面積の最適化を行った。収束状況を、図4に示す。両者は殆んど同じ断面積を与えているが、収束状況を見ると、最適規準法では1回の繰返し計算で解が求まるのに対し、SLP法は、同じ初期値からでは29回の反復計算が必要となり、その収束状況も、初期値やMove Limitの設定により大きく左右される。このことから、比較的単純なトラス構造物に対して、最適規準法は、短い時間で、初期値に依存しないか、なり精度の高い解を与えることがわかる。つぎに、たわみ制限がある場合の幾何学的形状決定の一例を、図5に示す。この図は、初期節点座標を図3の4パネルフラットトラスとした時の、形状の変化を示したものである。計算は8回の反復で収束し、得られた形状は、2パネルワレントラスと非常に近く、応力制限のみが作用している場合の最適形状と類似したものである。さらに、スパン長の影響を考慮して計算した結果が、図6である。

5. 結論および今後の課題 本研究では、たわみ制限がある場合のトラス橋の幾何学的形状の決定法として、節点座標の決定にVariable Metric Method、部材断面積の決定に最適規準法を用いる二段階決定法を提案した。最適規準法を用いることにより、部材断面積を節点座標の関数として表わすことができ、さらに、計算上、数値計画法に比べてかなり有利になることがわかった。今後、他の橋梁形式に対しても最適規準法が求められれば、本手法が適用でき、たわみ制限がある場合の経済支間長に関する支援が得られるものと期待される。(計算結果の詳細は、当日発表を行う。)

- [参考文献] 1) 北とえ、飯成、石田均; "橋トラスの幾何学的形状決定に関する基礎的考察", 第25回構造工学シンポジウム, 昭和54年2月, 2) R. Fletcher, D. Powell; "A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization", Computer Journal, Vol. 7, No. 3, 1963
3) 吉岡、% 志郎; "最適構造設計" 第4章, Gellatly, Burke "最適性原理と設計計算法", (4冊, 印刷監訳), 培風館, 1977

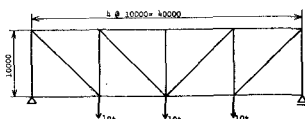


図3 4パネルフラットトラス

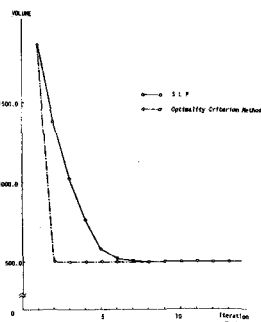


図4 SLP法・最適規準法

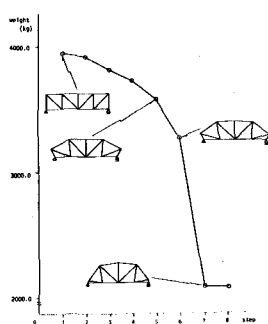


図5 形状変化の様子

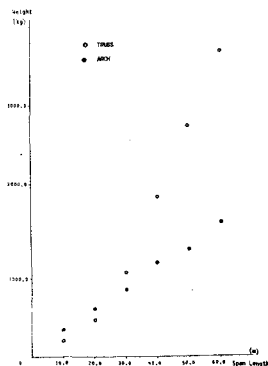


図6 スパン長・高さ、関係