

橋トラスの最適形状に関する基礎的研究

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
 大阪市 O正 員 入江 新吾

1. まえがき

筆者らは前回までトラス構造物特に橋トラスの幾何学的形状について研究を行なってきた。形状を構成する要素を、節点および部材のTopology, Geometryに分類し、その影響を調べた結果橋トラスにおいては、その節点数が限定されておれば節点位置が最も重要であるという結論を得た。本研究ではさらに節点の数、その位置と部材の配置の関係について考察を加え、また形状に大きな影響を与えると考えられる支持形式の違いによる影響について調べる。さらに、この結果及び前回までの結果を用いることにより、橋トラスの設計における合理的な形状決定のprocessに対する指針を与えることを試みている。また、その時用いる optimality conditionを用いた近似設計手法に sub-optimizationを組合せ、離散的な取扱いが必要である鋼種の違いを取り入れる手法を提案する。

2. 節点の数と部材の配置

節点数と部材のTopologyの形状への影響を調べるため、Monte-Carlo法により、あらかじめ決められた範囲内に1つずつ節点を発生させ、許容応力の制約のもとで、LPを用いた部材消去法をFig-1の10, 14, 18節点の橋トラスに適用した。これは節点位置を設計変数から取除くことにより、部材の数、その配置の影響を容易に調べることが可能となる。結果はFig-2のように、単一荷重条件のもとでは、すべて同じ部材のTopologyをもつ形状が最も重量が小さくなった。また、多荷重条件の場合、すべてその形状は類似している。このことより、設計に際して、節点数、部材のTopologyを規定した後、節点座標を設計変数とすればよく、移動荷重を考えた場合は、単荷重条件のもとでの形状を重ね合わせていくことにより、その形状はほぼ予想できると考えられる。

3. 支持形式の違いによる影響

支持形式は座屈等と同様に形状に影響を与える力学的要素の1つであり、その違いは構造の静定、不静定等の力学的特性と関係があり、荷重の載荷点から支持点への応力の流れを考えた場合、それは単純には決定されない。よって、支持形式の違いは構造物の最適形状に大きな影響を与えると考えられる。そこで異なる支持条件として、単純支持、cantilever形式、連続支持をとりあげ、それぞれ節点座標と部材断面積を設計変数として数値計算を行なった。なお、この時実際の設計により近づけるため、制約条件として許容応力だけでなく、座屈条件も考慮した。結果はFig-3に示したように、その形状は変化あるものの、その重量は各支持条件で形状を固定した場合と同じ傾向を示す。このことより、形状の最適化過程において、支持条件の決定は節点位置を決める以前になされるべきであると考えられる。

4. 鋼種の違いを考慮した設計手法

以上の結果より、設計の際設計変数とするのは幾何学的要素としての節点座標および部材断面積とすればよいことが判明した。ところで、トラス構造物を構成する個々の部材についてみれば、その力学的性質を支配するのは、その部材の断面積、形状、部材長である。これらは荷重の載荷点から伝播される部材力と、それに使用されている鋼種により決定される。よって、鋼

種の違いは最適形状に影響を与えると考えられ形状の最適化過程に直接導入することが必要である。しかし鋼種は離散量であり、従来の手法にそのまま考慮するのは計算上大きな困難が生じる。そこで本研究では前回提案した optimality condition を用いた近似設計手法と、sub-optimization を組合せた手法を用いて、計算上の問題点の解決を試みる。目的関数を総鋼材費とし、問題を定式化すると、次のようになる。

$$P = \sum \{ \min (C_j \cdot A_j(F_i)) \}_i \cdot L_i \rightarrow \text{minimize}$$

P : 目的関数
 j : 考えている鋼種について
 i : 部材について

ここで部材断面の形状を、円筒断面とし、部材の細長比を断面積 A の近似関数で表わし、部材力 F と断面積の関係を示す書の内容の圧縮部材に関する規定に基づき、近似関数で表わす。そして、 $\min (C_j \cdot A_j(F_i))$ により、鋼種の判定を行ない、SS41 と SM50 についてグラフにしたのが Fig-4 である。このグラフにより、部材断面積 A は部材力 F により表わされたことになり、前回提案した近似手法が使えることになる。ここで、 $a_i = \{ \min (C_j \cdot A_j) \}_i$ と表わすと、問題は次のように書ける。

$$P = \sum a_i(F_i, L_i) \cdot L_i \rightarrow \text{minimize}$$

ところが F_i は節点座標 x_k の関数として表わす。また L_i も x_k の関数として表わせるので、結局

$$P(x_k, L_i) = \sum a_i(F_i(x_k), L_i(x_k)) \cdot L_i(x_k) \rightarrow \text{minimize}$$

となり、目的関数は節点座標 x_k のみの関数となる。つぎに、最適化計算において、その傾き $\frac{\partial P}{\partial x_k}$ は次により計算できる。

$$\frac{\partial P}{\partial x_k} = \frac{\partial a_i}{\partial x_k} \cdot L_i + a_i \cdot \frac{\partial L_i}{\partial x_k} = \frac{\partial a_i}{\partial F_i} \cdot \frac{\partial F_i}{\partial x_k} \cdot L_i + \frac{\partial a_i}{\partial L_i} \cdot \frac{\partial L_i}{\partial x_k} \cdot L_i + a_i \cdot \frac{\partial L_i}{\partial x_k}$$

ここで、グラフ中に計算されている L_i 以外の部材長のものに関しては補間法により求めている。

5. 結論およびあとがき

前回までの結論と本研究で得られた結果より、橋トラスの形状の決定順序として、次のようなものが考えられる。①支持形式を決める。②節点数を決めた後、部材の Topology を決定する。③その後、節点の位置と部材断面積を設計変数として最適化を行なう。この時鋼種等の離散量は本研究で提案した手法を用いて考慮できる。また、この手法は、最終的な結果は近似解であるがその計算は容易であるので、2次元力、その他の条件をも考慮することができる。さらに最適化過程において、各ステップの構造は、それ自身、安全性を確保しており、バランスがとれている。よって、そこで得られた結果が美観・施工性等の問題を考える一つの手がかりを与えられると思われる。

参考文献

- (1) 石田・田・入江「トラス構造物の形状に影響を及ぼす諸因子について」552 土木学会年次学術講演会概要集
- (2) 大久保「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 1970.5月 1177号

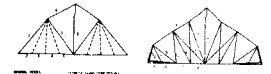
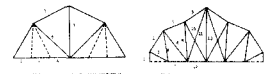
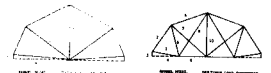
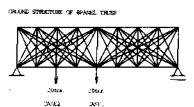
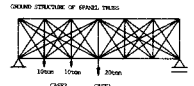
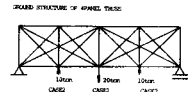


Fig. 2

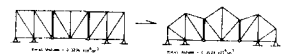
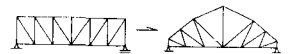


Fig. 3

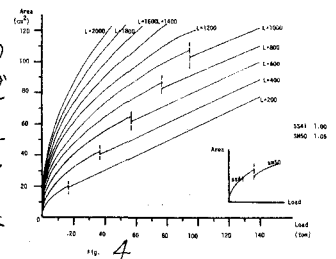


Fig. 4